34

INŻ. H. KRITZLER
Brzeznica

INŻ. DR. ROMUALD ROSŁOŃSKI

4°

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
Wydział Budownictwa Wodnego
Katedra Budowy Zapór i Siłowni Wodnych

GOSPODARSTWO WODNE

W STANACH ZJEDNOCZONYCH AMERYKI PÓŁNOCNEJ

I. O BUDOWIE WYSOKICH GROBLI ZIEMNYCH SPOSOBEM HYDRAULICZNYM

LWÓW, 1910.
Z I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE, UL. LINDEGO 4.

469.2675

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000323315

INŻ. DR. ROMUALD ROSŁOŃSKI

4./I.

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
Wydział Budownictwa Wodnego
Katedra Budowy Zapór i Siłowni Wodnych

GOSPODARSTWO WODNE

W STANACH ZJEDNOCZONYCH AMERYKI PÓŁNOCNEJ

I. O BUDOWIE WYSOKICH GROBLI ZIEMNYCH SPOSOBEM HYDRAULICZNYM

LWOW, 1910.

Z I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE, UL. LINDEGO 4.

—627.6:624.05

BIBLIOTEKA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
IV- 301311

ODBITKA Z „CZASOPISMA TECHNICZNEGO".

DBK- B-345/2019

W czasopismach amerykańskich znachodziłem wzmianki o budowie wysokich grobli ziemnych, które rozmiarami wybiegały daleko po za granice uzasadnionych pojęć europejskich.

Podziwiając rozpęd amerykański nie przypuszczałem, że po za śmiałością projektu kryje się oryginalny sposób budowy. Ten poznałem dopiero na ziemi amerykańskiej. Groble ziemne, jakie budują w ostatnich czasach w Ameryce, na Dalekim Zachodzie, wykonano niemal wyłącznie przez zamulanie (*hydraulic-fill dams*). Wynalazek tego sposobu i jego udoskonalenie łączy się ściśle z odkryciem i poszukiwaniem złota w Kalifornii.

Kiedy w r. 1848 gruchnęła po Ameryce wieść o odkryciu złota pod Georgetown w Kalifornii, niebawem, jakby wyrosła z pod ziemi, stutysięczna armia t. zw. minerów rzuciła się do przepłukiwania wszelkich dostępnych ławic żwirowych, złotodajnych, w korytach potoków i rzek. Prymitywna metoda, polegająca na powolnem przepłukiwaniu żwiru w ręcznych płuczkach — jak łatwo zrozumieć — nie mogła zaspokoić gorączki zbogacenia się; wszak dla zdobycia garści piasku złotego potrzeba było wzruszyć i przepłukać setki i tysiące kubików złotodajnego żwiru.

A gdy z czasem przepłukano cały luźnie nagromadzony żwir w dolinach rzek i rzucono się na pokłady zbitego, trzeciorzędnego żwiru na zboczach dolin, nietkniętego jeszcze erozyą wody, praca stała się nad wyraz uciążliwa — przestała się opłacać.

Nic dziwnego, że w tych warunkach szukano sposobu płukania łatwiejszego, tańszego, któryby dozwalał intenzywniej eksploatować żwiry. A że potrzeba jest matką wynalazku, to też już w 4 lata później zastosowano sposób bodaj najradykalniejszy.

Oto do złomów żwirowych doprowadzono wodę pod znacznem ciśnieniem i skierowano strumienie wody zapomocą prądnic na ławice żwiru, tkwiące w ścianach jarów. Zwały żwiru, rwane prądem wody, staczały się i spływały z wodą do sztucznego, pochyłego koryta i basenów, gdzie złoto gatunkowo cięższe osiadało na falistem dnie (w rowkach) koryta, a piasek ze szutrem, pędzony wodą, staczał się w dół. Siła drążąca takich strumieni wody była ogromna. Prądnice o średnicy 230 *m/m* (9″), wyrzucające strumienie wody pod ciśnieniem 12-stu i więcej atmosfer, wzruszające około 1·5 m^3 w sekundzie, nie należały do rzadkości.

Skutek takiego przepłukiwania żwirów był straszny; dziesiątki milionów metrów sześciennych żwiru zwalały się corocznie z powodzią wiosenną w dolinę rzeki Sakramento i i., stan wód podnosił się z każdym rokiem, tak że nadrzeczne miasta musiały się obwałować pod groźbą zalewu.

Pomiędzy armią minerów a mieszkańcami miast i farm wybuchła otwarta wojna.

W stosunki te wglądnął wreszcie Rząd Stanów.

Specyalna Komisya zajęła się zbadaniem szkód i obmyśleniem środków zaradczych.

W roku 1904-tym uchwalił Kongres na przedstawienie tejże komisyi prawa zabraniające zwalać żwiry pokopalniane do istniejących rzek i potoków, a Rząd Stanu kalifornijskiego zajął się zabudowaniem potoków przegrodami, by masy żwiru, jakie utrzymały się jeszcze w górskich dolinach, nie dopuścić w dół spławnych rzek.

Odtąd nie wolno pod karą wysokich „amerykańskich“ grzywień uprawiać procederu minerskiego na zboczach dolin i jarów bez równoczesnego przegrodzenia doliny; żwir pokopalniany (przepłukany) musi pozostać w tej dolinie, gdzie został wzruszony [1]).

W takich warunkach musiał się z czasem wyłonić projekt, aby groble przegradzające doliny budować również przy pomocy siły wodnej.

Wystarczało skierować owe sztuczne koryta, w których woda unosiła piasek, żwir lub ziemię w to miejsce, gdzie miała stanąć grobla i pozwolić, by woda osadzała tam wzruszony materyał a powstawała grobla tak zbita, jakiej pracą ręczną, czy maszynowo, nie można wykonać.

Taki był początek owych grobli ziemnych, budowanych sposobem hydraulicznym (przez zamulanie).

Warunki, jakim powinna odpowiadać w ogólności grobla ziemna i jak powinna być budowana, dotyczą w pełnej mierze także i grobli budowanych sposobem hydraulicznym — te zatem pominę.

