TEORYA
RUCHU KOLEJOWEGO

ZASTOSOWANA DO PRAKTYKI

opracował

Roman Baron Gostkowski,

Inżynier,

Szef ruchu c. k. kolei Arcyksięcia Albrechta,

Docent szkoły politechn. we Lwowie.

Z 52 rysunkami w tekscie i jedną tablicą.

I.

LWÓW.

NAKŁADEM KSIĘGARNI GUBRYNOWICZA I SCHMIDTA.

1883.

TOR.

Przedmowa.

Technik, obierając kolejnictwo jako zawód któremu się poświęcić zamyśla, przychodzi wkrótce po rozpoczęciu nowej swej czynności do przekonania, że wiedza którą nabył w szkole, wystarcza wprawdzie do zrozumienia przepisów budowy, konserwacyi, rachunkowości i taryfowania, nie tłómaczy jednak wszystkich zarządzeń ruchu kolejowego.

Pochodzi to z tąd, że niema jeszcze katedry, z którejby wykładano teoryę ruchu kolejowego. Pracujący w zawodzie kolejowym uzupełniać więc musi swą wiedzę tak podaniami empiryków, jakoteż czytaniem pism fachowych.

Rozpatrując się w pismach zawodowych, przychodzi jednak do przekonania, że aczkolwiek literatura kolejowa jest bogatą, nie posiada jednak dzieła, któreby ruch kolejowy, jako umiejętność traktowało.

Gdy mnie w roku 1877 zawezwano do wykładów mechaniki ruchu kolejowego na tutejszej c. k. szkole politechniczej, musiałem materyał rozstrzelony w licznych pismach zawodowych samoistnie opracować, uzupełniając luki własnem, w ciągu długoletniej praktyki nabytem doświadczeniem.

Rozpatrując się w badaniach czysto teoretycznych, niemniej w drobiazgowych szczegółach które nagromadziła praktyka, uzyskałem po żmudnej pracy pogląd, który umożliwił mi uszykować i przerobić obszerny materyał tak, aby tworzył harmonijną całość opracowaną z jednego punktu widzenia.

Pomijając prace mające wartość li tylko teoretyczną, jakoteż opisy przyrządów interesujących li tylko praktyka, kładłem w książce mej, szczególny nacisk na założenie rachunku i ścisłe określanie zasad, a praca moja służy mi od pięciu lat jako podręcznik do wykładów.

Dotatni rezultat egzaminów w szkole politechniczej, niemniej przychylna krytyka działów mej pracy, umieszczonych w pismach fachowych za granicą, zachęciły mnie do ogłoszenia drukiem mych wykładów. Mając praktyczną dążność na oku, rysowałem figury szematycznie, wykluczając z namysłem szczegóły, kióre aczkolwiek w rzeczywistości są potrzebne, do wyjaśnienia zasady konstrukcyi, się nie przyczyniają. Tam zaś gdzie szczegóły są niezbędne jak np. przy obliczaniu czasu jazdy, zestawianiu kursu pociągów, obciążaniu lokomotyw, rozmieszczaniu hamulców pociągu, itp. tam — przytaczałem je, z całą starannością.

Uwzględniając wymogi praktyki już w założeniu rachunku, uprościłem przebieg obliczeń i uzyskałem wzory, które przejżystością i prostotą budowy, się odznaczają, przyłączając nadto liczne przykłady z praktyki kolejowej, nabrałem przeświadczenia, że aczkolwiek praca moja, nie obejmuje całego obszaru ruchu kolejowego, wypełnia przecież lukę w literaturze zawodowej.

Inżynier kolejowy, mający wydać orzeczenie np. w sprawie ogrzewania wozów kolejowych, znajdzie się w niemałym kłopocie gdy zmuszonym będzie szukać odnośnych danych w książkach naukowych lub pismach fachowych. Teoretyczne przedstawienie bez wskazówek dla praktyki, w pierwszych— a rozmaitość zapatrywań i dążności skierowane do powziętych założeń, w drugich, — zbałamucą go raczej, aniżeli oświecą.

Mając zaś pod ręką książkę, która przedstawia sprawy treściwie i wyczerpująco, zapatrując się ze stanowiska ogólnego, uzyska jasny pogląd bez żmudnych badań.

Przy śledztwach przeprowadzanych z przyczyny wypadków kolejowych, częstokroć trudnych do zawyrokowania, li tylko rozumowanie oparte na wynikach wiedzy fachowej, usunąć zdoła wątpliwości i doprowadzić może do sprawiedliwego ocenienia wypadku.

Książkę moją, użyje także z korzyścią inżynier, któremu przypadnie zaopiniowanie nowego przyrządu, znajdzie on w niej bowiem nietylko opis, ale także i historyę wynalazku, co mu niezawodnie posłuży do orzeczenia fachowego.

Jeżeli skromna moja praca przyczyni się do rozszerzenia wiedzy zawodowej inżynierów polskich stanę u kresu życzeń moich.

Lwów w czerwcu 1882.

Autor.

SPIS RZECZY.

TOR.

LOKOMOTYWA.

ROZDZIAŁ I.

Użycie pary na cele przewozu.

ROZDZIAŁ II.

O oporach ruchu pociągów.

ROZDZIAŁ III.

O wodzie i paliwie.

TOR.

1.

Pierwsze tory.

W mglistych czasach starożytnych wieków znachodzimy na wybrzeżach morza śródziemnego dwa narody, Fenicyan i Greków. Fenicyanie, naród ruchliwy, prowadzący handel z całym ówczesnym światem, przybyli do Grecyi, szukając miedzi, metalu, który przed wszystkiem cenili. Wybiwszy się z pod najazdu *Fenicyan*, oddali *Grecy* drogi, któremi wydobyty kruszec wywożono, pod opiekę świątyń. Nietykalnym, a więc życia swego bezpiecznym, był wędrowiec jak długo przebywał na drodze świętej, a bryki, w których lud pobożny zwoził do świątyń ofiarne swe dary, również były nietykalnemi.

Gdy później ze świętami, na które lud ciągnął gromadami, połączono igrzyska i jarmarki, przestały owe drogi służyć wyłącznie tylko świątyniom, stały się bowiem środkiem komunikacyjnym dla wszystkich.

Ruch ożywiał się coraz więcej, a ciężkie bryki przejeżdżając drogę, wyżłabiały w niej głębokie rowy, w które następujące pojazdy chętnie wjeżdżały, bo trzymając się utartego toru, łatwiej się toczyły. Gdy to spostrzeżono, poczęto wykładać owe ślady twardym ciosem, wykuwając w nim rowki, odpowiednio do szerokości dzwonu toczących się kół.

Ciosy takie widzieć można dzisiaj jeszcze na szosie wiodącej ze *Sparty* do *Helos*, a rowki wryte w nich dla mijających się wozów, zdradzają, że nie wyżłobił je czas, lecz że je sztucznie wykuwano.

Że tory kamienne niegdyś były powszechnie używane, wnioskować należy ztąd, że znachodzimy je w *Grecyi, Afryce i Syryi,* a więc wszędzie tam, dokąd oświata *Helenów* sięgała, a że budowano je podług wspólnie przestrzeganego prawidła, świadczą szczątki torów, odszukane w zwaliskach *Pompeji i Troji*, szerokość między rowami ich, jest albowiem taka sama, jak na wspomnianej już szosie spartańskiej.

Cezaryzm, który później świat zawojował, zatarł, jak wiele innych rzeczy, także drogi kamienne; dla marszu nieprzejrzanych kolumn licznych wojsk jego, tory takie nie były wygodne, ustąpić więc musiały wygodniejszym szosom.

Myśl, wyżłabiania rowów w którychby koła przejeżdżających wozów się toczyły, odradza się wiele wieków później, w ciemnościach kopalń niemieckich. Przewóz kruszczów przez wązkie a długie sztolnie, odbywając się z natury rzeczy, zawsze po jednym i tym samym śladzie, naprowadził Niemców na konieczność utrzymywania śladów takich w dobrym stanie, gdyż zauważano, że ciężko obładowane wózki, w których uzyskany kruszec wywożono, łatwiej się toczyły w utartych już rowach, aniżeli na drodze świeżej.

Rzymianie, aczkolwiek posiadali rozległe kopalnie; *torów* nigdzie nie budowali, uzyskany kruszec, nie wywożono bowiem wózkami, lecz wynoszono go na barkach. Twierdził niewolnik, uginając się pod ciężarem złożonym na jego barki, że droga jest przykrą, chłosta biczem o mylności tego twierdzenia go pouczała.

Niemieccy górnicy poczęli jak się zdaje używać torów po raz pierwszy około roku 1500, a budowali je z drzewa układając w gruncie naturalnym ciężkie brusy, po których *siłą człowieka*, małe wózki naładowane kruszcem lub węglem kamiennym po przód siebie popychali. A gdy spostrzeżono, że przewóz po takich torach odbywa się lekko, poczęto je układać po za obrębem kopalń, a to celem przewożenia płodów górniczych siłą koni, aż do miejsc składowych na brzegach rzek, zkąd je dalej spławiano.

W *New-Castle*, najdawniejszej kopalni węgla kamiennego w Anglii, budowano np. drogi takie, już w roku 1640, a opis pana *Jars,* który kopalnie te objeżdżał w roku 1765, nie mniej podania Artura *Joung*, słynnego autora, w dziedzinie nauk społecznych pouczają, że koleje konne miały częstokroć 14—16 kilometrów długości i ożywione były ruchem wozów furmańskich, w których przewożono węgle kamienne.

Tam, gdzie tor z dawnego kierunku zbaczał, ustawiono pomost obrotowy, który sprowadzał wóz z jegnego toru na drugi. Brusy tych torów, aczkolwiek początkowo grube, podlegały zepsuciu, co znów ich wymianę spowodowywało. Częste zaś wymiany brusów sprawiały, że utrzymanie toru kosztowało wiele, a chęć oszczędzenia wydatków, nasunęła myśl, pokrywania brusów lekką deską lub łatą którą w razie uszkodzenia, bez kosztów i trudu usunąć było można, nie ruszając wcale brusu.

Tory takie, posiadające niejako *drewnianą szynę*, znachodzimy po raz pierwszy w *Durham*, kopalni węgla kamiennego, leżącej w księstwie Northumberland. Na torach tych ciągnął jeden koń, wóz naładowany 2 tonnami węgla kamiennego, a możność przewozu znacznych ciężarów, nie wielką stosunkowo siłą sowicie wynadgradzała koszta, wyłożone na budowę toru.

Niedziw więc, że koleje drewniane coraz więcej się rozpowszechniały i wnet sąsiednie kopalnie, należące do jednego i tego samego właściciela, ze sobą łączyły. Ciesząc się powodzeniem, wzrosły koleje takie z końcem upłynionego stulecia do znacznej rozległości. Rozkrzewiając się niemal po całej Anglii, wnet naruszać poczynały interesa właścicieli gruntów, przez które prowadziły. Okoliczność ta sprawiła, że rząd czuł się spowodowanym do regulowania tej sprawy. Akt parlamentu odnoszący się do kwestyi *prawnej* koleii drewnianych, wyszedł w roku 1758 i stosował się do konnej kolei, zwanej Brandlingi Railrod. Akt ten, inauguruje nową erę życia społecznego, wprowadza bowiem weń nowy moment, który je w sposób dotąd nie słychany przekształca.

2.

Szerokość toru.

Tor drogi żelaznej składa się z dwóch równoległych względem siebie pasm szyn, ułożonych w nieprzerwanym ciągu. Pasmo jednego toru, nazywamy *tokiem*, przez *szerokość toru* zozumiemy odległość w świetle pomiędzy główkami szyn, tj. pomiędzy wewnętrznemi krawędziami obydwóch pasm.

Wspomniano już w poprzednim §., że odstęp rowów wyciosanych w dawnych torach kamiennych był wszędzie ednaki, a pierwsza szerokość toru o której historya wspomina, wynosiła wszędzie 1·625 metra.

Trevethik budując w roku 1804 pierwszą lokomotywę, która biedz miała po torach żelaznych, rozsunął jej osi tak, ſak je rozsuwano przy wozach na szosie, tj. do odległości 5 stóp angielskich. A ponieważ 5 stóp angielskich przeniesione na francuzką miarę, daje 1·52 metra, więc też mierząc od środka do środka toku, szerokość toru zbudowanego w Londynie dla tejże lokomotywy, wynosiła 1·52 m., mierząc zaś odstęp w świetle, 1·435 metra.

Szerokość tę przyjęto dla wszystkich koleji, które potem budowano, a dzisiaj stała się prawie powszechną dla kolei pierwszorzędnych.

Szerokość ta, którą zowiemy *szerokością prawidłową*, nie jest więc wynikiem poszukiwań teoretycznych, lecz tylko następstwem ustroju wozów angielskich, toczących się po zwykłej szosie.

Jak długo koleje żelazne były od siebie odosobnione, odgrywała szerokość toru podrzędną tylko rolę, dlatego też nie zastanawiano się wcale nad jej wielkością, przyjmując miarę *Trevethika*, bez wszelkiego namysłu.

Pierwsza kolej drewniana oddana do użytku publicznego, a służąca do przewozu węgla kamiennego w *Kolemerstham* siłą koni, zbudowana w r. 1805, posiadała więc już ową szerokość toru, a *Stefenson* budując pierwszą kolej *żelazną* (kolej Stocton-Darlington oddaną do użytku publicznego w roku 1825) zastosował się już do kolei drewnianych.

Przy budowie późniejszych dróg, na których już przewóż odbywał się siłą lokomotywy, a mianowicie kolei *Liverpool-Manchester* (1830), *Edingburg-Dalkaith* (1831), *Dublin-Kingston* (1834), i *Birmingham-Liverpool* (1837) powyższa szerokość toru, została utrzymaną.

Po wybudowaniu drogi żelaznej *Birmingham-Liverpool*, zaczęto zastanawiać się nad stosównością dowolnie obranej szerokości toru, a badał kwestyą tę, po raz pierwszy *Brunell*, genialny inżynier i budowniczy, a późniejszy dyrektor szóstej z rzędu drogi żelaznej obsługiwanej siłą pary tj. kolei *Great-Western* oddanej do użytku publicznego w r. 1838.

Badania poparte rachunkiem utwierdziły *Brunella* w mniemaniu, że szerokość toru, wynosząca 1·435^{m} nie zapewnia wozom kolejowym dostatecznej stałości, że zatem w czasie szybkiej jazdy, zwłaszcza przy przebieganiu ostrych krzywizn, pociąg wykoleić się może.

Powyższemu wynikowi poszukiwań Brunnella przypisać należy, że pierwotna szerokość toru na kolei Great-Western wynosiła nie 1·435, lecz 2·13^{m} i że nietylko we W. Brytanii, ale i w innych krajach Europy i w Ameryce powstały sieci dróg żelaznych, o większej jak 1·435^{m} szerokości toru. Rozmaitość ta nie wpływała jednak szkodliwie na sztosunki handlowe, dopóki drogi żelazne pozostały w odosobnieniu.

Cały ciężar popełnionego błędu odczuto dopiero z chwilą złączenia się ze sobą rozległych sieci dróg żelaznych. Wozy jednej kolei nie mogły przechodzić na kolej drugą, bo tor na to nie zezwalał, miano wprawdzie *całość sieci kolei, jedności ruchu*, jednak nie uzyskano, a wadliwość ta była tak wielką, że hasło: „jedność szerokości toru“ stało się ogólnem.

Koleje, które opuściły szerokość toru Stefensona (jak n. p. kolej Great-Western, koleje holenderskie, badeńskie i t. p.) wracają napowrót do niej, przebudowując swe tory, a jak gorączkowo się brano do przebudowania kolei, świadczy nam n. p. amerykańska kolej *Pacyfik*, która mając 506 kilometrów długości, zamieniła szerokość swych torów na szerokość prawidłową w ciągu 12 godzin.

Praca 1350 równocześnie zajętych a dobrze wyćwiczonych robotników, sprawiła przy odpowiedniej organizacyi, że owa kolej, mając rano, dnia 18go sierpnia szerokość nadmiarową, posiadała wieczór tegoż samego dnia, szerokość prawidłową.

W ogólnym ruchu, Rosya i Hiszpania tworzą jedyny wyjątek, pozostając przy raz obranej, chociaż nadmiarowej szerokości toru. Państwa te, nie miały bowiem powodu do przebudowania swych torów, Hiszpania z powodu swego położenia geograficznego, Rosya zaś, przedstawiając ogrom obszaru terytoryalnego i sama dla się wystarczając na sąsiadów oglądać się nie potrzebowała.

Obecnie znachodzimy w Europie następujące szerokości nadmiarowe:

Rosya......	1·51 m.
Szkocya....	1·60 „
Hiszpania ..	1·74 „
Irlandya....	1·83 „
Holandya...	1·93 „

3.

Koleje wązko-torowe.

Podobnie jak w roku 1838 chęć szybkiej jazdy, jakoteż uzyskania możebności przewozu znacznych mas, zrodziła myśl rozszerzania toru prawidłowego, tak w nowszym czasie, wywołuje zmysł oszczędności, budowę kolei mających mniejszą szerokość od szerokości prawidłowej.

Niechodzi tu jednak o przebudowywanie dróg prawidłowych na drogi wązko-torowe lecz o budowę nowej sieci drug żelaznych, o tak zwane koleje *drugorzędne;* a kwestya szerokości toru, jaką nadać można kolejom takim, do tej chwili jeszcze rozstrzygniętą nie została, albowiem są okoliczności, które przemawiają za, inne znów przemawiające przeciw torom wązkim.

Ze wszystkich kolei drugorzędnych, amerykańska kolej *Bedford-Billerica*, jest najwęższą, szerokość jej toru wynosi bowiem tylko 0·25^{m}, po niej następuje kolej *Festiniog* przeżynająca Walię, szerokość jej toru wynosi 0·596^{m}, dalej kolej *Oldenburgska*, mająca 0·65^{m} szerokości, a nareszcie koleje w *Norwegii*, których szerokość wynosi 1·067^{m}.

Zapatrując się na kolej ze stanowiska przedsiębiorcy, mieć będzie racyę bytu ta tylko kolej, na której rozchód trzyma równowagę dochodom. Przewóz na koleji musi więc tyle przynosić, ile trzeba na pokrycie kosztów budowy, utrzymania toru i budynków, jakoteż prowadzenia ruchu.

Koleje, których budowa i utrzymanie kosztują wiele wymagają przeto znacznego ruchu, podczas gdy koleje taniej budowane i administrowane, mniejszym ruchem zadowalniać się mogą.

Wynika ztąd, że istnieć będzie między szerokością toru, a ilością ruchu, pewien związek, który sprawi, że w pewnych razach będzie odpowiedniejszą kolej wązko-torowa, w innych zaś kolej, mająca prawidłową szerokość toru. Koleje wązko-torowe, nie odpowiadają zwykle ruchowi ożywionemu, koleje zaś mające prawidłową szerokość toru są niestósowne dla ruchu słabego.

Jako zaletę koleji wązko-torowych uważać wypada możność uzyskania korzystniejszego stósunku ciężaru *tary* do ciężaru *netta*, a co ważniejsza, możebność prowadzenia toru daleko ostrzejszemi łukami, aniżeli to uczynić można na kolejach mających prawidłową szerokość toru, a okoliczność ta sprawia, że koleje wązko-torowe dają się zastosować daleko łatwiej do zmienności terenu, co znów znacznie zmniejsza koszta ich budowy.

Koszta budowy koleji wązko-torowych, wynoszą wprawdzie rzadko więcej jak 85% kosztów budowy koleji, mających prawidłową szerokość toru, prowadzenie ruchu na kolejach wązko-torowych, jest jednak droższem od prowadzenia ruchu na torach szerokich, a powziąć to można już z tej okoliczności, że opór, jaki zwalczać mają pociągi, toczące się po torze wązkim, przewyższa opór zjawiający się na torach prawidłowej szerokości, więcej niż o 20%.

Że jednak pomimo to, na kolejach wązko torowych zadosyć uczynić można wymogom, nawet dosyć ożywionego ruchu, świadczy nam najlepiej kolej *Festiniog*, przerzynająca *Walię*. Lokomotywy tej koleji aczkolwiek lekkie, bo ważące 20—24 tonn, prowadzą przecież pociągi znacznej długości, bo 300—400 metrów długie a co ważniejsza, prowadzą je chyżością dochodzącą częstokroć do 50 kilometrów na godzinę, a więc chyżością naszych pociągów pospiesznych. Ze względu wreszcie na to, że na wozach wązko-torowych koleji, działa przewozić się dają, orzec można, że koleje takie, odpowiadają także wymogom strategicznem

Co się tyczy uwagi, że wozy kursujące na kolejach mających prawidłową szerokość toru, przechodzić nie mogą na koleje wązko-torowe, zauważać trzeba, że konieczność przeładowywania towarów na stacyach, gdzie się stykają koleje wązko-torowe z kolejami prawidłowemi nie sprawia tak wiele trudności jak to może na pierwszy rzut oka się wydaje, w tym czasie bowiem, który wóz w stacyi pogranicznej wyczekiwać musi na pociąg koleji sąsiedniej, można go przeładować, a koszta przeładowania nie wynoszą podług zestawień posła *Grossa* dyrektora austr. koleji północnozachodniej więcej, jak $9\frac{1}{2}$ centów od tonny ciężaru.

Ustawiając zaś w takich stacyach maszyny, które siłą pary przeładowywują wozy, jak to się dzieje w Ameryce sprawić można, że koszta przeładowywania znacznie się zmniejszą. Amerykanie mają bowiem tak zbudowane wozy, że pudło czyli skrzynia z wozu zdejmować się daje. W takim razie niepotrzeba nic więcej, jak tylko zdjąć skrzynię naładowaną towarem i wstawić ją na wóz nie mającyskrzyni, a ustawiony na torach drugiej koleji. Na cele takiego przeładowywania ustawiono w *Nowym Jorku* maszynę parową, pracującą siłą 15 koni, a maszyna ta przeładowywuje w ciągu godziny 11 wozów, kosztem 6 cents. od tonny ciężaru.

Koleje europejskie, nie chcąc przesuwać skrzyń z wozu na wóz, przesuwają koła jednego i tego samego wozu, a przesuwają je *wzdłuż osi*, tak, że po przesunięciu kół, wóz przejść może z jednego toru na drugi, w którym to razie naturalnie przeładować go już nie trzeba.

Tam zaś, gdzie różnica w szerokości torów nie jest znaczną, a mianowicie wszędzie tam, gdzie nie przewyższa 12—18 milimetrów, nawet kół rozsuwać nie potrzeba, gdyż szerokość dzwonu przejazd z jednego, na tor drugi umożliwia. Koła bowiem, mając dostatecznie wielką powierzchnię obrotową, potoczą się w takim razie tak dobrze po torze mającym szerokość $1\cdot435^{m}$ jak po torze $1\cdot435 + 0\cdot018 = 1\cdot453$ szerokim.

Zważywszy to, co powiedziano, przychodzimy do przekonania, że dla krajów mało zaludnionych nie mających rozwiniętego przemysłu, a przytem geograficznie odosobnionych od sieci dróg pierwszorzędnych, koleje wązko-torowe wymogom odpowiadać mogą. Budowa takich koleji mówi *Jacobsen* będzie zawsze jednak „gospodarką biedaka“, która jak powszechnie wiadowo, droższą jest od gospodarstwa, mającego na usługi odpowiednie kapitały.

4.

Przyrządy służące do peryodycznego mierzania szerokości toru.

Wstrząśnienia i boczne ruchy taboru, objawiające się w czasie jazdy, sprawiają, że pierwotna szerokość toru, po upływie pewnego czasu, mniej lub więcej się zmieni.

Ze względu na bezpieczeństwo jazdy i taboru, niezbędnem jest, badać pod tym względem peryodycznie stan budowy wierzchniej, posługując się właściwymi, do tego użytku przeznaczonemi przyrządami.

Z pomiędzy tego rodzaju przyrządów, najbardziej zdaje się być rozpowszechnioną sztabka *Obermayera*. Kładąc takową na poprzek toru, odczytuje się na umieszczonej na jej powierzchni przedziałce, przy pomocy przesuwać się dających saneczek, szerokość, którą tor posiada w tem miejscu, w które sztabkę włożono.

Stabki podobne odpowiadają zupełnie, skoro chodzi o pomiar w danym punkcie, przestają być jednak wygodnemi, gdy przyjdzie rozmierzyć *całą* linię, zwłaszcza, że w takim razie inspicient musiałby nosić instrument zawsze ze sobą, gdyby nie zadawalniał się kontrolą na oko.

Inżynier *Polizer* w Wiedniu, obmyślał w roku 1880 instrument mierniczy, który służyć może zarazem jako laska przy przechadzkach inspicienta. Laska mająca metr długości, wydłużyć się daje bez mała do podwójnej długości, złożono ją bowiem z dwóch jedna w drugą na podobieństwo lunety wsuniętych rurek, wyrobionych z mosiądzu, a ważących w całości 0·9 kilograma.

Sztabką Polizera mierzyć można nie tylko szerokość, ale nadto także wywyższenie i stromość toru. Pomimo swych zalet, posiada ona jednak zawsze jeszcze tę niedogodność, że chcąc tor mierzyć, trzeba sztabkę rozsuwać, przykładać, zdejmować i znów zesuwać, które to czynności, gdy chodzi o *ciągły* pomiar we wszystkich punktach całej długości toru; są żmudne.

W chęci umożliwienia spieszniej, a przeto i tańszej kontroli, rozmyśliwano nad przyrządami, któreby dozwalały pomiar szerokości, bez ustawiania przyrządu mierniczego w miejscu, w którem się mierzy, a inżynierowie *Kayser* (1873), *Claus* (1876), *Hochgrasl* i *Dorpmiller* (1878), obmyślili takie instrumenta.

Pomijając instrument mierniczy Kaysera, jako nieco dawniejszy, opiszę w krótkości zasadę, na jakiej polegają przyrządy inżynierów Clausa i Hochgrasla.

Claus, starszy inżynier dróg żelaznych w Brunszwiku używa do kontroli nawierzchniej budowy osobnego wozu w którym umieszcza cały szereg przyrządów mierniczych

Na poziomej osi, znajdującej się pod podłogą wozu rewizyjnego, osadza Claus pomiędzy dwiema w normalnem położeniu umieszczonemi osiami, oś trzecią, a na niej dwa koła dające się przesuwać wzdłuż tejże osi; kółka te rozpychane sprężyną, toczą się podczas jazdy po torze, oddalając się od siebie w miejscu, gdzie się tor rozszerza i zbliżając się do siebie tam, gdzie tor się zwęża, a każdy ich ruch wzdłuż osi odczytywać się daje na mechanizmie zegarkowym, umieszczonym we wnętrzu wozu.

Wozem Clausa zrewidować można w ciągu jednego dnia 240 kilometrów drogi, otrzymując na papierowym pasku, przesuwanym za pomocą wspomnianego mechanizmu dane, odnoszące się tak do szerokości, jak też do stromości i wywyższenia toru.

Wóz rewizyjny Clausa rozpowszechnia się co raz więcej, obecnie (1878) znaleźć go już można na 20 kolejach, należących do związku niemieckich dróg żelaznych.

Hochgrasl, inżynier otomańskich dróg żelaznych w Stambule, zbudował w roku 1878 wózek kolejowy, tak zwaną drezynę, biegnącą szybkością 8—10 kilometrów na godzinę, urządzoną tak, że odczytywać dozwala, podczas jazdy, wszystkie zboczenia toru z prawidłowej jego szerokości. Drezyna Hochgrasla, spoczywa na dwóch osiach, na których osadzono 4 koła, jednę z tych osi przecięto, i złożono napowrót w kształcie lunety, osadzając koła tak, że jedno z nich znajduje się na pochwie, podczas gdy drugie na trzonie siedzi. Sprężyna, wsunięta na oś lunetową, rozsuwa koła od siebie tak, iż zawsze stoją o ile możności w jak największym od siebie oddaleniu.

Jadąc po torze, którego szerokość sprawdzać mamy, rozsuwają się koła lunetowej osi, skoro tor się rozszerza, a zbliżają się do siebie, gdy tor się zwęża. Ruch kół *wzdłuż lunetowej osi*, przenosi się do wnętrza drezyny za pośrednictwem odpowiednio urządzonej transmisyi w ten sposób, że odczytywać można wynik pomiaru, na pasku papierowym. Długość paska, nawijającego się przy pomocy zegarkowego mechanizmu, odpowiada $\frac{1}{1000}$ długości przebytej drogi. W czasie jazdy po przestrzeni 100^m długiej, obracają się koła drezyny 100 razy około swej osi, paska zaś, nawinie się tylko 10 milimetrów. Drezynę Hochgrasla znaleźć można na kolejach otomańskich, w Bawaryi i na niektórych kolejach niemieckich.

5.

Szyna.

Chęć utrzymania toru koleji drewnianych ile możności jak najmniejszym kosztem, spowodowała naszych ojców do układania łat, na brusach, z których tor powstawał, a łaty takie były pierwszemi szynami, o których historya wspomina. Ponieważ drewniane łaty prędko się ścierały, więc myślano już w roku 1556, o zastąpieniu ich żelazem. W tym bowiem roku poczęto po raz pierwszy przybijać na *drewniane* brusy sztaby *żelazne*.

Zwyczaj ten, praktykowany w kopalni *Falkenstein* w Tyrolu, przeniósł się wprawdzie do Anglii, nie rozpowszechnił się tam jednak z powodu wysokiej ceny sztab, które wówczas z wolnej ręki odkuwać musiano.

W porcie *Whitehaven* zaś, brusów nie *okuwano*, lecz poczęto w roku 1738 na ich powierzchni układać płyty, odlewane ze *surowca*, lecz i płyty takie zwane „Plate-Ways“, więcej się nie rozpowszechniły. Dopiero przypadek zmienił sytuacyę. W roku 1767 spadły bowiem w Anglii ceny surowca do tego stopnia, że gisernie prawie już pracę zawiesić miały. *Raynolds*, jeden ze współwłaścicieli hut żelaznych w *Coalebroocke-Dale* (we Walii), tych samych hut, z których pierwszy most żelazny na świat wyszedł; wpadł na myśl, zamiast zastanowić piece giserskie, odlewać, w nich płyty, które służyć miały już nie do okuwania, lecz do wykładania brusów koleji konnych, a płyty te miano z torów wyjąć, gdy cena surowca się podniesie. Do tego jednak nie przyszło, pomimo, że cena surowca poszła w górę, *szyny lane* pozostawiono w torze, bo się przekonano, że zysk na sile przewozowej sprawiony jazdą po torze takim, przewyższał daleko wartość użytego surowca.

Szyny Raynoldsa, były to płyty, mające $1{\cdot}52^{m}$ długości 10·16 centymetrów szerokości, a 3·16 centimetra grubości. Celem przymocowywania ich do brusu, na którym spoczywały, wyrabiano w nich trzy dziury, przez które wchodziły gwoździe przytwierdzające szynę do podkładu. Górna powierzchnia szyny, tj. powierzchnia po której koła się toczyły, była wyżłobioną, tak, że szyna przedstawiała niejako rynewkę mającą przekrój pół księżyca.

Szyna Raynoldsa była więc *pierwszą szyną* na świecie, którą użyto do *budowy* toru, a dzień 17 listopada r. 1767, w którym Raynolds począł szyny swe odlewać, był dniem jej urodzin.

Jak długo jeżdżono z wolna tylko, toczyły się koła wozów dosyć dobrze w rynewce wyżłobionej w szynie surowcowej, gdy zaś jazdę przyspieszano, koła z rynewki wyskakiwać poczynały.

Benjamin *Curr*, nadając w roku 1776 szynie po jednej stronie wystający brzeżek, sprawił, że jazda na kolejach konnych bez przygód się odbywała.

Okoliczność ta spowodowała furmanów, trudniących się przewozem węgla po zwykłej szosie, do zniszczenia torów, podpalenia magazynów, wogóle do straszliwej dewastacyi, a Curr ukrywając się przez 3 dni w okolicznych lasach, zaledwie życie uratował. Szyna Curra pomimo zabiegów robotników przecież się utrzymała, koleje konne rozszerzały się co raz więcej, a w miarę ich rozwoju, szynę ulepszano.

Ponieważ czyszczenie szyny, zaopatrzonej brzeżkiem sprawiało pewne trudności, gdyż kurz, błoto, lud i śnieg na szynach takich uporczywie się osadzał, więc powziął w roku 1789 *Jessop* w Leicestershire myśl, na podłużnej podwalinie układać *gładką* szynę, a więc szynę nie mającą ani rynienki, ani też brzeżka, a zaopatrzyć natomiast *koła* po obu stronach dzwona, we *wystające obręcze*, tak zwane *wieńce*, a myśl *wywyższenia gładkiej szyny po nad poziom otoczenia*, inauguruje nową erę w historyi rozwoju budowy toru.

Szynie takiej, niemiano bowiem nic więcej do zarzucenia, jak tylko *kruchość materyału*, z którego ją wyrabiano, która to niedogodność tem przykrzejszą była, że nie dozwalała rozsuwać podstaw na których szyna spoczywała, tak daleko, jak to ekonomia wymagała. Starano się też dojść w drodze rachunku do najodpowiedniejszego przekroju, a poszukiwaniom tym zawdzięczają szyny wygięte u spodu w linii eliptycznej istnienie swoje.

Tem jednak nie ulepszono materyału, z którego szynę wyrabiano, usiłowania te, przyprowadziły jednak do przekonania, że chcąc zrobić reformę, surowiec zarzucić trzeba.

Myślano o kutem żelazie, wyrabiając w roku 1808 na konnej koleji lorda *Carlisle* (w Tindall-Fell) szyny takie; były one jednak nadzwyczaj drogie i wżerały się ostrym swym kantem tak mocno między dzwon, a wieniec koła (które wówczas hartować nie umiano), że tarcie, tym sposobem powstające, *przewóz* znacznie utrudniało.

Zdawało się, że już wyjścia nie ma, szyna odlewana ze surowca, była za kruchą, wykuwana ze żelaza, za drogą, a innych materyałów, używać nie umiano.

Zrozumiano wprawdzie, że tylko proces *technologiczny* t. j. inny a mianowicie tańszy sposób wykuwania szyn złemu zaradzić może; procesu takiego jednak nie znano.

Tak stały rzeczy do października roku 1820. Na dniu 23 października tegoż roku, otrzymał bowiem naczelnik huty żelaznej w Durham, John *Birkenshaw* patent, na wykuwanie szyn dowolnego przekroju nieużywając często powtarzających się uderzeń *młota*, lecz ciągłego spokojnego nacisku sprowadzonego obrotem stósownie ustawionych *walców*.

Wynalazkiem *walcowania*, zakończa się historya rozwoju fabrykacyi szyn, wszystko bowiem co potem następuje, aczkolwiek ma znaczenie, doniosłości wynalazku walcowania, jednak nie posiada.

Birkenshaw walcował szyny nadając im 18 stóp angielskich czyli 5·94^{m} długości, a umniejszając długością taką znacznie ilość składów, sprawił, że już przy budowie pierwszej kolei obsługiwanej parą (kolej Stocton-Darlington) *Stefenson*, budowniczy tejże koleji, mógł użyć szyn walcowanych.

Szynom walcowanym nadano tę samą formę jaką rachunek wykazał za najodpowiedniejszą dla szyn podpartych li tylko na obydwóch końcach, nie pomyślano bowiem wówczas, że szyna będąc podpartą w kilku miejscach, przedstawia belkę ciągłą, która, jak to dzisiaj wiemy, wymaga na podparciach również pewnego przekroju.

Robert Stefenson, genialny syn sławnego Jerzego, odczuwając brak instynktowo zaradził złemu, używając szyn w przekroju swem, symetrycznie zbudowanych, a mianowicie szyn mających przekrój podobny do biszkoktu.

Symetryczne szyny przyjęto przychylnie, mniemając, że używać je będzie można, nietylko po obydwóch stronach ale nadto że w razach potrzeby, łatwiej z toru wyjąć się dadzą, aniżeli szyny nie mające przekroju takiego; a mniemanie to tak się zakorzeniło, że francuzi do dziś dnia zwolennikami szyn takich pozostali, pomimo że późniejsze doświadczenia pouczyły, że owe korzyści, wcale nie istnieją. Spostrzeżono bowiem, że szyna zużyta, zmienia swój ustrój międzycząsteczkowy na niekorzyść wytrzymałości, jakoteż, że szyna taka, gdy się ją obróci, nie siedzi już w siodełku tak dobrze, jak siedziała dawniej, traci bowiem swój pierwotny przekrój odpowiadający przekrojowi siodełka, podczas gdy siodełko, przekroju swego nie zmieniło. Że tak jest, świadczą nasze, do niedawna jeszcze powszechnie w stacyach używane *zwrotnice*, przy których szyna spoczywała w siodełku odlewanem ze surowca.

Odczuwano więc niedogodności jakie sprawia szyna symetryczna, nie mniej sposób osadzania jej w siodełkach które przytwierdzano do progów, nie umiano jednak sobie zaradzić. Dopiero szyny *szerokostopowe*, a więc szyny, jakich dzisiaj używamy, braki wszelkie usunęły.

Stevens w Ameryce, nadając szynie w roku 1830 przekrój, jaki obecnie mają szyny, sprawił, że szynę taką przymocowywać było można *bezpośrednio* do progu, na którym spoczywała nie używając już więcej siodełek. Siodełko uważać bowiem można, niejako za kowadło na którem, toczące się koła, szynę bezustanku kują, co sprawia, że szyny mocniej się zgniatają na siodełku niż tam, gdzie są wolne, przez co znów wytrzymałość ich cierpi. Szyna Stevensa nie miała początkowo wzdłuż całej swej długości jednakiego przekroju, w odstępach 70 centimetrowych znajdowały się bowiem zioberka, które przyczyniać się miały do wzmacniania wytrzymałości szyny. Stevens, przekonawszy się o mylności swego mniemania, zarzucił później zioberka i wyrabiał szyny jednolite.

Vignoles prezes instytutu cywilnych inżynierów w Londynie, przekonawszy się w Ameryce o doskonałości szyn Stevensa, przeniósł je w roku 1832 do Londynu, a szyny szeroko-stopowe nazwano szynami Vignolesa. Austryacka kolej północna, budując się w roku 1836 nie miała jeszcze szyn szeroko-stopowych, szyny takie użyto na kontynencie dopiero w roku 1838 przy budowie kolei wiodącej z Lipska do Drezna.

Szyna szeroko-stopowa świat zawojowała, dzisiaj już innej znaleść nie można, materyał tylko, z którego szynę wyrabiamy, się zmienił. Poczęto bowiem od roku 1860, wyrabiać szyny *stalowe*, a wyrób ten wydoskonalono już do tego stopnia, że obecnie szyny stalowe częściej są używane, aniżeli żelazne. W najnowszym czasie (1872) usiłują

Amerykanie wprowadzić szyny *wydrążone*, wyrabiane walcowaniem rur, utrzymując, że szyny takiego wyrobu, posiadając większy stopień elastyczności i cichy ruch pociągów umożliwiają. O praktycznej doniosłości wynalazku pana *Sanborn*, z braku odpowiednich doświadczeń, dzisiaj sądu wydać nie można.

Znając wytrzymałość żelaza i stali, jakoteż możebnie największy nacisk jaki na szynę wywrzeć można, niemniej odległość progów na których szyna spoczywa, obliczyć się daje *przekrój* szyny. Profesor *Winkler* w Wiedniu, przeprowadzając odpowiedni rachunek, znalazł dla:

szyny	żelaznej	stalowej
wysokość w milimetrach	130	123
ciężar metra bieżącego, w kilogr.	$37 \cdot_2$	$31._8$

W praktyce kolejowej, przyjęto zaś następujące rozmiary:

rozmiar	szyna żelazna	szyna stalowa
w	$= 70 \cdot 9 \sqrt[3]{d\,p}$	$= 68 \cdot 0 \sqrt[3]{d\,p}$
a	$= 0 \cdot 115\ w$	$= 0 \cdot 115\ w$
s	$= 0 \cdot 8\ w$	$= 0 \cdot 8\ w$
z	$= 0 \cdot 0022\ w^2$	$= 0 \cdot 0021\ w^2$

w której to tabliczce wyraża:

w... wysokość szyny, w milimetrach,
a... grubość szyny w połowie wysokości, w milimetr.
s... szerokość stopy, w milimetrach,
z... ciężar metra szyny, w kilogramach,
d... odległość progów od siebie, w metrach,
p... ciśnienie koła na szynę, w tonnach à 1000 kilogramów.

Podług ustawy dróg żelaznych należących do związku kolejowego, ciśnienie p nie śmie nigdy więcej wynosić jak 7 tonn, oś i na niej osadzona para kół sprawia więc na obydwa toki, ciśnienie $2\ p = 14$ tonn. Ze względu na odległość progów, wynoszącą przeciętnie 0·9^m, waży szyna żelazna na metr długości 31—37 kilogramów, mając przekroju 30—49 □ centimetrów, a wysokości 120—130 milimetrów.

Następująca tabliczka zawiera rozmiary szyn *stalowych*, używanych na kolejach galicyjskich.

Kolej	wysokość m/m	szerokość stopy m/m	szerokość głowy. m/m	szerokość szyjki m/m	przekrój w □ m/m	metr szyny waży kilogr.
Karola Ludwika	119	110	57	13·$_2$	4036	31·00
Lwowsko-Czerniowiecka....	120	110	57	12·$_0$	3900	30·67
Pierwszo-węgiersko-galic. ..	120	110	57	12·$_0$	3900	30·5
Arcyks.-Albrechta.........	120	110	57	12·$_0$	3944	30·7

Na austryackich kolejach znachodzimy obecnie (1880) 35 rozmaitych profili szyn, a rozmaitość ta skłoniła ministra handlu do ujęcia sprawy, zaprowadzenia jednakowego profilu, we własne ręce.

6.

Zużywanie się szyn.

Roczny ubytek żelaza, spowodowany ścieraniem się szyn skutkiem ruchu pociągów na kolejach żelaznych znajdujących się na ziemi naszej, szacować trzeba nie na tysiące, lecz na miliony tonn.

Długość dróg żelaznych wynosi na ziemi naszej 320·000 kilometrów, a doliczając do tego koleje dwutorowe, jakoteż tory uboczne, leżące w stacyach, szacować trzeba długość toru na 400.000 kilometrów.

Na kilometr toru wychodzi 70 tonn żelaza, ciężar żelaza leżącego w torach, wynosi więc bez mała 30 milionów tonn; chcąc ilość tę żelaza produkować, pracować by musiały wszystkie huty żelaza więcej aniżeli 2 lat, bo roczna produkcya żelaza wynosi obecnie (1876) tylko 13·8 milionów tonn.

Zważając, że szyna w torze leży przeciętnie przez lat 10, wypada, że rocznie wymieniać trzeba 3 miliony tonn żelaza.

Ilość ta żelaza wyrobiona na szyny wydać by mogła 40.000 kilometrów toru, a ponieważ obwód ziemi naszej również mierzy 40.000 kilometrów, więc ubywa na kolejach rocznie tyle szyn, że ubytkiem tym opasać by można ziemię naszą dokoła.

W Austryi ściera się na torach rocznie więcej żelaza, aniżeli leży w torach przerzynających Galicyę.

Licząc tonnę żelaza po 80 złr. wynosi roczna strata, spowodowana ruchem pociągów 240 milionów czyli blisko $^1/_4$ miliardy złr.

Doświadczenia kolei belgijskich pouczyły, że po przejściu jednego pociągu ubywa na kilometrze toru w przecięciu 100 gramów czyli 0·1 kilograma żelaza.

Podług sprawozdań amerykańskich wypada z doświadczeń 26 kolei tamtejszych, że szyna żelazna trwa 3—12 przeciętnie więc $7^1/_2$ lat, szyna stalowa zaś 9—18, w przecięciu $13^1/_2$ lat.

Na amerykańskiej kolei Lehigh-Valley tak ruch jest ożywionym, że szyny, w które włożono tor we wrześniu 1867 roku, wymienić już musiano z końcem tegoż samego roku.

Belgijska kolej „Grand-Centrale“ wymieniać musiała szyny swe po upływie 3 miesięcy, ruch 30 pociągów na dobę, tak mocno je ścierał!

Lecz nie tylko ruch, ale i wpływ powietrza, deszczu, śniegu, jakoteż i rdza przyczyniają się znacznie do zniszczenia szyn.

Na kolei wiodącej z Kolonii do Minden zauważano, że szyny złożone na skład w roku 1870 pokryły się po upływie 7 lat warstwą rdzy, mającą grubości 3 milimetry, a gdy warstwę tę usunięto w roku 1877, przekonano się, że $1^1/_2$ milimetra żelaza na szynie ubyło, skąd wniosek, że rdza zajmuje dwa razy tyle miejsca, ile zajmuje żelazo, z którego powstała.

Mając ruch pociągów na uwadze myśleć by można, że na kolejach dwutorowych powinny się szyny o połowę mniej ścierać, aniżeli na kolejach jednotorowych.

Tak jednak nie jest, statystyka wykazuje bowiem, że szyny ścierają się na kolejach dwutorowych nie o $^1/_2$ lecz tylko o $^1/_3$ lub $^1/_4$ mniej, aniżeli szyny kolei jednotorowych. Jazda tu i napowrót ściera więc szynę daleko mocniej, aniżeli jazda w jednym kierunku.

Jak dalece jazda szyny ściera, powziąść można także z tej okoliczności, że szyny leżące na kolejach brunszwickich starły się w ciągu $10^3/_4$ lat o 4 milimetry swej wysokości, a ponieważ w ciągu tego czasu potoczył się po owych szynach ciężar $22^1/_2$ milionów tonn, więc przesunąć można po szynie ciężar $\frac{22^1/_2}{4} = 5\cdot6$ milionów tonn, zanim szyna zetrze się o grubość milimetra.

A ponieważ szyna stalowa (a o takich mowa) używać się daje, dopóki grubość jej nie zmniejszy się o 10 milimetrów, więc potoczyć można po szynach stalowych ciężar $10.5\cdot6 = 56$ milionów tonn, zanim szyny zupełnie się zużyją.

Szyny żelazne nie są tak wytrzymałe, doświadczenie poucza, że przestają być użytecznemi po przejściu ciężaru 20 milionów tonn.

Szyny leżące w spadkach ścierają się mocniej od szyn ułożonych na poziomej, doświadczenia koleji nadreńskiej z roku 1876 pouczyły, że na spadku 1 : 100 czyli $10^0/_{00}$ ścierają się szyny 9 razy mocniej, niż na poziomej, austryacka zaś kolej południowa przekonała się, że szyny na górze Semmering, leżące w spadku 1 : 40 czyli $25^0/_{00}$, ścierają się $31^1/_2$ razy mocniej od szyn leżących na poziomej.

Spostrzeżenia podobne naprowadziły na myśl, że między stromością spadku a wielkością zużycia się szyny zachodzi może związek, który ująć by można we formę algebraiczną, a mniemania te były nie płonne, udało się bowiem panu *Stockertowi*, inspektorowi austryackiej kolei północnej wykazać w roku 1872 na podstawie zapisków wieluletnich, że związek podobny rzeczywiście istnieje i że się wyrażać daje wzorem:

$$a_1 = \frac{a}{1 + \left(\frac{m}{10}\right)} \qquad (1$$

w którym wyraża:

a . . . ilość milionów tonn, które potoczyć można po szynie leżącej w poziomej, zanim zupełnie się zużyje.

a_1 . . ilość milionów tonn, które wytrzyma szyna ułożona w spadku.

m . . . stromość spadku wyrażona w milimetrach na metr poziomej długości.

Na spadku 10‰, wykazuje ów wzór, że szyna ściera się:

$$a_1 = \frac{a}{2}$$

co znaczy, że szyny leżące w spadku 1 : 100 zużyją się zupełnie, skoro potoczy się po nich ciężar połowę tak wielki, jaki wytrzymają szyny leżące na poziomej.

Przypuszczając ruch jednostajny, wyrzec można, że w spadku 10‰ leżą szyny o połowę tak długo, co w liniach prostych, tak hamulce mocno szyny ścierają!

Obserwując zużywanie szyn w łukach wykazał *Stockert*, że po szynach leżących w łuku zatoczonym promieniem R metrow, nie będzie można przewieść a milionów, lecz tylko a_1 milionów tonn, gdzie wyraża się a_1 wzorem:

$$a_1 = \frac{a}{1 + \left(\frac{290}{R}\right)} \qquad (2$$

z którego wypada, dla łuku zatoczonego promieniem 290^m: $a_1 = \frac{a}{2}$, co znaczy, że szyny leżące w prostej trwają dwa razy tak długo, aniżeli szyny leżące w łuku, którego promień wynosi 290 metrów.

Przyczyną mocniejszego ścierania się szyn w łukach nie jest już działanie hamulców, siła odśrodkowa zradzająca się przy każdym ruchu krzywolinijnym sprawia w łukach to, co na spadkach czynią hamulce.

A ponieważ siła odśrodkowa wysuwa pociąg na zewnątrz toru, więc też tok leżący na zewnątrz mocniej ścierać się będzie od toku wewnętrznego.

7.

Prawa Stockerta.

Szyny włożone w tor, zniszczą się po upływie roku, do pewnego stopnia tylko, a nie zużywają się jednakowo, tak aby na każdej z niej ubyła jednakowa ilość materyału, doświadczenie bowiem poucza, że po upływie pierwszego roku, na 100 szyn zaledwie jedna do tego stopnia się zniszczy, że na jej miejsce inną ułożyć trzeba.

Rok później, a więc dwa lat po zbudowaniu toru, już więcej szyn, aniżeli jednę wymieniać będzie trzeba, gdyż wszystkie szyny leżące w torze z wyjątkiem tej jednej wymienionej (lub tych kilku wymienionych) znajdują się tam przez 2 lat, a więc możebność zepsucia się, jest większą.

Procent wymiany nie wzrasta jednak proporcyonalnie do ilości lat, przez które szyna leży w torze lecz — jak to poucza doświadczenie — spieszniej.

Na podstawie zapisków prowadzonych na austryackiej kolei północnej przez wiele lat, wykazał Stockert (1872), że od chwili ułożenia toru ze szyn nowych, aż do chwili, w której przejdzie po szynach tych, ciężar wynoszący 8 milionów tonn, wymienić trzeba będzie w torze na 100 szyn 8·3 sztuk, potoczy się zaś od początku ułożenia toku ciężar 10 milionów tonn, to wymienić trzeba już 13·4% szyn.

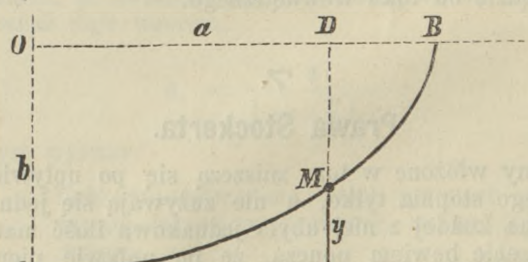
Stockert wykazał więc, że po przejściu ciężaru:

8	milionów tonn, wymieniano	8·3
10	„ „ „	13·4
12	„ „ „	20·0
14	„ „ „	28·6
16	„ „ „	40·0
18	„ „ „	56·4
20	„ „ „	100·0

procent w torze znajdujących się szyn, że więc po przejściu ciężaru 20 milionów tonn, szyny zupełnie się zużyły, tak, że po przejściu tego ciężaru tor powstawał już z nowych szyn.

Odcinając ciężary przytoczone w tabliczce na poziomej rzędnej, licząc zawsze od punktu A w kierunku strzałki, otrzymamy punkta, a ustawiając w punktach odciętych, liczby wyrażające procent wymiany, jako piony, otrzymujemy, łącząc końce tych pionów linią krzywą, uwidocznioną we figurze, która to linia jak Stockert wykazał jest elipsą.

Fig. 1.



Krótka oś elipsy linia (OA = b) przedstawia we figurze 1. ilość szyn włożonych początkowo w tor, z tej ilości pozostało w torze po przejściu ciężaru A P = x milionów tonn, tylko D M = (b — y) szyn dobrych podczas gdy M P = y szyn, wymienić musiano.

Po przejściu O B = a milionów tonn, nie pozostało w torze, z początkowo włożonych szyn *b*, ani jednej, wszystkie wymieniać musiano.

Linia O B = a przedstawia więc ten ciężar po którego potoczeniu się, szyny zupełnie się zużyją, a skoro ten ciężar znamy, określone są tem samem obydwie osie *a* i *b* naszej elipsy.

Równanie elipsy, której centrum leży we wątku układu prostokątnego, a więc w punkcie *O* jest jak wiadomo:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

równanie jej zaś, skoro wątek układu przeniesiemy do punktu A, otrzymamy, wstawiając w powyższy wykaz zamiast y, (y — b) a będzie w takim razie:

$$a = \frac{b\,x}{\sqrt{y\,(2b-y)}} \qquad (3$$

związek, czyli prawo, któremu podlega zużycie się szyn.

W równaniu powyższem oznacza:

x . . ciężar wyrażony w milionach tonn, jaki potoczono po torze od początku jego użycia.

y . . ilość szyn, jaką z toru wyjąć musiano po potoczeniu się ciężaru x milionów tonn.

a . . ciężar wyrażony w milionach ton, po przejściu którego szyny tak się ścierają, że je więcej użyć już nie można.

b . . ilość szyn leżących w torze.

Biorąc pod uwagę kawałek toru, w którym się znajduje 100 szyn, pisać trzeba b = 100, a w takim razie oznaczać będzie *y*, wymianę szyn, wyrażonej w procentach. Wzór numer 3. przejdzie zaś w takim razie we wzór:

$$a = \frac{100\,x}{\sqrt{y\,(200-y)}} \qquad (4$$

z którego oznaczać można, procent wymiany, skoro znamy trwałość szyny, t. j. skoro znamy ciężar *a*, jaki po szynie potoczyć się daje, nim szyna zostanie zupełnie zużytą.

Wspomniano w §. 6. że podług doświadczeń francuzkich, uważać można ciężar 20 milionów tonn, jako granicę, wstawiając więc we wzór powyższy, a = 20, otrzymujemy:

$$y = 100 - 5\sqrt{400 - x^2} \quad (5$$

w którym oznacza:

x . . ciężar wyrażony w milionach tonn, jaki po szynie potoczono.

y . . procent szyn, jaki wymieniać trzeba, gdy ciężar *x* po szynie się potoczył.

Wstawiając za x dowolne wartości x = 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, otrzymujemy y = 8·3, 13·4, 20·0, 28·6, 40·0, 56·4, 100 a więc, wartości podane na wstępie tego paragrafu.

Z podanego równania wypływa, że w chwili, w której połowę szyn wymieniono, potoczyło się po szynach przeszło $^3/_4$ tego ciężaru, który w ogóle po nich potoczyć można.

Wstawiając bowiem w wyraz (5), y = 50, otrzymumujemy x = 17·32, a ponieważ maximum ciężaru, jaki potoczyć można wynosi x = 20 milionów tonn, więc przedstawia ciężar 17·32 milionów tonn $\frac{17 \cdot 32}{20} = 0 \cdot 86$ ciężaru maxymalnego, a więc przeszło $^3/_4$ tegoż ciężaru.

Chwila zaś, w której wymiana szyn doszła do 50% nadejść może na kolei ożywionej ruchem, dosyć wcześnie po zbudowaniu toru.

W takim razie wiemy już, że szyny pozostałe w torze, zużyły się już do 86% swej wytrzymałości, że się więc znajdują w trzeciej ćwiartce ($^3/_4$) swej dobroci.

Na szyny takie, trzeba mieć baczne oko, gdyż mała zwłoka w ich wymianie, bezpieczeństwu ruchu już zagrażać może.

Podczas gdy po szynach leżących na otwartej linii potoczyć można ciężar 20 milionów tonn, nim szyny się zużyją, poucza doświadczenie, że szyny leżące w torach stacyjnych zużywają się już po przetoczeniu ciężaru 14 milionów tonn.

Wzory te, jakoteż wzory numer 1, 2, podane w §. 6. znane są pod nazwą praw Stockerta, a w jaki sposób je zastosować można, wykaże paragraf następujący.

8.

Preliminarz szyn.

Ponieważ w szynach leży znaczny kapitał, więc wymaga zestawienie ilości szyn, które na rok następny dostarczyć trzeba, osobliwej dokładności.

Zestawienie potrzeby szyn zowiemy preliminarzem.

Biorąc za podstawę preliminarz roku zeszłego, preliminujemy na rok następny za mało, a popełniony błąd może być na większych kolejach bardzo znaczny, a może nawet tak wielki, że pokrycie niedoboru natrafić może pod pewnemi okolicznościami na pewne trudności.

Podczas ożywionego ruchu i kwitnącej budowy innych dróg żelaznych, mogą bowiem walcownie szyn tak mocno być zaangażowane, że nagła a nie spodziewana dostawa znaczniejszej ilości szyn, sprawić im może trudności.

Dla tego też nie można brać doświadczenia roku zeszłego, jako normę dla wymiany na rok przyszły, ani też doliczać do wymiany zeszłorocznej dowolny procent by otrzymać na rok przyszły oczekiwać się mającą wymianę, lecz kalkulować wypada nieco ściślej.

W roku następującym, a więc w roku, na który mamy zestawiać preliminarz, spodziewać się można ruchu wynoszącego n milionów tonn, a od chwili otwarcia kolei, aż do końca roku zeszłego przewieziono po szynach w całości x milionów tonn, więc wynosić będzie ciężar jaki się potoczy po szynach od otwarcia kolei aż do końca roku przyszłego $(x + n)$ milionów tonn.

Po przejściu takiego ciężaru wynosi podług wzoru (5) całkowita wymiana szyn.

$$y^1 = 100 - 5 \sqrt{400 - (x + n)^2}$$

procent, a ponieważ po przejściu ciężaru x ton wymieniano

$$y = 100 - 5 \sqrt{400 - x^2}$$

procent, więc wymieniać będzie trzeba po przejściu ciężaru n tonn

$$(y_1 - y) = \triangle$$

procent, oczekiwać się mająca wymiana szyn, wynosi przeto na rok następny

$$(y_1 - y) = \triangle$$

procent, co znaczy, że na przyszły rok trzeba będzie włożyć w tor $\triangle$% w nim znajdujących się szyn, gdzie będzie:

$$\triangle = (100 - y) - 5\sqrt{400 - (x + n)^2} \qquad 6)$$

wzór służący do zestawienia preliminarza, a oznacza:

$\triangle$ . . . ilość szyn dostawić się mających na przyszły rok, wyrażona w procentach wszystkich w torach leżących.

x . . . ciężar, wyrażony w milionach tonn, który przewieziono po torach od otwarcia kolei aż do końca roku zeszłego.

y . . . ilość wymienionych szyn od chwili otwarcia kolei aż do końca roku zeszłego, wyznaczona w procentach szyn leżących w torze.

n . . . ciężar w milionach tonn, który prawdopodobnie przewozić się będzie w roku następnym.

Przykład.

Dla drogi żelaznej, mającej 500 kilometrów długości, wyłożonej 6·5 metrowemi szynami, zestawić mamy na rok przyszły preliminarz szyn.

Od chwili otwarcia kolei aż do końca roku zeszłego, wymieniano na tej kolei w całości 20% wszystkich w torze leżących szyn.

Podług prawa Stockerta przejść przeto musiał w tym czasie, po tych szynach ciężar, wynoszący 12 milionów tonn, gdyż wstawiając we wzór (5); — $y = 20$, wypada $x = 12$.

Ponieważ w roku przyszłym kursować ma dziennie 10 pociągów, z których każdy waży po 300 tonn, więc wynosi całkowity ciężar jaki mamy przewieść w ciągu roku $10.300.365 = 1095000$ lub w zaokrągleniu 1 milion tonn.

Wstawiając we wzór (6); $x = 12$, $y = 20$, $n = 1$, otrzymujemy $\Delta = 4$, co znaczy, że na przyszły rok wymienić trzeba będzie 4% wszystkich w torze znajdujących się szyn.

A ponieważ na kilometrze toru, składającego się z dwóch toków leży $\frac{2 \times 1000}{6 \cdot 5} = 310$ szyn, a cała długość kolei wynosi 500 kilometrów, więc znajduje się na niej $500.310 = 155,000$ szyn.

Wymiana szyn, jaką oczekiwać mamy na rok przyszły, wynosi przeto $\frac{4.155000}{100} = 6.200$ sztuk.

Licząc wagę metra szyny po 33 kilogramów, zakupić trzeba: $6 \cdot 5.33.6200 = 1329900$ kilogramów, lub w zaokrągleniu 1330 tonn szyn.

Biorąc tonnę szyn po 90 guldenów wydać trzeba na zakupno szyn sumę $90.1330 = 119700$ lub okrągło 120,000 guldenów.

9.

Przyrządy do mierzenia zużycia się szyn.

Ponieważ przy ożywionym ruchu, w jednym roku zaledwo 2—3 miliony tonn ciężaru po szynach się potoczy, a do starcia się o jeden milimetr grubości szyny, potrzeba aby się potoczył ciężar 5—6 milionów tonn (§. 6) więc wypada, że po upływie roku szyna zetrze się o małą tylko część milimetra.

Chcąc mierzyć, o ile profil szyny zmienił się po upływie roku, trzeba mieć koniecznie przyrząd, któryby dokładny wymiar profilu szyny umożliwił, czyli innemi słowy, trzeba sporządzić dokładny rysunek przekroju tak zużytej jakoteż szyny nowej.

Chcąc otrzymać rysunek profilu, trzeba mieć przyrząd, którymby można dokładnie szynę wymierzać, a dokładność musi być daleko posuniętą, bo chodzi tutaj o wymiar bardzo małych rozmiarów; przyrząd taki dozwalać musi odczytanie $^1/_{10}$ milimetra.

Najprostsza myśl takiego przyrządu jest to umocowanie sztabki po nad szyną, którą to sztabkę uważać można za podstawę do której wszelkie wymiary odnosić się muszą. Sztabka ta przedstawia niejako linię odciętych, z której rzędne pionowo w dół się spuszcza.

W celu mierzania długości rzędnych i odciętych, przymocowywuje się sztabkę do szyny, tak że nie dotykając się szyny wznosi się poziomo po nad nią.

Z punktów obranych na sztabce, spuszcza się tak długo zasuwkę dopóki nie dotknie szyny, a długość tej zasuwki daje rzędną, podczas gdy pozycya jej na sztabce, przedstawia odciętą.

Na sztabce ustawiano tyle zasuwek, ile punktów mierzać miano na profilu szyny — odcięte były więc z góry dane, a do nich rzędne szukać było trzeba.

W nowszym czasie poprawiono ten przyrząd o tyle, że nie ustawia się już na sztabce, zasuwek w pewnych odległościach, lecz używa się jednę tylko zasuwkę, którą dowolnie wzdłuż i na poprzek sztabki przesuwać można.

Kraft z Wiednia okazał na wystawie paryzkiej (1878) taki instrument, który później (1879) znacznie ulepszył, tak że odczytywanie długości $^1/_{10}$ milimetra nie sprawia już żadnych trudności.

10.

Ocena szyn stalowych względnie do żelaznych.

Dawniej potrzebowano 2—3 tygodni czasu, ażeby zrobić stal, obecnie wystarcza na to czas 10—15 minut, dawniej kosztowała tonna stali 500 guldenów, obecnie kosztuje 100 guldenów! Produkcya stali wynosi obecnie 3,000.000 tonn na rok, licząc tonnę po 100 guldenów, przedstawia wyrób ten wartość 300,000.000 guldenów, używając dawniej praktykowanego sposobu, kosztowałby wyrób ten $1 \frac{1}{2}$ miliarda guldenów.

Stal, użyta do wyrobu szyn, posiada wiele zalet, jest bowiem wytrzymalszą od żelaza, nie łuszczy się tak łatwo pod wielkim naciskiem, i ściera się przez przejazd pociągów daleko mniej od żelaza, a co najważniejsza, ściera się jednostajnie.

Pomimo najdoskonalszego wyrobu, posiada jednak stal zawsze jeszcze tę ujemną stronę, że jest kruchszą od żelaza, co sprawia, że szyny stalowe prędzej pękają od szyn żelaznych, jakoteż że szyna stalowa nabrać może pod pewnemi okolicznosciami takiej politury, że uzyskanie potrzebnej do ruchu adhezyi, częstokroć natrafia na trudności.

Ze względu na ograniczenie wypadków pękania szyn stalowych, zarządy kolejowe wymagają w ostatnich czasach od hut żelaznych szyn większych od tych, jakie dawniej były wyrabiane.

Porównywując strony dodatne i ujemne, przychodzimy do wniosku, że wyższość szyny stalowej w obec żelaznej, niezależnie od większej wytrzymałości stali, polega przedewszystkiem na tem, że szyna stalowa, z powodu większej trwałości materyału, zużywa się mało, a nadto z powodu jednorodności — regularnie.

Podczas gdy szyny żelazne, łuszcząc się, podlegają wczesnemu wybrakowaniu, ta prawidłowa zużywalność szyn stalowych, dokonywa się przez jednostajne ścieranie się główek, równolegle do pierwotnej ich powierzchni.

Pomimo tych zalet znajdowało się z końcem roku 1878 na torach dróg związkowych więcej szyn żelaznych aniżeli stalowych, statystyka wykazuje bowiem, że na owych 115 kolejach należących do związku, znajdowało się szyn:

żelaznych	56712 kilom.
stalowych	19406 „
po części stalowych i żelaznych . . .	7976 kilom.
razem . .	84094 kilom.

W Austryi miano z końcem roku 1878 szyn:

żelaznych	16446 kilom.
stalowych	6489 „
mięszanych	1223 „
razem .	24158 kilom.

w Galicyi zaś było:

na kolei	szyn żelaznych	szyn stalowych
	kilometrów	
Karola Ludwika	389	387
Lwowsko Czerniowieckiej . . .	383	45
Łupkowskiej . . . , . . .	303	13
Arcyks. Albrechta . . . . . ,	200	2
Tarnowsko Leluchowskiej . . .	126	42
Dniestrzańskiej	119	4
razem . .	1520	493

Widzimy więc, że w Austryi zawsze jeszcze 70% toru składało się ze szyn żelaznych 30% wypada więc na szyny stalowe.

O ile szyny stalowe dłużej leżeć mogą w torze, wykazało się najpierwej na niemieckiej kolei wiodącej z kolonii do Minden. Kolej ta, kładąc w roku 1864 w tory swe, częściowo szyny stalowe, przekonała się, że po upływie 11 lat wymienić musiano w tym torze szyn:

żelaznych	76%
stalowych	33%

Pomiędzy szynami znajdowały się także szyny Bessemera, a wymiana tych wynosiła tylko 5%.

Co się zaś tyczy zużycia się szyny wykazują doświadczenia kolei amerykańskich, że po przejściu ciężaru 25 tonn ubywa na kilometr toru 1 gram stali.

Licząc pociąg po 250 tonn, wypada, że po przejeździe jednego pociągu, ubywa na kilometr 10 gramów stali, a ponieważ pod temi samemi warunkami ubywa na kilometrze toru złożonego ze szyn żelaznych 100 gramów żelaza (§. 6.)

więc się zużywa szyna żelazna 10 razy mocniej od szyny stalowej.

Do zupełnie tej samej konkluzyi dochodzimy, opierając się na doświadczeniach francuzkich dróg żelaznych, wykazujących, że potoczyć można po szynie stalowej ciężar 20 milionów tonn nim szyna zetrze się o grubość milimetra.

Bo, przyjmując że szyna o 10 milimetrów grubości zetrzeć się może nim się stanie bezużyteczną, wypada, że potoczyć po niej będzie można ciężar wynoszący 10.20 = 200 milionów tonn, a więc ciężar 10 razy większy od tego który potoczyć można po szynach żelaznych.

Podług dyrektora *Funk* (1878) wypada z doświadczeń kolei Kolonia Minden, że stalowa szyna (Bessemera) ściera się o grubość milimetra po potoczeniu ciężaru.

11	milion	tonn,	gdy	leży	w	spadku	do . . .	5‰
7	„	„	„	„	„	„	. . .	10
4	„	„	„	„	„	„	. . .	15
$1^1/_4$	„	„	„	„	„	„	. . .	20

Ze względu na to, że szyna stalowa zetrzeć może 10 milimetrów swej grubości, nim zupełnie zostanie zużytą, leżeć może na kolei transportującej rocznie 2 milionów tonn towarów, szyna w torze mającym spadek:

$$5\%_0 \text{ przez } \frac{10.11}{2} = 5.11 \ . \ . \ 55 \text{ lat}$$

10	„	5.7 . .	35 „
15	„	5.4 . .	20 „
20	„	$5.1^1/_4$ . .	$6^1/_4$ „

Zwykle się przyjmuje dla pewności, jakoby szyna stalowa tylko 5 razy dłużej trwała od szyny żelaznej, a przyjmując tak niską cyfrę, pewnie wartości szyny stalowej nie przecenimy.

Chcąc używać praw Stockerta (§. 7.) dla szyn stalowych, wstawić tam trzeba a = 5.20 = 100.

Ponieważ szyny stalowe obecnie mało tylko lub wcale nie są droższe od szyn żelaznych, więc już sama ta okoliczność, (mając na uwadze to co powiedziano), przemawia za używaniem szyn stalowych.

Gdyby nawet i szyny stalowe znacznie miały być droższe od szyn żelaznych, zawsze za niemi przemawia, większa wytrzymałość, tańsze utrzymanie, i tańsza budowa toru.

Koszta utrzymania torów stalowych wynoszą bowiem podług zapisków kolei angielskich 20% kosztów utrzymania torów żelaznych, co sprawia, że tam wynoszą koszta utrzymania torów stalowych tylko 16% ogólnych wydatków.

Że budowa torów stalowych tańszą jest od budowy torów żelaznych wykazują znów koleje francuzkie, tak n. p. wynosiły koszta na kolei północnej:

Kilometr toru, zbudowanego ze szyn stalowych, których meter waży 30 kilogramów . . 35000

Kilometr zaś toru, zbudowanego ze szyn żelaznych, których meter waży 37 kilogramów . . 37000 franków.

Co się tyczy ujemnej strony stali, wspomniano, już że częstsze pękanie szyn stalowych, przedstawiało początkowo trudności w używaniu wyrobu nowego.

Skoro żądamy, aby szyna wyrabianą była ze stali twardej, jak to się praktykuje na kolejach francuzkich, to otrzymujemy szynę kruchszą, jeżeli zaś szukamy stali miękkiej, jak to czynią amerykanie, szyna stalowa nie tak prędko pękać będzie.

Przyczynę częstszego pękania szyn stalowych, szukamy zwykle w przymieszkach, które stal w sobie zawiera a wykazują analizy, że stal zawiera w sobie fosfor, krzem i mangan.

Porównawcze próby wytrzymałości szyn stalowych wykazały bowiem, że powyższe składniki wpływają wprawdzie na kruchość stali, lecz nie w jednakowym stopniu. Najwięcej przyczynia się do kruchości fosfor, najmniej mangan.

Doświadczenia doktora *Dudley* przeprowadzone w roku 1878 na kolejach amerykańskich pouczają że szyna stalowa zawierać może, co najwyżej na 1000 części, jedną część, czyli 0·01% fosforu. Doktor *Dudley* sądzi że ilość ta fosforu hartuje stal w tymże samym stopniu, jak hartuje:

krzemu	(Si)	ilość	0·02
węgla	(C)	„	0·03
Manganu	(M_n)	„	0·05

czyli innemi słowy, że jednej części fosforu wyrównywują co do hartowania stali 2 części krzemu, 3 węgla a 5 manganu.

Ile zaś owych, wytrzymałości szkodliwych części szyna zawiera, wykazuje analiza szyn leżących w torach austryackiej kolei zwanej państwowej. Szyna ta zawiera w sobie:

węgla	0·252
krzemu	0·035
siarki	0·001
fosforu	0·115

manganu	0·087
miedzi	0·030
żelaza	99·480
razem . .	100·000

Następująca tabliczka uwidocznia chemiczny skład szyn, leżących w torze bez uszkodzenia, jakoteż analizę szyn wymienianych:

Szyna stalowa wyrobu Bessemera używana na austryackiej kolei północnej		
składowe części (stalowej szyny)	nie wymieniona	wymieniona
	zawiera w procentach części:	
węgiel	0·2861	0·3369
krzem	0·0147	0·0139
mangan	0·3800	0·4099
siarka	0·0216	0·0252
fosfor	0·1429	0·1692
miedź	0·1932	0·2251

Ponieważ stal łatwo się oczyszczać daje z miedzi i siarki, więc pozostanie tylko fosfor, krzem, węgiel i mangan, na które to składniki baczne mieć trzeba oko.

Na podstawie starannie przeprowadzonych analiz znalazł *Dudley* że:

szyna	szyna stalowa zawiera w sobie				
	węgla	fosforu	manganu	krzemu	*razem*
	%				
dobra	0·287	0·077	0·369	0·044	0·778
uszkodzona	0·366	0·132	0·521	0·047	1·066

z czegoby należało wnosić, że zawartość węgla, fosforu, manganu i krzemu w dobrych szynach, nie powinna dochodzić do 1%. Jeden procent przymieszek zdaje się być przeto maksimum zanieczyszczenia stalowej szyny, na które zgodzić się jeszcze można.

Jaką zaś część owego procentu przymieszek, stanowić mają fosfor, węgiel, krzem i mangan, to poucza analiza *Dudleya*, że co najwięcej znajdować się może:

fosforu	0·10
krzemu	0·04
węgla	0·35
manganu	0·40
innych domieszek	0·11
razem . .	1·00

Przyjmując 0·01 % fosforu jako jednostkę, wyraził *Dudley* twardość szyn w sposób następujący: Względne ilości powyższych domieszek wynoszą:

fosforu	10	twardość	1
krzemu	4	"	2
węgla	35	"	3
manganu	40	"	5

a przeto twardość wyrażona w jednostkach

fosforu . . . . . . $\frac{10}{1} = 10$

krzemu . . . . . . $\frac{4}{2} = 2$

węgla . . . . . . $\frac{35}{3} = 12$

manganu . . . . . $\frac{40}{5} = 8$

razem 32

maksymalna twardość szyny stalowej wynosi przeto 32 jednostek. Licząc podobnie, przyjmuje *Dudley*, że twardość szyn stalowych leżeć musi koniecznie w granicach 27—33 gdyż inaczej szyny odpowiadać nie będą. Szyna mająca mniej twardości jak 27 będzie za miękką, szyna zaś twardsza jak 33 za kruchą, jako twardość przeciętną uważać trzeba liczbę 30.

W początkach zaprowadzenia szyn stalowych znachodzono na 100 wymienianych szyn, 70—80 które wyjąć musiano z powodu pęknięcia, dzisiaj stosunki się zmieniły, wynosi bowiem nie tylko wymiana szyn stalowych daleko mniej jak dawniej, ale nadto zaliczać trzeba wypadki pękania szyn, do zjawisk nader rzadkich, nie częściej prawie zjawiających się od pękania szyn żelaznych.

Statystyka kolei pruskich poucza, że w roku 1867 a więc w początkach zaprowadzenia szyn stalowych, wymieniać musiano na 1000 szyn, w pierwszym roku po zbudowaniu toru 11·2 sztuk, podczas gdy dzisiaj (1878) wynosi wymiana zazwyczaj tylko 0·4 sztuk.

Dziesięcioletnia praktyka doprowadziła więc do tego, że odnowa szyn zmniejszyła się 28 razy.

W statystyce, o której mowa, figuruje pemiędzy innemi także i kolej Westfalska, przy której w początkach zaprowadzenia szyn stalowych, wynosiła odnowa szyn po upływie roku, znacznie więcej jak przy innych kolejach.

Wykluczając kolej Westfalską z jej nieprawidłową wymianą, wypadnie, że wymieniano po upływie jednego roku, w początku zaprowadzenia szyn stalowych (1867) na 1000 szyn 3·5 sztuk, podczas gdy wymiana podobna dzisiaj 0·4 sztuk wynosi.

Stosunek odnowy dawniej praktykowanej, do odnowy dzisiejszej, jest przeto: $\frac{35}{4} = 9$.

Świetny ten rezultat zawdzięczamy nie tylko ulepszeniu we wyrobie szyn ale nadto także i oswojeniu się z materyałem kruchym, a więc delikatniejszym.

Wyrób stali sposobem Bessemer'a jak nie mniej w piecach Siemens'a, Martin'a i Pernot'a, wydoskonalono dziś już do wysokiego stopnia, również postąpiła i fabrykacya szyn, które obecnie wykuwać poczynamy, a dziury w nich przez które śruby przechodzić mają, już nie wygniatamy, lecz wywiercamy.

Wyrabiamy więc nie tylko lepiej i taniej stal i szynę, ale nadto nauczyliśmy się oględniej obchodzić z nowym materyałem, a tym to właśnie okolicznościom przeważnie przypisać trzeba, że szyny stalowe wyrugowały już prawie zupełnie szyny żelazne.

11.

Wybór szyn dla budować się mającej kolei.

Wydawać by się mogło, zważając to, co powiedziano o szynie stalowej w paragrafie powyższym, jakoby szyna stalowa pod każdym względem, korzystniejszą być musiała od szyny żelaznej.

Tak jednak nie jest, są bowiem okoliczności, w których szyna żelazna okazać się może praktyczniejszą od szyny stalowej.

Dla tego też, budować się mająca kolej zastanowić się winna, jakiej szyny użyć jej wypada, a kalkulować może jak następuje.

Ażeby kilometr toru nabyć i utrzymać przez czas, jak długo szyny trwają, trzeba pewnego kapitału *K* guldenów, z którego jedną część, *z* wydać trzeba zaraz, na zakupno szyn i ułożenie ich w tor, drugą zaś część, *u* guldenów wydajemy w ciągu lat, przez które szyna leży w torze, cząstkami na utrzymanie kilometra toru.

Mamy więc: $K = z + u$.

Suma tych pieniędzy, które rocznie wydajemy na utrzymanie toru, równać się musi odsetkom nieznanego nam kapitału *u*, nagromadzonem przez czas utrzymania, a więc przez czas leżenia szyn w torze, który to czas niechaj wynosi *m* lat.

Gdyby kapitał *u* złożono na *p* procent, to zamieniłby się po upływie lat *m* na kapitał:

$$u\left(1 + \frac{p}{100}\right)^m = u\,.\,C^m$$

a odsetki tego kapitału wynoszą:

$$uC^m - u = u\,.\,(C^m - 1)$$

guldenów.

Tyle więc guldenów kosztowało utrzymanie kilometra toru przez lat *m*, a ponieważ po upływie tego czasu tor nie posiada już ani jednej szyny starej lecz wszystkie nowe, więc kapitał $u(C^m - 1)$ guldenów przedstawia wartość szyn leżących w kilometrze po odtrąceniu wartości szyn wybrakowanych, za które na kilometr toru dostać można *S* guldenów.

Kosztowało zakupno nowych szyn *u* guldenów, to wydano przez *m* lat sumę (n—S) guldenów, zkąd równanie:

$$u\,.\,(C^m - 1) = n - S.$$

Ponieważ uważać można koszta ułożenia kilometra toru, w porównaniu do kosztów nabycia szyn nowych leżących w kilometrze toru, jako mało znaczące, więc będzie $z = n$, a przeto

$$K = n + u$$

z których to równań wypada:

$$K = \frac{n\,C^m - S}{C^m - 1} \qquad 7)$$

gdzie oznacza:

K . . . kapitał potrzebny do nabycia i utrzymania kilometra toru przez czas trwania szyn.
m . . . czas w latach, przez które szyny leżeć mogą w torze.
S . . . koszta szyn starych, zdjętych z kilometra toru.
n . . . koszta szyn nowych leżących w kilometrze toru.
p . . . procent, który opłacać trzeba, celem umorzenia kapitału *k*.

$$C = \left(1 + \frac{p}{100}\right)$$

Przykład.

Budować się mająca kolej ma do wyboru trojakie szyny, a mianowicie szyny:

żelazne, których tonna kosztuje	90
żelazne z nagłówkami stalowemi, tonna po	100
stalowe, tonna po	120

guldenów, na kilometr toru potrzeba szyn:

żelaznych	66
żelaznych z nagłówkami stalowemi	64
stalowych	60

tonn.

Ruch na kolei szacować można dziennie na 20 pociągów po 300 tonn, rocznie więc na przewóz równający się $20 \times 300 \times 365 = 2190000$ tonn, czyli okrągło na 2 miliony tonn.

Licząc koszta wybudowania kilometra tonn po 800 złr. a cenę starych szyn bez różnicy gatunku, tonna po 40 guldenów, zachodzi pytanie, który z tych trzech gatunków szyn, kolej ta obrać powinna.

Przyjmując, że potoczyć się może po szynie żelaznej ciężar . . 16
żelaznej z nagłówkiem stalowym . . 30
stalowej 50
milionów tonn, nim szyna się zużyje, prowadzimy rachunek jak następuje:

Ponieważ szyna żelazna wytrzymuje ciężar 16 milionów tonn, a rocznie po niej potoczy się ciężar wynoszący 2 miliony tonn, więc leżeć może w torze $\frac{16}{2} = 8$ lat, szyna zaś mająca główkę stalową, leżeć może w torze $\frac{30}{2} = 15$, szyna stalowa wreszcie, $\frac{50}{2} = 25$ lat.

Mamy wiec dla szyn

żelaznych		8
z główkami stalowemi	m =	15
stalowych		25

Ponieważ na kilometrze toru, leży 66 tonn szyn żelaznych, z których tonna kosztuje 90 złr. więc wynoszą koszta zakupna szyn żelaznych, na kilometer toru $66 \times 90 = 5940$ guldenów, doliczając do tego koszta budowy kilometra toru wynoszące 800, otrzymujemy $n = 5940 + 800 = 6740$.

W podobny sposób otrzymujemy dla szyn z główkami stalowemi

$n = 64.100 + 800 = 7200$, dla szyn stalowych,

$n = 60 \cdot 120 + 800 = 8000$ guldenów,

mamy więc, dla szyn:

żelaznych		6740
z główkami stalowemi	n =	7200
stalowych		8000

Ponieważ na kilometrze toru leży 66 tonn szyn żelaznych, a tonna zużytej szyny kosztuje 40 złr. więc wynoszą koszta szyn starych $66.40 = 2640$ guldenów, koszta starych szyn z główkami stalowemi wynoszą na kilometer $64.40 = 2560$, stare zaś szyny stalowe, mają wartość $60 \cdot 40 = 2400$ guldenów.

Mamy więc, dla szyn:

żelaznych		2640
z główkami stalowemi	s =	2560
stalowych		2400

Pod supozycyą że kapitał wydany na tory niesie tylko 5 procent, że więc $p = 5$, $C = 1 + \frac{5}{100} = \left(1 + \frac{1}{20}\right)$ otrzymujemy ze wzoru podanego pod numerem 7 dla szyn:

żelaznych		15463
z główkami stalowemi	K =	11794
stalowych		10800

guldenów.

Widzimy więc, że pomimo to, że szyna stalowa kosztuje 120 złr. szyna zaś żelazna tylko 90 złr. przecież daleko korzystniej jest użyć szyny stalowej, gdyż potrzebuje na kilometr toru tylko 10·8 tysięcy zamiast 15·4 tysięcy guldenów.

Wzór podany pod numerem 7 daje się nieco uprościć. Pod supozycyą, że procent wynosi 5% opuścić będzie można wyższe potęgi ułamka $\left(\frac{1}{20}\right)$ jak drugą, można więc pisać:

$$\left(1+\frac{1}{20}\right)^{m} = 1 + \binom{m}{1} 1^{m-1} \cdot \left(\frac{1}{20}\right) + \binom{m}{2} 1^{m-2} \cdot \left(\frac{1}{20}\right)^2.$$

lub też

$$C^m = \left(1+\frac{1}{20}\right)^m = 1 + \frac{39\,m + m^2}{800}$$

za pomocą których wartości, przechodzi wzór podany pod numerem 7. na wzór:

$$K = n + \frac{800}{39\,m + m^2}(n - S). \quad (8$$

wzór do obliczania względnej wartości kilometra tonn, pod supozycyą, że kapitał wydany na tory niesie 5 procent.

W tym wzorze oznacza:

K . . kapitał w guldenach, jaki mieć trzeba do dyspozycyi na kilometr toru, aby tor nabyć i utrzymywać przez lat m,

n . . koszta nabycia szyn nowych leżących na kilometrze toru, włącznie z kosztem budowy kilometra toru.

S . . wartość kilometra szyn starych, po upływie lat n, wyrażona również w guldenach.

m . . ilość lat, przez które szyna leżeć może w torze.

Ponieważ przy obliczaniu podobnem chodzi tylko o względną wartość kapitału K, więc postawić można n = 1, a ponieważ w przecięciu jest $S = \frac{n}{2} = \frac{1}{2}$ t. j. szyna stara ma tylko połowę wartości nowej, otrzymamy z wyrazu numer 8:

$$K = 1 + \frac{400}{39\,m + m^2}$$

wzór do obliczania względnej wartości toru.

Skoro oznacza a maxymalną ilość, wyrażoną w milionach tonn, jaką potoczyć można po szynie, nim szyna tak dalece się zetrze, że ją dalej używać nie można, r zaś, gęstość rocznego ruchu na kolei, wyrażoną w milionach tonn, to jest:

$$m = \frac{a}{r}$$

a przeto będzie, po wstawieniu tej wartości, w wyraz numer 8:

$$K = 1 + \frac{400}{39\left(\frac{a}{r}\right) + \left(\frac{a}{r}\right)^2} \quad (9$$

tutaj wyraża:

K . . Liczba oznaczająca, wiele razy potrzeba większego kapitału do nabycia i utrzymania drogi żelaznej, jak jest kapitał wydany na zakupno szyn i ułożenie ich w tor.

a . . maxymalna ilość tonn, jaką szyna wytrzymać może; wyrażona w milionach.

r . . roczny ruch na kolei, wyrażony w milionach tonn.

Jeżeli n. p. mamy na pewnej kolei szyny, po których potoczyć się może ciężar 20 milionów tonn, nim szyna się zużyje, a rocznie przechodzi po szynach ciężar 2 miliony tonn, to mamy a = 20, r = 2, a przeto $m = \frac{a}{r} = 10$, zkąd wypada K = 1·8 to znaczy, że kapitał potrzebny do zakupna szyn, ich ułożenia w tor i utrzymania toru przez lat 10, jest 1·8 razy większym od kapitału, jaki wydamy na nabycie szyn i ułożenie ich w tor.

Kapitał na odnowę wynosi więc 1·8 — 1·0 = 0·8 kapitału wydanego na nabycie szyn i pierwsze ich ułożenie w tor.

Wstawiając we wzór podany zamiast:

a = 10, 15, 20, 30, 40, 50,

jakoteż zamiast:

r = 1 2, 3, 4, 5

otrzymujemy następującą tabliczkę:

gatunek szyn	maxymalny ciężar, wyrażony w milionach tonn, jaki szyna znieść może, nim się zetrze. a =	Skoro na drodze żelaznej potoczy się rocznie r =				
		1	2	3	4	5
		milionów tonn, wynosi kapitał potrzebny na nabycie budowy i utrzymanie toru x razy więcej, jak kapitał na nabycie i pierwsze ułożenie, a jest x =				
żelazne	10	1·8	2·8	3·9	7·6	5·9
	15	1·5	2·1	2·8	3·5	4·2
z główkami stalowemi	20	1·3	1·8	2·3	2·8	3·3
	30	1·2	1·5	1·8	2.1	2·5
stalowa	40	1·1	1·3	1·6	1·8	2·1
	50	1·0	1·2	1·4	1·6	1·8

Widzimy z tej tabliczki, że nabycie i utrzymanie toru powstałego ze szyn żelaznych, po których maxymalny ciężar 15,000,000 tonn potoczyć się może, nim się zużyją, wynosi przy ruchu 5,000,000 tonn, rocznie 4·2 razy tyle, co wynoszą koszta zakupną szyn i ułożenia toru, zaś tylko 1·5 razy tyle, skoro ruch tak jest słabym, że rocznie przewozimy ciężar wynoszący 1,000,000 tonn.

Jeżeli kilometer toru ułożonego ze szyn stalowych, po których może potoczyć sie ciężar 40 milionów tonn, kosztował wraz z ułożeniem 8000 guldenów, to wynosi kapitał na zakupno, pierwsze ułożenie i utrzymanie toru podczas ruchu wynoszącego rocznie 3 millony tonn 1·6 $\times$ 8000 = 12,800 guldenów.

12.

Długość szyny.

Ustawa koleji związkowych przepisuje, aby szyna nie była krótszą jak 6^m, zwykle używają koleje szyn 6·5 —7^m wyjątkowo tylko szyn 9^m długich.

Na zgromadzeniu techników, niemieckich dróg żelaznych, należących do związku, odbytem w Stuttgardzie w roku 1878, poruszono pomiędzy innemi, także i sprawę długości szyny.

Poglądy przedstawicieli 44 zarządów kolejowych, na w mowie będący przedmiot, uwidoczniamy w poniższej tabliczce:

za długością szyny		
wynoszącą metrów	żelaznej	stalowej
	przemawiało przedstawicieli	
7	19	14
7·5	12	11
8	5	6
9	6	9
10	1	3
12	.	1

Nadmienić wypada, że na zgromadzeniach podobnych nie poddaje się kwestye pod dyskusyę ustną, lecz pół roku przed zgromadzeniem otrzymują koleje zapytania, na które odpowiadają pisemnie. Na zgromadzeniu zestawia się pisemne orzeczenia, i przychodzi się do wniosku.

Z powyższej tabliczki powziąść można, że większość przedstawicieli zarządów kolejowych biorących udział w rozprawach nad kwestyą długości szyny, przemawiała za zachowaniem obecnie powszechnie używanych długości.

Okoliczności utrudniające używanie szyn dłuższych, są zaś następujące:

Do przewozu szyn długich potrzeba osobno zbudowanych wozów, szyna taka, upadając na ziemię, łatwiej się uszkodzić może niż szyna krótka, przenoszenie szyny długiej z miejsca na miejsce wymaga znacznej fizycznej siły, wymieniając szynę długą dla małego uszkodzenia, tracimy wiele zdrowego materyału, szyna mająca większą długość, ściąga się pod wpływem zimna mocniej, niż szyna krótka, przez co odstępy dwóch w jednym toku, po sobie następujących szyn, się zwiększają i t p.

Dopóki odlewano szyny ze surowca, a więc materyału kruchego, długość szyny, odgrywała podrzędną rolę, gdyż z kruchego materyału, nie można było otrzymać szyn długich.

Kwestya długości szyn nabrała dopiero znaczenia, gdy wynalazek walcowania szyn (1820) umożliwił wyrób szyn długich.

Szyny obecnie używane, mające najczęściej 6·5—7 metrów długości, są 20 razy dłuższemi od szyn niegdyś w początkach rozwoju dróg żelaznych używanych, że ta długość nie jest uwarunkowaną systemem walcowania, o tem świadczy ta okoliczność, iż obecnie prawie powszechnie, nie wyrabiają w walcowniach, szyn mających 6·5 — 7^m długości, lecz szyny 13, 14, 18, 20 metrów długie, które następnie są przecinane.

Wspomnimy tu, iż dla uświetnienia obchodu 50 letniej rocznicy otwarcia pierwszej drogi żelaznej, wywalcowano w Anglii szynę 150 stóp angielskich (39·65^m) długą; jakoteż że fabrykacyę szyn wydoskonalono obecnie do tego stopnia, iż wyrób szyny nie zabiera (we walcowni Betlehem w Pensylwanii) więcej czasu jak jednej minuty.

Jeżeli tedy na zgromadzeniu techników w Stuttgardzie, przemawiano za zachowaniem powszechnie stósowanych długości szyny, to niezawodnie nie miano na względzie trudności walcowania.

Podnoszono przedewszystkiem, że szyna krótka jest odpowiedniejszą do układania łuków, że wyjęcie z toru uszkodzonej krótkiej szyny, może być dokonanem przez dwóch tylko robotników, że takowa daje się z większą łatwością przewozić i t. p. nie zaprzeczano jednakże, iż w razie użycia szyn dłuższych zmniejsza się ilość połączeń drobnego żelaztwa i podkładów, a co najważniejsza, że samo ułożenie toru w krótszym czasie dokonanem być może.

Z powyższego widzimy, że szyny dłuższe przedstawiają zarówno dodatnie jak i ujemne strony, chodzi nam więc teraz o oznaczenie granicy, począwszy od której, strony ujemne przeważają nad dodatniemi, czyli innemi słowy, o oznaczenie długości, jaką dla szyny przyjąć należy.

Dopóki do budowy toru nie używamy maszyn, lecz wykonywamy ją siłą człowieka, stawiać będzie ciężar szyny naturalną granicę jej długości.

Najcięższa szyna żelazna, jakiej dotąd używano waży 300 kilogramów, licząc ciężar metra szyny

żelaznej po . . . 37
stalowej „ . . . 33

kilogramów, wypada, że nadać można szynie

$$\text{żelaznej długość} \ . \ . \ \frac{300}{37} = 8$$

$$\text{stalowej} \ „ \ . \ . \ \frac{300}{37} = 9$$

metrów.

Ponieważ do przenoszenia szyny żelaznej, mającej 6·5 metrów długości, a ważącej około 250 kilogramów, potrzeba 5 robotników, przeto przenoszenie szyny stalowej mającej 9^m długości, a ważącej 300 klgr., dokonanem być może przez: $5 \times \frac{300}{250} = 6$ robotników. Ponieważ na długość $6{\cdot}5^m$ potrzeba 5 robotników, więc trzeba będzie do ułożenia toku 100 metrów $\frac{5.100}{6{\cdot}5} = 77$ robotników, używając zaś 9 metrowej szyny wystarcza do ułożenia 9 metrów toku, 6 robotników, do 100^m toku, potrzeba przeto $\frac{6100}{9} = 66{\cdot}6$ robotników. Na 100 metrach długości zyskujemy przeto $77 - 66{\cdot}6 = 10{\cdot}4$ jednostek siły roboczej, czyli $\frac{10{\cdot}4}{7} . 100 = 13{\cdot}5\%$.

Oszczędność, jaką osiągamy przez zastósowanie szyny 9 metrowej w miejsce 6·5 metrowej, jest tak znaczną, że tylko obawa wielkiej straty materyału zdrowego, przy wymianie spowodowanej małem uszkodzeniem długiej szyny, tak niemniej wzgląd na znaczne ściąganie się szyn, przy obniżaniu się temperatury, mogące w danym razie dosięgnąć wymiarów zagrażających bezpieczeństwo, a przynajmiej łagodności jazdy, mogłaby zyskaną korzyść podać w wątpliwość.

Jakkolwiek wymieniając z przyczyny małego uszkodzenia szynę 9 metrową, tracimy więcej na materyale aniżeli wtedy, gdy wymieniamy szynę 6·5 metrową, to jednakże biorąc pod uwagę, że szyna stalowa (a tylko takiej zamierzamy dać długość 9 m.) trwa znacznie dłużej od żelaznej, a cena stalowej szyny nie różni się prawie obecnie od ceny szyny żelaznej — przychodzimy do przekonania, że strata w materyale spowodowana wymianą szyn wcale w rachubę wchodzić nie powinna.

Co się zaś tyczy ściągania się szyny skutkiem obniżenia temperatury, to wykazano w § 15. że i z tej strony nie ma obawy, gdyż różnica wydłużania między szyną 9 metrową, a szyną 6·5 metrową nie przechodzi nigdy wartości 1·1 milimetra.

Z powyższego wynika, że zastąpienie 6·5 metrowej szyny żelaznej, 9 metrową szyną stalową, byłoby korzystne i dla tego też zamiana podobna przyszłość przed sobą mieć się zdaje, znachodzimy też obecnie 9 metrowe szyny na niektórych przestrzeniach Alzacko-Lotaryngskiej drogi żelaznej, Dolno-Szlązko-Marchijskiej, Nadreńskiej, Wschodniej pruskiej, Heskiej Ludwika, Wrocławsko-Świdnickiej, Austryjackiej państwowej i t. p.

Szyny dłuższe nad 9 m. nie są używane przy budowie torów na pokładach poprzecznych. Przy żelaznej budowie wierzchnej, gdy tory spoczywają na pokładach podłużnych, szyny mające 10 m. długości, mogą być z korzyścią zastósowane.

13.

Progi.

Gdyby tory, znajdujące się na ziemi naszej ułożono w jedno pasmo, a uważano progi, na których spoczywają, jako szczeble drabiny żelaznej, to drabina ta sięgałaby aż do księżyca.

Srednia odległość księżyca od ziemi wynosi 51000 mil, czyli 380.000 kilometrów a długość torów leżących na ziemi naszej 400.000 kilometrów.

Licząc na kilometr toru tylko po 1000 progów, otrzymujemy owe 400 milionów sztuk progów, na których sieć kolei świata naszego spoczywa.

Licząc, że próg 8 lat w torze leżeć może, wypada, że rocznie $\frac{400}{8} = 50$ milionów progów sprawiać trzeba, a ponieważ próg zajmując $^1/_{10}$ metra sześciennego objętości wymaga, zanim go się wydobędzie, 0·16 metra sześciennego drzewa, zużyć trzeba, chcąc wydobyć 50 milionów progów, $0·16 \times 50000000 = 8000000$ metrów sześciennych drzewa, a ponieważ wyrabiając progi, ponosimy na drzewie stratę wynoszącą 50%, więc mieć trzeba na cele wyrabiania 50 milionów progów, przestrzeń, która wydaje rocznie 16 milionów metrów drzewa.

Przyjmując, że z jednej hektary lasu rocznie wydobyć można $3·_5$ metra sześciennego drzewa, wypada, że chcąc rocznie dostawiać progi, mieć trzeba las, mający $\frac{16000000}{3·5}$ $= 4\frac{1}{2}$ miliona hektarów powierzchni — a więc połowę tego, co posiada Przedlitawia.

Chcąc zabezpieczyć dostawę progów dla koleji austryjackich potrzeba na to 270000 hektarów, a więc właśnie $\frac{1}{10}$ lasów rosnących w Galicyi.

Na metr sześcienny liczymy zwykle 10—13 progów, otrzymują one bowiem zazwyczaj następujące rozmiary

długość	2·5 metra
wysokość . . .	15 centim.
szerokość u góry .	15 „
„ dołu .	25 „

a układamy je w odległościach 90 do 95 centimetrów, tak, że na kilometr toru wychodzi 1080 sztuk, na metr toru liczyć można 1·1 progów.

Co się tyczy materyału, z którego progi wyrabiamy, to stoi *drzewo* w pierwszym rzędzie, po nim następuje *żelazo*, a w najnowszym czasie próbują *szkło*.

Na kolejach niemieckich spotkać się dosyć często można z progami wyrabianemi ze żelaza, a znachodzimy tam przeważnie dwojakie formy, *podwaliny podłużne* i *progi poprzeczne*.

Do wyrobu progów żelaznych nie używa się nigdy surowca, bo materyał ten nader jest kruchym, progi wyrabiane z walcowanego żelaza rozpowszechniają się w Niemczech coraz więcej.

Znachodzimy bowiem obecnie (1880) na pomienionych kolejach, do 1542 kilometrów podwalin podłużnych, a 528 kilometrów podwalin podłużnych, a 528 kilometrów toru mającego progi poprzeczne, tak więc, że 11% wszystkich koleji państwowych zaopatrzono w Niemczech w progi żelazne.

Francuzi zaś nie są przyjaciółmi progów żelaznych, zkąd też pochodzi, że tam wyrobu tego wcale nie znachodzimy.

Obecnie panuje na kolejach jeszcze drzewo, a z drzew używa się najwięcej dębina i grabina, sosnowe i jodłowe progi już mniej się znachodzą.

Na drogach należących do związku niemieckiego spoczywało z końcem r. 1878 na progach drewnianych 80769 kilometrów toru, w samej Austryi znachodziło się 24139 kilometrów toru.

W Galicyi leżało na drewnianych progach, na kolei

Karola Ludwika	776	
Lwowsko Czerniowieckiej . . .	428	
Łupkowskiej	316	
Arcyks. Albrechta	202	
Tarnowsko Leluchowskiej . . .	168	
Dniestrzańskiej	123	
razem	2013	kilom.

Na kolejach należących do związku niemieckiego leżało z końcem roku 1878 progów

dębowych	51,549.012	sztuk
jodłowych	29,864.767	„
smerekowych	3,845.179	„
bukowych	1,983.443	„
razem .	87,881.401	„

Na Austryę wypadało progów:

dębowych	17,317.456	sztuk
jodłowych	4 865.037	„
smerekowych	3,475.308	„
bukowych	1,037.404	„
razem .	26,695.205	„

W Galicyi znachodzimy przeważnie progi dębowe, a leży ich na koleji:

Karola Ludwika	873.570	sztuk
Lwowsko Czerniowieckiej	453.861	„
Łupkowskiej	337.026	„
Arcyksięcia Albrechta	220.262	„
Tarnowsko Leluchowskiej	183.268	„
Dniestrzańskiej	148.909	„
razem . .	2,216.856	„

z których tylko, 147190 sztuk jest progów jodłowych, położonych na koleji Tarnowsko Leluchowskiej.

Przyjmując próg po $2^1/_2$ metra długości, wypada, że progami leżącemi w torach koleji galicyjskich opasaćby można wygodnie ziemie naszą, układając próg do progu.

Amerykanie wyrabiają swe progi z drzewa *Jellow-Pine* lub *Red-wood,* a wyjątkowo z drzewa cyprysowego.

Co się tyczy *szkła*, użytego do wyrobu progów, zauważać trzeba, że *Siemens* w Dreznie, nadaje szkłu taką własność, że uderzywszy na próg szklanny nie rozpryskuje się on w tysiąc kawałków, lecz pęka pod uderzeniem, podobnie do surowca.

W roku 1879 ułożono progi takie dla próby na konnej kolei *North Metropolitan* w Londynie, używając je naturalnie nie jako podkłady poprzeczne, lecz w miejsce dzwigarów podłużnych, nadając im 1^m długości, 10^{cm} szerokości, a 15^{cm} wysokości.

Biorąc na wagę, że cena szkła Siemensa, nie różni się znacznie od ceny surowca, jakoteż że ciężar gatunkowy szkła wynosi $^1/_3$ ciężaru surowca, wypada, biorąc objętość jako podstawę rachunku, że szklanny próg kosztować będzie tylko trzecią część tego, co kosztuje próg żelazny.

Czy szklanne progi okażą się praktyczne, doświadczenie pouczy, obecnie wyrób ten za nadto jeszcze jest nowym, aby módz dzisiaj już wydawać sąd stanowczy. To jednak z góry powiedzieć można, że próg szklanny bez porównania trwalszym będzie od progu drewnianego.

Funk przychodzi (1880) na podstawie statystycznych dat do wniosku, że próg wyrobiony z drzewa

dębowego trwać może	......	13·6
świerkowego	„	7.2
sosnowego	„	5.1
bukowego	„	3·0

lat w torach, a trwałość ta zawisłą jest od rozmaitych czynników.

Doświadczenia dróg żelaznych, należących do związku niemieckiego, złożone na zgromadzeniu roku 1878 pouczają, że trwałość progów przydłużyć można:

1. układając je na warstwie zwiru, przepuszczającą dobrze wodę.

2) nakrywając je warstwą zwiru w celu chronienia progu od zmiennego wpływu wilgoci i posuchy.

3) Wyrabiając je z drzewa ściętego w zimie.

Zaznaczyć jednak wypada, że progi nie niszczą się li tylko z przyczyny gnicia drzewa, ale nadto częstem ich obciesywaniem, wbijaniem i wyjmowaniem gwoździ, przesuwaniem szyn, podbijaniem zwiru i t. p.

Ponieważ nie wszystkie w torze leżące progi są zupełnie jednakowe, nie wszystkie są jednako dobrze przykryte i t. p. więc też nie jednako zużywać się będą, co sprawia, że nie wszystkie na raz wymieniać będzie trzeba.

W pierwszych paru latach po wybudowaniu toru, nie znaczna tylko ilość progów psuć się będzie, procent wyjąć się mających wzrastać jednak musi z każdym rokiem.

Jak spiesznie ilość wymienionych progów z każdym rokiem się zwiększa, powziąść można z następującej tabliczki zestawionej na podstawie zapisków, publikowanych na zgromadzeniu przedstawicieli dróg żelaznych w roku 1878:

Na drodze żelaznej			
Tilsit - Insterburg		Austryjac. północnej	
wymieniano od początku zbudowania toru			
aż do końca roku	na 100 progów sztuk	aż do końca roku	na 100 progów sztuk
5tego	1·16	5tego	0·54
6 „	4·02	6 „	1·25
7 „	14·20	7 „	3·95
8 „	32·02	8 „	8·93
9 „	44·70	9 „	18·34
10 „	55·82	10 „	25·70
11 „	68·08	11 „	41·46
12 „	78·52	12 „	74·73
13 „	82·77	—	—

Rozumie się samo przez się, że wymiana progów w każdym kraju jest inną; u nas w Galicyi, wymieniano np. na koleji Karola Ludwika

od 1go do 4go roku . . . . 0·25
„ 5 „ . . . . 1·07
„ 6 „ . . . . 5·67
„ 7 „ . . . . 11·30
„ 8 „ . . . . 20·90

procent, pierwotnie w tor ułożonych progów.

Porównując powyższe trzy zestawienia, widzimy, że w siódmym roku leżenia w torze, zepsuło się na 100 dębowych progów na koleji:

północnej . . . . 3·95
Karola Ludwika . . . . . . 11·30
Tilsit-Intersburg . . . . . . 14·20

14.
Konserwowanie progów.

Myśl konserwowania drzewa jest bardzo dawną. Egipcyanie bowiem, chcąc przydłużyć trwałość drewnianych trumien, w których nieboszczyków swych przechowywali, wysuszali deski, z których trumny zbijali, w dymie palącej się smoły. A że sposób ten konserwowania był dobrym, świadczą nam dosadnio trumny królewskie, podziśdzień utrzymane. Zwyczaj Egipcyanów zaginął jednak z czasem, albowiem dopiero z początkiem naszego stólecia znachodzimy ponowne pomysły, konserwowania drzewa.

Ażeby zrozumieć, na czem właściwie polegają sposoby konserwowania drzewa, zauważać trzeba, że drzewo powstaje z dwóch części, a mianowicie, *celulozy* (błonnik) nie podlegającej zepsuciu i *soków*, które się psują. Komórki, w których się mieści tak zwana lignina, powstają właśnie z blonnika (celulozy), a jakiej twardości nabrać może, zepsuciu niepodlegający blonnik, świadczą nam hebany, łupki z orzechów i t. p.

Oprócz błonnika znajdują się w każdym drzewie soki, składające się z gumy, azotu i białka, jakoteż z najrozmaitszych barwników, żywic i t. p. Soki zawierające w sobie białko lub azot, podlegają zepsuciu, skoro wystawione zostaną na wpływ wilgoci i ciepła dochodzącego do 50^0 C., i one to właśnie są przyczyną gnicia drzewa.

Chcąc więc drzewo konserwować starać się trzeba:

1) drzewo osuszać,

2) wydalać z niego soki podlegające zepsuciu,

3) przeobrażać soki w ciała nie podlegające zgniliznie.

Do p i e r w s z e j grupy zaliczamy osuszanie drzewa, i powlekanie już osuszonego, olejem, smołą, kreosotem itp. jednem słowem, ciałami nie dopuszczającymi wilgoci do wnętrza drzewa.

Do d r u g i e j grupy należą sposoby, mające na celu wyługiwanie drzewa bądź to przez moczenie, wciskanie pary, kreosotu, smoły lub też mechaniczne wydalenie soków przez ciśnienie powietrza i t. p.

Do t r z e c i e j, a dla nas najważniejszej grupy należą zaś wszystkie środki chemiczne, przeobrażające soki drzewa na ciała, nie podlegające zgniliznie.

A sposobów należących do tej kategorii konserwowania drzewa mamy legiony.

Jeden z najprostszych i najdawniej używanych jest tak zwane *opalanie* drzewa. Drzewo opalano albo bezpośredniem działaniem ognia, lub też używano ku temu celowi kwasu siarkowego. Kwas siarkowy łączy się bowiem tak energicznie z wodą, że dodany do ciał, które wody wcale nie zawierają, lecz powstają z części, z których woda się składa, sprawia, iż w nich się woda tworzy, która wchodzi w połączeniu z kwasem siarkowym. Ponieważ drzewo składa się z wodu, tlenu i węgla; wód i tlen tworząc wodę, łączą się z kwasem siarkawym, więc pozostaje węgiel sprzeciwiający się zgniliznie.

Co się tyczy wprowadzania owych mineralnych rozczynów w pory drzewa, rozróżniać wypada trojakie sposoby, a mianowicie: *wsiakanie, wsysanie i wciskiwanie.*

Wkładając gotowy próg do rozczynu i pozostawiając go tak długo samemu sobie dopóki się nie nasyci, oto sposób *wsiąkania.*

Zamiast drzewo ścinać i do rozczynu wkładać, można spowodować drzewo stojące w lesie na pniu, do wciągania w swe pory rozmaitych rozczynów, a sposób ten napawania drzewa mineralnemi sokami, zowiemy *wsysaniem.*

Trzeci sposób zaprawiania drzewa polega w tem, że się wciska siłą mechaniczną (n. p. naciskiem słupa wody, sikawką i t. p.) w pory drzewa płyny, któremi go nasycyć zamyślamy, a sposób ten zowiemy *wciskaniem.*

Pierwszym sposobem impregnował progi *Kyan* w roku 1838, drugiego używał *Boucherie* w roku 1840, trzeciego zaś praktykowali *Bethel* i *Payen* (1840) *Blythe* i *Buirnell* (1879).

Co się tyczy rozczynów, których używano do impregnowania, to znalazły największej wzięcia:

siarkan miedziany	Cu. SO_4
klorek rtęciowy	Hg. Cl_2
klorek cynkowy	Cn. Cl_2

i kreozot.

Kyan wsciskał w pory drzewa siłą 4 — 6 atmosfer klorek rtęciowy, rozrzedzony w stósunku 1 : 100, który to rozczyn sublimatem nazwał; wyczekując 14 do 20 dni, w którym to czasie mniemał, że rozczyn uwięzgnie zupełnie w porach drzewa, przekonał się, że metr sześcienny drzewa szpilkowego pochłania 1·1, drzewa liściowego zaś, już tylko 0·9 kilogramów sublimatu.

Zaledwie kyanizowanie rozpowszechniać się poczęło, wykazał *Erdman*, że sublimat nie przenika dostatecznie drzewa, osadzając się w górnych tylko jego warstwach, tak że głębsze partye wcale już sublimatu nie otrzymują. A spostrzeżenie to, w połączeniu z okolicznością, że kyanizowanie zawsze jest operacyą kosztowną, sprawiło, że metodę Kyana wnet zarzucono, pomimo, że sublimat zgnilizny nie dopuszczał.

Tańszym środkiem od sublimatu, okazał się być siarkan miedziowy, którą to sól *Margary* (1837) a później *Boucherie* (1840) jako rozczyn służący do impreguowania, wprowadzić się usiłowali.

Boucherie czyniąc szereg najrozmaitszych doświadczeń wykazał, że nie każde drzewo wsiąka w siebie jednakuwą ilość rozczynu, owszem, że ilość pochłoniona zależną jest od gatunku drzewa.

On to wykazał, że drzewo

brzozowe	wsiąka w siebie	. .	1·2
dębowe	„ „	. .	2·5
bukowe	„ „	. .	9·5
jasionowe	„ „	. .	22·5
jodłowe	„ „	. .	24·5
topolowe	„ „	. .	31·5
sosnowe	„ „	. .	51·5
olchowe	„ „	. .	70·7

kilogramów rozczynu, na metr sześcienny objętości, rozczynu zawierającego na 1000 kilogramów wody, 15 kilogramów siarkanu miedziowego.

Lecz i tutaj wykazało doświadczenie, że siarkan miedziowy nie łączył się chemicznie z masą drzewa, lecz osadzał się w porach jego tylko mechanicznie, a rozpuszczając się we wodzie, deszcz łatwo go z progów wypłukiwał. Z tego jednak wnioskować nie wypada, jakoby siarkan miedziowy nie miał być wcale użytecznym do impregnowania. Wykopaliska świeżo znalezione w pobliżu miasta *Riotinto*, pouczają, że skoro tylko czas jest ku temu, siarkan miedziowy z drzewem się łączy. W pobliżu tego miasta stęplowano w roku 70 p. Ch. kopalnie miedzi filarami z drzewa, które to filary po upływie 18 wieków, przeobraziły się w miedź i węgiel. Siarkan miedziowy łącząc się z azotowemi częściami soków drzewa, wciskał się wraz ze żywicą w jego pory. Rozpadając się później to mechaniczne połączenie wydzielać poczynało czystą miedź, podczas gdy kwas siarkowy zwęglał tkanki drzewa.

Ponieważ to, co sprawiło wieków osiemnaście, sztuka w krótszym czasie sprawić nie zdoła, więc zarzucono impregnowanie siarkanem miedziowym, próbując za skazówką *Bethela*, smołę otrzymaną przez destylacyę węgla kamiennego, który to jednak sposób rozpowszechnienia nie znalazł.

Ponieważ używając cieczy nie osiągniono zbyt dobrych rezultatów, powstała w Ameryce myśl, impregnowania ciałami lotnemi.

Robins był pierwszym, który proponował (1868) używania ciał lotnych, a widzimy też pana *Paradies* nastrzykiwującego w progi, parę z naftaliny, kwasu karbolowego, kreozotu i ciał żywicznych.

Blythe i *Buirnett* poczęli w roku 1879 używać pary kreozotowej, a doświadczenia przeprowadzone na austryjackiej kolei północno-zachodniej wykazały, że impregnując tym sposobem, potrzeba do zastrzykiwania progu, czasu 25—35 minut, podczas gdy *Bethel*, potrzebował na to $5^1/_2$—$8^1/_2$ godzin.

Impregnowanie kreozotem nie odpowiada jednak wymogom, albowiem białko zawarte w soku roślinnym nie ogrzeje się do tego stopnia aby skrzepło, w którym to razie parą wycisnąć się daje, gdy zaś prężenie pary się zwiększy do tego stopnia, że białko skrzepnie, to znów cierpi drzewo tracąc swą spójność.

Najważniejszą zaś przeszkodą rozpowszechnienia się impregnowania kreozotem zdaje się być ta okoliczność, że kreozot wsiąkając do pewnej tylko głębokości progu, tworzy dla wody nieprzenikalną skorupę, która sprawia, że wilgoć zamknięta wewnątrz uchodzić na zewnątrz nie może, przez co znów próg w środku gnije. A ponieważ nadgnitego proga zewnątrz poznać nie podobna, więc impregnowanie takie, nietylko że sprawy nie polepsza, ale nadto sprowadzić może niebezpieczeństwo dla ruchu.

Na myśl zupełnie odrębną wpadł w roku 1873 przemysłowiec francuzki pan *Hatzfeld*, proponując do zastrzykiwania progów, już nie sole mineralne, ale ciała organiczne, a mianowicie taninę, gdyż następujące zjawiska naprowadziły go na myśl używania tego ciała.

Wino czyści się tak dobrze rybim karuczkiem (zawierającym w sobie klej) jakoteż białkiem, co świadczy, że tanina znajdująca się we winie, tak dobrze się łączy z klejem jakoteż z białkiem.

W obydwóch bowiem razach powstaje ciało twarde, które opadając, porywa ze sobą nieczystości zawarte we winie.

Rozczyn taniny, konserwuje tak dobrze skórę, jak i siatki rybackie, udziergane z ciał roślinnych.

Drzewa okazują się być tem więcej wytrzymałe, im więcej taniny w sobie zawierają, jak nam to świadczy n. p. drzewo dębowe, kasztanowe itp.

Te i podobne zjawiska nasuwają myśl, że tanina oddziaływać może w podobny sposób na ciała roślinne, jak oddziaływa na ciała zwierzęce, t. j. że *garbować* można nie tylko skórę ale nadto także i drzewo (gdyż tanina łączy się tak dobrze z klejem zwierzęcym jakoteż z białkiem roślinnem).

Ażeby w ten sposób garbowanemu drzewu nadać oprócz własności niegnicia, także jeszcze i twardość zwraca *Hatzfeld* uwagę na *garbnikan żelazawy*, która to sól dopóki pozostaje wyjętą z pod wpływu powietrza, we wodzie się rozpuszcza (a więc wstrzykiwać się daje) w chwili zaś, gdy po niej powietrze dopływa, twardnieć poczyna, nabierając barwy czarnej, tracąc zarazem własność rozpuszczania się we wodzie (deszcz ją nie wypłuka).

Że tak jest świadczą nam piloty znalezione w roku 1830 w *Rouen* pochodzące z mostu stawianego jeszcze w roku 1501, które to piloty nietylko że nabrały czarnej barwy, ale nadto i twardości drzewa hebanowego, a chemiczna analiza wykazała, że przekształcenie takie, sprawił garbnikan żelazawy.

Nadmienić wypada, że kiedyś parafina i sylwina znajdą może zastosowanie do konserwowania drzewa.

Co się tyczy parafiny naprowadzają na to spostrzeżenia *Junemana*, którego Rossya powołała w roku 1862 do wyrabiania wosku z płodów rolniczych.

Chemik ten zauważył, że kadzie i inne naczynia drewniane, w których przechowywano parafinę nasiąknąwszy się dobrze, wcale nie gniły.

Co się tyczy Sylwiny (połączenie potażu lub sody z magnezyą i klorkiem) zauważano w Strassfurcie (na kolei Lipsk-Magdeburg) że beczki nasycone tą solą, dobrze się trzymają.

Ta sama sól, którą wydobywają górniczo w *Strassfurcie* znachodzi się także w pobliżu *Kałusza* (stacyi galicyjskiej kolei Arcyksięcia Albrechta).

Na koniec nadmienić należy, że oprócz wymienionych sól, używano do impregnowania progów, *siarkanu żelazawego*, (Fe SO_4) *siarczyku barowego* (Ba. S) *soli kuchennej*, *boraksu*, *wód mineralnych*, *wapna niegaszonego*, *mydeł metalowych*, *krzemionki*, *krydy* i t. p. a proponowano nawet, obijać progi gwoździami lub obwlekać je żelaznym drutem!

Impregnowanie progów nie weszło jednak w powszechne używanie, w roku 1877 impregnowano bowiem tylko na 46 kolejach.

Co się tyczy kosztów impregnowania, nadmienić wypada, że są bardzo zmienne, gdyż najem robotnika jakoteż koszta urządzenia zakładu impregnacyjnego mocnem ulegają zmianom.

Przyjąć można, że koszta impregnowania wynoszą w przecięciu na jeden próg:

Rozczyn służący do zastrzykiwania	Impregnowanie progu wyrobionego z drzewa					
	dębowego		bukowego		świrkowego	
	kosztuje centów austr. waluty					
	od	do	od	do	od	do
klorek cynkowy	13	34	29	48	19	31
siarkan miedziowy	22	45	54	60	36	51
klorek rtęciowy	50	60	.	.	60	96
kreozot	53	81	.	107	88	138

z którego zestawienia widzimy, że nastrzykiwanie klorkiem cynkowym jest operacyą najtańszą, kosztującą $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{2}$ impregnowania kreozotem.

