

556 (075.8)

KOMISJA WYDAWNICZA

Koła Inżynierji Wodnej.

---

Prof. M. RYBCZYŃSKI

# HYDROLOGJA

Kurs wykładów na Politechnice  
Warszawskiej

WYDANE Z ZAPOMOZI  
MIN. W. R. i O. P.



Rok 1923.

WARSZAWA

Drukarnia i Litografia „SATURN” Marszałkowska 91



**Wydawnictwa naukowe Koła Inż. Wodnej.**

- 1) Pr. RYBCZYNSKI, Regulacje rzek.
- 2) Inż. HUMMEL, Mosty mniejsze.
- 3) Pr. POMIĄNOWSKI, Budownictwo wodne.
- 4) SZCZYGŁOWSKI, Zbiór zadań z geometrii analitycznej.



BZ07PK/005-14

~~11-6-87-14~~

## PRZEDMIOT I ZADANIA HYDROLOGII.

Budownictwo wodne obejmuje to gałęź techniki, która ma bezpośrednią styczność z wodą. Działanie wody na ustroje budowlane jest zasadniczo różne od działania innych czynników i nadaje ono specjalny charakter konstrukcjom i rojom technicznym, wchodzącym w zakres budownictwa wodnego. Nie wszystkie jednak konstrukcje, na które działa woda, należą do budownictwa wodnego. Praktycznie te roje określamy jako wodne, których celem jest albo przypomnienie człowiekowi korzyści z użytkowania wody, albo też uchronienie go od szkód, jakie może mu woda wyrządzić.

Chcąc poznać różne działy budownictwa wodnego, należy przednio dokładnie zaznajomić się z wodą, jako żywiołem, którym mamy do czynienia; musimy poznać jej ruchy i ich oddziaływanie na budowle. Teoretyczną podstawę, wiadomości o ruchu wody stanowi hydraulika, tutaj idzie o zastosowanie zasad hydrauliki do celów praktycznych; naukę, która to ma za zadanie nazywamy hydrauliką stosowaną, lub inaczej hydrologią. Będziemy rozpatrywać dwa działy hydrologii:

1. Kartografię, która obejmuje opis biegu wody i jej pomiary, oraz hydrodynamikę stosowaną, mającą za zadanie techniczne wykorzystanie praw o ruchu wody. Rozpatrując zjawiska związane z występowaniem wody w naturze, zwrócimy przede-

wszystkiem uwagę na te, które wpływają na rodzaj i kształt budowli, pominiemy zaś te, które mają znaczenie jedynie z przyrodniczego punktu widzenia; z tego powodu opuszczamy prawie zupełnie hydrografię morską, bo całe budownictwo morskie redukuje się jedynie do brzegów.

### Hydrografia morska.

Z trzech ruchów wody morskiej: prądów, przyływów i fal, tylko dwa ostatnie mają bezpośredni wpływ na budowlę. Z innych cech ważna jest ilość soli zawarta w wodzie, ze względu na zachowanie się różnych materiałów budowlanych. A zatem średnio w wodzie morskiej znajduje się 3,5% soli podczas gdy na Bałtyku tylko 1,3%, a w południowo-wschodniej jego części zaledwie 0,7% do 0,8%. Od zawartości soli w wodzie /5%/ zależy jej ciężar właściwy według wzoru

$$= 1 + 0,007413\%$$

Wskutek małej zawartości soli w wodzie, Bałtyk zamarza już przy  $-1^{\circ}\text{C}$ , gdy woda morska wogóle dopiero przy  $-2^{\circ}$ . Prawdopodobnie również z tego samego powodu Bałtyk nie posiada szkodnika, który, niszcząc drzewo, uniemożliwia użycie go do budowli portowych i ochronnych.

Jako olbrzymie zbiorowiska wód, morza nie podlegają widocznym zmianom, bo w stosunku do ich objętości, ilość która paruje, jest znikomo mała; ruchy zaś wody morskiej są albo tylko pozorne /fale/, albo też bierze w nich udział



zaledwie nieznaczna jej część /prądy/.

