

ZAKŁAD HYDROBIOLOGII
UNIWERSYTET WARSZAWSKI

Hydrobiologia

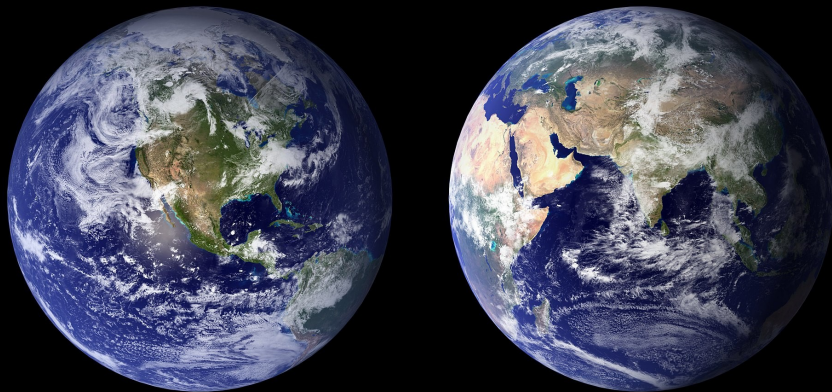
Mirosław Ślusarczyk

Hydrologia

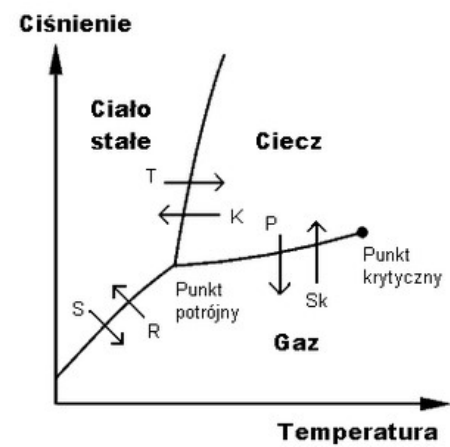
M. Ślusarczyk 2024

2

Występowanie wody na Ziemi

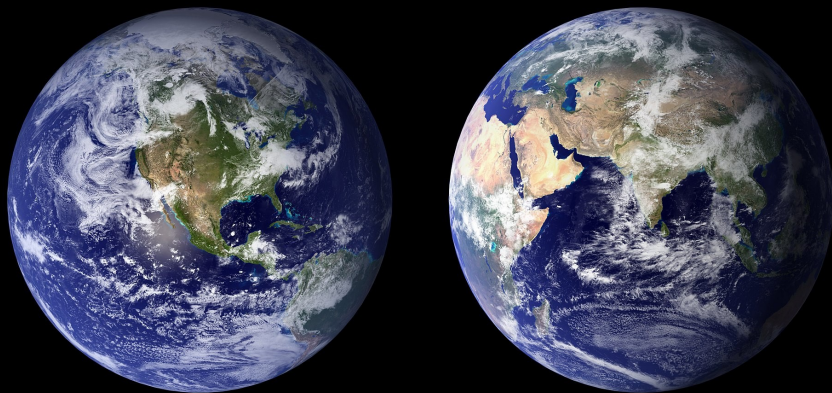


Woda jako zasób i środowisko życia organizmów

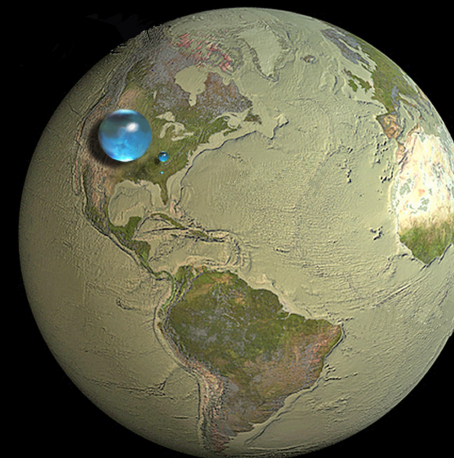


Woda może występować w 3 stanach skupienia₄

Występowanie wody na Ziemi



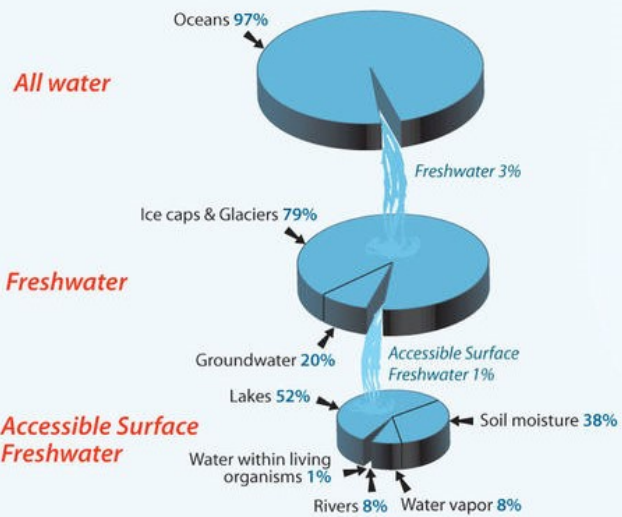
The World's Water



- All water on, in, and above the Earth
- Liquid fresh water
- Fresh-water lakes and rivers

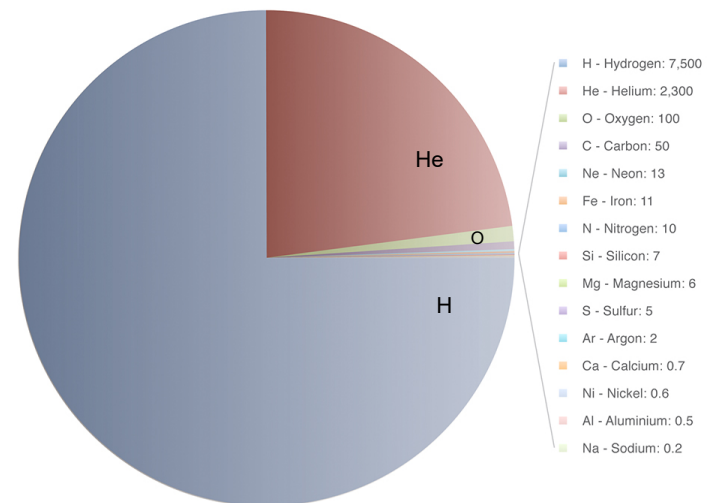
Howard Petman, USGS,
Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution,
Adam Nieman
Data source: Igor Shkolmanov
<http://ga.water.usgs.gov/edu/earth/howmuch.html>

Distribution of the World's Water

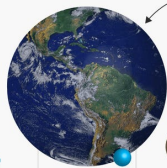


7

Skład chemiczny naszej galaktyki (Droga Mleczna)



HOW THE SOLAR SYSTEM'S LARGEST OCEAN WORLDS COMPARE IN SIZE



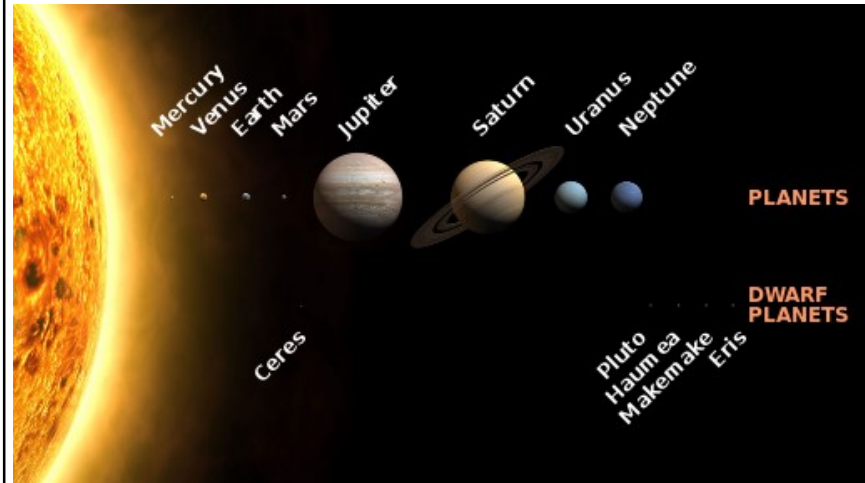
Earth has a surprisingly small amount of water compared to other worlds in the Solar System. Each measurement is the spherical radius of the world and its water (including ice):

ENCELADUS	DIONE	EARTH	EUROPA	PLUTO	TRITON	CALLISTO	TITAN	GANYMEDE
Water radius: 140 mi./ 220 km.	Water radius: 300 mi./ 480 km.	Water radius: 430 mi./ 690 km.	Water radius: 550 mi./ 880 km.	Water radius: 630 mi./ 1010 km.	Water radius: 730 mi./ 1170 km.	Water radius: 1,120 mi./ 1,800 km.	Water radius: 1,180 mi./ 1,890 km.	Water radius: 1,460 mi./ 2,350 km.
World radius: 157 mi./ 252 km.	World radius: 349 mi./ 561 km.	World radius: 3,959 mi./ 6,371 km.	World radius: 972 mi./ 1,565 km.	World radius: 738 mi./ 1,187 km.	World radius: 840 mi./ 1,352 km.	World radius: 1,498 mi./ 2,410 km.	World radius: 1,601 mi./ 2,576 km.	World radius: 1,635 mi./ 2,631 km.