Austryjacka kolej południowa, która z powodu podniesionych cen drzewa, poczęła w roku 1872 progi swe impregnować *siarkanem miedziowym*, znalazła że koszta impregnacyi, rozliczone na próg wynoszą jak następuje:

siarkan miedziowy	19·4
inne przyrządy	1·4
koszta najmu robotnika i dozoru .	2·4
utrzymanie zakładu	1·9
razem .	25·1

centów austryackich, tak więc, że nastrzykiwanie czterech progów wynosiło przeszło guldena.

Podług zestawienia spółki berlińskiej *Vilian et Comp.*, która to spółka wprowadziła w roku 1876 proszek, służyć mający do impregnowania progów pod nazwą „Antisepticum“ wynosić mają koszta impregnowania:

środek do nastrzykiwania	na	
	metr sześc.	próg
	centów	
kreozot	1250	96
siarkan miedziowy	300	23
klorek cynkowy	225	17
siarkan żelazawy	175	13
Antiseptikum	165	12

15.

Skuteczność impregnowania progów.

Impregnowanie progów nie rozszerzyło się jeszcze do tego stopnia, aby weszło w powszechne używanie. W roku 1878 impregnowano, że 115 kolei należących do związku niemieckiego

siarkanem miedziowym	na	. 5
klorkiem rtęciowym	„	. 8
kreozotem	„	. 13
klorkiem cynkowym	„	. 20
razem	„	. 46

Z 88 milionów progów leżących pod torami tych kolei znachodzimy tylko mniejszą połowę, bo 37 milionów progów zastrzykiwanych.

Austrya posiadała w owym roku 26·7 milionów progów, z których impregnowała tylko $3^1/_4$ miliona, a więc $12^0/_0$; na kolejach galicyjskich zaś, progów wcale nie impregnowano.

O ile progi zastrzykiwane dłużej leżą w torze od progów surowych, wykazuje następująca tabliczka publikowana na zgromadzeniu dróg związkowych w roku 1878.

Na 100 progów dębowych			
surowych		impregnowanych	
leżących w torach drogi żelaznej			
austryjacko południowej		kolonia Minden	
wymieniać musiano			
od założenia aż do roku	sztuk	od założenia aż do roku	sztuk
6go	1·25	14go	12·79
7	3·95	15	16·94
8	8·93	16	21·81
9	18·34	17	26·03
10	25·70	18	30·99
11	41·46	19	36·72
12	74·73	—	.

Z tej tabliczki powziąść można, że po upływie 12 lat wymieniać musiano przeszło 70% progów surowych, podczas gdy wymiana progów impregnowanych po upływie lat 19, zaledwie połowę tej wysokości, (bo tylko 36%) wynosiła.

Doświadczenia kolei *hanowerskich* wykazały, że po upływie lat 17, wymieniono 50% pierwotnie ułożonych progów, dopóki progi były surowe, gdy zaś poczęto używać progów zastrzykiwanych pokazało się, że po upływie tegoż samego czasu już nie potrzebowano wyrzucić $^1/_2$ włożonych progów lecz tylko $^1/_5$ część czyli 20%.

Progi zastrzykiwane leżały więc $\frac{50}{20} = 2·5$ razy tak długo w torze jak progi surowe.

Opierając się na datach statystycznych, wykazuje *Funk* (1880), że progi impregnowane klorkiem cynkowym i kreozotem, a wyrobione z drzewa:

dębowego leżeć mogą w torze		. . .	19·5
bukowego	„ „	. . .	15·0
smrekowego	„ „	. . .	14·0
sosnowego	„ „	. . .	8·0

lat, jakoteż, że trwałość progów smrekowych, w jaki bądź sposób impregnowanych, szacować wypada na lat 14.

Nepomucki, zauważa, że jako przeciętną trwałość impregnowanych progów dębowych przyjąć wypada 16 lat — a ponieważ szyna stalowa trwa przeciętnie lat 55 (§ 9) więc wypada, że zmieniać trzeba pod nią progi $\frac{55}{16} = 3{\cdot}5$ razy. Pomimo tych korzystnych wyników, impregnowanie progów nie jest tak rozpowszechnionem jakby to sobie myśleć można a pochodzi to ztąd, że zysk jaki impregnowaniem osiągamy zależnym jest od stosunku, w którym stoją koszta impregnowania do kosztu progu surowego.

Mamy n. p. na pewnej kolei n progów surowych, z których każdy kosztuje s guldenów, to kosztują wszystkie progi ns guldenów, leży próg surowy przez lat l w torze, to kosztuje roczna wymiana progów $\frac{n\,s}{l}$ guldenów.

Impregnujemy zaś owe progi, a kosztuje impregnowanie i guldenów na próg, to wynoszą koszta nabycia progu impregnowanego $(s+i)$ guldenów, wszystkich progów zaś $n(s+i)$ guldenów, a ponieważ próg impregnowany leżeć może w torze przez lat l_1, więc wynoszą roczne koszta wymiany progów impregnowanych $\frac{n(s+i)}{l_1}$ guldenów.

Impregnując progi, zyskujemy więc rocznie:

$$\triangle = \left\{ \frac{s}{l} - \frac{s+i}{l_1} \right\}$$

guldenów.

Zysk znika, skoro będzie

$$\frac{s}{l} = \frac{s+i}{l_1}$$

lub też

$$\frac{s+i}{s} = \frac{l_1}{l}$$

który to związek mówi, że *skoro koszta zakupna progów impregnowanych stoją w tym samym stosunku do kosztów zakupna progów surowych, w którym ich trwałość stoi, to zastrzykiwanie progów przestaje być korzystnem.*

Gdyby n. p. próg impregnowany kosztował 150, surowy zaś 100 centów, a pierwszy leżał w torze 12, podczas gdy drugi tylko 8 lat, to w takim razie wynosi stosunek

$$\frac{s+i}{s} = \frac{150}{100} = 1{\cdot}5$$

stosunek zaś $\frac{l_1}{l} = \frac{12}{8} = 1{\cdot}5$

a więc tyle samo, w tym razie nie opłaca się progów impregnować.

Z powyższego wzoru wypada

$$i = \frac{l_1 - l}{l} . s$$

co znaczy: że skoro koszta impregnowania (i) dochodzą sumy $\frac{l_1 - l}{l} . s$; impregnowanie progów, żadnej korzyści nie przynosi.

Jeżeli więc mamy progi impregnować to nie śmią nigdy koszta impregnacyi wynosić

$$\left(\frac{l_1 - l}{l}\right)$$

kosztów zakupna progów, lecz muszą być mniejsze.

Gdyby n. p. próg surowy leżał w torze lat 8, impregnowany zaś, lat 12, to impregnowanie przestaje się rentować, skoro koszta impregnacyi wynoszą $\frac{12-8}{8} = {}^1/_2$, kosztów zakupna progów surowych.

Kostuje surowy próg 2 guldeny, to impregnowanie przestaje się dopiero wtedy opłacać, gdy koszta tej operacyi dojdą do wysokości guldena na próg, kosztuje zaś próg zurowy 80 centów (jak to się u nas w Galicyi dzieje) to sastrzykiwanie już rentować się przestaje, skoro koszła impregnacyi wyniosą $\frac{80}{2} = 40$ centów.

Widzimy z tego, że skoro impregnowanie progu wyjdzie do 40 centów, manipulacya ta u nas w Galicyi się nie rentuje, podczas gdy ona zupełnie tam jest na miejscu, gdzie próg kosztuje 2 guldeny, jak n. p. w Niemczech.

W chęci wykazania doniosłości zastrzykiwania progów przeprowadza *Funk* następujący rachunek:

Przyjmujemy, że surowy próg dębowy kosztuje 2, smrekowy zaś guldena, a impregnacya progu dębowego kosztuje 30, smrekowego zaś 36 centów, dalej że próg

dębowy surowy trwa	. .	13·6 lat
„ impregnowany	. .	19·5 „
smrekowy surowy	. . .	6·1 „
„ impregnowany	.	12·0 „

Drogi żelazne należące do związku niemieckiego posiadają 60 milionów progów, z których 35 milonów jest surowych, 25 milionów zaś impregnowanych.

Z progów nieimpregnowanych wyrobiono z drzewa:
smrekowego . . 20 milionów sztuk
dębowego . . . 15 „ „

20 milionów surowych progów z drzewa smrekowego, kosztuje 20 milionów guldenów, a ponieważ próg taki po 6·1 lat wyrzucić trzeba, więc wynoszą koszta zużycia się progów surowych

$\frac{20}{6 \cdot 1} = 3 \cdot 28$ milionów guldenów, koszta zakupna 15 milionów progów dębowych wynoszą 30 milionów guldenów, a ponieważ próg dębowy używać można przez 13·6 lat, więc wynoszą koszta zużycia się progów dębowych rocznie $\frac{30}{13 \cdot 6}$ $= 2 \cdot 20$ milionów guldenów, utrzymanie wszystkich 35 milionów surowych progów kosztuje przeto rocznie

$$3 \cdot 28 + 2 \cdot 20 = 5 \cdot 48$$

milionów guldenów.

Gdyby zaś progi te impregnowano, to kosztowałby próg smrekowy już nie guldena, lecz 1·36 fl., a 20 milionów progów smrekowych kosztowałoby 27·2 milionów guldenów, ponieważ jednak w takim razie próg smrekowy leżeć by mógł w torze przez 12 lat, więc kosztowałoby zużycie progów smrekowych rocznie $\frac{27 \cdot 2}{12} = 2 \cdot 18$ milionów guldenów, zamiast jak pierwej 3·28 miliony.

Gdyby chciano impregnować wszystkie 15 milionów progów dębowych kosztowałby próg taki już nie 2 lecz 2·30 fl., a koszta zakupna wszystkich, wynosiłyby 34·5 milionów guldenów, ponieważ próg taki 19·5 lat leży w torze, więc wynosi zużycie się progów rocznie $\frac{34 \cdot 5}{19 \cdot 5} = 1 \cdot 76$ milionów guldenów zamiast 2·2 milionów.

Roczne koszta zużycia się progów impregnowanych wynoszą przeto

$$2 \cdot 18 + 1 \cdot 76 = 3 \cdot 94$$

milionów guldenów.

Impregnując progi oszczędzamy więc rocznie

$$5 \cdot 48 - 3 \cdot 94 = 1 \cdot 54$$

milionów lub okrągło $1\frac{1}{2}$ miliona guldenów.

16.

Budowa toru.

Pierwsze tory wyciesywano z kamienia, później używano na ten cel drewnianych brusów, na które jeszcze później przybijano drewniane łaty (§ 1).

A gdy się wreszcie nauczono wyrabiać ze surowca szyny (§ 5) przybijano je gwoździami na podwalinach podłużnych.

Jessop był pierwszym, który w roku 1789 układał szyny na progach poprzecznych, na doniosłości tej poprawki jednak się nie poznano, gdyż *Outram* układa (1800) szyny surowcowe na kostkach kamiennych.

A gdy wałcownie poczęły dostarczać szyn dłuższych, 5 do 6 metrów długości (1820) ustawiano kostki tak, że szyna spoczywała na 6 kostkach.

Ażeby szyna z kostki nie spadała wciskano ją w trzewiczek czyli siodełko, które znów do kostki przymocowano.

Ażeby gwoździe, któremi trzewiczki do kamienia przymocowywano, w kamieniu dobrze siedziały, wiercono w nim najprzód otwory, w których gwoździe klinami przytrzymywano.

Ażeby szyna leżąc raz w siodełku, w niem się przesuwać nie mogła, wbijano między ściany siodełka a szynę, kliny drewniane.

Budowa taka była nadzwyczaj pojedynczą, a doświadczenia niemieckiej kolei zwanej *Taunus*, pouczyły, że koszta utrzymania torów kostkowych, wynoszą zaledwie 35% utrzymania toru spoczywającego na podkładach poprzecznych.

Pomimo tej taniości utrzymania, dzisiaj już prawie torów kostkowych nigdzie nie znachodzimy, a pochodzi to ztąd, że utrzymanie szerokości toru natrafiało na trudności, gdyż tok spoczywający na kostkach nie miał wcale żadnego połączenia z tokiem równoległym, spoczywającym na innym szeregu kostek.

Dopóki jeżdżono zwolna, trudności te, jako tako pokonywać się dawały, spieszna jazda napiętrzyła ich jednak tyle, że się zmuszonem widziano do opuszczenia takiej budowy.

Poczęto więc na nowo używać progów poprzecznych, a praktyka wyrobiła trzy odrębne systema, któreby nazwać można systemem *angielskim, amerykańskim* i *niemieckim*.

W Anglii, gdzie drzewo złotem niemal ważą, gdzie próg poprzeczny kosztuje 5 i więcej guldenów, tam układa się w tor tylko materyał doborowy.

Tam spoczywają szyny na ciężkich progach dębowych starannie obciesanych i od wilgoci chronionych, a osadzanych od siebie ile możności jak najdalej, używając ku temu celowi szyn mocniejszych jak na kontynencie.

W Ameryce północnej zaś, posiadającej lasy dziewicze, nie ma drzewo prawie wartości, tam więc nabrać musiała budowa toru innej, okolicznościom właściwej cechy.

Na kolejach amerykańskich leżą też progi bardzo blisko obok siebie, częstokroć tak blisko, że przestrzeń pomiędzy dwoma sąsiadami równa się szerokości progu, a progi leżą zupełnie na wierzchu i nie są niczem chronione.

Szyna jest za to znacznie słabszą od szyny angielskiej, przez co jednak bezpieczeństwo ruchu wcale nie cierpi, gdyż szyna mocno jest podpartą. Tam drzewa nie szczędzą wszędzie gdzie tylko drzewo użyć się daje, drzewo znachodzimy. Inaczej w Niemczech!

Tutaj spoczywa szyna, obliczona na swą wytrzymałość z wszelką ścisłością, na drewnianych progach, których oddalenie od siebie trzyma środek między ostatecznościami Anglii i Ameryki.

Próg, który Amerykanie prawie zupełnie nic, Anglicy znów ze wszelką starannością zwirem okrywają, nasypują Niemcy lekko nie przypisując kwestyi chronienia progów zbyt wielkiej wagi.

Aby tak osadzone progi, na poprzek toru się nie usuwały, zostawia się po obu stronach toru, tamę zwirową $^1/_2$ metra szeroką, platformą zwaną, chociaż może rozszerzenie podobne nie zupełnie jest koniecznem, gdyż z powodu wielkiego tarcia między progiem, a zwirem, obawa przesuwania się progu na poprzek toru, nie zdaje się mieć podstawy.

W żadnym razie zaś, koszta podobnego rozszerzania nie zdają się stać w odpowiednim stosunku do korzyści które rozszerzenie legowiska przynosi, dla tego też, zwyczaj Amerykanów pozostawiania czoła progów bez wszelkiego nakrycia, zasługiwałby, aby nad nim się zastanowiono.

Co się tyczy odległości, w której progi od siebie rozsuwać można, to zawisłą ona jest od wytrzymałości szyny, w każdym razie muszą progi tak być blisko siebie, aby zgięcia szyny powstające między dwoma progami skutkiem ciężaru pociągu, wszędzie były jednakowe, nie przechodząc nigdzie dozwolonej granicy.

Zazwyczaj układa się progi tak, że 6·5 metrowa szyna spoczywa na 7 progach, tak więc, że na kilometr toru wypadnie 1080 progów, a przeciętna odległość dwóch sąsiednich progów wynosi 95 centimetrów.

Amerykanie, używając słabszej szyny podpierają ją mocniej, skutkiem czego używają na kilometr toru 16·50 sztuk, tak więc, że potrzebują półtora raza tyle progów co Niemcy.

Na tak rozsuniętych progach, ułożony tor przymocowanym być musi do prógów. Dawniej, gdy jeszcze szyny wyrabiano ze surowca, zostawiano w nich otwory, przez które gwoździe przesuwano, przytwierdzające szynę do dźwigaru podłużnego, póżniej zaś osadzano ją w siodełkach przytwierdzanych do kostek kamiennych.

Dzisiaj przytwierdza się szynę do progu, chwytając jej stopę główką żelaznych gwoździ mających 15 do 20 centimetrów długości, ważących po $^1/_4$ kilograma, które to gwoździe wbite w zdrowy próg, szynę dostatecznie z progiem wiążą.

Tam, gdzie dwie sąsiednie szyny, należące do jednego i tego samego toku, ze sobą się stykają, — na składach szyn — tam wsuwa się między próg a szynę, płytki żelazne wyrabiane z walcowanego żelaza, w których to płytkach dla gwoździ stosowne otwory pozostawiać trzeba.

Tym sposobem złączono wprawdzie szynę z progiem, szyn jednak należących do jednego toku, ze sobą nie złączono, a brak takiego połączenia sprawia, że linia toku skutkiem jazdy często się narusza. Koło pozostając na szynie, wgniata ją bowiem nieco w próg, podczas gdy szyna następująca, nie mając ze swą poprzedniczką wcale żadnego związku, a nie będąc jeszcze pod naciskiem koła, nieco wyżej stoi. Najeżdżające koło szturknie przeto o czoło takiej szyny, a gdy ta z drugiej strony na opór trafi, z toku nieco zboczyć musi. W łukach znów wyciska siła odwódkowa, przygniatając koło z boku do szyny, synę na zewnątz toru, podczas gdy następująca szyna, jeszcze wysuniętą nie została.

Przerwy w ciągłości toku, oddziaływać muszą niekorzystnie na spokój i bezpieczeństwo ruchu, a to tak dalece, że pzzy nieco przyspieszonej jeździe, pociąg ze szyn wyskoczyć może. W chęci zapobieżenia tem niedogodnościom, poczęto (1838) w zjednoczonych stanach północnej Ameryki łączyć ze sobą szyny sąsiednie leżące w jednym i tym samym toku, za pomocą drewnianych sztab, mających $1^1/_2$ metra długości, 15 centimetrów szerokości, a 8 centimetrów wysokości, sztaby te miały więc taką długość, że sięgały po za progi sąsiednie.

Łącznie takie wyrabiał holenderczyk *Renselaer* z twardego drzewa, a przytwierdzał je do szyn za pomocą czterech w jednej linii ustawionych śrób, a to w ten sposób, że oddalenie od siebie śrób skrajnyh wynosiło 1·12^m, śrób wewnętrznych zaś 0·2 metra. A łącznie także *klepkami* zwane osadzał tylko po jednej stronie toku, a mianowicie po zewnętrznej jego stronie.

Później (1845) gdy *klepki* poczęto wyrabiać ze żelaza, ustawiano je po obu stronach toku, nadając im już tylko $^1/_4$ metra długości, a ustawiał *Trimple*, który je użył po raz pierwszy na kolei wiodącej z Filadelfii do Baltimore, zawsze dwie klepki naprzeciw siebie tak, że śruby ściągały równocześnie obydwie klepki, między któremi szyna się znajdowała.

Na koleji *Baltimore-Ohio* znaleść można po dziś dzień jeszcze (1876) podobne klepki, podczas, gdy klepki używane w Europie, wyrabiane ze żelaza walcowanego, otrzymały 40—50 centimetrów długości a 7$^1/_2$ centimetrów wysokości. Korzyść używania klepek była tak widoczną, że zwyczaj ten wnet się przeniósł do Anglii, a ztamtąd na kontynent Europejski. Niemiecka kolej wiodąca z Kolonii do Minden była na kontynencie pierwszą, która klepki zaprowadziła, używając je już w roku 1850.

Za wzorem tej koleji poszła Austrya, budując w roku 1851 kolej przez górę *Semmering*; tutaj przekonano się, że klepki nietylko że się przyczyniają do bezpieczeństwa ruchu, ale nadto, że opór na szynach złączonych ze sobą klepkami, jest mniejszym.

Tym sposobem zbudowany tor przedstawiał już jednolitą całość, chodziło teraz jeszcze tylko o to, aby całość tą *utrzymać*, t. j. sprawić aby skutkiem wstrząśnień powstających podczas przejazdu pociągu, śróbki spajające ze sobą szyny się nie obluzowywały. Trzeba więc było mieć przyrząd, któryby rozkręcanie się muterki na sworniach przynależnych uniemożliwiał. Ku temu celowi nawleka *Hohenegger* na czpień śróbki, nim jeszcze muterkę się nasadzi pierścień blaszany, który, gdy muterka zostanie przykręconą, nieco się wygina, wygięcie blaszki sprawia, że raz przykręcona już muterka, więcej się już nie rozkręci.

Na tak ukonsolidowanym torze odbywała się jazda z wszelką bespiecznością, chęć tylko, uzyskania miękkiej i spokojnej jazdy, sprowadziła na myśl, nie wsuwać pod skład szyny, osobny próg, lecz owszem pozostawić obydwa końce stykających się szyn, bez wszelkiego podparcia. A gdy poczęto (1550) pozostawiać składy szyn bez wszelkiego podparcia, przekonano się, że nietylko tor nabiera pewnej poddajności, ale nadto, że ruch pociągów daleko mniej tory ściera, co znów sprawia, że zwyczaj niepodpierania składów co raz więcej rozpowszechniać się poczyna.

Wydawać by się mogło, że nie podpierając składu, oszczędza się zarazem na progach, tak jednak nie jest, owszem budowa składów wolnych, wymaga więcej progów aniżeli budowa składów podpieranych, gdyż po obydwóch stronach wolnego składu, w niewielkiej odległości od niego, rozdzielić trzeba progi, aby w pobliżu składów leżały gęściej, aniżeli na linii wolnej od składów.

Gdyby tor pozostawał, zawsze pod wpływem jednej i tej samej temperatury, budowa torów nie dawałaby prawie już nic do życzenia, tak jednak nie jest.

Ciepło wydłuża bowiem szynę, która znów się skurcza skoro temperatura spadnie, zmiana ciepłoty sprawia więc, że tok znajduje się w stanie falowania podłużnego.

Falowaniu temu, trzeba koniecznie pozostawić wszelką swobodę, gdyż przeciw siłom przyrody walczyć niepodobna, dlatego też tok nie może tworzyć jedno twarde pasmo, lecz musi się podobnie do nici gumielastycznej dać wydłużać, a po wydłużeniu, znów do pierwotnej wartości ściągać. Z tego powodu nie można, układając tok, stykać jedną szynę z drugą, lecz trzeba zostawić między niemi pewien odstęp, tak aby szyna podczas ciepła wydłużać się mogła. Wielkość odstępu tego, zwanego *luzem*, obliczyć można w sposób następujący:

Przypuśćmy że układany tor podczas najwyższej temperatury jaką w kraju spodziewać się można, jakoteż, że temperatura ta wynosi t_1 stopni skali termometru Celziusza. W takim razie możnaby dwie w jednym toku po sobie następujące szyny tak zesunąć, aby się obopólnie czołami ze sobą stykały, bo więcej wydłużyć, już się nie mogą. Dla większej pewności jednak, pozostawia się pomiędzy niemi odstęp wynoszący 2 milimetry.

Wolno na podkładzie leżąca szyna, wydłuża się pod działaniem ciepłoty w obie strony o pewną cząstkę swej długości. Wyraża α ułamek właściwy, określający tę część długości całej szyny, o którą takowa się wydłuża przy podniesieniu się temperatury o jeden stopień podziałki termometru Celziusza, to stosownie do poczynionych spostrzeżeń mieć będziemy dla szyny:

$$\alpha = \begin{cases} \frac{108}{10^4} & \text{stalowej} \\ \frac{123}{10^4} & \text{żelaznej} \end{cases}$$

Skoro przedstawia *S* długość szyny wykazaną w milimetrach, ściągnie się szyna z każdym stopniem zniżenia ciepłoty o α S milimetrów.

Na jednym końcu swej długości ukróci się szyna zaś o $\frac{\alpha\ S}{2}$ milimetrów, ponieważ sąsiednia szyna skróci się również o $\frac{\alpha\ S}{2}$ milimetrów na końcu zwróconym do czoła sąsiadki, wyniesie odstęp tych dwóch szyn sprawiony opadem temperatury o jeden stopień

$$\frac{\alpha\ S}{2} + \frac{\alpha\ S}{2} = \alpha\ S$$

milimetrów.

A ponieważ różnica temperatury między chwilą układania toru, a chwilą obserwacyi, wynosi $(t_1 - t)$ stopni, więc wynosić musi wielkość *luzu*:

$$\alpha\ S\ (t_1 - t)$$

milimetrów, a ponieważ odstęp ten z góry już wynosił 2^{mm}, więc będzie całkowity luz:

$$\triangle = \alpha\ S\ (t_1 - t) + 2$$

milimetrów.

Przyjmując, że możebnie najwyższa temperatura, przy której jeszcze tor budować można, wynosi 40^0 C, mamy $t_1 = 40$, a przeto:

$$\triangle = \alpha\ S\ (40 - t) + 2 \qquad 10.$$

milimetrów, jako wzór służący do obliczania luzu, w którym wyraża:

$\triangle$ = luz w milimetrach, podczas ciepłoty $+^0$ skali Celziusza,
S... długość szyn w metrach,
t... ciepłota w stopniach Celziusza,
α... współczynnik dylatacyi wynoszący dla szyn

$$\begin{array}{l} \text{stalowych} \;.\;.\;.\;. \\ \text{żelaznych} \;.\;.\;.\;. \end{array} \alpha = \begin{cases} 0{\cdot}0108 \\ 0{\cdot}0122 \end{cases}$$

Podczas mrozu — 40^0 C ściągają się szyny tak dalece, że dla 9 metrowej szyny, wynosi luz, skoro szynę wyrobiono że stali:

$$\triangle = 0{\cdot}0108.\ 9.\ (40 + 40) + 2 = 9{\cdot}7$$

milimetrów.

Następująca tablica uwidocznia zmianę wielkości luzu ze zmianą temperatury.

Temperatura w stopniach Celziusza	Luz wynosi milimetrów			
	szyna żelazna mająca długość metrów		szyna stalowa mająca długość metrów	
	6·5	9·0	6·5	9·0
+ 40	2·0	2·0	2·0	2·0
+ 30	2·8	3·1	2·7	3·0
+ 20	3·6	4·2	3·4	4·0
+ 10	4·4	5·3	4·1	4·9
0	5·2	6·4	4·8	5·9
— 10	6·1	7·5	5·6	6·9
— 20	6·9	8·6	6·3	7·8
— 30	7·7	9·7	7·0	8·8

Wykazano konieczność zostawienia luzów pomiędzy dwoma sąsiedniemi szynami, leżącemi w jednym toku i obliczono jego wielkość. Ponieważ jednak szyny leżące w toku, są zapomocą klepek ze sobą spojone, więc luz nic by nie pomógł, gdyby szyna pomimo spojenia klepkami, wzdłuż toku przesuwać się nie mogła.

W celu umożliwienia takiego przesuwania się szyny, nie mogą śruby spajające ze sobą obustronne klepki, wchodzić ciasno w otwór, znajdujący się w mięsni szyn.

Wywiercając w szynie otworty eliptyczne, a której elipsy dłuższa oś leży poziomo, podczas gdy otwory w klepkach, jakoteż przekrój śruby są ciasno kołowe; sprawiamy, że szyna będąc niejako zawieszoną na nieruchomych czpniach, wzdłuż toku przesuwać się może, a przesuwać się będzie jak daleko dłuższa oś owalnego otworu w szynie zezwoli.

17.
Gatunek, koszta i spieszność budowy toru.

Opisano dotąd budowę toru, a mianowicie taką budowę, gdzie tor spoczywa na progach poprzecznych, wyrabianych z drzewa. W nowszym czasie przychodzą technicy niemieccy do przekonania, że tor taki nie opiera się siłom działającym na niego w kierunku poprzecznym, jakby tego sobie życzyć można, gdyż próg drewniany, pomimo wielkiego tarcia między drzewem a zwirem, przecież na poprzek toru z niewielką trudnością wysunąć się daje.

W chęci uzyskania toru, któryby więcej się opierał siłom nań działającym, a to siłom działającym w kierunku poprzecznym, jako też w kierunku podłużnym, poczynają Niemcy używać progów żelaznych, a używają ich dwa gatunki: progów poprzecznych i podłużnych.

Statystyka obejmująca 115 dróg żelaznych, należących do związku niemieckiego, mających długości 53725 kilometrów, na których znajduje się 84103 kilometrów toru, wykazuje, że znachodziło się z końcem 1878 roku 2970 kilometrów, a więc $3^1/_2$ procent toru żelaznego; z tych torów spoczywało na

progach poprzecznych . . .	1434
podwalinach podłużnych . . .	1477
innych	59
razem .	2970

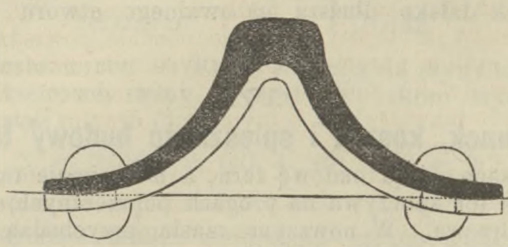
kilometrów, podczas gdy tylko 356 kilometrów znachodziło się, które spoczywały na kostkach kamiennych.

W Austryi znachodzimy obecnie tylko 28 kilometrów toru żelaznego, z którego 26 kilometrów spoczywa na podwalinach podłużnych. Najwięcej toru żelaznego posiada kolej reńska, bo ma go 498 kilometrów, później następują koleje Alzackie, mające 431 kilometrów, kolej Niederlandzka 214, w Nassau 185, w Bawaryi 110 kilometrów i t. p.

Rozróżniamy dwa gatunki budowy toru żelaznego, a mianowicie: tor j e d n o l i t y i tor d w o i s t y.

Przy pierwszym nie ma wcale żadnych progów, albowiem układa się szynę wprost na gruncie, dając jej odpowiedni przekrój, aby się w zwirze dobrze utrzymywać mogła, takich systemów mamy dwa, a mianowicie: szynę *Barlowa*, którą uwidocznia uboczna figura 2, jakoteż szynę *Hartwicha.*

Fig. 2.

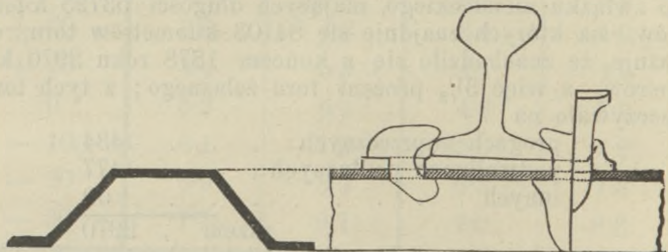


Szyna Barlowa.

Cechą zaś toru dwoistego jest ta okoliczność, że próg i szyna są każde dla siebie, i dopiero przez stosowne przymocowanie żelaznej szyny do również żelaznej podkłady, **tor** powstaje.

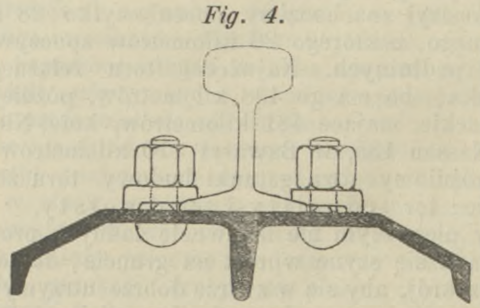
Tor dwoisty spoczywać może tak dobrze na progach poprzecznych, jakoteż na podwalinach podłużnych; do systemu poprzecznego należy konstrukcya *Vautherin*, do systemu podłużnego zaś: *Hilf*, *Menne*, *Haarman*, *Battig* i inne.

Fig. 3.



System Vautherin.

Fig. 4.



System Hilf.

Figury 3 i 4 przedstawiają próg poprzeczny systemu *Vautherin*, jakoteż podwalinę podłużną systemu *Hilf*; który z tych systemów jest lepszym, trudno obecnie powiedzieć albowiem ma system progów poprzecznych tylu zwolenników, ile system podwalin podłużnych, a doświadczeń, któreby stanowczo przemawiały za jednym lub drugim systemem, dotychczas jeszcze nie ma.

Jako zalety progów poprzecznych uważać trzeba: łatwość budowy toru, prostota konstrukcyi, ułatwiona wymiana progów uszkodzonych, niezmienność szerokości toru, dogodność i spieszność budowy w razie wojny. Ujemne zaś strony progów poprzecznych są: konieczność zginania progu, chcąc otrzymać nachylenie szyny, niebezpieczeństwo, w razie pęknięcia szyny, mały opór siłom, działającym na poprzek toru, i trudność usadowienia progu w zwirze.

Za podwalinami podłużnemi przemawia: taniość utrzymania toru, możność podparcia szyny w całej jej długości, uzyskanie toru jednolitego, nieruchliwość toru. Przeciw budowie na podwalinach podłużnych mówią zaś: trudność odwodniania, trudność układania łuków, znaczna utrata materyału w razie uszkodzenia podwaliny, kosztowność budowy, trudność przejścia z progów poprzecznych na budowę na podwalinach podłużnych, nareszcie trudność budowy samej.

Wypadek, który się wydarzył w dniu 4 lutego 1879 na kolei między Berlinem a Frankfurtem świadczy, że i tor żelazny posiada swe niedogodności.

W dniu wspomnionym wykoleił się bowiem pociąg z powodu pęknięcia wieńca koła popędowego u maszyny, która go prowadziła.

A ponieważ, skutkiem wykolejenia się, nawierzchnia budowa systemu Hilf mocno została uszkodzoną, więc chciano w miejscu uszkodzenia włożyć nowe szyny.

Robota ta, trafiła na niespodziewane trudności, albowiem ani muterki, ani też śruby przytwierdzające szynę do podwaliny podłużnej, żadną siłą odkręcić nie było można.

Odcięto więc główki i chciano gwoździe wbić głębiej, aby tym sposobem usunąć przeszkodę zdjęcia szyny. Usiłowania były daremne, materyał bowiem tak mocno był zbitym, a skutkiem mocnego mrozu tak twardym, że gwoździ wbijać nie było można.

Dopiero ogień, sprawiony umyślnem rozlaniem nafty, palący się przez półtory godziny, zdołał zwolnić o tyle lód, że twarde masy pękać poczynały.

Jako powód zbijania się mas pod podwalinami systemu dźwigarów podłużnych, uważa p. *Nieden* trudność przeprowadzenia stosownego odwodnienia, która z budową tego systemu jest nierozłączalną; jakoteż, że rdza, spłukiwana deszczem, staje się niejako kitem, który ziemię z czasem w twardy kamień zamienia.

Pomijając szczegółowy opis tych i wielu jeszcze innych systemów, przytoczę, celem porównania, koszta założenia i utrzymania toru, mającego długość metra.

Koszta założenia i odnawiania, wynoszą na metr toru w guldenach		
system	guld.	proc.
Hohenegger (żelazny)	23·65	100
Hilf „	23·95	101
Atzinger „	24·62	104
Lazar	25 52	108
zwykła budowa, używając progów nastrzykiwanych	28·12	119
zwykła budowa, progi surowe	29·29	124

Hohenegger, który powyższą tabliczkę zestawił, oblicza koszta budowy toru używając progów poprzecznych (drewnianych), jak następuje:

Jako podstawę rachunku, służy linia kolejowa taka, że na długość kilometra znajduje się 650 metrów linii prostej, lub prowadzącej łukami nie ostremi (których promień większym jest od 600^m), 350 metrów zaś linii leży w łukach ostrzejszych, zatoczonych promieniami, wynoszącemi więcej niż 600^m.

Do budowy zaś, użyto progów nieimpregnowanych i szyn stalowych, mających 6·5^m długości, których składy leżą wolno.

Koszta założenia oblicza on odrębnie od kosztów utrzymania, a mianowicie:

założenie:	*zlr. a. w.*
dębowych, nieimpregnowanych progów 1232 sztuk na kilometr	3080·00

64500	kilogramów szyn stalowych . . .	7546·50
3634	„ klepek kątowych . . .	486·96
1294	„ klepek wewnętrznych . .	150·10
838	„ sworni do klepek . . .	167·60
2406	„ gwoździ	447·52
1957	„ płytek czyli tacek . . .	246·58
	dostawa i rozwóz 1400 metrów sześciennych zwiru, metr po 2 złr.	2800·00
	wymiana dotychczasowej i układ nowej budowy nawierzchnej, kilometr po 90 ct. . . .	900 00
	koszta założenia	15825·26

Utrzymanie:

wymiana progów, konieczna co 8 lat, kosztuje, po odtrąceniu zysku sprzedaży starych, 3067·68 fl., przedstawia więc jednorazowy kapitał . .	6391·00
wymiana szyn, konieczna co 24 lat, kosztuje, po odtrąceniu zysku sprzedaży starych, 4179·60 fl., co przedstawia kapitał	1874·26
wymiana przyrządów do przymocowywania, konieczna co 40 lat, kosztuje, po odtrąceniu zysku sprzedaży 1215·15 fl, co przedstawia kapitał .	201·18
utrzymanie toru, włącznie z utrzymaniem narzędzi, kosztuje na metr, rocznie 25 centów, przeto wydatek na kilometr	5000 00
koszta utrzymania:	13466·44

guldenów.
kilometr toru kosztuje przeto:

założenie . . .	15825·26
utrzymanie . .	13466·44
razem .	29291·70

guldenów; na metr toru wypada przeto 29·29 guldenów.

W jakim zaś czasie kolej wybudować można, zależy przed wszystkiem od trudności terenu, od organizacyi budowy i od wielu najrozmaitszych czynników.

Koleje, zbudowane w czasach wojennych, świadczą, jak szybko w danym razie budować można.

Opierając się na doświadczeniach zrobionych podczas wojny francuzko-pruskiej (1870) i turecko-rosyjskiej (1878), przyjąć można, iż pod wyjątkowemi okolicznościami, jak to właśnie są czasy wojenne, wybudować można na dzień, kilometr kolei, a następująca tabliczka zatwierdza powyższe orzeczenie:

wojenna kolej		
mającą nazwę	długość w kilometrach	wybudowana w ciągu dni
Bender - Gałacz (1878)	135	130
Dalja-Winkowce-Brood (1878)	96·2	80
Remilly-Pont- à Mousson (1870)	38·8	30

18.

Stromość toru.

Już *Stefenson* zauważył, że chcąc przewozić przez górę mającą stromość 1 : 100 ten sam ciężar, który w równi prowadziła jedna maszyna, trzeba na to siły trzech naszyn, a okoliczność ta ustaliła w nim zdanie, że lokomotywy, w równiach tylko, z korzyścią używane być mogą.

Zdanie *Stefensona* stało się dla ogółu przekonaniem, co sprawiło, że koleje w równiach tylko budowano, odważając się tu i owdzie na skromne wzniesienia, których stromość 15 milimetrów na metr poziomej odległości jednak nigdy nie przewyższała.

Podobnie jak morze, wdzierając się w krainę pagórkowatą, rozlewając się w równi, pagórki pozostawia, tak też i sieć dróg żelaznych, w równiach tylko się szerzyła, nie tykając gór. Zachodziła konieczność przekraczania gór, to pomagano sobie rozmaitemi sposobami, i tak: ustawiano u szczytu góry parową maszynę, która nie zmieniając miejsca swego, wyciągała pociąg w górę za pomocą linki zwijającej się na walec, lub też używano w miejsce maszyny, stale w miejscu ustawionej — lokomotywy, a to w sposób następujący:

Lokomotywa, przybywszy z pociągiem do stopy góry, pozostawiając pociąg, odbiega sama w górę, rozwijając podczas biegu z walca linę, która łączy maszynę z pociągiem; przybywszy do szczytu, ustawia się lokomotywą tak, aby z miejsca ruszyć się nie mogła. Para działa w takim razie na obrót walca, na którem lina napowrót się zwija, a ponieważ u końca liny pociąg zawieszono, więc zwijający się walec wyprowadza pociąg w górę.

Myśl opisaną zastosował po raz pierwszy, jak się zdaje, inżynier *Handyside* w Australii, a to prawdopodobnie już w roku 1875.

Ciekawym jest sposób, w jaki prowadzić zamyślano ruch na kolejach szwajcarskich. Robert *Stefenson*, oceniając w roku 1850 projekta budować się mających dróg żelaznych, projektował, aby na wzniesieniach, mających $2-2\frac{1}{4}$ kilometrów długości, a wznoszących się po nad poziom 1—2 stopni, urządzono ruch w sposób następujący:

Na najwyższym punkcie wzniesienia, miał być ustawiony słup pionowy, w około którego należałoby nawijać mocną linę. Do jednego końca tej liny miał być przyczepiony pociąg, do drugiego zaś wozy, dające się z łatwością napełniać wodą i wypróżniać. Przez napełnianie wozów balastowych, znajdujących się na szczycie wzniesienia, i wprowadzanie takowych w ruch z góry na dół, byłoby możebnem ciągnąć pod górę pociąg znajdujący się u stóp wzniesienia; sprowadzenie zaś pociągu ze szczytu wzniesienia na dół mogłoby być dokonywanem, przez wypróżnianie wozów balastowych, stojących u spodu wzniesienia.

Tak stały rzeczy aż do roku 1848, w którym to roku znajdowało się na ziemi naszej 130 równi pochyłych rozsypanych na 42 kolejach.

Rząd Austryacki posiadał w owym roku kolej wiodącą z Wiednia do Gloggnitz, po za stacyą przychodziła góra *Semmering*, kończąca się przed stacyą Mnirzzuschlag, począwszy od której, wiodła znów kolej żelazna dążąca do Tryjestu.

Na samej górze, wówczas torów nie było, bo wzniesienie 1 : 40, którego żadną miarą ominąć nie było można, nie zezwalało na budowę tak stromej kolei.

Do prowadzenia ruchu po tak stromej kolei nie miano wówczas jeszcze żadnych sposobów, nie było bowiem ani lokomotyw, któreby zdołały ciągnąć ciężary po torach tak stromych, ani też nie miano odpowiednich hamulców, któreby dozwalały poskramiać zanadto szybki bieg pociągów z góry na dół.

A ponieważ doświadczenia na istniejących równiach pochyłych wcale nie przemawiały za budową takich równi, więc też wcale nie myślano o budowie kolei przez górę *Semmering*. Skutkiem tego oddano prowadzenie ruchu przez górę osobnemu przedsiębiorstwu, które znów zaspakajało potrzeby ruchu zwykłemi furmankami.

W miarę przedłużania się kolei z tamtej strony góry, t. j. w miarę zbliżania się toru do wówczas jedynego portu (Tryjest), zwiększał się ruch na górze *Semmering*, a wzrósł do tego stopnia, że w roku 1848 furmanki żadną miarą już nie wystarczały.

Następstwem tego było, że zjawiały się najrozmaitsze projekta, mające na celu zapobiedz złemu, a rury pneumatyczne, które właśnie w świat wprowadzano, zdawały się być najodpowiedniejszym środkiem do zwalczania co raz więcej ożywiającego się ruchu.

Wśród debat, w jaki sposób najlepiej prowadzić będzie można ruch przez górę *Semmering*, zagrzmiały burze socyalne r. 1848, a to, czego rozstrzygnąć nie zdołały umiejętne rozprawy, rozstrzygła kwestya socyalna. Proletaryat koniecznie mieć musiał zajęcie, zdecydowano się tedy na budowę kolei żelaznej, gdyż budowa taka zajęcia dostarczała.

Na przedstawienie słynnego *Ghegi*, uchwalono w dniu 8 sierpnia 1848 ową budowę, której ster złożono w ręce Ghegi, prace techniczne poruczono starszemu inżynierowi *Pilarskiemu*, podczas gdy wykonanie oddano przedsiębiorcy panu *Habliczkowi*.

Pomimo niesłychanych trudności, postępowała budowa raźno, co roku przybywała w przecięciu mila drogi żelaznej tak, że po upływie pięciu lat, a mianowicie w dniu 23 października 1853, po raz pierwszy całą 41·825 kilometrów długą drogę maszyną przejechano, którą to linię, gdy drugi tor założono, do użytku publicznego oddano w dniu 17 lipca 1854 roku.

Kolej ta była pierwszą na świecie koleją, mającą stromość $^{1}/_{40}$, a służącą ruchowi publicznemu.

Z powodu śmiało rzuconych mostów, wspaniałych wiaduktów, długich tunelów, a przedewszystkiem z powodu ostrych łuków i stromości wzniesień, zwróciła kolej ta na siebie uwagę całego świata, była ona bowiem pierwszą koleją, na której ruch po bystro ułożonych torach, prowadzić się miał za pomocą lokomotywy.

Lokomotywy bowiem ciągnęły dotąd ciężary tylko w równiach, lub w kierunku łagodnie wznoszących się pagórków, pod bystre góry żadna z ówczesnych lokomotyw ciężarów nie ciągła.

Śmiałość genialnego *Ghegi*, który proponował użycie lokomotywy a nie maszyn parowych, w miejscu stale ustawionych, lub równi pochyłych, albo nareszcie siły koni, polegała na niezłomnem przeświadczeniu, że zbudować można lokomotywę, któraby prowadziła pociągi nie tylko po równi, ale nadto także i pod górę.

Stanowczemu wystąpieniu *Ghegi* niemniej trafnem jego argumentom przypisać należy, że Rząd zdecydował się na zastosowanie do przewozu przez górę, lokomotywy. Skutkiem tej decyzyi, rozpisano w roku 1849 konkurs na dostawę odpowiedniej, tak zwanej lokomotywy górskiej.

Od lokomotywy górskiej żądano wówczas, aby ciągła ciężar 140 tonn (nie licząc w to ciężar lokomotywy i jej tendera) w kierunku wzniesienia, mającego stromość 1 : 40, chyżością 3·1^m na sekundę (11·38 kilometrów na godzinę) w łukach zatoczonych promieniem 190 metrów, a gdy w dniu 4 lipca, 1851 stanęły do walki cztery lokomotywy, poznano całą doniosłość powziętej uchwały, i tej to uchwale, przypisać należy, że w miejscu, w którym w roku 1077 cesarz niemiecki, dążąc do Canossy, na bawolich skórach zesuwać się musiał, podróżnych dzisiaj lokomotywa przewozi (góra Cenis).

19.

Określanie pochyłości toru.

Matematycy wyrażają zazwyczaj stromość wzniesienia kątem, który zawiera płaszczyzna, w której wzniesienie leży, z poziomem; wyrażając kąt ten w stopniach koła. Zamiast kątem nachylenia, wyrazić można stromość toru ułamkiem właściwym, którego liczebnik jest jednostką, podczas gdy mianownik, nabiera wartości zmienne.

Mianownik podaje poziomą długość toru, która odpowiada wzniesieniu o jednostkę pionowej wysokości. Skoro mówimy, że stromość wzniesienia wynosi $^1/_{100}$; to znaczy, że na 100 metr. poziomej długości tor się wznosi 1^m. Wypada ztąd, że skoro α wyraża kąt, $\frac{1}{n}$ zaś stromość nachylenia, że być musi:

$$tg\alpha = \frac{1}{n}$$

Zwyczaj określania nachyleń ułamkiem właściwym ułatwia maszyniście pojęcie stromości, i dla tego określanie podobne weszło w powszechne używanie. W nowszym czasie poczynają koleje określać nachylenia swych torów zamiast ułamkiem zwykłym, ułamkiem dziesiętnym.

Zaprowadzeniem tem zmienia się myśl dawniejszego określania nachyleń. Podczas gdy dawniej liczbą stałą był liczebnik i wynosił jednostkę, przedstawia podług nowszego określania, mianownik liczbę stałą, a wynosi 100. Zamiast mówić o nachyleniu $\frac{1}{20}$, piszemy $\frac{5}{100}$, a mówimy, że nachylenie wynosi 0·05 czyli 5 procent.

Wyrażanie nachyleń w procentach poziomej długości odpowiadało zupełnie celowi, dopóki tory nieznacznie tylko do poziomu nachylano. Z chwilą zaś, w której okazała się potrzeba wyrażania nachyleń w częściach procentu, a konieczność ta nastała, używając wzniesień stromszych, przestało wyrażanie w procentach być praktycznem. Musiano bowiem pisać: nachylenie wynosi $5^1/_4$, $6^3/_4$... procent, a pisano w takich razach

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{5^1/_4}{100} = \frac{5{\cdot}25}{100} = 0{\cdot}0525 = 5^1/_4\ \%.$$

W chęci ominięcia ułamków, które tym sposobem znów się wkradły, poczynano wyrażać nachylenia już nie w procentach, a więc nie na 100, lecz na 1000, i mówiono w takich razach o nachyleniach *pro mille.*

Wyrażano więc wzniesienia wzorem:

$$\operatorname{tg}.\alpha = \frac{m}{1000}$$

a zamiast pisać $\frac{m}{1000}$ pisano króciej m $^0/_{00}$, a wymawiano: *m* „pro mille“.

Biorąc milimeter jako jednostkę pomiaru, wyraża *m* ilość milimetrów, o którą tor nachyla się do poziomu na każde 1000 milimetrów poziomej odległości. A ponieważ 1000 milimetrów stanowią metr, więc wyraża *m*, *nachylenie toru w milimetrach na metr poziomej odległości.*

Związek zaś, zachodzący między kątem nachylenia α, nachyleniem $\frac{1}{n}$, wyrażonym ułamkiem właściwym, dalej nachyleniem $r\,^0/_0$ wyrażonem w procentach, a nareszcie nachyleniem $m\,^0/_{00}$ *pro mille* uwidocznia wzór:

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{1}{n} = \frac{r}{100} = \frac{m}{1000} \qquad (11$$

Znajomość stromości wzniesień jest dla ruchu rzeczą wielkiej wagi, gdyż właśnie kąt nachylenia, a raczej jego styczna, jest miarą tarcia, zjawiającego się między kołem a szyną.

20.

Możebnie największa stromość toru.

Śmiało przez górę *Semmering* rzucona kolej, złamała przesąd, jakoby koleje żelazne równiom tylko służyć miały, i od tego też czasu rozwija się budowa *kolei stromnych.*

Strome wzniesienia wymagają więcej maszyn, przez co zwiększa się przy pociągach ciężar *brutto*, względnie do ciężaru *netta*. Wzniesienia takie wymagają obszerniejszych ogrzewalni do przechowywania większej ilości maszyn i zwiększają liczebnie służbę maszynową.

Prowadzenie ruchu ożywionego natrafia przeto na kolejach stromych na trudności finansowe, które wzróść mogą do tego stopnia, że przewóz przez górę opłacać się przestaje.

Inżynier *Sauer* w Wiedniu oblicza (1880), że skoro przewozić mamy na kolei rocznie *a* milionów tonn towaru, stromośó toru nie może więcej wynosić jak *m* milimetrów na metr poziomej odległości, a wyraża się *m* wzorem:

$$m = \frac{270.a + 230}{10.a + 3}$$

pro mille.

Prowadząc ruch w kierunku wzniesienia stromszego niż $m\,^0/_{00}$, tracimy; prowadząc zaś ruch po wzniesieniu łagodniejszem, tracimy również, gdyż w takim razie przedłuża się linia przewozowa.

Wstawiając w podany wyraz

$$a = 5,\ 2^1/_2,\ 1,\ ^1/_2,\ ^1/_4$$

otrzymujemy kolejno:

$$m = 30,\ 33,\ 38._5,\ 45_5,\ 54\ \%_0$$

co znaczy, że przewóz rocznie 5 milionów tonn towaru wymaga wzniesienia mającego stromość 30%₀, przewóz zaś $^1/_4$ miliona tonn, dopiero wtedy opłacać się będzie, gdy stromość toru posuniemy do 54%₀.

Następnie przytaczam dla przykładu niektóre koleje prowadzone przez góry, wymieniając ich stromości:

Drogi żelaznej. nazwa	Drogi żelaznej. oddział	α	$\frac{1}{n}$	%	%₀
Południowa austryacka	Semmering	1⁰20¹	$^1/_{40}$	2·5	25
Apenińska	pomiędzy stacyami Bologna i Pistoja	"	"	"	"
Równia pochyła w Liège	między Brukselą a miastem Anc	1⁰35¹	$^1/_{36}$	2·77	28
Przystań w Altonie		"	"	"	"
Równia pochyła w Gmunden	nad jeziorem Gmunden	2⁰10¹	$^1/_{30}$	3·4	34
Giovi	pomiędzy stacyami Genua i Alessandria	2⁰30¹	$^1/_{28}$	3·5	35
Północna francuzka	Enghien-Montmorency	2⁰40	$^1/_{22}$	4·5	45
Poti - Tiflis	łącząca morze Czarne z Kaspijskiem	"	"	"	"
Rigi - Szeidek	pod Zurichem	3⁰0¹	$^1/_{20}$	5·0	50
Uetli	pod Zurichem	4⁰0¹	$^1/_{14}$	7·0	70

W tej tabliczce oznacza:

α.... nachylenie toru do poziomu w stopniach (kąt nachylenia)

$\frac{1}{n}$.... stromość wyrażona ułamkiem.

$^0/_0$.... stromość wyrażona w procentach.
$^0/_{00}$... stromość w milimetrach na metr poziomej odległości, czyli stromość na tysiąc (*pro mille*).

Nie biorąc zaś względu na sprawę finansową, zauważyć należy, że na drogach żelaznych nie stromszych jak $45^0/_{00}$, ruch odbywa się gładko i bez zasadniczych trudności (trudności ruchu bowiem na koleji Giovi i Poti-Tiflis są tylko miejscowe, spowodowane niezwykłą długością wzniesień), podczas gdy na kolejach stromych, regularne prowadzenie ruchu uciążliwem się staje.

Opór ruchu pochłania bowiem na drogach stromych prawie cały zasób siły, którą kocioł dostarcza, a to tak dalece, że do przewozu ciężarów, mało tylko siły pozostaje, a okoliczność ta sprawia, że wszędzie tam, gdzie chodzi o utrzymanie stałego i regularnego przewozu ciężarów, nie wypada torom nadawać większej stromości jak 45^{mm} na metr poziomej odległości.

Ustawa, nadana austryackim kolejom, idzie w tej mierze jeszcze dalej, bo podług niej, wynosić może na kolejach pierwszorzędnych stromość wzniesień, zbudowanych:

$$\begin{array}{l} \text{w równiach} \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \text{w polu pagórkowatym} \ldots \\ \text{w górach} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{array} m = \begin{cases} 5 \\ 10 \\ 25 \end{cases}$$

milimetrów na metr poziomej odległości.

Dotąd wykazano granicę, do której posuwać można stromość torów, mając na oku trudności prowadzenia ruchu, następnie wykazać wypada granicę, do której posuwać można stromość toru, biorąc pod uwagę li tylko *możebność*, nie zaś *trudność* prowadzenia ruchu. .

Chcąc utrzymać w ruchu kamienną kostkę, ustawioną na również kamiennej podstawie, trzeba na to pewnej siły, oczywiście mniej, aniżeli trzeba do podniesienia jej w górę. Waży kostka jedną tonnę (1000 kilogramów) to potrzeba będzie, powiedzmy 300 kilogramów, by ją utrzymać w ruchu.

Im gładszą będzie kostka, tem mniej wyjdzie siły do jej posuwania; do posunięcia kostki polerowanej na wygładzonej podstawie, wystarczy już siła 200 kilogramów, a gdyby kostka była żelazną, a sunęła się po szynie żelaznej, spadłaby, siła potrzebna do utrzymania jej w ruchu do wartości 100 kilogramów.

Siłę, którą ciała przylegają do podstawy, zowiemy siłą przylegalności lub obcem słowem *adhezyą*, a mierzyć ją można ciężarem, potrzebnym do przesuwania jednostki ciężaru, na podstawie prostej i poziomej.

Obierając ciśnienie, jakie sprawia ciężar jednej tonny, jako jednostkę ciśnienia, nazwać trzeba adhezyę odpowiadającą temu ciśnieniu, *adhezyą jednostkową*. Jednostkowa adhezya żelaza, wynosi więc 100 kilogramów.

Ponieważ koła lokomotywy, które połączono z tłokiem przesuwającym się w cylindrze, nie mają dowolnego obrotu, lecz zależą od ruchu posuwistego tłoka, więc uważać je można jako smyki, suwające się na szynie.

Doświadczenie uczy, że na mokrej szynie potrzeba do posunięcia lokomotywy, na każdą tonnę nacisku, wywartego na osie tych kół, które zostają w połączeniu z tłokiem, 80 kilogramów, co znaczy, że adhezya jednostkowa wynosi 80 kilogramów, a ponieważ hamując koła wozu, sprawiamy u niego to samo, co się dzieje przy lokomotywie bez hamowania, więc chcąc zwrócić uwagę na akt hamowania, wyrażamy jednostkową adhezyę literą h, mamy więc: $h = 80$.

Stoi lokomotyka na poziomej, to *cały ciężar*, złożony na osiach kół popędowych, sprawia na szynę nacisk pionowy, a w takim razie wynosi adhezya jednostkowa 80 kilogramów na tonnę *ciężaru*, złożonego na osie kół popędowych. Znajduje się zaś maszyna na wzniesieniu, to tylko jedna składowa owego ciężaru przyciska lokomotywę pionowo do szyny, *adhezya jednostkowa* wynosić będzie w takim razie 80 kilogramów na tonnę *nacisku*, sprawionego na szynę przez osie kół popędowych.

Druga składowa ciężaru lokomotywy, zamierza ją zesuwać w dół, im tor stromiej się wznosi, tem większą będzie składowa siły ciążenia, pchająca lub ciągnąca lokomotywę w dół. W chwili, w której składowa ta wyrówna adhezyi, lokomotywa na torze więcej utrzymać się nie zdoła.

Widzimy więc, że lokomotywa utrzymać się może na takiej tylko stromości, na której składowa jej ciężaru, sunąca lokomotywę w dół, adhezyi jeszcze nie wyrównała. Im więcej siła w dół ciągnąca zbliża się do wartości adhezyi, tem niepewniej lokomotywa stać będzie na wzniesieniu.

Adhezya jest więc granicą stromości toru.

Sprawiają koła maszyny, stojące w połączeniu z tłokiem, nacisk na szynę wynoszący M tonn, a adhezya wynosi h kilogramów na tonnę tego ciężaru, to wynosić będzie całkowita adhezya $M\,h$ kilogramów. Stoi zaś lokomotywa nie na poziomej, lecz na torze nachylonym do poziomu pod kątem α stopni, to wynosi siła, maszynę w dół ściągająca, $M \sin \alpha$ tonn; podczas gdy druga składowa $M \cos \alpha$ tonn, maszynę do szyny przyciska.

W takim razie wynosi adhezya:

$$h\ M.\ \cos \alpha$$

kilogramów. Na tonnę ciężaru zaś, tylko

$$h \cos \alpha$$

kilogramów, podczas gdy siła, spychająca maszynę w dół, na tonnę ciężaru wynosi $\sin \alpha$ tonn, czyli

$$1000 \sin \alpha$$

kilogramów. W chwili, w której obydwie te siły z sobą się zrównają, maszyna z toru się zsunie. Możebnie największa stromość toru będzie więc ta, dla której wypadnie:

$$1000 \sin \alpha = h \cos \alpha$$

t. j. dla której będzie:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{1000}$$

lub, uwzględniając h = 80, dla której będzie:

$$\operatorname{tg.} \alpha = \frac{80}{1000} = 0{\cdot}08$$

t. j. skoro kąt nachylenia wyniesie:

$$\alpha = 4$$

stopnie.

Torów, stromiej jak pod kątem 4⁰ układać więc nigdy nie będzie można.

Stromość ta odnosi się jednak li tylko do torów *gładkich*, a więc do maszyn, mających koła *gładkie.*

Torom bowiem, na których sprawiamy adhezyę *sztuczną*, używając n. p. szyny zazębionej, tarcz frykcyjnych i t. p.; nadać można wzniesienia daleko stromsze. Jak daleko zaś stromość torów w takim razie posunięto, uwidocznia następująca tabliczka:

Nazwa drogi żelaznej i system ciągu (trakcyi)	długość w metrach	nachylenie do poziomu
Rorszach-Heiden, w poliżu jeziora Kostnickiego. (szyna zazębiona czyli trybowa)	5500	3^0
Droga prowadząca na szczyt góry Kahlenberg pod Wiedniem (szyna zazębiona)	5000	$5^0\,41^m$
Kolej Ostermund pod Bernem (szyna zazębiona)	2000	$5^0\,45^m$
Droga prowadząca na górę Szwabenberg pod Pesztem (szyna zazębiona)	3000	$5^0\,50$
Kolej Crox-rousse pod Lyonem (szyna zazębiona)	489	$9^0\,10$
Kolej linowa na Alpie świętej Zofii pod Wiedniem	606	$10^0\,20$
Kolej Art-Rigi (szyna trybowa)	12140	$11^0\,20$
Kolej Rigi-Vitzinau w Szwajcaryi (szyna trybowa)	7050	$14^0\,5$
Kolej linowa Giessbach w Szwajcaryi	346	$15^0\,40$
Kolej linowa przez górę Leopolda pod Wiedniem	725	$18^0\,50^m$
Kolej linowa przez górę Pitsburg w Ameryce	192	$30^0\,10$
Kolej linowa pod Pesztem	80	$31^0\,50$
Kolej linowa przez górę Vezuwiusza we Włoszech	800	53^0

21.

Szkodliwość wzniesień.

Ciężar lokomotywy stojącej na torze pochylonym do poziomu pod kątem α stopni, rozdziela się na dwie składowe, z których jedna wynosząca na tonnę ciężaru maszyny, sin. α tonn, działając równolegle ze szyną, stara się maszynę w dół zesunąć, podczas gdy druga, przyciskając maszynę do szyny, tarcie sprawia.

Ponieważ kolei żelaznych mocniej jak pod kątem 4^0 do poziomu nachylać nie można (§. 20), a dla kąta takiego z dostateczną dokładnością pisać można:

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$$

jest albowiem:

$$\sin \alpha = 0{\cdot}0697$$
$$\operatorname{tg} \alpha = 0{\cdot}0699$$

więc wynosi składowa ciężaru lokomotywy, zesuwająca ją w dół $\operatorname{tg} \alpha$ tonn, czyli 1000 $\operatorname{tg} \alpha$ kilogramów, a ponieważ, skoro m wyraża stromość pochylenia w milimetrach, jest (§. 19)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{1000}$$

więc wynosi siła, pociąg w dół zesuwająca,

$$1000 \frac{m}{1000} = m$$

kilogramów na tonnę jego ciężaru.

Widzimy więc, że siła, która wóz w dół zesuwa, wynosi tyle kilogramów na tonnę jego ciężaru, ile milimetrów stromość wzniesienia wynosi na metr poziomej odległości.

Wóz, stojący na torze mającym 10 milimetrów stromości, pozostaje pod wpływem siły zesuwającej go w dół, wynoszącej 10 kilogramów na tonnę jego ciężaru, waży wóz 15 tonn, to wynosi składowa siły ciążenia, zesuwająca go w dół, $10 \times 15 = 150$ kilogramów.

Natrafia pociąg biegnący po linii poziomej, na opór który na każdą tonne jego ciężaru wynosi 15 kilogramów, to potrzeba do zwalczania tego oporu, 15 kilogramów siły przewozowej; wejdzie zaś pociąg na wzniesienie $5^0/_{00}$, to trzeba będzie do przewozu już o 5 kilogramów więcej siły, *bo każdy milimetr wzniesienia pochłania na tonnę ciężaru, kilogram siły przewozowej.*

W chwili, w której siła, maszynę w dół ściągająca, a więc siła wynosząca na tonnę ciężaru m kilogramów, (gdzie m wyraża stromość toru w milimetrach) wyrównywa adhezyi jednostkowej, wynoszącej h kilogramów na tonnę ciężaru maszyny, maszyna na wzniesieniu utrzymywać się przestaje (§. 20). Najstromsze wzniesienie, jakie torom nadać można, wynosi przeto:

$$m = h$$

t. j. tyle milimetrów na metr poziomej odległości, ile ma kilogramów adhezya jednostkowa.

A ponieważ adhezya jednostkowa ma 80 kilogramów (§. 20), więc *najstromsze wzniesienie, które torom nadać można, wynosi 80 milimetrów.*

Ze stromszych wzniesień, od wzniesienia 80‰ gładkim torom nigdy nadać nie będzie można, świadczy próba, jaką zrobiono w roku 1869 na górze Cenis.

Nim jeszcze przebito tunel przez górę, chciano na szosie, prowadzącej wierzchem góry, a mającej stromość 83‰, ułożyć dla przewozu materyałów tymczasowo tor.

Po wybudowaniu toru pokazało się, że zwykła lokomotywa na tak stromym wzniesieniu utrzymać się nie zdoła.

Trzeba więc było użyć jakiegoś sposobu do wydobycia *sztucznego* tarcia, a uzyskano tarcie tem, że między oba toki wsunięto trzeci. Tok ten, położony nieco wyżej od tamtych, brały między siebie pod maszyną ustawione *koła poziome*, obracające się w około pionowo ustawionych czopów.

A ponieważ czopy te ustawiono na maszynie tak, że się mogły do siebie nieco zbliżać, więc też koła, osadzone na tych czopach, przylegać mogły po obu stronach do wywyższonej szyny, skoro czopy siłą pary do siebie zbliżono (system *Fell:*)

Rozumie się samo przez się, że granica stromości 80‰ odnosi się tylko do torów żelaznych, tory wyrobione z drzewa, jakie znachodzimy od roku 1868 w północnej Ameryce wznosić się mogą mocniej i znachodzimy też na torach takich nachylenia wynoszące 5% czyli nachylenia wynoszące 50 milimetrów na metr poziomej odległości.

Że wzniesienia torów szkodliwie na ruch oddziaływają, spostrzegł już *Stefenson* zauważając, że wzniesienia zwiększają ciężar motoru kosztem ciężaru pociągu. Waży bowiem maszyna *M* tonn, wozy żaś, które ona ciągnie, ważą *W* tonn, to rozdzielając tak ciężar maszyny, jakoteż ciężar wozów na dwie pod prostym kątem do siebie działające składowe, z których jedna działa w kierunku wzniesienia nachylonego pod kątem α do poziomu, otrzymamy siły:

$$M \sin\alpha \text{ i } W \sin\alpha$$

starające się maszynę i wozy zesunąć z wzniesienia, i siły:

$$M \cos\alpha,\ W \cos\alpha$$

przyciskające tak maszynę jakoteż i wozy do szyny, sprawiające więc tarcie.

Gdy $M \sin\alpha$, i $W \sin\alpha$ tonn działają zgodnie, to suma ich wynosi:

$$1000\,(M + W) \sin\alpha$$

kilogramów.

Siły $M \cos\alpha$ i $W \cos\alpha$ tonn, działają wprawdzie także zgodnie, lecz każda z nich sprawia inne tarcie, siła przyciskająca wozy, sprawia tarcie, które maszyna zwalczać musi, podczas gdy siła przyciskająca maszynę, użyteczną adhezyę wytwarza.

Wynosi opór kół wozowych *o* kilogramów na tonnę ciężaru wozów, to sprawi siła $W \cos\alpha$ tonn, tarcie wynoszące:

$$o . W \cos\alpha$$

kilogramów, a ponieważ tarcie to, maszyna zwalczać musi, więc wynosi suma sił utrudniających jazdę w górę:

$$1000\,(M + W) \sin\alpha + o . W \cos\alpha$$

kilogramów.

Wynosi jednostkowa adhezya *h* kilogramów, to będzie całkowita adhezya

$$M . h . \cos\alpha$$

kilogramów, a ponieważ, skoro ma nastąpić równowaga, będzie:

$$1000\,(M + W) \sin\alpha + o . W \cos\alpha = M . h \cos\alpha$$

a przeto:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h . M - o . W}{1000\,(M + W)}$$

ze względu zaś na paragraf 17, będzie:

$$m = \frac{h . M - o . W}{M + W}$$

Wyraża *z* stosunek ciężaru pociągu do ciężaru motora, a więc:

$$\frac{M + W}{M} = z$$

to otrzymamy z powyższego wzoru

$$z = \frac{h + o}{m + o} \qquad (2$$

związek, który zachodzi między ciężarem maszyny a ciężarem pociągu.

Tutaj wyraża:

z... stosunek ciężaru pociągu do ciężaru maszyny,
h... jednostkową adhezyę,
m .. stromość toru
o... opór toczących się wozów.

Ponieważ doświadczenie poucza, że jest h = 80, o = 3 więc mamy tabliczkę:

m	0	5	10	15	20	25	30	80
z	28	9	6	5	4	3	2	1

w której powziąść można przekonanie, że lokomotywa, która na poziomej ciągnie ciężar 28 razy większy niż sama waży, ciągnąć będzie na wzniesieniu 10‰ ciężar już tylko 6 razy większy, na wzniesieniu 80‰ zaś, już tylko ciężar własny.

22.

Profil linii kolejowej.

Porządek w którym na otwartej linii, pochyłości po sobie następują, nie jest dla ruchu rzeczą obojętną.

Dwa n. p. ku sobie zwrócone spadki nigdy ze sobą stykać się nie powinny, bo pociąg narazić się może na wykolejenie w chwili w której środek jego mija punkt w którym spadki ze sobą się stykają.

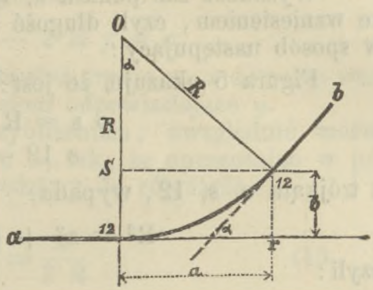
Na wóz mijający punk załamania się profilu, uderzają bowiem wozy pędzące z góry mocniej, aniżeli uciekają wozy idące w górę, a uderzenie takie, do bezpieczeństwa ruchu przyczyniać się nie może.

Tak samo jaknie śmie następować po spadku, wzniesienie, nie może następować po wzniesieniu bezpośrednio spadek, gdyż w takim razie wozy pędzące w dół, szarpią mocno na wóz znajdujący się w punkcie, w którym wzniesienie się kończy, a spadek się wszczyna, gdyż wóz ten jako wóz dążący do szczytu wzniesienia, posiada mniejszą chyżość od wozu biegnącego już w kierunku spadku.

Z tych samych powodów nie powinno po linii poziomej bezpośrednio następować wzniesienie stromsze, ani też winien się stykać się z nią spadek mocny, każde bowiem nagłe zboczenie z pierwotnego kierunku, niebezpiecznem stać się może dla ruchu pociągów.

Dla tego też wsuwać trzeba między każdą zmianą kierunku toru linję, łagodzącą przejścia z jednego kierunku w kierunek drugi.

Fig. 5.



Chcąc z linii poziomej a — 12 fig. 5. przejść na wzniesienie b — 12, wsunąć trzeba między koniec prostej, a początek wzniesienia krzywą 12 — 12, którą nazwać można linią przejściową.

Linia przejściowa może być kołem, lub też łukiem innej krzywej, w każdym razie *wytyczyć* ją trzeba, chcąc urządzać przejście z poziomej na wzniesienie.

Przypuszczając, że linia przejściowa ma być kołem zatoczonem promieniem *R* metrów, to zachodzi pytanie, jak daleko od końca poziomej rozpocząć można wzniesienie i jak wysoko punkt jego początkowy położyć trzeba, czyli innemi słowy, jak wielkie będą rzędne *a* i *b* punktu 12?

Długość łuku, zatoczonego promieniem R metrów, wynosi R α metrów, skoro α wyraża kąt nachylenia włożyć się mającego wzniesienia.

Ze względu na nieznaczną wielkość tego kąta będzie:

$$\alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{1000}$$

a przeto krzywa:

$$12 - 12 = \frac{m}{1000} \cdot R.$$

a ponieważ dla łuków krótkich, krzywa 12 — 12 równa się projekcyi jej, 12 — r, czyli linii *a*, więc jest:

$$a = \frac{m}{1000} \cdot R.;$$

ponieważ zaś ustawa przepisuje dla dróg związkowych, jako minimum: $R = 2000^m$, więc mamy jedną rzędną punktu 12, a mianowicie odciętą:

$$a = \frac{2000}{1000} m = 2 m$$

metrów.

Wysokość zaś punktu *n*, w którym tor zetknąć się ma ze wzniesieniem, czyli długość linii r — 12 = b, obliczamy w sposób następujący:

Figura 5 okazuje, że jest:

$$o\,s = R - b$$

$$s\,12 = a$$

z trójkąta o, s, 12, wypada:

$$R^2 = a^2 + (R - b)^2$$

czyli:

$$a^2 + b^2 - 2\,R\,b = o$$

a ponieważ b^2, w porównaniu do 2 Rb znika, więc mamy w przybliżeniu:

$$b = \frac{a^2}{2\,R}$$

ze względu, że

$$a = 2\,m,\ R = 2000$$

otrzymujemy:

$$b = \frac{m^2}{1000}$$

Rzędne punktu 12, t. j. punktu, w którym wzniesienie się rozpoczyna, wynoszą więc:

$$a = 2\,m$$

$$b = \frac{m^2}{1000}$$

gdzie *m* wyraża stromość wzniesienia w milimetrach.

Chcąc *wytyczyć* linię przejściową, znać trzeba przed wszystkiem jej równanie; do równania jej przychodzimy zaś w sposób następujący:

Wyrażają α i β współrzędne środka koła, to będzie jak wiadomo:

$$(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 = R^2$$

równanie koła, a ponieważ w naszym wypadku jest:

$$\alpha = o$$
$$\beta = R$$

więc będzie równanie naszego koła:

$$x^2 + y^2 - 2 R y = o$$

w którem to równaniu, wstawiać trzeba za x dowolne wartości i obliczać, tym wartościom odpowiadające y.

Zadawalniając się przybliżeniem, uwzględnić można krótkość y w porównaniu do x, tak, że opuszczając w powyższym wzorze y^2, przychodzimy do równania:

$$y = \frac{x^2}{2 R} \qquad (13$$

które, jak widzimy, jest równaniem *paraboli*, co nas zadziwiać nie powinno, bo koło i parabola spadają w jedną linię, skoro nie chodzi o punkta zbyt od siebie oddalone.

Jeżeli więc z góry dekretujemy, aby linja przejścia była kołem, jak to czyni ustawa niemiecka, to przybliżona linia przejścia będzie parabolą.

Na kolejach francuzkich nie ma podobnego przymusu, tam otrzymuje się linję przejścia w ten sposób, iż się ustawia obok siebie kolejno po sobie następujące wzniesienia *pro mille*, (czyli wzniesienia w milimetrach na metr poziomej długości) a wielobok tem sposobem otrzymany, przedstawia już szukaną linję przejścia.

Ustawiamy wzniesienia:

$$0{\cdot}5,\ 1{\cdot}0,\ 1{\cdot}5,\ 2{\cdot}0,\ 2{\cdot}5\ldots\ ‰$$

obok siebie, rysując w figurze 6. na każde 10 po sobie następujących metrów, piony wynoszące:

$$5,\ 10,\ 15,\ 20,\ 25\ldots$$

milimetrów, to otrzymamy wieloramion uwidoczniony w tejże figurze 6.

Łącząc ze sobą punkta b, c, d, otrzymujemy szukaną *linję przejścia*. Tutaj wynosi nachylenie linji.

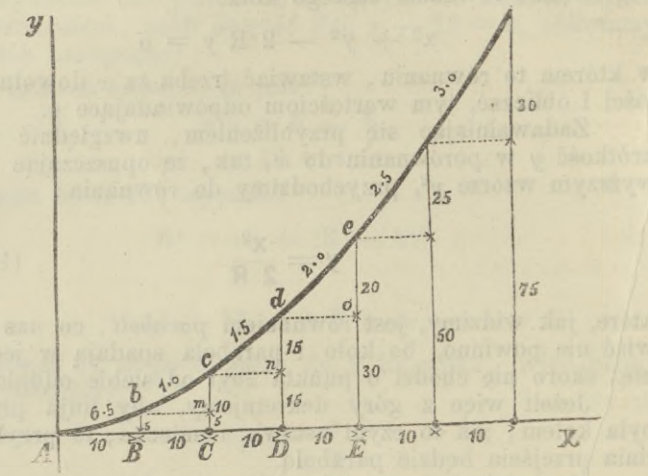
$$Ab,\ldots \quad \frac{Bb}{AB} = \frac{5^{mm}}{10^{m}} = \frac{5}{10000} = \frac{0{\cdot}5}{1000} = 0{\cdot}5‰$$

$$bc\ldots \quad \frac{cm}{BC} = \frac{10_{mm}}{10^{m}} = \frac{10}{10000} = \frac{1{\cdot}0}{1000} = 1{\cdot}0‰$$

$$\text{cd}\ldots \quad \frac{\text{dn}}{\text{CD}} = \frac{15^{\text{mm}}}{10^{\text{m}}} = \frac{15}{10000} = \frac{1{\cdot}5}{1000} = 1{\cdot}5\permil$$

i t. p.

Fig. 6.



Jeżeli odcinki na poziomej przedstawiają linije x, piony zaś, liniję y; to widzimy, że odcinkom:

$$x = 10, 20, 30, 40, 50\ldots$$

odpowiada: $y = \ 5, 15, 30, 50, 76\ldots$ milimetrów.

Związek zaś, zachodzący między x i y odszukać się daje, jak następuje:

Uważając wartości podane za y, jako członki szeregu arytmetycznego, mamy:

$$\begin{array}{ccccccccc} 5 & & 15 & & 30 & & 50 & & 75 \\ & 10 & & 15 & & 20 & & 25 & \\ & & 5 & & 5 & & 5 & & \end{array}$$

wstawiając w ogólny wyraz każdego szeregu, mający kształt

$$y = a + \binom{n-1}{1} \triangle_1 + \binom{n-1}{1} \triangle_2 + \binom{n-1}{3} \triangle_3 + \ldots,$$

$$a = 5, \triangle_1 = 10, \triangle_2 = 5, \triangle_3 = o$$

otrzymamy:

$$y = \frac{5}{2}(n + n^2),$$

a ponieważ wyrazy za x tworzą szereg:

$$\begin{array}{ccccccc} 10 & & 20 & & 30 & & 40, \\ & 10 & & 10 & & 10 & \end{array}$$

którego ogólny wyraz podług tegoż samego wzoru wynosi:

$$x = 10 + (n - 1)\, 10$$

czyli $\qquad x = 10 \cdot n,$

otrzymujemy po wstawieniu wartości $n = \frac{x}{10}$ w wyraz podany za y, równanie:

$$y = \frac{1}{4}\left[x + \frac{x^2}{10}\right] \qquad (14$$

które jest *równaniem linii przejścia.*

Zamieniając x na y, otrzymujemy:

$$x = \frac{1}{4}\left(y + \frac{y^2}{10}\right)$$

wstawiając: $y = (y_1 - a)$
otrzymujemy, po obraniu $a = 5$,

$$y_1^2 = 40\, x + 25$$

pisząc: $x = (x_1 - b)$ i przyjmując $b = \frac{5}{8}$, wypada:

$$y_1^2 = 40\, x_1$$

lub po opuszczeniu akcentów:

$$y^2 = 40\, x \qquad (15$$

jako *rówanie linii przejścia.*

Widzimy, że linią przejściową jest parabola.

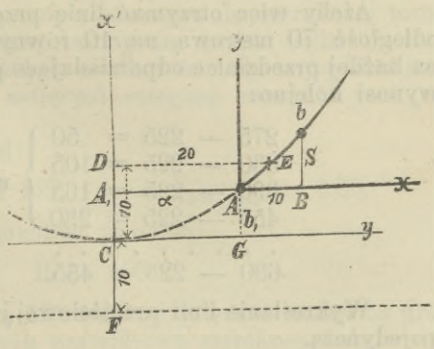
Figura 7. okazuje położenie paraboli mającej parameter $p = 20$, odległości więc ogniska D od szczytu C wynosi 10 milimetrów.

Linia przejścia, nie wszczyna się jednak od szczytu C, lecz od punktu A, którego rzędne są:

$C\, G = a = 5$ m.

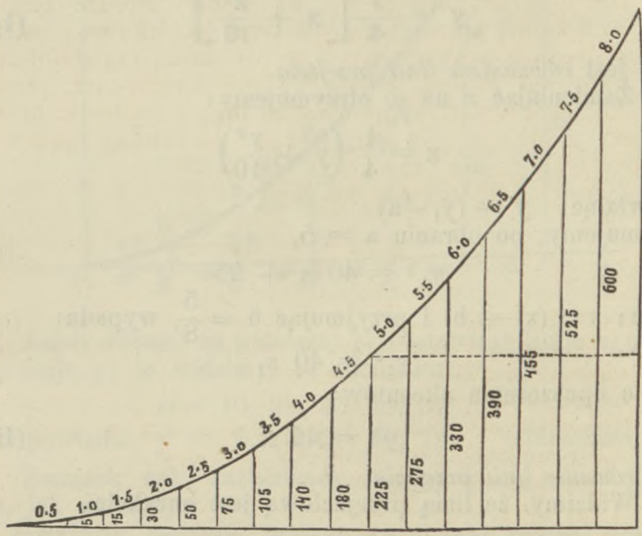
$A\, G = b = {}^5/_8$ mm.

Fig. 7.



Mając narysowaną linię przejścia w dostatecznej długości, jak to okazuje figura 8 i wpisawszy w figurze długość rzędnych odpowiadających 10-metrowym odcinkom poziomym, poucza figura, że chcąc przejść z wzniesienia 4·5‰ na wzniesienie 8·5‰, odległość pozioma wynosi $7 \times 10 = 70$ metrów; wysokość zaś pionowa $680 - 225 = 455$ milimetrów; figura 8 podaje zarazem wysokość pionów w milimetrach, odpowiadającym ustępom 10 metrowym.

Fig. 8.



Ażeby więc otrzymać linię przejściową, dzielę poziomą odległość 70 metrową na 10 równych części i ustawiam na każdej przedziałce odpowiadające piony, których wysokość wynosi kolejno:

$$\left.\begin{array}{l} 275 - 225 = 50 \\ 330 - 225 = 105 \\ 390 - 225 = 165 \\ 455 - 225 = 230 \end{array}\right\} \text{milimetrów}$$

$$\begin{array}{l} \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \\ 680 - 225 = 455. \end{array}$$

Wykreślanie linii przejściowej jest więc operacyą nader pojedyńczą.

23.

Zakrzywianie toru.

Uzyskanie trasy kolejowej, którąby nigdzie nie zbaczała z kierunku raz obranego, jest rzeczą niemożebną, a omijanie zakrzywień ostrych sprowadza za sobą często takie koszta, które nie stają w stosunku do zysku, który ominięciem osiągnąćby można.

Dla tego też znajdziemy na każdej drodze żelaznej łuki; na kolejach przerzynających teren pagórkowaty ostrzejsze, na drogach prowadzonych w równiach, łagodniejsze.

Rachunek poucza, że między szerokością toru, promieniem kół wozowych i promieniem łuku, zachodzi pewien związek, z którego powziąść można, że ostrość zakrzywienia, pewnych granic przechodzić nie może.

Związek taki wyraża np. wzór:

$$R = \frac{n.\,s.\,r}{2\triangle} \qquad (16$$

w którym oznacza:

R... możebnie najmniejszy promień, który łukom nadać można, wyrażony w metrach.

s... szerokość toru, w metrach.

$\triangle$.. rozszerzenie toru, odpowiadające łukowi zatoczonemu promieniem R, wyrażone w metrach.

$1/n$.. stożkowatość kół.

r.... promień koła w metrach.

Ze wzoru numer 16, (którego prawdziwość wykażemy w dziale „wóz“ § 7) widzimy, że promień, którym łuki zataczać można, stoi w prostym stosunku do szerokości toru.

Tory mniej szerokie, zakrzywiać przeto będzie można mocniej, *a w tej to właśnie okoliczności leży najwybitniejsza korzyść dróg żelaznych mających mniejszą szerokość toru od szerokości prawidłowej.*

Zazwyczaj wynosi:

$$r = 0{\cdot}5,\ s = 1{\cdot}435,\ 1/n = {}^1/_{20},\ \triangle = 0{\cdot}03,$$

a wartościom tym odpowiada promień:

$$R = 150$$

metrów, jako minimum, którem łuki zataczać można na drogach żelaznych, mających prawidłową szerokość toru.

Z tego jednak nie wynika, jakoby torów ostrzej zakrzywiać nie było można. Ostrość zakrzywienia zależy, jak widzimy, od rozmiarów wozu, a ponieważ rozmiary te dyktują bezpieczeństwo ruchu i wygoda podróżnych, jakoteż ekonomia w prowadzeniu ruchu, więc zastosowywać się wypada z krzywiznami do tych, długoletnią praktyką uświęconych rozmiarów.

Wozy, mające osobliwą konstrukcyę, przebywać będą mogły łuki ostrzej zakrzywione. W tej mierze decyduje *rozstaw osi*, a znów uczy rachunek, (który przeprowadzimy w dziale wóz § 8), że skoro wyraża z rozstaw osi w metrach, istnieje dla dróg żelaznych mających prawidłową szerokość toru, związek

$$R = 12^3/_4\ Z^2 \qquad (17$$

wykazujący, że ostrość zakrzywienia zawisłą jest od kwadratu rozstawu osi.

Rozstaw osi wynoszący $2{\cdot}8^m$ zaliczyć trzeba do mniejszych, używanych na drogach żelaznych, a dla rozstawu takiego wypada:

$$R = 100$$

metrów, jako minimum promienia.

Szwajcarska kolej poprowadzona przez górę *Uitli*, w pobliżu *Zurichu*, ma np. łuki zatoczone promieniem 150^m, na drogach żelaznych w Ameryce znaleźć zaś można często łuki, których promień wynosi 100 i nawet mniej mtr.

Na kolejach wązko-torowych znachodzimy daleko ostrzejsze łuki; tak np. posiada austryacka kolej *Moravicza-Resicza* (na Węgrzech) łuki, zataczane promieniem 28·4 metrów.

Ustawa związkowych dróg żelaznych przepisuje, że zakrzywiać można tory na drogach zbudowanych

$$\begin{array}{ll} \text{w równiach... promieniem} & \\ \text{w polu pagórkowatem .... } R = & \left\{ \begin{array}{l} 1100 \text{ metrów.} \\ 600 \quad " \\ 300 \quad " \end{array} \right. \\ \text{w górach...............} & \end{array}$$

24.

Wywyższenie toku w łukach.

Ruch wozów w łukach, podobnie jak każdy ruch krzywoliniowy, zradza siłę odśrodkową, mającą kierunek promienia, którym łuk zatoczono, a działającą od środka na zewnątrz.

Siła ta, działając poziomo, wysuwa wóz na poprzek toru, a parcie to wynosi, podług obliczeń inżyniera *Schima* (dyrektora austryackiej kolei Busztechradzkiej)

$$N = \frac{m. c^2}{r}\left(1 + \frac{a}{4}\right)$$

kilogramów, skoro wyraża:
m... masę wozu w kilogramach
c ... chyżość jazdy w metrach na sekundę,
r ... promień krzywizny, w metrach,
a ... rozstaw osi w metrach.

Wyraża *m* masę jednej tonny ciężaru wozu, to będzie

$$m = \frac{1000}{g} = \frac{1000}{9 \cdot 81} = 102.$$

a przyjmując, $a = 3 \cdot 1^m$, otrzymamy:

$$N = \frac{180}{r} . C^2 \qquad (18$$

kilogramów, na jedną tonnę cisnącego ciężaru.

Wóz, toczący się w łuku zakreślonym promieniem $r = 180$ metrów, z chyżością $c = 10^m$ na sekundę prze na każdą tonnę swego ciężaru siłą wynoszącą $\frac{180}{180} . 10^2 = 100$ kilogramów, waży wóz 10 tonn, to wynosi parcie jego $10 \times 100 = 1000$ kilogramów, czyli jedną tonnę.

Przy nieco spiesznej jeździe, wynieść może ciśnienie to do 400 kilogramów na tonnę ciężaru, tak więc, że lokomotywa, ważąca 30 tonn, przeć będzie na tok zewnętrzny siłą: $30 \times 400 = 12000$ kilogramów, czyli siłą 12 tonn.

Chcąc aby tok zewnętrzny mógł się opierać tak znacznej sile, stworzyć trzeba siłę działającą w kierunku odwrotnym, a więc siłę, działającą ku środkowi toru.

Układając tok zewnętrzny wyżej niż leży tok środkowy, sprawiamy, że ciężar wozu zsuwać będzie wóz z toku zewnętrznego ku środkowi. Różnica wysokości obydwóch toków, należących do jednego i tego samego toru, wynosić zaś musi tyle, aby składowa ciężaru wozu, zsuwająca go ku środkowi toru, wyrównywała sile odśrodkowej, wysuwającej wóz na zewnątrz.

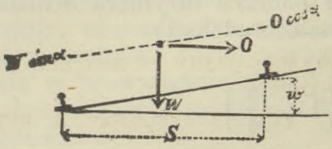


Fig. 9.

Tak siłę odśrodkową **O** (figura 9) działającą poziomo, jakoteż ciężar wozu **W** działający pionowo rozdziela *Perdonnet* na dwie składowe, z których jedna działa w kierunku toru, druga zaś pod kątem prostym do toru. Siły, działające pod kątem prostym do toru mają wartość:

$$\mathbf{W}\cos\alpha, \text{ i } \mathbf{O}\sin\alpha$$

i sprawią tarcie.

Siły zaś, działające w kierunku toru, mają wartość:

$$\mathbf{W}\sin\alpha, \text{ i } \mathbf{O}\cos\alpha$$

i działają względem siebie w kierunku odwrotnym.

Siła $\mathbf{W}.\sin\alpha$, zsuwa wóz ku środkowi toru, siła $\mathbf{O}.\cos\alpha$ wysuwa go na zewnątrz.

Skoro nastąpić ma równowaga być musi

$$\mathbf{W}.\sin\alpha = \mathbf{O}.\cos\alpha$$

czyli

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\mathbf{O}}{\mathbf{W}}$$

a ponieważ jest także, jak to figura wykazuje

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{w}{s}$$

więc mamy równanie:

$$\frac{\mathbf{O}}{\mathbf{W}} = \frac{w}{s}$$

z którego wypada:

$$w = \frac{\mathbf{O}}{\mathbf{W}}\, s. \qquad (19$$

wzór, służący do obliczania wywyższenia toku zewnętrznego po nad tok wewnętrzny, w tym wzorze oznacza:

w... wywyższenie w metrach.
s ... szerokość toru w metrach.
O... siła odśrodkowa w tonnach.
W... ciężar wozu w tonnach.

We wzorze tym oznaczyć trzeba bliżej wartość siły odśrodkowej, ta zaś wynosi, jak wiadomo:

$$O = m.\frac{c^2}{R}$$

skoro oznacza *m* masę wozu, *c* chyżość jazdy w metrach na sekundę, *R* promień łuku w metrach.

Oznacza g = 9·81 metrów, czyli przyspieszenie siły ciążenia to mamy,

$$m = \frac{W}{g}$$

a przeto:

$$O = W\frac{c^2}{R.g}$$

uwzględniając tę wartość, otrzymujemy, że wzoru podanego pod numerem 19

$$w = \frac{s.c^2}{R.g} \qquad (20$$

wzór służący do obliczania wywyższenia, w nim oznacza:
w... wywyższenie toru w metrach
s ... szerokość toru, w metrach
c ... chyżość jazdy, w metrach na sekundę.
g = 9·81 metrów.
R = promień łuku w metrach.

Wstawiając we wzór powyższy g = 9.81, s = 1·435, wypada

$$w = 0{\cdot}145.\ \frac{c^2}{R}$$

wywyższenie w metrach, lub też:

$$w = 144.\ \frac{c^2}{R} \qquad (21$$

wywyższenie w milimetrach, tutaj oznacza:
w... wywyższenie w milimetrach.
c ... chyżość jazdy w metrach na sekundę.
R ... promień łuku w metrach.

Doświadczenie uczy, że wzór, pod numerem 21, wydaje dla chyżości mniejszych jak c = 3^m, wywyższenie za małe, dla tego też używają w takich razach wzoru empirycznego mającego kształt

$$w = \frac{v}{r} \qquad (22$$

w którym to wzorze wyraża:

w... wywyższenie w metrach.

v... szybkość jazdy w kilometrach na godzinę.

r... promień łuku w metrach.

Koleje francuzkie obliczają wywyższenie swych torów podług wzoru *Noerdlinga*, wypadającego ze wzoru podanego pod numerem 20, wstawiając tam $s = 1{\cdot}435^m$, $c = 17{\cdot}15^m$ (jako maximum chyżości), a mającego kształt:

$$w = \frac{45}{r}$$

który to wzór, jak widzimy, od chyżości jazdy wcale nie zależy.

Ze wzoru *Noerdlinga* wypada dla dróg żelaznych mających prawidłową szerokość toru, prowadzących łukiem, którego promień wynosi 300^m.

$$w = 0{\cdot}15^m = 150^{mm}$$

a więc więcej niż dozwala ustawa dróg żelaznych, należących do związku niemieckiego, która, jako maximum wywyższenia, dozwala:

$$w = 100^{mm}.$$

Ponieważ ustawa ta, dozwala $R = 300^m$ jako promień możebnie najmniejszy; $w = 100^{m} = 0{\cdot}1^m$ jako maximum wywyższenia, więc przypuszcza (wzór 21) że mauymalna chyżość jazdy w górach wynosi

$$c = 14{\cdot}3^m$$

a sekundę, czyli 51·48 kilometrów na godzinę.

Ponieważ jednak z drugiej strony, ustawa chyżość 80 kilometrów na godzinę jako maximum dozwala, a nie 51·48 kilometrów, więc wypada, że wywyższenie 100^m nie można uważać jako ostateczną granicę, którejby przekraczać nie było można.

Z tego też względu, ma wzór *Noerdlinga* pewne uprawnienie, a następująca tabliczka zawiera wartości wywyższenia wyrażone w milimetrach odpowiadające rozmaitym promieniom (wyrażonem również w metrach).

R	w	R	w	R	w
300	150	500	90	700	64
350	129	550	82	800	56
400	112	600	75	900	50
450	100	650	69	1000	46

Następująca tabliczka przytacza wywyższenia praktykowane na torach galicyjskich, a mianowicie na kolei *Karola Ludwika* i *Arcyksięcia Albrechta*; pierwsza z wymienionych dróg żelaznych obrała chyżość 57 kilometrów na godzinę (15·8^m na sekundę) druga zaś, chyżość 53 kilometrów na godzinę (14·7^m na sekundę) jako maximum szybkości i obliczała wywyższenie podług wzoru podanego pod numerem 21.

R metrów	droga żelazna: Karola Ludwika	droga żelazna: Arcyks. Albr.
	wywyższa łuk zewnętrzny po nad łuk środkowy, o milimetr	
300	127	100
400	95	80
500	76	70
1000	38	40
1500	26	26
2000	19	16
3000	12	4
4000	9	—

Co się tyczy wywyższania toku zewnętrznego po nad tok leżący na wewnątrz łuku, zauważać wypada, iż w pobliżu stacyi, w którym to miejscu pociągi bieg swój zwalniać muszą, nadaje się torom tylko połowę normalnego wywyższenia, podczas gdy łuków leżących w stacyi wcale się nie wywyższa.

Wykazano, w jaki sposób wywyższenie w łukach obliczać się daje; obecnie wspomnieć wypada, w jaki sposób wymierzać można wywyższenie w danych łukach.

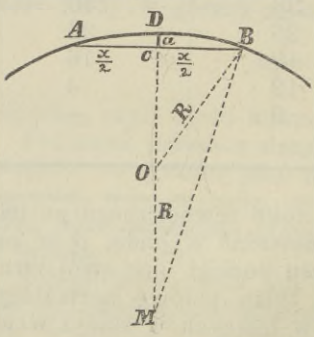
Najprostszy sposób, jest to bez wątpienia układanie sztabki zaopatrzonej w libelę na poprzek toru i obserwowanie jej zboczenia. W takim razie odczytujemy, że temu łukowi, który mierzano odpowiada wywyższenie *w* milimetrów, chcąc się przekonać czy odczytane wywyższenie jest właśnie to, jakie temu łukowi odpowiada, trzeba znać promień łuku, i obliczyć dla tego promienia wywyższenie podług wzoru numer 21. Chcąc to uczynić trzeba mieć ze sobą spis łuków i spis im odpowiadających promieni, lub też trzeba promień łuku mierzać, zawsze więc podejmować operacye, które zajmują stosunkowo wiele czasu.

Gdyby zaś miano przyrząd, któryby dozwalał bezpośrednio odczytywać nietylko wywyższenia, jakie łuk rzeczywiście posiada, ale oprócz tego także wywyższenia jakie mieć powinien, to kontrola toru o wiele uprościćby się musiała.

Otóż przyrząd taki wymyślił profesor *Kaven* w Akwisgranie a przyrząd jego jest to prosta sztabka, którą do łuku jako cięciwę się przykłada, przyłożywszy sztabkę, odczytuje się strzałkę łuku (c D = a we figurze), a strzałka ta wyraża wywyższenie, które łuk posiadać *winien*, a ponieważ libela wskazuje wywyższenie, które łuk rzeczywiście *posiada*, więc wykaże różnica obydwóch odczytów, zboczenie wywyższenia od wielkości przepisanej.

Chodzi teraz o to, obliczyć długość sztabki tak, aby używając jej jako cięciwy, wydawała strzałki równające się temu wywyższeniu, które łuk mieć powinień.

Fig. 10.



Wywyższenie *w* (fig. 10), które otrzymujemy ze wzoru podanego pod nr. 21 porównać można ze strzałką *a* łuku zatoczonego promieniem *R* metrów, w takim razie odpowiadać musi strzałce *a* pewna cięciwa $AB = x$, której długość pozostaje w pewnym związku z wielkością strzałki, a przeto z wielkością wywyższenia.

Chcąc przeto oznaczyć, jakie wywyższenie odpowiada pewnemu łukowi, przykłada się do niego cięciwę, której długość raz na zawsze obliczono i mierzy się strzałkę odpowiadającą tej cięciwie, a strzałka ta daje wywyższenie jakie łuk mieć winien.

Skoro strzałka ma być tak wielką, jak wielkiem to wywyższenie być winno, to mamy ze względu na wzór 21:

$$a = 0 \cdot 145 \frac{c^2}{R}$$

milimetrów, a ponieważ jest:

$$BC^2 = DC.\ MC$$

$$\frac{x^2}{4} = a\ (2\ R - a) = 2a\ R - a^2$$

luh ze względu na małoznaczącą wartość *a* (wynoszącą kilka centimetr) w obec wielkości promienia *R* (wynoszącego kilkaset metrów).

$$\frac{x^2}{4} = 2aR$$

zkąd wypada:

$$R = \frac{x^2}{8a}$$

a przeto strzałka:

$$a = 0 \cdot 145.\ \frac{8a.\ c^2}{x^2}$$

a przeto:

$$x = 1 \cdot 08\ c = 1 \cdot 00\ c, \text{ lub:}$$

$$x = c. \qquad (23$$

Długość cięciwy wynosi przeto tyle metrów, ile metrów na sekundę wynosi chyżość jazdy.

Chcąc przeto oznaczyć wywyższenie odpowiadające pewnemu łukowi, przykładamy do łuku sztabkę, mającą tyle metrów długości, ile metrów na sekundę wynosi chyżość maxymalna (obrana dla tej drogi) a temu łukowi odpowiadająca strzałka CD = a, daje wartość wywyższenia, wyrażoną w milimetrach.

Odpowiada sztabce 15^m długiej, przyłożonej do pewnego łuku, strzałka 30 milimetrów, to wiemy, że wywyższenie tego łuku, (obliczonego dla maksymalnej chyżości 15^m na sekundę) wynosi 30 milimetrów.

Ponieważ maksymalna chyżość, dla której budujemy tory, wynosi 10—20 metrów, to sztabka, mając taką długość, nie byłaby wygodną, trudność tę jednak usunąć można, używając krótszej sztabki, zwiększając jednak odpowiednio, wielkość odczytanej strzałki.

Używamy bowiem w miejsce x metrów długiej, sztabkę krótszą, mającą tylko z metrów długości, to odpowiadać będzie tej krótszej sztabce, strzałka

$$a_1 = \frac{z^2}{8R}$$

a przeto stosunek obydwóch strzałek do siebie:

$$\frac{a}{a_1} = \left(\frac{x}{z}\right)^2$$

A wzór ten uczy, że długość strzałek odpowiadających różnym sztabkom, stoi w kwadratowym stosunku do długości tychże sztabek.

Wynosi n. p. sztabka z, $^1|_3$ długości sztabki x, to mamy $x = 3 \cdot z$, a przeto:

$$\frac{a}{a_1} = \left(\frac{3z}{z}\right)^2 = 3^2 = 9$$

co znaczy, że sztabce $z = \frac{1}{3}$ c odpowiadającą strzałkę a_1 trzeba wziąść 9 razy, chcąc otrzymać wywyższenie odpowiadające chyżości c.

Gdyby np. obrano dla pewnej kolei $c = 20^m$ jako maximum chyżości, więcby trzeba mieć 20^m długą sztabę.

Zamiast nosić ze sobą sztabę mającą 20^m długości, użyć można sztabki 10 razy krótszej, a więc sztabki mającej 2 metry długości, używając jednak tej sztabki, trzeba odczytane strzałki zwiększyć $10^2 = 100$ razy.

Pomimo znakomitego ulepszenia profesora *Kaven* (obecnie dyrektora szkoły inżynieryi w Aachen) zabiera kontrola większej ilości łuków zawsze jeszcze wiele czasu.

Przy każdym łuku bowiem, trzeba się zatrzymywać, trzeba sztabkę układać, później odczytywać, odczytaną datę w książeczce notować, na wózek wsiadać, przy następnym łuku znów zsiadać, sztabkę przykładać, notować i t. p.

Gdyby zaś miano możność mierzenia toru nie zatrzymując się nigdzie podczas drogi i nigdzie sztabki nie przykładając, to sposób taki mierzenia toru uważaćby trzeba za wielce pożądany i ciekawy.

Claus w Brunszwiku, zdaje się pierwszy zbudował przyrząd podobny (1876).

We wnętrzu wozu, na jego czole (ścianie krótszej) przymocowanym jest metalowy łuk, w którego centrum zawieszono wolno wahadło tak, że wahać może o punkt środkowy swej długości, uchwycony stale w centrum łuku.

Górny koniec wahadła zastępuje więc rolę skazówki posuwającej się na działce łuku, w jej płaszczyźnie.

Ponieważ dolny koniec wahadła jest obciążonym, więc wskazówka stoi pionowo i wskazuje na łuku zero, skoro wóz stoi na poziomej.

Wstąpi zaś wóz w łuk, którego toki nie leżą jednako wysoko, to się nachyli ku środkowej stronie toru, a z nim i metalowy łuk, umieszczony na jego czole, podczas gdy wahadło skutkiem siły ciążenia, w miejscu pozostaje.

Ponieważ metalowy łuk po pod skazówką się usunął, więc odczytywać będzie można na niem kąt, którego wielkość równa się kątowi, o który łuk zewnętrzny wyżej stoi po nad łukiem wewnętrznym.

A ponieważ trygonometryczna tangenta tego kąta, mającego α stopni, wyraża się stosunkiem

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{w}{s}$$

w którym oznacza *w* wywyższenie, *s* szerokość toru, a wyrazimy *w* i *s* w milimetrach, to mamy:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{w}{1000.1 \cdot 435} = \frac{w}{1435}$$

a przeto:

$$w = 1435 \operatorname{tg} \alpha$$

Skoro na skali metalowego łuku nie oznaczymy stopnie, lecz tym stopniom odpowiadające tangenty, wzięte 1435 razy, to każdy znaczek skali, wyrażać będzie wywyższenie w milimetrach.

Odczytywanie wywyższeń można wreszcie pozostawić przyrządowi zegarkowemu, który wzniesienia istniejące w każdym łuku na posuwającym się pasku zaznacza, a otrzymamy w takim razie instrument, który Claus nazwał indykatorem, a którego konstrukcyę uwieńczono nadgrodą wysadzoną ze strony dróg żelaznych, należących do związku niemieckiego.

25.

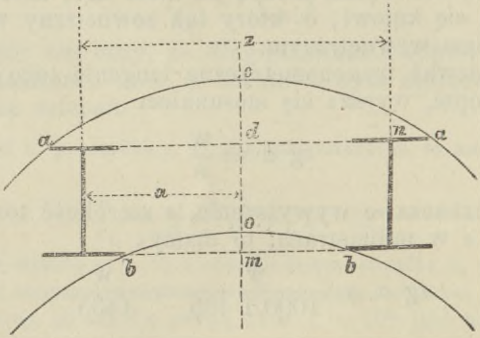
Rozszerzanie toru.

Gdyby toki, należące do jednego i tego samego toru leżącego w łuku, pozostawiono w tem samem oddaleniu od siebie, w którem się znajdują, skoro tor leży w linii prostej, to jazda przez krzywizny byłaby niemożliwą.

Uwzględniając tę okoliczność, oblicza *Heusinger von Waldegg* rozszerzenie, które nadać trzeba torowi, prowadzącemu łukiem w sposób następujący:

Wóz wchodzący w łuk zająć musi, skoro się ma tam zmieścić taką pozycyę, jaką uwidoczniono w figurze, t. j. wóz ustawi się w łuku zawsze tak, że przednie jego koło najeżdża na tok zewnętrzny, tylne zaś, osadzone na drugiej stronie wozu, na tok wewnętrzny.

Fig. 11.



Szyny leżące w łuku zewnętrznym, przechodzą przeto przez punkta *aa*, (figura 11) tok zaś wewnętrzny, przez punkta *bb*.

W takim razie wyraża $md = s$, szerokość toru w linii prostej, $co = s_1$ zas szerokość w łuku, a różnica

$$(s_1 - s) = \triangle = (co - md)$$

przedstawia to, co zowiemy rozszerzeniem toru.

Ponieważ jest:

$$co = cd + do$$
$$md = mo + do$$

więc będzie:

$$\triangle = cd - mo$$

w miejsce linii *cd* i *mo*, wstawić można odpowiednie wartości, wyrażone odległością kół od środka osi, czyli rozstawem osi, jakoteż promieniem łuku.

Mamy bowiem w przybliżeniu:

$$cd = \frac{(ad)^2}{2R}, \quad m\,o = \frac{(m\,b)^2}{2\,R}$$

a przeto:

$$\triangle = \frac{(ad)^2 - (m\ b)^2}{2\ R}$$

figura 11 wykazuje, że skoro piszemy: *na* = *c*, *nd* = *a* będzie:

$$a\ d = a + c$$
$$n\ d = a - c$$

a przeto:

$$\triangle = \frac{2\ a\ c}{R}$$

lub ze względu na to, że rozstaw osi z = 2a także:

$$\triangle = \frac{c.\ z}{R} \qquad (24$$

wzór służący do obliczania rozszerzenia toru, w którym to wzorze bliżej określić trzeba wartość na = c. Długość ta, nie jest promieniem koła, gdyż figura 11 nie przedstawia rzut poziomy, lecz przedstawia poziome przecięcie kół, przeprowadzone we wysokości szyny, zkąd wypada, że linia n a = c mniejszą będzie od promienia koła, jak to powziąść można z następującej figury 11 a, w której *x x* przedstawia szynę, u = (r' — r) zaś, różnicę w długości promieni wieńca i dzwonu koła, z trójkąta *o n a* otrzymujemy:

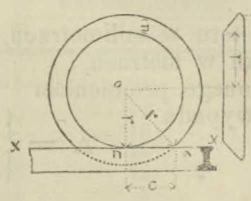
$$c^2 + r^2 = (r + u)^2$$

zkąd wypada:

$$c^2 = 2\ u\ r + u^2$$

ze względu na to, że *u* w porównaniu do *r* jest wartością

fig 11. a.



mało znaczącą, gdyż zazwyczaj wynosi $r = 50^{cm}$, u zaś w najgorszym razie 6^{cm}, skutkiem czego będzie $2\,u\,r = 600$ podczas gdy $u^2 = 36$, pisać przeto można:

$$c = \sqrt{2\,u\,r}$$

w którym to razie przechodzi wzór podany pod numerem 24 na:

$$\triangle = \frac{z.\sqrt{2\,u\,r}}{R} \qquad (25$$

gdzie oznacza:

$\triangle$ .. rozszerzenie toru w metrach,
u ... różnicę między promieniami wieńca i dzwonu, w metrach,
z ... rozstaw osi w metrach,
r ... promień koła w metrach,
R ... promień łuku w metrach.

Dla wozów koleji Lwowsko Czerniowieckiej mamy:

$r = 0{\cdot}442$, $r^1 = 0{\cdot}503$, $u = (r^1 - r) = 0{\cdot}061$, $c = \sqrt{2\,u\,r} = 0{\cdot}23$
$z = 3$, a przeto $\triangle = \frac{0{\cdot}69}{R}$ metrów, lub $\left\{\frac{690}{R}\right\}$ milimetrów

Przyjmując jako wartości przeciętne:

$u = 0{\cdot}045$, będzie $c = \sqrt{2 \times 0{\cdot}025 \times 0{\cdot}5} = 0{\cdot}16$ i biorąc wzgląd na wozy trzech osiowe przy których skrajne osie bywają od siebie oddalone o $6 - 7^m$, wstawić można $z = 6{\cdot}3$, w którym to razie wypada ze wzoru podanego pod numerem 25, wyrażając $\triangle$ w milimetrach

$$\triangle = \frac{1000}{R} \qquad (26$$

wzór służący do obliczania rozszerzenia toru, w ktorym oznacza:

$\triangle$ .. rozszerzenie toru w milimetrach,
R ... promień łuku w metrach,

Dla łuku zatoczonego promieniem

1000^m wypada		$1\,^m/_m$
500 „	$\triangle =$	1
200 „		5

i t. p.

Ze wzoru podanego pod numerem 16, otrzymujemy:

$$\triangle = \frac{n. s. r.}{2 R} \qquad (27$$

wzór do obliczania rozszerzenia toru, w którym to wzorze oznacza:

$\triangle$ .. rozszerzenie toru w metrach,
s ... szerokość toru w metrach,
r ... promień koła w metrach,
$^1/n$ .. stońkowatość kół,
R ... promień łuku w metrach.

Wstawiając w ten wzór

$$^1/n = {}^1/_{16},\ s = 1{\cdot}435,\ r = 0{\cdot}5$$

otrzymujemy:

$$\triangle = \frac{5740}{R} \qquad (28$$

wzór służący do obliczania rozszerzenia toru, tutaj wyraża:

$\triangle$ .. rozszerzenie toru w milimetrach,
R ... promień łuku w metrach.

Wzór podany pod numerem 28 wydaje przeszło 5 razy większe wartości, aniżeli wzór numer 26, używanym jest jednak tak dobrze, jak i wzór 26, rozmaitość wzorów służących do obliczania rozszerzenia torów jest bardzo znaczną, znachodzimy bowiem w używaniu w miejsce liczników 1000 lub 57400 podanych we wzorach 26 i 28, rozmaite inne, tak n. p. używa kolej:

austryacko południowa	licznika	140
prusko slązka	„	200
francuzko północna	„	2000
orleanska	„	3500
bawarsko państwowa	„	6400

i t. p.

Galicyjskie zaś koleje Karola Ludwika i arcyksięcia Albrechta, używają następującej tabliczki:

R	droga żelazna Karola Ludwika	droga żelazna arcyks. Albrechta
	rozszerza tory swe w milimetrach	
300	24	22
400	24	19
500	18	17
600	16	15
700	13	14
800	12	13
1000	9	12

9000/R

kolej szwajcarska, wiodąca przez górę *Uitli*, rozszerza tory swe, podług wzoru:

$$\triangle = \frac{500.\ z^2}{R} \qquad (29$$

niektóre niemieckie koleje zaś, używają wzoru:

$$\triangle = \frac{500\ (a + 0{\cdot}16)}{R + 0{\cdot}27} \qquad (30$$

w których to wzorach wyraża:

$\triangle$ .. rozszerzenie toru w milimetrach,
a ... połowę długości osi w metrach,
z ... rozstaw osi w metrach,
R ... promień łuku w metrach.

Niemieckie koleje rozszerzają tory także podług następującej tabliczki:

R	300	350	400	450	500	550	600	800	1000
$\triangle$	14	12	10	9	8	7	7	5	4

Nadmienić wypada, że dla dróg żelaznych, należących do związku niemieckiego, przepisuje ustawa $\triangle = 30$ milimetrów, jako możebnie największe rozszerzenie toru.

Rozumie się; rozszerzenie na linii otwartej, bo w pobliżu stacyi rozszerza się tor tylko do połowy przepisanej wartości, w samych stacyach zaś, wcale go się nie rozszerza.

O konieczności rozszerzania toru zdania techników są podzielone, tak n. p. utrzymuje *Szmidt*, że torów wcale rozszerzać nie potrzeba, skoro tylko koła mają kształt wałka, a nie stożka.

Gajduszek zwraca uwagę, że lokomotywy systemu Engerth, mając 4 metrowy rozstaw osi a 1·7 metrów wysokie koła, których dzwony są 3·2 centimetra szerokie, przechodzą z łatwością przez łuki zataczane promieniem 80 metrów, nie mające wcale żadnego rozszerzenia.

Rozszerzenie toru kontrolować można, używając żelaznej sztabki, na której przesuwać się daje pochwa, przedstawiająca wskazówkę, lub też odbywać się może kontrola przy pomocy umyślnie ku temu celowi zbudowanych wózków mierniczych.

26.

Przejścia z linii prostej do krzywizny.

Widzieliśmy już, że obydwa toki, toru leżącego w łuku, nie leżą w jednym poziomie, jak to ma miejsce w liniach prostych, lecz że jeden, a mianowicie tok zewnętrzny leży nieco wyżej od toku, wewnętrznego, a więc nieco po nad poziomem toku leżącego w linii prostej.

W miejscach więc, w których linia prosta się kończy a łuk się zaczyna, lub też odwrotnie, leży łuk zewnętrzny wyżej od stykającej się z nim prostej.

Ponieważ jednak dwie sąsiednie, do jednego toku należące szyny znajdować się muszą koniecznie w jednem i tem samem niveau, więc trzeba urządzić przejście z niżej leżącej szyny, w linii prostej, do wyżej położonej szyny i znajdującej się w łuku.

Dobrze ułożona linia przejścia nietylko że ułagadza wjazd w łuk, przez co jazda przyjemniejszą się staje, ale sprawia nadto, że tor mniej się zużywa, a co ważniejsza, linia przejściowa przyczynia się do bezpieczeństwa ruchu.

Chcąc linię przejściową odpowiednio ułożyć, trzeba się nad tem zastanowić, czy wywyższenie odpowiadające łukowi, ma się już znajdować na początku łuku, lub też nieco dalej.

Doświadczenie poucza, że lepiej jest, gdy łuk już na swym początku odpowiednio zostanie wywyższonym.

Ponieważ przejście podobne w każden sposób łagodnem być musi, więc nie pozostaje nic innego, jak tylko wywyższać zwolna szyny, leżące w prostej i stopniować wywyższanie w miarę zbliżania się do łuku.

Odległość od początku łuku, w której szynę wywyższać rozpoczynamy, wynosi zwykle:

$$1000\ w$$

milimetrów, gdzie oznacza *w* wywyższenie toku zewnętrznego po nad tok wewnętrzny.

Przejścia z prostej w łuk są także konieczne z przyczyny rozszerzenia torów w krzywiznach, rozszerzenie ma mieć miejsce już z początkiem łuku, a ponieważ w linii prostej rozszerzenia nie ma, więc zrobić trzeba jakieś przejście, co się dzieje w ten sposób, że w pewnej odległości od początku łuku rozpoczyna się rozszerzać tor, leżący w prostej.

Rozszerzenie sprawić można, albo odsuwaniem szyny zewnętrznej, pozostawiając przeto w miejscu szynę wewnętrzną, lub też odwrotnie, a zaczynać należy rozszerzanie już w odległości:

$$1000 \, \triangle$$

metrów, gdzie oznacza $\triangle$ rozszerzenie wyrażone w metrach.

Ponieważ przejście z jednej szerokości w drugą przeprowadzone być musi stopniowo, a to w miarę zbliżania się do łuku, więc linia przejściowa musi być linią krzywą.

Miara krzywizny, czyli promień łuku linii przejściowej, zmiejszać się musi w miarę zbliżania się do łuku, linią przejściowa, która na początku t. j. przy złączeniu się z prostą, jest linią prostą, na końcu zaś, t. j. w punkcie zetknięcia się z łukiem, łukiem zatoczonym tym samym promieniem co łuk rozszerzony, będzie krzywą, której promień krzywizny spada z wartości $\rho = \infty$ aż do wartości R.

Skoro wyraża ρ zmienny promień zakrzywienia linii przejściowej, to będzie $\left(\frac{1}{\rho}\right)$ miarą zakrzywienia, a zakrzywienie musi być tem większe, im więcej punkt przejściowej oddala się od prostej. Przedstawia x oddalenie dowolnego punktu przejściowej od prostej, to spełnić musi linia przejściowa warunek:

$$\frac{1}{\rho} = a\,x$$

gdzie przedstawia a pewną stałą.

Skoro linia przejściowa ma być d metrów długą, a łuk rozszerzony, zatoczony promieniem R metrów, to być musi w odległości $x = d$, jak to się rozumie samo przez się; $\rho = R$, a więc istnieć będzie równanie:

$$\frac{1}{R} = a\,d$$

z którego wypada:

$$a = \frac{1}{R\,d}$$

czem stała jest określoną.

Wstawiając we wzór pierwotny, za a tę wartość otrzymujemy:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{R.d}$$

jako równanie linii przejściowej.

Skoro przedstawia $d\ s$ długość łuku zatoczonego promieniem ρ, odpowiadającego kątowi w centrum, α stopni, to będzie:

$$d\ s = \rho\ d\ \alpha$$

a przeto:

$$\rho = \frac{d\ s}{d\ \alpha}$$

a ze względu na nieznaczną wielkość kąta α, pisać można:

$$\alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{d\ y}{d\ x}$$

a przeto:

$$\frac{d\ a}{d\ x} = \frac{d^2\ y}{d\ x^2}$$

więc będzie:

$$\rho = \frac{d\ s}{\left(\frac{d^2\ y}{d\ x^2}\right) d\ x.}$$

Mamy dalej:

$$d\ x = d\ s. \cos \alpha$$

a pod przypuszczeniem kąta małego:

$$\cos \alpha = 1\ ;\ \ d\ x = d\ s$$

będzie:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2\ y}{d\ x^2}$$

lub też, ze względu na wartość $\frac{1}{\rho}$, także:

$$\frac{d^2 y}{d x^2} = \frac{x}{R\ d}$$

jako różniczkowe równanie linii przejściowej.

Jednorazowem całkowaniem otrzymujemy, uwzględniając, że być musi:

$$\frac{d\,y}{d\,x} = o$$

z wielką łatwością:

$$\frac{d\,y}{d\,x} = \frac{x^2}{2\,R\,d}$$

a ponownem całkowaniem, biorąc wzgląd na to, że być musi w chwili, w której

$$x = o$$

równocześnie:

$$y = o$$

otrzymujemy:

$$y = \frac{x^3}{6\,R\,d} \tag{40}$$

szukane równanie linii przejściowej.

Otrzymane równanie poucza, że linia przejścia, jest tą samą linią, w jakiej się zgina poziomo ustawiony dźwigar, umocowany na jednym, a ciągniony ciężarkiem w drugim końcu; a linia taka jest nam znaną pod nazwą *linii elastycznej.*

Linia przejściowa, łącząca wywyższony tok zewnętrzny z poziomo leżącym tokiem w linii prostej, leżeć nie może poziomo, lecz wznosić musi w miarę zbliżania się do szyny wywyższonej, a ponieważ wznosić się będzie podług prawa paraboli, wygina się zaś w linii elastycznej, więc będzie linią, mającą krzywiznę podwójną.