### Hydrografia lądów.

#### Pochodzenie wód na lądzie.

Ogólnie przyjętą teorią pochodzenia wód na lądzie jest teoria atmosferyczna. Wskutek ogrzewania wody przez promienie słoneczne, powstaje para; ta para unosi się do góry i przesuwając się w postaci chmur dotąd, aż dostawszy się w miejsca chłodniejsze, skropli się i spadnie na ziemię w postaci deszczu lub śniegu; w dalszym ciągu albo spływa po powierzchni ziemi, albo też wsiąka w nią i znów występuje na powierzchnię jako źródła, dostaje się do rzek, a stąd do morza. Istnieje druga teoria pochodzenia wód na lądzie: t.zw. kondensacyjna. Według niej woda podziemna i ta, która w postaci źródeł wydostaje się na powierzchnię ziemi, pochodzi z głębin ziemi, a mianowicie para wodna, znajdująca się we wnętrzu ziemi, podnosi się szczylinami do miejsc chłodniejszych, tam skrapla się i jest źródłem wód podziemnych.

Zgodność zachodząca między ilością wód, spływających w ściekach i pochodzących z opadów atmosferycznych, skłania do tego, aby teorii atmosferycznej przypisać dominujące znaczenie.

#### Opady atmosferyczne.

Ilość pary wodnej, zawarta w powietrzu zależy od temperatury i ciśnienia. Przy pewnej temperaturze tylko

ściśle określona ilość pary może znajdować się w powietrzu, przy przejściu od temperatury wyższej do niższej, pewna ilość pary musi się skroplić. To samo zjawisko występuje również wskutek wzrostu ciśnienia. Skraplanie najłatwiej występuje, gdy ciepłe, wilgotne powietrze miesza się z zimnem, zwłaszcza, gdy w tem ostatniem znajdują się pyłki, stanowiące ośrodki kondensacyjne, potrzebne do skraplania.

Takie mieszanie jest następstwem ruchów powietrza, czyli wiatrów, spowodowanych przez nierównomierne nagrzewanie się powietrza. A zatem w dzień silniej nagrzewa się powietrze nad lądem, niż nad morzem i powstaje wiatr od morza ku lądowi; w nocy powietrze nad lądem oziębia się znów szybciej i powstaje odwrotny prąd wiatru. Niegół wiatry od lądu częstsze są w zimie, niż w lecie.

Powietrze ogrzane, jako lżejsze, wznosi się zawsze ku górze, wskutek rozprężania, oziębia się i skrapla się para; na wznoszenie się powietrza wywierają również pewien wpływ nierówności terenu. O ile prąd wilgotnego powietrza natrafi na przeszkodę w postaci gór, to wznosi się, następuje kondensacja pary i opad. Z tego powodu ta strona stromych gór, która zwrócona jest ku wilgotnym wiatrom, ma większe opady, niż przeciwna. To zjawisko spotykamy w nas w zachodnich Karpatach /Mokry kąt na dawnej granicy Galicji i Śląska/.

Wogóle ilość opadów zależy: 1°. Od odległości od morza. 2°. Od wysokości nad poziomem morza. 3°. Od kierunku pasm górskich. Chcąc orjentować się w ilości opadów i umieć je porównywać, musimy mieć pewien miernik, za który przyjmujemy wysokość warstwy wody, mierzoną w milimetrach, a powstającą z opadu, trwającego pewien określony czas, a zatem kilka minut dla deszczów nawaalnych, dzień, miesiąc, rok lub też średnią z wielu lat, czyli opad normalny. Dla nas, obojętne deszczów nawaalnych, będą ważne maxima dzienne, rozkład opadów w roku, najważniejszym zaś miernikiem opad roczny i jego stosunek do opadu normalnego. Najbogatsze opady mają: podzwrotnikowe strefy ciepłe, południowe stoki Alp, oraz zachodnie części wybrzeży Anglii, Norwegii i Ameryki; najuboższe zaś - kontynentalne części Afryki i Azji.

W Europie najobfitsze opady ma Szwajcaria na górze Sankt Anton /2500 m/.

Ogólna średnia na kuli ziemskiej wynosi 753 mm.

Z powyższych danych widać już, że różnorodność opadów w zależności od miejsca musi być bardzo wielka.

Wszystkie cywilizowane państwa posiadają specjalne stacje do badania ilości opadów, i w nich prowadzi się szczególne spostrzeżenia. Przy bliższym badaniu opadów okazuje się, że średni opad z wielu lat jest dla danego miejsca stały, choć odchylenia w poszczególnych latach

moga dosięgać nawet 50%. Te wahania zmniejszają się, o ile zwiększamy przestrzeń badaną. Rozkład opadów na ziemi jest różny, i zmienia się wraz z odległością od równika, a więc dla:

szer.geograf. stopnie	półkula półn. m.m.	południowa m.m.
0° - 10°	1716	1812
10° - 20°	947	1100
20° - 30°	786	638
30° - 40°	522	573
40° - 50°	508	870°
50° - 60°	504	1021
60° - 90°	316	300

Średni opad dla Niemiec wynosi 660 mm.

