

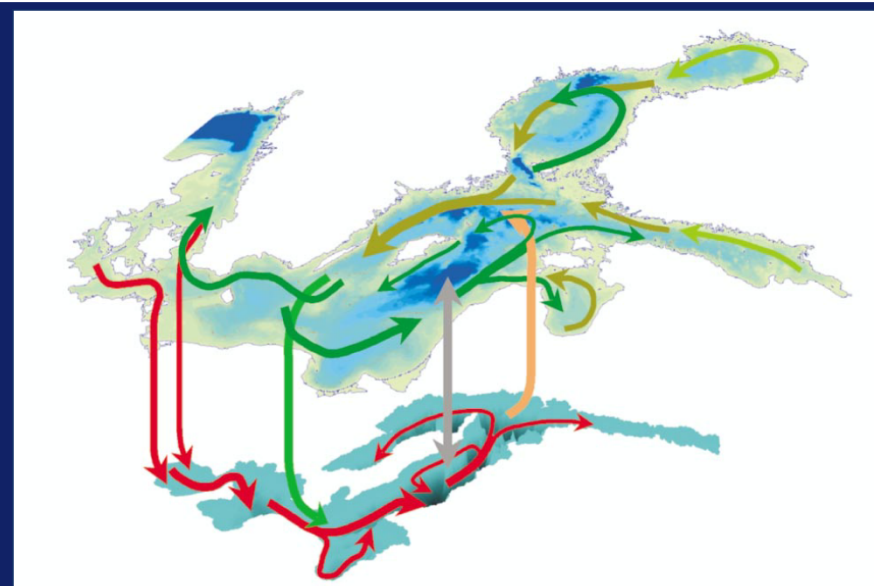
# Eutrofizacja Bałtyku – przyczyny, skutki, działania zapobiegawcze

**Marianna Pastuszek**

**Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy  
Zakład Oceanografii Rybackiej i Ekologii Morza**



# Zlewisko Bałtyku; schematyczna ilustracja cyrkulacji wody w Bałtyku



250 rzek zasila Bałtyk;

7 największych rzek, w tym Wisła i Odra

Objętość Bałtyku: 21 547km<sup>3</sup>

Dopływ roczny wód rzecznych ca. 500 km<sup>3</sup>

W 2006 r. całkowity ładunek N – 638 000 ton

całkowity ładunek P – 28 370 ton

99.7% terytorium Polski należy do zlewiska Bałtyku

Elken i Matthäus, 2006

## Obserwowane zmiany pozostające w związku z eutrofizacją wód Bałtyku

### Wymiar globalny – zmiany klimatyczne

• dodatkowe czynniki powodujące  
rozchwianie równowagi ekosystemu



- Częstotliwość i wielkość odświeżających wlewów wód zasolonych,
- Anomalie w odpływie wody rzecznej,
- Spadek S i wzrost T wody w Bałtyku

### Wymiar lokalny – N, P, Si



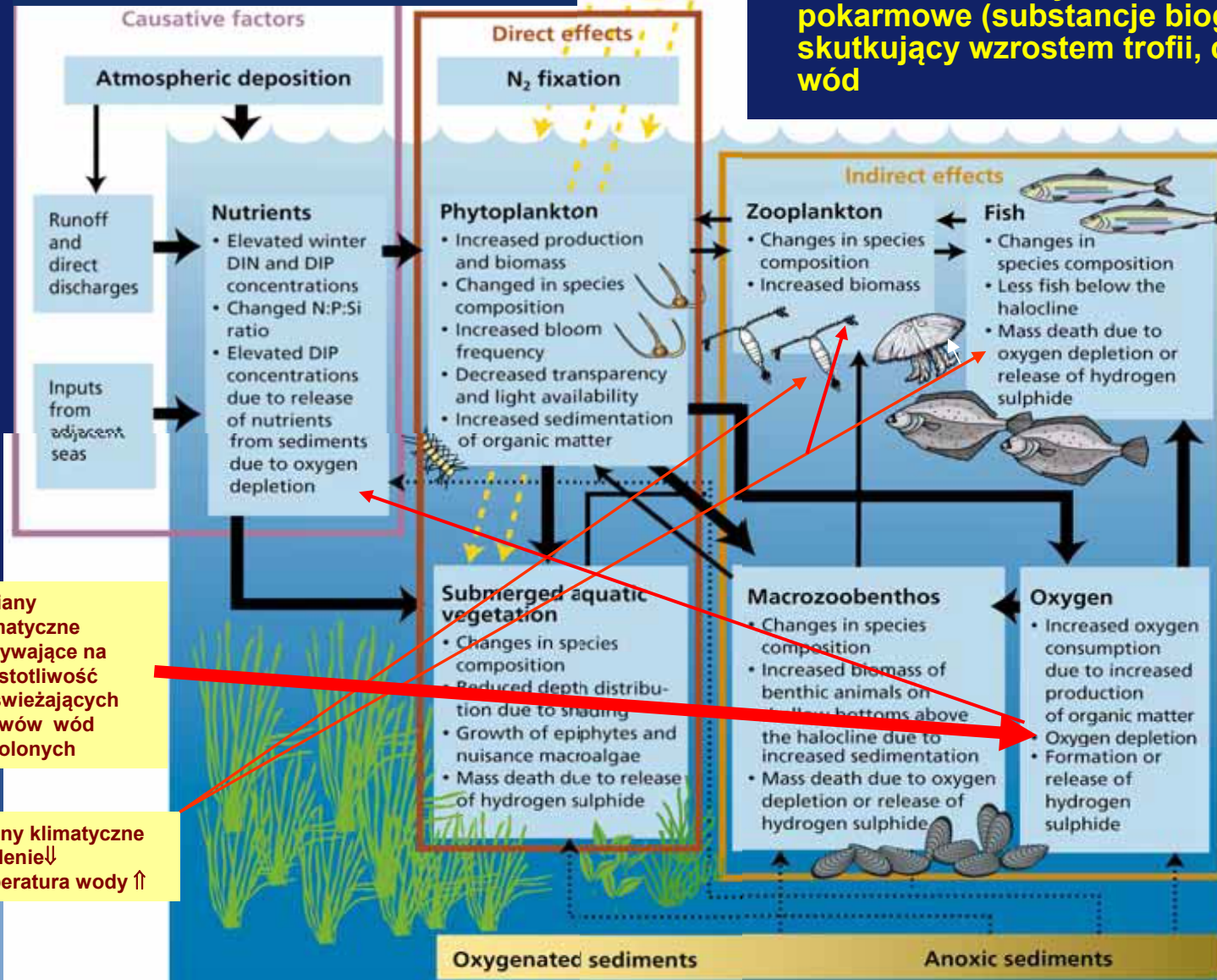
- W latach 1950-1988 – 17-krotny i 8-krotny wzrost zużycia nawozów azotowych i fosforowych w basenie Bałtyku,
- Od początku XX wieku 4-krotny wzrost ładunków TN i 8-krotny wzrost ładunków TP odprowadzanych rzekami do Bałtyku
- Spadek ładunków DSi odprowadzanych do Bałtyku i w efekcie 3-krotny spadek stężeń DSi w wodach Bałtyku od początku XX wieku; jest to efekt eutrofizacji rzek oraz zabudowy rzek (tamy)

Mniej jak połowa całkowitej ilości TN, wprowadzonej do środowiska naturalnego w formie nawozów mineralnych i naturalnych, jest efektywnie wykorzystana, natomiast reszta zostaje rozproszona w środowisku naturalnym i tym samym przyczynia się do różnego rodzaju negatywnych skutków ekologicznych i zdrowotnych



Konceptualny model eutrofizacji – strzałki oznaczają interakcję pomiędzy poszczególnymi ogniwami łańcucha troficznego

Eutrofizacja to proces wzbogacania zbiorników wodnych w substancje pokarmowe (substancje biogenne) skutkujący wzrostem trofii, czyli żyzności wód

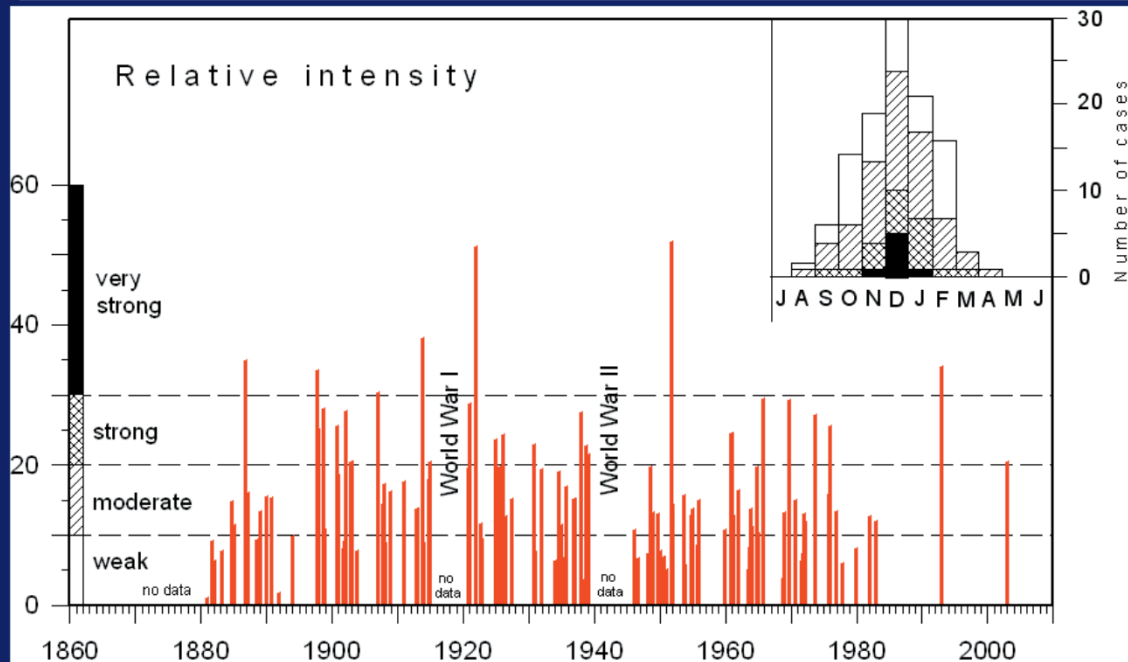


Zmiany klimatyczne wpływające na częstotliwość odświeżających wlewów wód zasolonych