Rzut jej poziomy, przedstawia linię elastyczną, pionowy zaś, parabolę.

27.

Ruch toków w kierunku jazdy.

(Migracya toru).

Na kolejach dwutorowych spostrzeżono w nowszym czasie, że szyny tworzące tok, przesuwają się na podkładkach nieznacznie w kierunku jazdy. W linii prostej, obydwa toki przesuwają się jednakowo, a to tak w torze poziomym, jak i w torze nachylonym do poziomu. W krzywiznach zaś jeden z łuków składających tor, przesuwa się więcej aniżeli drugi. Na jednych drogach tok zewnętrzny podlega znaczniejszemu przesuwaniu się, aniżeli zewnętrzny, na innych przeciwnie: w ogólności jednakże, częściej spostrzegamy przesuwanie się wewnętrznego, aniżeli zewnętrznego toku, a takowe w każdym razie wzmaga się wraz z ostrością krzywizny.

Ruch toków, należących do jednego toru, w kierunku jazdy, nazwano *migracyą toru.*

Na drodze żelaznej *Wrocław-Szweidnice. Freiberg,* zauważano, że w łuku zatoczonym promieniem 188 metrów, na spadku 15 milimetrów tok zewnętrzny posunął się w kierunku jazdy o 30—40^{mm}, tok zewnętrzny zaś o 20—25^{mm} w ciągu trzech miesięcy.

Na Nadreńskiej drodze żelaznej spostrzeżono, że migracya toru położonego w łuku o promieniu 377 metrów, wywołana dziennym przebiegiem 35—40 pociągów, wynosiła po upływie lat trzech w kierunku spadku 180, zaś w kierunku wzniesienia 100 milimetrów.

Nieco dokładniejsze spostrzeżenia zawdzięczamy *Nadreńskiej* drodze żelaznej, która zauważała, że pod wpływem dziennego przejazdu 35—40 pociągów, w ciągu lat trzech w łuku zatoczonym promieniem 377 metrów, którego stromość nachylenia wynosi 11·1‰, usunął się tor, jadąc w kierunku

spadku o . . . . . . 17 centimetrów
wzniesienia . . . . . 10 „

Powyższe liczby wykazują, że migracya sprowadzona przebiegiem 1000 pociągów wynosiła około 2 milimetrów, że zatem przesunięcie się toku na jeden milimetr, spowodowanem zostało przejazdem 500 pociągów w jednym i tym samym kierunku.

Zjawisko migracyi, obserwowano zbyt często i stwierdzono go tylokrotnie, że o istnieniu migracyi dzisiaj już najmniejszej nie ma wątpliwości.

Przyczyny migracyi z pewnością jeszcze nie znamy, zjawisko tłómaczyć sobie można w sposób następujący:

Skutkiem wstrząśnień, powstających podczas przejazdu pociągu, zmienia się peryodycznie ciśnienie na szynę, a zmiana ta sprawia, że w chwilach ulżenia nacisku na szynę, uledz ona może sile, poruszającej ją wzdłuż toku.

Przekonamy się zaraz, że istnieją siły, które posuwają szynę tak dobrze w kierunku jazdy, jakoteż siły posuwające ją w kierunku odwrotnym, a zjawisko migracyi świadczy, że pierwej wymienione siły przeważają nad siłami posuwającemi szynę w kierunku odwrotnym od kierunku jazdy.

Siły posuwające szynę zgodnie z kierunkiem jazdy są następujące:

1. Wóz, stojący na szynie, wgniata ją własnym swym ciężarem nieco w miękki próg, podczas gdy szyna następująca, będąc jeszcze wolną od nacisku koła, pozostaje w miejscu nienaruszoną, co sprawia, że leżeć będzie nieco wyżej od swej przygniecionej sąsiadki.

Koło wozu, tocząc się dalej, utyka niejako o wystające czoło następującej szyny, i uderzeniem swem, posuwa nie naciśniętą jeszcze szynę w kierunku jazdy.

2. Ciśnienie kół wozu na szyny wywołuje tarcie, w następstwie którego, toczące się koło usiłuje niejako zabrać ze sobą w kierunku jazdy, znajdującą się pod niem szynę. Jeżeli szyna, spoczywająca na drewnianym pokładzie, może się oprzeć powyższemu działaniu, to w takim razie pozostaje w pierwotnem swem położeniu, gdyby zaś tarcie pomiędzy szyną, a progiem nie było dostatecznem, w takim razie przesuwaćby się ona musiała w kierunku jazdy. Skoro jednakże zważymy, że tarcie pomiędzy szyną, a toczącem się kołem, wynosi na każdą tonnę ciężaru wozu, 4 kilogramy, a tarcie pomiędzy progiem a szyną, można oceniać na 300—400 kilogramów na tonnę cisnącego ciężaru, to łatwo pojmiemy, że tarcie potoczyste żadną miarą spowodować nie może migracyi toru.

3. Skoro koło zahamowane nie może się toczyć po szynie, lecz się tylko po niej ślizga, a tarcie posuwiste, wynoszące średnio 130 kilogramów na każdą tonnę ciężaru, w danych warunkach nawet i do 300 kilogramów dojść może, przeto takowemu właściwiej jużby było przypisać przyczynę migracyi toru. Gdy zważymy, że ślizganie się kół następuje nietylko w skutek hamowania, ale nadto objawia się zawsze, ilekroć tylko koła osadzone na jednej i tejże samej osi, nie mają zupełnie tej samej średnicy, (która to okoliczność należy do zjawisk powszednich; ponieważ o matematycznej dokładności w obtaczaniu mowy być nie może), przeto ostatecznie *ślizganie* się kół na szynach, jako najważniejszą przyczynę migracyi toru uważać przychodzi.

Do rzędu sił, działających na przesuwanie się szyny, w odwrotnym kierunku jazdy, zaliczać musimy siły zrodzone ruchem kół popędowych, toczących się pod lokomotywą.

Tarcie kół popędowych, czyli kół, na którę suwak ruch swój przenosi, tarcie kół tych, zwane adhezyą, czyli przylegalnością, sprawia, że lokomotywa postępując naprzód, usiłuje szynę cofać wstecz.

Adhezyę przedstawić bowiem sobie można pod obrazkiem szyny zazębionej, po której postępuje również zazębione koło, poruszane siłą pary.

Każdy ząb wprzód postępującego koła, wchodząc w odpowiadające mu zagłębienie, posuwa szynę w tył, a ruch jego postępowy świadczy, że tarcie między szyną, a progiem oprzeć się zdołało parciu, skierowanemu wstecz.

Zjawisko migracyi toru poucza, iż jakkolwiek ciśnienie, wywierane przez koła lokomotywy na szyny, jest znacznie większe od ciśnienia pochodzącego od kół wozowych, to niemniej przecież działanie kół wozowych na toki przeważa nad takiemże działaniem kół popędowych biegnącej lokomotywy.

Powyższą okoliczność objaśniamy sobie w ten sposób, że silne wstrząśnienia ciężkiej lokomotywy działają raczej na wgniatanie szyn w podkłady, aniżeli na przesuwanie toków, podczas gdy lekkie i częściej się powtarzające wstrząśnienia wozów, wprost przeciwne wywołują następstwa.

Ta różnica w skutkach działania wstrząśnień daje się uprzytomnić, gdy zważymy, że lokomotywa całkowitem swem ciężarem ciśnie tylko na jedną szynę każdego toku, podczas gdy ciężar pociągu rozkłada się często na 50—100 szyn, stosunkowo więc znaczne ciśnienie, przypadające na jedną szynę, nie może zrównoważyć działania siły, usiłującej przesuwać tok w kierunku jazdy.

Wspomniano już powyżej, że toki tworzące tor ułożony w łuku, nie przesuwają się jednostajnie, a przyczynę tego zjawiska odnajdujemy w niejednakowem tarciu pomiędzy kołem a szyną na obydwóch tokach jednego i tegoż samego toru. Od wielkości tarcia zależy, na którym z obydwóch toków objawi się znaczniejsza migracya.

Jak wiadomo, tok zewnętrzy w łuku jest nieco wzniesionym po nad wewnętrzny tok toru; jeżeli pociąg przebiega łuk z tą szybkością, dla której obliczono wywyższenie toku zewnętrznego, w takim razie można sobie przedstawić, jakoby siła odśrodkowa wcale nie działała, tarcie będzie więc na obydwóch tokach jednego i tego samego łuku jednakowe, lecz tylko wtedy, gdy stożkowatość kół wywyższeniu odpowiada.

W innym razie zaś koło, toczące się na łuku zewnętrznym, ślizgając się tylko, dobiedz może koła biegnącego po łuku wewnętrznym; a ponieważ tarcie posuwiste większem jest od tarcia potoczystego, więc różnica sprawić może migracye łuku zewnętrznego.

Jedziemy spieszniej niż wywyższenie pozwala, to siła odśrodkowa przyciska koła do łuku zewnętrznego, przez co tarcie na tym toku przeważyć musi nad tarciem w łuku wewnętrznym.

Widzimy więc, że migracya toku zewnętrznego zjawi się tak dobrze, gdy jedziemy chyżością odpowiadającą wywyższeniu, czy też spieszniej.

Jadąc wolniej, jak wymaga wywyższenie łuku, zesuwa się pociąg w poprzek toru na łuk wewnętrzny, a w takim razie zjawia się tutaj większe tarcie, co znów sprawia migracye toku wewnętrznego.

Nadmienić wypada, że wydłużenie się szyn z powodu zmiany temperatury, jako powód migracyi żadną miarą uważać nie można, gdyż szyna nie wydłuża się w jednym kierunku, lecz czyni to na obydwie strony.

28.

Obrót ziemi w około osi, jako mniemana przyczyna migracyi toku.

Wkrótce po spostrzeżeniu zjawiska migracyi toków, czasopisma amerykańskie poczęły wygłaszać, że obrót ziemi w około osi uważać wypada jako przyczynę migracyi toków.

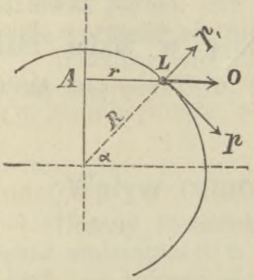
Idąc w ślad dowodu danego przez profesora *Franke* we Lwowie, niechaj przedstawia na figurze 12: *L*, miasto Lwów, to oznacza linia L O kierunek i wielkość siły odśrodkowej, zrodzonej obrotem punktu L odbywającym się w kole zatoczonym promieniem A L = r.

Siła L O rozdzielać się daje na dwie składowe: L p i L p_1, z których pierwsza działa w kierunku południka, druga zaś w kierunku promienia ziemi naszej.

Znajduje się miejsce, w którem tor ułożono, na półkuli północnej, to pierwsza z wymienionych stara się posuwać szynę od północy ku południu, druga zaś przedstawia ciężar toru, odpowiadający geograficznemu położeniu miejsca w którem tor się znajduje.

Ta ostatnia składowa, działając w kierunku promienia od środka ziemi na zewnątrz, nie sprawia wcale migracyi, działa bowiem w odwrotnym kierunku siły ciążenia, zmniejszając tem samem wagę ciał, znajdujących się na powierzchni ziemi.

Fig. 12.



Składowa zaś siły odśrodkowej, o której poprzednio mówiono, działająca w kierunku południka, a więc pod kątem prostym do promienia, przyczynićby się mogła do sprawienia migracyi, gdyby napiętość jej była ku temu.

We figurze niechaj przedstawia punkt L. miasto *Lwów,* z centrum ziemi do punktu L pociągnięty promień, nachyla się do równika pod kątem α, LO niechaj przedstawia wielkość siły odśrodkowej, zrodzonej wirowaniem punktu L, w kole opisanem promieniem L A $=$ r, składowe L p $=$ p, i L $p_1 = p_1$ wynoszą w takim razie.

$$p_1 = O. \cos \alpha$$
$$p = p_1 . \operatorname{tg} \alpha$$

wyraża R promień ziemi, to będzie:

$$r = R \cos \alpha$$

a przeto:

$$p_1 = \frac{O\,r}{R} \qquad p = \frac{O\,r}{R} . \operatorname{tg}\alpha$$

ze względu, że siła odśrodkowa ma wartość:

$$O = \frac{m\,c^2}{r}$$

wypada:

$$p_1 = \frac{m\,c^2}{R} \qquad p = \frac{m\,c^2}{R} . \operatorname{tg}\alpha$$

A ponieważ geograficzna szerokość miasta Lwowa wynosi $\alpha = 99^0, 49^1$, więc mamy:

$$\cos \alpha = 0{\cdot}76,\ \operatorname{tg}\alpha = 0{\cdot}84$$

pozostanie jeszcze do obliczenia, jaką chyżością c pędzi Lwów w przestrzeni, skutkiem rotacyi ziemi.

W przeciągu 24 godzin, czyli 86400 sekund obiega *Lwów* całe koło zatoczone promieniem r, w jednej sekundzie robi więc drogę:

$$\frac{2\,r\,\pi}{86400}$$

metrów, chyżość biegu wynosi przeto tyleż samo, a nazywając chyżość tę przez c, i uwzględniając wartość za r i cos α, będzie:

$$c = \frac{5 \text{ R}}{10^5}$$

składowe siły odśrodkowej, nabierają w takim razie wartości:

$$p = \frac{21 \text{ R}}{10^{10}} \text{ m}$$

$$p_1 = \frac{25 \text{ R}}{10^{10}} \text{ m}$$

a uwzględniając, że jest:

$$\text{R} = 63 \times 10^5$$

metrów, będą składowe wynosić:

$$p = 0\cdot013 \text{ m}$$

$$p_1 = 0\cdot015 \text{ m}$$

Wyraża g^1 przyspieszenie siły ciążenia w metrach, po upływie pierwszej sekundy działania tej siły na powierzchni ziemi, pod supozycyą że ziemia wcale nie wiruje, to przedstawia iloczyn m g^1, ciężar na ziemi nie wirującej.

A ponieważ p_1 przedstawia siłę zmniejszającą ten ciężar do wartości, jaką bezpośrednio spostrzegamy na wirującej ziemi, więc przedstawia:

$$(\text{m } g^1 - p_1)$$

ciężar rzeczywisty, który, jak wiemy, na powierzchni wirującej ziemi wznosi m g, skoro $g = 9\cdot81^{\text{m}}$ oznacza przyspieszenie siły ciążenia.

Mamy przeto równanie:

$$(\text{m } g^1 - p_1) = \text{m } g$$

z którego, po wstawieniu wartości

$$p_1 = 0\cdot015 \text{ m}, \; g = 9\cdot81$$

otrzymujemy:

$$g_1 = 9\cdot825$$

metrów.

Siła m g przyciska szynę do progu, a skoro przyjmiemy, 0·4 jako współczynnik tarcia szyny o próg, to będzie tarcie samo:

$$0\cdot4. \text{ m } g = 0\cdot4.\ 9\cdot81.\text{ m} = 39\cdot2 \text{ m}$$

jeżeli więc szyna w kierunku południka ma się posunąć, to potrzeba do sunięcia jej, siły:

$$p = 39{\cdot}2\ m$$

ponieważ jednak siła ta wynosi tylko 0·013 m, więc szyna wcale poruszać się nie może.

Widzimy więc, że wirowanie ziemi w około osi, przyczyną migracyi toru, żadną miarą być nie może.

29.

Wpływ rotacyi ziemi na ruch pociągów.

Uczony niemiecki *Baer*, przedłożył w roku 1860 akademii umiejętności w Petersburgu rozprawę, w której wykazał, że rotacya ziemi wpływa na formowanie się łożysk rzek płynących.

Wykazał on, że ruch ziemi w około osi zradza siłę, leżącą tak w płaszczyźnie stycznej do kuli ziemskiej, że siła ta działając na rzekę, prawy jej brzeg wygryża i ściera, podczas, gdy równocześnie lewy brzeg się zamula.

Rzeka, płynąca z północy na południe, dostaje się w miarę szybkości biegu, w równoleżniki, których cząstki opisują większe koła w około osi ziemi niż cząstki równoleżników wyżej ku północy posuniętych.

Tutaj przybywające cząstki wody, nie mając takiej chyżości jaką ląd posiada (bo prawem bezwładności zatrzymują chyżość obrotu równoleżników wyżej posuniętych, z których przybywają) pozostają nieco w tyle, tak, że brzeg spiesznie ku zachodowi bieżący, uderzać musi o cząstki wody wolno tylko w tym kierunku dążące.

Zderzenie się, spiesznie ku wschodowi dążącego brzegu, z wodą, która mniej szybko w tę samą stronę dąży, sprawia, że brzeg prawy się wyżera, lewy zaś — zamula.

Różnica w chyżości brzegu i chyżości wody (od zachodu ku wschodowi) służy jako miara wielkości nacisku.

Rozprawa *Baera*, będąc popartą wskazaniem na rzeki płynące, na których obserwować można opisane zjawisko, zwróciła uwagę techników na wzmiankę słynnego geografa *Maury* umieszczoną w jego książce „*fizyka morza*" (1856) podług której pociągi kursujące na kolejach, mających kierunek południka, częściej się wykolejają na prawą stronę, aniżeli na lewą.

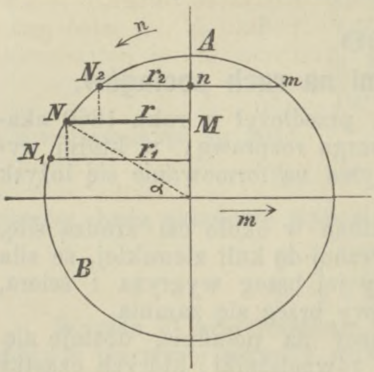
Spostrzeżono też niezadługo (1876) na kolei Hamburg-Haarburg, że tok leżący po prawej stronie, usuwa się w poprzek toru, tak, że rozszerzenie toru nieco się zwiększa.

Rozszerzanie się toru zrozumiano teraz, tłumaczono go bowiem jak następuje:

Niechaj przedstawia na figurze 13, A N B południk od zachodu ku wschodowi w kierunku strzałki *m* wirującéj ziemi.

Pociąg biegnie w kierunku strzałki *n*, wzdłuż południka od północy ku południu.

Fig 13.



Dopóki pociąg, stając w punkcie *N* pozostaje na równoleżniku *NM*, to go porywała wirująca ziemia tak samo jak i tor, na którym stoi i ubiega razem z torem w 24 godzinach koło opisane promieniem $NM = r$

Chyżość pociągu z powodu rotacyi ziemi jest tak samo wielką jak chyżość, z którą tor spieszy w kierunku strzałki *m* (od zachodu ku wschodowi).

Ponieważ tor i pociąg dążą jednako spiesznie od zachodu ku wschodowi, więc niema między niemi żadnego nacisku, a chyżość obydwóch wynosi

$$\frac{2\ r\ \pi}{24 \times 60 \times 60} = \frac{72.r}{10^6} = \omega$$

metrów na sekundę.

Pociąg, biegnący chyżością ω metrów na sekundę, przychodząc do punktu N_1 zatrzymuje prawem bezwładności dawną chyżość, tor jednak leżący w punkcie N_1 dzieli chyżość *tegoż* punktu, spieszy więc ku wschodowi szybkością

$$\frac{2\ r_1\ \pi}{24 \times 60 \times 60} = \frac{72.r_1}{10^6} = \omega_1$$

która jest większą od chyżości ω_1 gdyż promień r_1 większym jest od promienia r.

Tor spieszy więc ku wschodowi chyżością ω_1, pociąg zaś chyżością ω mniejszą od ω_1, tor prawy uderzać przeto musi o pociąg mniej spiesznie ku wschodowi pędzony, a uderzać będzie tem mocniej, im więcej różnić się będą chyżości ω i ω_1.

Różnica owych chyżości, zrodzonych nie jednako spiesznym ruchem w równoleżnikach, będzie więc miarą nacisku poprzecznego, objawiającego się w kierunku od zachodu ku wschodowi.

Różnica ta wynosi

$$\frac{72}{10^6}(r_1-r)=u$$

metrów na sekundę, i jest tem, co nazywamy *względną chyżością*.

A ponieważ pociąg uzyskał tę chyżość, biegnąc w kierunku południka z punktu N do punktu N_1, a więc przez drogę $NN_1 = s$ metrów, do przebycia której potrzebował t sekund, więc przedstawiać będzie

$$u.\ t$$

drogę, którą zrobiła siła naciskająca w czasie t. Wyraża σ drogę siły naciskającej, przebytą w czasie t sekund mierzoną w metrach, to będzie

$$\sigma = u\ t$$

metrów.

Przyspieszenie zaś siły cisnącej będzie:

$$p = \frac{2\sigma}{t^2} = 2.\frac{ut}{t^2} = 2.\left(\frac{u}{t}\right)$$

metrów.

Skoro oznacza α geograficzną szerokość miejsca N, to będzie ze względu, że droga $NN_1 = s$ metrów, jaką pociąg ubiegł w porównaniu z promieniem ziemi, jest tylko nieznaczną, można pisać

$$r_1 = r + s.\sin\alpha$$

a przeto:

$$r_1 - r = s.\sin\alpha$$

a więc

$$u = \frac{72}{10^6}(r_1-r) = \frac{72}{10^6}.\ s.\ \sin\alpha$$

wstawiając tę wartość we wyraz, określający przyspieszenie wypada:

$$p = 2.\ \frac{72}{10^6}.\ \frac{s}{t}.\ \sin\alpha$$

a ponieważ jest, skoro przedstawia v chyżość biegu pociągu w kierunku południka

$$v = \frac{s}{t}$$

więc otrzymujemy

$$p = \frac{14}{10^5} \cdot v \sin\alpha$$

Ponieważ zaś przyspieszenie niczem nie jest innem, jak tą częścią siły poruszającej, która odnosi się do jednostki masy, więc będzie:

$$p = \frac{P}{M}$$

gdzie oznacza P siłę poruszającą w kilogramach, skoro wyrażono massę M w kilogramach.

Siła poruszająca, czyli siła ciśnienia, wynosi więc

$$P = \frac{14}{10^5} Mv. \sin\alpha$$

kilogramów.

Ponieważ tonna równa się 1000 kilogramów, a przyspieszenie siły ciążenia wynosi $g = 9{\cdot}81$ metrów, więc waży massa jednej tonny

$$\frac{1000}{9{\cdot}81} = 102 \text{ kilogramów.}$$

Wstawiając tę wartość za M we wzór powyższy, otrzymujemy w zaokrągleniu:

$$\mathsf{P} = \frac{\mathsf{v}}{100} \cdot \sin\alpha \qquad (32$$

wzór ciekawy, służący do obliczenia nacisku, jaki powstaje między pociągiem, a *prawym* torem (torem w kierunku biegu pociągu leżącym po prawej ręce) z powodu rotacyi ziemi.

W tym wzorze oznacza:

P... ciśnienie jednej tonny ciężaru pociągu na tor prawy, na poprzek toru; wyrażone w kilogramach.

v... szybkość biegu pociągu, poruszającego się w kierunku południka wyrażona w metrach na sekundę.

α... geograficzna szerokość miejsca, w którym pociąg biegnie.

Wzór ten jest nader ciekawym, nie zawisł on bowiem wcale od promienia ziemi, wielkość ciśnienia zmienia się tylko z geograficzną szerokością miejsca, w pobliżu którego ruch pociągu się odbywa, i zależy od chyżości tegoż ruchu.

Na pociągi, poruszające się w krajach południowych w pobliżu równika, nie wywiera rotacya ziemi wcale żadnego wpływu, podczas gdy wpływa najsilniej na ruch pociągów w krajach północnych, leżących w pobliżu bieguna. Na samym biegunie wynosi siła zboczenia

$$\frac{v}{100}$$

kilogramów, na każdą tonnę ciężaru pociągu, na każde 100 tonn więc, tyle kilogramów, ile metrów na sekundę pociąg ubiega.

Pociąg poruszający się chyżością 10 metrów na sekundę między Lwowem a Glinną (która to linia leży w południku) ciśnie przeto na szynę prawą, siłą, która wynosi na każdą tonnę jego ciężaru

$$P = \frac{10}{100} . 0{\cdot}76 = 0{\cdot}076$$

kilogramów, gdyż szerokość geograficzna miasta Lwowa wynosi $49^0 49^1$, a sin. $49^0 49^1 = 0{\cdot}76$.

Waży pociąg 300 tonn, to wynosi całkowity nacisk w poprzek toru na tok leżący po prawej stronie, jadąc ze Lwowa do Glinny:

$$300 . 0{\cdot}076 = 22{\cdot}8$$

kilogramów.

Gdyby zaś pociąg biegł chyżością maksymalną, jaką ustawa związku kolei niemieckich biedz dozwala, t. j. chyżością 80 kilometrów na godzinę, (22 metrów na sekundę) to wynosiłby nacisk toku prawego w całości 50 kilogramów.

Rotacya ziemi sprawia więc nacisk działający w tym samym kierunku, co siła odśrodkowa, zrodzona ruchem w łukach.

Gdyby nacisk ten chciano zrobić nieszkodliwym w ten sam sposób jak sprawiono, że ruch w łukach nie nadweręża szyn leżących w toku zewnętrznym, to wielkość wywyższenia toku obliczyćby można w sposób następujący:

Wzór podany pod numerem 19 wyraża wywyższenie toku zewnętrznego po nad tok wewnętrzny, a wynosi to wywyższenie:

$$w = \frac{\mathbf{O}}{\mathbf{W}} s$$

metrów, skoro oznacza **O** siłę odśrodkową w kilogramach, **W** ciężar pociągu w kilogramach, **s** szerokość toru w metrach.

Jeżeli siła, zrodzona rotacyą ziemi, ma być tak wielką, jak jest wielką siła odśrodkowa, to być musi **O** = **P**, a ponieważ jest, skoro **M** oznacza masę pociągu, *p* przyspieszenie siły zrodzonej rotacyą ziemi, g = 9·81 (przyspieszenie siły ciążenia) to mamy

$$\mathbf{O} = M.\ p$$
$$\mathbf{W} = M.\ g$$

a przeto z równania powyższego

$$w = \frac{p}{g}.\ s$$

lub też po wstawieniu g = 9·81, s = 1·435

$$w = 0{\cdot}148.\ p$$

metrów, a ponieważ znaleziono pierwej

$$p = \frac{14}{10^5}.\ v.\ \sin\alpha$$

więc będzie:

$$\mathbf{w} = \frac{2}{10^5}.\ \mathbf{v}.\ \sin\alpha \qquad (33$$

wzór do oznaczenia wywyższenia toku prawego po nad tok lewy, dla pociągów biegnących w kierunku południka.

Największa chyżość, jaką w Austryi pociągi biedz mogą, wynosi cv= 22^m na sekundę, a ponieważ geograficzna szerokość Lwowa wynosi $\alpha = 49^0 49^1$ więc będzie $\sin\alpha = 0{\cdot}76$, a przeto

$$w = 0{\cdot}0003$$

metrów, czyli 0·3 milimetra.

Widzimy więc, że wywyższenie potrzebne do sparaliżowania siły zrodzonej rotacyą ziemi nie wynosi ani ½ milimetra, jest więc tak mało znaczące, że nie daje żadnej podstawy do obawy, aby pociągi z przyczyny wirowania ziemi w około swej osi, wykolejać się miały.

LOKOMOTYWA.

LOKOMOTYWA.

ROZDZIAŁ I.

Użycie pary na cele przewozu.

1.

Początki lokomocyi.

Jeszcze do roku 1810 znachodzimy w kopalniach Anglii szosy wykładane drewnianemi torami, po których przewożono siłą koni węgle kamienne z miejsca, gdzie je górniczo wydobywano, aż do miejsc składowych na brzegu rzek, zkąd je w głąb kraju spławiano.

Do wozu zaprzęgano zwykle jednego tylko konia, a każdy wóz dostawał swego woźnicę.

Do jednej z najdawniejszych takich dróg należy 6·5 kilometrów długa drewniana kolej, łącząca kopalnie *Wylam* ze wsią *Lemington*, położoną na brzegu rzeki *Tyne*, w pobliżu miasta *Newcastle.*

Węgle wydobyte w *Wylam* składano w *Lemington*, zkąd je do Newcastle i Londynu spławiano, a konie, idące między Wylam a Newcastle, obracały dwa razy na dobę. Gdy jednak w miejsce drewnianych brusów położono płyty odlewane z surowca, przejeżdżano ową przestrzeń już 3 razy na dobę (1808), a koń ciągnął już po dwa wozy.

Przewóz taki, pomimo to, był jednak drogim, co skłaniało właścicieli kopalń do przemyśliwania nad zastąpieniem konia, siłą pary.

Siłę tę znano bowiem dobrze, wszakże kopalnie w *Walii* zawdzięczały istnienie swe li tylko maszynom parowem, które *Watt* ustawiał, celem czerpania wody zalewającej szachty.

Pierwszą myśl zastąpienia koni siłą pary powziął jak się zdaje anglik *Savery* już w roku 1750, maszyny odpowiedniej jednak nie zbudował.

Pierwsza maszyna parowa, poruszająca się na szosie, była dziełem francuza *Cugnot*, przebiegała ona bowiem już w roku 1753 ulice Paryża, a widzieć ją można po dziś dzień jeszcze w tamtejszem *conservatoire des arts et métiers*.

Od tego czasu zjawiały się tak w Ameryce jak też i w Anglii najrozmaitsze maszyny, wszystkie jednak posiadały tę wspólną wadę, że potrzebowały pary wysokoprężnej (często do 20 atmosfer), przez co stawały się niebezpiecznemi, a co ważniejsza, droższemi od koni.

W obec tego, że tarcie między kołem a szosą pochłaniało znaczną część siły, a tarcia tego umniejszać nie umiano, zdawało się, że zastosowanie pary do przewozu, zaliczać wypada do mrzonek nie mających racyi bytu.

W kopalniach cyny pracujący górnik, *Ryszard Trevithik,* otrzymał na dniu 24 marca 1802 patent na maszynę która zastąpić miała konie, a służyć miała już nie do jazdy na szosie, lecz do przewozu węgla na szynie.

Lokomotywa Trevithika, aczkolwiek zbudowana podług najlepszej jego wiedzy nie ciągnęła jednak więcej jak 5 wozów załadowanych węglem, a ciągnęła je z chyżością metra na sekundę (3·6 kilometrów na godzinę). Praca ta wystarczyłaby jednak, gdyby nie to, że pod ciężarem lokomotywy pękały szyny, które wówczas z surowca odlewano; a okoliczność ta sprawiała, że to, co oszczędzono na sile przewozowej, wydać musiano na utrzymanie szyn.

Widząc to, zbudował *Trevithik* (1804) maszynę nieco lżejszą, zapobiegł tem wprawdzie pękaniu szyn, ale sprawił, że maszyna ta daleko mniej ciężaru ciągnęła, aniżeli pierwsza.

Niezrażony niepowodzeniem, zbudował *Trevithik* w roku 1808 maszynę trzecią, którą w Londynie za pieniądze okazywał. A gdy lokomotywa ta, biegnąc po owalnym łuku, którym tor zatoczono, druzgotając szyny, z toru wyskoczyła, zamknął *Trevithik* bramy cyrku, tracąc wiarę w możebność zbudowania lokomotywy, któraby, mając gładkie koła, po gładkiej szynie postępować mogła.

Niedowierzanie własnym siłom, a więcej może owa dziwna chwiejność charakteru, sprawiająca, że życie *Trevi-*

thika, nie było niczem innem jak tylko długim szeregiem samych początków, wydarła palmę zwycięstwa z rąk geniusza.

Doświadczenia *Trevithika*, wykazujące, że kruche szyny nie wytrzymują ciężaru lokomotywy, sprowadziły ówczesnych inżynierów na budowę maszyn lżejszych, gdy jednak przyczepiono do lżejszych maszyn te ciężary, które ciągnęły maszyny cięższe, pokazało się, że pod wpływem pary koła wprawdzie wirowały, maszyna jednak z miejsca się nie ruszała, a okoliczność ta wzbudziła mniemanie, jakoby naturalne tarcie, istniejące między szyną a kołem, nie wystarczało do nadania maszynie ruchu postępowego, a mniemanie to stało się później przekonaniem, pomimo, że ani razu nie sprawdzono, czy się też zgadza z doświadczeniem.

Widmo niedostatecznego tarcia oszołomiło ówczesne umysły do tego stopnia, że nadawano lokomotywom sztuczne nogi, zaopatrzone niejako w kopyta, któremi wbijając się w bruk, uzyskać miały ruch postępowy (*Brunton* 1813). Myśl naśladowania ruchów zwierzęcych wydawała się być tak zdrową i naturalną, że zradzała coraz to nowe konstrukcye (*Gompertz* 1814, *Tindal* 1814, *Baynes* 1819, *Dumbel* 1822, *Gurnay* 1825).

Poznawszy jednak mylność owej zasady, wrócono do dawniej już powziętej myśli, poruszania maszyny, mającej koła zazębione, po szynie również zazębionej, którą to myśl powziął *Blenkinsop* już w roku 1811. Pomimo tego wszystkiego, lokomotywy nie były jednak uzdolnione do spełniania regularnej służby, jak o tem świadczy ta okoliczność, że za każdą lokomotywą wysyłano konie, które w razie potrzeby wozy dalej prowadzić miały.

Najlepszą, a raczej najmniej złą ze wszystkich ówczesnych lokomotyw była maszyna konstrukcyi *Blenkinsopa*, pomimo, że robiła na godzinę zaledwie 1300 metrów drogi, konsumowała bowiem niewiele paliwa, co sprawiało, że *Blacket*, współwłaściciel kopalń w *Wylam*, zaprowadził je u siebie, w miejsce dawniej używanych koni.

Hedley, techniczny zarządca kopalń *Blacketa*, obserwując ruchy maszyn systemu *Blenkinsopa*, nabrał przekonania, że lokomotywa nietylko że tańszą jest od koni, ale nadto, że wyrugować musi konie, skoro tylko się uda uzyskać ruch nieco spieszniejszy, co znów stać się może, *porzucając szynę zazębioną, a wracając do szyn gładkich.*

W chęci przekonania się w drodze doświadczalnej, w jakim właściwie stosunku stać winien ciężar maszyny do jej siły przewozowej, ażeby gładkie koła nie ślizgały się na gładkiej szynie, urządził *Blacket* szereg odpowiednich prób, a próby wypadły tak pomyślnie dla kół gładkich, że zawezwano *Trevithika* do zbudowania maszyny odpowiedniej.

Trevithik, moralnie zgnębiony i materyalnie zniszczony, odmówił żądaniu *Blacketa*, co sprawiło, że *Hedley*, znając potrochę zasady budowy maszyn *Trevithika*, sam się odważył na budowę lokomotywy, a wziął się tak zręcznie do pracy, że w kilka miesięcy później stanęła nowa lokomotywa (1813). Maszyna ta, stanowi epokę w rozwoju maszyn parowych zmieniających swe miejsce, posiadając bowiem *gładkie, ze sobą sprzężone* koła, świadczyła każdemu, kto chciał patrzeć, że ów axiom o niedostatecznem tarciu, był tylko zboczeniem zdań, które tak długo krępowały umysły ówczesnych inżynierów.

Blacket widząc, że maszyna *Hedleya* zastępuje pracę nie jednego, lecz 10 koni, że jej utrzymanie daleko mniej kosztuje aniżeli utrzymanie koni, spowodował *Hedleya* do dalszych prób, a że ulepszenia były znaczne, świadczy nam ta okoliczność, że maszyny systemu *Hedleya* pełniły w kopalniach *Wylam* regularną służbę nietylko ku zadowoleniu właściciela kopalni, ale nadto sprowadzały inżynierów, którzy je zastosowywali w innych kopalniach.

Maszyny *Hedleya* pełniły służbę aż do roku 1862, w którym to roku oddano pierwszą z nich, do muzeum *South-Kensington*, gdzie dzisiaj jeszcze tam się znajduje.

2.

Pierwsze lokomotywy oddane do użytku publicznego.

Podczas gdy *Bonaparte* blaskiem swych zwycięztw we Włoszech, świat olśniewał, a lokomotywy *Hedleya* regularną służbę w Kopalniach pełniły, ślęczał w *Newburn* ośmnastoletni palacz przy migocącym się płomieniu ognia, rozpalonego pod kotłem maszyny parowej — nad książką, ucząc się abecadła.

Był to ów słynny *Jerzy Stefenson* urodzony w *Wylam* w dniu 9. czerwca 1871. = 1771

Podczas gdy *Blaket* i *Hedley* zajęci byli budową swych lokomotyw, awansował Stefenson z palacza na dozorcę maszyn, stale w *Killingworth* ustawionych; a gdy go doszły wieści o owych maszynach Blaketa, postanowił oglądać cuda te, na własne oczy.

Przybył więc w roku 1813 do *Wylam*, rodzinnego swego miejsca, i oglądał na własne oczy owe lokomotywy, które umysł jego w tak wysokim stopniu zaprzątały.

Widział on tam, kłębami czarnej pary zionące maszyny *Blenkinsopa* poruszające się wolno po zazębionej szynie, te same maszyny, które trzy lat póżniej cara Mikołaja tak mocno zainteresowały. — Oglądał on dalej kolos *Chapmana*, niepewnie się poruszający na łańcuchach, ułożonych w miejsce zazębionej szyny, widział nareszcie ciężkie lokomotywy *Hedleya*, czołgające się po szynie gładkiej, potrzebujące do przebycia 8 kilometrowej drogi czasu 6 godzin.

Stefenson, oglądając to wszystko, powziął przekonanie, że dotąd nie ma jeszcze lokomotywy, którąby odpowiadała zarówno warunkom ekonomii, jakoteż bezbieczeństwa ruchu Wróciwszy do *Killingworth*, gdzie był zarządcą maszyn parowych, ustawionych celem czerpania wody w kopalniach węgla kamiennego lorda *Ravensworth*, udało się Stefensonowi nakłonić owego lorda do ponoszenia kosztów budowy lokomotywy, którą on sam (Stefenson) obmyślał.

Na dniu 25. lipca 1814 stanęła maszyna, której nadał miano „Mylord". W środku swego kotła posiadała ona jedną rurę płomienną, podczas, gdy na kotle ustawiono dwa cylindry pionowe, przenoszące ruch swych tłoków za pomocą kół zazębionych na koła toczące się po gładkiej szynie.

Lokomotywa ta ciągła wprawdzie ciężar wynoszący 30 tonn chyżością 6 kilometrów na godzinę; stanęła przeto znacznie wyżej od sióstr swych we *Wylam*, posiadała jednak, pomimo, że była najlepszą z ówczesnych lokomotyw, przecież dwie wielkie wady, które, gdyby ich usunąć nie umiano, byt lokomotywy zakwestyonowacby musiały.

Lokomotywa Stefensona nie biegła bowiem spiesznej od konia, i konsumowała więcej paliwa, aniżeli kosztowało utrzymanie koni.

Stefenson poznając, że szybkość jazdy zawisłą jest w pierwszej linii od spieszności w rozwoju pary, a więc od możebności wzniecania i utrzymania silnego ognia, złemu na razie zaradzić nie umiał.

Dopiero skargi sąsiadów, że para uchodząc z cylindrów, sykiem swem ludzi straszy i zwierzęta płoszy, nasunęła Stefensonowi pytanie, dlaczego para zużyta w cylindrach ludzi straszy, dym zaś, uchodzący kominem lokomotywy, tego nie czyni. Rozmyślając nad tem zagadnieniem, zauważał Stefenson, że para daleko spieszniej uchodzi, aniżeli dym w kominie.

Gdyby więc w cylindrach zużytą parę nie puszczać na zewnątrz, lecz odprowadzać ją rurą do komina, to para uchodząc znacznie spieszniej aniżeli dym, tenże ze sobą mechanicznie porywać musi, przez co zaś powstać może w palenisku przewiew, konieczny do utrzymania silnego ognia.

I w rzeczy samej, w chwili, w której *Stefenson* wypuścił parę kominem, chyżość maszyny się podwoiła.

To, co *Trevethik* wprawdzie spostrzegł, czego jednak nie poznał, zastósował *Stefenson* z całą świadomością rzeczy, i dla tego też uważać trzeba nie *Trevethika*, lecz *Stefensona* za wynalazcę przyrządu znanego pod nazwą *dmuchawki*, przyrządu, bez którego lokomotywa istniećby nie mogła.

Zamiast więc wydawać parę na cele uruchamiania mieszków, któreby ogień poddmuchiwały, użył *Stefenson* na ten cel parę zbędną, bo parę, która zadanie swe w cylindrach już spełniła, a więc parę do dalszej pracy już niezdolną.

Zastosowanie zużytej już pary do utrzymywania przewiemu, jest to wynalazek stojący na równi z odkryciem *Blaketa*, że tarcie między kołem a szyną wystarcza do nadania lokomotywie ruchu postępowego.

Stefenson, poznawszy całkowicie doniosłość *dmuchawki*, znalazłszy zarazem możność usunięcia kilku z najdotkliwszych braków swej maszyny, przystąpił do budowy drugiej.

Już w dniu 25. lutego 1815 uzyskał na nią patent, a maszyna ta była pierwszą lokomotywą, przy której ruch tłoka przenoszono na koła zapomocą *drążków*, jakoteż która zaopatrzoną była w *dmuchawkę*.

Lokomotywa ta była już spieszniejszą od konia, a w utrzymaniu była tańszą, posiadała więc wszystkie warunki, które do ustalenia jej panowania były nieodzowne.

Mając na uwadze, że *Stefenson* posiadając w wysokim stopniu dar spostrzegawczy i żelazną wytrwałość, ulepszał ciągle swe maszyny, pojmiemy, że lokomotywy jego nabrały rozgłosu, o których tamte nawet nie marzyły.

Podczas gdy *Stefenson* ulepszał w *Killingworth* swe maszyny coraz więcej, powstał (1821) projekt złączenia bogatych kopalń w *Durham*, znajdujących się w pobliżu miasta *Darlington*, za pomocą kolei z portem *Stocton* na rzece *Iees*.

Stefenson, dowiedziawszy się o budowie tej kolei, przedstawił się panu *Peace* w Darlington, jednemu z założycieli owego przedsiębiorstwa, wręczając mu list rekomendacyjny pana *Lambert*, dyrektora kopalń w Kilingworth.

Peace, poznawszy Stefensona, nietylko że go polecił towarzystwu, ale wszedł nadto ze *Stefensonem* w spółkę celem założenia fabryki lokomotyw, pomimo, że wówczas nie było jeszcze rozstrzygniętem, czy na kolei *Stocton-Darlington*, zastósowaną będzie do przewozu węgla kamiennego para.

Stefenson twierdził bowiem, że fabryka lokomotyw, ze względu na istniejące koleje kopalniane, które się posługują lokomotywami, opłacać się musi bez względu na to, czy kolej *Stocton-Darlington* obierze dla siebie również lokomotywę, czy też pozostanie przy maszynach parowych, stale w miejscu ustawionych, lub też użyje do przewozu siłę koni.

W roku 1823 wzniósł się też w *Newcastle* budynek, w którym w roku następnym rozpoczęto budowę lokomotyw, fabryka ta rozpoczęła czynność swą z takiem powodzeniem, że dzisiaj jeszcze zaliczać ją trzeba do fabryk pierwszorzędnych.

Założenie tej fabryki, był to niewątpliwie jeden z najważniejszych czynników, umożliwiających rozkwit budowy lokomotyw, tutaj bowiem kształcić się mogli nietylko robotnicy z *Newcastle*, ale robotnicy kraju całego, a fabryka ta stała się niejako uniwersytetem dla konstruktorów lokomotyw.

Kolej *Stocton-Darlington* otwarto wreszcie w dniu 27 września 1825, a jazda rozpoczęła się z miasta Darlington.

Maszyna parowa, stale w miejscu ustawiona, ciągnęła pociąg w górę, poczem gdy wyszedł do szczytu, spuszczała go znów na linie w dół, gdzie go oczekiwała lokomotywa, mająca go prowadzić dalej.

Tutaj, u stóp góry, zestawiono pociąg a złożono go z sześciu wozów, załadowanych węglem i mąką, po których następował wóz osobowy, przeznaczony dla dyrektorów kolei i uproszonych gości, koniec zaś pociągu składał się z 21 węglarek, przysposobionych tymczasowo dla ciekawych widzów, jakoteż z 6u wozów załadowanych węglem, tak więc, że cały pociąg składał się z 34 wozów, ważących w całości 90 tonn, a mieszczących w sobie 450 uczestników; a chyżość jazdy wynosiła przeciętnie 20 kilometrów na godzinę, miejscami jechano zaś chyżością 24 kilometrów ($8^1/_2$ metrów na sekundę).

Lokomotywa zaś, prowadząca ten pociąg, ważyła 8 tonn, na kotle jej stały pionowo dwa cylindry, przenoszące ruch swych tłoków zapomocą balansierów na koła korbowe.

Później, gdy ruch osób się ożywił, zbudowano dla przewozu osób osobne wozy, pociągi osobowe prowadzono jednak nie lokomotywą, lecz końmi, lokomotyw używano li tylko do przewozu towarów.

Gerstner, syn pierwszego dyrektora techniki w Pradze, przejęty doniosłością tego nowego systemu komunikacyi, studyując warunki przewozu na miejscu, przeniósł system ten do Austryi, uzyskał bowiem, jeszcze przed otwarciem kolei kwekerowskiej, bo w dniu 7 września 1824 przywilej do budowy żelaznej kolei łączącej Mołdawę z Dunajem, na której zwozić miano do Czech sól, minerał, którego kraj nie posiada. Dostawa i utrzymanie koni, kosztowało jednak tak wiele, że ta konna kolej powodzenia nie miała, myślano wprawdzie o emancypowaniu się od koni zastosowywując do przewozu siłę pary, lecz trudności finansowe nie dozwalały chwycić się tego środka zaradczego.

Podczas gdy w Austryi kolej konna coraz więcej upadała, ożywiał się w Anglii ruch kolejowy z każdym dniem tak dalece, że rozpoczęto budowę kolei konnej, łączyć mającej ze sobą najhandlowniejsze miasta w świecie, miasta *Liverpool* i *Manchester*. Co do siły przewozowej, miano jednak przekonanie, że do przewozu osób lokomotywa się nie nadaje, twierdzono bowiem, że powierzając swą osobę lokomotywie ryzykuje się zupełnie to samo, jakby siedziano na rakiecie wystrzelonej w powietrze.

Licznemi plakaty i artykułami w gazetach usiłowano przedstawić, że myśl zastosowania pary do przewozu jest zdrożną, podnoszono, że w pobliżu idącego pociągu krowy paść się nie będą, że kury jaja nieść przestaną, gazy, któremi lokomotywa zionie, powietrze zatruwają, skutkiem czego ptactwo wyginąć musi, chodowanie bażantów i lisów stanie się niemożebnem. Nie zapomniano o iskrach, któreby zapalały dachy sąsiednich domów, o kotłach, które podczas szybkiej jazdy pękać będą, i t. p.

Rzecz była wówczas za nadto nową, sprawa zastosówania pary do przewozu miała w kołach uczonych zanadto wielu przeciwników, aby zdołała zbudzić zaufanie.

Nie dziw więc, że *Stefensona*, którego ceniono wysoko, przecież za półgłówka uważano, gdy wystąpił z projektem zbudowania lokomotywy, któraby poruszać się miała chyżością 32 kilometrów na godzinę. W obec takiego prądu zdań powstawały najrozmaitsze projekta, tyczące się przewozu, jak gdyby grzyby po deszczu. Wynalazcy Anglii, Francyi i Ameryki jakby się sprzysięgli utrudniać zaprowadzenie pary. Tak n. p. reklamowano siłę wody, wiatru, prężenia gazu, ciśnienia powietrza, jako siłę przewozową, zjawiały się rozmaite projekta zwiększania tarcia między kołem i szyną i t. p.

W ogólnym zamęcie pojęć, jeden tylko *Stefenson* widział jasno, a przekonanie jego było tak niezachwiane, że stanął sam jeden w opozycyi wpływowych przeciwników, którzy sprawę tę wytoczyli przed forum parlamentu. Wytoczeniem sprawy przed forum publiczności sprawiono dwa obozy, w których zdania ścierały się z tem większą zaciekłością, im więcej się zbliżała chwila wykończenia budowy drugiej z rzędu kolei, a mianowicie koleji *Liverpool-Manchester*. Jedna część członków Dyrekcyi tej kolei obstawała za końmi, druga uważała maszyny parowe stale w miejscu osadzone jako stosowniejsze do wyciągania pociągów w górę. Lokomotywa, oprócz *Stefensona*, zwolennika nie miała. Sprzymierzeniec jej był jednak silnym, zezwolono albowiem *Stefensonowi* w roku 1828 używać lokomotyw do przewozu żwiru, zastrzegając sobie decyzyę, co się tyczy wyboru siły przewozowej po otwarciu kolei.

Stefenson, niezadawalniając się uzyskaną koncessyą, będąc przeświadczonym o doniosłości lokomotywy, skłonił dyrektorium budującej się kolei do wysłania komisyi, którąby zbadać miała na kolei *Stocton-Darlingston*, czy i o ile lokomotywy używane tam do przewozu ciężarów zadaniu odpowiadają. Komisya, zbadawszy sytuacyę dokładnie, oświadczyła się przeciw lokomotywie! — orzekając zarazem, że ruch na kolei *Liverpool-Manchester* prowadzonym być winien siłą maszyn parowych, stale w miejscu ustawionych.

Pomimo, że w skład owej komisyi wchodzili panowie: *Gray*, *Vignoles*, *Ericson*, *Walker*, *Rastrik i Wood*, a więc najsłynniejsi inżynierowie, wyrok ich, *Stefensona* przekonać nie zdołał.

Poparty zdaniem inżynierów: *Sanders* i *Rathbone*, stanął *Stefenson* śmiało w opozycyi, a umiał tak wymownie zbijać argumenta przeciwników, że dyrektorowie kolei pomimo tak silnej i poważnej opozycyi, *Stefensonowi* zawierzyli.

Wszakże on to poprowadził kolej przez bezdenne bagna, pomimo, że pierwsi inżynierowie czyn podobny za niemożebny uznali.

Wiara jedynie w zdolność *Stefensona*, której wymowny wyraz nadać umiał *Booth*, podówczas sekretarz towarzystwa kolei *Liverpool-Manchester*, sprawiła, że dyrektorowie wbrew orzeczeniu komissyi, na przypuszczenie lokomotywy do próby, się zgodzili.

Rozpisano tedy, pomimo, (stosownie do wniosku *Harisona*) zapadłej uchwałyby, nieużywać lokomotywy, *konkurs na dostawę lokomotywy*.

Premię, wynoszącą 550 funtów szterlingów, wyznaczono dla maszyny, któraby, nie posuwając ciśnienia pary wyżej nad $3^1/_2$ atmosfery i nie ważąc więcej jak 6 tonn, zdołała prowadzić ciężar 20 tonn chyżością 16 klmtr. na godzinę. Każda z konkursowych lokomotyw przebyć miała 2·8 kilometrową kolej, zbudowaną w pobliżu *Rainhill*, na cele konkursowe, po 20 razy na dzień, przebiedz więc miała dziennie drogę wynoszącą $2·8 \times 20 = 5·6$ kilometrów.

Jako termin popisu wyznaczono dzień 6 października 1829, a stanęło w dniu tym do walki cztery lokomotywy.

A były to:

Novelty (nowina) systemu Braitwaite i Ericson.

Rocket (rakieta) system Stefensona.

Sanspareil (niezrównana) systemu Naekworth i

Perseverance (wytrwałość) systemu Burstall.

Maszyna *Stefensona* pomimo, że nie miała prób rozpoczynać, była do nich pierwsza gotową, i dla tego też zezwolili sędziowie (*Wood*, *Bastrik* i *Kennedy*) aby wyścigi ona rozpoczęła.

Nowina będąc najokazalszą, podobała się na wyścigach najwięcej, podczas gdy na niesforną *Rakete* mało co zważano, już poczęła się szala przeważać na korzyść *Nowiny*, aż tu nagle oś jej się załamuje tak, że ustąpić musiała miejsce *Rakecie*, która stając ponownie do walki, ważąc sama zaledwie $4^1/_2$ tonny prowadzi wóz, w którym zasiadło 30 uczestników chyżością 48 kilometrów na godzinę, a więc chyżością, którą dzisiaj biegną pociągi pospieszne.

Dzień 8 października przeznaczonym był dla *Rakety*, w tym to dniu widzimy ją jak prowadzi pociąg ważący 13 tonn przebiegając 54 kilometrową przestrzeń w ciągu godziny i 48 m., podczas której jazdy chyżość dochodziła miejscami do 46 kilometrów przeciętna zaś szybkość jazdy wynosiła 24 kilometrów, na godzinę ($8·6^m$ na sekundę).

Największe chyżości, które podczas owych wyścigów osiągniono, wynosiły:

Raketa	56	kilometrów	na godzinę
Nowina	45	„	„
Niezrównana.	22	„	„
Wytrwałość..	10	„	„

Swietny wynik jazd Rakety przewyższył oczekiwania wszystkich, co sprawiło, że palmę zwycięztwa „Raketa“ zdobyła.

Od chwili tej zdawały się być złamane wszelkie zapory dalszego rozwoju na polu mechaniki przewozowej, a myśl, że chwila zwycięztwa *Rakety* inauguruje nową erę, inauguruje stulecie pary, przejęła umysły uczestników.

Rakieta pełniła na kolei Liwerpool-Manchester służbę jeszcze do roku 1837, w którym to roku sprzedano ją niejakiemu *Thompson*, który ją używał do przewozu wapna i węgla w kopalniach hrabiego Carlisle.

Stefenson, litując się nad dzieckiem swego geniuszu, wykupił *Raketę* z rąk *Thompsona*, ustawiając ją w swej fabryce, gdzie ją dzisiaj jeszcze oglądać można w tem samem miejscu, w którym ją ustawił.

3.

Lokomotywy dzisiejsze.

Od chwili otwarcia ruchu na kolei Liwerpool-Manchester, t. j. od dnia 15 września 1830, zradza niemal każdy dzień nowe poprawki, nowe ulepszenia, a pomiędzy niemi konstrukcye, które wzniosły lokomotywę do potęgi świata.

Praktyka następujących lat 20, idąc wolnym krokiem, ulepsza coraz więcej lokomotywę, formy jej nabierają coraz więcej stałości, a maszyny coraz mniej od siebie się różnią biegną one wszystkie znaczną chyżością, bo nawet po 100 kilometrów na godzinę, przewożą znaczne ciężary, dochodzące do 1000 ton, a ruch tak osobowy jakoteż i towarowy coraz więcej się ożywia. Po za oceanem, w Ameryce, również życie kolejowe pulsuje, po nieudałych próbach *Evansa* (1803) i kilku innych, poczyna (1835) lokomotywa angielska świat sobie zdobywać tak, że już prawie wszystkie *równie* świata cywilizowanego kolejami są poprzerzynane. Ruch światowy, pulsując coraz raźniej, dociera w roku 1848 do *gór*, które tamę mu stawiają; pokazuje się bowiem, że lokomotywa, która świat zdobyła, *gór* przebywać nie zdoła.

Rząd austryacki posiadał wówczas kolej, wiodącą z Wiednia do Tryjestu, kierunek tej linii prowadził przez górę zwaną *Semmering*, przez którą kolei zbudować nie śmiano. Jadąc z Wiednia, przebywało się koleją do stacyi Gloggnitz leżącej u stóp góry. Tutaj musiano wysiadać i jechać przez górę wozami, po przebyciu 40 kilometrowej drogi przybywano znów do stóp góry, zkąd — ze stacyi Muirzuschlag — znów lokomotywa podróżnych wiozła. W podobny sposób transportowano towary, chociaż prowadzenie ruchu w opisany sposób, wcale nie odpowiadało ówczesnym wymogom świata przemysłowego.

Przemysł domagał się bowiem gwałtownie połączenia stolicy państwa z jedynym podówczas portem łączącym Austryę ze światem pozaoceanowym, a gdy wreszcie burze polityczne, miotające podówczas Europą, wdarły się także do Austryi, widział się Rząd zmuszonym wziąść pod rozwagę budowę żelaznej kolei przez górę Semmering. Nie chcąc i tak już olbrzymich kosztów zwiększać do niesłychanej wysokości, zadowolnić się musiano wzniesieniem podówczas niesłychanej stromości, bo wzniesieniem 25 milim. na metr poziomej odległości, a gdy budowa tej, w całym świecie podówczas słynnej kolei, zbliżała się ku końcowi, rozstrzygać miano nad wyborem siły przewozowej.

Myślano o zastosowaniu maszyn stale w miejscu ustawionych, a poruszanych siłą pary, na lokomotywy nie reflektowano, gdyż wiedziano, że ówczesnych lokomotyw w górach używać nie można. Mniemanie, jakoby lokomotywy służyć mogły li tylko do przewozu w równiach, w górach zaś posłuszeństwo wypowiadały, było bowiem wówczas tak powszechne, że do obalenia go, potrzeba było całej energii, powagi i geniuszu *Ghegi*, inżyniera, kierującego budową tejże kolei.

Podobnie jak w roku 1829 *Booth*, kruszył w r. 1850, *Ghega* kopie w sprawie lokomotywy. Argumenta *Ghegi*, wykazujące dobitnie, że przyrządy pneumatyczne, właśnie co w Anglii w modę wchodzące, a o których zastosowaniu dla kolei Semmering myśleć już poczynano, nie są niczem innem jak tylko zboczeniem z drogi, że lokomotywie jedynie przyszłość się należy, sprawiły, że Rząd zdecydował się kwestye użycia lokomotywy wziąść pod rozwagę. Rozpisano tedy (w roku 1851) konkurs na dostawę lokomotywy, któraby, poruszając się chyżością 3^{m} na sekundę, poprowadzić zdołała pociąg ważący 140 tonn w kierunku wzniesienia mającego 25^{mm} stromości, położonego w łuku, który zatoczono promieniem 190^{m}. Sumę 20.000 dukatów wyznaczono jako nadgrodę za dostawę lokomotywy, któraby powyższym warunkom odpowiadała.

Podobnie jak przed 22 laty w *Reinhill*, tak teraz w *Payerbach* (stacyi kolei południowej) stanęło do konkursu, w dniu 4 lipca 1851 cztery lokomotywy.

Bawarya, lokomotywa konstrukcyi Maffei w Monachium otrzymała nagrodę, pomimo, że żadna z lokomotyw konkursowych warunkom w zupełności nie odpowiadała. Pomimo to, wykazała lokomotywa ta możebność przebywania znacznych stromości, używając adhezyi kół gładkich. Hasło było dane, a rozwój lokomotyw, będąc skierowanym do budowy maszyn górskich, wstąpił na nowe tory. Tem samem niemal, czem była *Anglia* dla lokomotyw w ogóle, stała się później *Austrya* dla lokomotyw *górskich*. Kolej Semering była głośniejszą od kolei Liverpool-Manchester, a konstrukcye maszyn górskich stały się wzorem dla budowy maszyn nowoczesnych.

4.

Kocioł, w którym para się wywiązuje.

W każdej lokomotywie rozróżniamy trzy główne składowe, a mianowicie: *kocioł*, w którym para się wywiązuje, *wóz*, na którym kocioł spoczywa i *przyrządy uruchomiające maszynę*.

Co się tyczy *kotła*, w którym para się wytwarza, to odróżnia on się od kotła używanego przy maszynach stale w miejscu ustawionych tem, że nie *stoi na ziemi*, jako też, że się *w ruchu znajduje*. A okoliczności te gromadzą więcej trudności w budowie lokomotywy, niż to na pierwszy rzut oka wydać się może. Tak n. p. nie odgrywa ciężar kotła przy maszynie stale w miejscu ustawionej wcale żadnej roli, podczas gdy on jest rzeczą wielkiej wagi, skoro chodzi o budowę lokomotywy. Kocioł, ustawiony na kołach, nie śmie bowiem więcej ważyć, jak dozwala wytrzymałość szyny, a okoliczność ta sprawia, że rozmiary kotła na lokomotywie leżeć będą w daleko ściślejszych granicach, aniżeli rozmiary kotłów przy maszynach, miejsca swego nie zmieniających. Ustawiając kocioł na kołach, nie można go już obmurowywać, co znów naraża kocioł ruchomy na większe przypadkowe uszkodzenia, jak kocioł nieruchomy.

Warunek drugi, t. j., że kocioł lokomotywy *w ruchu pozostaje*, sprawia konstruktorom również trudności. Paleniska nie można bowiem ustawić na zewnątrz kotła, lecz chronić go trzeba koniecznie, również ustawić nie można na lokomotywie wysokiego komina, którybyby sprawiał w palenisku, dostateczny ciąg powietrza. Wreszcie zważyć trzeba, że woda, znajdująca się w kotle ruchomym, podlegając prawu bezwładności, przy każdem ruszeniu się maszyny z miejsca, jakoteż przy każdem wstrzymaniu ruchu mocno kłębować musi, co znów ściany kotła nadwerężyć może.

Dopiero doświadczenia nagromadzone w ciągu połowy wieku, usunąć zdołały wszystkie trudności, spowodowane owemi dwoma na wstępie wspomnianemi okolicznościami.

Chcąc kocioł chronić o ile możności od uszkodzeń przypadkowych, wyrabiać go trzeba z materyału trwałego. *Miedź* byłaby materyałem wytrzymałym na prężenia pary, mniej zaś na szturkania zewnątrz, oprócz tego waży miedź wiele i jest kosztowną, dla tego też nie używa się jej do wyrobu kotłów.

Surowiec, czyli lane żelazo, z powodu swej kruchości, wyrzuconym być musi; *stal* zmienia pod ustawicznemi wstrząśnieniami swój ustrój między-cząsteczkowy przez co traci na wytrzymałości. Pozostaje nam jedynie *żelazo* walcowane, a nadając blachom grubość 8—11 milimetrów, otrzymujemy z nich materyał wyborny dla wyrabiania kotłów.

Stosując się do szerokości toru, niemniej do możebnie największego nacisku, który na szynę wywrzeć można, staramy się nadać kotłu o ile możności jak najmniejsze rozmiary, a rachunek i doświadczenie pouczają, że nadając kotłu kształt poziomo ułożonego *walca*, osiągamy przy rozmiarach możebnie najmniejszych, zarazem wytrzymałość i pewność ustawienia możebnie największą.

Średnica kotłów, używanych przy lokomotywach, wynosi 1—$1\frac{1}{2}$ metra, długość zaś przeciętnie 4^m, a ustawia się kocioł tak, że podłużna jego oś staje 2^m po nad szyną.

Chcąc wolno ustawiony kocioł chronić od wypromieniania ciepła, otaczać go trzeba złemi przewodnikami.

Jako takie, znalazły zastosowanie: powietrze, drzewo korkowe i filc. Nadając kotłu podwójne, od siebie odstające ściany, otaczamy go warstwą powietrza, a sposób ten znalazł najwięcej zastósowania. Francuzi poczynają w nowszym czasie otaczać kocioł drzewem korkowem i cieszyć się mają powodzeniem, podczas gdy Amerykanie robią próby, używając warstw filcowych.

Wyraża t temperaturę w kotle t^1 zaś temperaturę jego otoczenia, a wypromienia kocioł na metrze kwadratowym swej powierzchni, przy rożnicy temperatury wynoszącej 1^0, w godzinie k kaloryj, to wypromieni, przy różnicy temperatury wynoszącej $(t—t^1)$ stopni

$$k\ (t—t^1)$$

kaloryj, a gdy powierzchnia jego wynosi P metrów kwadratowych, to wypromieniać będzie kocioł co godzinę

$$C = K.P\ (t—t^1) \qquad (1$$

kaloryj. Liczba *K* ma wartość zmienną, zależną od jakości i grubości przewodnika, otaczającego ściany kotła.

Ażeby wykazać jak dalece wpłynąć może grubość warstwy złego przewodnika otaczającego kocioł na wypromienianie ciepła, przytaczam doświadczenia amerykańskie tyczące się warstw filcu, które podał w roku 1878 inżynier *Ischerwood* z Baltimore.

Wyraża Δ grubość warstwy filcowej w milimetrach, to pouczają doświadczenia powyż wspomnianego inżyniera:

Δ	K	Δ	K
0·00	14·302	57·15	0·998
6·53	5·140	63·50	0·947
12·70	2·793	69·85	0·903
19·05	2·011	76·20	0·864
25·40	1·497	82·55	0·830
31·75	1·339	88·90	0·800
38·10	1·222	95·25	0·773
44·45	1·132	101·60	0·746
50·80	1·058	190·50	0·547

Kocioł parowy, mający 1^m średnicy, a 4^m długości, którego powierzchnia przeto obejmuje $12·56\square^m$, zawierający w sobie parę ogrzaną do 150^0C, podczas gdy termometr na wolnym powietrzu okazuje 20^0, otoczony warstwą filcu mającą 50·8 milimetra grubości, wypromienia na godzinę:

$$C = 1·058 \;.\; 12·56\,(150-20) = 1727$$

kaloryj. A ponieważ do zagotowania kilograma wody, mającej temperaturę zero, potrzeba 100 kaloryj, więc ciepłem wypromienionem w godzinie, zagrzać będzie można 17·27 kilogramów. Gdyby zaś kotła wcale filcem nie otaczano, utracałby na godzinę

$$14·302 \;.\; 12·56\,(150-20) = 2335$$

kaloryj, a więc tyle ciepła, ile potrzeba do zagotowania 23·35 kilogramów wody.

Chcąc zadosyć uczynić warunkom, wypływającym z tej okoliczności, że kocioł w ruchu się znajduje, starać się przedewszystkiem trzeba o ile możności rozdrobnić masę wody.

Najprostszy sposób rozdrabniania masy wody byłby zaś ten, gdyby wodę wlano w drobne rurki i wystawiono rurki na bezpośrednie działanie ognia. A myśl taką powziął już *Stefenson* jeszcze w roku 1828, doświadczenie pouczyło go jednak, że osady kamienia kotlanego, powstające w gotującej się wodzie, zapychają rury do tego stopnia, że rozpalając się do żaru, zupełnie bezużyteczne stać się mogą.

Ażeby paliwo, umieszczone na ruszcie dobrze się paliło, sprawić trzeba znaczny przewiew powietrza. A ilość wdmuchanego powietrza znaczniej być musi większą w rusztach maszyn parowych, stale w miejscu ustawionych, chcąc bowiem jechać spiesznie, sprawić trzeba, aby para spiesznie się wywiązywała, co znów osiągnąć można tylko przy pomocy dobrze palącego się płomienia. Celem sprawienia odpowiedniego przewiewu powietrza, wznosimy w fabrykach kominy znacznej wysokości, kominy, rywalizujące co się tyczy wysokości z wieżami świątyń naszych. Lokomotywa, potrzebując większego przewiewu niż maszyna stale w miejscu ustawiona, musiałyby przeto otrzymać komin jeszcze wyższy, gdyby chciano sprawiać przewiew za pomocą komina. Przejazdy wznoszące się po nad torami, niemniej tunele i dachy, któremi dworce częstokroć pokrywamy, nie dozwalają na zbyt wysokie kominy. Wysokość 4^{m} po nad szyną uważać można jako przeciętną wysokość kominów na lokomotywie.

A ponieważ dostateczny przewiew jest duszą każdej lokomotywy, bez którego pociągi nigdy kursowaćby nie mogły, więc zasługuje sposób uzyskania go na szczególniejszą uwagę.

Dawniej wdmuchiwano powietrze sztucznie za pomocą mieszków lub wentylatorów uruchomianych samą maszyną, dzisiaj objęła para służbę miecha, a spełnia ją lepiej i dokładniej.

Tririthik zauważał już w roku 1803, że każdą razą, ile razy w cylindrze zużyta para kominem wybuchała, ogień na ruszcie mocniej zażarzał.

Kominem uchodząca para wydziera bowiem ze sobą powietrze znajdujące się w lokomotywie, skutkiem czego świeże lokomotywę otaczające powietrze cisnąć się musi szpaltami rusztu do środka maszyny.

Zamykając lokomotywę szczelnie i sprawiając, że otaczające ją powietrze do jej wnętrza li tylko przez szpary rusztu dostać się może, a wytwarzając w kominie, przy pomocy uchodzącej pary, niejako próżnię, sprawić możemy tak silny przewiew powietrza, jakiego przy maszynach stale w miejscu ustawionych przy najwyższym nawet kominie wydobyć nie zdołamy.

Spieszna jazda sprawia, że kominem uchodzą silne kłęby pary, przez co przewiew powietrza zwiększa się do tego stopnia, że się czasami równa burzy, zrywającej dachy i wyrywającej drzewa.

Zwiększając lub zmniejszając otwór w kominie, którym na zewnątrz uchodzi w cylindrach zużyta para, otrzymujemy przyrząd umożliwiający regulacyę wytwarzania się pary, a więc pośrednio także i regulacye chyżości jazdy. Przyrząd ten, *dmuchawką* zwany, jest to ścięty stożek, który wsuwać się daje z miejsca, w którym maszynista stoji, w również stożkowato wydrążoną rurę, którą para uchodzi. Dmuchawka jest najważniejszym czynnikiem rozwoju pary, ona to stanowi tę składową część, której lokomotywa potęgę swą zawdzięcza. Ażeby wyzyskać dmuchawką silnie wzniecany ogień ile możności jak najlepiej, starać się trzeba wystawić na jego bezpośrednie działanie ile możności jak największą część powierzchni kotła. Nie na całą powierzchnię kotła sięga bowiem płomień, rozprowadzając jednak rozpalone powietrze i utlenione gazy rurami, ustawionemi we wnętrzu kotła w pośród wody, sprawiamy, że woda styka się ze znaczną powierzchnią, która jest ogrzana. Powierzchnia, którą tym sposobem ogrzać zdołamy, zwana *powierzchnią ogrzewalną*, wynosi czasem więcej jak 200 □^{m}, a więc tyle, co duża sala balowa.

Szybkość rozwoju jakoteż ilość wydobytej pary, nie zależą jednak tyle od wielkości powierzchni ogrzewalnej, jak raczej od stosunku, w którym stoi część jej *ogrzana bezpośrednio*, do części *pośrednio ogrzewanej*. Możebnie najlepszy rozwój pary nie osiągamy więc zwiększaniem powierzchni ogrzewalnej, lecz zwiększaniem owego stosunku. Zazwyczaj wynosi stosunek ten $^1/_{20}$ t. j. powierzchnia ogrzana bezpośrednio wynosi dwudziestą część powierzchni ogrzanej pośrednio. Maszyny nowszych konstrukcyj, a mianowicie maszyny belgijskie, odznaczają się zrozumieniem powyższego warunku, znachodzimy bowiem u nich stosunek $^1/_8$. Maszyny te posiadają znaczną ilość rur płomiennych, zwykle 150—200 lecz rur krótkich, mających co najwięcej 3—4^{m} długości, dłuższe rury zwiększają wprawdzie powierzchnię ogrzewalną w całości, nie zwiększają jednak stosunku powierzchni bezpośrednio ogrzewanej, do powierzchni ogrzanej pośrednio.

Wymieniwszy najważniejsze warunki, którym kocioł odpowiadać musi, przystępuję do opisania wozu, na którym on spoczywa.

5.
Wóz, na którym kocioł spoczywa.

Wóz, na którym spoczywa kocioł lokomotywy, winien być silnie zbudowanym, gdyż dźwigać musi ciężar wodą napełnionego kotła, który to ciężar dochodzi czasami do 40 tonn. Ponieważ, podług ustawy dróg żelaznych, należących do związku niemieckiego, spoczywać nie śmie na osi większy ciężar jak 14 tonn, więc ustawić trzeba kocioł taki na $\frac{40}{14} = 3$ osiach.

Do niedawna jeszcze wzbronione były lokomotywy dwuosiowe, obecnie gdzie wydoskonalono wyrób żelaza i stali do wysokiego stopnia, nie zachodzi już obawa załamania się osi, i dla tego też teraz znaleść można także i dwuosiowo lokomotywy. Te koła, na które działa siła pary, zowiemy kółmi *popędowemi*, podczas gdy resztę kół pozostają kółmi *obrotowemi*. Koła popędowe obracać się mogą tylko w miarę posuwania się tłoka (w cylindrze lokomotywy), a wszystkie koła, sprzężone z kółmi popędowemi, czynią toż samo, t. j. wykazują zupełnie te same ruchy, które mają koła popędowe, dla tego też uważać trzeba koła sprzężone z kółmi popędowemi, również jako *koła popędowe*. Koła ze sobą sprzężone muszą mieć jednakową wysokość, podczas gdy koła niesprzężone mogą być różnej wielkości; koła osadzone na jednej i tej samej osi, muszą zaś zawsze być jednako wysokie.

Wysokość kół popędowych stosuje się do zadania, któremu lokomotywa ma odpowiadać; im koła są wyższe, tem spieszniej lokomotywa biegnąć będzie. Tak n. p. wynosi średnica kół popędowych przy lokomotywach służących do prowadzenia pociągów:

ciężarowych	do	1·0
mięszanych		1·5
osobowych		1·8
pospiesznych		2·1

metrów, podczas gdy koła obrotowe zwykle 0·9—1·0^{m} średnicy otrzymują. Ustawa dróg żelaznych, należących do związku, przepisuje dla chyżości:

25 kilometrów na godzinę	0·9
30 „ „	1·1
45 „ „	1·3
wyżej po nad 45 kilometr	1·5

metrów.

6.

Przyrządy przenoszące siłę pary na koła lokomotywy.

Zadaniem pary, wywiązującej się w kotle, jest nadanie kołom lokomotywy ruchu *obrotowego*, który to ruch, skutkiem tarcia na szynie, przeobraża się na ruch *postępowy* całej maszyny.

Kołom nadać można ruch obrotowy, ustawiając na wozie cylinder, w którym się znajduje tłok, połączony tak z kołem wozu, że ruch *posuwisty* tłoka zamieni się na ruch *obrotowy* koła.

Para, dostając się do cylindra raz z jednej, drugi raz z drugiej strony tłoka, przesuwa go tam i napowrót podczas gdy z nim połączone koło w jednym i tym samym kierunku postępuje. Chcąc, aby tłok posuwał się tu i napowrót, nie wpuszcza się pary wprost do cylindra, lecz do osobnej komórki zwanej *komórki suwakowej.*

Z komórki suwakowej prowadzą do wnętrza cylindra dwie drogi (rurki, kanały) podczas gdy trzecia rurka wychodzi na zewnątrz, komunikując się z wolnem powietrzem; przekrój tych rurek odsłania i zasłania się skutkiem ruchu tłoka.

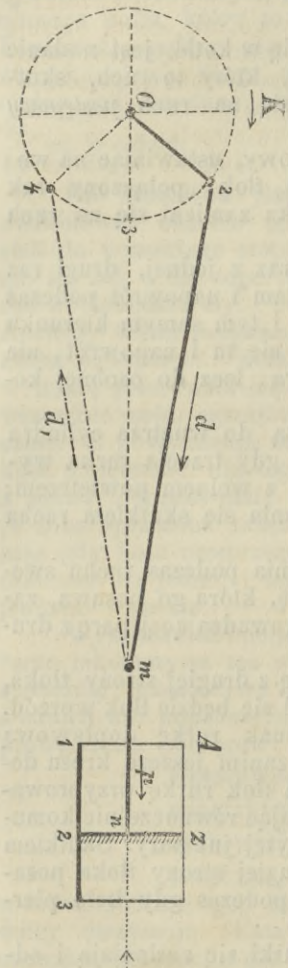
Tłok, postępując wprzód, odsłania podczas ruchu swego przekrój rurki sprowadzającej parę, która go posuwa, zasłaniając przekrój drugiej rurki, doprowadzającej parę z drugiej strony tłoka.

A ponieważ para, znajdująca się z drugiej strony tłoka, uchodzić może na zewnątrz, posuwać się będzie tłok wprzód. W miarę ruchu swego zasuwa jednak rurkę dopływową coraz więcej i zamknie ją zupełnie zanim jeszcze kresu dobiegnie. Podczas swej drogi odsłania tłok rurkę przyprowadzającą parę z drugiej strony, sprawiając równocześnie komunikacye z wolnem powietrzem dla zużytej już pary. Skutkiem tego wkracza para do cylindra, z drugiej strony tłoka posuwając go w kierunku odwrotnym, podczas gdy koło pierwotny swój kierunek zatrzymuje.

Zasówka, która sprawia, że rurki się zasłaniają i odsłaniają w miarę ruchu tłoka, zowie się *suwakiem*, a komórka, w której suwak ruch swój wykonuje, *komórką suwakową.*

Nadmienić wypada, że suwak nie jest połączony bezpośrednio z tłokiem, lecz osadzonym jest za pomocą korby i trzona na tem samem kole, na które tłok ruch swój przenosi, na tak zwanem kole *popędowem*.

Fig. 14.



Przedstawia na fig. 14 *A3* cylinder, *Z2* w nim znajdujący się tłok, opatrzony w trzon *mn*, który znów stoi w połączeniu z kołem popędowem *o* za pomocą drążka m_2, to widzimy, że skoro para dostaje się do wnętrza cylindra w kierunku strzałki *p* tłok posuwać się będzie od lewej ku prawej ręce, a koło popędowe obracać się będzie w kierunku strzałki *k*.

Dobiegnie tłok do ściany cylindra tak, że stanie w pozycyi 3, to korba koła popędowego stanie w pozycyi 3_1. W tej chwili wkracza para w kierunku strzałki *s*, a tłok biegnąc w kierunku tejże strzałki, posunie drążek tak, że zajmie pozycyę *m4* co sprawi, że koło popędowe, pomimo zmiany kierunku ruchu tłoka, przecież pozostanie w dawniejszem swem kierunku, oznaczonym strzałką *k*.

Widzimy więc, że *ruch posuwisty tłoka*, sprawiony prężeniem pary, przeobraził się w *ruch obrotowy koła*, że więc para zadanie swe spełniła.

Gdyby lokomotywa, oprócz już wymienionych, nie miała jeszcze i innych przyrządów, to biegłaby zawsze w jednę tylko stronę, a mianowicie w stronę oznaczoną obrotem jej koła popędowego, a uwidocznionym strzałką *k*. Ponieważ jednak lokomotywa posuwać się musi tak dobrze wprzód jak i wstecz, więc wynika ztąd konieczność przyrządu, umożliwiającego zmianę kierunku jazdy, przyrząd taki nazwano *stawidłem*.

Myśl, na której konstrukcya stawidła polega, jest zaś następująca.

Niechaj przedstawia ta sama figura tą razą już nie korbę połączoną z trzonem, lecz korbę połączoną ze suwakiem, to widzimy, że suwak biegnąc w kierunku strzałki *p* pociąga za sobą korbę koła popędowego tak, że ta opisuje półkole 1. 2. 3, w kierunku strzałki *k*, dźwignia zaś, łącząca korbę ze suwakiem, porusza się w kierunku strzałki *d*. Gdy suwak, dobiegłszy kresu, poczyna biedz w kierunku odwrotnym, a mianowicie w kierunku strzałki *s*, to dźwignia zajmie pozycyę m_4 i biedz będzie już nie w kierunku dawnym, lecz w kierunku strzałki d_1, a więc w kierunku odwrotnym, i właśnie dla tego, t. j. z przyczyny odwrotnego kieruuku, zatrzymuje koło obrotowe dawny swój kierunek, oznaczony strzałką *k*.

Gdyby dźwignia, będąc w nowej swej pozycyi m_4, zatrzymać mogła dawny kierunek, t. j. gdyby posuwać się mogła nie w kierunku strzałki d_1, lecz odwrotnie, to koło obracaćby się musiało w kierunku odwrotnym.

Chcąc więc zmienić kierunek jazdy, nie potrzeba nic więcej, jak tylko sprawić, aby w danej chwili dźwignia, łącząca korbę ze suwakiem, zmienić mogła kierunek swego biegu *niezawiśle od ruchu suwaka*.

Ażeby to umożliwić, osadzono na osi koła dwie korby, a to w ten sposób, że korby te odbywają podczas obrotu koła ruchy sobie przeciwne, to znaczy, że w tej chwili, w której jedna z nich idzie wprzód, biegnie druga wstecz, i urządzono je tak, że zawsze jedna tylko pozostaje w połączeniu ze suwakiem, podczas gdy druga luzem tylko idzie.

Gdyby n. p. w chwili, w której korba stoi w punkcie *4*, wyłączono dźwignię *m4*, a włączono natomiast dźwignię *m2*, to koło obracaćby się musiało w odwrotnym kierunku od strzałki *k*, chcąc przeto ten kierunek obrotu uzyskać, trzeba mieć przyrząd, któryby wyłączał dźwignię d_1 włączając równocześnie dźwignię *d*.

Zadaniem stawidła jest więc wyłączyć w danej chwili dźwignię, wsuwając na jej miejsce drugą, w którym to razie wyłączona dźwignia idzie luzem, podczas gdy wsunięta suwakiem kieruje.

Stefenson złączył ze sobą obydwie dźwignie za pomocą stalowego łuku zwanego *kulisą*, w ten sposób, że podniesieniem lub spuszczeniem kulisy wprowadzić można w akcyę jedną lub drugą dźwignię łączącą korbę ze suwakiem. Ażeby módz kulisę podnosić z miejsca, w którem maszynista stoi, używa się systemu odpowiewiednio ustawionych drążków, lub też śruby. Drążkami poruszać można kulisę spiesznie, lecz trzeba do poruszenia wielkiej siły: używając zaś śruby, poruszać można kulisę mniejszą siłą, ale za to nie tak spiesznie.

Ustawiając przed maszynistą tak drążki jakoteż i śrubę, daje się mu sposobność używania w danej chwili jednego lub drugiego.

7.

Tarcie między kołem lokomotywy a szyną.

Gdyby między kołami lokomotywy a szyną, nie było wcale żadnego tarcia, to ruch obrotowy kół, uzyskany działaniem pary, nie mógłby się zamienić na ruch postępowy całej maszyny, koła wirowałyby pod wpływem pary w swych panwiach, maszyna jednak z miejscaby się nie ruszała.

Mniemanie, jakoby tarcie między kołem a szyną nie wystarczało do nadania lokomotywie ruchu postępowego, sprawiło, że budowa lokomotyw kręciła się przez 10 lat w błędnem kółku, z którego dopiero *Hedley* (1813) wyprowadzić ją zdołał (§ 1).

Chcąc zrozumieć warunki, pod jakiemi ruch postępowy każdej lokomotywy się odbywa, bez względu na siłę, która ją porusza, zapoznać się trzeba z istotą tego tarcia, które przylegalnością lub *adhezyą* zowiemy. Warunki zaś, pod jakiemi maszyna przewozowa uzyskuje ruch postępowy poznać będzie można najlepiej, porównywując lokomotywę z karetą poruszaną siłą konia. Koń, zaprząągniony do wozu, postępując wprzód, opiera się kopytami o bruk szosy, a opór bruku sprawia, że przy sile konia, wóz nabiera ruchu postępowego. Para, poruszająca lokomotywę, jest tem, czem jest koń ciągnący karetę, para nie opiera się zaś o bruk szosy ani o szynę, lecz o samą lokomotywę, działa więc podobnie jakby koń pracował, gdyby go na pojazd wstawiono. We wnętrzu pojazdu ustawiony koń nie zdołałby, pomimo swej siły, karety poruszać, którą z łatwością ciągnął dopóki przed nią się znajdywał. Gdyby zaś siłę w karecie ustanowionego konia wyzyskano w ten sposób, iżby ją użyto do obracania również na karecie ustawionego koła lub walca, a ruch tego walca przeniesiono na koła, naszego pojazdu, to w takim razie nastąpiłby ruch postępowy pojazdu bez żadnej trudności. Tak też i para, wywiązana w kotle lokomotywy ustawionym na wozie, tylko wtedy nadać może wozowi ruch postępowy, jeżeli działa na sprychy koła tegoż wozu. Koła te, na które para oddziaływa, są więc dla lokomotywy tem, czem są nogi konia dla karety. Koła, na które oddziaływa para, odróżniają się więc od kół wolnych od takiego działania; pierwsze zowiemy kółmi *popędowemi*, drugie zaś kółmi *obrotowemi*.

Koła popędowe są konieczne do uzyskania ruchu postępowego, podczas gdy koła obrotowe do nadania lokomotywie ruchu takiego, wcale się nie przyczyniają. Porównywując więc pojazd, prowadzony siłą konia, z poruszającą się lokomotywą, przedstawia siła pary siłę konia, koła popędowe zastępują nogi konia, podczas gdy koła obrotowe równają się kołom pojazdu. Im silniej koń po szosie stąpa, im głębiej w bruk swe kopyta wbija, tem cięższy wóz uciągnąć zdoła; tak też i lokomotywa tem większy ciężar poprowadzi, im znaczniejszy opór znajdą na szynie jej koła popędowe. Gdyby koła karety toczyły się po lodzie, konie, ciągnące karetę zaś, postępowały po ostrym zwirze, gdyby więc opór kół obrotowych był nieznacznym, opór zaś kół popędowych (adhezya) wielkim, to ruch maszyny odbywałby się w takim razie pod warunkami możebnie najkorzystniejszemi. Następujący obrazek lepiej może sprawę wyjaśni, jak powyższe porównanie.

Ze szczytu góry, prowadzi tor aż na sam dół, u szczytu stoi maszyna parowa stale w miejscu ustawiona; siłę pary tej maszyny używamy do obracania walca, na którym się zwija lina, na końcu liny zaś przymocowano pociąg, stojący u stóp góry. Maszyna, stojąc nieruchomo w miejscu, tem łatwiej wyciągnie pociąg w górę, im mniejszy opór koła wozowe znajdą na szynie; gdyby zaś maszynę nie osadzono stale tak, żeby miejsca swego zmienić nie mogła, lecz ustawiono ją na kołach i poruczono jej wyprowadzenie pociągu w górę, to zależałoby wyprowadzenie pociągu od tego, czy tarcie kół tej maszyny na szynie (adhezya) oprzeć się zdoła sile pociąg w dół ciągnącej, czy też nie. Przewyższa tarcie kół, na których ustawiono maszynę parową (adhezyę) siłę pociąg w dół ciągnącą (opór), to siła pary wyciągnie pociąg w górę, w przeciwnym razie zaś, pomimo pracy pary, pociąg maszynę w dół zesunie. Gdyby zaś podczas ruchu maszyny w kierunku spadku, opór kół jej nagle się zwiększył, to maszyna, pomimo spadku, na torze zatrzymaćby się mogła, a ponieważ para nie przestała działać, obracając koła tak, aby się w górę toczyły, więc pociąg nie będzie się już sunął w dół, lecz potoczy się w górę, co jednak, pomimo działania pary nigdy stać by się nie mogło, gdyby opór kół maszynowych (adhezya) mniejszym był od siły pociąg w dół ciągnącej (oporu). Widzimy z tego, że adhezya zawsze większą być musi od oporu. Nie stoi zaś pociąg na spadku, lecz na linii poziomej, to w takim razie nie ma wprawdzie siły, którąby go ciągła w dół, opór jednak jego kół, sprzeciwia się ruchowi wprzód. Ma ruch postępowy się odbywać, to i w takim razie przeważać musi adhezya po nad oporem.

Konieczny warunek, któremu zadosyć czynić musi każda lokomotywa, bez względu na siłę, która ją porusza, jest więc ten, *że tarcie kół popędowych maszyny, większem być musi od tarcia kół obrotowych całego pociągu.*

Częstokroć posiada maszyna dwa tylko koła popędowe, podczas gdy przy pociągu, któren prowadzi, znajduje się 100 i więcej kół obrotowych. A ponieważ te dwa koła popędowe stoją na tym samym toku, na którym się znajduje owe 100 kół obrotowych, więc zachodzi pytanie, w jaki sposób sprawić można, aby opór jednej pary kół popędowych, większym był od oporu sprawionego stoma kołami obrotowemi. Gdyby tarcie zjawiające się między kołem popędowem, a szyną (adhezyą) było tak samo wielkie jak tarcie między kołem obrotowem a szyną (opór), to wypadałoby złożyć na osie kół popędowych ciężar przewyższający całkowity ciężar całego pociągu. Lokomotywa musiałaby przeto więcej ważyć aniżeli ważą wszystkie wozy wchodzące w skład pociągu. Że tak nie jest, świadczą nam pociągi kursujące na kolejach żelaznych wykazując, że maszyna ważąc 30 tonn, prowadzi pociąg, który waży 240 tonn. Wynika ztąd, że tarcie kół popędowych (adhezya) różnić się musi wielce od tarcia kół obrotowych (oporu), a wyjaśnić wypada, zkąd pochodzi owa wielka różnica.

Koło popędowe nie posiada ruchu swobodnego, jak go n. p. posiada koło obrotowe, gdyż koło popędowe połączone jest z tłokiem niejako w jedną całość. Nadając kołu popędowemu *ruch obrotowy*, nadajemy zarazem tłokowi *ruch posuwisty*, chcąc więc uzyskać ruch koła popędowego, zwalczać musimy opór posuwisty, a ponieważ przy jednakiem obciążeniu tarcie posuwiste do 40 razy większem jest od tarcia potoczystego, więc też i opór kół popędowych przewyższać musi (przy jednym i tym samym nacisku na koła) 40 razy opór kół obrotowych. Doświadczenie uczy, że tarcie potoczyste wynosi co najmniej 5 kilogramów na tonnę ciężaru, tarcie takie sprawiającego, tarcie posuwiste dojść więc może do wysokości $5 \times 40 = 200$ kilogramów na każdą tonnę. Ztąd pochodzi, że maszyna, skoro na koła jej popędowe złożono 30 tonn ciężaru, wyda adhezyę wynoszącą $30 \times 40 = 1200$ kilogramów. Adhezya ta, wystarcza zaś do prowadzenia pociągu, który ruchowi sprawia opór wynoszący co najwięcej, również 1200 kilogramów, a więc pociągu, ważącego $\frac{1200}{5} = 240$ tonn.

8.
Wielkość adhezyi.

Wykazano już, że adhezya niezbędnym jest warunkiem ruchu postępowego; znając jej wielkość, oznaczyć można ciężar, który maszyna, stojąc na wzniesieniu, utrzymać zdoła. Wiemy np., że siła ściągająca pociąg ze wzniesienia wynosi 2000 kilogramów, a widzimy, że pociąg przyczepiony do nieogrzanej maszyny, w dół się nie zesuwa, to wiemy, że adhezya większą być musi aniżeli 2000 kilogramów. Ustawimy pociąg na wzniesieniu takiej stromości, że siła, która go zamierza w dół zesunąć wyniesie 3000 kilogramów, a spostrzegamy, że na wzniesieniu tem pociąg utrzymać się już nie może; że się więc w dół sunie, to wiemy, że adhezya mniejszą jest od 3000 kilogramów. Adhezya leży więc w granicach 2000—3000. Gdybyśmy znaleźć mogli wzniesienie na którem siła pociąg w dół zesuwająca *właśnie co* przewyższa adhezyę, i wiedzieli, że siła pociąg w dół zesuwająca wynosi na tem wzniesieniu 2500 kilogramów, a pociąg pomimo, że stoi pod wpływem tej siły, przecież w dół się nie sunie, jednakowoż zaraz to uczyni, skoro siła ta o drobnostkę się zwiększy, to wiedzianoby w takim razie, że adhezya wynosi 2500 kilogramów.

Ponieważ jednak przeprowadzanie podobnych doświadczeń połączone jest ze znacznemi trudnościami, więc starano się wyznaczać wielkość adhezyi w inny sposób.

Maszyna, biegnąca pod wpływem działania pełnej pary, najeżdża na szynę mocno wygładzoną, w takim razie stanie na miejscu, pomimo, że koła jej, ruch wirowy odbywają, adhezya bowiem nie wystarcza już do nadania maszynie ruchu postępowego; siła pary, czyli siła przewozowa przewyższa adhezye; zmniejszeniem prężenia pary na tłok sprawiamy, że koła coraz wolniej wirują, zmniejszając siłę pary stopniowo, przyjdzie chwila, w której siła przewozowa spadnie do wartości adhezyi, a chwila ta, zdradzi się ruchem postępowym maszyny; ujmuje siła pary dalej, to maszyna coraz wolniej poruszać się będzie, a w chwili, w której siła pary spadnie poniżej wartości adhezyi, maszyna znów na miejscu stanie, koła jej wirować jednak już nie będą.

Chwila, w której między siłą przewozową a adhezyą następuje równowaga, zdradza się więc tem, że maszyna, której koła wirowały, podczas gdy ona sama w miejscu stała, poczyna zwolna uzyskiwać ruch postępowy. W takich razach spostrzegamy, że koła maszyny ślizgają się *wprzód*. Zjawisko ślizgania się kół popędowych wprzód użyć przeto można do odszukania wielkości adhezyi.

Rozumie się samo przez się, że siła przewozowa, t. j. siła pary, sprowadzona na poziom szyny, równać się musi oporowi, bo gdyby była mniejszą, to maszyna, pociągu prowadzićby nie mogła, większą zaś być nie może, skoro obciążemy pociąg tak, że maszyna więcej ciągnąć nie zdoła. A ponieważ opór pociągu zawsze nam jest znanym, gdyż wynosi na poziomej 5 kilogramów na każdą tonnę ciężaru, a każdy milimetr stromości wzniesienia, zwiększa go jak wiadomo, o jeden kilogram, więc też znając ciężar pociągu (lub maszyny samej) znamy zarazem i opór ruchu.

Prowadzi lokomotywa, pracując pełną siłą pary, po linii poziomej pociąg ważący 650 tonn, to para zwalcza opór wynoszący $5 \times 650 = 3250$ kilogramów; gdyby spostrzeżono, że maszyna, wstępując na ślizgą szynę, nagle staje, podczas gdy koła jej wprzód się ślizgają, to wiedzielibyśmy, że adhezya wynosi 3250 kilogramów; waży maszyna 25 tonn, a spoczywa cały jej ciężar na osiach kół popędowych, to wypada na każdą tonnę tego ciężaru:

$$\frac{3250}{25} = 130 \text{ kilogramów adhezyi.}$$

Lokomotywa, której koła wprzód się ślizgają, znajduje się w podobnem położeniu, w jakiem się znajduje ten, który ślizgać się chce na lodzie wprzód, a przecież pomimo natężenia swej siły, z miejsca się nie rusza. O tyle bowiem, o ile korpus jego posunie się wprzód nogi ślizgają się wstecz.

Wyraża Q ciężar w tonnach, złożony na osie kół popędowych, a więc ciężar sprawiający adhezyę, a wynosi adhezya h kilogramów na tonnę tegoż ciężaru, to wynosi całkowita adhezya owej maszyny: hQ kilogramów, wyraża S siłę przewozową, mierzoną w kilogramach, to będzie:

$$hQ = S$$

adhezya wypadająca na jedną tonnę ciężaru złożonego na osie kół popędowych, tak zwana *adhezya jednostkowa* będzie zaś wynosić kilogramów:

$$h = \frac{S}{Q} \qquad (2$$

Wzór ten służy do obliczania adhezyi jednostkowej, a określa w nim

h... adhezyę jednostkową w kilogramach.

S... siłę przewozową, czyli opór pociągu w kilogramach.

Q... ciężar złożony na osie kół popędowych, mierzony w tonnach.

Przykład 1.

Na kaukazkiej drodze żelaznej, łączącej morze Czarne, z morzem Kaspijskiem (kolei zwanej koleją Poti-Tiflis) zauważano, że ile razy lokomotywa ważąca 34 tonn prowadziła pociąg ważący 110 tonn w kierunku wzniesienia 45°/₀₀, koła jej popędowe wprzód ślizgać się poczynały; na podstawie tego spostrzeżenia oblicza się adhezya jednostkowa jak następuje:

Gdyby maszyna prowadziła pociąg po linii poziomej, zwalczaćby musiała opór wynoszący 5 kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, ponieważ jednak prowadziła pociąg w kierunku wzniesienia, mającego stromość 45^{mm}, a każdy milimeter stromości zwiększa opór jednostkowy o kilogram, więc wynosi opór $5 + 45 = 50$ kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, w całości więc $50 \times 110 = 5500$ kilogramów, siła przewozowa wynosiła przeto $S = 5500$, przypuszczając, że cały ciężar lokomotywy spoczywa na osiach kół popędowych będzie $Q = 34$, a przeto

$$h = \frac{5500}{34} = 162$$

kilogramów.

Przykład 2.

W Londynie, zauważano na podziemnej kolei „Metropolitan", że skoro maszyna ważąca 30 tonn pracuje siłą pary 4620 kilogramów, koła jej popędowe wprzód się ślizgają. Ze wzoru numer 2, wypada

$$h = \frac{4620}{30} = 154$$

kilogramów.

Łopuszyński wykazuje na podstawie doświadczeń, przeprowadzonych w latach 1877 i 1879 na kolei *Morszańsko-Syzrańskiej,* że jednostkowa adhezya wynosi w zimie 121·5—151·6 kilogramów.

Nadmienić tu wypada, że doświadczenia francuzkiej kolei, łączącej Paryż z Lugduną, wskazywać się zdają jakoby adhezya nie zależała li tylko od nacisku sprawionego na osie kół popędowych, ale nadto także od chyżości jazdy.

Jadąc szybko, nie wywierają bowiem hamulce zupełnie tej samej siły, którą mają podczas jazdy wolniejszej, wynika ztąd, że ściśle biorąc, adhezya jednostkowa, nie może być ilością stałą, zawisłą li tylko od stanu powietrza i szyny, ale nadto, że się zmieniać musi z chyżością jazdy, a zmieniać w ten sposób, że szybciejszej jeździe odpowiada adhezya mniejsza.

Ponieważ jednak w zwykłych warunkach ruchu, chyżość jazdy rzadko tylko dochodzi do owej wysokości, począwszy od której, adhezya widocznie maleć poczyna, więc w poszukiwaniach naszych uważać będziemy adhezyę jednostkową jako ilość niezależną od szybkości jazdy.

Z doświadczeń przeprowadzonych wielokrotnie na różnych kolejach przychodzimy do przekonania, że adhezya jednostkowa nie jest wartością stałą. Zadziwiać nas to nie powinno, bo stan gładkości szyny na wielkość adhezyi wpływać musi. Na torze szorstkim będzie adhezya jednostkowa większą od adhezyi na szynie wygładzonej; na torze drewnianym, większą aniżeli na szynie żelaznej; na suchej szynie większą niż na mokrej; na szynie posypanej piaskiem większą jak na szynie powleczonej lodem i t. p. Dla tego też poprowadzi ta sama lokomotywa, pracując jednako silnie, po torze drewnianym pociąg cięższy aniżeli po torze żelaznym; na szynie żelaznej więcej aniżeli na stalowej, na tej samej zaś szynie uciągnie więcej podczas pogody, jak podczas słoty i t. p.

Że zmiana adhezyi, przy niezmiennym nacisku na koła popędowe, stać się może dla jazdy niewygodną, świadczy nam to najlepiej szwajcarska kolej, prowadząca przez górę *Uitli.* Na kolei tej, która jest najstromszą koleją na świecie, służą do przewozu osób maszyny ważące po 18 tonn. Przyjmując, że adhezya jednostkowa wynosi podczas

pogody. 180
słoty. 80

kilogramów na tonnę ciężaru złożonego na osie kół popędowych; a ponieważ wszystkie koła tych maszyn są ze sobą sprzężone, więc spoczywa cały ciężar maszyny na osiach kół popędowych; więc wynosi całkowita adhezya, którą użyć można na cele przewozu, podczas

pogody . . . . $180.18 = 3240$
słoty . . . . . $80.18 = 1440$

kilogramów. Na kolei tej wynosi opór 81 kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, a ponieważ pociągi ważą tam tylko po 34 tonn, więc wynosi opór, który siła przewozowa ma do zwalczania, tak podczas pogody jakoteż w czasie słoty, zawsze $81.34 = 2754$ kilogramów. Podczas pogody przewyższa więc adhezya opór o $3240 - 2754 = 486$ kilogramów, podczas słoty zaś, następuje niedobór adhezyi, wynoszący 2754—1440 = 314 kilogramów, a niedobór ten sprawia, że podczas słoty ruchu prowadzić tam nie można.

Niespodziewana zmiana adhezyi podczas ruchu pociągu staje się często przyczyną wcale niepożądanych, ale mimo to dosyć często zjawiających się przykrości. Natrafia bowiem pociąg podczas jazdy na szyny zwilżone lub nadto ślizkie, to przestaje on się posuwać wprzód, pomimo działania pełnej pary. W takich razach, wirują wprawdzie koła popędowe, pociąg jednak ruchu postępowego nie uzyskuje. Chcąc uzyskać ruch postępowy, zwiększyć trzeba tarcie na szynie, lub też, jeżeli ciężar pociągu na to zezwala, zmniejszyć nacisk pary na przekrój tłoka.

Maszynista posiada więc dwa sposoby pozbycia się niemiłego mu wirowania kół popędowych, (wycierającego mocno szynę) potrzebuje on bowiem ustawić regulator tak, aby siła pary spadła poniżej zmniejszonej adhezyi, lub też, nie zmniejszając wcale dopływu pary do wnętrza cylindra, sypać na szynę piasek.

Zgodnie z doświadczeniem, przyjąć można, iż adhezya jednostkowa wynosi na szynach:

suchych, posypanych twardym graniastym piaskiem, lub na szynach zardzewiałych		180
będących w zwykłym stanie utrzymania, lecz suchych	h =	130
zwilżonych		105
powleczonych lodem		80

kilogramów.

Wyrażając ogólnie, mamy:

$$A = h . Q \qquad (3$$

w którym wzorze wyraża:

A... całkowitą adhezyę w kilogramach.

Q... ciężar złożony na osie kół popędowych w tonnach.

h ... adhezę jednostkową, czyli adhezyę wypadającą na tonnę ciężaru złożonego na osiach kół popędowych, wyrażoną w kilogramach.

Ponieważ siła pary i adhezya, zawsze sobie równoważyć winne, więc mając siłę pary, odpowiednie do konstrukcyi kotła, z góry daną, starać się trzeba, sprawić adhezyę tak wielką, jak jest siła pary Do zwiększania zaś adhezyi mamy kilka sposobów, a mianowicie:

1) Sprzęganie kół obrotowych z kółmi popędowemi, przez co pierwsze stają się kółmi popędowemi.
2) Sprzęganie ze sobą dwóch lokomotyw.

3) Zwiększanie ciężaru złożyć się mającego na osie kół popędowych.
4) Łączenie tendera w ten sposób z lokomotywą, aby użyć można ciężar tendera na cele adhezyi.
5) Częściowe przenoszenie ciężaru wozów na osie kół popędowych.
6) Posypywanie szyn piaskiem.
7) Zlewanie szyn gorącą wodą.
8) Magnesowanie kół popędowych.

Sprzęganie ze sobą kół maszynowych jest to najczęściej używany środek zwiększania adhezyi. Maszyna *Simson*, zbudowana przez *Stefensona* w roku 1831 dla kolei *Liverpool-Manchester*, była pierwszą lokomotywą, przy której koła ze sobą sprzężono, celem osiągnienia większej adhezyi.

Spada *adhezya* podczas jazdy, jak się to n. p. dzieje podczas mgły lub deszczu, to maszynista pomaga sobie sypaniem na szynę piasku, w zimie zaś, w celu usunięcia powłoki lodowatej ze szyny, także i polewaniem szyny gorącą wodą; magnetyzowanie zaś kół, wcale się nie powiodło.

Nadmienić wypada, że skoro lokomotywa stanie na wzniesieniu α^0, to ciężar jej adhezyjny spadnie z wartości Q, do wartości $Q.\cos\alpha$.

Ponieważ jednak torom nigdy nadać nie będzie można nachylenia większego jak 4^0 (dział tory § 1°) a $\cos 4^0 = 1$ więc przyjąć można, że adhezya się nie zmienia, czy lokomotywa znajduje się na poziomej, czy też porusza się w kierunku wzniesienia. Dalej nadmienić należy, że ciężar przypadający na osie kół popędowych zmienia się nieco podczas ruchu, zmiana ta odbywa się jednak peryodycznie, (ciężar bowiem raz się zwiększa, to znów spada, zależnie od pozycyi korby koła popędowego) i dla tego też zmiana ciężaru pozostać może bez wszelkiego uwzględnienia.

Co się tyczy granicy, do której dojść może całkowita adhezya sprawiona lokomotywą, zważyć trzeba, że podług ustawy dróg związkowych, na jednej osi ze względu na wytrzymałość szyn, większy ciężar jak 14 tonn spoczywać nie może.

Maszyna 4 osiowa, przy której wszystkie 4 osie ze sobą sprzężono, ma przeto $4.14 = 56$ tonn ciężaru adhezyjnego. Przyjmując $h = 180$, otrzymujemy jako maximum uzyskać się dającej adhezyi:

$$A_{max.} = 56.180 = 10.000$$

kilogramów.

Sprzęgła łączące ze sobą wozy, które wchodzą w skład pociągu, wytrzymać przeto muszą siłę ciągnącą, która wynosi 10.000 kilogramów.

Ponieważ jednak ustawa dróg związkowych, jako wytrzymałość sprzęgła przepisuje siłę 6.500 kilogramów, więc też i adhezyi powyżej 6.500 kilogramów zwiększać nie ma potrzeby.

Wypływa ztąd, że jako maximum adhezyi uważać wypada

$$A_{max.} = 6500$$

kilogramów.

Co się tyczy stosunku ciężaru adhezyjnego (ciężaru sprawiającego adhezyę) do całkowitego ciężaru lokomotywy, zaznaczyć wypada, że stosunek ten zawisł od ilości osi ze sobą sprzężonych, znajdujących się przy lokomotywie.

Jako liczby przeciętne uważać można, że przy lokomotywie mającej osi sprzężonych:

0 wynosi ciężar adhezyjny
2 „ „ „
3 „ „ „ $\alpha = \begin{cases} 0\cdot2 \\ 0\cdot4 \\ 0\cdot6 \end{cases}$

ciężaru całkowitego.

Następująca tabliczka zawiera niektóre dane, tyczące się lokomotyw używanych na austryackich drogach żelaznych.

Droga żelazna	n	M	Q	α	A
	ilość ze sobą sprzężonych osi	ciężar lokom. w całości w tonnach	ciężar sprawiający adhezyę w ton.	$\frac{Q}{M}$	adhezya maxymalna h = 180 kilogramów
Karola Ludwika	2	32·7	27·5	0·84	4950
	3	34·0	34·0	1·00	6120
Lwowsko Czerniowiecka	2	35·5	22·8	0·68	4104
	3	36·0	36·0	1·00	6480
Łupkowska	2	35·5	23·5	0·66	4230
	3	36·0	36·0	1·00	6480
Nad Dniestrzańska	3	26·0	26·0	1·00	4680
Arcyks. Albrechta	3	36·0	36·0	1·00	6480
południowa	2	34·3	24·2	0·70	4356
	3	36·0	36·0	1·00	6480
	4	50·7	50·7	1·00	9126
północna	2	30·2	20·4	0·68	3672
	3	34·6	34·6	1·00	6228

Mówiąc o wartościach, jakie nabiera adhezya jednostkowa, wspomniano poprzednio także o szynach posypanych piaskiem. Szyny posypujemy piaskiem skoro się zwilżą (z powodu słoty) do tego stopnia, że w drodze będący pociąg ze swym ciężarem dalej poruszać się nie może. Posypywaniem szyn piaskiem zwiększamy jednak opór kół obrotowych. A ponieważ zmiatywanie piasku po przebyciu lokomotywy a przed przejściem wozów natrafiało na pewne trudności, więc używają koleje żelazne od nowszego czasu zamiast piasku, pary lub gorącej wody. Ku temu celowi odprowadza się od kotła lokomotywy osobną rurę sprowadzając ją aż 10^{cm} po nad szynę. Wrząca woda w połączeniu z parą, puszczona rurą na szynę, roztapia powłokę lodu a woda, powstała tem sposobem, przeobrażając się w parę, osusza szynę do wysokiego stopnia.

Inżynier *Heinrich*, powziął pierwszy myśl (1876) zlewać szyny gorącą wodą, zamiast posypywać je piaskiem, a 17 kilogramów wody, wystarczać ma zupełnie do osuszania 3·7 kilometrów toru, (na kilometr toru wychodzi więc 5 kilogramów wody). Polewać szynę gorącą wodą próbowano na dziesięciu kolejach należących do związku, a ponieważ na pięciu z nich próby wypadły niepomyślnie, więc obecnie (1878) o wartości środka tego wyrokować niepodobna.

9.

Ciężar lokomotywy.

Gdyby koła lokomotywy toczyły się po szynie zazębionej, podczas gdy nieco węziej zesunięte koła wozów, postępowałyby po szynie gładkiej, to w takim razie nie miałby ciężar lokomotywy wcale żadnego związku z ciężarem wozów; koło zazębione znalazłoby w takim razie na zazębionej szynie dostateczne oparcie, tak, że do zwiększania tarcia między kołem (popędowym) a szyną nie byłoby potrzeby.

Postępuje zaś lokomotywa po szynie gładkiej, to uciągnie tylko taki ciężar, na jaki zezwala tarcie między kołem popędowem a szyną, a ponieważ tarcie to (adhezya) zależnem jest od ciężaru złożonego na osie kół popędowych, a tem samem od ciężaru lokomotywy, więc istnieć musi między ciężarem maszyny a ciężarem pociągu pewien związek, który oznaczyć nie trudno zważając, że tarcie kół popędowych czyli *adhezya* wyrównywać musi tarciu kół obrotowych czyli *oporowi*, bo tylko w takim razie równowaga nastąpić może.

Jest bowiem *adhezya* mniejszą od *oporu*, to maszyna z miejsca nie ruszy, pomimo że pracuje całą siłą pary, koła jej będą wprawdzie wirować, ruchu postępowego jednak nie uzyskają. Maszyna znajduje się w takim razie w tem samem położeniu, w jakim zostaje koń stojący na lodzie podczas gdy wóz, który on ciągnie, stoi na lądzie; tarcie kół na ziemi (opór) przewyższa tarcie kopyt na lądzie (adhezye). Jest adhezya za wielką, mamy niepotrzebny jej nadmiar, czyli maszyna jest za ciężką w stosunku do pociągu, który prowadzi.

Chcąc więc uzyskać skutek możebnie najkorzystniejszy, stać musi ciężar motora w odpowiednim stosunku do ciężaru pociągu, a ciężar właśnie, odpowiadający pewnemu ciężarowi wozów, jest to co szukamy.

Lokomotywa, ważąca Q tonn sprawia, skoro wszystkie jej koła ze sobą sprzężemy, adhezyę wystarczającą do zwalczania pewnego oporu, czyli adhezyę potrzebną do prowadzenia pewnego pociągu. Wstąpi maszyna na wzniesienie, to adhezya jej, już więcej nie wystarczy do prowadzenia tegoż samego pociągu. Chcąc pociąg wyprowadzić w górę trzeba zwiększyć adhezyę o tyle, o ile opór pociągu zwiększył się skutkiem wzniesienia. Adhezyę zwiększyć można składając na osie kół popędowych większy ciężar, wynosi ta nadwyżka ciężaru Q^1 tonn, to sprawi ona nadwyżkę adhezyi Q^1h kilogramów, która to nadwyżka równać się ma nadwyżce oporu.

Wykazano już w dziale „Tor“, że każdy milimeter stromości zwiększa opór o kilogram, na tonnę ciężaru stojącego na wzniesieniu; waży tender maszyny T tonn, to ważyć będzie całkowity motor $(Q+Q^1+T)$ tonn, a wynosi stromość wzniesienia $m^0/_{00}$ czyli m milimetrów, to nadwyżka oporu sprawionego stromością toru wyniesie $m(Q+Q^1+T)$ kilogramów; mamy więc równanie

$$m(Q+Q^1+T) = h\,Q^1$$

z którego wypada:

$$Q^1 = \frac{m(Q+T)}{h-m}$$

w którym to wyrazie bliżej określić trzeba Q, czyli ciężar maszyny, odpowiadający pewnemu pociągowi.

Wspomniano już (§ 8), że adhezyę posunąć można co najwyżej do wartości wytrzymałości sprzęgła, a więc stosując się do ustawy związku dróg żelaznych, do wartości A=6500 kilogramów; chcąc zaś iść bezpiecznie, posuniemy ją tylko do $^3/_4$ tejże wartości, t. j. przyjmiemy, że możebnie największa adhezya wynosi $^3/_4$. 6500 = 4875, lub biorąc okrągło 5000 kilogramów; adhezya sprawiona ciężarem Q tonn, t. j. adhezya hQ wyniesie przeto A kilogramów, czyli Q.h=A, całkowity ciężar motora, (maszyna wraz z tenderem) wyniesie przeto:

$$M = Q + Q^1 + T$$

lub po wstawieniu powyższych wartości za Q^1 i Q

$$M = \frac{A + h.T}{h - m} \qquad (4$$

w którym to wzorze wyraża:

M... całkowity ciężar motora (lokomotywy i tendera) w tonnach.

A... wytrzymałość sprzęgła w kilogramach.

T... ciężar tendera w tonnach.

h... jednostkowa adhezya w kilogramach.

m... stromość wzniesienia w milimetrach.

Przykład I.

Promień śruby sprzęgłowej wynosi 18 milimetrów, a maxymalne wzniesienie toru $25^0/_{00}$, zachodzi pytanie, jak ciężkich maszyn użyć trzeba, chcąc wytrzymałość sprzęgła zupełnie wyzyskać.

Ponieważ promień śruby sprzęgłowej wynosi r = 1·8 centimetrów, to przekrój jej ma $r^2\pi = 10 \square^{cm}$, a ponieważ każdy $\square^{cm}$ żelaza wytrzymuje ciągnienie 500 kilogramów, więc wyniesie prężenie sprzęgła $10 \times 500 = 5000$ kilogramów, mamy przeto A = 5000, a ponieważ podczas zwykłej pogody adhezya jednostkowa wynosi 130 kilogramów, więc będzie h = 130, uwzględniając nareszcie, że m = 25, wypada z powyższego wzoru pod supozycyą, że tender waży 25 tonn, że jest więc T=25,

$$M = \frac{5000 + 130 \cdot 25}{130 - 25} = 78$$

tonn, jako ciężar lokomotywy wraz z ciężarem jej tendera, sama maszyna ważyć przeto będzie 78—25=53 tonn.

Przykład 2.

Wstawiając we wzór podany pod numerem 4 następujące wartości: A = 5000, h = 130, T = 25 otrzymamy

$$M = \frac{82550}{130 - m}$$

z którego znów wyrazu wypada dla poszczególnych wzniesień:

m	0	5	10	15	20	25	30	40
M	63	66	68	71	75	78	82	92

z którego to zestawienia widzimy, że maszyna, która prowadzi pociąg po linii poziomej ważąc wraz z tenderem 63 tonn, ważyć już musi 78 tonn, skoro ciągnąć ma ten sam pociąg w kierunku wzniesienia mającego stromość 25°/₀₀ czyli stromość 1 : 40.

Wzór przytoczony pod numerem 4 uwidocznia jak spiesznie wzrasta ciężar motoru ze stromością wzniesienia, wykazując, że na stromszych wzniesieniach używać trzeba motorów ciężkich chcąc prowadzić te same ciężary, które prowadzono po linii poziomej motorami lżejszemi. Zbyt ciężkie motory zgniatają mocno szynę, a ponieważ szyny mają pewny, z góry już oznaczony przekrój, a więc ograniczoną wytrzymałość, więc też ciężar motoru, znaleść musi granice we wytrzymałości szyny.

Ustawa dróg żelaznych, należących do związku niemieckiego, dozwala składać na osi co najwyżej ciężar 14 tonn, chcąc więc budować ciężkie maszyny, rozłożyć trzeba ciężar ich na tyle osi, aby żadna więcej nad 14 tonn nie dźwigała; maszyny spoczywające na

2 osiach, ważyć przeto mogą... 28
3 „ „ „ „ 42
4 „ „ „ „ 56

tonn, nie licząc w to ciężaru tendera; z tenderem zaś, ważącym 25 tonn, ważyć może motor mający maszynę

2 osiową, co najwięcej... 53 tonn
3 „ „ 67 „
4 „ „ 81 „

Porównywując te daty z datami przytoczonemi w tabliczce przykładu numer 2, przekonujemy się, że chcąc wyzyskać wytrzymałość sprzęgieł, użyć trzeba do przewozu na wzniesieniach mających stromośc $30^0/_{00}$, maszyn cztero-osiowych. Maszyna, służąca do przewozu w kierunku wzniesienia mającego stromość $40^0/_{00}$ spoczywać przeto musi na $\frac{92-25}{14} = 4{\cdot}7$ czyli 5 osiach, a maszyny takie należą już do motorów rzadko tylko i niechętnie używanych, gdyż niszczą mocno nawierzchnią budowę, wydając względnie do wielkości ich kotłów, mało tylko pary.

Stosunki te zmieniłyby się znacznie na korzyść motora gdyby mu nie dodawano odrębnego tendera, którego ciężar nietylko, że nie zwiększa adhezyi, ale którego nadto jeszcze adhezyą utrzymywać trzeba, a motory takie, nie mające odrębnego tendera, zowiemy *motorami tenderowemi*.

O ile ciężar maszyn tenderowych, mniejszym być może przekonujemy się ze wzoru podanego pod numerem 4, wstawiając tam T = 0, otrzymujemy bowiem w takim razie:

$$M = \frac{A}{h-m} \tag{5}$$

wzór, służący do obliczania ciężaru *maszyn tenderowych*.

W tym wzorze wyraża:

M... ciężar motora w tonnach,

A... wytrzymałość sprzęgła w kilogramach,

h... jednostkowa adhezya w kilogramach,

m... stromość wzniesienia w milimetrach.

Wstawiając w powyższy wzór A = 5000, h = 130, otrzymujemy dla rozmaitych wzniesień ciężary, które uwidocznia następująca tabliczka, zawierająca zarazem ciężary maszyn, mających odrębne tendery.

wzniesienie $^0/_{00}$		0	5	10	15	20	25	30	40
motory	z tenderem odrębnym	63	66	68	71	75	78	82	92
	tenderowe	38	40	42	44	46	48	50	55

Używając motora tenderowego, wystarcza do przewozu ciężaru na wzniesieniu $25^0/_{00}$, ciężar maszyny 48 tonn, podczas gdy używając motora z odrębnym tenderem, maszyna ważyć musi 78—25=53 tonn, a maszyna ta, ciągnie oprócz tego tender ważący 25 tonn, o który to ciężar zmniejszyć trzeba ciężar pociągu.

Ponieważ ciężar lokomotywy wielce wpływa na adhezyę, adhezya znów, stać musi w pewnym stósunku do ilości wywięzującej się pary, a ilość uzyskać się dającej pary zawisłą jest od powierzchni kotła, na której woda przeobraża się w parę (od tak zwanej powierzchni ogrzewalnej) więc zachodzić będzie pomiędzy ciężarem lokomotywy i wielkością jej *powierzchni ogrzewalnej* pewien związek.

Podług pana *Grove* wyrazić można ciężar lokomotywy, mającej powierzchnię ogrzewalną, która wynosi *H* metrów kwadratowych, doświadczalnym wzorem

$$\left.\begin{aligned} M &= 15 + \frac{H}{6} \\ M &= 11 + 0{\cdot}3H \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

z których pierwszy, odnosi się do maszyn posiadających odrębny tender, drugi zaś, do maszyn tenderowych.