SOURCE: Steve Vance; NASA/JPL-Caltech

BUSINESS INSIDER

Woda w stanie płynnym w układzie słonecznym?

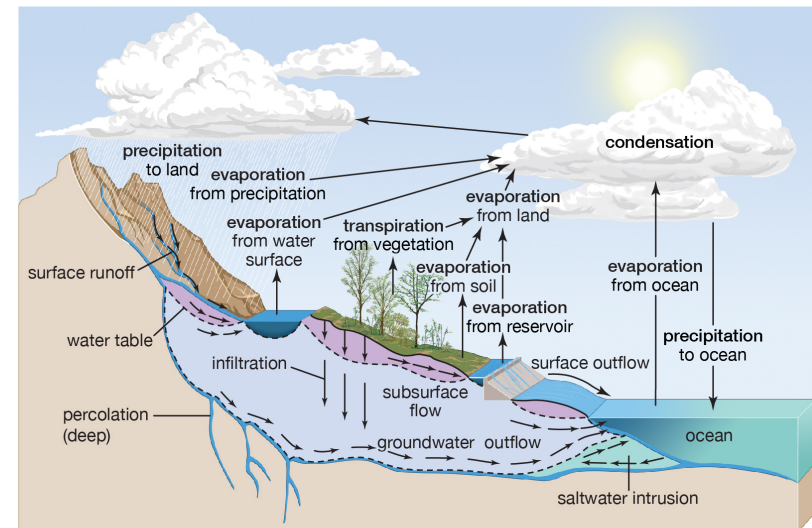


Skąd woda na Ziemi?



<https://www.youtube.com/watch?v=81FZD6aDobk>

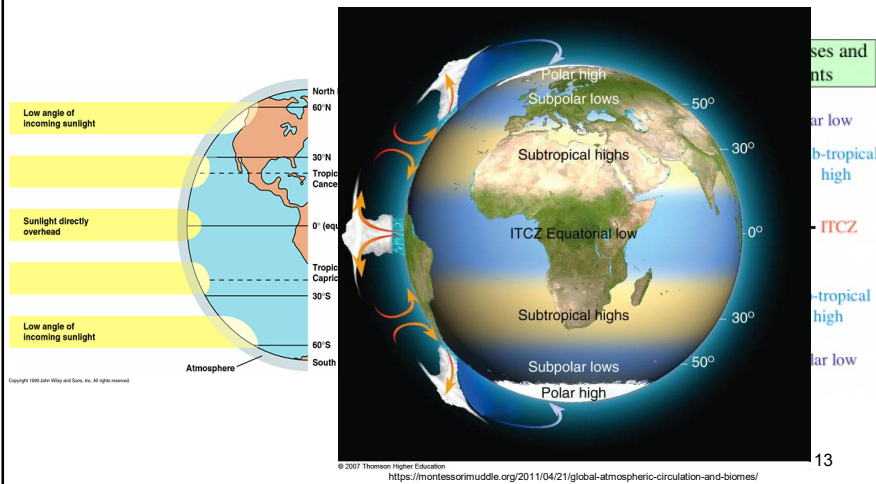
Skąd woda na śródlądziu?



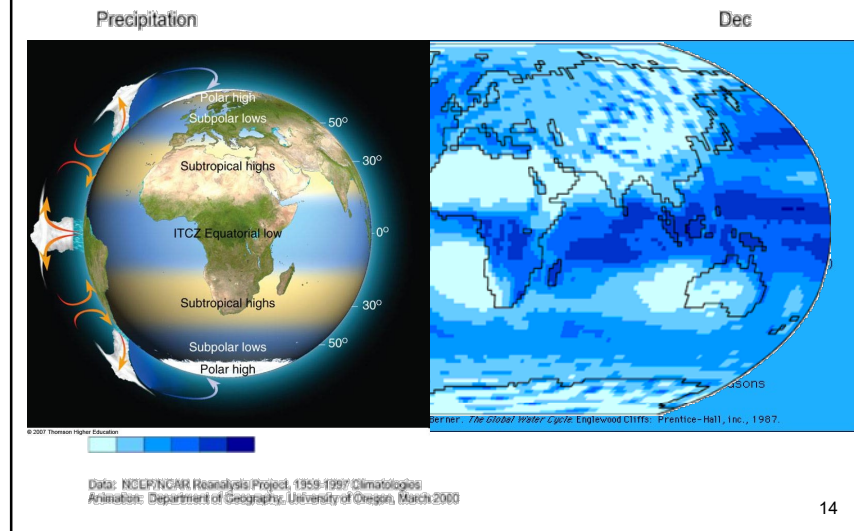
ocean covers 71 percent of Earth's surface
196,950,000 sq mi (510,000,000 sq km)

© 2015 Encyclopædia Britannica, Inc.

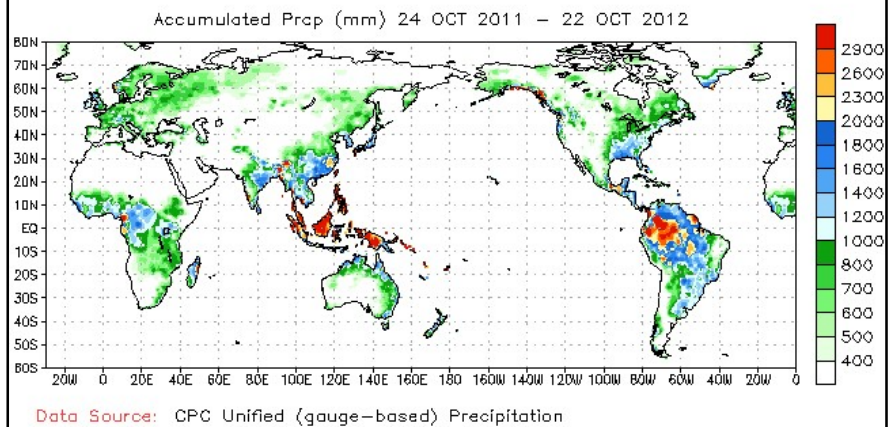
Promieniowanie słoneczne dociera nierównomiernie do różnych miejsc na powierzchni Ziemi wprawiając w ruch atmosferę



Sezonowe zmiany warunków termicznych powodują cykliczne zmiany ilości opadów



Rozkład opadów atmosferycznych



Gdzie występują rzeki?

