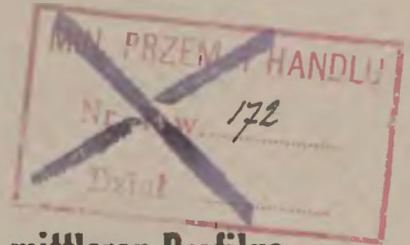


III Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten  
Warszawa, Mai 1930.

---



# Forschungen über das Verhältnis der mittleren Profilgeschwindigkeit zur grössten Oberflächengeschwindigkeit in künstlichen Betten und Vorschlag zu einer Messmethode

von

Prof. Dr. M. MATAKIEWICZ (Polen).

---

WARSZAWA

Herausgegeben vom Ministerium für öffentliche Arbeiten

1930

MIN. PRZEM. I HANDLU  
No. Inw. 72  
7436  
III Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten  
Warszawa, Mai 1930.

## Forschungen über das Verhältnis der mittleren Profilgeschwindigkeit zur grössten Oberflächengeschwindigkeit in künstlichen Betten und Vorschlag zu einer Messmethode

von Prof. Dr. M. Matakiewicz (Polen).

1. Mit der Bestimmung des Verhältnisses der mittleren und Oberflächengeschwindigkeiten in den Vertikalen und mit der theoretischen Bestimmung der Gestalt der Vertikalgeschwindigkeitskurven, haben sich sehr viele Forscher befasst. Diese Forschungen haben zwar den theoretischen Teil der Aufgabe nicht gelöst, doch wurden sie zur Grundlage einer praktischen Messmethode, die auf der Reduktion der Oberflächengeschwindigkeiten auf die mittleren, an Hand von aufgestellten Formeln, beruht.<sup>1)</sup>

Die Hydrologen interessierte auch das Problem der Bestimmung des Verhältnisses zwischen der mittleren Profilgeschwindigkeit und der grössten Oberflächengeschwindigkeit (im Stromstrich), denn dieses Verhältnis bildete die Grundlage der leichtesten und schnellsten Messmethode, zur Bestimmung von grossen Abflussmengen.

Die beiden obenerwähnten Messmethoden geben zwar nur angenäherte Resultate und stehen der s. g. vollkommene Messung nach, doch in gewissen Fällen, zum Beispiel bei Hochwassermessungen, leisten sie sehr gute Dienste.

Im Jahre 1918, gestützt auf die Ergebnisse zahlreicher Erhebungen, habe ich derartige Formeln für beide Fälle aufgestellt; dieselben lauten:

$$1) \frac{v'_m}{v_o} = 0.78 + 0.015 T_m + \frac{0.02}{J^{0.75/100}} \quad ^2)$$

$$2) \frac{v_m}{v_o \max} = 0.59 + 0.02 T_m + \frac{0.006}{J^{0/100}} \quad ^2)$$

<sup>1)</sup> Neuere z. B. Siedek 1912, Fischer 1916.

<sup>2)</sup> „Badania nad związkiem między chyżością średnią i powierzchniową w łożyskach rzecznych”. Lwów 1918. Czasopismo Techniczne.

„Verhältnis der Oberflächen- zur mittleren Profilgeschwindigkeit”, Wien, Monatschrift f. d. öffentlichen Baudienst 1924.

Es bedeuten hier:  $v'_m$  — die mittlere Geschwindigkeit } in der  
 $v_o$  — die grösste Oberflächengeschwindigkeit } Vertikalen  
 $v_m$  — die mittlere Profilvergeschwindigkeit  
 $v_o \text{ max}$  — die grösste Oberflächengeschwindigkeit  
 $T_m$  — die mittlere Profiltiefe  
 $J$  — das Gefälle.

Diese Forschungen beziehen sich aber nur auf natürliche Betten, es fehlen dagegen derartige Untersuchungen für künstliche Betten, d. i. Kanäle, so dass unsere Kenntnisse in dieser Beziehung vollkommen unzureichend sind. Weyrauch<sup>1)</sup> auf Grund der Arbeit von Christen<sup>2)</sup>, welcher wieder seine Beobachtungen auf

den Arbeiten von Bazin stützte, gibt die Reduktionskoeffizienten  $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$  für künstliche Betten folgendermassen an:

1. Bettmaterial	2. Verhältnis $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$
Zement . . . . .	0.825
Bretter . . . . .	0.815
Werksteine . . . . .	0.815
Kleiner Schotter . . . . .	0.766
Grober Schotter . . . . .	0.714