Przy groblach wysokich ponad 20—30 *m* pożądane jest ponadto pewne rozgatunkowanie materyału ziemnego w samej grobli, a warunek ten określają inżynierowie amerykańscy w ten sposób: Środkowa 3-cia część grobli powinna zawierać materyał nieprzepuszczalny lub przynajmiej taki, który skutkiem naturalnego osiadania się, przy trwałej możności wydzielania zawartej w nim wo-

[1]) W. W. Harts. *„The control of hydraulic mining in California by the federal Governement“. Transactions Am. Soc. of C. E. 1906* (w bibliotece Inżynierów Cywilnych w Nowym Yorku).

dy zgęstniał tak, że jest prawie nieprzepuszczalny i pozostaje w stanie plastycznym.

Zewnętrzne p o ł ó w k i skrajnych 3-cich części powinne składać się z gruboziarnistego złoża takiego, by woda nie była w stanie rozmyć go; materyał zawarty w niem musi dozwalać na wolne przesączanie wody od środka na zewnątrz.

Pozostałe połówki skrajnych 3-cich części, przylegające bezpośrednio do środkowej części mogą być mieszaniną z grubo i drobno ziarnistego materyału, działającego podobnie jak filter tj. przepuszczającego wodę lecz zatrzymującego najdrobniejsze cząstki, jakieby ze środka grobi mogły się przedostać[1]).

Przykładem podobnego rozłożenia materyału w grobli jest najwyższa ziemna grobla w Ameryce, wykonana niedawno (1906) w południowozachodniej części Stanu Koloredo (Colorado), zamykająca kenion rzeki Alamosa, a zbudowana w celach irygacyjnych (jak rys. 1.).

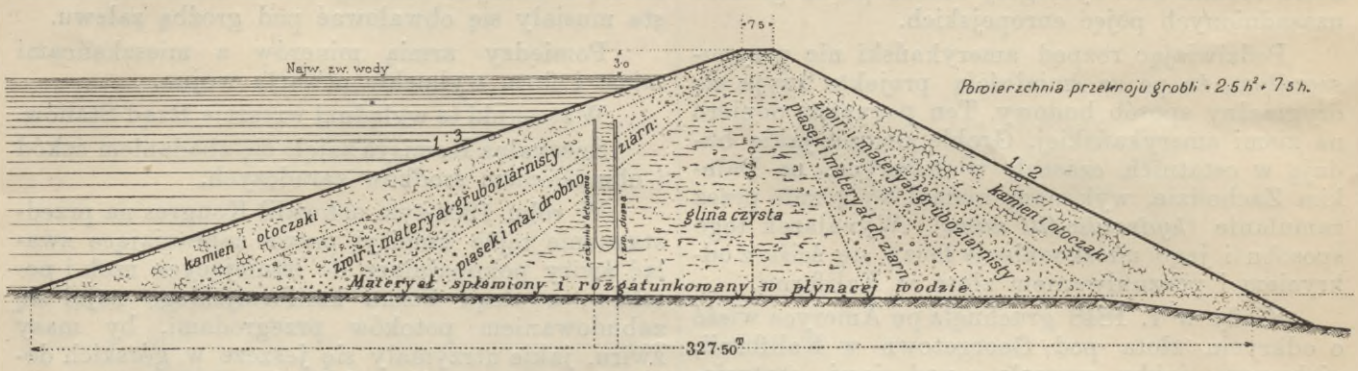
Podobny materyał nie zawsze i wszędzie łatwo znaleść.

Najczęściej znajdujemy na zboczach dolin w danej okolicy co najwyżej dwa rodzaje materyału a będzie to: glina i kamień, lub też drobnoziarnisty piasek z domieszką gliny t. zw. *loess* (glina nawiana) i kamień.

W pierwszym przypadku rozporządzamy materyałem o przeważającej zawartości gliny, w drugim przeważa drobnoziarnisty, miałki piasek.

Zależnie więc od tego, czy czystą glinę można i opłaci się przy pomocy wody wydzielić z danego materyału, czy też nie, stosują inżynierowie amerykańscy dwa rodzaje rozkładu materyału w grobli. Jako typowe przykłady podaję przekroje grobel w Necaxa[1]) (Meksyk) rys. 2-gi, tudzież groblę zbudowaną w Stanie Idaho na rzece Wężowej (S n a k e - r i v e r) w roku 1904/5, rys. 3-ci.

Tak w jednym jak i w drugim przypadku można się dopatrzeć zawsze tej samej zasady

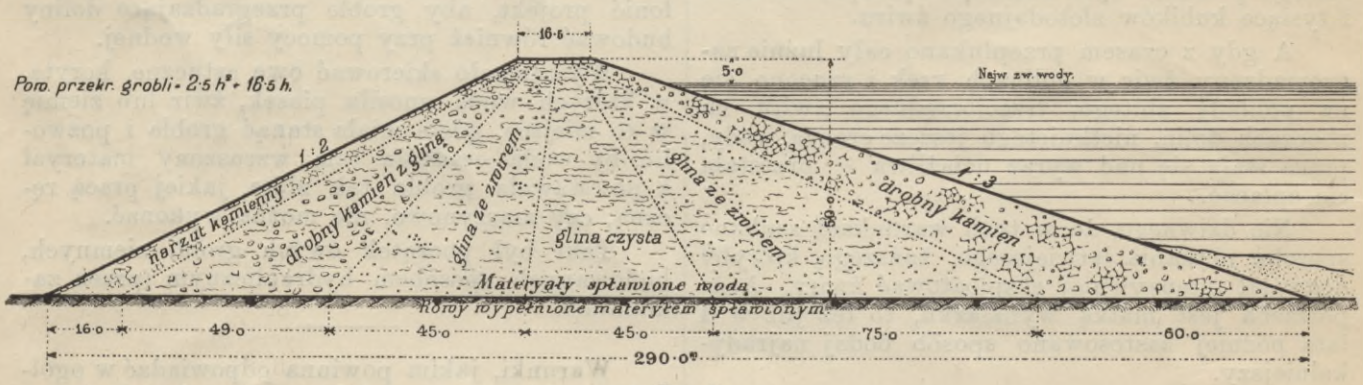


Rys. 1.