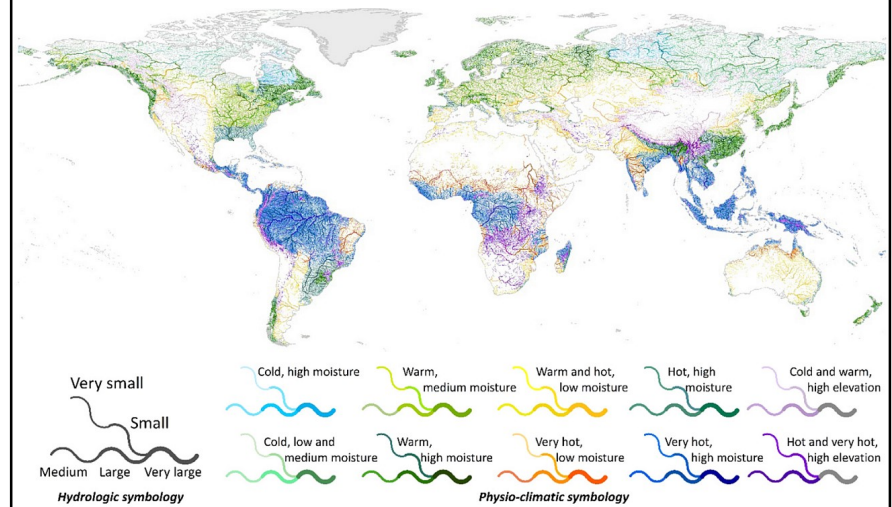
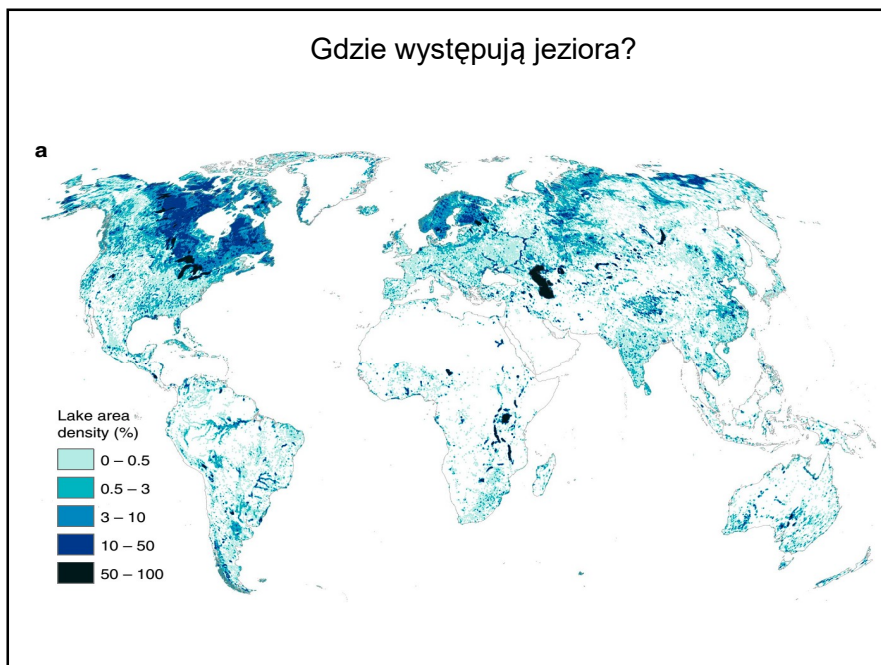


Figure 6 from A multidisciplinary framework to derive global river reach classifications at high spatial resolution. Ouellet Dallaire et al 2019 Environ. Res. Lett. 14 024003 doi:10.1088/1748-9326/aad8e9

Gdzie występują jeziora?



Globalne rozmieszczenie wód śródlądowych

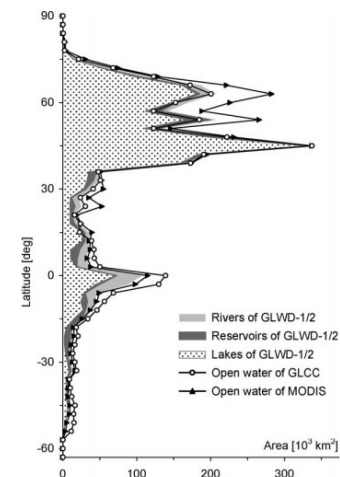


Fig. 3. Latitudinal distribution of global open water areas. Area values are aggregated in steps of 3° latitude. For data description and references see text and Table 1.

Sezonowe zmiany warunków termicznych i intensywności opadów mogą wpływać na trwałość wód śródlądowych



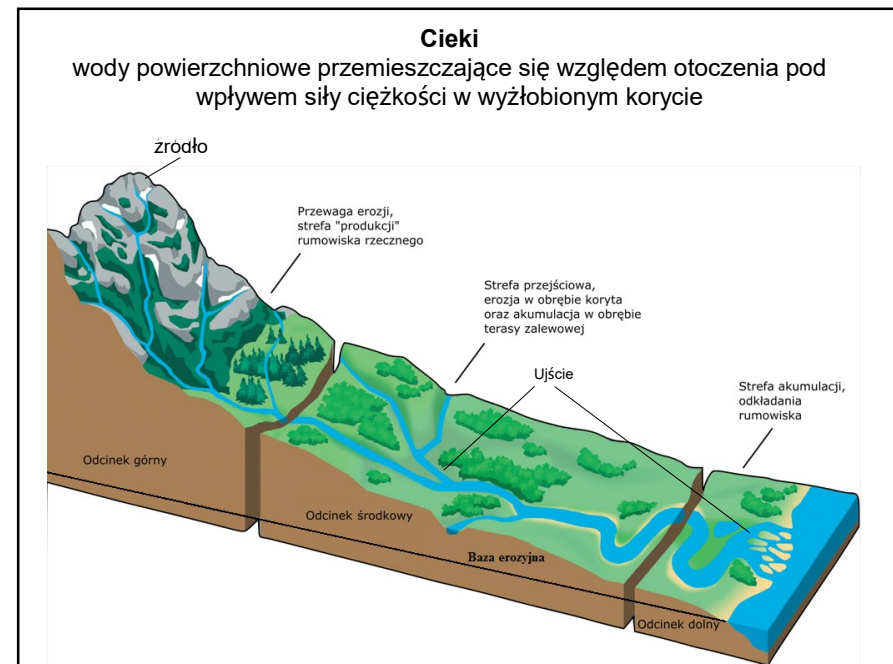
Typologia środowisk wodnych ze względu na ich trwałość

	Flooding regime	Predictability and duration of flooding
nietrwałe	Ephemeral 	Filled only after unpredictable rain and by run-off. The flooded area dries out during the days following flooding and rarely supports macroscopic aquatic organisms.
	Episodic 	Dry for 9 years out of 10, with rare and very irregular flooding (or wet periods) which may last for a few months.
	Intermittent 	Alternating wet and dry periods, but at lower frequency than seasonal wetlands. Flooding may persist for months or years.
	Seasonal 	Alternating wet and dry periods every year, in accordance with the season. Usually fills during the wet season of the year, and dries out in a predictable way on an annual basis. The flooding lasts for several months, long enough for macroscopic animal and plant organisms to complete the aquatic stages of their life cycle.
	Near-permanent 	Predictable flooding, though water levels may vary. The annual input of water is great than the losses (does not dry out) in 9 years out of 10. The majority of organisms living here will not tolerate desiccation.
trwałe	Permanent 	Never dries out

Śródlądowe wody powierzchniowe

- płynące (lotyczne) - cieki
- stojące (lenityczne) – zbiorniki wodne (przepływowe lub bezodpływowe)

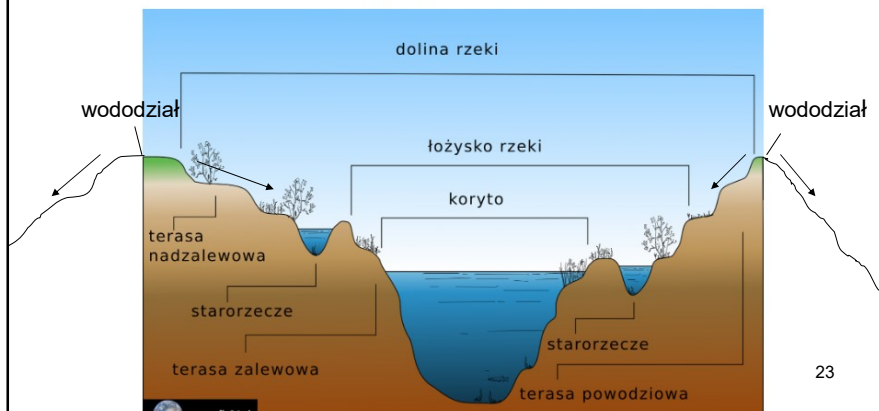
Ukształtowanie terenu, rodzaj podłoża i intensywność opadów determinują typ wód śródlądowych



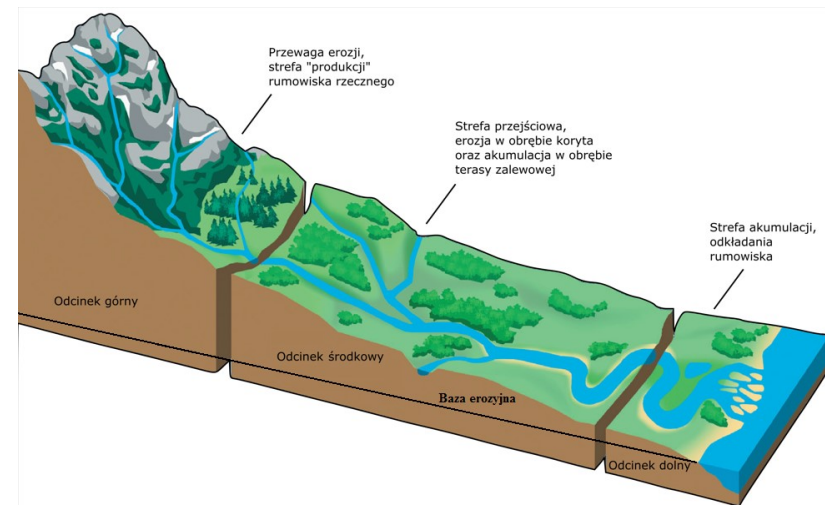
Dolina rzeczna – wklęsła forma terenu o wydłużonym kształcie i wyraźnie wykształconym dnie, otoczona z dwóch stron wzniesieniami

