

Poznań
17.03.2023 r.

Hydrologiczne konsekwencje zmiany klimatu

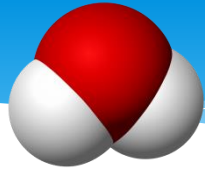
prof. UAM dr hab. **Dariusz Wrzesiński**

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej

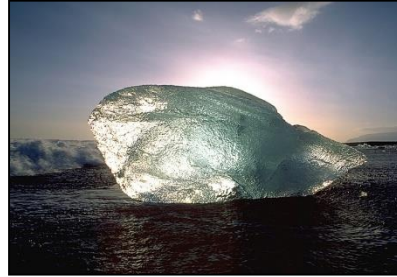
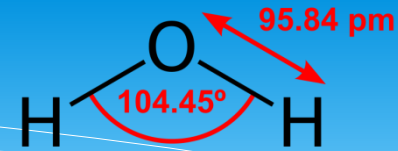


Plan wystąpienia

- * **Woda i jej znaczenie**
- * **Zasoby wodne hydrosfery**
- * **Uwarunkowania zmian zasobów i reżimu hydrologicznego**
- * **Istota NAO i jej wpływ na rzeki i jeziora**
- * **Ocieplenie klimatu a odpływ rzek w Polsce**



Woda



Najważniejsza substancja na Ziemi

- * Decyduje o większości przemian w środowisku
- * Podstawa życia organicznego - zasadniczy składnik żywej komórki
- * Umożliwia przemianę materii, udział w procesach fizjologicznych
- * Czynniki kształtujący powierzchnię Ziemi – bierze udział w wietrzeniu fizycznym i chemicznym
- * Udział w procesie produkcji
- * Środek transportu



„Wodo!

Wodo, nie masz smaku, ani koloru, ani zapachu,
nie można ciebie opisać, pije się ciebie nie znając ciebie.

Nie jesteś niezbędną do życia: jesteś samym życiem.

Obdarzasz nas rozkoszą, której niepodobna pojąć samymi zmysłami

...

Jesteś największym bogactwem, jakie istnieje na świecie ...”

Antoine de Saint-Exupery, „Ziemia, planeta ludzi”

Ile wody jest w człowieku?

Ciało człowieka składa się w większości z wody.

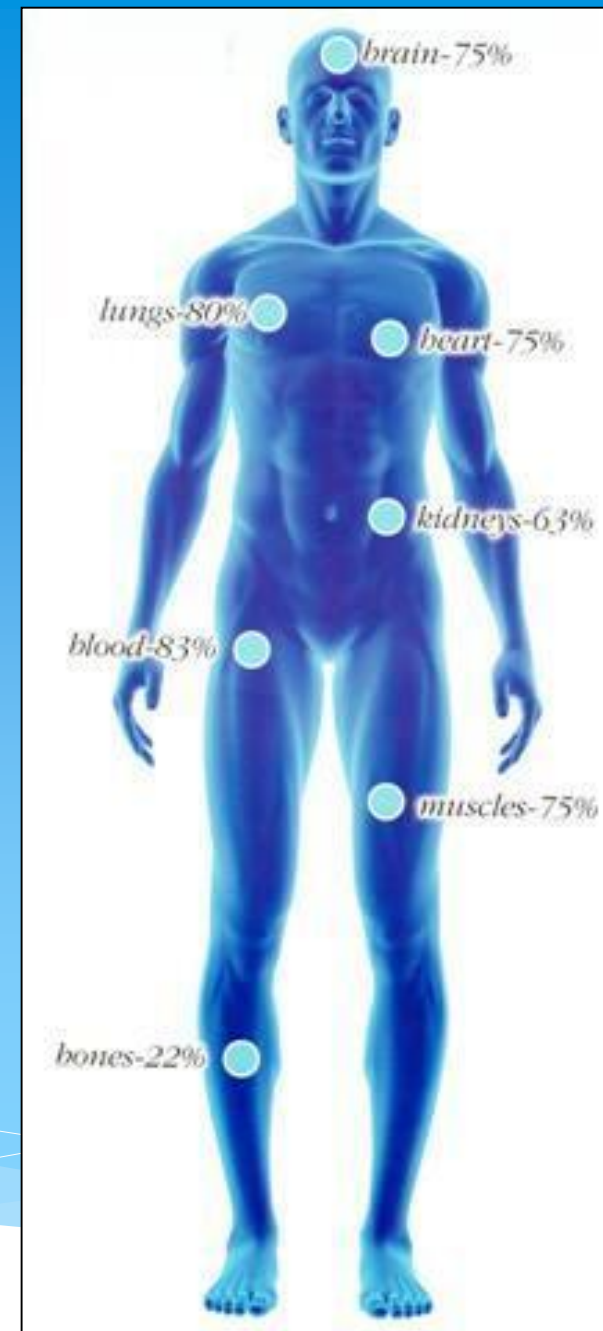
U mężczyzn stanowi ona około **60%** wagi, więc jeżeli ktoś waży 70 kg, to 42 kg przypada na ciężar samej wody, kobiet - **50%**, a dzieci aż w **75%**.

Do najbardziej wodnistych części należą płuca - w 90 procentach składają się z wody oraz krew (85% wody).

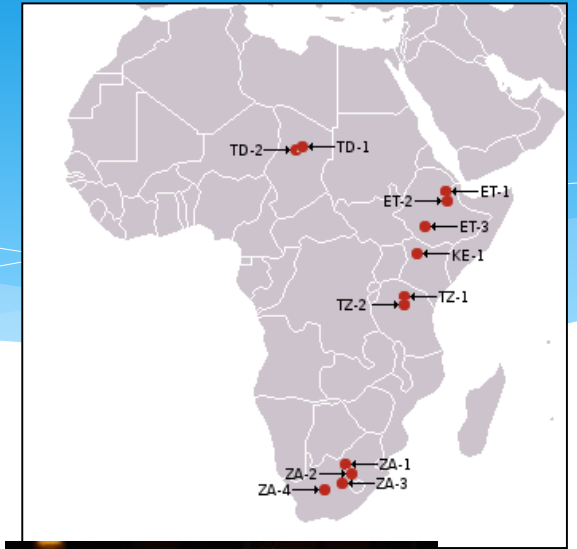
Skóra i mózg zawierają jej około 70%, mięśnie - 75%. kości w około 22% składają się z wody.

Woda jest nam niezbędna do życia: oczyszcza krew z toksyn, wspomaga pracę nerek, ułatwia trawienie, wchłanianie i transport substancji odżywczych, chroni stawy i organy wewnętrzne, reguluje temperaturę ciała, nawilża oczy, płuca i skórę.

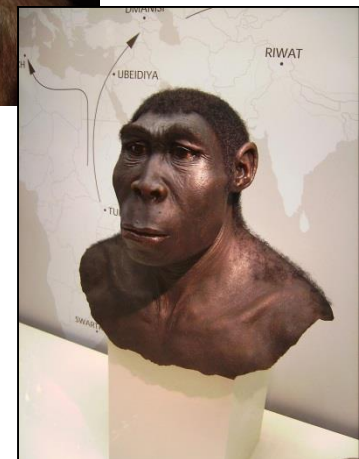
Przeciętnie dostarczamy organizmowi ok. 2 - 3 l wody dziennie; nie tylko wypitej, ale również zawartej w jedzeniu m.in. w owocach i warzywach. Podobną ilość tracimy; np. pocąc się - ok. 1,5 szklanki, oddychając - ok. 2 szklanki



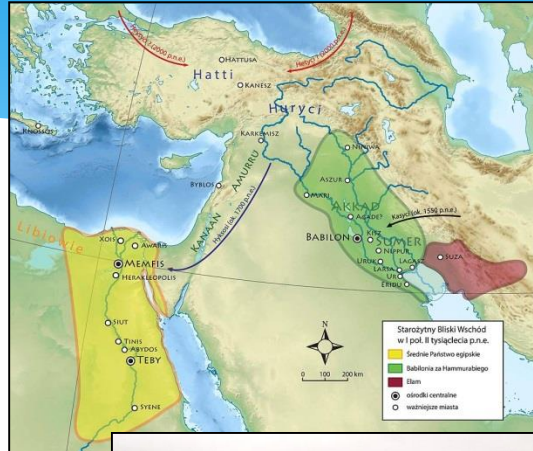
Wąwóz Olduvai



- * odkrycia szczątków wczesnych hominidów (australopitek, pitekantrop)
- * pierwsi pojawiają się około 2 mln lat temu
- * Poszukiwania wody zmusza do wędrówek co pośrednio uczyniło z nas ludzi **myślących**
- * Zbieżność między metamorfizmami afrykańskiego środowiska a kluczowymi momentami w dziejach człowieka
- * Woda staje się priorytetem, a nawet surowcem strategicznym, a nagłe skurczenie się zasobów wodnych doprowadziło do powstania starożytnych imperiów



Imperia wyrosłe na wodzie



- * Ok. 5000 lat temu egipscy królowie zjednoczyli Egipt
- * Masowa migracja ludów pasterskich na nad Tygrys i Eufkrat, także Indus (**Harappa**)
- * Skupiska ludności nad dolnym i środkowym Huang-he
- * W dolinie rzek Fortaleza i Supe powstaje najstarsza cywilizacja Ameryki (**Caral, Peru**)

Nagłe przyspieszenie historii

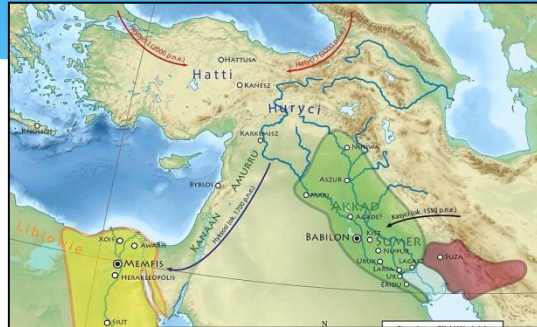
- 8-6 tys. lat temu przez 2000 lat trwa Holocenijskie Optimum Klimatyczne - w wilgotniejszym i cieplejszym klimacie ludność radziła sobie bez struktur państwa,

- 6 000 lat temu w wielu regionach świata zaczynają zanikać deszcze, ludność ruszyła do dolin największych rzek – rodzą się państwa z silną władzą centralną co umożliwia walkę z suszą



Cywilizacja doliny Indusu na tle innych kultur epoki brązu ok. 2000 p.n.e

Imperia wyrosłe na wodzie



- * Woda traktowana jest jak **świętość**, dar bogów
- * Sumerowie wierzyli, że bóg Enki napełnił puste koryta Tygrysu i Eufratu,
- * wyznawcy hinduizmu uznają Ganges za świętą rzekę stworzoną przez boga Wisznu
- * Już wtedy zdawano sobie sprawę, że cywilizacje które nie potrafią zarządzać wodą zginą jeżeli klimat zmieni się na mniej przyjazny

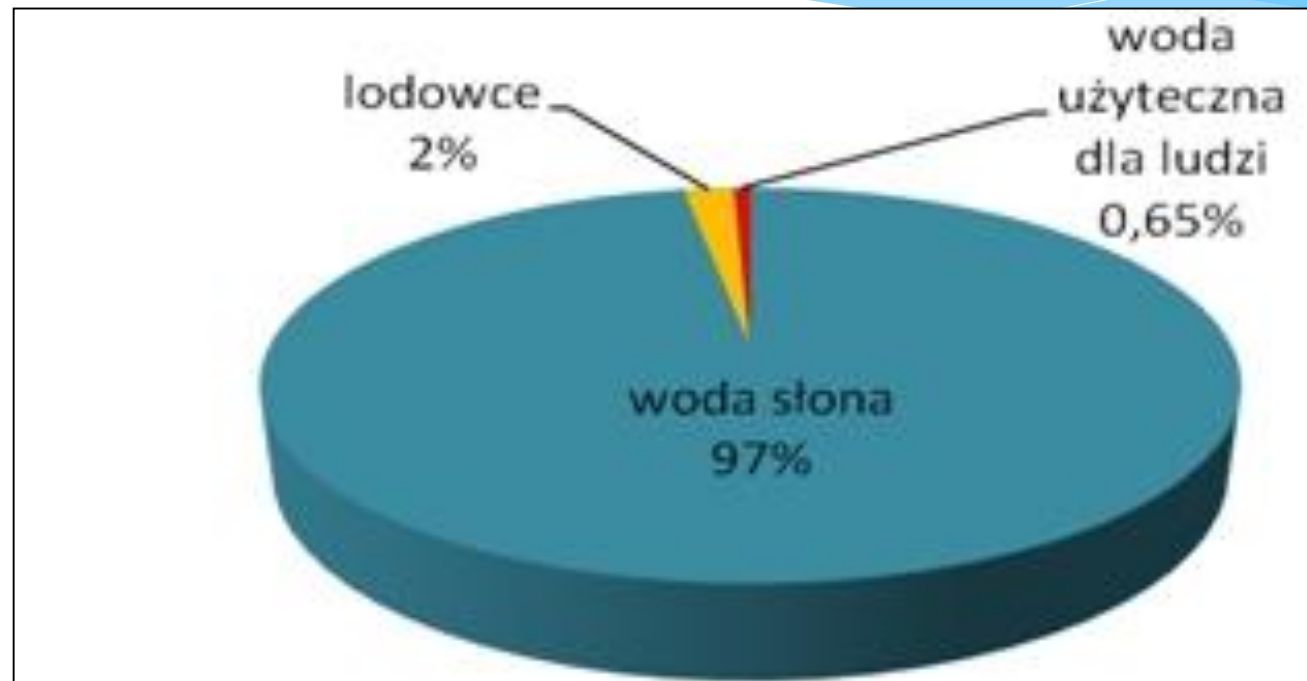
Upadek

- 4 000 lat temu susze powaliły źle zarządzane Stare Państwo w Egipcie, upadek cywilizacji doliny Indusu,

- W czasach nowożytnych susze doprowadziły do zagłady państwo Majów, w XIV w upadek cywilizacji Khmerów - Angkor zaniedbany obecnie porośnięty dżunglą



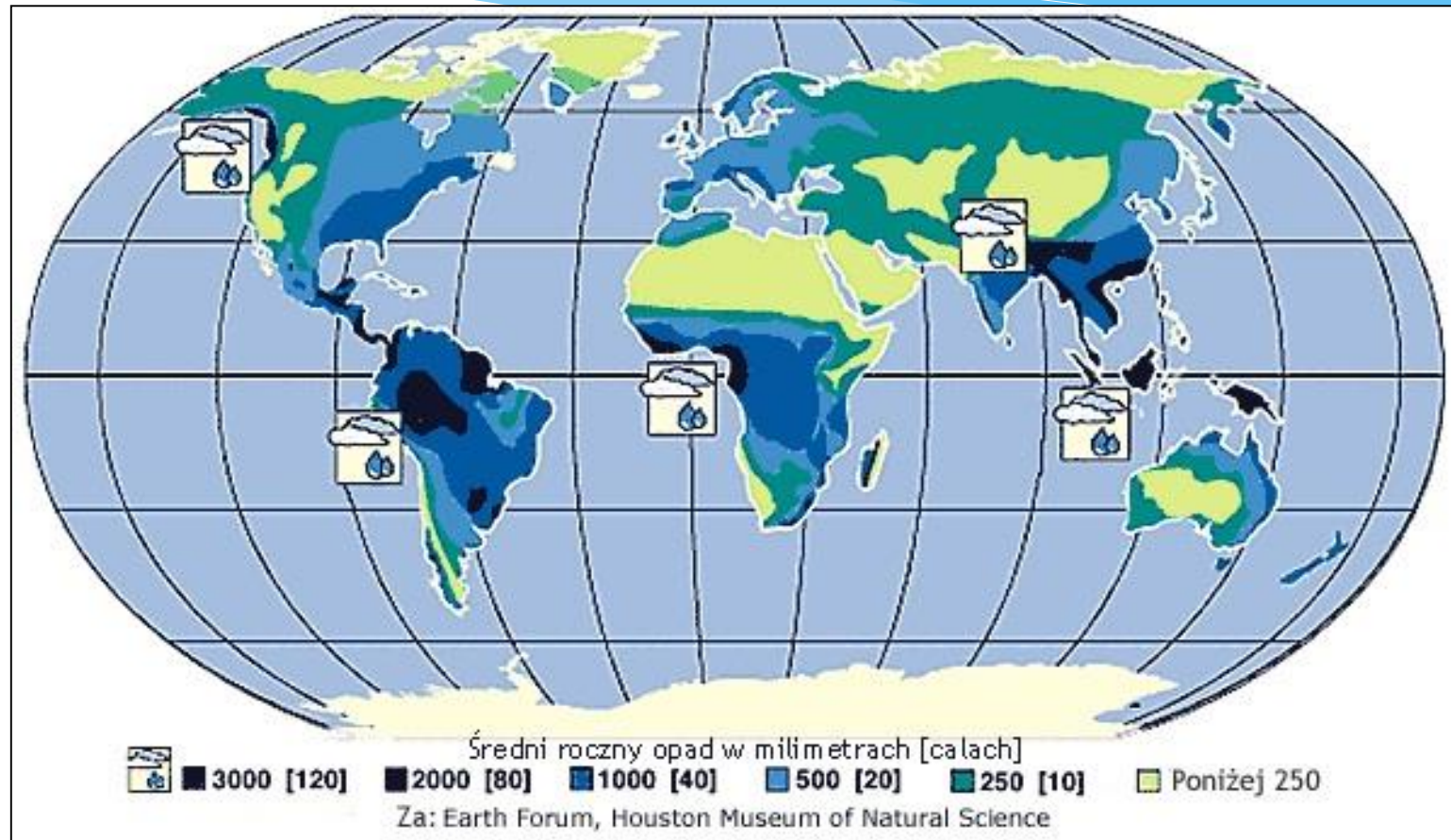
Zasoby wodne hydrosfery



- * Zasoby wodne hydrosfery są stałe i szacuje się je na 1,4 mld km³
- * Hydrosfera jest powłoką słoną, jedynie 2,5% jej zasobów (około 35 mln km³ to wody słodkie; aż 68,7% zasobów wody słodkiej magazynują lodowce i wieloletnie śniegi)