Diese Werte, entnommen den Ergebnissen der Forschungen von Bazin an Versuchserinnen von sehr kleiner Tiefe ( $R$  in den Grenzen von 0.078 bis 0.344 m), sind, allgemein genommen, nicht richtig. Nach der Analogie der natürlichen Gerinne, d. i. Flüsse und Ströme, kann man wohl behaupten, dass dieses Verhältnis nicht nur vom Bettmaterial, sondern auch von der Tiefe, oder besser, vom hydraulischen Radius  $R$  abhängig ist, so dass dieses Verhältnis durch die allgemeine Formel:

$$\frac{v_m}{v_o \text{ max}} = \varphi \left\{ a, f(R) \right\}$$

dargestellt werden kann, in welcher  $a$  einen von dem Bettmaterial (also von der Bettrauheit) abhängigen Faktor,  $f(R)$  eine Funktion des hydraulischen Radius bedeutet.

Diese Formel ist anders als die oben für natürliche Betten in der Gestalt von

$$\frac{v_m}{v_o \text{ max}} = a' + F(T_m) + \Phi(J) \text{ angegebene;}$$

bei künstlichen Gerinnen fällt die Funktion des Gefälles ab, denn bei denselben bildet das Gefälle für die Rauheit des Bettes (Bettmaterial) keine Charakteristik.

Für künstliche Betten müsste man also das Verhältnis  $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$  entweder für jedes Bettmaterial gesondert bestimmen, oder es muss in die bezügliche allgemeine Formel ein besonderer, die Bettrauheit bezeichnender Faktor eingeführt werden; diesen letzten Weg werden wir im Weiteren befolgen.

<sup>1)</sup> „Hydraulisches Rechnen“.

<sup>2)</sup> „Das Gesetz der Translation des Wassers“.

Die Lösung des Problems wird dadurch erleichtert, dass in den letzten 25 Jahren zahlreiche Messungen an künstlichen Kanälen grosser Abmessungen, die vor allem zum Zwecke von Wasserkraftausnützung dienen, vorgenommen wurden. Das erleichtert die Untersuchung in breiten Grenzen.

2. Es wäre noch zu fragen, ob die Bestimmung des Verhältnisses  $\frac{v_m}{v_o \max}$  für künstliche Betten einen praktischen Wert haben kann? Diese Frage muss bejaht werden; wenn es gelingt, den Wert dieses Verhältnisses mit grosser Strenge zu bestimmen, so kann dasselbe — angenommen das Vorhandensein am künstlichen Kanal entsprechender Bedingungen und vorherige Bestimmung des Rauheitsgrades — die Grundlage der einfachsten, schnellsten und billigsten Methode zur Bestimmung der Abflussmenge bilden, welche nur die Bestimmung des Querprofils und Messung der Geschwindigkeit nur in einem einzigen Punkte, d. i. bei regulärem Profil, nur in der Mitte des Wasserspiegels an der Oberfläche, verlangt.

Das Ergebnis wird dann sehr genau sein, wenn die Profilverhältnisse ideal sind. Es muss verlangt werden: reguläres Profil, von einer ziemlich gleichmässigen Rauheit, Lage des Messprofils in einer längeren Geraden, vollkommene Sicherheit, dass die grösste Geschwindigkeit in der mittleren Vertikalen an der Oberfläche liegt. Die Forderung nach idealen Messbedingungen kann aber nicht als eine spezielle für diese Methode betrachtet werden — sowohl bei der Messung mit Überfall, bei der chemischen Methode, wie auch beim Messen mit Schirm, oder mit mehreren Flügeln und Chronograph — verlangt man eben dasselbe, wenn genaue Resultate erwünscht sind.

Diese Methode, die eigentlich, wie oben erklärt wurde, nicht neu ist und nur für künstliche Kanäle eine spezielle Bearbeitung und „Veredelung“ notwendig hat, kann speziell bei Bestimmung des Leistungskoeffizienten der Turbinen an Wasserkraftanlagen ihre Anwendung finden. Dort verlangt man eine möglichst schnelle Bestimmung der Durchflussmenge, damit der Wasserstand keine Änderung erfährt — dies wird bei dieser Methode vollkommen erreicht.