- **Koryto rzeki** – podłużne zagłębienie terenu, którym płynie woda rzeki. W biegu górnym przyjmuje kształt zbliżony do litery „V”, a w biegu dolnym do litery „U”.
- **Terasy zalewowe** – płaskie fragmenty doliny (najczęściej po obu stronach koryta) okresowo zalewane przez rzekę w czasie wezbrania. W jej obrębie mogą występować starorzecza.
- **Łożysko rzeki** – fragment doliny rzeki obejmujący koryto oraz najniższą terasę, czyli terasę zalewową.
- **Terasy powodziowe** – niekiedy wyróżniany rodzaj terasy, która zalewana jest wodą w czasie obfitych wezbrań rzeki. W jej obrębie mogą występować starorzecza.
- Ponadto w środkowym i dolnym biegu rzeki, gdzie koryto jest znacznie szersze mogą też występować **terasy nadzalewowe**, mające najczęściej plejstoceńskie pochodzenie, a obecnie niezagrożone zalaniem za wyjątkiem skrajnie potężnych powodzi.

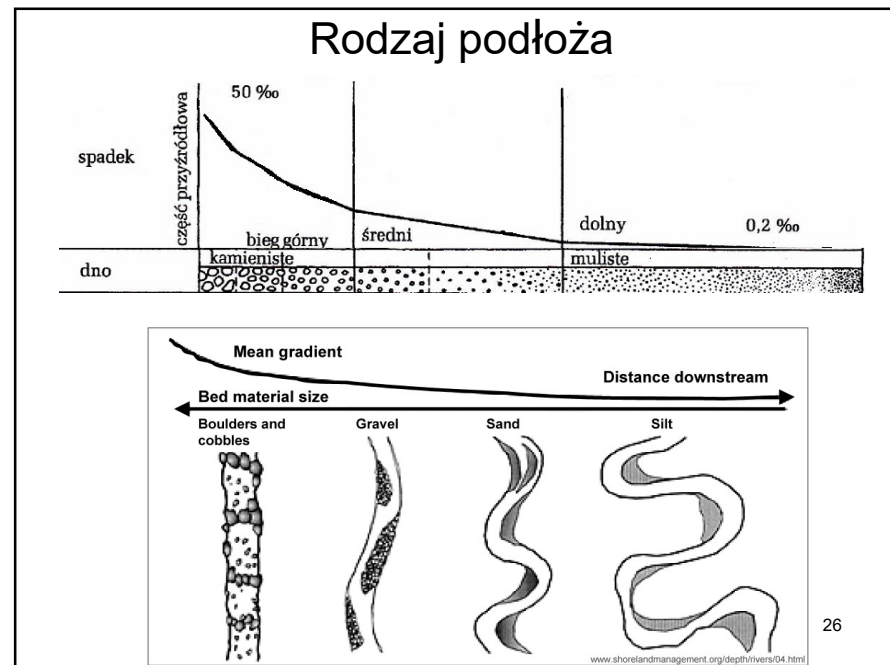
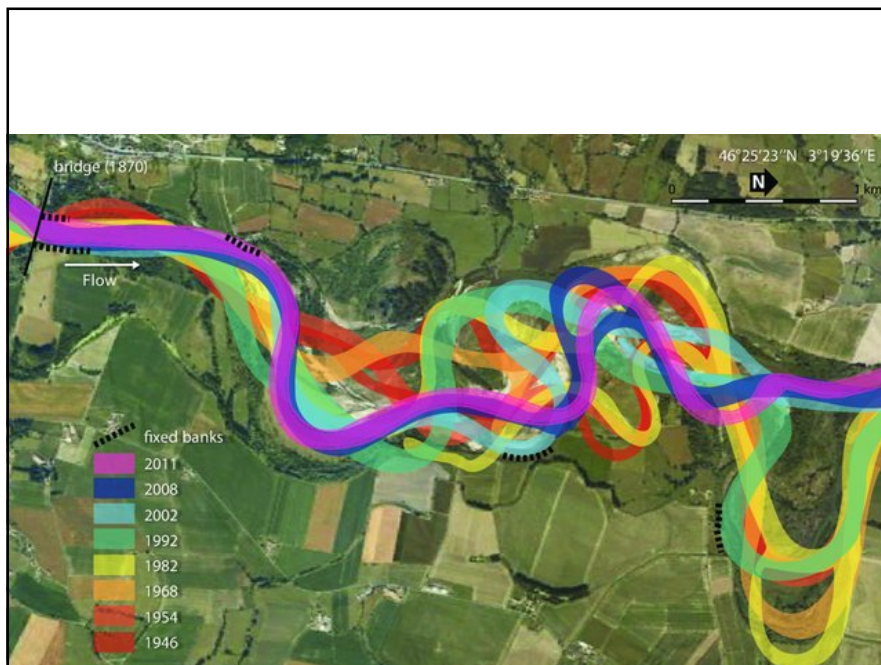
Profil poprzeczny rzeki – elementy doliny rzeki



Działalność erozyjna i akumulacyjna płynącej wody



<https://www.youtube.com/watch?v=8a3r-cG8Wic>



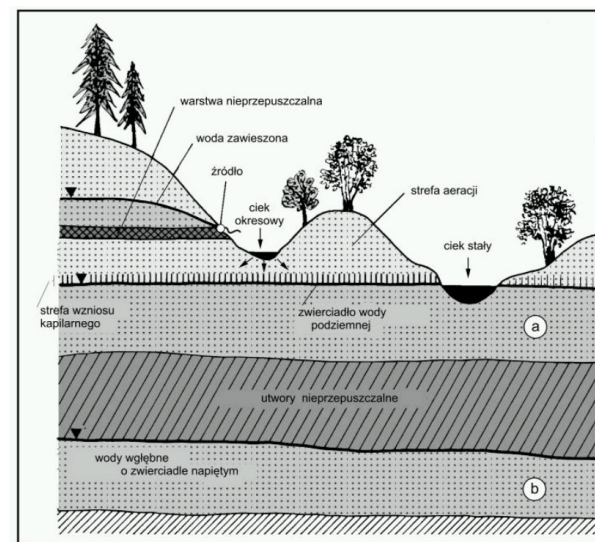
https://www.youtube.com/watch?v=UBivwxBgdPQ&ab_channel=PracticalEngineering

https://www.youtube.com/watch?v=vLZEIYHmAI&ab_channel=PracticalEngineering



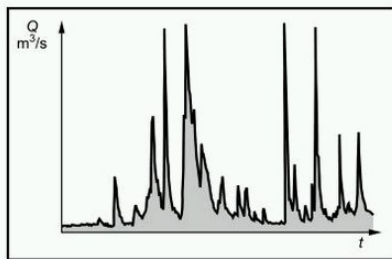


Cieki stałe a okresowe

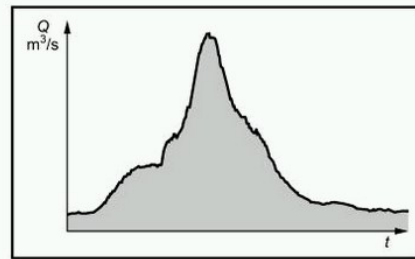


Rys. 15. Wody podziemne polamiczne (a) i apolamiczne (b)

Ilość wody w ciekach (przepływ i poziom lustra wody) może podlegać silnym wahaniom w czasie