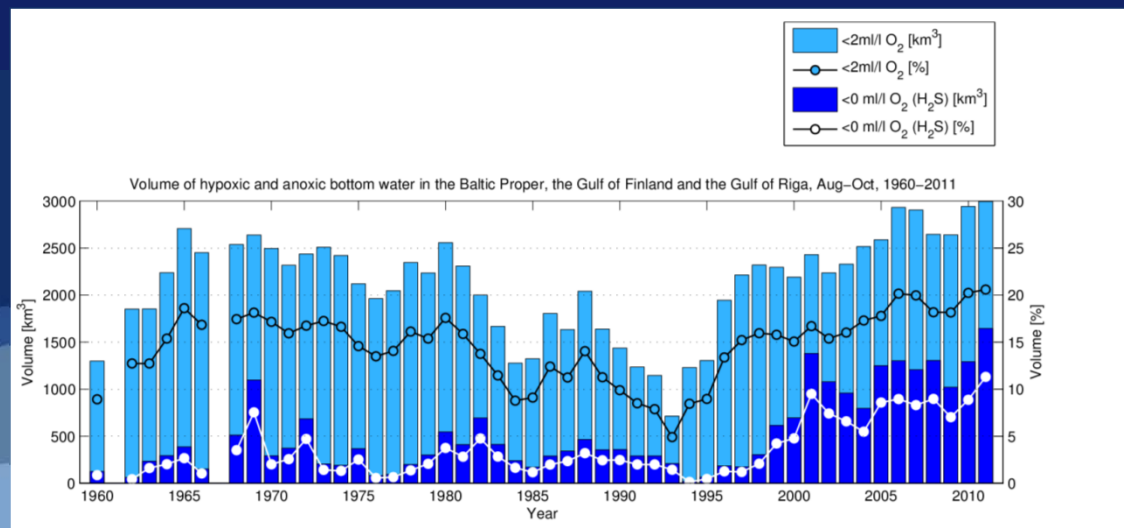
Zmiany klimatyczne zasolenie ↓  
temperatura wody ↑



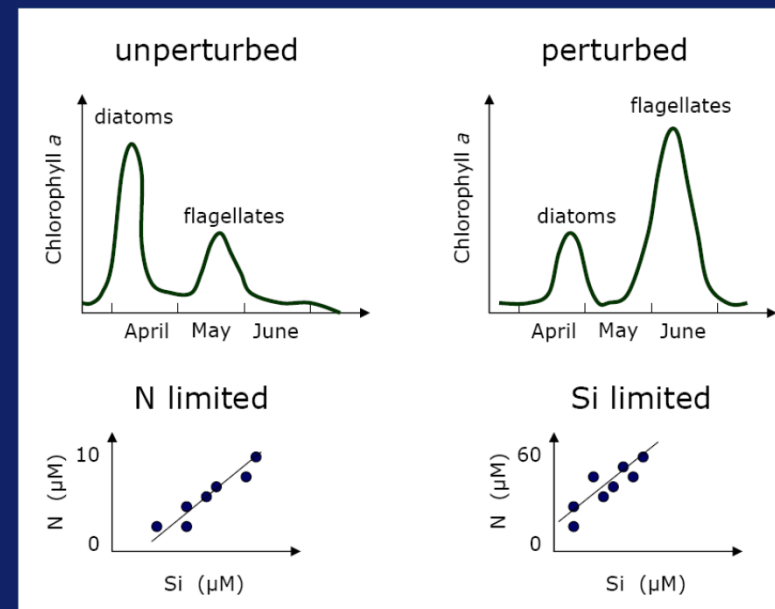
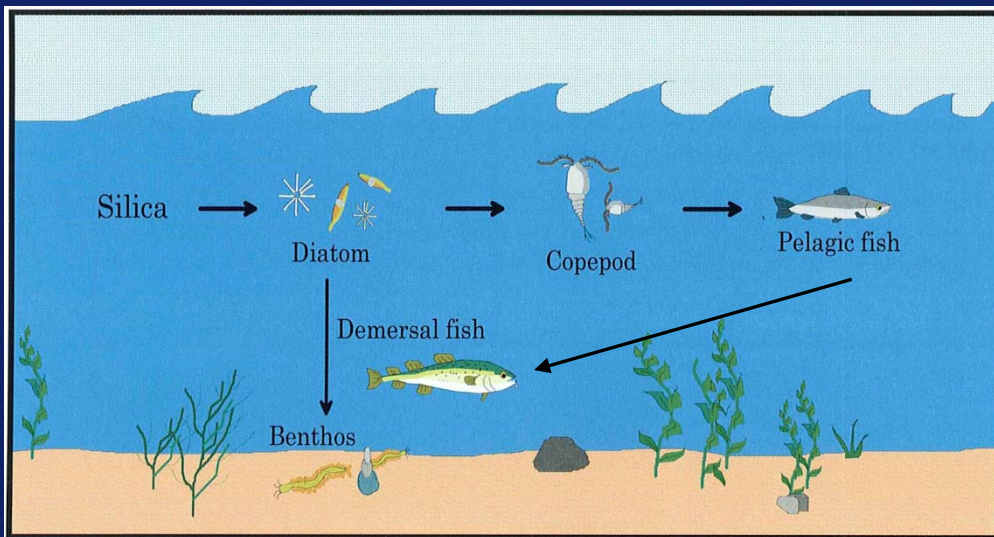
# Wlewy do Bałtyku w latach 1880-2005; Objętość wód głębinowych w Bałtyku (Bałtyk Właściwy, Zatoka Fińska, i Zatoka Ryska) pozostających pod wpływem hipoksji i anoksji w latach 1960-2011



Matthäus i Franck, 1992; Fischer i Matthäus, 1996; Hansson i in., 2011

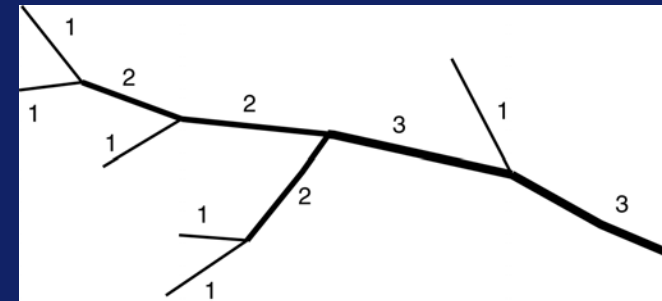


# Czteropoziomowy łańcuch troficzny – przykład obiegu krzemu w morzu





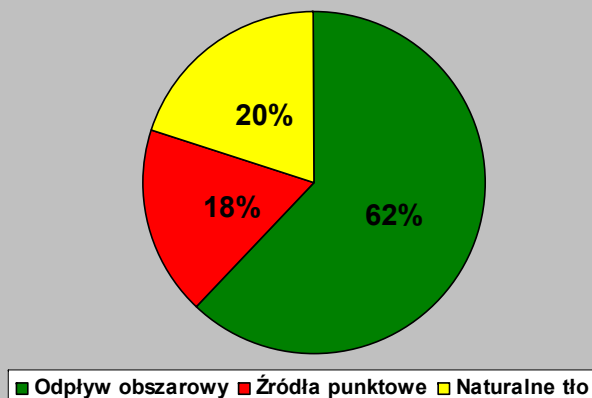
# Źródła substancji biogennych w odpływie rzecznym w zlewisku Bałtyku



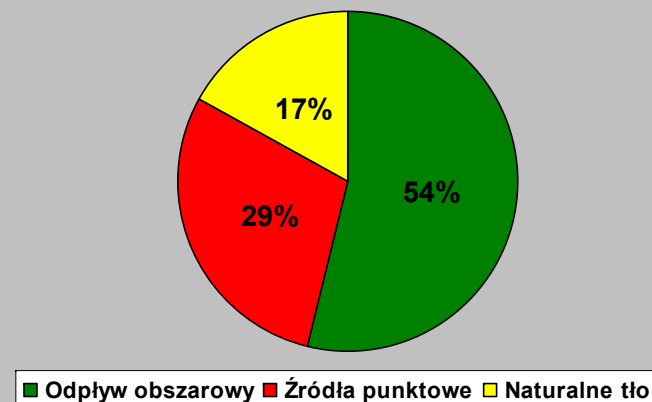
(Strahler, 1957)

37-76 % N ulega usunięciu w systemach rzecznych  
 1/2 puli N – usunięta w rzekach 1- 4 rzędu stanowiących 90% długości wszystkich rzek w dorzeczu;  
 1/2 puli N – usunięta w rzekach 5 i wyższego rzędu stanowiących 10% długości wszystkich rzek w dorzeczu  
 (Seitzinger i in. , 2002)

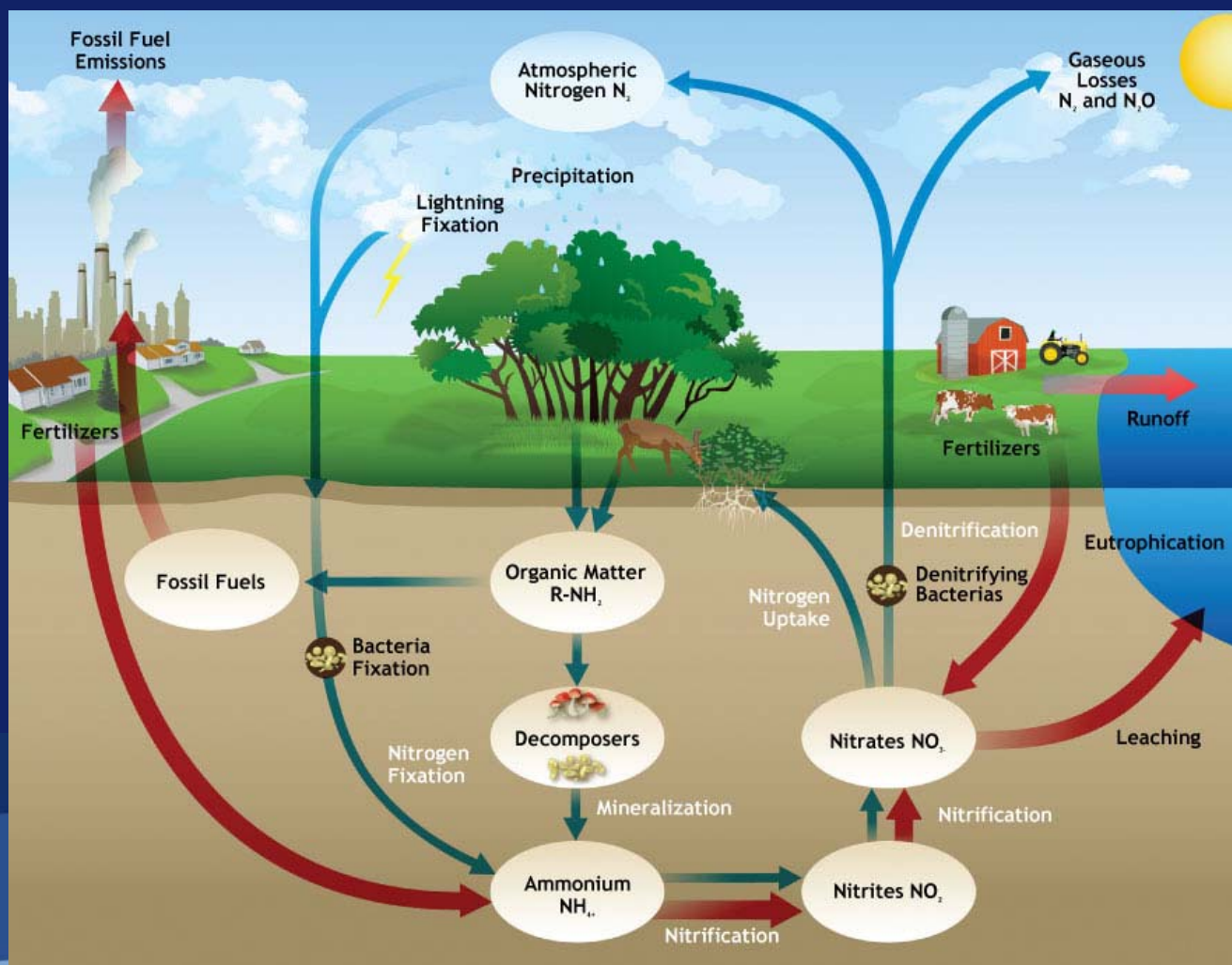
Emisja azotu według źródeł - Polska 2000