Dolina w której mieści się ten zbiornik jest tworem lodowca. Na zboczach doliny, w jarach znaleziono ogromne złoża morenowe (osadzone przez moreny boczne), składające się z piasku i żwiru fluwioglacyalnego tudzież z kamienia w pokładach gliny.

w rozkładzie materyału w grobli, jaką na początku przytoczyłem.

Więc materyał grubszy od strony wody drobnieje ku środkowi grobli. Z typu ostatniego przebija jeszcze jeden zamiar. Oto niezupełnie poprawny rozkład materyału po stronie wody (loess wy-



Rys. 2.

Materyał nie do użycia w groblach sypanych, stał się idealny przy zastosowaniu sposobu hydraulicznego i umożliwił wzorowy rozkład mas w samej grobli.

Wartość sposobu hydraulicznego ujawnia się w tym przypadku nie tylko w tem, że siłą wody można było materyał wzruszyć, przetransportować i osadzić, a także w tem, że woda spływająca i unosząca mieszany materyał, sama rozgatunkowała materyał w korytach, jakiemi ją prowadzono na groblę i wybornie posortowany osadziła w odpowiednim profilu grobli.

stawiony wprost na działanie wody) starano się zastąpić wielką masą materyału i stąd skarpa 1:4, a do podparcia tak dużej masy ziemnej użyto ciężkich mas kamienia od strony lądu, zabezpieczających groblę przed usuwaniem się. Z powodu braku odpowiedniego, nieprzepuszczalnego materyału na ośrodek grobli wybudowano w środku ściankę (betonową lub drewnianą), jaką często znachodzimy w groblach amerykańskich.

W ogólności przedstawia rys. 2. typ, gdzie czystą glinę wydzielono dla ośrodka grobli,

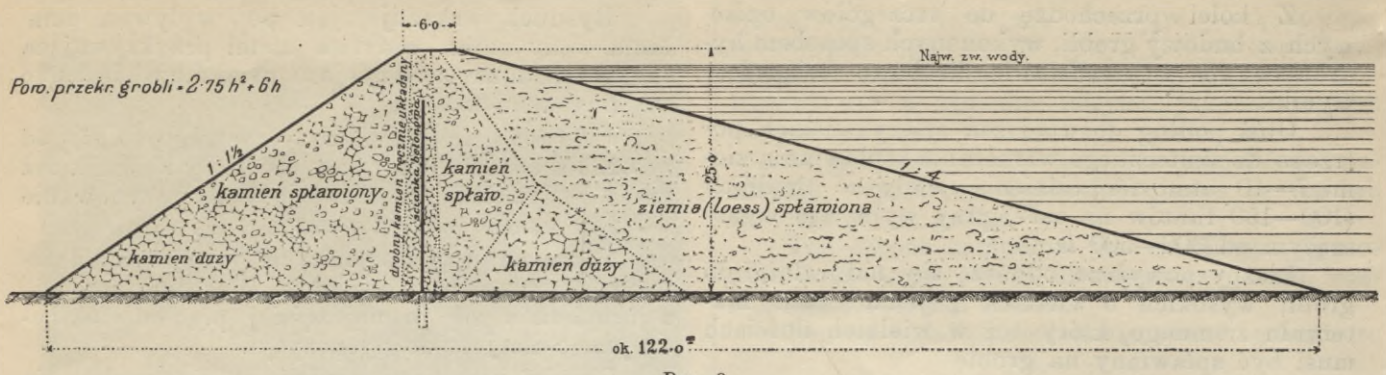
[1]) James D. Schuleyer. *„Recent practice in hydraulic-fill dam construction". Transactions A. S. of C. E.* tom 58.

[1]) Pouczający przypadek usunięcia się części tej grobli w toku budowy skutkiem dowolnej zmiany w rozkładzie materyału opisuje *The Engineering Record* z lipca 1909.

rys. 3. typ taki, gdzie wydzielenie gliny było praktycznie niemożliwe.

Zasadę rozkładu materyału w grobli znacznie uproszczono w groblach ziemnych o średniej wysokości.

Okolicznościowo wyjaśniłem już, że owe, niezwykłe w naszych groblach masy kamienia od strony lądu podtrzymują materyał ziemny i zabezpieczają stałość grobli, ponieważ i ciężar gatunkowy i kąt tarcia kamienia jest większy niż

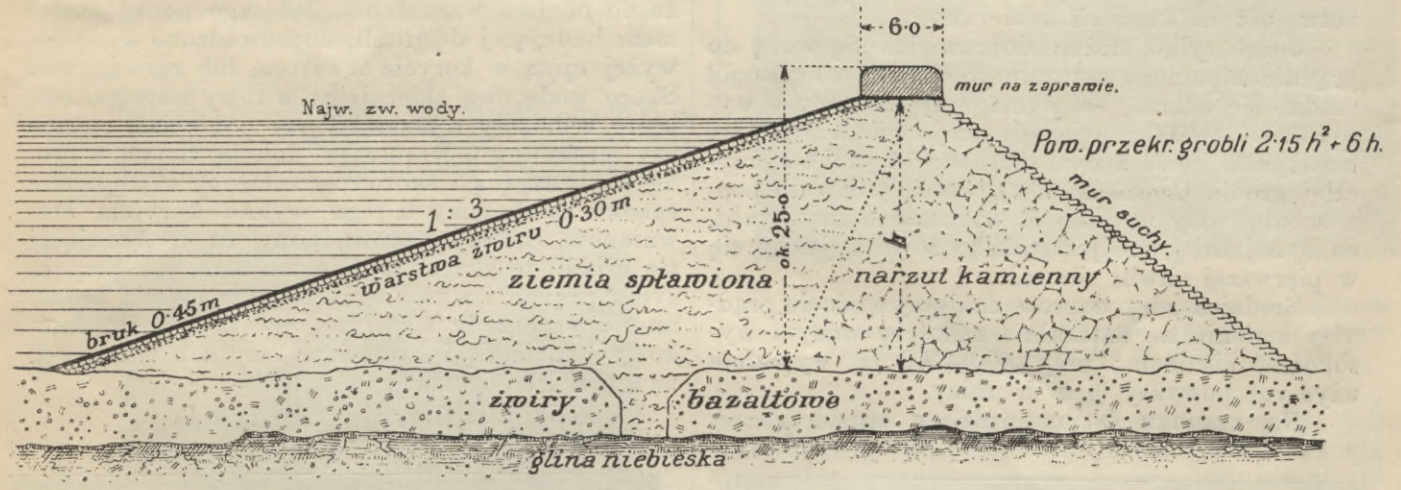


Rys. 3.

