

IX. INTERNATIONALER SCHIFFAHRTS-CONGRESS.
DÜSSELDORF — 1902.

I. Abtheilung.

4. Mittheilung.

Ausnutzung der Wasserkräfte

an

Wehren kanalisirter Flüsse.

Mittheilung

von

H. Graftio und N. v. Karaulow,

Ingenieure in St. Petersburg.

Münster i.W.

Buchdruckerei von Johannes Bredt.

1902.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316119

30.03.2018

III. 17. 85



111-307080

Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisirter Flüsse, auch bei Hochwasser, für mechanischen (auch elektrischen) Schiffzug.

Ueber den von der St. Petersburger Kreisverwaltung der Wege ausgearbeiteten Plan der Kraft-Ausnutzung der Wolchow-Stromschnellen für den Schiffzug auf den Ladoga-Kanälen.

Mittheilung

von

H. Graftio und **N. v. Karaulow**,

Ingenieure in St. Petersburg.

Allgemeines über die Ladoga-Kanäle.

Zum Ziehen von Schiffen und Flössen auf nahezu allen künstlichen Wasserwegen Russlands wird ausschliesslich Thierkraft verwendet. Die vielen Mängel dieser Schleppweise sind schon lange vom Kaiserlichen Ministerium der Wege und von anderen Behörden anerkannt und sind vielfach Schritte gethan, um dieses Zugsystem durch ein mechanisches zu ersetzen. Doch bis jetzt ist man noch über das Versuchstadium nicht hinweggekommen.

Die Einführung eines mechanischen Schiffzuges erscheint besonders wünschenswerth auf den sogenannten Ladoga-Kanälen wegen ihrer grossen Bedeutung für den Frachtverkehr Russlands. Die Ladoga-Kanäle bilden einen bedeutenden Theil des sogenannten Marien-Kanalnetzes, des grössten und bedeutendsten künstlichen Wasserweges Russlands, der den grössten Fluss Russlands, die Wolga, mit dem Baltischen Meere verbindet. Die Kanäle sind — siehe beigefügten Lageplan — doppelt angelegt. Durchweg dicht am Ufer des Ladogasees liegen die neuen Kanäle — Kaiser Alexander III. (43 Werst), Kaiserin Marie Theodorowna (9 $\frac{1}{2}$ Werst), Kaiser Alexander II. (103 $\frac{1}{2}$ Werst) — und weiter vom Ufer entfernt die durchweg zu jenen parallel gerichteten alten Kanäle — Kaiser Alexander I. (48 Werst), Kaiserin Katharina II. (10 $\frac{1}{4}$ Werst), Kaiser Peter der Grosse (104 Werst). Die neuen Kanäle,

in den 70—80er Jahren vorigen Jahrhunderts erbaut, haben eine Sohlenbreite von 12 Faden ($25\frac{1}{2}$ m), die Böschungen der ersten beiden sind 1 : 2, des dritten 1 : $1\frac{1}{2}$. Die alten Kanäle, in den Jahren 1719—1810 erbaut, sind 8 Faden breit (ca. 17 m) und haben eine Böschung von 1 : $1\frac{1}{2}$. Die neuen Kanäle nehmen Schiffe von einem Tiefgange bis 10 Tschetwert ($= \frac{5}{6}$ Faden = 1,77 m) auf, die alten — solche von einem Tiefgange bis 7 Tschetwert ($= \frac{7}{12}$ Faden = 1,25 m). Alle Kanäle mit Ausnahme des letzten, Kaiser Peter des Grossen, sind ohne Schleusen gebaut.

Eine Vorstellung von der Grösse und der Bedeutung dieser Kanäle mögen folgende Zahlen geben, die sämtlich der »Statistischen Sammlung« des Ministeriums der Wege entnommen sind.

Im Europäischen Russland (ausser Finnland) giebt es im Ganzen 765 Werst (ca. 815 km) Kanäle, wovon 320 Werst (ca. 340 km) auf die Ladoga-Kanäle entfallen (ca. 42 %). Die Ladoga-Kanäle bilden einen wesentlichen Theil des Verkehrsbezirks der Newa (nebst den Seen Ladoga, Onega und Ilmen), dessen Waarenverkehr nur dem des Wolgabezirks nachsteht. Auf den Ladoga-Kanälen werden jährlich gegen 5 000 000 Zentner Waaren jeglicher Art befördert, und die statistischen Angaben zeigen eine ständige Zunahme des Verkehrs.