Emisja fosforu według źródeł - Polska 2000



# Obieg azotu (N) w glebie



## N łatwo przemieszcza się w glebie

- Nadwyżka bilansowa N
- Geomorfologia
  - Rodzaj gleby
  - Rodzaj podłoża skalistego
  - Nachylenie terenu
- Warunki hydrologiczno-meteorologiczne

**Polska - 84% pow. nachylenie terenu < 3°**

**Systemy wolno-przepływowe**

**Wysoki udział wód gruntowych w emisji N**

**Pionowa infiltracja sprzyja wysokiej retencji N**



[http://landscapeforlife.org/give\\_back/3c.php](http://landscapeforlife.org/give_back/3c.php)

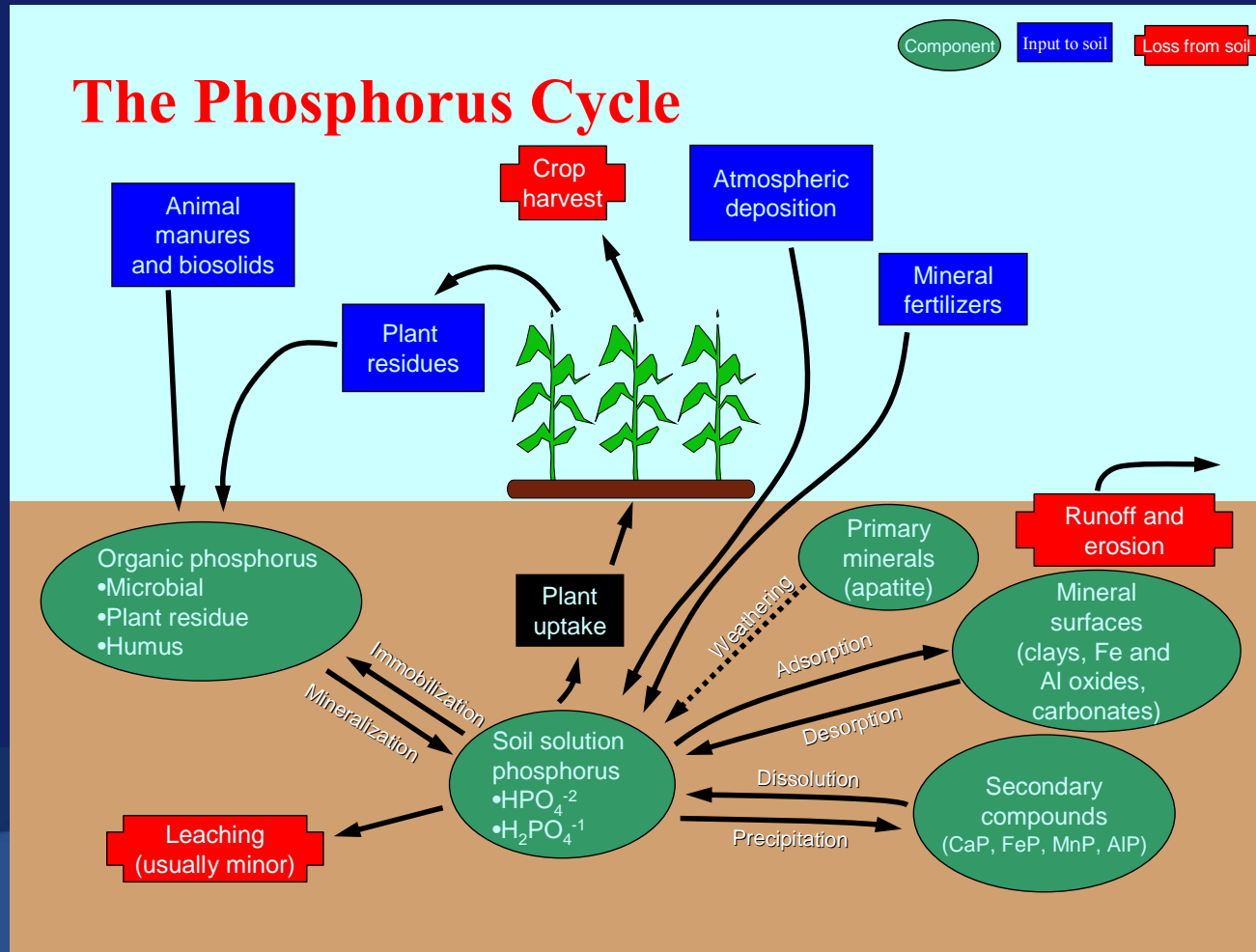
Fotyma i in., 2012; Pastuszek i in., 2012a, b

www.mir.gdynia.pl



# Obieg fosforu (P) w glebie

## The Phosphorus Cycle



P łatwo ulega ulega wiązaniu chem. w glebie

- Nadwyżka bilansowa N
- Geomorfologia
  - Rodzaj gleby
  - Rodzaj podłoża skalistego
  - Nachylenie terenu
- Warunki hydrologiczno-meteorologiczne

Mały odpływ P przez ługowanie

Znaczny odpływ P przez zmyw pow. i erozję

**Polska- (60% pow. areau rolniczego – lekkie gleby; 21% pow. areau rol. i 8% pow. lasów– zagrożona erozją ; 50% pow. terenów rol. - zakwaszone)**

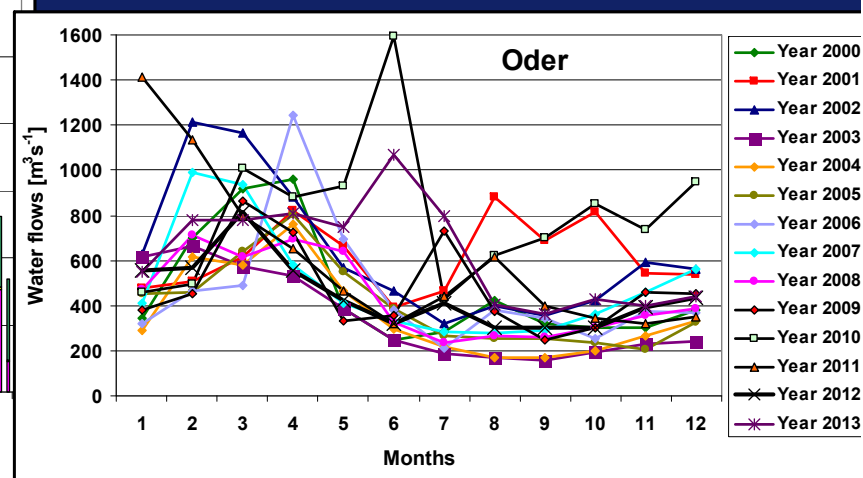
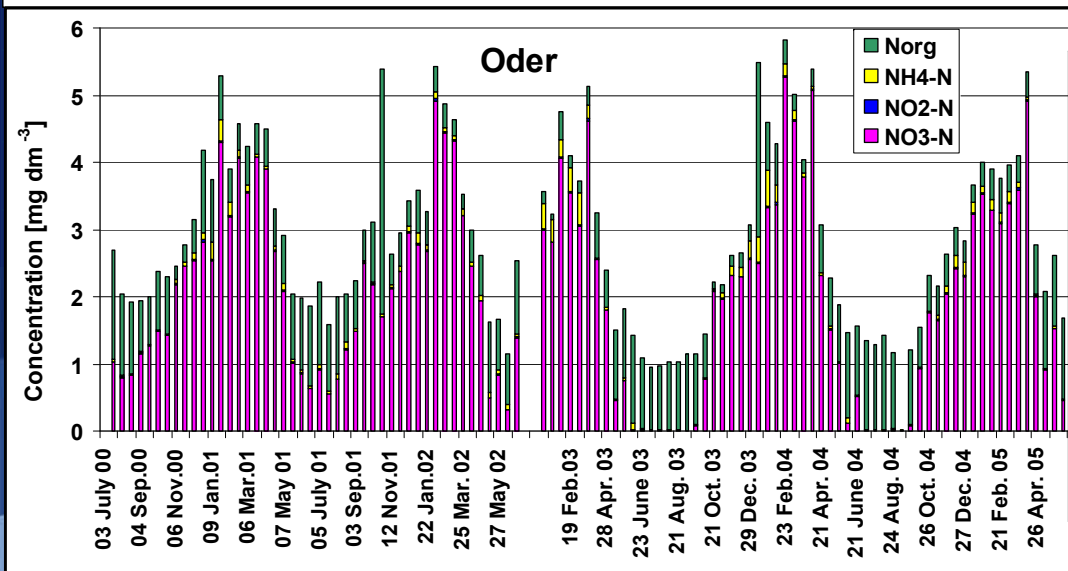
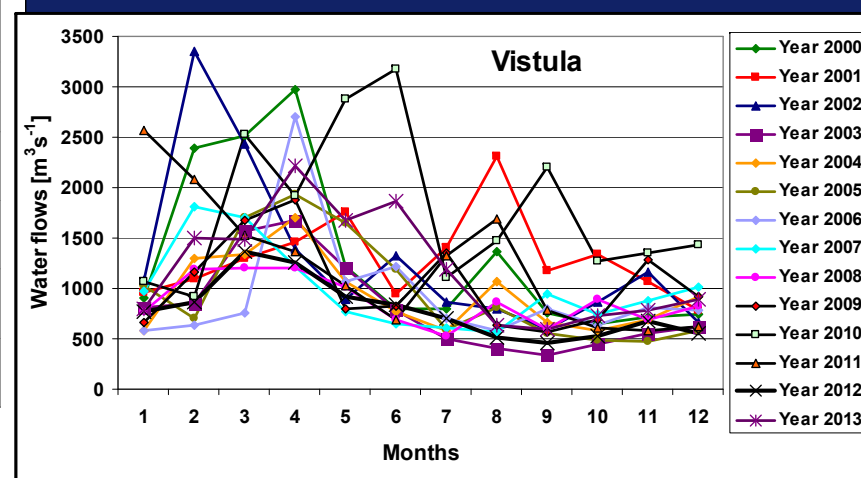
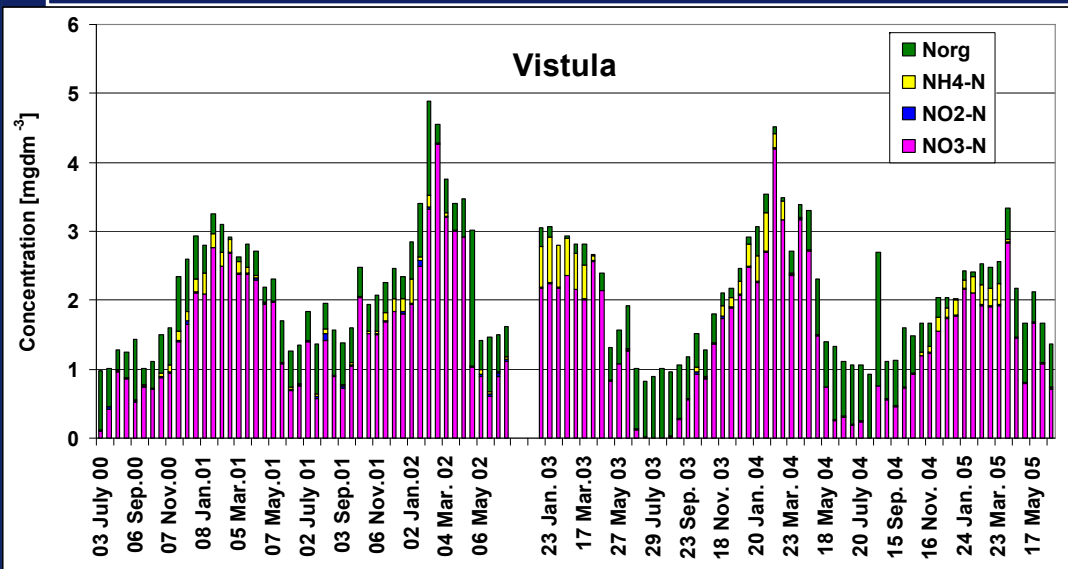
<http://msucares.com/crops/soils/images/phosphorus.gif>