W tych wzorach wyraża:
M... ciężar motora wraz z ciężarem do niego należącego odrębnego tendera, wyrażony w tonnach.
M_1.. ciężar maszyny tenderowej, w tonnach
H... powierzchnię ogrzewalną w metrach kwadratowych.

Zauważać jednak trzeba, że wzór

$$M_1 = 11 + 0{\cdot}3.H$$

odnosi się tylko do maszyn starszych konstrukcyj, dzisia (1880) budujemy bowiem maszyny, które przy tym samym ciężarze mają mniejszą powierzchnię ogrzewalną, aniżeli ów wzór wydaje.

Maszyny tenderowe systemu *Kraus's* mające 80□^{m} powierzchni ogrzewalnej ważyćby musiały, licząc podług wzoru *Grovego:*

$$M_1 = 11 + 0{\cdot}3 \times 80 = 35$$

tonn, podczas gdy ciężar tych maszyn w rzeczywistości wynosi tylko 26 tonn.

Mając na względzie maszyny nowsze, a mianowicie lokomotywy konstruktorów: *Hagens* w Berlinie, *Krauss* w Monachium i *Henschel* w Kassel, użyć można wzoru:

$$M_1 = a + 0{\cdot}3\ H.$$

w którym wynosi

$$a = \begin{cases} 4{\cdot}6 \\ 6{\cdot}0 \text{ dla maszyn systemu} \\ 6{\cdot}5 \end{cases} \begin{cases} \text{Hagens} \\ \text{Krauss} \\ \text{Henschel.} \end{cases}$$

W praktyce przyjąć można, iż wynosi ciężar lokomotywy, nie licząc ciężaru do niej należącego odrębnego tendera, skoro maszyna prowadzi pociąg:

pospieszny	M =	27—33 tonn
osobowy		27—35 „
towarowy		29—36 „
w górach.		30—48 „

Podane ciężary odnoszą się do lokomotyw próżnych, złożymy zaś na lokomotywę wszystkie przybory, jakie mieć winna chcąc ją przysposobić do prowadzenia pociągów, to ciężar lokomotywy zwiększy się o 7 tonn.

Z tabliczki podanej w poprzednim paragrafie widzimy, że różnica ciężaru całkowitego lokomotyw, mających dwie ze sobą sprzężonych osi, a ciężaru sprawiającego adhezyę, wynosi na kolei:

Łupkowskiej.......... 2·0 tonn
Lwowsko-Czerniowieckiej 2·7 „
Karola Ludwika........ 5·2 „
północnej............. 9·8 „
południowej........... 10·1 „

tyle więc martwego ciężaru przewozić trzeba z każdym pociągiem, gdyż ciężar ten do uzyskania adhezyi, a więc do zwiększenia siły przewozowej wcale się nie przyczynia, owszem siła pary ten ciężar prowadzić musi.

Ciężar martwy czyni lokomotywę droższą, wymaga silniej budowanych mostów, przejazdów i t. p., dla tego też ile możności unikać go trzeba.

Granice, w których leży ciężar tendera, jako też przeciętny ciężar w nim umieścić się dającego materyału (wody i paliwa) uwidocznia następująca tabliczka:

rozmiar tendera	średnica kół tendera	tender zawiera wody	tender mieści w sobie paliwa	tender waży gdy jest próżnym	tender waży gdy jest napełnionym
	centim.	sześcien. metrów	tonn		
Minimum	95	7	5	9	20
Maximum	120	10	9	13	27

10.

Ciepło potrzebne do ogrzewania wody znajdującej się w kotle lokomotywy.

Chcąc wodę, znajdującą się w kotle lokomotywy, przeobrazić w parę, potrzeba na to pewnej ilości ciepła, którą mierzyć można jak następuje:

W otwartem naczyniu znajduje się kilogram wody, do wody wstawiono termometr skali Celsiusza, pod naczyniem zaś wniecono ogień, który go ogrzewa. Ogień powstaje z utleniania się chemicznie czystego węgla, a palenisko urządzono w ten sposób, że w każdej chwili mierzyć można ubytek węgla, nie ruszając wcale paleniska lub naczynia z wodą. Na termometrze odczytujemy od czasu do czasu stan ciepłoty, zapisując zarazem, odczytanej ciepłocie odpowiadający rozchód spalonego węgla. W chwili, w której woda, mająca przy rozpoczęciu doświadczenia temperaturę zero, ogrzała się do ciepłoty 1^0C przekonujemy się, że ubyło $^1/_8$ grama węgla, temperaturze 2^0C odpowiada rozchód $^2/_8$, ciepłocie 3^0C, rozchód $^3/_8$ grama i t. p. Rozchód węgla zwiększa się więc w stosunku do wzrostu temperatury tak, że w chwili, w której woda wrzeć poczyna, t. j. w chwili, w której ciepłota jej dochodzi do 100^0C, rozchód węgla wynosi $100 . ^1/_8 = 12^1/_2$ gramów. Fakt ten notujemy, nie usuwając wcale ognia z pod wody, a spoglądając na termometr spostrzegamy, że ten ciągle na 100^0C wskazuje pomimo, że paliwo nieprzerwalnie ciepła dostarcza.

Nieruchomość termometru trwa aż do chwili, w której wszystka woda zamieniła się w parę, w której to chwili rozchód węgla wynosi $67^1/_8$ grama.

Do ogrzania kilograma wody o jeden stopień, potrzebowano więc $^1/_8$ grama węgla, do przeobrażenia zaś kilograma wody w kilogram pary, potrzebowano już $67^1/_8$ gramów węgla.

Zjawisko to zostawało długi czas bez wszelkiego tłómaczenia, dopiero w połowie 18 stulecia *Black* zwrócił pierwszy, na niego uwagę, tłómacząc go zarazem. W roku 1761 tradował *Black* na wszechnicy w *Glasgau*, formalną teoryę ciepła; *Watt*, ów genialny technik, któremu zawdzięczamy budowę maszyn parowych, stale w miejscu ustawionych, był jednym ze słuchaczy uczonego profesora.

Ciepło zawarte w $^1/_8$ grama węgla, czyli raczej ciepło potrzebne do ogrzania kilograma wody o jeden stopień, obrano jako jednostkę ciepła i nazwano go kaloryą. Do ogrzania kilograma wody, mającej temperaturę zero, do 100^0C potrzeba 100 kaloryi; do przeobrażenia zaś wody, mającej 100^0C, w parę tejże samej ciepłoty, a więc do zmiany stanu skupienia potrzeba zaś

$$\frac{67^1/_8}{^1/_8} = 537$$

kaloryi. Chcąc otrzymać z wody, mającej temperaturę zero, parę mającą ciepłotę 100^0 potrzeba przeto

$$100 + 537 = 637$$

kaloryi. W podobny sposób przekonujemy się, że kilogram lodu, mającego temperaturę 0°, potrzebuje 79 kaloryi nim się stopi t. j. nim się zamieni, w wodę mającą temperaturę 0°C. Do otrzymania pary 100°C z topniejącej wody, potrzeba przeto:

$$79 + 100 + \overset{5}{\cancel{6}}37 = 716$$

kaloryi.

Przyjmując tę ilość ciepła, potrzebnego do podwyższenia temperatury kilograma wody o jeden stopień skali Celsiusza, za jednostkę, przypuszczamy, że na każdy stopień tejże skali leżący między 0° — 100° trzeba jedną kaloryę, czyli innemi słowy, że jest wszystko jedno, czy ogrzewam wodę mającą temperaturę zero do temperatury 1°, czyli też wodę mającą temperaturę 99°, do temperatury 100°C.

Ściśle biorąc, potrzebujemy w obydwóch razach inną ilość ciepła, albowiem w ostatnim przypadku wyjdzie więcej ciepła. Doświadczenie uczy, że ciepło, potrzebne do ogrzania kilograma wody o t°C i wyżej jak posiada, nietylko że jest zawisłem od temperatury, którą woda posiada w chwili rozpoczęcia ogrzewania, ale nadto, że ilość tego ciepła nie zwiększa się w prostym stosunku z przyrostem temperatury.

Wyraża k ilość kaloryi potrzebnych do ogrzania kilograma wody mającej temperaturę 0°, do temperatury t°, to poucza doświadczenie (chemika Regnault), że istnieje związek:

$$k = t + \frac{2}{10^5}\, t^2 + \frac{3}{10^7}\, t^3 \qquad (7$$

Gdyby liczby

$$\frac{2}{10^5} \text{ i } \frac{3}{10^7}$$

uważać można jako liczby małoznaczące w porównaniu do jednostki, to byłoby w takim razie

$$k = t$$

coby znaczyło, że ciepło potrzebne do ogrzania kilograma wody, wynosi tyle kaloryi, do ilu stopni woda ma być ogrzaną. W takim to razie jedynie powiedziećby można, że jest obojętnie, czy ogrzewam wodę mającą temperaturę 0° do temperatury 1°, czyli też wodę, mającą ciepłotę 99°C do ciepłoty 100°.

Przyrost ciepła odpowiadający niezmiernie małemu zwiększaniu się ciepłoty, a raczej stosunek przyrostu ciepła do przyrostu temperatury, otrzymujemy różniczkując powyższe równanie:

$$\left(\frac{dk}{dt}\right) = 1 + \frac{4}{10^5}\, t + \frac{9}{10^7}\, t^2$$

a związek ten, wykazuje, że przyrost ciepła nie stoi w liniowym stosunku do przyrostu temperatury. Przyrost ten innym jest w pobliżu punktu marznięcia (temperatura 0^0) innym zaś w pobliżu punktu wrzenia (100^0C). O prawdzie tej przekonuje nas wzór podany. Do wody mającej temperaturę 0^0 nie dodano wcale ciepła, bo wzór wspomniany wydaje po wstawieniu $t = o$, $k = o$, woda zaś, mająca temperaturę 1^0C, zawiera w sobie $k_1 = 1{\cdot}00002$ kaloryi, jak to poucza ów wzór wstawiając tam $t = 1$.

Ciepło zużyte do podniesienia temperatury kilograma wody mającej 0^0 do ciepłoty 1^0 wynosi przeto

$$k_1 - k_0 = 1{\cdot}00002 - 0 = 1{\cdot}00002$$

kaloryi.

Wstawiając w ten sam wzór za $k = 100$ i 99, otrzymujemy

$$k_{100} = 100{\cdot}5, \qquad k_{99} = 99{\cdot}487.$$

Ciepło zużyte do podniesienia temperatury wody mającej 99^0C do ciepłoty 100^0 wynosi przeto:

$$k_{100} - k_{99} = 100{\cdot}5 - 99{\cdot}487 = 1{\cdot}013$$

kaloryi.

Widzimy więc, że do podwyższenia temperatury wody o jeden stopień, potrzebujemy więcej ciepła, skoro chodzi o ogrzanie wody gorącej aniżeli do ogrzania wody zimnej. Różnica $1{\cdot}013 - 1{\cdot}00002 = 0{\cdot}01$ jest jednak nieznaczną, a okoliczność ta dozwala praktyce uważać ją jako nie istniejącą, czyli przyjmować, że ilość ciepła potrzebna do podwyższenia temperatury wody o jeden stopień, nie zależy od temperatury, którą woda posiada w chwili rozpoczęcia ogrzewania.

Widzieliśmy, że dopóki woda nie wrze, wychodzi na każdy stopień przyrostu jej temperatury jedna kalorya, od chwili zaś, w której woda otrzymawszy tempereturę 100^0C, w której więc wrzeć poczyna, stosunek ów się zmienia. Do zwiększenia temperatury pary o jeden stopień skali Celsiusza, nie będzie już potrzeba jednej kaloryi, lecz mniej ciepła. A ponieważ woda przeobrażać się poczyna w parę nietylko wtedy, gdy wrzeć poczyna, ale jak wiadomo ulatnia się przy każdej ciepłocie, więc też obliczanie ilości ciepła potrzebnego do przeobrażenia kilograma wody w parę, mającej pewien stopień ciepłoty, nie będzie czystem mnożeniem stopni przez ciepłotę odpowiadającą jednemu stopniowi.

Doświadczenia akademika francuzkiego pana *Regnault* wykazały, że chcąc obliczać ilość kaloryi, potrzebnych do otrzymania pary, użyć trzeba wzoru

$$\mathbf{k = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\, t} \qquad (8$$

w którym oznacza:

k... ilość kaloryi potrzebnych do przeobrażenia kilograma wody, mającej temperaturę zero, w parę mającą temperaturę t^0 skali Celsiusza.

t... temperatura pary w stopniach skali Celsiusza.

Do otrzymania pary o ciepłocie 100^0, potrzeba n.p.

$$k = 606{\cdot}5 + 30{\cdot}5 = 637$$

kaloryi t. j., tyle ile pierwej już wyliczono.

Skoro zaś początkowa temperatura wody nie wynosi 0^0 lecz $t_1{}^0$ to potrzeba do ogrzania wody, mającej temperaturę 0^0, do ciepłoty $t_1{}^0$ jak wykazano

$$k_1 = t_1 + \frac{2}{10^5} t_1{}^2 + \frac{3}{10^7} t_1{}^3$$

lub w przybliżeniu

$$k_1 = t_1$$

kaloryi.

Chcąc więc wodę, posiadającą przy rozpoczęciu ogrzewania temperaturę $t_1{}^0$, przeobrażać w parę, odliczyć trzeba od ilości k kaloryi k_1 kaloryi, a otrzyma się w takim razie

$$k = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\ t - t_1 \qquad (9$$

wzór, służący do obliczania ilości kaloryi, potrzebnych do przeobrażania wody mającej temperaturę $t_1{}^0$ w parę posiadającą temperaturę t^0.

Do przeobrażenia kilograma wody mającej temperaturę 15^0C, w parę 150^0C, potrzeba przeto:

$$k = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305 .\ 150 - 15 = 627$$

kaloryi.

11.

Związek zachodzący między temperaturą pary, a jej prężnością.

Własność pary nabierać prężności w miarę ogrzewania, daje nam możność wyzyskiwania ciepła zawartego w paliwie na cele przewozu. Prężność pary nie wzrasta jednak stopniowo z przyrostem jej temperatury, lecz w innym, daleko zawilszym stosunku.

Pomimo usiłowań fizyków nie posiadamy jednak ani jednego wzoru, któryby ściśle ów związek określał, a ponieważ wzory określające go w przybliżeniu nie są proste, więc zadawalniamy się tabliczkami jak n. p. następująca:

p	t	p	t
1·0	99·09	7·0	164·03
1·5	110·76	7·5	166·82
2·0	119·57	8·0	169·46
2·5	126·73	8·5	171·98
3·0	132·80	9·0	174·38
3·5	138·10	9·5	176·68
4·0	142·82	10·0	178·89
4·5	147·00	10·5	181·01
5·0	150·99	11·0	183·05
5·5	154·59	11·5	185·03
6·0	157 94	12·0	186·94
6·5	161·08	14·0	194·00

w której tabliczce oznacza:

p = ciśnienie pary w kilogramach na centimetr kwadrowy ściany kotła (czyli tak zwanych atmosfer).

t = temperatura pary w stopniach termometru Celsiusza.

Tabliczka ta, wyjęta z dzieła profesora *Fliegnera*, odnosi się do atmosfer nowych, t. j. do ciśnienia, wynoszącego kilogram na centimetr kwadratowy ściany kotła.

Pod ciśnieniem równającem się ciśnieniu atmosfery, rozumiemy ciśnienie, które wywiera na centimetr kwadratowy swej podstawy, słup rtęci mający wysokość 760^{mm} lub też ciśnienie słupa wody, mającego wysokość 10·336 metrów. Ponieważ ciśnienie słupa wody posiadającego 10 336^{m} wysokości, na $\square^{cm}$ podstawy wynosi 1·0336 kilogramów, więc nazwano ciśnienie wynoszące 1·0336 kilogramów, atmosferą. Stósownie do ustawy Rządu austryjackiego, rozumiemy począwszy od roku 1877 pod atmosferą ciśnienie wynoszące na $\square^{cm}$ powierzchni, jeden kilogram. Stósunek atmosfery nowej do atmosfery starej, jest więc:

$$\frac{n}{s} = \frac{1}{1·0336} = 0·967$$

Chcąc daty umieszczone w tabliczce, zamienić na liczby odnoszące się do atmosfery starej, podzielić je trzeba liczbą 0·967.

12.

Waga pary.

Obliczając siłę pary, przychodzimy często na ciężar pary, dla tego też wykazać trzeba, ile razy metr sześcienny wody, więcej waży od metra sześciennego pary, czyli innemi słowy, zapoznać się trzeba z gatunkowym ciężarem pary.

Ciężar pary mieszczącej się w metrze sześciennym nie może być wartością stałą, gdyż w metrze sześciennym znajdować się może różnie gęsta para.

A ponieważ od gęstości pary jej prężność zawisła, więc też ciężar gatunkowy pary zależeć będzie od jej prężności.

Metr sześcienny pary wysoko-prężnej, więcej będzie ważył od metra sześciennego pary nisko-prężnej, związku jednak określającego zależność ciężaru pary od jej prężności dotąd ściśle jeszcze nie znamy, dla tego też zadawalniać się musimy wzorami doświadczalnemi.

Podług *Navier'a* otrzymujemy z metra sześciennego wody:

$$\left(\frac{b}{a+p}\right) = z$$

metrów pary, prężącej siłą p atmosfer, a wynosi

$$a = 0{\cdot}3019 \qquad b = 2122{\cdot}4.$$

Wynika ztąd, że ilość wynosząca z metrów sześciennych pary, ważyć musi tyle, ile waży metr sześcienny wody, a więc tonnę, czyli 1000 kilogramów.

Metr sześcieny pary ważyć przeto będzie $\frac{1000}{z}$ czyli

$$1000.\left(\frac{a+p}{b}\right)$$

kilogramów.

Wstawiając w ten wyraz odpowiednie wartości za a i b, otrzymujemy, skoro wyraża m ciężar metra sześciennego pary

$$m = 0{\cdot}14 + 0{\cdot}47\,p \qquad (10$$

wzór służący do obliczania ciężaru metra sześciennego pary, prężącej siłą p atmosfer; a oznacza tutaj:

m... ciężar metra sześciennego pary, wyrażony w kilogramach.

p... ciśnienie pary, wyrażone w atmosferach, czyli w kilogramach na centimetr kwadratowy podstawy.

Zamiast wzoru powyższego korzystniej używać można następującej tabliczki, jaką podaje profesor *Flieguer*, na podstawie starannie wykonanych doświadczeń przez pana *Regnault*.

p	m	p	m
1·0	0·572	6·5	3·314
1·5	0·836	7·0	3·553
2·0	1·096	7·5	3·791
2·5	1·351	8·0	4·028
3·0	1·603	8·5	4·264
3·5	1·853	9·0	4·499
4·0	2·101	9·5	4·733
4·5	2·346	10·0	4·967
5·0	2·590	10·5	5·200
5·5	2·833	11·0	5·432
6·0	3·074	12·0	5·895

Wzór numer 10 zgadza się dosyć dobrze z powyższą tabliczką, bo n. p. waży metr sześcienny pary prężącej siłą 10 atmosfer podług

wzoru...... 4·840
tabliczki.... 4·967

kilogramów.

13.

Potęga pary.

Do wyjścia na szczyt góry *Mont-Blanc*, potrzeba dwa dni. Mechaniczną pracę wykonaną w ciągu tego czasu t. j. pracę wynoszenia własnego ciężaru do szczytu góry, uważa się słusznie, jako *maximum* pracy, którą człowiek w ciągu 48 godzin wykonać zdoła.

Chcąc w maszynie parowej uzyskać pracę równej wielkości, wystarcza spalić na jej ruszcie kilogram węgla, tak bowiem wielką przewagę ma para.

Herodot podaje, że przy budowie piramid pracowało 100.000 ludzi przez lat 20. Pracę podobną wykonujemy dzisiaj, budując nieco znaczniejszą kolej, w ciągu roku jednego!

Połowa mieszkańców całego świata dzień i noc pracowaćby musiała, gdyby chciano uzyskać tę pracę mechaniczną, którą wydaje para, wywiązająca się w maszynach, pracujących na ziemi naszej.

Maszyny parowe, zatrudniając $15^3/_4$ milionów ludzi, pracują siłą, równającą się sile 46 milionów koni maszynowych, a ponieważ siła konia maszynowego, równa się sile 3 koni żywych, więc trzeba, chcąc zastąpić siłę pary pracą koni, żywić $3 \times 46 = 138$ milionów koni. Konie te, ustawione parami, tworzyłyby kordon, którym opasaćby można ziemię naszą trzy razy dokoła.

Na budowę tych maszyn wydano tyle milionów guldenów, ile obwód ziemi naszej, mierzy kilometrów, a więc 40 milionów, a ilością tą srebrnych guldenów wybrukowaćby można wszystkie koleje państwa austryackiego, zbudować więc drogę daleko dłuższą od średnicy ziemi naszej.

Ludzie używają pracy pary na rozmaite cele, tak n. p. użyto w roku 1876 pracę maszyn parowych, znajdujących się w państwie austryackiem, podług statystyki *dr. Engla*, na cele:

przewozu na kolejach	989922
żeglugi	127875
rozmaite	84282
górnictwa	29609
przyprawy żywności	27520
wyrobu narzędzi, naczyń . .	8658
uprawy roli	4265
wyrobów chemicznych . . .	2945
razem	1275076

sił koni maszynowych.

Pracę maszyn parowych w innych Państwach Europy przytacza *Engel* jak następuje:

Belgia. .	568139	sił koni
Austrya .	1275076	„
Francya .	3024450	„
Niemcy .	4359377	„
Anglia. .	6986000	„

Tonnę ciężaru przewieść, można za guldena, używając do przewozu siły

człowieka:	do odległości . . .	0·30
konia	„ . . .	1·07
pary	„ . . .	5·94

kilometrów, a drogi przewozu stoją w stosunku 1 : 4 : 20. Używając pary do przewozu, przewieźć można za guldena tonnę ciężaru 20 razy dalej, aniżeli to uczynić się da siłą człowieka.

Lokomotywa pracująca siłą 300 koni maszynowych, potrzebuje na godzinę do uzyskania siły jednego konia 2·4 kilogramów węgla kamiennego, w całości przeto 2·4 × 300 = 720 kilogramów, licząc kilogram węgla po cencie, kosztuje praca lokomotywy na godzinę 7·2 guldenów; pracuje maszyna przez 15 godzin na dobę, to kosztuje jej dzienna praca 15×7·2= 108 guldenów. Licząc amortyzacyę kapitału, wydanego na zakupno takiej maszyny dziennie na 12 guldenów, wyniosą dziennie koszta pracy jednej lokomotywy 108+12=120 guldenów.

Gdyby zaś chciano pracę lokomotywy zastąpić pracą rąk, to zważyć trzeba, że na siłę konia maszynowego trzeba siły 3 koni żywych, z których każdy 7 razy silniejszy jest od człowieka, na siłę jednego konia maszynowego wychodzi przeto praca 3×7=21 ludzi. Do uzyskania pracy równającej się sile 300 maszynowych koni, potrzeba przeto 6300 ludzi.

Robotnikowi pracującemu na dobę 15 godzin zapłacić trzeba przynajmniej 2 guldeny (lub mieć dwóch robotników pracujących po guldenie przez $7^1/_2$ godzin) praca rąk kosztuje przeto dziennie 12600 guldenów, a więc $\frac{12600}{120} = 100$ razy więcej jak praca lokomotywy.

Engel podaje, że praca równająca się pracy maszynowego konia, skoro ją wydaje

koń żyjący,	kosztuje	na rok	325
człowiek	„	„	200
maszyna par.	„	„	150
woda	„	„	66
lokomotywa	„	„	30

guldenów; a liczby te wykazują, jak potężną dźwignią jest lokomotywa, a lokomotyw znachodzimy na ziemi naszej 50000, z których na Austryę przypada 2926 sztuk, tak więc, że na każde 5 kilometrów toru jedna lokomotywa przypada;

sama Galicya posiada 280 lokomotyw, z których biegnie na kolei

północnej . .	3	sztuk
dniestrzańskiej .	8	„
łupkowskiej . .	11	„
tarnowsko leluch.	12	„
Arcyks. Albr. .	16	„
Czerniowiecka .	62	„
Karola Ludw. .	168	„
razem .	280	„

Licząc, że każda z tych maszyn pracuje siłą 300 koni maszynowych, a koń maszynowy 3 razy silniej pracuje od konia żywego, równa się siła owych lokomotyw sile 252000 koni, a ponieważ Galicya posiada 692131 koni, więc widzimy, że więcej jak $^1/_3$ wszystkich koni zaprzągnąć by trzeba do pracy, chciawszy niemi zastąpić pracę lokomotyw.

Potęga pary użytej do przewozu nie leży więc w tem, że koleje przysparzają Państwu dochodów, lecz w tem, że oszczędzają narodom pracy, czasu i pieniędzy.

Zaistę, zadziwić się trzeba, że ta potęga pary, o której ogromie tylko mdły dano obrazek, pochodzi z bardzo małej cząstki siły zawartej w paliwie, albowiem lokomotywy wyzyskać zdołają zaledwie 13% w paliwie uśpionej siły.

Temperatura kominem lokomotywy uchodzących gazów wynosi bowiem w najlepszym razie zawsze jeszcze 200°C, najczęściej dochodzi jednak do 400°C, której to ciepłocie odpowiada znaczna ilość ciepła, uchodzącego bezużytecznie.

Weinhold wykazał, że paląc węglem kamiennym, składającym się z 56%C, 3% H, 20% popiołu i 9% wody, którego to węgla wartość opałowa wynosi 5550 kaloryi, uchodzi kominem 2212 kaloryi, skoro gazy mają ciepłotę 400°C, zaś 1544 kaloryi, skoro mają temperaturę 200°C, a dopływ powietrza do rusztu, trzy razy jest większym, jak proces palenia wymaga.

Następująca tabliczka wykazuje straty ciepła, uchodzącego z gazami:

dopływ powietrza przewyższa *n* razy konieczną do spalenia ilość powietrza *n* =	ilość kaloryi uchodząca gdy temperatura gazów wynosi	
	200	400
	stopni skali Celsiusza	
3	1544	2212
2	1395	2123
1·5	1400	1916
1·2	877	1330

Różnica ciepła dostarczonego maszynie ze strony paliwa, a ciepła uchodzącego kominem, przedstawia więc ten zasób ciepła, który wyzyskać się dało na cele pracy mechanicznej.

Posiada paliwo p^0 stopni ciepła, temperatura zaś kominem uchodzących gazów wynosi g^0 Celsiusza, a maszyna pracowała podczas ciepłoty t^0C to wyraża:

$$(p-g)$$

ilość ciepła pozostałego w maszynie

$$(p-t)$$

zaś, ilość ciepła dostarczonego przez paliwo, stósunek

$$\left(\frac{p-g}{p-t}\right)$$

wyraża więc *dobroć* maszyny.

Ciepłota paliwa palącego się na ruszcie lokomotywy wynosi zazwyczaj 1500°C, z której to ciepłoty tracimy 300°C skoro gazy uchodzące kominem, taką ciepłotę posiadają.

Pracuje lokomotywa podczas gdy temperatura otoczenia wynosi 20°C, to wyraża ułamek

$$\frac{1500-300}{1500-20} = {}^4/_5$$

tę część całkowitego ciepła, która w maszynie pozostaje. Widzimy więc, że $^4/_5$ czyli 80% ciepła dostarczonego paliwem, dostaje się do wnętrza maszyny, podczas gdy 20% uchodzi kominem.

Jaką zaś część otrzymanego ciepła lokomotywa przeobraża na prace użyteczne, nie trudno obliczyć, bo chcąc uzyskać kilogram pary prężącej siłą 8 atmosfer z wody mającej temperaturę 20°C wydać trzeba (§ 10)

$$606{\cdot}5 + 0{\cdot}305 \times 169{\cdot}46 - 20 = 638$$

kaloryi, a ponieważ kalorya równa się mechanicznej pracy 426 meterkilogramów, więc maszyna, spożywając kilogram owej pary, otrzymuje mechaniczną pracę, która wynosi 638 × 426 = 271788 meterkilogramów, czyli pracę równającą się pracy $\frac{271788}{75} = 3624$ koni.

Tyle więc mechanicznej pracy otrzymała lokomotywa; z tego zasobu użyje ona pewną część na zwalczanie oporów w jej mechanizmie, pozostałą resztę dopiero użyć będzie można na cele przewozu.

Doświadczenie uczy, że do uzyskania siły, równającej się sile konia, potrzeba na godzinę 13 kilogramów pary, prężącej siłą 8 atmosfer, kilogram pary przedstawia więc mechaniczną pracę $\frac{3624}{13} = 280$ koni. Ażeby więc uzyskać pracę 280 koni wydać musiano pracę 3624 koni, pracę jednego konia maszynowego, opłacono przeto pracą, równającą się pracy $\frac{3624}{280} = 13$ koni.

Widzimy więc, że z otrzymanych 80% siły, wydała lokomotywa tylko $^1/_{13}$ część, jako pracę mechaniczną. Za siłę 80 koni, którą w maszynę włożymy, otrzymamy napowrót siłę wynoszącą tylko $\frac{80}{13} = 6$ koni. Lokomotywa, której dostarczono paliwem siłę 100 koni, wypuści więc kominem siłę, równającą się sile 20 koni, siłę 74 koni spotrzebuje w swoim mechanizmie, a siłę 6 koni wyda napowrót.

Te 6% siły, które wydrzeć zdołaliśmy sile zawartej w ogniu, pomimo, że przedstawiają tak małą cząstkę siły zawartej w paliwie, stały się jednak przyczyną potęgi pary, która życie nasze przekształcić zdołała.

14.

Sposób wyzyskiwania pary.

Parę, którą wydaje kocioł lokomotywy, wyzyskujemy tym sposobem na cele przewozu, że ją wpuszczamy do wnętrza cylindra, w którym tłok się znajduje. Para, wchodząc do cylindra, posuwa poprzód siebie tłok, a gdy go dosunie do kresu, wstępuje do cylindra z drugiej strony, cofając tłok wstecz. Skutkiem ruchu *posuwistego* tłoka, uzyskuje koło połączone z tłokiem ruch *obrotowy*, a maszyna ruch *postępowy*. To jest w krótkich słowach przebieg pary. W szczegóły urządzenia wchodzić nie jest moim zamiarem, każdy podręcznik fizyki zawiera bowiem obszerny opis ruchów tutaj nadmienionych. W miejsce drobiazgowego opisu, zamyślam zwrócić uwagę na niektóre szczegóły, których owe podręczniki nie zawierają, które jednak dla praktyki kolejowej pomimo to wartość mają.

Nadmienić wypada, że kotła nie napełnia się nigdy wodą tak, aby w nim próżnego miejsca już nie pozostawało, owszem napełniamy go o tyle tylko, że powierzchnia w nim znajdującej się wody zajmie $^3/_4$ wysokości, tak więc, że $^1/_4$ tejże wysokości dla pary pozostaje. Przyjąć można, że objętość, którą para zajmuje w kotle, wynosi 10% całej objętości, a staramy się pozostawić parze jak najwięcej miejsca, gdyż wiemy z doświadczenia, że woda tem mniej się burzy, im większe miejsce po nad nią para zajmuje. Czerpiąc bowiem parę z kotła, sprawiamy, że ciśnienie pozostającej pary się umniejsza, a woda, zostając pod mniejszym naciskiem, silniej kłębuje. Zajmuje zaś para znaczną objętość w kotle, to ten sam ubytek, stanowić już będzie mniejszą część całego zasobu pary, przez co różnica w ciśnieniu, nieznaczną tylko będzie, co znów sprawi, że kłębowanie wody się zwolni.

Pomimo to, nigdy sprawić nie zdołamy, aby woda za każdem ujściem pary do komórki suwakowej, żywo w kotle nie zakłębowała; a przeto uchodząca para wilgoci nie nabierała. A ponieważ mokra para, z powodu mniejszej prężności, tak silnie pracować nie może, jak to czyni para sucha, więc też staraniem naszym być musi, wprowadzać do wnętrza cylindra parę suchą.

Ku temu celowi ustawiamy na najwyższym punkcie kotła osobny zbiornik, kapliczką zwany. Para, prężąc na zewnątrz, gromadzi się w kapliczce, a czerpiąc ją ztąd, nie dopuszczamy, aby fale, powstające ubytkiem wody, aż do kapliczki się dostawały.

Tym sposobem sprawić można, że para przeznaczona do pracy, a wychodząca z kapliczki, rzadko więcej, jak 10% wody, ze sobą unosić będzie.

Z kapliczki uchodząca para, nie dostaje się jednak wprost do wnętrza cylindra, lecz przechodzi pierwej przez dwie zapory, z których jedna, *regulatorem* zwana, umieszczoną jest zaraz przy ujściu pary z kapliczki, druga zaś, *suwakiem* zwana, znajduje się w osobnej komórce, osadzonej w pobliżu cylindra, a zwanej komórką suwakową. Obydwie te zapory odcinają dopływ pary do wnętrza cylindra, każda jednak w inny sposób.

Regulator, jest to zasuwka, tamująca lub dozwalająca *wyjście* pary z kapliczki, *suwak* zaś, zasuwką, tamującą lub dozwalającą *wejście* pary do wnętrza cylindra.

Pierwsza z nich reguluje dopływ pary do *komórki suwakowej*, druga zaś, dopływ w komórce znajdującej się pary do *cylindra*.

Regulator podobnym jest do zasuwek, umieszczonych nad oknami wozów kolejowych, mających na celu, sprawiać przewiew powietrza; zasuwka, umieszczona w kapliczce, połączona jest za pomocą drążka z korbą ustawioną tam, gdzie maszynista stoi. Ponieważ korba ta, i zasuwka w kapliczce tworzą jedną nierozerwalną całość, więc też cały ten przyrząd regulatorem nazywamy. Za pomocą regulatora maszynista wypuszczać może z kapliczki mniej lub więcej pary. Skoro regulator zupełnie jest rozwartym, uchodzić może z kapliczki para pełnym przekrojem odprowadzającej rury, a przekrój ten wynosi zazwyczaj $^1/_{20}$ czyli 5% przekroju tłoka.

Do komórki suwakowej wciśnięta para nie pręży już tak silnie, jak prężyła będąc w kotle, utrata prężenia, spowodowana przejściem z kotła do cylindra, wynosi zwykle 4—16% prężności w kotle. Regulatorem przepuszczona para, rozchodzi się w dwie strony, dostaje się bowiem do komórek suwakowych obu cylindrów, osadzonych na lokomotywie.

Z komórki suwakowej dostaje się para za pomocą dwóch rur, zwanych kanałami, do wnętrza cylindra, od wielkości przekroju tych kanałów zależeć będzie, ile pary do wnętrza cylindra dostać się może. Obydwa kanały nie są nigdy równocześnie odsłonięte, są one bowiem tak urządzone, że podczas gdy przekrój jednego jest zasłoniętym, pozostaje przekrój drugiego wolnym. Wolnym otworem wchodząca para, dostaje się do wnętrza cylindra, a rozprężając się, posuwa wprzód siebie tłok, a ruch tłoka sprawia, że w miarę posuwania się, kanał, którym para dopływa, coraz więcej się zwęża, tak, że coraz mniej pary dochodzi; w chwili, gdy tłok dociera do końca cylindra, kanał się zupełnie zawiera, podczas gdy drugi, dotąd zawarty, odsłaniać się poczyna.

Kanałem, który teraz się otworzył, gdy tłok dobiegł kresu, uchodzi zaś zużyta para, podczas gdy świeża z drugiej strony tłoka do cylindra wkracza.

Wielkość tak odsłony, jakoteż zasłony, a więc przekrój kanałów, zależy zaś od pierwotnego ustawienia i rozmiarów suwaka.

Ruch suwaka sprawia, że podczas jednorazowego przesunięcia się tłoka, dostaje się z komórki suwakowej do wnętrza cylindra pewna tylko ilość pary, zależna od wielkości odsłonionego przekroju kanału dopływowego. Chcąc więc, aby w sekundzie dostawała się do wnętrza cylindra tylko pewna, z góry oznaczona ilość pary, suwak odpowiednio ustawić trzeba. Przyrząd zaś, umożliwiający ustawienie suwaka podług potrzeby, zowiemy *stawidłem*. Raz ustawiony suwak odsłaniać będzie podczas swego ruchu posuwistego (wprzód i wstecz) zawsze pewną, z góry oznaczoną, część przekroju kanałów, co sprawia, że wchodzić będzie co sekundę do cylindra pewna tylko ilość pary, bez względu na to, czy tłok biegnie spieszniej lub wolniej. Porusza się tłok spieszniej, to w ciągu sekundy cylinder częściej się wypróżni, po każdorazowem wypróżnieniu się wejdzie przeto do jego wnętrza mniejsza ilość pary, bo całkowita ilość pary, która w czasie sekundy do komórki dopływa, rozdrabiać się musi na więcej części.

Ilość do komórki dostającej się pary zawisła od regulatora, ilość do wnętrza cylindra wpływającej, zaś od stawidła.

Do uruchomienia tak regulatora jakoteż stawidła służą zwykłe korby, ustawione w pobliżu miejsca, gdzie maszynista przebywa. Korba regulatora porusza się z lewej na prawo, podobnie do skazówki ściennego zegaru, podczas gdy korba stawidła, porusza się ku maszyniście i od niego, a więc podobnie jak promień pionowo ustawionego koła, lecz zwróconego do maszynisty już nie płaską swą stroną, lecz kantem. Korbą regulatora posuwać więc można w prawo lub lewo, korbę zaś stawidła tylko ku sobie lub od siebie.

Łuk, po którym się posuwa korba regulatora, oznaczonym jest na obydwóch swych końcach literami *o* i *z*, stoi korba na *o*, to znaczy, że regulator jest otwartym, znajduje się zaś na końcu oznaczonym przez *z*, regulator jest zamkniętym. Ustawiając korbę w dowolnym punkcie łuku sprawia maszynista, że do komórki suwakowej dopływa tyle pary, ile właśnie tej pozycyi korby odpowiada.

Ponieważ regulator rozdziela parę, że tak powiem, z grubego tylko, więc też ruch korby regulatorowej nie potrzebuje być drobiazgowo oznaczonym. Ustawienie korby podług oka już wystarcza, aby wpuścić do *komórki suwakowej* stosowną ilość pary.

Coś podobnego zaś nie uchodzi, skoro wymierzać mamy ilość pary, dostać się mającej z komórki suwakowej do *wnętrza cylindra*, w takim razie dokładny pomiar jest już konieczny, gdyż od ilości tej pary zawisła praca maszyny. Dlatego też łuk, po którym się porusza korba stawidła, podzielonym jest na części tak zwane zęby. Maszynista, ustawiając korbę na ząb środkowy, sprawia, że do wnętrza cylindra dostaje się co sekundę tyle pary, ile potrzeba do wypełnienia 10% jego objętości. Korba, ustawiona na ząb drugi lub trzeci od środka, sprawia wpust pary, wynoszący 2 × 10 lub 3 × 10 procent objętości cylindra, a gdy korba stanie na zębie najwięcej od środka oddalonym, dostaje się do wnętrza cylindra co sekundę możebnie największa ilość pary, (zwykle 90% objętości cylindra).

Korba, poruszając się po jednej połowie łuku, umożliwia ruch maszyny wprzód, poruszając się zaś po drugiej jego połowie, ruch wstecz.

Od oddalenia zaś zęba, od punktu środkowego, zależeć będzie wielkość admisyi czyli *wpustu*, przy danym oporze zatem, szybkość jazdy.

Granice powyż wspomniane, a mianowicie granice 10 i 90% pochodzą ztąd, że tłok nigdy nie powinien docierać do denka cylindra, gdyżby go łatwo mógł uszkodzić, jakoteż, że w skrajnych pozycyach tłoka trzeba pozostawić miejsce dla pary, która przesuwać ma tłok w kierunku odwrotnym.

Nakoniec nadmienić wypada, że prowadząc pociągi lekkie, używa się admisyi 15%, podczas gdy prowadzenie pociągów ciężkich wymaga już wpustu 75%.

15.

Praca pary w cylindrach.

Pracę pary, zawartej w cylindrach, wyzyskać można na cel przewozu w dwojaki sposób, a mianowicie wpuszczając do wnętrza cylindra mało, ale za to wysoko prężnej pary, lub też dużo, lecz mniej prężącej pary.

W pierwszym razie działa para bez mała tym samym naciskiem, jaki miała w kotle, tak więc, że podczas całej drogi tłoka nacisk pary na jego przekrój się nie zmienia.

W drugim zaś razie, w cylindrze odcięta para rozszerzając się, tłok w poprzód siebie posuwa, a ponieważ w miarę usuwania się tłoka para co raz większe miejsce w cylindrze znajduje, więc też ciśnienie jej, w każdej pozycyi tłoka zmieniać się będzie. Mówimy w takim razie, że para pracuje ekspansyą, a ilość do cylindra początkowo wpuszczonej pary zowiemy *admisyą* czyli *wpustem*.

Ponieważ w lokomotywach zawsze używamy ekspansyi, więc się też zastanowić wypada nad pracą *ekspandującej* pary. Przypuśćmy, że cylinder mieści w sobie 60 litrów wpuszczając do niego 12 litrów pary, mówimy, że admisya czyli wpust wynosi $\frac{12}{60} = {}^1/_5$ czyli 20% objętości cylindra.

Para, pozostawiona samej sobie, pocznie się rozprężać, skutkiem czego tłok nie pozostanie tam, gdzie stał na początku, gdy parę wpuszczano do cylindra, t. j. w oddaleniu $^1/_5$ długości cylindra od denka, lecz posuwać się będzie wprzód, a gdy wreszcie dobiegnie kresu, to para, która początkowo zajmowała $^1/_5$ objętości cylindra, cylinder obecnie wypełni, zajmie więc 5 razy więcej miejsca, niż zajmowała pierwej, przez co prężność jej nie będzie tą samą, jaką była na początku, lecz się zmniejszy.

Gdyby prężność pary malała w stosunku do objętości, którą para zajmuje, t. j. gdyby ekspansya pary podlegała prawu znanemu pod nazwiskiem *Mariotta*, to w naszym przypadku spaśćby musiała prężność pary w chwili, gdy tłok dobiega kresu, do $^1/_5$ pierwotnej wartości, prężyła para wkraczając do cylindra, siłą 10 atmosfer, to prężność jej wynosiłaby w chwili, gdy tłok drogę swą kończy, już tylko $\frac{10}{5} = 2$ atmosfer, tak więc, że przeciętne prężenie pary w cylindrze wynosiłoby $\frac{10 + 2}{2} = 6$ atmosfer, czyli $\frac{6}{10} = 0{\cdot}6$ pierwotnego prężenia.

Oznaczamy liczbę, która wyraża, jaką prężenie przeciętne jest częścią prężenia początkowego, literą α, a początkowe prężenie pary wynosi P, przeciętne zaś p atmosfer, to mieć będziemy

$$p = \alpha P$$

a będzie dla wpustu 20%, $\alpha = 0 \cdot 6$ skoro ekspansya pary podlega prawu Mariotta, ponieważ jednak rozprężająca się para temu prawu nie podlega, więc też otrzyma α nietylko dla wpustu 20%, ale dla wszystkich innych wartości wpustu, inną wartość, niż jest ta, którą podaje prawo Mariotta.

Prawa, podług którego para w cylindrze się rozpręża, nie znamy jeszcze dokładnie, mechaniczna teorya ciepła uczy, że nie uwzględniając przeciwnego prężenia zgniatanej pary, znajdującej się przed tłokiem, a więc pary, którą wycisnąć trzeba na wolne powietrze, wynosi dla wpustów wyrażonych w procentach długości cylindra

w =	10	20	30	40	50	60	70
α =	0·298,	0·498,	0·634,	0·746,	0·832,	0·897,	0·945

Geber (1878), starając się podane liczby ująć we wzór algebraiczny, przechodzi do wyrazu

$$\alpha = \frac{w}{100}\left\{9-8\sqrt[8]{\frac{w}{100}}\right\}$$

który bardzo się zbliża do teoryi, tak, że go w miejsce powyższej tabliczki zawsze użyć będzie można; tak np. otrzymujemy dla początkowego prężenia pary, wynoszącego 10 atmosfer

Podług	dla wpustu wynoszącego						
	10	20	30	40	50	60	70
	procent długości cylindra, prężenia wynoszące atmosfer						
teoryi	2·98	4·98	6·34	7·46	8·32	8·97	9·45
wzoru Gebera	3·00	4·91	6·35	7·46	8·32	8 96	9·44

Dla wpustu 50% wynosi np. przeciętne prężenie 8·32 atmosfer, skoro para wchodząc do cylindra prężyła siłą 10 atmosfer, ze względu jednak, że tłok posuwając się wprzód, nie znajduje cylinder próżny, lecz cylinder komunikujący z atmosferą, że więc w nim istnieje ciśnienie jednej atmosfery, odciągnąć trzeba od powyższego rezultatu jedną atmosferę, tak więc, że przeciętne ciśnienie wynosić będzie 8·32 — 1 = 7·32 atmosfer. Podług prawa Mariotta wynosiłoby przy wpuście 50%, tj. przy rozprężaniu się pary do podwójnej objętości, końcowe ciśnienie $\frac{10}{2} = 5$, średnie przeto $\frac{10+5}{2} = 7{\cdot}5$, a nie 7·32 atmosfer.

Niemieccy marynarze używają zaś wzoru:

$$p = P - \frac{(4\,P+1)(100-w)^2}{60000}$$

w którym to wzorze wyraża *p* przeciętne, *P* początkowe prężenie pary mierzone w atmosferach, *w* zaś wpust pary mierzany w procentach objętości cylindra. Wzór ten zgadza się dosyć dobrze z teoryą, jak to widzieć można z następującego zestawienia:

Podług	dla wpustu w procentach						
	10	20	30	40	50	60	70
	wynosi przeciętne prężenie w atmosferach						
teoryi	2·98	4·98	6·34	7·46	8·32	8·97	9·45
Gebera	3·00	4·91	6·35	7·46	8·32	8·96	9·44
marynarki	4·45	5·63	6·31	7·84	8·29	8·91	9·39
Haedicke	3·6	5·3	6·6	7·6	8·4	9·0	9·5

w którem także przytoczono najnowszą (1880) tabliczkę inżyniera *Haedicke*, celem porównania jej z wzorami podanemi.

Uwzględniając ciśnienie przez tłok zgniatanej pary, jakoteż odciągając ciśnienie atmosfery, znajdującej się przed tłokiem, otrzymuje *Welkner*, na podstawie umyślnie urządzonych pomiarów, wzór:

$$\alpha = \frac{\sqrt{w}-2\cdot_2}{9}$$

określający w *przybliżeniu* stosunek, w którym stoi ciśnienie przeciętne, do pierwotnego ciśnienia w cylinder wkraczającej pary, powziąść można z powyższego wzoru:

$w =$	10,	20,	30,	40,	50,	60
$\alpha =$	0·107,	0·251,	0·310,	0·480,	0·540,	0·630

tak więc, że dla admissyi $w = 50\%$ wyniesie przeciętne prężenie pary 5·4 atmosfer, skoro para, wkraczając do cylindra, prężyła siłą 10 atmosfer.

Welkner, przytaczając swój wzór, przyjmuje, że para przechodząc z kotła do cylindra, nie traci nic na swej prężności, że więc początkowe prężenie pary równa się prężeniu w kotle, doświadczenie jednak pouczyło, że para, przechodząc z kotła do cylindra, na swej prężności traci, a strata zawisłą jest od wielkości *wpustu*, malejąc przy zwroście tegoż.

Tak np. cisnąć będzie para prężąca w kotle siłą 8·5 atmosfer w chwili, gdy się dostaje do wnętrza cylindra, przy wpuście

$^3/_8$ już tylko siłą . . . 7·4
$^4/_8$ „ „ „ . . . 8·1
$^6/_8$ „ „ „ . . . 8·4

atmosfer.

Ztąd wypada, że ściśle biorąc, nie będzie można wyrazić przeciętne ciśnienie wzorem

$$p = \alpha P$$

w którym wyraża α współczynnik niezależny od P, t. j. od prężenia w kotle, bo α właśnie funkcyą owego prężenia być się okazuje.

Uwzględniając tę okoliczność, wyraża też *Clark* przeciętne ciśnienie w cylindrze doświadczalnym wzorem

$$p = \frac{p^1}{100}\left\{13{\cdot}5\sqrt{w} - 28\right\} \ldots \qquad (11$$

w którym oznacza:

p ... przeciętne prężenie pary w cylindrze, wyrażone w kilogramach na $\square^{cm}$ przekroju tłoka.

p^1 ... prężenie do cylindra wchodzącej pary, również w kilogramach na $\square^{cm}$ przekroju tłoka.

w ... wpust pary w procentach objętości cylindra.

Jako wartości przeciętne przyjąć można

w	20	30	40	50	60	70
p^1	7	7·2	7·4	8·1	8·3	8·4

Ponieważ wzór *Clarka* dla praktyki nie jest wygodnym, *Welknera* zaś nie odznacza się zbyt wielką dokładnością, więc starano się zestawić tabliczkę, która powyższych niedogodności nie posiada.

Tabliczkę taką zestawił inżynier *Borries*, a odpowiada ona wszystkim wymogom praktyka, zestawienie jego opiewa zaś, jak następuje:

w	10	20	30	40	50	60	70	80
α	0·153	0·318	0·446	0·549	0·627	0·690	0·737	0·844

Streszczając to, co przytoczono, przychodzimy do wniosku, że przyjąć można z dokładnością wystarczającą dla praktyki

$$p = \alpha P \ldots \qquad (12$$

jako wzór służący do obliczania przeciętnego prężenia w cylindrze, biorąc dla α wartości z tabliczki Borriesa.

Tutaj wyraża:

p . . . przeciętne prężenie w cylindrze, wyrażone w kilogramach na □cm przekroju tłoka.

P . . . prężenie w kotle w kilogramach na □cm ściany kotła.

α . . . współczynnik doświadczalny, wzięty z tabliczki Borriesa.

Chodzi zaś nie tak o *obliczenie* przeciętnego prężenia, jak tylko o *szacowanie* jego wielkości, to przyjąć można ze względu, że lokomotywy pracują przeciętnie wpustem 56—65%,

$$\alpha = 0{\cdot}65$$

gdyż dla tych wpustów podaje tak tabliczka Borriesa, jakoteż wzór Welknera powyższą wartość; (wzór Welknera podaje np. dla w = 64, α = 0·644), w takich to razach pisać można

$$p = 0{\cdot}65\ P \ldots \qquad (13$$

otrzymując tym sposobem wzór, służący do *szacowania* wielkości prężenia w cylindrze, znając prężenie w kotle.

16.

Istota ekspanzyi.

W przeszłem stuleciu nie używano pary do *pracy*, lecz uważano ją jedynie tylko jako środek do wytwarzania *próżni*. Para zastępowała niejako pompę rozrzedzającą powietrze, a była instrumentem wygodnym, gdyż nie potrzebowała do uruchomienia nic więcej, jak tylko odrobinę zimnej wody. Para, wchodząc do cylindra, wyciskała szczelinami tam znajdujące się powietrze, a gdy ją skropiono zimną wodą, zamieniała się na wodę, zajmującą daleko mniej miejsca, skutkiem czego w cylindrze pozostawała próżnia. Otaczające powietrze wciskało w próżnię tłok uwieszony na jednym końcu balansiera, balansier, nachylając się, wyciągał w górę pompę, umieszczoną na drugim jego końcu, a gdy tłok przybył do spodu, tak że powietrze na obydwie jego strony jednako cisnęło, nabrał ciężar pistona przewagę i wyciągał tłok do góry, poczem wpuszczano do cylindra nową ilość pary i t. p.

Widzimy więc, że pracując tym sposobem, własności *rozprężenia się* pary wcale nie używano; a *Evans* w Ameryce był pierwszym, który to spostrzegł. Zauważał on bowiem już w roku 1803, a więc zanim jeszcze lokomotywa świat ujrzała, że parę wyzyskać można lepiej, dając jej możność do *pracowania*, aniżeli używać ją li tylko jako *środek do wytwarzania próżni.*

A zdaniem swojem wyprzedził nietylko swych współcześników, ale nawet część dzisiejszych techników.

Dzisiaj wpuszczamy parę do wnętrza cylindra, nie napełniając go jednak zupełnie, para zajmując przy wkroczeniu pewną część jego objętości, a pozostawiona samej sobie, *rozprężać* się poczyna, a rozprężając się, tłok wprzód siebie posuwa, przyprowadziwszy go do kresu, uchodzi na wolne powietrze, a świeża para, wkraczając z drugiej strony tłoka, *rozprężając się* posuwa go w kierunku odwrotnym.

W takim składzie rzeczy, nie służy już para jako wygodny środek do wytwarzania próżni, lecz *sama pracuje,* a pracę tę znać trzeba dokładnie, chcąc pojąć korzyści ekspanzyi.

Napełniając cylinder parą, cisnącą siłą 9 atmosfer, otrzymujemy pewien skutek, a mianowicie ciśnienie, wynoszące na każdy kwadratowy centimetr przekroju tłoka, 9 kilogramów. Zawiera w sobie cylinder 60 litrów, to widzimy, że 60 litrami pary otrzymano ciśnienie 9 atmosfer. Gdyby wzięto połowę tej ilości, a więc 30 liter *równoprężnej* pary, a wpuszczono tę parę do cylindra o połowę krótszego, to uzyskanoby połowę tego skutku, t. j. uzyskanoby prężenie $\frac{9}{2} = 4^1/_2$ atmosfer.

Wpuszczamy zaś owe 30 litrów pary do tego samego cylindra, który mieści w sobie 60 litrów, to para mając miejsce do zajęcia podwójnej objętości, pocznie się rozszerzać, a przeciętne jej ciśnienie nie będzie już wynosić $4^1/_2$, lecz 5 atmosfer, jak to się przekonać można, wstawiając we wzór *Welknera*, podany w §. 15; w = 50, P = 9; w takim razie będzie bowiem

$$\alpha = \frac{\sqrt{50} - 2\cdot_2}{9} = 5/9$$

a przeto przeciętne ciśnienie

$$p = \frac{5}{9} P = 5/9 \ . \ 9 = 5$$

atmosfer, zysk osiągniony rozprężaniem, wynosi przeto — $4^1/_2 = {}^1/_2$ atmosfery.

Ilością 30 litrów pary, gdy się ona nie rozpręża, uzyskujemy $4^1/_2$, gdy się zaś rozpręża, o $^1/_2$ atmosfery więcej, bo 5 atmosfer ciśnienia. Gdyby wpuszczono do cylindra nie $^1/_2$, lecz $^1/_4$ jego objętości, a więc 15 litrów pary, tak że para zającby w nim mogła 4 razy większe miejsce, to prężenie jej nie będzie już $\frac{1}{4} \cdot 9 = 2^1/_4$, lecz, jak to uczy wzór *Welknera*

$$\frac{\sqrt{25} - 2\cdot_2}{9} \cdot 9 = \frac{1}{3} \cdot 9 = 3$$

atmosfery.

Czwartą częścią ilości 60 liter pary, uzyskujemy więc nie czwartą część prężenia, lecz więcej, a mianowicie o $^3/_4$ atmosfery więcej, bo nie $2^1/_4$, lecz 3 atmosfery. Używając 50% wpustu, zyskano $^1/_2$, używając zaś 25% wpustu zyskano już $^3/_4$ atmosfery, a okoliczność ta wykazuje, że napełnieniem cylindra do $^1/_4$ jego objętości uzyskać można większy skutek, aniżeli napełnianiem go do połowy.

Wydawaćby się mogło, że wpuszczając do cylindra coraz mniej pary, osiągaćby można coraz większe zyski. Nie zapominać jednak trzeba, że im mniej do cylindra wpuszczamy pary, tem mniejsze będzie ciśnienie przeciętne. Wpuszczając np. $^1/_{11}$ objętości cylindra, czyli 9%, wyniesie przeciętne prężenie już tylko

$$\frac{\sqrt{9} - 2\cdot 2}{9} \cdot 9 = 0\cdot 8$$

jednej atmosfery, a więc mniej jak jedną atmosferę, co znaczy, że pod wpływem prężenia tak małej ilości pary tłok, nie mogąc zwalczyć nacisku wolnego powietrza (wynoszącego właśnie atmosferę), wcale się nie posunie.

Korzyść używania ekspanzyi, znika więc, używając admisyi 9%, wpuszczając do cylindra za wiele pary, tracimy także, bo przy admisyi $^3/_4$, czyli 75%, wyniesie przeciętne prężenie już nie $^3/_4 \times 9 = 7$ atmosfer, lecz tylko:

$$\frac{\sqrt{75} - 2\cdot_2}{9} \cdot 9 = 6^1/_2$$

atmosfer.

Wynika ztąd, że ekspanzya ma tylko wtedy swą wartość, skoro leży w *pewnych granicach*, granice zaś, znaleźć można w sposób następujący:

Wpustom:

$$\frac{1}{8}, \frac{2}{8}, \frac{3}{8} \dots$$

czyli wpustom:

$$w = 12{\cdot}5,\ 25,\ 37{\cdot}5 \dots$$

odpowiada podług wzoru Welknera (§. 15) przeciętne prężenie:

$$\alpha = 0{\cdot}15,\ 0{\cdot}31,\ 0{\cdot}43 \dots$$

lub w procentach ciśnienia początkowego:

$$\alpha = 15,\ 31,\ 43 \dots$$

mamy więc tabliczkę:

w	12·5	25·0	37·5	50·0	62·5	75·5	87·5
α	15	31	43	54	57	72	80

z której powziąść można, że wpust 62·5% nie jest już korzystnym, gdyż wydaje mniej, jak 62·5, bo tylko 57% pierwotnej prężności.

Ponieważ jednak wzór Welknera niezupełnie jest dokładnym, więc też i wynik powyższy będzie tylko zbliżonym do prawdy.

W powyższym opisie porównano parę ekspandującą, z parą nieekspandującą, ponieważ jednak w cylindrze, para zawsze ekspanduje, więc obliczać wypada korzyść ekspanzyi jak następuje.

Przypuśćmy, że w chwili, w której para wypełnia 30% objętości cylindra, odcięto dalszy jej dopływ do cylindra. Para, pozostawiona w cylindrze samej sobie, poczyna się rozprężać i zajmie, posuwając tłok w poprzód siebie, wnet całą jego objętość. Prężyła w chwili, w której się dostała do cylindra, siłą 8 atmosfer, to spadnie ciśnienie jej, po zajęciu całej objętości cylindra, do wartości:

$$\frac{\sqrt{30} - 2{\cdot}_2}{9} \cdot 8 = 3$$

atmosfer.

Gdyby zaś ekspanzyi wcale nie używano, to wpuścićby trzeba do wnętrza cylindra parę, cisnącą siłą 3 atmosfer, którato para zającby jednak musiała całą objętość cylindra, a nie jak pierwej, 0·3 jego objętości.

Do osiągnięcia jednego i tego samego skutku potrzebuję przeto albo kilogram pary, prężącej siłą 3, lub też $^1/_{10}$ tej ilości, tj. 0·3 kilograma pary prężącej siłą 8 atmosfer. Rozchodzi się teraz o to, co będzie taniej, czy uzyskaskanie 10 razy większej ilości pary prężącej siłą 3 atmosfer, czy też uzyskanie dziesiątej części pary prężącej siłą 8 atmosfer.

Para, prężąca siłą 3 atmosfer, posiada podług tabliczki paragrafu 11 ciepłotę wynoszącą 132·8° C., podczas gdy parze, prężącej siłą 8 atmosfer odpowiada ciepłota 169.46° C. Do przeobrażenia kilograma wody w parę, mającą ciepłotę 132·8° C., potrzebuję:

$$k = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\ .\ 132{\cdot}8 = 647$$

kaloryj, do uzyskania zaś pary mającej ciepłotę 169·46° C.:

$$k = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\ .\ 169{\cdot}46 = 658$$

kaloryj.

Ponieważ tej ostatniej pary nie potrzebuje kilogram, lecz tylko 0·3 kilograma, więc wyniesie wydatek ciepła na osiągnienie tej ilości pary

$$0{\cdot}3.658 = 197$$

kaloryi. A ponieważ koszta pary stoją w prostym stosunku do ilości na nie wydanego ciepła, czyli ilości paliwa, więc widzimy, że koszta uzyskania ekspanzyi stoją, w porównaniu z kosztami uzyskania pełnej pary w stosunku:

$$\frac{e}{p} = \frac{197}{647} = {}^3/_{10}$$

koszta ekspanzyi wynoszą więc 30% kosztów używania pełnej pary.

Widzimy ztąd, że korzyść w używaniu ekspanzyi nie leży w tem, że potrzeba mniej pary, lecz w tej okoliczności, *że taniej jest uzyskać mniejszą ilość wysokoprężnej pary, aniżeli równoważną ilość nizko prężącej pary.*

Używając ekspanzyi, wystarczają do utrzymania ruchu mniejsze kotły, która to okoliczność na budowę machin parowych, wpłynąć musi.

17.

Związek istniejący między ilością pary a chyżością jazdy.

Lokomotywa, stojąca w pogotowiu do prowadzenia pociągu, przedstawia pewien zasób pracy mechanicznej, który wyzyskać można w dwojaki sposób, a mianowicie do spiesznego prowadzenia pociągu lekkiego, lub też do wolnego prowadzenia pociągu ciężkiego.

Z góry jednak już wiemy, że zysk na czasie osiągnąć można tylko kosztem ciężaru pociągu, lub też odwrotnie, ciężar, który maszyna uwieść zdoła, zwiększać tylko można na koszt szybkości przewozu.

A ponieważ ciężar, który przewozić można po danej linii pewną chyżością, zawisł od ilości pary, więc widzimy, że między chyżością jazdy a ilością pary pewien związek zachodzić musi.

Chcąc odszukać ten związek, rozważyć trzeba co następuje:

Para, wytworzona w kotle, uchodzi ztamtąd otworem regulatora i wpływa do komórki suwakowej, a przypływ jej trwa tak długo, dopóki komórka suwakowa się nie napełni.

Komórka ta, nie jest jednak zamknięta, owszem pozostaje ona w połączeniu z cylindrem, które to połączenie jednak nie jest stałem, lecz zmienia się ciągle podczas ruchu, w cylindrze przesuwającego się tłoka.

W początku, t. j. w chwili, w której tłok ruch swój rozpoczyna, dopływ pary do cylindra ~~komórki suwakowej~~ niczem nie jest tamowanym, w miarę postępowania tłoka, zwężają się jednak otwory komunikacyjne między komórką a cylindrem, a zamykają się zupełnie, zanim jeszcze tłok kresu swego dobiega.

Po upływie pewnego czasu nabierze tłok ruchu jednostajnego, a po każdem jego przesunięciu się, dostanie się do cylindra pewna ilość pary, a pod naciskiem *tej właśnie* pary tłok ruch swój odbywać będzie.

Para, dostająca się do wnętrza cylindra po każdorazowem przesunięciu się tłoka, przedstawia więc ten zasób pary, od którego chyżość tłoka, a więc i chyżość jazdy zawisła.

Cząstka ta pary, zwana *wpustem*, przedstawia więc ową siłę, która z chyżością jazdy się zmienia. Im spieszniej jedziemy, tem mniej pary dostać się może za każdem przesunięciem się tłoka (tem mniejszym *wpust* będzie), bo całkowita w czasie sekundy do komórki suwakowej dopływająca ilość pary, rozdzielić się musi na tyle części, ile razy tłok w ciągu sekundy długość cylindra przebiega.

Potrzebuje tłok, do przesunięcia się, czasu jednej sekundy, to wejdzie do wnętrza cylindra tyle pary, ile w czasie sekundy dopłynąć może, np. a kilogramów pary, przesunie się zaś tłok w sekundzie 5 razy, to się dostanie do cylindra po każdem przesunięciu się tłoka, już tylko $\frac{a}{5}$ kilogramów.

Przypuszczając, że kocioł wydaje co sekundę 120 litrów pary (mającej pewną prężność), to dopływać będzie do komórki suwakowej co sekundę 60 litrów pary, bo lokomotywa posiada 2 cylindry, a więc dwie komórki suwakowe.

Wypróżni się cylinder raz na sekundę, to wejdzie po każdem przesunięciu się tłoka, do wnętrza jego 60 litrów pary. Przesunie się zaś tłok nie raz, lecz 5 razy na sekundę, to się dostanie do wnętrza cylindra po każdem przesunięciu się tłoka już tylko $\frac{60}{5} = 12$ liter pary.

Para ta nie wypełnia już cały cylinder, lecz zajmuje w nim (pod supozycyą, że się nie rozpręża) $\frac{12}{60} . 100 = 20\%$ jego objętości, *wpust* wynosi więc 20%, przesunie się tłok 4 razy na sekundę, to wejdzie do wnętrza cylindra za każdem jego przesunięciem się $\frac{60}{4} = 15$ liter pary, w którym to razie *wpust* wynosi $\frac{15}{60} . 100 = 25\%$.

Im częściej w sekundzie tłok drogę swą przebiega, tem mniejszym będzie *wpust*, a ponieważ znamy związek, zachodzący między szbykością tłoka a szybkością jazdy, więc też szukać można związku, jaki zachodzi między wielkością *wpustu*, a szybkością jazdy.

Obróci się koło popędowe, raz w około swej osi, to tłok przesunie się w cylindrze 2 razy, n obrotem koła w sekundzie, odpowiada więc $x = 2 . n$ sunięć, czyli ruchów tłoka.

Podczas jednorazowego obrotu koła popędowego, postąpi pociąg o drogę wynoszącą $\frac{s_1 \pi}{100}$ metrów, skoro wyraża s_1 średnicę koła popędowego w centimetrach, podczas n obrotów koła popędowego, tj. w czasie sekundy, zrobi więc pociąg drogę

$$c = \frac{s_1 \pi}{100} \cdot n$$

metrów, a ponieważ $n = \frac{x}{2}$ więc wypada:

$$x = \frac{2 \times 10^2 \times c}{s_1 \pi}$$

jako związek, zachodzący między ilością ruchów tłoka (x), a chyżością jazdy (c), wyrażoną w metrach na sekundę.

Przepuszcza zaś regulator do komórki suwakowej na sekundę z metrów sześciennych pary, to wejdzie do jednej z obydwóch komórek $\left(\frac{z}{2}\right)$ metrów.

Przesuwa się tłok na sekundę x razy, to dostaje się do wnętrza jednego cylindra za każdem przesunięciem się tłoka $\left(\frac{z}{2x}\right)$ metrów sześciennych pary; która to ilość zajmie

$$\frac{\frac{z}{2x} \cdot 100}{o} = \frac{50 \cdot z}{o \cdot x}$$

procent jego objętości, wynoszącej w całości o metrów sześciennych.

Wyraża w wpust pary, to będzie:

$$w = \frac{50 \cdot z}{o \cdot x}$$

procent.

Wzór ten bliżej zostanie określonym, skoro wstawimy tam za o i x odpowiednie wartości.

Wyraża d długość cylindra w centimetrach, s średnicę tłoka również w centimetrach, to będzie

$$o = \frac{d\, s^2 \pi}{4 \cdot 10^6}$$

metrów sześciennych.

A wyraża c chyżość jazdy w metrach, s_1 średnicę koła popędowego w centimetrach, to mamy ze względu na związek:

$$x = \frac{2 \,.\, 10^2 \,.\, c}{s_1 \, \pi}$$

pisząc

$$A = \frac{d \, s^2}{s_1}$$

po krótkim rachunku:

$$w \,.\, c = 10^6 \left(\frac{z}{A}\right)$$

Nie dostaje się zaś do komórki suwakowej na sekundę cała ilość pary, którą kocioł produkuje, lecz tylko a% tejże ilości, to wstawić będzie trzeba w powyższy wzór w miejsce z, wartość $\frac{a}{100} \,.\, z$

a wzór nabierze kształtu:

$$w \,.\, c = 10^4 \, a \left(\frac{z}{A}\right)$$

pisząc dla krótkości:

$$N = 10^4 \,.\, a \left(\frac{z}{A}\right)$$

otrzymujemy szukany związek:

$$w \,.\, c = N \ldots \quad (14$$

wykazujący, że *iloczyn chyżości jazdy i wpustu, jest wartością stałą*, a więc wartością, która podczas jazdy wcale się nie zmienia.

W tym samym stosunku, w którym chyżość jazdy wzrasta, wpust się zmniejsza, tak więc, że iloczyn wzrastającej chyżości, z ujmującym wpustem, zawsze jednakowym pozostaje; czyli innemi słowy: *wpust stoi w odwrotnym stosunku do chyżości jazdy.*

Za pomocą powyższego prawa łatwo obliczać ciężar, jaki maszyna ciągnie, lub też chyżość, którą dany ciężar poprowadzi.

Mamy bowiem:

$$A = \frac{d \, s^2}{s_1} \qquad N = 10^4 . \, a \left(\frac{z}{A}\right) \ldots \quad (15$$

a wyraża tutaj:
w... wpust pary w procentach objętoćci cylindra.
z... ilość pary w metrach sześciennych, którą kocioł na sekundę wydaje.
c... chyżość jazdy w metrach na sekundę.
a... część na sekundę produkowanej pary, którą regulator na sekundę przepuszcza, wyrażoną w procentach całkowitej produkcyi.
d... długość cylindra w centimetrach.
s... średnicę tłoka „
s_1... średnicę koła popędowego w centimetrach.

Nadmienić należy, że się zwykle używa w lokomotywach, służących do prowadzenia pociągów:

pośpiesznych	a =	45%
osobowych		50%
towarowych		60%
ciężkich w górach . .		70%

Przykład.

Do prowadzenia pociągu mamy lokomotywę wydającą na sekundę 200 litrów pary, maszyną tą prowadzić mamy dany pociąg tak szybko, aby przebiegł przestrzeń 18 kilometrów w ciągu 25 minut. Pod supozycyą, że maszyna pracuje admisyą 60% (ekspansyą 40%), a rozmiary jej wynoszą:

średnica koła popędowego . . . . 120 cm.
średnica tłoka . . . . 30 „
długość cylindra . . . . 50 „

zachodzi pytanie, ile pary wchodzić będzie do wnętrza cylindra po każdem przesunięciu się tłoka?

Rozwiązanie. Maszyna dostarcza na sekundę 200 litrów, a więc $^1/_5$ metra sześciennego pary, a ponieważ do przebycia drogi 18 kilometrów potrzebuje czasu 25 minut, więc biedz będzie chyżością 12 m. na sekundę, mamy przeto:

$$a = 60,\ z = {}^1/_5,\ c = 12,\ d = 50,\ s = 30,\ s_1 = 120$$

a przeto:

$$A = \frac{50\ .\ 30^2}{120} = 375 \quad ; \quad N = 60\ .\ 10^4\ .\frac{^1/_5}{375} = 330$$

zkąd wypada:

$$w\ .\ c = 330$$

co znaczy, że podczas całej jazdy wynosić będzie iloczyn *wpustu* i *chyżości* 330; dla chyżości 12 otrzymujemy więc wpust 27.

Ponieważ do komórek suwakowych dostawało się na sekundę 200 litrów pary, do jednej z nich przeto 100 litrów, więc dopływać będzie do wnętrza cylindra za każdem przesunięciem się tłoka 27% tej ilości, tj. 27 litrów pary.

18.
Powierzchnia ogrzewalna.

Paliwo, żarząc się na ruszcie lokomotywy, wydaje pewną ilość ciepła, a wyda go tem więcej, im doskonalej się pali. Ciepło, które wydaje, udziela się ścianie kotła, która znów, stygnąc, przenosi go na wodę, przez co ta ostatnia stopniowo się ogrzewa.

Powierzchnia masy metalu, a więc powierzchnia ścian na których woda przeobraża się w parę, otrzymała nazwę *powierzchni ogrzewalnej*.

Powierzchnia ogrzewalna składa się z dwóch części, a mianowicie z wewnętrznej powierzchni skrzyni ruszt otaczającej i zewnętrznej powierzchni rur, któremi krążą rozpalone gazy. Powierzchnia, otaczająca ruszt, wystawioną jest na bezpośrednie działanie płomienia, na ruszcie palącego się paliwa; powierzchnia zaś rur, przerzynających wnętrze kotła, otrzymuje ciepło swe już tylko pośrednio, bo od gazów uchodzących. Dlatego też, nie będą miały obydwie powierzchnie jednakową wartoś ogrzewalną, powierzchnia skrzynki rusztowej otrzymując więcej ciepła od paliwa, odda go więcej, ogrzewa przeto lepiej wodę, aniżeli powierzchnia rurpłomiennych. Z tej to przyczyny rozróżniamy w każdej lokomotywie powierzchnię bezpośrednio ogrzaną, jakoteż powierzchnię ogrzaną pośrednio. Wielkość powierzchni bezpośrednio ogrzanej zawisłą jest od rozłożystości rusztu, na którym się paliwo pali, podczas gdy wielkość powierzchni pośrednio ogrzanej, zależy li tylko od ilości i rozmiarów rur płomiennych.

Powierzchnia rusztów wynosi dla lokomotyw:

małych	do . . .	1·5 □m
średnich	„ . . .	2·0 „
wielkich	powyżej .	2·0 „

a powierzchniom tym odpowiada powierzchnia bezpośrednio ogrzana przy rusztach:

małych	do . . .	8
średnich	„ . . .	10
wielkich	powyżej .	10

metrów kwadratowych.

Zazwyczaj nadaje się lokomotywom 150—250 rur płomiennych 3—5 metrów długich, których zewnętrza średnica wynosi 40—45 milimetrów, grubość zaś ścian $2-2\frac{1}{2}$ milimetrów. Doświadczenie poucza, że metr kwadratowy powierzchni bezpośrednio ogrzanej wydaje na godzinę 180, metr kwadratowy rur płomiennych, przeciętnie zaś tylko 20 kilogramów pary.

Wynosi powierzchnia bezpośrednio ogrzana *b* metrów kwadratowych, powierzchnia zaś pośrednio ogrzana (powierzchnia rur płomiennych) *p* metr kwadratowych, to przeobraża maszyna, na godzinę:

$$180 \cdot b + 20 \cdot p$$

kilogramów wody w parę.

Na metr kwadratowy całkowitej powierzchni (p+b) wypada przeto przeciętnie

$$\frac{180\ b + 20\ p}{b + p}$$

kilogramów pary.

Za zwyczaj przyjmuje się, że maszyna wydaje na □^m^ swej powierzchni ogrzewalnej 40 kilogramów pary, mamy przeto:

$$\frac{180\ b + 20 \cdot p}{b + p} = 40$$

zkąd stósunek powierzchni pośrednio ogrzanej do powierzchni bezpośrednio ogrzanej:

$$\frac{p}{b} = \frac{1}{7}$$

Nie wszędzie jednak stosunek taki znachodzimy, maszyny wyrabiane w

Niemczech	mają stosunek	$\frac{1}{12} - \frac{1}{16}$
Austryi		$\frac{1}{15} - \frac{1}{18}$
Belgii		$\frac{1}{9} - \frac{1}{10}$

i t. p.

A różnice pochodzą ztąd, że rury płomienne nie ogrzewają się w całej swej długości jednako silnie, części rur znajdujące się bliżej paleniska ogrzewają się mocniej, niż części od paleniska więcej oddalone. Doświadczenie francuzkich dróg żelaznych poucza, że □^m^ rur, znajdujący się w oddaleniu:

1^m od paleniska wydaje	. . . .	33
2 „ „ „	. . . .	17
3 „ „ „	. . . .	10
4 „ „ „	. . . .	7
5 „ „ „	. . . .	5

kilogramów pary na godzinę.

System ogrzewalny, składający się z pięciometrowych rur, wyda więc:

$$\frac{33 + 17 + 10 + 7 + 5}{5} = 14$$

kilogramów pary na godzinę.

Rozdzielamy zaś długość rur nie na metrowe odległości, lecz dzielimy ją na nieskończenie małe cząstki, a całkowita długość rury wynosi *a* metrów, to wyraża podług pana *Busse* doświadczalny wzór:

$$K = \frac{220}{1{\cdot}6\ (1{\cdot}6 + a)} \qquad (16$$

ilość wody w kilogramach, którą w godzinie przeobrazić można w parę, na każdym metrze powierzchni ogrzewalnej.

Tutaj oznacza:

K.. ilość pary w kilogramach, którą otrzymamy na $\square^m$ powierzchni ogrzewalnej w ciągu godziny.

a... długość rur płomiennych, w metrach.

Mamy kocioł, w którym rury płomienne mają po 5^m długości, to wyda metr $\square$ powierzchni wszystkich rur

$$k = \frac{220}{1{\cdot}6(1{\cdot}6+5)} = 21$$

kilogramów pary na godzinę, wynosiła powierzchnia wszystkich rur płomiennych 120^m, to wyda powierzchnia pośrednio ogrzana, w całości

$$120 \times 21 = 2520$$

kilogramów pary na godzinę.

Wynosiła powierzchnia bezpośrednio ogrzana $10\square^m$, to przeobrazić na niej można $10\times180 = 1800$ kilogramów wody w parę, tak więc, że całkowita powierzchnia wynosząca $10 + 120 = 130\ \square^m$, wyda $2520 + 1800 = 4320$ kilogramów pary, na godzinę, na metr kwadratowy wypada więc $\frac{4320}{130} = 34$ kilogramów pary.

Wzór podany poucza, że przy niezmiennej wielkości powierzchni rur płomiennych, otrzymamy więcej pary, używając kotłów z krótkiemi rurami.

Kocioł n. p. mający tę samę powierzchnię ogrzewalną co pierwej, jednakowoż rury nie 5^m lecz tylko $3\frac{1}{2}$ metrowe, wyda na godzinę już nie

$$180 \times 10 + \frac{220}{1 \cdot 6(1 \cdot 6 + 5)} = 4320$$

lecz

$$180 \times 10 + \frac{220}{1 \cdot 6(1 \cdot 6 + 3 \cdot 5)} = 5028$$

kilogramów pary, przy tej samej ilości paliwa.

Robiąc rury krótsze, zwiększać jednak musimy ich ilość, która to okoliczność pewną długość rur, jako minimum nam wskazuje.

W najlepszym razie przyjąć można, że

lokomotywa służąca do prowadzenia		
pociągów	dostarcza na metr □ swej powierzchni ogrzewalnej, gdy się opala	
	drzewem	węglem
	na godzinę, kilogramów pary	
pospiesznych	—	43
osobowych	35	40
towarowych	27	36

Liczby powyższej tabliczki uważać należy, jako produkcyę możebnie największą. *Koch* przyjmuje, że metr kwadratowy powierzchni ogrzewalnej przeciętnie wydaje na godzinę przy maszynach służących do prowadzenia pociągów

osobowych 31 }
towarowych 26 } kilogramów pary.

Wzór podany pod numerem 16 odnosi się do stósunków *przeciętnych*, t. j. do stósunków, w których dmuchawką uchodząca para, tak rozżedza za sobą powietrze, że jego ciśnienie spada do wartości 60^{mm}. Chcąc zaś obliczać *możebnie największą ilość* pary, jaką wydać może metr kwadratowy systemu rur płomiennych, z których każda, posiada *a* metrów długości, używać trzeba podług pana *Busse* wzoru

$$K_{max} = \frac{415}{1 \cdot 9\,(1 \cdot 9 + a)} \qquad (17$$

w którym wyraża:

K_{max}... możebnie największą ilość pary, jaką otrzymać można w ciągu godziny na $\square^m$ powierzchni rur płomiennych, a mierzaną w kilogramach.

a... długość rur płomiennych, wyrażoną w metrach.

Lokomotywa nasza, wyda przeto:

$$k_{max} = \frac{415}{1 \cdot 9(1 \cdot 9 + 5)} = 91$$

kilogramów pary na każdy $\square$ powierzchni rur płomiennych, na powierzchni pośrednio ogrzanej zaś

$$120 \times 91 = 10920$$

kilogramów pary.

A ponieważ powierzchnia bezpośrednio ogrzana, wydaje $180 \times 10 = 1800$ kilogramów, więc dostarcza kocioł, na godzinę

$$10920 + 1800 = 12720$$

kilogramów, na $\square^m$ przeto:

$$\frac{12720}{120+10} = 97$$

kilogramów pary.

Widzimy więc, że szybki rozwój pary nie zależy tak od *wielkości* powierzchni ogrzewalnej, jak od jej *dobroci*, t. j. od stosunku, w jakim się znajduje część wystawiona na bezpośrednie działanie ognia, do części pośrednio ogrzanej, czyli innemi słowy, że długość rur płomiennych uważać nie można jako cechę dobroci powierzchni ogrzewalnej.

19.

Wzory doświadczalne, służące do szacowania wielkości powierzchni ogrzewalnej.

W drodze doświadczenia wyszukano kilka wzorów, za pomocą których szacować można wielkość powierzchni ogrzewalnej, znając rozmiary, lub ciężar, lub pracę lokomotywy.

Tak n. p. znaleziono, że wyrazić się daje powierzchnia ogrzewalna dosyć dokładnie wzorem

$$H = 7 \cdot \left(\frac{S}{10}\right)^2 \qquad (18$$

w którym oznacza:

H... powierzchnię ogrzewalną w metrach kwadratowych.
s... średnicę tłoka w centimetrach.

Lokomotywie, posiadającej cylindry o 40 centimetrach średnicy, wypada nadać powierzchnię ogrzewalną, wynoszącą:

$$H = 7. \left(\frac{40}{10}\right)^2 = 112$$

metrów kwadratowych.

Wyraża *i* ilość rur płomiennych jaką lokomotywa posiada, to pisać można, podług pana *Koch*:

$$\left.\begin{array}{l} H_0 = \frac{1}{2}\,i \\ H_t = \frac{3}{5}\,i \end{array}\right\} \qquad (19$$

z których wzorów, pierwszy odnosi się do lokomotyw służących do prowadzenia pociągów osobowych, drugi zaś, do lokomotyw dla pociągów towarowych.

Lokomotywa prowadząca pociągi osobowe, posiadająca 180 rur płomiennych, mieć będzie powierzchnię ogrzewalną wynoszącą $\frac{1}{2}$. 180 = 90 metrów kwadratowych.

Wzór, dozwalający szacować wielkość powierzchni ogrzewalnej ze znanej pracy lokomotywy, przytacza *Koch* jak następuje:

$$H = \frac{S \, . \, c}{200} \qquad (20$$

w którym wyraża:
H... powierzchnię ogrzewalną w metrach kwadratowych.
S... siła przewozowa lokomotywy, wyrażona w kilogramach.
c... chyżość jazdy, w metrach na sekundę.

Wynosi siła przewozowa pewnej maszyny 4000 kilogramów, a maszyna biegnie chyżością 10 metrów na godzinę, to mieć musi lokomotywa taka, powierzchnię ogrzewalną, która wynosi

$$H = \frac{4000 \times 10}{200} = 200$$

metrów kwadratowych.

Znając ciężar lokomotywy, wyrazić się daje podług pana *Grove* wielkość powierzchni ogrzewalnej, w przybliżeniu wzorem:

$$H = 6\ (M - 15) \qquad (21$$

w którym wyraża:

H... powierzchnię ogrzewalną w □ᵐ.
M... ciężar lokomotywy w tonnach, nie licząc w to ciężar tendera.

Lokomotywa mająca odrębny tender, ważąca 35 tonn, posiada podług wzoru numer 21 powierzchnię ogrzewalną, wynoszącą w całości

$$H = 6\ (35-15) = 120$$

metrów kwadratowych.

Co się zaś tyczy rozmiarów powierzchni ogrzewalnej, to ważniejsze z nich zawiera następująca tabliczka:

lokomotywa służąca do	biegnąc chyżością		posiada powierzchnię ogrzaną	
	kilometr na godzinę	metrów na sekundę	bezpośrednio	pośrednio
			□ metrów	
prowadzenia pociągu pospiesznego	80	22	9	100
„ „ osobowego	50	14	9	90
„ „ towarowego	25	7	8	130
szykowania wozów	25	7	8	80

Nie dzieląc zaś lokomotywy na pociągi, które one prowadzą, lecz klasfikując je podług osi, na których spoczywają, przyjąć można podług pana *Grove*, że dla lokomotyw posiadających odrębny tender, a mających:

$$\begin{array}{l} 2 \text{ osie, wynosi} \\ 3 \ \text{„} \quad \text{„} \\ 4 \ \text{„} \quad \text{„} \end{array} \qquad H = \left\{ \begin{array}{l} 78 \\ 162 \\ 246 \end{array} \right.$$

metrów kwadratowych.

20.

Rozmiary cylindrów i kół popędowych.

Objętość cylindrów stósować się winna do ilości pary, którą wydaje powierzchnia ogrzewalna, wydaje maszyna na sekundę kilogram, czyli $^1/_5$ metra sześciennego pary, to objętość obydwóch jej cylindrów wynosićby musiała $^1/_5$ metra sześciennego, gdyby każdy cylinder wypróżniał się raz na sekundę, a para wchodząc do ich wnętrza, wypełniała je zupełnie. Wypełnia zaś para tylko połowę objętości cylindra, to musi on być dwa razy większym, w naszym razie, musiałby jeden już cylinder mieć $^1/_5$ metra sześciennego objętości. Ponieważ ilość wypróżnień się cylindra, zależy od chyżości tłoka, a więc od chyżości jazdy, to też i objętość cylindra zawisłą będzie od chyżości jazdy, a więc od średnicy koła popędowego.

Grove podaje, że długość cylindra wyrazić można wzorem doświadczalnym

$$d = 86 - 0{\cdot}17 .\ s_1 \qquad (22$$

w którym wyraża:

d... długość cylindra w centimetrach.

s_1.. średnica koła popędowego w centimetrach.

Maszyna posiadająca koła popędowe, mająca 150 centimetrów wysokości mieć będzie cylinder, którego długość wynosi:

$$86 - 0{\cdot}17.150 = 60{\cdot}5$$

entimetrów.

Średnicę *cylindra*, a więc średnicę tłoka, wyrazić zaś można, podług tegoż samego autora, doświadczalnym wzorem:

$$s = 2\sqrt{\frac{S .\ s_1}{i .\ p .\ d .}} \qquad (23$$

w którym wyraża:

s... średnice tłoka, w centimetrach.

s_1.. średnicę koła popędowego w centimetrach.

S... siłę przewozową w kilogramach.

d... długość cylindra, w centimetrach.

p... prężenie pary w cylindrze, wyrażone w atmosferach.

i... liczba stała, mająca wartość dla maszyn służących do prowadzenia pociągów:

pospiesznych . .		3·75
osobowych . . .	$i =$	3·25
towarowych. . .		2·50
w górach . . .		2·15

Tak n. p. dla maszyny, której siła przewozowa wynosi 6000 kilogramów, spoczywającej na 150 centimetrów wysokich kołach popędowych' posiadającej 60^{cm} długie cylindry, w której para pręży siłą 10 atmosfer na ścianę kotła, wyniesie średnica cylindra:

$$S = 2\sqrt{\frac{6000.150}{3 \cdot 75.10.60}} = 40$$

centimetrów.

Średnicę zaś *koła popędowego* obliczyć można na tej podstawie, że koło takie nie powinno się na sekundę częściej jak 4 razy, obrócić, jeżeli składowe części lokomotywy cierpieć nie mają.

Wyraża s_1 średnicę koła popędowego w centimetrach to posunie się pociąg podczas jednego obrotu koła popędowego o drogę $s_1\pi$ centimetrów, czyli o drogę:

$$\frac{s_1.\pi}{100}$$

metrów, w sekundzie wyniesie droga ta przeto:

$$4.\frac{s_1\pi}{100} = \frac{s_1\pi}{25}$$

Ponieważ drogę pociągu, przebytą w sekundzie, a wyrażoną w metrach, zowiemy *chyżością*, a dla takiej, obrano znak c; mamy:

$$\frac{s_1\pi}{25} = c$$

z którego wyrażenia wypada:

$$s_1 = \frac{25.c}{\pi} \qquad (24$$

Gdyby chciano uzyskać chyżość 20^m na sekundę, nadać by musiano kołom popędowem wysokość:

$$s_1 = \frac{25 \cdot 20}{3 \cdot 14} = 159$$

centimetrów.

W miejsce wzoru powyższego podaje *Grove* wzór:

$$s_1 = 95 + 4.C \qquad (25$$

w którym wyraża:
s_1 .. średnicę koła popędowego w centimetrach.
c... chyżość jazdy w metrach na sekundę.

Dla chyżości 20^m wypada podług tego wzoru:

$$s_1 = 95 + 4\times20 = 175$$

centimetrów.

21.
Siła przewozowa.

Do prowadzenia pociągu, potrzeba pewnej siły, której to siły dostarcza para, ponieważ jednak siła pary nie działa w poziomie szyny, tam gdzie opór się zjawia, lecz wyżej, bo we wysokości tłoka przesuwającego się w cylindrze, więc sprowadzić ją przed wszystkiem trzeba na poziom szyny, a siła pary tam sprowadzona, otrzymała nazwę *siły przewozowej*.

Pod siłą przewozową rozumiemy więc, siłę pary sprowadzoną na poziom szyny.

Ponieważ siła pary zależy od jej prężności i od przekroju tłoka, a przenosi się na poziom szyny, za pomocą koła popędowego, więc siła przewozowa objawiać się będzie w ten sposób, że się zwiększać będzie ze zwiększaniem się tak prężności jak i przekroju tłoka, ujmować zaś będzie w miarę wysokości koła popędowego.

Związek zaś, jaki zachodzi pomiędzy prężnością pary przekrojem tłoka, a średnicą koła popędowego, odszukać można w sposób następujący:

Posiada tłok *s* centimetrów średnicy, to wynosi jego przekrój $\frac{s^2\pi}{4}$ kwadratowych centimetrów, a pręży para przeciętnie siłą p kilogramów na każdy kwadratowy centimetr tegoż przekroju, to wynosi ciśnienie pary $\frac{s^2\pi}{4}. \ p$ kilogramów, które to ciśnienie, skoro się go sprowadzi na poziom szyny, przedstawiać będzie ową siłę, którą zowiemy *siłą przewozową*.

Sprowadzić zaś można siłę tę na poziom szyny bardzo łatwo, zważając, że skoro koło popędowe obróci się raz w około swej osi, tłok przebiegnie całą długość cylindra wynoszącą d centimetrów, raz tu, drugi raz napowrót, zrobi więc drogę $2d$ centimetrów.

A ponieważ iloczyn siły i drogi przedstawia pracę mechaniczną, więc wynosić będzie mechaniczna praca pary, wykonana podczas jednego obrotu koła popędowego

$$2d. \frac{s^2\pi}{4} p$$

centimeterkilogramów, ponieważ jednak lokomotywa posiada 2 cylindry, więc praca całej maszyny będzie dwa razy większą, wynosząc

$$s^2 \pi d p$$

centimeterkilogramów.

Koło popędowe mające s_1 centimetrów średnicy, zrobi obracając się raz w około swej osi, na szynie drogę $s_1\pi$ centimetrów; wyraża S siłę przewozową, działającą na poziomie szyny, a mierzoną w centimetrach, to wynosi mechaniczna praca tejże siły, wykonana w czasie jednego obrotu koła popędowego $s_1\pi$. S centimeterkilogramów, mamy przeto równanie

$$s_1 \pi. S = s^2\pi. d. p.$$

z którego wypada:

$$S = \frac{d s^2}{s_1}. p \qquad (26$$

wzór służący do obliczania siły przewozowej, w którym wyraża:

S... siłę przewozową, mierzoną w kilogramach.
s... średnicę tłoka.
s_1.. średnicę koła popędowego, obydwie średnice wyrażone w centimetrach,
p... zaś, prężenie pary w kilogramach, na centimetr kwadratowy tłoka, czyli przeciętne prężenie pary na tłok, mierzane w atmosferach.

W paragrafie 17 nazwano dla krótkości

$$\frac{ds^2}{s_1} = A$$

uwzględniając to, otrzymamy:

$$S = A. p. \qquad (27$$

wielkość siły przewozowej.

Pręży para w *kotle*, siłą P kilogramów na kwadratowy centimetr jego ściany, to wyniesie podług § 15 przeciętne jej prężenie w *cylindrze*, 0·65 P kilogramów, w którym to razie otrzymamy

$$S = 0{\cdot}65. A. P. \qquad (28$$

wzór określający *w przybliżeniu* wielkość siły przewozowej, w którym oznacza:

S... siłę przewozową w kilogramach,
P... prężenie pary w kotle, wyrażone w atmosferach.
A... liczbę stałą, której wielkość określają rozmiary cylindra i koła popędowego, podług już przytoczonego wzoru.

Przykład.

Pręży para siłą 8 atmosfer, a wynosi:

średnica koła popędowego	120
średnica tłoka	35
długość cylindra	50

centimetrów, to będzie $A = \frac{30 \cdot 35^2}{120} = 510$

a przeto siła przewozowa tej maszyny:

$$S = 0{\cdot}65 \times 510 \times 8 = 2652$$

kilogramów.

Maszyna ta, zwalczać więc będzie opór wynoszący 2652 kilogramów, gdybyśmy n. p. wiedzieli, że każda tonna prowadzić się mającego pociągu, przedstawia ruchowi opór, który wynosi 10 kilogramów, to maszyna prowadzićby mogła pociąg, ważący $\frac{2652}{10} = 265{\cdot}2$ tonn.

22.

Zależność siły przewozowej od szybkości jazdy.

Wzór podany w poprzednim paragrafie pod numerem 28, nie zawiera w sobie szybkość jazdy, wnioskowaćby przeto można, że siła przewozowa od szybkości jazdy nie zawisła. Zadawalniając się *przybliżeniem*, a wzór numer 28 określa wielkość siły przewozowej tylko w przybliżeniu, przyjąć można, jakoby siła przewozowa niezależną była od szybkości jazdy.

Biorąc sprawę w *przybliżeniu*, przyjęto, że przeciętne prężenie pary w cylindrze wynosi 0·65 kilogramów prężenia w kotle. Wykazano jednak w § 15, że liczba ta, odnosi się tylko do wpustu 64%, przy innej admisyi jest inną, jakoteż, że chyżość jazdy, zależną jest od wielkości wpustu, a wynika ztąd, że skoro się uwzględni to wszystko, siła przewozowa ze szybkością jazdy zmieniać się będzie.

Stósunek przeciętnego prężenia w cylindrze, do prężenia w kotle wynosi (§ 15) podług Welknera

$$\frac{p}{P} = \frac{\sqrt{w} - 2{\cdot}_2}{9} = \alpha$$

a ponieważ (§ 17) jest

$$w.\ c = N$$

skoro wyraża *w* wpust pary w procentach, *c* chyżość jazdy w metrach na sekundę, *p* prężenie pary w cylindrze, *P* prężenie jej w kotle, *N* liczbę stałą, więc będzie

$$\alpha = \frac{1}{9}\left[\sqrt{\frac{N}{c}} - 2._2\right]$$

lub uwzględniając, że wyraz $\sqrt{\frac{N}{c}}$ zawsze znacznie większym będzie od liczby $2._2$, pisać będzie można:

$$\alpha = \frac{1}{9}\sqrt{\frac{N}{c}}$$

a ponieważ siła przewozowa wyraża się wzorem $S = \alpha . A . P$ (wzór 28) więc będzie

$$S = \frac{A.P}{9}\sqrt{\frac{N}{c}}$$

uwzględniając, że stosownie do § 17 będzie

$$N = 10^4 .\ z.\ \frac{a}{A}$$

otrzymujemy wzór

$$S = \frac{10^2 .\ P}{9}\sqrt{\frac{A a.z}{c}} \tag{29}$$

służący do oznaczania siły przewozowej, w którym wyraża:

S... siłę przewozową w kilogramach.
P... prężenie pary w kotle w atmosferach.
A $= \frac{ds^2}{s_1}$ liczbę stałą.
z... ilość na sekundę produkowanej pary, wyrażoną w metrach sześciennych.
c... chyżość jazdy, w metrach na sekundę.
s... średnica tłoka w centimetrach.
d... długość cylindra w centimetrach.
s_1... średnica koła popędowego w centimetrach.
a... admisya pary, wyrażona w procentach długości cylindra.

Przyjmując, że admisya wynosi 65%, mamy a = 65, a przeto w przybliżeniu

$$S = 90\ P.\ \sqrt{\frac{Az}{c}} \tag{30}$$

wzór służący do *szacowania* wielkości siły przewozowej.

Przykład.

Do prowadzenia pociągów mamy lokomotywę, wydającą parę prężącą w kotle siłą 10 atmosfer, a otrzymujemy co sekundę $^1/_5$ metra sześciennego takiej pary, podczas gdy lokomotywa sama, posiada następujące rozmiary:

średnica koła popędowego	120
średnica cylindra	34
długość cylindra	$57^1/_2$

centimetrów.

Zachodzi pytanie, ile wyniesie siła przewozowa tej maszyny, jadąc chyżością 5, 7, 8 metrów na sekundę.

Tutaj mamy:

$$s = 34,\ s_1 = 120,\ d = 57\cdot5,\ z = {}^1/_5,\ P = 10,$$

a przeto

$$A = \frac{57\cdot5 \times 34^2}{120} = 554$$

za pomocą których wartości otrzymujemy

$$S = 900 \sqrt{\frac{110\cdot8}{c}}$$

wstawiając w ten wzór za *c* owe wartości, a mianowicie c = 5, 7, 8, wypada dla chyżości

$$\begin{matrix} 5^m & . . . & \\ 7 & . . . & S = \\ 8 & . . . & \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} 4230 \\ 3510 \\ 3330 \end{matrix} \right.$$

kilogramów siły przewozowej.

Daleko pewniejsze liczby, aniżeli je wydaje wzór przytoczony pod numerem 30, otrzymamy, używając do obliczania siły przewozowej tabliczki *Borriesa*, podanej w § 15, a w takim razie oblicza się siła przewozowa, jak następuje:

Z rozmiarów lokomotywy, niemniej z ilości w niej produkowanej pary, oblicza się przed wszystkiem stałę *A* i *N* mając na pamięci, że jest (§ 17):

$$A = \frac{d.s^2}{s_1} \qquad N = 10^4.z\ \frac{a}{A}$$

a obliczywszy tym sposobem obydwie te stałe, wstawiamy we wzór (§ 17)

$$w.\ c = N$$

za *c* te poszczególne wartości, dla których obliczyć mamy wielkość sił przewozowych.

Tym sposobem otrzymamy wielkość wpustu:

$$w = \frac{N}{c}$$

odpowiadającego owem poszczególnem chyżościom.

Znając wpust wyrażony w procentach, odszukujemy w tabliczce *Borriesa*, tej wielkości odpowiadające wartości współczynnika α.

Znając dla każdej z owych chyżości wartość α, obliczamy tymże chyżościom odpowiadające siły przewozowe używając wzoru:

$$S = \alpha.\ A.P$$

w którym to wzorze wszystkie już wartości są nam znane.

Przykład.

Do prowadzenia pociągów, mamy lokomotywę mającą 109 metrów kwadratowych wielką powierzchnię ogrzewalną, wydającą na każdym metrze co godzinę 40 kilogramów pary prężącej w kotle siłą 10 atmosfer.

Lokomotywa pracuje admissyą 60% i posiada następujące rozmiary:

średnica koła popędowego	200
średnica tłoka	40
długość cylindra	50

centimetrów.

Zachodzi pytanie, jak wielkie będą siły przewozowe tej lokomotywy odpowiadające chyżościom jazdy

10, 15, 20

metrów na sekundę.

Ponieważ metr kwadratowy powierzchni ogrzewalnej wydaje na godzinę 40 kilogramów pary, więc wynosi całkowita produkcya pary 109.40 = 4360 kilogramów na godzinę; na sekundę przeto:

$$\frac{4360}{3600} = 1{\cdot}_2 \text{ kilograma.}$$

Zważając, że metr sześcienny tej pary waży 4·8 kilogramów, otrzymujemy na sekundę $\frac{1{\cdot}2}{4{\cdot}8} = {}^1/_3$ metra sześciennego pary.

Zważając, że lokomotywa pracuje admissyą 60% mamy:

$$a = 60, \quad z = {}^1/_3, \quad s_1 = 200, \quad s = 40, \quad d = 50, \quad P = 10$$

za pomocą tych wartości otrzymujemy:

$$A = \frac{50.\ 40^2}{200} = 400$$

$$N = 60.10^4\ \frac{{}^1/_3}{400} = 514$$

a ponieważ być musi

$$w.\ c = 514$$

czyli

$$w = \frac{514}{c}$$

więc, wstawiając za c wartości

$$c = 10,\ 15,\ 20$$

otrzymujemy:

$$w = 51,\ 34,\ 26$$

do których to wartości odszukać mamy w tabliczce Borriesa odpowiednie wartości współczynnika α.

Ponieważ jednak w tej tabliczce (umieszczonej w §. 15) uwidoczniono tylko te α, które odpowiadają wpustom, których wielkość podzielną jest przez 10, wpustów więc 51, 34, 26, wcale tam nie ma, więc chcąc dojść do celu, użyć trzeba interpolacyi.

Interpolacya, prowadzi zaś na następujące proporcye:

$$50 : 51 = 0.627 : \alpha$$
$$30 : 34 = 0{\cdot}446 : \alpha$$
$$20 : 26 = 0{\cdot}318 : \alpha$$

które wydają:

$$\alpha = 0{\cdot}640,\ 0{\cdot}505,\ 0{\cdot}413.$$

Siły przewozowe zaś, będą z powodu:

$$S = \alpha \,.\, A\,P$$

gdzie $A = 400$, $P = 10$, kolejno:

$$S = 2560,\ 2020 \text{ i } 1652$$

kilogramów.

Chyżości:

10 m.	odpowiada	siła	przewozowa	2560
15 m.	„	„	„	2020
20 m.	„	„	„	1652

kilogramów.

23.

Wzory doświadczalne, służące do szacowania wielkości siły przewozowej.

Częstokroć nie zależy nam wcale na dokładnej znajomości wielkości siły przewozowej, chcemy bowiem znać ją tylko w przybliżeniu, w takich razach nie obliczamy siły przewozowej już z rozmiarów lokomotywy, podług wzorów podanych w poprzednich dwóch paragrafach, lecz używamy śpieszniej do celu prowadzących wzorów doświadczalnych.

Tak np. uczy doświadczenie, że znając powierzchnię ogrzewalną pewnej lokomotywy, suponować można, że siła jej przewozowa wyniesie:

$$S = 200\,\frac{H}{v}\cdots \qquad (31$$

kilogramów, w którym to wzorze wyraża:

S... siłę przewozową w kilogramach,
H... powierzchnię ogrzewalną w metrach kwadratowych,
v... szybkość jazdy w metrach na sekundę.

A ponieważ wykazano w §. 19, że $H = 7\left(\frac{s}{10}\right)^2$

więc też będzie:

$$S = 14\,\frac{s^2}{v} \qquad (32$$

gdzie wyraża *s* średnicę tłoka, mierzoną w centimetrach.

Uwzględniając, że wyrazić można:

$$H = {}^3/_8 . E$$

otrzymujemy:

$$S = 75\,.\,\frac{E}{v}\cdots \qquad (33$$

gdzie *E* wyraża efekt lokomotywy, mierzony w siłach konia.

Wzór ten jest bardzo dogodnym, gdyż skoro znamy siłę maszyny, wyrażoną w siłach konia, obliczać możemy siły przewozowe należne do każdej chyżości, prędko i dosyć dokładnie.

Wiemy np., że maszyna pracuje siłą równającą się sile 360 koni, to odpowiada chyżośc:

5 m. siła przewozowa	S =	5400
6 „ „		4500
8 „ „		3375
10 „ „		2700
12 „ „		2250
15 „ „		1800

kilogramów.

Wyrażając *S* jako funkcyę ciężaru mamy; ponieważ (§. 19).

$$H = 6\,(M - 15)$$

$$S = 1200 . \frac{(M-15)}{v} \ldots \quad (34$$

gdzie **M** wyraża ciężar lokomotywy w tonnach.

Do wzoru, wykazującego zależność siły przewozowej od ilości i prężności w kotle wywiązującej się pary, dojść zaś można w sposób następujący:

Doświadczenie pouczyło, że chcąc uzyskać siłę równającą się sile konia, mieć trzeba do dyspozycyi co godzinę:

$$(p + 5)$$

kilogramów pary, której prężenie w kotle wynosi p atmosfer.

Na sekundę zaś, potrzeba:

$$\frac{p+5}{3600}$$

kilogramów, a maszyna wydająca na sekundę k kilogramów pary, pracuje przeto siłą równającą się sile:

$$k : \frac{p+5}{3600} = \frac{3600\,k}{p+5}$$

koni

Wyraża S tę część ciśnienia pary, która będąc sprowadzoną na poziom szyny, użyć się daje do zwalczania oporu, tj. wyraża S siłę przewozową w kilogramach, a maszyna biegnie chyżością v metrów na sekundę, to wynosi jej praca mechaniczna:

$$S . v$$

meterkilogramów na sekundę.

A ponieważ 75 meterkilogramów idzie na siłę jednego konia, więc wynosi praca naszej maszyny:

$$\frac{S\,v}{75}$$

sił koni, mamy przeto równanie:

$$\frac{S . v}{76} = \frac{3600}{p+5} . k$$

z którego otrzymnjemy:

$$S = \frac{27 . 14^4}{p+5} . \frac{k}{v} \ldots \quad (35$$

gdzie wyraża *k* ilość pary w kilogramach, którą kocioł na sekundę dostarcza, *p* ciśnienie pary w kilogramach na □ centimeter ściany kotła, *v* nareszcie, szybkość jazdy w metrach na sekundę.

Wydaje kocioł na sekundę kilogram pary, prężącej siłą 8 atmosfer, to odpowiada chyżości jazdy 10^m siła przewozowa:

$$S = \frac{27.10^4}{8+5} \cdot \frac{1}{10} = 2076$$

kilogramów.

24.

Obliczanie siły przewozowej ze znanej pracy pewnej lokomotywy.

Znajomość rozmiarów lokomotywy i wielkości produkcyi pary, nie jest konieczną do obliczania siły przewozowej, siłę tę obliczać bowiem także można, znając mechaniczną pracę, którą maszyna wydaje.

Ciągnie maszyna po linii, stawiającej ruchowi na każdą tonnę przewożonego ciężaru, opór wynoszący 10 kilogramów, a waży pociąg, który ona prowadzi, 250 tonn, to jadąc po tej linii, zwalcza maszyna opór, który wynosi $10 \times 250 = 2500$ kilogramów.

Biegnie pociąg chyżością 12 metrów na sekundę, a szybkość ta jest możebnie największą chyżością, odpowiadającą pełnej sile pary, to wynosi mechaniczna praca lokomotywy:

$$2500 \times 12 = 30000$$

meterkilogramów.

Ponieważ iloczyn siły przewozowej i chyżości, daje mechaniczną pracę, więc będzie, skoro wyraża *S* siłę przewozową odpowiadającą chyżości *c* metrów:

$$S.c = 30000$$

meterkilogramów, z którego wyrazu, obliczać się daje siła przewozowa dla każdej chyżości jazdy.

Tak np. wypada dla chyżości:

$$c = 5, \quad 10, \quad 15, \quad 20^m$$
$$S = 6000, \quad 3000, \quad 2000, \quad 1500$$

kilogramów.

Biorąc ogólnikowo, przedstawia się rachunek, jak następuje:

Waży pociąg, który maszyna prowadzi, włącznie z jej własym ciężarem *P* tonn, a opór na linii wynosi *o* kilogramów na tonnę, to maszyna zwalcza opór wynoszący o.P kilogramów, jej siła przewozowa wynosi przeto:

$$o \cdot P$$

kilogramów.

Biegnie pociąg chyżością *v* metrów na sekundę, to wynosi mechaniczna praca naszej maszyny:

$$o . v . P$$

meterkilogramów.

Porusza się ta sama maszyna inną razą chyżością v_1 metrów na sekundę, a chyżości tej odpowiada siła przewozowa *S* kilogramów, to mamy:

$$S\, v_1 = o . v . P$$

a przeto:

$$S = o\, P . \left(\frac{v}{v_1}\right) \ldots \quad (36\ ,$$

wzór służący do obliczania siły przewozowej ze znanej pracy tutaj wyraża:

S... siłę przewozową w kilogramach.

P... ciężar pociągu w tonnach (włącznie z ciężarem maszyny),

o... opór ruchu w kilogramach odnoszący się do ciężaru jednej tonny pociągu.

v_1... chyżość jazdy, odpowiadającą sile przewozowej *S*, wyrażoną w metrach na sekundę.

v... obserwowaną chyżość pociągu w metrach na sekundę.

Przykład I.

Po linii stawiającej opór, który wynosi 20 kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, prowadzi pewna lokomotywa chyżością 10^m na sekundę pociąg ważący 300 tonn, obliczyć mamy siłę przewozową tej maszyny odpowiadającą chyżości 12 metrów.

Tutaj mamy:

$$o = 20,\ v = 10,\ P = 300$$

a przeto siła przewozowa:

$$S = \frac{20.300.10}{v_1} = \frac{60000}{v_1}$$

a ponieważ szukamy siłę przewozową dla chyżości 12 m., więc mamy $v_1 = 12$, a przeto:

$$S = \frac{60000}{12} = 5000$$

kilogramów.

Przykład 2.

W roku 1874 ważyły pociągi kursujące na kolejach państwowych w Niemczech:

pośpieszne . . .	po	102 tonn
osobowe	„	155 „
towarowe	„	427 „

włącznie z ciężarem lokomotywy.

Ponieważ podług *Launhardta* każda tonna ciężaru tych pociągów natrafiała podczas jazdy na opór, wynoszący przeciętnie dla pociągów:

pośpiesznych	11 kilogramów
osobowych	6·5 „
towarowych	4 „

więc wynosiła przeciętna siła przewozowa lokomotyw prowodzących pociągi:

pośpieszne	1122 kilogramów
osobowe	1008 „
towarowe	1708 „

Ponieważ na tych kolejach ruch był tego rodzaju, że na 2 pociągi pośpieszne przypadało 5 pociągów osobowych, a 7 towarowych, to wypada, że siła przewozowa lokomotyw, używanych na tych kolejach, wynosiła przeciętnie 1373 kilogramów.

25.

Granice, w których leży siła przewozowa.

Wykazano (§. 22), że siła przewozowa zmienia swą wartość z chyżością jazdy, a zmiana wartości następuje w ten sposób, że większej chyżości odpowiada większa siła przewozowa, jakoteż odwrotnie.

Szybkość jazdy, bez granic zwiększać nie można, również jak o nieskończenie małej szybkości, mowy być nie może.

Wynika ztąd, że siła przewozowa również w pewnych granicach leżeć będzie musiała, granice, w których się obraca, zależą zaś od wielkości *wpustu.*

Ponieważ związek między *wpustem* a *chyżością* zawsze jest taki, że iloczyn wpustu i chyżości pozostaje niezmiennym

(§. 17), więc stać będzie wpust w odwrotnym stosunku do chyżości, zmieniać się przeto będzie w ten sposób z wielkością siły przewozowej, że zwiększaniu wpustu odpowiadać będzie większa siła przewozowa.

Lokomotywy tak zazwyczaj są zbudowane, że dozwalają wpustu w granicach 10 do 80% objętości cylindra, dlatego też i siła przewozowa leżeć będzie w granicach, które odpowiadają powyższym wpustom.

Skoro obliczymy podług §. 22 rozmaitym chyżościom odpowiadające siły przewozowe, a chyżości wyrażone w metrach oznaczymy jako odcinki na poziomej rzędnej układu prostokątnego, im odpowiadające siły przewozowe wyrażone w kilogramach, ustawimy jako piony, należące do owych odcinków, to przedstawiać będzie fig. 15 linia *ab*, łącząca ze sobą górne końce owych pionów, związek zachodzący między chyżością jazdy, a wielkością siły przewozowej.

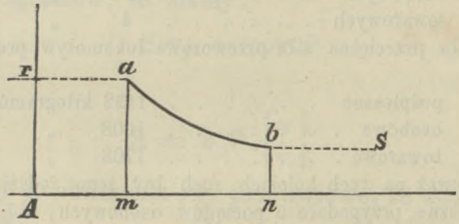


Fig. 15.

Pion *am* przedstawia siłę przewozową, odpowiadającą chyżości *Am*, wynikającej z wpustu pary możebnie największego, pion zaś *bn* przedstawia siłę przewozową, odnoszącą się do chyżości *An*, wypływającej z wpustu możebnie najmniejszego.

Z tego jednak nie wynika, jakoby lokomotywa śpieszniej, jak chyżością *An*, wcale już biegnąć nie mogła, lub jakoby wolniej, aniżeli chyżością *Am*, poruszać się nie miała.

Śpieszniej, aniżeli chyżością *An*, biegnąć może lokomotywa na spadku, w takim razie nie biegnie ona już skutkiem działania pary, lecz niezawiśle od dopływu pary, skutkiem składowej siły ciężenia ściągającej ją w dół.

Wpust pary pozostanie, że tak powiem, niezmienny, pomimo że lokomotywa na dół biegnie, bo rzeczywiście istniejąca zmiana, na zwiększenie chyżości, wcale już nie wpływa, wpust jest już tak małym, że para, siłą swą tłoka wcale już poruszyć nie zdoła.

Możebnie najmniejsza siła przewozowa będzie zaś ta, która odpowiada wpustowi 10%.

Największą wartość, jaką nabrać może siła przewozowa, będzie ta, która odpowiada *adhezyi*, bo adhezya zawsze wyrównywać musi sile przewozowej.

Przewyższa bowiem siła przewozowa adhezyę, to mamy niepotrzebny nadmiar siły, pod wpływem tego nadmiaru nabiorą wprawdzie koła popędowe ruchu, jednak tylko ruchu wirowego, nie zaś ruchu postępowego.

Ten ostatni tylko wtedy nastąpi, skoro siła przewozowa dosięgnie wartości adhezyi.

Ściśle biorąc, nie potrzebuje nawet siła przewozowa dosięgnąć adhezyi, wspomniano już (§. 21), że jest wystarczającem, skoro siła przewozowa wynosi $\frac{10}{11}$ adhezyi, czyli innemi słowy, że być musi przynajmniej:

$$S_{max} = \frac{10}{11} A \ldots \quad (37$$

wzór służący do obliczania maksymalnej siły przewozowej, w którym oznacza:

S_{max}... możebnie największą siłą przewozową, wyrażoną w kilogramach.

A... adhezyę lokomotywy, wyrażoną w kilogramach.

Widzimy z tego, że skoro lokomotywa porusza się mniej śpiesznie, aniżeli chyżością *Am*, tj. chyżością odpowiadającą możebnie największemu wpustowi, to przecież siła przewozowa się nie zwiększy, pion, *am*, przedstawiać bowiem będzie możebnie największą siłę przewozową.

Chcąc wykreślnie przedstawić związek zachodzący pomiędzy chyżością jazdy, a wielkością siły przewozowej, widzimy, że krzywa *ab*, przedłuża się w kończynach *a* i *b*, tak, iż z punktów tych począwszy, prowadzi na zewnątrz linią poziomą, tak więc, że linia r, a, b, s przedstawia obraz owego związku.

Przykład I.

Pewna lokomotywa zwalczać ma opór wynoszący w najniekorzystniejszym razie 4000 kilogramów, zachodzi pytanie, jak ciężką być musi taż sama lokomotywa.

Spoczywa na osiach kół popędowych ciężar x tonn, a jednostkowa adhezya wynosi w przecięciu 130 kilogramów; to wydać musi lokomotywa adhezyę, wynoszącą w całości $130 \times x$ kilogramów, maksymalna siła przewozowa będzie w takim razie

$$S_{max} = \frac{10}{11} \cdot 130\,x = 118\,x$$

a ponieważ maksymalna siła przewozowa zawsze wyrównywać musi oporowi, możebnie największemu, więc otrzymujemy równanie:

$$118\,x = 4000$$

wydające

$$x = 33{\cdot}8$$

Na osiach kół popędowych naszej lokomotywy, spoczywać więc musi ciężar wynoszący 33·8 tonn.

Przykład 2.

Na cele zestawiania pociągów na stacyi, zakupić mamy odpowiednią lokomotywę, która poruszać zdoła chyżością 4 m. na sekundę pociąg ważący 400 tonn.

Przekonamy się później, że opór takiego pociągu, poruszającego się powyższą chyżością, wynosi na każdą tonnę jego ciężaru 4·3 kilogramów, w całości przeto 4·3 . 400 = 1720 kilogramów, maksymalna siła przewozowa będzie przeto $S_{max} = 2520$.

Mamy równanie

$$1720 = \frac{10}{11} \cdot A$$

czyli

$$A = 1892$$

kilogramów.

Ponieważ lokomotywa pełnić ma służbę nawet podczas najgorszej pory, a więc i wtedy, gdy szyny są mokre i ślizgie, tj. gdy jednostkowa adhezya spadnie do 80 kilogramów, to będzie, skoro x wyraża ciężar adhezyjny naszej lokomotywy

$$A = 80\,x$$

a przeto

$$80\,x = 1892$$

zkąd

$$x = 23$$

tonn, jako ciężar, który złożyć trzeba na osiach kół popędowych, chcąc uzyskać warunki opisane.

26.

Efekt, czyli skutek użyteczny lokomotywy.

Praca lokomotywy objawia się w ruchu tłoka, który to ruch przenosząc się na koła popędowe, zamienia się na ruch postępowy całego pociągu.

Dlatego też pracę lokomotywy mierzyć trzeba drogą tłoka i naciskiem, pod którym tłok pozostaje.

Iloczyn drogi tłoka i nacisku, wyrażać więc będzie mechaniczną pracę lokomotywy.

Wynosi przeciętne prężenie na przekrój tłoka, K kilogramów, a przebywa tłok w ciągu sekundy v metrów, to wynosi mechaniczna praca pary, ze względu na to, że lokomotywa posiada 2 cylindry

$$2\,K \,.\, v$$

meterkilogramów, lub

$$E = 2\,\frac{K \,.\, v}{75}$$

sił konia, gdzie E wyraża efekt lokomotywy, v zaś chyżość tłoka (a nie chyżość jazdy).

Z tego wyrazu wyrugować trzeba v, co się stanie, szukając związku, jaki zachodzi między chyżością tłoka, a chyżyścią jazdy.

Związek ten nasuwa się sam, skoro zważymy, że skoro koło popędowe obróci się raz około swej osi, tłok przebiegnąć musi długość cylindra dwa razy.

Wynosi długość cylindra d, średnica koła popędowego zaś s_1, to wynoszą równoczesne drogi:

tłoka . . . . $2\,d$
pociągu . . . . $s_1\,\pi$

wyraża v chyżość tłoka, c zaś chyżość jazdy, to istnieje między temi chyżościami stosunek

$$\frac{v}{c} = \frac{2\,d}{s_1\,\pi}$$

uwzględniając go, otrzymujemy

$$75\,E = \frac{4 \cdot k}{s_1\,\pi} \cdot c$$

Pręży para w cylidrze przeciętną siłą p kilogramów na metr □ przekroju tłoka, a przekrój ten wynosi:

$$\frac{s^2 \pi}{4}$$

kwadratowych centimetrów, skoro *s* wyraża średnicę tłoka w centimetrach, to będzie:

$$k = \frac{s^2 \pi}{4} \cdot p$$

skutkiem czego otrzymujemy wzór:

$$75 \; E = \frac{d \; s^2}{s_1} \cdot p \cdot c$$

a ponieważ jak już wykazano:

$$\frac{d \; s^2}{s_1} \; p = S$$

jest tem, co nazywano siłą przewozową, więc mamy:

$$E = \frac{S \cdot c}{75} \; . \; . \; . \qquad (38$$

wzór, służący do obliczania skutku użytecznego, znając siłę przewozową, odpowiadającą pewnej chyżości.