3. Vorgang bei der Bestimmung des Verhältnisses  $\frac{v_m}{v_o \max}$  für künstliche Gerinne.

Man hat getrachtet, eine möglichst grosse Anzahl an künstlichen Gerinnen ausgeführter Messungen, mit verschiedenem Material und verschiedenen Tiefen, von sehr kleinen, bis zu sehr grossen zu sammeln. In Anerkennung dessen, dass die bisherige Bestimmung der Betrauheit nach dem Material der Sohle und der Wände, für den verfolgten Zweck unzureichend ist, hat man getrachtet, einen mathematischen Ausdruck zu finden, der geeignet wäre, die Betrauheit zu bestimmen. Dazu verwendete man die Geschwindigkeitsformel vom Autor<sup>1)</sup>, sowie zur Kontrolle auch die von Forchheimer<sup>2)</sup> und zwar:

<sup>1)</sup> M. Matakiewicz: „Ogólna formuła na średnią prędkość przepływu w łożyskach rzecznych i kanałowych“, Lwów 1925., Akademie der Technischen Wissenschaften.

<sup>2)</sup> Ph. Forchheimer: „Der Durchfluss des Wassers durch Röhren und Gräben, insbesondere durch Werkgräben grosser Abmessungen“, Leipzig 1923.

4)  $v_m = 35.4 J^m R^{0.7}$ , bzw. 5)  $v_m = \lambda J^{0.5} R^{0.7}$

und rechnete für jede Messung, oder für Gruppen von Messungen (bei demselben Bettmaterial und wenig veränderlichem  $R$ ) nach der Formel 4) den Rauheitsexponenten  $m$  und nach der Formel 5) den Rauheitskoeffizienten  $\lambda$ , als Rauheitszahlen aus. Dann ist man zu der eigentlichen Forschung übergegangen, welche sich in drei Teile zerlegen lässt und zwar:

1) Voruntersuchung, zur allgemeinen Orientierung über den Einfluss der Bettrauheit und des hydraulischen Radius auf das Verhältnis  $\frac{v_m}{v_o \max}$ .

2) Untersuchung zur Bestimmung des Verhältnisses  $\frac{v_m}{v_o \max}$  für verschiedene Bettrauheiten, aber bei Reduktionen dieses Verhältnisses für alle Messungen bei Annahme des hydraulischen Radius  $R = 0$ .

3) Untersuchung zum Zwecke der genauen Bestimmung des Einflusses des hydraulischen Radius auf den Wert des Verhältnisses  $\frac{v_m}{v_o \max}$ .

### 1. Voruntersuchung.

Dieselbe wurde graphisch durchgeführt und zwar auf diese Weise, dass auf der Abszissenachse die Werte von  $R$ , auf den Ordinaten die Werte  $\frac{v_m}{v_o \max}$  aufgetragen, wonach Punkte gleicher Rauheit (d. i. von gleichem  $m$ , bzw.  $\lambda$ ) durch gerade Linien verbunden wurden. Die Ergebnisse dieser Voruntersuchung waren folgende:

a) Das Verhältnis  $\frac{v_m}{v_o \max}$  verkleinert sich mit dem Wachsen der Rauheit (mit dem Wachsen von  $m$ , oder Verkleinerung von  $\lambda$ ).

b) Dasselbe wächst mit dem Wachsen vom hydraulischen Radius  $R$ .

c) Von der Untersuchung müssen solche Messungen ausgeschlossen werden, bei welchen die grössten Geschwindigkeiten sich unter dem Wasserspiegel befinden. Diese Erscheinung kommt vor allem bei Profilen vor, deren Breite im Verhältnis zur Tiefe unbedeutend ist ( $B < 2 T$ ), aber auch bei anderen, was nicht nur der Einwirkung des Windes, aber auch dem Einfluss veränderlicher Breite, Tiefe, Rauheit und anderen eine Stauwirkung erzeugenden Ursachen zuzuschreiben wäre.

d) Die Voruntersuchung zeigte weiter, dass die Neigung, der die Punkte gleicher Bettrauheit verbindenden Geraden, angenähert dieselbe ist, wie für natürliche Betten (in der oben angegebenen Formel  $tg = 0.02 T$ ).

e) Die aus den Messresultaten errechneten Werte  $\frac{v_m}{v_o \max}$  schwanken ziemlich stark nach beiden Richtungen (wegen nicht Erfassen bei der Messung  $v_o \max$ , grösste Geschwindigkeiten unter der Oberfläche, Messfehler, etc.), so, dass bei weiterer Untersuchung die Verwendung einer grossen Anzahl von Messungen ratsam erscheint.

Zu diesem Zwecke wurde folgendes Vorgehen angenommen: Bei allen Messungen sollte vor allem das Verhältnis  $\frac{v_m}{v_o \max}$  von dem Teil, welcher nur von der Rauheit abhängig ist, freigemacht werden, um dann alle auf diese Weise auf gleiche Basis gestellten Werte (sozusagen neutralisierten Werte)  $\frac{v_m}{v_o \max}$  für die Bestimmung des Verhältnisses zu  $R$  zu verwenden. Diese Aufgabe erfüllen die Untersuchungen 2. und 3.