Ausnutzung der Wasserkraft des Wolchow-Flusses für den mechanischen Schiffzug.

Hier muss noch auf einen Umstand hingewiesen werden, der von sehr grosser Bedeutung für den geplanten mechanischen Schleppzug auf den Ladoga-Kanälen ist, nämlich auf die grosse Nähe der Stromschnellen des Wolchows, eines grossen, 208 Werst langen Flusses, der aus dem Ilmensee in den Ladogasee fliesst und einen Theil des sogenannten Wysznewolotzkynetzes bildet, das ebenfalls (wie das oben erwähnte Marien-Kanalnetz und das Tichwische Netz) die Wolga mit dem Baltischen Meere verbindet. Dieser Fluss könnte der Breite und Tiefe nach ein vorzüglicher Wasserweg sein, wenn nicht zwei Stromschnellen — die Ptschewschen und besonders die Petropawlowschen (oder Ladogasnellen) — ein Hinderniss bildeten. Diese letzteren etwa 30 km von der Mündung des Flusses entfernten Stromschnellen (siehe Lageplan) haben eine Länge von rund 10 km und bringen der Schifffahrt grosse Gefahren, da der zwischen steilen, bis 25 m hohen Felswänden mit einer Geschwindigkeit von 3—4 m/sec. dahinstürzende Fluss mit 250 m Breite und einem Gefälle von ungefähr 0,012 (siehe das beigefügte Längenprofil) mit grossen Felsblöcken besät ist.

Die Nothwendigkeit einer Regulirung des Wolchows ist schon lange vom Ministerium der Wege anerkannt und durch Projekte nachgewiesen. Auch haben, da es sich um eine Kraftquelle von einigen

zehntausend Pferdestärken handelt, Unternehmungslustige bei der Regierung beantragt, ihnen das Recht der Ausnutzung dieser Kraftquelle für die Lieferung von elektrischer Energie in St. Petersburg zu überlassen. Von diesen Bemühungen privater Unternehmer, sowie von der Beantragung eines Monopols für mechanischen Schiffzug auf den Ladoga-Kanälen handelt ein Aufsatz des Professors W. E. v. Timonoff, Chef der St. Petersburger Kreisverwaltung (s. No. 2 des Journals des Ministeriums der Wege 1900), in welchem der Verfasser zu dem Schlusse kommt, dass als die rationellste Lösung der Frage der Kraftausnutzung der Wolchow-Schnellen, sowie der Errichtung eines mechanischen Schleppdienstes auf den Ladoga-Kanälen die Vereinigung dieser beiden Aufgaben in den Händen der Regierung erscheint. Auf Veranlassung W. E. v. Timonoffs wird zur Zeit ein solches Projekt ausgearbeitet, dessen Grundzüge in der vorliegenden vorläufigen Mittheilung schon behandelt werden mögen, obwohl die Ausarbeitung des Projektes noch nicht zum Abschluss gebracht ist.

Es ist klar, dass es sich nur um elektrischen Schiffzug handeln kann, weil die Kraftübertragung auf weite Entfernungen praktisch nur mittelst Elektrizität möglich ist.

Theorie und Praxis haben gezeigt, dass zu Schiffzugzwecken auf künstlichen Wasserwegen mit konstanter Geschwindigkeit und ohne öfteres Anhalten am rationellsten die Anwendung mehrphasiger (insbesondere dreiphasiger) Wechselströme erscheint; daher ist die Anwendung solcher Ströme auch für den vorliegenden Entwurf angenommen.

Von allen bis jetzt vorgeschlagenen und erprobten Systemen für elektrischen Schiffzug haben sich am besten bewährt die Systeme elektrischer Lokomotiven (*chevaux électriques*), elektrischer Bugsirschiffe — wie sie auf dem Kanal Bruxelles-Charleroi angewandt worden sind — und elektrischer Kettenschleppschiffe (Canal de Bourgogne).

Da die Wahl unter diesen Systemen hauptsächlich durch örtliche Bedingungen bestimmt wird und eine allgemeine Entscheidung unzulässig erscheint, ist der vorliegende Entwurf in drei Varianten mit Annahme jedes der obenerwähnten Systeme bearbeitet.

