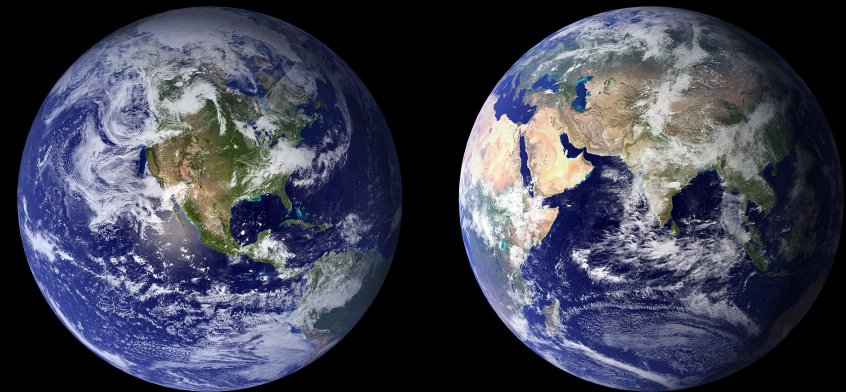


# Hydrologia

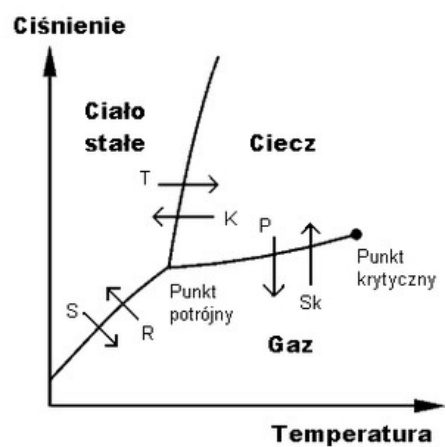
M. Ślusarczyk 2023

1

Występowanie wody na Ziemi

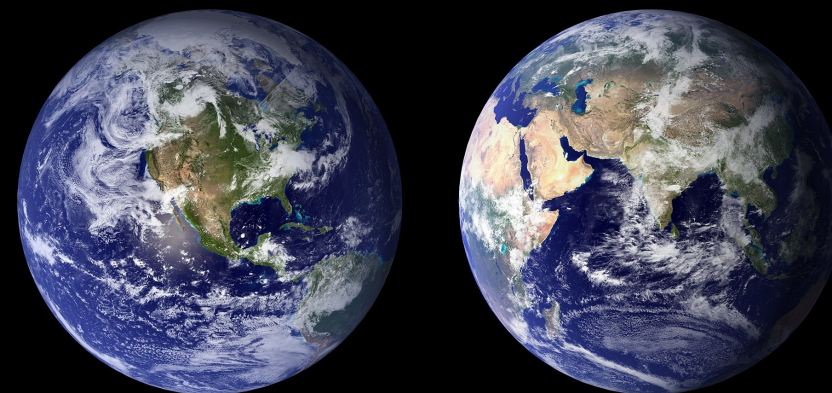


## Woda jako zasób i środowisko życia organizmów

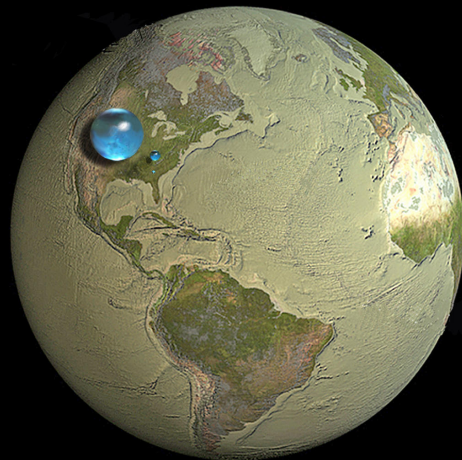


Woda może występować w 3 stanach skupienia<sub>3</sub>

## Występowanie wody na Ziemi



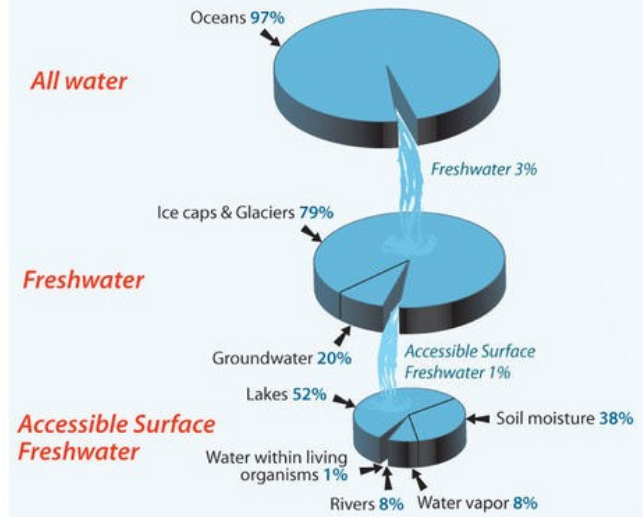
## The World's Water



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

Howard Pettman, USGS,  
 Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution,  
 Adam Niseman  
 Data source: Igor Shiklomanov  
<http://ga.water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>

## Distribution of the World's Water

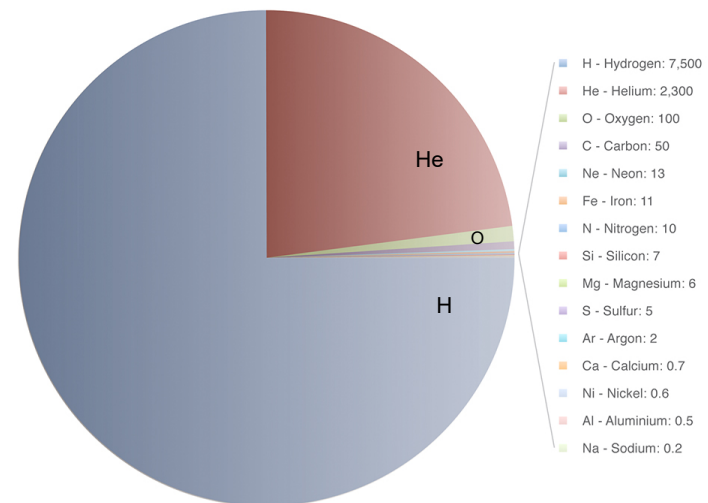


# Skąd pochodzi woda na Ziemi?



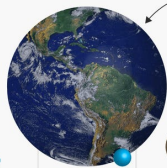
<https://www.youtube.com/watch?v=81FZD6aDobk>