2. Bestimmung  $\frac{v_m}{v_o \max}$  bei  $R = 0$ .

Hier wurden ausschliesslich die klassischen Messungen von Darcy und Bazin<sup>1)</sup> in einer Zahl von 217 verwendet. Dieselben haben den Vorzug wegen Anwendung einer bis jetzt unübertroffenen Messmethode, sorgfältiger Ausführung, Verschiedenheit des Bettmaterials und auch deswegen, weil sie bei Profilen von sehr kleinen Tiefen ausgeführt wurden, was eben bei diesem Teile der Untersuchung vom grossen Werte ist, da der eventuelle Fehler bei Annahme der Neigung der die Punkte gleicher Rauheit verbindender Geraden (vorläufig  $tg = 0.02 R$ ) und Verlängerung derselben zu der Ordinatenachse ( $\frac{v_m}{v_o \max}$  für  $R = 0$ ), ohne Bedeutung bleibt. Auf Grund einer graphischen Ausgleichung wurden neun solche Geraden erhalten, also auch neun Punkte auf der Ordinatenachse, welche kennzeichnend für die Beziehung zwischen  $\frac{v_m}{v_o \max}$  bei  $R = 0$  und der Rauheitsziffer  $m$ , bzw.  $\lambda$ , waren. Diese Beziehung kann als eine Lineargleichung dargestellt werden, doch ist sie anders für reine Kanäle und anders für Kanäle mit Bewachsung. Die auf diese Weise erhaltenen Gleichungen lauten folgendermassen:

a) Reine Kanäle.

$$\frac{v_m}{v_o \max} = 1.095 - 0.857 m \dots \dots \dots 3).$$

bzw. „  $= 0.584 + 0.00253 \lambda \dots \dots \dots 4).$

b) Kanäle mit Bewachsung.

$$\frac{v_m}{v_o \max} = 2.137 - 3 m \dots \dots \dots 5).$$

bzw. „  $= 0.138 + 0.014 \lambda \dots \dots \dots 6).$

---

<sup>1)</sup> „Recherches Hydrauliques“. Paris, 1865.

3. Bestimmung des Wachsens von  $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$  beim Wachsen von  $R$ .

Für die Beziehung zwischen  $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$  und  $R$  wurde eine Gerade angenommen, so dass laut den Resultaten der Untersuchungen 1) und 2) die allgemeine Formel für  $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$  :

$$\frac{v_m}{v_o \text{ max}} = a - b m + c R, \quad \text{bzw.}$$
$$,, = a' + b' \lambda + c R$$

lauten wird, und zum Gegenstande der Untersuchung 3) wird eben die Bestimmung von  $c$ .

Zu diesem Zwecke wurden zahlreiche Messungen benützt<sup>1)</sup> und zwar:

1) Die oben erwähnten Messungen von Darcy und Bazin, in der Zahl von 217.

2) Die österreichischen Messungen am Donaukanal, in der Zahl von 56<sup>2)</sup>.

3) Schweizerische Messungen, in der Zahl von 28<sup>3)</sup>.

4) Italienische Messungen am Cavourkanal in der Zahl von 7<sup>4)</sup>.

5) Österreichische Messungen am betonierten Wienflussbett, in d. Z. von 5<sup>5)</sup>

6) Gegen 250 Messungen an amerikanischen, österreichischen und polnischen Bewässerungs-Kanälen,- Gräben und Mühlbächen, die aber wenig nutzend waren und zwar wegen Unsicherheit, ob bei der Messung die grösste Oberflächengeschwindigkeit wirklich erfasst wurde und ob die grössten Geschwindigkeiten sich an der Oberfläche befanden.

7) 29 an bayerischen Werkkanälen von Forchheimer ausgeführte Messungen<sup>5)</sup>.

Der Rechnungsvorgang war folgender: Von den aus den Messungen erhaltenen Werten von  $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$  wurde  $\frac{v_m}{v_o \text{ max}}$  für  $R = 0$  abgezogen und dadurch  $c R$  erhalten.

---

<sup>1)</sup> weniger aber als beabsichtigt wurde, denn trotz Anbeten in allen Ländern, die grosse Kanäle besitzen, wurde nur aus wenigen das notwendige Messmaterial zur Verfügung gestellt.

<sup>2)</sup> Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs, Wien 1899. und Jahrbücher des hydr. Ztlbureaus, Wien 1900—1914.