Grösse und Einrichtung der elektrischen Kraft-Centrale.

Auf den Ladoga-Kanälen werden jährlich, wie erwähnt, bis 5 Millionen Zentner Waaren in rund 10500 Schiffen und 28000 Flössen verfrachtet. Der Verkehr ist nicht gleichmässig, wie aus folgender Tabelle ersichtlich ist, die die durchschnittliche tägliche Zahl der die Kanäle passirenden Frachtschiffe darstellt.

M o n a t	Kanal Kaiser Al. III. und Al. I.		Kanal Kaiserin M. T. und Kath. II.		Kanal Kaiser Al. II. und Peter d. Gr.	
	nach Petersburg	von Petersburg	nach Petersburg	von Petersburg	nach Petersburg	von Petersburg
	April	10	10	34	10	37
Mai	18	13	20	19	65	38
Juni	33	17	38	20	57	30
Juli	41	21	50	19	61	32
August	31	19	37	22	50	38
September	24	21	32	24	48	37
Oktober	8	11	10	15	32	20
November	—	1	—	1	2	4

Die die Ladoga-Kanäle befahrenden Schiffe haben eine Länge von 10,5 bis 68 m, eine Breite von 3,2 bis 9,6 m und eine Tragkraft von 50 bis 740 Zentnern. Von den vielen Schiffstypen sind am zahlreichsten (bis 50 % der gesammten Zahl) die sogenannte Mariinka, Polubarka und Tichwinka, die eine Länge von 21 bis 42 m, eine Breite von 6,4 bis 8,5 m und eine Tragkraft von 160 bis 320 Zentnern haben.

Die nächste Stelle (ca. 20 %) nehmen die sogenannten Polulodka mit den Abmessungen von 53 m, 8,6 m und 1,77 m ein.

Die Grösse des Schiffwiderstandes wurde an der Hand theoretischer und praktischer Angaben ermittelt. Die theoretischen Berechnungen wurden durch die Ergebnisse der mit verschiedenen Schiffstypen vom Ingenieur Swiaginzeff gemachten Versuche berichtigt und letztere nach Möglichkeit mit den Angaben des Ingenieurs de Mas, Suppan und Anderer verglichen.

Die Zuggeschwindigkeit wurde zu 1 m/sec. (3,6 km/Stunde) angenommen, wobei der Widerstand als aus zwei Theilen bestehend angenommen wurde: Reibung = $f \cdot Sv^2$ und Wirbelentwicklung hinter dem Schiffe = $\varphi \cdot Av^n$, deren Koeffizienten Erfahrungsangaben entnommen wurden; ausserdem wurde der Umstand beachtet, dass bei mehreren Schiffen hintereinander der Widerstand des letzteren Theils um 75 bis 80 % geringer ist.

Als normaler Anhang für einen Ketten- oder Seilschlepper wurde folgende Zusammensetzung angenommen:

entweder 2 Schiffe mit den Abmessungen	64 m	9,6 m	1,67 m
oder 4 „ „ „ „	53 „	8,6 „	1,77 „
„ 6 „ „ „ „	38 „	8,5 „	1,20 „

Der Widerstand eines jeden solchen Schleppzuges beträgt circa 1500 kg. Für Bugsirschiffe oder Lokomotiven (cheval électrique) wurde ein aus der halben Zahl der Schiffe bestehender Schleppzug angenommen mit einem durchschnittlichen Widerstand von 1000 kg.

Die Abmessungen der die Kanäle befahrenden Flösse betragen 64 m, 8,5 m und 0,6 m, das Gewicht 330 Tonnen. Es werden gewöhnlich 10 Flösse zu einer sogenannten »Gonka« zusammengefügt. Die durch-

schnittliche tägliche Zahl der Gonki für die Monate Juni und Juli beträgt:

Kanal Kaiser Alexander I.	9
„ Kaiserin Katharina II.	10
„ Kaiser Peter der Grosse	30.

Die Ermittlung des Widerstandes der Flösse wurde wegen Fehlens praktischer Angaben theoretisch ausgerechnet, wobei alle in den Formeln vorkommenden Koëffizienten um 20 % gegen die Werthe für die unhandlichsten und schwersten Schiffe vergrössert wurden. Hiernach können bei der angenommenen Geschwindigkeit ein Kettenschleppschiff einen Zug von 4 Gonki, ein Bugsirschiff oder eine Lokomotive einen von 2 Gonki schleppen.