"	"	" Szwajcarji	" 1190	" max.2260 min.640
"	"	" Galicji	" 750	" " 1450 " 450
"	"	" Warszawy	" 577	" "

Rozkład opadów w Polsce ma następujący obraz:

Na nizinie polskiej, od morza po Warszawę	550 mm.
Na Pomorsku	600-650 mm
Na południe od linii: Poznań, Warszawa, Pińsk	600-700 mm
Na wyżynach Tomaszowskiej	800 mm
Na Podkarpaciu	700-1000 mm
W Karpatach i Tatrach	1000-3000 mm.

Do zbadania wpływu opadów na stany wód, nie wystarcza

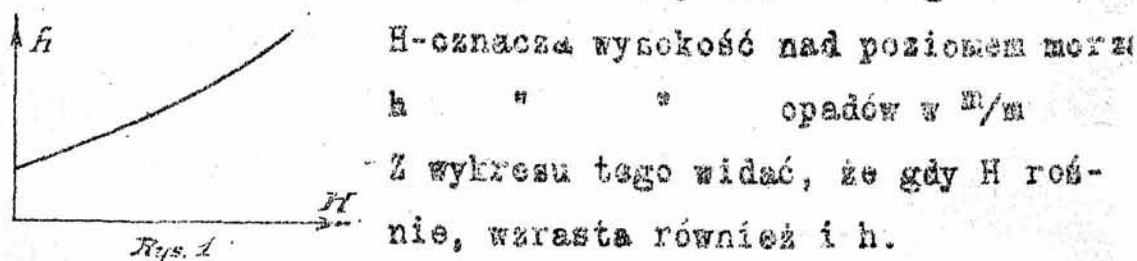




większymi dziennie.

Przydatna jest znajomość, ile dni z deszczem można spodziewać się w ciągu roku lub miesiąca, otóż w nas rocznie bywa 120 do 190 dni z deszczem, a miesięcznie 10 - 16. Jako porównawczą jednostkę opadów przyjmuje się opad średni roczny t.zn. średni z szeregu /25/ lat.

Porównyując opady okolic podobnych np. jednego kraju, spostrzeżemy, że wielkość ich zależy tylko od wzniesienia terenu nad poziomem morza, bo inne czynniki pozostają bez zmiany. Zależność tę można przedstawić graficznie



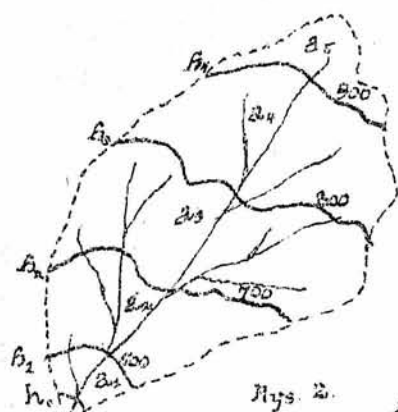
Obserwacje na licznych stacjach pomiarowych pozwalają na ustalenie wzorów, dających zależność między H i h. Jako przykład służyć może wzór prof. Pomianowskiego dla Tatr:

$$h = 1,875H - 575 \text{ gdy } H > 1000 \text{ m.}$$

lub wzór niemiecki dla Czarnego Lasu:

$$h = / 630 + 0,810H / \text{ mm}$$

Przy pomocy podobnych wzorów i pomiarów możemy oznaczyć szeregi punktów, które mają jednakowe wysokości rocznego opadu, łącząc takie punkty, otrzymamy krzywe jednakowych rocznych opadów, czyli isohiety. Mając już wykreślone



izohiety dla pewnego dorzecza, można znaleźć średni opad roczny całego dorzecza. Uakuteczamy to biorąc sumę iloczynów  $\Delta h$  powierzchni pól między dwiema izohietami przez średnią arytmetyczną opadów na tych izohietach i dzieląc ją przez pole całego dorzecza.