## Skład chemiczny naszej galaktyki (Droga Mleczna)





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



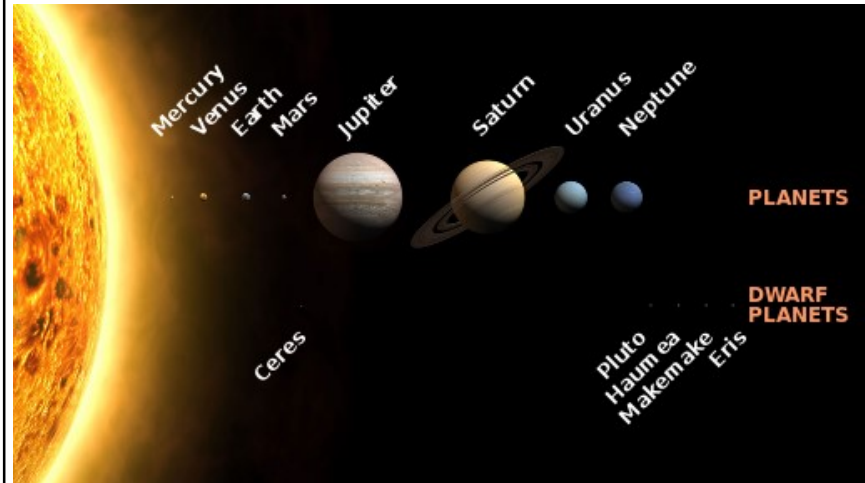
Earth has a surprisingly small amount of water compared to other worlds in the Solar System. Each measurement is the spherical radius of the world and its water (including ice):

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

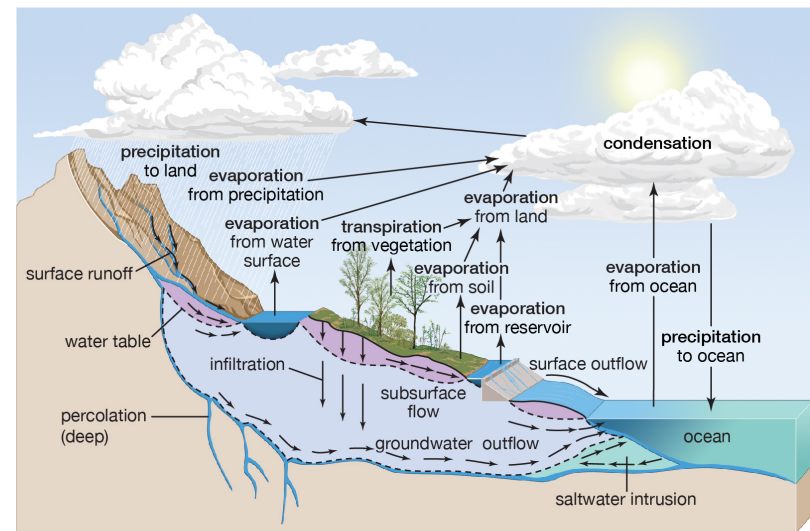
### Woda w stanie płynnym w układzie słonecznym



Czy woda występuje  
na Księżycu?



Skąd woda na lądzie?

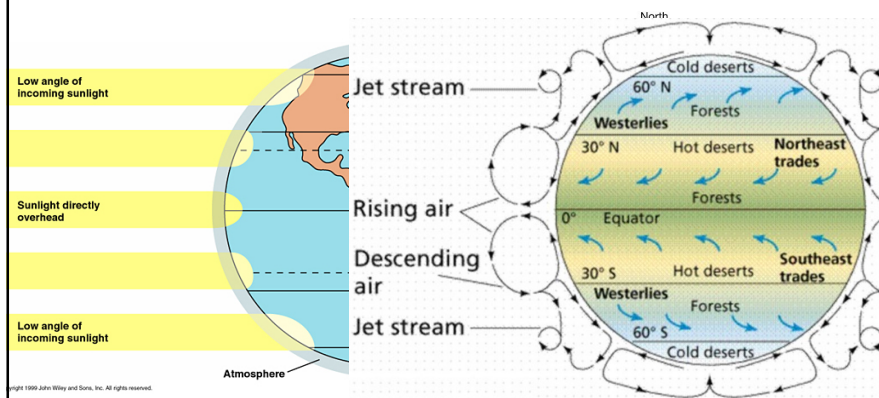


soil moisture groundwater

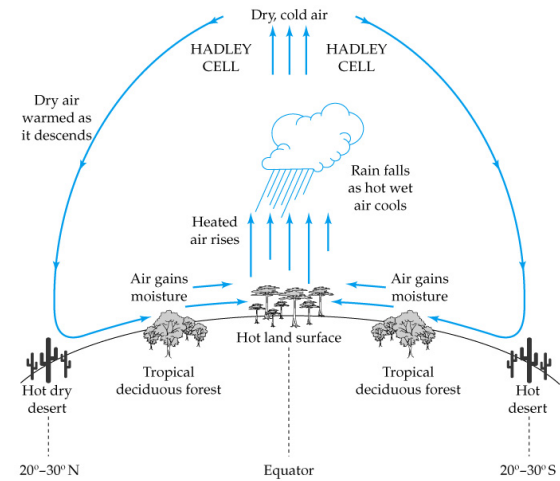
ocean covers 71 percent of Earth's surface  
196,950,000 sq mi (510,000,000 sq km)

© 2015 Encyclopædia Britannica, Inc.

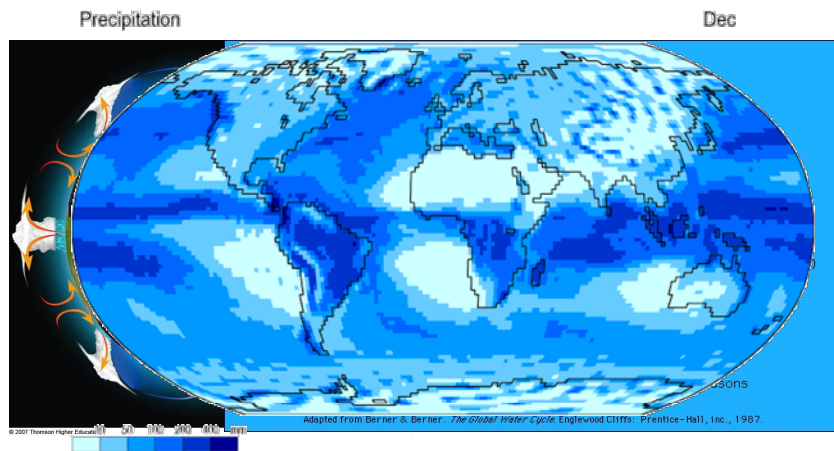
Promieniowanie słoneczne – główne źródło energii (pompa ciepła) dociera nierównomiernie do różnych miejsc na powierzchni Ziemi