Weitere Berechnungen ergaben, dass bei der Rückfahrt der Schiffe von St. Petersburg, während deren sie nur halbbelastet oder ganz ohne Ladung gehen, und der Schleppzug nur aus einer halben Zahl der Schiffe zusammengesetzt wird, die Geschwindigkeit bis 1,5 m/sec. gesteigert werden kann.

Es wurde angenommen, dass

1. zum elektrischen Schiffzug beide Linien der Kanäle verwendet werden sollen,
2. auf den neuen Kanälen nur die in der Richtung nach St. Petersburg fahrenden Schiffe verkehren werden (demgemäss nur eine elektrische Arbeitsleitung längs des einen Ufers, sodass das andere für etwaige Pferdetreidelei freibleibt).
3. die alten Kanäle für den Verkehr der von St. Petersburg kommenden Schiffe und der durchweg nach St. Petersburg gehenden Flösse und der kleineren Schiffe für den Orts-Verkehr (hauptsächlich Steinmaterialien) dienen, sodass doppelte elektrische Arbeitsleitungen auf beiden Ufern dieser Kanäle angelegt werden müssen.

Den Berechnungen zur Bestimmung der erforderlichen Motoren wurde der Monat Juli mit stärkstem Verkehr zu Grunde gelegt, woraus sich folgende Anzahl von Schleppbooten zur Bewältigung des Verkehrs als nöthig erwies.

Kanäle	Ketten-Schleppschiffe	Bugsirschiffe und Lokomotiven
K. K. A. III. u. A. I.	15	30
K. K. M. T. u. E. II.	5	10
K. K. A. II. u. P. d. G.	55	110
Im Ganzen	75	150

Zur Vermeidung jeder Verkehrstockung wurden diese Zahlen noch um 20 % vergrößert und demgemäss die Zahl der anzuschaffenden Kettenschleppschiffe zu 90, die der Bugsirschiffe und Lokomotiven zu 180 bestimmt.

Aus dem Widerstande des Schleppzuges und der mechanischen und elektrischen Verluste wurde berechnet, dass die erforderliche Menge elektrischer Energie beträgt: für die Kettenschleppschiffe nicht über 25 Kilowatt, für Bugsirboote und Lokomotiven nicht über 20 Kilowatt. Diese Kraft soll den Motoren durch Kontaktleitungen an den Ufern von 6 mm Durchmesser zugeleitet werden und zwar als Drehstrom von 1000 Volt Spannung. Die Kontaktleitungen erhalten den Strom von einer zwischen den Kanälen liegenden Hauptleitung vermittelt Transformatoren, die die von der Kraftstation ausgehende Primärspannung des Stromes von 20000 auf 1000 Volt umsetzen. Bei der angenommenen Zahl der gleichzeitig in Betrieb befindlichen Motoren entfallen für 1 Kilometer der Kraftleitung Kilowatt:

Strecke:	Swir-Sjas	Kettenschleppschiffe	Bugsirschiffe od. Lokomotiven
	(Kanäle A. III. u. A. I.)	8,2	10,30
„	Sjas-Wolchow		
	(Kanäle M. T. u. E. II.)	13,0	17,40
„	Wolchow-Newa		
	(Kanäle A. II. u. P. d. Gr.)	14,2	22,35

Die elektrische Gesamtbelastung der Hauptleitung beträgt:

für Kettenschleppschiffe 2100 Kilowatts

„ Bugsirschiffe und Lokomotiven . 3000 „

Bei Ermittlung der Zahl der Transformator-Stationen wurde die Ansammlung einer doppelten Zahl von Schiffen vorgesehen, indem der kilometrische Verkehr für solche Strecken doppelt genommen wurde. Die Entfernung der sekundären Stationen wurde nach bekannten Formeln berechnet, wonach die günstigste Entfernung beträgt:

für den Fall der Anwendung von Kettenschleppschiffen auf

der Theilstrecke Swir-Wolchow 8,0 km

„ „ Wolchow-Newa 6,8 „

event. für die Fälle der Anwendung von Bugsirschiffen und Lokomotiven 7 und 6 km.