Tak np. dla wypadku podanego na rysunku:

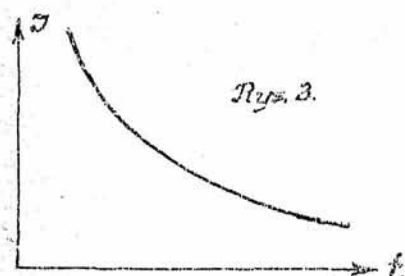
$$h = \frac{A_1(h_1 + h_2) + A_2(h_2 + h_3) + A_3(h_3 + h_4) + A_4(h_4 + h_5) + A_5(h_5 + h_6) + A_6(h_6 + h_7) + A_7(h_7 + h_8) + A_8(h_8 + h_9) + A_9(h_9 + h_{10}) + A_{10}(h_{10} + h_{11}) + A_{11}(h_{11} + h_{12}) + A_{12}(h_{12} + h_{13}) + A_{13}(h_{13} + h_{14}) + A_{14}(h_{14} + h_{15}) + A_{15}(h_{15} + h_{16}) + A_{16}(h_{16} + h_{17}) + A_{17}(h_{17} + h_{18}) + A_{18}(h_{18} + h_{19}) + A_{19}(h_{19} + h_{20}) + A_{20}(h_{20} + h_{21}) + A_{21}(h_{21} + h_{22}) + A_{22}(h_{22} + h_{23}) + A_{23}(h_{23} + h_{24}) + A_{24}(h_{24} + h_{25}) + A_{25}(h_{25} + h_{26}) + A_{26}(h_{26} + h_{27}) + A_{27}(h_{27} + h_{28}) + A_{28}(h_{28} + h_{29}) + A_{29}(h_{29} + h_{30}) + A_{30}(h_{30} + h_{31}) + A_{31}(h_{31} + h_{32}) + A_{32}(h_{32} + h_{33}) + A_{33}(h_{33} + h_{34}) + A_{34}(h_{34} + h_{35}) + A_{35}(h_{35} + h_{36}) + A_{36}(h_{36} + h_{37}) + A_{37}(h_{37} + h_{38}) + A_{38}(h_{38} + h_{39}) + A_{39}(h_{39} + h_{40}) + A_{40}(h_{40} + h_{41}) + A_{41}(h_{41} + h_{42}) + A_{42}(h_{42} + h_{43}) + A_{43}(h_{43} + h_{44}) + A_{44}(h_{44} + h_{45}) + A_{45}(h_{45} + h_{46}) + A_{46}(h_{46} + h_{47}) + A_{47}(h_{47} + h_{48}) + A_{48}(h_{48} + h_{49}) + A_{49}(h_{49} + h_{50}) + A_{50}(h_{50} + h_{51}) + A_{51}(h_{51} + h_{52}) + A_{52}(h_{52} + h_{53}) + A_{53}(h_{53} + h_{54}) + A_{54}(h_{54} + h_{55}) + A_{55}(h_{55} + h_{56}) + A_{56}(h_{56} + h_{57}) + A_{57}(h_{57} + h_{58}) + A_{58}(h_{58} + h_{59}) + A_{59}(h_{59} + h_{60}) + A_{60}(h_{60} + h_{61}) + A_{61}(h_{61} + h_{62}) + A_{62}(h_{62} + h_{63}) + A_{63}(h_{63} + h_{64}) + A_{64}(h_{64} + h_{65}) + A_{65}(h_{65} + h_{66}) + A_{66}(h_{66} + h_{67}) + A_{67}(h_{67} + h_{68}) + A_{68}(h_{68} + h_{69}) + A_{69}(h_{69} + h_{70}) + A_{70}(h_{70} + h_{71}) + A_{71}(h_{71} + h_{72}) + A_{72}(h_{72} + h_{73}) + A_{73}(h_{73} + h_{74}) + A_{74}(h_{74} + h_{75}) + A_{75}(h_{75} + h_{76}) + A_{76}(h_{76} + h_{77}) + A_{77}(h_{77} + h_{78}) + A_{78}(h_{78} + h_{79}) + A_{79}(h_{79} + h_{80}) + A_{80}(h_{80} + h_{81}) + A_{81}(h_{81} + h_{82}) + A_{82}(h_{82} + h_{83}) + A_{83}(h_{83} + h_{84}) + A_{84}(h_{84} + h_{85}) + A_{85}(h_{85} + h_{86}) + A_{86}(h_{86} + h_{87}) + A_{87}(h_{87} + h_{88}) + A_{88}(h_{88} + h_{89}) + A_{89}(h_{89} + h_{90}) + A_{90}(h_{90} + h_{91}) + A_{91}(h_{91} + h_{92}) + A_{92}(h_{92} + h_{93}) + A_{93}(h_{93} + h_{94}) + A_{94}(h_{94} + h_{95}) + A_{95}(h_{95} + h_{96}) + A_{96}(h_{96} + h_{97}) + A_{97}(h_{97} + h_{98}) + A_{98}(h_{98} + h_{99}) + A_{99}(h_{99} + h_{100})}{2.A}$$

przytem  $A$  jest to powierzchnia dorzecza.