Nierównomierne nasłonecznienie jest powodem nierównomiernego rozkładu ciśnienia atm. oraz opadów w różnych miejscach na Ziemi

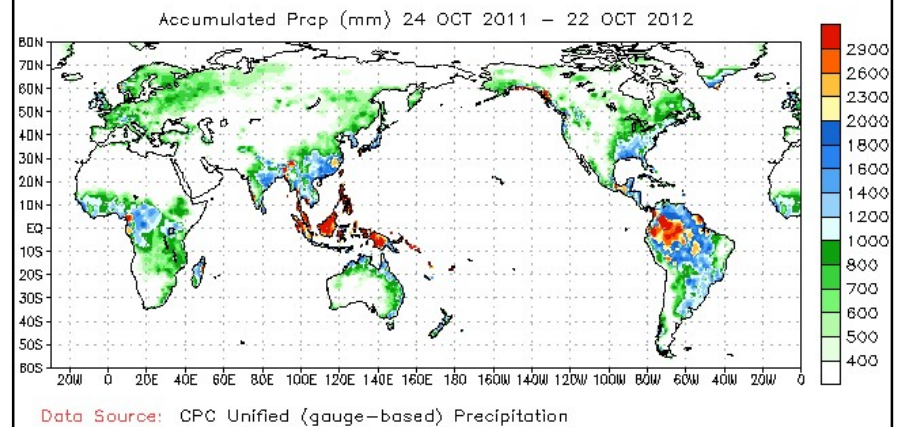


Sezonowe zmiany warunków termicznych powodują  
cykliczne zmiany ilości opadów

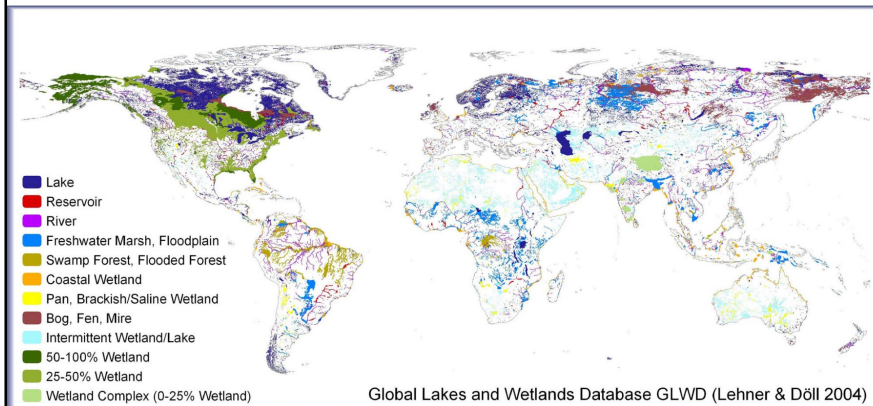


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

Gdzie możemy oczekiwać  
występowania wód śródlądowych?



## Globalne rozmieszczenie wód śródlądowych



## Gdzie występują rzeki?

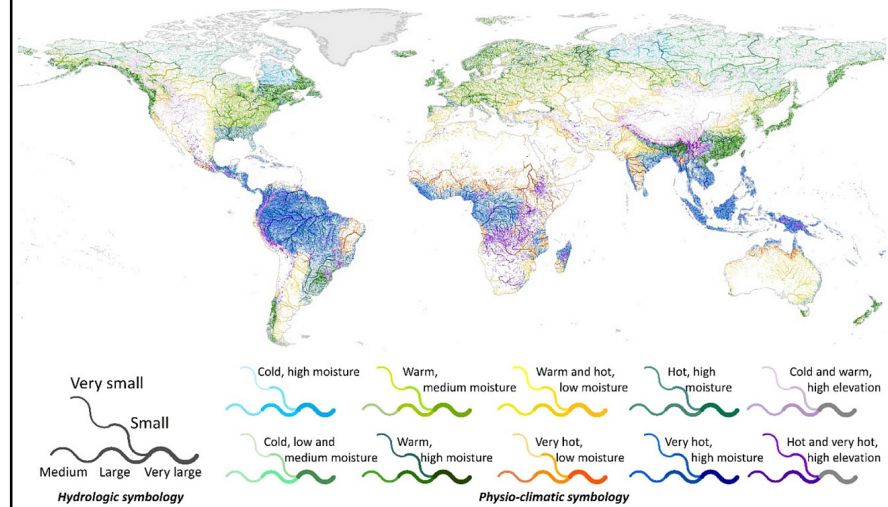
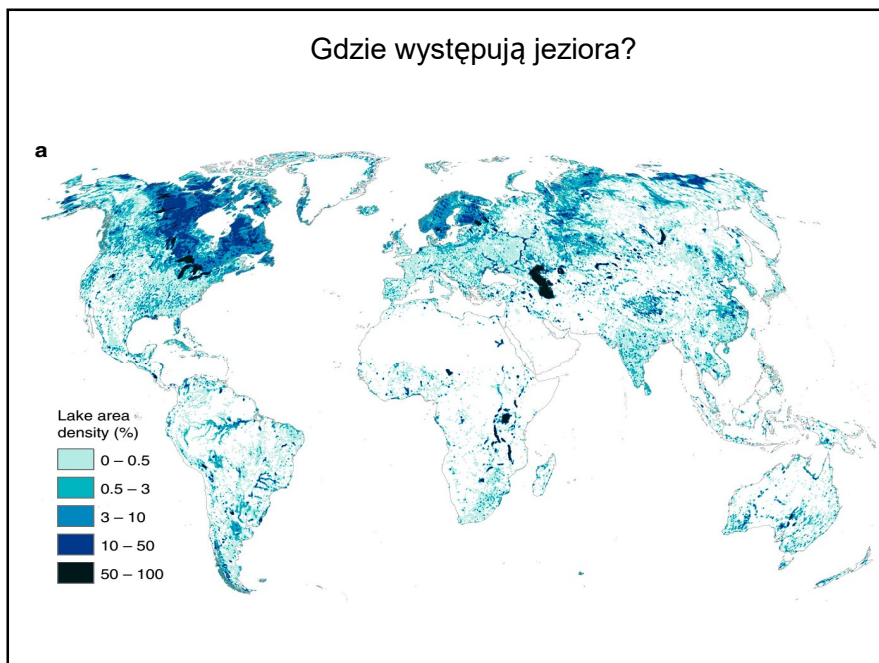


Figure 6 from A multidisciplinary framework to derive global river reach classifications at high spatial resolution. Ouellet Dallaire et al 2019 Environ. Res. Lett. 14 024003 doi:10.1088/1748-9326/aad8e9



### Gdzie występują jeziora?



### Globalne rozmieszczenie wód śródlądowych

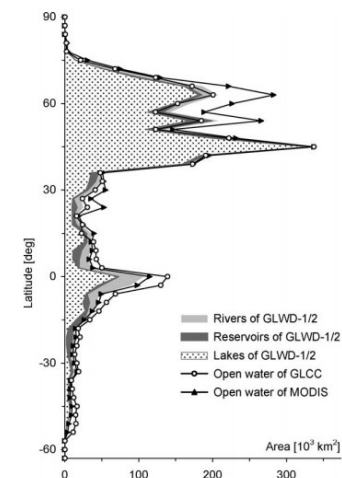


Fig. 3. Latitudinal distribution of global open water areas. Area values are aggregated in steps of  $3^\circ$  latitude. For data description and references see text and Table 1.