Igras i Fotyma., 2012; Pastuszak i in., 2012 a, b

www.mir.gdynia.pl

# Stężenia związków azotu w wodach Wisły i Odry (dane własne – granty UE); przepływy wody - dane IMGW



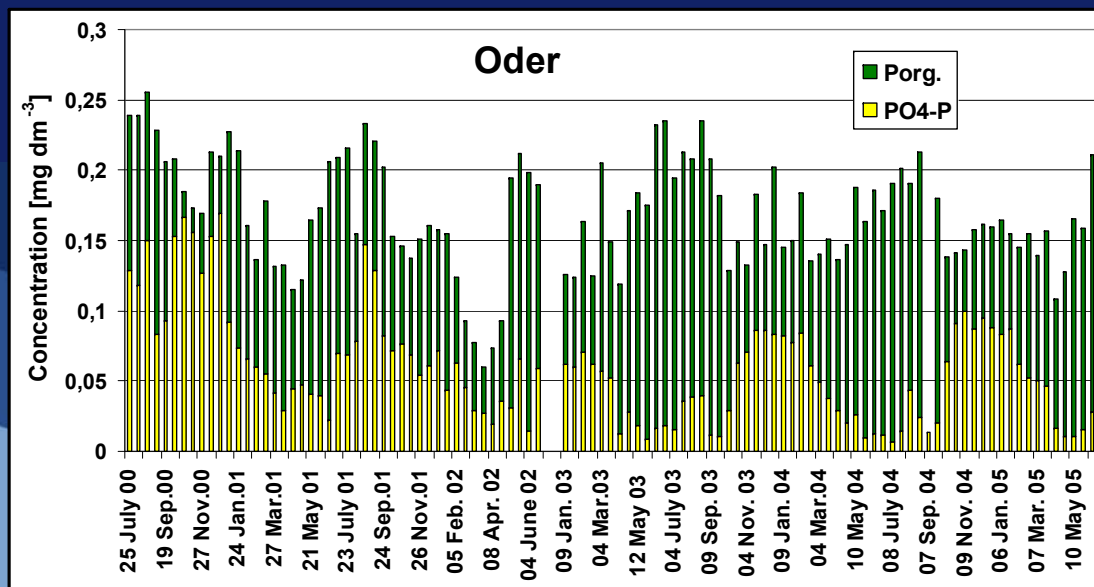
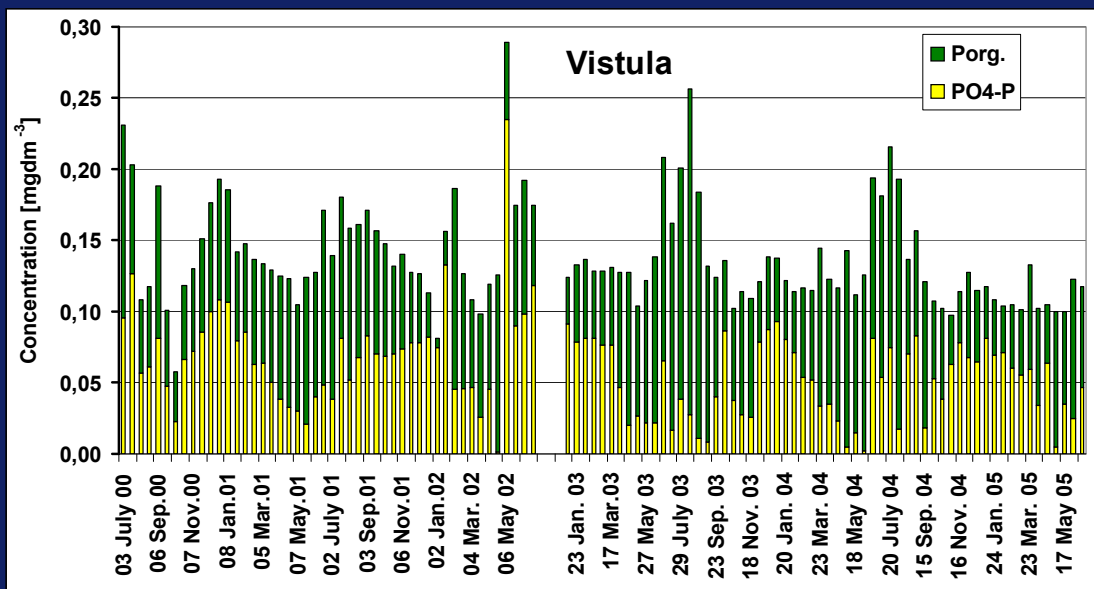
- Przewaga azotanów
- Dobrze rozwinięta zmienność sezonowa
- Wyższe stężenia TN w wodach Odry

[www.mir.gdynia.pl](http://www.mir.gdynia.pl)

Pastuszek i Witek, 2012

IMGW, 1999-2013

# Stężenia związków fosforu w wodach Wisły i Odry (dane własne – granty UE)



➤ Wysoki dział P<sub>org.</sub>

➤ Sezonowa zmienność DIP

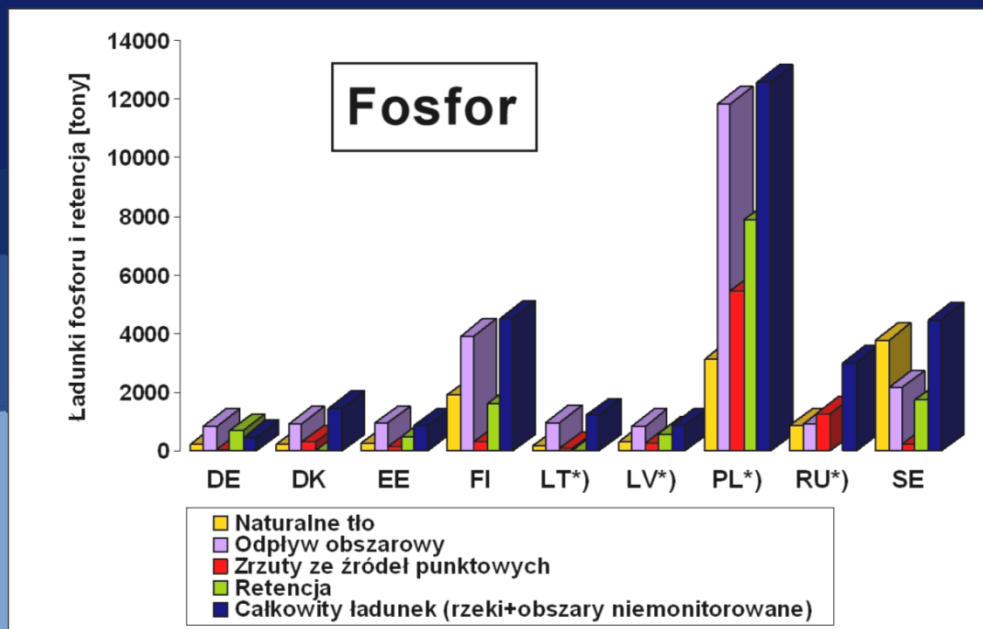
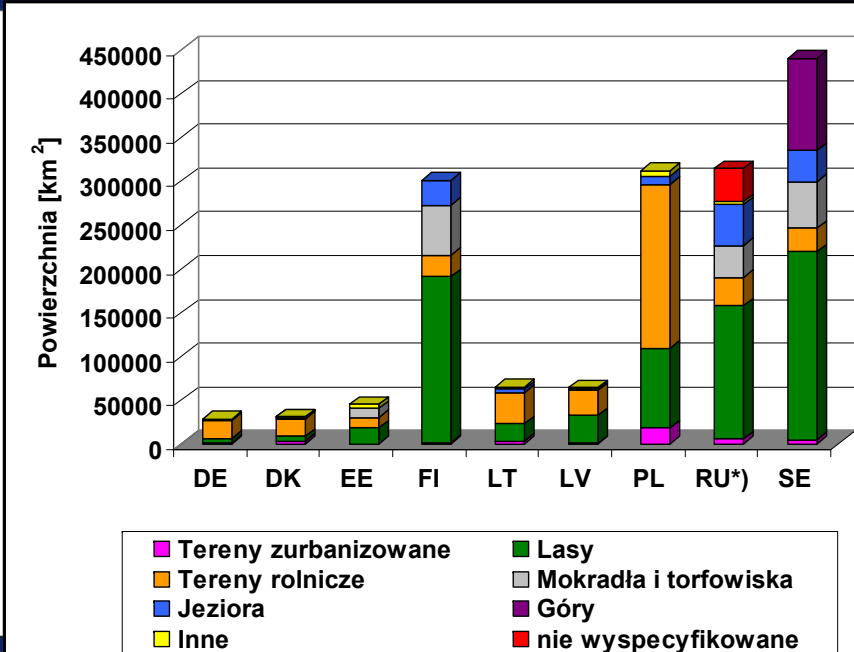
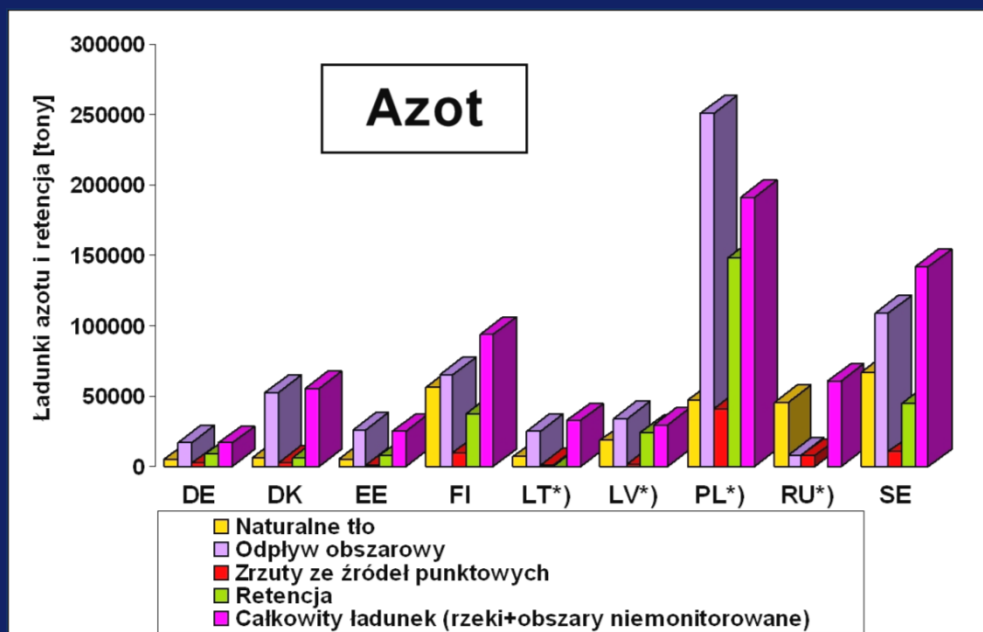
➤ Wyższe stężenia TP w wodach Odry