Zasoby wody słodkiej

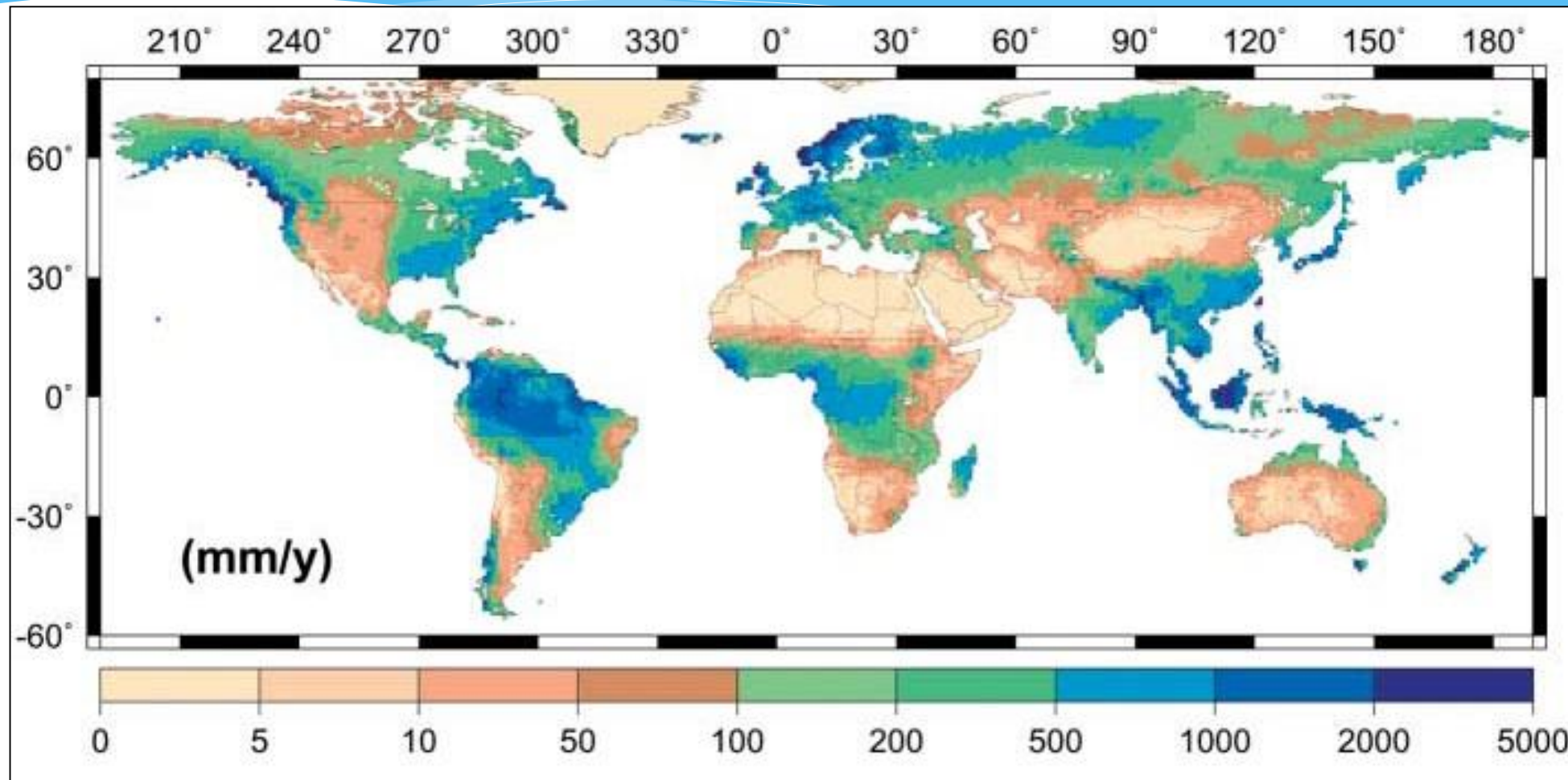
Zasoby wodne charakteryzują się znaczną zmiennością przestrzenną i czasową, która wynika ze zmienności przestrzennej i czasowej rozkładu opadów atmosferycznych.



Zmienność przestrzenna rocznych sum opadów atmosferycznych na Ziemi
(źródło:<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.html>)

Zasoby wody słodkiej

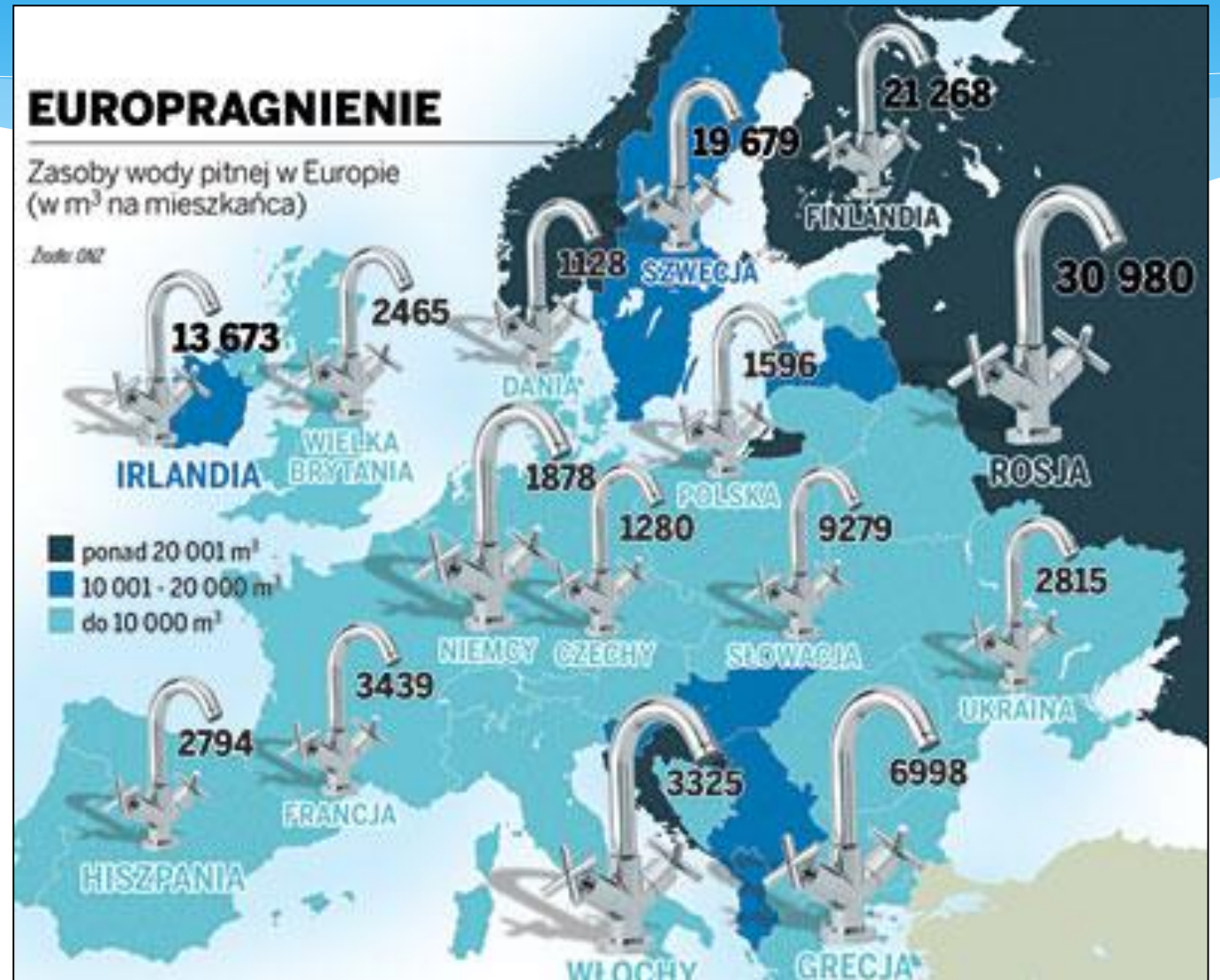
Bardzo dobrze ilustruje to rozkład przestrzenny średniego rocznego odpływu, który odzwierciedla zmienność zasobów wód rzecznych.



Rozkład przestrzenny średniego rocznego odpływu (mm/rok)
(Oki, Kanae, 2006)

Zasoby wody słodkiej

- * Zasoby wody na naszej planecie wystarczyłyby do zaspokojenia potrzeb całej ziemskiej populacji, jednak ich nierównomierne rozmieszczenie i nieracjonalne gospodarowanie wodami przez człowieka sprawiają, że w wielu krajach zaopatrzenie w ten surowiec stanowi ogromny problem.
- * Deficyt wody najdotkliwiej odczuwają kraje północnej i środkowej Afryki, Ameryki Południowej i Azji Środkowej. Naukowcy szacują także, iż niektóre kraje europejskie tj. Hiszpania, Włochy, Belgia, Niemcy i Wielka Brytania, będą już wkrótce zmagać się z jej niedostatkami.
- * **Zasoby wodne w Polsce, przypadające na jednego mieszkańca, są mniejsze niż w krajach sąsiednich i znacznie niższe niż przeciętne w Europie (zaledwie ok. 36% średniej europejskiej).**



Zasoby wody słodkiej

Warto wiedzieć

- * Tylko **niecały 1%** zasobów wodnych Ziemi to woda, która może być wykorzystywana do picia
- * Aż **1/3 ludności świata** żyje na obszarach dotkniętych umiarkowanym lub ostrym niedoborem wody (według danych Sztokholmskiego Instytutu Ochrony Środowiska)
- * Więcej niż **1,2 miliarda** ludzi nie ma dostępu do czystej wody pitnej
- * **75% chorób** w krajach rozwijających się to choroby przenoszone przez wodę. **Zakażona, brudna woda zabija więcej ludzi niż AIDS, nowotwory czy wojny.**
- * Z powodu braku czystej wody, lub jej złej jakości, **co minutę umiera 7 osób**
- * Kobiety i dzieci z biednych krajów Afryki przebywają codziennie **średnio 6 km niosąc 20 litrów wody**, by zaspokoić najbardziej podstawowe potrzeby swoich rodzin



Uwarunkowania zmian reżimu hydrologicznego

DESTABILIZACJA REŻIMU ODPLYWU

ZMIENNOŚĆ I ZMIANY KLIMATU
np. OSCYLACJA PÓŁNOCNOATLANTYCKA

DZIAŁALNOŚĆ CZŁOWIEKA

NAO

OPADY
ATMOSFERYCZNE

TEMPERATURA
POWIETRZA

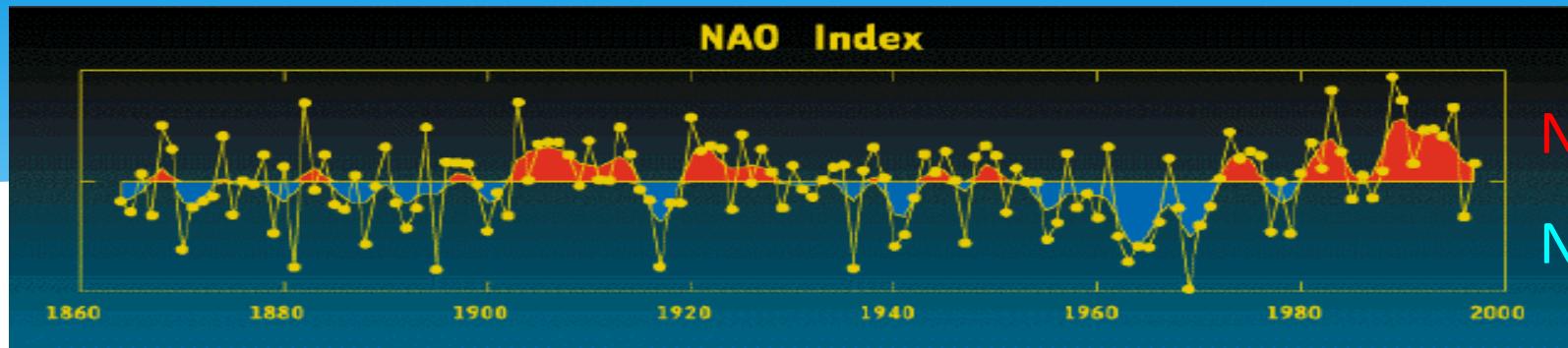
PAROWANIE

ODPŁYW RZECZNY, ZASOBY WODNE

SEZONOWOŚĆ
ODPŁYWU

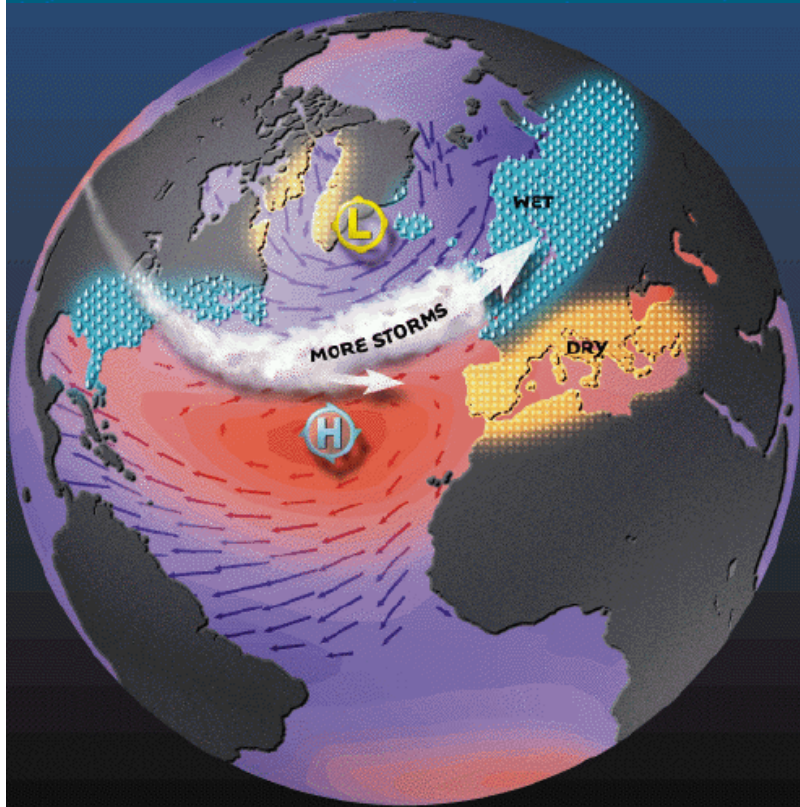
REŻIM ODPLYWU

Istota NAO



NAO +

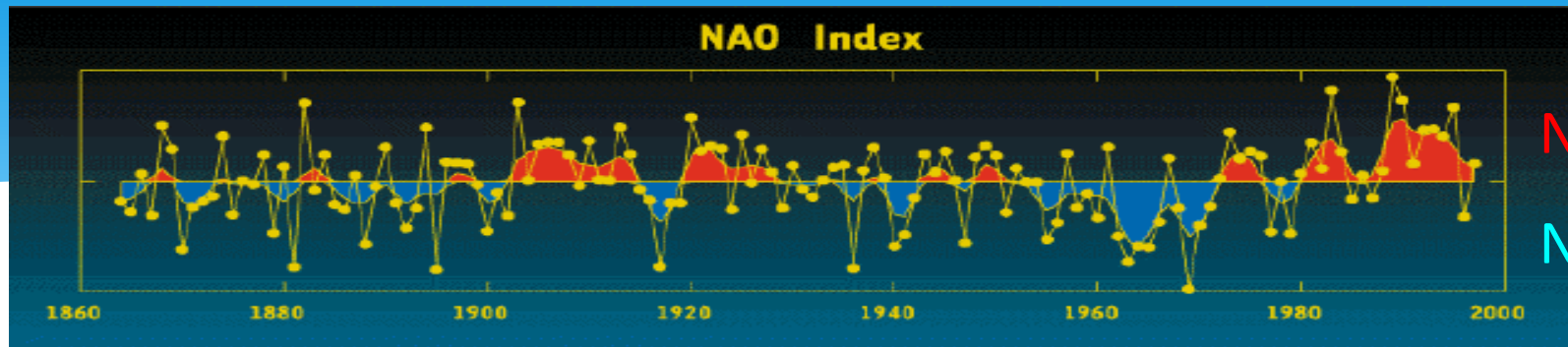
NAO -



NAO +

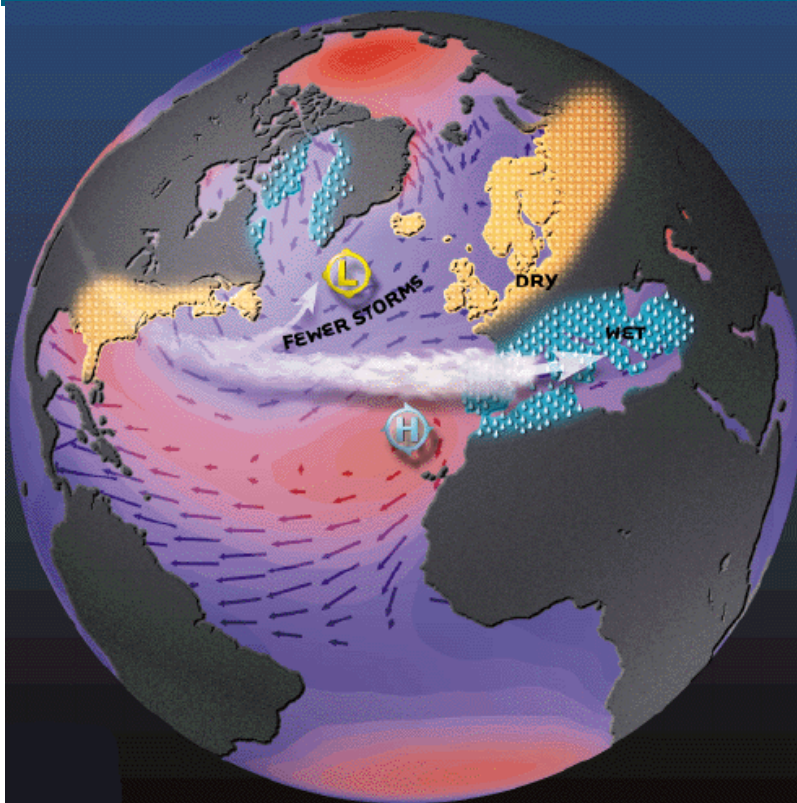
- * W pozytywnej fazie NAO (NAO+) wysokość gradientu ciśnienia jest większa i ma miejsce intensyfikacja cyrkulacji strefowej, co oznacza zwiększony napływ wilgotnego powietrza polarno-morskiego nad kontynent europejski (Hurrell 1995, Hurrell i van Loon 1997, Rogers 1997, Serreze i in. 1997, Trigo i in. 2002).
- * W Europie Zachodniej i Środkowej występują wtedy łagodne zimy, z częstymi odwilżami i nietrwałą pokrywą śnieżną. Lato jest wówczas umiarkowanie ciepłe, pochmurne, z niezbyt intensywnymi, choć częstymi opadami.