Tutaj wyraża:

E... efekt lokomotywy w siłach konia.
S... siłę przewozową w kilogramach.
c... chyżość jazdy w metrach na sekundę.

Wynosi siła przewozowa, odpowiadająca chyżości 10 m., przy pewnej lokomotywie, 2625 kilogramów, to lokomotywa ta, pracuje w takim razie siłą, równającą się sile

$$E = \frac{2625 \; . \; 10}{75} = 350$$

koni.

Podany wzór ma jednak swe znaczenie jedynie w tym wypadku, w którym uważać można prężenie pary w cylindrze jako stałe, od chyżości jazdy nie zawisłe.

Zależy zaś przeciętne prężenie pary w cylindrze, od chyżości jazdy, jak to jest w samej rzeczy (§. 15), to w takim razie siła przewozowa nie będzie już *stałą*, lecz zmieniać się będzie z chyżością jazdy, gdyż wyraża się wzorem

$$S = \frac{100}{9} \sqrt{\frac{a \; z \; A}{c}} \cdot P$$

a uwzględniając tę okoliczność nabiera wyraz, oznaczający efekt lokomotywy, kształtu:

$$E = \frac{P}{7}\sqrt{A\,a\,z \cdot c} \;\ldots \qquad (39$$

gdzie wyraża:

E... efekt lokomotywy w siłach konia.
P... prężenie pary w kotle, w atmosferach.
z... ilość pary, jaką wydaje kocioł w sekundzie, wyrażona w metrach sześciennych.
c... chyżość jazdy w metrach na sekundę.
$A = \frac{d\,s^2}{s_1}$ liczba stała.
d... długość cylindra w centimetrach.
s... średnica tłoka „
s_1... średnica koła popędowego w centimetrach.
a... admisya pary, wyrażona w procentach długości cylindra (§. 17).

Lokomotywa towarowa, mająca rozmiary:

średnica tłoka	34
średnica koła popędowego	120
długość cylindra	57·5

centimetrów, w której kotle para pręży siłą 10 atmosfer, a kocioł wydaje na sekundę kilogram pary, pracować będzie siłą równającą się sile

$$E = \frac{10}{7}\sqrt{554 \,.\, {}^1/_5 \,.\, 80 \,.\, 10} = 450$$

koni, skoro biegnąć będzie chyżością 10 m. na sekundę, bo w takim razie mamy $P = 10$, $d = 57{\cdot}5$, $s = 34$, $s_1 = 120$, $a = 80$, $c = 10$ $A = \frac{57{\cdot}5 \,.\, 34^2}{120} = 554$, a ze względu, że metr sześcienny pary waży okrągło 5 kilogramów, $z = {}^1/_5$.

27.

Wzory doświadczalne, służące do szacowania skutku użytecznego danej lokomotywy.

Nie chcąc obliczać siłę przewozową podług danych wzorów, gdyż na pewne cele wystarcza znajomość tej siły w przybliżeniu tylko, to używać można następnjących wzorów doświadczalnych.

Do wzorów tej kategoryi zaliczamy, np. wzór:

$$E = \frac{s^2}{5} \ldots \qquad (40$$

skoro wyraża:

E... efekt lokomotywy w siłach konia.

s... średnicę tłoka w centimetrach.

Lokomotywa, posiadająca cylindry, które mają po 40 centimetrów średnicy, pracować będzie pod zwykłymi warunkami siłą, równającą się sile

$$\frac{40^2}{5} = 320$$

koni.

Pręży para w kotle siłą p atmosfer, to poucza doświadczenie, że potrzeba do uzyskania siły, równającej się sile konia, co godzinę:

$$(p + 5)$$

kilogramów pary.

Wydaje kocioł na sekundę k kilogramów, na godzinę więc 3600 k kilogramów pary, a potrzeba do uzyskania siły, równającej się sile konia (p + 5) kilogramów, to przedstawia iloraz:

$$\frac{3600 \,.\, k}{p + 5}$$

ilość koni, które tak silnie pracują, jak to czyni maszyna.

Ponieważ pracę maszyny wyrażoną w siłach koni, a wykonaną w czasie jednej sekundy, zowiemy *efektem*, czyli skutkiem użytecznym, a wyraża E efekt lokomotywy, to będzie:

$$E = \frac{3600 \,.\, k}{p + 5} \ldots \qquad (41$$

wzór służący do szacowania siły lokomotywy, w którym wyraża.

E... efekt lokomotywy w siłach konia.

p... prężenie pary w kotle, wyrażone w atmosferach.

k... ilość pary w kilogramach dostarczana co sekundę.

Lokomotywa, wydająca co sekundę kilogram pary, prężącej w kotle siłą 10 atmosfer, pracuje siłą, równającą się sile

$$\frac{3600}{10 + 5} \,.\, 1 = 240$$

koni.

Ponieważ rozwój pary zależy od wielkości powierzchni ogrzewalnej, więc też wyrazić będzie mozna skutek użyteczny lokomotywy, funkcyą wielkości jej powierzchni ogrzewalnej.

Wydaje bowiem pewna lokomotywa na każdym metrze kwadratowym swej powierzchni ogrzewalnej, co godzinę *a* kilogramów pary, co sekundę więc:

$$\frac{a}{3600}$$

kilogramów, a powierzchnia ogrzewalna wynosi *H* metrów kwadratowych, to będzie całkowita produkcya pary na sekundę:

$$k = \frac{a.H}{3600}$$

kilogramów.

Wstawiając tę wartość za *k*, we wzór wyrażający efekt otrzymujemy:

$$E = \left[\frac{a}{p+5}\right].H... \qquad (42$$

wzór wyrażający skutek użyteczny lokomotywy, jako funkcyę powierzchni ogrzewalnej.

Tutaj wyraża:

E... skutek użyteczny, w siłach konia.

a...ilość pary, wyrażoną w kilogramach, jaką maszyna na godzinę produkuje.

p... prężenie pary w kotle, wyrażone w atmosferach.

H... powierzchnią ogrzewalną w metrach kwadratowych.

Lokomotywa, posiadająca 120 □ m. wielką powierzchnię ogrzewalną wydającą na każdym metrze kwadratowym swego obszaru, w godzinie 40 kilogramów pary, prężącej siłą 10 atmosfer, pracuje siłą równającą się sile:

$$E = \frac{40.120}{10+5} = 320$$

koni.

W praktyce przyjąć można dla pociągów:

$$\left.\begin{array}{l}\text{pośpiesznych}\\ \text{osobowych}\\ \text{towarowych}\\ \text{w górach}\end{array}\right\} \cdots\cdots \left(\frac{a}{p+5}\right) = \left\{\begin{array}{l}3{\cdot}7\\ 3{\cdot}3\\ 2{\cdot}5\\ 2{\cdot}0\end{array}\right.$$

Liczby podane zastąpić można, skoro nie chodzi o zbytnią dokładność, ułamkiem $^8/_3$, tak więc, że efekt maszyny, służącej do przewożenia pociągów towarowych, wyrazić będzie można w przybliżeniu wzorem:

$$E = {}^8/_3 . H \ldots \qquad (43$$

Porównywując ten wzór ze wzorem:

$$E = \frac{S\ v}{75}$$

otrzymujemy bezpośrednio:

$$S = 200\ \frac{H}{v}$$

wstawiając we wzór numer 42, wartość za *H* wypływającą z powyższego wyrazu, otrzymujemy:

$$E = \frac{a}{200} \cdot \frac{S\ v}{(p + 5)} \qquad (44$$

wzór, służący do szacowania efektu lokomotywy, w którym oznacza:

E... efekt lokomotywy w siłach konia.
S... siłę przewozową w kilogramach.
v... chyżość jazdy, w metrach na sekundę.
p... prężenie pary w kotle, w atmosferach.
a... produkcyę pary w godzinie na □ m. powierzchni ogrzewalnej.

W przecięciu przyjąć można:

$$a = 40,\ p = 10,$$

a będzie w takim razie:

$$E = \frac{S.v}{7\cancel{6}\,5}$$

wyraz nam już znany (wzór 38).

28.

Dobór siły przewozowej.

Każda kolej posiada pewną właściwość, pewną cechę, która ją odróżnia od innej kolei.

Jedna, stanowiąc arteryę, na której pulsuje ruch świata, zajmuje się przewozem tak osób, jakoteż i towarów, jak to spostrzegać np. możemy na austryackich kolejach: północnej, państwowej i innych.

Druga zaś kolej, przerzynając okolice ciekawe do zwiedzania, przewozi przeważnie tylko osoby, jak to np. czyni austryacka kolej arcyksięcia Rudolfa (zwana koleją spacerową).

Koleje, przerzynające miejsca produkcyi, jak np. niektóre koleje w Czechach, przewozić znów będą przeważnie płody przyrody lub przemysłu.

Lecz nietylko przewozem koleje różnią się od siebie, ale także i terenem, który przecinają.

Jedna kolej prowadzi przeważnie równiną, druga zaś spina się po górach, jedna ma ruch ożywiony, druga mdły, jedna jest cząstką sieci dróg żelaznych, stanowiącą główną arteryę ruchu światowego, druga znów, jest tylko mało znaczącą odnogą kolei większej i t. p.

Warunki ruchu są więc tak rozmaite, a często ze sobą tak sprzeczne, że gdyby im wszystkim chciano uczynić zadosyć, posługując się jedną kategoryą lokomotyw, żadnemuby z nich nie odpowiedziano.

Lokomotywa, zbudowana dla *pewnych* warunków, posiadać musi swą odrębność, swą indywidualność i odpowie zupełnie tylko wtedy, gdy zostanie użytą w tych warunkach, dla których ją zbudowano.

Poszczególnym warunkom odpowiadają poszczególne lokomotywy, jedna lokomotywa przeto rozmaitym warunkom nigdy nie odpowie.

Ztąd też pochodzi, że każda z kolei, obiera dla siebie pewien gatunek lokomotyw, który jej właściwościom najlepiej odpowiada.

Motory zanadto słabe sprawiają, że na niekorzyść kolei zwiększa się stosunek martwego ciężaru, do ciężaru przewożonego za opłatą, czyli innemi słowy, motory za słabe sprowadzają niekorzystny stosunek *ciężaru tary* do *ciężaru neta.*

Lokomotywy zaś, zanadto silne, pociągają za sobą znaczne wydatki na opał i smarowidło, ścierają mocno tory, wymagają, z powodu długich pociągów, jakie prowadzić zdołają, na stacyach dłuższych torów, celem ustawiania takich pociągów i t. p.

W początkach rozwoju dróg żelaznych, nie był ruch jeszcze tak wybitnie nacechowanym, nie posiadał jeszcze takich osobliwych właściwości, jakiemi się oznacza dzisiejszy ruch kolei naszych.

Przed 50 laty były wymogi ruchu zupełnie inne, dlatego też różnią się lokomotywy dawne, tak znacznie od lokomotyw dzisiejszych.

Lokomotywa zmieniała bowiem postać swą w miarę zmiany w zapatrywaniach czasu, ztąd też pochodzi, że austryacka kolej północna, posiada pomiędzy 335 lokomotywami, których używa, obecnie 30 rozmaitych konstrukcyj.

Dzisiaj owa chwiejność już ustała, lokomotywa wydeptawszy trzewiki dziecięcia, nabrała pewnej stanowczości, pewnego charakteru, co sprawiło, że ilość typów konstrukcyjnych, znacznie się zmiejszyła.

Mając na oku stosunki *przeciętne*, tj. dostatek przewozić się mających towarów, ożywiony ruch osobowy i t. p. uszykować się dadzą wymagania, co się tyczy siły przewozowej, we dwie grupy, a mianowicie: na przewóz znaczniejszych ciężarów skromną chyżością i przewóz niewielkich ciężarów, większą chyżością.

Gdzie jednak zachodzą stosunki *wyjątkowe*, tam wyjątkowych konstrukcyj użyć trzeba.

Ponieważ *siła i szybkość*, wzajemnie się wykluczają, przy niezmiennym rozchodzie paliwa, siła pary zwiększać się bowiem może tylko kosztem szybkości jazdy, więc też budowa lokomotywy, stosować się musi przeważnie do *siły*, lub przeważnie do *chyżości*.

Lokomotywy, należące do pierwszej kategoryi, zowiemy lokomotywami służącemi do przewozu *towarów*, podczas gdy motory, odznaczające się szybkością ruchu, zowiemy lokomotywami służącemi do przewozu *osób*.

Z tego jednak nie wynika, jakoby tylko te dwa typy lokomotyw używać było można, owszem, istnieją okoliczności, które wymagają osobliwej konstrukcyi maszyn, a o takich pomówimy w paragrafach 29, 30 i 31.

Warunki konstrukcyi dla lokomotyw, służących do przewozu osób, są daleko trudniej do spełnienia, aniżeli warunki budowy dla lokomotyw przeznaczonych do przewozu towarów.

Pierwszym i najwybitniejszym warunkiem każdej spiesznie poruszać się mającej lokomotywy, jest uzyskanie możebnie największego spokoju podczas biegu, a więc pewności w ustawieniu całej maszyny.

Ruch lokomotywy poruszającej się spiesznie, nie jest bowiem nigdy ruchem czysto postępowym, lecz powstaje z trzech drugorzędnych ruchów, z których każdy w inny sposób do niespokoju biegu się przyczynia.

Szkodliwe te ruchy otrzymały osobne nazwy, i tak zowiemy:

a) ruch lokomotywy w około podłużnej osi jej kotła, *chwianiem,* ruch ten sprawia, że koła osadzone na jednej i tej samej osi, podlegają zmiennemu naciskowi.
b) ruch lokomotywy w około poprzecznej osi, sprawiający, że raz osi przodowe, to znów tylne, otrzymują większy nacisk, zowiemy *kłósowaniem.*
c) ruch zaś lokomotywy w około osi ustawionej pionowo w punkcie ciężkości kotła, sprawiający, że raz szyna lewa to znów szyna prawa z boku otrzymuje większy nacisk, zowiemy *wężykowaniem.*

Redtenbacher w swem klasycznem, dzisiaj jednak już przestarzałem dziele, poddał każden z tych ruchów w sposób genialny matematycznej analizie, i wyszukał prawa, jakim ruchy te podlegają, — wykazując, że ze szybkością jazdy, ruchy groźniejszemi się stają.

Chcąc przeto jechać spiesznie, trzeba się starać zapobiedz o ile możności ruchom szkodliwem, pamiętając zarazem o odpowiednim rozwoju pary.

Przyrządy łagodzące ruchy groźne jakoteż przyrządy sprawiojące raźny rozwój pary, cehują przeto lokomotywy służące do przewozu *spiesznego.*

Nie mając na myśli wchodzić w zasady budowy lokomotyw, nadmienię tylko, że lokomomotywy poruszać się mające większą szybkością, odznaczać się winne:

1. małym ciężarem,
2. wielkim rozstawem osi,
3. skutecznie działającą powierzchnią ogrzewalną,
4. wysokiemi kołami popędowemi,
5. krótkością cylindrów,
6. małym przekrojem cylindra.

Jako typę podaje hrabia *Czernin:* powierzchnia rusztu 3·070 $\square^m$; całkowita powierzchnia ogrzewalna 88 $\square^m$; stósunek bezpośrednio ogrzanej, do powierzchni całkowitej 1 : 7·8, rozstaw osi 4^m, długość cylindra 56 centm., średnica tłoka 43 cntm., średnica kół popędowych 150—200 centimetrów.

Maszyna zaś, spoczywać ma na trzech ze sobą sprzężonych osiach, a cylindry jej nie leżą na zewnątrz ramy, lecz w środku.

Podług inżyniera *Loeben,* uważać można lokomotywy, których ważniejsze rozmiary zawiera następująca tabliczka, jako typy wystarczające do zwykłych warunków przewozu:

Lokomotywa	Szybkość jazdy na sekundę	Całkow. ciężar lok. gotowej do służby	ciężar adhezyjny	Ilość osi	Ilość osi ze sobą sprzężonych	Rozstaw osi	Średnica koła popędowego	Średnica tłoka	Długość cylindra	Powierzchnia ogrzewalna	ciśnienie pary w kotle
	meter	tonny	tonny	sztuk	sztuk	meter	centimeter	centimeter	centimeter	□ meter	atm.
Pośpieszna	22	34	27	3	2	$5._0$	200	40	50	109	12
Osobowa	13	37	26	3	2	$4._5$	150	40	50	99	10
Towarowa . . .	7	42	42	3	3	$3._{25}$	125	48	$62._5$	138	10
Tenderowa do szykowania wozów . .	7	28	28	2	2	$2._5$	125	40	50	88	10
Do przewozu ciężarów w górach . .	7	42	42	3	3	$3._{25}$	125	48	$62._5$	108	10

Ponieważ podane rozmiary są tylko typowe, nie odnoszą się więc do lokomotyw *wykonanych*, zawiera następująca tabliczka rozmiary *rzeczywiście zbudowanych* lokomotyw, służących do prowadzenia pociągów pospiesznych, osobowych i towarowych.

Ważniejsze rozmiary	Lokomotywa służy do prowadzenia pociągów		
	pośpiesznych	osobowych	towarowych
Średnica koła popędowego w centimetrach	189·6	158·0	126·4
Średnica tłoka, w centimetrach . . .	39·6	39·6	42·2
Długość cylindra, w centimetrach, czyli tak zwany „skok“	63·2	63·2	62·2
Ciężar lokomotywy, stojącej w pogotowiu do pełnienia służby, w tonnach	32·0	34·0	33·5
Rozstaw osi, w metrach	4·11	3·32	3·32
Powierzchnia ogrzewalna, w metrach kwadratowych	98·0	94·5	103·85
Maxymalne ciśnienie pary w kotle, w kilogramach na □ cntm. ściany	8	8	8
Ilość rur płomiennych	155	148	164
Maxymalna szerokość lokomotywy w metrach	2·715	2·772	2·988
Maxymalna długość lokomotywy (bez tendera) w metrach	8·148	8·525	8·523

Rozmiary tenderów należących do powyższych trzech kategoryj lokomotyw, umieszczono zaś w następującej tabliczce:

Rozmiary tendera	tender należący do lokomotywy prowadzącej pociągi		
	pośpieszne	osobowe	towarowe
Ilość osi	3	3	3
Rozstaw osi	3·162	3·16	3·16
Średnica kół, metrów	1·0	0·95	0·95
Mieści w sobie wody metrów sześcn.	9	9	9
Miejsce na paliwo, metrów sześcien. .	8·21	8·435	8·435
Waży, gdy jest napełnionym, tonn .	25	24	24

Rozmiary lokomotyw uwidocznione w powyższej tabliczce, odnoszą się do lokomotyw nieco starszych a używanych przeważnie w Austryi.

Ponieważ nowsze lokomotywy z powodu odpowiedniej budowy zwracać poczynają na siebie uwagę, więc następująca tabliczka uwidocznia ważniejsze rozmiary takich lokomotyw a używanych przeważnie w Belgii:

Rozmiary	Maszyna służąca do prowadzenia pociągów		
	osobowych	towarowych	na stacyach
	mająca sprzężonych ze sobą osi		
	3		4
Srednica koła popędowego, w cm.	170	145	105
Srednica tłoka, cm	45	45	48
Długość cylindra, cm.	60	40	45
Ciężar próżnej lokom. w tonnach	$30._{5}$	$29._{8}$	$39._{5}$
Bezpośr. powierzchnia ogrzew. $\square^{m}$	$10._{92}$	$10._{92}$	$11._{29}$
Pośredn. powierzchnia ogrzew. $\square^{m}$	$98._{46}$	$98._{46}$	$124._{81}$
Ciśnienie pary w kotle, atmosfer.	9	9	10
Przeciętne ciśnienie na $\square^{cm}$ przekroju tłoka, w kilogramach . .	$8._{264}$	$8._{264}$	$9._{297}$
Ciężar adhezyjny, w tonnach . .	$35._{5}$	$34._{5}$	52
Maxym. szybkość jazdy w m., na sek.	27	$14._{4}$	—
Ciężar tendera próżnego, w tonnach	10	10	—

W obydwóch tabelkach podane rozmiary, odnoszą się do maszyn używanych w *równiach*, następująca zaś tabliczka mieści w sobie rozmiary lokomotyw, używanych w *górach*:

Rozmiary	Kolej żelazna				
	Semmering	Brenner	Apenińska	Giovi	Uitli
Ciężar adhezyjny, w tonnach	46	47	33	48	25
Powierzchnia ogrzewalna □^{m}	168.$_3$	182.$_8$	12.5$_3$	184.$_9$	72
Długość cylindra, cm. . . .	61	61	65	61	54
Srednica tłoka, cm.	47.$_4$	50	45	60	32
Srednica koła popędowego	107	107	130	120	91
Rozstaw osi, w metrach. .	3.$_{43}$	3.$_{45}$	—	—	2.$_0$
Ilość kół ze sobą sprzężon.	8	8	6	8	8
Ciśnienie pary w kotle, atm.	7.$_8$	8	7	7	12
Ciężar napełn. tendera, tonn	21	20	20	20	—

29.

Lokomotywy robocze, przeznaczone do służby stacyjnej.

Dotąd mówiono o lokomotywach, których głównym celem, było prowadzenie pociągów, obecnie zastanowić się wypada, czy lokomotywy takie używać można z korzyścią do robót stacyjnych.

Służbę, którą lokomotywa pełni, *zestawiając w stacyi* pociągi, różni się bowiem wielce od służby, *prowadzenia* pociągów na linii otwartej.

Od lokomotywy pełniącej służbę na stacyi, żądamy, aby biegła tak dobrze wprzód jak i wstecz, aby poruszając się zwolna, wiezła znaczne ciężary była lekką, jakoteż aby nie niszczyła krzyżólców i zmian ułożonych na stacyi.

Jakże odmienne zadanie spełniać ma lokomotywa, przeznaczona do prowadzenia pociągów na linii otwartej!

Od lokomotywy takiej żądamy przed wszystkiem, aby pociąg prowadziła ze znaczną chyżością, aby wiozła ze sobą zapas paliwa i wody, któryby jej dozwalał przebywać znaczne przestrzenie, bez zasilania się na przestankach, aby przejeżdżała znaczue stromości i t. p.

Pomimo to, że służba stacyjna tak wielce się różni od służby na linii otwartej, przecież do niedawna jeszcze na różnicę tę, uwagi nie zwracano, widzimy bowiem, że lokomotywy używane do przewozu pociągów, bardzo często pełnią takze i służbę stacyjną.

Używać do *szykowania* wozów, *maszyn pociągowych*, jest to samo, co prowadzić wozy tramwajowe ciężką lokomotywą, stósunek siły motora do ciężaru poruszanego, jest bowiem w takim razie ten sam, co stósunek siły woła do ciężaru lekkiej karety, bo siła lokomotywy przeznaczonej do *prowadzenia pociągów*, nie stoi w odpowiednim stosunku do pracy, wykonywać się mającej, *szykując* w stacyach wozy.

Nie zastanawiając się nad wieklością pracy mechanicznej obracanej na cele służby stacyjnej, rozkrzewiło się mniemanie, jakoby praca służby stacyjnej była tak małą cząstką pracy poświęconej przewozowi, że się nie opłaci używać na cele służby stacyjnej lokomotyw odrębnie zbudowanych.

Wielkość i znaczenie służby stacyjnej dopiero w nowszym czasie poznawać się nauczono, pomimo, że ruch większych stacyi kolejowych, do uwagi takiej, dawno wzywał.

Aussig, stacya czeskiej kolei wiodącej do *Cieplic*, jest np. taką stacyą. Tory jej mają bowiem blizko 40 kilometrów (39670 metrów) długości, a przeszło po nich w r. 1880, 31742 pociągów, dziennie ekspedyowano więc 87 pociągów. W tymże roku ruszano tam 307922 wozów, z których 1880 sztuk, tylko stacyę przecjeżdżało. Do szykowania wozów używano w dzień 5, w nocy zaś 3 lokomotyw.

Służba stacyjna wynosi podług pana *Koch* $^1/_6$—$^1/_4$ służby pociągowej, to znaczy, że mechaniczna praca wydana na cele prowadzenia pociągów, przewyższa zaledwie 4 — 6 razy mechaniczną pracę, użytą na cele zestawiania ich na stacyach.

Doświadczenie uczy, że lokomotywa, prowadząc pociągi pośpieszne, przebiega dziennie . . . 110 kilometrów
osobowe „ „ . . . 90 „
towarowe „ „ . . . 50 „

Nie biorąc względu na *gatunek* pociągu, uważać można drogę 80 kilometrową jako drogę, którą lokomotywy *przeciętnie* w ciągu doby przebiegają.

Na służbę stacyjną wypada jak już wspomniano $^1/_6$—$^1/_4$ część tejże drogi, co znaczy, że droga jaką przebiegają lokomotywy, szykując po stacyach wozy, dla każdej z nich, wynosi na dobę 13—20 kilometrów.

Ciężar, nadać się mający lokomotywie przeznaczonej do służby stacyjnej, oznaczyć nie trudno, doświadczenie bowiem uczy, że lokomotywa szykując wozy chyżością 4^m na sekundę, prowadząc zarazem ciężar 400 tonn, najzupełniej wystarcza.

Ciężar takiej lokomotywy obliczono już w § 25, przykład 2, i znaleziono, że wynosi 23 tonn, a ponieważ wytrzymałość szyn, dozwala złożyć na oś kół popędowych co najwyżej, ciężar wynoszący 14 tonn (ustawą dróg związkowych taki ciężar jako maximum obciążenia wyznacza) więc zbudować będzie można lokomotywę przeznaczoną na cele służby stacyjnej, na dwu osiach, koła obydwóch tych osi, muszą jednak ze sobą być sprzężone, gdyż w takim tylko razie, *cały* ciężar lokomotywy użytym zostanie na cele adhezyi.

Lokomotywa przeznaczona do służby stacyjnej, stacyi nie opuszcza, więc zaopatrzać się może w każdej chwili w potrzebny zapas paliwa i wody, a ponieważ zapas ten, z powodu możności odnawiania, tak małym być może, że go złożyć można na lokomotywie, więc widzimy, że lokomotywy takie *odrębnego* tendera wcale nie potrzebują.

Lokomotywa przeznaczna do służby stacyjnej może przeto być *lokomotywą tenderową*, a odpowiadać będzie zadaniu lepiej, aniżeli lokomotywa *pociągowa*, bo nie mając tendera, biedz będzie bezpiecznie wstecz i wprzód, co dla służby stacyjnej jest rzeczą wielkiej wagi.

Ważność lokomotyw zbudowanych li tylko na cele służby stacyjnej, poznano najpierw w Belgii i Bawaryi, tam bowiem znaleść można lokomotywy, w stałej służbie szykowania wozów.

Korzyści, uzyskać się dające używaniem lekkich maszyn do szykowania wozów, szacować można jak następuje.

Przypuściwszy, że maszyna pełniąca służbę na stacyi, spoczywa po 24 godzinnej służbie, znowu 24 godzin, to pracować będzie w ciągu roku roku, przez $\frac{365}{2} = 182$ dni; a licząc, że maszyna pracuje na dobę przez 12 godzin, praca jej wyniesie w ciągu roku: $182 \times 12 = 2184$ godzin.

Przyjmując dalej, że przeciętna chyżość szykowania wozów wynosi 4^m na sekundę, czyli 14·4 kilometrów na godzinę, to przebiega maszyna taka, rocznie 2184 . 14·4 = 31490 kilometrów; nazwiemy ilość tę zgłoską *K*, to będzie

$$K = 31490.$$

Skoro maszyna waży M tonn, wynosi jej roczna praca mechaniczna:

$$K . M$$

tonnkilometrów.

Gdyby użyto na cele służby stacyjnej, już nie lekkiej maszyny ważącej tylko M tonn, lecz maszyny ciężkiej, jakiej używamy do prowadzenia pociągów, a maszyna taka ważyłaby M_1 tonn, to wynosiłaby roczna praca takiej maszyny, używając ją na cele służby stacyjnej

$$K . M_1$$

tonnkilometrów, a strata, którą ponosimy, używając maszyn cięższych, wynosiłaby rocznie:

$$K (M_1 - M)$$

tonnkilometrów.

Skoro wiemy ile kosztuje jednostka pracy, ile n. p. kosztuje mechaniczna praca jednego tonnkilometra, obliczyć można roczną stratę powstałą z używania maszyn cięższych.

Doświadczenie uczy, że praca wynosząca 240 tonnkilometrów kosztuje guldena, więc kosztować będzie praca wynosząca $K (M_1 - M)$ tonnkilometrów:

$$\frac{K (M_1 - M)}{240}$$

guldenów.

Suponując, że maszyna posiadająca odrębny tender waży 50 tonn, maszyna tenderowa zaś tylko 23 tonn, wyniesie roczna wypadająca na jednę lokomotywę:

$$\frac{31490 (50-23)}{240} = 3500$$

guldenów.

Pomimo tak znacznych korzyści, koleje do szykowania wozów, mało tylko używają maszyn tenderowych, a pochodzi to prawdopodobnie ztąd, że do szykowania wozów, używa się zwykle maszyn, które z powodu dłuższej służby, do prowadzenia pociągów mniej się nadają.

Na kolejach pierwszorzędnych nie powinno się jednak zważać na takie okoliczności, koleje takie, winne mieć dla służby stacyjnej odrębne, umyślnie na ten cel zbudowane maszyny; starych, z użytku już wyszłych maszyn, winny się zaś pozbywać.

Zapominać jednak nie trzeba, że lokomotywy tenderowe, posiadają także i niedogodności (§ 30) jakoteż, że używając do *służby stacyjnej*, tych samych lokomotyw, które *prowadzą pociągi*, użyć je można w czasach wolnych od służby (a czasy takie na kolejach nie mających ruchu ożywionego, są znaczne) także jako przyprząż, lub też pomocy wysuwania pociągów w górę.

30.

Lokomotywy tenderowe.

Dziesięć procent wszystkich w Austryi znajdujących się lokomotyw, stanowią lokomotywy *tenderowe;* pomiędzy 2926 lokomotywami, znachodzimy bowiem 313 lokomotyw tenderowych, a okoliczność ta wskazuje, że lokomotywy te mają racye bytu.

„Nowina“, jedna z konkursowych lokomotyw ubijających się w *Rainhill*, na dniu 6 października 1829 o nagrodę, — była *pierwszą* lokomotywą tenderową.

Chcąc należycie ocenić pożyteczność lokomotyw tenderowych, trzeba się zastanowić tak nad stronami dodatnemi, jakoteż ujemnemi tej konstrukcyi.

Lokomotywa tenderowa, jak już wspomniano, nie potrzebuje wcale odrębnego tendera, gdyż niesie tak wodę jakoteż i paliwo *na sobie*, która to okoliczność przyczynia się do zwiększenia ciężaru adhezyjnego. Wyzyskiwanie ciężaru wody i paliwa na cele adhezyi, pociąga za sobą jednak pewne niedogodności, co znów przyczynia się do utraty, ledwie co uzyskanych korzyści. — Składając bowiem ciężar wody i paliwa na osie kół popędowych, sprawiamy, że adhezya, w miarę ubytku wody i paliwa podczas jazdy maleje.

A ponieważ ubytek nacisku, nie rozdziela się jednakowo na wszystkie osie, więc powstają ztąd, znów nowe trudności. Lecz gdyby nawet i tak nie było, gdyby ubytek ciężaru rozdzielał się jednakowo na wszystkie osie, to przecież ubytek, jako taki, zawsze pozostaje i adhezyę *zmniejsza*. Ubytek nacisku na osie kół popędowych sprawia, że przy końcu jazdy, ciężar adhezyjny mniejszym się staje, jak był przy rozpoczęciu jazdy.

Dlatego też, chcąc obliczyć ciężar, jaki uciągnąć zdoła lokomotywa tenderowa, trzeba liczyć się z adhezyą przy *zakończeniu*, nie zaś przy *rozpoczęciu* jazdy.

Jeżeli n. p. po przebyciu 15 kilometrowej drogi, wznoszącej się 10 milimetrów na metr poziomej odległości, ubyło na wodzie i paliwie 5 tonn, to ciężar adhezyjny zmniejszył się ubytkiem takim o tyleż samo tonn, przez co ubytek w adhezyi wynosi 130 . 5 = 650 kilogramów.

Przypuszczając, że opór ruchu na wzniesieniu 10‰, wynosi 14·5 kilogramów, na tonnę ciężaru pociągu, odpowiada powyższej stracie adhezyi, strata na ciżarze, dla którego nie staje już siły przewozowej, wynosząca:

$$\frac{650}{14{\cdot}5} = 45$$

tonn.

Ciężar 45 tonn równa się ciężarowi 3 ładownych wozów, lokomotywa tenderowa przewiezie przeto o trzy wozy mniej, niż równie ciężka i silna maszyna, mająca tender odrębny.

Zważywszy, że po przebyciu 15 kilometrowej drogi, te 5 tonn, o które się zmniejszył ciężar adhezyjny, nie przyczyniają się wcale do zwiększenia siły przewozowej maszyny tenderowej, przychodzimy do przekonania, że jest obojętnie, czy go niesie lokomotywa tenderowa, lub też, czy go złożymy na odrębny tender maszyny zwykłej, w obydwóch razach bowiem, *przewozić* go musiano.

Wynika ztąd, że wyzyskiwanie ciężaru materyału opałowego, lub wody, na cele adhezyi, nie jest myślą tak wielkiej doniosłości, jakto na pierwszy rzut oka, wydawać się może.

Zważając, że na osie kół popędowych złożyć zawsze można ciężar taki, na jaki dozwala ustawa związkowa, wysnuwamy wniosek, że do budowy lokomotyw tenderowych, mających pełnić służbę na linii otwartej, żadne względy nas nie zniewalają.

Jako *ujemne* strony lokomotyw tenderowych uważać należy:

1. Przy równo ciężkich lokomotywach, ciągnie lokomotywa tenderowa mniej niż lokomotywa mająca tender odrębny.
2. Umieszczaniem zapasowych materjałów na maszynie, komplikuje się budowę lokomotywy tenderowej często do tego stopnia, że smarowanie jej składowych części

staje się utrudnionem, a zaopatrzanie osi w przyrządy do hamowania, niekiedy wcale niemożliwem.

Maszynista zaś, nie mając w ręku hamulca, staje się zawisłym od hamulców rozstawionych w pociągu, która to okoliczność wcale nie jest pożądaną.

Uwaga, że w takim razie maszyniście pozostaje zawsze jeszcze możność używania *„przeciw pary“*, niema miejsca, gdyż środek ten, zawsze mu pozostaje, czy prowadzi lokomotywę tenderową czy też zwykłą.

3. Utrzymanie lokomotywy tenderowej kosztuje więcej, niż utrzymanie lokomotywy zwykłej.
4. Uzyskanie skutecznej powierzchni ogrzewalnej, natrafia przy lokomotywach tenderowych czasem na znaczne trudności.
5. Ponieważ lokomotywy tenderowe nie nabierają tyle wody, ile nabierać mogą lokomotywy, mające tender odrębny, więc też nie będą przebiegać bez zasilania się tak długie drogi, jak lokomotywy zwykłe.
6. Skutkiem ubytku materyałów zapasowych, zmienia się *podczas drogi* adhezya, a przeto i względny stósunek obciążania osi lokomotyw tenderowych.
7. Ponieważ lokomotywy tenderowe nie mają odrębnego tendera, więc są tem samem pozbawione regulatora ułagadzającego jej szkodliwe ruchy.

Do stron zaś *dodatnych*, jakiemi się odszczególniają lokomotywy tenderowe, zaliczyć trzeba:

1. Jadą jednakowo bezpiecznie wtył i naprzód (nie potrzeba ich więc obracać).
2. Kosztują daleko mniej od lokomotyw zwykłych.
3. Zabierając nie wiele miejsca, nie wymagają obszernych zabudowań do przechowywania.
4. Stawiają ruchowi mniejszy opór niż lokomotywy zwykłe.
5. Przy jednakowej adhezyi ważą, mniej niż maszyny posiadające tender odrębny (§ 9).

Zważając tak strony dodatnie jakoteż ujemne, przychodzimy do przekonania, że lokomotywy tenderowe używać się dają z korzyścią, jako maszyny pełniące służbę na stacyach, dalej do przewowozu ciężarów nie wielką chyżością na wzniesieniach wprawdzie stromych lecz krótkich; a nareszcie, do utrzymywania ruchu miejscowego na kolejach bocznych, na których ze względu na przyjazd i odjazd pociągów na kolejach sąsiednich, ruch bywa ożywiony nie wymagając znacznej chyżości w jeździe.

Okoliczność ta, że lokomotyw tenderowych nie potrzeba obracać, jest dla ruchu takiego wielkiej wagi, zważając, że pod takiemi warunkami obracać by trzeba zwykłą lokomotywę dziennie nawet i 8 razy, jak to n. p. widzieć można było, na kolei *Pelsdorf-Hohenelbe* wznoszącej się przeciętnie $15^0/_{00}$, a odgałęziającej się od austryjackiej kolei północnowschodniej.

Celem porównania pracy komotywy tenderowej z pracą lokomotywy zwykłej, niechaj posłuży następująca uwaga inżyniera *Koch*.

Przedstawmy sobie dwie jednako ciężkie lokomotywy, pracujące możebnie największem natężeniem, z których jedna jest lokomotywą tenderową, druga zaś, zwykłą lokomotywą mającą tender odrębny.

Obydwie lokomotywy stają na wzniesieniu $m^0/_{00}$ i rozpoczynają bieg swój, ciągnąc jednakowo ciężkie pociągi, w kierunku tegoż wzniesienia.

Przy rozpoczęciu biegu, będzie siła, dająca się użyć do przewozu, większą u maszyny tenderowej, gdyż lokomotywa obraca całą swą siłę do ciągnienia *wozów*, podczas gdy zwykła lokomotywa, część swej siły na ciągnienie *tendera* zużyć musi.

Po przebyciu pewnej drogi, zmniejszy się adhezya lokomotywy tenderowej o tyle, o ile ubytek ciężaru wody i paliwa przyczyniał się do wytworzenia adhezyi, gdyż po przebyciu pewnej drogi, ubędzie tak wody jakoteż paliwa.

A ponieważ adhezya lokomotywy zwykłej, pozostała niezmienioną, więc początkowa różnica w siłach przewozowych, już się zmniejszyła i zmniejszać się będzie tak długo, aż przyjdzie wreszcie chwila, w której zupełnie zniknie, w którym to razie siły przewozowe obydwu lokomotyw się zrównają.

Im wzniesienie jest stromsze, tem później nastąpi owa równowaga, gdyż opór jaki tender sprawia, wzrasta ze stromością toru, skutkiem czego, absorbuje dla siebie więcej siły przewozowej.

Dla każdego wzniesienia z osobna, istnieć przeto będzie pewna przestrzeń, po przebyciu której, obydwie lokomotywy, skutkiem sobie wyrównają, przestrzeń tą oblicza Koch, jak następuje:

Przypuszczając, że każda z tych maszyn waży po M tonn, to wynosi adhezya dla każdej z nich

$$A = 130\ M$$

kilogramów.

Podczas, gdy lokomotywa tenderowa wyzyskuje całą swą adhezyę na cele przewozu, tak że siła przewozowa S_1 wynosi dla niej

$$S_1 = 130 \text{ M}$$

kilogramów, traci lokomotywa zwykła z tej adhezyi tyle, ile trzeba do poprowadzenia tendera ważącego M tonn, a więc

$$(o + m) \text{ T}$$

kilogramów, skoro wyraża *o* opór ruchu w kilogramach, wypadający na tonnę ciężaru maszyny, *m* zaś stromość wzniesienia w milimetrach.

Siła przewozowa lokomotywy zwykłej, będzie przeto:

$$S = 130 \text{ M} - (o + m) \text{ T}$$

kilogramów.

Przypuśćmy, że tender waży połowę tyle co lokomotywa, to będzie $T = \frac{M}{2}$, a przeto

$$S = \left[130 - \frac{o + m}{2}\right] \text{M}$$

kilogramów.

Przypuśćmy, że przy miernej chyżości jazdy, wynosi opór jednostkowy, $o = 4$ kilogramy na tonnę ciężaru, to będzie:

$$S = \left(128 - \frac{m}{2}\right) \text{M}$$

kilogramów.

Siły przewozowe obydwóch lokomotyw są więc

$$S = \left(128 - \frac{m}{2}\right) \text{M}$$

$$S_1 = 130 \text{ M}$$

z których, wartość pierwsza, odnosi się do lokomotywy zwykłej, druga zaś, do lokomotywy tenderowej.

Widzimy, że siła lokomotywy tenderowej, t. j. siła S_1 przeważa nad siłą lokomotywy zwykłej, czyli siłą S.

Po przebyciu K kilometrów, ubędzie w lokomotywie tenderowej wody i węgla, przez co jej ciężar adhezyjny nie będzie już wynosił jak dotąd M tonn, lecz tylko M_1 tonn.

Siła przewozowa lokomotywy tenderowej spadnie przeto po przebyciu K metrów, do wartości

$$S_1 = 130 \cdot M_1$$

kilogramów, a skoro siły obydwóch lokomotyw mają się wyrównać, będzie

$$M\left(128 - \frac{m}{2}\right) = 130 \,.\, M_1$$

w której to wzór, wstawić trzeba za M_1 odpowiednią wartość.

Wartość tę znachodzimy zaś w sposób następujący:

Doświadczenie uczy, że lokomotywa konsumuje na każdy kilometr jazdy

$$\frac{S_1}{20}$$

kilogramów wody, i

$$\frac{S_1}{150}$$

kilogramów węgla, razem przeto

$$\left(\frac{1}{20} + \frac{1}{150}\right) S_1 = 0{\cdot}056.S_1 = 0{\cdot}056.130M = 7{\cdot}3\ M$$

kilogramów, materjału zapasowego. Po przebyciu K kilometrów drogi wyniesie ubytek ciężaru sprawionego konsumem materjału zapasowego

$$7{\cdot}3 \,.\, K\, M$$

kilogramów, lub

$$0{\cdot}0073 \,.\, K\, M$$

tonn.

O tyle więc tonn, zmniejszył się ciężar adhezyjny lokomotywy tenderowej, i wynosi po przebyciu tej drogi już nie M, lecz tylko

$$M - 0{\cdot}0073\ K \,.\, M = M\,(1 - 0{\cdot}0073\ K) = M_1$$

tonn.

Wstawiając tę wartość M_1 w powyżej otrzymane równanie, mamy:

$$\left(128 - \frac{m}{2}\right) = 130\ (1 - 0{\cdot}0073 \,.\, K)$$

z którego otrzymujemy

$$K = \frac{10}{19}\,(4 + m)$$

lub w przybliżeniu

$$K = \left\{\frac{m}{2} + 2\right\} \ldots \quad (45$$

jako szukana ilość kilometrów, po przebyciu których wyrównywają sobie siły przewozowe obydwóch lokomotyw.

Z równania powyższego otrzymujemy:

dla	m = o	drogę	K = 2	kilometr.
	m = 4	„	K = 4	„
	m = 10	„	K = 7	„
	m = 16	„	K = 10	„
	m = 20	„	K = 12	„
	m = 26	„	K = 15	„

Widzimy więc, że lokomotywy tenderowe mają przewagę nad lokomotywami z odrębnemi tenderami, skoro chodzi o przewóz do *pewnej odległości;* przewaga ta jednak ustaje, skoro chodzi o przewóz dalszy, a więc o przewóz po za tę granicę.

Przewozimy towary w *równi*, to maszyna tenderowa pracuje korzystniej jak długo nie przewozimy dalej, jak do 2 kilometrów, na *wzniesieniach* zaś, sięga obręb możności używania lokomotyw tenderowych, dalej.

Na wwzniesieniu 26‰ n. p. pracują lokomotywy tenderowe korzystniej, skoro ich używamy na przestrzeniach nie dłuższych jak 15 kilometrów, ma się zaś przewozić dalej, to lokomotywy zwykłe, więcej odpowiadać nie będą.

Ponieważ lokomotywy tenderowe, coraz więcej się rozpowszechniają, więc przytoczę następnie ich rozmiary *typowe*, jakoteż rozmiary maszyn *już zbudowanych.*

Czernin podaje jako rozmiary typowe:

średnica koła popędowego	110 cm.
średnica tłoka	40 „
długość cylindra (skok)	60 cm.
rozstaw osi	2·6 m.
powierzchnia ogrzewalna	75·7 □m.
ilość rur płomiennych	130
stosunek powierzchni bezpośrednio ogrzanej, do całkowitej powierzchni ogrzewalnej	1 : 1·8
miejsce na paliwo	2·5 m^3
zawartość zbiornika na wodę	2 m^3

Austryacka *kolej zachodnia*, zaprowadzając w roku 1880 na linii *Linz-Wels* ruch drugorzędny, użyła do prowadzenia pociągów, lokomotyw tenderowych, mających następujące rozmiary:

średnica koła popędowego	111 cm.
średnica tłoka	25 „
pługość cylindra (skok)	48 „
rozstaw osi	2·8 m.
powierzchnia ogrzewalna	49 $\square^{m}$
ilość rur płomiennych	88 sztuk
zewnętrzna średnica rur płomiennych	51 ^{mm}
powierzchnia rusztu	0·9 $\square^{m}$
maxymalne ciśnienie pary	10 atm.
ciężar maszyny próżnej	16·8 tonn
„ „ przysobionej do jazdy	21 „
siła przewozowa	1760 kilogr.
koszta zakupna maszyny	14000 guld.

31.

Związek istniejący między rozmiarami lokomotywy i pracą pary.

Wydawaćby się mogło, że wobec doświadczeń nagromadzonych pracą połowy wieku, zbędnem jest, starać się wyszukiwać związków, jakie zachodzą między rozmiarami maszyny a mechaniczną pracą pary, gdyż wystarcza, zastósować się z budową nowych maszyn, do rozmiarów już wypróbowanych.

Ponieważ jednak lokomotywy obliczano przeważnie dla warunków najczęściej się zjawiających, więc odpowiadać one mogą tylko warunkom *przeciętnym*, zachodzą zaś okoliczności różniące się od warunków przeciętnych, to w takich razach nie dają się z korzyścią używać lokomotywy zwykłe. *Odrębne warunki* wymagają bowiem *odrębnych maszyn*.

Mamy n. p. do przewozu przez górę, zawsze dostateczną ilość towaru, tak, że przy każdym poszczególnym pociągu siła maszyny może być wyzyskaną, to będą 4 osiowe lokomotywy jak je zwykle używamy, zupełnie na miejscu.

Niema zaś na tej samej linii tyle towaru, ile potrzeba do zupełnego obciążenia lokomotywy, to w takim razie, czteroosiowa maszyna dostatecznie odpowiadać nie będzie, gdyż posiada nadmiar siły i ciężaru, który wyzyskać nie możemy.

A ponieważ nadmiar siły konsumuje paliwo, a nadmiar ciężaru niszczy tory, więc wydatki na ruch, nie będą stać w tym samym stosunku do dochodów, w jakim stały, gdy miano dostateczną ilość towaru do przewozu.

Wynika ztąd, że chcąc zachować odpowiedni stósunek między dochodem a wydatkiem, (a to jest niezawodnie pierwszy warunek powodzenia się kolei), zastósować trzeba siłę przewozową do wielkości przewozu.

W chęci sprowadzenia owej równowagi, zbudowano w nowszym czasie lokomotywy, zwane *omnibusami*. Omnibusy, są to lokomotywy złączone stale z wozem osobowym, omnibus przedstawia więc niejako wóz, na którym umieszczono motor i osoby.

Pojazdy takie, z których, konstrukcye inżynierów *Rowan*, *Weissenhorn* i *Belpaire* zasługują na uwagę, mają obok wielu zalet także i ujemne strony, a mianowicie wymagają one w końcowych stacyach gdzie je obracać trzeba, z powodu nadmiarowej swej długości wielkich obrotnic, zabierają w remizach dużo miejsca, nie nadają się dobrze do szykowania wozów na stacyach, i okazują się być o tylə niekorzystnemi, że w razie uszkodzenia jakiej części omnibusa, uchyla się z obrotu, tak wóz jakoteż i lokomotywę, gdyż oboje tworzą jednę nierozerwalną całość.

Budując wozy takie, miano na oku możność uzyskania większej *adhezyi*. Zważając jednak, że jadąc zwykłą chyżością pociągów osobowych, nawet tej adhezyi nie wyzyskujemy, którą mamy w lokomotywie użytej do prowadzenia takich pociągów, okazuje się być, dalsze zwiększanie adhezyi, wcale niepotrzebnem.

Lokomotywa, która pracuje siłą, równającą się sile 300 koni, waży co najmniej 30 tonn, na tonnę ciężaru, wypada przeto siły 10 koni. Ciężarowi jednej tonny odpowiada więc mechaniczna praca wynosząca w najlepszym razie $75 \times 10 = 750$ meterkilogrammów na sekundę.

A ponieważ każda tonna ciężaru lokomotywy, sprawia przeciętnie 130 kilogramów adhezyi, więc zwalczając opór ten, chyżością x metrów na sekundę, wydajemy mechaniczną pracę, wynoszącą $130\,x$ kilogramów.

Nie chcąc więcej produkować pracy, jak właśnie tyle ile potrzeba do zwalczania oporów, sprawić trzeba, aby było:

$$130x = 750$$

zkąd wypada:

$$x = 5{\cdot}7^{m}$$

co znaczy, że adhezyę zwykłej lokomotywy wyzyskujemy tylko wtedy skoro jedziemy wolniej jak $5{\cdot}7^{m}$ na sekundę, ponieważ jednak osobowe pociągi, prowadzić trzeba, co najmniej chyżością 7^m na sekundę, więc widzimy, że omnibus nie potrzebuje wcale więcej adhezyi od lokomotywy zwykłej.

Z tych to powodów, omnibusy zawiodły oczekiwania swych konstruktorów i nie znalazły wzięcia.

Poznawszy raz złe, myślano o zaradzeniu, a rozwadze tej przypisać należy, że się zjawiają w nowszym czasie motory, które nie są już złączone z wozem osobowym, lecz są same dla siebie, podobnie jak zwykłe lokomotywy nie są zależne od wozów.

Motory takie, różnią się tem tylko od zwykłych lokomotyw, że budowa ich nie stósuje się do typ wyrobionych przeciętnemi stósunkami, lecz do warunków, pod którymi motor ma pracować.

Konieczność posiadania lokomotyw, któreby się stosowały do celów poszczególnych, pojawiła się po raz pierwszy na kolejach, nie mających ruchu ożywionego, na których jednak pomimo to, pociągi kursować muszą już to dla tego, aby utrzymać łączność z pociągami sąsiedniej kolei, bądź dla ożywienia ruchu na własnem terytoryum, lub z innych względów.

Prowadzi lokomotywa li tylko pociągi osobowe, to trzeba ją złączyć w ten sposób z pociągiem, aby komunikacya między maszynistą a służbą pociągową, była ile możności jak najwięcej ułatwioną.

W tym to celu przeciąć trzeba wozy wzdłuż ich całej długości kurytarzem, niezapominając o mostkach, które sprawiają komunikacyę nietylko między samemi wozami, ale nadto między wozami i maszyną.

Przy takiem urządzeniu pomagać może konduktor maszyniście, a mając do dyspozycyi hamulce, które hamować dozwalają wszystkie wozy wchodzące w skład pociągu z jednego punktu (hamulce ciągłe) wystarcza do obsługi całego pociągu, dwóch tylko ludzi.

Co się zaś tyczy warunków budowy odpowiedniej lokomotywy, zauważyć trzeba co następuje.

Na kolejach nie mających ożywionego ruchu, odpowiadać mogą tylko *lekkie* lokomotywy, a mianowicie lokomotywy, któreby nie wydawały więcej siły jak właśnie potrzeba do prowadzenia pociągów *małych.*

Siła przewozowa stać bowiem musi w odpowiednim stosunku do ciężaru, który ma prowadzić, gdyby zaprzężono do wozu *tramwajowego* lokomotywę używaną na kolejach do prowadzenia pociągów ciężarnych, pewnoby w takim razie siła przewozowa ciężarowi nie odpowiadała.

Gdyby zbudować można lokomotywę mającą jednę oś tylko, to złożyćby trzeba na nią ciężar 14 tonn, chcąc wyzyskać wytrzymałość szyny.

W takim razie spoczywaćby musiał tender na drugiej osi, ponieważ jednak tender nie potrzebuje być tak ciężkim jak lokomotywa, więc złożyć można na drugiej osi, tender i wóz pakunkowy, tak więc, że motor spoczywający na dwu osiach, składałby się z kotła, tendera i skrzyni na pakunki.

Myśl budowy takiego motora wyszła (1879) od inspektora austryjackiej kolei północno-zachodniej pana *Elbla,* a kalkuluje on mniej więcej w sposób następujący:

Ponieważ ciężar adhezyjny wynosi 14 tonn, więc lokomotywa sprawi adhezyę $130 \cdot 14 = 1820$ kilogramów, tyleż kilogramów więc i możebnie największy opór wynosić może, który maszyna jeszcze zwalczyć będzie mogła.

Zadawalniając się chyżością przewozu 4^m na sekundę, wynosi mechaniczna praca naszej maszyny, co sekundę

$$4 \cdot 1820 = 7280$$

meterkilogramów, równa się więc sile

$$\frac{7280}{75} = 96$$

koni.

Pod supozycyą, że maxymalne prężenie pary w kotle wynosi 10 atmosfer, potrzeba na siłę, równającej się sile konia, co godzinę $10 + 5 = 15$ kilogramów pary (§ 23), a ponieważ lokomotywa pracuje siłą 96 koni, więc produkować musi co godzinę $96 \cdot 15 = 1440$ kilogramów pary.

Licząc, że na metrze kwadratowym powierzchni ogrzewalnej, uzyskać można w godzinie 40 kilogramów pary, nadać trzeba naszej lokomotywie, powierzchnię ogrzewalną wynoszącą

$$\frac{1440}{40} = 36$$

metrów kwadratowych.

Przypuszczając, że w żadnem miejscu i pod żadnym warunkiem spieszniej, jak chyżością 12^m jechać nie będzie trzeba, oblicza się średnicę koła popędowego jak następuje:

Doświadczenie uczy, że koło popędowe spieszniej jak 4 razy w sekundzie, obracać się nie powinno, skoro składowe maszyny cierpieć nie mają.

Wyraża R promień koła popędowego w metrach, to wyniesie możebnie największa droga pociągu przebyta w ciągu sekundy $2R\pi \cdot 4 = 8\pi R$ metrów, a ponieważ droga ta wynosi 12^m, więc mamy równanie

$$8\pi R = 12$$

z którego wypada

$$R = 0{\cdot}477^m = 477^{mm}$$

a przeto średnica koła popędowego

$$S = 2 \cdot 477 = 954^{mm} = 95$$

centimetrów.

Motor *Elbla* posiada tę zaletę, że obsługa jego jest tanią a maszyna nie potrzebuje dużo paliwa, jako ujemną stronę tej konstrukcyi, uważać zaś trzeba tę okoliczność, że celem ładowania pakunków, zarazem i maszynę posyłać trzeba, bo maszyna i wóz pakunkowy, tworzą jednę nierozerwalną całość.

Rozmiary motora Elbla są następujące

całkowity ciężar motora ...	tonn	18
ciężar adhezyjny	„	11
powierzchnia ogrzewalna $\square^m$ ...		36
długość rur płomiennych..	metr.	2
średnica rur płomiennych ..	mm.	52
ilość rur płomiennych....	sztuk	100
maxymalne ciśnienie pary ..	atm.	10
średnica koła popędowego..	cm.	95
„ tłoka	„	22·5
długość cylindra	„	37
powierzchnia rusztu $\square^m$		0·63
rozchód węgla na kilometr jazdy wyrażony w kilogr.		5·2

Lokomotywa ta, popisywała się (1879), prowadząc pociąg, który ważył 63 tonn, chyżością 38 kilometrów na godzinę.

Możebnie największy skutek jaki lokomotywą tej konstrukcyi osiągnąć było można, osiągniono na dniu 7 października 1879 na linii *Znaim-Wolframitzkirchen*, leżącej na wzniesieniu 1 : 100, lokomotywa prowadziła bowiem po tej linii pociąg ważący 87·5 tonn, przeciętną chyżością 15·6 kilometrów wydając 1400 kilogramów pary na godzinę.

Obecnie (1880) pełni lokomotywa Elbla regularną służbę na 10 kilometrów długiej linii *Trautenau-Freiheit*, leżącej na wzniesieniu 1 : 65, prowadząc 50 tonn ciężkie pociągi chyżością 18 kilometrów na godzinę.

Ponieważ, jak już wspomniano, motor Elbla powstaje z wozu pakunkowego i maszyny, a połączenie podobne nie zawsze jest pożądanem, więc budowano w nowszym czasie (1880) lokomotywy, które nie są połączone ani z wozem osobowym *(Rovan, Belpaire, Weissenhorn)*, ani też z wozem pakunkowym (*Elbel*), lecz pozostają same, jak zwykłe na kolejach używane maszyny.

Lokomotywy takie, różnią się tylko w rozmiarach od lokomotyw zwykłych, a najwięcej znane są konstrukcye panów *Lentz* w *Duisseldorf* i *Krauss* w *Berlinie*. Rozmiary jednej z takich maszyn są zaś następujące:

całkowity ciężar maszyny próżnej	16·8 tonn
„ „ „ w służbie	21·0 „
powierzchnia ogrzewalna........	49□^{m}
„ rur płomiennych ...	45·1 „
„ palewiska.........	3·9 „
„ rusztu	0·9 „
ilość rur płomiennych	88 sztuk
zewnętrzna średn. rur płomiennych	51 mm.
maxymalne ciśnienie pary w kotle	10 atm.
średnic koła popędowego	110·6 cm.
średnica tłoka.................	25·0 „
długość cylindra...............	48·0 „
rozstaw osi	2·8 metr.
objętość na wodę..............	1·9 mtr.^{3}
„ „ paliwo............	2·0 „

Widzimy, że maszyna ta lżejszą jest od motora Elbela, następnie podaję rozmiary najlżejszej lokomotywy, jaką znaleść można na torach, a mianowicie rozmiary lokomotywy również tenderowej, pełniącej służbę na wązkotorowej ($s = 0·948^{m}$) austryjackiej kolei *Morawicza-Ressicza*

ciężar maszyny próżnej	5·167 tonn
„ maszyny przysposobionej do jazdy	6·0 tonn
powierzchnia ogrzewalna.......	11·31□^{m}
„ rur płomiennych ..	9·13 „
ilość rur płomiennych	45 sztuk
wewnętrzna średnica rur płomiennych	35 mm.
długość rur płomiennych	1·55 m.
powierzchnia rusztu	0·3□^{m}
średnica kotła	59·6 cm.

maxymalne ciśnienie pary	12 atm.
średnica koła popędowego	63·2 cm.
średnica tłoka	17·0 „
długość cylindra	24·0 „
rozstaw osi	1·1 m.
zbiornik na wodę	0·7 m^3
miejsce na paliwo	200 kilogr.

Przykład.

Pewna kolej zamyśla zaprowadzić u siebie małe pociągi, składające się z 3 wozów osobowych i 3 wozów towarowych, a pociągi nie mają biedz spieszniej jak 36 kilometrów na godzinę, tocząc się po wzniesieniach $7^0/_{00}$ leżących w łukach, zatoczonych promieniem 400^m. Zachodz pytanie, jakie maszyny, kolej zakupić winna.

Rozwiązanie.

Ze względu na przepisy, zestawić trzeba pociąg jak następuje:

wóz konduktorski waży	7·5
wóz na pakunki „	7·5
3 wozy osobowe ważą	25·5
3 wozy towarowe „	19·2
ciężar wozów	59·7 tonn.

Przyjmując, że pociąg wiezie 120 podróżnych, a licząc ciężar osoby po 80 kilogramów, ważą podróżni 9600 kilogramów, każdy z nich nadaje przeciętnie po 20 kilogramów pakunku, więc ważą pakunki 2400 kilogramów, przyrządy znajdujące się we wozie konduktorskim niechaj ważą 1000 kilogramów, każdy wóz towarowy załadować można towarem ważącym po 10 tonn. Całkowity ciężar ładunku będzie przeto:

podróżni	9600 kilogramów
pakunki	2400 „
przyrządy	1000 „
towar	30000 „
razem	43000 „

czyli 43 tonn, całkowity pociąg waży przeto: $59·7 + 43 = 102·7$ tonn.

Waży maszyna, która ma służyć do prowadzenia pociągu, x tonn, to wynosi ciężar brutto naszego pociągu $(102·7 + x)$ tonn.

Wykażemy później (§ 60), że jadąc chyżością 10^m na sekundę na wzniesieniu $7^0/_{00}$ w krzywiźnie zatoczonej promieniem 400^m, wypadnie na tonnę ciężaru pociągu:

$$4 + 7 + \frac{600}{400} + \frac{10^2}{50} = 14·5$$

kilogramów oporu. Całkowity opór wyniesie więc:

$$14·5\ (102·7 + x)$$

kilogramów, i tyle samo kilogramów wynosić musi także i siła przewozowa.

Adhezya, którą maszyna sprawić winna, wyniesie $\frac{11}{10}$ razy tyle, czyli 15·95 (102·7 + x) kilogramów.

Używając maszyny, której całkowity ciężar wyzyskać się daje na cele adhezyi, i przyjmując, że każda tonna jej ciężaru sprawia 143 kilogramów adhezyi, otrzymujemy adhezyę wynoszącą w całości 143.x kilogramów, mamy przeto równanie:

$$15{\cdot}95\ (102{\cdot}7 + x) = 143\ x$$

z którego wypada: x = 13 tonn, prowadzi zaś maszyna ten sam pociąg podczas słoty, gdzie adhezya spada z wartości 143 do wartości 80 kilogramów, to obliczamy ciężar jej ze wzoru:

$$15{\cdot}95\ (102{\cdot}7 + x) = 80\,x$$

otrzymując w takim razie: x = 26 tonn. Siła przewozowa tej maszyny wynosić przeto musi 26 . 80 = 2028 kilogramów, a maszyna pracować będzie siłą równającą się sile:

$$\frac{2028\ .\ 10}{75} = 270$$

koni, skoro biedz ma chyżością 10^m na sekundę.

Ażeby zaś wywiązać siłę taką, maszyna produkować musi na sekundę:

$$270\ (8 + 5) = 3510$$

kilogramów pary, prężącej siłą 8 atmosfer (§ 23), w którym to razie, nadać jej trzeba powierzchnię ogrzewalną $\frac{3510}{40} = 88$ metrów kwadratowych; — podczas gdy średnica koła popędowego, mając na względzie chyżość 10 m., wynosi

$$2\ .\ \frac{10}{8\ .\ \pi} = 0{\cdot}718$$

milimetrów, czyli okrągło 72 centimetrów.

ROZDZIAŁ II.

O oporach ruchu pociągów.

23.

Opór ruchu pociągów w ogólności.

„Daleko mniej trudności znalazłem w odkryciu obrotu „ciał niebieskich, pomimo zadziwiająco dalekiej odległości, „jak przy dochodzeniu biegu płynącej wody, którą przecież „mamy przed oczyma.“

Temi słowy zaznaczył *Galileusz* przed 300 laty okoliczność, że łatwiej jest zbadać mechanikę nieba, niż ruch płynącej wody. Owa zadziwiająco wielka odległość ciał niebieskich stała się jednak właśnie przyczyną, że odkryto prawa ruchu, którem podlegają. Gdyby planety biegły tak blizko ziemi, jak się toczą wozy na kolei, pewnieby Galileusz i Keppler praw ich ruchu nie dociekli, gdyż tysiączne zboczenia z linii obiegowej planet niebieskich nie dozwalałyby uchwycić charakter tejże linii.

Inżynier, studyujący prawa ruchu pociągów, znachodzi tak wiele czynników, które wszystkie wpływają na zmiany nie znanego nam prawa ruchu wozów, że objąć je wszystkie w karby analizy nie jest wstanie.

Profesor *Ruilman* zauważa, że gdyby matematykowi kazano obliczyć krzywą, którą opisuje w powietrzu listek spadający z drzewa, przyznaćby musiał, że rozwiązanie tego zadania przewyższa siły wiedzy naszej.

Tak też i opór pociągów teoretycznie obliczyć się nie daje, prawo, któremu podlega, jest tak trudne do ujęcia, że obecnie zaledwie z grubego tylko opisać go zdołamy, zaledwie znamy kontury owej linii, wykreślającej szukane prawo.

Pierwszym, który się podjął oznaczać wielkość oporu, na który natrafia wóz, będący w ruchu, był nikt inny, jak *Stefenson*, który już w roku 1818, a zatem jeszcze przed otwarciem pierwszej kolei, służącej do użytku publicznego, starał się wspólnie z inżynierem panem *Wood* wykazać, na podstawie umiejętnie przeprowadzonych doświadczeń, ile siły potrzeba do utrzymania wozu w ruchu.

Przekonawszy się, że dynamometry z powodu trudności w odczytywaniu podczas jazdy pewnego wyniku nie dają, mierzyli obaj eksperymentatorowie wielkość siły uderzenia, skutkiem której wóz nabierał ruchu postępowego, używając do tego umyślnie na ten cel zbudowanego przyrządu, tak zwanego wahadła balistycznego, a badania ich wykazały, że opór ruchu od chyżości jazdy wcale zależeć się nie zdaje.

Prezes izby inżynierów cywilnych w Londynie, słynny inżynier *Vignoles* przejęty prawdziwością twierdzenia *Stefensona*, jakoby opór nie zależał od szybkości ruchu, przeprowadził później (1830) szereg doświadczeń, mających na celu wykazać liczebną wielkość owego oporu.

Ustawiając wóz, ważący tonnę, na torze poziomym, utrzymywał go *Vignoles* w ruchu jednostajnym za pomocą ciężarka, ważącego $4^1/_7$ kilograma, a umocowanego na lince przerzuconej przez rolkę. On to pierwszy wykazał, że chcąc utrzymać w ruchu ciężar ważący tonnę, potrzeba na to ciężaru 4 kilogramów, *Vignoles* wyrzekł więc pierwszy, że opór ruchu wynosi 4 kilogramy na tonnę ciężaru w ruchu będącego wozu. Waży wóz 5 tonn, to zwalczać musi będąc w ruchu, opór $5 \times 4 = 20$ kilogramów, chcąc wóz ważący 5 tonn utrzymać w ruchu, trzeba na to siły 20 kilogramów.

Twierdzenie *Stefensona*, jakoby opór nie zależał od szybkości jazdy, poparte powagą Vignolesa, który wykazał liczebną wartość tego, od chyżości niezawisłego oporu, uważano powszechnie, jako aksiom, co sprawiło, że uważano przez długi czas kwestyę oporu pociągów, jako załatwioną.

Że tak było, a nieinaczej, świadczy sprawozdanie doktora *Lardner* odczytane w roku 1836 na zgromadzeniu towarzystwa „Britsch Association", w którym to sprawozdaniu, Lardner omawiając szczegółowo kwestyę oporu na drogach żelaznych, o zależności jego od chyżości jazdy wcale nie wspominał.

Na zapytanie prezesa stowarzyszenia hrabiego *Burlington* odpowiada doktor, że wpływ powietrza na ruch pociągów tak mało jest znaczącym, że go nawet nie brał w rachunek.

Jeszcze w roku 1845 utrzymywał *Brunell*, ów słynny budowniczy i dyrektor kolei *Great-Western*, a niemniej znakomity inżynier, że chyżość jazdy, oporu mało, lub wcale nie zmienia.

Stefenson, poznawszy mylność swego pierwotnego zdania, twierdził zaś, że opór ruchu nie wynosi przy chyżości jazdy 96 kilometrów na godzinę, $7{\cdot}_5$ kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, jak to twierdzi Brunell, lecz przynajmniej $17{\cdot}_5$ kilogramów.

Widzimy, że jeszcze w roku 1845, a więc w roku, w którym u nas w Austryi koleje od 9 lat już istniały, kwestya oporu wcale nizko stała.

W chęci przekonania się, czy i o ile opór wzrasta z chyżością ruchu, czyniono na rozmaitych kolejach wiele doświadczeń, tak np. znalazł, dla znaczniejszych chyżości:

Clark	opór	3·6
Speck		4·0
Dieudonné i Guebhard		5·3
Gooch		5·7
Dieudonné i Guebhard (później)		9·5

kilogramów na tonnę ciężaru.

Na podstawie tych i innych doświadczeń wyrobiło się zdanie, że jadąc wolno, opór ruchu wynosi 3 Kilogramy na tonnę ciężaru, jadąc zaś spieszniej (chyżej jak 20 Kilometrów na godzinie) opór ruchu podwoić, a nawet potroić się może, a zdanie to, dzisiaj jeszcze, jest powszechném.

Przyczyny z których opór powstaje są rozmaite, a każda z osobna sprawia opór sobie właściwy, pojawiający się w miejscu odpowiedniem.

Szorstkość szyny, sprawia n. p. opór na poziomie toru, niegładkość osi, sprawia opór w panwiach i t. p.

Chcąc oznaczyć opór ruchu, trzeba więc wymierzać każdy opór z osobna, sprowadzić wszystkie poszczególne opory na poziom toru, a suma ich, przedstawi nam to, co zowiemy *oporem.*

Obliczanie *oporu* w podobny sposób, wymaga jednak nie tylko znajomości wszystkich sił, opory sprawiających, ale nadto także znajomości w jaki sposób każda z nich działa, t. j. jakiemu prawu podlega.

Takich wiadomóści jednak nie posiadamy, nie znamy bowiem ani wszystkich sił wpływających na opór, ani też prawidła, podług którego, znane nam siły działają.

W obec takiego stanu rzeczy, nie pozostaje nic innego, jak tylko zadowolnić się znajomością *sumy* wszystkich oporów, nie wchodząc z jakich składowych ona powstała.

Urządzając odpowiednio doświadczenie, oznaczyć można sumę taką, nieznając wcale składników z których powstaje.

Chociaż wiemy, że nie wszystkie opory wzrastają proporcyonalnie do ciężaru pociągu, jakoteż, że lokomotywa stawia ruchowi zupełnie inny opór, aniżeli wóz, to przecież odnosimy sumę wszystkich oporów (którą to sumę, krótko *oporem* zwać będziemy) do *tonny ciężaru* pociągu, a opór taki wyrażony w kilogramach, *oporem jednostkowym* zwać będziemy.

Podług pana *Gordon*, przyjąć można, iż wynosi opór jednostkowy na:

źle żwirowanej szosie	70
szosie makadamizowanej	22
drodze asfaltowanej	8
kolejach konnych	7
kolejach żelaznych	5

kilogramów.

To znaczy, że chcąc przewozić ciężar wynoszący tonnę (1000 kilogramów) potrzeba na kolejach siły 5, na szosie makadamizowanej 22 kilogramów, opór na szosie takiej jest więc $\frac{22}{5} = 4{\cdot}4$ razy większym od oporu na kolejach.

Do przewozu ciężaru, dla którego potrzeba na szosie siły 4 koni, wystarczy na torach żelaznych siła jednego tylko konia.

Na Tramwayu przewiezie jeden koń $\frac{22}{7} = 3$ razy tyle, co na bruku!

Powyższe liczby odnoszą się do ruchu pociągów, podczas *ciszy*; wieje zaś wiatr, to siła jego parcia, oddziaływa na pociąg, a od *kierunku* wiatru zależeć będzie, czy się opór zwiększy lub też nie.

Wyraża c chyżość jazdy w metrach na sekundę, w zaś chyżość wiatru również w metrach na sekundę, to przyjmując, że przekrój pociągu wynosi 5 metrów kwadratowych, wiatr ciśnie siłą $0{\cdot}6\ w^2$ kilogramów, a siła ta przedstawia się jako nadwyżka oporu, którą zwalczać trzeba.

Biegnie pociąg na przeciw wiatru, to wynosi nadwyżka oporu

$$0{\cdot}6(c+w)^2$$

zaś już tylko:

$$0{\cdot}6\ (c-w)^2$$

kilogramów, skoro pociąg z wiatrem idzie.

Zwykły wiatr wieje chyżością 5^m, a przypuściwszy, że pociąg poruszał się chyżością 10^m na sekundę (36 kilometrów na godzinę) i biegł naprzeciw wiatru, to opór jednostkowy zwiększył się tym sposobem o:

$$0{\cdot}6\ (10 + 5)^2 = 135$$

kilogramów.

Ważył pociąg 300 tonn, to wynosi opór ruchu, nie uwzględniając wiatru, 5 kilogramów na tonnę, w całości przeto $5.300 = 1500$ kilogramów, idzie zaś ten sam pociąg pod wiatr, to opór jego wynosić będzie $1500 + 135 = 1635$ kilogramów.

Ażeby zwalczyć nadwyżkę oporu sprawioną wiatrem, potrzeba na to (wzór 38) siły:

$$\frac{135.\,c}{75}$$

koni, przyjmując $c = 10$, wypada, że do zwalczania parcia wiatru użyć trzeba siły równającej się sile $\frac{135 \times 10}{75} = 18$ koni, pracowała lokomotywa siłą 300 koni, to opór sprawiony wiatrem pochłania $\frac{18}{300}\ 100 = 6\%$ tej siły.

W następujących badaniach, nie będziemy już brać nigdzie względu na siłę wiatru, lecz oznaczać będziemy opór, jak gdyby pociągi biegły podczas ciszy.

Do wyznaczania *oporu jednostkowego* nasuwają się nam dwa sposoby, a mianowicie:

1) pomiar bezpośredni, używając dynamometru.

2) pomiar pośredni, sprowadzając pewne zjawiska tak, aby można z nich wnioskować na wielkość oporu.

Używając pierwszego sposobu, trzeba mieć do dyspozycyi szereg rozmaitych przyrządów, które klasfikować się dają na trzy kategorye

a) *dynamometr*, do mierzania siły pociągowej.

b) *integrator*, do mierzenia mechanicznej pracy.

c) *tachometr*, do mierzenia chyżości jazdy.

Mierząc zaś drugim sposobem, nie potrzeba nic więcej, jak taśmy mierniczej i zegara, lub odpowiednego instrumentu, który go zastępuje.

33.

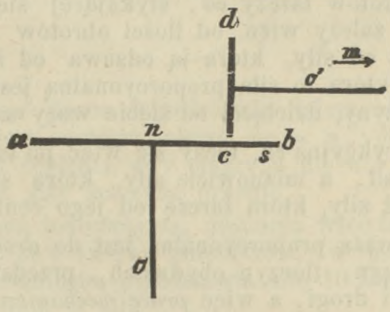
Integrator.

Maszyna prowadząca pociąg, napręża sprzęgła; gdyby w miejsce sprzęgła, wsunięto między maszynę, a pierwszy wóz (między tender a wóz sąsiedni) zwój spiralny, któryby się wydłużał w miarę nań działającej siły, to znając wydłużenia takiego zwoju, wnioskować będzie można na siłę wydłużającą, czyli na opór, który ona zwalcza.

Przyrządy podobne, są powszechnie znane i dla tego opisywać je nie będę.

W miejsce zwykłego siłomierza czyli dynamometru wsunąć można między maszynę a wóz, także przyrząd, który mierzać dozwala nie tylko opór, ale nadto i mechaniczną pracę siły przewozowej, a przyrządy podobne nazwano *integratorami*.

Fig. 16.



Integrator składa się z dwóch pod prostym kątem ku sobie zwróconych tarcz (*ab* i *cd* fig. 16) z których jednę (*ab*) złączono za pomocą trzona *o*, z osią wozu jednego, podczas gdy drugą (*cd*), spoczywającą lekko na pierwszej, spięto z wozem drugim.

Talerz *ab*, stale umocowany z osią *o*, otrzymuje ruch obrotowy w płaszczyźnie poziomej, od osi koła biegnącego tarcza *cd* dotykająca się powierzchni talerza *ab* w punkcie *b*, będącym po za centrum talerza, otrzymuje ruch swój skutkiem tarcia na talerzu *ab*.

Ilość obrotów talerza, *ab* stoi w stosunku do ilości obrotów koła, a więc do chyżości jazdy, a ponieważ tarcza *cd* otrzymuje ruch swój od talerza *ab*, więc ilość jej obrotów zależną będzie od szybkości jazdy.

Oś *o* umocowaną jest na jednym, oś o^1, zaś na drugim wozie, oś *o* jest ustawioną stale, tak, że oprócz ruchu wirowego nie ma wcale żadnych poruszeń, podczas gdy oś o^1, przesuwać się daje w kierunku strzałki *m* tu i napowrót.

Przesuwanie to odbywa się w miarę rozprężania i ściągania sprężyny, dzielącej od siebie obydwa wozy.

Szarpnie lokomotywa pociąg, to wóz, na którem się znajduje oś pionowa, oddali się od wozu połączonego z osią poziomą, tarcza *cd* oddali się od środka talerza *ab*, przez co przestrzeń *cn* się zwiększy.

Ponieważ punkt *b* opisuje większe koło niż punkt *c*, a w ogóle każdy punkt znajdujący się dalej od środka talerza o; isuje podczas obrotu tarczy *ab* większe koło, od punktu leżącego bliżej środka *n*, więc tarcza *cd* tem spieszniej wirować będzie, im dalej się odsunie od środka *n*.

Ilość obrotów tarczy *cd*, stykającej się z tarczą *ab* w punkcie *c*, zależy więc od ilości obrotów osi wozowej, i równocześnie od siły, która ją odsuwa od środka *n*, na przestrzeń *nc*, która to siła proporcyonalną jest do wydłużenia się sprężyny, dzielącej od siebie wozy sąsiednie.

Tarcza frykcyjna *cd*, toczy się więc po talerzu, z przyczyny dwóch sił, a mianowicie siły, która sprawia obrót talerza, jakoteż siły, która tarczę od jego centrum odsuwa.

Siła pierwsza proporcyonalną jest do *drogi*, druga zaś, do *oporu* pociągu, iloczyn obydwóch, przedstawia przeto iloczyn oporu i drogi, a więc *pracę mechaniczną*, potrzebną do zwalczania oporu.

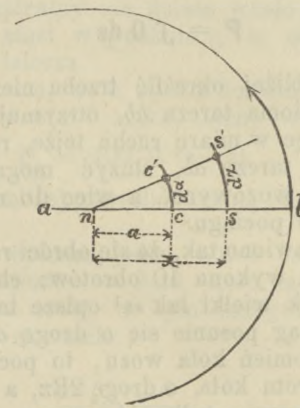
Mechaniczna praca, podzielona przez drogę, daje siłę, którą użyto do zwalczania oporu, a więc miarę *oporu* samego.

Chcąc integratorem mierzać opór, trzeba oś jego poziomą t. j. oś o^1 połączyć ze spiralnym zwojem zawieszonym między dwoma wozami, a połączyć ją tak, aby nie-tracąc swego ruchu obrotowego, który otrzymuje od tarczy *ab*, otrzymała od niej ruch w kierunku strzałki *m*, lub ruch odwrotny.

Cały przyrząd ustawimy zaś tak, że skoro na zwój spiralny, działa siła 10 kilogramów, tarcza *cd* posunie się na poziomym talerzu w kierunku strzałki *m* (lub odwrotnie) o jeden milimetr.

Nie działa zaś na zwój spiralny wcale żadna siła, to tarcza *cd* stać musi w oddaleniu nc = a, od środka wirującego talerza.

Fig. 17.



Powyższa figura przedstawia talerz *ab* w rzucie poziomym, *n* jest centrum talerza nc = a, oddalenie tarczy frykcyjnej od centrum, gdy maszyna nic nie ciągnie, ns = x oddalenie zaś, gdy maszyna pracuje.

Pracująca lokomotywa, posunęła więc tarczę frykcyjną o przestrzeń *cs* = (x—a) milimetrów, a ponieważ każdy milimetr przesunięcia, przedstawia siłę 10 kilogramów, więc przedstawia linia *cs* siłę

$$10(x—a)$$

kilogramów.

A ponieważ ruch tarczy *cd* powstał skutkiem oporu, jaki pociąg stawiał sile przewozowej i oporowi temu jest proporcyonalnym, więc siła, oporowi równać się będzie. Wytarcza *cd* dotykająca się powierzchni talerza *ab* w punkcie *b*, będącym po za centrum talerza, otrzymuje ruch swój skutkiem tarcia na talerzu *ab*.

Ilość obrotów talerza, *ab* stoi w stosunku do ilości obrotów koła, a więc do chyżości jazdy, a ponieważ tarcza *cd* otrzymuje ruch swój od talerza *ab*, więc ilość jej obrotów zależną będzie od szybkości jazdy.

Oś *o* umocowaną jest na jednym, oś o^1, zaś na drugim wozie, oś *o* jest ustawioną stale, tak, że oprócz ruchu wirowego nie ma wcale żadnych poruszeń, podczas gdy oś o^1, przesuwać się daje w kierunku strzałki *m* tu i napowrót.

Przesuwanie to odbywa się w miarę rozprężania i ściągania sprężyny, dzielącej od siebie obydwa wozy.

Szarpnie lokomotywa pociąg, to wóz, na którem się znajduje oś pionowa, oddali się od wozu połączonego z osią poziomą, tarcza *cd* oddali się od środka talerza *ab*, przez co przestrzeń *cn* się zwiększy.

Ponieważ punkt *b* opisuje większe koło niż punkt *c*, a w ogóle każdy punkt znajdujący się dalej od środka talerza oj isuje podczas obrotu tarczy *ab* większe koło, od punktu leżącego bliżej środka *n*, więc tarcza *cd* tem spieszniej wirować będzie, im dalej się odsunie od środka *n*.

Ilość obrotów tarczy *cd*, stykającej się z tarczą *ab* w punkcie *c*, zależy więc od ilości obrotów osi wozowej, i równocześnie od siły, która ją odsuwa od środka *n*, na przestrzeń *nc*, która to siła proporcyonalną jest do wydłużenia się sprężyny, dzielącej od siebie wozy sąsiednie.

Tarcza frykcyjna *cd*, toczy się więc po talerzu, z przyczyny dwóch sił, a mianowicie siły, która sprawia obrót talerza, jakoteż siły, która tarczę od jego centrum odsuwa.

Siła pierwsza proporcyonalną jest do *drogi*, druga zaś, do *oporu* pociągu, iloczyn obydwóch, przedstawia przeto iloczyn oporu i drogi, a więc *pracę mechaniczną*, potrzebną do zwalczania oporu.

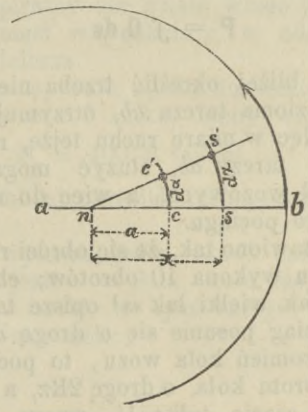
Mechaniczna praca, podzielona przez drogę, daje siłę, którą użyto do zwalczania oporu, a więc miarę *oporu* samego.

Chcąc integratorem mierzać opór, trzeba oś jego poziomą t. j. oś o^1 połączyć ze spiralnym zwojem zawieszonym między dwoma wozami, a połączyć ją tak, aby nie-tracąc swego ruchu obrotowego, który otrzymuje od tarczy *ab*, otrzymała od niej ruch w kierunku strzałki *m*, lub ruch odwrotny.

Cały przyrząd ustawimy zaś tak, że skoro na zwój spiralny, działa siła 10 kilogramów, tarcza *cd* posunie się na poziomym talerzu w kierunku strzałki *m* (lub odwrotnie) o jeden milimetr.

Nie działa zaś na zwój spiralny wcale żadna siła, to tarcza *cd* stać musi w oddaleniu nc = a, od środka wirującego talerza.

Fig. 17.



Powyższa figura przedstawia talerz *ab* w rzucie poziomym, *n* jest centrum talerza nc = a, oddalenie tarczy frykcyjnej od centrum, gdy maszyna nic nie ciągnie, ns = x oddalenie zaś, gdy maszyna pracuje.

Pracująca lokomotywa, posunęła więc tarczę frykcyjną o przestrzeń *cs* = (x—a) milimetrów, a ponieważ każdy milimetr przesunięcia, przedstawia siłę 10 kilogramów, więc przedstawia linia *cs* siłę

$$10(x—a)$$

kilogramów.

A ponieważ ruch tarczy *cd* powstał skutkiem oporu, jaki pociąg stawiał sile przewozowej i oporowi temu jest proporcyonalnym, więc siła, oporowi równać się będzie. Wyraża we figurze 17, O całkowity opór w kilogramach, to będzie

$$O = 10\,(x-a) \qquad (\alpha$$

Postąpi pociąg o nieskończenie małą drogę ds, to przedstawia iloczyn oporu i drogi, czyli:

$$O\,.\,ds = 10(x-a)\,ds$$

nieskończenie małą pracę mechaniczną, którą nazwiemy d P, mamy więc:

$$dP = 10(x-a)\,ds$$

a przeto:

$$P = \int O.ds \qquad (\beta$$

w którym wzorze bliżej określić trzeba nieznaną drogę ds.

Ponieważ pozioma tarcza ab, otrzymuje ruch swój od osi wozowej, a więc w miarę ruchu tejże, ruch swój wykonuje, więc obroty tarczy ab, służyć mogą do mierzenia ilości obrotów kół wozowych, a więc do mierzenia ruchu postępowego całego pociągu.

Talerz ab, ustawiono tak, że się obróci raz w około swej osi, gdy koło wozu wykona 10 obrotów; chodzi więc teraz o to, wyznaczyć jak wielki łuk ss^1 opisze talerz w tym czasie, w którym pociąg posunie się o drogę ds.

Wyraża R promień koła wozu, to pociąg posunie się podczas jednego obrotu koła, o drogę $2R\pi$, a ponieważ talerz ab w tym samym czasie tylko $1/_{10}$ swego obrotu wykona, więc wyniesie łuk, któren opisze, $1/_{10}$ koła zatoczonego promieniem ns = x, a więc łuk $ss^1 = 1/_{10}.\ 2\,x\,\pi$, stosunek więc drogi pociągu (ds), do równoczesnego obrotu talerza (dz) będzie

$$\frac{ds}{dz} = \frac{2R\pi}{\frac{2x\pi}{10}} = 10\frac{R}{x}$$

a przeto:

$$ds = 10\,R.\,\frac{dz}{x} \qquad (\gamma$$

w którym wzorze, znow x bliżej określić trzeba.

Ponieważ w tym samym czasie, w którym talerz ab, obróci się o kąt $cc^1 = d\alpha$, tarcza frykcyjna cd, opisuje łuk $ss^1 = dz$, więc mamy

$$dz : d\alpha = x : a$$

a przeto:

$$x = a . \frac{dz}{d\alpha}$$

wstawiając tę wartość za x we wzór γ, a tym sposobem uzyskaną wartość ds, we wzór β, otrzymujemy

$$P = 100 R . \int (dz - d\alpha)$$

lub po całkowaniu:

$$\mathbf{P = 100 R (z - \alpha) + A} \qquad (\delta$$

gdzie **A** oznacza stałą, którą bliżej określić można zważając, że skoro na zwój spiralny nie działa wcale żadna siła, tarcza frykcyjna stać musi w punkcie c, w oddaleniu a milimetrów od środka talerza.

Jest więc $P = o$, to α spada do wartości z, w którym to razie stała wzoru δ znika, mamy więc

$$P = 100 R (z - \alpha)$$

w którym wzorze, α bliżej określić trzeba, co się dzieje w sposób następujący:

Skoro talerz wykona jeden obrót całkowity, opisze punkt c drogę α, a jest $\alpha = 2.a\pi$, koło zaś, obracając się 10 razy spieszniej, zrobi w tym samym czasie drogę: $s = 10. 2R\pi$ zkąd stosunek:

$$\frac{\alpha}{s} = \frac{a}{10. R}$$

wstawiając we wzór ostatni wartość za α, jaka wypływa z powyższego stosunku, otrzymujemy:

$$P = 10 \, [10Rz - a.s]$$

wrór służący do oznaczania mechanicznej pracy lokomotywy.

W tym wzorze oznacza:

R... promień koła wozowego wyrażony w milimetrach
a ... oddalenie tarczy frykcyjnej, od centrum talerza, w chwili kiedy maszyna nie pracuje, wyrażone również w milimetrach.
s ... drogę jaką pociąg przebył podczas gdy tarcza frykcyjna zrobiła drogę *z* droga ta, w milimetrach.
z ... droga jaką przebywa tarcza frykcyjna w milimetrach.
P... mechaniczna praca lokomotywy, wykonana podczas drogi *s* milimetrów wyrażona w milimeterkilogramach.

Podług ustawy niemieckich drug związkowych, wynosi $R = 450^{mm}$, a budując instrument tak, że $a = 100^{mm}$, przejdzie wzór podany, na wzór:

$$P = 10^3 [45.z - 10^2. s]$$

Uwzględniając, że mechaniczna praca P, wykonaną była podczas drogi s metrów, że więc skoro O przedstawia opór całkowity, w kilogramach, być także musi:

$$P = O. s.$$

milimeterkilogramów.

Uwzględniając obydwie wartości pracy mechanicznej otrzymujemy jako wartość oporu:

$$O = 10^3 \left[\frac{45.z}{s} - 10^2\right]$$

kilogramów.

We wzorze tym, oznaczyć trzeba bliżej drogę z, jaką przebiega tarcza frykcyjna, podczas gdy pociąg robi drogę s.

Droga ta, zwija się, że tak powiem na obwodzie tarczy frykcyjnej, mierzoną przeto być musi ilościami obrotu tejże tarczy.

Zamiast z, trzeba więc wstawić ilość obrotów. Zważając, że skoro ρ przedstawia promień tarczy frykcyjnej, n zaś ilość obrotów tejże tarczy, to będzie:

$$z = 2\rho\pi. n$$

wstawiając tę wartość we wzór podany, wypada:

$$O = 10^3 \left[\frac{90. \rho\pi}{s}. n - 10^2\right]$$

ponieważ promień tarczy frykcyjnej jest dowolnym, więc go obieramy tak, aby było:

$$90.\rho\pi = 10^4$$

tak więc, że $\rho = 28{\cdot}26$ milimetrów, a będzie opór:

$$O = 10^5 \left[\frac{100. n}{s} - 1\right] \qquad (46$$

wzór do obliczania całkowitego oporu, na jaki natrafia ruch pociągu.

Tutaj oznacza:

O... całkowity opór pociągu wyrażony w kilogramach.

n ... ilość obrotów tarczy frykcyjnej, podczas drogi S metrów.

s ... droga w metrach, jaką pociąg robi, zwalczając opór powyższy.

Jeżeli maszyna biegnie, a sprzęgło między nią a wozem nie jest wyprężone, to w takim razie nie ma podczas drogi siły, któraby zwiększać zamierzała przestrzeń x, wykazaną we figurze, tarcza frykcyjna pozostaje w takim razie w punkcie c, opisując koło cc^1, o promieniu a.

Przypadek podobny zdarza się, gdy maszyna jedzie w dół, w którym to razie parę zupełnie zamykamy, tak że pociąg jedynie pod wpływem siły ciążenia się toczy.

Ponieważ w takim razie para nie wykonuje wcale żadnej pracy, więc też i tarcza frykcyjna nie powinna się obracać.

Integrator musi przeto mieć przyrząd, który, podnosząc tarcze, utrzymuje ją w oddaleniu od talerza, gdy tarcza staje w jakimś punkcie obwodu koła, opisanego promieniem a, z centrum n.

Przykład.

Licznemi próby przekonano się, że maszyna żadną miarą więcej nie wyciągnie po linii poziomej, jak 1225·5 tonn, gdy się porusza chyżością 5 metrów na sekundę, 695·6 tonn, biegnąc chyżością 8, zaś 489 tonn gdy co sekundę robi 10 metrów.

Podczas jazdy w pierwszym przypadku wykazał integrator 42·2 obrotów, przejechawszy drogę 4000 metrów, 30 obrotów po przebyciu drogi 2893·3 metr, $10_{\cdot 29}$ obrotów tarczy frykcyjnej po przebyciu 1000 metrów drogi.

Zachodzi pytanie jak wielki opór zwalczać musi maszyna jadąc na linii poziomej chyżościami 5, 8, 10 metrów.

Wstawiając we wzór podany pod numem 46 kolejno:

s = 4000 2893·3 1000

n = 42·2 30·0 10·29

otrzymujemy:

O = 5515, 3687, 2933

kilogramów, jako wartości, które nabiera opór całkowity na linii poziomej podczas przejazdu rozmaitemi chyżościami.

A ponieważ ciężar pociągów wynosił kolejno:

1225·5, 695·6, 489· tonn

więc wypada na jednę tonnę ciężaru, opór, wynoszący kolejno;

O = 4·5, 5·3, 6·0

kilogramów.

Opór ten, wypadający na tonnę przewiezionego ciężaru, zowiemy *oporem jednostkowym* i widzimy że opór jednostkowy, wartość swą zmienia z chyżością jazdy, bo wynosi jadąc:

chyżością 5 metrów na sekundę......		4·5
" 8 " " "		5·3
" 10 " " "		6·0

kilogramów.

34.

Doświadczenia francuskiej kolei wschodniej.

Z inicyatywy pana *Perdonet*, znanego autora na polu literatury kolejowej, przeprowadzono na francuskiej kolei wschodniej w latach 1857 — 1866, cały szereg rozlicznych doświadczeń, tyczących się oporu.

Doświadczenia przeprowadzane przez inżynierów *Dieudonné, Vuillemin i Guebhard* zasługują na wszelką uwagę, a to nie tylko co do wyników, które wydały, ale nadto na sposoby, jakiemi je przeprowadzano.

Prace tych inżynierów obejmują okres lat 11 i są tak obszerne, że niepodobna je tu wszystkie przytaczać.

Na niektóre z nich tylko zwrócę uwagę.

Podczas jazdy między jedną stacyą a drugą, na profilu, ktory miał wzniesienia i spadki, odczytywano w dowolnie obranych okresach czasu, na dynamometrze opór całkowity i mierzono chyżość biegu w chwili odczytu.

Dojechawszy do końcowej stacyi, miano szereg odczytów tyczących się oporu całkowitego, i drugi szereg wskazujący chyżości biegu, odpowiadające odczytanem oporom.

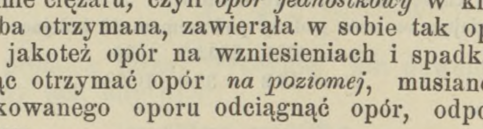
Przeciętną wszystkich oporów podzielono przez ciężar pociągu i otrzymano tym sposobem opór, odpowiadający jednej tonnie ciężaru, czyli *opór jednostkowy* w kilogramach.

Liczba otrzymana, zawierała w sobie tak opór na linii poziomej, jakoteż opór na wzniesieniach i spadkach.

Chcąc otrzymać opór *na poziomej*, musiano więc od wypośrodkowanego oporu odciągnąć opór, odpowiadający wzniesieniom.

Opór zaś ten obliczono *przeciętnie*, a to w sposób następujący.

Fig. 18.



Przypuśćmy, że między stacyami A i B (fig. 18) jadąc ze stacyi A do stacyi B natrafiamy na

wzniesienie	$m\ ^0/_{00}$,	mające	długość	d	metrów
„	m_1	„	„	d_1	„
„	m_2	„	„	d	„
spadek	n	mający	„	δ_1	„
„	n_1	„	„	δ_1	„
„	n_2	„	„	δ_2	„

Jadąc w kierunku wzniesienia AC, działa przez całą drogę d metrów, siłą ciążenia, wynoszącą na każdą tonnę ciężaru pociągu, m kilogramów, mechaniczna praca tej siły wynosi $d.\ m$ meterkilogramów.

Na poziomej DE, siła ciążenia, pociąg w dół nie spycha, mechaniczna praca ma więc wartość zera.

Na spadku EF, mającym stromość $n^0/_{00}$, a długość δ metrów, wynosi mechaniczna praca siły ciążenia ($-n\delta$) meterkilogramów.

Jadąc od stacyi A do stacyi B, wynoszą, mechaniczne prace:

$$m\,d + m_1\,d_1 + m_2\,d_2 + \ldots$$
$$-\,n\,d - n_1\,\delta_1 - n_2\,\delta_2 - \ldots$$

długości $d, d_1 \ldots \delta, \delta_1$ wyrazić można przez ich projekcye

$$Ac,\ Cd \ldots\ ef,\ fB$$

gdy napiszemy:

$$\begin{array}{l|l} Ac = p & e\,f = \pi \\ Cd = p_1 & f\,R = \pi_1 \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots \end{array}$$

otrzymamy:

$$d = \frac{p}{\cos\alpha} \qquad \delta = \frac{\pi}{\cos\beta}$$

$$d_1 = \frac{p_1}{\cos\alpha_1} \qquad \delta_1 = \frac{\pi}{\cos\beta_1}$$

$$\ldots\ldots \qquad \ldots\ldots$$

a ponieważ kąty $\alpha, \alpha_1 \ldots \beta, \beta_1 \ldots$ są z natury rzeczy, tylko nieznaczne, tak że pisać można

$$\cos\alpha = \cos\alpha_1 = \cos\beta = \cos\beta_1 = \ldots = 1$$

więc wyniesie, mechaniczna praca podczas jazdy ze stacyi A do stacyi B:

$$\left[m\ p + m_1\ p_1 + \ldots - n\ \pi - n_1\ \pi_1 - \ldots \right]$$

meterkilogramów.

Pisząc dalej:

$$\begin{array}{r|l} Cc = w & Ee = v \\ Dd = w_1 & Ff = v_1 \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots \end{array}$$

będzie

$$\begin{array}{r|l} tg\alpha = \frac{w}{p} & tg\beta = \frac{v}{\pi} \\ tg\alpha_1 = \frac{w_1}{p_1} & tg\beta_1 = \frac{v_1}{\pi_1} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots \end{array}$$

a gdy wyrazimy $tg\alpha$ jako nachylenia *pro mille*, pisać trzeba:

$$\begin{array}{r|l} tg\alpha = \frac{m}{1000} & tg\beta = \frac{n}{1000} \\ tg\alpha_1 = \frac{m_1}{1000} & tg\beta_1 = \frac{n_1}{1000} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots \end{array}$$

przez co otrzymamy:

$$\begin{array}{lll} \frac{w}{p} = \frac{m}{1000} & \text{czyli} & m = 1000\ \frac{w}{p} \\ \frac{w_1}{p_1} = \frac{m_1}{1000} & \text{"} & m_1 = 1000\ \frac{w_1}{p_1} \\ \frac{v}{\pi} = \frac{n}{1000} & \text{"} & n = 1000\ \frac{v}{\pi} \\ \frac{v_1}{\pi_1} = \frac{n_1}{1000} & \text{"} & n_1 = 1000\ \frac{v_1}{\pi_1} \end{array}$$

uwzględniając powyższe wartości za $m\ m_1 \ldots\ n,\ n_1 \ldots$ wynosić będzie mechaniczna praca podczas jazdy ze stacyi A do stacyi B:

$$1000 \left[(w + w_1 + \ldots) - (v + v_1 + \ldots) \right]$$

meterkilogramów.

A ponieważ różnica między sumą wzniesień $(w + w_1 + ...)$ i sumą spadków $(v + v_1 + ...)$ jak to wykazuje figura, jest różnicą wysokości punktu B po nad punktem A, czyli w naszej figurze:

$$(w + w_1 + ...) - (v + v_1 + ...) = B\ G$$

więc wynosi mechaniczna praca podczas jazdy ze stacyi A do stacyi B:

$$1000.\ B\ G$$

meterkilogramów, skoro wysokość B G punktu *B* po nad punktem *A* wyrażamy w metrach.

Skoro przedstawia *o* opór w kilogramach, na jaki natrafia każda tonna ciężaru pociągu podczas jazdy ze stacyi *A* do stacyi *B*, których odległość niechaj wynosi *D* metrów, to wyniesie mechaniczna praca o.D meterkilogramów, mamy przeto:

$$o.D = 1000.\ BG$$

a więc opór jednostkowy:

$$o = 1000.\ \frac{BG}{D}$$

kilogramów.

Opór powstający z przyczyny pochyłości torów, podczas drogi ze stacyi A do stacyi B, znajdziemy więc, dzieląc wysokość stacyi B po nad stacyą A przez odległość tych stacyi i mnorząc iloraz ten przez 1000.

Ażeby dosadniej wyjaśnić to co powiedziano, przytoczę jedno z licznych doświadczeń przeprowadzonych na kolei Orleańskiej.

Na dniu 7 lipca 1865 biegł pociąg składający się z 15 wozów, ważąc 167·5 tonn, chyżością 15·4 metrów na sekundę od stacyi *Juvisy* do 6 kilometrów odległej stacyi *Saint-Mihael*, która o 19·2 metrów wyżej leżała jak stacya Juvisy.

Podczas jazdy odczytano na dynamotrze, następujące opory:

750, 825, 825, 815, 790, 800

kilogramów.

Przeciętna tych odczytów wynosi 801 kilogramów, a ponieważ pociąg waży 167·5 tonn, więc wynosi opór wypadający na tonnę ciężaru:

$$\frac{801}{167 \cdot 5} = 4 \cdot 78$$

kilogramów.

W tym oporze zawartym jest jednak i wpływ wzniesień, któryto wpływ odciągnąć trzeba, chcąc otrzymać opór na *poziomej*.

Przeciętny opór sprawiony wzniesieniami i spadkami wynosi podług poprzednio podanego wzoru:

$$1000 \frac{19 \cdot 2}{6000} = 3 \cdot 18$$

kilogramów. Opór jednostkowy na lini *poziomej* wynosi przeto:

$$4 \cdot 78 - 3 \cdot 18 = 1 \cdot 6$$

kilogramów, na każdą tonnę ciężaru pociągu.

Nie mając zamiaru opisywać wszystkich doświadczeń, jakie na kolejach celem wyznaczania oporu porobiono, nadmienić wypada, że doświadczenia niemieckiej kolei wiodącej z Kolonii do Minden, których było kilka set, dalej próby *Welknera* na kolejach hanowerskich, doświadczenia na państwowych kolejach bawarskich, a nakoniec doświadczenia na kolei Morszańsko-Syzrańskiej, na szczególną zasługują uwagę.

35.

Wyniki pomiarów oporu.

Ażeby wykazać jak wielce zawiłą jest sprawa oznaczania oporu, na jaki ruch pociągów natrafia, przytoczę niektore ze spostrzeżeń, porobionych na francuskich kolejach.

1. *Wysokość kół wozowych*, wpływa na opór ruchu w ten sposób, że opór jednostkowy pociągu, którego koła mają średnicę:

1·2 metra, wynosi na tonnę . . . $2_{\cdot 9}$
1·0 „ „ „ „ . . . $3_{\cdot 3}$

kilogramów, przy jednakowej chyżości jazdy.

Mamy więc stosunek oporu kół wysokich do oporu, kół niskich:

$$\frac{2\cdot_9}{3\cdot_3} = 0\cdot_9$$

co poucza, że koła wyższe jak metr średnicy, natrafiają na opór o 30% mniejszy.

2. *Ciężar pociągu.* Opór ruchu wzrasta z ciężarem pociągu, cięższy pociąg sprawia znaczniejszy opór, niż pociąg lekki, zauważać jednak trzeba, że opór nie wzrasta w *proporcyi* do ciężaru; dwa razy cięższemu wozowi nie odpowiada opór dwa razy większy, pomimo to, przyjmujemy, zadawalniając się przybliżeniem, jakoby opór zmieniał się proporcyonalnie do ciężaru, a uczy doświadczenie, że jadąc chyżością mierną (nie spieszniej jak 5^m na sekundę) opór jednostkowy, wyniesie do 5 kilogramów na tonnę ciężaru.

Dalej zauważać trzeba, że wóz *próżny* stawia ruchowi większy opór, aniżeli wóz *naładowany*, czyli, że tonna ciężaru wozu próżnego sprawia większy opór, aniżeli tonna ciężaru, wozu naładowanego.

Opierając się na doświadczeniach francuskich przyjąć można, że skoro tonna ciężaru wozów *naładowanych* sprawia opór 5·74, sprawi pod temi samemi warurkami, tonna ciężaru wozów *próżnych*, opór wynoszący 7·81 kilogramów.

Opór wozów próżnych przewyższałby przeto opór wozów ładownych o:

$$\frac{7\cdot81}{5\cdot74}.\ 100 - 100 = 35\%$$

3. *Dobroć smarowidła*, wpływa znacznie na zmianę oporu, przekonano się, że na każdą tonnę ciężaru pociągu wzrasta opór o 1·2 kilograma używając smarowidła skrzepłego zamiast oliwy, a w zimie dochodzi nadwyżka oporu na każdą tonnę ciężaru pociągu nawet do 1·8 kilograma.

4. *Temperatura* wpływa również na zmianę oporu jednostkowego, a to w ten sposób, że smarowidło w zimnie krzepnie, przez co, jak wspomniano, opór wzrasta.

Podczas gdy w lecie wynosił opór 3·5 kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, wzrósł podczas zimna $+ 4^0$, do wysokości 5 kilogramów.

5. *Sprzęganie wozów* wywiera również wpływ na opór jednostkowy.

Mocno ściągnione sprzęgłą, sprawiają, że przedstawić sobie można pociąg jako jednolitą giętką sztabę, którą suniemy po linii, lżejsze spinanie zaś wozów sprawia, że pociąg podobniejszym się staje do łańcucha.

Opór ciasno spiętych wozów daleko jest znaczniejszym od oporu wolno spiętych.

Różnica czuć się daje ruszając z miejsca, przy której to sposobności opór dochodzi nawet do 20 kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu. W chwili w której pociąg biegnący w lini prostej, wstępuje w *łuk*, różnicę oporu, również odczuć można.

Ponieważ pociągi osobowe ciaśniej się sprzęga od pociągów towarowych, więc też opór jednostkowy większym będzie przy pociągach osobowych, aniżeli przy towarowych.

6. *Szybkość jazdy*... Jak wielki wpływ wywiera chyżość jazdy na zwiększanie się oporu jednostkowego, wykazuje następująca tabliczka, zdjęta z doświadczeń kolei Orleanskiej,

Jadąc chyżością:

$1 \times 5{\cdot}4^m =$	$5{\cdot}4$	na sekundę, wynosi opór	1·435
$2 \times 5{\cdot}4^m =$	$10{\cdot}8$	„ „ „	2·264
$3 \times 5{\cdot}4^m =$	$16{\cdot}2$	„ „ „	3·088
$4 \times 5{\cdot}4^m =$	$21{\cdot}6$	„ „ „	5·250

kilogramów na tonnę ciężaru toczących się wozów, (bez lokomotywy).

7. *Szerokość toru*, wpływa o tyle na opór, że tenże zwiększa się na torze węższym.

W roku 1869 przeprowadził *Jettler* w Australii na torach mających szerokość $1{\cdot}06^m$ doświadczenia i znalazł, że jednostkowy opór, jadąc chyżością $4{\cdot}4^m$ na sekundę, wynosi 7·4 kilogramów, podczas gdy pod temi samemi warunkami opór na szerokości normalnej ($1{\cdot}435^m$) wynosi tylko 4·4 kilogramy.

8. *Pochyłość toru*. Wpływ pochyłości toru na opór, jest jedynym wpływem, który teoretycznie oznaczyć się daje, dlatego też o wpływie tem, obszerniej pomówimy.

9. *Ślisgość szyn*, nie wywiera prawie wcale żadnego wpływu na opór *toczących* się kół, podczas gdy opór *ślizgania się* (adhezya) zawisł jak wiadomo we wysokim stopniu od gładkości szyny.

Z powyższego wynika, że o wyszukaniu wzoru, któryby stosował się do *wszelkich* okoliczności, o wyszukaniu *ogólnej formułkt* którąby *wszędzie* zastósować można — mowy nie ma.

Zadowolnić się musimy wzorem odnoszącym się do warunków zwykle na kolejach się zjawiających, do *warunków przeciętnych.*

36.

Wyznaczanie oporu bez pomocy dynamometru.

Chcąc się nieco bliżej zapoznać z oporem ruchu pociągu, a rozpatrzenie podobne, jest nieodzowne, skoro uzyskać mamy pogląd na sprawę, to obserwować trzeba bieg pociągu pod warunkami ile możności najprostszemi, a dopiero z doświadczeń w ten sposób uzyskanych, wnioskować będzie można na opór powstający w innych warunkach.

Na drogach żelaznych czyniono wielokrotnie, najrozmaitsze doświadczenia, przeprowadzono je pod najrozmaitszemi okolicznościami, wszystkie zaś ugrupować można w cztery serye, obserwowano bowiem ruch wolno toczących się wozów po:

1. linii prostej i poziomej,
2. spadkach,
3. spadkach i liniach poziomych,
4. oznaczano opór ze znanego już oporu.

Każdy z tych czterech sposobów obserwowania, zasługuje na uwagę, gdyż na podstawie, tym sposobem uzyska nych doświadczeń, dojść można do poglądów na całość.

1. Ruch wolno toczących się wozów po linii prostej i poziomej.

Na szereg, ze sobą spiętych wozów, najeżdza lokomotywa tak silnie, że wozy skutkiem uderzenia, toczyć się poczynają.

Wyraża *m* masę takiego pociągu wypadającą na jednę tonnę jego ciężaru, a mierzoną w kilogramach, m^1 zaś masę odpowiadającą ciężarowi jednej tonny tych części pociągu, które wirują (koła i osie), to pociąg uzyskawszy skutkiem uderzenia chyżość początkową, która wynosi c^m na sekundę, otrzymał mechaniczną pracę, wynoszącą:

$$\frac{m\,c^2}{2} + \frac{m^1\,c^2}{2} = \frac{m + m^1}{2}\,c^2$$

meterkilogramów.

Pociąg pozostawiony sam sobie, gdyby nie miał do zwalczania wcale żadnego oporu, nadaną mu pracę w sobie by gromadził, natrafia zaś podczas biegu na opór, wydawać będzie zasób swej pracy tak długo, dopóki go całkiem nie wyczerpie.

W takim razie pociąg stanie, a mechaniczna praca którą otrzymał przy rozpoczęciu swego biegu, zużytytą została na zwalczania oporu podczas drogi.

Wynoszą wszystkie opory zjawiające się podczas biegu, *o* kilogramów na *tonnę ciężaru* pociągu, a pociąg przebiegł drogę *S* metrów, zanim się zatrzymał, to spożył mechaniczną pracę, wynoszącą na tonnę ciężaru, O S meterkilogramów.

Mamy przeto równanie:

$$O.S = \frac{m + m^1}{2} . c^2$$

z którego otrzymujemy:

$$O = \frac{m + m^1}{2\,S} . c^2$$

kilogramów.

Chcąc mieć pożytek z tego wzoru, trzeba bliżej określić wartości m, m^1 i c, gdyż tylko *S* jedynie dotąd znamy.

Przed wszystkiem zważyć trzeba, że wóz ładowny waży 15 tonn, części zaś jego które wirują ważą tonnę lub $1^1/_2$ tonny, można przeto przyjąć, że części wirujące, oporu wiele nie zmieniają; w takim razie pisać można $m^1 = o$, skutkiem czego wzór powyższy nabierze kształtu:

$$O = \frac{m\,c^2}{2\,S}$$

w którym bliżej oznaczyć trzeba masę *m* i chyżość *c*.

Iloczyn masy i przyspieszenia siły ciążenia, daje nam ciężar (§ 38), wynosi przyspieszenie siły ciążenia, $g = 9{\cdot}81^m$, ciężar zaś jednej tonny 1000 kilogramów, to będzie:

$$m\,g = 1000$$

a przeto:

$$m = \frac{1000}{9{\cdot}81} = 102$$

kilogramów.

Uwzględniając to, przechodzi wzór nasz, określający opór jednostkowy, na wzór:

$$O = 51 \cdot \frac{c^2}{S}$$

w którym to wzorze, bliżej jeszcze określić trzeba, chyżość początkową *c*, którą pociąg zyskał skutkiem uderzenia nań maszyny.

Mając na oku, że wozy rozpoczęły bieg swój chyżością *c* metrów na sekundę, a zakończy go chyżością zero, że więc biegły przeciętnie chyżością:

$$\frac{c + o}{2} = \frac{c}{2}$$

metrów na sekundę, przychodzimy do przekonania, że przeciętna chyżość wynosi połowę chyżości początkowej, czyli innemi słowy, że chyżość *początkowa* dwa razy jest większą od chyżości *przeciętnej*.

Chyżość *przeciętną* łatwo zaś oznaczyć, wyraża się ona bowiem ilorazem drogi *S* i czasu *t* potrzebnego do przebycia tejże drogi, a więc wzorem $\left\{\frac{S}{t}\right\}$, mamy przeto:

$$c = 2. \left\{\frac{S}{t}\right\}$$

a wstawiając tę wartość, we wzór określający opór jednostkowy, otrzymamy:

$$o = 204. \frac{S}{t^2} \qquad (47$$

wzór służący do obliczania oporu jednostkowego, w którym wyraża:

o... opór jednostkowy, czyli opór odnoszący się do ciężaru jednej tonny, wyrażony w kilogramach.

S... droga, którą przebiegły pchnięte wozy od chwili uderzenia, aż do chwili, w której się zatrzymały, wyrażona w metrach.

t... czas, potrzebny do przebycia drogi *S*, wyrażony w sekundach.

Przykład 1.

Wozy ustawione na linii prostej i poziomej, przebiegły, będąc pchniętemi, w czasie 51 sekund drogę 51 metrów, nim się zatrzymały, jak wielki był opór ruchu?

Mamy: $S = 51, t = 51,$

a przeto opór jednostkowy:

$$o = 204. \frac{51}{51^2} = 4$$

kilogramy.

Przykład 2.

Wozy wtrącone pewną siłą w linię prostą i poziomą przebiegły po tejże linii drogę 2 kilometrów, nim się zatrzymały, a potrzebowały do przebycia tejże drogi, czasu 4 minut 10 sekund, zachodzi pytanie jak wielkim był opór jednostkowy?

mamy:

$$S = 2 \times 1000 = 2000, \quad t = 4 \times 60 + 10 = 250,$$

a przeto:

$$o = 204. \frac{2000}{250^2} = 6.3$$

kilogramów, na każdą tonnę ciężaru.

Przykład 3.

Po torze ułożonym w poziomej i prostej, biegł wóz skutkiem uderzenia tak długo, dopóki się nie zatrzymał.

Rozpoczynając bieg swój chyżością:

10^m	na sekundę, przebył drogę	850^m
15^m	„ „ „ „	1640^m
20^m	„ „ „ „	2550^m

nim się zatrzymał. — Jak wielkim był opór?

Wstawiając we wzór:

$$o = 51. \frac{c^2}{S}$$

wartości.

$$c = 10, \quad 14, \quad 20$$
$$S = 850, \quad 1640, \quad 2550$$

otrzymujemy:

$$o = 6, \quad 7, \quad 8,$$

kilogramów, na każdą tonnę ciężaru.

Przykład 4.

Na angielskiej kolei Mitland robiono w roku 1875 celem ocenienia wartości hamulców rozmaitej konstrukcyi, próby i przekonano się, że lokomotywa (wraz z tenderem, bez wozów, nie używając pary) rozpoczynając po linii prostej i poziomej, bieg swój chyżością:

$15{\cdot}1^m$	na sekundę, przebyłą drogę	1974
$18{\cdot}1^m$	„ „ „	2065

metrów, nim się (skutkiem oporów natrafionych) zatrzymała.

Opór, który zwalczać miała każda tonna ciężaru lokomotywy i jej tendera, wynosił przeto podług wzorów podanych, w pierwszym przypadku:

$$51. \frac{15{\cdot}1^2}{1974} = 5{\cdot}8$$

w drugim zaś:

$$51. \frac{18.1^2}{2065} = 8{\cdot}5$$

kilogramów.

2. Ruch wolno toczących się wozów w kierunku spadku.

Zamiast wtrącać wozy pewną siłą w linię prostą i poziomą, mierzyć także można opór jednostkowy, obserwując ruch wozów biegnących nie w linii poziomej, ale w spadku.

Na ten cel ustawiamy szereg wozów na tak stromym spadku, iż wozy pozostając bez maszyny, na nim utrzymać się nie mogą.

Skoro więc lokomotywa wozów odbiegnie, to skutkiem działania siły ciążenia, wozy w dół się potoczą.

Mierząjąc po upływie dowolnie obranego czasu przebytą drogę, wyznaczyć można opór jednostkowy w sposób następujący.

Wozy biegnące w dół w kierunku spadku prostego, pozostają podczas trwania biegu pod wpływem działania siły ciążenia, której to sile, opór ruchu przeciwdziała.

A ponieważ siła ciążenia spychająca wozy w dół, wynosi (dział Tory §. 20) na każdą tonnę ich ciężaru tyle kilogramów, ile milimetrów stromość spadku mierzy, a stromość ta wynosi *m* milimetrów, więc też składowa siły ciążenia wynosi *m* kilogramów. Sile tej, tj. sile zesuwającej wozy w dół, przeciw działa opór ruchu, wynoszący na tonnę ciężaru wozów *o* kilogramów. Ruch wozów w kierunku spadku odbywa się przeto pod wpływem siły wynoszącej na tonnę ich ciężaru:

$$(m - o)$$

kilogramów.

A ponieważ siłę tę opór strawił, więc wynosi opór o_1 na *spadku* m $^0/_{00}$:

$$o_1 = (m - o)\ldots \qquad (48$$

kilogramów.

Wykazano już, że na *poziomej* wynosi opór jednostkowy:

$$0 = 204 \frac{S}{t^2}$$

więc będzie:

$$\mathbf{O_1 = m - 204 \frac{S}{t^2}\ldots} \qquad (49$$

wzór służący do obliczania oporu jednostkowego, obserwując bieg wolno toczących się wozów, w kierunku spadku.

Tutaj wyraża:

O_1 ... opór jednostkowy w spadku, wyrażony w kilogramach,

S ... drogę w metrach, przebytą na spadku.

t ... czas w sekundach potrzebny do przebycia drogi S.

Przykład.

Na dniu 5 czerwca 1878 zbiegł wóz ze stacyi Krima, kolei bużtechradzkiej i przebiegł w ciągu 7 minut 8700 metrową, drogę leżącą w spadku, którego stromość wynosiła 20‰, zachodzi pytanie na jak wielki opór natrafiała każda tonna ciężaru tegoż wozu?

Wstawiając we wzór numer 49:

$$S = 8700, \quad t = 60 \times 7 = 420, \quad m = 20$$

otrzymujemy:

$$O_1 = 10$$

kilogramów.

3. Ruch wolno toczących się wozów, na spadku i na poziomej.

Widzieliśmy, że do obliczania oporu jednostkowego podług jednego z podanych wzorów, potrzebną jest znajomość *czasu* użytego do przebycia pewnej drogi.

Czas ten musi być dokładnie oznaczonym, gdyż w drugiej swej potędze wchodzi w rachubę, a ponieważ subtelne oznaczanie czasu natrafia częstokroć na trudności, więc starano się urządzić doświadczenie tak, aby pomiar czasu był zbędnym.