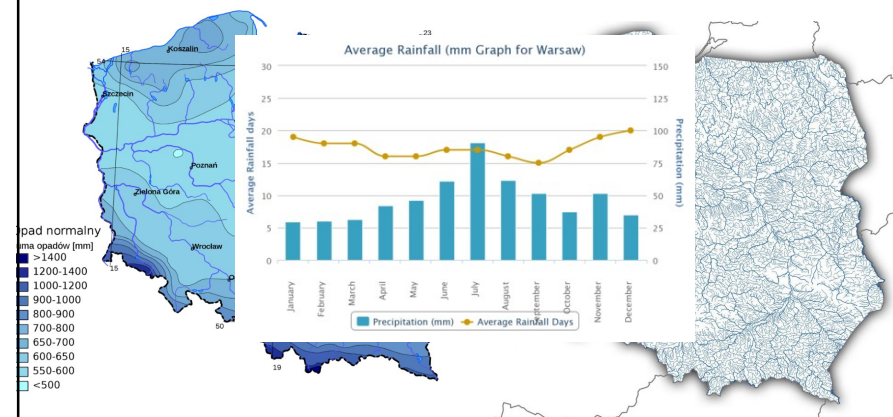


Rys. 150. Hydrogram odpływu rzeki górskiej



Rys. 151. Hydrogram odpływu rzeki nizinnej

Intensywność opadów a sieć rzeczna w Polsce



Przeciętne sumy opadu w Polsce. Lata 1971 - 2000

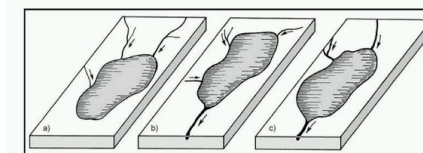
Zbiorniki wodne

Naturalne lub sztuczne zagłębienia terenu wypełnione wodą, charakteryzujące się stosunkowo wolnym przepływem wody

33

Zbiorniki wodne

- Bezodpływowe
- Odpływowe



Rys. 88. Jeziora: bezodpływowe (a), odpływowe (b), przepływowe (c) (diagramy)

Intensywność wymiany wody
(tempo wymiany wody w skali rocznej)

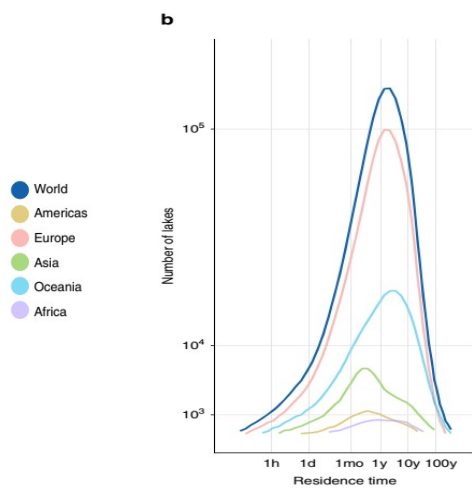
$$I = \frac{H_{rz}}{V_j}$$

(odpływ rzeczny H_{rz}) i pojemności misy jeziornej (V_j),

- jeziora o ustroju pasywnym ($I < 1$),
- jeziora o ustroju przeciętnym ($1 < I < 5$),
- jeziora o ustroju aktywnym ($5 < I < 10$),
- jeziora o ustroju bardzo aktywnym ($I > 10$).

34

Średni czas retencji wody w jeziorach



DOI: 10.1038/ncomms13603 | www.nature.com/naturecommunications

Odpyw ma znaczenie



Bezodpływowe
j. Sasykul
59ppt

Odpływowe
j. Bulungkul
0,2 ppt

Global lake volume distribution

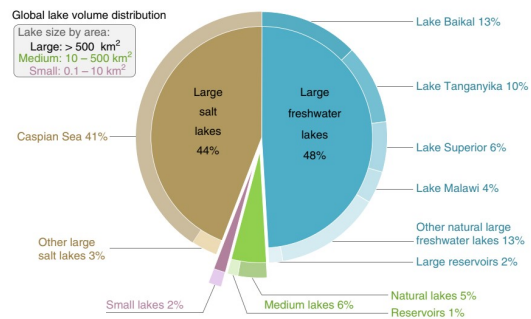


Figure 1 | Global distribution of water volume stored in lakes and reservoirs with a surface area of at least 10 ha. Total volume is $187.9 \times 10^3 \text{ km}^3$. Data for large lakes are empirical, while volumes of medium and small lakes are modelled. Data for large and medium human-made reservoirs are from the Global Reservoir and Dam (GRanD) database²⁸. Distinction between fresh and saline water is only available in the empirical data for large lakes.

DOI: 10.1038/ncomms13603 | www.nature.com/naturecommunications

Większość wód jeziornych zgromadzona w niewielkiej liczbie dużych jezior

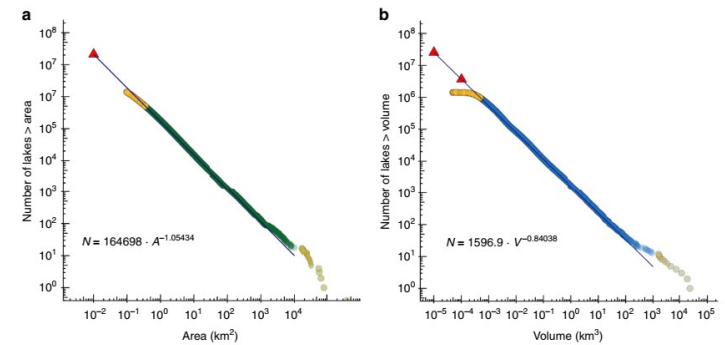


Figure 3 | Global size and volume distributions of natural lakes using a Pareto model. Distributions are plotted as the total number of global lakes larger than a given surface area (**a**) or volume (**b**) derived from data contained in HydroLAKES. Yellow points represent data that were not included for fitting the log-log regression. Red triangles represent extrapolated values based on the log-log regression. See Methods for further explanations.

DOI: 10.1038/ncomms13603 | www.nature.com/naturecommunications

Wielkie słone jeziora Kaspijskie, Aralskie, Bałchasz, zasilane przez rzeki,
 leżą w środku pustyni

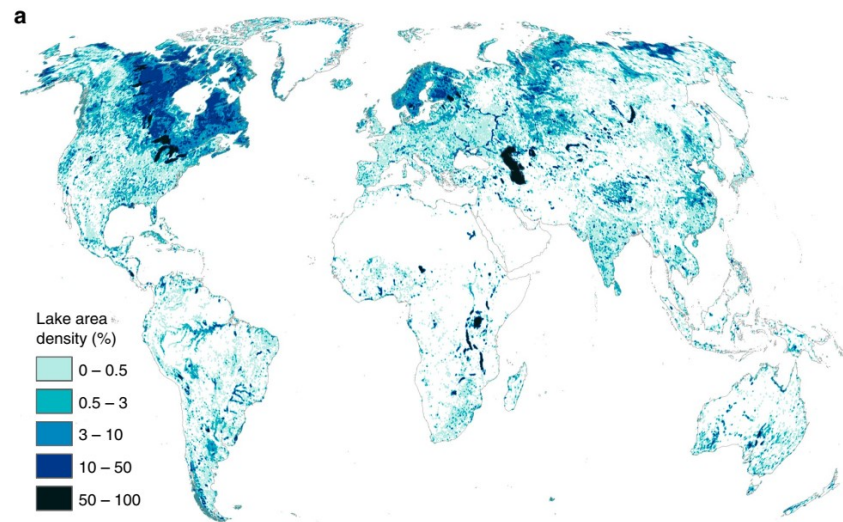


Figure 4 | Patterns of global lake distribution. (a) Lake area density (limnicity) calculated as percent area covered by lakes within a 25 km radius. (b) Average depth of all lakes within a 25 km radius, weighted by their partial area within that radius. Both maps include reservoirs from the Global Reservoir and Dam (GRanD) database²⁸.

DOI: 10.1038/ncomms13603 | www.nature.com/naturecommunications

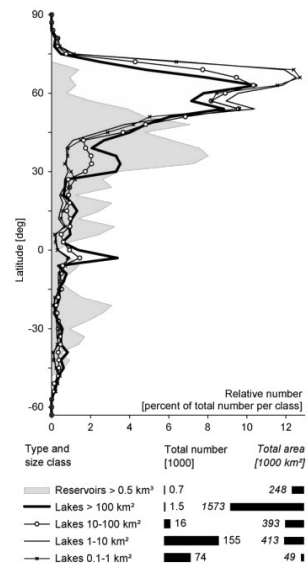
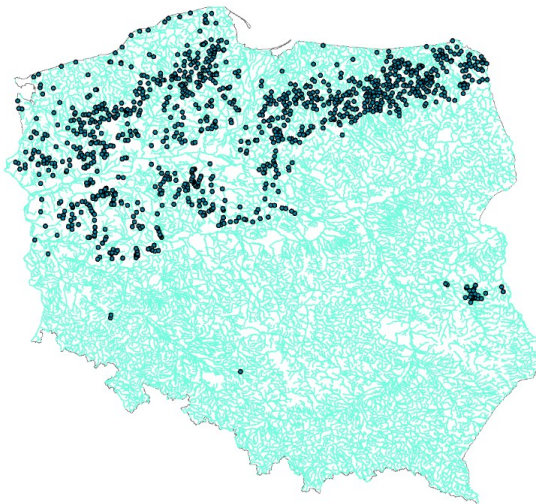


Fig. 2. Latitudinal distribution of global lake and reservoir numbers for different size classes according to GLWD. Relative numbers are aggregated in steps of 3° latitude. Total lake and reservoir areas per size class are provided for reference.