Istota NAO



NAO +

NAO -



NAO -

W negatywnej fazie (NAO-) ma miejsce ograniczenie lub zahamowanie przenosu zachodniego i wzrost częstości południkowych form cyrkulacji atmosfery i sytuacji blokadowych.

Na obszarach gdzie dochodzi do sływu mas powietrza z północy, występują ochłodzenia, a na terenach objętych napływem mas powietrza z południa wyraźne ocieplenia.

NAO +

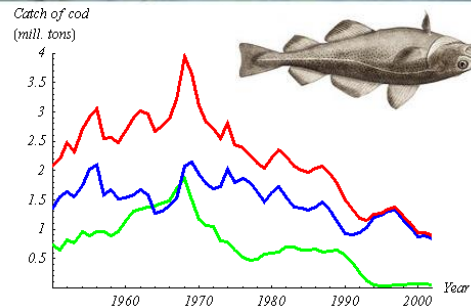
KONSEKWENCJE



CENTRAL US
Increased precipitation
and river runoff



NORTHEASTERN US
Increased temperature
results in decreased
number of snow days




Atlantic cod catch 1950-2002.
Northeast Atlantic (blue), northwest
Atlantic (green) and total (red)



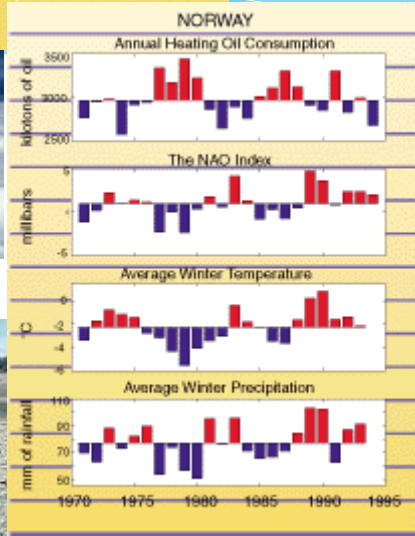
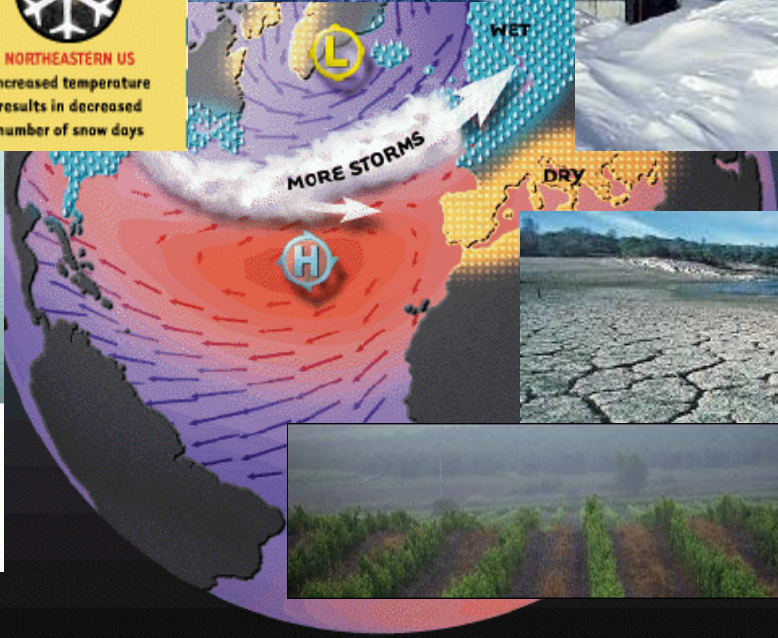
NORTH SEA
Increased wave height
affects safety of oil rigs
and their operators



SCANDINAVIA
Length of the plant growth
season is lengthened
by 20 days



NORWAY
Surplus water in
hydroelectric reservoirs
provides potential for
selling surplus electricity


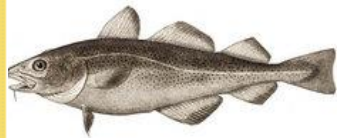


NAO -

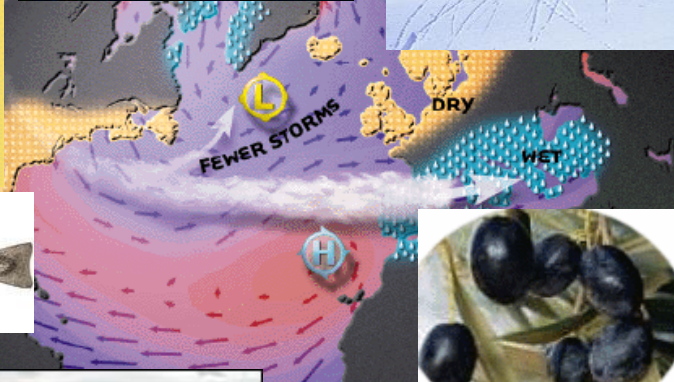
KONSEKWENCJE



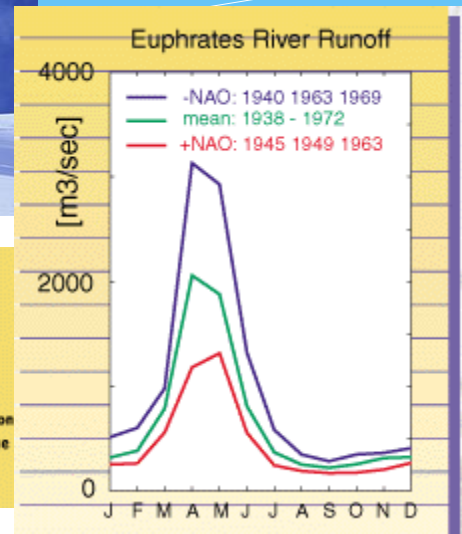
ATLANTIC
Increased growth and recruitment of Northern Cod



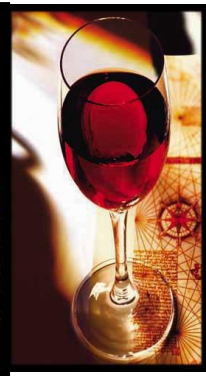
TROPICAL ATLANTIC/ GULF COAST
Warmer sea surface temperatures cause increases in number and strength of hurricanes



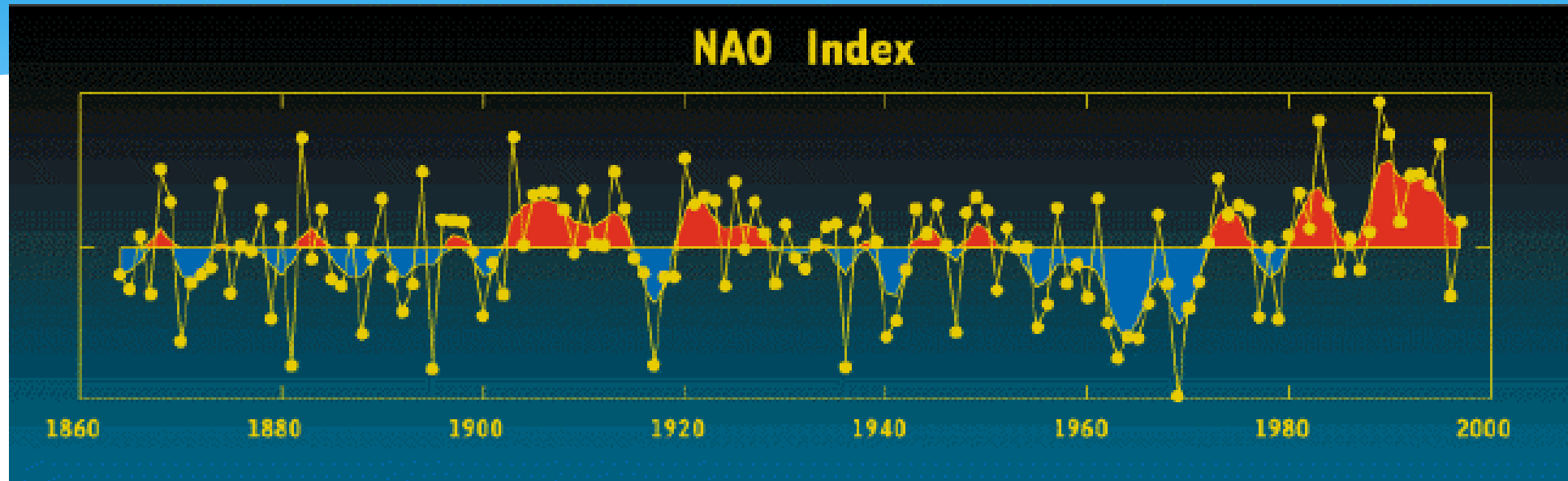
TURKEY
Increased precipitation and streamflow in the Tigris-Euphrates River Basin