Ku temu celowi wybiera się na drodze żelaznej profil taki, aby po stromym spadku, leżącym w linii prostej, następowała bezpośrednio linia pozioma i również prosta.

Z dowolnie na spadku obranego punktu, puszcza się wóz w dół, wóz niemogąc się utrzymać na *spadku* z powodu stromości, pocznie się toczyć, bieg jego przyspieszać się będzie co raz więcej i dojdzie do możebnie największej wartości w chwili w której wóz przybywa do załamania się profilu, t. j, do końca spadku, a początku linii *poziomej*.

Od chwili tej, a więc od chwili wbiegnięcia na *poziomą*, chyżość ruchu zwalniać się pocznie i zwalniać się będzie w miarę biegu po linii poziomej do tego stopnia, że wreszcie wóz gdzieś się zatrzyma.

Z długości dróg, przebytych tak na spadku jakoteż i na linii poziomej, dalej ze znanej stromości spadku; obliczać można opór jednostkowy w sposób następujący.

Wyraża S^1 długość spadku w metrach, to wynosi mechaniczna praca nagromadzona w toczącym się wozie, w chwili gdy wóz dociera do końca spadku, a więc w chwili rozpoczęcia biegu po linii poziomej:

$$(m - o)\, S^1$$

meterkilogramów, podczas gdy mechaniczna praca wydana na zwalczanie oporu podczas biegu na poziomej, wynosi:

$$O\, S$$

meterkilogramów, skoro S przedstawia długość drogi przebytej na poziomej.

A ponieważ wóz tak długo biegnie, jak długo mu starczy zasób nagromadzonej pracy, więc mamy:

$$(m - o)\, S^1 = O\, S$$

zkąd otrzymujemy:

$$O = \frac{S^1}{S + S^1}\, m \qquad (50$$

wzór służący do obliczania oporu jednostkowego, w którym oznacza:

O... opór jednostkowy, czyli opór w kilogramach, jaki zwalczać ma, każda tonna ciężaru wozu, podczas ruchu na poziomej prostej;

S¹... długość spadku w metrach;

m... stromość spadku w milimetrach na metr poziomej odległości:

S... długość drogi przebytej na poziomej — wyrażona w metrach.

Przykład.

Wóz rozpoczynający bieg swój w kierunku spadku, mającego stromość $15^0/_{00}$, a długość 1000 metrów, przebiega ten spadek, i biegnie po następującej poziomej, jeszcze 2000 metrów, nim zupełnie się zatrzyma.

Zachodzi pytanie jak wielkim był opór jednostkowy?

Wstawiając we wzór numer 50:

$$S^1 = 1000,\ S = 2000,\ m = 15,$$

otrzymujemy:

$$O = 5$$

co znaczy, że opór jednostkowy wynosił 5 kilogramów na każdą tonnę ciężaru toczącego się wozu.

4. Oznaczanie oporu jednostkowego, porównywając między sobą dwa opory.

Dotąd wyznaczyliśmy wielkość oporu jednostkowego na linii poziomej, jakoteż na linii wzniesionej, znając raz opór na linijach takich, łatwo wyrażać można opór na każdej innej linii, np. opór jednostkowy w łukach.

Ku temu celowi postarać się tylko trzeba, aby wóz rozpoczynał bieg swój w linii, dla której opór szukamy, tą samą chyżością, którą rozpoczyna na linii poró-wnawczej, i biegł w obydwóch razach tak długo, dopóki sam się nie zatrzyma.

Wyraża *c* chyżość początkową oznaczoną w metrach na sekundę, *S* drogę w metrach, przebytą na linii porównawczej (n. p. na poziomej prostej), S^1 zaś drogę przebytą na linii, dla której opór szukamy, wyrażoną również w metrach, to wynosi mechaniczna praca przy rozpoczęciu biegu:

$$51 \cdot c^2$$

meterkilogramów, na każdą tonnę jego ciężaru.

Zatrzyma się wóz w swym biegu, to znak, że wydał już cały zasób w nim nagromadzonej pracy, mamy przeto dla linii porównawczej

$$o.S = 51\ c^2$$

dla linii zaś, dla której opór szukamy:

$$oS^1 = 51c^2$$

a przeto:

$$\frac{o}{o^1} = \frac{S^1}{S} \dots \quad (51$$

wzór służący do porównania dwóch oporów, widzimy, że w takim razie opory stoją w odwrotnym stosunku do dróg przebieżonych.

W tym wzorze wyraża:

o ... opór jednostkowy, znany,
o^1 ... " " szukany,
S ... drogę w metrach na linii, na której opór znamy,
S^1... " " " " " szukamy.

Przykład.

Max Marya *Weber* oznaczał opór jednostkowy w łukach, na podstawie powyższego wzoru.

Doświadczenia jego, pouczyły, że wóz pchnięty w łuk zatoczony promieniem 300^m, przebiegł w nim drogę 3000 metrów zanim się zatrzymał, podczas gdy tenże sam wóz przebiegł, gdy go wtrącono tą samą siłą w linie prostą i poziomą, tamże drogę wynoszącą 4000 metrów zanim się zatrzymał.

Mamy przeto:

$$S^1 = 3000, \qquad S = 4000$$

a więc opór w łuku:

$$o^1 = \frac{4000}{3000} \cdot o = {}^4/_3 \cdot o$$

czyli, że opór w łuku wynosi $^4/_3$ oporu w prostej.

Gdybyśmy wiedzieli, że opór w prostej odpowiadający owej trącającej sile wynosi 6 kilogramów na każdą tonnę ciężaru, to wynosićby musiał opór w łuku

$$^4/_3 \cdot 6 = 8$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru wtrąconego wozu.

37.

Znamię ruchu jednostajnie przyspieszonego.

Z doświadczeń, opisanych w poprzednim paragrafie, wypływa, że opór jednostkowy na linii prostej i poziomej, nie jest jakby to myśleć było można liczbą stałą, lecz że się zmienia z każdem doświadczeniem.

Ile razy bowiem zrobiono próbę, tyle razy otrzymano inną wartość oporu jednostkowego, chociaż zawsze opór tyczył się linii prostej i poziomej.

Okoliczność ta naprowadza na myśl, że doświadczenia nie urządzono odpowiednio, gdyż inaczej musianoby zawsze otrzymać jednę i tę samą wartość oporu jednostkowego.

Chcąc zbadać przyczynę wspomnianego zjawiska, trzeba się bliżej obeznać z właściwością ruchu *wolno toczących* się wozów.

Ruch taki jest, jak to istota rzeczy koniecznie wymaga, ruchem *przyspieszonym*, skoro wozy biegną w kierunku spadku, a więc z góry na dół, lub też ruchem *opóźnicnym*, skoro wozy biegną po linii poziomej.

Ruch przyspieszony lub opóźniony może być ruchem jednostajnie przyspieszonym lub jednostajnie opóźnionym, lub też ruchem nie jednostajnie przyspieszonym lub nie jednostajnie opóźnionym.

Dla krótkości wyrażania się, mówić będziemy o ruchu przyspieszonym, biorąc wyraz *przyspieszenie* ogólnikowo, używając go bez względu na to, czy ruch jest rzeczywiście przyspieszonym, czy też opósnionym. Chcąc roztrzygnąć, czy ruch wolno toczących się wozów jest ruchem *jednostajnie* przyspieszonym (opóźnionym) lub też ruchem *nie jednostajnie* przyspieszonym (opóźnionym), poznać trzeba cechę właściwą ruchowi jednostajnie przyspieszonemu.

Przedstawmy sobie wóz, toczący się wolno z góry na dół, a rozpoczynający bieg swój po spadku, chyżością zero.

Po upływie pierwszej sekundy spostrzegamy, że chyżość biegu wzrosła do wartości p metrów. Skoro bieg jest ruchem *jednostajnie* przyspieszonym, to po upływie drugiej sekundy, chyżość zwiększyć się musi o tyle samo, o ile wzrosła po upływie pierwszej, a więc znów o, p metrów.

Po upływie dwóch sekund od rozpoczęcia biegu, wyniesie końcowa chyżość:

$$p + p = 2p$$

metrów, po upływie trzeciej sekundy, zwiększy się chyżość znów o, p metrów, tak więc, że po trzech sekundach, końcowa chyżość wyniesie

$$2p + p = 3p$$

metrów.

Po upływie t sekund, końcowa chyżość wynosić będzie

$$pt$$

metrów.

A ponieważ ruch rozpoczął się chyżością zero, więc wynosi *przeciętna* chyżość, (§ 36):

$$\frac{pt}{2}$$

metrów na sekundę.

Biegł wóz przez t sekund, to przebył drogę:

$$S = \frac{pt^2}{2}$$

metrów, gdzie *p* wyraża to, co zowiemy przyspieszeniem biegu.

Uważając *t* jako *rzędne* układu prostokątnego, *S* zaś jako *odcięte*, przedstawia wzór powyższy, *krzywą*, która jak widzimy, jest *parabolą*.

Ze wzoru podanego wypada, że

$$\left(\frac{S}{t^2}\right) = \frac{p}{2}$$

co znaczy, że iloraz ów, jest liczbą stałą, która to liczba jest połową przyspieszenia.

Cechą ruchu *jednostajnie przyspieszonego*, jest więc warunek, aby iloraz:

$$\left[\frac{S}{t^2}\right]$$

był liczbą stałą.

A ponieważ w § 36 wykazano, że opór jednostkowy wyrazić się daje wzorem:

$$O = 204\left[\frac{S}{t^2}\right]$$

więc wypada, że opór jednostkowy miałby w tym tylko razie wartość stałą gdyby iloraz $\left[\frac{S}{t^2}\right]$ pozostawał niezmiennym.

Doświadczenie uczy jednak, że iloraz ten nie pozostaje nie zmiennym, owszem, że się zmienia z chyżością biegu i dlatego też, opór jednostkowy jest wartością zmienną, zależną od chyżości jazdy.

Tak n. p. przebiegały wozy toczące się wolno na poziomej prostej podczas prób wykonywanych w roku 1869 na kolei Lwowsko-Czerniowieckiej po upływie

150	sekund,	drogę	408·150	metr.
160	„	„	460 288	„
170	„	„	528.683	„
180	„	„	595·430	„
190	„	„	666·630	„
200	„	„	742 389	„
210	„	„	822 819	„
220	„	„	908 038	„
230	„	„	998·118	„

Iloraz drogi przez kwadrat odpowiadającego jej czasu wynosi przzoto kolejno:

0·01810	0·01856
0·01821	0·01865
0·01829	0·01876
0·01837	0·01886
0·01846	

a ponieważ liczby te, nie są jednakowe, więc widzimy, że ruch wolno toczących się wozów, jest ruchem *nie jednostajnie* przyspieszonym, że więc opór jednostkowy, wartością stałą, żadną miarą być nie może.

38.

Związek między oporem a przyspieszeniem.

Wykazano w poprzedzającym paragrafie, że opór jednostkowy zawsze znaleść można, skoro znamy drogę i czas, który wolno toczące się wozy do przebycia tejże drogi potrzebowały.

Często nie znamy jednak dróg i czasu, lecz znamy *przyspieszenie* biegu, dla tego też wykazać wypada, w jakim związku stoją ze sobą: przyspieszenie i opór.

Mehanika uczy, że skoro m wyraża masę, p przyspieszenie, to siła S, która sprawiła owo przyspieszenie, wyrazić się daje iloczynem przyspteszenia i masy, a więc wzorem:

$$S = mp$$

zkąd równanie:

$$p = \frac{S}{m} \dots \qquad (52$$

co znaczy: *że przyspieszenie nie jest niczem innem, jak siłą wypadającą na jednostkę masy.*

Ile *kilogramów* siły, przypada na jednostkę masy, tyle *metrów* wynosi przyspieszenie.

I to jest właśnie ów związek między ciężarem a długością, między wagą a drogą.

Chcąc ze wzoru podanego odnieść praktyczną korzyść, określić trzeba bliżej, co bierzemy za jednostkę ciężaru.

W rachunkach odnosić będziemy opór do *tonny* ciężaru t. j. obierzemy ciężar jednej tonny, czyli ciężar 1000 kilogramów jako jednostkę.

Mamy w takim razie ze względu na wzór odnoszący się do wolnego spadu, a mianowicie na wzór

$$1 = m \,.\, g$$

w naszym przypadku

$$1000 = mg$$

a przeto, masa odpowiadająca ciężarowi jednej tonny

$$m = \frac{1000}{g} = \frac{1000}{9{\cdot}81} = 102$$

kilogramów.

Zapamiętać wypada, *że masa odpowiadająca ciężarowi jednej tonny waży 102 kilogramów,* gdyż liczbę tę często używać będziemy (§ 36).

Wynosi siła, która trawi ruch uzyskany w czasie sekundy, *o* kilogramów na tonnę ciężaru biegnącego wozu, (opór ruchu) to mamy ze względu na wzór numer 52, wstawiając tam S = *o*; m = 102

$$o = 102 \,.\, p \ldots \qquad (53$$

wzór wyrażający związek, który zachodzi między oporem a przyspieszeniem, tutaj oznacza:

o... opór jednostkowy, czyli opór w kilogramach wypadający na tonnę ciężaru będącego w ruchu;

p... przyspieszenie (lub opóźnienie) w biegu, w metrach, po upływie sekundy.

Gdyby doświadczenie wykazało, że ruch wolno biegnących wozów spaźnia się co sekundę o 5 centimetrów, t. j. że drogi przebyte w następujących po sobie sekundach, o 5 centimetrów są krótsze, to mamy: p = 0·05, a przeto

$$o = 102 \,.\, 0{\cdot}05 = 5$$

kilogramów; co znaczy, że ruch taki, sprawić można sztucznie, zaczepiając z tyłu pociągu siłą wynoszącą 5 kilogramów na tonnę jego ciężaru, która to siła działałaby w odwrotnym kierunku biegu pociągu.

Waży pociąg 100 tonn, to zaczepićby trzeba siłę $5 \times 100 = 500$ kilogramów, a sprawionoby, na linii bez tarcia (bez oporu), to samo co opór rzeczywiście sprawia.

39.

Wielkość przyspieszenia lub opóźnienia.

Wykazano w § 38, że skoro tylko znamy przyspieszenie (opóźnienie) ruchu wolno biegnącego pociągu, znaleść można bez wszelkiej trudności opór, który podczas ruchu tego zwalczać trzeba.

Chcąc więc oznaczać opór, znać przed wszystkiem trzeba przyspieszenie ruchu; do wyznaczania przyspieszenia mamy zaś dwa sposoby, a mianowicie: *wykreślanie* i *rachunek*.

1. Sposób wykreślny oznaczania przyspieszenia ruchu wolno toczących się wozów.

Potrzebuje wóz do przebycia drogi dx metrów, czasu dt sekund, to porusza się przeciętną chyżoscią, która wynosi

$$v = \frac{dx}{dt}$$

metrów na sekundę.

Jeżeli wóz nie toczy się dalej jednostajnie szybko, a więc już nie chyżością v metrów, lecz chyżość jego zmieni się po upływie czasu dt tak, że wzrośnie lub zmaleje o wartość dv metrów, to zowiemy siłę, która taką zmianę sprawiła, *przyspieszeniem*, (skoro masa poruszającego się wozu, równała się jednostce) mamy przeto:

$$p = \frac{dv}{dt}$$

a ponieważ wiemy z powyższego wzoru, że jest

$$dt = \frac{dx}{v}$$

więc wstawiając we wyraz za p, ową wartość za dt, otrzymamy:

$$p = \frac{v \,.\, dv}{dx}$$

wartość przyspieszenia, która to wartość przedstawić się daje *wykreślenie,* w sposób następujący:

Na poziomej rzędnej układu prostokątnego odcinamy dowolne drogi jak S = OP (fig. 19), na pionowej rzędnej zaś, uwidoczniamy chyżości, jakie wóz uzyskał przy końcu każdej z owych dróg, v = MP będzie np. chyżość końcowa, jaką wóz uzyskał po przebyciu drogi S = OP.

Wykreślając piony dla różnych dróg, i łącząc końce ich ze sobą, otrzymujemy krzywą mn, przedstawiającą obraz ruchu wolno toczącego się wozu.

Chcąc dla punktu *M* znaleść przyspieszenie, nie potrzeba nic więcej, jak tylko położyć w punkcie tym, styczną do krzywej mn, i ustawić na niej pion MA, przedłużając go tak daleko, aby przeciął linię odciętych w punkcie A, a przedstawiać będzie PA = p szukane przyspiesznie.

Fig. 19.

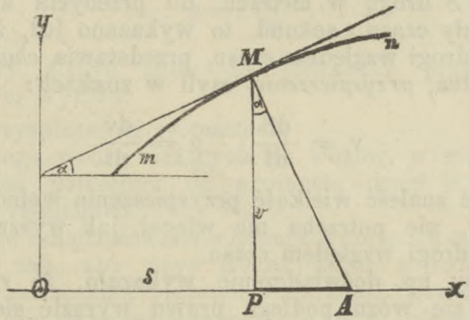


Figura bowiem poucza, iż jest

$$PA = MP \, . \, tg\alpha = v. \, tg\alpha$$

a ponieważ

$$tg\alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{dv}{dx}$$

więc będzie

$$PA = \frac{v.dv}{dx}$$

a ze względu na podaną wartość za $\frac{vdv}{dx}$, także

$$PA = p.$$

2. Oznaczanie przyspieszenia ruchu wolno toczących się wozów, za pomocą rachunku.

Jak długo chodzi o zorientowanie się w rachunkach zawilszych, wystarcza zupełnie, przyspieszenie *wykreślać*, chodzi zaś o dokładne odszukanie jakiegoś prawidła, n. p. prawidła któremu podlega ruch wolno toczących się wozów, wykreślanie, rachunkowi ustąpić musi.

Za pomocą *rachunku* wyliczamy zaś przyspieszenie jak następuje:

Wyraża

$$S = f(t)$$

prawo, któremu podlega ruch wolno toczących się wozów, a oznacza S drogę w metrach, do przebycia której wozy potrzebowały czasu t sekund, to wykazano już, że pierwsza pochodna drogi względem czasu, przedstawia *chyżość*, druga zaś pochodna, *przyspieszenie*, czyli w znakach:

$$v = \frac{dS}{dt} \qquad p = \frac{dv}{dt}$$

ażeby więc znaleść wielkość przyspieszenia wolno toczących się wozów, nie potrzeba nic więcej, jak wyszukać drugą pochodnę drogi względem czasu.

Gdyby np. doświadczenie wykazało, że ruch wolno toczącego się wozu podlega prawu wyrazić się dającemu wzorem

$$S = m.t^2 + nt^4$$

w którym wzorze wyraża S drogę, t czas, m i n zaś wartości stale zależne od figury profilu, to będzie:

$$\frac{dS}{dt} = 2mt + 4nt^3$$

chyżość tegoż ruchu.

$$\frac{d^2S}{dt^2} = 2m + 12n.t^2$$

zaś jego *przyspieszenie*, które to przyspieszenie, zmienia się jak widzimy z czasem trwania biegu.

Gdyby było $m = 2$, $n = 1$,
wyrażałoby się przyspieszenie wzorem:

$$p = 4 + 12t^2$$

po upływie pierwszej sekundy, wynosiłoby przyspieszenie w takim razie:

$$p = 4 + 12 \cdot 1 = 16$$

po upływie dwóch sekund 52

„ „ trzech „ 112

metrów, gdyby droga *S* w metrach mierzoną była.

W paragrafie 37 wykazano, że iloraz $\left\{\frac{S}{t^2}\right\}$ jest połową przyspieszenia, t. j.

$$\frac{S}{t^2} = \frac{1}{2} \cdot p$$

ztąd wypada

$$p = \frac{2S}{t^2} \quad . \ . \ . \qquad (54$$

wzór który służyć może do *obliczania* przyspieszenia, a w którym wyraża:

p... przyspieszenie w metrach,
S... drogę wolno toczących się wozów, w metrach,
t... czas potrzebny do przebycia drogi S, wyrażony w sekundach.

Chcąc urządzać doświadczenia tyczące się oporu, trzeba je założyć tak, aby użyć można jeden z podanych sposobów do oznaczania przyspieszenia, znając bowiem raz przyspieszenie, nie trafia już wyznaczanie oporu jednostkowego, na żadne trudności.

40.

Doświadczenia austryjackiej kolei Lwowsko-Czerniowieckiej.

Ponieważ opór ruchu zawisł od tak wielu czynników, a czynniki te, nie są jednakie na wszystkich kolejach, więc biorąc rzeczy ściśle, nie można przenosić wyniki doświadczeń jednej kolei, do obrachowywań oporu na kolei drugiej. Każda kolej powinna wyznaczyć dla siebie wielkość oporu, powinna wyszukać opór, odpowiadający jej stosunkom.

Powodując się podobnemi myślami podniósł Dr *Henryk Gintl,* ówczesny dyrektor ruchu kolei Lwowsko-Czerniowieckiej w roku 1869, kwestye wyznaczania oporu, a z jego to inicyatywy powstały próby, które miałem sposobność przeprowadzać, a które następnie opiszę. Doświadczenia o których mowa, nie miały na celu wyznaczenia oporu samych tylko wozów, a więc wozów poruszających się bez lokomotywy, ani też oporu samej lokomotywy bez wozów, lecz chodziło o wyszukanie oporu, na jaki natrafiają całe pociągi. W tymto celu zestawiono pociąg z wozów, znajdujących się w zwykłym stanie utrzymania, używając lokomotywy z trzema ze sobą sprzężonemi osiami, służącej na tej kolei do prowadzenia pociągów towarowych.

Próby same odbywały się podczas zwykłej pogody dni marcowych, przy lekkim przewiewie powietrza, a pociąg próbny złożono jak następuje:

ciężarowych wozów otwartych (lowries)	5
otwartych wolarek.	5
krytych ciężarowych.	5
„ osobowych	5
razem	20 sztuk.

Do prób zaś, wybrano linie między *Jezupolem* a *Haliczem*, poczynającą się od strażnicy Nr. 100 mającą długości 1210·12 metrów, a leżącą w jednostajnym spadku mającym 8‰ stromości. Po tym spadku leżącym w linii prostej następowała również prosta, lecz już linia pozioma mająca długość 44717 metrów. Na tej linii przeprowadzano doświadczenia w ten sposób, iż z dowolnie na wzniesieniu obranego punktu puszczano wdół ów pociąg (maszynę i wozy) obserwując ruch jego, (który się odbywał bez wszelkiego dopływu pary), tak długo, dopóki skutkiem oporów pociąg nie stanął, co się zawsze działo nie na spadku, lecz gdzieś na linii poziomej.

Na poziomej tej, stawał wolno toczący się pociąg, każdą razą (ile razy biegł z góry) w innym punkcie, gdyż rozpoczynał bieg swój w kierunku spadku, każdą razą z innej wysokości wspomnionego już wzniesienia. Skoro pociąg na linii poziomej się zatrzymał, wpuszczał maszynista do lokomotywy parę, i wyjeżdżał do dowolnie na wzniesieniu obranego punktu, zkąd bez dopływu pary pociąg na powrót zbiegał. Na spadku nie mierzono ani chyżości biegu, ani też czasu potrzebnego do przebycia jego długości. Bieg obserwowano dopiero od chwili, w której pociąg wstąpił na poziomą, a tutaj mierzono nietylko drogę jaką pociąg każdą razą przebywał aż do punktu w którym stawał, lecz także i czas, który potrzebował do przebycia równie wielkich, w ustępach 50 metrów po sobie następujących dróg. Ku temu celowi ustawiono na linii poziomej licząc od końca spadu a początku poziomej, w kierunku biegu wozów, w odległościach 50 metrowych, klucze telegraficzne w ten sposób, że koło wozu, najeżdżając na klucz, sprawiało obieg prądu elektrycznego; w którego kole ustawiono dwa zwykłe aparata, jakie używają w biurach telegraficznych.

Jeden z tych aparatów systemu Morsée, pozostawał w stacyi *Jezupol,* drugi zaś w namiocie na linni otwartej.

Ile razy koło najeżdżało na klucz ustawiony obok szyny, tyle razy zaznaczał aparat stacyjny na posuwającym się pasku, punkt niebieski. Odstępy dwóch sąsiednich punktów na pasku, odpowiadały drodze przebytej na linii, a wynoszącej 50 metrów.

Aparat stacyjny urządzono umyślnie na cele tych doświadczeń w ten sposób, iż pasek przebiegał w równych czasach zupełnie jednakie drogi, a ponieważ wykrojonym był z papieru podzielonego we fabryce na milimetry, więc oznaczała ilość milimetrów znajdująca się na pasku między dwoma po sobie następującemi stryszkami, czas, jaki pociąg potrzebował do przebycia drogi 50^m. Pasek przesuwał się w każdej minucie 1·6 metra czyli 1600 milimetrów, każdy milimetr paska przedstawiał przeto czas

$$\frac{60}{1\cdot6\ .\ 1000} = \frac{3}{80} \text{ sekundy.}$$

Do pomiaru czasu, nie potrzebowano więc wcale zegaru, milimetry odczytywane na pasku, zastępowały go najzupełniej.

Licząc od punktu, w którym spadek się kończy, a pozioma się wszczyna, który to punkt nazwiemy punktem początkowym, określając go literą A, ustawiono idąc w kierunku biegu pociągu, na poziomej 20 kluczy, z których pierwszy znajdował się w punkcie A, drugi 50 metrów dalej, trzeci $2\ .\ 50 = 100$ metrów od tegoż punktu i t. p. tak więc, że linia na której bieg pociągu obserwowano, miała $20\ .\ 50 = 1000$ metrów długości.

Ponieważ pociąg składa się z 20 wozów, każdy wóz zaś, po jednej stronie miał dwa, lokomotywa zaś, miała 3 koła, więc znajdowało się po jednej stronie pociągu $20\ .\ 2 + 3 = 43$ kół, z których każde z osobna, klucz telegraficzny przejeżdżało.

Każdą razą gdy pociąg mijał klucz, musianoby otrzymać na pasku 43 obok siebie leżących punktów, a ponieważ pociąg miał długości 150 metrów, więc zajmował przestrzeń trzech, po sobie następujących kluczów, tak więc, że równocześnie byłyby 3 klucze przyciśnięte. Okoliczność ta uniemożebniłaby używanie kluczów, gdyby ją nie usunięto w ten sposób, że pierwsze na klucz najeżdżające koło wsuwało zarazem pod klucz klin izolowany, który sprawił, że później następujące koła przejeżdżając przez klucz, krążenia prądu elektrycznego więcej już nie sprawiały. Chcąc, aby koło znów prąd zawarło, trzeba było klin wysunąć. Tym sposobem sprawiono, że pomimo przejścia 43 kół przez klucz, przecież tylko jeden punkt na pasku powstawał.

Po odbyciu drogi od punktu początkowego A, aż do punktu, w którym pociąg sam się zatrzymał, a więc aż do punktu końcowego B, mierzono jej długość, t. j. liczono ilość przebytych kluczy i dodawano do tej ilości drogę leżącą między ostatnim kluczem, na który pierwsze koło pociągu najechało, aż do punktu, w którem stanęło, gdy pociąg skutkiem oporu się zatrzymał.

Przestrzeń tę mierzono zapomocą taśmy mierniczej, wynosi ona a metrów pociąg zaś, najechał na n kluczy, to będzie długość przebytej drogi:

$$S = 50 (n - 1) + a$$

metrów.

Po odczytaniu tej odległości, dano z namiotu znak (na telegrafie) do stacyi, że doświadczenie się zakończyło.

Lokomotywa wyruszyła w drogę, prowadząc pociąg w górę, a gdy tam przybyła, dano znów z namiotu sygnał do stacyi, że drugie doświadczenie się rozpoczyna. W stacyi, odrywano pasek za każdem doświadczeniem, numerowano go, i oznaczano strzałką kierunek jazdy.

W ten sposób wykonano 13 prób, z których 3 nie odpowiedziały zupełnie dobrze, tak że pozostało ich 10, które następnie przytaczam.

Numer porządkowy, po sobie następujących kluczów, licząc w kierunku biegu, od punktu początkowego A ku punktowi końcowemu B.	Numer porządkowy doświadczenia									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	oddalenia od klucza, w którym pociąg na poziomej stawał, wyrażone w metrach:									
	11·993	22·803	31·993	34·048	37·104	40·228	42·171	44·122	48·118	48·118
	całkowita długość drogi, przebytej na linii poziomej, wyrażona w metrach:									
	911·993	922·803	931·993	534·048	587·104	790·228	692·171	944·122	948·118	298·118
	na pasku odczytana ilość milimetrów, leżąca między dwoma, po sobie następującemi punktami, przesuwającego się paska.									
1	149·5	148·6	147·9	200·1	190·4	161·9	174·4	146·9	144·3	270·0
2	154·3	153·1	152·0	211·3	199·8	167·8	181·4	150·7	150·6	293·5
3	159·3	158·3	158·0	222·9	210·5	174·5	189·5	156·3	155·6	329·0
4	165·3	164·0	162·9	238·1	222·1	181·8	198·5	161·5	161·0	375·2
5	171·5	170·1	168·9	256·7	237·2	189·8	209·4	167·3	166·0	450·0
6	178·4	176·9	175·7	276·8	255.4	198·8	220·5	174·1	170·3	599·5
7	186·1	184·5	183·0	303·2	275·4	209·8	235·7	181·1	180·5	.
8	194·9	193·0	191·3	340·8	301·0	221·2	254·1	189·2	188·5	.
9	204·7	202·5	200·5	394·9	338·3	236·2	272·9	198·1	197·4	.
10	216·3	213·9	211·8	484·6	390·1	254·7	297·4	209·0	208·0	.
11	229·4	226·3	223·5	709·4	477·0	273·9	333·6	220·0	219·0	.
12	244·9	241·6	238·8	.	685·3	298·8	383·4	235·1	234·0	.
13	264·0	260·5	257·4	.	.	335·5	464·1	253·4	252·0	.
14	287·5	282·3	277·8	.	.	386·1	645·5	272·0	270·2	.
15	318·8	311·2	304·7	.	.	469·2	.	296·1	293·3	.
16	360·1	350·7	342·6	.	.	660·6	.	331·9	328·5	.
17	424·8	410·0	397·4	.	.	.	.	381·1	375·3	.
18	539·4	512·5	489·7	.	.	.	.	459·2	449·6	.
19	883·6	758·3	725·7	.	.	.	.	629·8	598.3	.

Z doświadczenia opisanego pod numerem 4 widzimy, że do przebycia pierwszej 50 metrowej drogi potrzeba było tyle czasu, ile potrzebował pasek do przesunięcia się o 201 milimetrów; podczas następnej, również wielkiej drogi, upłynęło już 311·3 milimetrów, na trzeciej drodze z rzędu liczywszy od punktu A, przesunęło się na pasku 22·9 milimetrów i t. p.

Widzimy, że im dalej pociąg na poziomej postępuje, tem więcej milimetrów na pasku się okaże, im później następuje 50 metrowa przestrzeń, tem więcej czasu, do jej przebycia trzeba.

Do przebycia ostatniej (jedynastej) drogi, która również ma 50^m długości, potrzebuje pociąg już 709·4 milimetrów, a ponieważ od klucza jedynastego potoczył się jeszcze o drogę $a = 34{\cdot}048$ metrów nim się zatrzymał, więc wynosi całkowita jego droga

$$(11-1) \,.\, 50 + 34{\cdot}048 = 534{\cdot}048$$

metrów, a to jest właśnie ta liczba, którą na czele tabliczki wykazano.

Ażeby otrzymać lepszy przegląd tak na pasku jak i na torze porobionych odczytów, przedstawić się da każde z przytoczonych 10 doświadczeń w sposób wykreślny.

Na poziomej linii Ax (figura 20), odcinamy, począwszy od punktu A, t. j. od punktu, w którym spadek się kończy, a pozioma się rozpoczyna, kawałki

$$(A-1), \quad (1-2), \quad (2-3), \quad (3-4) \ldots$$

przedstawiające 50 metrowe drogi, czyli ustępy, w których na torze leżały klucze telegraficzne. Drodze $(A-1) = 50$ metrów odpowiada w doświadczeniu podanem pod numerem 1, długość paska 149·5 milimetrów,

drodze	(1—2)	długość	paska	154·3
„	(2—3)	„	„	159·3
„	(3—4)	„	„	165·3
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .

Długości te, ustawiamy jako piony robiąc

$$(a-1) = 149{\cdot}5$$
$$(b-2) = 154{\cdot}3$$
$$(c-3) = 159{\cdot}3$$
. . . .

tym sposobem uzyskane punkta

$$a, \ b, \ c, \ d \ldots$$

łączymy ze sobą i otrzymujemy krzywą przedstawiającą

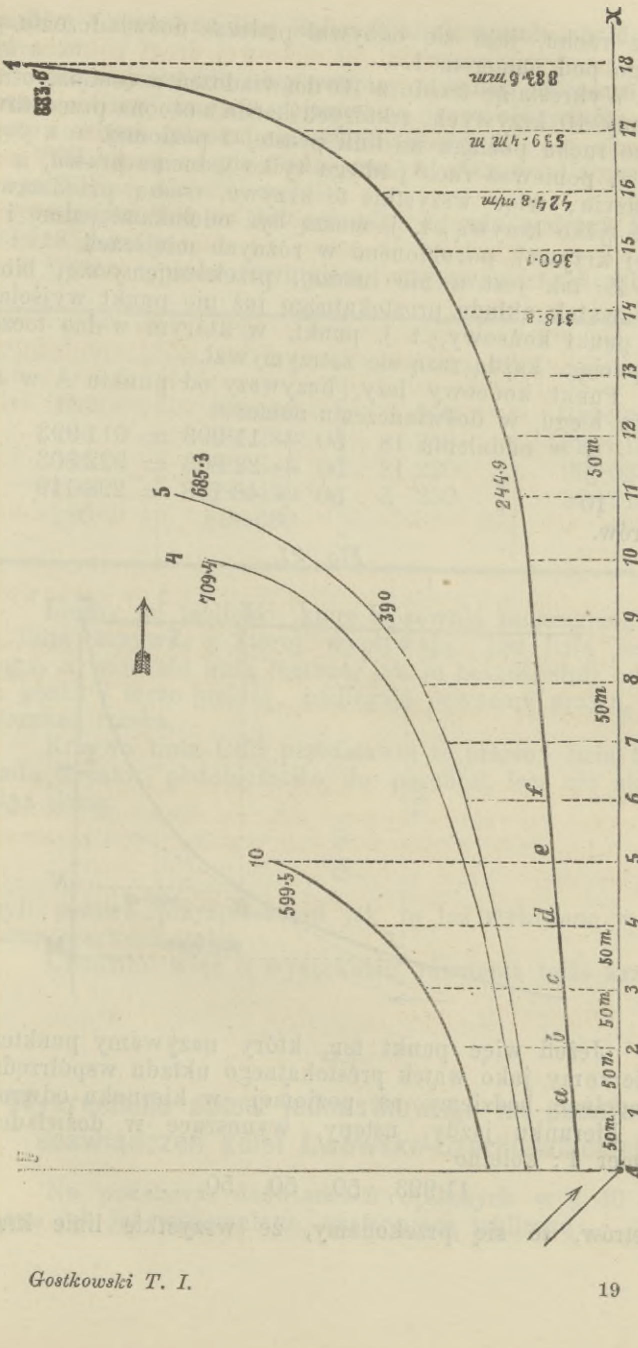


Fig. 20. Kierunek biegu wolno toczącego się pociągu.

obraz ruchu, jaki się odbywał podczas doświadczenia podanego pod numerem 1.

Wykreślając każde z 10 doświadczeń z osobna, otrzymujemy 10 krzywych, z których każda z osobna przedstawia prawo ruchu pociągu na linii prostej i poziomej.

A ponieważ ruch podlega tylko jednemu prawu, a nie dziesięciu, więc wszystkie te krzywe, muszą przedstawiać jednę tylko krzywą, t. j. muszą być odcinkami jednej i tej samej krzywej, porobionemi w różnych miejscach.

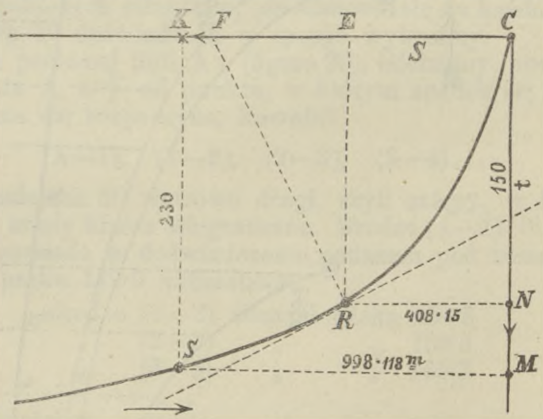
Że tak jest a nie inaczej, przekonujemy się, biorąc jako wątek układu prostokątnego już nie punkt wyjścia A, lecz punkt końcowy, t. j. punkt, w którym wolno toczący się pociąg, każdą razą się zatrzymywał.

Punkt końcowy leży, liczywszy od punktu A w kierunku biegu, w doświadczeniu numer:

1	w oddaleniu	18 . 50 + 11·993 = 911·993
2	„	18 . 50 + 22·803 = 922·803
10	„	5 . 50 + 48·118 = 298·119

metrów.

Fig. 21.



Jeżeli więc punkt ten, który nazywamy punktem C, obierzemy jako wątek prostokątnego układu współrzędnych, a odcinać będziemy na poziomej, w kierunku odwrotnym od kierunku jazdy, ustępy, wynoszące w doświadczeniu numer 1: kolejno

11·993, 50, 50, 50, ...

metrów, to się przekonamy, że wszystkie linie krzywe, wpadną w jednę tylko liniją, której kształt uwidocznia figura 21.

Mając linię CRS wykreśloną, odcinać można na poziomej rzędnej czasy t wyraziwszy je w sekundach, i odczytywać tem czasom odpowiadające drogi.

Tak n. p. odpowiada czasowi CN = 150 sekund, droga NR = 408·150 metrów.

Czasowi CM = 220 sekund, odpowiada droga MS = 998·118 metrów.

W ten sposób otrzymujemy następującą tabliczkę:

t	s	t	s
150	408.150	200	742·389
160	466.288	210	822·819
170	528.683	220	908·038
180	595.430	230	898·118
190	666.630		

Liczby tej tabliczki, które stósownie zaokrąglono, tak, że linia krzywa, z której wypływają, jest linią jednego ciągu, a więc nie linią łamaną, jak ją bezpośrednie odczyty na pasku i torze podają, podlegają pewnemu prawu, które odszukać trzeba.

Krzywa linia CRS przedstawia to prawo; linia ta posiada niejakie podobieństwo do paraboli, lecz nią nie jest, gdyż iloraz

$$\frac{S}{t^2}$$

czyli połowa przyspieszenia jak to już wykazano w § 37 niema wartości stałej.

Chodziło więc o wyszukanie równania tejże krzywej.

41.

Wykreślanie oporu jednostkowego na podstawie doświadczeń kolei Lwowsko-Czerniowieckiej.

Na podstawie doświadczeń opisanych w § 40 otrzymano jak już wspomniano, następującą tabliczkę:

t	s	t	s
150	408·150	200	742·389
160	466·288	210	822·819
170	528·683	220	908·038
180	595·430	230	998·118
190	666.630		

Tabliczka powyższa zawiera drogi w metrach i czasy w sekundach, jakie potrzebowano do przebycia owych dróg. Chcąc wykreślić krzywą ruchu podług § 39, potrzebujemy znać drogi, i chyżości końcowe po przebyciu każdej drogi, t. j. chyżości, jakie pociąg uzyskał po przebyciu dróg 408·150, 466·288, 528·683....

Różnicę tych po sobie następujących dróg wynoszą:

466·288 — 408·150 = 58·138 metrów
528·683 — 466·288 = 62·395 „
595·430 — 528·683 = 66·747 „
676·630 — 595·430 = 71·200 „
742·389 — 666·630 = 75·759 „
822·819 — 842·389 = 80·430 „
908·038 — 822·819 = 85·219 „
998·118 — 908·038 = 90·080 „

Do przebycia każdej z tych dróg potrzebował pociąg 10 sekund, do przebycia zaś drogi 408·150 metrów; 150 sekund.

Pod supozycyą, że bieg podczas każdej z tych dróg, był jednostajnie przyspieszonym, co ze względu na krótkość czasu i dróg, w przybliżeniu przyjąć można, oznaczyć się dadzą chyżości końcowe uzyskane po przebiegu każdej z tych dróg, jak następuje.

Ponieważ pociąg potrzebował do przebycia drogi 408·150 metrów, 150 sekud, więc wynosiła przeciętna chyżość: $\frac{408 \cdot 150}{150} = 2 \cdot 721$ metrów, przeciętna chyżość biegu podczas drugiej drogi wynosiła zaś $\frac{58 \cdot 138}{10} = 5 \cdot 814$ metrów,

Tym sposobem otrzymamy chyżości *przeciętne*:

2·721	6·675	8·043
5·814	7·120	9·522
6·239	7·576	9·008

z których, obliczyć trzeba chyżości *końcowe*.

Ponieważ pociąg, rozpoczął bieg swój chyżością zero, a po przebyciu drogi 408·150^m uzyskał chyżość *v*, to wynosi przeciętna chyżość

$$c^1 = \frac{o+v}{2} = \frac{v}{2}$$

a ponieważ $c^1 = 2{\cdot}721$, więc wypada $v = 2 \times 2{\cdot}721 = 5{\cdot}442^m$. Końcowa chyżość po przebyciu pierwszej 408·150 metrowej drogi, wynosiła przeto 5·442 metrów na sekundę.

Następną drogę mającą długość 58·138 metrów rozpoczął pociąg chyżością 5·442 metrów a zakończył chyżością *x*, podczas gdy chyżość przeciętna wynosiła 5·814 metrów, mamy przeto

$$5{\cdot}814 = \frac{5{\cdot}442 + x}{2}$$

zkąd $x = 6{\cdot}186^m$, jako chyżość *końcową* drogi drugiej, a zarazem *początkową* trzeciej.

Idąc dalej w sposób wykazany, otrzymujemy następującą tabliczkę:

S	v	S	v
408·150	5·442	76·759	7·587
58·138	6·186	80·430	8·499
62·395	6·292	85·219	8·545
66·747	7·053	90·080	9·457
71·200	7·565		

w której *S*... oznacza drogę w metrach, *v*... chyżość biegu po przebyciu tej drogi, wyrażoną w metrach na sekundę, a więc chyżość końcową.

Wykreślając na milimetrowym papierze drogi S jako odcinki układu prostokątnego, chyżości v jako rzędne tegoż układu odpowiadające tym odcinkom, otrzymamy krzywą jak n. p. linię CRS paragrafu poprzedzającego.

Drodze $S = CE$, niechaj odpowiada chyżość końcowa $v = ER$, przypuśćmy, że droga $S = CE$ jest trzecia z rzędu czyli $S = 408{\cdot}150 + 58{\cdot}138 + 62{\cdot}395 = 528{\cdot}683^m$, to drodze tej, odpowiada chyżość $v = 6{\cdot}29$.

W podobny sposób oznaczamy dla innych dróg, im odpowiadające chyżości, a łącząc ze sobą końce wszystkich pionów przedstawiających chyżości, otrzymujemy krzywą CRS.

Chcemy znaleść przyspieszenie, które odpowiada drodze S = 528·683, odcinamy CE = 528·683, ustawiamy pion ER, którego długość wynosić będzie ER = 6·292. W punkcie R otrzymanym tym sposobem, ciągniemy do krzywej CRS, styczną tt^1, ustawiamy na niej w punkcie R, pion RF, który przecina poziomą rzędną w punkcie F, w takim razie będzie oddalenie punktu F od punktu E tem, co nazywamy przyspieszeniem biegu (§ 38). Wyraża *p* owo przyspieszenie, to będzie EF = p.

Zupełnie tak samo, znaleść można przyspieszenie dla dowolnej chyżości, a gdy odszukamy przyspieszenia odpowiadające drogom wykazanem w poprzedzającej tabliczce, przekonamy się że będzie:

v	p	v	p
5·442	0·046	7·587	0·052
6·186	0·047	8·439	0·053
6·292	0·048	8·545	0·055
7·053	0·049	9·457	—
7·565	0·050	—	—

Opór jednostkowy zaś, zjawiający się podczas przebycia każdej z dróg uwidocznionych poprzednio, otrzymujemy mnożąc przyspieszenie przez 102 (§ 39), a będzie w takim razie:

S	c	p	o
408·150	2·721	0·046	4·692
58·138	5·814	0·047	4·794
62·395	6·239	0·048	4·896
66·747	6·675	0·049	4·998
71·200	7·120	0·050	5·100
75·759	7·576	0·052	5·304
80·430	8·043	0·053	5·406
S5·219	8·522	0·055	5·610
90·080	9·008	—	—

W tej tabliczce oznacza:
S... drogę w metrach,
c... przeciętną chyżość w metrach na sekundę podczas tej drogi,
p... przyspieszenie w metrach, otrzymane wykreśleniem,
o... opór jednostkowy w kilogramach, odpowiadający ciężarowi pociągu jednej tonny.

Widzimy z powyższego zestawienia, że opór ruchu ma wartość zmienną, zależną od chyżości biegu, a wykreślona krzywa, wskazuje prawo tej zależności.

42.

Obliczanie oporu jednostkowego z dat otrzymanych doświadczeniami na kolei Lwowsko-Czerniowieckiej.

W poprzednim paragrafie wykazaliśmy, że prawo oporu ukrywa się pod postacią krzywej, którą wykreślić możemy, gdyż znamy rzędne odpowiadające jej odcinkom.

Ponieważ jednak nie zawsze można linę tę *wykreślać*, więc starać się trzeba rzędne jej ująć we wzór algebraiczny t. j. trzeba się starać wyszukać *równanie* tej krzywej.

Postępując w myśl punktu 2 § 39 znaleść można równanie w następujący sposób:

W § 40 przytoczono następującą tabliczkę:

t	s	t	s
150	408·150	200	742·389
160	466·288	210	822·819
170	528·683	220	908·038
180	595·430	230	998·118
190	666·630		

Liczby uwidocznione w tej tabliczce pod napisem *S* przedstawiają drogi, liczby pod napisem *t*, przedstawiają zaś czasy.

Chodzi teraz o to, aby znaleść wyraz, któренby zawierał szereg liczb przedstawiających drogi, jakoteż wyraz obejmujący szereg liczb przedstawiających czasy.

Wyrazy takie znaleść można, uważając liczby uwidocznione pod napisem s i t jako szeregi, których ogólny wyraz szukać trzeba.

Chodzi więc o szeregi:

s = 408·150, 466·288, 528·683, 595·430

t = 150, 160, 170, 180...

Ogólny wyraz każdego szeregu znaleść zaś można, używając wzoru:

$$a + \binom{n-1}{1}\triangle_1 + \binom{n-1}{2}\triangle_2 + \binom{n-1}{3}\triangle_3 \ldots$$

w którym wyraża:

a... człon pierwszy szeregu.

n... ilość członów, składających szereg.

$\triangle_1$. różnicę między członem drugiem a pierwszym, szeregu pierwszego.

$\triangle_2$. różnicę między członem drugim, a pierwszym, szeregu drugiego i t. p.

Biorąc szereg czasów, mamy:

$$\begin{array}{ccccccc} 150 & & 160 & & 170 & & 180 \\ & 10 & & 10 & & 10 & \\ & & 0 & & 0 & & \end{array}$$

a przeto:

$$a = 150, \quad \triangle_1 = 10, \quad \triangle_2 = 0$$

ogólny wyraz tego szeregu będzie zatem:

$$t = 150 + \binom{n-1}{1} 10$$

czyli

$$t = 10\,(n+14)$$

Biorąc zaś szereg dróg:

$$\begin{array}{c} 408{\cdot}150 - 466{\cdot}288 - 528{\cdot}683 - 595{\cdot}430 - 666{\cdot}630 \\ 58{\cdot}138 - 62{\cdot}395 - 66{\cdot}747 - 71{\cdot}200 \\ 4{\cdot}257 - 4{\cdot}352 - 4{\cdot}453 \\ 0{\cdot}095 - 0{\cdot}101 \\ 0{\cdot}006 \end{array}$$

mamy:

$$\begin{aligned} a &= 408{\cdot}150 \\ \triangle_1 &= 466{\cdot}288 - 408{\cdot}150 = 58{\cdot}138 \\ \triangle_2 &= 62{\cdot}395 - 58{\cdot}138 = 4{\cdot}257 \\ \triangle_3 &= 4{\cdot}352 - 5{\cdot}257 = 0{\cdot}095 \\ \triangle_4 &= 0{\cdot}101 - 0{\cdot}095 = 0{\cdot}006 \\ \triangle_5 &= 0. \end{aligned}$$

Ogólny wyraz tego szeregu będzie przeto:

$$S = 408{\cdot}150 + \begin{Bmatrix} n-1 \\ 1 \end{Bmatrix} 58\,13 8 + \begin{Bmatrix} n-1 \\ 2 \end{Bmatrix} 4{\cdot}257 + \begin{Bmatrix} n-1 \\ 3 \end{Bmatrix} 0.095 + \begin{Bmatrix} n-1 \\ 4 \end{Bmatrix} 0{\cdot}006$$

uwzględniając, że jest

$$\begin{Bmatrix} n-1 \\ 1 \end{Bmatrix} = n-1$$

$$\begin{Bmatrix} n-1 \\ 2 \end{Bmatrix} = \frac{(n-1)(n-2)}{2}$$

$$\begin{Bmatrix} n-1 \\ 3 \end{Bmatrix} = \frac{(n-1)(n-2)(n-4)}{2.3}$$

$$\begin{Bmatrix} n-1 \\ 4 \end{Bmatrix} = \frac{(n-1)(n-2)(n-3)(n-3)}{2.3.4}$$

i wstawiając te wartości we wzór powyższy za S, pamiętając zarazem, że z poprzedniego wzoru wypada:

$$n = \frac{t}{10} - 14$$

otrzymujemy następujące równanie:

$$S = \frac{176}{10^4} . t^2 + \frac{24}{10^9} . t^4 \tag{54}$$

przedstawiające szukane *prawo ruchu* wolno toczących się wozów.

Tutaj wyraża:

S... drogę przebytą w czasie t sekund, wyrażoną w metrach,

t... czas w sekundach, potrzebny do przebycia drogi S.

Pierwsza pochodna tegoż równania przedstawi nam chyżość c, druga zaś przyspieszenie p (§ 38), otrzymamy przeto:

$$\left.\begin{aligned} c &= \frac{352}{10^4} . t + \frac{96}{10^9} . t^3 \\ p &= \frac{352}{10^4} + \frac{288}{10^9} . t^2 \end{aligned}\right\} \tag{55}$$

wzory określające chyżość i przyspieszenie biegu, wolno toczącego się pociągu.

A ponieważ opór jednostkowy otrzymujemy, mnożąc przyspieszenie liczbą 102 (§ 39), więc będzie:

$$o = 3{\cdot}6 + \frac{29}{10^6}.t^2 \qquad (56$$

wzór, służący do obliczania oporu jednostkowego.

43.

Przekształcenie wzoru określającego opór jednostkowy.

Wzór podany pod numerem 56, a otrzymany z doświadczeń przeprowadzonych na kolei Lwowsko-Czerniowieckiej, określający opór jednostkowy, nie ma dopóty praktycznej wartości, dopóki nie zostanie ujęty w taką formę, w której *czas* nie przychodzi.

Chcąc wzór ten zrobić użytecznym, trzeba wyrugować z niego czas *t*, który nam nie jest znany, a wprowadzić na jego miejsce przeciętną chyżość, która zawsze jest znaną.

Przekształcenie takie, przeprowadzić można jak następuje:

Znanym jest związek:

$$\cos x = \left(1 - \frac{2x}{\pi}\right)\left(1 + \frac{2x}{\pi}\right)\left(1 - \frac{2x}{3\pi}\right)\left(1 + \frac{2x}{3\pi}\right)$$

który to związek także pisać można:

$$\cos x = \left[1 - \frac{4x^2}{\pi^2}\right]\left[1 - \frac{4x^2}{9\pi^2}\right]$$

skoro opuszczamy wyższe potęgi kąta x, jak jest potęga czwarta.

Biorąc obustronnie logarytmy, otrzymujemy:

$$\ell \cos x = \ell\left[1 - \frac{4x^2}{\pi^2}\right] + \ell\left[1 - \frac{4x^2}{9\pi^2}\right]$$

A ponieważ jest:

$$\ell\,(1 - z) = - z - \frac{z^2}{2} - \frac{z^3}{3} - \ldots$$

więc będzie: wstawiając we wzor ten:

$$z = \frac{4x^2}{\pi^2}, \quad \pi = 3{\cdot}141593$$

$$-\ell \cos x = \frac{45}{10^2} x^2 + \frac{8}{10^2} x^4$$

wstawiając:

$$x = m\ t$$

otrzymamy:

$$-\ell \cos x = \frac{45\ m^2}{10^2} .\ t^2 + \frac{8\ m^4}{10^2} .\ t^4$$

Mnorząc zaś wyraz podany pod numerem 54, obustronnie przez n, wypada:

$$n\ S = \frac{176\ n}{10^4} t^2 + \frac{24\ n}{10^9} t^4$$

a gdy obydwa te wyrazy mają być sobie równe, to być musi:

$$\frac{45\ m^2}{10^2} = \frac{176\ n}{10^4}$$

$$\frac{8\ m^4}{10^2} = \frac{24\ n}{10^9}$$

z których równań wypada:

$$m = \frac{277}{10^5} \quad n = \frac{196}{10^6}$$

istnieć przeto będzie związek:

$$n\ S = -\ell \cos x \ldots \qquad (56$$

w którym *n*, ma powyższą wartość; — x = m.t, gdzie *m* ma wartość powyżej podaną.

Różniczkując powyższy wzór, który jest równaniem ruchu, otrzymujemy:

$$n.d\ S = -\ d.\ \ell \cos x$$

ponieważ jest:

$$d.\ell \cos x = -\ tg\ x.\ dx$$

więc będzie:

$$n.d\ S = dx.\ tg\ x$$

uwzględniając: x = m.t, a więc dx = m dt, otrzymujemy:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{m}{n} .\ tgx$$

Ponieważ $\left(\frac{ds}{dt}\right) = c$ niczem nie jest innem, jak chyżością, więc mamy

$$c = \frac{m}{n} \operatorname{tg} x$$

lub też

$$x = \operatorname{arc.} \operatorname{tg.} \frac{n}{m} c$$

albo

$$mt = \operatorname{arc.} \operatorname{tg} \frac{n}{m} c$$

Ze względu, że jest

$$\int \frac{dc}{a^2+c^2} = \frac{1}{a}. \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{c}{a}$$

więc będzie, pisząc $\frac{1}{a} = \frac{n}{m}$

$$m.t = \int \frac{dc}{\frac{m}{n} + \frac{n}{m} c^2}$$

po całkowaniu zaś:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{m^2}{n} + n c^2$$

Ponieważ pochodna $\left(\frac{dc}{dt}\right) = p$, nie jest niczem innem, jak opóźnieniem biegu, więc mamy

$$p = \frac{m^2}{n} + n.c^2$$

wstawiając za *m* i *n* powyżej podane wartości, otrzymujemy:

$$p = \frac{392}{10^4} + \frac{196}{10^6} c^2$$

Mnożąc przyspieszenie liczbą 102, otrzymujemy opór jednostkowy

$$0 = 3{\cdot}998 + 0{\cdot}0199.c^2$$

lub w zaokrągleniu:

$$O = 4 + \frac{c^2}{50} \quad (57$$

wzór służący do obliczania oporu jednostkowego.

Tutaj oznacza:

O... opór jednostkowy, czyli opór wyrażony w kilogramach wypadający na jedną tonnę ciężaru pociągu.

c... przeciętną chyżość jazdy, w metrach na sekundę.

Pociąg biegnący szybkością 10^m na sekundę, przedstawia więc ruchowi opór, wynoszący na każdą tonnę ciężaru pociągu:

$$O = 4 + \frac{10^2}{50} = 6$$

kilogramów.

Doświadczenia kolei Lwowsko-Czerniowieckiej doprowadziły więc do wzoru prostego, przy którym zapominać jednak nie trzeba, że odnosi się do ruchu *całych pociągów*, nie zaś do biegu samych wozów, lub też samej maszyny, jakoteż że zwykły przewiew wiatru wiosennego, w nim już jest uwzględnionym.

Rozumie się samo przez się, że wzór podany, jest tylko wyrazem przybliżenia do prawdy, ruch bowiem pociągów podlega tysiącznem przypadkom, które właściwego prawa, wyśledzić nie dozwalają; dlatego uważać można wzór nr. 57 dotąd za dobry, dopóki lepszego nie otrzymamy.

Obliczając opór ruchu na podstawie wzoru numer 57 otrzymujemy nieco większe wartości, aniżeli podają wzory nie uwzględniające wpływu zwykle wiejącego wiatru. Doświadczenie poucza, że trzymając się owego wzoru, za mało nigdy nie policzymy.

44.

Zestawienie ważniejszych wzorów służących do obliczania oporu jednostkowego.

W poprzednich paragrafach opisano szczegółowo w jaki sposób wyznaczano opór ruchu na kolei Lwowsko-Czerniowieckiej, a stało się to mniej dla tego, aby wykazać *wynik*, lecz przeważnie w celu wykazania *sposobu* w jaki wyszukiwać można opór ruchu, mając do dyspozycyi możebnie najmniejszą ilość przyrządów mierniczych.

Doświadczeniami przeprowadzonemi na Lwowsko-Czerniowieckiej kolei uzyskany wzór

$$O = 4 + \frac{c^2}{50}$$

uważać należy, jako wyraz określający opór jednostkowy, w przybliżeniu tylko, aby jednak wykazać o ile ów rezultat różni się od wyników doświadczeń przeprowadzonych na innych kolejach, przytoczyć wypada takie doświadczenia.

W następujących wzorach wyraża:

c... chyżość jazdy w metrach na sekundę.

v... chyżość w kilometrach na godzinę.

O... jednostkowy opór w kilogramach.

T.. ciężar pociągu w tonnach.

A.. liczbę stałą, wynoszącą dla pociągów

$$\begin{matrix}\text{towarowych} \ldots \\ \text{osobowych} \ldots\end{matrix} \quad A = \begin{cases} 1{\cdot}65 \\ 1{\cdot}80 \end{cases}$$

Najdawniejszy, na francuzkich kolejach używany wzór opiewa:

$$0 = 4{\cdot}2 + 0{\cdot}031.c^2$$

Inżynierowie *Dieudonné*, *Vuillemin* i *Guebhard* przeprowadzili na francuskiej kolei wschodniej, cały szereg starannie wykonanych doświadczeń, które wykazały, że używać można, dla chyżości leżących w granicach 12 — 32 kilometrów, wzoru:

$$0 = 1{\cdot}8 + 0{\cdot}08.\ v + \frac{0{\cdot}00}{T} A.\ v^2$$

dla chyżości zaś, leżących w granicach 32—50 kilometrów, wzoru:

$$0 = 1{\cdot}8 + 0{\cdot}08\ v + \frac{0{\cdot}006}{T}.A\ v^2$$

dla pociągów wreszcie, biegnących chyżością, która leży w granicach 70—80 kilometrów na godzinę, wzoru:

$$0 = 1{\cdot}8 + 0{\cdot}14\ v + \frac{0{\cdot}004}{T} A\ v^2$$

Pomiary, które *Łopuszyński* przeprowadził na kolei Morszańsko - Syzrańskiej w latach 1877—1879, zasługujące ze wszech miar na szczególną uwagę, przy których używano dynamometru, naprowadziły na wzór podobny. *Łopuszyński* wyprowadza bowiem dla oporów towarowych wzór:

$$0 = 1{\cdot}8 + 0{\cdot}073.\ v + 0{\cdot}001.\ v^2$$

dla wozów osobowych zaś wzór:

$$0 = 1{\cdot}8 + 0{\cdot}083.\ v.$$

Na niemieckiej kolei wiodącej z Kolonii do Minden przeprowadzono z równą starannością doświadczenia tyczące się oporu jednostkowego wozów biegnących bez lokomotywy i znaleziono jako przeciętną z 614 doświadczeń

$$0 = 0{\cdot}931 + 0{\cdot}0718.c$$
$$0 = 0{\cdot}704 + 0{\cdot}0380.c$$

z których pierwszy, odnosi do wozów próżnych, drugi zaś do wozów naładowanych.

Później znaleziono na tej samej kolei

$$0 = 0{\cdot}946 + 0{\cdot}03072.c$$
$$0 = 0{\cdot}778 + 0{\cdot}08412.c$$

kilogramów.

Na angielskich kolejach żelaznych otrzymał *Clark*

$$0 = 3{\cdot}62 + 0{\cdot}00366.\ c^2$$

podczas gdy na kolejach hanowerskich, *Welkner* znalazł

$$0 = 4 + 0{\cdot}0023 \cdot v^2$$

kilogramów.

Na podstawie badań krytycznych, przychodzi *Fink* do wzorów:

$$0 = 2{\cdot}5 + 0{\cdot}001.\ v^2$$
$$0 = 3{\cdot}75 + 0{\cdot}0015.\ v^2$$

z których pierwszy, odnosi się do jazdy podczas pogody, drugi zaś, do jazdy podczas słoty, a obydwa niemniej jak wzory *Clarka* i *Welknera*, odnoszą się do ruchu *pociągów*, a więc wozów i lokomotywy.

Szwarzl zaś, oblicza opór w drodze teoryi, i przychodzi do następujących wzorów:

$$0 = 1{\cdot}94 + 0{\cdot}00151.\ v^2$$
$$0 = 1{\cdot}82 + 0.00091.\ v^2$$
$$0 = 1{\cdot}62 + 0{\cdot}00075.\ v^2$$

z których to wzorów pierwszy, odnosi się do wozów próżnych, drugi do wozów do połowy załadowanych, trzeci do wozów zupełnie obciążonych, a wszystkie trzy wzory wyrażają opor jednostkowy, tyczący się ruchu samych tylko wozów.

Profesor *Baumeister*, proponuje zaś wzór:

$$0 = 1{\cdot}8 + 0{\cdot}00023.\ v^2$$

Doświadczenia przeprowadzone na państwowych kolejach w Bawaryi pod kierownictwem dyrektora tychże kolei pana *Roekl*, a ogłoszone w roku 1880 naprowadzają zaś na wzory

$$0 = 2{\cdot}5 + 0{\cdot}00021.\ v^3$$
$$0 = 5 + 0{\cdot}00021.\ v^3$$

z których pierwszy, odnosi się do ruchu samych wozów, drugi zaś do ruchu samej tylko lokomotywy.

Wzory ostatnie odróżniają się od wszystkich poprzednich tem, że podają opór jednostkowy jako funkcyę trzeciej potęgi chyżości pociągu, podczas gdy wszelkie inne wprowadzają tylko drugą potęgę szybkości jazdy.

Łopuszyński przytacza następującą tabliczkę porównawczą:

chyżość w kilom. na godzinę v =	opór ruchu jednej tonny ciężaru pociągu wyrażony w kilogramach, podług:					
	Hartinga	Vuillementi, Geubhardi Dicadonnė	Łopuszyńskiego	Welknera	Roekla	Gostkowskiego
10	.	2·80	2·58	4·23	2·71	4·15
15	.	3·05	3·07	4·52	3·21	4·34
20	4·62	3·30	3·60	4·92	4·18	4·60
25	5·12	3·55	4·19	5·43	5·78	4·94
30	5·62	3·80	4·82	6·07	8·17	5·35

w której opory podane przez *Łopuszyńskiego* odnoszą się li tylko do wozów osobowych.

Oprócz przytoczonych, istnieje jeszcze wiele innych wzorów, wszystkie jednak o niedokładnej wartości oporu, a okoliczność ta sprawia, że każda prawie kolej do obliczań oporu, innego wzoru używa.

Rozmaitość ta uwydatniła się najjaskrawiej na zgromadzeniu techników w Sztutgardzie w roku 1878, gdyż na zgromadzeniu tem się wykazało, że z pomiędzy 18 kolei, które brały udział w dyskussyi nad wzorami służącemi do wyznaczania oporu ruchów, zaledwie znalazło się dwie, które jednakowych wzorów używały.

45.

Przykłady obliczania oporu na poziomej prostej.

Znajomość oporu ruchu, jest dla każdej kolei rzeczą wielkiej wagi, gdyż od wielkości oporu zależy nietylko ciężar, jaki maszyna uciągnąć zdoła, ale także i konstrukcya maszyny, skoro lokomotywa ma być dobieraną do ciężaru przewozić się mającego.

Ażeby wykazać w jaki sposób użyć można wzorów wyrażających opór ruchu, służyć mają następujące przykłady

Przykład I.

Brunnel, budowniczy i pierwszy dyrektor angielskiej kolei Great-Western, utrzymywał w roku 1845 w komissyi kolejowej, że opór pociągu biegnącego chyżością 96 kilometrów na godzinę, wynosi 7·5 kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, podczas gdy *Stefènson* twierdził, że opór ten wynosi 17·5 kilogramów. Kto miał racyę?

Chyżości 76 kilometrów na godzinę odpowiada chyżość 26·6 metrów na sekundę, opór jednostkowy odpowiadający takiej chyżości wynosi zaś (§ 43):

$$0 = 4 + \frac{26{\cdot}6^2}{50} = 17{\cdot}5$$

kilogramów na tonnę ciężaru, a więc właśnie tyle, ile utrzymywał *Stefenson*.

Przykład 2.

Na dniu 5 czerwca 1878 o godzinie 4 zrana, zbiegł ze stacyi *Krima* austryackiej *kolei Busztechradzkiej* skutkiem zerwania się burzy, wóz i przebiegł w ciągu 7 minut 8.700 metrową drogę, nim się zatrzymał.

Zachodzi pytanie, jak wielkim był opór ruchu na tej linii.

Przeciętna szybkość biegu wynosiła

$$c = \frac{8700}{7.60} = 20{\cdot}7 \text{ metrów}$$

Gdyby przyjąć można, że opór samych wozów jest tak wielkim jak opór biegnącego pociągu (maszyny i wozów) to będzie (§. 43):

$$4 + \frac{(20 \cdot 7)^2}{50} = 12 \cdot 5$$

kilogramów, na tonnę ciężaru.

Przykład 3.

W pobliżu *Liverpool*, odczepiono od pociągu biegnącego po linii poziomej, maszynę w chwili, gdy chyżość biegu wynosiła 20^m na sekundę i przekonano się, że wozy zatrzymały się dopiero na przestrzeni 4000 metrów.

Suponując ruch jednostajnie opóźniony wynosiła przeciętna szybkość biegu wolno toczących się wozow $\frac{20+0}{2} = 10$ metrów na sekundę, każda tonna ciężaru zwalczała więc opór wynoszący

$$4 + \frac{10^2}{50} = 6$$

kilogramów (§ 43).

Przykład 4.

Jak ciężki pociąg uwiezie lokomotywa, biegnąc chyżością 10^m na sekundę, a pracując siłą równającą się sile 350 koni?

Na każdą tonnę przewozić się mającego ciężaru wynosi opór (§ 43)

$$4 + \frac{10^2}{50} = 6$$

kilogramów, waży pociąg x tonn, to maszyna zwalczać musi opór wynoszący w całości 6x kilogramów, a ponieważ siła przewozowa równać się musi oporowi, skoro maszyna ma być wyzyskaną, mamy S = 6x.

A ponieważ skutek użyteczny każdej lokomotywy wyrazić się daje wzorem

$$E = \frac{S.c}{75}$$

a, E = 350, więc mamy równanie

$$350 = \frac{6x.10}{75}$$

z którego wypada x = 436 tonn; przypuszczając, że lokomotywa waży 33
jej tender 13

razem . 46

ton, pozostanie na wozy ciężar: 436 — 46 = 390 tonn; waży każdy wóz przeciętnie po 15 tonn, to lokomotywa pracująca siłą równającą się sile 350 koni, uciągnie $\frac{390}{15}$ = 26 wozów, prowadząc je chyżością 10^m na sekundę.

Przykład 5.

Jak silnej lokomotywy potrzeba do prowadzenia pociągu ważącego 1000 tonn, chyżością 5^m na sekundę?

Ponieważ opór jednostkowy wynosi $4 + \frac{5^2}{50} = 4 \cdot 5$ kilogramów, więc maszyna ma do zwalczania opór, który w całości wynosi:

$$1000 \,.\, 4 \cdot 5 = 4500$$

kilogramów.

Chcąc zwalczać taki opór, potrzeba na to siły równającej sile (§ 26)

$$E = \frac{4500 \times 5}{75} = 400$$

koni.

Aby zaś wydobyć taką siłę, musi powierzchnia ogrzewalna lokomotywy wynosić (§ 27)

$$H = {}^3/_8 \,.\, 400 = 150$$

metrów kwadratowych, w którym to razie lokomotywa wraz z jej tenderem ważyć będzie (§ a)

$$M = \frac{150}{6} + 15 = 50 \text{ tonn},$$

odliczywszy na tender 12 tonn, pozostaje jako ciężar samej lokomotywy, ciężar 50 — 12 = 38 tonn, który złożyć trzeba przynajmniej na $\frac{38}{14} = 3$ osie.

Ponieważ do zwalczania oporu wynoszącego 4500 kilogramów potrzebujemy adhezyi (§ 21)

$$\frac{11}{10} \,.\, 4500 = 4950$$

kilogramów, więc spoczywać musi na osiach kół popędowych ciężar (§ 8)

$$\frac{4950}{130} = 38$$

tonn, a ponieważ cała maszyna tyle waży, więc wszystkie jej osie muszą być ze sobą sprzężone.

Przykład 6.

Do prowadzenia pociągów ważących po 250 tonn, mamy lokomotywę, która pracować może w najlepszym razie siłą 200 koni, zachodzi pytanie, jak spiesznie owa maszyna pociągi prowadzić będzie.

Wynosi chyżość jazdy x metrów na sekundę, to będzie opór jednostkowy

$$4 + \frac{x^2}{50}$$

kilogramów, całkowity zaś opór, który maszyna zwalczać ma, wynosi:

$$250\left(4 + \frac{x^2}{50}\right)$$

kilogramów, tyleż kilogramów wynosi przeto i siła przewozowa, mamy więc:

$$S = 250\left(4 + \frac{x^2}{50}\right)$$

a ponieważ efekt tej maszyny wynosi 200 koni, więc mamy równanie:

$$200 = \frac{250\left(4 + \frac{x^2}{50}\right) . x}{75}$$

z którego wypada $x = 10$.

Maksymalna chyżość jazdy wynosić przeto będzie 10^m na sekundę, czyli 36 kilometrów na godzinę.

Przykład 7.

Lokomotywa, prowadząc pociąg ważący 400 tonn, chyżością 5^m, pracuje na linii poziomej siłą równającą się sile 300 koni, zachodzi pytanie, czy siła jej zostaje wyzyskaną, a jeżeli nie, na jak stromym wzniesieniu prowadzić może ta maszyna ów pociąg, aby siła jej zupełnie została wyzyskaną.

Siła przewozowa tej maszyny oblicza się ze wzoru

$$300 = \frac{S.5}{75}$$

i wynosi $S = 4500$ kilogramów. Całkowity opór, który maszyna zwalczać może wynosi przeto tyleż kilogramów, ponieważ zaś lokomotywa zwalcza opór wynoszący tylko

$$\left(4 + \frac{5^2}{50}\right) . \; 400 = 1800$$

kilogramów, więc siła jej nie jest wyzyskaną.

Wynosi stromość szukanego wzniesienia $m^0/_{00}$, to opór, który maszyna zwalczać będzie musiała, ciągnąc pociąg w kierunku tego wzniesienia, wyniesie

$$\left(4 + m + \frac{5^2}{50}\right) . \; 400 = (4{\cdot}5 + m) \; 400$$

kilogramów, który to opór równać się winien sile przewozowej, skoro siła maszyny ma być wyzyskaną, mamy przeto

$$(4{\cdot}5 + m) \; 400 = 4500$$

zkąd wypada:

$$m = 6^3/_4$$

milimetrów, na metr poziomej odległości jako stromość szukanego wzniesienia.

Przykład 8.

Na dworcu drogi żelaznej zrywa się burza i uderzając na wóz ważący 10 tonn sprawia, że wóz potoczył się 200 metrów. Zachodzi pytanie, jak silnie uderzył wiatr na ów wóz?

Wiatr uderzając na wóz, nadał mu pewną szybkość x metrów na sekundę, która spadając stopniowo podczas drogi, zeszła wreszcie do wartości zera.

Chcąc spoczywającej masie, równającej się masie jaka odpowiada ciężarowi jednej tonny, nadać szybkość x metrów, potrzeba na to mechanicznej pracy $102 . \frac{x^2}{2} = 51 . \; x^2$ meterkilogramów, gdyż massa jednej tonny wynosi 102 kilogramy.

Ten zasób pracy strawił biegnący wóz podczas 200 metrowej drogi, gdyż na przestrzeni tej się zatrzymał.

Bieg wozu rozpoczął się chyżością x, a zakończy chyżością zero, pod supozycyą, że był biegiem jednostajno opóźnionym, (jakim w rzeczywistości jednak nie jest) wynosi przeciętna szybkość biegu

$$\frac{x + 0}{2} = \frac{x}{2}$$

metrów na sekundę (połowę chyżości początkowej).

Przypuszczając, że opór jednostkowy biegnącego wozu, nie różni się od oporu biegnącego pociągu, (które to przypuszczenie nie jest prawdziwem, gdyż opór samego wozu nieco mniejszym być musi od oporu pociągu), wynosi opór w przecięciu:

$$4 + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^2}{50} = 4 + \frac{x^2}{200}$$

kilogramów, na każdą tonnę ciężaru wozu, a mechaniczna praca jaką pochłania ciężar jednej tonny, tocząc się przez 200^m wynosi:

$$200\left(4 + \frac{x^2}{200}\right)$$

meterkilogramów, ponieważ wielkość tej pracy wynosi $51x^2$ kilogramów, więc mamy równanie:

$$200\left(4 + \frac{x^2}{200}\right) = 51\,x^2$$

wydające

$$x = 4$$

Początkowa szybkość, jaką wóz otrzymał skutkiem uderzenia wiatru wynosiła więc 4 metry na sekundę, a siła sprawiająca taką chyżość wynosi $102.4 = 408$ kilogramów na każdą tonnę ciężaru.

Ważył wóz 10 tonn, to wiatr uderzył nań siłą $10 \times 408 = 4080$ kilogramów, czyli siłą 4·08 tonn *).

Przykład 9.

Na dworcu kolejowym, zestawia maszynista pociąg, podczas tej pracy odrywają się 2 wozy ważące razem 30 tonn i biegnąc wprzód, uderzają na 5 tonn ciężki wóz, stojący od nich w odaleniu o $94{\cdot}41^m$.

Skutkiem uderzenia biegną wszystkie 3 wozy nierozdzielnie, i przebiegają jeszcze drogę 113·47 metrów, nim skutkiem oporu się zatrzymają.

Maszynista, zestawiając pociągi, musiał więc jechać szybko, a mianowicie taką szybkością, która opisany skutek sprawiła.

Skoro dozwolona szybkość szykowania wozów na stacyi, wynosi maksymalnie $4{\cdot}5^m$, zachodzi pytanie, czy maszynista przekroczył przepis lub też nie.

---

*) W paragrafie 46 wykazano w jaki sposób opór obliczać trzeba, uwzględniając ruch niejednostajnie przyspieszony.

Wyraża x szybkość w metrach, którą wozy bieg swój po zderzeniu się rozpoczęły, to wynosi przeciętna chyżość ich biegu, pod supozycyą ruchu jednostajnie opóźnionego połowę chyżości początkowej, a więc $\left(\frac{x}{2}\right)$ metrów na sekundę, przypuszczając, że opór biegnących wozów nie różni się od oporu biegnącego pociągu, otrzymujemy przeciętny opór:

$$\left[4 + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^2}{50}\right] = 4 + \frac{x^2}{200}$$

kilogramów, mechaniczna praca zaś oporu jednostkowego

$$113{\cdot}47 \left(4 + \frac{x^2}{200}\right)$$

równająca się mechanicznej pracy 51 x^2 meterkilogramów.

Mamy więc równanie:

$$113{\cdot}47 \left(4 + \frac{x^2}{200}\right) = 51.x^2$$

wydające $x = 3$.

Zderzając się, otrzymał więc wóz stojący taki nacisk, że skutkiem niego poczęły wszystkie 3 wozy biedz chyżością 3^m na sekundę.

Owe dwa wozy, które się oderwały od lokomotywy, musiały przeto mieć w chwili najazdu na wóz trzeci, większą chyżość niż 3 metry, kiedy wspólna chyżość po zderzeniu się, już tyle wynosiła. Znając chyżość wypadkową po zderzeniu się, obliczyć można z jej wielkości chyżość najazdu owych dwóch wozów, ważących razem 30 tonn na wóz trzeci, ważący 5 tonn.

Masa tych dwóch wozów wynosi bowiem $m = 102 \times 30 = 3060$ kilogramów, podczas gdy masa trzeciego, wynosi $m_1 = 102 \times 5 = 510$ kilogramów.

Wyraża v chyżość najazdu, to uczy mechanika, że istnieje równanie:

$$(m + m_1)\, 3 = 3060.v + 510 \times 0$$

zkąd wypada:

$$v = 3{\cdot}5$$

metrów na sekundę.

Obydwa wozy najeżdzając na trzeci, miały więc w chwili najazdu, chyżość wynoszącą $3{\cdot}5^m$ na sekundę, bieg swój rozpocząć jednak musiały większą chyżością, gdyż droga 94·44 metrowa po przebyciu której chyżość owa im pozostała, na początkowej chyżości x metrów, trawić musiała.

Przeciętna chyżość tych dwóch wozów od chwili odłączenia się od lokomotywy aż do chwili najazdu, a więc podczas drogi 94·44 metrów, wynosi zaś:

$$u = \frac{x + 3{\cdot}5}{2}$$

metrów na sekundę.

Opór jaki zwalczać musiały od lokomotywy odłączone wozy podczas owej drogi, wynosi przeto w przecięciu:

$$4 = \frac{u^2}{50}$$

kilogramów, na każdą tonnę ciężaru, praca zaś mechaniczna którą podczas swego biegu pochłoniły,

$$94{\cdot}44 \left(4 + \frac{u^2}{50}\right)$$

meterkilogramów, za każdą tonnę ciężaru pociągu.

Chcąc zaś sprawić, aby chyżość masy 102 kilogramów, t. j. masy jednej tonny ciężaru wozów, spadła z początkowej chyżości x do wartości 3·5 metrów na sekundę, wydać trzeba mechaniczną pracę:

$$\frac{102}{2} (x^2 - 3{\cdot}5^2) = 51 (x^2 - 3{\cdot}5^2)$$

meterkilogramów.

Zasób ten pracy mechanicznej, wyczerpały wozy podczas biegu przez 94·44 metrową drogę.

Mamy przeto równanie:

$$9{\cdot}44\left(4 + \frac{u^2}{50}\right) = 51 (x^2 - 3{\cdot}5^2)$$

z którego, po wstawieniu za u odpowiedniej wartości, otrzymujemy:

$$x = 4{\cdot}5$$

metrów na sekundę.

Maszyna, od której dwa wozy się odłączyły, biegła więc po stacyi chyżością $4{\cdot}5^m$ na sekundę, a więc nie spieszniej, jak jej dozwolonem było.

Przykład 10.

Zbudować mamy lokomotywę, któraby chyżością 7^m na sekundę prowadzić mogła ciężar 800 tonn, nie wysuwając prężenia w kotle wyżej nad 10 atmosfer.

Zachodzi pytanie jakie rozmiary tej lokomotywie nadać będzie trzeba?

Jadąc chyżością 7^m, wynosi opór jednostkowy:

$$\left(4 + \frac{7^2}{50}\right) = 5$$

kilogramów, na tonnę ciężaru pociągu, całkowity opór, który zwalczać ma siła przewozowa, wynosi przeto:

$$S = 5.800 = 4000$$

kilogramów, adhezya zaś, jaką lokomotywa sprawić musi, wynosi:

$$\frac{11}{10}.4000 = 4400$$

kilogramów.

Ażeby taką adhezyę sprawić, złożyć trzeba na osie kół popędowych ciężar wynoszący:

$$\frac{4400}{138} = 34$$

tonn, lokomotywa spoczywać przeto będzie na:

$$\frac{34}{14} = 3$$

osiach i mieć musi wszystkie trzy osie ze sobą sprzężone, skutkiem czego jej całkowity ciężar, równając się ciężarowi adhezyjnemu wyniesie 34 tonn.

Powierzchnia ogrzewalna takiej lokomotywy wyniesie:

$$H = 6\ (34 - 15) = 114$$

metrów kwadratowych.

Powierzchni ogrzewalnej wynoszącej 114 $\square^m$ odpowiada zaś średnica tłoka:

$$s = \sqrt{\frac{114 \times 100}{7}} = 40$$

centimetrów.

Przyjmując długość cylindra 50 centimetrów, mamy:

$$\frac{50 \times 40^2}{s_1} = A$$

a ponieważ, S = Ap, p = 0·65×10 = 65, a przeto:

$$A = \frac{4000}{6·5} = 616$$

więc otrzymujemy:

$$s_1 = \frac{50 \times 40^2}{616} = 130$$

centimetrów, dla średnicy koła popędowego.

A ponieważ jadąc chyżością 7^m maszyna wydaje 4000 kilogramów siły przewozowej, więc siła jej, równa się sile:

$$E = \frac{4000 \times 7}{75} = 375$$

koni.

Ponieważ mając do dyspozycyi parę, prężącą siłą 10 atmosfer, potrzeba do uzyskania siły konia, na godzinę (10 + 5) = 15 kilogramów pary, więc wydawać musi powierzchnia ogrzewalna, na godzinę:

$$375 \times 15 = 5025$$

kilogramów pary.

Ażeby uzyskać tyle pary, trzeba mieć odpowiednio urządzoną powierzchnię ogrzewalną.

Wynosi stosunek powierzchni *p* grzanej pośrednio, do powierzchni *b* ogrzewanej bezpośrednio,

$$\frac{b}{p} = 15$$

to będzie, ponieważ:

$$b + p = 114$$

wielkość tych powierzchni:

bezpośrednio ogrzana	7
powierzchnia rur płomiennych	107
powierzchnia całkowita	114 □ metrów.

A ponieważ metr kwadratowy powierzchni bezpośrednio ogrzanej, wyda 180 kilogramów pary, więc otrzymany na całej powierzchni bezpośrednio ogrzanej 7×180 = 1260 kilogramów pary.

Na powierzchnię rur płomiennych, pozostanie przeto już tylko 5025 — 1260 = 3765 kilogramów, ponieważ powierzchnia wszystkich rur wynosi 107 $□^m$, więc wypada na $□^m$ tychże, 35 kilogramów pary.

Wyraża *a* długość rur płomiennych, to mamy (§ 18).

$$35 = \frac{220}{1{\cdot}6\,(1{\cdot}6 + a)}$$

z kąd wypada

$$a = 2{\cdot}3^{m}.$$

jako możebnie najmniejsza długość rur płomiennych. Ze względu jednak na to, że nie zawsze mamy paliwo doskonałe, zwiększa się w praktyce wartość *a* zwykle o 30%, tak więc że będzie $a = 3^{m}$.

Przyjmując, że zewnętrzna średnica rury płomiennej wynosi 44·5 milimetrów, a grubość rury 2·5 milimetrów, wynosi wewnętrzna średnica $(44{\cdot}5 - 2{\cdot}5) = 40^{mm} = 0{\cdot}04^{m}$, a ponieważ rura ma 3^{m} długości, więc będzie jej powierzchnia wewnętrzna:

$$0{\cdot}04 . \pi . 3 = 0{\cdot}38$$

Ze względu, że powierzchnia wszystkich rur razem mierzy 107 $\square^{m}$, wypada, że kocioł przerznąć trzeba:

$$\frac{107}{0{\cdot}38} = 280$$

rurami.

Wynik naszego szacunku jest więc następujący:

średnica koła popędowego .	cm.	130
średnica tłoka............	„	40
długość cylindra..........	„	50
powierzchnia ogrzewalna bezpośrednio ogrzana...	$\square^{m}$	7
powierzchnia ogrzewalna pośrednio ogrzana......	$\square^{m}$	107
ilość rur płomiennych......	„	280
długość rur płomiennych....	m.	3·8
ciężar lokomotywy.........	tonn	34
ilść osi ze sobą sprzężonych	„	3
maxymalny skutek użyteczny w siłach konia...........	„	375

46.

Opór ruchu podczas jazdy chyżością niejednostajną.

Dotychczas przytoczone wzory służące do obliczania oporu jednostkowego na linii poziomej i prostej, odnoszą się wszystkie do jazdy odbywającej się chyżością jednostajną.

Zmienia się zaś szybkość jazdy, jak to n. p. zawsze się dzieje, skoro wozy pozostawione samem sobie, biegną w kierunku spadku, lub (skutkiem uderzenia) na linii poziomej, lub też skoro maszyna rozpędzając się, bieg swój rozpoczyna i t. p. to chyżość jazdy nie pozostaje w takich razach podczas całego ruchu tą, jaką była na początku, lecz zwiększa się lub się zmniejsza.

Opór ruchu nie da się w takim razie już wyrazić wzorem

$$0 = 4 + \frac{c^2}{50}$$

gdyż w nim wyraża *c* chyżość nie zmieniającą się podczas jazdy, nie zaś chyżość zmienną, jak być powinno.

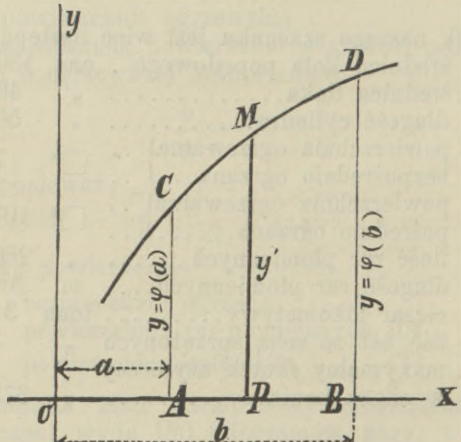
Chcąc znaleść sposób wyliczania oporu jednostkowego jadąc chyżością zmienną, niechaj wyraża y opór jednostkowy, x zaś zmienną chyżość, dla której opór wynosi y kilogramów.

W takim razie nabiera powyższy wyraz kształtu:

$$y = \varphi(x)$$

który przedstawia nam pewną linię krzywą.

Fig. 22.



Linia CD (figura 22) niechaj przedstawia tę krzywą, która zaczyna się od pionu AC, a kończy się przy pionie BD; mamy w takim razie

$OA = a$; $OB = b$; $AC = \varphi(a)$; $BD = \varphi(b)$; $AB = b - a$.

Pomiędzy pionami AC i RD, pomyśleć sobie można cały szereg pionów, z których wyszukać mamy ten pion y^1, który ma przeciętną długość wszystkich pionów leżących między AC i BD.

Zamiast wstawiać we wzór:

$$y = \varphi(x)$$

za x rozmaite wartości, odszukiwać tym wartościom odpowiadające y, sumować wszystkie otrzymane y i dzielić tę sumę przez ilość pionów, w którym to razie otrzymalibyśmy przeciętną wartość wszystkich y, można króciej postąpić so. bie w sposób inny.

Powierzchnia ABCD przedstawia mechaniczną pracę pary w cylindrze, składa się bowiem z nieskończenie wielu małych czworoboków, z których każden przedstawia iloczyn małej drogi dx tłoka i tej drodze odpowiadającego prężenia y.

Suma tych wszystkich prostokątnych czworoboków $\int ydx$ przedstawia powierzchnię płaszczyzny ACMDBA, a zarazem i pracę pary.

Oznacza $x = \begin{cases} a \\ b \end{cases}$ granicę tej powierzchni, to mamy

$$ACMDBA = \int_b^a ydx.$$

W tem równaniu przedstawia y, cały szereg pionów, a mianowicie wszystkie y leżące między $y = \begin{cases} AC \\ BD \end{cases}$, a przeciętna wartość tych wszystkich pionów, będzie zaś ten pion $y^1 = MP$, który pomnożony przez AB, wyda tak samo wielką powierzchnię jaką jest powierzchnia ACMDBA.

Chcąc wielkość tego pionu wynaleść, pisać przeto trzeba

$$y^1. AB = ACMDBA$$

a ze względu na

$$AB = (b—a)$$

otrzymujemy jako wartość tego pionu

$$y^1 = \frac{\int_b^a ydx}{b—a} \tag{58}$$

wzór służący do obliczania przeciętnych wartości rzędnej funkcyi

$$y = f(x)$$

W naszym przypadku mamy:

$$y = \frac{x^2}{50}$$

a przeto opór przeciętny

$$y^1 = \frac{\int_b^a \frac{x^2}{50} dx}{b - a}$$

biorąc chyżości w granicach v i c będzie

$$y^1 = \frac{\int_v^c x^2 dx}{50(v - c)} = \frac{v^3 - c^3}{150(v - c)}$$

wyraża o^1, opór przeciętny, to będzie:

$$o^1 = \frac{1}{150} \cdot \frac{v^3 - c^3}{v - c}$$

a ze względu na to, że jest:

$$\frac{v^3 - c^3}{v - c} = v^2 + c^2 + vc$$

także:

$$o^1 = \frac{v^2 + c^2 + vc}{150} \qquad (59$$

wzór służący do obliczania oporu przeciętnego, w którym wyraża:

o^1... opór jednostkowy, odnoszący się do jazdy, która się rozpoczyna (zakończa) chyżością v, a zakończa (rozpoczyna) chyżością c metrów na sekundę.

v ... chyżość początkową (końcową) w metrach na sekundę.

c... chyżość końcową (początkową) w metrach na sekundę.

Biegnie pociąg *jednostajnie* szybko, w takim razie będzie $v = c$, a opór przeciętny:

$$o^1 = \frac{v^2 + v^2 + v^2}{150} = \frac{v^2}{50}$$

jak być powinno.

Rozpoczyna lub kończy się bieg pociągu chyżością zero, to będzie $v = o$, a opór przeciętny:

$$o^1 = \frac{c^2}{3 \times 50} = {}^1/_3 \left(\frac{c^2}{50}\right) = {}^1/_3 \cdot o$$

Opór przeciętny wynosi w takim razie $1/_3$ oporu zwykłego.

Przykład.

Pociąg biegnący na otwartej linii chyżością 10^m na sekundę, zwolnić ma, zbliżając się do stacyi, chyżość swą o tyle, aby przebył stacyę chyżością 5^m, zachodzi pytanie, na jakie opory ruch taki natrafia?

Na linii otwartej wynosi opór jednostkowy:

$$0 = 4 + \frac{10^2}{50} = 6$$

kilogramów na tonnę ciężaru pociągu.

Zbliżając się do stacyi, wynosi opór, od chwili, w której poczęto jazdę zwalniać, aż do chwili wjazdu w stacyę:

$$0^1 = \frac{10^2 + 5^2 + 5.10}{150} = 1{\cdot}2$$

a więc opór jednostkowy:

$$0 = 4 + 0^1 = 4 + 1{\cdot}2 = 5{\cdot}2$$

kilogramów na tonnę ciężaru pociągu.

Podczas przejazdu przez stacyę, wynosi opór jednostkowy:

$$0 = 4 + \frac{5^2}{50} = 4{\cdot}5$$

kilogramów, a ponieważ wyjeżdżając ze stacyi, zwalczać trzeba ten sam opór, który zwalczano wjeżdżając do stacyi, więc opory ruchu są następujące:

na linii otwartej		6.0
podczas przejazdu przez stacyę . . .	o =	4·5
podczas zbliżania się do, i wyjazdu ze stacyi		5·2

kilogramów, na tonnę ciężaru pociągu.

Ważył pociąg 300 tonn, to lokomotywa miała do zwalczania,

podczas jazdy na linii otwartej	1800
podczas przejazdu przez stacyę	1350
podczas zbliżania się do, i wyjazdu ze stacyi	1560

kilogramów oporu.

47.

Opór na wzniesieniach.

Stoi pociąg ważący P tonn, na wzniesieniu nachylonem do poziomu pod kątem α, to składowe siły ciążenia P sinα, stara się go w dół zesunąć.

Oprócz naturalnego oporu wynoszącego na tonnę ciężaru pociągu:

$$0 = 4 + \frac{c^2}{50}$$

kilogramów, zwalczać będzie musiała lokomotywa jeszcze i ową siłę, tak więc, że całkowity opór wynosić będzie na tonnę ciężaru:

$$\left(4 + \frac{c^2}{50} + \sin\alpha . 1000\right) = 0^1$$

kilogramów.

Zważając, że dla nieznacznych wzniesień pisać można

$$tg\alpha = \sin.\alpha$$

będzie ze względu na stromość wzniesienia wynoszącą m‰ a wyrażającą się wzorem:

$$tg\alpha = \frac{m}{1000}$$

opór ruchu:

$$\left(4 + m + \frac{c^2}{50}\right) = 0^1$$

kilogramów, na tonnę ciężaru pociągu, lub pisząc za $\left(4 + \frac{c^2}{50}\right)$ krótko *o* także:

$$0^1 = (0 + m) \qquad (60$$

kilogramów.

Wzór służący do obliczania jednostkowego oporu na wzniesieniach.

A ponieważ biorąc rzecz ogólnie jest:

$$0 = 4 + \frac{v^2 + c^2 + vc}{150}$$

więc będzie:

$$0_1 = 4 + m + \frac{v^2 + c^2 + vc}{150} \qquad (61$$

wzór wyrażający opór ruchu na wzniesieniach.

W tym wzorze wyraża:

0_1.. opór jednostkowy na wzniesieniu wyrażony w kilogramach, a odnoszący się do jednej tonny ciężaru pociągu.

m.. stromość wzniesienia, „pro mille“.

v .. początkowa chyżość jazdy, w metrach na sekundę.
c .. chyżość końcowa, również w metrach na sekunnę.

Ze wzoru podanego pod numerem 60 wypada: *że każdy milimetr stromości zwiększa opór jednostkowy o kilogram.*

Na linii poziomej wynosi opór jednostkowy *o* kilogramów, na wzniesieniu 1‰ już o kilogram więcej, a więc (*o*+1) kilogramów, na wzniesieniu 5‰, o 5 kilogramów więcej, czyli (*o*+5) kilogramów na tonnę ciężaru.

Wynosi opór na linii prostej przy pewnej chyżości jazdy, 5 kilogramów na tonnę ciężaru toczącego się pociągu, to opór ten, zwiększy się na wzniesieniu mającym 15‰ stromości o 15 kilogramów, wyniesie przeto na tonnę ciężaru $5 + 15 = 20$ kilogramów.

Przewóz ciężaru jednej tonny pochłania na linii poziomej 4 kilogramy siły, na wzniesieniu 1‰, potrzeba będzie do przewozu tegoż samego ciężaru już $4 + 1 = 5$ kilogramów, na wzniesieniu 6‰, zaś $4 + 6 = 10$ kilogramów siły.

Widzimy z tego, *że każdy milimetr wzniesienia, pożera kilogram siły przewozowej.*

Przykład 1.

Na jak wielki opór natrafi pociąg ważący 250 tonn, w chwili gdy rozpoczyna jazdę w górę po wzniesieniu mającem stromość $^1/_{100}$, chyżością 12^m, a przybywa do szczytu wzniesienia chyżością 4^m na sekundę?

Ponieważ wzniesienie 1 : 100, ma stromość 10‰, więc mamy $m = 10$, $v = 12$, $c = 4$, a przeto opór jednostkowy:

$$0_1 = 4 + 10 + \frac{12^2 + 4^2 + 4.12}{150} = 15{\cdot}4$$

kilogramów na tonnę ciężaru, w całości więc:

$$15{\cdot}4 . 250 = 3850$$

kilogramów.

Tak wielką więc, musi być siła przewozowa, skoro lokomotywa prowadzić ma ów pociąg pod opisanemi okolicznościami.

Przykład 2.

Pewna droga żelazna prowadzi od punktu *A* do punktu *B* nieznacznemi wzniesieniami, z których najstromsze wynosi *m*‰.

Począwszy od punktu *B* jadąc w kierunku od punktu *A*, wznosi się góra, a zachodzi pytanie, jaką stromość nadać będzie można tej górze chcąc po niej prowadzić pociągi przynajmniej połowę tak ciężkie, jak prowadzono w terenie pagórkowatym, nim p:zybyto do stóp góry.

Rozwiązanie:

Jadąc w terenie pagórkowatym, zwalcza każda tonna ciężaru pociągu (o + m) kilogramów oporu, skoro *o* wyraża opór jednostkowy na poziomej, wstępując zaś na górę, zwalczać będzie musiała tonna ciężaru opór wynoszący $(o + x)$ kilogramów, skoro x wyraża stromość góry.

W terenie pagórkowatym, uwiezie lokomotywa pociąg ważący P tonn, jadąc zaś w górę, prowadzić ma już tylko ciężar $\frac{1}{2}$ P tonn, całkowity opór w terenie pagórkowatym, wynosi więc:

$$(o + m)\ P$$

na górze zaś:

$$(o + x)\ \tfrac{1}{2}\ P$$

kilogramów, a ponieważ zwalczając taki opór, maszyna siłę swą wyczerpuje, więc mamy:

$$(o + m)\ P = (o + x)\ \tfrac{1}{2}\ P$$

a przeto:

$$(o + m) = \frac{o + x}{2}$$

które równanie wykazuje, że skoro przewozić się mający ciężar, spada do połowy swej wartości, trzeba opór podwoić, chcąc wyzyskać siłę przewozową.

Torom po których przewozić się ma połowę mniejsze ciężary, nadać przeto można stromość odpowiadającą podwójnemu oporowi.

W naszym wypadku wynosi szukana stromość:

$$x = 0 + 2\ m$$

milimetrów, na metr poziomej odległości.

Przykład 3.

Na dniu 5 czerwca 1878 zerwała się o 4 godzinie z rana, w stacyi Krima, koleji Busztechradzkiej burza i zepchnęła wóz po torze, leżącym w spadku $20^0/_{00}$, tak, że dobiegł aż do sąsiedniej o 8700^m oddalonej stacyi Domina.

Zachodzi pytanie ile wynosił opór ruchu podczas biegu burzą pchniętego wozu?

Wóz, rozpoczął bieg swój chyżością zero, a zakończył go chyżością większą; wyraża x przeciętną chyżość mierzoną w metrach na sekundę, to będzie pod supozycyą, że opór wolno toczącego się wozu, wynosi tyle samo, ile opór toczącego się pociągu (maszyny i wozów), która to supozycya jednak nie zupełnie jest usprawiedliwioną, opór:

$$\left(4 + \frac{x^2}{50}\right)$$

kilogramów na tonnę ciężaru. Siła, pociąg w dół spychająca, wynosi 20 kilogramów, gdyż tor ma 20 milimetrów stromości. Wóz toczący się w doł pozostaje przeto pod wpływem działania siły wynoszącej:

$$20 - \left(4 + \frac{x^2}{50}\right) = 16 - \frac{x^2}{50}$$

kilogramów, na tonnę jego ciężaru.

Ponieważ wóz podczas całej swej 8700 metrowej drogi pozostawał pod wpływem tej siły, wynosi mechaniczna praca, którą podczas drogi zwalczał:

$$8700\left(16 - \frac{x^2}{50}\right)$$

meterkilogramów.

Ażeby ciężarowi jednej tonny, mającej chyżość zero, nadać chyżość v metrów na sekundę, potrzeba wydać mechaniczną pracę która wynosi:

$$\frac{m.v^2}{2}$$

meterkilogramów, skoro m wyraża masę w kilogramach odnoszącą się do jednej tonny ciężaru wozu.

Masa ta wynosi 102 kilogramów, mechaniczna praca przeto:

$$\frac{102}{2}.v^2 = 51.v^2$$

meterkilogramów.

Uważając ruch biegnącego wozu jako ruch jednostajnie przyspieszony, będzie chyżość końcowa 2 razy większą od chyżości przeciętnej, a przeto $v = 2\ x$, którą to wartość uwzględniając, będzie wynosić mechaniczna praca:

$$51.(2\ x)^2 = 204.x^2.$$

meterkilogramów.

Otrzymujemy więc równanie;

$$8700\left(16 - \frac{x^2}{50}\right) = 204.x^2$$

z którego wypada $x = 19{\cdot}2^m$. na sekundę.

Ponieważ wóz biegł przeciętną chyżością $19{\cdot}2^m$ na sekundę, więc potrzebował do przebycia swej drogi:

$$\frac{8700}{19{\cdot}5} = 453$$

sekund, czyli 7½ minut.

Inżynier *Schima* mówiąc o tym wypadku, przytacza, że wóz biegł 7 minut — która to różnica tłómaczy się przypuszczeniami, które zrobiono.

48.

Opór w łukach.

Dotychczas obliczano opór na poziomej i na pochyłościach, suponowano jednak, że tak poziome jako też pochyłości leżą w liniach prostych.

Ponieważ jednak tak poziome, jakoteż i pochyłości mogą leżeć w skrętach, więc też i wpływ łuków na zwiększanie się oporu uwzględnić będzie trzeba.

O ile łuki przyczyniają się do zwiększania oporu jednostkowego, teoretycznie oznaczyć się nie da, dlatego też prace *Boedeckera* pomimo całej genialności założenia rachunku, do celu doprowadzić nie mogły, nie mówiąc już o podobnych lecz nieco dawniejszych pracach jak np. Perdoneta, Schmidla i t. p.

Tutaj nie rachunek, lecz tylko doświadczenie rostrzygać może.

Najdawniejsze doświadczenia odnoszące się do oporu w łukach, pochodzą jeszcze z roku 1842, wspomina o nich *Ghega*, zdając sprawę z objazdu amerykańskiej kolei Baltimore-Ohio.

Wyraża r promień łuku w metrach, to wynosi nadwyżka oporu sprawiona jazdą w łuku, podług Ghegi:

$$\frac{200}{r} \cdot \varphi \, P$$

tonn, skoro wyraża P ciężar pociągu w tonnach, φ zaś współczynach tarcia.

Przyjmując $\varphi = \frac{1}{250}$, wynosi nadwyżka oporu:

$$0{\cdot}8 \, \frac{P}{r}$$

tonn, czyli:

$$\frac{800 \, P}{r}$$

kilogramów. Na jednę tonnę ciężaru wypadnie więc:

$$o = \frac{800}{r}$$

kilogramów.

Łuk zatoczony promieniem 800^m zwiększałby więc opór o, $\frac{800}{800} = 1$ kilogram; łuk zatoczony promieniem 400^m, o, $\frac{800}{400} = 2$ kilogramy na każdą tonnę ciężaru pociągu.

Nowsze doświadczenia pouczyły wprawdzie, że *Ghega* przeceniał nieco wpływ krzywizn, zawsze jednak *forma* powyższego wyrazu na uwagę zasługuje.

Wzór powyższy wprowadza bowiem opór w bardzo dla praktyki wygodną formę, wykazując, że opór sprawiony krzywiznami, wyrazić się daje ilorazem liczby *stałej*, przez promień łuku.

Liczbę stałą, którą *Ghega* podaje na 800 $\left(\text{suponując współczynnik oporu } \varphi = \frac{1}{250}\right)$ określić trzeba będzie tylko nieco dokładniej, a otrzyma się wzór zgodny z nowszemi doświadczeniami.

Max Marya *Weber* przeprowadzał w roku 1863 doświadczenia tyczące się oporu w łukach, porównując je zarazem z obrachowywaniem innych. Sposobu przeprowadzenia tych doświadczeń, pomimo ciekawości, którą wzbudzają, nie przytaczam, gdyż dzisiaj już się przeżyły.

Biorąc pod uwagę wszystkie doświadczenia, jakie przeprowadzono celem oznaczenia oporu w łukach, sprowadzić się daje dosyć dokładnie nadwyżka oporu jednostkowego spowodowania ruchem w łukach, do empirycznego wzoru:

$$o = \frac{N}{r}$$

w którym liczbę N, bliżej określić trzeba.

Sprowadzając doświadczenia rozmaitych experymentatorów na tę formę, przekonujemy się, że wynosi podług doświadczeń:

austryackiej kolei południowej . . .		600
hanowerskich		610
starych francuskich	N =	694
„ w Brunszwiku.		760
„ Ghegi		800

Profesor *Launhard* w Hanowerze, jakoteż *Roeckl* w Mnichowie, odeszli od wzoru:

$$o = \frac{N}{r}$$

pierwszy przyjmuje, że nadwyżka oporu sprawiona przejazdem przez łuk, wyrazić się daje wzorem:

$$o = \left(\frac{1700}{r} - 2\right)$$

ostatni zaś, wzorem:

$$o = \left(\frac{650 \cdot 4}{r - 55}\right)$$

kilogramów.

Łuk, zatoczony promieniem 500^m, sprawia więc nadwyżkę oporu podług:

$$\text{Launharda} \ldots \left\{\frac{1700}{500} - 2\right\} = 1 \cdot 4$$

$$\text{Roeckla} \ldots \ldots \frac{650}{500-55} = 1 \cdot 5$$

kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, podczas gdy wzór kolei południowej podaje dla tego samego promienia nadwyżkę oporu, wynoszącą tylko:

$$\frac{600}{500} = 1 \cdot 2$$

kilogramów.

Dyrektor kolei Alzackiej, pan *Schuibler* zauważa, że wzór Launharda, wydaje dla promieni mniejszych niż $r = 500^m$ opory za nadto wielkie.

Dla oporu zaś tyczącego się łuków, które zatoczono większemi promieniami niż r = 850, wzór Launharda użyć się nie daje, gdyż wykazuje on w takim razie opór równający się zeru, co w rzeczywistości nie jest prawdą.

Roeckl, wyprowadza wzór swój z doświadczeń przeprowadzonych w latach 1876—1878 na umyślnych ku temu celowi w pobliżu Monachium ułożonych łukach, mających promień 1000, 750, 550, 400 i 300 metrów.

Doświadczenia te, przeprowadzono kosztem państwowych kolei w Bawaryi w ten sposób, iż spuszczano wóz z wzniesienia $62^0/_{00}$, tak, ze skoro zaporę z pod jego kół usunięto, wóz sam toczyć się poczynał; drogę zaś, którą przebiegł na poziomym łuku wszczynającym się u końca spadku, aż do punktu w którym stanął, starannie mierzono.

Odcinając na poziomej rzędnej, układu prostokątnego, te drogi jako odcięte, im odpowiadające czasy zaś, uwidoczniając na pionowej, jako *rzędne*, otrzymano krzywą, którą uważano jako złożoną z łuków parabolicznych.

Doświadczenia te, aczkolwiek zasługują na wszelką uwagę techników, przecież jako wyrocznię uważać nie wypada, gdyż różnią się od przeciętnej, którą otrzymujemy, biorąc doświadczenia (aczkolwiek mniej liczne) wszystkich innych kolei.

Na podstawie statystycznych spostrzeżeń wyprowadza *Boehm* we Wiedniu:

$$o = \frac{290}{r} . z$$

gdzie *z*, wyraża pewną funkcyę chyżości jazdy.

Doświadczenia *Łopuszyńskiego* naprowadzają również na wzór, wykazujący, że opór dodatkowy w łukach, zmienia się z chyżością jazdy, Łopuszyński przytacza bowiem dla wozów osobowych wzór:

$$o = \frac{400}{R}\left[0{\cdot}808 + 0{\cdot}0023\,(v - 37)^2\right]$$

W którym to wzorze wyraża:

R... promień łuku w rosyjskich sażeniach,

v... szybkość jazdy w kilometrach na godzinę.

Profesor *Sonne* w Darmstadt, zestawił w roku 1873, wiele doświadczeń tyczących się oporu w łukach i przyszedł do wyniku, że nadwyżka oporu w łuku, (zwana oporem dodatkowym) przeciętnie wynosi na tonnę ciężaru pociągu, w łuku zatoczonym promieniem 500^m, 1·2 kilograma.

Używając do obliczania oporu dodatkowego wzoru:

$$o = \frac{N}{r}$$

wypada przeto podług pana Sonne:

$$1{\cdot}2 = \frac{N}{500}$$

zkąd:

$$N = 600$$

skutkiem czego, wyrazić będzie można opór dodatkowy wzorem:

$$o = \frac{600}{r} \qquad (62$$

w którym oznacza:

o... nadwyżkę oporu jednostkowego w kilogramach; czyli dodatkowy opór w łukach.

r... promień łuku w metrach.

Aczkolwiek wzory Łopuszyńskiego, Launharda i Roeckla są nowsze od wzoru Sonne. to przecież wzór Sonne zdaje się więcej odpowiadać przeciętnej z doświadczeń kolejowych.

Launhard nie otrzymuje wzoru swego drogą doświadczalną, wzór jego jest wynikiem rozumowania, wzór Roeckla wypłynął wprawdzie z doświadczeń, lecz z doświadczeń, które przeprowadzono nie na kolejach będących w ciągłym użyciu, lecz jak już wspominano, na osobnych li tylko na cele doświadczeń zbudowanych torów, przez co warunki pod którymi doświadczenia robiono, różnią się od warunków pod którymi ruch pociągów się odbywa.

Łopuszyński zaś, przyszedł do swego wzoru na podstawie pomiarów dynamometrycznych, które zdaniem mojem nie wyrównywają doświadczeniom pośrednim.

Z tych to względów pozostaję przy wzorze baurata *Sonne,* używając do obliczeń oporu jednostkowego wzoru podanego pod numerem 62.

Opór w łuku którego promień ma 300^m, wynosi więc w całości, na każdą tonnę ciężaru pociągu:

$$4 + \frac{600}{300} + \frac{c^2}{50} = 6 + \frac{c^2}{50}$$

kilogramów, leżałby zaś łuk na wzniesieniu $10^0/_{00}$, a pociąg biegł chyżością 10^m na sekundę, to wynosiłby opór:

$$4 + 10 + \frac{600}{300} + \frac{10^2}{50} = 18$$

kilogramów na tonnę ciężaru pociągu.

Uwzględniając wreście niejednostajną chyżość jazdy, otrzymujemy:

$$o = 4 + m + \frac{600}{r} + \frac{v^2 + c^2 + v.c}{150} \qquad (63$$

jako wzór, służący do obliczania oporu jednostkowego, tutaj wyraża:

o... opór jednostkowy, w kilogramach odnoszący się do ciężaru jednej tonny,

m... stromość wzniesienia (pro mille),

r... promień łuku w metrach,

v... początkowa chyżość jazdy, w metrach na sekundę,

c... końcowa chyżość jazdy, w metrach na sekundę, Następująca tabliczka uwidocznia różnice jakie zachodzą między wzorami panów: Launhard Roeckl i Sonne.

Nadwyżka oporu jednostkowego, sprawiona ruchem pociągu w łuku zatoczonym promieniem r metrów	wynosi podług pana Launhard	Roeckl	Sonne
	kilogramów na tonnę ciężaru pociągu.		
1000	—	0·7	0·6
750	0·2	0·9	0·8
550	1·1	1·3	1·1
400	2·2	1·9	1·5
300	3·7	2·7	2·0
200	6·5	4·5	3·0

Przykład I.

Na austryackiej kolei południowej poczyniono wiele prób, celem oznaczenia oporu w łukach i znaleziono, że na tonnę ciężaru, wynosi opór w łuku zatoczonym promieniem:

∞ . . . . 2·33 kilogram
379 metrów . . . . 3·97 „
285 „ . . . . 4·39 „
228 „ . . . . 4·29 „
190 „ . . . . 5·48 „

Nadwyżka oporu w łuku, po nad opór w prostej, wynosi więc dla łuku:

379 m. . . . . 1·64 kilogr.
285 „ . . . . 2·06 „
228 „ . . . . 2·46 „
190 „ . . . . 3.15 „

suponując, że nadwyżka oporu, wyrazić się daje wzorem:

$$o = \frac{N}{r}$$

otrzymujemy następujące równania:

$$1{\cdot}64 = \frac{N}{379}$$

$$2{\cdot}06 = \frac{N}{285}$$

$$2{\cdot}46 = \frac{N}{228}$$

$$3{\cdot}15 = \frac{N}{190}$$

z których wypada:

$$N = 620,\ 587,\ 560,\ 594,$$

w przecięciu więc, zgodnie z doświadczeniem pana Sonne: $N = 600$.

Przykład 2.

Doświadczenia kolei hanowerskich pouczyły, że opór łuku, który miał promień 470 m., a leżał na wzniesieniu 14·3 $^0/_{00}$, równał się oporowi w prostej, leżącej na wzniesieniu 15·6 $^0/_{00}$.

Nadwyżka oporu sprawiona wzniesieniem, wynosi na każdą tonnę ciężaru pociągu 14·3 kilogramów, do tej nadwyżki przychodzi nadwyżka sprawiona łukiem wynosząca $\left(\frac{N}{r}\right)$ kilogramów, tak więc, że jednostkowy opór wynosi w całości:

$$o = 4 + \frac{c^2}{50} + 14{\cdot}3 + \left(\frac{N}{r.}\right)$$

kilogramów.

Opór zaś w prostej, leżącej na wzniesieniu 15·6$^0/_{00}$, wynosi:

$$o = 4 + \frac{c^2}{50} + 15{\cdot}6$$

kilogramów, a ponieważ podług doświadczeń hanowerskich, obydwa te opory są jednakie, więc mamy:

$$4 + \frac{c^2}{50} + 14{\cdot}3 + \left(\frac{N}{r}\right) = 4 + \frac{c^2}{50} + 15{\cdot}6$$

zkąd wypada:

$$\frac{N}{r} = 1{\cdot}3$$

a ponieważ $r = 470$, więc wypada:

$$N = 610.$$

Doświadczenia hanowerskie prowadzą więc do wzoru:

$$o = \frac{610}{r}$$

tj. do tego, o którym była mowa na wstępie tego paragrafu.

Przykład 3.

Doświadczenia przeprowadzone w Brunszwiku na kolejach państwowych wykazały, że zwiększenie oporu w łuku mającym promień r metrów, wynosi względnie do oporu w prostej, tyle, ile wynosi nadwyżka oporu na wzniesieniu $\frac{0{\cdot}76}{r}$ po nad oporem w prostej.

Czyli innemi słowy: Opór w łuku przewyższa o tyle opór w prostej, ile razy przewyższa opór wzniesienia [mającego $\left(\frac{0{\cdot}76}{r}\right)$ milimetrów stromości, opór na prostej.

Opór na wzniesieniu:

$$\frac{1}{n} = \frac{0{\cdot}76}{r}$$

czyli na wzniesieniu:

$$\frac{m}{1000} = \frac{0{\cdot}76}{r}$$

wynosi tyle kilogramów na tonnę ciężaru, ile milimetrów stromość toru wynosi.

Ponieważ stromość wynosi:

$$m = 1000.\frac{0{\cdot}76}{r} = \frac{760}{r}$$

milimetrów, więc też i opór tyle wynosić będzie, a więc $o = \frac{760}{r}$ kilogramów na tonnę ciężaru, tj. tyle, ile na wstępie tego § wykazano.

Przykład 4.

Anglicy przyjmują, że opór w łuku o promieniu r, jest tak wielkim, jak opór na wzniesieniu $\left(\frac{1}{r}\right)$, skoro r w yardach wyrażonem będzie.

Ponieważ yarda równa się 0·914 m., więc wynosi nadwyżka oporu w łuku

$$\frac{1}{0{\cdot}914.\ r}$$

a ponieważ, wzniesienie to, przeobrażone na wzniesienie pro mille wynosi:

$$\frac{m}{1000} = \frac{1}{0{\cdot}914.\ r}$$

więc będzie:

$$m = \frac{1094}{r}$$

stromość wzniesienia.

Stromość wyraża zaś nadwyżkę oporu sprawionego wzniesieniem, a ponieważ nadwyżka ta, równa się nadwyżce sprawionej łukiem, więc będzie opór w łuku:

$$o = \frac{1094}{r}$$

kilogramów.

49.

Rugowanie krzywizn z rachunku tyczącego się oporu.

Wykazano, że nadwyżka oporu jaką sprawia jazda w kierunku wzniesienia, wynosi na tonnę ciężaru, tyle kilogramów, ile milimetrów, ma stromość toru.

Na wzniesieniu mającem stromość $m^0/_{00}$, wynosi nadwyżka oporu *m* kilogramów, na wzniesieniu $(m + a)^0/_{00}$ wyniesie ona: $(m + a)$ kilogramów, oporowi $(m + a)$ kilogramów, odpowiada więc wzniesienie $(m + a)$ milimetrów.

Wstawiając za

$$a = \frac{600}{r}$$

to będzie przedstawiać:

$$m + a = \left(m + \frac{600}{r}\right)$$

wzniesienie, którego stromość wynosi:

$$\left(m + \frac{600}{r}\right)$$

milimetrów.

Nazwijmy to wzniesienie wzniesieniem *wirtualnem* lub *przysposobionem*, określając go znakiem m^1, to będzie

$$m^1 = m + \frac{600}{r} \qquad (64$$

Zamiast wzniesienia leżącego w *łuku*, który ma promień *r*, mającego stromość *m* milimetrów, wstawić więc można w rachunek wzniesienie leżące w *prostej*, którego stromość nie wynosi już *m*, lecz $m + \frac{600}{r} = m^1$ milimetrów.

Wzór powyższy służy więc do zamiany wzniesień leżących w łuku, na równoważne wzniesienia proste, które to wzniesienia, wzniesieniami *wirtualnemi* nazwać można.

Wzniesienie mające stromości $10^0/_{00}$, leżące w łuku, którego promień wynosi 300^m, uważać można jako wzniesienie proste, mające stromość:

$$10 + \frac{600}{300} = 12^0/_{00}$$

czyli 12^{mm} na metr poziomej odległości.

Wzniesienie przysposobione wynosi więc $m^1 = 12^0/_{00}$.

Tym sposobem wyrugować można z rachunku tyczącego się oporów, łuki, co często znaczne uproszczenie kalkulacyi sprawia.

Wsunięto zaś łuk zatoczony promieniem *r* metrów nie we *wzniesienie*, lecz w *spadek* $m^0/_{00}$, to w takim razie nie ma już więcej mowy o *oporze*, lecz tylko o *sile pociąg w dół zesuwającej*.

Leży spadek w prostej, to siła zesuwająca pociąg w dół wynosi *m* kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, skoro stromość spadku jest *m* $^0/_{00}$.

Leży zaś spadek nie w prostej, lecz w łuku zatoczonym promieniem *r* metrów, to siła pociąg w dół zesuwająca nie będzie już wynosić *m*, lecz o $\frac{600}{r}$ kilogramów mniej: a więc

$$m^1 = m - \frac{600}{r} \qquad (65$$

kilogramów. Wzór ten wyraża wirtualny *spadek*, podczas gdy wzór

$$m^1 = m + \frac{600}{r} \qquad (66$$

przedstawia wirtualne *wzniesienie*.

Biegnie pociąg w kierunku spadku, którego stromość wynosi $11^0/_{00}$ a który to spadek leży w łuku zatoczonym promieniem 600 metrów, to siła pociąg w dół zesuwająca, wynosi:

$$m^1 = 10 - \frac{600}{600} = 10$$

kilogramów na tonnę ciężaru.