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



Typologia środowisk wodnych ze względu na ich trwałość

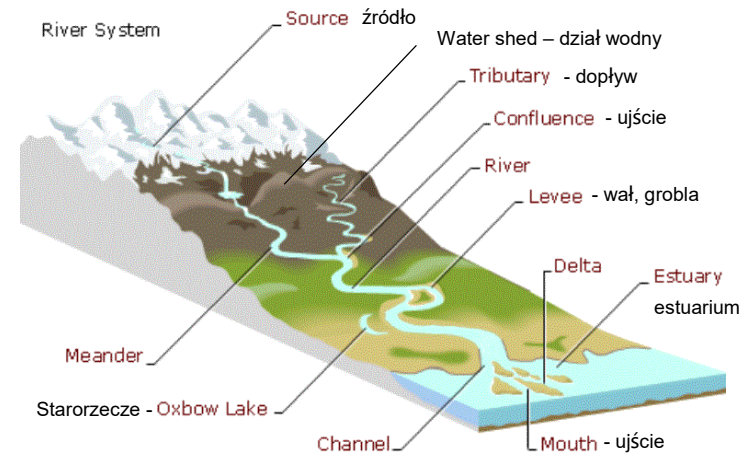
	Flooding regime	Predictability and duration of flooding
nietrwałe	<b>Ephemeral</b> 	Filled only after unpredictable rain and by run-off. The flooded area dries out during the days following flooding and rarely supports macroscopic aquatic organisms.
	<b>Episodic</b> 	Dry for 9 years out of 10, with rare and very irregular flooding (or wet periods) which may last for a few months.
	<b>Intermittent</b> 	Alternating wet and dry periods, but at lower frequency than seasonal wetlands. Flooding may persist for months or years.
	<b>Seasonal</b> 	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.
	<b>Near-permanent</b> 	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	<b>Permanent</b> 	Never dries out

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

## Śródlądowe wody powierzchniowe

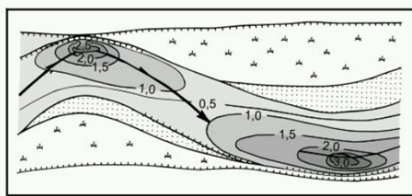
- płynące (lotyczne) - cieki
- stojące (lenityczne) – zbiorniki wodne (przepływowe lub bezodpływowe)

**Cieki**  
wody powierzchniowe przemieszczające się względem otoczenia pod wpływem siły ciężkości w wyłobionym korycie

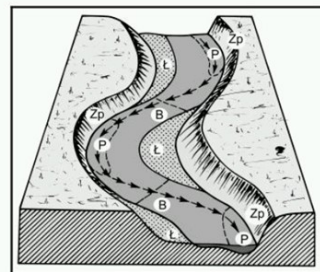


drainage basin – zlewnia rzeki

## Działalność erozyjna i akumulacyjna płynącej wody



Rys. 51. Konfiguracja dna koryta cieków (0,5, 1,0 itd. – izobaty) i przebieg linii nurtu

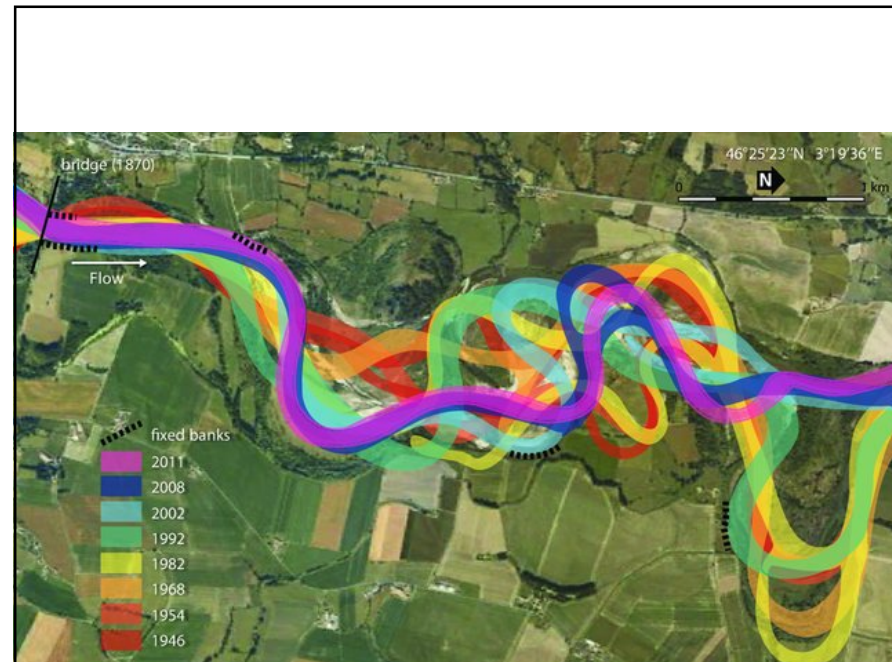


Rys. 53. Morfologia koryta rzecznego, P – płoso, B – przełęcz, bród, Ł – odprasko, Zp – zbożce podcięte, strzałkami zaznaczono przebieg nurtu