Die Zahl der Transformatorstationen ist für den ersten Fall 24, für den zweiten 26.

Für den ersten Fall sind Transformatoren von 120 Kilowatt Leistung, für den zweiten solche von 150 Kilowatt angenommen. Die primäre längs den Kanälen geführte Hauptleitung besteht aus zwei Strecken, die westliche 64 km, die östliche 92 km lang. Jede wird in ihrer Mitte durch eine besondere Leitung von der an den Wolchow-Stromschnellen gelegenen Kraftstation aus gespeist. Die Länge dieser Speiseleitungen beträgt 51 und 28 km.

Zur Betriebsicherheit ist die primäre Leitung doppelt vorgesehen und in Theilstrecken von der ungefähren Länge der Transformatorstationen zerlegt. Der Durchmesser der Drähte der Speise- und Hauptleitungen ist zu 5 mm gerechnet. Die Kraftzentrale muss beim stärksten Schiffahrtbetrieb (im Monat Juli) bis 2500 Kilowatt bei Anwendung von Kettenschleppschiffen und bis 3500 Kilowatt bei Anwendung von Bugsirschiffen oder Lokomotiven leisten können. Zu diesem Zwecke müssen in der Centrale wenigstens 5 bezw. 7 Drehstromgeneratoren von je 500 Kilowatt Leistung aufgestellt werden, die mit ebensoviele je 750 Pferdestärken starken Turbinen direkt gekuppelt sind; ausserdem müssen in der Centrale wenigstens 8 resp. 12 Transformatoren von 300 Kilowatt vorhanden sein, um die Spannung der Generatoren bis 22000 Volt hinauf zu transformiren.

Das Wehr im Wolchow-Fluss.

Zur Nutzbarmachung der Wolchow-Stromschnellen ist ein Wehr von 10 m Höhe projektirt und als Variante ein bewegliches Wehr, System Camaré. Das Wehr, das zur Zeit des Eisganges und des Hochwassers niedergelegt ist, muss mit einem Ueberlauf und mit Schleusen zum Durchlassen der Schiffe versehen sein. Die Anwendung eines Wehres mit so hohem Gefälle ist wegen der erwähnten hohen und steilen Felsufer des Wolchows möglich. Das Wehr ist gleich am Ende der Stromschnellen oberhalb des Dorfes Dubowiki vorgesehen, womit die Vorzüge erreicht werden, dass eine kurze Anfuhr von Baumaterialien aus den nahen Steinbrüchen und ein vom Eisgange geschützter Werkkanal unter Benutzung verlassener Steinbrüche erzielt werden kann. Am unteren Ende dieses Werkkanals ist die Kraftcentrale projektirt.

Verwerthung der überschüssigen Kraft.

Da die verfügbare Kraft der Wolchow-Stromschnellen über 30000 Pferdestärken beträgt, zum Zwecke des Schiffzuges aber, einschliesslich aller mechanischen und elektrischen Verluste, nicht mehr als 5000 Pferdestärken erforderlich sind, so bleiben noch über 25000 Pferdestärken übrig, wovon ein Theil, nach Professor W. E. von Timonoffs oben erwähntem Aufsätze, zur Vertiefung und Verbesserung der Ladogakanäle und zur industriellen Belebung umliegenden Gebietes verwandt werden sollen, während der grössere Theil nach St. Petersburg übertragen werden kann, sowohl für Staatszwecke, wie zum Verkauf an Private.

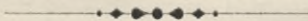
Diese zu verhältnissmässig billigen Preisen zu verwerthende Kraft wird unzweifelhaft viel zur Entwicklung der Industrie beitragen und zugleich die Kosten für Herstellung und Betrieb der Gesamtanlage decken.

Da die in grossem Maasstabe anzulegenden Wasserbau-Arbeiten voraussichtlich viel Zeit in Anspruch nehmen und grössere Geldmittel erfordern, sodass die Vollendung der Anlage einige Jahre dauern wird, andererseits aber die Einführung des elektrischen Schleppzuges auf den Kanälen dringend nothwendig erscheint, so ist noch die Variante ausgearbeitet, dass zunächst zur Gewinnung der nöthigen Kraft eine Dampf-anlage gebaut wird. Es sind zwei Dampf-Centralen von 2000 Pferdestärken in den Punkten vorgesehen, wo der Anschluss der von der hydraulischen Centrale ausgehenden Hauptleitungen erfolgt.