Za przykład niechaj posłuży przekrój grobli wybudowanej w Nowym Meksyku (południ.-zach. Stan. Am. Północnej) na terytoryum indyańskiem Zuni, na południe od miejscowości Gallup (rys. 4.).

przy materyale ziemnym. Nadto służy owa masa kamienia do drenowania materyału ziemnego i umożliwia stężenie masy ziemnej.

Otóż takie samo zadanie przypada w udziale



Rys. 4.

Zasadnicza różnica pomiędzy typem ostatnim a poprzednim polega na tem, że brak w środku grobli owej nieprzepuszczalnej „duszy".

Materyał ziemny użyty do budowy tej grobli składał się z 73% piasku i 27% gliny, tj. był taki, jaki powszechnie u nas uchodzi za najlepszy do budowy grobli. Masa kamienia od strony lądu zapewnia stałość budowy, odwadnia materyał ziemny a w toku roboty podczas zamulania tworzy wygodne oparcie dla płynnego materyału.

Skarpę od strony wody zabezpieczono przed rozmyciem suchym brukiem, ułożonym na warstwie szutru.

Skreślone tutaj zasady, dotyczące rozkładu materyału i typy, jakie zebrałem w powyższych 4-ech rysunkach, tłumaczą się dość jasno. Pozorną zagadką byłyby owe masy kamienia od strony wody, jakie naznaczono w rysunku 1-szym i 2-gim wobec rysunku 3-go i 4-go, gdzie raz zastosowano li tylko bruk na żwirówce (rys. 4.), drugi raz (w rys. 3-cim) nawet bruku nie znajdujemy. Jest to tem ciekawsze, ile że spławianie kamienia jest trudniejsze a zatem i kosztowniejsze od spławiania materyału ziemnego. Pocóż zatem spławiać lub nawet dowozić kolejką linową masy kamienia w miejsce ziemi skoro bruk wystarcza (jak w rys. 4-tym).

masie kamienia po stronie wody a to w toku budowy i wówczas, jeżeli środek grobli stanowi powoli tężejąca masa gliny. Jak na rys. 1-szym i 2-gim widać, są skarpy gliny stromo założone, więc by je utrzymać, potrzeba nie tylko postarać się o należyte odwodnienie tej masy, ale i nie jako przywalić i utwierdzić w tem położeniu ciężkim, nieusuwistym materyałem, jakim jest kamień łupany. Doświadczenie powyższe okupiono wielkiemi stratami przy kilku groblach. Zdarzało się bowiem że nie stężałe należycie masy gliny i nie podparte usuwały się w głąb zbiornika w toku budowy, kiedy nie było wody w zbiorniku.

Zamykając powyższe spostrzeżenia nad rozkładem materyału w groblach amerykańskich chciałbym powtórnie zwrócić uwagę na tę bardzo racyonalną zasadę, która każe między wykładką z dużego kamienia a złożem drobnego piasku wstawić materyał pośredniej grubości, jeżeli całość ma się skutecznie opierać działaniu wody.

Na nic się nie przyda ubezpieczać skarpy ziemne kamieniem chociażby dużych rozmiarów, jeżeli kamień ma spoczywać wprost na podłożu miałkiem. Woda przedostając się pod kamień, wprędce go podmuli, skutkiem czego kamień albo osiędzie, albo usunie się. Bruk od strony wody chroni skarpę tylko wtedy, jeżeli sam spoczywa na podłożu

żwirowem, słowem wtedy, jeżeli zachowano przejście między materyałem monolitowym a drobnym. Jest to znana zasada, zasługuje jednak na okolicznościową wzmiankę ze względu na widoczne w tych budowlach idealne i szerokie zastosowanie.

Z kolei przechodzę do szczegółów opisowych z budowy grobli, wykonanych sposobem hydraulicznym i przedstawię liczbowo osiągnięte wyniki.

Otóż podług doświadczeń amerykańskich potrzeba do skutecznego wzruszania i spławiania ziemi 7—10 atmosfer ciśnienia wody w prądnicy (100—150 funtów na cal□) przy wypływie wynoszącym od 300—500 *ls.* [1]).

Liczby powyższe odnoszą się naturalnie do grobli wysokich o wielkich pojemnościach materyału ziemnego, który też w wielkich ilościach musi być spławiany na groblę.

Jeżeli przyjmiemy, że ilość spławionego materyału ziemnego wyniesie np. 25% objętości wody, zużytej do wzruszania, to ilość materyału ziemnego, jaki spłynie na groblę w ciągu doby, wyniosłaby 6.480—10.800 m^3 osadu.

Przykład ten tłumaczy, że owe pożądane 300—500 *ls.* należałoby uważać raczej za maximum, niż za warunek konieczny [2]).

Jeżeli tylko można, doprowadza się wodę do prądnic zapomocą naturalnego spadku, co na ogół rzadko się zdarza, bo wymaga ujęcia wody w wysokości 70—100 *m* ponad miejscem wzruszenia materyału, które znowu musi leżeć wyżej od przyszłej grobli. Często więc używa się pomp do podnoszenia wody do miejsca wzruszania materyału, co bynajmniej nie jest tak kosztowne, jakby się w pierwszej chwili zdawało.

Średnica rury doprowadzającej wodę do prądnicy zmienia się naturalnie z ilością wody i wysokością ciśnienia; przy 300—500 *ls.* wypadnie użyć rur powyżej $^1/_2$ *m* średnicy.

Na rysunku 5-tym widzimy sposób (raczej

Rys. 5. Przedstawia mechaniczne wzruszanie materyału przy pomocy siły wody.

skutki!) wzruszania materyału siłą tłoczonej wody. Ustawienie prądnicy w tymże rysunku ma raczej demonstrować siłę, z jaką wyrzuca wodę, aniżeli samo wzruszanie materyału.

Prąd wody ma być kierowany niemal prostopadle na ścianę i nieco ku górze i z takiej odległości od ściany, by staczające się zwały ziemi nie zagrażały robotnikowi, kierującemu prądnicą.