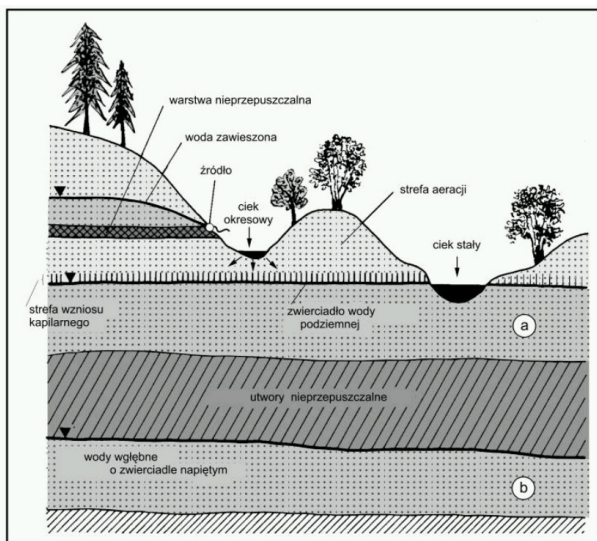


<https://www.youtube.com/watch?v=8a3r-cG8Wic>

25

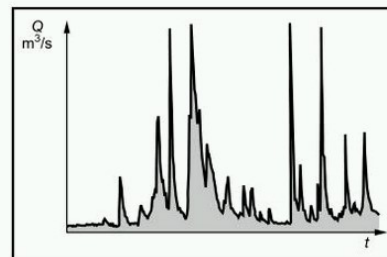


### Cieki stałe a okresowe

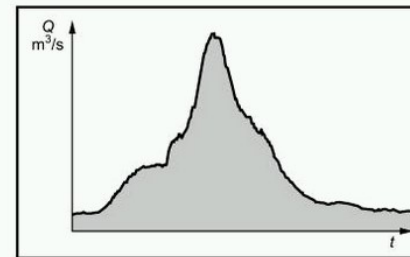


Rys. 15. Wody podziemne potamiczne (a) i apotamiczne (b)

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



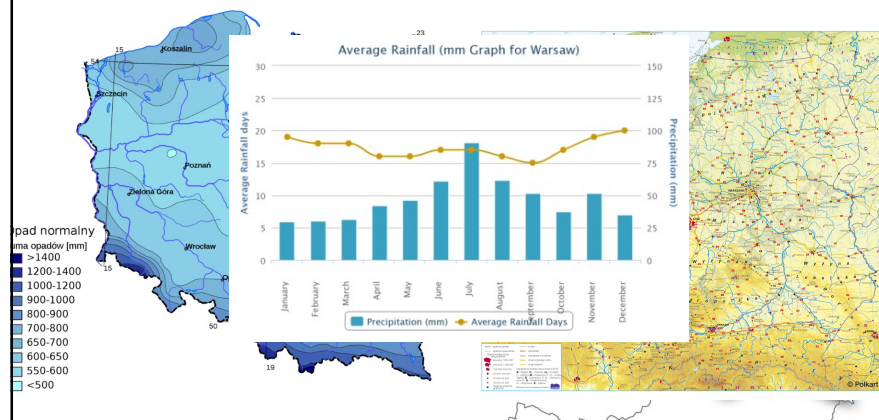
Rys. 150. Hydrogram odpływu rzeki górskiej



Rys. 151. Hydrogram odpływu rzeki nizinnej

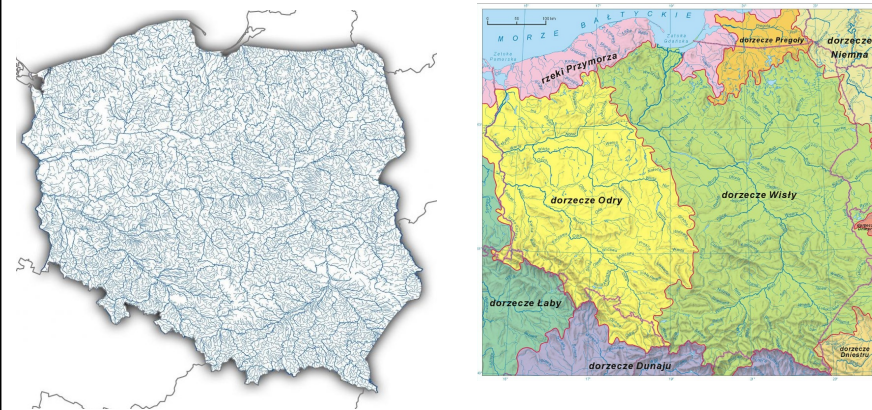


## Intensywność opadów a sieć rzeczna w Polsce



Przeciętne sumy opadu w Polsce. Lata 1971 - 2000<sup>1</sup>

## Sieć rzeczna w Polsce

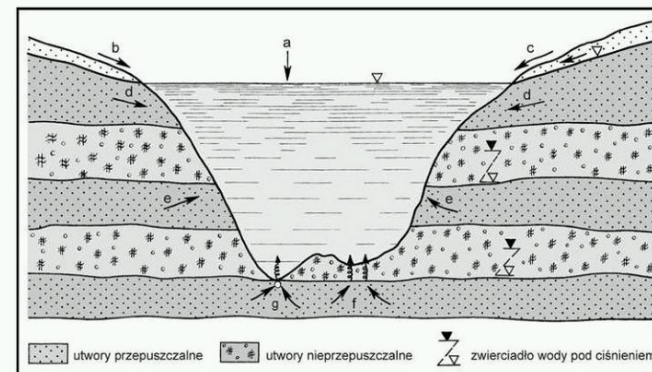


# Zbiorniki wodne

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

31

## Zasilanie zbiorników



**Rys. 139. Rodzaje zasilania jezior:** powierzchniowe (a – opadem atmosferycznym, b – sypkami powierzchniowymi, c – ciekami) i podziemne (d – wodami gruntowymi, e – wodami naporowymi, których poziom nadana misa jeziorna, f – na drodze podsiąku wód naporowych, g – przez podwodne źródła)

32

### Bilans wodny niewielkiego akwenu

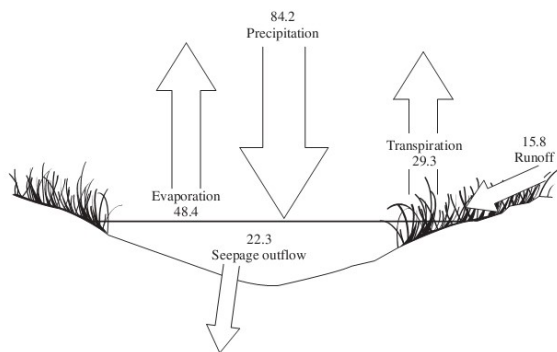
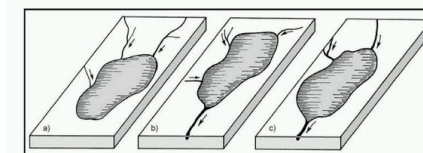


Figure 2.8 Hydrological budget for a prairie wetland pond (water loss/gain units are expressed in percentages; modified from Poiani and Carter 1991).