Pastuszak i Witek, 2012





# Udział krajów nadbałtyckich w odprowadzaniu azotu i fosforu rzekami do Bałtyku w roku 2000



### Polska:

50% powierzchni terenów rolniczych

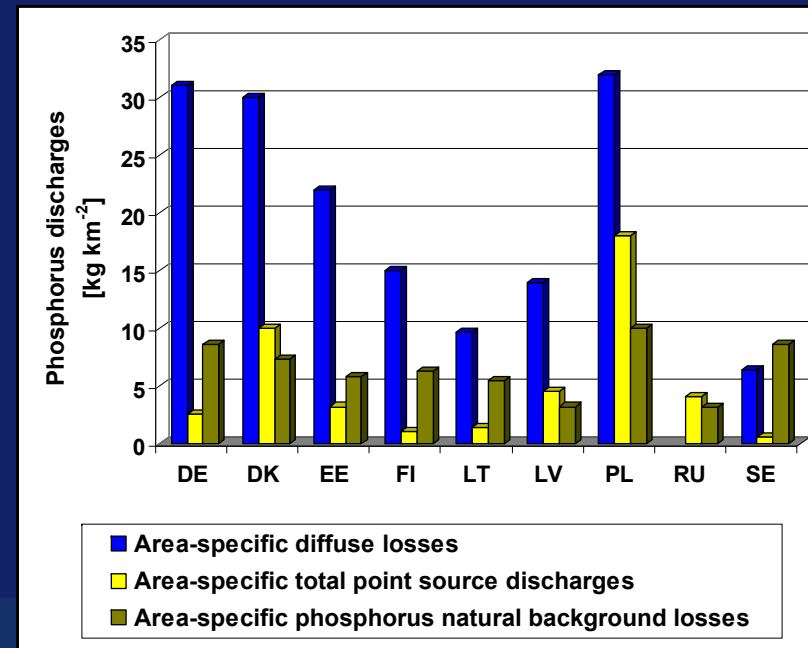
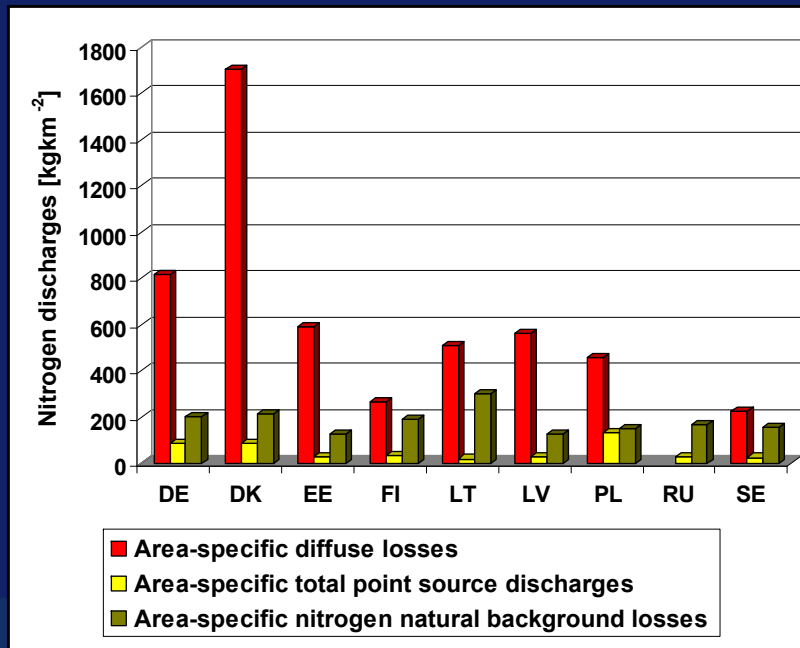
45% populacji ludności

Duża pow. zlewniska cząstkowego – roczny odpływ wody ca. 63 km<sup>3</sup>

Emisja N emission z terenów rolniczych – 7-10 razy wyższa niż z terenów zalesionych

Pastuszek, 2012  
Pastuszek i Witek, 2012

# Ładunki jednostkowe TN i TP (kg/km<sup>2</sup>) zrzucane przez kraje bałtyckie do wód powierzchniowych zlewiska Bałtyku oraz bezpośrednio do Bałtyku w roku 2000



Pastuszak i Witek, 2012



<i>Odra</i>	<i>Wisła</i>
<b><i>Czynniki naturalne</i></b>	
1) Pow. zlewni: <b>118,861 km<sup>2</sup></b>	1) Pow. zlewni: <b>194,424 km<sup>2</sup></b>
2) Roczny odpływ wody: <b>16.7 km<sup>3</sup></b> (1951-2013)	2) Roczny odpływ wody: <b>34 km<sup>3</sup></b> (1951-2013)
3) Niższy udział podłoża o wysokiej porowatości - o <b>11%</b>	3) Wyższy udział podłoża o wysokiej porowatości- o <b>11%</b>
4) Niższy udział pow. jezior – o <b>18%</b> ; <b>Ujście rzeki – duże estuarium</b>	4) Wyższy udział pow. jezior – o <b>18%</b> ; <b>Ujście rzeki - delta</b>
<b><i>Czynniki antropogeniczne</i></b>	
1) <b>Dużo większe gosp.</b> ⇒ wyższy dochód ⇒ bardziej intensywne rolnictwo ⇒ <b>wyższe dawki nawozów, większy system drenarski</b> ; skoncentrowana <b>hodowla świń</b> ⇒ więcej gnojowicy do wykorzystania; 2) Mniejsza powierzchnia <b>łąk</b> , 3) Głębsze zmiany strukturalne – większa liczba <b>PGR</b> , 4) Wyższa absorpcja <b>funduszy UE</b> , 5) Większe inwestycje na <b>oczyszczalnie ścieków</b>	1) <b>Mniejsze gosp.</b> ⇒ niższy dochód ⇒ mniej intensywne rolnictwo ⇒ niższe dawki <b>nawozów</b> , hodowla <b>krów</b> , mniejszy <b>system drenarski</b> ; 2) Większa powierzchnia <b>łąk i pastwisk</b> , 3) Zmiany strukturalne – mniejsza liczba <b>PGR</b> , 4) Średnia absorpcja <b>funduszy UE</b> , 5) Mniejsze inwestycje na <b>oczyszczalnie ścieków</b>
<b><i>Kombinacja czynników naturalnych i antropogenicznych skutkuje znaczną różnicą ładunków TN i TP odprowadzanych do Bałtyku (dane dla roku 2000)</i></b>	
<b>TN: 53,000 ton</b>	<b>TN: 117,000 ton</b>
<b>TP: 3,700 ton</b>	<b>TP: 7,500 ton</b>

## Basen Wisły i Odry

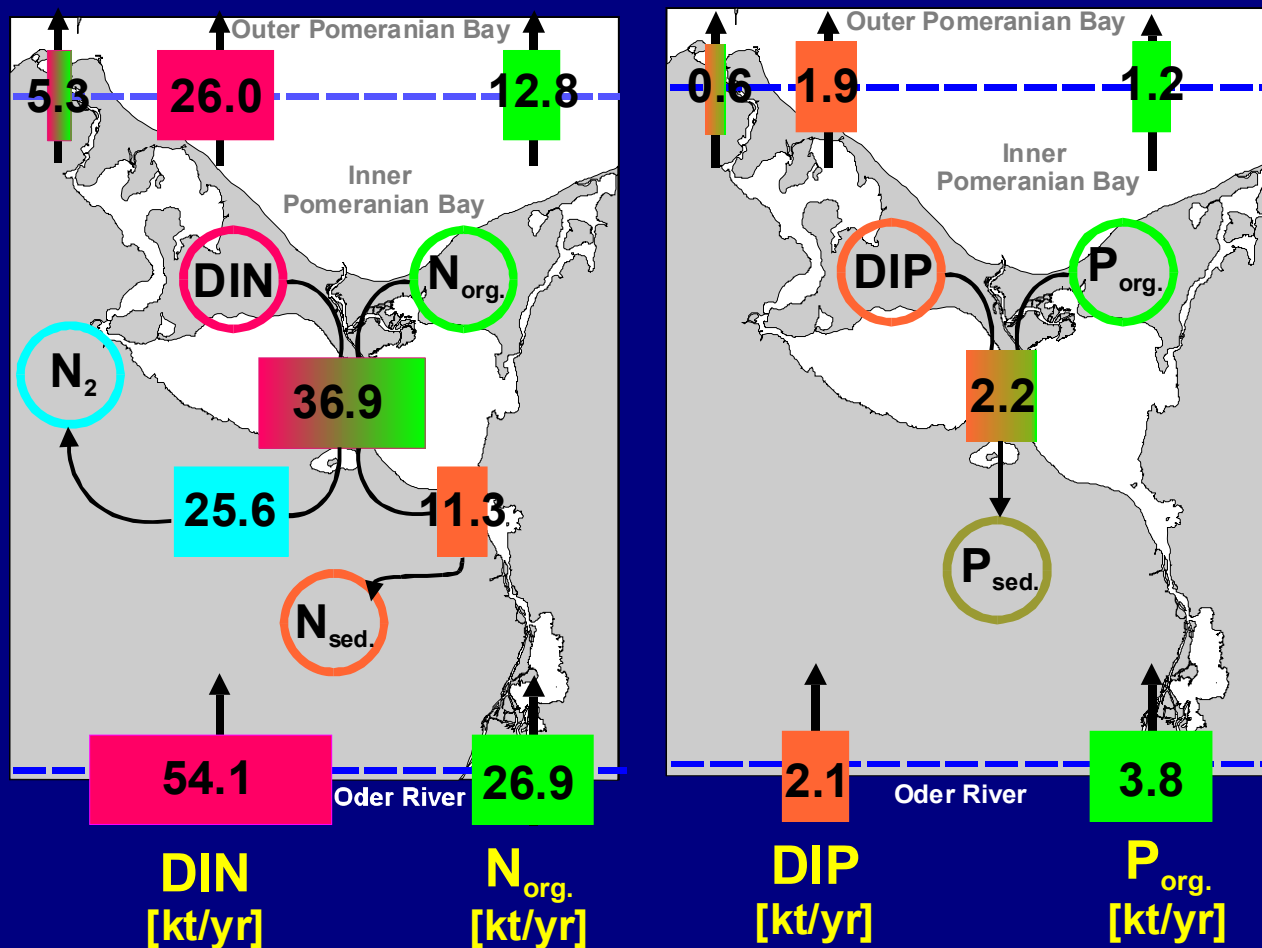
### Różnice:

- **Czynniki naturalne,**
- **Czynniki antropogeniczne,**

Kowalkowski i in., 2012;  
Pastuszak i in., 2012 a,b  
Pastuszak i in., 2005



# Rola estuarium Odry w naturalnej retencji N i P – bilans masy metodą LOICZ (Pastuszak i in., 2005)



Odległość pomiędzy najniższą położoną stacją monitoringową – Krajnik Dolny – a cieśninami odprowadzającymi wodę z Zalewu Szczecińskiego – 106 km;  
Powierzchnia – 1000 km<sup>2</sup>



45% ładunku TN i 37% ładunku TP zatrzymywane w skali roku w estuarium Odry

## Zmiany w polskiej gospodarce – wpływ na emisję N i P do rzek i Bałtyku

### Okres transformacji –

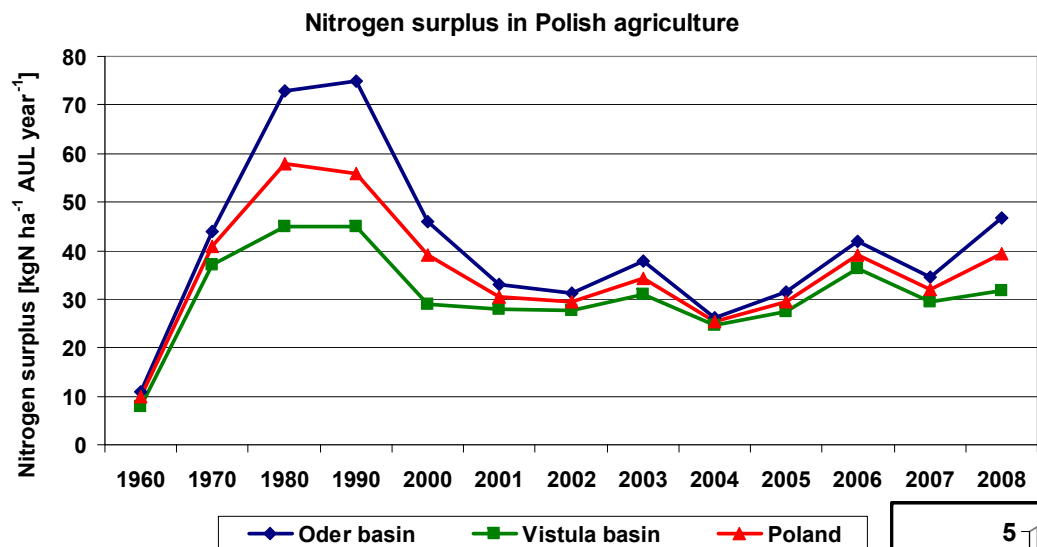
- Kryzys ekonomiczny (sektor rolniczy)
- Przekształcenia w gospodarce (zamykanie nierentowne stare zakłady, przekształcenia własnościowe – PGR)
- Absorpcja funduszy unijnych – przekładająca się na znaczne zmniejszenie presji na środowisko naturalne w Polsce

### Realizacja **Dyrektyw UE** po akcesji Polski do struktur UE:

- Dyrektywa Azotanowa
- Ramowa Dyrektywa Wodna
- Dyrektywy dot. Oczyszczalni Ścieków
- Dyrektywa Strategia Morska

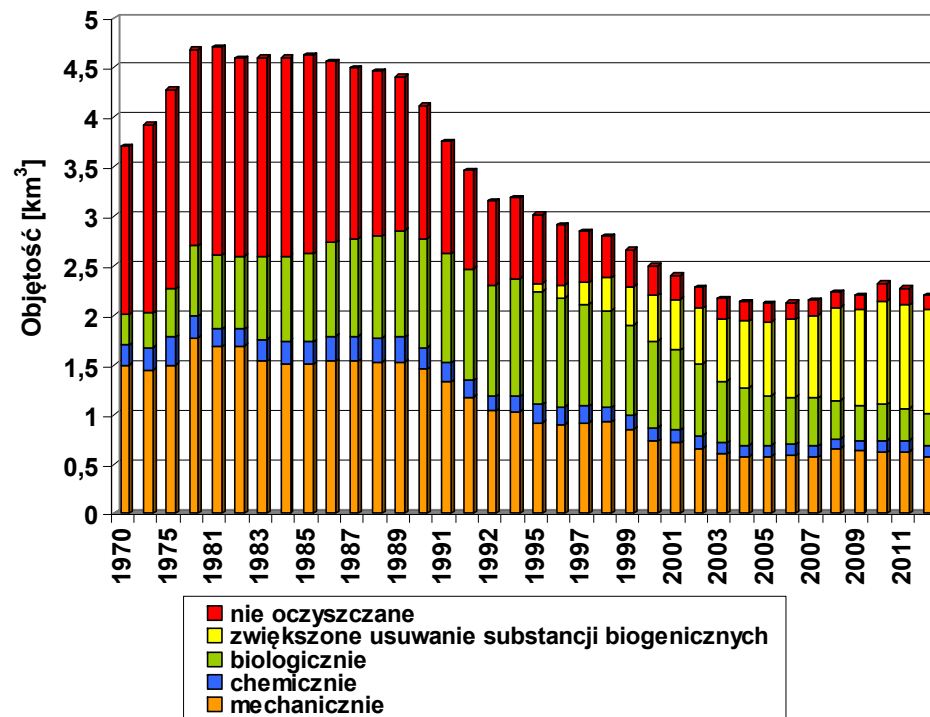
Realizacja uzgodnień **HELCOM** np. Baltic Sea Action Plan, CART

# Nadwyżka bilansowa N w rolnictwie w latach 1960-2008; objętość ścieków miejskich i przemysłowych – oczyszczanych i wymagających oczyszczenia – lata 1970-2012 (Pastuszak i in., 2012)



Nadwyżka bilansowa – kluczowy parametr we wszystkich uznanych na świecie modelach matematycznych emisji N i P

W okresie transformacji Polska zbudowała ok. 2000 oczyszczalni ścieków





# Konceptualny schemat modelu MONERIS; Roczna emisja azotu i fosforu wg. różnych ścieżek emisji do basenu Wisły i Odry w latach 1995-2008 (Kowalkowski i in., 2012)

**Emisja N:**

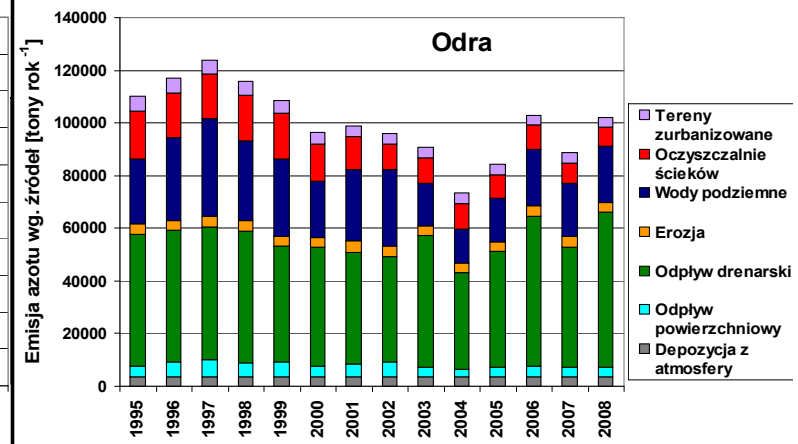
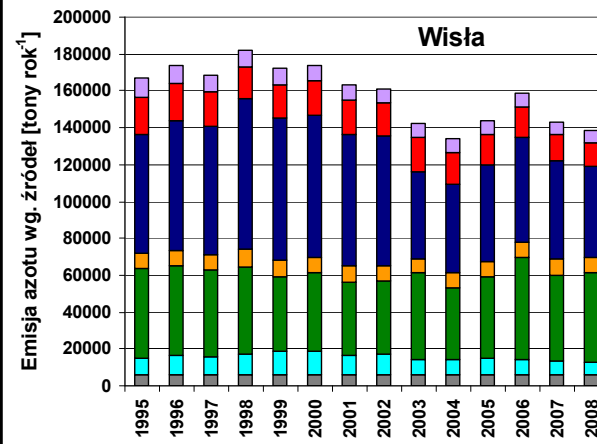
**Wisła i Odra**

16-17% ↓

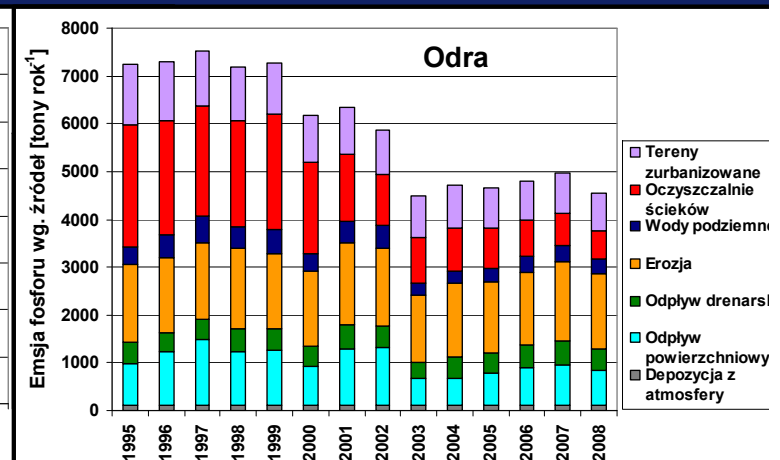
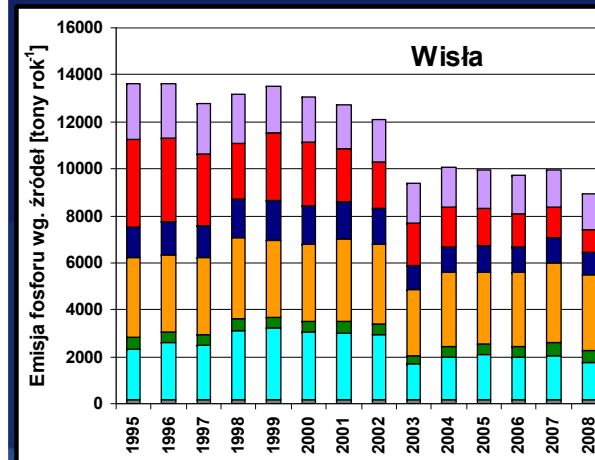
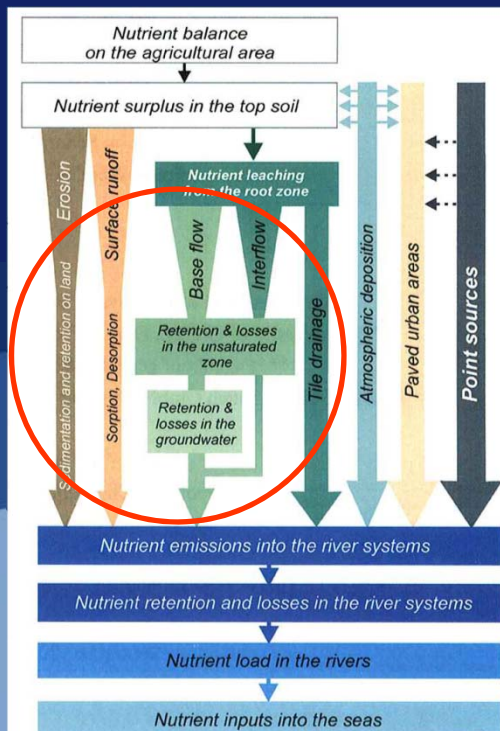
**Emisja P:**