PORTUGAL & SPAIN
Increased grape and olive harvests



KONSEKWENCJE



NAO +

Titanic sinks,
1912



NAO -

The February Revolution,
1917



NAO -

A bad winter for Hitler, The british big freeze,
1942



NAO -

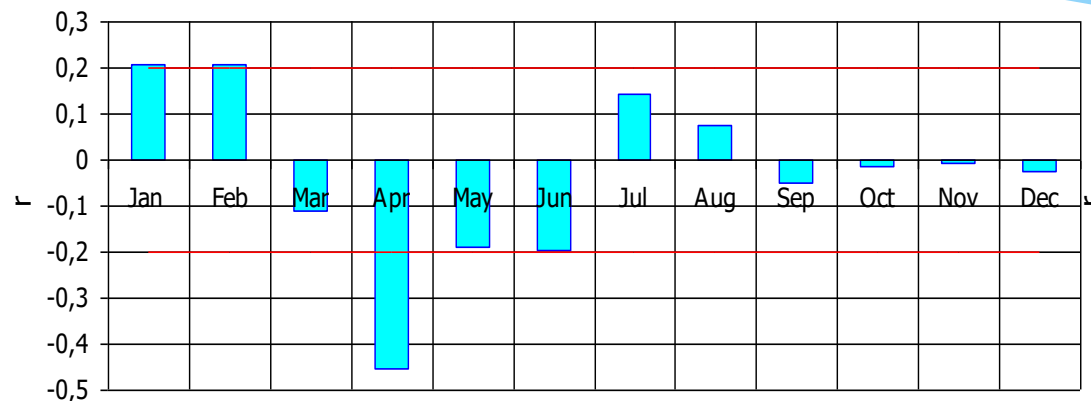
1963



WPŁYW NAO NA ODPŁYW RZECZNY

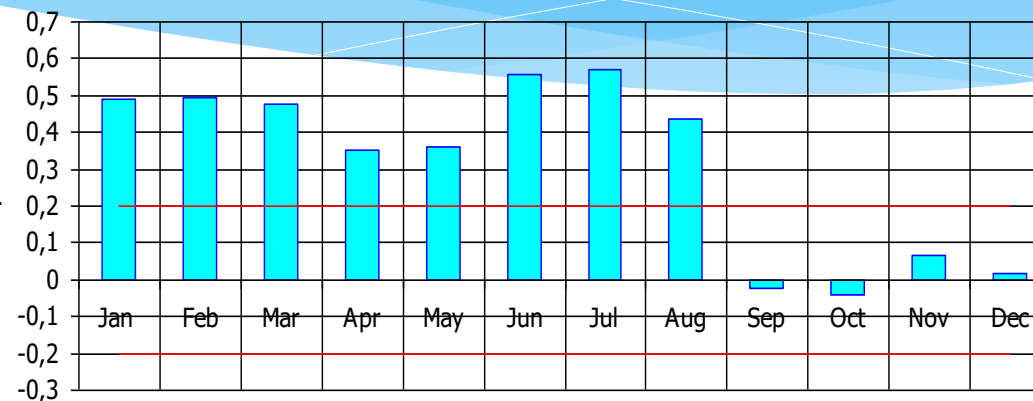
KORELACJE ODPŁYWU Z NAO_{DJFM}

WARTA - POZNAŃ



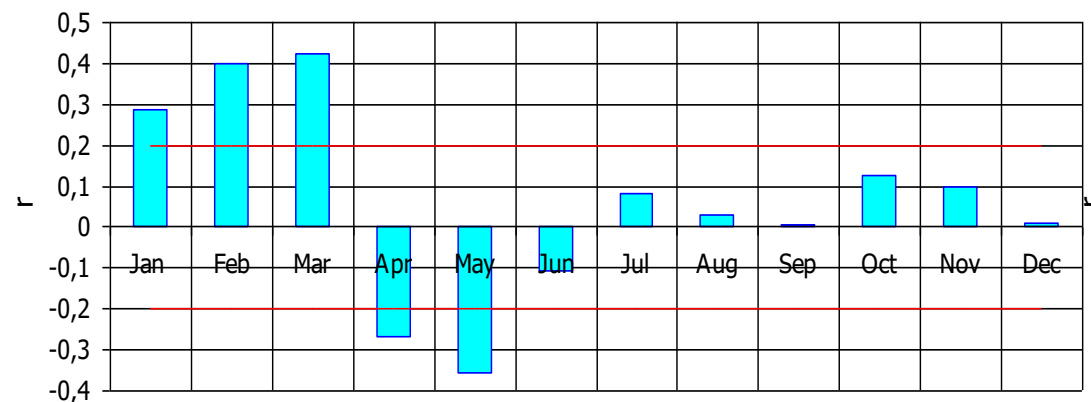
■ r — p=0.05 — p=0.05

VOSSO - BULKEN



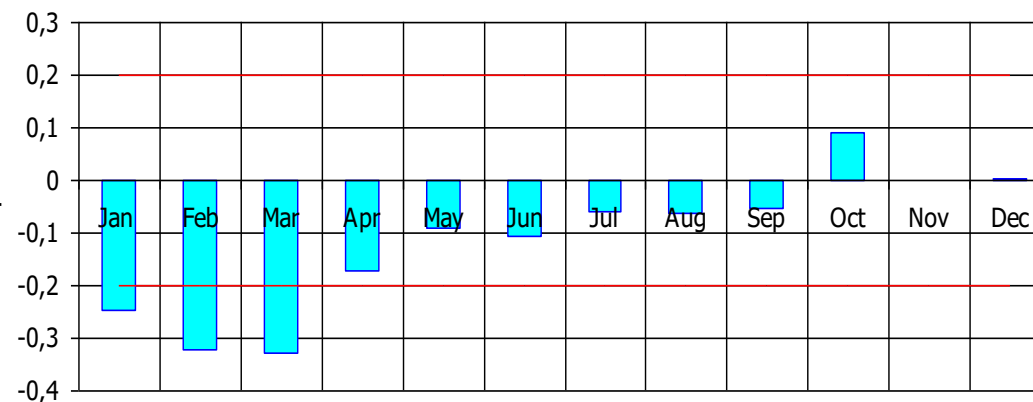
■ r — p=0.05 — p=0.05

DNIEPR - RZECZYCA



■ r — p=0.05 — p=0.05

ADYGA - BOARA



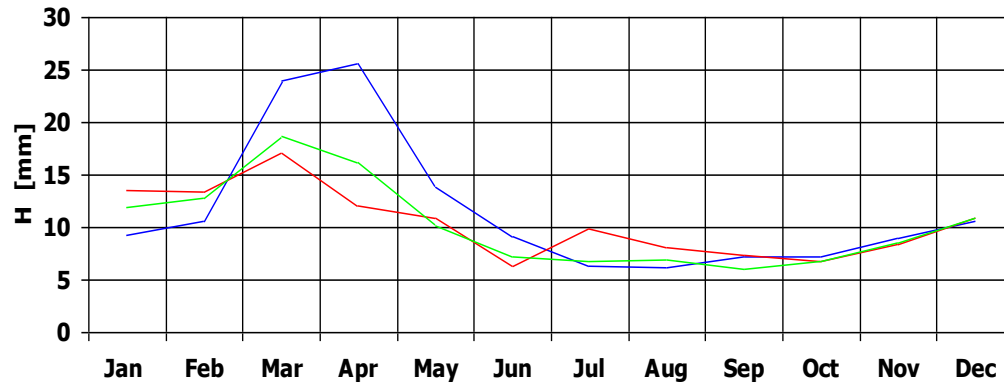
■ r — p=0.05 — p=0.05

WPLÝW NAO NA ODPŁÝW RZECZNY

WYSOKOŚĆ ODPŁÝWU PRZY SKARAJNYCH WARTOŚCIACH $NAOI_{DJFM}$

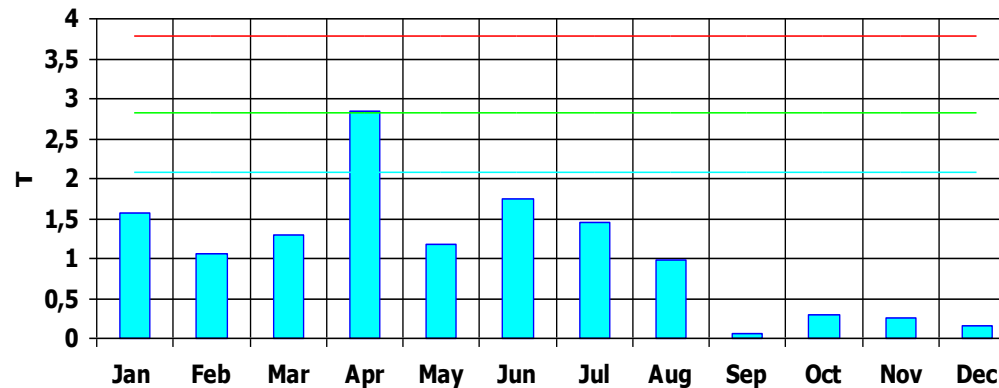
* TEST ISTOTNOŚCI RÓŻNICY

WARTA - POZNAŃ



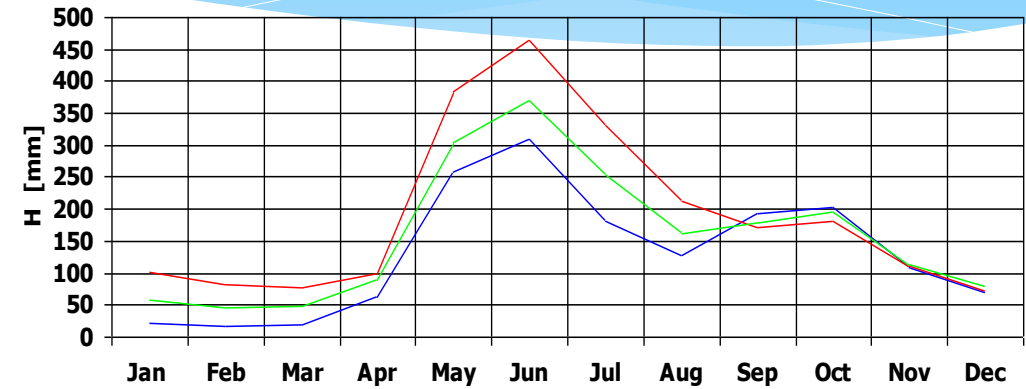
— NAO- — NAO+ — ŚR

WARTA - POZNAŃ



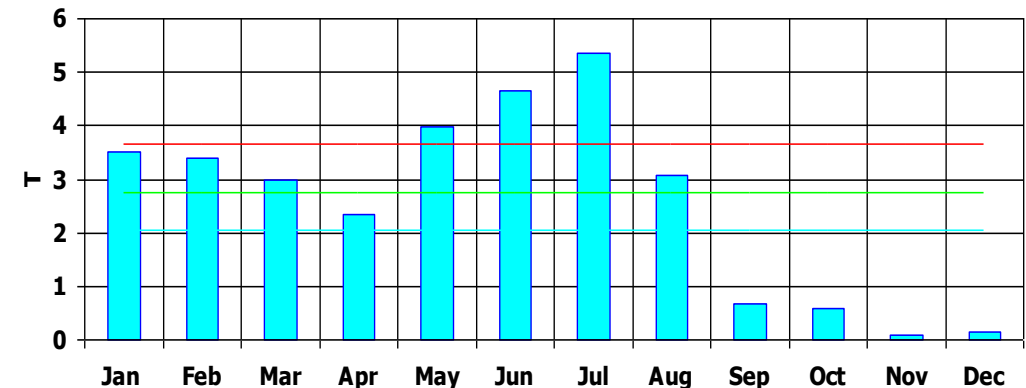
■ T — 0,05 — 0,01 — 0,001

VOSSO - BULKEN



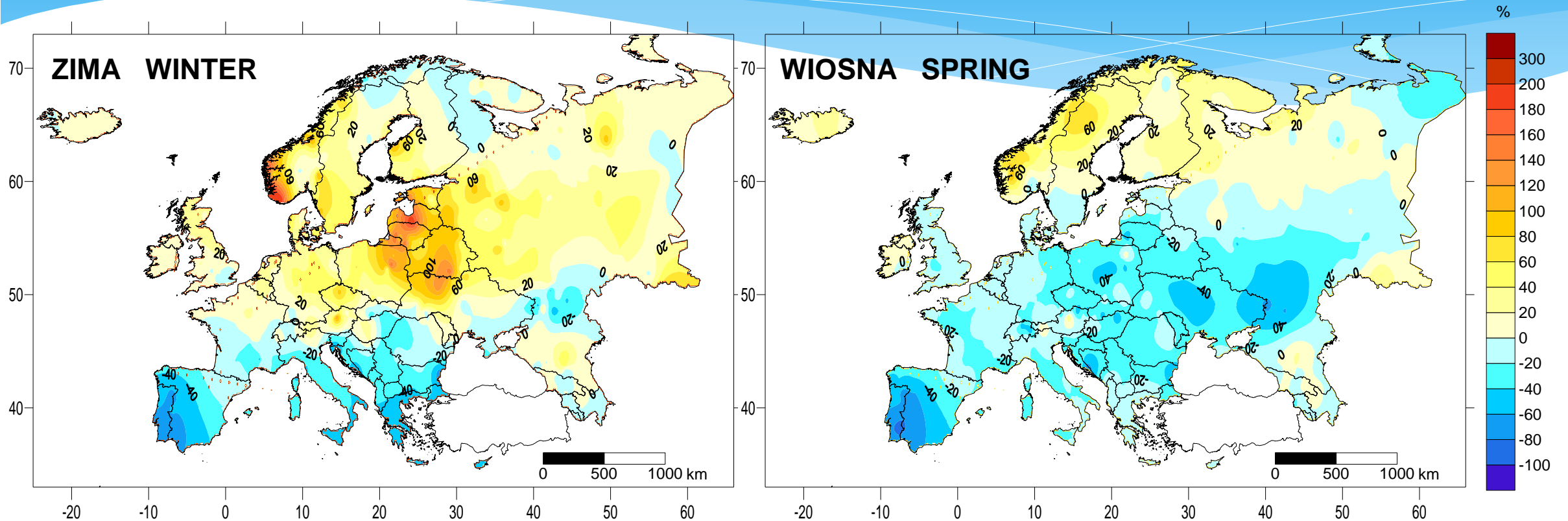
— NAO- — NAO+ — ŚR

VOSSO - BULKEN



■ T — 0,05 — 0,01 — 0,001

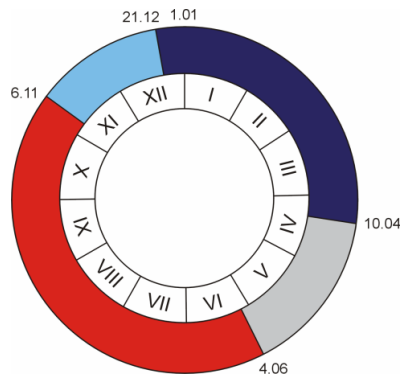
Wpływ NAO na reżim odpływu



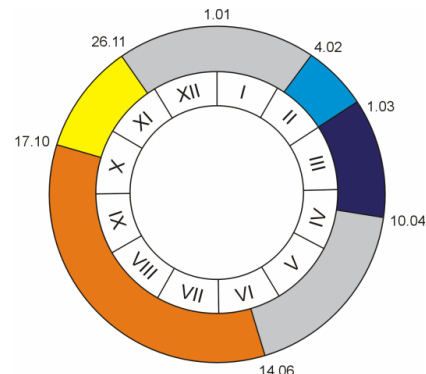
Zmiany zimowego i wiosennego odpływu w pozytywnej fazie NAO_{DJFM} w stosunku do fazy negatywnej NAO_{DJFM}
(Wrzesiński 2010)

Sekwencje okresów hydrologicznych

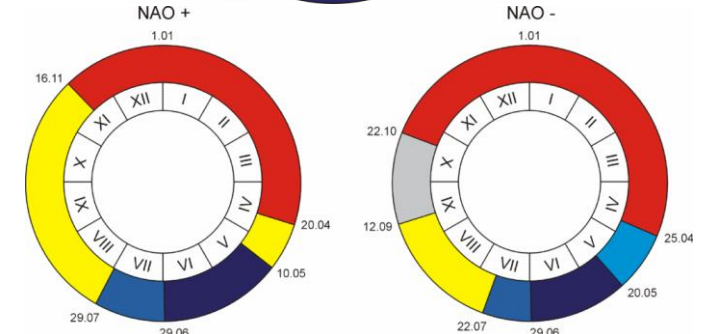
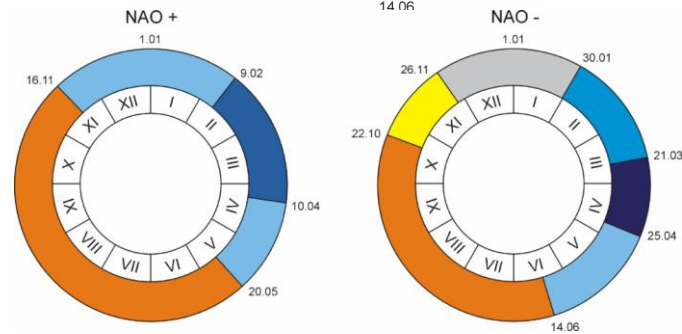
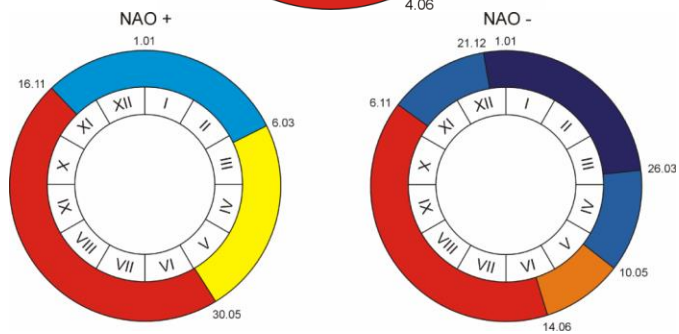
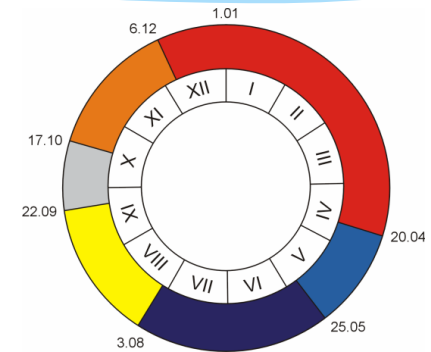
MONDEGO - PONTE JUNCAIS



WARTA - POZNAŃ

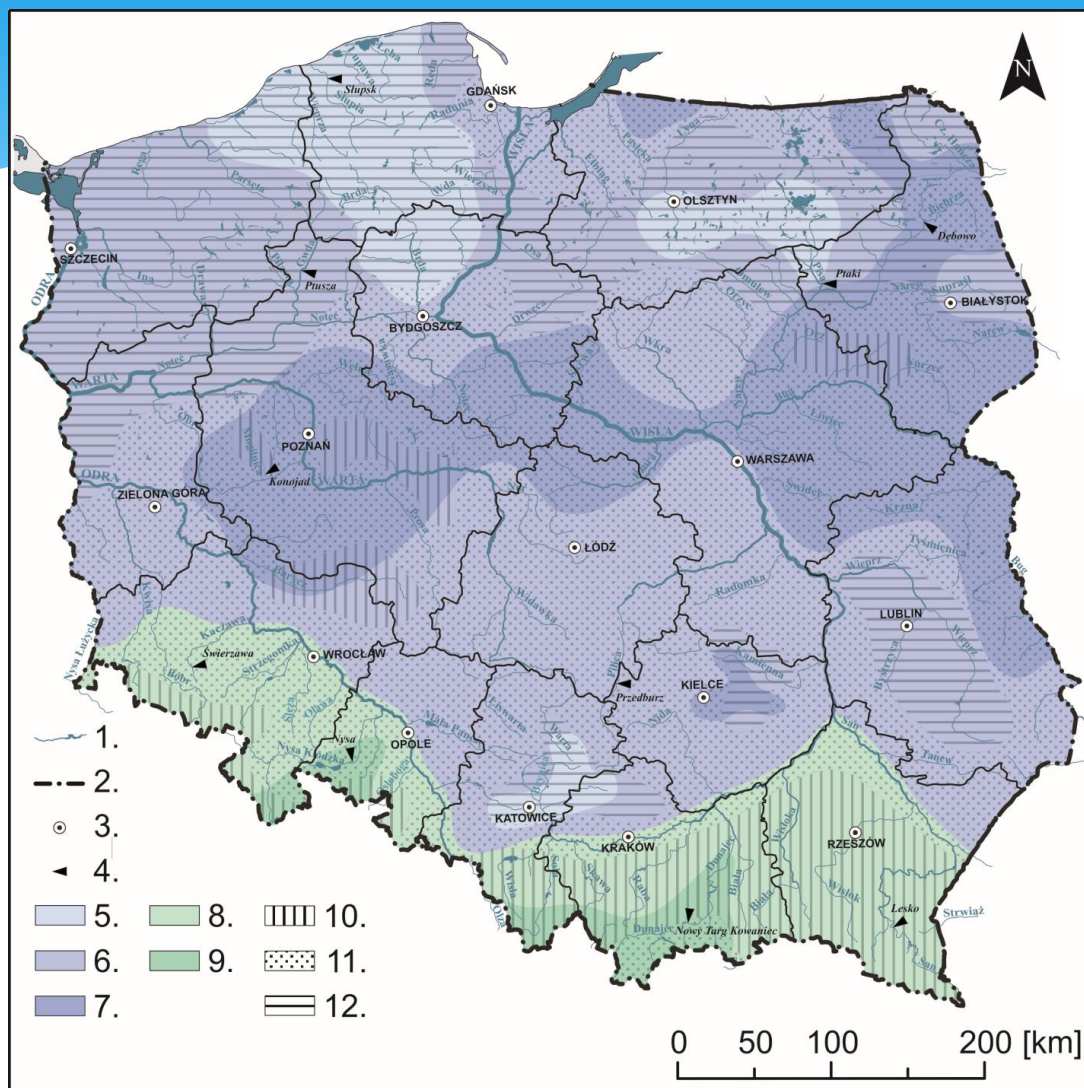


PECZORA - UST-TSILMA



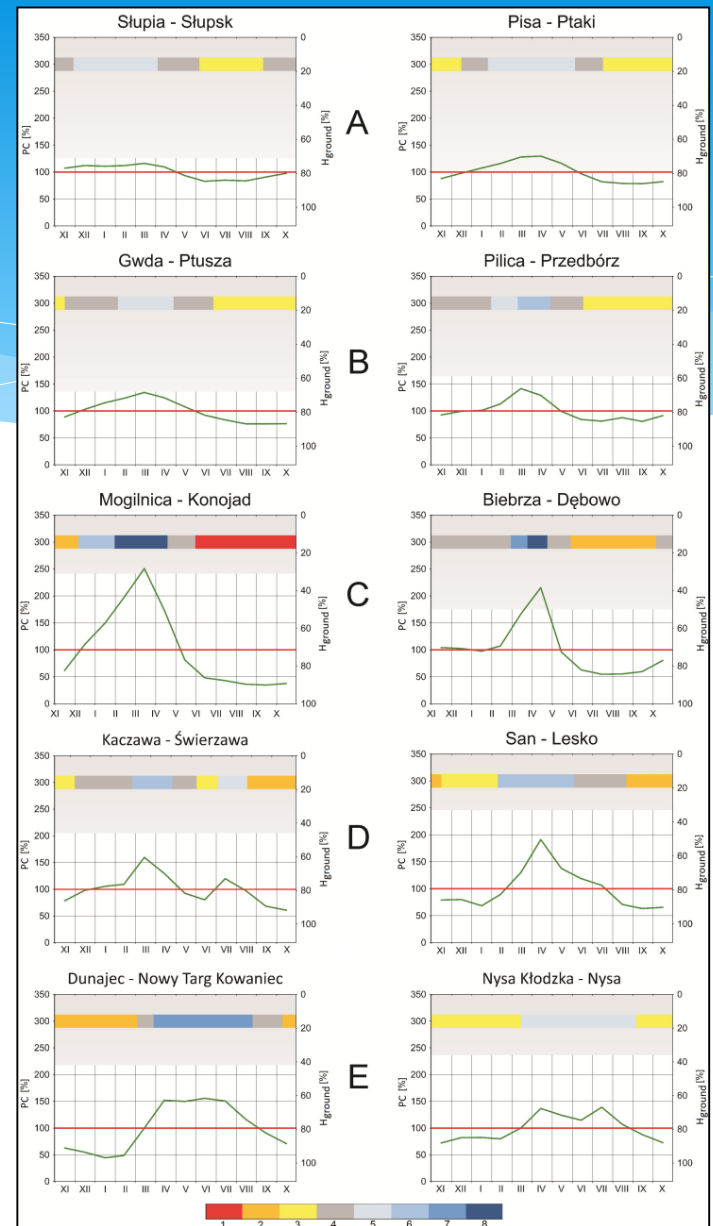
Typy okresów: 1 – niżówka głęboka, 2 – niżówka przeciętna, 3 – niżówka płytka, 4 – okres normalny, 5 – wezbranie niskie, 6 – wezbranie przeciętne, 7 – wezbranie wysokie, 8 – wezbranie bardzo wysokie