## Zbiorniki wodne

- Bezodpływowe
- Odpływowe



Rys. 68. Jeziora: bezodpływowe (a), odpływowe (b), przepływowe (c) (diagramy)

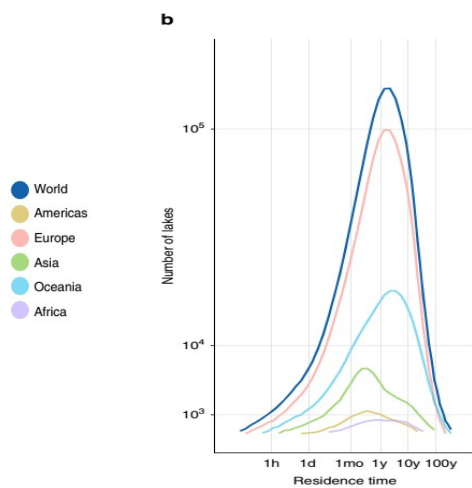
### Intensywność wymiany wody (tempo wymiany wody w skali rocznej)

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

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

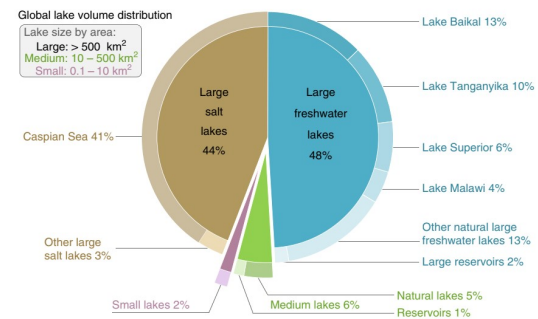
- jeziora o ustroju pasywnym ( $I < 1$ ),
- jeziora o ustroju przeciętnym ( $1 < I < 5$ ),
- jeziora o ustroju aktywnym ( $5 < I < 10$ ),
- jeziora o ustroju bardzo aktywnym ( $I > 10$ ).

## Średni czas retencji wody w jeziorach



DOI: 10.1038/ncomms13603 | [www.nature.com/naturecommunications](http://www.nature.com/naturecommunications)

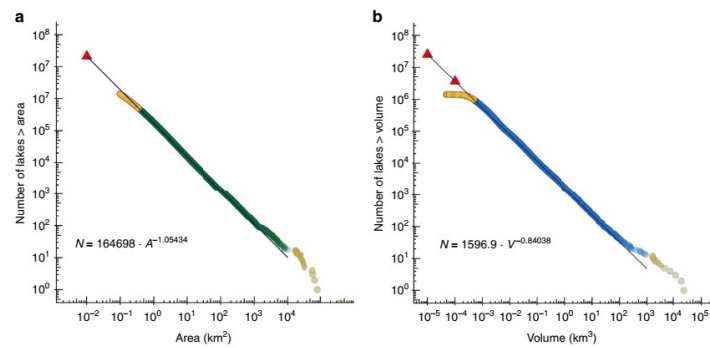
## Global lake volume distribution



**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) database<sup>28</sup>. Distinction between fresh and saline water is only available in the empirical data for large lakes.

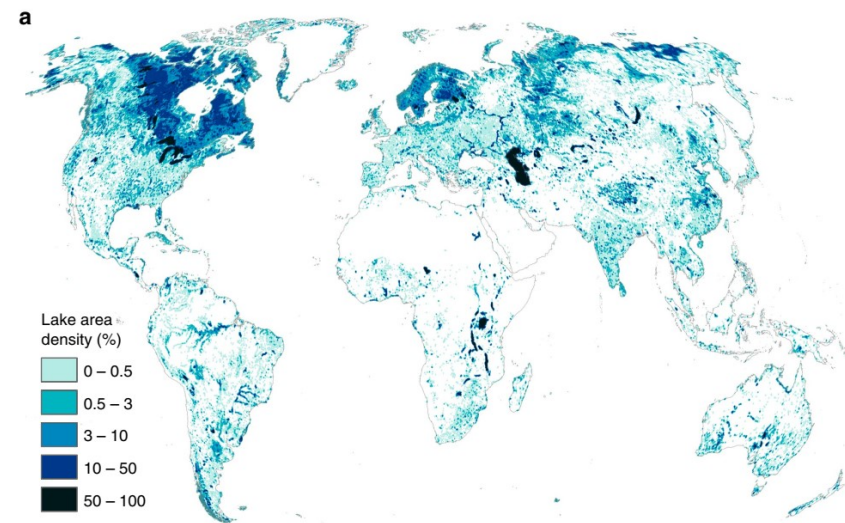
DOI: 10.1038/ncomms13603 | [www.nature.com/naturecommunications](http://www.nature.com/naturecommunications)