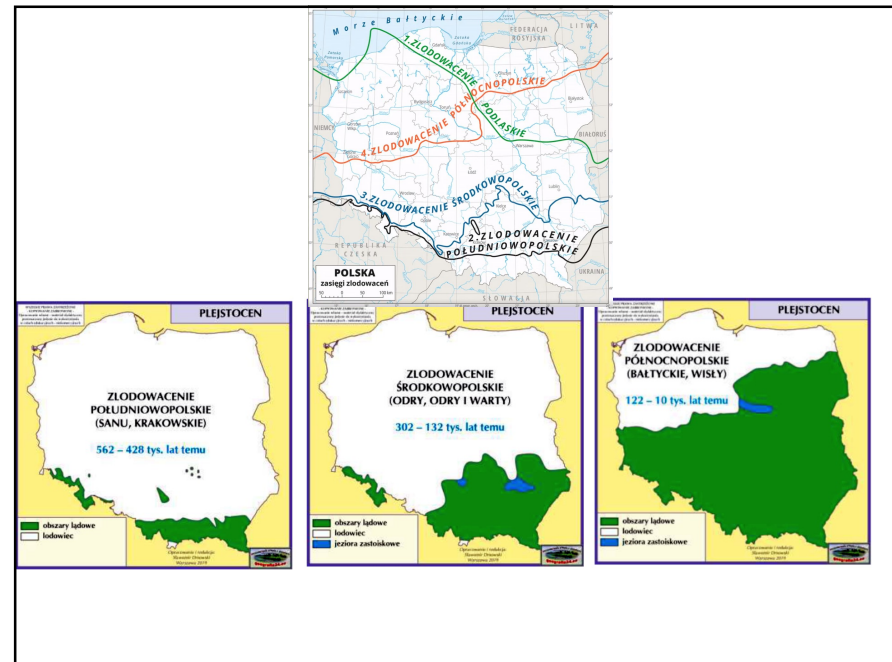
subarktyczny krajobraz



Jeziora w Polsce są mniej jednorodnie rozmieszczone niż rzeki
Powód?



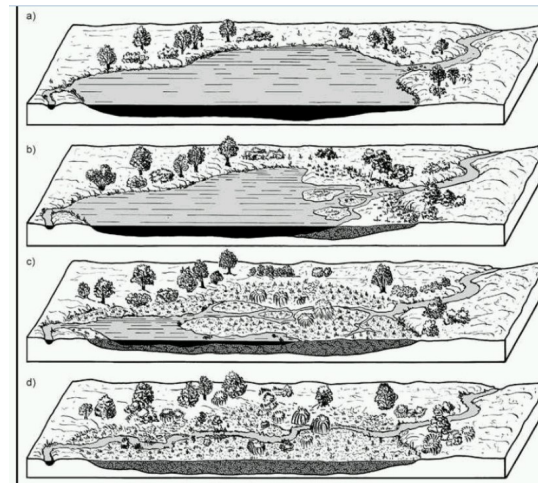
45 0 45 90 135 km



Krajobraz młodoglacjalny Spitsbergen 2024r.

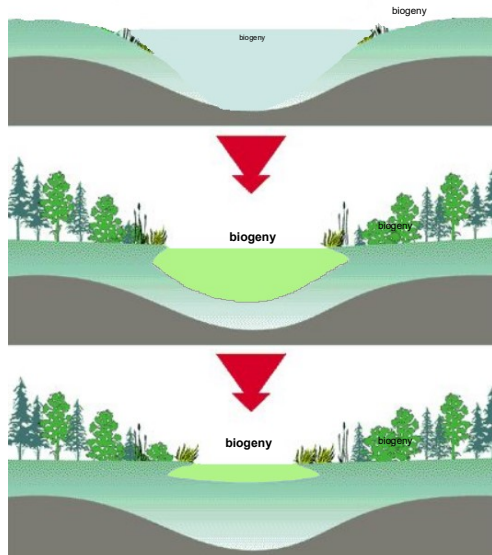


Większość jezior polodowcowych to nietrwale ekosystemy w geologicznej skali czasu



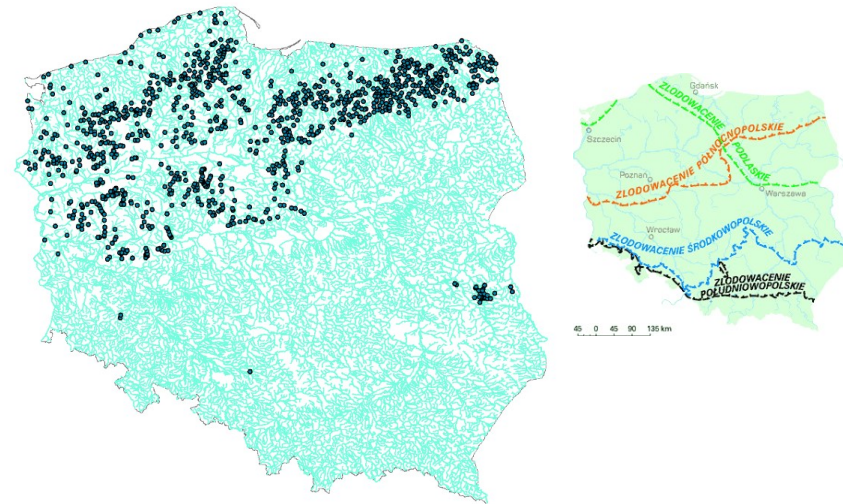
Rys. 97. Schemat zaniku jeziora wskutek zasypywania jego misy materiałem transportowanym przez rzekę, a – stadium początkowe, b – rzeka usypuje delte, c – delta powiększa się, wkracza na nią roślinność lądowa, d – stadium końcowe, misę jeziorną wypełnił materiał rzeczny i zajęła roślinność lądowa

Większość jezior polodowcowych to nietrwałe ekosystemy w geologicznej skali czasu

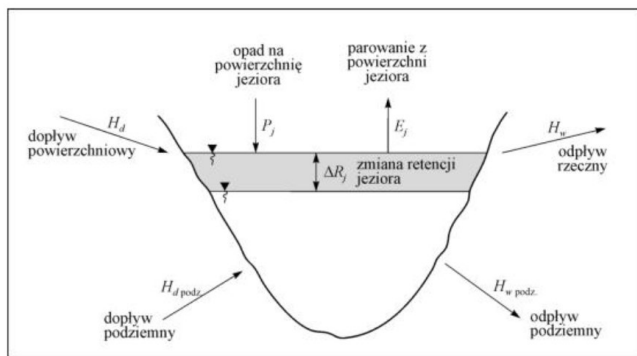


47

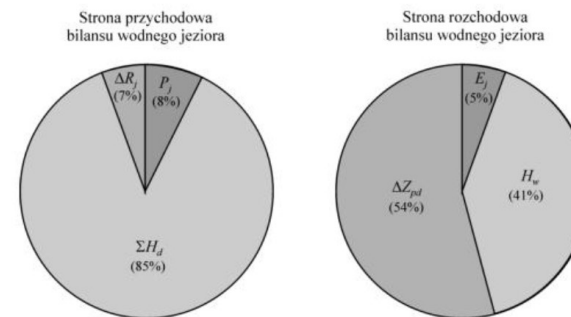
Jeziora w Polsce są mniej jednorodnie rozmieszczone niż rzeki
Powód?