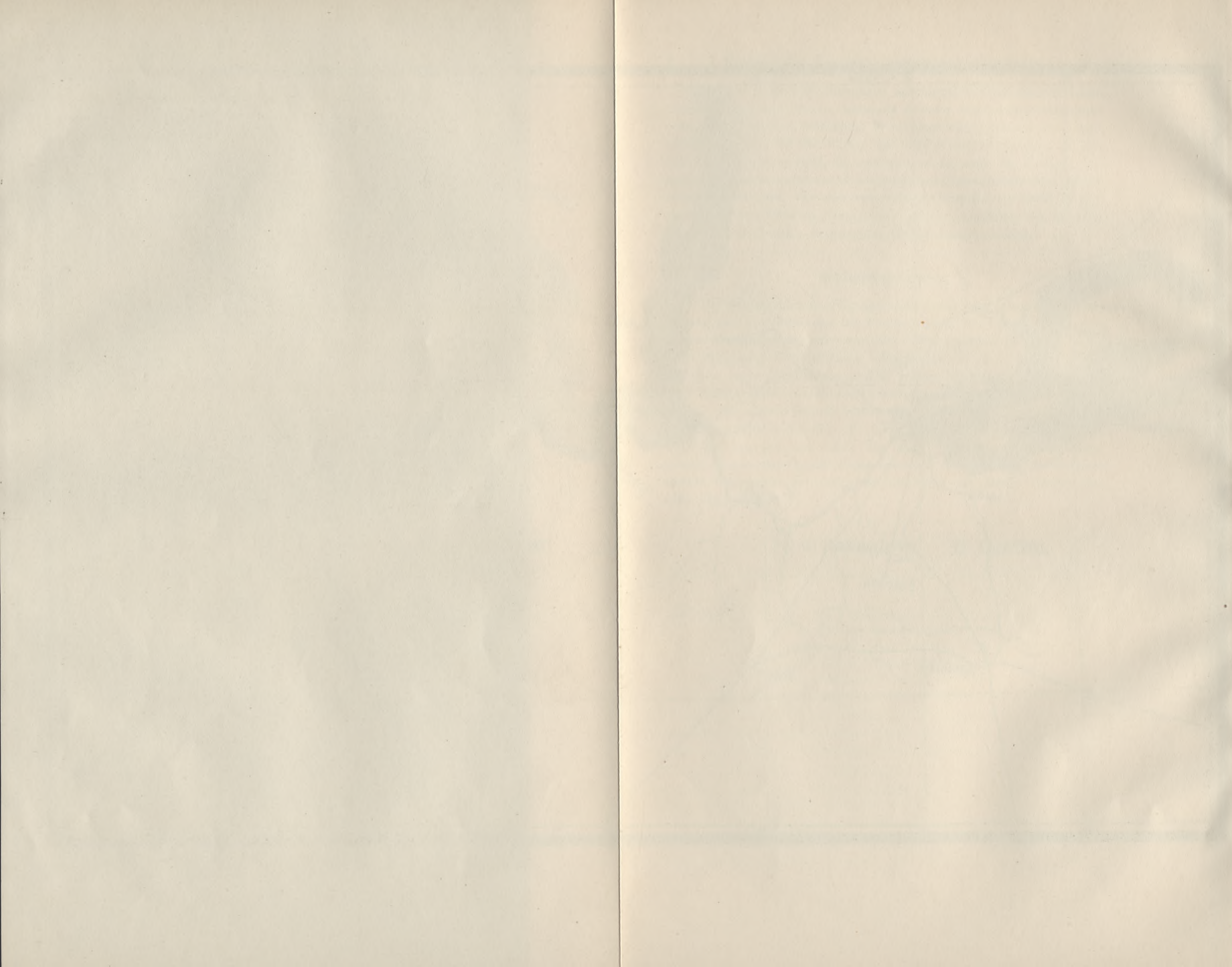
Schlussfolgerungen.