<sup>3)</sup> fünf aus dem Werke „Entwicklung der Hydrometrie in der Schweiz“, Bern 1907., und 23. durch entgegenkommende Übermittlung des eidg. Wasserwirtschaftsamtes in Bern.

<sup>4)</sup> P a s i n i und G i o p p i, Giornale del Genio Civile 1893. XXXI.

<sup>5)</sup> Der Durchfluss des Wassers... 1923.

Aus obigen Messungen erhielt ich als den ausgeglichenen Wert von  $c R$ :

$$c R = 0.0252 R.$$

4. Nach dem oben Angeführten lauten die endgültigen Formeln, welche die Beziehung zwischen  $\frac{v_m}{v_{o \max}}$ , der Rauheitsziffer  $m$ , bzw.  $\lambda$  und dem Profilradius  $R$  darstellen, folgendermassen:

a) für reine Kanäle:

$$\frac{v_m}{v_{o \max}} = 1.095 - 0.857 m + 0.0252 R \dots 7).$$

bzw. „ = 0.584 + 0.00253  $\lambda$  + 0.0252  $R$  . . . 8).

b) für Kanäle mit Bewachsung:

$$\frac{v_m}{v_{o \max}} = 2.137 - 3 m + 0.0252 R \dots 9).$$

bzw. „ = 0.138 + 0.014  $\lambda$  + 0.0252  $R$  . . . 10).

5. Die Messmethode ist sehr einfach und beruht auf der Bestimmung durch Messung nur der Profilfläche  $F$  und der grössten Oberflächengeschwindigkeit (im Stromstrich, also bei regulären Kanälen in der Profilmitte). Die eigentliche Geschwindigkeitsmessung, da sie nur in einem Punkte vorgenommen wird, dauert nur eine, oder einige Minuten, ist also von den Wasserstandsänderungen unabhängig.

Die Vorbereitungen zu der Messung sind ebenfalls sehr einfach, brauchen aber garnicht unmittelbar vor der Messung und mit Eile vorgenommen werden. Zu diesen gehört:

- 1) Auswahl des Profils in einer geraden, regulären Strecke;
- 2) Durchführung ein für allemal einer vollkommenen Flügelmessung und Bestimmung des Spiegelgefälles<sup>1)</sup> zur Ausrechnung der Rauheitszahl  $m$ , bzw.  $\lambda$  und zur Sicherstellung, dass im Messprofile die grössten Geschwindigkeiten sich an der Oberfläche befinden.

---

Ich glaube, dass diese Methode bei Bestimmung des Leistungskoeffizienten der Turbinen in Wasserkraftanlagen vom Nutzen sein wird und in vielen Fällen die sehr kostspiegle Methode der gleichzeitigen Messung mit mehreren Flügeln, bei Verwendung vom zahlreichen Personal, oder Chronograph, ersetzen kann.

In Anwendung z. B. an die bei Chancy — Pougny ausgeführten vier Messungen<sup>2)</sup>, wo keine günstigen Messverhältnisse vorhanden waren (enge Messkam-

---

<sup>1)</sup> Die so unbeliebte durch manche Hydrologen Einführung in die Formel des Gefälles  $J$  hat hier nur nebensächliche Bedeutung, was hier speziell betont wird.

<sup>2)</sup> Résultats des essais effectués sur les groupes électrogènes de l'usine de Chancy-Pougny", par P. Perrochet. Schweizerische Bztg. Bd. 87 v. 8 Mai 1926. S. 241. Ergänzende Daten erhielt ich dank der Entgegenkommenheit der Direktion der „Schweizerischen Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft", Basel.



mern, schiefe Richtung der Strömung, Öffnungen geteilt durch Mittelwände), erhält man folgende Differenzen der mittleren Geschwindigkeiten nach den Resultaten der Messung und der Berechnung nach den oben entwickelten Formeln:

Messung	Differenz	
	absolut	in Prozenten
A I . . . .	+ 0.010 . . . .	+ 1.2% } Turbine Escher-Wyss.
A II . . . .	- 0.018 . . . .	- 2.1% }
B I . . . .	+ 0.003 . . . .	+ 0.4% } Turbine Chammilles.
B II . . . .	+ 0.056 . . . .	+ 6.9% }

Die zugrosse Abweichung bei der Messung B II ist dem Umstand zuzuschreiben, dass die Messtelle, wie schon angeführt wurde, den obengestellten Bedingungen nicht entsprach.



BIBLIOTEKA  
UNIERSYTECKA  
GDAŃSK

946697

*62*

*371*