Rysunek wskazuje, jak pod wpływem działania wody znika warstwa ziemi przykrywająca skaliste podłoże, a na miejscu utrzymuje się tylko większy kamień.

Usytuowanie budynku pompowego zależy od położenia ścieku. Pożądany jest mały zbiornik tuż przed budynkiem, umożliwiający magazynowanie wody w czasie postoju pomp.

Pomp używają rozmaitych, więc centryfugalnych dla wysokiego ciśnienia, Worthingtona i i., a uruchomia się je najczęściej prądem elektrycznym, o ile jest do dyspozycyi.

Chociaż samo pompowanie (koszta ruchu) nie jest bynajmniej drogie, to urządzenie tłoczni i rurociągów wymaga znaczniejszego wkładu pieniężnego. Lecz tłoczenie wody i wzruszanie materyału pod ciśnieniem kilku atmosfer nie jest konieczne, nawet przy zachowaniu najpoprawniejszej metody hydraulicznej. Wyobraźmy sobie bowiem, że do miejsca wzruszania, leżącego ponad poziomem budującej się grobli, doprowadzono wodę powyżej ujętą w korycie otwartem lub rurociągiem. Skoro wodę ową skierujemy w rowy materyałowe, które będziemy rozszerzać, czy pogłębiać, ręcznie czy maszynowo, wrzucając dobytą ziemię w wodę odpływającą i skoro rów założony w większym spadku zamkniemy u jego wylotu korytem drewnianem, które poprowadzimy aż do budującej się grobli, to skutek będzie ten sam, jak przy użyciu prądnic i wysokiego ciśnienia. Woda będzie unosić wzruszony materyał, spławiać i rozgatunkowywać ziemię i kamień w korytach wiodących na groblę, gdzie materyał osadzi.

Sposób powyższy ilustruje rys. 6-ty.

Rys. 6. Robotnicy wzruszają materyał ziemny i wrzucają w strumień wody, który unosi materyał na groblę.

Bez względu na to, czy materyał wzruszamy wodą o wysokiem ciśnieniu, czy też poprzestajemy na doprowadzeniu wody w rowy materyałowe, musimy w obu przypadkach użyć sztucznych koryt do spławienia wzruszonego materyału na groblę. Koryta mogą być otwarte lub zamknięte, sporządzone zazwyczaj z drzewa.

Lepsze są rurociągi od koryt otwartych z tego powodu, ponieważ miejscowe nagromadzenie spła-

[1]) *Transactions Am. Soc. of C E.* l. c.

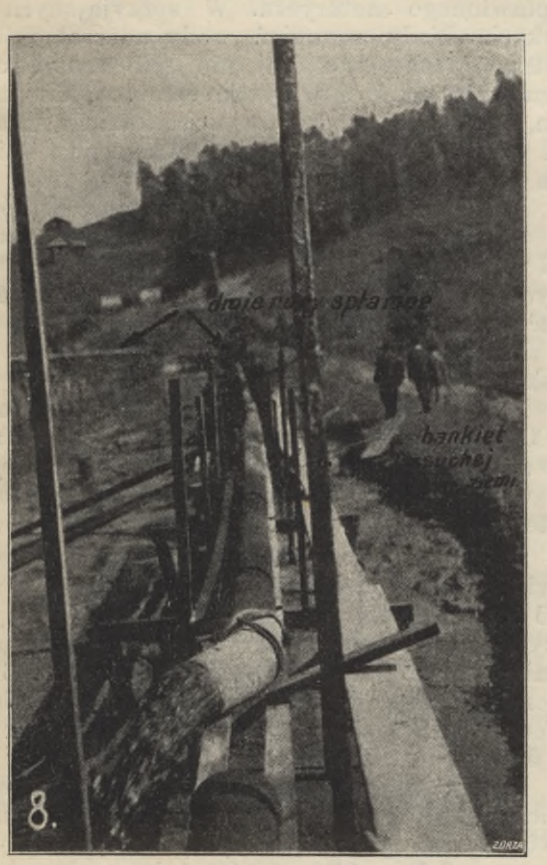
[2]) Tak np przy budowie jednej grobli w Kalifornii (*Crane-Valley-dam*) około 30 *m* wysokiej, wynosiła ilość wody tłoczonej do prądnicy zaledwie 70 *ls*, średnica rury tłocznej 280 *m/m*, średnica prądnicy 75 *m/m*. Przy budowie grobli w Kolonii indyańskiej *Zuni* (rys. 4-ty) użyto do wzruszenia i spławienia 50000 m^3 ziemi, zawartej w grobli, ilości wody nie przekraczającej 90 *ls*, tłoczonej rurą średnicy 228 *m/m*.

wianego materyału nie powoduje u pierwszych przelewania się wody na zewnątrz.

Rury i koryta spławne układa się w znacznych spadkach, powyżej 1·5%.

Rys. 7. Budująca się grobla w widoku z góry. Na krawędziach grobli widać koryta ułożone na jarzmach i służące do rozprowadzania płynnego materyału po powierzchni grobli.

Pominę konstrukcyę rur drewnianych [1]) — chociaż bardzo ciekawą — które służą do spławiania materyału, a przedstawię konstrukcyę koryta na samej grobli, służącego do rozprowadzenia materyału po powierzchni budującej się grobli.



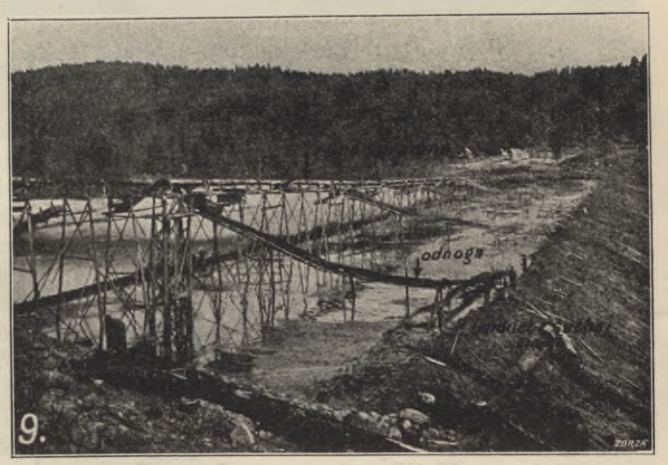
Rys. 8. Prymitywny sposób rozprowadzania materyału przez rozłączenie rurociągu.