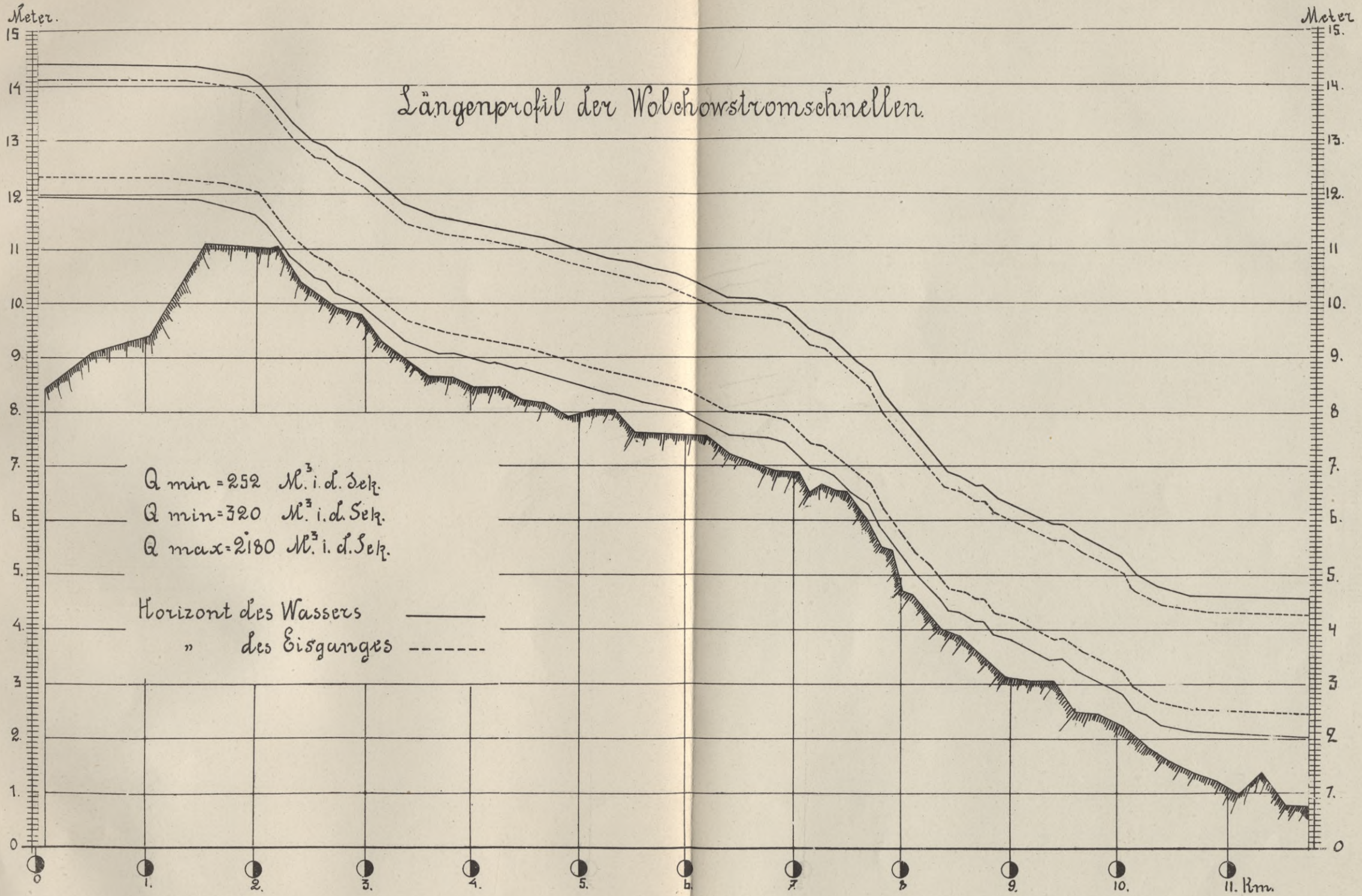
Die vorstehenden Ausführungen geben nur eine schematische Darstellung des Projektes, das bei Prüfung durch die Behörde noch eine weitere Durcharbeitung erfordern wird. Dem eigenthümlichen Charakter der vorliegenden Unternehmung entsprechend ist die Ausführung nur bei einer regen Theilnahme seitens solcher Weltfirmen möglich, die ihre Thätigkeit der praktischen Anwendung der Elektrizität gewidmet haben. Aus diesem Grunde glauben die Vortragenden, dass eine wenn auch kurze Mittheilung über die Grundlagen des Projektes nicht gänzlich ohne Interesse sein würde für einen Schiffahrtcongress in einem Lande, das so viel für die Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrotechnik beigetragen hat und dem mit Recht auf diesem Gebiete der erste Platz gebührt.