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



**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) database<sup>28</sup>.

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



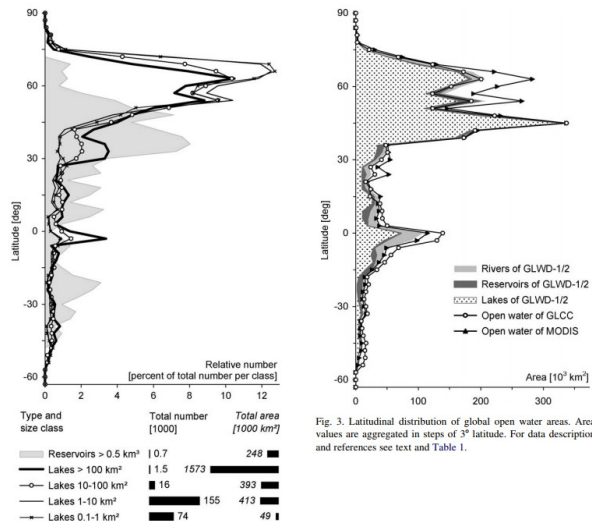


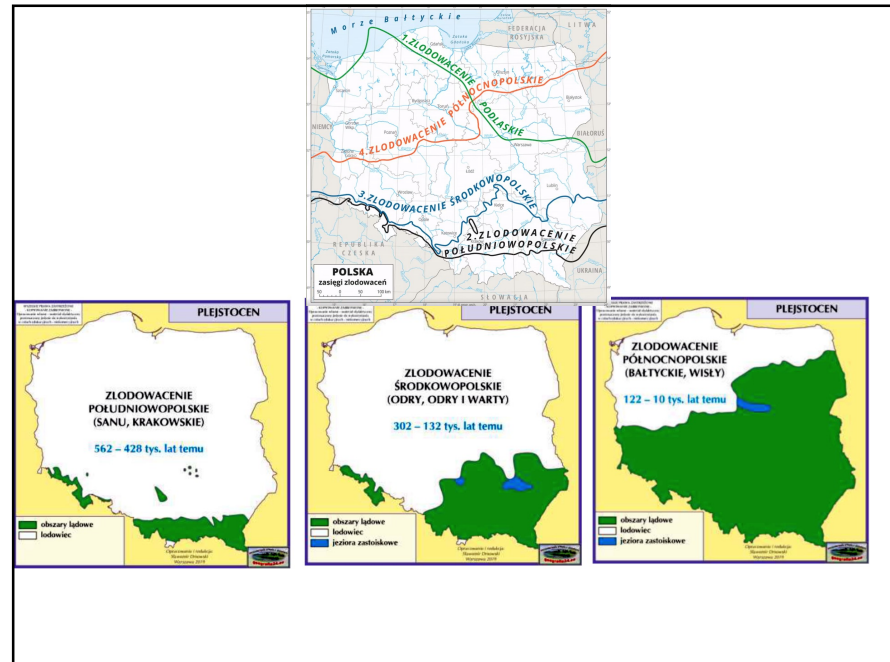
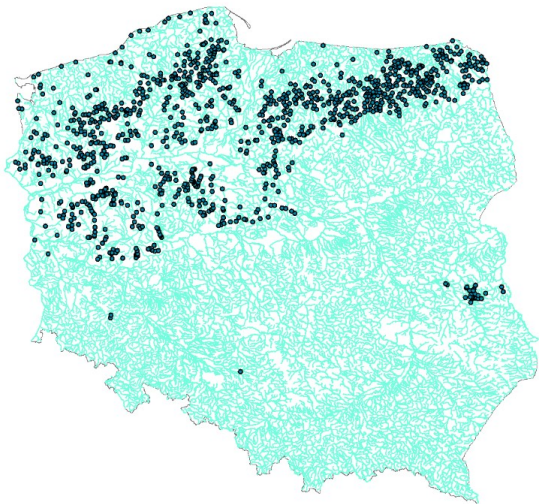
Fig. 2. Latitudinal distribution of global lake and reservoir numbers for different size classes according to GLWD. Relative numbers are aggregated in steps of 3° latitude. Total lake and reservoir areas per size class are provided for reference.

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.

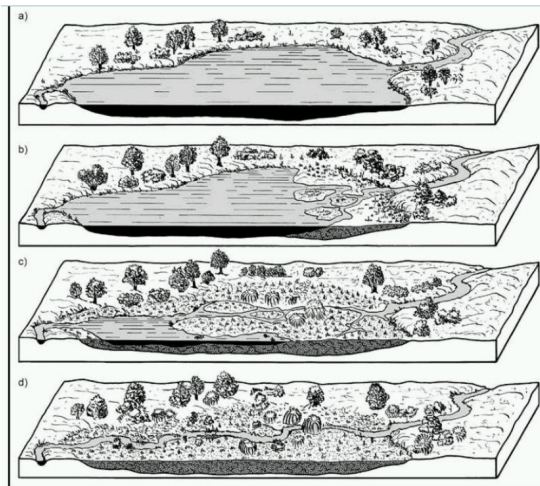
## Arktyczny krajobraz



Jeziora w Polsce są mniej jednorodnie rozmieszczone niż rzeki  
dlaczego?



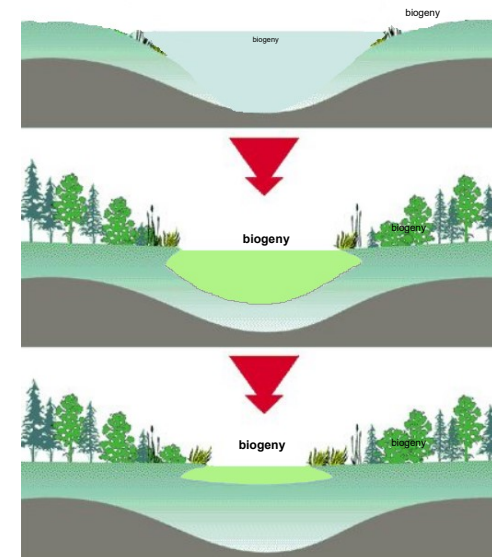
## Większość jezior to nietrwałe ekosystemy w geologicznej skali czasu



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

43

## Większość jezior to nietrwałe ekosystemy w geologicznej skali czasu



44

<https://www.youtube.com/watch?v=loi584OFVpE>

Pochodzenie jezior: <https://www.youtube.com/watch?v=mSPVqx3vge>

## 1) Polodowcowe

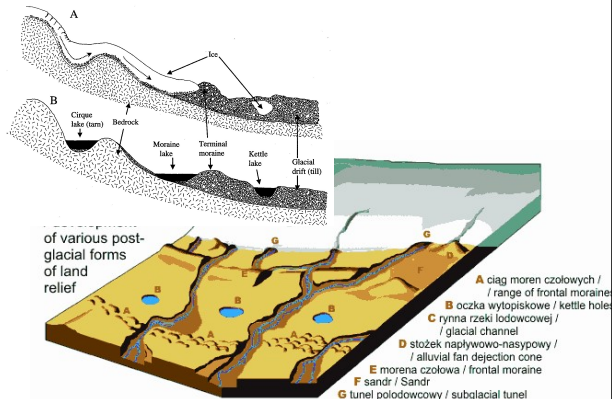
Nietrwale jeziora powstałe wskutek bezpośredniego kontaktu z masą lodową; mogą powstać w lodzie, pod lodem lub na lodzie  
Powstałe wskutek erozvinei lub akumulacvinei działalności lodowca

Jeziora cyrkowe

Jeziora morenowe

Jeziora wytopiskowe

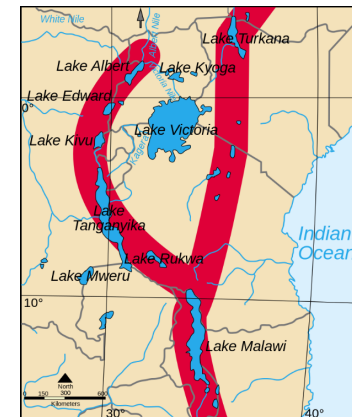
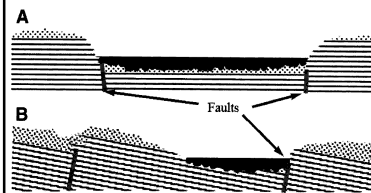
Jeziora rynnowe



Pochodzenie jezior:

## 2) tektoniczne

- Najgłębsze i najstarsze jeziora na Ziemi.
- Przesunięcia płyt tektonicznych tworzące szczeliny wypełnione wodą.