Reżim odpływu



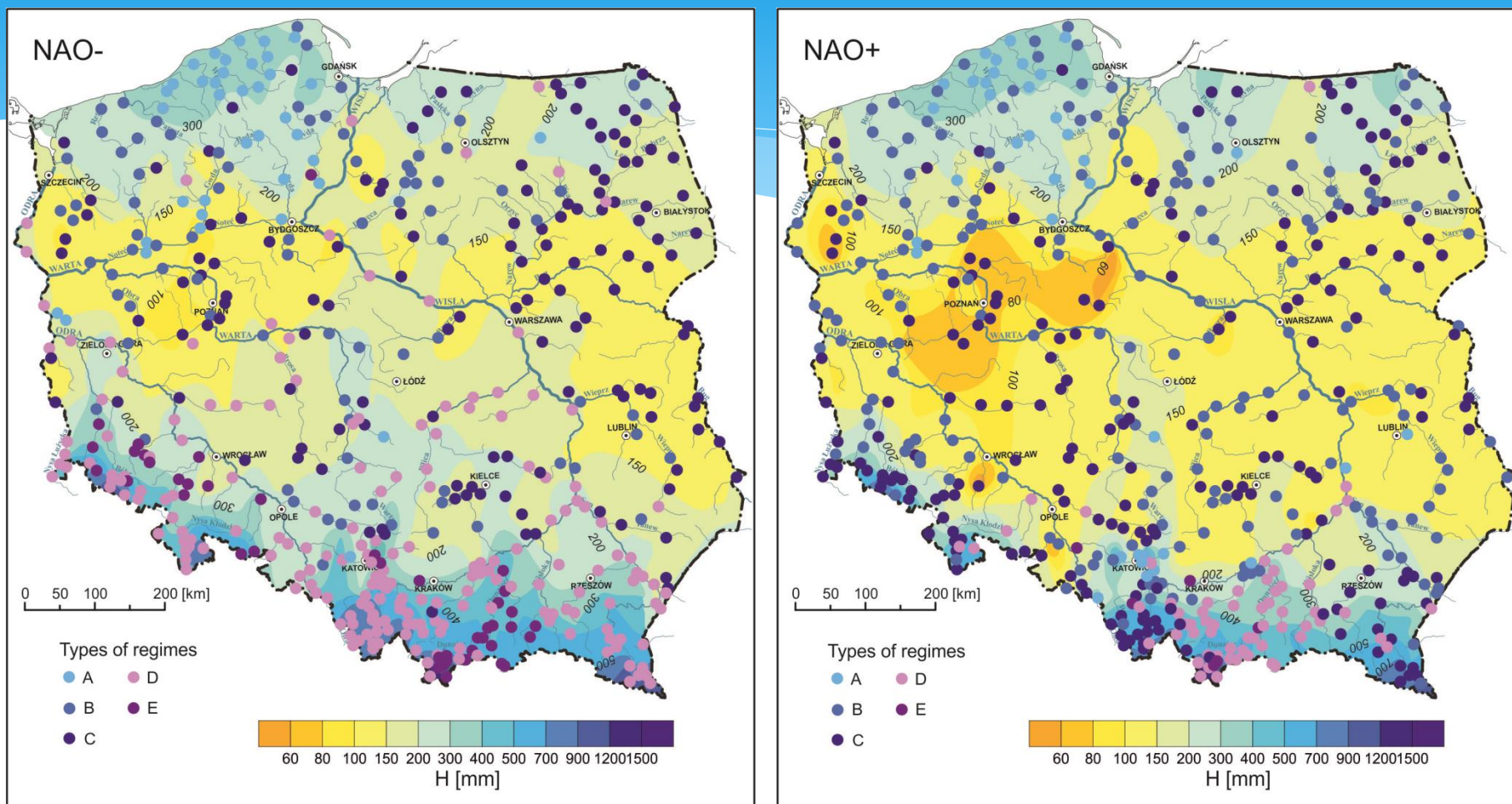
Typ reżimu: 5 – niwalny słabo wykształcony, 6 - niwalny średnio wykształcony, 7 - niwalny silnie wykształcony, 8 - niwalno-pluwalny, 9 – pluwalno-niwalny
Udział zasilania podziemnego: 10 – poniżej 40%, 11 – 40-60%, 12 – powyżej 60%.

(Wrzesiński 2017)



Typy okresów: 1 – nizinowa głęboka, 2 – nizinowa przeciętna, 3 – nizinowa płytka, 4 – okres normalny, 5 – wezbranie niskie, 6 – wezbranie przeciętne, 7 – wezbranie wysokie, 8 – wezbranie bardzo wysokie

Reżim odpływu

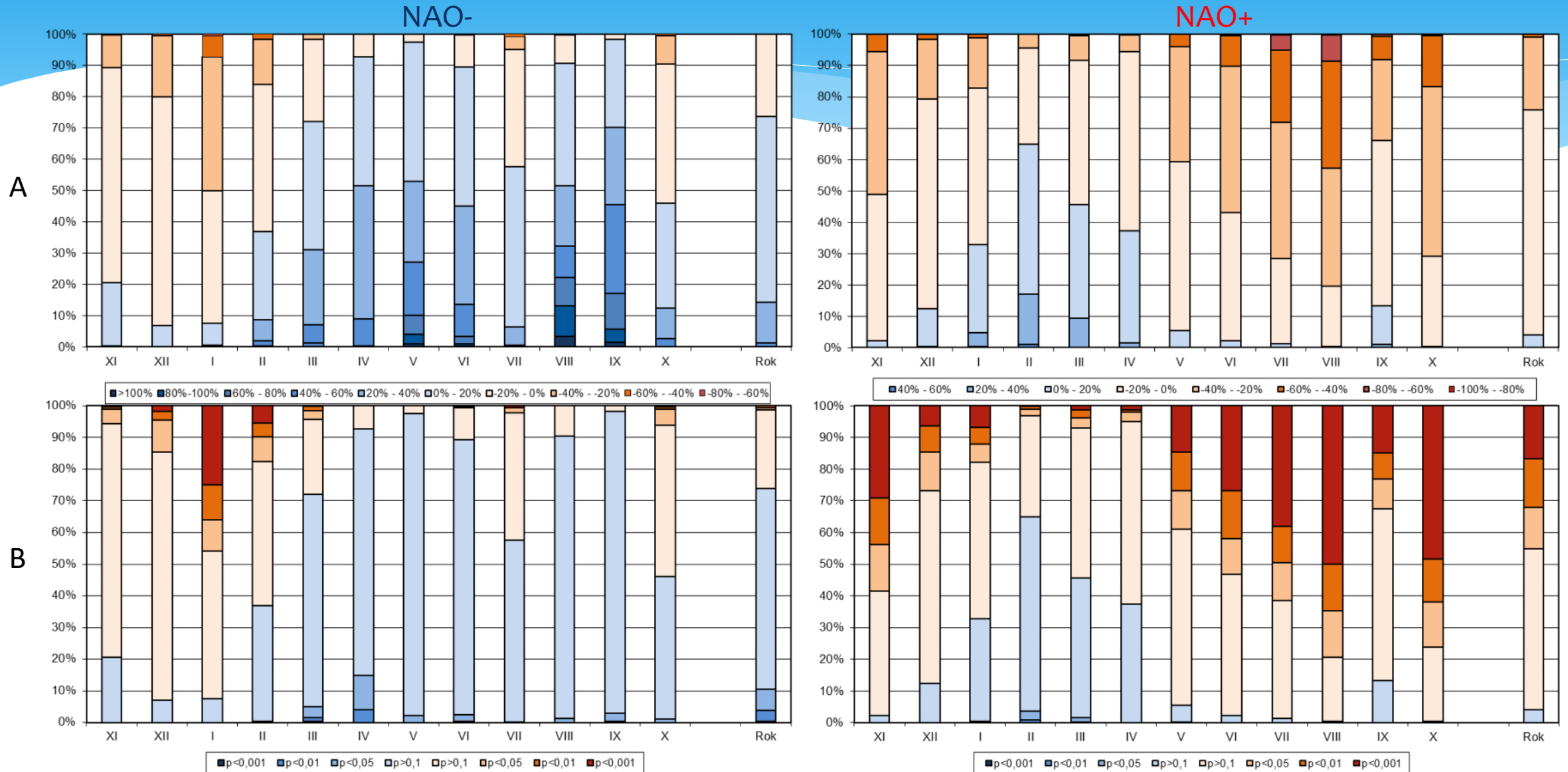


Rozkład przestrzenny typów reżimu na tle średnich rocznych odpływów w negatywnej (NAO-) i w pozytywnej (NAO+) fazie Oscylacji Północnoatlantyckiej.

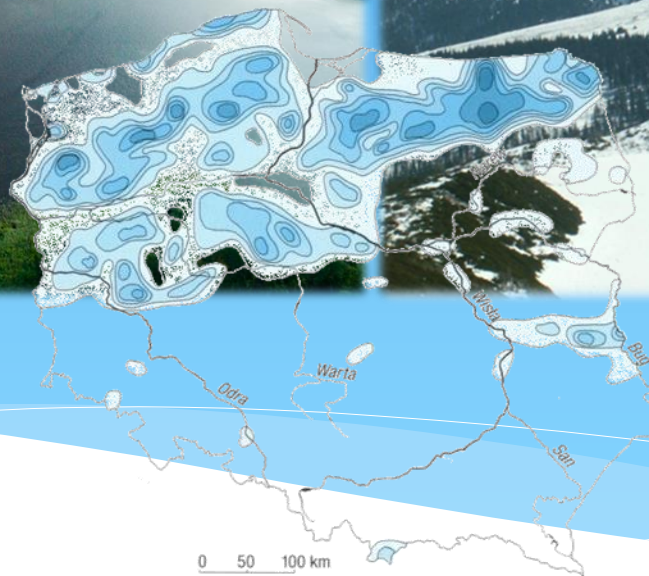
Typ reżimu: A – niwalny słabo wykształcony, B - niwalny średnio wykształcony, C - niwalny silnie wykształcony, D - niwalno-pluwialny, E – pluwialno-niwalny (Wrzesiński 2021)

A - Odchylenia odpływów miesięcznych i rocznych od średnich wieloletnich

B - Udział odchylen statystycznie istotnych



JEZIORA



0 50 100 km

Powierzchnia jezior na 100 km² (w %)

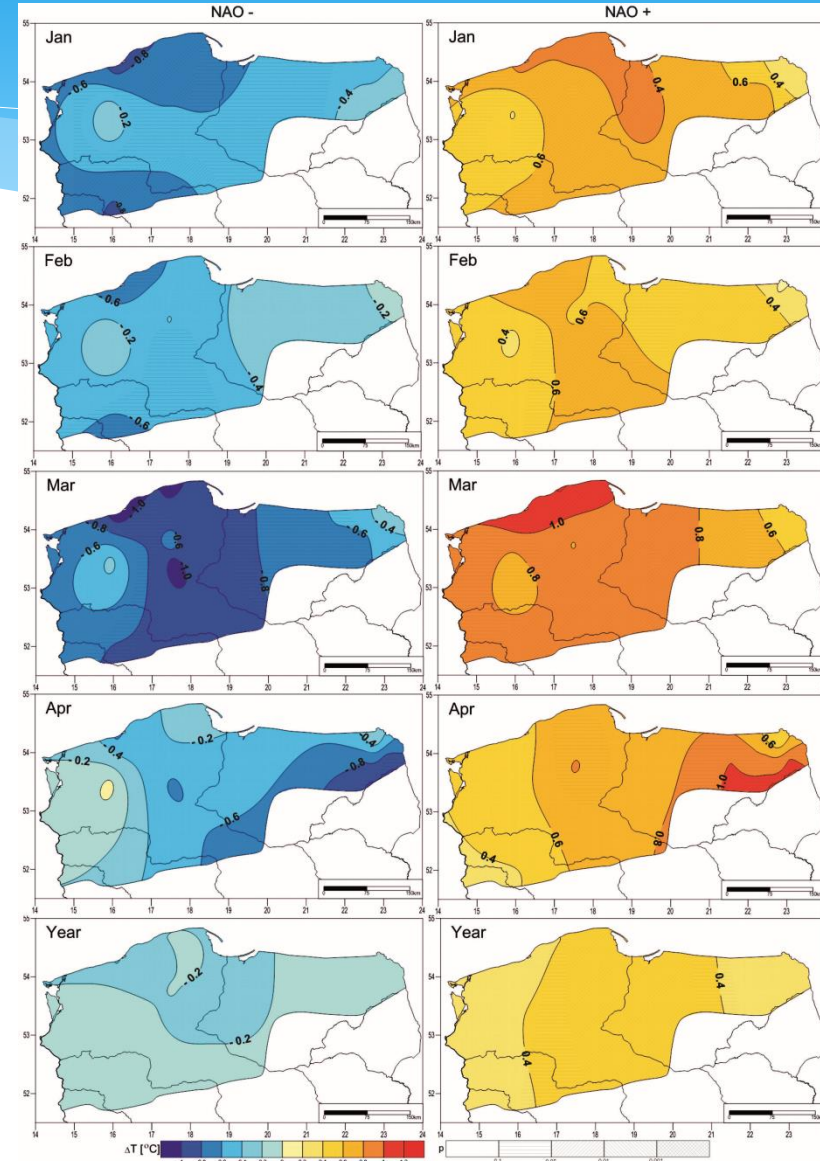
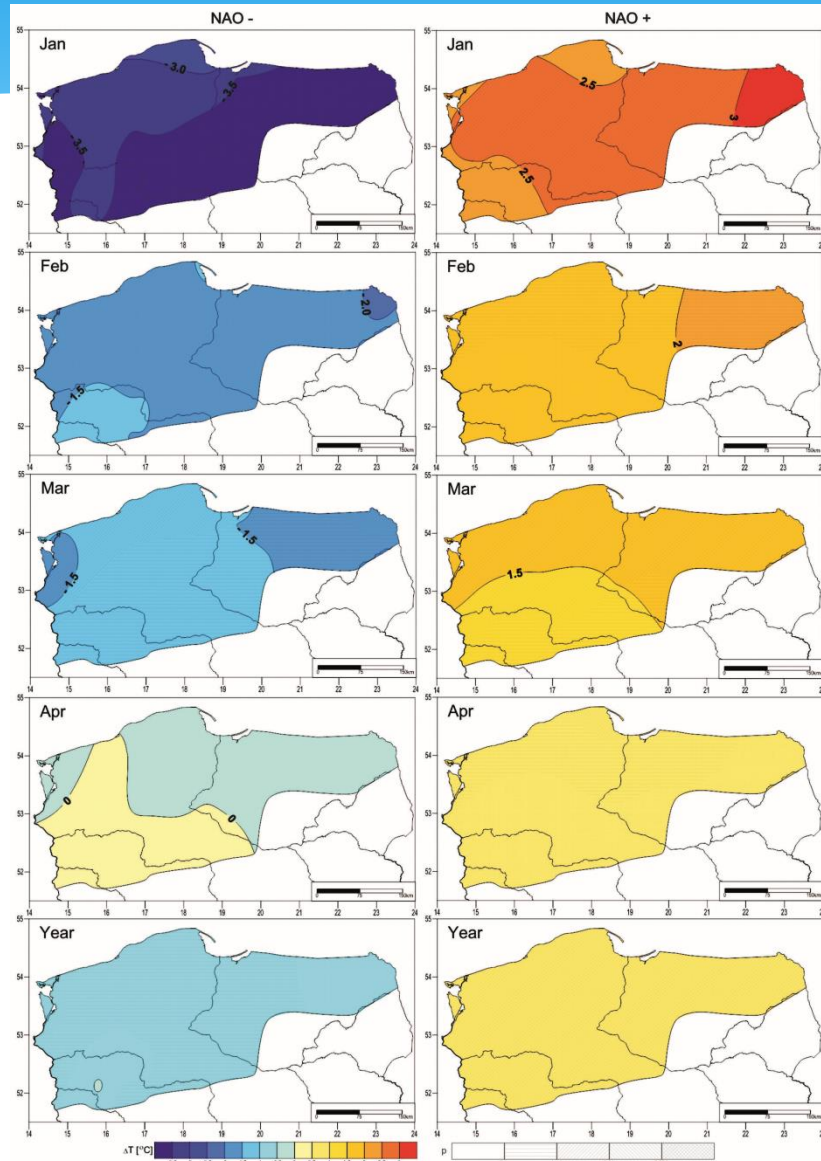
0,0 0,1 1 2 3 5 10 13 15%