Jeżeli rozkład materyału w grobli jest symetryczny względem środka, ustawia się na budującej się grobli dwa koryta, biegnące równolegle przez całą długość grobli. Koryta lub też rury spoczywają na jarzmach, które w miarę postępu roboty podciąga się do góry, jak na rys. 7-ym. Wypływ materyału i wody następuje przez rozłączenie rur w żądanem miejscu, jak na rysunku 8-mym.

W groblach, zbudowanych z jednolitego materyału, wystarczy naturalnie jedno koryto lub rurociąg w osi grobli.

Ten sposób zamulania jest uciążliwy i powoduje dużą stratę czasu na wymianę jarzm, rozłączenie i łączenie rur etc.

Lepszy sposób przedstawia rys. 9. gdzie rurę



Rys. 9. Na wysokich jarzmach umieszczona rura spławna z odnogami — jako udoskonalone urządzenie do rozprowadzania płynnego materyału po powierzchni grobli.

umieszczono na wysokich jarzmach, by je jak najrzadziej zmieniać. Od głównej rury opadają na obie strony ramiona boczne, co umożliwia osadzanie materyału wzdłuż i wszersz grobli.

Skoro wysokość grobli wzrośnie, można nie przerywając zamulania i nie ruszając głównego koryta w osi, przykrócić ramiona boczne, skutkiem czego doprowadza się materyał bliżej ku środkowi grobli.

Taką doskonalszą konstrukcyę, gdzie zastosowano rury żelazne, zamykane zasuwami, przedstawia rys. 10.

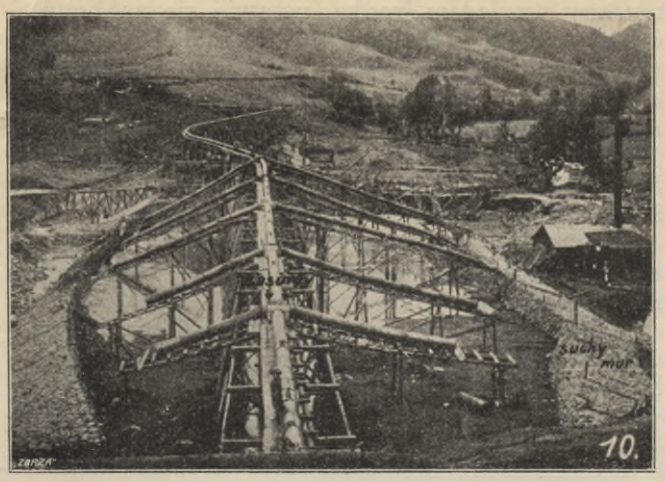
Zapytać by jeszcze można, jak się utrzymuje płynny materyał na grobli i jak odwadnia się groblę od zbytecznej wody.

Sposób zamulania jest bardzo prosty. Oto na krawędziach grobli, w płaszczyznach skarp usypuje się wały, około $^1/_2$ *m* wysokie, z suchego materyału, który ubija się ręcznie lub wałkami. Między wały wpuszcza się wodę z materyałem, który z czasem osiada. Z reguły podciąga się w górę najpierw zewnętrzne pasma grobli, które budowane z grubszego materyału prędzej trwardnieją, następnie wypełnia się środek, który o ile jest zamulany gliną, wymaga dłuższego czasu nim stężeje (co widać na rys. 8-ym).

Powierzchnie między wałami odwadnia się w ten sposób, że woda wpuszczona u jednego końca basenu, zamkniętego wałami równoległemi, spływa powoli ku końcowi drugiemu, gdzie korytem odprowadza się po za groblę. W innych przypadkach używają ze skutkiem przelewu rurowego,

[1]) Tutaj nadmienię tylko, że mimo tanie żelazo (za tonę żelaza zlewnego płaci się w Chicago dol. 19, w San Francisco dol. 26) rury drewniane, klepkowe są w powszechnem użyciu, zwłaszcza jako rury doprowadzające o znacznych średnicach. Wyrabiają je także fabrycznie aż do 2 *m* średnicy w kawałkach, które się łączy na miejscu. Podobną rurę posiadamy w Zakopanem przy tartaku kuźnickim.

pionowego, który łączy się z rurą wybiegającą na skarpę grobli.



Rys. 10. Urządzenie rurociągu spławnego nad groblą z rur żelaznych.

Budowa grobli sposobem hydraulicznym jest stosunkowo nie dawna i stosowana na większą skalę dopiero od dziesiątki lat, stąd też brak w literaturze amerykańskiej dat szczegółowych, na podstawie których możnaby wysnuć niezawodne wnioski o sprawności i kosztach tego sposobu Wystarczy nadmienić, że pierwsze techniczne sprawozdanie o budowie tych grobli pojawiło się w oficyalnym organie inżynierów amerykańskich dopiero w roku 1907 [1]). Sprawozdawca Mr. James D. Schuleyer, pionier w budowie tych grobli, przedłożył takie wyniki z budowy grobli w okolicy Yuba w Kalifornii, t. zw. Lake Frances-dam, na mocy własnych spostrzeżeń i pomiarów [2]).

Grobla ta budowana systemem hydraulicznym składała się z typowych 3 pasm pokładów w przekroju poprzecznym i miała 23·50 *m* wysokości. Bryłowatość grobli, pomierzona w kilka miesięcy po ukończeniu budowy, zatem po zupełnem osiądnięciu się grobli wynosiła okrągło 214.000 m^3, z tego zdeponowano w grobli okrągło 140.000 m^3 w przeciągu 250 dni, w czasie od października do czerwca (1906), przyczem pracowano przez całą zimę, w porze deszczów o łącznej wysokości opadu 1.500 *m m*.

Pomiary bryłowatości wykonane w miejscach wzruszania ziemi, w naturalnym terenie, wykazały nadwyżkę +15·4% ponad ilość pomierzoną w grobli. Zatem wzruszono i przetransportowano faktycznie 161.000 m^3 w 250 dniach.