Pochodzenie jezior:  
3) wulkaniczne



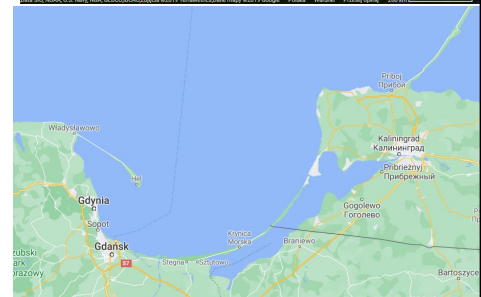
Pochodzenie jezior:  
4) krasowe

Zagłębienia terenu wypłukane przez wodę w miękkim nieprzepuszczalnym podłożu

5) przybrzeżne

utworzone przez groble wydymowe

6) kosmogeniczne  
meteorytowe





Pochodzenie jezior:

5) Pochodzenia rzeczne:

- starorzecza

- zbiorniki zaporowe

- Naturalne procesy tamujące przepływ wody:

- osuwiska ziemne

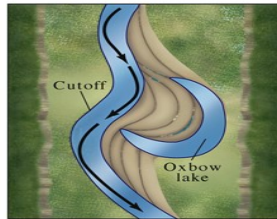
- lawowe (coulee lakes)

- tamy bobrowe

- rozwój roślin (Sphagnum bogs)

- oddziaływanie lodowca (ice dams)

- Pochodzenia antropogenicznego



## zbiorniki zaporowe poch. antropogenicznego

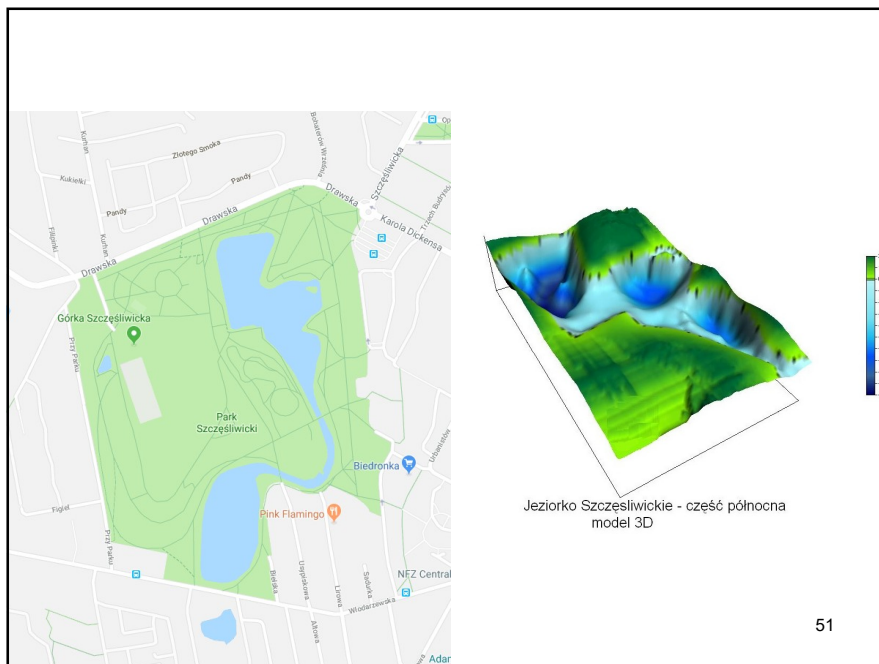
- **zbiorniki retencyjne** (zbiorniki zaporowe), których zadaniem jest magazynowanie wody w okresach jej nadmiaru w celu wykorzystania w innych okresach; charakteryzują się dużymi różnicami poziomów wody (w Polsce są to m.in. jeziora: Solińskie, Mietków, Rożnowskie, Czorsztyńskie);

- **zbiorniki przepływowe**, powstają w wyniku przegrodzenia rzek jazami, których zadaniem jest utrzymanie stałego poziomu piętrzenia; typowe zbiorniki przepływowe nie mają zdolności retencyjnych (w Polsce np.: Jezioro Włocławskie, Jezioro Zegrzyńskie);

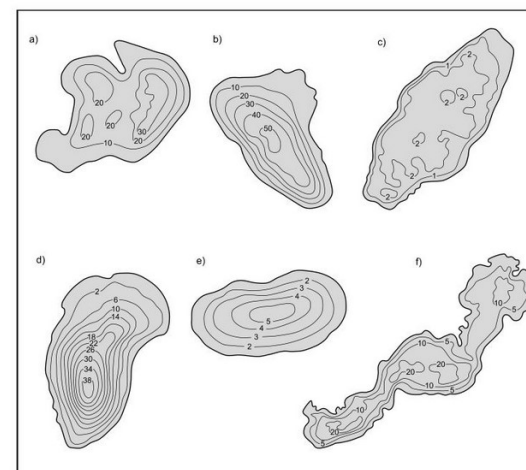
- **zbiorniki suche**, których zadaniem jest okresowe magazynowanie wody podczas przechodzenia fal wezbraniowych.



Stawy, wyrobiska, itp.



### Różny kształt mis jeziornych



Rys. 93. Plany batymetryczne wybranych mis jeziornych (wg Choirskiego, 1986); a – jezioro eworsyjskie, b – jezioro cyrykowe, c – jezioro przybrzeszne, d – jezioro krasowe, e – jezioro śródwymowe, f – jezioro rynnowe

Izobaty - linie łączące miejsca o tej samej głębokości

### Istotne cechy zbiorników wodnych

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

**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

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

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

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

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

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

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

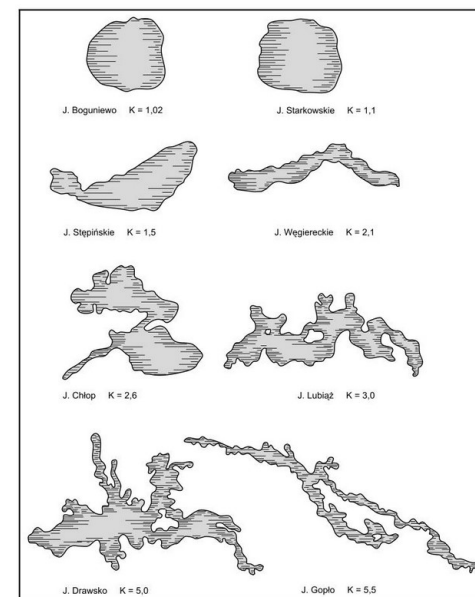
wartość  $S < 2$  - mała podatność na degradację  
wartość  $S \Rightarrow 2$  - duża podatność na degradację

53

**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 Chosińskiego, 1988)