Temperature

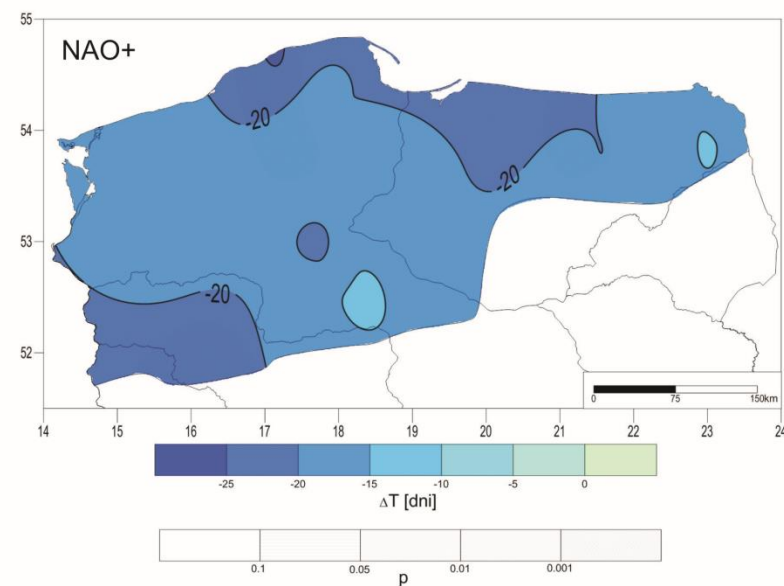
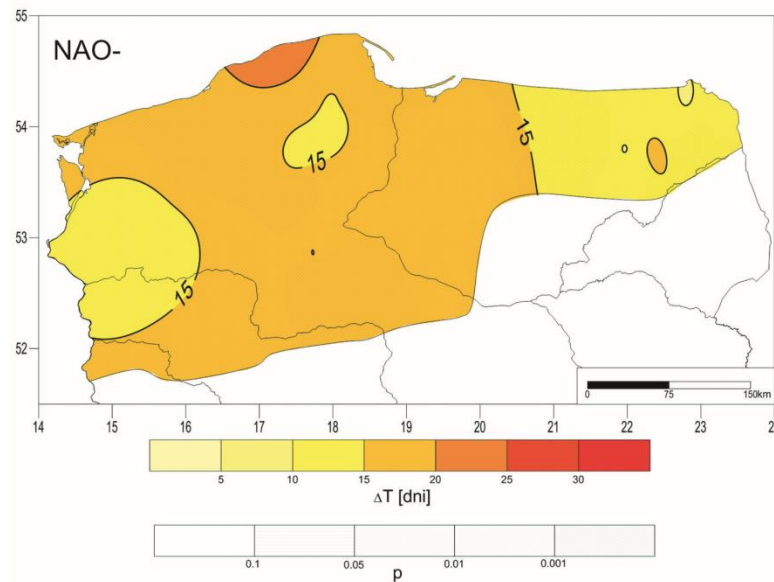
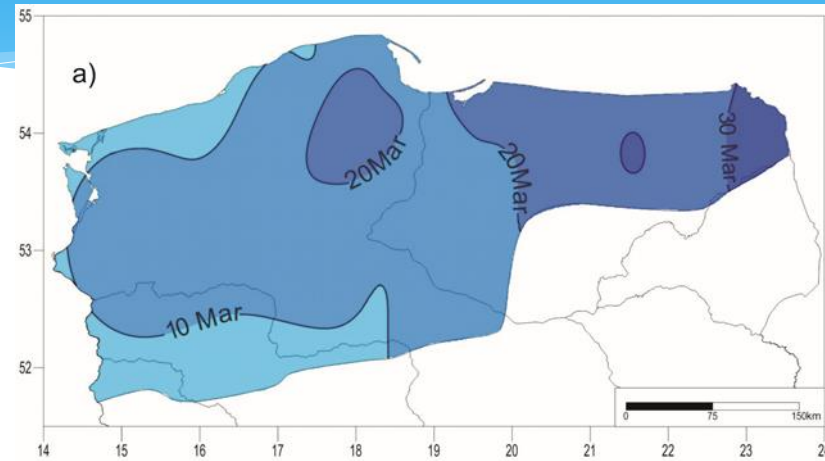
powietrza

wody jezior



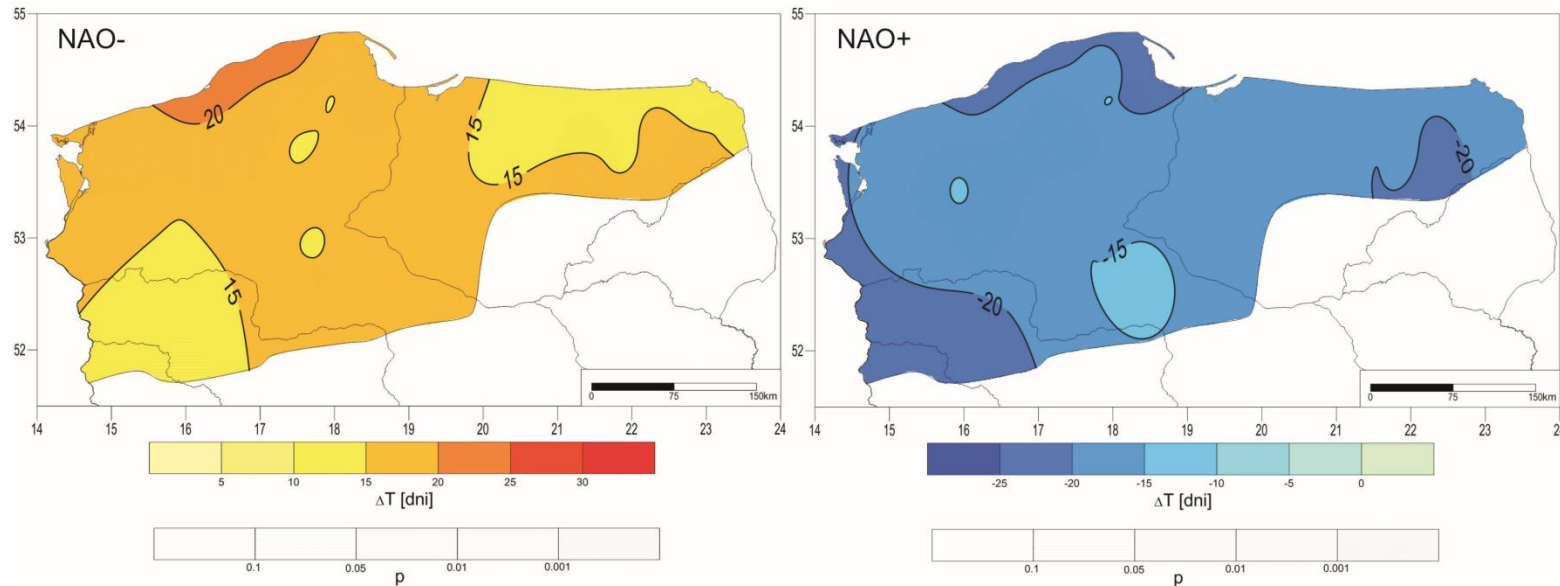
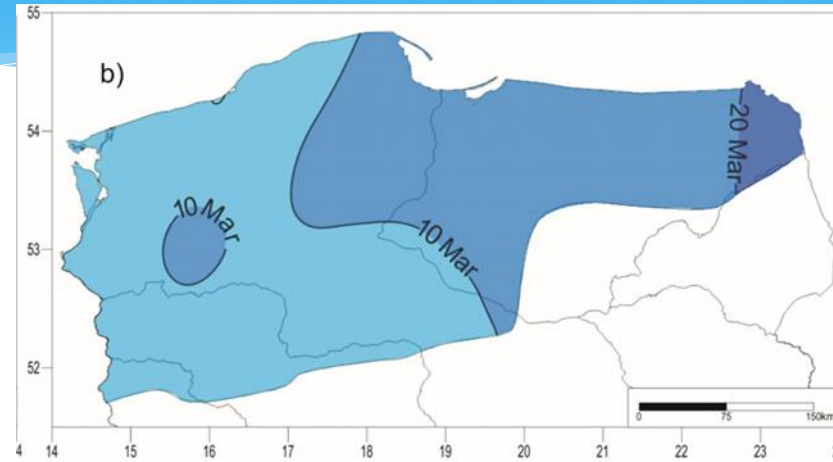
Zjawiska lodowe

koniec

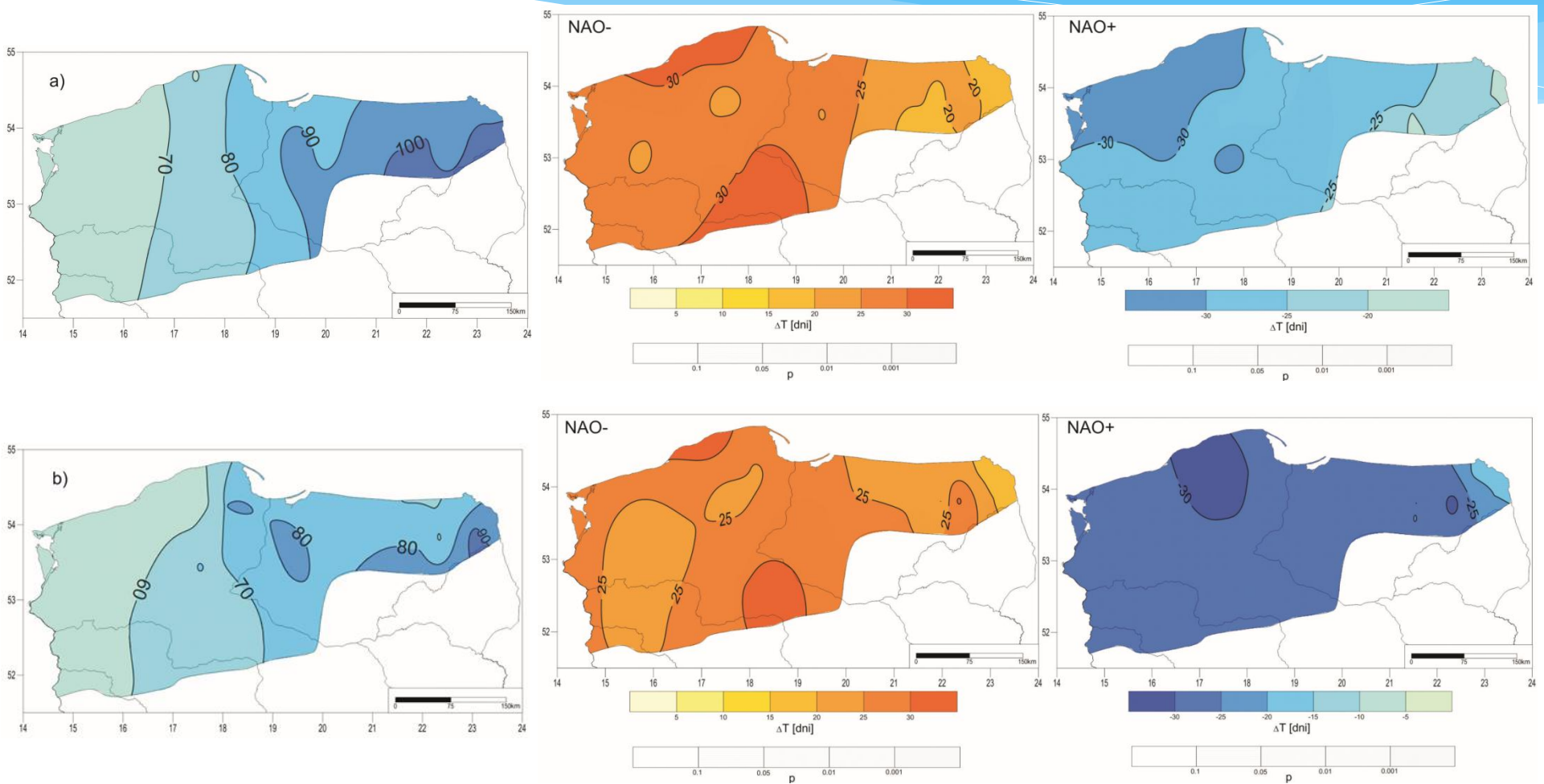


Pokrywa lodowa

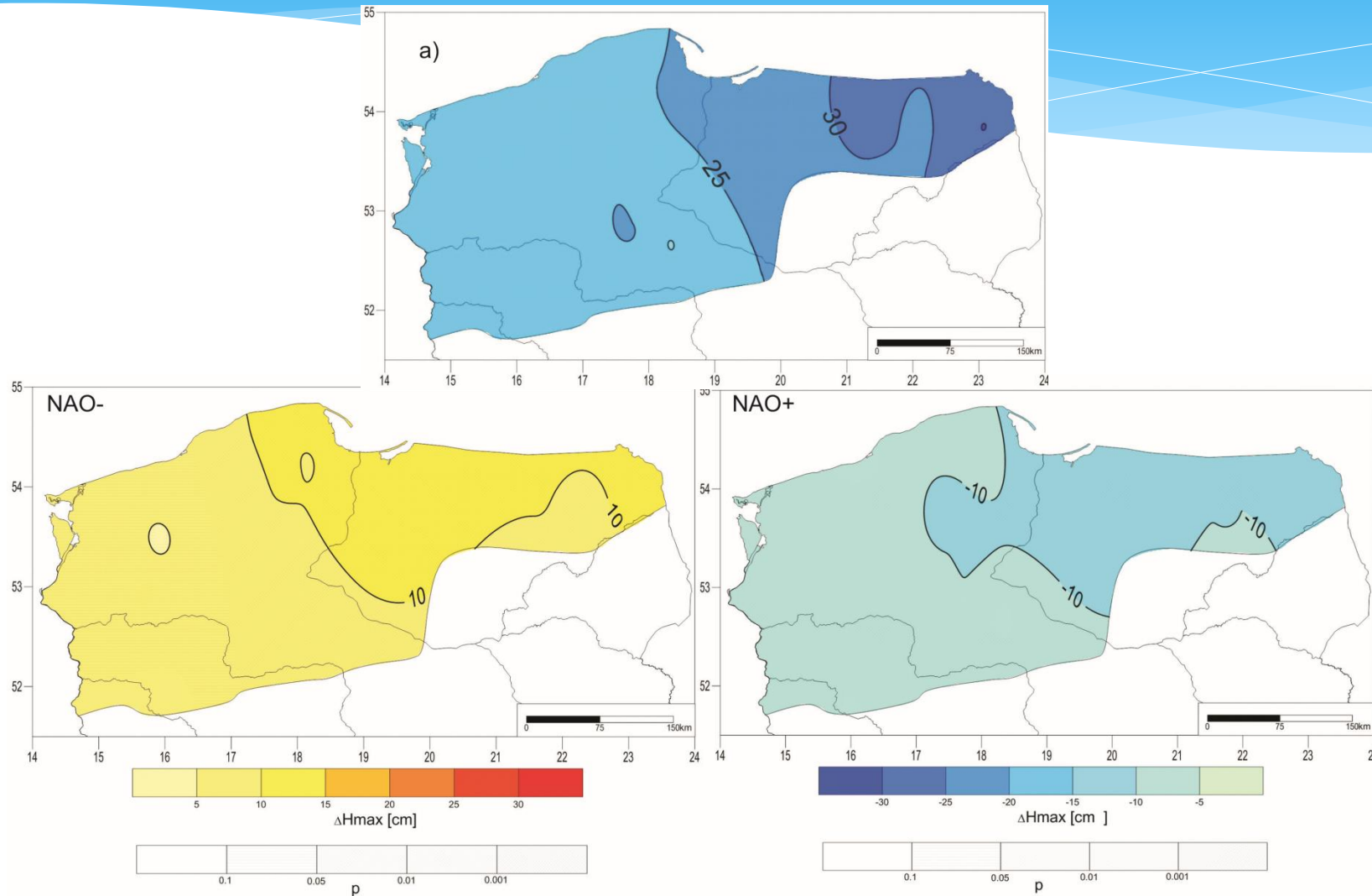
koniec



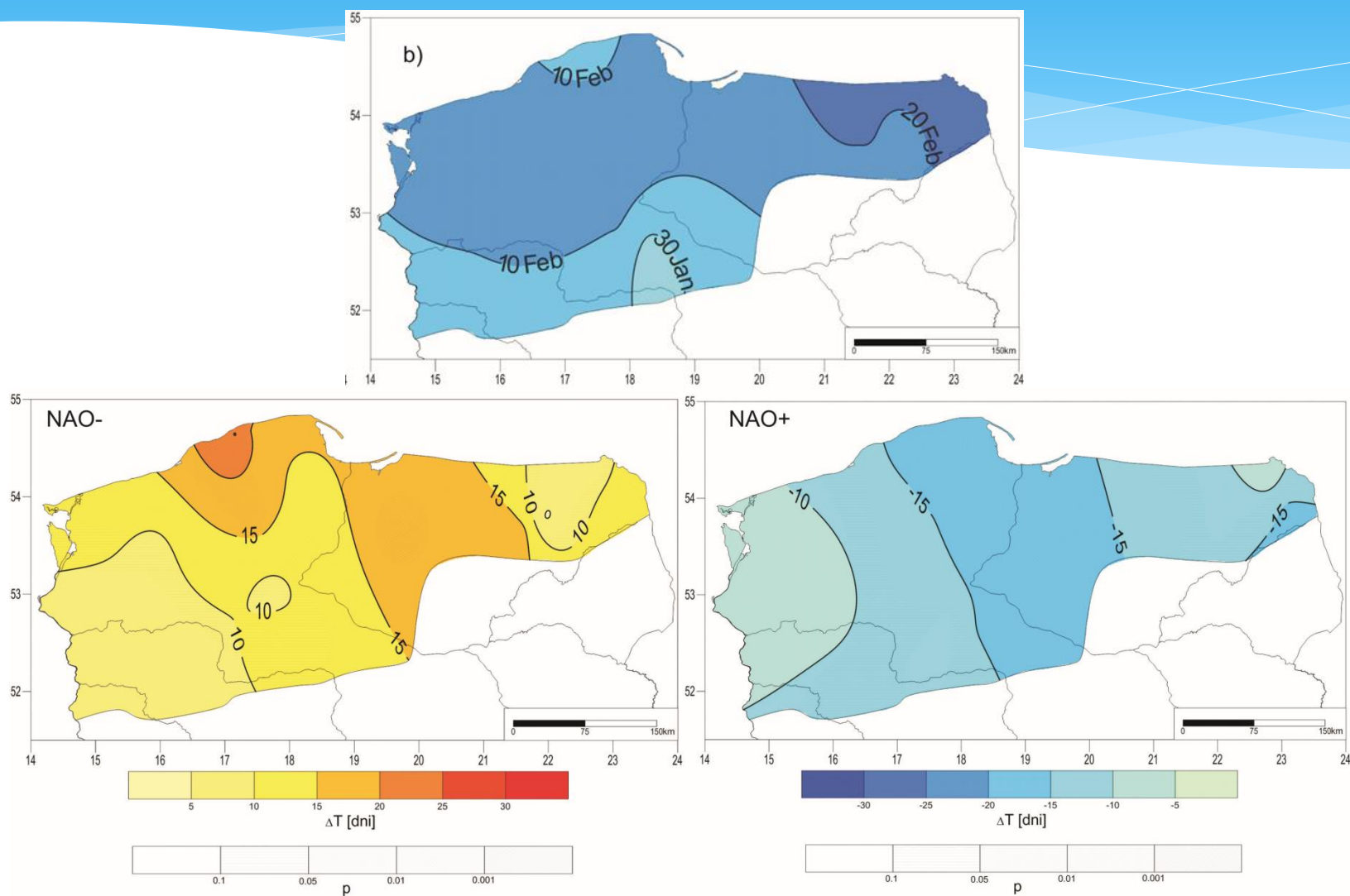
Czas trwania zjawisk lodowych i pokrywy lodowej