**Wisła 23% ↓**

**Odra 32% ↓**

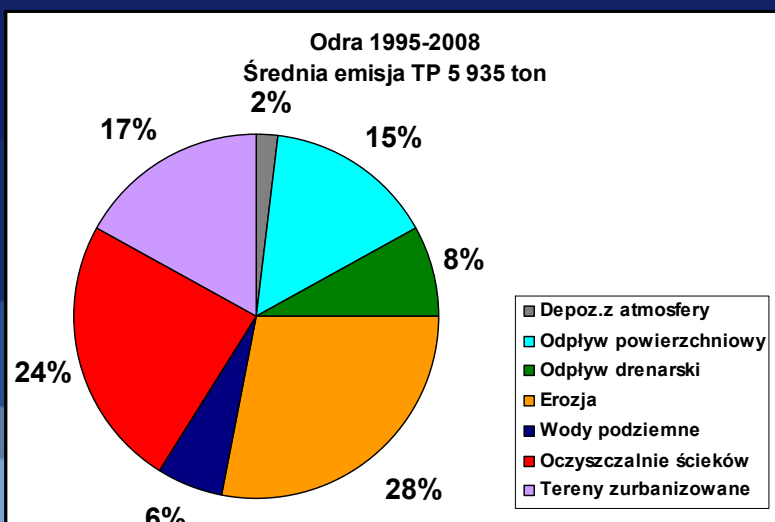
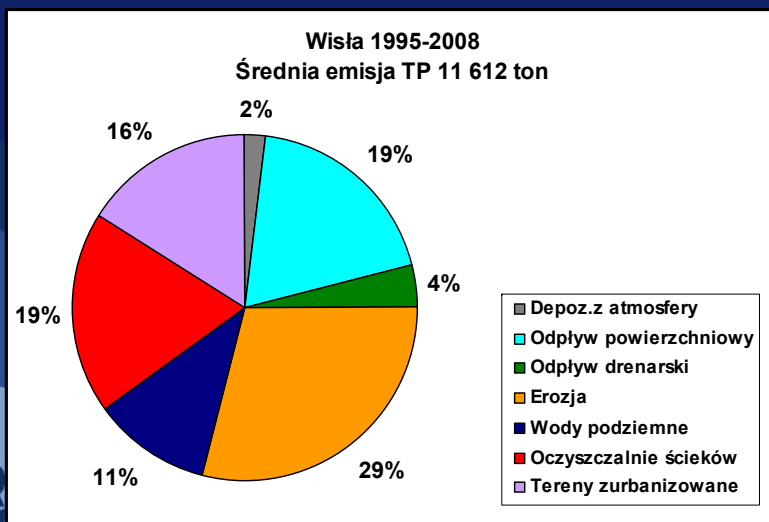
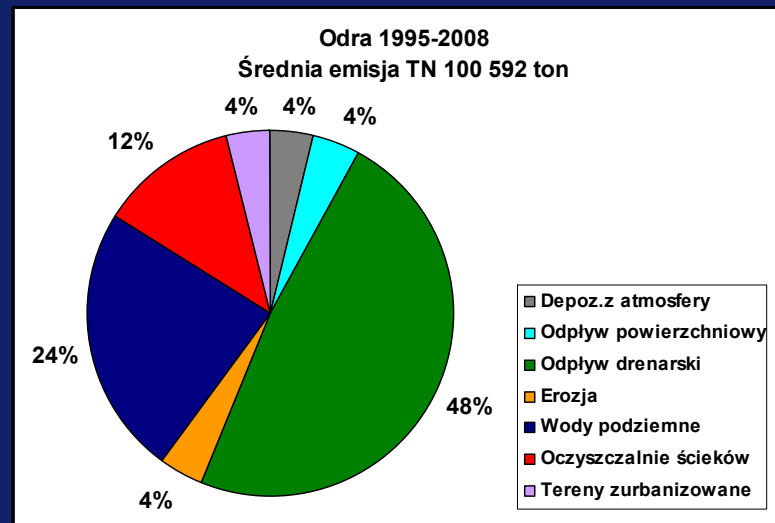
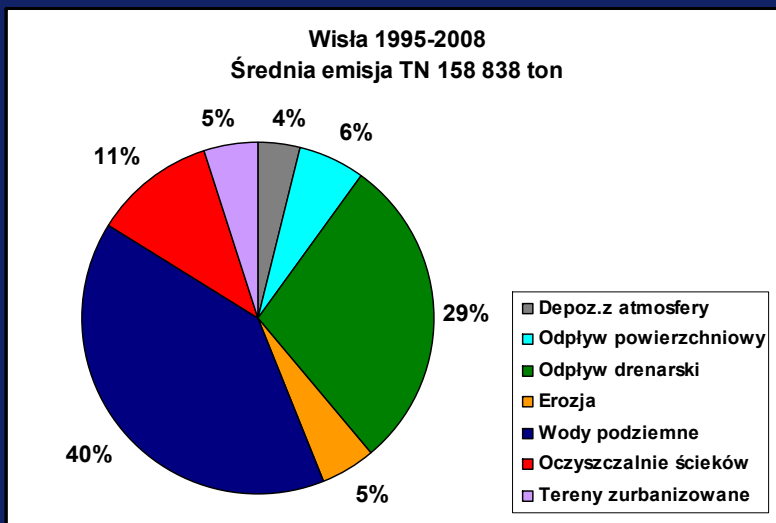


- Tereny zurbanizowane
- Oczyszczalnie ścieków
- Wody podziemne
- Erozja
- Odplyw drenarski
- Odplyw powierzchniowy
- Depozycja z atmosfery

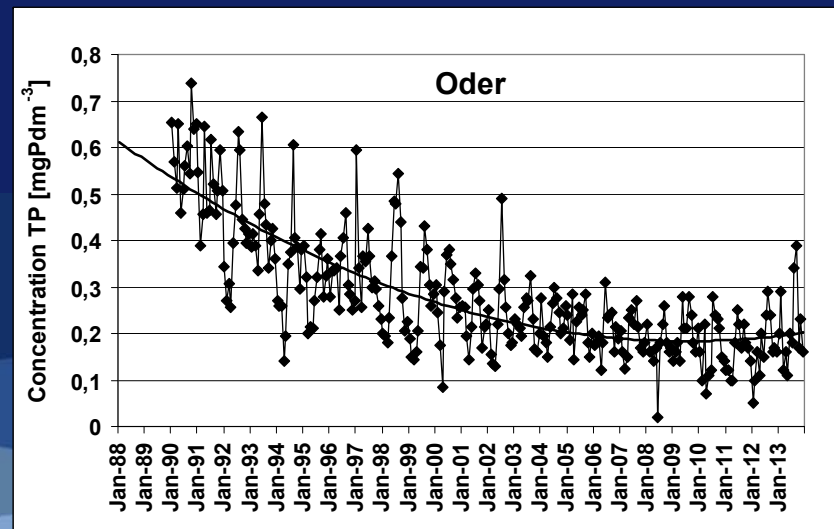
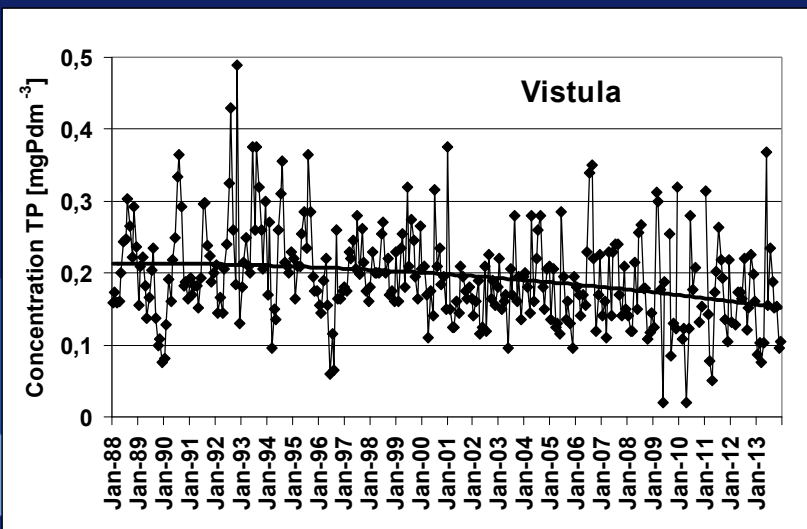
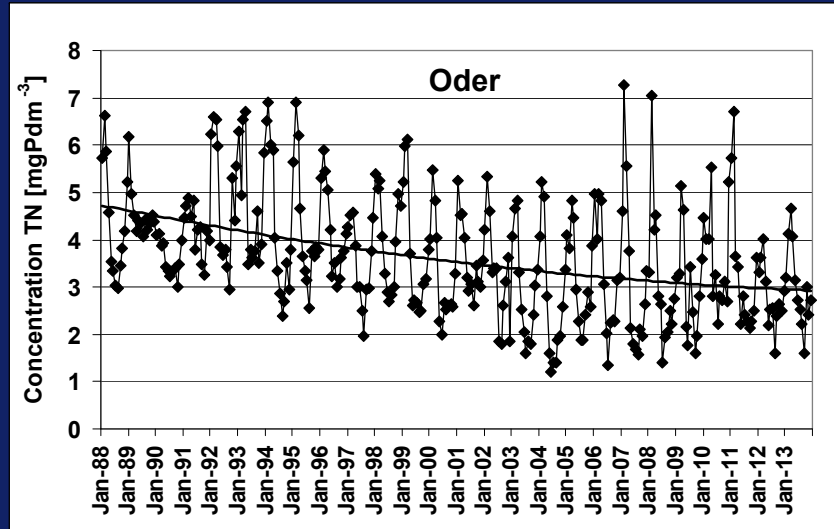
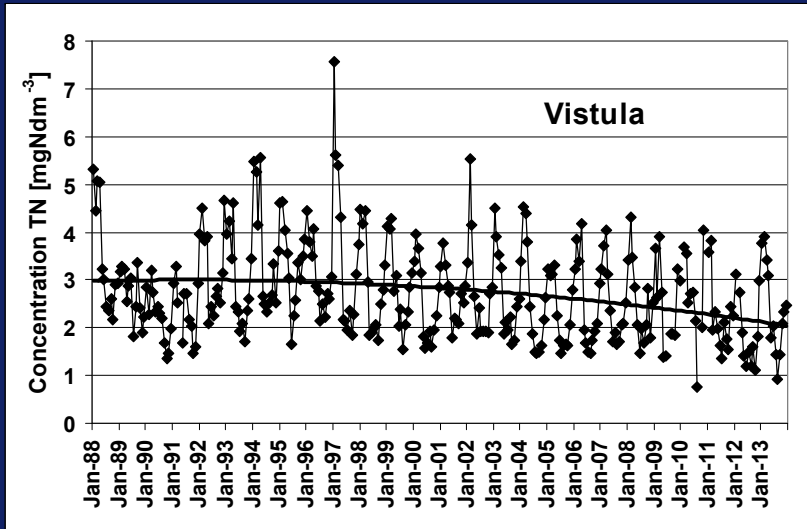