Z owej nadwyżki (15·4%) miało według sprawozdania około 4·4% materyału spłynąć przelewami z wodą uchodzącą z grobli i osiąść w zbiorniku — taki wynik otrzymano z próbek wody, zaczerpniętych w przelewach.

Sprawozdawca wnioskuje, nie ręcząc zresztą za ścisłą ocenę owych utraconych 4·4%, że pozostałe 11% materyału dobytego zgęściły materyał w grobli, czyli że metodą hydrauliczną można uzyskać tak zbite ułożenie materyału, iż przewyższa rodzime o 11% (mierzonych bryłowatością naturalnego złoża).

Nieprzesądzając krytyczności takiego wniosku, można na podstawie powyższych wyników stwierdzić tylko tyle, że strata materyału, spowodowana odwadnianiem osadu tudzież zagęszczaniem materyału w grobli (czy też może osiadaniem terenu pod groblą?) jest znaczna, nie mniej jednak jest pewne, że zamulaniem da się uzyskać taka zbitość w materyale, która co najmniej dorównuje rodzimemu złożu.

W ciągu owych 250 dni tłoczono wodę jedynie przez przeciąg 1580 godzin — tyle zatem wynosił czas wzruszania i spławiania materyału ziemnego, czyli cośkolwiek ponad 25% całego zużytego czasu.

Potrącając niedziele i licząc dniówkę po 10 godzin, użyto do zamulania połowy okresu budowlanego tj. 125 dni roboczych.

Drugich 125 dni pochłonęły przygotowania do zamulania, sypanie wałów, ustawianie jarzm, kładzenie rurociągu spławnego, odwadnianie — no i nie uniknione przeszkody skutkiem naprawy maszyn, zatkania rur, tudzież przeszkody elementarne, jak nawalnice itp.

Ilość tłoczonej wody mierzono starannie przez cały czas, przyczem pojemność jej wahała się w granicach od 142 - 221 *ls*.

W czasie 1580 godzin roboczych przepompowano ogółem 970.770 m^3 wody, a wzruszono i spławiono 161.500 m^3 materyału. Zatem stosunek ilości materyału do wody wynosi średnio: $\frac{161\,500}{970\,770} =$ $= 16{\cdot}7\%$, czyli do wzruszenia i spławienia jednego m^3 materyału potrzeba było średnio 6 m^3 wody.

Ciekawsze są zestawienia tygodniowe — są regułą w Ameryce — co do ilości tłoczonej wody i spławionego materyału. W sprzyjających warunkach, kiedy strumień wody uderzał o ścianę 7 - 9 *m* wysoką, w której nie było nadmiaru kamienia i korzeni, a wszystko szło pomyślnym trybem, sprawność wody we wzruszaniu i spławianiu wzrastała do 32 i 38% i utrzymywała się na tym stopniu przez przeciąg kilku tygodni.

Największa tygodniowa sprawność wyróżniła się stosunkiem materyału do wody równym 47·7%, w którym to tygodniu na każdy m^3 materyału (złożonego w grobli) przypadło zaledwie 2 m^3 przepompowanej wody.

Minimum tygodniowe wyniosło 6·1%, czyli blisko 17 m^3 na każdy m^3 materyału.

Rekord tygodniowy osiągnięto spławieniem 17.000 m^3 materyału w 94 godzinach — zwyż 180 m^3 materyału w godzinie. Ilość tłoczonej wody wynosiła w tym tygodniu 205 *ls*., a stosunek materyału do wody 27·2%.

Średnia użyteczna praca motoru i pomp, odpowiadająca powyższej ilości tłoczonej wody (205 *ls*.) wynosiła w owym tygodniu 127·3 *KM*; zużytą energię (przy elektrycznym popędzie pomp) pomierzono średnio równą 176 *KW* czyli 236 *KM*, zatem wynosiła skombinowana dzielność motoru i pompy 53·9% (licząc na motor 90% a na pompy 59·9%).

Maximum godzinne spławionego materyału — obliczone z tego samego tygodnia — wyniosło 338·5 m^3 materyału spławionego na godzinę, minimum godzinne 35·9 m^3. Średni godzinny efekt z całego okresu tłoczenia wody daje stosunek: $\frac{161\,500\ m^3}{1\,580\ \text{godz.}} \sim 100\ m^3$ materyału w godzinie.

Największe manometryczne ciśnienie mierzone na pompie wynosiło 8 *atm*, najmniejsze 6·66 *atm*.

Największe ciśnienie mierzone w prądnicy (u wylotu rurociągu tłocznego) wynosiło 4·9 *atm*, najmniejsze 2·6 *atm*.

[1]) *Transactions Am. Soc. of C. E.* tom 58.

[2]) Stamtąd pochodzi część fotografii, tutaj przedstawionych.

Maximum zużytej siły (pomierzone zużyciem prądu) wynosiło 324 *KM*, średnie 236 *KM*.

Całą siłę zużytą w ciągu okresu budowlanego oceniono na 410.800 *KM* godzinnych i skapitalizowano po cenie $^1/_2$ centa (amerykańskiego = 2·5 h) za konia i godzinę, co przeliczone na jednostkę spławionego materyału, obciąża każdy m^3 kosztem 1·3 centa am. (7·5 h).

Bardziej dla pozyskania całokształtu z budowy, aniżeli z powodu realnej wartości poniższych cen pozwalam sobie wspomnieć o kosztach robocizny. Otóż najmniejsze tygodniowe koszta robocizny, przeliczone na 1 m^3 osadzonego w grobli materyału wynosiły 5 ct. am., średni koszt robocizny wyniósł około 20 ct. am. za m^3, co na nasze stosunki należałoby przeliczyć mniej więcej na 10 i 40 h. Całkowity koszt, obejmujący koszta tłoczenia wody, robocizny i materyałów niedosięgnął według sprawozdania 26 ct. am. (20 ct. robocizna, 6 ct. inne), zatem mniej więcej 70 h za każdy m^3 ziemi w grobli.