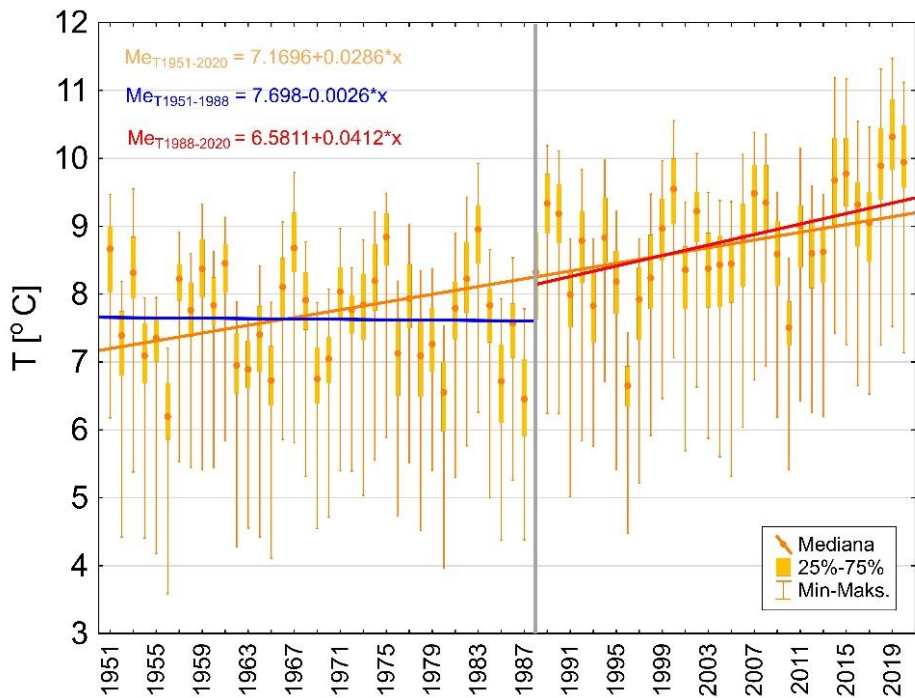
Maksymalna grubość pokrywy lodowej



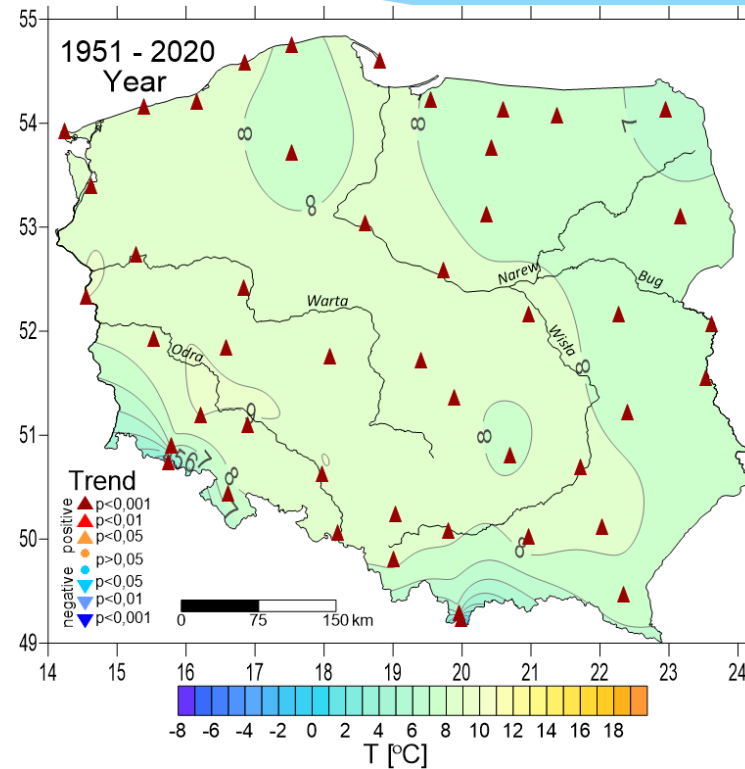
Termin wystąpienia maksymalnej pokrywy lodowej



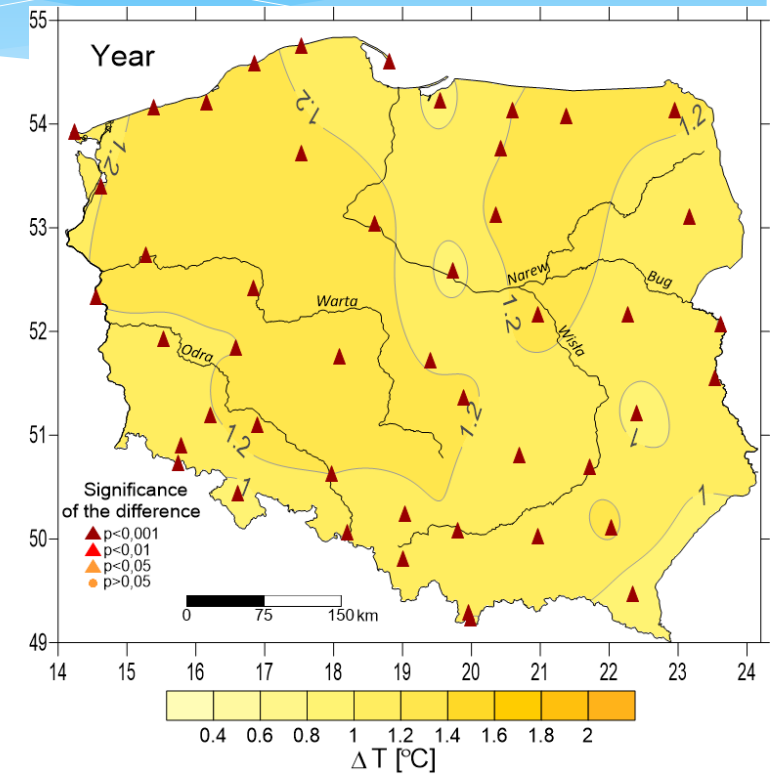
Zmiany klimatu - ocieplenie



Zakres i tendencje zmian temperatury powietrza w latach 1951-2020 oraz w okresie przed (1951-1988) i po ociepleniu (1988-2020)

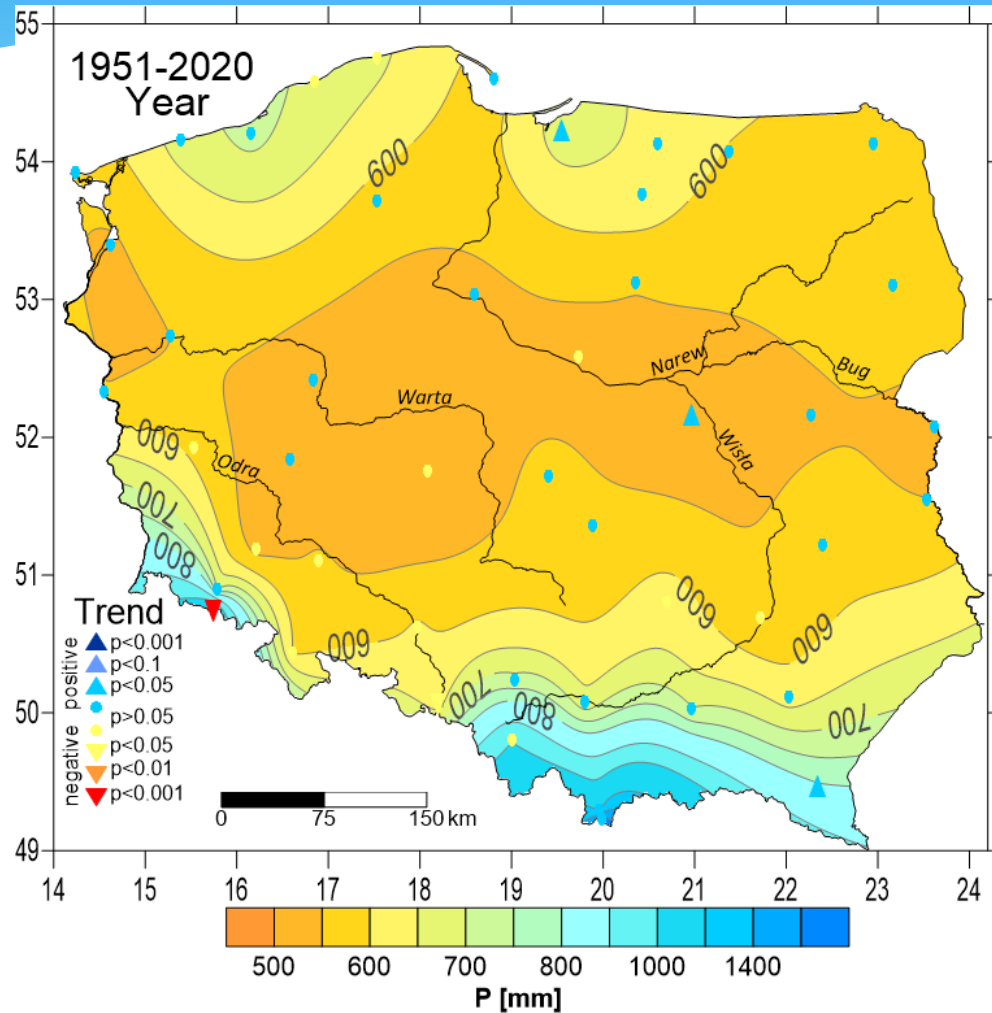


Przeciętne roczne temperatury powietrza i tendencje ich zmian w latach 1951-2020

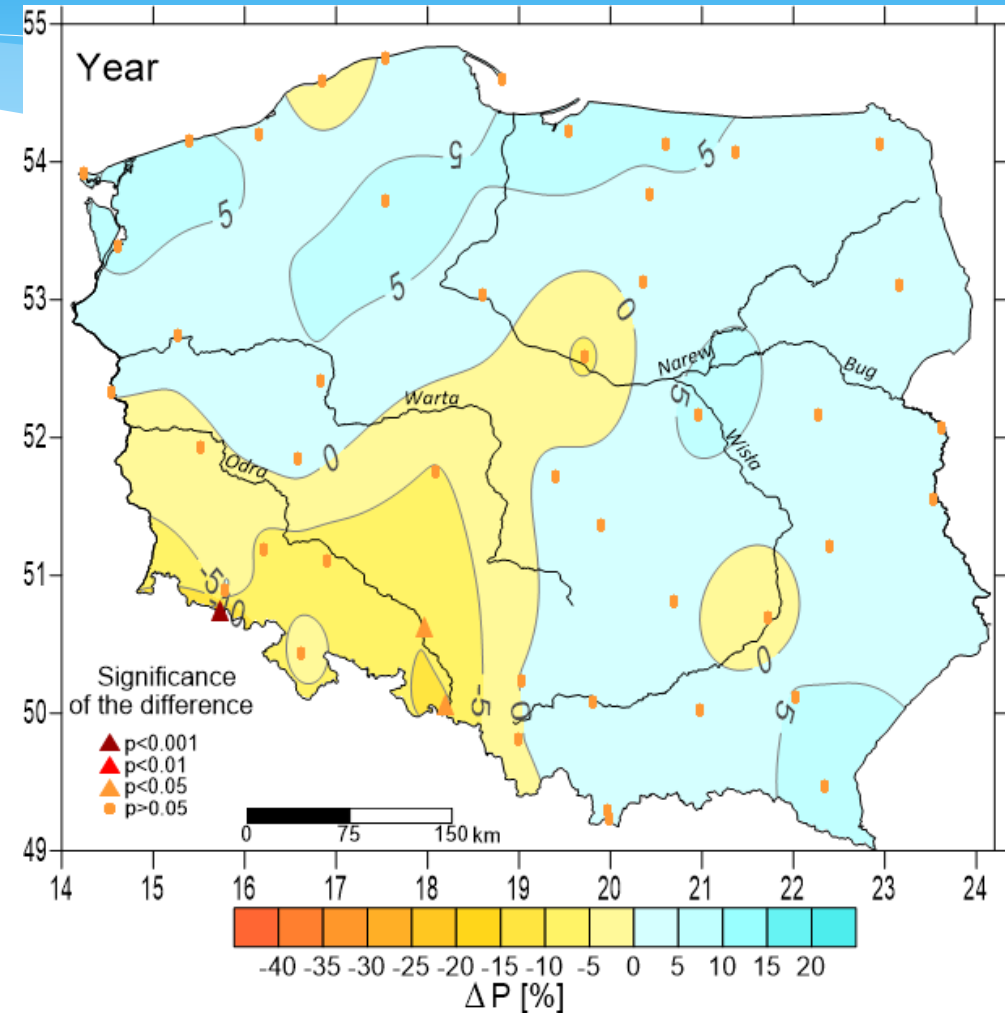


Zmiany temperatury powietrza (Różnice T powietrza 1988-2020 i 1951-1988)

Zmiany klimatu

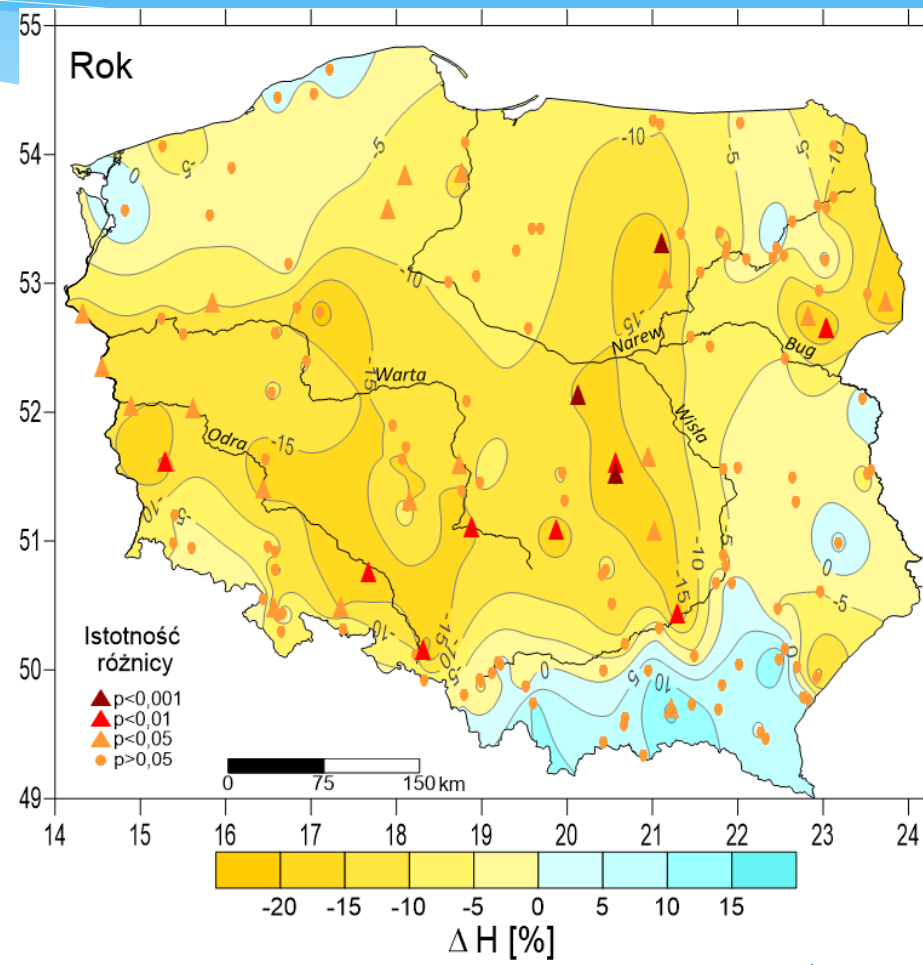
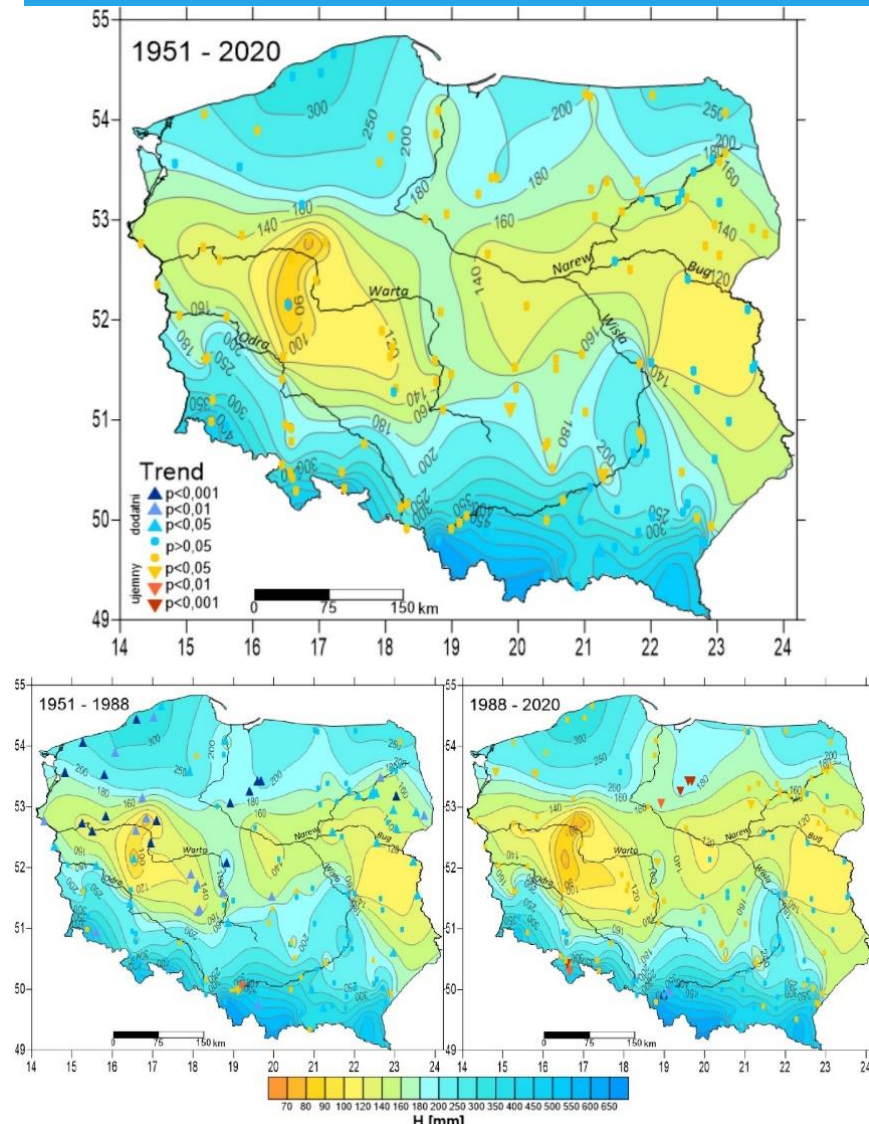