Czyli innemi słowy, spadek leżący w 600 metrowym łuku, mający stromości 11^{mm}, równa się spadkowi prostemu mającemu stromość 10^{mm}.

50.

Streszczenie zagadnień tyczących się oporu i przykłady.

Wykazaliśmy, że ogólny wyraz oporu jednostkowego, przedstawia się wzorem:

$$O = 4 + m + \frac{600}{r} + \frac{v^2 + c^2 + vc}{150} \qquad (67$$

w którym wyraża:

O... opór jednostkowy, czyli opór w kilogramach, odnoszący się do tonny ciężaru pociągu.

m... stromość wzniesienia wyrażona w milimetrach, na metr poziomej odległości.
r... promień łuku w metrach.
v, c... chyżości jazdy, w metrach na sekundę, z których jedna, wyraża chyżość początkową, druga zaś, chyżość końcową.

Wzór podany, powstaje z czterech członów, a każdy z nich ma swe znaczenie.

Chodzi o obliczanie oporu podczas ruchu odbywającego się chyżością nieznaczną, to opuścić można wyraz

$$\frac{v^2 + c^2 + vc}{150}$$

gdyż tenże przedstawia nadwyżkę oporu sprawioną chyżością jazdy.

Odbywa się jazda jednostajnie, to będzie $v = c$, a przeto nadwyżka, spowodowana chyżością jazdy:

$$\frac{c^2}{50}$$

kilogramów na tonnę ciężaru pociągu.

Uwzględniając to, co powiedziano, przedstawia człon 4... opór na poziomej prostej nie uwzględniając chyżości jazdy, człon m wyraża nadwyżkę sprawioną wzniesieniem, człon $\frac{600}{r}$ nadwyżkę oporu jednostkowego sprawioną krzywizną.

Opór w linii prostej wynosi więc:

$$0 = 4 + \frac{c^2}{50}$$

na wzniesieniu prostym zaś:

$$0 = 4 + m + \frac{c^2}{50}$$

na wzniesieniu leżącem w łuku:

$$0 = 4 + m + \frac{600}{r} + \frac{c^2}{50}$$

kilogramów, na tonnę ciężaru pociągu, biegnącego *jednostajnie* szybko,

Biegnie pociąg *niejednostajnie*, to wstawić trzeba w miejsce wyrazu

$$\frac{c^2}{50}$$

wyraz

$$\frac{v^2 + c^2 + vc}{150}$$

Przykład l.

Jaki opór jednostkowy na linii poziomej i prostej jest możebnie największy?

Dla Austryi przepisuje ustawa chyżość 80 kilometrów na godzinę, jako maximum, ponieważ chyżości tej odpowiada chyżość 22·2 metrów na sekundę, więc wynosi opór jednostkowy na linii prostej i poziomej:

$$0 = 4 + \frac{22 \cdot 2}{50} = 14$$

kilogramów na tonnę ciężaru pociągu.

Przykład 2.

W łuku zatoczonym promieniem 300 metrów prowadzić mamy chyżością 4^m na sekundę, pociąg ważący wraz z lokomotywą 400 tonn, zachodzi pytanie, jakiéj lokomotywy trzeba będzie do prowadzenia tego pociągu?

Na tonnę ciężaru pociągu wypada opór

$$4 + \frac{600}{300} + \frac{4^2}{50} = 6 \cdot 3$$

kilogramów, a ponieważ ciężar pociągu wynosi 400 tonn, więc zwalczać będzie miała lokomotywa, opór wynoszący w całości 6·3.400 = 2520 kilogramów.

Adhezya lokomotywy mieć przeto musi $\frac{11}{10}.2520 = 2772$

kilogramów, a ponieważ jedna tonna nacisku na szynę, sprawia adhezyę 130 kilogramów, a ciężar ten wynosi x tonn, więc będzie całkowita adhezya, jaką lokomotywa wydać musi, 130 x kilogramów, zkąd równanie:

$$130.x = 2772$$

z którego wypada ciężar adhezyjny

$$x = 21$$

tonn. Przyjmując, że ciężar ten stanowi 0·7 całkowitego ciężaru lokomotywy, ważyć będzie lokomotywa $\frac{21}{0 \cdot 7} = 30$ tonn.

Licząc ciężar tendra 20 tonn, mamy całkowity ciężar motora $M = 30 + 20 = 50$ tonn.

Powierzchnia ogrzewalna takiej lokomotywy wynosić przeto będzie

$$H = 6\ (30 - 15) = 90$$

metrów kwadratowych.

Przykład 3.

Po wzniesieniu $8^0/_{00}$ leżącym w łuku, którego promień wynosi 300^m, prowadzi lokomotywa chyżością 5^m na sekundę, pociąg ważący 300 tonn, zachodzi pytanie, jak wielką powierzchnię ogrzewalną mieć będzie taka lokomotywa?

Lokomotywa prowadząc pociąg zwalcza opór, który wynosi na każdą tonnę ciężaru pociągu:

$$4 + 8 + \frac{600}{300} + \frac{5^2}{50} = 14{\cdot}5$$

kilogramów, a ponieważ pociąg waży 300 tonn, więc maszyna zwalcza opór wynoszący w całości $14{\cdot}5 . 300 = 4350$ kilogramów.

Do zwalczania takiego oporu potrzeba adhezyi

$$\frac{11}{10} . 4350 = 4785$$

kilogramów, ciężar zaś sprawiający taką adhezyę wynosi

$$\frac{4785}{130} = 36{\cdot}7$$

lub okrągło: 37 tonn.

Przyjmując, że cały ciężar lokomotywy złożono na osie kół popędowych, odpowiada ciężarowi wynoszącemu 37 tonn, powierzchnia ogrzewalna:

$$6\ (37 - 15) = 132$$

metrów kwadratowych.

Przykład 4.

Pewną lokomotywą mamy przewozić ciężary z równi na górę. Ciągnąc ciężar w górę, zwiększa maszynista admissyę pary, przez co siła przewozowa zwiększa się $1^1/_2$ raza, maszyna nie biegnie jednak tak spiesznie w górę jak biegła w równi, szybkość podczas jazdy w górę spada bowiem do wartości 5^m podczas gdy w równi wynosiła 10^m na sekundę.

Dodając wreszcie, że jadąc w górę, maszyna ciągnąć zdoła tylko o połowę mniejszy ciężar jaki ciągła w równi, zachodzi pytanie, jak stromo ułożyć można tory wiodące przez górę a leżące w łuku, którego promień wynosi 600 metrów?

Podczas jazdy na poziomej, natrafia każda tonna ciężaru pociągu na opór wynoszący

$$4 + \frac{10^2}{50} = 6$$

kilogramów, tyleż samo kilogramów wynosi więc i siła przewozowa na jedną tonnę ciężaru pociągu.

Podczas jazdy w górę natrafia każda tonna ciężaru pociągu na opór wynoszący $4 + \frac{5^2}{50} + \frac{600}{600} = 5{\cdot}5$ kilogramów, zwiększony o wartość siły pociąg w dół spychającej, która to siła wynosi na każdą tonnę ciężaru tyle kilogramów, ile milimetrów tor się wznosi, przyjmując, że wzniesienie ma $m^0/_{00}$ więc wynosi siła pociąg w dół spychająca *m* kilogramów na tonnę jego ciężaru.

Opór jednostkowy podczas jazdy w górę wynosi przeto $(5{\cdot}5 + m)$ kilogramów. Pociągi prowadzone w górę, ważyć mają połowę tego, co pociągi idące w równi, maszyna jadąc w górę zwalczać przeto będzie $\frac{(5{\cdot}5 + m)}{2}$ kilogramów oporu, podczas gdy w równi zwalczała na każdą tonnę ciężaru pociągu $6 \times 1 = 6$ kilogramów.

Ponieważ siła przewozowa, a więc i opór przewyższać może w górach, opór w równi $1^1/_2$ razy, więc mamy

$$\frac{{}^1/_2(5{\cdot}5 + m)}{6} = 1{\cdot}5$$

zkąd wypada $m = 12^1/_2$ „pro mille".

Możebnie najstromsze wzniesienie, jakie można nadać torom wiodącym przez górę w łuku zatoczonym promieniem 600 metrów, wynosi więc $12^1/_2$ milimetrów na metr długości.

Przykład 5.

Jeżeli lokomotywa, poruszając się na linii poziomej i prostej chyżością 15^m na sekundę, prowadzi pewien ciężar, zachodzi pytanie, jak spiesznie poruszać się będzie na wzniesieniu $10{\cdot}68^0/_{00}$ leżącym w łuku zatoczonym promieniem 300^m, skoro ciągnąć ma pociąg o połowę lżejszy.

Opór jednostkowy wynosi na poziomej $4 + \frac{15^2}{50} = 8{\cdot}5$

kilogramów, na wzniesieniu zaś, pod supozycyą chyżości c metrów na sekundę:

$$4 + \frac{600}{300} + \frac{c^2}{50} + 10{\cdot}68 = 16{\cdot}68 + \frac{c^2}{50}$$

kilogramów.

A ponieważ na wzniesieniu pociągi ważą połowę tego, co w równi, mamy:

$$\left(16 \cdot 68 + \frac{c^2}{50}\right)\frac{1}{2} = 8{\cdot}5$$

ztąd wypada:

$$c = 4.$$

Maszyna biedz więc będzie mogła w kierunku wzniesienia $10{\cdot}68^0/_{00}$ chyżością 4^m na sekundę.

Ta sama lokomotywa, która w równi porusza się chyżością 15^m biegnąć będzie na wzniesieniu o stromości $10{\cdot}68\,^0/_{00}$ leżącym w łuku, którego promień wynosi 300^m, już tylko chyżością 4^m pomimo, że ciężar pociągu spadł do połowy wartości jaką miał w równi.

Przykład 6.

W linii zakrzywionej promieniem 600 metrów leżącej w spadku $5^0/_{00}$ ustawiono stacyę, w której pociągi biegnące w linii otwartej chyżością 10^m na sekundę, mają się zatrzymywać.

Jeżeli pociągi zatrzymywać się mają bez użycia hamulców, a więc tylko skutkiem zamknięcia regulatora, to zachodzi pytanie w jakim oddaleniu od punktu zatrzymania się pociągu, musi pociąg przed wjazdem do stacyi, jazdę swą zwalniać, aby skutkiem oporów sam ze siebie tam stanął, gdzie jest przeznaczono.

Ponieważ chyżość jazdy spada z wartości 10^m do wartości zera, więc wynosi opór na poziomej:

$$4 + \frac{600}{600} + \frac{10^2 + 0^2 + 0 \times 10}{150} = 5{\cdot}66$$

kilogramów, a ponieważ siła pociąg w dół pchająca działa zgodnie z kierunkiem jazdy, a więc opór umniejsza, więc właściwy opór, będzie tylko:

$$5{\cdot}66 - 5 = 0{\cdot}66$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu.

Przebiega pociąg drogę x metrów od chwili rozpoczęcia zwalniania jazdy aż do chwili zatrzymania się w stacyi, to wynosi mechaniczna praca, którą opór strawił 0·66 x meterkilogramów.

Mechanika uczy, że chcąc sprawić, aby chyżość ruchu wynosząca początkowo 10^m spadła do wartości zera, wydać trzeba pracę $\frac{m.10^2}{2}$ meterkilogramów, gdzie m oznacza masę odpowiadającą ciężarowi jednej tonny, a więc m = 102.

Mamy tedy równanie:

$$0{\cdot}66.\,x = \frac{102.\,10^2}{2}$$

z którego otrzymujemy x = 7727 metrów, czyli 7·727 kilometrów.

Ma się więc pociąg zatrzymać w stacyi skutkiem oporów na drodze, to odciąć trzeba dopływ pary już 7·727 kilometrów przed stacyą.

Jeżeliby zaś stacya nie leżała w spadku, lecz na wzniesieniu $5^0/_{00}$, w takim razie, działałaby składowa ciężaru pociągu, w odwrotnym kierunku jazdy, zwiększałaby przeto opór o 5 kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu.

Opór ruchu wynosiłby w takim razie

$$5{\cdot}66 + 5 = 10{\cdot}66$$

kilogramów i mielibyśmy równanie:

$$10{\cdot}66.x = 51.10^2$$

z którego wypada x = 478 metrów.

Chcąc ażeby pociąg biegnący chyżością 10^m, zatrzymał się na stacyi skutkiem oporów, jakie znachodzi na drodze, odciąć trzeba dopływ pary 478 metrów przed stacyą (przed punktem zatrzymania się) skoro się wjeżdża do stacyi łukiem zatoczonym promieniem 600^m wznoszącym się 5 milimetrów na metr poziomej odległości.

Leży stacya w poziomej i prostej, to wynosi opór

$$4 + \frac{10^2 + 0^2 + 0.10}{150} = 4{\cdot}66$$

kilogramów i otrzymujemy równanie:

$$4{\cdot}66\ x = 51.10^2$$

z którego wypada x = 1095^m.

Tarczę przedstacyjną, ustawić przeto trzeba w oddaleniu 1095^m od środka poziomo ułożonej stacyi.

Wynosi cała długość stacyi 990^m, połowa więc 495^m to tarcza przedstacyjna ustawioną być musi w oddaleniu, $1095-495 = 500^m$ od wjazdowej zwrotnicy.

Przykład 7.

W spadku, którego stromość wynosi $15^0/_{00}$, a który leży w łuku mającym promień 2400^m toczy się wóz, pchnięty burzą, która się zerwała podczas zestawiania pociągów w stacyi.

Rozpoczął wóz bieg swój chyżością 4^m, a chyżość ta podwoiła się przy końcu spadku, zachodzi pytanie jak długim był łuk?

Opór na poziomej wynosi:

$$4 + \frac{600}{2400} + \frac{4^2+8^2+4\times8}{150} = 5$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu, a ponieważ wóz biegł w kierunku spadku, więc składowa jego ciężaru działając zgodnie z kierunkiem biegu, sprawia, że zamiast *oporu* 5 kilogramów, zjawia się siła *poruszająca* wynosząca $(15-5) = 10$ kilogramów.

Mechaniczna praca tej siły wynosi podczas drogi x metrów; 10 x meterkilogramów.

Chcąc sprawić, aby chyżość jazdy wynosząca początkowo 4^m wzrosła do wartości 8^m, wydać trzeba mechaniczną pracę wynoszącą na każdą tonnę ciężaru

$$\frac{102}{2}. (8^2-4^2) = 2448$$

meterkilogramów.

Mamy więc równanie

$$10.x = 2448$$

z którego wypada $x = 244{\cdot}8$ metrów, jako szukaną długość łuku.

Przykład 8.

Do stóp góry, wznoszącej się na każdy metr poziomej odległości o 15 milimetrów, dotarły zbiegłe wozy chyżością 8^m na sekundę, i biegną w górę po łuku zatoczonym promieniem 2400 metrów, zachodzi pytanie, w jakiej wysokości wzniesienia, chyżość ich, spadnie do połowy pierwotnej wartości?

Opór na poziomej wynosi:

$$4 + \frac{600}{2400} + \frac{8^2+4^2+4\times8}{150} = 5$$

kilogramów, ponieważ składowa ciężaru wozów wynosząca 15 kilogramów, działa w odwrotnym kierunku jazdy, więc przedstawia się jako *opór*, tak więc, że opór wynosi w całości 15 + 5 = 20 kilogramów na każdą tonnę ciężaru.

Oznacza x szukaną drogę w metrach, którą wozy przebiegają w kierunku wzniesienia, to będzie:

$$20\,x = \frac{502}{2}\,(8^2 - 4^2)$$

zkąd wypada: x = 122·4 metrów.

Widzimy, że wozy potoczą się na wzniesieniu tylko do połowy tej drogi, którą zrobiły, gdy biegły w kierunku spadku (przykład 7).

Przykład 9.

Na dniu 5 czerwca 1878 zbiegł ze stacyi Krima, kolei Busztechradzkiej w Czechach wóz, i biegł do sąsiedniej stacyi Domina oddalonej o 8700^m, przez 7 minut.

Zachodzi pytanie w jakim spadku leży droga między temi stacyami?

Skoro wóz przebył drogę 8700^m w ciągu 7 minut, to biegł przeciętną chyżością $\frac{8700}{7 \times 60} = 20{\cdot}7$ metrów na sekundę, końcowa chyżość wynosiła przeto 2 razy tyle t. j. $41{\cdot}4^m$ na sekundę.

Ponieważ ruch zbiegłego wozu, był ruchem przyspieszonym, więc przeważała siła pociąg w dół ściągająca nad oporem.

Oznacza x, spadek w milimetrach, to wynosi siła wóz w dół pchająca x kilogramów na każdą tonnę jego ciężaru.

Ponieważ pod supozycyą, że bieg wolno toczącego się wozu natrafia na taki sam opór jednostkowy, jak pociąg cały, opór jednostkowy wynosi

$$4 + \frac{20{\cdot}7^2}{50} = 8{\cdot}57$$

kilogramów, więc każda tonna ciężaru wozu, stała pod wpływem siły:

$$(x - 8{\cdot}57)$$

kilogramów.

Mechaniczna praca tej siły wynosi zaś:

$$8700\,(x - 8{\cdot}57)$$

meterkilogramów i równać się musi pracy

$$\frac{102}{2}\,v^2 = 51 \times (41{\cdot}4)^2 = 87409$$

skutkiem czego:

$$8700\,(x-8{\cdot}57) = 87409$$

zkąd wypada: $x = 18{\cdot}4\ ‰$.

Schima wspominając o tym wypadku, podaje, że spadek wynosił „przeciętnie“ 20‰.

Przykład 10.

Po łuku poziomym, zatoczonym promieniem 300^m, następuje łuk mający promień 325^m wznoszący się 13‰, a mający długość 318·4 metrów.

Do przewozu ciężarów na tej linii, mamy lokomotywę, która poruszając się na poziomej chyżością 10^m na sekundę, wydaje 4000 kilogramów siły przewozowej.

Jeżeli sobie życzymy, aby pociągi docierały szczytu wzniesienia chyżością 5^m na sekundę, zachodzi pytanie jak ciężkie pociągi przewozić będzie można pod takiemi warunkami?

Jadąc chyżością 10^m, wynosi opór jednostkowy

$$4 + \frac{600}{300} + \frac{10^2}{50} = 8$$

kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu; waży pociąg x tonn, to wynosi całkowity opór, jaki na poziomej mamy do zwalczania $8x$ kilogramów, siła przewozowa, która zwalczać ma ten opór, wynosi przeto: $8x$ kilogramów, mamy więc równanie:

$$8x = 4000$$

z którego wypada $x = 500$ tonn.

Na poziomej przewozić więc będzie można chyżością 10^m, pociągi ważące po 500 tonn, chodzi teraz tylko o rozstrzygnięcie, czy ten sam ciężar przewozić będzie można także przez górę jadąc tam chyżością 5 metrów, czy też nie.

Do stóp góry przybywa pociąg chyżością 10^m, jadąc w górę, chyżość ta spadać będzie co raz więcej, a ponieważ na szczycie mieć musi jeszcze 5^m; więc będzie opór podczas jazdy w górę:

$$4 + \frac{600}{325} + \frac{10^2 + 5^2 + 5 \times 10}{150} = 7$$

kilogramów, a ponieważ jadąc *w górę*, siła pociąg w dół ściągająca działa w *odwrotnym* kierunku jazdy, więc sprawia *opór*, wynoszący 13 kilogramów, mamy przeto do zwalczania opór $13 + 7 = 20$ kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu.

Wyraża x ciężar pociągu w tonnach, to wynosi całkowity opór 20x kilogramów, a ponieważ opór ten trwa przez całą długość wzniesienia, która wynosi s metrów, więc mamy wydać mechaniczną pracę, wynoszącą 20x.s meterkilogramów, skoro pociąg ma być wyprowadzonym na górę.

Pracę tę wykonuje po części siła przewozowa, po części zaś zużywamy w pociągu nagromadzoną pracę uzyskaną ruchem na poziomej.

Wynosi siła przewozowa S kilogramów, a maszyna pracuje przez całą długość wzniesienia, to wynosi jej praca S.s meterkilogramów.

W pociągu nagromadzona, a nam do dyspozycyi pozostająca praca wynosi zaś na każdą tonnę ciężaru pociągowego $\frac{102}{2} \cdot (v^2 - c^2)$, w całości więc: $51\ (v^2 - c^2)\ x$ meterkilogramów.

Obydwie prace wynoszą więc razem

$$51\ (v^2 + c^2)\ x + S.s$$

meterkilogramów, mamy przeto równanie:

$$51\ (v^2 + c^2)\ x + Ss = 20.\ s.\ x$$

z którego wypada:

$$x = \frac{S.s}{20.s - 51\ (v^2 + c^2)}$$

tonn.

W naszym przypadku jest:

$$S = 4000, \quad s = 318{\cdot}4, \quad v = 10, \ c = 5$$

otrzymujemy przeto:

$$x = 500$$

tonn, jako ciężar, który przewozić możemy przez górę, skoro lokomotywa się rozpędzi.

Widzimy więc, że pod powyższemi warunkami, przewozić można na całej linii ciężar wynoszący 500 tonn.

Przykład II.

Przy końcu poziomo ułożonego dworca rozpoczyna się spadek mający stromość $6 \cdot_{25}\%_{0}$, a 725 metrów długości, po którym spadku następuje linia prosta i pozioma.

W oddaleniu 20·3 metrów od początku spadku, stał na dworcu wóz, na który nagle zrywająca się burza tak silnie uderzyła, że pod wpływem uderzenia wóz nietylko że zbiegł z góry na dół, ale potoczył się nadto po poziomej, jeszcze 356·9 metrów zanim się zatrzymał.

Ponieważ podobny wypadek świadczy o pewnej nieprawidłości, popełnionej na dworcu kolejowym, więc celem wykrycia winowajcy, zarządzono śledztwo.

Dozorca wozów, pociągniony do odpowiedzialności twierdzi, że pierwszą jego czynnością po zerwaniu się burzy było, pospinać wozy pomiędzy sobą, hamować te, które miały hamulce, inne zaś popodkładać polanami drzewa, by je zabezpieczyć od stoczenia się w dół.

Siła wiatru, twierdzi on dalej, była jednak tak wielką, że pomimo podłożenia wozu, tenże przecież z dworca się stoczył.

Polano zgniecione widocznie przejazdem koła, świadczy, że leżeć musiało pod toczącym się wozem, służba stacyjna utrzymuje zgodnie z podaniem dozorcy wozów, że wóz który zbiegł, był podłożonym, a liczne szyby powybijane w zabudowaniach stojących na dworcu, świadczą o istnieniu i sile burzy.

Z tego wszystkiego wnioskować można, że dozorca wozów, zabezpieczał wozy od stoczenia się, podsuwając polana pod ich koła, czy zaś wóz, któren zbiegł, także był podłożonym, na to dowodu jednak nie ma.

Chodzi więc o skonstatowanie, czy wóz, który zbiegł, był podpartym lub też nie.

W pierwszym razie, na dozorcę wozów nie spada wcale żadna wina, w drugim zaś, on jest winowajcą.

Z długości drogi, którą wóz przebiegł aż do miejsca, w którem się zatrzymał, wnioskować można, na chyżość jaką bieg swój rozpoczął, ze znanej zaś początkowej chyżości, oznaczyć się daje siła wiatru.

Znając siłę, której potrzeba, ażeby wóz przepchać przez podłożone polano, jakoteż siłę wiatru, wykazać może porównanie obydwóch sił ze sobą, czy wiatr miał tyle mocy, aby wóz przesunąć przez polano, lub też nie.

Chyżość, którą wóz biedz rozpoczął oznaczyć można, licząc opory od punktu, w którym się wóz zatrzymał, w odwrotnym kierunku biegu.

Oznacza x chyżość, którą wóz otrzymał przy końcu spadku, a więc chyżość, jaką bieg swój rozpoczął po poziomej, to zauważać przed wszystkiem trzeba, że chyżość ta, ma wartość zmienną, gdyż spada stopniowo podczas drogi, z początkowej wartości x, do wartości zera, przeciętny opór wynosi przeto:

$$4 + \frac{x^2 + 0 + 0.\,x}{150} = 4 + \frac{x^2}{150}$$

kilogramów, a mechaniczna praca podczas całej drogi

$$\left(4 + \frac{x^2}{150}\right) 356{\cdot}9$$

meterkilogramów, ponieważ mechaniczna praca wynosi także $\frac{102}{2}.\, x^2 = 51\, x^2$ meterkilogramów, więc mamy równanie, z którego wypada:

$$x = 4{\cdot}4^{m}$$

Na *końcu* spadku otrzymał więc zbiegający wóz chyżość 4·4 metrów na sekundę, przy *rozpoczęciu* biegu po spadku, musiała chyżość być mniejszą, gdyż biegnąc po spadku 6·25‰ chyżość biegu coraz zwiększać się musiała.

Wóz biegnący po spadku, stoi podczas całej swej drogi pod wpływem siły ciążenia, która wynosząc na każdą tonnę jego ciężaru 6·25 kilogramów (gdyż tyle milimetrów spadek wynosi) spycha go w dół.

Sile 6·25 kilogramów, przeciwdziała opór jednostkowy, wynoszący o kilogramów, tak, że wóz toczy się w dół z przyczyny działania siły (6·25—o) kilogramów.

Ponieważ długość spadku wynosi 725 metrów, więc będzie mechaniczna praca siły poruszającej:

$$(6{\cdot}25 - o)\ 725$$

meterkilogramów.

Oznacza x chyżość przy rozpoczęciu biegu, to chyżość ta zwiększa się stopniowo podczas drogi i dochodzi przy końcu spadku do wartości $4{\cdot}4^{m}$, mechaniczna praca wynosi więc $\frac{102}{2}$. $(x^2—4{\cdot}4^2) = 51\ (x^2—4{\cdot}4^2)$ meterkilogramów, zkąd równanie:

$$725\ (6{\cdot}25-o) = 51\ (x^2 - 4{\cdot}4^2)$$

w którem jeszcze bliżej określić trzeba wielkość oporu o, ten wynosi zaś

$$o = 4 + \frac{x^2 + 4{\cdot}4\ x + 4{\cdot}4^2}{150}$$

kilogramów, uwzględniając tę wartość, otrzymujemy:

$$x = 0{\cdot}6$$

Wolno toczący się wóz, rozpoczął więc bieg swój w kierunku spadku chyżością 0·6 metrów na sekundę.

Ponieważ wóz nie stał początkowo przy samym spadku lecz na poziomej w oddaleniu 20·3 metrów, więc chyżość, którą wóz skutkiem wiatru bieg swój z tego stanowiska rozpoczął, mniejszą być musiała niż 0·6 metrów, gdyż opór podczas 20·3 metrowej drógi, na tej chyżości ciągle trawił.

Przedstawia x, chyżość tę początkową, to zauważać trzeba, że chyżość ta, nie pozostała tą samą podczas całego biegu od punktu, gdzie wóz stał, aż do rozpoczęcia się spadku, lecz spadała stopniowo tak, że z wartości początkowej, wynoszącej x metrów, spadła do wartości 0·6 metra.

Mechaniczna praca, którą wydajemy na zwalnianie chyżości w ten sposób, wynosi na każdę tonnę ciężaru wozu:

$$51\ (x^2—0{\cdot}6^2)$$

meterkilogramów. Ponieważ przeciętny opór wynosi:

$$4 + \frac{x^2 + 1{\cdot}4^2 + 1{\cdot}4.\ x}{150}$$

kilogramów, a mechaniczna praca, którą wóz trawi podczas 20·3 metrowej drogi:

$$20{\cdot}3 \left[4 + \frac{x^2 + 1{\cdot}4^2 + 1{\cdot}4\ x}{150}\right]$$

meterkilogramów; otrzymamy równanie:

$$20{\cdot}3\left[4+\frac{x^2+1{\cdot}4^2+1{\cdot}4\,x}{150}\right]=51\,(x^2-0{\cdot}6^2)$$

z którego wypada:

$$x = 1{\cdot}4$$

Wiatr uderzył więc na wóz tak silnie, że tenże otrzymał w pierwszej sekundzie swego biegu, chyżość wynoszącą 1·4 metra.

Uderzając wóz *sztucznie* tak, że skutkiem uderzenia, nabierze w pierwszej sekundzie chyżości $1{\cdot}4^m$, przekonać się można, że pod wpływem *takiej* siły, wóz nie przejdzie przez polano, które podłożono po pod jego koła. Chcąc, aby wóz przez polano się przetoczył, *silniej* nań uderzyć trzeba.

Wynika ztąd, że gdyby wóz był podłożonym, *wiatr* nie mógłby go ruszyć, okoliczność, że on skutkiem działania wiatru przecież zbiegł, świadczy więc, że wóz podłożonym nie był.

Wina, leży więc po stronie wozowego.

ROZDZIAŁ III.

O wodzie i paliwie.

52.

Ilość wody, którą lokomotywa potrzebuje.

Ile wody lokomotywa konsumuje, zależy od pracy, którą wykonuje, znając więc mechaniczną pracę, oznaczyć można konsum wody.

Profesor *Zeuner* wykazuje na podstawie teoryi, że chcąc uzyskać siłę, równającą się sile konia, wydać trzeba na godzinę 8·117 kilogramów wody, przeobrażając ją w parę.

Doświadczenie jednak uczy, że w praktyce daleko więcej wody wychodzi aniżeli teorya wykazuje.

Łopuszyński n. p. przytacza, że pociąg mięszany wypotrzebował w roku 1880 na kolei Morszańsko-Syzrańskiej podczas jednej jazdy 11.550 kilogramów wody, wykonując mechaniczną pracę, która wynosiła 225,267.800 meterkilogramów, na meterkilogram pracy, wypada przeto:

$\frac{11.550}{225,267.8000}$ kilogramów wody, a ponieważ 75 meterkilogramów wydanych w sekundzie, przedstawia to, co nazywamy siłą konia, więc wydać trzeba w godzinie 75×3600 meterkilogramów pracy, chcąc uzyskać siłę, równającą się sile konia, rozchód wody na siłę konia, wynosił przeto dla tego pociągu

$$\frac{11.550}{225,267,800}.75.3600 = 13{\cdot}8 \text{ kilogramów.}$$

Rozumie się samo przez się, że im większym jest wpust pary do wnętrza cylindrów pracującej lokomotywy, tem więcej pary, czyli wody potrzeba będzie do uzyskania pracy równającej się pracy jednego konia, konsum wody zależeć jednak będzie nie tylko od wielkości wpustu, ale nadto także od prężenia do cylindra wchodzącej pary.

Tak n. p. wynosi konsum wody na godzinę i siłę równającej się sile konia, gdy para pręży siłą

4 atmosfer....	przy wpuście 50%...	18·9
6 „	„ „ „	16·7
8 „	„ „ „	15·6
10 „	„ „ „	15·0

kilogramów, dla innego wpustu, konsum pary innym będzie, *Grove* przytacza następujące zestawienie:

Rozchód wody wynosi na godzinę i siłę równającą się sile konia				
wpust: w procentach objętości cylindra	skoro para pręży w kotle siłą:			
	4	6	8	10
	atmosfer; w kilogramach:			
10	12·3	10·0	9·6	9·2
20	14·2	12·0	11·0	10·6
30	15·4	13·5	12·2	11·7
40	17·5	15·2	14·2	13·6
50	18·9	16·7	15·6	15·0
60	~~11~~ 21·0	18·7	17·4	16·8
70	~~17~~ 22·6	20·0	18·7	18·1

Zadowalając się datami przeciętnemi, przyjąć można, że lokomotywa prowadząca pociągi

pośpieszne, konsumuje	. .	11·5
osobowe „	. . .	12·0
towarowe „	. . .	13·5
ciężkie w górach „	. . .	14·5

kilogramów wody na godzinę, wydając siłę jednego konia.

Welkner przytacza, że skoro wpust pary do wnętrza cylindra wynosi

31% objętości cylindra, to wynosi konsum	. . .	10·27
41 „ „ „ „	. . .	10·71
59 „ „ „ „	. . .	12·05
79 „ „ „ „	. . .	13·39

kilogramów, na godzinę i siłę konia. Wyraża *w* wpust pary w procentach objętości cylindra, to konsum wody odpowiadający sile jednego konia, wynosi

$$8 + \frac{7}{100} \cdot w$$

kilogramów na godzinę, gdyż wzór powyższy jest właśnie ogólnym wyrazem liczb przytoczonych przez Welknera. Wyraża *K*, konsum wody na godzinę, *E* zaś efekt lokomotywy w siłach konia, to wypada z danych Welknera:

$$K = 8 + \frac{7.w}{100} E \qquad (68$$

wzór służący do obliczania rozchodu wody, a wyraża w nim:

K... rozchód wody na godzinę i siłę równająca się sile konia w kilogramach.

w... wpust (admissya) pary do cylindra, wyrażony w procentach objętości cylindra.

E... skutek użyteczny (efekt) lokomotywy, wyrażony w siłach konia.

Lokomotywa pracująca siłą 300 koni, potrzebować będzie, skoro pracuje wpustem 50%, na godzinę

$$K = \left(8 + \frac{7.50}{100}\right) 300 = 3450$$

kilogramów, czyli 3·45 tonn wody. Napełniąmy zaś cylinder parą do $^1/_4$ objętości t. j. pracuje maszyna wpustem 25%, to konsumować będzie $\left(3 + \frac{7 \cdot 25}{100}\right)$ 300 = 2925 kilogramów, a więc tylko 2·925 tonn wody.

Ze względu na to, że lokomotywy pracują zwykle wpustem 65%, jakoteż uwzględniając związek

$$E = \frac{S.c}{75}$$

wypada ze wzoru numer 68 po wstawieniu tam w = 65, i owej wartości za E, biorąc okrągło

$$K = \frac{S.c}{6} \qquad (69$$

wzór, służący do *szacowania* rozchodu wody w lokomotywie, tutaj wyraża:

K... rozchód wody w kilogramach, na godzinę i siłę jednego konia.
S... siłę przewozową, w kilogramach.
c... chyżość jazdy w metrach na sekundę.

Lokomotywa, zwalczająca podczas ruchu opór, który wynosi 4000 kilogramów jadąc chyżością 6 metrów na sekundę, konsumować będzie $\frac{4000.6}{6} = 4000$ kilogramów, czyli 4 tonn wody na godzinę.

Biegnie maszyna chyżością 12^m na sekundę, zwalczając opór 2000 kilogramów, to konsumować będzie $\frac{2000.12}{6} = 4000$ kilogramów, a więc również 4 tonn wody na godzinę.

Nie znamy zaś siły przewozowej, lecz znamy prężenie pary w kotle, to *szacować* można rozchód wody, ze względu na to, że do uzyskania siły mechanicznej równającej się sile konia, potrzeba mniej więcej (p + 5) kilogramów pary, gdzie *p* oznacza prężenie pary w kotle mierzone w atmosferach, także wzorem

$$K = (p + 5) E \qquad (70$$

w którym oznacza:

K... rozchód wody na siłę konia wypadający na godzinę, wyrażony w kilogramach.
p... prężenie pary w kotle, w atmosferach lub kilogramach na centimeter kwadratowy ściany kotła.
E... skutek użyteczny lokomotywy, mierzony w siłach konia.

Ze względu na to, że pary mniej prężnej jak pary 5 atmosfer, w lokomotywie użyć nie będzie można, gdyż końcowe prężenie ekspandującej pary spaść może w cylindrze do prężenia jednej atmosfery, w którym to razie ruch tłoka byłby niemożebnym, wynika, że mniejszą ilością jak 5 + 5 = 10 kilogramów wody na godzinę, nie będzie można uzyskać siłę, równającą się sile jednego konia.

Rozchód wody w lokomotywie, szacować także można podług produkcyi pary, a ponieważ biorąc okrągło, każdy meter powierzchni ogrzewalnej wydaje na godzinę 40 kilogramów pary, więc też wyrazić będzie można rozchód wody wzorem:

$$K = 40.H \qquad (71$$

w którym oznacza:

K... rozchód wody na godzinę w kilogramach.

H... powierzchnię ogrzewalną w metrach kwadratowych.

Powierzchni ogrzewalnej wynoszącej 100□m, odpowiada przeto rozchód pary 40.100 = 4000 kilogramów czyli 4 tonn wody na godzinę

Częstokroć nie obliczamy rozchód wody na godzinę, lecz rozchód na kilometer jazdy, w takim razie zważyć trzeba że, ponieważ lokomotywa robi na godzinę v kilometrów, więc wypada na kilometer jazdy tylko $\frac{1}{v}$ godzinnego rozchodu wody, a ponieważ wzór podany pod numerem 69, wyraża rozchód godzinny, więc konsumować będzie lokomotywa na kilometer jazdy:

$$K_1 = \frac{S}{6} \cdot \frac{c}{v}$$

kilogramów wody.

A ponieważ chyżość jazdy wyrażona w metrach na sekundę, ma się do chyżości jazdy wyrażonej w kilometrach na godzinę jak 5 : 18, więc wstawiając w powyższy wzór $\frac{c}{v} = {}^5/_{18}$ otrzymujemy, zadowalając się przybliżeniem

$$K_1 = \frac{S}{20}$$

wzór służący do obliczania rozchodu wody na kilometer jazdy, tutaj wyraża:

K_1... rozchód wody w kilogramach, wypadający na kilometer jazdy.

S... siłę przewozową, wyrażoną w kilogramach.

Koch przychodzi do zupełnie tego samego wzoru, podaje on bowiem, że kilogram siły przewozowej konsumuje na kilometer jazdy: 0·00673 kilogramów węgla kamiennego, wynosi siła przewozowa S kilogramów, to będzie rozchód węgla

$$0{\cdot}00673 \,.\, S$$

kilogramów; a ponieważ kilogramem węgla uzyskać można 4·8 kilogramów pary, do której wytworzenia z powodu nieuniknionych strat potrzeba 7·5 kilogramów wody, więc będzie rozchód wody:

$$0{\cdot}00673 \times 7{\cdot}5 \times S = 0{\cdot}0502 \,.\, S$$

lub w zaokrągleniu:

$$K_1 = \frac{S}{20}$$

kilogramów, na kilometer jazdy.

Lokomotywa zwalczająca 5000 kilogramów oporu, konsumować będzie $\frac{5000}{20} = 250$ kilogramów wody na kilometr jazdy.

Mieści w sobie tender pewnej lokomotywy 12 tonn wody, to zapas ten starczy na $\frac{12.000}{250} = 48$ kilometrów drogi.

Licząc, że siła przewozowa maszyn służących do prowadzenia pociągów osobowych wynosi $S = \left\{ \begin{array}{l} 3000 \\ 1800 \end{array} \right.$ kilogramów,
towarowych „

wypada, że lokomotywa służąca do prowadzenia pociągów osobowych konsumuje 150
„ towarowych „ 90
kilogramów wody, na każdy kilometer drogi.

Podług *Welknera* konsumuje każda tonna oporu zwalczonego na przestrzeni kilometra, 65 kilogramów wody, tak więc, że lokomotywa zwalczająca 3000 kilogramów, czyli 3 tonn oporu, konsumuje $65 \times 3 = 195$ kilogramów wody na kilometer jazdy.

53.

Napełnianie tendera wodą.

Lokomotwa biedz będzie mogła nie zasilając się wodą tak daleko, jak długo starczy zapas wody nagromadzonej w tenderze. Zawiera tender 12 tonn, czyli 12000 kilogramów wody, a wychodzi na kilometr jazdy 150 kilogramów, (§. 52) to lokomotywa zrobi

$$\frac{12.000}{150} = 80$$

kilometrów drogi, bez zasilania się wodą.

Chcąc jechać dalej, trzeba tender na świeżo napełnić, a stacye, w których się to dzieje, zowiemy *stacyami wodnemi*.

Tenderowi dostarczać można wody wprost ze studni, używając pomp lub podobnych przyrządów, jak to np. działo się w pierwszych latach po otwarciu austryackiej kolei północnej, lub też zasilać go w ten sposób, że maszyna podjeżdżając pod wysoko ustawiony zbiornik, który pierwej już wodą napełniono, z niego wodę otrzymuje.

Zamiast ustawiać zbiorniki w tych miejscach, w których maszyna brać winna wodę, ustawić można na uboczu wielki zbiornik i rozprowadzać od niego rurami wodę, wszędzie tam, gdzie jej potrzeba.

W rurze rozprowadzającej wodę ze zbiornika (położonej pod powierzchnią ziemi) ustawia się w miejscu, w którem maszyna winna brać wodę, rurę pionową, a woda stojąc pod naciskiem słupa równającego się wysokości zbiornika napełni rurę pionową, skoro rura ta, niższą jest od zbiornika.

Chcąc aby z rury takiej, *żurawiem* zwanej, woda dostawała się do tendera, nie potrzeba nic więcej, jak koniec jej górny odpowiednio wygiąć. Stanie tender pod otworem żurawia, to woda spadać będzie do jego wnętrza chyżością odpowiadnjącą różnicy między wysokością zbiornika a wysokością tendera.

Ażeby zasilanie tendera nie zabierało zbyt wiele czasu, ustawia się zbiorniki zwykle 5—8^{m} po nad szyną, nadając im 50—60 tonn, wyjątkowo tylko 100 metrów sześciennych objętości.

W pobliżu żurawia ustawia się zawsze odpowiednio urządzoną zasówkę, po której odsunięciu, woda spadać poczyna. Ażeby ze żurawia upływająca woda nigdzie się nie rozchlapywała, zaopatrza się końce żurawia w lejek blaszany lub rękaw wyrobiony z nici albo skóry, który ją wprost do tendera sprowadza.

Przekrój rękawa i chyżość spadającej wody, trzeba zaś tak uregulować, aby tender zawierający 8 — 12 tonn wody, napełnić można w ciągu 3—5 minut.

Zazwyczaj wynosi przekrój rękawa 15^{cm}, a wysokość spadu 3—3·5 metra od poziomu szyn.

Na stacyach niezupełnie jeszcze wykończonych, do użytku publicznego jednak już oddanych, jakoteż na niektórych bocznych kolejach Ameryki północnej nie znachodzimy wcale żurawi, drewniane kadzie, ustawione na wysokich słupach, miejsce ich zastępują.

Przybywa pociąg do takiej stacyi, to lokomotywa podjeżdża pod kadź tak, że tender jej staje pod czopem umieszczonym na dnie kadzi.

Maszynista pociągając za sznurek, wyciąga czop, a spadająca z kadzi woda, tender napełnia, a gdy to się stało, maszynista puszczając sznur, sprawia, że kadź napowrót się zatyka.

Zamiast wyprowadzać wodę do zbiornika i spuszczać ją ztamtąd do tendera, można ją wprowadzać wprost do tendera; a używa się do tego, siły pary wywiązującej się w kotle lokomotywy, lub też pracy nagromadzonej w biegnącej lokomotywie. Chcąc aby maszyna, przybywszy na stacyę, sama sobie wodę ze studni czerpała, ustawić trzeba na niej pompę, komunikującą za pomocą węża ze studnią i użyć do uruchomienia pompy pary, którą maszyna produkuje.

Friedmann proponował jeszcze przed rokiem 1879 stosować siłę pary wywiązującej się w maszynie, nie do uruchomiania pompy ustawionej na lokomotywie, lecz do wytwarzania w tenderze próżni, do której otaczające powietrze wodę wciskać będzie.

Myśl Friedmana podjęto w Ameryce, a inżynier tamtejszy, *Hagass*, zbudował w roku 1879 przyrząd zwany *ssączkiem*. Ssączkiem Hagassa napełnić można tender znwierający 8 tonn wody, w ciągu $4^1/_2$ minut, czy jednak przyrząd ten więcej się rozpowszechni, przyszłość wykaże; dzisiaj można o nim powiedzieć tyle tylko, że zasilając tender w ten sposób, odpada konieczność budowy, wysoko ustawionych zbiorników, jakoteż rozprowadzania w nich nagromadzonej wody, do żurawi nstawionych na stacyi.

Myśl zasilania tendera wodą, siłą w biegnącej lokomotywie nagromadzonej pracy, a więc myśl zasilania tendera nie zatrzymując wcale maszyny, jest zaś następująca:

Wzdłuż toru, przez który lokomotywa przejeżdża, prowadzi rynna, w której płynie woda; z tenderu zaś, schodzi na dół rura, której otwór odpowiada przekrojowi rynny.

Przejeżdżając przez stacye, spuszcza maszynista rurę tak nizko, że otwór jej zanurza się we wodzie, znajdującej się w rynnie. Koniec rury zakrzywiony odpowiednio w górę, działa tak jakby np. działała łyżka trzymana pionowo, a prowadzona spiesznie w ten sposób, że otwór przodem idzie. Rura napełnia się wodą co raz więcej, aż wreście woda stanie w niej tak wysoko, że do tendera dostać się może. Rynna pozioma posiada zazwyczaj 100—150 metrów długości, 50 centimetrów szerokości, a 10—15 centimetrów głębokości.

W niektórych stacyach amerykańskiej kolejı Filadelfia-Pitsburg znachodzimy np. podobne przyrządy, które dzisiaj już, tam dosyć się rozpowszechniły, a w najnowszym czasie i do Anglii zawitały.

54.

Zasilanie kotła podczas jazdy.

Chcąc podczas jazdy utrzymać w kotle jednakowe prężenie pary, starać się trzeba, aby stan wody pomimo ciągłego ubytku, przecież się nie zmieniał.

Wynika ztąd, że do kotła dostarczać trzeba tyle wody, ile jej ubywa z powodu rozwoju pary. Nie mniej, ani więcej, bo inaczej ciśnienie pary się zmieni. Spadnie prężenie pary za nadto, to nisko prężna para, nie będzie mogła zwalczać już opór ruchu tak łatwo, jak to czyniła pierwej, co znów na chyżość jazdy szkodliwie oddziaływa.

Chcąc więc uzyskać jednostajną chyżość jazdy, mieć trzeba przyrząd, który dostarcza do kotła, tyle wody z tendera, ile jej w kotle ubywa.

Dawniej, używano ku temu celowi małej pompy, która będąc uruchomioną wirem koła, wciskiwała do kotła wodę w miarę szybkości jazdy.

Ponieważ pompa ruch swój otrzymywała od ruchu koła, więc zasilała kocioł tylko podczas jazdy, przeprowadzanie zaś wody z tendera w chwilach, gdy pociąg stał spokojnie, było niemożebne.

W kolizyę podobną wchodził maszynista na każdej stacyi, skoro pociąg nieco dłuższy miał przestanek.

Niechcąc lub niemogąc wygaszać ognia, maszynista wypuszczać musiał nadmiar pary na zewnątrz, a chąc wynadgradzać ubytek wody, wyjeżdżał, odpinając maszynę od pociągu, li tylko dla tego kawałek drogi po za stacyę, aby uruchomić pompy wciskiwające wodę do kotła.

Była to więc wielka niewygoda, której zaradzenie z oklaskiem powitano.

Francuz *Giffard*, powziął już w roku 1850 myśl wciskania wody do kotła, nie zapomocą dodąd używanej pompy, lecz używania na ten cel bezpośredniego działania pary, para uchodząc szybko, mechanicznie ze sobą wodę porywać miała. W kotle wywięzyjącą się parę, prowadzi Giffard w pobliże wody, a para przechodząc po nad wodą, unosi ze sobą pewną jej część, wprowadzając ją do kotła.

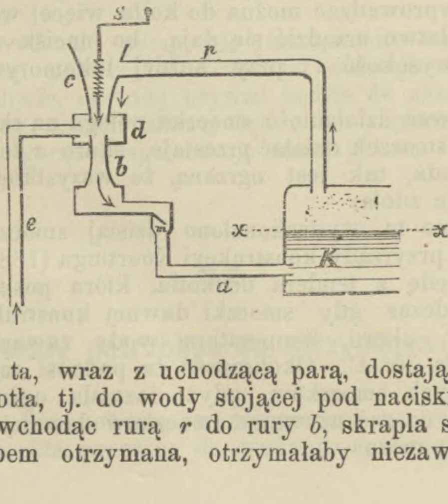
Impet wchodzącej do kotła wody, przewyższać przeto musi ciśnienie, pod którem stoi woda, znajdująca się w kotle, bo inaczej tą rurą, którą się dostaje woda z tendera, upływać by musiała woda, z kotła do tendera.

Działalność przyrządu Giffarda, zwanego *ssączkiem*, czyli smoczkiem, jest więc o tyle ciekawą, że ta sama para, która rozwijając się w kotle, ciśnie na powierzchnie tamże znajdującej się wody, nadać może wodzie przypływającej z tendera, większy impet, aniżeli wodzie, na powierzchnię której w kotle ciśnie.

W jaki zaś sposób Giffard myśl swą przeprowadził, uzmysłowić ma figura 24.

Para wydobywająca się z kotła *K*, dostaje się rurą *r* do rury *c* i przechodzi ztąd do rury *b*. Przejściem swem wytwarza w naczyniu *d* niejako próżnię, do której woda przychodząc z tendera wciska się rurą *e*.

Fig. 24.



Woda ta, wraz z uchodzącą parą, dostają się rurami *b* i *a* do kotła, tj. do wody stojącej pod naciskiem pary.

Para wchodąc rurą *r* do rury *b*, skrapla się, a woda tym sposobem otrzymana, otrzymałaby niezawodnie chyżość pary z której powstała, gdyby nie woda dopływająca zwolna rurą *e*.

Obydwie wody mięszają się razem, płynąc wspólną chyżością w rurze *a*, chyżość ta, aczkolwiek mniejsza od chyżości pary, zawsze jednak tak jest znaczną, że woda wytryska jakby ze sikawki.

Że parcie tej, do kotła wciskającej się wody, przewyższa nacisk wody, znajdującej się w kotle, świadczy fakt, że woda, *do kotła* się dostaje.

Rurą *a*, woda z kotła uchodzić nie może, bo zasówka *m* się zamyka, podczas gdy mięszanina pary i wody, przybywająca rurą *b*, zasówkę tę, sobie otwiera.

Ażeby módz rurę *c* stósownie ścieśniać, lub rozszerzać, ustawiono w niej stożek, który poruszać się daje w górę lub w dół zapomocą korby *S*.

Myśl Giffarda została tak znakomicie przeprowadzoną, że obecnie nie używa się już prawie nigdzie pomp, które do niedawna jeszcze, były powszechnemi.

Smoczków, jak je budował Giffard, dzisiaj wprawdzie nie znachodzimy, bo poprawki panów *Schau Friedman*, *Krauss*, *Hasvell*, *Rothmüller* i *Koerting*, znacznie je ulepszyły.

Rozróżniamy dwa gatunki smoczków, a mianowicie smoczki ssące i nie ssące, smoczek Giffarda, jakoteż smoczki dawniejsze, były smoczkami ssącemi, nowsze konstrukcye zaś, zaliczają się do smoczków nie ssących. W tych ostatnich, nie służy już pęd uchodzącej pary do *ssania* wody w górę, jak to w poprzód opisano, lecz tylko do *prowadzenia* wody dostającej się z góry, do wnętrza kotła. Tym sposobem wprowadzać można do kotła więcej wody, a smoczki takie łatwo urządzić się dają, bo nacisk słupa wody mającego wysokość 1^m przy każdej lokomotywie sprawić można.

Ponieważ działalność smoczka polega na skraplaniu się pary, więc smoczek działać przestaje, skoro z tendra dopływająca woda, tak jest ogrzaną, że wszystkiej pary skraplać już nie zdoła.

Pomimo to, wydoskonalono dzisiaj smoczki do tego stopnia, że przyrządy konstrukcyi Koertinga (1880), przeprowadzają wodę z tendera do kotła, która posiada ciepłotę 70^0 C, podczas gdy smoczki dawnej konstrukcyi działać przestawały, skoro temperatura wody zawartej w kotle, przewyższała 35^0 C. Okoliczność ta podnosi znacznie wartość nowszych smoczków, gdyż dozwala ogrzewać wodę w tenderze, co zaś używając smoczków dawniejszych, czynić nie było można.

W tenderze ogrzewamy zaś wodę dla tego, aby w zimie nie zamarzała, jakoteż, aby zużytkować nadmiar ciepłej pary który prawie zawsze powstaje, skoro maszynista przebywszy górę, na poziomą lub spadek zjeżdżać poczyna.

Oprócz tego osiągamy ogrzewając wodę w tenderze, pewne korzyści, a mianowicie: szanujemy kocioł, wprowadzając downętrza jego zamiast zimnej, wodę ogrzaną, dalej umniejszamy rozchód wody, gdyż para zamiast uchodzić, skraplając się, pozostawia wodę swą w tenderze, zwiększając tem samem zapas wody, a nareszcie oszczędzamy na paliwie, gdyż ogrzana woda do przeobrażenia się w parę mniej ciepła potrzebuje, aniżeli woda zimna. Ogrzewając w tenderze wodę, sprawiamy nareszcie, że część jej osadów kamiennych, pozostaje już w tenderze, co znów korzystnie na ścianę kotła oddziaływa.

Z drugiej strony, zauważać wypada, że nie zawsze zależy nam mieć w tenderze wodę ogrzaną, w lecie np. niepotrzeba wody wcale ogrzewać, ssączki ciągnące wodę gorącą, nie przynoszą w takim razie żadnej korzyści, owszem konsumują parę, którą wydajemy na niepotrzebne ogrzewanie wody, skąd wynika: że smoczki konsumują więcej paliwa, aniżeli potrzebuje zwykła, siłą pary uruchomiona pompa.

Chcąc korzystać ze smoczków, nie pozbawiając się dobrych stron dawnego sposobu pompowaniu wody, proponuje (1880) szef warstatów węgierskiej kolei północno-wschodniej, inżynier *Gross*, zaopatrzać lokomotywę tak w pompę dawniejszej konstrukcyi, jakoteż w ssączek.

Pompa służyć ma podczas jazdy, smoczek zaś, podczas przestanków.

Zaprowadzenie pomp nie natrafiałoby na trudności, bo maszynista pobierając premie od oszczędności, uzyskanych na paliwie, chętniej używać będzie do zasilania kotła wrzącej wody, aniżeli zimnej lub nieco ogrzanej, bo używając wody gorącej, spotrzebuje mniej paliwa.

55.

Ilość wody potrzebna do utrzymania ruchu.

Znając ilość lokomotyw pracujących na kolei, wiedząc jak długo każda pracuje, ile wody na godzinę potrzebuje, prowadząc pociągi daną chyżością po pewnej linii, nietrudno będzie obliczyć rozchód wody wypadający na dobę.

Przypuśćmy, że mamy zasilać wodą linię kolejową, która ma 500 kilometrów długości, a pochyłości jej wynoszą 5 i 9‰; a mianowicie tak; że jadąc w jednym kierunku, natrafiamy na stromość 5‰ w odwrotnym zaś kierunku, na wzniesienie 9‰, a łuki tej koleji zatoczono promieniem 600 m.

W każdym kierunku kursuje na dobę 5 pociągów, ważących po 300 tonn, poruszających się przeciętną chyżością 10^m na sekundę, pozostających w drodze przez 15 godzin na dobę.

Zachodzi pytanie, ile wody kolej taka, na dobę konsumować będzie?

Jadąc w jednym kierunku wynosi opór jednostkowy:

$$o = 4 + 5 + \frac{600}{600} + \frac{10^2}{50} = 12$$

w drugim zaś kierunku:

$$o = 4 + 9 + \frac{600}{600} + \frac{10^2}{50} = 16$$

kilogramów, na tonnę ciężaru pociągu, w całości więc wynosi opór:

$$\begin{array}{ll} \text{w jednym kierunku} & 12.300 = 3600 \\ \text{w drugim} \quad " & 16.300 = 4800 \end{array}$$

kilogramów i tyleż kilogramów wynosi także i siła przewozowa, a ponieważ na kilometr jazdy, lokomotywa konsumuje $^1/_{20}$ część siły przewozowej jako wodę (§ 52), więc konsum jednej lokomotywy wyniesie na kilometr jazdy, jadąc w

$$\begin{array}{lr} \text{jednym kierunku} \ldots \frac{3600}{20} = & 180 \\ \text{drugim kierunku} \ldots \frac{4800}{20} = & 240 \\ \hline \text{razem} \ldots\ldots\ldots & 420 \end{array}$$

kilogramów wody.

A ponieważ równocześnie pracuje 5 maszyn, więc konsumować będą wszystkie razem 5.420 = 2100 kilogramów, czyli 2·1 tonn wody na kilometer jazdy, a ponieważ każda z nich pracuje przez 15 godzin na dobę i przebiega na godzinę 36 kilometrów drogi, więc wszystkie razem robią na dobę $15 \times 36 = 540$ kilometrów, a ponieważ na kilometr drogi konsumują 2·1 tonn wody, konsumować będą na dobę $2{\cdot}1 . 540 = 1134$, lub okrągło 1200 tonn.

Rozumie się samo przez się, że taką masę wody nie można gromadzić w jednym miejscu, lecz rozdzielić ją trzeba na całą przestrzeń w ten sposób, aby pracujące lokomotywy nigdzie braku wody nie miały.

Przypuściwszy że jednym tenderem wody, przebyć można drogę 30 kilometrów, rozdzielić trzeba, do ruchu potrzebną ilość wody na $\frac{500}{30} = 16$ stacyi, z których każda otrzymać winna na dobę $\frac{1200}{16} = 75$ tonn wody.

Chcąc mieć tyle wody do dyspozycyi, trzeba ją czerpać ze studni, co się dzieje zapomocą pompy.

Dopływa do studni na godzinę 7·5 tonn wody, to pompa pracować musi przez $\frac{75}{7{\cdot}5} = 10$ godzin na dobę, skoro dostarczyć ma ową ilość wody.

Tak obfity dopływ wody znachodzimy bardzo często, na galicyjskiej kolei Karola Ludwika, dostarcza np. pompa ustawiona w:

Jarosławiu..........	3
Łańcucie...........	8
Brodach...........	10
Lwowie............	10
Krakowie..........	13
Rzeszowie..........	15

tonn wody na godzinę

Zadowalamy się szacunkiem, to oznaczać można ilości wody, jak następuje:

Maszyna pracująca możebnie największem swem natężeniem, konsumuje na godzinę wszystką parę, którą kociół jej na godzinę dostarcza, a więc $40 . H$ kilogramów, skoro H wyraża powierzchnię ogrzewalną w □ m.

Zostaje maszyna t godzin w drodze, to wypotrzebuje podczas jazdy:

$$40\ t.H$$

kilogramów wody. Pracuje na linii *n* maszyn, to wypotrzebują one wszystkie:

$$40.t.H.n$$

kilogramów wody na dobę, rozchód wody będzie przeto:

$$W = \frac{n\ t.H}{25} \qquad (73$$

tonn, tutaj wyraża:

- W... rozchód wody na dobę, wyrażony w tonnach, a odnoszący się do całej kolei,
- H... największa powierzchnia ogrzewalna w użytku się znajdujących maszyn, wyrażona w metrach kwadratowych,
- t... czas jazdy jednego pociągu wyrażony w godzinach,
- n... ilość na dobę kursujących pociągów.

Kolej na której kursuje na dobę 6 pociągów, z których każdy jedzie po 10 godzin, a powierzchnia ogrzewalna maszyn, służących do przewozu, wynosi 130 □ m., potrzebuje we wszystkich swych stacyach:

$$W = \frac{6.10.130}{25} = 312$$

tonn wody na dobę.

Ze względu na to, że nie wszystkie maszyny pracują możebnie największym efektem, dalej, że pociągi przez cały czas, nie jadą lecz także w stacyach przestawają, a wreście, że wzięto w rachunek największą powierzchnię ogrzewalną, uważać można wynik owego wzoru, jako zupełnie dostateczny, nie zapominać jednak trzeba, że wzór powyższy podaje ilość wody jaką na dobę potrzeba do zaopatrzenia wszystkich stacyj znajdujących się na kolei, a nie ilość potrzebną dla każdej poszczególnej stacyi.

Ile wody pewnej stacyi dostarczyć trzeba, zależy od tego, ile maszyn na dobę, stacya zaopatrzać będzie musiała we wodę, a ilość ta, zawisła jedynie od rozkładu jazdy i pracy mechanicznej maszyn, prowadzących pociągi.

Ilość tych maszyn, z góry obliczać się nie daje w poszczególnym przypadku zaś obliczanie ich ilości trudnościom nie podlega.

Przykład I.

Na austryackiej drodze żelaznej państwowej, poczyniono w lecie roku 1873 kilka prób, z których dwie uwidocznia następująca tabliczka.

droga w kilometrach jaką pociąg przebiegł	ciężar pociągu w tonnach	konsum węgla kamiennego w kilogramach	konsum wody w kilgramach	mechaniczna praca pociągu, czyli iloczyn ciężaru (tonn) i drogi (kilometrów)	do przewozu ciężaru jednej tonny, do odległości kilometra potrzebowano kilogramów węgla	z kilogr^ama^ węgla otrzymano kilogramów pary
123·4	380	2471	11550	46890	0·0527	4·67
182·6	301·8	3360	15410	55000	0·0611	4·59

Z tej tabliczki powziąść można, że na kilometr jazdy wypotrzebowano:

$$\frac{11550}{123 \cdot 4} = 90 \text{ w jednym. zaś } \frac{15410}{182 \cdot 6} = 80$$

kilogramów wody, w drugim przypadku.

Mechanicznej pracy wynoszącej przeciętnie $\frac{46890 + 55000}{2} = 50445$ tonn kilometrów, odpowiada średni rozchód wody $\frac{11550 + 15410}{2} = 13480$ kilogramów, do przeprowadzenia ciężaru, równającemu się ciężarowi jednej tonny, do odległości kilometra, potrzebowano przeto w przecięciu $\frac{13480}{50445} = 0 \cdot 26 = \frac{1}{4}$ kilograma wody.

Przykład 2.

Jak daleko zajedzie lokomotywa ważąca 40 tonn, mająca wszystkie koła ze sobą sprzężone, pełnym tenderem wody, skoro pracuje możebnie największem natężeniem, a tender mieści w sobie 10 metrów sześciennych wody?

Lokomotywa, pracując maksymalnem natężeniem, zwalcza opór możebnie największy, a opór taki wynosi $^{10}/_{11}$ adhezyi, a ponieważ ciężar adhezyjny wynosi 40 tonn, jednostkowa adhezya zaś, przeciętnie 130 kilogramów na każdą tonnę ciężaru adhezyjnego, więc wyniesie całkowita adhezya: $130.40 = 4200$ kilogramów.

Maksymalny opór przeto $^{10}/_{11} . 4200 = 3818$ kilogramów, zwalczając taki opór, konsumuje lokomotywa na kilometr jazdy:

$$\frac{3818}{20} = 191$$

kilogramów wody.

Ponieważ tender zawiera 10 metrów sześciennych, czyli 10 tonn, lub 10000 kilogramów wody, więc zapas ten, starczy na przebycie:

$$\frac{10000}{191} = 52$$

kilometrowej drogi.

Przykład 3.

Lokomotywa poruszać się mająca chyżością 5 na sekundę, w kierunku wzniesienia leżącego w łuku, którego promień wynosi 2400 m., stromość zaś, $10^0/_{00}$, konsumować będzie na kilometr i tonnę:

$$\frac{1}{20}\left[4 + 10 + \frac{600}{2400} + \frac{5^2}{20}\right] = + \,^3/_4$$

kilograma wody, jadąc zaś w odwrotnym kierunku, już tylko:

$$\frac{1}{20}\left[4 - 10 + \frac{600}{2400} + \frac{5^2}{50}\right] = - \,^1/_4$$

kilograma.

Znak (—) oznacza, że jadąc z góry na dół nie potrzebujemy na tym spadku, do prowadzenia pociągu wcale żadnej pary, owszem zniweczyć trzeba siłę żywą, uzyskaną biegiem w kierunku spadku, chcąc sprawić, aby jazda nie odbywała się spieszniej jak tylko jednostajną szybkością 5 metrów na sekundę.

Do utrzymania szybkości w dół biegnącego pociągu, w granicy 5 metrów, potrzeba hamulcami wywrzeć siłę, która, gdyby do jej uzyskania użyto pary, wymagałaby na każdy kilometer jazdy i każdą tonnę ciężaru pociągu, wydatku $^1/_4$ kilograma wody.

Ponieważ na wzniesieniach jakie leżą w granicach dozwolonych ustawą związkowych dróg żelaznych, wynosi opór 5—30 kilogramów na tonnę ciężaru pociągu, więc też i rozchód wody, na kilometer i tonnę, wynosić będzie:

$$\frac{1}{20}.5 = \,^1/_4 \text{ do } \frac{1}{20}.30 = 1{\cdot}5$$

kilograma.

Przykład 4

Na linii położonej w łuku zatoczonym promieniem 600 metrów, a wznoszącej się po nad poziom 7 milimetrów na metr poziomej odległości, mamy prowadzić pociągi.

Ze względu na ruch pociągów kolei sąsiednich, poruszać się muszą pociągi nasze, chyżością 20 kilometrów na godzinę.

Do prowadzenia tych pociągów mamy lokomotywę, której powierzchnia ogrzewalna wynosi 120 □ metrów, wydającą na każdym metrze kwadratowym 40 kilogramów pary na godzinę.

Zachodzi pytanie, jak ciężkie pociągi prowadzić będzie można pod takiemi warunkami?

Podczas jazdy mamy do zwalczania opór, wynoszący:

$$o = 4 + \frac{(7 \cdot 2)^2}{50} = 50$$

kilogramów, (gdyż chyżość 20 kilometrów na godzinę, wynosi $7 \cdot 2^m$ na sekundę). Jadąc w kierunku wzniesienia, zwiększa się opór o 7 kilogramów, wynosi przeto $5 + 7 = 12$ kilogramów na każdą tonnę ciężaru pociągu.

Wyraża x ciężar pociągu w tonnach, to wynosi całkowity opór x kilogramów, a opór ten zwalczyć ma siła przewozowa?

Ponieważ opór całkowity wynosi 12 x kilogramów, więc konsumować będzie lokomotywa na każdy kilometer jazdy $\frac{12\,x}{20}$ kilogramów wody, a ponieważ maszyna robi na godzinę 20 kilometrów, więc wynos konsum wody na godzinę:

$$\frac{12\,x}{20} . 20 = 12\,x$$

kilogramów.

Ponieważ lokomotywa wydaje $40.120 = 4800$ kilogramów pary, więc mamy równanie:

$$4800 = 12\,x$$

z którego otrzymujemy:

$$x = 400$$

co znaczy, że ciężar pociągów wynosić może, włącznie z ciężarem lokomotywy 400 tonn.

56.

Zaopatrzanie stacyi wodą.

Jak długo drogi żelazne przerzynają okolice obfitujące w źródła, zaopatrzanie stacyi w wodę, nie przedstawia znacznych trudności. Studnia wykopana w stacyi, wystarcza bowiem do zasilania lokomotyw.

Nie dopływa zaś do studni tyle wody, ile ruch dzienny konsumuje, to w takim razie myśleć trzeba o *zasilaniu studni*, a dzieje się to, sprowadzając do studni wodę ze źródeł, stawów, rzek, jezior itp.

Odległości zaś, z których wodę sprowadzać trzeba, są czasem bardzo znaczne, tak np. sprowadzać muszą na drodze żelaznej, wiodącej z Odesy do Bałty, do stacyi zwanej „Wesoły kąt“, wodę z odległości 11·5 kilometrów, na kolejach Istryjańskich jakoteż Dalmatyńskich znachodzimy często wodociągi, mające 10 kilometrów długości.

Znajduje się źródło, zaopatrzać mające stacyę w wodę, w jednej wysokości lub niżej od niej, to trzeba wyprowadzać ze źródła wodę do pewnej wysokości, nim się ją rurami sprowadzi do stacyi.

Wysokość do której wodę źródlaną pompować trzeba, musi być taką, aby woda spływająca z tej wysokości, własną siłą do zbiornika ściekać mogła.

Na kolei Dalmatyńskiej ustawiono u wodospadu rzeki Kerka, maszynę parową, która wyciska wodę do ogromnej wysokości 100 metrów, zkąd ściekając rurami, woda spada do zbiorników ustawionych w stacyi Sebenico.

Ponieważ woda nie odpływa ze zbiorników dowolnie, lecz tylko w miarę rozchodu pary w kotle lokomotywy, więc zbiorniki łatwoby się przepełnić mogły, gdyby przypływu wody nie regulowano odpowiednio do rozchodu.

Znajduje się pompa wyciskająca wodę w górę, w pobliżu zbiornika, w którym się gromadzi, to regulacya dopływu nie przedstawia żadnych trudrości, które jednak natychmiast się zjawiają, skoro pompa znajduje się w znacznej odległości od zbiornika.

Znajdują się bowiem pompa i zbiornik, w jednym i tym samym miejscu, to maszynista, obsługujący pompę, widzieć może każdej chwili stan wody w zbiornikach i urządzić przeto może pompowanie wody w miarę rozchodu.

Znajduje się zaś pompa, czerpiąca wodę, w znacznej odległości od zbiorników, w takim razie trzeba ze stacyi, (w której zbiorniki ustawiono) uwiadamiać oddalonego maszynistę, jak wiele wody w zbiornikach się znajduje.

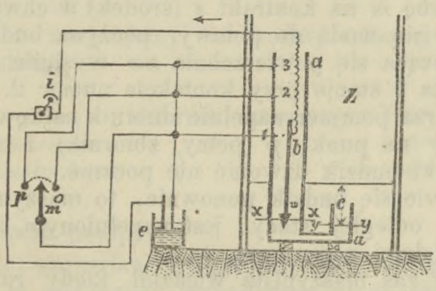
Do porozumienia się podobnego, używano do niedawna telegraf, doświadczenie jednak pouczało, że urzędnik stacyjny, zapomina często uwiadamiać maszynistę na czas o potrzebie pompowania, lub przerywania tej pracy, tak że czasami zabraknie na stacyi wody, lub też znajdzie się nadmiar jej niepotrzebny, przelewający się przez przepełnione zbiorniki.

Podobnem niedogodnościom zapobiegano na małych stacyach w ten sposób, iż pompowano wodę co dzień o pewnej godzinie, przez pewien z góry oznaczony czas, a mianowicie przez czas potrzebny do jednorazowego napełnienia zbiornika.

Na większych stacyach zaś, gdzie jednorazowe napełnienie zbiornika, nie pokrywało dziennej potrzeby wody okazała się potrzeba zastąpienia telegrafów, automatem, któryby w każdej chwili uwiadamiał pompiera o stanie wody w zbiorniku.

Odpowiednich przyrządów zbudowano wiele, dla naszkicowania zasadniczej myśli, na jakiej one polegają, niechaj służy krótki opis automatu pana *Huitner*, ustawionego w *Pola*, w pobliżu Tryjestu.

Fig. 25.



W zbiorniku Z, figura 25, ustawia się odpowiednio, dwa razy złamaną rurę *aa* i nalewa się do niej rtęci.

Ponieważ rura na obydwóch końcach jest otwartą, a niższy jej koniec stoi pod naciskiem słupa wody, mającego wysokość c metrów, drugi zaś koniec, wcale pod wodą się nie znajduje, więc rtęć stać będzie w obydwóch ramionach, nie jednako wysoko.

W ramieniu będącem w połączeniu z atmosferą, stać będzie rtęć wyżej, w drugim zaś, zanużonym w wodzie, niżej.

W ramieniu komunikującym z wolną atmosferą, zanuża się w rtęć, stalowy pływak w, na którym umieszczono metalową skazówkę b.

W miarę opadania wody w zbiorniku, umniejsza się nacisk na powierzchni yy, skutkiem czego, opada także powierzchnia xx, w której pływak się znajduje.

Figura oznacza możebnie najniższy stan, jaki jeszcze woda w zbiorniku zająć może.

W takim razie, znajduje się skazówka b w możebnie najniższym punkcie, tj. w punkcie 1., a ponieważ znachodzi tam kontakt, więc prąd elektryczny dostarczany stosem Wolty *e*, krążyć może przez dzwonek umieszczony u pompiera, głos dzwonka poruszanego siłą prądu, oznajmia pompierowi, że w zbiorniku woda opadła do możebnie najniższego stanu, jaki jeszcze zajmować może.

W dłuższem ramieniu rury *aa* znachodzimy zwykle jeszcze dwa inne kontakta 2, 3, z których numer 2 odpowiada stanie wody, gdy woda zajmie połowę wysokości zbiornika, punkt 3, zaś chwili, w której zbiornik jest napełnionym.

Opadła woda w zbiorniku do możebnie najniższego stanu, budzik *i* dzwonieniem swem uwiadamia pompiera, że pompować trzeba, tenże rozpoczyna więc pompowanie i ustawia korbę *m* na kontrakt *s* (środek) w chwili gdy zbiornik napełni się wodą do połowy, poczyna budzik dzwonić, gdyż wznosząca się powierzchnia *xx* wysunie pływaka tak że skazówka *b* stanie przy kontakcie numer 2.

Zamierza pompier napełnić zbiornik całkowicie, to przesunie korbę na punkt *p* (pełny zbiornik) i pompuje tak długo dopóki budzik dzwonić nie pocznie.

Odezwie się budzik ponownie, to maszynista już wie, że zbiornik odległej stacyi jest napełnionym, że więc przestać trzeba dalej pompować.

Ażeby zaś maszynista wiedział kiedy ruch pociągów w odległej od niego stacyi, wyczerpie tyle wody, że stan jej opadnie w zbiorniku do połowy wysokości, ustawia korbę *m* na kontakt *s* (środek zbiornika) i czeka dopóki budzik się nie odezwie.

Poczyna budzik dzwonić, gdy korba znajduje się między obydwoma kontaktami *p* i *s*, a więc gdy się znajduje w pozycyi uwidocznionej we figurze, to oznacza to dzwonienie, że zbiornik jest już napełnionym lub też, że jest próżnym.

Inspektor galicyjskiej kolei Karola Ludwika, pan *Kobliczek* we Lwowie, obmyślał przyrząd, który inaczej dzwoni gdy zbiornik jest pełnym, innym zaś głosem, gdy jest próżnym i oprócz tego dozwala na tarczy odczytywać stan wody w zbiorniku stacyjnym.

Konstrukcya pana *Kobliczka* odznacza się akuratnością działania, od wielu podobnych i zaprowadzoną została nie tylko w Krakowie, Rzeszowie, Przeworsku, Przemyślu, Mościskach, Krasnem i Sądowej Wiszni, ale nadto i we Wiedniu, Prerau, Cieplicach, dalej w niektórych stacyach kolei nadreńskiej, jakoteż na stacyi „Wesoły kąt“ drogi żelaznej Odesko-Baltyckiej.

Telefon, ów wynalazek najnowszych czasów, okazał się być do służby takiej, przyrządem bardzo wygodnym, funkcyonuje bowiem wybornie między stacyą *Sebenico*, (kolei Dalmatyńskiej) a maszyną parową, która pompuje wodę z rzeki Kerka oddalonej od stacyi o 3 godzin, do wysoko ustawionych zbiorników, zkąd ściekając rurami, dostaje się do zbiorników umieszczonych w owej stacyi.

Przyrządami wykazującemi automatycznie każdorazowy stan wody w zbiornikach, usunięto niedogodności pochodzące z oddalenia pompy czerpiącej wodę, od zbiorników ustawionych w stacyach, tak, że pozostała tylko niedogodność pochodząca z wysokości, do której wodę często wyprowadzać trzeba.

Tak n. p. znajdujemy na drodze żelaznej Baltycko-Odeskiej, w stacyi

Karpowo,	zbiornik	ustawiony	112^{m}
Perekresłowo	„	„	134^{m}
Wesoły kąt	„	„	156^{m}

po nad poziomem pompy.

Trudności sprawiane odległością pomp od zbiorników, pomimo, że w niektórych wypadkach są znaczne, maleją jednak w porównaniu z trudnościami jakie sprawia brak wszelkich źródeł w otoczeniu stacyi, z którychby wodę sprowadzać można, chociażby nawet z odległości znaczniejszych.

Brak wody na większych przestrzeniach, zakwestyonować może ruch pociągów, a do zwalczania go, nie pozostają, jak tylko dwa środki, a mianowicie:

1) Chwytać opady atmosferyczne, gromadzić tym sposobem otrzymaną wodę w ogromnych zbiornikach, z których pompować ją trzeba do zbiorników stacyjnych,

2) lub też, stacyom dowozić wodę pociągami.

Obydwa sposoby znalazły zastosowanie na kolejach w *Dalmacyi*, *Istryi i Rossyi.*

Zbiorniki, baseny czyli sztuczne stawy, w których gromadzimy do zasilania studni stacyjnych potrzebną wodę, urządzono tak, że z każdą wiosną i jesienią, podczas wezbrań wód, same się napełniają.

A ponieważ wody dwa razy tylko do roku wzbierają, więc otrzymać muszą baseny taką objętość, aby w nich nagromadzona woda wystarczała do pokrycia potrzeby jednego półrocza.

Basen znajdujący się w stacyi *Rasdelnaja*, drogi żelaznej Baltycko-Odeskiej, ma n. p. 142^{m} długości, 12^{m} szerokości i 3^{m} głębokości, mieści więc w sobie 5112 metrów sześciennych, czyli tyleż samo tonn wody.

Na kolejach istryjańskich i dalmatyńskich znachodzimy daleko większe baseny, tak n. p. zaopatrza we wodę stacyę

Perkowice	basen	zawierający . .	6.800
Rozzo	"	" . .	9.300
Ceronglie	"	" . .	14 500
Canfanero	"	" . .	18.500

tonn wody.

Ażeby baseny napełnić wodą, zamyka się całą dolinę sluzami tak, że strumyki do niej wpadające nieznajdują wcale żadnego odpływu.

Skutkiem tego, woda w zamkniętej kotlinie wznosi się coraz wyżej, aż dojdzie wreszcie do wysokości basenu, którego sluzę pozostawiono otworem.

Gdy wezbranie wód doszło do takich rozmiarów, że basen się napełnił, zamyka się go sluzą, otwierając zarazem sluzy zamykające dotąd dolinę.

Woda poczyna opadać, w basenie zaś zawarta, uciec już nie może.

Tak pomagamy sobie, mając do dyspozycyi strumyki, które peryodycznie wzbierają.

Istryańskie koleje żelazne prowadzą jednak w niektórych miejscach przez okolice, gdzie nie ma wcale żadnych strumyków, a przecież stacye tam zbudowane, wody do prowadzenia ruchu potrzebują.

W takich razach piętrzą się trudności w dostarczaniu wody i nie pozostaje już nic innego, jak tylko dowozić wodę zdala, lub ją chwytać, gdy z nieba ku ziemi spada.

Ten ostatni sposób użyła kolej dalmatyńska zaopatrzając we wodę stacyę Perkowice.

Po nad tą stacyą wznosi się górą, której spadzista powierzchnia wynosi 24.000 □ metrów, część tej powierzchni użyto jako ściek dla spadającej wody, którą sprowadzono do zbiornika mieszczącego w sobie 6800 tonn wody.

Przed zbudowaniem stacyi nie miano tam wcale żadnej wody, gdyż powierzchnia wspomnianej góry, tak chciwie wsiąkała w siebie wszystkie opady atmosfery, że nawet podczas ulewy, woda w dół nie ściekała.

Chcąc podczas ulew opadającą wodę uzyskać, trzeba więc było przedewszystkiem wzbronić wsiąkanie jej do wnętrza góry.

Podobnie jak dachy domów naszych pokrywamy, tak też pokryto spadzistą powierzchnię owej góry, łupkiem na 11500 □ metrów wielkim obsarze, a fugi między stykającemi się płytami łupku starannie wyłożono cementem.

Tym sposobem sprawiono, że 80% z chmur spadającej wody, ściekało w dół do przysposobionego tam basenu; a ilość ta, wynosząca jak już wspomniano 6800 tonn, wystarczała do prowadzenia ruchu przez 5—6 miesięcy.

Na drodze żelaznej Odesko-Baltyckiej zaś, zdecydowano się zasilać stacyę „Wesoły kąt“ dowozem wody całemi pociągami w umyślnie na ten cel zbudowanych wozach.

Wodę dowozić musiano z odległości 200 kilometrów, a dowieziono jej w roku:

1866 (rok otwarcia koleji) . . .	14000
1867	40000
1868	240000
1869	12000

tonn.

Celem przewozu tak znacznych mass wody, kursowały osobne pociągi, które nic innego nie przewoziły, jak tylko wodę, a to we wozach żelaznych, mieszczących w sobie po $13^1/_2$ tonn, jakoteż w żelaznych skrzyniach, zawierających po 6 tonn wody.

Doświadczenie pouczyło jednak, że zaopatrzanie stacyi we wodę, w ten sposób, nie odpowiada ani warunkom ekonomii, ani też wymogom ruchu.

57.

Zasilanie zbiorników.

Chcąc zbiorniki, ustawione na stacyi, zaopatrzać we wodę, trzeba ją czerpać ze studni, stawu, rzeki lub z basenów.

Siła potrzebna do uruchomiania pompy, czerpiącej wodę jest rozmaitą, używamy bowiem fizyczną siłę człowieka lub zwierzęcia, siłę pary, a niekiedy wiatru i gazu.

Na małych stacyach, na których lokomotywy tylko w razach wyjątkowych zasilają się wodą, wystarcza do pompowania, siła człowieka, lub siła konia chodzącego w kieracie.

Pompy poruszane parą, znachodzimy najczęściej, i są one w powszechnym prawie używaniu, parę zaś, uruchomiającą pompy, użyć można w trojaki sposób.

1) do poruszania tłoka w cylindrze, stale w miejscu ustawionej maszyny, którego ruch służy do urochomienia zwykłej pompy

2) w kształcie tak zwanych ssączków

3) jako pulzator (pulzometr).

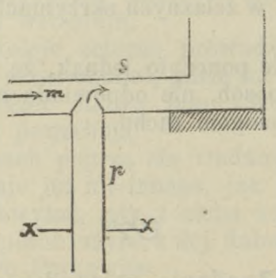
Pomp zwykłych poruszanych parą, opisywać nie będę, gdyż za nadto są znane, ograniczę się przeto, na zaszkicowaniu działania ssączków i pulzatorów.

Myśl ssączków, czyli tak zwanych eżektorów, lub smoczków, polega na tej zasadzie, że para przepędzona przez naczynie, zabiera ze sobą mechanicznie powietrze, wytwarzając tym sposobem w naczyniu niejako próżnię.

Skoro naczynie to, komunikuje z wodą, na którą ciśnie powietrze otaczające próżnię, to skutkiem przepędzenia pary, naczynie, wodą napełnić się musi.

A ponieważ woda wciska się do naczynia w miarę uchodzenia pary, i z naczynia razem z parą odchodzi, więc pompować będzie można tak długo, dopóki para idzie.

Fig. 26.



Przedstawia *xx* (fig. 26) powierzchnię wody w studni, *p* pionową rurę, to woda pocznie się w niej podnosić, skoro rurą *s* przepuszczamy w kierunku strzałki *m*, parę, para ta, przechodząc po nad górnym otworem rury *p*, porywa ze sobą powietrze i wodę, i prowadzi je do zbiornika, gdzie sama się skrapla.

Austryacka droga żelazna południowa, używa ssączków, w czterech swych stacyach, dotyczące szczegóły, zawiera następująca tabliczka:

Szczegół	ssączek ustawiony w stacyi			
	Neustadt	Kanizsa	Kufstein	Ala
Długość rury poziomej, w metrach	17·7	31·8	26·7	23·2
Wysokość rury pionowej, w metrach	14·5	24·5	20·3	23·5
Ilość wody otrzymanej w godzinie, w tonnach.	31·6	32·8	33·0	38·0
Temperatura wody w zbiorniku w stopniach Celziusza	21	28	34	26
Temperatura wody w studni, w stopniach Celziusza	10	11	14	9
Najniższe ciśnienie pary w kotle, jakie jest potrzebne do funkcyonowania ssączka, w atmosferach nowych	5·9	5·3	6·7	7·6

Z powyższego zestawienia widzimy, że użyteczny skutek, czyli efekt ssączka, nie jest jednakowym, a to z przyczyny niejednakowej długości rur, przy jednakiej długości tychże, efekt jednakim będzie.

Jako zalety ssączków uważać należy: prostotę ich budowy, sprawiającą, że ssączki nie wymagają prawie nigdy reperacyi, dalej możebność dostarczania do zbiornika, wody już ogrzanej, a nakoniec tę okoliczność, że czerpiąc wodę spiesznie, a ssączki pompują spiesznie, studnia się oczyszcza.

Zważywszy, że parę, potrzebną do wprowadzenia ssączka w działalność, czerpać można tak dobrze z kotła maszyny stale w miejscu ustawionej, jakoteż z kotła lokomotywy, zasługują ssączki na uwagę techników.

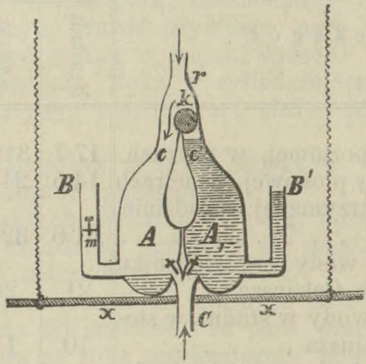
Zupełnie w inny, a nader ciekawy sposób, zastosowujemy w nowszym czasie, parę do pompowania wody w tak zwanych pulzometrach, czyli właściwiej *pulzatorach*.

Konstrukcya pulzatora polega w następującej myśli:

Na małej deszczółce xx, zawieszonej na łańcucach, a spuszczonej do studni aż po nad powierzchnię wody, ustawia się dwa, ze sobą złączone naczynia AA^1 (figura 27) zbudowane na podobieństwo gruszki, komunikujące z kotłem, który pary dostarcza, za pomocą rurki r.

Metalowa kula k, zastawia ten wspólny otwór w ten sposób, że w pewnej chwili jest umożliwioną komunikacya z kotłem zawsze jednej tylko gruszki, podczas gdy dopływ pary do drugiej gruszki, pozostaje odciętym.

Fig. 27.



We figurze, odcina kula *k* komunikacyę gruszki A^1, dozwalając zaś wolny dopływ pary, do gruszki *A*.

W gruszce *A* znajduje się zimna woda, a na jej powierzchni rozpościera się warstwa powietrza, która, jak wiadomo, jest ciałem elastycznem i zarazem złym przewodnikiem ciepła.

Powietrze, będąc blisko dwa razy cięższem od prężnej pary, nie miesza się wcale z parą, lecz rozścielając się na powierzchni wody, przedstawia niejako piston, na który uderza szybko wkraczająca para.

Woda pozostająca pod pistonem, poddając się nań wywartemu naciskowi, uchodzi rurą *B*, z której, dostawszy się raz powyżej kurka *m*, do gruszki *A*, wracać więcej już nie może.

W chwili, w której woda opadła po pod otwór prowadzący do rury *B*, uchodzi tym otworem na niej rozpostarte powietrze, przez co woda, pistona swego pozbawioną zostaje.

Nieprzerwanie dopływająca para, na wodę przeto więcej cisnąć nie będzie, gdyż stykając się z nią bez wszelkiego pośrednictwa, skutkiem różnicy temperatury, skraplać się musi.

Skraplaniem się pary, powstaje w gruszce *A* niejako próżnia, co sprawia, że ciśnienie pary w naczyniu *A* mniejszem się staje od ciśnienia w naczyniu A^1.

Różnica w ciśnieniu sprawia, że kula *k*, przesunie się ze swego miejca uwidocznionego we figurze i stanie tak, że zamknie komunikacyę gruszki *A*, dozwalając zarazem wolny dopływ pary do gruszki A^1.

Próżnia znajdująca się w gruszce A, sprawia, że powietrze cisnące na powierzchnię wody w studni, wyciska wodę wężem c, aż do gruszki A, zkąd woda rurą B, do zbiornika odpływać może.

W chwili, gdy woda doszła tak wysoko, że wypełnia prawie gruszkę A, para pracująca w gruszce A^1, zniżyła już powierzchnię wody aż do otworu rury B^1, skutkiem czego w gruszce A^1 powstaje próżnia, przerzucająca kulę k tak, że gruszka A^1 odciętą zostaje od kotła, a para wkracza do gruszki A.

W naczyniu A, pocznie woda opadać uchodząc od zbiornika rurą B, podczas gdy w naczyniu A^1, coraz wyżej woda ze studni wznosić się będzie.

Podobnie jak z każdem uderzeniem serca naszego, dostaje się do płuc świeża porcya krwi, tak też kula pulzatora, z każdem przelotem z jednego miejsca na drugie, wciska do zbiornika świeżą porcyę wody.

Podczas gdy puls bije na minutę 80 razy, wykonuje kula pulzatora, często 130 wahnień, sprowadzając z każdem tętnem 4 kilogramy wody do zbiornika.

Nadmienić wypada, że w rzeczywistości pulzator nie posiada dwóch rur B i B^1 prowadzących odrębnie do zbiornika, lecz rury te schodzą się razem w kociołku wiatrowym, z którego jedna tylko rura prowadzi do zbiornika.

Dla lepszego przeglądu, opuszczono w szematycznej szkicy ten kociołek, który umieszczonym jest jako trzecia gruszka, obok tamtych dwóch tak, że cały pulzator ma podobieństwo do trzech gruszek, których szypułki razem się schodzą.

Chcąc pulzatorem wodę pompować, ustawia się go na desce tak, że spoczywa na niej w miejscu xx, a deskę zawiesza się w ten sposób na łańcuchach, aby pulzator zajął pozycyę określoną we figurze.

Potem spuszcza się łańcuchy w głąb studni, o ile możności najniżej, rzadko wyżej niż 5^m po nad powierzchnię wody.

Rurę c zanuża się w wodzie i przedstawia ona rurę ssącą, podczas gdy rurę r przeprowadzić trzeba aż do kotła dostarczającego pary.

Działalność pulzatora jest prawdziwie zdumiewającą. W studni uwieszona bańka do wnętrza której wchodzi rurka parowa mająca zaledwo grubość palca, wyciska bez wszelkiego widocznego ruchu, strumień wody do wysokości dowolnej.

Porównując pulzator ze zwykłą pompą, zauważamy, że w zwykłej pompie, ciśnienie pary przenosi się za pomocą tłoka na powierzchnię wody, zużyta zaś para, na zewnątrz uchodzi.

W takim razie, para zwalczać ma tarcie powstające między pistonem, a cylindrem, jakoteż tarcie wszystkich składowych części pompy, które to tarcia, czasem znaczne ilości pary pochłaniają.

W pulzatorze, działa para na *piston z wody*, który bez wszelkiego tarcia się porusza, a zużyta para nie uchodzi na zewnątrz, lecz służy do wytwarzania próżni.

Strata pary, powstaje jedynie w chwilach, w których kula *k* przechodzi z jednego miejsca na drugie, gdyż w chwilach takich, a więc przy każdem wachnieniu, nieco pary na zewnątrz uchodzi.

A okoliczność ta sprawia, że pulzator konsumuje nieco więcej pary, aniżeli zwykła pompa.

Od innych pomp, odznaczają się pulzatory korzystnie tem, że wyprowadzają w górę znaczne ilości wody, że nie kosztują wiele, że nie podlegają częstem reperacyom, a gdy taka konieczną się okaże, że nie pociąga za sobą zbytnich kosztów.

Wszędzie tam, gdzie koszta czerpania wody stoją na drugim planie, gdzie wodę wyprowadzać mamy do znacznych wysokości lub wydobywać ją ze znacznych głębokości, jakoteż tam, gdzie do ustawiania koniecznych dla pomp rusztowań, nie ma miejsca; pulzator korzystnym się okaże.

Zalety te sprawiły, że drugorzędna austryacka kolej zwana *Kerestal*, łącząca miasto *Arad* z miejscem *Baros-Jenoe* oddana do użytku publicznego w roku 1877, zaprowadziła u siebie po raz pierwszy w Austryi, pulzatory opisane.

Rozgłos, którego pulzatory tam doznały, spowodował austryacką kolej Karola Ludwika, do zbadania tej sprawy i poczynienia odpowiedniej ilości prób dwoma pulzatorami.

Celem porównania, ustawiono obok pulzatora, zwykłą pompę, a pompowano wodę obydwoma przyrządami tak długo, dopóki nie wydobyto 35 tonn.

Para poruszająca tak pompę, jakoteż i pulzator, pracowała ciśnieniami 2, 3 i 4 atmosfer, wynik zaś pompowania, uwidocznia następująca tabliczka:

Doświadczenie	pompa parowa			pulzator		
	pracuje siłą w atmosferach					
	2	3	4	2	3	4
	tak długo dopóki do zbiornika nie dostanie się 35 tonn wody					
maszyna pracowała minut	155	153	149	127	168	160
na godzinę wyczerpano wody, tonn	13·5	$13·_{75}$	14·1	16·5	19·5	21·0
podczas całego trwania pompowania spotrzebowano kilogramów węgla z Jaworzna	82	80	85	65	68	72
podczas pompowania spotrzebowano wody w kotle, w litrach	320	310	320	237	248	260
przez spalenie 100 kilogramów węgla, wypompowano do góry, kilogramów wody	42·6	43·7	41 2	53·8	51·5	48·6
ilość obrotów pompy, względnie tętnień czyli uderzeń pulzatoru, w jednej minucie	32	33	34	48	64	80

Doświadczenia powyższe przemawiają wymownie za pulzatorem, podczas gdy do wypompowania 35 tonn wody potrzebowała pompa pracująca siłą 4 atmosfer, 85 kilogramów węgla, konsumował również silnie pracujący pulzator tylko 72 kilogramów, rozchód pary wynosił u pompy 320, u pulzatora zaś, tylko 260 kilogramów.

We wszystkich doświadczeniach uwidocznionych w tabliczce, pompowano wodę ze studni do wysokości ssania wynoszącej 5 metrów.

Zwiększa się zaś wysokość ssania, pulzator korzystnie działać przestaje, gdyż rozchód pary przewyższa rozchód w zwykłej pompie, jak to dobitnie wykazały doświadczenia wykonane na drodze żelaznej wiodącej z Berlina do Hamburga, pouczając, że do wyprowadzenia wody do wysokości 9·65 metrów, potrzebowano na godzinę i siłę konia, używając

zwykłej pompy	126
pulzatoru	235

kilogramów pary.

Inżynier *Schaltenbrandt* oblicza rozchód pary w pulzatorze, jak następuje:

Ciepłem wydanem na wytworzenie pary, sprawiono, że do góry wzniesiona woda zwiększyła swą temperaturę.

Ciepło wydane na zwiększenie temperatury wody, równać się przeto musi ciepłu, wydanemu na utworzenie pary.

Jeżeli pierwotna temperatura wody, zwiększyła się o t^0 skali Celziusza, to potrzebowano do zwiększenia temperatury kilograma wody, t kaloryi, a skoro pulzator na sekundę pompuje w kilogramów wody, wydano na sekundę wt kaloryi.

Przyjmując, że potrzeba do przeobrażenia wody mającej temperaturę zero w parę, jaką pulzator pracuje, 650 kaloryi, to wydamy tylko (650—T) kaloryi, skoro temperatura wody przeobrażonej w parę, wynosiła T stopni Celziusza.

Konsumuje pulzometr na sekundę p kilogramów pary, to wydajemy na sekundę (650—T) p kaloryi, zkąd równanie

$$(650 - T)\, p = w.\, t$$

Wyciska pulzator wodę do wysokości h metrów, a wydaje w sekundzie w kilogramów wody, to wynosi jego mechaniczna praca wh meterkilogramów, czyli $\frac{wh}{75}$ sił konia.

Wyrażając pracę tę przez a, mamy:

$$a = \frac{w.h}{75}$$

Ponieważ na sekundę, pulzator konsumuje p kilogramów pary, więc konsumować będzie na sekundę i siłę konia $\frac{p}{a}$ kilogramów, na godzinę zaś:

$$3600.\frac{p}{a} = \frac{270.000}{(650-T)}\left(\frac{t}{h}\right)$$

kilogramów.

Wyrażając konsum pary na godzinę i siłę konia, mierzony w kilogramach, przez k, mamy:

$$k = \frac{27.10^4}{(650-T)}\left(\frac{t}{h}\right) \qquad (74$$

wzór służący do obliczania rozchodu pary w pulzatorze.

Tutaj oznacza:

k... rozchód pary w kilogramach na godzinę i siłę konia.

T... temperaturę wyczerpanej wody, w stopniach skali Celziusza.

t... nadwyżkę ciepłoty, w stopniach skali Celziusza, między wodą w studni, a wodą wyczerpaną.

h... wysokość pompowania, w metrach.

Zadowalając się przybliżeniem, wstawić można za *T*, temperaturę przeciętną, wynoszącą 22°, a będzie:

$$\frac{27.10^4}{650-T} = 430$$

za pomocą której wartości, przechodzi wzór powyższy, we wzór

$$k = 430\,\frac{t}{h} \qquad (75$$

wzór służący do obliczania rozchodu pary w pulzatorze.

Przykład.

Doświadczenia inżyniera Schaltenbranda pouczają, że w pulzatorach było

$$t = 2{\cdot}89,\ 3{\cdot}29,\ 3{\cdot}30,\ 2{\cdot}90$$
$$h = 10{\cdot}18,\ 6{\cdot}00,\ 7{\cdot}50,\ 7{\cdot}00$$

w których to razach wynosi

$$k = 122,\ 235,\ 189,\ 178$$

co nas poucza, że skoro pulzator pompuje wodę do wysokości 10·18 metrów, a temperatura wyczerpanej wody przewyższa temperaturę w studni, o 2·89°C, to wynosi rozchód pary na godzinę i siłę konia, 122 kilogramów.

Zważając, że zwykła pompa potrzebuje na godzinę i siłę konia, 50 kilogramów pary widzimy, że pulzator $\frac{122}{50} = 2{\cdot}4$ więcej pary konsumuje.

Agronomiczne stowarzyszenie w Anglii sprawdziło, że podczas gdy do pewnej mechanicznej pracy potrzebuje pompa odśrodkowa, na siłę równającą się sile konia 120 kilogramów pary, pulzator konsumuje 170 kilogramów.

Następująca tabliczka zawiera wynik niektórych doświadczeń jakie wykonał w roku 1877 dyrektor *Haber* w *Ramsbek.*

wysokość od powierzchni wody aż do punktu wylewu, w metrach	ciśnienie w atmosferach, jakiem para wchodzi do pulzatora	ilość pulzacyi na minutę	ilość na minutę wyczerpanej wody, w kilogramach	konsum pary na godzinę w kilogramach	na każdą pulzacyę wydobyto wody, w kilogramach	mechaniczna praca pulzatora, w siłach konia
10 98	3·8	88·0	187·20	—	2·127	0·46
10·98	3·3	80·5	369·50	—	4·590	0·90
23 85	4·5	64·0	130 32	132·68	2·362	0 69
23·85	3·3	42·5	144·15	241·80	3·390	0·76
23·85	4·5	66·5	308·00	179·65	4·631	1 63
31·30	4·5	35·0	101·00	—	2·886	0·70
31·30	4·5	53·0	222·40	—	4·196	1·55
38·29	4·9	27·0	107·38	—	3·97	0·914
40·80	4·9	23·0	87·36	—	3·80	0·790
43·31	4·9	13·0	47·32	—	3·64	0·433

Widzimy z tej tabliczki, że im mniejszą jest wysokość pompowania, tem częściejsze są pulzacye. *Hall*, wynalazca pul atoru, buduje pulzatory, które pompując wodę do wysokości 7 metrów, pulsują na minutę 130 razy.

Im częściej pulsacyę w minucie się powtarzają, tem korzystniejszym jest skutek każdej pulsacyi.

W nowszym czasie przekonano się, że pulzatory przestają działać, skoro ciśnienie pary przekracza pewną granicę jakoteż że puszczanie pulzatora w ruch, wymaga daleko większej rutyny, niż urochomianie zwykłej pompy.

Nadmienić należy, że *Ulrich* w Berlinie, ulepszyć miał w roku 1881. pulzator o tyle, że potrafił usunąć stratę pary, powstającą przy każdem wachnięciu kulki sterniczej, oznaczonej we figurze 27 literą *k*. Sterowanie nie odbywa się już skutkiem różnicy w ciśnieniu pary na obydwie strony kulki, lecz skutkiem bezpośredniego działania pary wpuszczonej na kulkę sterniczą w stosownej chwili, z komórki ubocznej gdzie ją gromadzono.

Ulrich podaje, jakoby doświadczenie pouczyło, że ten sam pulzator, który czerpiąc wodę z głębokości 19^m przyrzuca kulkę sterniczą 42 razy na sekundę, pulzować poczena 75 razy, skoro się go odpowiednio przerobi, a przeróbka ma być tak znakomitą, że wydając kilogram pary, uzyskać można 6400 meterkilogramów mechanicznej pracy.

W nowszym czasie (1880) poczynają na kolejach drugorzędnych używać tak ssączków, jako też pulzatorów, a lokomotywy wracając do domu, dostarczają pary, potrzebnej do urochomiania tych przyrządów.

Doświadczenie drugorzędnych dróg austryackich a mianowicie kolei:

Kriegsdorf Roemerstadt	mającej długość	15
Muirzuschlag-Neuberg	„	12
Unter Drauburg-Wolfsberg	„	38
Ebersdorf-Wuirbenthal	„	21

kilometrów, pouczyło, że tak pulzator jakoteż i ssączek, konsumują więcej pary, aniżeli stale w miejscu ustawiona pompa, używając jednak pulzatorów lub ssączków, oszczędzić można obszerną i kosztowną budowę stacyi wodnych, a studnie mogą być daleko węższe, średnica bowiem 2^m wystarcza w takich razach zupełnie.

Ssączek ustawić można bezpośrednio nad powierzchnią wody, a więc w studni, pulzator zaś, stać musi wyżej, skutkiem czego na pulzator baczyć trzeba, by nie zamarzał, której to obawy przy ssączku wcale nie ma.

Doświadczenie pouczyło, że na większych stacyach wystarcza pulzator, w mniejszych zaś, ssączek służyć może, pulzator dostarcza bowiem na godzinę 20, ssączek zaś 12 tonn wody (przy tej samej ilości pary) ssączek ogrzewa wodę do 20°C, pulzator zaś, wcale jej nie ogrzewa.

Dotychczas opisane przyrządy uruchomiano siłą pary, oprócz pary używamy jednak, chociaż rzadko, także i innych sił, jak n. p. siły wody, wiatru i t. p.

Siły wody, pędzącej koła młyńskie lub turbiny, rzadko tylko używamy do pompowania wody, gdyż urządzenia podobne, wymagają warunków, którym nie wszędzie i zawsze, na drogach żelaznych zadosyć uczynić można.

Inaczej rzecz się ma ze siłą wiatru. W roku 1878 ustawiono dla próby w stacyi *Egersdorf*, niemieckiej drogi żelaznej wiodącej z Halberstadt do Magdeburga, wiatrak, który podczas słabego wiatru czerpał na sekundę 15 liter wody, wznosząc ją do wysokości metra, a praca ta, wystarcza zupełnie, gdyż wiatrak pracuje dzień i noc (bez wszelkiej usługi) wyciskując co godzinę 3·6 tonn wody do wysokości metra.

Ażeby w zbiornikach mieć zawsze podostatkiem wody, czerpie wiatrak wodę do wielkiego zbiornika, któren znów zasila mniejsze, połączone z nim rurami drewnianemi.

Rury takie nie zamarzają w zimie i wytrzymują ciśnienie 20 atmosfer, a każda z nich, ma długości 20 metrów.

W krajach, w których wiatry, wiejące ustawicznie w jednym kierunku, są zjawiskiem powszechnem, jak n. p. w Szlezwiku, tym pomiędzy dwa morza wsuniętym kraju, znajdujemy na drogach żelaznych, wiatraki w powszechnym użyciu.

Skrzydła wiatraków używanych w Szlezwiku, powleczone są płótnem, a powłoka ta, daje się z wielką łatwością ściągać i rozpinać odpowiednio do chwilowego prądu wiatru.

Wiatrak taki, kosztuje tam zwykle około 250 złr. a. w. i pędzi dwie pompy wydające razem na godzinę 8 tonn wody, wyciskając je do wysokości 15 metrów.

Nadzwyczaj małe koszta utrzymania, sprawiają, że motor ten, rozpowszechnia się tam coraz więcej. W Anglii, Francyi i Niemczech zaś, wiatraki mało tylko są używane.

Północno zachodnie amerykańskie drogi żelazne, przerzynające stany zjednoczone, a mające rozległości przeszło 200.000 kilometrów, używają wiatraków już od lat 20, a powszechne używanie, wydoskonaliło ich budowę do tego stopnia, że amerykańskie wiatraki, pracują z równą akuratnością tak podczas mocnej burzy, jakoteż podczas lekkiego przewiewu powietrza.

Wynik ten, uzyskano odpowiednią konstrukcyą skrzydeł, które zwijając lub rozścielając się, jak do siły i kierunku wiatru, umożliwiają ustawiczny, nieprzerwalny ruch pompy.

Wiatraki systemu *Haladay*, pracują siłą, równającą się sile jednego konia i wznoszą co sekundę kilogram wody do wysokości 10 metrów. Wiatraki zaś, pracujące siłą pięciu koni, dostarczają co minutę 2—3 tonn wody do wysokości 2—3 metrów.

58.

Jakość wody służącej do zasilania lokomotywy.

Wiadomo powszechnie, że woda pozostawiona dłuższy czas w otwartem naczyniu, wydziela w miarę ulatniania się, osad, opadający na ściany naczynia.

Osad taki wydziela się tem spieszniej, im lepiej woda ulatniać się może, a więc lepiej z wody wrzącej niż ze zimnej.

Osad ten, zanieczyszczający nasze samowary, a znajdujący się w znacznej ilości we wodzie karlsbadzkiej, nie znachodzi się jednak w każdej wodzie. Woda używana na kolejach szwedzkich (woda czerpana z jezior) nie zdaje się posiadać wcale żadnego osadu, maszyny służą tam bowiem powyżej 15 lat, niepotrzebując wcale oczyszczania rur płomiennych, podczas gdy maszyny służące w południowej Rossyi, częstokroć już po upływie 3 miesięcy, oczyszczać trzeba.

Doświadczenie uczy, że osad jaki się wydziela z gotującej się wody, zbija się często w kotle naszych lokomotyw, w twardą skorupę kamienną, która powleka tak rury płomienne, jakoteż i bezpośrednią powierzchnię ogrzewalną.

Niedogodności jakie dla ruchu powstają z powodu tworzenia się skorupy kotlanej, są zaś następujące:

1) Skorupa, będąc złym przewodnikiem ciepła, utrudnia przystęp ciepła do wody przeobrażać się mającej w parę, przez co do ogrzania wody wychodzi więcej paliwa.

2) Pod powłoką kamienną, rozgrzewa się blacha kotła do wysokiego stopnia, przez co znów, wytrzymałość jej, mocno cierpi.

3) Pękająca powłoka kamienna, obnarza blachę rozpaloną do żaru, na blasze, tym sposobem ogołoconej, para tak silnie i gwałtownie tworzyć się może, że ściany kotła nacisku takiego już nie wytrzymują.

4) Skorupa przylega niekiedy tak silnie do ścian kotła, że ją tylko za pomocą dłuta wydalić można, w których to razach czyszczenie kotła, staje się operacyą kosztowną i nie przyczyniającą się wcale do jego wytrzymałości.

5) Częste czyszczenie kotła, zwiększa znacznie procent w reperacyi znajdujących się maszyn, który niekiedy zwrasta do 25% wszystkich w użyciu będących lokomotyw, a okoliczność ta, wymaga utrzymywania większego taboru przewozowego.

Doświadczenie uczy, że woda zawierająca na litrę 200 miligramów ($^1/_{50}$ procent) części, tworzących po wygotowaniu osad, nie wpływa zbyt szkodliwie na ściany kotła, podczas gdy wody zawierającej w sobie $2^1/_2$ razy tyle części osadowych (500 miligramów na litrę czyli $^1/_{20}$ procent) używać już nie wypada.

Meyer przytacza, że wodę zawierającą na 10000 części 3 części osadu, uważać można jako wodę dobrą, woda zaś, zawierająca 10 części, jest już złą.

Do niedawna jeszcze nie zważano wiele na jakość wody używanej do zasilania lokomotyw, dopiero smutne doświadczenia austryackiej kolei południowej, zwróciły należytą uwagę na szkodliwość kamienia kotlanego.

Używając złej wody, wymieniać musiała kolej ta, paleniska swych maszyn już po upływie 3—$3^1/_2$ lat, podczas gdy paleniska lokomotyw zasilanych wodą dobrą, trwały 10-12 lat.

Ażeby należycie ocenić szkodliwość kamienia kotlanego, niechaj posłuży następujący przykład:

Galicyjska kolej arcyks. Albrechta, znalazła podczas budowy, w stacyi Mikołajów studnię, której woda zawierała na litrę:

soli kuchennej	20
organicznych części . . .	60
glinki	80
soli glauberskiej	100
sól wapiennych	160
gipsu	230
razem	650

miligramów.

Ponieważ litra wody, waży 1000 gramów, czyli 1000000 miligramów, więc woda powyższa zawiera, na 1000; 0·65 części.

Nie wszystek jednak zasób części stałych oddziaływa szkodliwie, 21% części zawartych we wodzie, są bowiem w niej rozpuszczalne, nie przyczyniają się przeto do tworzenia kamienia kotlannego.

W skład skorupy kotlanej wchodzić przeto mogło tylko 79% osadu zawartego we wodzie, lecz i ta ilość nie weszła całkowicie, gdyż glinka nie zbijając się w bryły, wcale nie jest szkodliwą.

Wykluczając przeto glinkę, pozostaje 0·038% stałych części, które tworzą kamień kotlanny.

Lokomotywy używane na kolei arcyksięcia Albrechta mają powierzchnię ogrzewalną, która wynosi 129□^{m}, ponieważ na metrze kwadratowym przeobrazić można 40 kilogramów wody w parę, w ciągu godziny, więc przeobraża lokomotywa 129 . 40 = 5160 kilogramów wody w ciągu godziny, lub 86 kilogramów w ciągu jednej minuty.

Podług przytoczonej analizy znachodzi się w 85 kilogramach wody

$$\frac{85 . 0·038}{100} = 0·032$$

kilogramów osadu tworzącego się co minutę.

Ponieważ osad, opada nie tylko na całej powierzchni ogrzewalnej, ale także i na dalszej połowie kotła, a obszar tej części wynosi 8·75□ metrów, więc powlecze kamień kotlany, powierzchnię

$$129 + 8·75 = 137·75$$

metrów kwadratowych.

Powłoka podobna, będąc złym przewodnikiem ciepła, rozgrzewa się daleko później niż ściany kotła, ta ostatnia rozpali się przeto do żaru, w chwili, gdy skorupa okazuje temperaturę wody.

Do żasu rozpalona blacha, przylegając do skorupy kamiennej, pocznie więc rzucać fałdy, podczas gdy skorup niezmienną pozostaje; a że fałdowanie się blachy, do wytrzymałości jej wcale się nie przyczynia, powszechnie wiadomo

Doświadczenie poucza, że blacha powleczona skorupą kamienną, poczyna już rzucać fałdy, gdy skorupa nabier grubości 3 milimetry.

Objętość, 3 milimetry grubej powłoki, wynosi zaś w naszej lokomotywie 137·75 . 0·003 = 0·41 metrów sześciennych, a ponieważ skorupa 2·46 razy jest cięższą od wody, więc ważyć będzie meter sześcienny kamienia, 2460 kilogramów, cała powłoka zaś, 2460 . 0·41 = 1008·6 kilogramów.

Ponieważ w przeciągu minuty opada 0·032 kilogramów kamienia, więc potrzeba, do utworzenia się całej wprzód spomnianej ilości:

$$\frac{1008·6}{0·032} = 31520$$

minut, czyli 525 godzin czasu.

Przypuściwszy, że lokomotywa pracuje dziennie po 12 godzin, to oczyszczać ją trzeba z osadu, w okresach czasu wynoszących

$$\frac{525}{12} = 44$$

dni.

Koszta każdorazowego oczyszczania lokomotywy z powłoki kamiennej, szacować zaś można na 500 guldenów a ponieważ rok, zawiera 8 okresów po 44 dni, więc wynoszą roczne koszta oczyszczania 8.500 = 4000 guldenów.

Co się tyczy ciepła, które pochłania powłoka kamienna, pouczają angielskie doświadczenia (inżyniera Hagen), że skorupa wapienna 25% razy gorszym jest przewodnikiem ciepła aniżeli blacha, tak więc, że skorupa mająca milimetr grubości oddziaływa tak samo, jak blacha mająca 25 milimetrów grubości.

Im grubszą jest powłoka, tém więcej ciepła trzeba do osiągnienia pewnego prężenia pary.

Kolb spostrzegł, że kocioł ustawiony w Amiens wydawał początkowo 7·5 kilogramów pary, na kilogram spalonego węgla, po upływie zaś dwóch miesięcy, przez który to czas osad się wytwarzał, spadła produkcya pary do wysokości 6·4 kilogramów.

A gdy wreszcie zważymy, że blacha rozpalona do żaru traci 75% swej pierwotnej wytrzymałości, ocenimy całą szkodliwość kamienia kotlanego.

59.

Tworzenie się kamienia kotlanego i twardość wody.

Wspomniano już, że woda pozostawiona samej sobie wydziela tem więcej osadu, im spieszniej waporuje.

Do jakiego zaś stopnia grubość osadu z czasem dochodzi, nawet w naczyniach, w których woda bardzo mało tylko się ulatnia, świadczą nam rzymskie wodociągi, z których jeden znachodzimy u nas w Austryi.

Jest to sławny wodociąg cesarza *Dyoklecyana* zbudowany w roku 305 po Chr. sprowadzający wodę źródła zwanego „Jądrem“ do stoiicy Dalmacyi.

Wspaniały ten wodociąg spadający jednostajnie $1^1/_2$ metra na 1000 metrów zniszczyli Awarowie w roku 641 do 40% całej długości.

Pozostałą resztkę mającą długości 11 kilometrów, zamyśla obecnie (1878) naprawić państwowa kolej Dalmatyńska w celu sprowadzenia źródlanej wody tak dla własnej potrzeby, jakoteż dla użytku miasta Spalato.

Woda sącząca się tym wodociągiem przez $3^1/_2$ wieków, osadziła na dnie rynny, przez czas ten powłokę kamienną mającą 14 milimetrów grubości.

Woda, która podczas gotowania *osad* wydziela, nie była wcale *mętną*, pomimo, że zawierała w sobie części, które podczas gotowania, z niej wypadły. Przed gotowaniem musiała przeto woda zawiezać w sobie ciało, w którem osad był *rozpuszczonym*, a które to ciało, podczas gotowania się wody, na zewnątrz ujść musiało. Składowe części skorupy kotlanej, będąc pozbawione ciała, w którem się rozpuszczały, z wody wypaść musiały.

Analiza chemiczna wykazała, że ciałami, które rozpuszczają w sobie części skorupy kotlanej, są *kwasy*. Ztąd jednak wnioskować nie można, jakoby woda, wydzielająca osady podczas gotowania, koniecznie kwaśną być musiała. Połączenie osadu z kwasem, nie musi bowiem koniecznie być ciałem kwaśnym; woda zawierać przeto może rozczyn osadu, nie będąc kwaśną, dopiero gdy we wodzie znachodzi się nadmiar kwasu, a więc kwas wolny, woda kwaśną będzie.

Gotowaniem wody, ulatniamy kwasy wolne, i wydzielamy kwasy związane z częściami osadowemi, tym sposobem staje się woda mniej kwaśną, skutkiem czego nie może rozpuszczać w sobie już tyle części osadowych, ile rozpuszczała przed gotowaniem.

Ażeby z góry rozpoznać, czy woda, którą do zasilania kotła lokomotywy użyć zamyślamy, zawiera w sobie części osadowe, i wiele takich części w sobie mieści, rozróżniamy kilka stopni twardości wody.

Woda, zwana „wodą twardą" zawiera w sobie wiele mineralnych części, tworzących po wygotowaniu się wody, kamień kotlany, woda zaś miękka, nie zawierając w sobie prawie żadnych części mineralnych, osadów podobnych wydzielać nie będzie.

Woda deszczowa, będzie przeto dla lokomotyw wodą najlepszą, im woda jest twardszą, tem jest gorszą, a stopień twardości służy jako miara wartości wody.

Doświadczenie uczy, że węglany i siarkany wapniowe ($Ca\,CO_3$, $Ca\,SO_4$) stanowią twardość wody, zkąd wynika, że od ilości tych domieszek, dobroć wody zależeć będzie.

Zawiera litr wody 10 miligr. wapna (lub jego równoważnika) to mówimy, że woda taka, ma jeden stopień twardości.

Wodę zawierającą 15 — 20 stopni twardości, zowiemy jeszcze wodą miękką, wody mające większy stopień twardości, a więc wody zawierające na litr więcej jak $20.10 = 200$ miligramów wapna, zowiemy wodami twardemi.

Wodę o 5 stopniach twardości, używać można bez wahania się, do ogrzewania kotłów na lokomotywie, twardsze zaś wody, oczyszczać już trzeba.

Ażeby zaś, chcąc oznaczać twardość wody, nie potrzeba było przeprowadzać kompletnej analizy, używa się często następującego sposobu.

Kwasy tłuszczowe wchodzące w skład zwykłego mydła, łączą się, wkładając mydło do twardej wody, z wapnem siarkanów lub węglanów wapiennych, zawartych we wodzie, a ponieważ połączenia te, we wodzie się nie rozpuszczają, więc na spód opadać będą.

Rozpuścimy mydło, które dodać mamy do twardej wody, celem strącania, w niej zawartego wapna, przed dodaniem, w destylowanej wodzie tak, że centimetr sześcienny tego rozczynu dodany do litry wody zawierającej w sobie 10 miligramów wapna, strąci wszystko wapno jako osad, to wnioskować będzie można, na możność osadu, z ilości centimetrów sześciennych, wypotrzebowanych mydlin.

Skoro przechowujemy takie mydliny w szklannej rurce mającej przekrój 1 = $\square^{cm}$, a rurkę podzielimy na centimetry, to odpowiadać będzie każda przedziałka rurki, jednemu stopniowi twardości wody.

Dodajemy do litry twardej wody kropla za kroplą, tak długo owych mydlin zawartych w rurce, dopóki osadu przybywać nie przestanie a wypotrzebowujemy *n* stryszków skali umieszczonej na rurce, to woda posiadać będzie *n* stopni twardości.

Chwilę, w której osadu przybywać przestaje, poznajemy zaś potem, że kropla mydlin, dodana do wody stojącej po nad strąconym już osadem, wody tej, więcej już nie zapienia.

Do wody, której twardość oznaczyć zamyślamy, dodajemy więc mydlin, kropla po kropli, za każdą kroplą, wodę zamięszujemy, po czem piana znika i osad opada, spadnie zaś kropla, niewytwarzająca już piany, to znak, że wszystko prawie wapno strąconem zostało.

Sposób ten oznaczania twardości wody, odznacza się swą prostotą, nie jest jednak zupełnie dokładnym, gdyż mydliny nie strącają wszystko wapno zawarte we wodzie, część niestrącona, pozostająca we wodzie, jest jednak tak nieznaczną, że błąd popełniony, w praktyce nie ma wielkiej doniosłości.

Dokładniej jak to może praktyka wymaga, oznaczać można ilość we wodzie zawartego wapna, strącając go szczawianem amonowym.