48



Rys. 91. Schemat elementów bilansu wodnego jeziora



Rys. 94. Wykres kołowy rocznego bilansu wodnego jeziora
 P_j — opad na jezioro, E_j — parowanie z jeziora, ΣH_d — suma dopływu do jeziora,
 H_w — odpływ rzeczny z jeziora, ΔR_j — zmiany retencji jeziornej w okresie bilansowanym, ΔZ_{pod} — wypadkowa zasilania podziemnego

Bilans wodny niewielkiego akwenu

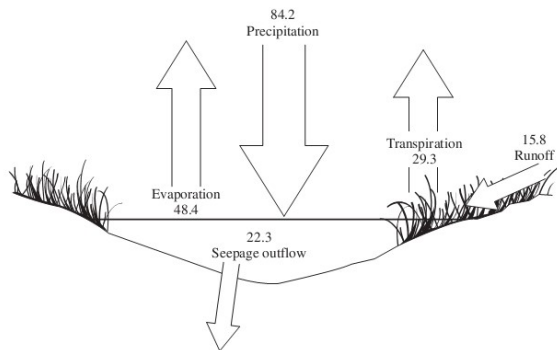


Figure 2.8 Hydrological budget for a prairie wetland pond (water loss/gain units are expressed in percentages; modified from Poiani and Carter 1991).

Istotne cechy zbiorników wodnych

Powierzchnia zlewni: decyduje o wpływie otoczenia na jezioro: większa zlewnia to krótszy czas retencji i większy spływ biogenów do jeziora, krótszy czas życia, wyższa produktywność ekosystemu

Powierzchnia zbiorników wodnych determinuje ilość energii słonecznej docierającej do ekosystemu, intensywność wymiany gazowej z atmosferą oraz ekspozycję na działanie wiatru

Głębokość – determinuje pojemność (objętość), wpływa na liczbę mikrosiedlisk, stratyfikację termiczną, produktywność

Głębokość maksymalną (h_{max}) można określić wyłącznie przez pomiar batymetryczny jeziora; jest to najgłębsze miejsce w czaszy jeziora.

Głębokość średnia (h_{st}) jest określana jako iloraz pojemności jeziora (V_0) i jego powierzchni (A_0), czyli

$$h_{st} = \frac{V_0}{A_0} \quad (m)$$

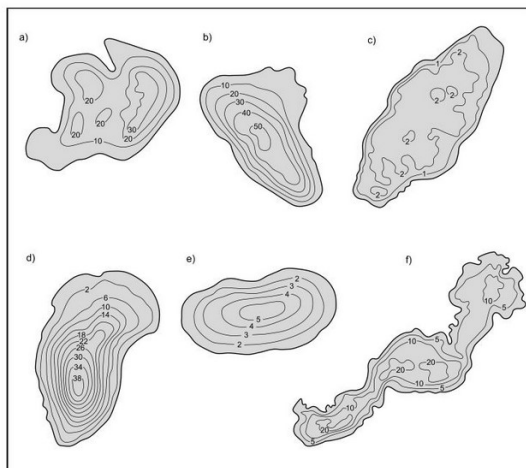
Współczynnik Schindlera (S) jest ilorazem całkowitej zlewni jeziora (A) i pojemności jeziora (V_{jez})

$$S = \frac{A}{V_{jez}} \quad [m^{-1}]$$

wartość $S < 2$ - mała podatność na degradację

wartość $S \Rightarrow 2$ - duża podatność na degradację

Różny kształt mis jeziornych



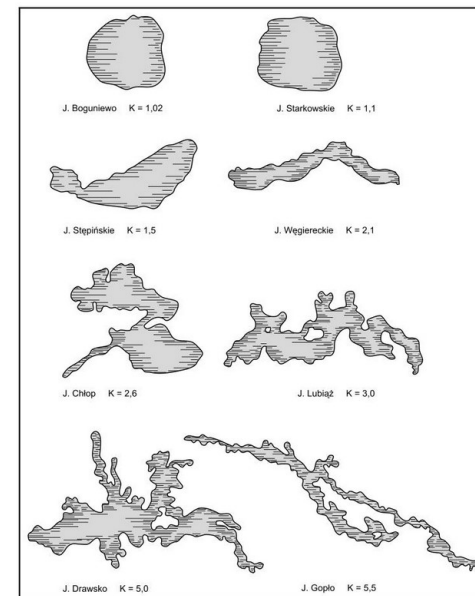
Rys. 93. Plany batymetryczne wybranych mis jeziornych (wg Choińskiego, 1986): a – jezioro eworsyjne, b – jezioro syrkowe, c – jezioro przybrzeżne, d – jezioro krasowe, e – jezioro śródwydymowe, f – jezioro rynnowe

Izobaty - linie łączące miejsca o tej samej głębokości

Długość linii brzegowej (l) –
długość brzegu mierzona wzdłuż
izobaty 0 m (wzdłuż linii brzegu)

**Wskaźnik rozwinięcia linii
brzegowej** – iloraz długości linii
brzegowej (l) i obwodu koła o
powierzchni równej powierzchni
jeziora (A_0)

$$K = \frac{l}{2\sqrt{\pi A_0}}$$



Rys. 89. Przykłady jezior o różnym rozwinięciu linii brzegowej (wg Choińskiego, 1986)

5.2.6. Wskaźnik odsłonięcia (otwartości) jeziora (W_o)

Wyznacza się go ze wzoru:

$$W_o = \frac{P}{H_{\text{śr.}}} \quad H_{\text{śr.}} = \frac{V}{P} \quad W_o = \frac{P^2}{V}$$

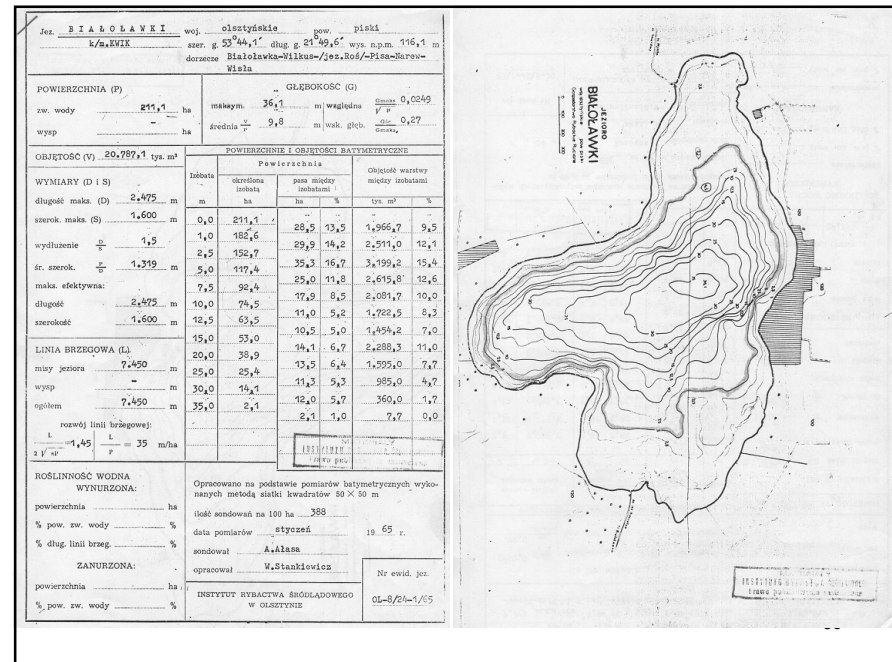
gdzie: P - powierzchnia jeziora, $H_{\text{śr.}}$ - głębokość średnia.

Tabela 22. Jeziora o maksymalnych wartościach wskaźnika odsłonięcia (W_o) w obrębie wydzielonych pojezierzy

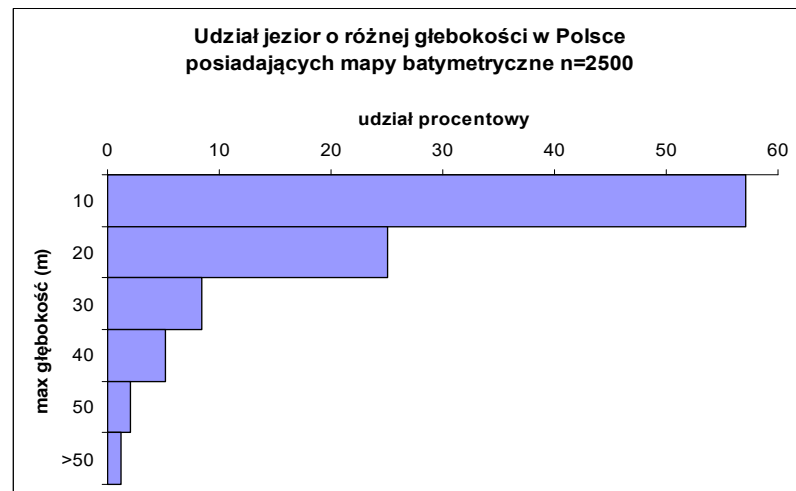
Pojezierze Pomorskie	W_o	Pojezierze Mazurskie	W_o	Pojezierze Wielkopolsko-Kujawskie	W_o
Łebsko	4462	Sniardwy	1935	Gopło	598
Gardno	1898	Druzno	1205	Gosławskie	291
Jamno	1600	Luknajno	1133	Rakutowskie	273
Bukowo	971	Mamry	1049	Złoty	268
Wielimie	797	Rucewo Wielkie	810	Jatisko	219
Sarbsko	543	Jeziorak	732	Świerczyńskie	173
Resko Przymorskie	444	Karaś	705	Ślawskie	137
Kopań	423	Pogubie Wielkie	671	Zdwońskie	133
Lubiatowo	416	Oświn	400	Przemęckie	132
Wicko	392	Pauzerskie	303	Zbąszyńskie	112