Przeciętne opady roczne i tendencje ich zmian w latach 1951-2020



Zmiany opadów atmosferycznych
(Różnice P 1988-2020 i 1951-1988)

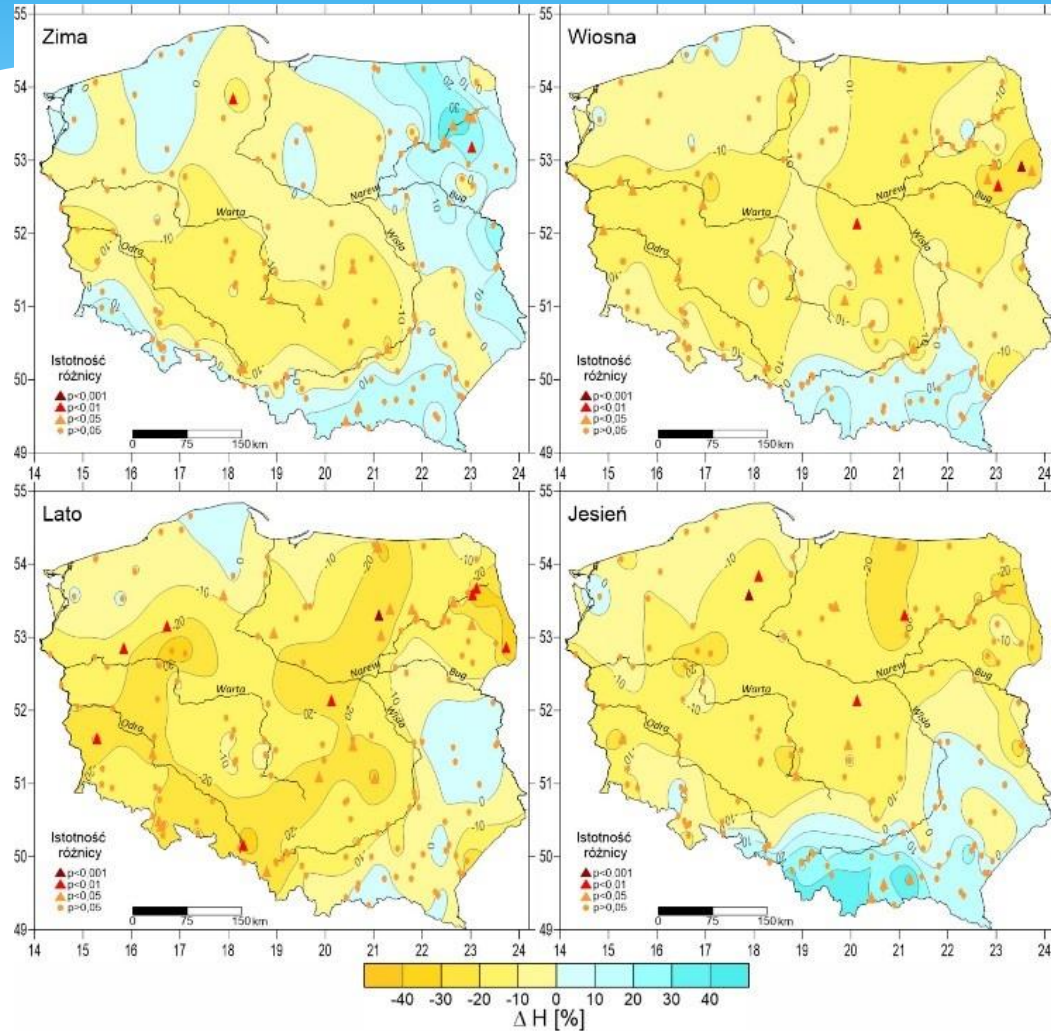
Zmiany odpływu



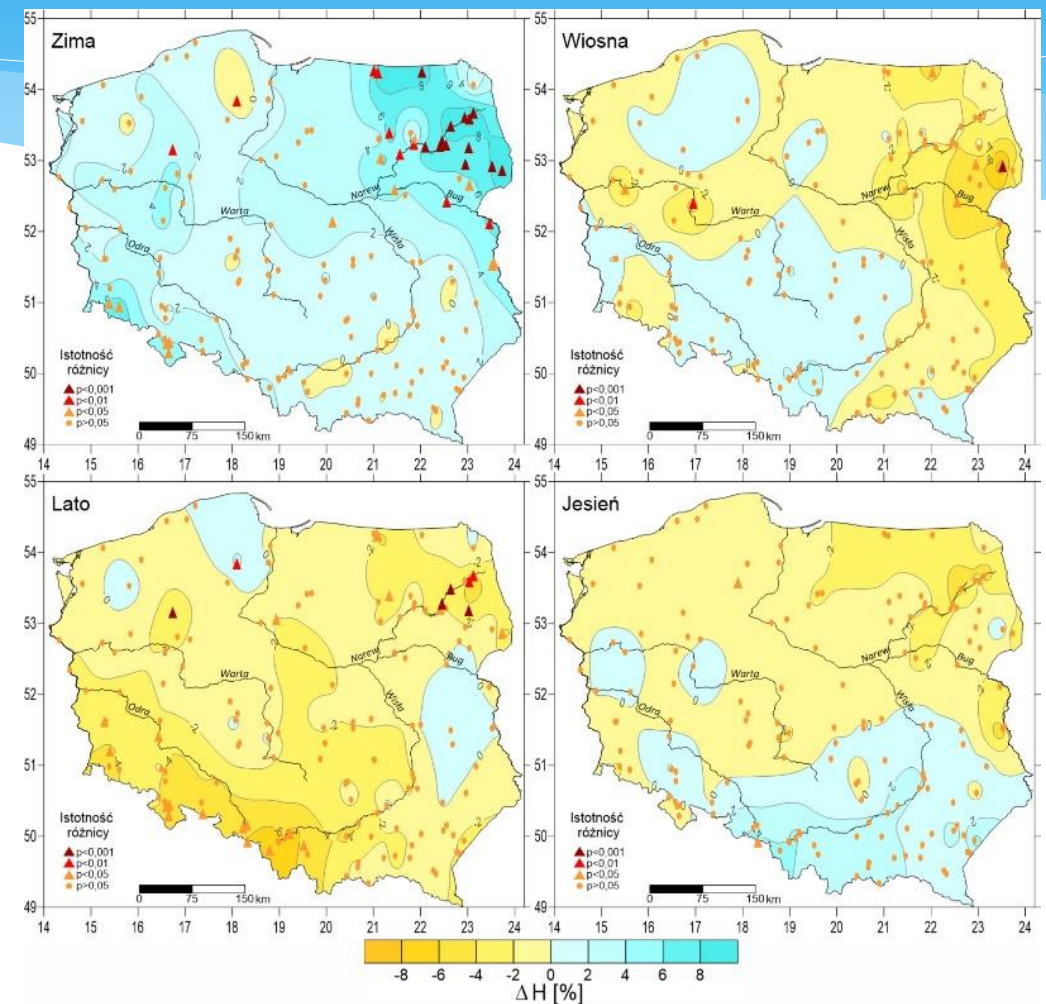
Rozkład przestrzenny odpływu i tendencje jego zmian w Polsce w wieloleciu 1951-2020 i w okresach przed (1951-1988) i po ociepleniu klimatu (1988-2020).

Zmiany odpływu rocznego po ociepleniu (1988-2020) względem okresu 1951-1988 i ich statystyczna istotność

Zmiany odpływu



Zmiany odpływów sezonowych po ociepleniu (1988-2020) względem okresu 1951-1988 i ich statystyczna istotność



Zmiany udziału odpływów sezonowych po ociepleniu (1988-2020) względem okresu 1951-1988 i ich statystyczna istotność

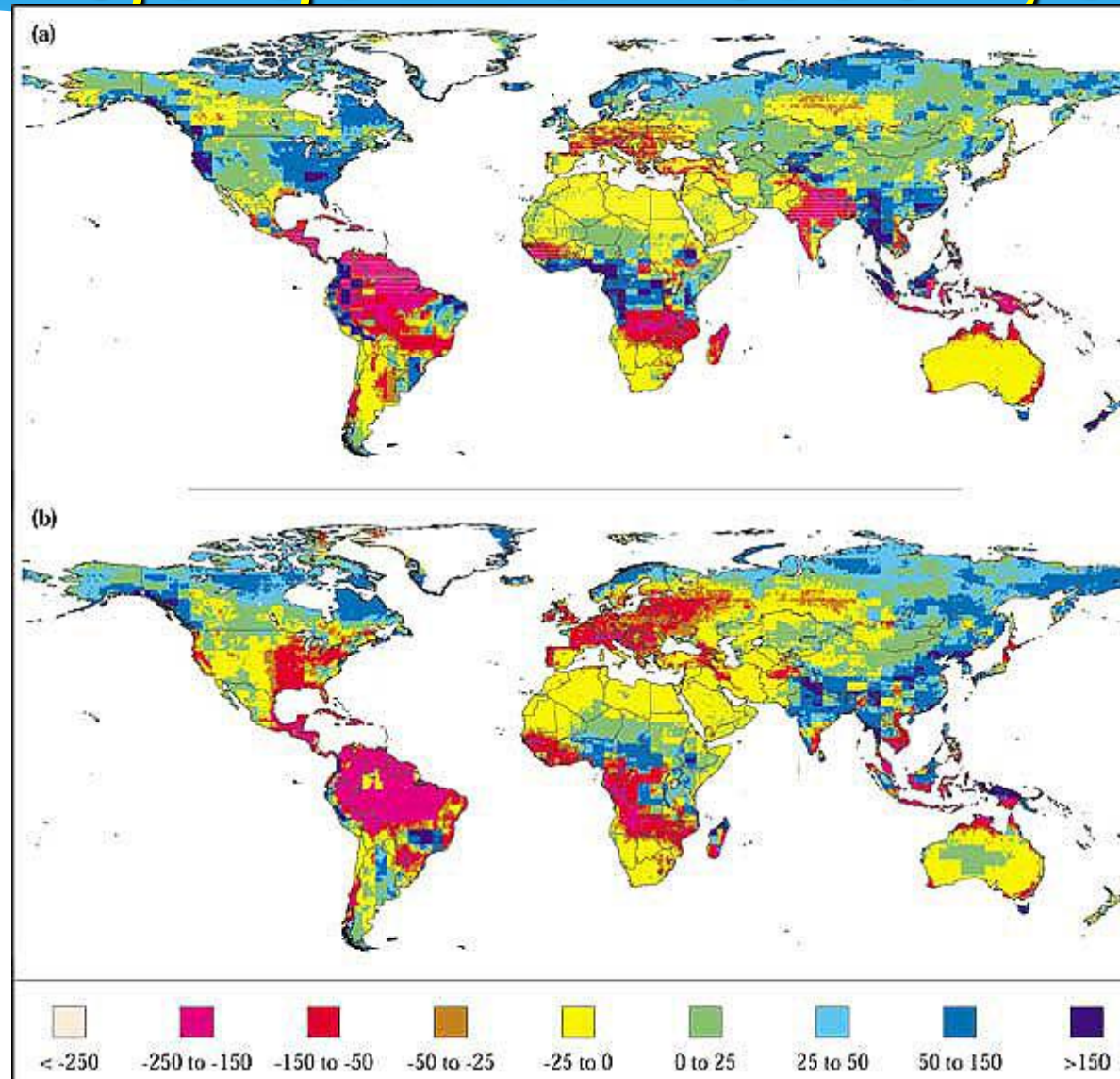
Wnioski

- * Zmiany natężenia makroskalowego typu cyrkulacji powietrza, jakim jest Oscylacja Północnoatlantycka wpływa na cechy reżimu hydrologicznego rzek i jezior zarówno w cyklu rocznym, jak i w okresie wieloletnim.
- * W skali Europy i Polski wpływ ten jest przestrzennie zróżnicowany. Wynika to zarówno ze skali oddziaływania NAO, jak i warunków środowiskowych badanych obiektów (klimatycznych i fizjograficznych zlewni)
- * Występowanie zim ciepłych i wilgotnych oraz mroźnych i śnieżnych w Europie Północnej i Środkowej ma istotny wpływ na przepływy rzek tych regionów.
- * W okresie zimy przepływy rzek europejskich są z zimowym indeksem NAO pozytywnie skorelowane w północnej Europie, a w południowej – negatywnie. O ile w Europie Północnej związek ten tłumaczyć można wzrostem opadów w dodatniej fazie NAO, a w południowej z ich spadkiem, to w Europie Środkowej i Zachodniej obserwuje się raczej słabą zależność zimowych opadów od NAO.

Wnioski

- * Wyraźny związek istnieje między wskaźnikami NAO a temperaturą powietrza. Temperatura decyduje o wysokości strat wody na parowanie w okresie lata oraz wpływa na rozwój i zanik pokrywy śnieżnej zimą. W Europie Środkowej w okresie ciepłej zimy (NAO+) dochodzi do redukcji pokrywy śnieżnej, przez co wezbrania roztopowe są rzadkie i o niewielkiej objętości odpływu. Natomiast w czasie ujemnej fazy NAO zimy są ostre z obfitą pokrywą śnieżną, przez co w okresie roztopów formowane są fale wezbraniowe wysokie, o dużych objętościach.
- * Potwierdzeniem klimatycznych uwarunkowań transformacji cech reżimu odpływu w okresie zimowo-wiosennym może być zaobserwowany na wielu rzekach wyraźny spadek odpływów zimowych i opóźniony wzrost roztopowego odpływu wiosennego w latach 50-tych i 60-tych (ujemna faza NAO).
- * Z kolei w latach 70-tych i 80-tych (dodatnia faza NAO) na rzekach tych obserwuje się zanik niżówek zimowych związany z wyraźnym wzrostem odpływu zimowego, niekiedy wydłużającego niższe wezbranie wiosenne.

Projekcje zmian ilościowych



Zmiany średniego rocznego odpływu w mm/rok w roku 2050 na podstawie symulacji:

a – model HadCM2 i b - HadCM3

(Arnell, 1999)

A misty landscape with a city skyline in the background and trees in the foreground. The scene is captured in a soft, hazy light, likely during dawn or dusk. The foreground is dominated by a dense layer of mist or fog, which partially obscures the ground and the lower branches of trees. In the middle ground, several trees of varying heights and shapes are visible, their forms softened by the mist. In the background, a city skyline is visible, with several buildings and structures, including a prominent white dome-shaped building on the left. The sky is a pale, uniform color, suggesting a clear or slightly overcast day. The overall mood is serene and quiet.

Dziękuję za uwagę!

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa w ramach programu
Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą
Spółeczna odpowiedzialność nauki – Popularyzacja nauki i promocja sportu,
nr projektu SONP/SP/546432/2022,
kwota dofinansowania 112 920,00 zł, całkowita wartość projektu 125 640,00 zł.