Szczawian amonowy [$C_2(NH_4)_2O_4$] strąca wapno *zupełnie,* podczas gdy połączenia amonu (NH_4) z kwasami węglanu lub siarkanu wapniowego (CO_2, SO_3) we wodzie się rozpuszczają.

Z ilości strąconego osadu, wyliczyć można ilość we wodzie zawartych siarkanów i węglanów wapniowych, a więc ilość osadów tworzących skorupę kotlaną.

Rozumie się samo przez się, że obydwa te sposoby dają tylko sumę węglanów i siarkanów wapniowych, nie wyszczególniając wiele się znajduje w sumie tej jednych lub drugich.

Następująca tabliczka zawiera składowe części wody, jakiej zwykle używać musimy do zasilania kotła lokomotywy.

Litr wody zawiera osadu				
części składowe	miligramów			
Kwas siarkowy......	171	216	261	361
Klorek.........	153	152	108	253
Wapno.........	256	285	322	422
Kwas azotowy......	57	52	—	56
Magnezya........	6	45	8	7
Cząstki organiczne....	94	51	38	108
razem..	737	801	737	1207

Wodę składającą się z tylu części stałych, ile wykazano w poprzedniej tabliczce, znachodzimy bardzo często; woda znajdująca się na dworcu austryackiej kolei południowej w Wiedniu, zawiera np. w litrze:

siarkanu wapniowego . .	194
węglanu wapniowego . . .	188
węglanu magniowego . . .	147
soli kuchennej	80
chlorku magniowego	30
innych przymieszek	223
razem . .	862

miligramów, mając 26° twardości.

Woda znajdująca się na dworcu kolei żelaznej w Jassach, odznacza się wielką ilością magnezyi, litra tej wody zawiera bowiem w sobie:

Ca.O	336
MgO	535
SO_3HO	553
$Na_2.O$	1013
Cl	916
razem . .	3353

miligramow, i jest wodą bardzo złą.

Również złą wodę, chociaż zawierającą w sobie inne przymieszki, znachodzimy w Odessie na dworcu drogi żelaznej Odessa-Balta.

Woda ta, zawiera na litrę:

siarkanu wapniowego	. . .	726·4
węglanu wapniowego	. . .	18·4
soli kuchennej	. . . . . .	641·9
soli Glaubera	. . . . . .	465·3
sody	. . . .	30·2
krzemionki	. . . .	100·2
węglanu magnezowego	. . .	387·6
razem	. .	2370·0

miligramów, czyli 2·37 gramów.

Analizy zaś, kamienia kotlanego zawiera następująca tabliczka.

Skorupa kotlana zawiera w procentach				
wapna	38·62	42·49	37·98	41·34
megnezyi	1·78	1·12	4·10	8·36
kwasu siarkowego	51·42	34·56	46·25	20·51
kwasu węglowego	2·01	15·31	4·56	17·61
cząstek nierozpuszczalnych .	1·43	1·48	2·95	5·29
wody uchodzącej podczas prażenia	4·60	4·92	3·49	4·89

60.

Środki zaradcze przeciw tworzeniu się kamienia kotlanego.

Poznawszy szkodliwość kamienia kotlanego, myślano o środkach zaradczych. W początkach, gdy jeszcze składu kamienia kotlanego nie znano, używano do oczyszczania wody najrozmaitszych środków, a liczba ich, wzrastała tem więcej, im mocniej ruch się rozwijał, gdyż z ruchem, coraz więcej dróg żelaznych przybywało.

Jakich zaś środków używano przeciw tworzeniu się kamienia kotlanego, służyć może fakt, że nie gardzono przymieszkami jak n. p. sadzą, mydłem, kredą, smołą, naftą, krochmalem, piwem, węglem a nawet i polanami drzewa.

Poszukiwania, mające na celu wykrycie środka zaradczego przeciw tworzeniu się kamienia, nabrały dopiero wtedy cechę umiejętną, gdy poczęto porównywać analizy wód, z analizami wydzielonych osadów.

Poszukiwania te, pouczyły, że środki przeciwko tworzeniu się kamienia kotlanego, podzielić się dają na cztery kategorye a mianowicie na środki:

1. Uniemożliwiające zbijanie się osadu kotlanego, w twardą skorupę.
2. Rozkładające kamień kotlany na części rozpuszczalne w wodzie.
3. Dozwalające się gromadzić osadowi w pewnych tylko z góry oznaczonych punktach.
4. Umożliwiające strącanie osadu, jeszcze przed użyciem wody w lokomotywie, a więc oczyszczanie wody w zbiornikach.

Do środków zaradczych, należących do pierwszej kategoryi, zaliczamy wszystkie przymieszki zawierające w sobie glycerynę, lub wytwarzając takową, sprawiające, że glyceryna zasklepia opadające cząstki osadowe, przez co w miejsce twardej a szkodliwej skorupy, powstaje nieszkodliwa mączka, którą łatwo wydalić można.

Przymieszki takie są: kartofle, krochmal, cukier etc.

Do rzędu środków rozpuszczających osady chemicznie, zaliczamy wszystkie kwasy, sodę, potaż, korę dębową, sole stroncianu, a przedewszystkiem chlorek amonowy NH_4Cl), czyli salmiak.

Ilość podobnych przymieszek zależy naturalnie od ilości gipsu znajdującego się w wodzie, a oznaczyć ją łatwo, zważając, że do rozkładu 100 części ubezwodnionego gipsu potrzeba 78 części kalcynowanej sody.

Używając zamiast sody, potażu, stroncyanu, lub innych przymieszek, uwzględnić trzeba równoważniki ich chemiczne.

Równoważniki zaś, są dla:

potażu	866
sody palonęj . . .	667
chlorku amonowego .	670
węglanu amonowego .	1483
sody krystalizowanej .	1792

i t. p.

co znaczy, że z jednakowym skutkiem użyć można zamiast 866 części potażu, 667 części sody palonej, 670 części chlorku amonowego i t. p.

W nowszych czasach pojawiają się domieszki, tak zwane antikrustacyjne, jak np. paralitykon, proszek pana Marohn, May i t. p.

Chemiczna analiza wykazuje skład tych proszków jak następuje:

Proszek pana Marohn.

chlorek barowy	($Ba\,Cl_2$)...	74·10
chlorek amonowy	($NH_4\,Cl$)...	12·37
ochr żelazowy*)	....	10·01
woda	....	3·52
		100·00

Proszek p. May.

wodnik wapniowy	($Ca\,H_2O_2$).	56·03
tlenek wapniowy	(CaO).....	9·46
węglan wapniowy	($Ca\,CO_3$)..	22·45
magnezya	($Mg\,O$)....	0·82
tlenek żelazowy	($Fe_2\,O_3$)...	2·60
tlenek glinowy	($Al_2\,O_3$)...	4·03
piasek	....	1·10
chlor i alkalia	....	3·51
		100·00

Paralitykon.

węglan wapniowy	($Ca\,CO_3$)..	41·05
wodnik wapniowy	($Ca\,H_2O_2$).	5·18
magnezya	($Mg\,O$)....	0·62
wodnik sodowy	($Na\,H_2O_2$).	22:60
siarkan sodowy	($Na_2\,SO_4$).	6·67
chlorek sodowy	($Na\,Cl$)....	4·64
karuk	....	4·12
części nierozpuszczalne	....	0·41
wody	....	13·56
		98·85

Środki zaradcze należące do trzeciej kategoryi, tak zwane środki działające mechanicznie, sprawiają, że osad wytwarzający się w kotle lokomotywy, w miarę wygotowywania się wody, nie opada na całej powierzchni zwilżonej wodą, lecz tylko w pewnych, z góry jako miejsce opadu oznaczonych punktach, tejże powierzchni.

---

*) Ochr żelazowy, jest to glinka zanieczyszczona wodnikiem żelazowym.

Chcąc sprawić aby osady opadały tylko w pewnych punktach, starać się trzeba, aby uzyskać w kotle miejsca, które podczas ogólnego ruchu gotującej się wody, w spoczynku pozostają.

W naczyniu, ustawionym w takim miejscu, ogólnej ciszy, gromadzić się będzie mączka oprowadzana w kotle, ogólnym ruchem gotującej się wody, a ponieważ naczynie to, po napełnieniu się osadem, z kotła wyjąć można, zastępując go próżnem, więc i osad bez uszkodzenia kotła, wydalać można.

Doświadczenie pouczyło, że wstawiając do kotła naczynie płaskie, tem samem stwarzamy miejsca ogólnej ciszy, krążąca woda odbijając się o ściany naczynia, osadza w nim bowiem swe części stałe, w formie miałkiej mączki. Przyrządy odpowiednie, zbudowane przez panów *Lipser* i *Friedman* (1872) poczynają się już rozpowszechniać.

Środki zaradcze, należące do czwartej kategoryi, t. j. sposoby dozwalające oczyszczanie wody ze szkodliwych osadów, jeszcze w tenderze lub w zbiornikach, a więc przed dostaniem się do kotła lokomotywy, mają dla praktyki największą doniosłość.

Ponieważ lokomotywa zasila się wodą podczas swej jazdy w różnych stacyach, a woda nie we wszystkich jest jednaką, więc też przymieszki odpowiadające pewnemu tylko składowi wody, być skutecznemi nie mogą, dla wody, mającej skład inny.

Z powodu tego, a mianowicie z przyczyn licznych doświadczeń złożonych na zgromadzeniach związkowych dróg żelaznych w latach 1865 i 1874, wykazujących, że na żaden z dotąd wymienionych środków, bezwarunkowo spuszczać się nie można, zarzucono obecnie, prawie wszystkie środki oczyszczające wodę w kotle, i rzucono się na oczyszczanie wody, nim jeszcze do kotła się dostaje.

Oczyszczać więc można wodę w tenderze lub też w zbiornikach, z których woda do tendera się dostaje.

Najprostszym sposobem oczyszczania wody w *tenderze*, jest ogrzewanie tam nagromadzonej wody do 100°C. nim się ją sprowadzi do wnętrza kotła.

Zużyta w cylindrach para, mogłaby ku temu celowi stosownie być użytą, gdyby ssączki wodę tak mocno ogrzaną wyciągać mogły.

Dawniej, tj. przed zaprowadzeniem ssączków, przeprowadzano wodę z tendera do kotła, używając małych, biegiem maszyny uruchomianych pomp, pompy takie, wciskały wodę do kotła, bez względu na to, czy była gorącą lub zimną, a nie uskarzano się też dawniej tyle na kamień kotlany jak obecnie.

Z zaprowadzeniem ssączków, znikły dawne pompy, czem znów pozbyto się możebności pompowania wody gorącej.

Mając powyższe okoliczności na uwadze, proponuje też (1880) pan *Gross*, szef warsztatów węgierskiej kolei północno-wscdodniej, osadzać na lokomotywie dawniejsze pompy, a obok nich ustawiać ssączki, aby kocioł módz także i wtedy zasiłać, gdy maszyna w miejscu stoi.

Tym sposobem dostawaćby się mogła do wnętrza kotła woda wrząca, a więc woda niezawierająca już w sobie prawie żadnego kamienia, przy czem by także i na paliwie szczędzono, gdyż ciepło uchodzące z parą, zużyte by być mogło do ogrzewania wody w tenderze.

Co się tyczy oczyszczania wody w *zbiornikach*, zauważać należy, że obecnie na niektórych drogach żelaznych, znachodzimy obszernie założone fabryki, w których oczyszczanie wody odbywa się na wielkie rozmiary.

W fabrykach takich, oczyszcza się wodę zwykle na jeden, z pięciu następnie wyszczególnionych sposobów.

1. za pomocą wapna, (metoda Clarka);
2. wapna i sody, (metoda Szulca);
3. za pomocą wody wapiennej i sody, (metoda Beranger);
4. mleka wapiennego i chlorbarium, (metoda Haën);
5. magnezyi, (metoda Bohlig).

Sposoby oczyszczania wody panów Haën i Beranger a mianowicie ulepszoną metodę ostatniego, znaną pod nazwą metody *Beranger* i *Stingl* znachodzimy najczęściej w używaniu.

Na drogach żelaznyeh, należących do związku niemieckiego, znachodzimy obecnie (1878) tak metodę *Haën*, jakoteż i metodę *Beranger*.

Obydwie metody, wymagają osobnego oczyszczania wody z węglanu wapniowego, a odrębnego ze siarkanu wapniowego.

Na austryackiej drodze, tak zwanej kolei południowej, gdzie pan Beranger obecnie jest inspektorem, oczyszcza się woda tylko z węglanu wapniowego ($Ca . CO_3$) podczas gdy gips i magnezya w niej pozostają.

Dodając do wody, wapna gryzącego, wytwarzamy węglan wapniowy, który wraz ze wszystkiemi już we wodzie znajdującemi się węglanami wapniowemi, na dół opada, gdyż woda kwaśna, będąc zobojętnioną wapnem gryzącem, wapniów więcej rozpuszczać nie może.

Ponieważ osad potrzebuje długiego czasu zanim opadnie, więc, chcąc w krótkim czasie oczyszczać znaczne ilości wody, mieć trzeba zbiorniki wielkie, i posługiwać się machiną parową, któraby w odpowiednim czasie dostarczała odpowiednią ilość oczyszczać się mającej wody.

W naczyniu, w którem wodę zmięszano z proszkiem osad strącającym, nie pozostawia się już wody by się uklarowała, lecz odprowadza się mięszaninę do innych na uboczu ustawionych kadzi, używając wypróżnione naczynie, do mięszania nowej wody, którą znów rozprowadza się do naczyń, w których osad opada.

Chcąc przyspieszyć klarowanie się wody w kadziach, przecedza się wodę przez warstwy hyblowin i koksu. Sole, strącone pozostając w tych warstwach cedniczych, sprawiają, że do zbiorników czysta prawie woda odchodzi.

Klarowanie podobne, ustawiła kolej południowa w stacyi:

Moedling	w roku	1869
Wiedeń	„ „	1870
Voeslau	„ „	1873

a związek niemiecki dróg żelaznych, uznał w roku 1874, metody oczyszczania wody sposobem panów Beranger i Haën, jako najwięcej odpowiedne.

We Wiedniu n. p. gdzie kolej południowa oczyszcza dziennie 500—550 metrów sześciennych wody, ustawiono 12 naczyń cedniczych, a każde z nich, ma metr średnicy i tyleż wysokości.

Warstwy koksu i hyblowin, znajdujące się w każdem z tych naczyń, odnawiać trzeba co 8—10 dni, a przyrząd całkowity tj. kadź do mieszania oczyszczać się mającej wody, zbiorniki cednicze, rury, pompy i t. p. kosztują w stacyi Wiedniu 10.000 złr. w. a. koszta oczyszczania zaś, wynoszą na każdą tonnę wody, $3^1/_2$ cent.

Sposób czyszczenia wody metodą panów Stingl i Beranger, patentowano w całej niemal Europie, klarownie ich systemu, znachodzimy bowiem oprócz na mejscach wymienionych, także jeszcze w Moskwie, Lyonie, Bielefeld (Anglii), Dreznie, Lipsku, Lublanach i t. p.

Używając tego sposobu, oczyszczać możemy wodę jak do gatunku z 30 do 3 stopni twardości.

mająca części składowe	woda używana do ogrzewania kotłów ustawionych na stacyi Wiedeń, zawiera w sobie na litrę, przed oczyszczaniu sposobem Beranger, miligramów	Wiedeń po	Voeslau przed	Voeslau po	Florisdorf przed	Florisdorf po
$Ca. SO_4$.....	194	168	45	—	31	21
$Ca CO_3$.....	188	3	193	7	131	18
$Mg CO_3$.....	147	2	98	—	69	41
Na. Cl......	80	82	6	30	—	—
Mg. Cl......	30	29	15	—	—	—
$Mg. SO_4$....	—	—	92	—	—	—
$Na SO_4$.....	—	—	—	162	—	—
Mg. O......	—	—	—	19	—	—
diverse......	223	176	—	—	4	39
Suma...	862	460	449	218	235	119
twardość	26	$8^1/_2$	28	3	—	—

Widzimy więc, że sposobem panów Stingl i Beranger oczyszczać można wodę prawie zupełnie z osadów szkodliwych. Oczyszczaniem, wprowadzamy wprawdzie do wody oczyszczonej, nieco soli kuchennej i soli glaubera, przymieszki te, nie są jednak szkodliwemi.

Sposób opisany więcej jest rozpowszechnionym od metody pana Haën używanej przeważnie na drogach żelaznych w Turyngii.

Metoda pana Haën, odznacza się korzystnie od metody Beranger tem, że nie wymaga wcale żadnych naczyń cedniczych, gdyż wytwarza osad ziarnisty i ciężki, który bardzo spiesznie opada, tak, że woda długo klarować się nie potrzebuje.

Metoda pana Haën wymaga za to pewnej zręczności robotnika, gdyż ziarnisty osad, tylko pod pewnemi okolicznościami, prędko do ziemi opada, jakoteż, pozostawia we wodzie chlorydy, które na blachę kotła szkodliwie odziaływują.

Ażeby ocenić, o ile sposobem pana Haën, wodę z osadów oswobodzić można, niech posłuży następująca tabliczka:

woda używana do ogrzewania kotłów lokomotywy				
części składowe	w stacyi kolei			
	Erfurt		Weissenfels	
	zawiera na litrę			
	przed	po	przed	po
	oczyszczeniu, metodą Haën kilogramów osadu			
Ca. CO_3	250	—	250	—
Ca SO_4	230	—	310	—
Mg CO_3	50	—	—	—
Ca Cl	—	320	—	300
CaO	—	70	—	80
razem . .	530	390	560	380

Widzimy więc, że metodą pana Haën oczyszczamy wodę zupełnie z węglanów i siarkanów wapniowych (Ca Co_3, Ca SO_4) wprowadzamy natomiast do niej wapna chlorkowego (Ca Cl) i wapna gryzącego (Ca O), którego przedtem we wodzie wcale nie było.

Co się tyczy metody pana *Bohlig*, który do oczyszczania wody używa magnezyi, wykazały doświadczenia pana *Günsberga* we Lwowie, że sposobem tym, wody, zwłaszcza gdy zawiera alkalie, tak oczyścić niepodobna, jakby tó sobie życzyć można.

Metody *Clarka* i *Szulca* oczyszczają zaś wodę daleko lepiej, lecz nie są tak rozpowszechnione jak klarownie Berangera i Haën; z których pierwsza na wiedeńskiej wystawie (1873) wybornie funkcyonowała.

61.

O paliwie w ogólności.

Paliwo, zapomocą którego przeobrażamy wodę w parę potrzebną do utrzymania ruchu pociągów na drogach żelaznych, odgrywa wielką rolę, wydatki bowiem na zaopatrzenie się paliwem, wynoszą na drogach żelaznych, bardzo znaczne sumy.

Tak n. p. wypotrzebowały owe 15.000 lokomotyw, które biegały w roku 1878 na 115 kolejach należących do związku niemieckiego dróg żelaznych, paliwa, we wartości 60 milonów guldenów, spalono bowiem bezmała 4 miliony tonn węgla.

Gdyby z węgla tego, usypano wał, mający metr szerokości i tyleż wysokości, to wał ten, ciągnąłby się wzdłuż całej długości owych 115 kolei, przedstawiających pasmo 53.737 kilometrów długie, wałem tym, otoczyć by przeto można całą ziemię naszą, bo obwód jej, wynosi tylko 40.000 kilometrów.

Od dobroci paliwa, zależy regularne prowadzenie, a czasem nawet i bezpieczeństwo ruchu, dla tego też, każda kolej zastanawiać się winna nad wyborem paliwa; ku temu celowi wybiera się zazwyczaj linię mającą ile możności wzniesienia jednostajne, na linii takiej, puszcza się w ruch pociągi obciążone możebnie najlepiej, prowadząc je jednakowemi maszynami jednako śpiesznie i mierzając dla każdego pociągu, tak rozchód paliwa, jakoteż i ilość wody, przeobrażonej w parę.

Stosunek w parę przeobrażonej wody, do ilości wypotrzebowanego paliwa, wyrażać będzie *wartość opałową* próbowanego paliwa, im mniej wychodzi paliwa na pewną ilość wygotowanej wody, tem lepszem będzie paliwo. Obierając materyał opałowy, nie pytamy więc o cenę jednostki jego ciężaru, lecz pytamy, ile wody jednostka ciężaru paliwa przeobraża w parę. Niepalne przymieszki pozostające po spaleniu w popielnicy, odgrywają wprawdzie podrzędną tylko rolę zbyt wielka ich ilość sprawić jednak może, że paliwo pomimo odpowiedniej ceny, przecież praktycznem nie będzie. Doświadczenie uczy, że paliwo, pozostawiając po wypaleniu 20% popiołu, do ogrzewania lokomotyw z korzyścią użyć się nie daje, paliwo wydające 12% popiołu, należy już do rzędu paliw gorszych.

Po przeprowadzeniu odpowiednich prób, wykaże się, które paliwo odpowiada najlepiej, a paliwo to, bez względu na jego cenę, obrać wypada jako materyał opałowy. Cena, rozstrzygać winna dopiero wtedy, gdy chodzi o wybór między jednako dobremi paliwami.

Nie każde paliwo zawiera w sobie jednakową ilość ciepła, a ponieważ do otrzymania ciepła, tylko *węgiel* (C) i *wód* (O) się przyczyniają, wszystkie zaś inne składniki, same ogrzewane być muszą, więc używamy do ogrzewania wody takich tylko materyałów, które jak najwięcej wodu i węgla w sobie zawierają, a ciałem takiem, jest jedynie *włókno roślinne*, zwane *celulozą*, której budowę wyrażają chemicy wzorem

$$C_{12}\ H_{12}\ O_{12}$$

wykazując zarazem, że celuloza zawiera w 100 częściach

węgla	44·4
tlenu	49·4
wodu	6·2
razem	100·0

Następująca tabliczka uwidocznia składniki rozmaitego paliwa.

Materyał opałowy								
gatunek	ciężar gatunkowy	zawiera w sobie na 100 części						wydaje na kilogram wagi, kaloryi
		węgla	wodu	popiołu	wody			
					chemicznie związanej	hygroskopijnej		
suche drzewo.....	0·55	40	—	1	39	20		3232
sztucznie wysuszane drzewo.....	0·8	50	—	1	49	—		4040
węgiel brunatny...	1·2	45	1	5	29	20		3980
węgiel czarn. zwykły	1·3	69	3	5	18	5		6608
„ „ dobry.	1·25	78	4	5	8	5		7680
Antracyt	1·5	90	3	2	2	3		8305
torf surowy.......	0·3	42·5	1·5	5	26	25		3950
„ prasowany....	0·9	48	1·6	2	30·4	18		4430

62.

Wartość opałowa paliwa.

W poprzednim paragrafie przytoczona tabliczka poucza, że każde paliwo posiada inną ilość *węgla* i *wodu*, że więc wartość jego jako materyał służący do ogrzewania wody, jednakową być nie może. Ponieważ ilość ciepła, którą paliwo wydaje, wartość jego opałową stanowi, więc liczby wyrażające ~~kategorye~~, służyć mogą do porównywania różnych

kalorye

gatunków paliwa między sobą. Z tej przyczyny nabiera wyznaczanie ilości ciepła, które paliwo, paląc się, wydaje praktycznej wartości.

Najbliżej leżąca myśl oznaczania wartości kalorycznej polega w tem, że się mierza ciepło, które otrzymujemy, spalając paliwo na ruszcie. Ciepło, które na ruszcie płonące paliwo wydaje, mierzyć zaś można ilością wody, która owem ciepłem zagrzać się daje. Na podstawie tej myśli, przeprowadzili *Favre* i *Silberman*, doświadczenia w sposób następujący:

W metalowej puszce mającej około 5^{cm} szerokości, tyleż samo długości, a 10^{cm} wysokości, umieszcza się paliwo, zamykając puszkę szczelnie. Z puszki zaś samej, wychodzą dwie rury, z których, jedna dostarcza paliwu do spalenia potrzebną ilość tlenu, podczas gdy druga, odprowadza na zewnątrz spalone gazy. W puszce utrzymuje się żar tak długo, dopóki paliwo do szczętu się nie spali, otaczając ją wodą, której ciepłotę i wagę jak najdokładniej w poprzód wymierzono. Wzrośnie, po zupełnem spaleniu się paliwa, ciepłota wody, do t^0 C, a uchodzącem ciepłem ogrzano w kilogramów wody, to wypotrzebowano wt kaloryi. (Skoro rozumiemy pod kaloryą tę ilość ciepła, która jest potrzebną do podniesienia temperatury kilograma wody o jeden stopień skali Celzyusza).

Doświadczenia tych uczonych, nie mniej badania fizyków *Andrews* i *Regnault*, wykazały, że spalając kilogram chemicznie czystego węgla, zagotować można 80 kilogramów wody, mającej przed gotowaniem temperaturę zero. Do *zagotowania* kilograma wody, potrzeba przeto $\frac{1}{80}$ kilogramów węgla, do podwyższenia zaś temperatury kilograma wody, o *jeden stopień*, tylko $\frac{1/80}{100} = \frac{1}{8000}$ kilograma czyli $1/8$ grama. A ponieważ ciepło potrzebne do podniesienia temperatury kilograma wody, o jeden stopień wyżej, nazwano *kaloryą*, więc $1/8$ grama węgla, zawiera właśnie jedną kaloryę.

Gram węgla, zawiera więc w sobie 8 kaloryi, kilogr., 8000 kaloryi, lub licząc ściślej, 8080 kaloryi, jeżeli zaś węgiel nie spala się zupełnie, tak że po spaleniu pozostanie bezwodnik kwasu węglowego (CO_2), lecz tylko spala się na tlenek węgla (CO) tak zwany czad, to nie otrzymamy już z kilograma chemicznie czystego węgla 8080, lecz tylko 2380 kaloryi.

Czad (CO) spalający się na CO_2 wydaje znów 2442 kaloryi, metr sześcienny gazu świetlnego, wydaje okrągło 6500 kaloryi i t. p.

Następująca tabliczka zawiera ilości kaloryi, które otrzymać można utleniając kilogram materyału.

Cynk rozpuszczony w kwasie siarkowym (SO_3) . .	644
słoma	1860
siarka	2140
czad (CO) spalony na CO_2	2442
węgiel (C) spalony na CO (tlenek węgla)	2473
drzewo zawierające w sobie 20% wody	2800
drzewo zwykłej suchości	3000
drzewo sztucznie wysuszone	3600
torf zawierający w sobie 20% wody	3600
torf wysuszony	4000
węgiel brunatny	5000
węgiel drzewny	7000
węgiel kamienny	7200
łój	8000
wosk	8700
chemicznie czysty węgiel	8080
olej rzepakowy	9300
stearyna	9700
oliwa	9800
nafta	10200
gaz świetlny	11852
gaz bagienny	14615
wód (H)	34460

Gdyby lokomotywę opalano łojem, zamiast torfem wysuszonym, to potrzebaby było w miejsce kilograma torfu już tylko $\frac{4000}{8000} = {}^1/_2$ kilograma łoju.

Każde paliwo potrzebuje do zupełnego spalenia się pewnej tylko ilości powietrza; dostaje się do paleniska za mało powietrza, to paliwo nie spala się zupełnie, wydaje przeto mniej kaloryi, dochodzi zaś nadmiar powietrza, to wydająo dużo ciepła na ogrzewanie bezużytecznie uchodzącego powietrza, także mało kaloryi uzyskujemy.

Wyraża P ilość powietrza w kilogramach potrzebnego do zupełnego spalania się paliwa, C, H, O wyraża zaś ilość węgla, wodu i tlenu w kilogramach, zawartych w kilogramie paliwa, to wymaga kilogram paliwa do zupełnego utlenienia się, podług *Redtenbachera*,

$$P = 12{\cdot}2\ C + 38{\cdot}1 \left(H - \frac{O}{8}\right)$$

kilogramów powietrza.

Kilogram drzewa zawiera np.

0·49 kilogramów węgla (C)
0·06 „ wodu (H)
0·44 „ tlenu (O)

potrzebuje przeto do zupełnego spalenia się

$$P = 12{\cdot}2 . 0{\cdot}49 + 38{\cdot}1 \left(0{\cdot}06 - \frac{0{\cdot}44}{8}\right) = 6{\cdot}17$$

kilogramów powietrza.

W praktyce jednak ilość ta teoretycznie obliczona, okazuje się niewystarczającą, ażeby mieć pewność dokładnego procesu palenia, potrzeba używać podwójnej ilości, a więc przynajmniej 12 kilogramów powietrza.

Ponieważ do ogrzania kilograma powietrza o jeden stopień wyżej, potrzeba $^1/_4$ lub ściślej 0·237 kaloryi, to trzeba do ogrzania go, do t^0 stopni C^0, 0·237. t kaloryi. Wypotrzebowano *P* kilogramów powietrza, to wydano na to 0·237. t. P kaloryi, a ponieważ z powyższego zestawienia wiemy ile kaloryi kilogram paliwa wydaje, więc będzie, skoro *K* wyraża ilość tych kaloryi

$$K = 0{\cdot}237 . P . t$$

zkąd

$$t = \frac{K}{0{\cdot}237 . P}$$

wzór służący do obliczania temperatury płomienia, płonącego paliwa.

Spalając kilogram węgla kamiennego, który wydaje 7200 kaloryi, przy zwykłym dopływie powietrza, a więc podczas dopływu 12 kilogramów, otrzymamy temperaturę

$$t = \frac{7200}{0{\cdot}237 \times 12} = 2532^0C$$

przewiewa zaś powietrze razniej, a mianowicie tak, że szpaltami rusztu dostaje się do paliwa, 2 razy tyle, a więc 24 kilogramów powietrza, to temperatura ogrzanych gazów spadnie do połowy, a więc do wartości 1270^0, przy potrójnym przewiewie, uzyskujemy już tylko $^1/_3 \times 2532 = 844^0C$.

Widzimy więc, jak ważną jest regulacya przewiewu powietrza w ruszcie lokomotywy. (§ 13)

Znając składowe części paliwa oznaczyć się daje jego wartość opałowa, wiemy np. że w 100 kilogramach gazu bagiennego znajduje się 75% kilog. węgla a 25% wodu, to obliczamy wartość opałową gazu bagiennego, jak następuje:

Kilogram węgla wydaje 8080 kaloryi, 75 kilogramów wydadzą $8080.75 = 6.10^5$ kaloryi. Kilogram *wodu* wydaje 34460 kaloryi, 25 kilogramów wydadzą $34460.25 = 8.10^5$ kaloryi. Sto kilogramów gazu świetlnego wyda

$$10^5\,(8 + 6) = 14.10^5$$

kaloryi; kilogram gazu

$$\frac{14.10^5}{10^2}\ 14.10^3 = 14000 \text{ kaloryi.}$$

Materyały opałowe nie zawsze jednak powstają li tylko z części palnych, ale także z części, które nie tylko że nie wydają wcale żadnego ciepła, ale nadto jeszcze, ciepło konsumują. Drzewo opałowe np. składa się z *węgla* (C), *wodu* (H) i *tlenu* (O), *tlen* i *wód* wchodząc w połączenie, tworzą wodę, która nietylko że ciepła nie wydaje, ale owszem do przeobrażenia się w parę, ciepła potrzebuje. Chcąc przeto oznaczyć wartość opałową takiego paliwa, trzeba od ilości kaloryi, które wydały C i H, odciągnąć tę ilość kaloryi, którą konsumuje woda, zawarta chociażby w najsuchszem drzewie. Widzimy, że nie całą ilość wodu (H) użyć będzie można na cele ogrzewania, lecz tylko tę część, która pozostaje, po odtrąceniu części związanej z tlenem.

Ponieważ wiem, że kilogram wodu łączy się z 8 kilogramami tlenu, tworząc wodę, więc przytrzymuje każdy kilogram, w paliwie zawartego tlenu $\frac{1}{8}$ kilograma wodu. Zawiera paliwo **O** kilogramów tlenu, to ilość ta, pochłania $\frac{O}{8}$ kilogramów wodu. Zawiera paliwo H kilogramów wodu, to pozostanie w nim wolnego, t. j. z tlenem nie połączonego wodu, już tylko $\left(H - \frac{O}{8}\right)$ kilogramów.

W paliwie zawierającem

C kilogramów węgla
H „ wodu
O „ tlenu

przyczynia się do uzyskania, czyli wydania ciepła, cała ilość *C* węgla i $\left(H - \frac{O}{8}\right)$ kilogramów wodu, a ponieważ kilogram węgla wydaje 8080, kilogram wodu zaś, 34460 kaloryi, więc paliwo zawiera w sobie

$$K = 8080\,C + 34460\left(H - \frac{O}{8}\right)$$

kaloryi, lub ze względu na to, że w praktyce uzyskać można zaledwie 7500 w miejsce 8080 kaloryi, podaje *Grove:*

$$K = 7500\,C + 34500\left(H - \frac{O}{8}\right)$$

kaloryi.

Opalamy lokomotywę mokrem paliwem, zawierającem na kilogram własnej wagi, *W* kilogramów wody, to paliwo takie, konsumować będzie pewną część ciepła, które spalając się wydaje, na przeobrażanie owej wody w parę, które to ciepło tracimy, gdyż na cele ogrzewania kotła użyć go nie możemy.

Ponieważ do przeobrażenia kilograma wody w parę, potrzeba (§. 10) okrągło 640 kaloryi, więc wyda kilogram paliwa już tylko:

$$\mathbf{K = 7500\,C + 34500\left(H - \frac{O}{8}\right) - 640.W\ldots} \quad (76$$

kaloryi.

Kilogram dobrego węgla zawiera w sobie:

węgla czystego . . .	0·800
wodu	0·054
tlenu	0·071
wody	0·030
popiołu	0·045
	1·000

Wartość opałowa tego węgla wynosi przeto:
$K = 7500.0{\cdot}8 + 34500\,(0{\cdot}054 - 0{\cdot}009) - 640.0{\cdot}03 = 7533$ kaloryi.

Następująca tabliczka zawiera przeciętne składowe części rozmaitego paliwa:

P a l i w o	C	H	O
	w procentach wagi		
Antracyt	91	3	3
węgiel kamienny	80	5	10
„ brunatny	60	5	25
torf	52	5	33
drzewo	49	6	44

Jeżeli znaną jest analiza paliwa wykazująca ile wodu zostaje w połączeniu jako chemicznie uwięziona woda, ile zaś użyć można na cele ogrzewania, to w takim razie bierze się w rachubę tylko tę część wodu, która nie jest w połączeniu tworzącem wodę.

Grashof podaje następujące zestawienie:

Paliwo	C	H	H_2O	W	wydaje kaloryi K
	%				
drzewo suche	39	—	40	20	2731
torf suchy	35	1	29	25	2743
węgiel brunatny	50	$1\frac{1}{2}$	21	20	4176
„ kamienny . . .	80	4	9	3	7483
„ drzewny	85	1	3	6	7034
koks	87	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	5	7065

w tej tabliczce wyraża *C*, procent węgla chemicznie czystego, *H*, procent wodu, H_2O, procent chemicznie związanej wody, *W*, procent wilgoci czyli wody higroskopijnej. *K*, ilość kaloryi, którą wydaje kilogram paliwa.

Podług tej tabliczki wydałby kilogram węgla kamiennego:

K = 8080.0·8 + 34460.0·04 — (0·09 + 0·03) 640 = 7765 kaloryi — Grashof przyjmuje jednak tylko K = 7483.

O ile niedostateczny przewiew powietrza wpłynąć może na uzyskane ciepło, powziąć można z następującego przykładu:

Podług pana *Dulong* wydaje kilogram węgla kamiennego spalonego na tlenek węgla, 1386 kaloryi, podczas gdy spalony na bezwodnik kwasu węglowego, wydaje 7170 kaloryi.

Rozbiór dymu kominowego wykazał, że w 20·28 kilogramach kominem uchodzących gazów, znajduje się:

bezwodnika kwasu węglowego (CO_2) .	19·30
tlenku węgla (CO)	0·93
wodu (H)	0·05
razem . .	20·28

kilogramów.

Gdyby wszystek węgiel został spalony na CO_2, a wszystek wód, na wodę (H_2O), to otrzymanoby ze względu na to że w 19·30 kilogramach CO_2 znachodzi się 5·26 kilogramów C, w 0·93 kilogramach CO zaś 0·49 kilogramów C

$$(5·26 + 0·49)\ 7170 + 0·05 \times 34460 = 42950$$

kaloryi.

W rzeczywistości, nie spalił się jednak wszystek węgiel na CO_2, jak to nam zdradza ta okoliczność, że w uchodzących gazach znaleziono 0·93 kilogramów tlenku węgla (CO), jakoteż 0·05 wcale nie utlenionego wodu.

Spaleniem owej ilości paliwa uzyskano przeto nie 42950 lecz tylko:

$$5·26 \times 7170 + 0·49 \times 1386 = 38393$$

kaloryi.

Przy owem urządzeniu paleniska (a było ono wzorowe) ponosimy przeto stratę 10%, która przy mniejszym przystępie powietrza wzróść może podług *Czapuczyńskiego* do 25 a niekiedy nawet do 50%.

Schinz podaje, że wydaje kilogram

antracytu	8002
węgla kamiennego	7487
koksu	6800
węgla brunatnego suchego	5360
„ „ zawierającego 20% wody	4183
torfu suchego	4498
„ zawierającego 20% wody	3481
drzewa wysuszonego	3878
„ zawierającego 20% wody . . .	2991

kaloryi.

Bezpośrednie pomiary pouczyły, że ilość kaloryi obliczana podług wzoru numer 76 nie jest zupełnie dokładną, *węgiel* kamienny wydaje bowiem zawsze większą ilość ciepła, jak jest ta, którą otrzymujemy używając wzoru numer 76, podczas gdy ciepło wydane spalaniem *drzewa*, ze wzorem powyższym dosyć się zgadza.

Wód wchodzący w skład węgla kamiennego, uważać można jakoby nie był połączony z tlenem, całkowitą jego ilość użyć bowiem można na cele wytwarzania ciepła. W takim razie obliczać można kaloryczną wartość węgla kamiennego, wzorem

$$K = 8080.C + 34460.H \qquad (77$$

Używając tego wzoru otrzymujemy zawsze jeszcze mniej kaloryi, aniżeli węgiel kamienny rzeczywiście wydaje; doświadczenie poucza, że węgiel, wydaje o 5% więcej kaloryi aniżeli wzór powyższy wykazuje.

Nie spala się zaś węgiel zupełnie, tj. nie spala się tak, że po spaleniu powstaje bezwodnik kwasu węglowego

(CO_2), lecz tylko w tlenek węgla (CO); to w takim razie obliczać wypada wartość kaloryczną wzorem

$$K = 8080\ C_1 + 2480\ C_2 + 34460\ H \qquad (78$$

w którym wzorze wyraża

C_1 część węgla zamieniona w CO_2

C_2 „ „ „ „ CO

wyrażona w procentach całkowitej ilości węgla.

Oznaczanie wartości opałowej, z elementarnego składu paliwa wtedy tylko ma wartość, gdy próba nie była wziętą z najlepszych gatunków paliwa, gdyż w takim razie otrzymujemy liczby zanadto korzystne, które praktyka nie zatwierdza, w takich razach uważać można $^2/_3$ obliczonej wartości jako przeciętną wartość paliwa.

Chcąc rzeczy brać ściśle, nie można cznaczać wartości opałowej, ze *składników* paliwa, doświadczenie bowiem uczy, że paliwo; częstokroć wydaje więcej ciepła, aniżeli odpowiada sumie jego składowych.

Tak np. węgiel Belgijski zawiera w sobie C = 83·94, H = 4·43, O = 11·63, procent, wartość jego opałowa, powinnaby przeto być podług podanego wzoru K = 8273, podczas gdy doświadczenie uczy, że węgiel ten wydaje 9257 kajoryi.

Biorąc wreszcie na uwagę, że przeprowadzanie analizy jest sprawą często zawiłą, a przynajmniej niewygodną, starano się wyszukać sposoby do oznaczania wartości kalorycznej, nie potrzebując do tego analizy chemicznej.

Zadowalając się przybliżeniem, oznaczyć można wartość opałową paliwa z ilości w nim zawartego węgla, nie biorąc już względu na resztę jego składników.

Gdyby ważono *tlen* potrzebny do spalenia, to z ilości zużytego tlenu, wnioskowaćby można na ilość w paliwie zawartego węgla. Zamiast ważyć dopływający tlen, można paliwo żarzyć z takiem ciałem, które posiada pewną, z góry już, nam znaną ilość tlenu, a odcinając wszelki inny dopływ tlenu, z ilości zużytego tlenu, wnioskować na ilość spalonego węgla.

Tlenek ołowiu czyli *gleita*, jest np. takim ciałem, gdyby więc zmięszano torf, którego wartość opałową oznaczyć chcemy, z gleitą, a mięszaninę tę wystawiono na żar, odcinając dopływ powietrza, to tlen zawarty w gleicie, połączyłby się z węglem zawartym w torfie, a połączenie to, (tlenek węgla i bezwodnik kwasu węglowego) uchodziłoby na wewnątrz jako gaz. W naczyniu pozostałby czysty ołów i nadmiar niezużytej gleity — z ilości pozostałego ołowiu, wnioskować można na ilość zużytego tlenu, a z ilości tlenu na ilość spalonego węgla

Metodę opisaną użył po raz pierwszy francuz *Berthier* podług tej metody używanej we Francyi i Niemczech, rozdrabnia się paliwo na drobne szczątki mięszając go z gleitą (połączenie ołowiu z tlenem) biorąc na gram paliwa, 20—40 gramów gleity. Mięszanina ta, wystawiona na żar w lekko nakrytym garnku, rozkłada się w ten sposób, iż tlen wyiązany z glejty, łączy się z węglem zawartym w paliwie, tworząc gaz, podnoszący wieczko, a uchodzący na wolne powietrze; podczas gdy w naczyniu, pozostaje metaliczny ołów i nierozdzielona jeszcze glejta.

Chcąc za pomocą metody pana Berthier wyznaczyć wartość opałową paliwa, trzeba przedewszystkiem wiedzieć jakiej ilości węgla odpowiada kilogram wydzielonego ołowiu. Gleita składa się z 207 kilogramów ołowiu i 16 kilogramów tlenu; kilogram ołowiu wiąże przeto $\frac{16}{207}$ kilogramów tlenu. A ponieważ tlen uszedł jako bezwodnik kwasu węglowego (CO_2), więc odpowiada 12 kilogramom węgla, $2.16 = 32$ kilogramów tlenu, każdy kilogram tlenu wiąże przeto $\frac{12}{32}$ kilogramów węgla, a ponieważ kilogram ołowiu wymaga $\frac{16}{207}$ kilogramów tlenu, kilogram tlenu zaś $\frac{12}{32}$ kilogramów węgla, więc odpowiada kilogram ołowiu $\frac{16}{207} \cdot \frac{12}{32} = 0{\cdot}03$ kilogramom węgla. 100 kilogramów ołowiu odpowiada 3 kilogramom węgla, ilość węgla wynosi przeto 3% otrzymanego ołowiu. A ponieważ kilogram węgla wydaje 8000 kaloryi, więc 3% tej ilości będzie 240 kaloryi, każdy kilogram otrzymanego ołowiu przedstawia więc 240 kaloryi. Gdyby doświadczenie pouczyło, że kilogram prasowanego torfu, wydał 15 kilogramów ołowiu, to zawiera ów torf $15.240 = 3600$ kaloryi. Licznie wykonane doświadczenia pouczają, że kilogram spalonego węgla wydaje 34 kilogramów ołowiu. Ponieważ kilogram węgla przedstawia, licząc ściśle, 8080 kaloryi, więc odpowiada kilogramowi ołowiu $\frac{8080}{34} = 238$ zamiast 240 kaloryi. Wyraża O otrzymaną ilość ołowiu, mierzoną w kilogramach, K ilość kaloryi zawartej w kilogramie paliwa, to mamy

$$K = 238 . O \qquad (79$$

wzór do obliczania kalorycznej wartości paliwa.

Galicyjski torf z okolicy Sambora (miejsce Bylice-Czyszkie) analizowany w grudniu 1880 w zakładzie górniczym w *Brixlegg* (w Tyrolu), wydał 15·07 kilogramów ołowiu, wartość opałową tego paliwa wynosi przeto: 238.15·07 = 3586·6 lub okrągło 3580 kaloryi.

Metoda *Berthier* polega więc na przypuszczeniu, że ilość spotrzebowanego tlenu pozostaje w prostym stosunku do wartości opałowej danego ciała.

Twierdzenie powyższe nie zupełnie jest słusznem, gdyż metoda powyższa, nie uwzględnia ciepła, które powstaje z utleniania się wodu (H), a którego ciepła więcej się wytwarza, aniżeli utlenianiem węgla (C).

Dla tego też metoda *Berthier* może być zastosowaną tam, gdzie idzie o względne oznaczenie wartości opałowej różnych gatunków paliwa, mniej zaś do wyznaczania absolutnej wartości.

W nieco odmiennej myśli, polega metoda *Strohmayera*, ten znów żarzy materyał opałowy z tlenkiem miedziowym (Cu O), a wyżarzoną masę, rozpuszcza w kwasie solnym, dodając chlorku *żelazowego*, przyczem tenże działaniem miedzi (odtlenionej działaniem węgla i wodu materyału opałowego) zamienia się częściowo w chlorek *żelazawy*, który znów, za pomocą miareczkowania rozczynem chameleonu, (nadmanganianu potasowego) ilościowo oznaczyć można. Kilogram chlorku żelazawego wydaje 190·8 kaloryi.

Nie zapominać należy, że tak metoda Berthier, jakoteż sposób Stromayer, oznaczają wartość paliwa tylko z ilości w nim zawartego węgla. Obydwie metody użyć przeto będzie można wszędzie tam, gdzie chodzi o oznaczanie kalorycznej wartości paliwa, zawierającego w sobie przeważnie węgiel. Do oznaczania wartości opałowej drzewa, torfu itp. metody te, niezupełnie będą odpowiednie; chodzi zaś o oznaczanie wartości opałowej różnych gatunków węgla kamiennego, obydwie metody użyć będzie można. Anglicy nie używają jednak ani metody Berthier, ni też metody Stromayera, lecz postępują podług metody słynnego technologa pana *Karmarz*, która to metoda, tak dobrze zastosowywać się daje do drzewa, jakoteż do węgla kamiennego. Karmarz oznacza wartość opałową w ten sposób, iż mierzy ilość wody, którą w parę przeobrazić można kilogramem paliwa, spalając go na ruszcie lokomotywy. Wypotrzebowała lokomotywa, *p* kilogramów paliwa, przeobrażając w parę, *w* kilogramów wody, to wydał kilogram paliwa $\left(\frac{w}{p}\right)$ kilogramów pary, a ponieważ podług wzoru podanego pod numerem 8, do przeobrażenia kilograma wody w parę, mającą temperaturę 150°C, potrzeba 654 kaloryi, więc wydaje kilogram paliwa:

$$K = 654 \left(\frac{w}{p}\right) \tag{80}$$

kaloryi.

Doświadczenia porobione w roku 1878 na państwowych kolejach węgierskich pouczyły, że pociąg ważący 340·9 tonn, wypotrzebował podczas 153 kilometrowej drogi, 2916 kilogramów węgla kamiennego, przeobrażając 13·48 metrów sześciennych wody w parę. Mamy przeto:

$$w = 13480, \ p = 2916$$

a więc:

$$k = 654 . \frac{13480}{2916} = 3023$$

kaloryi, jako wartość opałową tam używanego węgla.

Kilogramem paliwa, uzyskano więc $\frac{13480}{2916} = 4·6$ kilogramów pary.

Hartig podaje następującą tabliczkę:

Gatunek paliwa			paliwo zawiera wody %	kilogramem paliwa uzyskać można skoro jest suche	wilgotne
				kilogramów pary	
drzewo		sosnowe	15	5·11	4·19
		dębowe		4·58	3·74
		bukowe		4·45	3·63
		grabowe		4·48	3·66
torf		gatunek 1	25	5·22	3·66
		„ 2		5·16	3 62
		„ 3		5·07	3·62
węgiel	kamienny	brunatny stary	28	5·84	3·92
		„ świeży	46	5·76	2·65
		„ brykiety	29	5·50	2·50
		czarny	5	7·84	7·40
	roślinny	drzewny	10	7·93	7·04
		torfowy	5	7·50	7·08

Zaznaczyć wypada tę ciekawą okoliczność, że pomiary wykonane metodą Karmarza, wydają zawsze nieco większą ilość kaloryi, aniżeli wykazuje analiza. *Gruner* widzi przyczynę tego zjawiska w tej okoliczności, że tylko nieulatniający się węglik, wydaje 8080 kaloryi, podczas gdy węglik lotny, zawiera ich 11214, a paliwo odznacza się często, znaczną ilością takiego węglika.

Sposób oznaczania wartości opałowej, przez spalanie oznaczonej jego wagi, pod kotłem na ruszcie lokomotywy, oznaczając jednocześnie ilość odparowanej wody, daje dokładne wyniki, ale tylko, jak to słusznie zauważał *Czapuczyński*, przy zachowaniu wszelkich ostrożności. Rozmaite jednak uboczne wpływy, których usunięcie często nie jest w naszej możności, powodują błędy, i sprowadzają niedokładność rezultatów.

Najkorzystniej jest, mówi dalej *Czapuczyński*, oznaczać wartości paliwa na drodze analitycznej i mierzać ciepło, pod kotłem płonącego paliwa. W takim razie obie próby, sprawdzając się wzajemnie, wykażą nietylko wartość i dobroć paliwa, ale zarazem zalety lub usterki w urządzeniu paleniska.

63.

Węgiel kamienny.

Węgiel kamienny będąc czystym, przedstawia wyborne paliwo, gdyż oddaje prawie cały zasób mechanicznej energii, jaki w nim nagromadziły przed wiekami promienie słoneczne. Kosztem energii słońca poruszamy więc nasze lokomotywy. A ponieważ przyroda, dar swój nagromadziła w wielkich ilościach i rozsiała go na znaczne przestrzenie ziemi naszej, więc też korzystając z tej okoliczności, używamy węgla kamiennego daleko częściej niż inne paliwa.

W Anglii używano węgla kamiennego do opału lokomotyw już od wybudowania pierwszej drogi żelaznej, w Austryi zaś, znalazły drogi żelazne, niemal lasy dziewicze, a węgla kamiennego prawie nie znano. Nie myślano też wcale o naśladowaniu Anglii, lecz używano do opału lokomotyw drzewa, którego miano podostatkiem. Dopiero gdy ceny drzewa opałowego, poszły w górę, a produkcya węgla kamiennego, coraz więcej się rozwijała, zwrócono uwagę na nowego przybysza. Rząd Austryjacki będąc w posiadaniu drogi żelaznej zwanej dzisiaj południową, poczynił w roku 1849 pierwsze próby zastąpienia drzewa opałowego, węglem kamiennym. Próby te, przeprowadzano na linii *Marburg-Spielfeld* (w Styryi) a prowadzenie ich, poruczono panu *Schleglowi*, który rozpoczął eksperymenta z dniem 5 października 1849 roku. Wynik prób, przeszedł wszelkie oczekiwania, pokazało się bowiem, że niższo-austryacki sążeń (3·4 metry sześcienne) drzewa twardego, zastąpić było można ilością 0·9 tonn węgla kamiennego. Wynik tak świetny zwrócił uwagę Rządu na skarb, jaki kraj posiada, a chcąc sprawę należycie zbadać, polecono profesorowi *Balling* w Pradze, przeprowadzenie liczniejszych, na podstawie ówczesnej wiedzy opartych prób, mających na celu wykazanie wartości opałowej węgla kamiennego, *Balling* przedłożył niebawem wyczerpujące sprawozdanie oparte na doświadczeniu 41 prób, które wykonał z wielką starannością, a elaborat jego, stał się podstawą rozporządzenia, mocą którego, używać miano węgiel kamienny jako prawidłowe paliwo dla lokomotyw kursujących na kolei południowej.

Rozróżniamy dwa gatunki węgla kamiennego, a mianowicie węgiel czarny, i węgiel brunatny. O ile skład chemiczny tych węgli od siebie się różni, wykazuje następująca tabliczka:

Węgiel	C	H	O
	%		
brunatny	74·18	5·89	19·90
czarny zwykły	76·18	5·64	18·07
" lepszy.....	90·50	5·05	4·40
antracyt	92·85	3·96	3·19

Skład chemiczny węgla kamiennego znachodzącego się w *Galicyi* uwidocznia następująca, przez pana *Germańskiego* zestawiona tabliczka:

Miejsce znachodzenia węgla:	C	H	O	N	S	HO	popiołu
	%						
powiat Chrzanowski, węgiel czarny	$67._{11}$	$4._{12}$	$16._{83}$	$0._{83}$	$3._{07}$	$12._{96}$	$8._{03}$
powiat Kołomyjski, węgiel brunatny ..	$61._{14}$	$4._{81}$	$23._{41}$	$1._{24}$	$1._{04}$	$15._{07}$	$8._{34}$
powiat Śniatyński, węgiel brunatny ..	$60._{84}$	$4._{79}$	$23._{86}$	$1._{12}$	$1._{46}$	$14._{84}$	$7._{91}$
powiat Żółkiewski, węgiel brunatny ..	$58._{27}$	$5._{35}$	$25._{92}$	$0._{97}$	$0._{83}$	$14._{53}$	$9._{45}$

Czarny węgiel, jest paliwem wybornem, podczas gdy węgla brunatnego, do ogrzewania lokomotyw prawie nie używają. Metr sześcienny węgla czarnego, waży przeciętnie 1·2—1·5 tonn, skoro węgiel, znajduje się w jednym kawałku, rozdrobiony zaś węgiel, waży na metr sześcienny

w kawałkach	0·8 tonn
w proszku	0·9 „

Co się tyczy, we węglu zawartej wody, to znachodzimy we węglu:

amerykańskim	0 — 3·1 %
angielskim	0·6 — 9·3 „
pruskim	1·0 — 7·0 „
saskim	4 — 12·0 „

Obecnie, cenimy węgiel kamienny do tego stopnia, że do opalania maszyn używamy nawet proszek pozostający przy przewozie większych kawałków. Okruszyny węgla kamiennego, zwilża się ku temu celowi wodą zawierającą jeden procent skrobi, (krochmalu) a masę tym sposobem otrzymaną, wgniata się we formy mające kształt cegły. Cegiełki takie zowiemy *brykietami*, brykieta, waży zwykle 4 kilogramy, a z jednej tonny okruszyn, otrzymać można 1·1 tonn brykiet, których wartość opałowa, jeżeli nie przewyższa wartości opałowej węgla, z którego powstały, to przynajmniej stoi z nią na równi. W nowszych czasach używają koleje żelazne, do ogrzewania swych lokomotyw, paliwa zwanego *koksem*. Koks, nie jest niczem innem, jak węglem kamiennym, z którego wydobyto części lotne, prażeniem go w naczyniach szczelnie od dopływu powietrza zamkniętych. Koks, pozostaje przy fabrykacyi gazu świetlanego, w nowszych czasach wyrabiamy go nawet umyślnie, li tylko ze względu na wielką wartość opałową, jaką się odznacza.

Co się tyczy ilości górniczo wydobywanego węgla podaje *Neuman*, że wydobyto w Europie w roku:

1860.	136·0	milionów tonn
1868.	185·1	„ „
1872.	260·0	„ „
1874.	274·3	„ „
1876.	287·4	„ „
1877	294·0	„ „
1878.	290·0	„ „

węgla kamiennego, a kopalnie węgla kamiennego całego świata, zatrudniają przeszło milion ludzi.

W jaki zaś sposób produkcya węgla na poszczególne państwa się rozdziela, powziąść można z następującego zestawienia:

Anglia	produkuje rocznie	130	milionów	tonn
Niemcy	„	46	„	„
Francya	„	17	„	„
Belgia	„	15	„	„
Austrya	„	11	„	„
reszta Europy	„	84	„	„
	razem	300		

milionów tonn węgla kamiennego.

W Galicyi zachodniej, znachodzimy rozległe pokłady węgla czarnego, kopalnie w *Jaworznie*, jakoteż w *Dąbrowie* powszechnie są znane i cenione. W wschodniej zaś części Galicyi, nie znachodzimy węgla czarnego, podczas gdy węgiel brunatny znajduje się w okolicy *Żółkwi*, *Rawy*, *Złoczowa*, *Kołomyi*, *Nowosielecy* i t. p.

Z węgla wydobywanego rocznie, wychodzi na cele przewozu na drogach żelaznych, mała tylko część, przemysł fabryczny konsumuje daleko więcej węgla, aniżeli potrzebują koleje. Następująca tabliczka zawiera niektóre tutaj należące daty.

Z rocznej produkcyi węgla kamiennego w państwie austryackim wypada przeciętnie na:

cele	%
fabryczne	55
drobnego przemysłu i opału	27
dróg żelaznych	16
żeglugi	2
razem	100

Pomimo, że austryackie drogi żelazne, konsumują tylko 16% całej produkcyi węgla kamiennego, wpływał stostopniowy rozwój dróg żelaznych, znacznie na przyrost produkcyi węgla, jak to dosadnie następujące zestawienie wykazuje:

W latach	Przyrost dróg żelaznych w kilometrach	Na kilometr kolei zwiększa się produkcya węgla o tonn:
1837 — 1841	350	700
1842 — 1846	549	500
1847 — 1851	406	700
1852 — 1856	421	2500
1857 — 1861	1454	1000
1862 — 1866	777	1100
1867 — 1871	3394	1250
1872 — 1877	3500	900

z którego zarazem widzimy, jak wielki wpływ wywarła na produkcyę węgla kamiennego, budowa dróg żelaznych: Aussig-Bodenbach, kolei Buschtechradzkiej, Berno-Rossitz i t. p. wpadająca w okres czasu 1852—1856 roku.

64.

Wartość opałowa węgla kamiennego.

Ponieważ węgiel kamienny powstaje z rozmaitych części składowych, (§. 62.) więc też wydawać będzie niejednakowe ilości ciepła. Wartość opałowa węgla kamiennego nie będzie przeto wartością stałą, lecz zależeć musi od części wchodzących w skład każdego gatunku węgla kamiennego. O ile zaś poszczególne gatunki węgla wydają kaloryi, poucza następująca tabliczka wykazująca różnice we wartości opałowej, jakie znaleziono w niektórych gatunkach austryackich węgli kamiennych:

Węgiel	kopalnia	wydaje kaloryi
brunatny	Wolfegg	3469
	Koeflach	3638
	Hrastnigg . . . . , . . .	3920
	Sagor	3952
	Cilli	4504
czarny	Jaworzno	4809
	Leoben	4840
	Kładno	5694
	Ostrawa	6210
	Steyerdorf	6450

Co się tyczy węgli *galicyjskich*, podaje *Germański*, że wartość opałowa węgla pochodzącego z powiatu:

Chrzanowskiego wynosi...... 5942
Kołomyjskiego „ 5412
Śniatyńskiego „ 5410
Żółkiewskiego „ 5449

kaloryi.

Większą doniosłość praktyczną, aniżeli liczby wyrażające wartość, opałową mają liczby, które wskazują, ile pary pewnej prężności, otrzymać można spaleniem kilograma węgla kamiennego na ruszcie lokomotywy.

Wyraża *p* ilość kilogramów pary, mającej ciepłotę 150^0 C, uzyskanej spaleniem kilograma węgla kamiennego, *a*, procent popiołu, *b*, procent wody zawartej we węglu, to wykazał *Hartig*, że dla węgli saskich, użyć można następującego wzoru empirycznego:

$$p = \frac{8 \cdot 2\,(100 - a - b) - a}{100} \ldots \quad (81$$

który to wzór, jak widzimy, nie zawisłym jest od składowych części węgla kamiennego.

Gdyby np. węgiel kamienny zawierał 20% popiołu i 10% wody, to otrzymaćby można kilogramem takiego węgla:

$$p = \frac{8{\cdot}2\,(100 - 20 - 10) - 20}{100} = 5{\cdot}5$$

kilogramów pary mającej temperaturę 150° C.

Na ruszcie maszyny parowej, stale w miejscu ustawionej, spalić będzie można w godzinie, zawsze jedną i tę samą ilość węgla kamiennego, gdyż przewiew wzniecający ogień, zawsze jest jednakowym, w lokomotywie zaś, ma się rzecz inaczej, tutaj zmienia się przewiew ze szybkością jazdy, myślećby przeto można, że im spieszniej lokomotywa biegnie, tem więcej pary z kilograma węgla uzyskać będzie można. Tak jednak nie jest, zbyt mocny przewiew porywa ze sobą znaczną ilość niedopałek, przenosząc je z paleniska do komina, a okoliczność ta sprawia, że lokomotywy biegnące spieszniej, zamiast wydawać więcej pary, mniej jej wydają. Przyjąć można, że skoro węgiel spalony na ruszcie lokomotywy, służącej do szykowania wozów na stacyi, (a więc lokomotywy poruszającej się wolniej) wydaje 100 części pary, to wyda lokomotywa:

pełniąca służbę stacyjną	100
prowadząca pociągi towarowe . .	92
„ „ osobowe . .	87
„ „ pospieszne .	83

części pary. Podług pana *Grove* przyjąć można, iż kilogram dobrego węgla, spalonego na ruszcie lokomotywy prowadzącej pociąg:

pospieszny,	przeobraża	5·00
osobowy	„	5·30
towarowy	„	5·75
ciężki w górach	„	6·00

kilogramów wody w parę prężącą siłą 8 atmosfer.

Ile zaś pary uzyskać się daje, spalając na ruszcie lokomotywy, kilogram węgla, obliczyć można w sposób następujący:

Chemia uczy, że do spalenia kilograma węgla kamiennego, wystarcza przeciętnie 11 kilogramów powietrza, ponieważ jednak nie wszystko wprowadzone powietrze użyć można na cele spalenia, więc wychodzi w praktyce do spalenia kilograma węgla 18 kilogramów powietrza. Z kilograma węgla otrzymujemy przeto po spaleniu $(18 + 1) = 19$ kilogramów gazu opałowego. Gdyby temperatura płomienia, na ruszcie palącego się węgla, wynosiła 1350^0 C, a gazy uchodzące kominem, posiadały ciepłotę 300^0 C, to wynosiłoby ciepło, użyte na cele przewozu 1350 — 300 = 1050^0 C, a ponieważ do ogrzania kilograma powietrza o jeden stopień wyżej, potrzeba $^1/_4$ kaloryi, więc potrzeba będzie do ogrzania 19 kilogramów powietrza $\frac{1}{4}.19$ kaloryi, skoro chodzi o ogrzanie o jeden stopień, do ogrzania zaś do 1050^0, potrzeba:

$$\frac{1}{4}.19.1050 = 4990$$

lub w zaokrągleniu 5000 kaloryi. Kilogramem węgla kamiennego uzyskujemy przeto tylko 5000 kaloryi, a ponieważ do uzyskania pary prężącej siłą 9 atmosfer, potrzeba na każdy kilogram przeobrażonej wody mającej temperaturę 15^0 C podług wzoru numer 9; 645 kaloryi, więc otrzymamy z kilograma węgla:

$$\frac{5000}{645} = 7^3/_4$$

kilogramów pary.

W podobny sposób przeprowadzony rachunek wykazał, że przeobrazić można kilogramem węgla pochodzącego z kopalni:

Jaworzno	4·85	kilogramów
Kładno	5·50	„
Dąbrowa	5·80	„
Ostrawa	7·25	„
Steyerdorf	7·50	„

wody w parę prężącą siłą 9 atmosfer. Zauważać należy że ilość wody, jaką przeobrazić można w parę, spalając na ruszcie lokomotywy, kilogram węgla kamiennego, zależy nie tylko od gatunku tegoż węgla, ale nadto także i od konstrukcyi rusztu.

Powyżej przytoczone liczby odnoszą się do rusztów zwyklej konstrukcyi, w nowszym czasie (1881) zjawiają się konstrukcye, z których ruszta inżynierów: *Henzel*, *Ludwig*, *Coetjes & Szulce*, i *Nepilly*, zasługują na uwagę.

Podług doświadczeń austryjackiej kolei *Dux-Bodenbach*, przeprowadzonych w październiku 1881, wypada, że używając brunatnego węgla z Czech, wydającego 3460 kalokyi przeobrazić można:

na ruszcie zwykłej konstrukcyi	3·02
„ „ systemu Henzel	3·11
„ „ „ Nepilly	4·10

kilogramów wody, w parę potrzebną do prowadzenia pociągów ciężarowych, chyżością 16 kilometrów na godzinę.

Biorąc ilość węgla, potrzebną do osiągnięcia pewnego skutku, a spalonego na ruszcie zwykłej konstrukcyi, za jednostkę rozchodu, wypada, że do osiągnięcia tegoż samego skutku, trzeba będzie, używając rusztu systemu.

$$\text{Henzel} \ldots\ldots \frac{3{\cdot}02}{3{\cdot}11}\,100 = 97\%$$

$$\text{Nepilly} \ldots\ldots \frac{3{\cdot}02}{4{\cdot}10}\,100 = 71\%$$

owej ilości węgla.

Oszczędność wynosząca $(100-71) = 29\%$ grosza, wydanego na paliwo, jest więc bardzo znaczną, a doniosłość jej poznamy, zważając że w roku 1879, wydano na opalenie każdej, na torach austryackich kolei, biegnącej lokomotywy 1831 guldenów. Ponieważ takich lokomotyw biegło 3504 sztuk, więc wynosiły koszta paliwa wydanego na prowadzenie pociągów, blizko $6^1/_2$ miliona guldenów.

Chcąc iść ostróżnie, przyjąć wypada, że kilogramem węgla kamiennego, przeobrazić można, w przecięciu 4·8 kilogramów wody w parę prężącą siłą 9 atmosfer.

Z powodu tak znacznych różnic jakie zachodzą między dobrocią rozmaitych gatunków węgla kamiennego, rozróżniać trzeba przy wydawaniu paliwa jego jakość. Aby zaś wiedzieć, ile kilogramów paliwa wydać trzeba, aby zastąpić kilogram paliwa innego, trzeba znać wartość opałową każdego paliwa z osobna, lub też wypośrodkować raz na zawsze, ekwiwalent, czyli równoważnik paliwa. W tym to celu, obiera się zazwyczaj jeden z węgli jako jednostkę pomiaru, wyznaczając wartość opałową drugich, w obranej jednostce. Galicyjska kolej Karola Ludwika, obrała np. węgiel z *Jaworzna*, jako węgiel normalny, używając następujących równoważników:

Kaloryczna wartość węgla	
z kopalni	wynosi
Jaworzno	1·00
Louisen-Glück	1·41
Wanda z Prus	1·15
węgla brunatnego	0·63

Wartość opałowa węgla z kopalni *Wandy*, przewyższa więc wartość opałową węgla, z kopalni *Jaworzna*, 1·15 razy, 100 kilogramów węgla *Wandy*, wydają więc tyle ciepła, co 115 kilogramów węgla z *Jaworzna*. Austryacka kolej północna, wypośrodkowała zaś następujące ekwiwalenta:

Czarny węgiel z Witkowic. . . .	1·00
„ „ Saarbrücken . .	1·09
„ „ Cardiff	1·05
koks z fabryki gazu świetlnego	0·80
Brykiety z Fuinfkirchen	0·80
węgiel czarny z Pilzna	0·75
„ „ z Leoben	0·70
„ „ z Fohnsdorf . . .	0·70
„ brunatny z Koeflach . . .	0·47

65.

Drzewo opałowe.

Drugie miejsce w rzędzie paliw używanych do ogrzewania lokomotyw, zajmuje *drzewo*.

Galicya posiada obecnie $3^1/_2$ miliona morgów lasu, na którym obszarze, przyrasta rocznie, 14 milionów metrów sześciennych drzewa opałowego, a ponieważ u nas, zawsze jeszcze grasują topór i piła, więc dysponować można rocznie, daleko większą ilością drzewa. Okoliczność ta sprawia, że drzewo stoi obecnie nisko jeszcze w cenie, gdy zaś dewastacye lasów ustaną, przyjdzie czas, że lokomotywy nie będziemy opalać drzewem, lecz posługiwać się poczniemy węglem kamiennym.

Opalając lokomotyw drzewem, osiągamy tę korzyść, że drzewo, nie zawierając w sobie siarki, jak zawiera węgiel kamienny, nie niszczy paleniska, używając drzewa, sprowadzamy jednak niekorzyści, które pochodzą ztąd, że drzewo wiele miejsca na tenderze zajmuje, przez co tender częściej napełniać trzeba, jakby go napełniano gdyby palono węglem. Opalanie drzewem, wymaga większej obsługi ognia, co znów koszta za sobą pociąga. Iskry, któremi komin ziaje uważać trzeba, także jako ujemną stronę opalania drzewem, którą to niedogodność jednak odpowiednią konstrukcyą kominów, usunąć można, jak to nam np. świadczy przyrząd pana *Ressig* inspektora galicyjskiej kolei Karola Ludwika, odznaczający się prostotą budowy.

Skład chemiczny drzewa opałowego, uwidocznia następująca tabliczka:

Skład chemiczny drzewa		
części składowe	sztucznie wysuszonego	na powietrzu wyschłego
	%	
węgiel	49·71	39·6
wód	6·28	4·8
tlen	42·95	34·8
azot	1·06	—
woda	—	20·0

Przyjąć można, że wysuszone drzewo zawiera w sobie:

węgla 40%
wody chemicznie związanej 40%
wody higroskopijnej 20%

Jak dalece woda hygroskopijna obniża wartość opałową drzewa, powziąść można ztąd, że podług pana *Schinz* wynosi teoretyczna wartość opałowa:

drzewa zupełnie suchego 3878
zawierającego w sobie 20% wody 2991

kaloryi.

Jako wartość opałową, drzewa jodłowego, na powietrzu wysuszonego, podaje *Windakiewicz* 3364 kalorye.

Łopuszyński przytacza, że na kolei Morszańsko-Syzrańskiej, wypotrzebowały w roku 1879, cztery pociągi towarowe kursujące w miesiącu sierpniu, razem 10545 kilogramów drzewa opałowego, 29051 kilogramów wody; kilogramem drzewa, uzyskano przeto $\frac{10545}{29051} = 2{\cdot}75$ kilogramów pary.

W listopadzie zaś kursujące 2 pociągi osobowe, wypotrzebowały 8976 kilogramów drzewa, na 16958 kilogramów wody, tak więc, że kilogramem drzewa opałowego, uzyskano już tylko $\frac{8976}{16958} = 1{\cdot}89$ kilogramów pary.

Ponieważ drzewo, z powodu składu chemicznego, jakoteż higroskopii, daleko więcej się zmienia niż węgiel, dla tego też przeobraża kilogram suchego drzewa (twardego) w najlepszym razie 5·2 kilogramów, pod mniej korzystnemi warunkami, zaś tylko 2 kilogramy wody w parę, prężącą siłą 2 atmosfer.

Kolej Karola Ludwika przyjmuje, że tonna węgla z *Jaworzna*, równa się co do ciepła:

4·27 metrom sześciennym miękkiego
2·54 „ „ twardego

drzewa.

Porównując drzewo z węglem, lepszym od węgla z kopalni *Jaworzna*, np. z węglem jak go mamy w *Steyerdorf*, lub z *koksem*, przyjąć można zgodnie z doświadczeniem kolei niemieckich, że metr sześcienny twardego drzewa, wyrównywa, co się tyczy ciepła, które wydaje, 100 kilogramom najlepszego węgla. A ponieważ do uzyskania siły, równającej się sile konia, potrzeba 2·4 kilogramów węgla, więc metr sześcienny twardego drzewa, spalonego na ruszcie lokomotywy w ciągu godziny, wydaje siłę, równającą się sile $\frac{100}{2 \cdot 4} = 40$ koni.

Porównując jednak nasze drzewo z naszym węglem, a więc drzewo grabowe z węglem z Jaworzna, przyjąć można, iż metr sześcienny drzewa, wyrównywa, co się tyczy wartości opałowej 300 kilogramom węgla, lub też, że niższo austryacki sążeń drzewa grabowego, wydaje tyle samo ciepła, ile uzyskać można, spalając tonnę węgla kamiennego z Jaworzna.

66.

Torf.

Po drzewie, następuje w rzędzie paliw używanych do opalania lokomotyw, *torf*, tam gdzie nie ma węgla kamiennego, a lasy wyrąbano, tam używają do opalania najmłodszej formacyi węgla kamiennego, tj. *torfu*. Austrya posiada znaczne torfowiska, z których największe rozciągające się na obszarze 8 mil kwadratowych, znachodzimy na granicy Węgier i Galicyi, w kotlinie Arwy. Mniej rozległe, zawsze jednak znaczne torfowiska znajdujemy w Styryi, niższej Austryi, Siedmiogrodzie, a bardzo wiele w Czechach. U nas w Galicyi, znachodzimy torfowiska w dorzeczu Wisły, Dniestru, Prutu i Seretu, jakoteż w pobliżu Lwowa, a mianowicie w Strutyniu opodal stacyi Doliny, (drogi żelaznej arcyk. Albrechta). i t. p. Pierwsze ślady używania torfu do opalania pieców, znachodzimy w Austryi, około roku 1820, w hamerniach, hutach, wapielniach i t. p. Paliwo to, nie miało jednak wówczas wielkiego znaczenia, gdyż nie miano go podostatkiem i nie umiano go używać. Dopiero w roku 1835 poczęto torf wydobywać górniczo, a działo się to w rozległych posiadłościach hrabiego Stadiona w pobliżu Wittingau (w Czechach). W fabrykach tych, które obecnie przeszły na własność księcia Madery, używano górniczo uzyskany torf do opalania licznych pieców. Za przykładem fabryk Stadiona, poszła wnet cukrownia w Tłumaczu; ta, na kontynencie największa cukrownia, urządziła wszystkie swe paleniska dla torfu, do opalania torfem jednak nieprzyszło, gdyż się okazało, że ceny drzewa były odpowiedniejsze.

Torf posiada te własność, że wzięty w stanie surowym, nie ma prawie żadnej użyteczności, dopiero przez odpowiednie obrobienie, tj. przez nadanie mu odpowiedniej formy, jakoteż przez uwolnienie go od wody, nabiera wartości. Przerabianie, czyli tak zwane prasowanie torfu, odbywa się za pomocą odpowiednio zbudowanych maszyn, z których wyroby panów *Grotian i Picau* w Berlinie, niemniej maszyny pana *Challeton* w Paryżu, uchodzą za najlepsze. Prasowaniem, sprawiamy, że metr sześcienny surowego torfu ważący 250 kilogramów, nabiera ciężaru 740 kilogramów, a torf taki, zawiera zawsze jeszcze 20% wody.

Torf wydobyty w miejscu *Bylice-Czyszki* w okolicy *Sambora*, zawiera np. podług analizy przeprowadzonej w grudniu 1880 w *Brixlegg* (w Tyrolu:)

wody	17·5%
popiołu	12·0%
kwasu krzewiowego	40·1%

Analiza wykazała zarazem, że kilogram torfu, pochodzącego:

z *Bylicy*	wydaje	3230
ze *Strutynia*	„	3580

kaloryi, podczas gdy teoretyczna wartość torfu, wynosi podług pana *Schinz*, dla torfu:

zupełnie wysuszonego	4498
zawierającego w sobie 20% wody	3481

kaloryi.

Windakiewicz, podaje wartość opałową torfu, pochodzącego:

z Nowosielicy	3279
z Strutynia	3176

kaloryi.

Ponieważ drzewo, z powodu składu chemicznego, jakoteż higroskopii, daleko więcej się zmienia niż węgiel, dla tego też przeobraża kilogram suchego drzewa (twardego) w najlepszym razie 5·2 kilogramów, pod mniej korzystnemi warunkami, zaś tylko 2 kilogramy wody w parę, prężącą siłą 2 atmosfer.

Kolej Karola Ludwika przyjmuje, że tonna węgla z *Jaworzna*, równa się co do ciepła:

4·27 metrom sześciennym miękkiego
2·54 „ „ twardego

drzewa.

Porównując drzewo z węglem, lepszym od węgla z kopalni *Jaworzna*, np. z węglem jak go mamy w *Steyerdorf*, lub z *koksem*, przyjąć można zgodnie z doświadczeniem kolei niemieckich, że metr sześcienny twardego drzewa, wyrównywa, co się tyczy ciepła, które wydaje, 100 kilogramom najlepszego węgla. A ponieważ do uzyskania siły, równającej się sile konia, potrzeba 2·4 kilogramów węgla, więc metr sześcienny twardego drzewa, spalonego na ruszcie lokomotywy w ciągu godziny, wydaje siłę, równającą się sile $\frac{100}{2{\cdot}4} = 40$ koni.

Porównując jednak nasze drzewo z naszym węglem, a więc drzewo grabowe z węglem z Jaworzna, przyjąć można, iż metr sześcienny drzewa, wyrównywa, co się tyczy wartości opałowej 300 kilogramom węgla, lub też, że niższo austryacki sążeń drzewa grabowego, wydaje tyle samo ciepła, ile uzyskać można, spalając tonnę węgla kamiennego z Jaworzna.

66.

Torf.

Po drzewie, następuje w rzędzie paliw używanych do opalania lokomotyw, *torf*, tam gdzie nie ma węgla kamiennego, a lasy wyrąbano, tam używają do opalania najmłodszej formacyi węgla kamiennego, tj. *torfu*. Austrya posiada znaczne torfowiska, z których największe rozciągające się na obszarze 8 mil kwadratowych, znachodzimy na granicy Węgier i Galicyi, w kotlinie Arwy. Mniej rozległe, zawsze jednak znaczne torfowiska znajdujemy w Styryi, niższej Austryi, Siedmiogrodzie, a bardzo wiele w Czechach. U nas w Galicyi, znachodzimy torfowiska w dorzeczu Wisły, Dniestru, Prutu i Seretu, jakoteż w pobliżu Lwowa, a mianowicie w Strutyniu opodal stacyi Doliny, (drogi żelaznej arcyk. Albrechta). i t. p. Pierwsze ślady używania torfu do opalania pieców, znachodzimy w Austryi, około roku 1820, w hamerniach, hutach, wapielniach i t. p. Paliwo to, nie miało jednak wówczas wielkiego znaczenia, gdyż nie miano go podostatkiem i nie umiano go używać. Dopiero w roku 1835 poczęto torf wydobywać górniczo, a działo się to w rozległych posiadłościach hrabiego Stadiona w pobliżu Wittingau (w Czechach). W fabrykach tych, które obecnie przeszły na własność księcia Madery, używano górniczo uzyskany torf do opalania licznych pieców. Za przykładem fabryk Stadiona, poszła wnet cukrownia w Tłumaczu; ta, na kontynencie największa cukrownia, urządziła wszystkie swe paleniska dla torfu, do opalania torfem jednak nieprzyszło, gdyż się okazało, że ceny drzewa były odpowiedniejsze.

Torf posiada te własność, że wzięty w stanie surowym, nie ma prawie żadnej użyteczności, dopiero przez odpowiednie obrobienie, tj. przez nadanie mu odpowiedniej formy, jakoteż przez uwolnienie go od wody, nabiera wartości. Przerabianie, czyli tak zwane prasowanie torfu, odbywa się za pomocą odpowiednio zbudowanych maszyn, z których wyroby panów *Grotian i Picau* w Berlinie, niemniej maszyny pana *Challeton* w Paryżu, uchodzą za najlepsze. Prasowaniem, sprawiamy, że metr sześcienny surowego torfu ważący 250 kilogramów, nabiera ciężaru 740 kilogramów, a torf taki, zawiera zawsze jeszcze 20% wody.

Torf wydobyty w miejscu *Bylice Czyszki* w okolicy *Sambora*, zawiera np. podług analizy przeprowadzonej w grudniu 1880 w *Brixlegg* (w Tyrolu:)

wody . . . . 17·5%
popiołu . . . . 12·0%
kwasu krzewiowego . . . . . . 40·1%

Analiza wykazała zarazem, że kilogram torfu, pochodzącego:

z *Bylicy* wydaje 3230
ze *Strutynia* „ 3580

kaloryi, podczas gdy teoretyczna wartość torfu, wynosi podług pana *Schinz*, dla torfu:

zupełnie wysuszonego 4498
zawierającego w sobie 20% wody 3481

kaloryi.

Windakiewicz, podaje wartość opałową torfu, pochodzącego:

z Nowosielicy 3279
z Strutynia 3176

kaloryi.

Podług doświadczeń pana *Regnault*, zawiera torf francuski, następujące części składowe:

Gatunek	węgla	wodu	tlenu	popiołu	kaloryi
1	57·05	5·63	31·75	5·58	5196
2	58·09	5·93	31·37	4·61	5396
3	57·79	6·11	30·97	5·33	5461
przeciętnie . .	57·65	5·89	31·37	5·17	5351

Opierając się na licznie przeprowadzonych analizach rozmaitych gatunków torfu, przyjąć można, że torf zawiera w sobie w przecięciu:

węgla . . . . 52—66%
wodu . . . . 5— 8%
tlenu . . . . 28—40%
azotu . . . . 0— 3%
wody . . . . 8—20%

Następująca tabliczka uwidocznia składowe części rozmaitych gatunków torfu:

<table>
<tr><th rowspan="3">Kopany w</th><th colspan="6">Torf</th></tr>
<tr><th colspan="6">zawiera w 100 częściach</th></tr>
<tr><th>C</th><th>H</th><th>N</th><th>O</th><th>wody</th><th>popiołu</th></tr>
<tr><td>Irlandii . . . . . .</td><td>51·05</td><td>6·85</td><td>1·60</td><td>37·95</td><td>10·00</td><td>2·55</td></tr>
<tr><td>okolicy Renu . . .</td><td>62·15</td><td>6·29</td><td>1·66</td><td>27·20</td><td>16·70</td><td>2·70</td></tr>
<tr><td>Prusach . . . . . .</td><td>55·01</td><td>5·36</td><td colspan="2">31·44</td><td>15·00</td><td>8·20</td></tr>
<tr><td>Holandyi . . . . . .</td><td>50·85</td><td>4·64</td><td colspan="2">30·25</td><td>—</td><td>14·25</td></tr>
<tr><td>Berlinie . . . . . .</td><td>56·43</td><td>5·32</td><td colspan="2">38·55</td><td>17·00</td><td>9·86</td></tr>
<tr><td>Hamburgu . . . . .</td><td>57·20</td><td>5·32</td><td colspan="2">37·56</td><td>19·00</td><td>2·31</td></tr>
<tr><td>Newchatel . . . . .</td><td>46·78</td><td>4·38</td><td colspan="2">28·56</td><td>16·00</td><td>20·28</td></tr>
<tr><td>Bremen . . . . . .</td><td>57·84</td><td>5·85</td><td>0·95</td><td>32·76</td><td>—</td><td>2·60</td></tr>
<tr><td>Würtembergu . . .</td><td>53·59</td><td>5·60</td><td>2·71</td><td>30·32</td><td>20·00</td><td>8·10</td></tr>
</table>

Chociaż torf, dawno już znano, przecież dopiero w nowszych czasach używać go poczęto do opalania kotłów na lokomotywach, pierwsze w tej mierze próby, poczyniono w roku 1843 na kolejach Brunszwickich, póżniej w roku 1844 na kolejach Bawarskich, lecz próby te, nie wypadły korzystnie. Całą praktyczną wartość torfu, wykazały dopiero, obszerne a starannie przeprowadzone próby, na kolejach państwowych w Bararyi, które trwały od roku 1845 aż do roku 1855. Doświadczenia, nabyte w owych dziesięciu latach, pouczyły jak się obchodzić trzeba z torfem, chcąc go używać do opalania lokomotyw. Za przykładem państwowej kolei w Bawaryi, poszły wnet koleje Wirtembergskie i prywatne bawarskie, nareszcie Oldenburgskie, zaprowadzając u siebie torf, jako jedyne paliwo, dla swych lokomotyw, inne ani koleje, używają tam tylko torfu, gdzie nie ma węgla i drzewa.

Torf, jako paliwo dla lokomotyw, posiada pewne zalety, ma jednak także i ujemne strony, do pierwszych zaliczamy, palenie się jednostajne i nieobecność siarki, oddziaływającej szkodliwie na ściany paleniska, które to zalety sprawiają, że lokomotywa opalana torfem, biedz może 30—38000 kilometrów, zanim reparacya okaże się być potrzebną, podczas gdy maszyny ogrzewane węglem kamiennym już po przebyciu 23000 kilometrów drogi, do rewizyi odstawione być winny.

Jako ujemne strony opalania lokomotyw torfem, uważać zaś trzeba co następuje:

Torf, zostawia po spaleniu znaczną ilość popiołu, która czasami dochodzi do 60%, w których to razach, torf przestaje być użytecznym do ogrzewania lokomotyw. Drugą przeszkodą rozpowszechnienia zwyczaju ogrzewania maszyn torfem, jest jego znaczna objętość, tj. jego mały ciężar gatunkowy, sprawiający, że torf zabiera wiele miejsca, nietylko w stacyach, ale co gorsza, także i na tenderze i wymaga oprócz tego, inaczej zbudowanego paleniska. Nakoniec zważyć trzeba, że torf, jako ciało mocno higroskopijne, wsiąka w siebie wiele wody, tracąc przy tem na wartości opałowej. Co się tyczy pierwszej z wymienionych trudności, usunąć ją można tylko tym sposobem, że się torfu, który pozostawia zanadto wiele popiołu — wcale nie używa, przyczem zauważać należy, że 20% popiołu, zdaje się być granicą, powyżej której żadną miarą iść nie wypada. Większe trudności, sprawia znaczna objętość torfu, doświadczenie uczy bowiem, że tonna torfu

surowego zajmuje . . . . 4·0
prasowanego „ . . . . 1·3

metra sześciennego, a ponieważ tonna węgla kamiennego zajmuje 1·7 metra sześciennego, więc potrzebuje torf surowy $\frac{4}{1 \cdot 7} = 2 \cdot 3$ tyle miejsca, ile zajmuje węgiel kamienny. Węgiel miernej dobroci, wydaje 5000, zaś najlepszy torf 4000 kaloryi, chcąc zastąpić węgiel torfem, potrzeba przeto na każdą tonnę węgla kamiennego, $^5/_4$ tonn torfu, a ponieważ torf zajmuje 2·3 więcej razy miejsca, a niżeli węgiel, więc zajmuje ilość torfu, wydająca tyle ciepła, co tonna węgla, $\frac{5}{4} . 2 \cdot 3 = 2 \cdot 9$ metrów sześciennych. Z tej to przyczyny, mieć trzeba przy pociągach odpowiednio wielkie tendery, lub też mieć przy każdym pociągu, zamiast jednego, dwa, a nawet i trzy tendery; do których obsługi utrzymywać trzeba odpowiednią ilość palaczy.

Własność hygroskopijna torfu, sprawia, że torf chronić trzeba od deszczu, śniegu, wilgoci i t. p.; co znów wymaga utrzymania magazynów krytych, jakoteż prowadzenia tenderów krytych, podczas gdy węgiel i drzewo, nakrycia wcale nie wymagają.

Nadmienić wypada, że doświadczenia kolei Wirtembergskich, Bawarskich i Oldenburgskich, wykazały, że przyjąć można, jakoby metr sześcienny torfu ważył 298 kilogramów, zkąd stosunek ciężaru węgla do torfu, wyraża się ułamkiem $^8/_5$.

Co się tyczy porównania wartości opałowej torfu, z wartością opałową węgla, natrafiamy na te same trudności, które zwalczać mieliśmy, chcąc porównać węgiel z drzewem. Kilogram najlepszego torfu, przeobrazi w najlepszym razie, 6 kilogramów, pod mniej korzystnemi zaś warunkami, już tylko 2 kilogramy wody, w parę, prężącą siłą 9 atmosfer, zkąd wynika, że torf, na równi stoi z drzewem, a może nawet, że go przewyższa.

67.

Nafta, i gaz świetlny.

Ponieważ lokomotywy, próbowano opalać olejem skalnym (naftą), więc też o tych próbach wspomnieć wypada. Myśl opalania lokomotyw naftą, pochodzi prawdopodobnie z Ameryki, tam przynajmniej, robiono około roku 1864 próby, które nieco później (1865) powtórzono w Australii i Anglii, a w roku 1878, we Francyi. Doświadczenia Amerykanów i Anglików, odnosiły się jednak nie do lokomotyw, lecz do kotłów parowych umieszczonych na statkach, ogrzewać zaś lokomotywy, ciepłem, palącej się nafty — Francya pierwsza, próbowała.

Już w roku 1867 poruczył Napoleon III, słynnemu chemikowi, panu *St. Claire Deville*, zbadanie kwestyi używania olejów mineralnych, jako paliwa dla maszyn służących przemysłowi. Deville, rozpoczął experymenta, lokomobilą, pracującą siłą równającą się sile 6 koni i oznaczał wartość kaloryczną rozmaitych olejów skalnych. Podług jego doświadczeń, wydaje Nafta pochodąca z:

Jawy (Cherckon) 9593
Lupku 9950
Pensylwanyi 9963
Wschodniej Galicyi 10005
zachodniej Wirginii 10180
Jawa (Sarabaja) 10183
wschodniej Wirginyi lekka ..10223
zachodniej Galicyi 10235
Ohio 10399
Alzacyi 10458
Jawy (Kembang) 10831

kaloryi.

Oznaczywszy wartość opalowową olejów skalnych, począł *Deville* już w kwietniu 1868, opalać naftą maszynę parową, pracującą siłą równającą się sile 60 koni, a ustawioną na cesarskim statku „Puebla“. W grudniu tegoz roku opalano pierwszą lokomotywę, którą dostawiła experymentatorowi kolej wschodnia.

Sauvage, naczelny dyrektor tejże kolei, poruczył bezpośrednie prowadzenie experymentu panom *Dieudonnée* i *Vuillemin*, inżynierom, znanem z doświadczeń, które przeprowadzili w celu oznaczenia oporu na jaki ruch pociągów natrafia.

Podobnie jak na statku Puebla, użyto i tutaj, do opalania maszyny oleju mineralnego, pozostającego w retortach, przy fabrykacyi gazu świetlnego. Na tenderze lokomotywy, którą experymentowano, ustawiono w miejscu, gdzie zwykle paliwo się składa, drewnianą kadź, zawierająca 2 metry sześcienne oleju skalnego, obok niej ustawiono pompy, zapomocą których wciskano olej skalny, znajdujący się w kadzi do naczynia mniejszego, umieszczonego w pobliżu komina lokomotywy, a mieszczącego w sobie 0·5 metra sześciennego, czyli 500 liter cieczy. Z tego zbiornika, ssączyła się nafta, spadzisto ułożonemi, wzdłuż całej lokomotywy prowadzącemi rurami, do tak zwanego regulatora; osadzonego na drugim końcu lokomotywy tuż nad paleniskiem. Regulator, ma na celu, zmniejszanie lub zwiększanie dopływu cieczy do paleniska, a osiągniono cel ten, tym sposobem, że wsunięto, w poziomo ustawiony cylinder, drugi cylinder, na podobieństwo lunety, a przyrząd taki, składający się z dwóch, w sobie zesuniętych cylindrów, był to właśnie ów regulator, o którym wspomniano. W spodniej części ściany cylindra zewnętrznego, przewiercono wzdłuż całej długości cylindra, 20 małych dziurek, mających po 5^{mm} średnicy, a w każdą z tych dziurek, wsunięto ciasno szklanną rurkę, z której nafta, kroplami tylko, do paleniska dostawać się mogła.

Środkowy cylinder ponawiercano również jak cylinder zewntęrzny, odpowiadały sobie dziurki obydwóch cylindrów, to ciecz zawarta w środkowym cylindrze dostać się mogła przez dziurki do rurek, obrócono zaś środkowy cylinder tak, że dziurki obydwóch ze sobą już nie korespondowały, to ciecz z cylindra środkowego wydobywać się nie mogła.

Krople nafty spadały na sklepienie ustawione z cegieł, gdzie je zapalono, a gazy płonącej nafty uchodząc rurami płomiennemi, lokomotywę ogrzewały. Chcąc wzniecać ogień, wyścielano sklepienie cieńką warstwą hyblowin zwilżonych naftą, i zapalono je pochodniami metrowej długości. Ponieważ podczas rozpalania, przewiew powietrza był nieznacznym, więc podpalanie, odbywać się musiało z wszelką ostożnością, gdyż inaczej płomień na zewnątrz by buchał.

W opisany sposób wyposażona, lokomotywa biegła po raz pierwszy, ostatniego lipca 1869, po 17 kilometrowej linii z *Epernay do Châlaus.* Lokomotywą tą, wydzielającą podczas jazdy potężne kłęby dymu, wykonano 4 próby, jadąc chyżością 60 kilometrów na godzinę. Experymentatorowie ośmielili się wkrótce do tego stopnia, że na dniu 20 sierpnia 1869, przyprzężono do lokomotywy, 8 wozów osobowych a pociąg szedł na przestrzeni *Châlons-Maurmeton,* wznoszącej się 12^{mm} na metr poziomej odległości, chyżością 45 kilometrów na godzinę, a więc tak spiesznie, jak u nas biegną pociągi pospieszne. Na dniu 5 września, prowadzi maszyna, pociąg nadworny, a cesarz Napoleon, stojąc na platformie lokomotywy, śledził przebieg sprawy opalania maszyn naftą starannie.

Co się tyczy ekonomicznej strony opalania maszyn naftą, zaznaczyć trzeba, że od chwili wzniecenia ognia w palenisku, aż do otrzymania pełnego ciśnienia pary, a więc do tak zwanego rozpalania, potrzebowano $2^3/_4$ godzin, konsumując 57 liter nafty, a wychodziło na kilometr jazdy, przeciętnie 5 liter. Ponieważ 7 kilogramów dobrego węgla kamiennego równoważy, co się tyczy ciepła wywiązanego, 5 litrom nafty, więc potrzebowano na kilometr jazdy 7 kilogramów węgla, która to okoliczność, wykazała nietylko możebność, ale nadto i praktyczność opalania maszyn naftą. Skutkiem tego pozostawiono ową lokomotywę i nadal, używając ją do prowadzenia pociągów, kursujących na linii *Flamboin-Montereau*, jakoteż linii *Flamboin-Provins*.

Po przebyciu 800 kilometrow drogi, okazała się potrzeba reperacyi paleniska, a rozchód nafty na kilometr jazdy wynosił teraz już tylko 6·15 kilogramów. Gdy palenisko naprawiono, biegła lokomotywa dalsze 1669 kilometrów i konsumowała na kilometr, 5·98 kilogramów. Przeciętny rozchód wynosił więc 6 kilogramów cieczy na kilometr równając się rozchodowi 9·2 kilograma koksu. Później, zaopatrzono silniejszą lokomotywę w przyrząd do opalania naftą, a mianowicie maszynę, mającą 4 kół ze sobą spętanych. Powierzchnia ogrzewalna tej maszyny, wynosiła 100 metrów kwadratowych, a cylindry miały po 42 centimetrów średnicy. Lokomotywa ta, prowadziła na linii *Eperney, Rheims i Eperney-Bar* pociągi osobowe, które przebiegły razem 1433 kilometrów drogi. Na kilometr jazdy wychodziło 5 kilogramów, na godzinę przestanków na stacyach, 25 kilogramów, na podpałkę zaś, 90 kilogramów nafty. Kilogramem nafty przeobrażono 10·9 kilogramów wody w parę, podczas gdy kilogramem brykiet, otrzymywano tylko 7·9 kilogramów, takiej samej pary.

Ponieważ do uzyskania kilograma pary, ciśnącej siłą 8 atmosfer, potrzeba 658 kaloryi, a kilogram nafty, przeobrażał 10·9 kilogramów wody w parę, więc wydawał $10·9 . 658 = 7172$ kaloryi, a więc daleko mniej, jak otrzymano, przeprowadzając eksperyment w laboratoryum.

Tem doświadczeniem zakończono szereg eksperymentów, wykazując, że skoro cena nafty będzie ku temu, opalaniu maszyn, tą cieczą, nic w drodze stać nie będzie.

Nadmienić wypada, że na rosyjskiej kolei *Griazi Czarycin* próbowano w roku 1876 używać surowej nafty, do opalania lokomotyw, paliwo to, okazało się jednak droższem od drzewa, pomimo wysokich cen drzewa, a taniości nafty.

Rosyjska kolej *Baku-Tiflis* próbowała opalać w roku 1879 lokomotywy swe naftą, a doświadczenia kolei *Baltyckiej*, jakoteż kolei *Carskoje-Selo*, przeprowadzone w tymże samym roku, pouczyły, że lokomotywe opalać można korzystnie naftą skoro tonna tego materynłu nie wypadnie drożej, jak na 22 guldenów (pud po 60 kopijek).

Przy tej sposobności nadmienić wypada, że w nowszym czasie, poczynają do wzniecania ognia na ruszcie lokomotywy, używać w miejsce drzewa, *gazu świetlnego.* Pruska kolej wschodnia, używa gazu świetlnego na podpałkę już od roku 1879, i podpalała do tego czasu przeszło 15000 lokomotyw.

Doświadczenia tejżu kolei, wykazały, że do podpałki, wystarcza czas 10—20 minut jakoteż, że używając do podpałki, gazu w miejsce drzewa, znaczne oszczędności osiągnąć można.

68.

Rozchód paliwa.

Opisawszy materyały których używano do opalania lokomotyw, zastanowić się wypada nad rozchodem paliwa.

Gdyby wszystko ciepło, które paliwo wydaje, zamienić można na mechaniczną pracę, to wyznaczanie rozchodu paliwa, nie natrafiałoby wcale na żadne trudności, wiemy wszakże z najnowszych doświadczeń akademika *Regnault*, że ilości ciepła wynoszącej kaloryę, odpowiada mechaniczna praca 436 meterkilogramów, czyli siła, równająca się sile $\frac{436}{75} = 5{\cdot}8$ koni maszynowych. Wydaje kilogram paliwa, K kaloryi, to wydaje tem samem siłę, równającą się sile 5·8 K koni parowych.

Sile konia, odpowiada przeto rozchód paliwa wynoszący $\left(\frac{1}{5{\cdot}8{\cdot}K}\right)$ kilogramów na każdą sekundę, lub $\frac{3600}{5{\cdot}8K} = \frac{620}{K}$ kilogramów, na godzinę. Gdybyśmy mieli węgiel kamienny wydający 6200 kaloryi, potrzebowanoby do uzyskania siły równającej się sile konia, na każdą godzinę $\frac{620}{6200} = {}^1/_{10}$ kilograma.

Doświadczenie uczy jednak, że nie wszystko ciepło zawarte w paliwie, przeistoczyć można w pracę mehaniczną, mała tylko cząstka zamienia się w parę, reszta, jako ciepło, kominem uchodzi. Licznie przeprowadzone próby wykazały, że przeciętnie, wyzyskać można 4 procent czyli ${}^1/_{25}$ ciepła zawartego w paliwie, skutkiem tego potrzeba będzie do uzyskania siły, równającej się sile konia, nie $\frac{620}{K}$, ale 25 razy więcej, tj. $\frac{15500}{K}$ kilogramów węgla kamiennego.

Wyraża *P*, rozchód paliwa w kilogramach, to mamy wzór:

$$P = \frac{15500}{K} \tag{82}$$

służący do *szacowania* rozchodu paliwa, w którym oznacza:

P... rozchód paliwa na godzinę, i siłę równającą się sile konia, w kilogramach.

K... wartość kaloryczna, kilograma paliwa.

Mając węgiel kamienny, którego wartość opałowa wynosi 6500 kaloryi, spalić będzie trzeba, celem uzyskania siły, równającej się sile konia, $\frac{15500}{6500} = 2{\cdot}4$ kilogramów węgla na godzinę.

Daleko dokładniej jak zapomocą powyższego wzoru, obliczać można rozchód każdego paliwa, ze znanego rozchodu wody.

Ponieważ kilogramem węgla kamiennego, przeobrazić można w parę przeciętnie 4·8 kilogramów wody (§ 64), więc znając konsum wody, obliczyć będzie można podług wzorów podanych w § 52, także i rozchód węgla kamiennego.

Tak np. wynosi podług wzoru podanego pod numerem 70, rozchód wody na godzinę:

$$\left\{8 + \frac{7.a}{100}\right\} E$$

kilogramów, więc wyniesie rozchód węgla kamiennego:

$$\left(\frac{8 + \frac{7.a}{100}}{4{\cdot}8}\right) E = \left\{\frac{5}{3} + \frac{a}{70}\right\} E$$

kilogramów.

Wyraża *W*, godzinny rozchód węgla kamiennego w kilogramach, potrzebny do uzyskania siły, równającej się sile konia, to będzie:

$$W = \left(\frac{5}{3} + \frac{a}{70}\right) E \quad (83$$

kilogramów, tutaj wyraża:

W... rozchód węgla kamiennego na godzinę.
E... skutek użyteczny lokomotywy, w siłach konia.
a... admissya pary w cylindrze, w procentach jego objętości.

Przyjmując admissye 50%, jak to zwykle ma miejsce, wypada z powyższego wzoru:

$$W = 2{\cdot}4\ E \quad (84$$

kilogramów, co znaczy; że chcąc w *sekundzie* uzyskać mechaniczną pracę, wynoszącą 75 meterkilogramów, czyli pracę równającą się pracy konia, wydać trzeba *na godzinę* 2·4 kilograwów węgla kamiennego.

Grove wykazuje na podstawie dat przeciętnych, że lokomotywa prowadząca pociąg:

pospieszny, konsumuje na godzinę		2·3
osobowy	„ „	2·3
towarowy	„ „	2·35
ciężki w górach	„ „	2·4

kilogramów węgla kamiennego, wydając siłę, równającą się sile konia.

Że lokomotywa, biegnąca spieszniej, potrzebuje do wydania jednej i tej samej pracy, mniej węgla, aniżeli lokomotywa wolniej się poruszająca, pochodzi ztąd, że maszyna biegnąca spieszniej, pracuje mniejszą admissyą, a mniejszej admissyi odpowiada mniejszy rozchód pary.

Znając stosunek wartości opałowej rozmaitych materyałów palnych, do węgla kamiennego, a wiedząc, że kilogram węgla przeobraża w parę 4·8 kilogramy wody, użyć można do obliczania rozchodu paliwa, także i wzorów tyczących się rozchodu wody.

68.

Zapiski rozchodu paliwa prowadzone na drogach żelaznych.

Ze względu na rolę jaką na drogach żalaznych, odgrywa paliwo prowadzą koleje zapiski, z których powziąść można, ile paliwa konsumuje każda poszczególna lokomotywa podczas pracy którą wykonywa.

Tak np. wykazały zapiski galicyjskich dróg żelaznych, opalających lokomotywy swe drzewem, że metr sześcienny drzewa bukowego starczy przy pociągach mięszanych, do przebycia 15 kilometrowej drogi.

Co się zaś tyczy rozchodu węgla kamiennego wykazały doświadczenia, że przyjąć można, że na kilometr drogi wychodzi dla maszyn prowadzących pociągi:

pospieszne	w lecie	13	w zimie	16
osobowe	„	18	„	20
towarowe	„	22	„	25

kilogramów węgla kamiennego, wliczając w to potrzebę węgla na rozpałkę.

Następująca tabliczka uwidocznia rozchód węgla kamiennego, wypadający na kilometr jazdy, dla pociągów, które kursowały na austryackiej kolei południowej w latach 1870—1877.

w roku	Na linii kolejowej				
	Wiedeń Tryest	w Tyrolu	Brenner	Semmering	Pusterthal
	wypotrzebowano na kilometr drogi kilogramów węgla kamiennego.				
1870	14·5	11·0	16·0	23·6	—
1871	16·0	14·3	21·6	24·7	—
1872	15·2	13·7	19·7	23·1	13·4
1873	15·4	14·5	17·9	22 6	13·7
1874	14·7	14·7	18·1	22·1	15·3
1875	14·3	14·7	17·7	21·8	15·8
1876	13·8	14·5	17·7	19·4	15·0
1877	13·6	13·9	16·6	19·3	14·6

Tabliczka ta, tak jak ją przytoczono, nie ma jednak wielkiej wartości, gdyż nie znamy ciężaru pociągów. W celu usunięcia tej niedogodności, prowadzą koleje także zapiski, z których powziąść można, ile paliwa wychodzi na pewną pracę, np. na przewiezienie ciężaru jednej tonny, do odległości kilometra.

Na austryackiej kolei północnej potrzebowano n. p. w roku 1871 do przewozu ciężaru jednej tonny na odległość kilometra, przy pociągach.

pospiesznych	0·099	kilogramów
osobowych	0·062	„
mięszanych	0 050	„
towarowych	0·029	„

węgla kamiennego.

Następująca tabliczka zawiera daty tyczące się austryackiej kolei południowej.

W roku	do przewiezienia ciężaru jednej tonny do odległości kilometra, spotrzebowano na kolei				
	Wiedeń Tryjest	w Tyrolu	Brenner	Semmering	Pustertal
	kilogramów węgla kamiennego				
1870	0·072	0 093	0·158	0·190	—
1871	0·075	0 108	0·187	0·190	—
1872	0·072	0·097	0 162	0·176	0·109
1873	0·073	0·091	0·136	0·174	0 092
1874	0·071	0·091	0·136	0·172	0·091
1875	0·069	0·091	0·134	0·166	0·097
1876	0·066	0 081	0·128	0·149	0·088
1877	0·061	0·081	0·119	0·146	0·083

Do przewozu ciężaru 1000 tonn, potrzebowano więc w roku 1877, na górze Semmering 146, w przecięciu zaś na całej linii z Wiednia do Tryjestu, tylko 61 kilogramów węgla kamiennego.

Na podstawie wieloletnich zapisków, wydaje począwszy od 1 listopada 1876 kolej ta, węgla kamiennego z Witkowic, podług następującego zestawienia:

Dozwolono wybierać kilogramów węgla kamiennego z Witkowic			
na linii	dla pociągów		
	osobowych	mieszanych	ciężarowych
	na każde 1000 tonn przewiezione do odległości kilometra		
Wiedeń, Gloggnitz	94	80	87
Semmering	149	136	142
Brenner	120	112	115
Muirzzuschlag-Lublany . .	90	76	83
Lublany-Tryjest . . . . . -	70	59	65
Neustadt-Kanizsa	78	66	71

Widzimy więc, że do przewozu jednego i tego samego ciężaru na tę samą odległość, potrzebowano różną ilość paliwa. Okoliczność ta wskazuje, że i takie zapiski nie dają zupełnego poglądu na rozchód paliwa, że chcąc mieć należyty pogląd, trzeba uwzględniać nietylko drogę i ciężar, ale nadto także i czas, w którym ów ciężar do powyższej odległości przewieziono, to znaczy, trzeba znać także jeszcze i chyżość jazdy. Następująca tabliczka, zawierająca przeciętne daty austryackich dróg żelaznych, uwidocznia np. ów zawiązek zachodzący między drogą, ciężarem i szybkością przewozu.

Pociągu			do przewiezienia ciężaru 1000 tonn do odległości kilometra potrzeba kilogramów węgla	stosunek rozchodu	
gatunek	ciężar w tonnach	szybkość jazdy w kilometrach na godzinę		pociąg ciężarowy uważany jako jednostka	pod przypuszczeniem jednakowego obciążenia
pospieszny . .	60	45	120	2·4	12·8
osobowy. . . .	85	35	90	1·8	6·8
mięszany . . .	160	24	65	1·3	2·6
towarowy. . .	320	15	50	1·0	1·0

Z tej tabliczki widzimy, że pociąg pospieszny, konsumuje 2·4 razy tyle węgla co pociąg towarowy, pomimo że jest $\frac{320}{60} = 5$ razy lżejszym od pociągu towarowego. Gdyby pociąg pospieszny był tak samo ciężkim jak pociąg towarowy, potrzeba by dla niego 12·8 razy tyle węgla, co dla pociągu towarowego. Trzy razy większa chyżość jazdy, nie potraja więc rozchodu, lecz zwiększa go 12·8 razy! — Widzimy więc, o wiele szybka jazda, jest droższą, od jazdy powolnej.

70.

Wymiar paliwa dla poszczególnych czynności.

Liczby przytoczone w poprzednim paragrafie, są to daty przeciętne, służące do oznaczenia rozchodu paliwa w przęcięciu, a więc bez względu na poszczególną czynność lokomotywy.

Lokomotywie poruczamy jednak rozmaite czynności, np. prowadzenie różnie wielkich ciężarów, rozmaicie szybko przewóz podczas rozmaitej temperatury, lokomotywa jedzie często próżno i t. p., a każda z takich czynności konsumuje inną ilość paliwa. Ile zaś paliwa wychodzi dla każdej poszczególnej czynności, zależy od miejscowych okoliczności i doświadczenia. Na drogach żelaznych przecinających równie, niemieckie, przyjmuje się za zwyczaj:

na rozpałkę ognia w lokomotywie	200
na godzinę szykowania wozów, po stacyach	50
podczas przestanku na stacyach, gdy lokomotywa utrzymuje parę	25
na każdy kilometr jazdy	5

kilogramów węgla kamiennego.

Na galicyjskich drogach żelaznych przekonano się, że

Wychodzi drzewa bukowego, w metrach sześciennych		
na cele	w	
	lecie	zimie
rozpalania ognia w lokomotywie	1·75	1·75
na kilometr jazdy próżnej lokomotywy.	0·039	0·041
na kilometr jazdy, przy pociągach roboczych	0·109	0·119
na każde 1000 tonn, przewiezione do odległości kilometra	0·443	0·443
na godzinę utrzymywania pary, gdy lokomotywa stoi	0·102	0·136
na godzinę, szykowania wozów	0·205	0·273

Zadowalając się liczbami przeciętnemi, przyjąć można, że:

Skoro lokomotywa				
pracując na wzniesieniach aż do 10°/₀₀	nie ciągnie wcale żadnego ciężaru	pcha poprzód siebie płóg śniegowy	szykuje wozy	stojąc w miejscu, parę utrzymuje
	wychodzi na			
	kilometr jazdy		godzinę	
	kilogramów węgla			
maximum	15	30	70	30
minimum	10	20	70	20

Na pruskiej kolei wschodniej poczęto od roku 1879, rozpalać węgle ułożone na ruszcie lokomotywy, gazem świetlanym. Doświadczenie pouczyło, że 300 liter gazu (a więc tyle, ile konsumuje płomień gazowy palący się w latarniach ulic naszych na 2 godziny) wystarcza zupełnie do wzniecenia i rozżarzenia ognia, którą to czynnoś zajmuje 10—20 minut czasu, podczas gdy do rozpalania zwykłym sposobem potrzebowano 1—$1\frac{1}{2}$ godziny.

Na podstawie przytoczonych doświadczeń, opartych na licznych zapiskach rozchodu paliwa, wysadza każda poszczególna kolej dla swych maszyn, ze względu na klimat, ciężar pociągu, chyżość jazdy i t. p., pewną ilość paliwa, którą maszynistom wybierać zezwala. Wypotrzebuje maszynista mniej paliwa, jak normal wybierać zezwala, to otrzymuje od oszczędności, które sprawił pewną tantiemę, wypotrzebuje zaś więcej, jak tabliczka normuje, to kolei nadwyżkę zwracać musi.

Austryacka kolej południowa, zaprowadziła u siebie normal, który już porzednio przytoczono, Galicyjska kolej Karola Ludwika normuje rozchód ~~paliwa~~ węgla w kilogr. na 1000 tonn kilometrów. jak następuje.

Na linii	w							
	lecie				zimie			
	na pociąg							
	pospieszny	osobowy	mięszany	ciężarowy	pospieszny	osoboby	mięszany	ciężarowy
Lwów-Kraków	170	105	70	55	220	165	100	75
Kraków - Podwołoczyska	205	—	80	75	260	—	125	100

Chcąc na podstawie podobnych tabliczek, wyliczyć, ile maszynista paliwa oszczędził, rozróżniać trzeba czworakie czynności maszyny podczas jazdy, a mianowicie wiedzieć trzeba: 1) ile razy wzniecano ogień w lokomotywie, 2) ile godzin szykowała maszyna wozy, w stacyach podczas swej jazdy, 3) ile godzin stała na stacyach bezczynnie, utrzymując jednakowoż w kotle parę, 4) ile tysięcy tonnkilometrów wynosiła jej praca mechaniczna. Powiedzmy, że lokomotywa wzniecała w stacyach, ogień *o* razy, szykowała wozy przez *w* godzin, stała bezczynnie na stacyach przez *s* godzin, a praca mechaniczna którą podczas jazdy wykonała, wynosiła *p* tonnkilometrów, to zużyć jej wolno było:

$$W = 200.o + 50.w + 25.s + a.p \qquad (85$$

kilogramów, gdzie wyraża *a* ową, z tabliczki wziąść się mającą liczbę, która określa dozwoloną ilość węgla dla maszyny o której mowa. Ponieważ liczby: o, w i s powziąść można bezpośrednio ze zapisków umieszczonych w kartce, którą się dodaje każdemu pociągowi, zwanej bolecie, więc pozostaje tylko wykazać, w jaki sposób, ze zapisków bolety, otrzymać można liczbę *p*, tj. wyszukać mechaniczną pracę lokomotywy, wyrażoną w tysiącach tonnkilometrów.

Przykład.

Na 65 kilometrów długiej linii kolejowej A F, mamy 6 stacyj, których odległość od siebie wykazuje tabliczka.

Na przestrzeni tej, leżącej na galicyc. kolei Karola Ludwika, między Lwowem, a Podwołoczyskami, prowadzi maszynista w lecie pociąg towarowy wioząc od stacyi, do stacyi ciężary również w tabliczce uwidocznione. Na jazdę tę, wypotrzebował maszynista 5 tonn węgla z Jaworzna. Zachodzi pytanie, czy i wiele oszczędził, lub też, czy może normal przekroczył?

Rozwiązanie:

Linii: nazwa	Linii: długość w kilometrach	wieziony ciężar w tonnach	a więc mechaniczna praca lokomotywy
A—B	10	800	8000
B—C	25	600	15000
C—D	15	500	7500
D—E	5	500	2500
E—F	10	500	5000
	65	Suma	38000

Na całej linii od stacyi A do stacyi F, wynosi więc iloczyn kilometrów i tonn, czyli mechaniczna praca lokomotywy, 38 tysięcy, tysiączna część tej pracy jest przeto 38. Ponieważ wolno wydawać dla pociągu ciężarowego na linii Lwów-Podwołoczyska, w lecie 75 kilogramów węgla z Jaworzna, więc otrzyma ów pociąg 38.75 = 2850 kilogramów, czyli 2·85 tonn węgla. Ponieważ maszynista, raz tylko, a mianowicie wyjeżdżając ze stacyi A, wzniecał ogień, więc mamy o = 1, a ponieważ podczas drogi przez $1/_2$ godziny w stacyach szykował wozy, więc mamy, w = $1/_2$, a stał po stacyach bezczynnie 20 minut, więc będzie s = $1/_3$, a ponieważ jak wykazano p = 38, a z tabliczki normującej rozchód wypada a = 75, więc wynosi rozchód węgla kamiennego:

na podpałkę	200
szykowanie wozów	25
utrzymywanie pary	8
na pracę	2850
razem	4883

Maszyniście wypotrzebować więc było wolno wszystkiego razem, 4883 kilogramów węgla, a ponieważ spotrzebował 5000 kilogramów, więc przekroczył normal o:

$$5000-4883 = 137$$

kilogramów.

Gdyby zaś lokomotywa jechała po tej samej linii próżno, tj. gdyby nie ciągła żadnego ciężaru, otrzymałaby tylko 15 kilogramów węgla na każdy kilometr jazdy, a ponieważ ujechała 65 kilometerów, więc wynosiłby dozwolony wydatek: 15×65 = 975 kilogramów węgla kamiennego. Prowadzą pociąg 2 maszyny, to się wydaje dla każdej z nich, tyle węgla, jak gdyby obydwie jechały prożno, i dolicza się do tego, połowę tej ilości węgla, którąby wydać musiano, gdyby ciężar powieziony obydwoma maszynami, ciągła jedna tylko lokomotywa. Ciągły np. powyż przytoczony pociąg dwie maszyny, to wydanoby dla nich, następną ilość węgla z Jaworzna: 65 kilometrów jazdy jednej lokomotywy. Konsumują 15.65...975

65 kilometrów jazdy drugiej lokomotywy 15.65	975
38 tysięcznych tonn po $1/_2$· 75 kilogramów	1425
Suma	3375

kilogramów węgla, podczas gdy jedna maszyna potrzebowała więcej niż połowę, bo jak widzieliśmy 2850 kilogramów.

Do powyższego wyniku 2880 kilogramów, czyli 2·8 tonn węgla potrzebnego do jazdy na przestrzeni 65 kilometrów, dojdziemy także wsposób następujący:

Ponieważ przy pociągach towarowych, lokomotywa pracuje przeciętnie siłą 350 koni, a na siłę równającej się sile konia, wychodzi na godzinę 2·4 kilogramów węgla, więc wypotrzebuje maszyna, na godzinę 350 × 2·4 = 840 kilogramów węgla, trwała jazda 3 godzin 24 minut czyli 3·4 godzin, to wypotrzebowano podczas jazdy 840 × 3·4 = 2856 kilogramów węgla kamiennego.

SPROSTOWANIE WAŻNIEJSZYCH BŁĘDÓW.

	wiersz			
str.:	z góry:	z dołu:	zamiast:	czytaj:
21	17	—	wykaz	wyraz
21	—	4	wyrażonych	wyrażoną
35	—	3	szzna	szyna
48	—	16	miedziany	miedziowy
48	—	16	$Cn.\ SO_4$	$Cu.\ SO_4$
9~~1~~5	1	—	$o = m.\ \frac{c}{R}$	$o = m.\ \frac{c^2}{R}$
95	6	—	$m = \frac{w}{g}$	$m = \frac{W}{g}$
102	—	1	$cd = \frac{(ad)^2}{a\ R}$	$cd = \frac{(ad)^2}{2\ R}$
118	—	10	$\frac{72\ r_1}{10^6}\ \omega_1$	$\frac{72\ r_1}{10^6} = \omega_1$
128	—	6	1871	1771
164	6	—	637	537
188	—	13	Komórki suwakowej	Cylindra
221	12	—	$K - \frac{a.\ H}{3600}$	$K = \frac{a.\ H}{3600}$
222	—	2	$E = \frac{S\ .\ v}{76}$	$E = \frac{S\ .\ v}{75}$
252	11	—	$0{\cdot}6\ (10+5) = 135$	$0{\cdot}6\ (10+5)^2 = 135$
258	—	7	$90.\rho\pi\ =\ 10$	$90.\rho\pi\ =\ 10^4$
298	3	—	$o = 3{\cdot}6 + \frac{29}{10^6} \cdot t$	$o = 3{\cdot}6 + \frac{29}{10^6} \cdot t^2$

str.:	wiersz z góry:	wiersz z dołu:	zamiast:	czytaj:
320	7	—	$\left(4+\frac{c^2}{50}+P\sin\alpha.1000\right)$	$\left(4+\frac{c^2}{50}+\sin\alpha.1000\right)$
323	—	14	$8700\left(16-\frac{x^2}{50}\right)204x^2$	$8700\left(16-\frac{x^2}{50}\right)=204x^2$
325	5	—	880	800
349	—	3	17·6	22·6
349	—	4	11·0	21·0
399	—	1	Kategorye	Kalorye
438	—	1	Rozchód paliwa	Rozchód węgla w kilogramach na 1000 tonnkilometrów.