Obliczono na podstawie P i $H_{\text{śr.}}$, wg danych IRS w Olsztynie

Długi Staw tatrzański $W_o=0,31$



**Udział jezior o różnej głębokości w Polsce
posiadających mapy batymetryczne n=2500**



Ćwiczenia

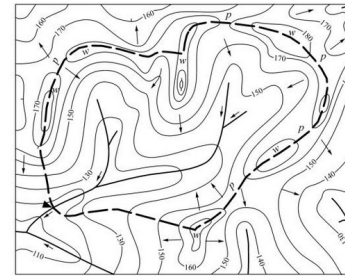
Zadanie 1

Wyznacz powierzchnię zlewni bezpośredniej i pośredniej jeziora Morskie Oko

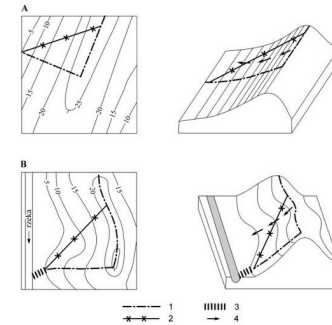


<https://polska.geoportal2.pl/map/www/mapa.php?mapa=polska>

Metodyka wyznaczania zlewni na mapie topograficznej



Rys. 1. Dział wodny
p — przełęcz, w — wierzchołki



Rys. 3. Przykłady wyznaczania działów wodnych na grzbiecie (A) i w suchej dolinie (B)
1 — sposób prawidłowy, 2 — sposób błędny, 3 — dział niepewny, 4 — linia sphywu

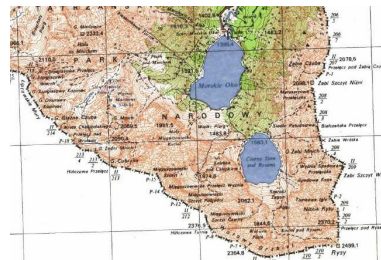
Zadanie 2b

Oblicz wartość współczynnika Schindlera dla Czarnego Stawu Pod Rysami w Dolinie Rybiego Potoku w Tatrach

Współczynnik Schindlera (S) jest ilorazem całkowitej zlewni jeziora (A) i pojemności jeziora ($V_{\text{jez.}}$)

$$S = \frac{A}{V_{\text{jez.}}} \quad [\text{m}^{-1}]$$

<https://polska.geoportal2.pl/map/www/mapa.php?mapa=polska/?gmap=gp0>



61

Zadanie 3a

Uzupełnij brakujące w załączonej tabeli morfometrycznej, wymienione niżej wartości parametrów charakterystyki jeziora Roś koło Pizsa

Do rozwiązania zadania użyj wartości z tabeli oraz narzędzia – „zmiierz odległość” w Google Maps lub geoportal

<http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/?gmap=gp0>

Dopuszczalny błąd pomiaru 5%.
 Powierzchnia jeziora- P=ha
 Średnia głębokość h_{sr} =m
 Długość linii brzegowej l=m
 Wskaźnik rozwinięcia linii brzegowej
 K =

Jez. R O Ś		woj. olasztyńskie	pow. pizali
/AARDZ, WARSZAWSKIE JEZIORO/		seer. g. 53°40'	diag. g. 21°53,6'
SK. ol. n. PIZSA		drzewce Pizsa - Barrow - Wista	wys. n.p.m. 155,6 m
POWIERZCHNIA (P)		GŁĘBOKOŚĆ (D)	
zw. wody	ha	maksym. 31,8	m względem
wyp. -	ha	średnia "	m wzgl. glęb. stawu
OBJĘTOŚĆ (V) 552,928,9 tyn. m ³		POWIERZCHNIA I OBJĘTOŚCI LATYMETRYCZNE	
WYMIARY (D i S)		Powierzchnia	
długość moka (D)	11,400 m	średnia między	Objętość warstwy między
szerość moka (S)	2,150 m	liniami	między
wydłużenie	5,3	ha	liniami
śr. szerokość	1,655 m	ha	%
maks. efektywna	7,5	ha	%
długość	10,400 m	ha	%
szerość	2,350 m	ha	%
LINIA BRZEGOWA (L)		Objętość warstwy między	
między jeziora	29,0 m	ha	%
wyp. -	30,5 m	ha	%
ogółem	3,5 m	ha	%
rozcięcie linii brzegowej:		Objętość warstwy między	
1	27 m/ha	ha	%
2	27 m/ha	ha	%
ROSLINNOŚĆ WODNA		Opisowo na podstawie pomiarów białymetrycznych wykonanych metodą siatki kwadratów 50 X 50 m	
powierzchnia	ha	liczba sondowań na 100 ha	360
% pow. zw. wody	%	data pomiarów	styczeń 19 61 r.
% dług. linii brzeg.	%	sondował	inż. J. Sztejerbowski
ZANURZONA:		opracował	
powierzchnia	ha	J. Najewski	
% pow. zw. wody	%	Instytut Rybnictwa Śródlądowego w Olsztynie	
		Nr ewid. jez. 01-8/7-0/61	

Zadanie 4

Oblicz wskaźnik rozwinięcia linii brzegowej jeziora Roś oraz jeziora **Wielki Staw Polski** w Dolinie Pięciu Stawów Polskich wg wzoru:

$$K = \frac{l}{2\sqrt{\pi A_0}}$$

Wskaźnik rozwinięcia linii brzegowej – iloraz długości linii brzegowej (l) i obwodu koła o powierzchni równej powierzchni jeziora (A_0)

Do rozwiązania zadania użyj narzędzia pomiaru w usłudze geoportal

<http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/?gmap=gp0>

Dopuszczalny błąd pomiaru 5%.

Wartość wskaźnika K dla jez. Roś =

Wartość wskaźnika K dla jez. Wielki Staw Polski =

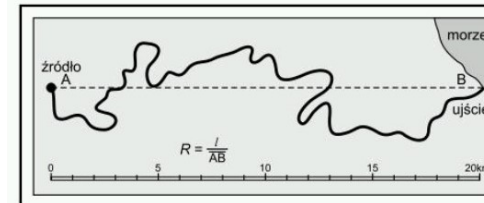
Porównaj oba wskaźniki i napisz, z czego wynikają ewentualne różnice pomiędzy obliczonymi wartościami?

Zadanie 5

Oblicz wartość wskaźnika rozwinięcia rzeki **Wkry** na odcinku od miejscowości Sochocin do ujścia do rzeki Narwi oraz wskaźnik rozwinięcia rzeki **Kamiennej** na odcinku od Szklarskiej poręby do ujścia do rzeki Bóbr

Do rozwiązania zadania użyj narzędzia pomiaru odległości w Google Maps.

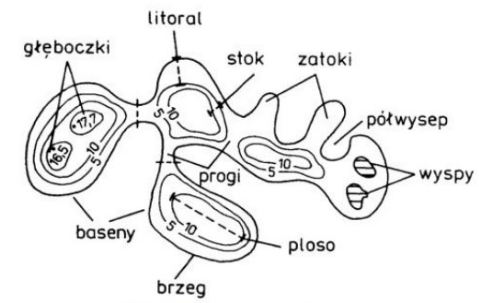
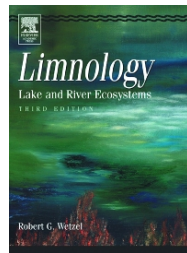
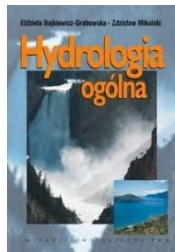
Dopuszczalny błąd pomiaru 5%.



Rys. 68. Rozwinięcie rzeki; l – długość rzeki, AB – odcinek łączący źródło rzeki z jej ujściem

Porównaj oba wskaźniki i napisz, która rzeka ma większy wskaźnik i dlaczego?

Literatura:



Ryc. 19. Elementy misy jeziornej