Nadmienić muszę, że ceny te uzyskano w bardzo nieprzyjaznych warunkach budowy i uchodzić mogą raczej za maximum, niż za przeciętne. Sprawozdawca na mocy doświadczeń zapewnia, że w bardziej pomyślnych warunkach, jakie się gdzie indziej trafiają, możnaby tę robotę wykonać „za ułamek“ powyższego kosztu.

Szczegóły, jakie powyżej zamieściłem i liczby jakie zestawiłem, uwalniają mnię od dalszych wniosków na temat sprawności i rentowności sposobu hydraulicznego przy budowie grobli.

Zarazem wyjaśnia się tajemnica, dlaczego to Amerykanin nawet przy tak znacznych wysokościach skłania się raczej do grobel ziemnych, jak do murowanych.

Oto z 3-ech przyczyn: po pierwsze czas budowy nawet bardzo wysokiej grobli ziemnej będzie krótszy niż dla murowanej;

po drugie: robocizna przy grobli ziemnej, budowanej hydraulicznie, musi być bezwarunkowo tańsza, aniżeli przy murowanej — ponieważ w pierwszym przypadku ilość robotnika jest znikomo mała, w drugim licznej rzeszy robotników uniknąć nie podobna;

po trzecie: groblę ziemną łatwiej usytuować niż murowaną, ponieważ położenie jej nie zależy od istnienia pokładu skalistego, jak przy murowanej;

Pokład skalisty może się znajdować w głębokości niedostępnej, wtedy nieraz kosztem pojemności zbiornika zmienia się położenie grobli murowanej; albo też znajduje się w głębokości znacznej, wtedy fundamentowanie pochłania wielkie sumy, mimo smukłego przekroju grobli murowanej.

Warunek ten nie istnieje dla grobli ziemnych i redukuje się do posadowienia grobli ziemnej na warstwie nieprzepuszczalnej — choćby tylko w części — a o to zawsze łatwiej, niż o zwarte podłoże skaliste.

Wogóle traktuje się kwestyę szczelnego złączenia masy grobli z podłożem dość nieopatrznie w projektach amerykańskich (np. rys. 4!).

Bo też inżynier amerykański skłania się ku przypuszczeniu, że ogromna masa ziemi zawartej w grobli uciska na podłoże i zagęszcza je.

Tem można sobie wytłumaczyć ów charakterystyczny szczegół budowlany, że w celu złączenia grobli z podłożem nieprzepuszczalnem poprzestaje się na kilku rowkach przekopanych do warstwy nieprzepuszczalnej, wypełnionych materyałem nieprzepuszczalnym (jak rys. 2.).

Dzięki takiej konstrukcyi jest wysokość grobli ziemnej zarazem wysokością u ż y t e c z n ą zbiornika w przeciwstawieniu do grobli murowanych, gdzie nie rzadko się zdarza, że połowa całego przekroju grobli znajduje się pod terenem, jeżeli warstwa nieprzepuszczalna leży mniejwięcej w $^1/_3$ całej wysokości grobli od terenu.

Pomimo płytkie fundowanie wydają się przekroje grobli ziemnych kolosami wobec grobli murowanych. Bliższe rozpatrzenie tej kwestyi wykaże, że ze stanowiska ekonomii budowlanej stosunek przekroju grobli ziemnej do murowanej wygląda wcale korzystnie. Z rysunku 1-szego do 4-tego obliczono przekroje we funkcyi wysokości grobli h. Z tych okazuje się, że średni przekrój wysokiej grobli ziemnej można przyjąć:

$$F_z = 2{\cdot}5\ h^2 + 9\ h \text{ lub krócej}$$
$$F_z = 2{\cdot}7\ h^2.$$

Z analogicznego obliczenia przekrojów, jakie przeliczyłem dla grobli murowanych[1]), okazało się, że przekrój grobli murowanej we funkcyi wysokości jest mniejwięcej:

$$F_m = 0{\cdot}75\ h^2$$
$$\text{Zatem } \frac{F_m}{F_z} = \frac{1}{3{\cdot}6}$$

Przyjmując ogólnie stosunek kosztu dla przekroju murowanego do ziemnego:

$$\frac{k(F_m)}{k(F_z)} = \frac{15}{1} \ldots\ldots \ldots \frac{10}{1},$$ dla przekroju ziemnego bynajmniej nie korzystny, otrzymamy prawdopodobny stosunek kosztu grobli murowanej do ziemnej:

$$\frac{K_m}{K_z} \sim 4 \ldots\ldots 3.$$

Zatem koszt grobli murowanej będzie najogólniej licząc 3 do 4 razy większy od kosztu grobli ziemnej, z czego wynika, że przekroje ziemne nawet przy takich rozmiarach są ekonomiczne.

„Niema granicy wysokości dla grobli ziemnych“ — twierdzi inżynier amerykański — wyjąwszy granicę kosztu, jeżeli groblę ziemną buduje się w ten sposób, by opór tarcia przy przesączaniu się wody przez drobnoziarniste złoże przewyższał ciśnienie wody.

Zatem całe zadanie przy budowie wysokiej grobli sprowadza się do warunku pozyskania odpowiednich mas drobnoziarnistego materyału i ułożenia możliwie zbitego.

I rzeczywiście wzrastają wysokości grobli ziemnych i mnoży się ilość budowanych sposobem hydraulicznym.

Przy budowie grobli Alamosa, przedstawionej na rys. 1-szym ustawiono nowy rekord spławieniem w 30 dniach 35.000 m^3 materyału ziemnego, kosztem robocizny 8—9 *ct* am. za m^3.

Jeszcze śmielej zakreślono projekt grobli w Necaxa, gdzie z góry zastrzeżono, że najmniejsza dzienna ilość spławionego materyału ma wynosić 7 640 m^3 (10 000 yardów sześciennych).

Podobno — przy kanale panamskim u jego wylotu do Pacyfiku ma powstać kilka zbiorników zalewowych, a część przegród ma być wykonana jako groble ziemne sposobem hydraulicznym.

Kraków w marcu 1910.

---

[1]) Ch. L. Harrison. *„Lake Cheesman-dam and reservoir“, Transactions Am. Soc. of C. E.* tom XXX, tudzież zestawienie w podręczniku: Friedrich. *Wasserbau* tom II, str. 325 i nast.

S.93 S.89 S-91 S-84

10,00

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
IV-301311

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000323315