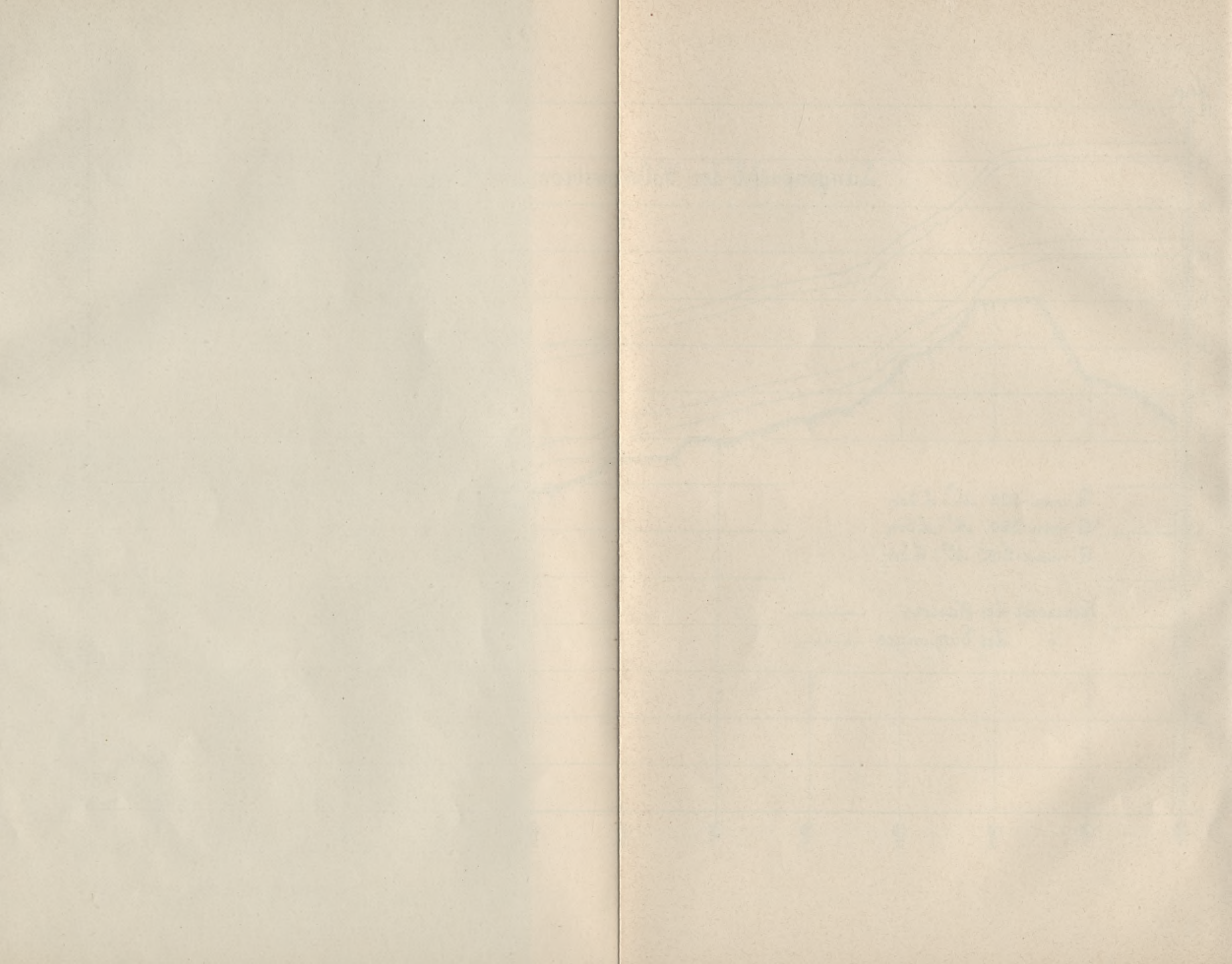
N. v. Karaulow. H. Graftio.











Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307090

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316119