Dla celów technicznych często konieczna jest znajomość opadów, które w ciągu krótkiego czasu dadzą największą ilość wody, czyli t.zw. opadów burzowych. Cechami charakterystycznymi podobnych opadów są: krótkotrwałość, mały teren objęty burzą i to, że są one różne dla różnych terenów, objętych burzą. Takie opady mają zwykle jeden punkt, w którym jest maximum opadu, a dookoła opad zmniejsza się wraz z odległością od tego punktu. Ilość opadu, przypadająca na jednostkę czasu nazywamy natężeniem opadu i wyrażamy je w milimetrach na godzinę, minutę lub wprost w litrach na sekundę i hektar. Ze szczególnych pomiarów dla pewnego punktu można się przekonać, że natężenie opadu jest tym mniejsze im dłuższy jest



czas jego trwania. Zależność tę można przedstawić graficznie, w postaci krzywej, przytem I oznacza natężenie, a



t czas trwania opadu. Równanie wykreślonej krzywej można określić rachunkowo, przytem kształt jego jest zawsze taki:

$$I = \alpha t^n + \beta$$

Hellman obliczył wzór dla Europy środkowej:

$$I = \frac{218}{\sqrt[3]{t}} - 16,6$$

przytem I mierzone w milimetrach na godzinę, a t w minutach. Wzór prof. Pomianowskiego dla Lwowa:

$$I = \frac{250}{\sqrt[3]{t}} - 20$$

Dla Medjolanu:  $I = \frac{1}{48} - 0,667 t / \sqrt[3]{t}$

• St. Louis:  $I = \frac{56}{0,85 \sqrt[3]{t-57}}$

• Kansas City:  $I = \frac{219}{t+4}$

w calach na minutę.

W ten sposób obliczone natężenie jest średnie dla danego czasu, chcąc znaleźć natężenie średnie, które da maximum opadu, różniczkujemy sumę opadu  $/h = I \cdot t$  i pochodną przyrównujemy do zera. Dla Lwowa:

$$\frac{d(I \cdot t)}{dt} = \frac{2}{3} \cdot 250 t^{-\frac{2}{3}} - 20 = 0; t = 9 \text{ g.39 m.}$$

$$I = 10 \frac{\text{mm}}{\text{godz}}; h = 96,5 \text{ mm.}$$

Średnie natężenie  $I$  maleje w miarę zwiększania terenu obserwowanego. Znając już  $I_{\max}$  można ująć we wzór zależność między  $I_{\max}$  i  $I$  śr. uwzględniając wielkość obszaru objętego opadem; a więc dla Lwowa:

$$I_{\text{śr.}} = I_{\max} / 1 - 0,001032 I_{\max} \sqrt{A}$$

$A$  w hektarach,  $I_{\max}$  według poprzedniego wzoru/

Jak różne mogą być, w zależności od czasu, natężenia opadów burzowych można przekonać się z następującej tabelki, obliczonej dla Niemiec, przytem  $I$  mierzone jest w milimetrach na minutę.

t:	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	90
$I^m/m$ :	3,5	3,1	2,8	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9

W Warszawie zmierzono maximum 17/8 1916 w ciągu 10' spadło 23,7<sup>m</sup>/m.

#### Pomiary opadów.

Pomiaru opadów dokonywa się przy pomocy deszczomierzy /ombrometrów/ i śniegowskazów, a gdy idzie o samoczynne ich zapisywanie, to przy pomocy ombrografów.

U nas używane bywają dwa typy ombrometrów.

Ombrometr Hellmana. Ma on kształt walca z blachy cynkowej, o wysokości 46 cm. U góry znajduje się otwór o średnicy 159,6 mm., a powierzchni 200 cm<sup>2</sup>. Walec ten składa się z dwóch części: górnej z lejkiem i dolnej, zawierającej