- Tereny zurbanizowane
- Oczyszczalnie ścieków
- Wody podziemne
- Erozja
- Odplyw drenarski
- Odplyw powierzchniowy
- Depozycja z atmosfery

# Średni (1995-2008) udział procentowy różnych ścieżek emisji N i P do basenu Wisły i Odry (Kowalkowski i in., 2012; Pastuszak i in., 2012)

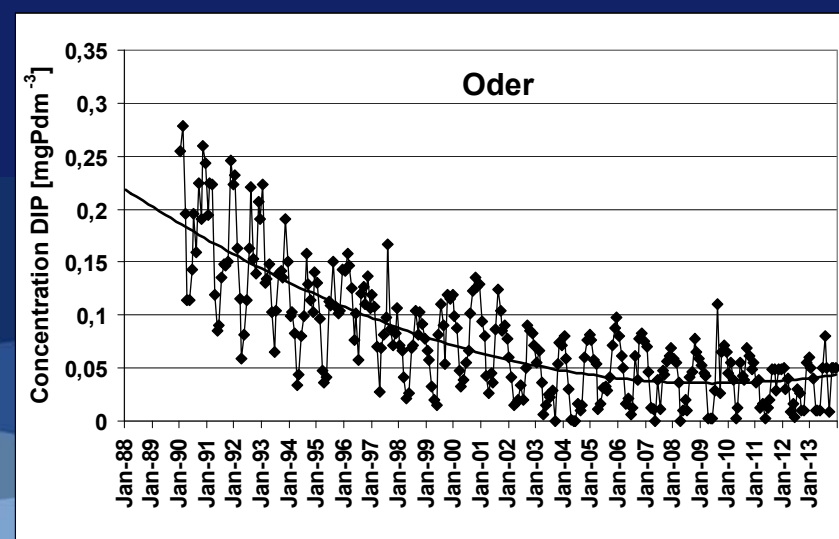
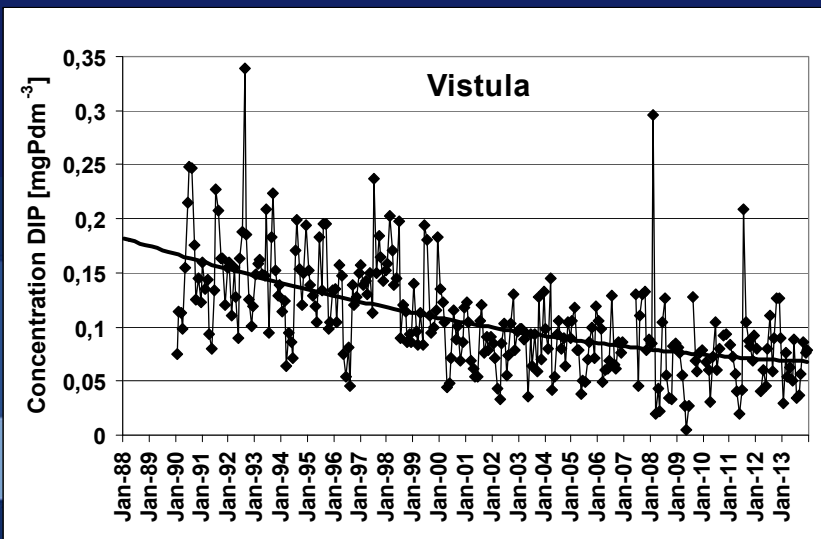
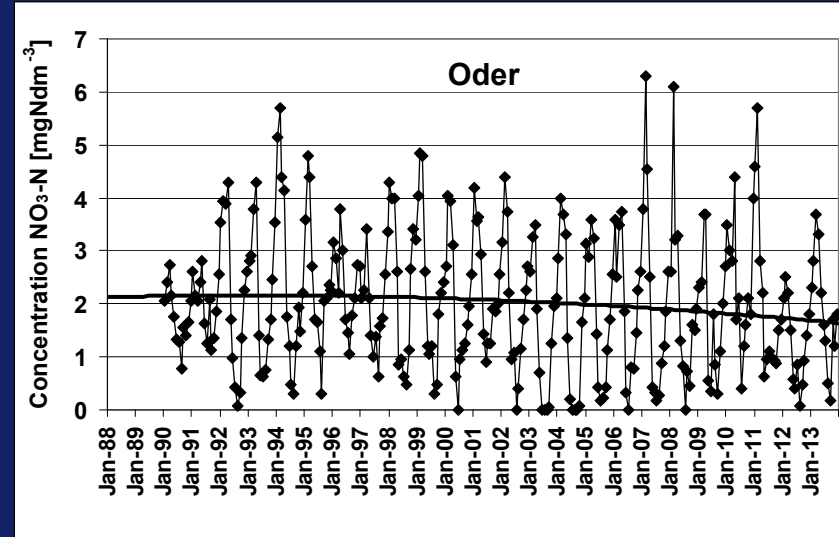
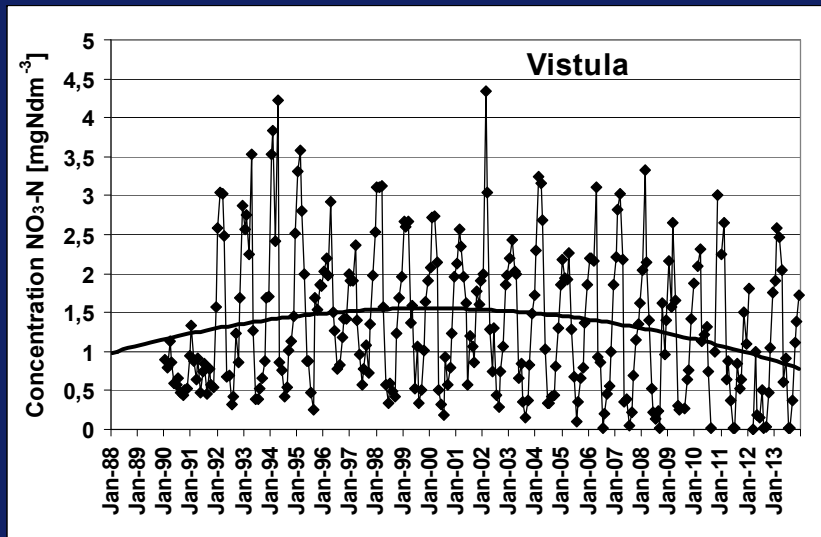


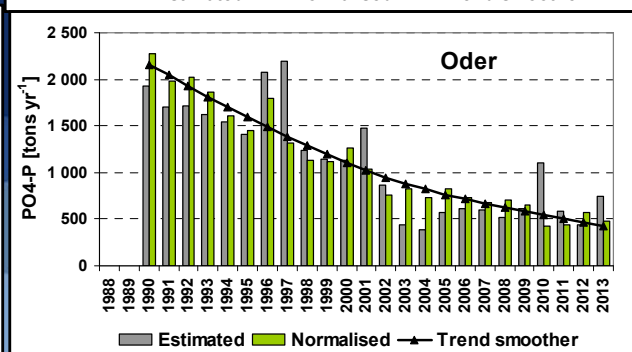
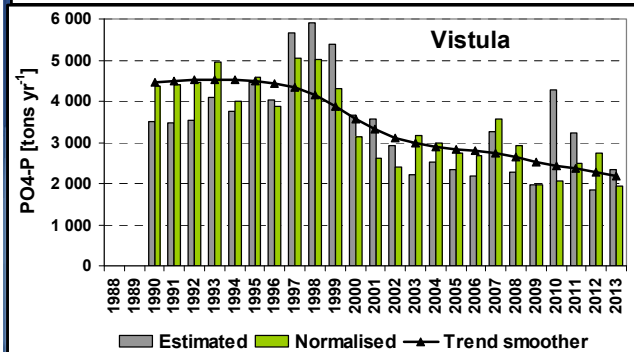
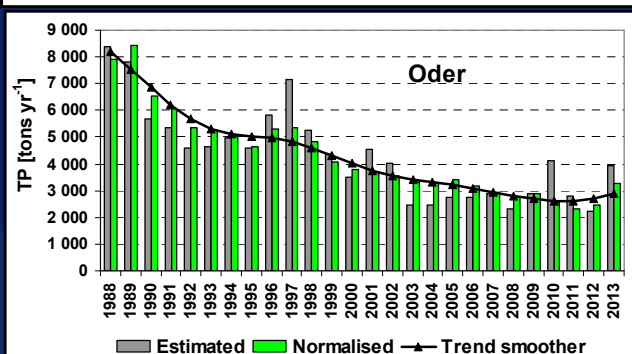
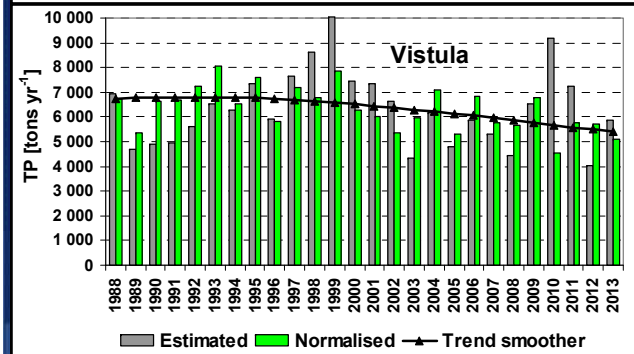
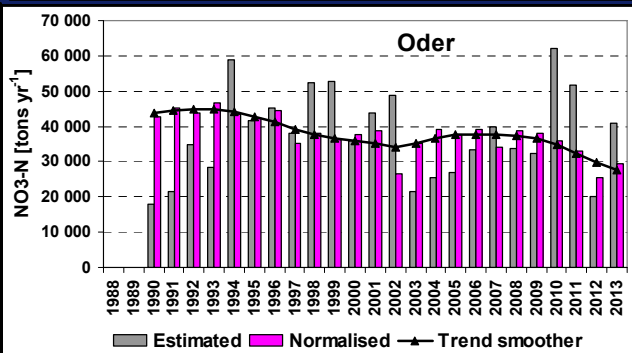
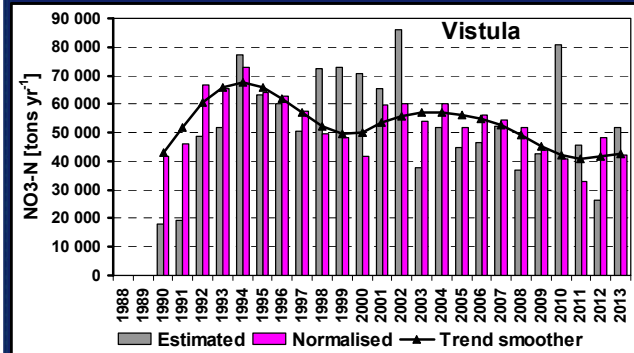
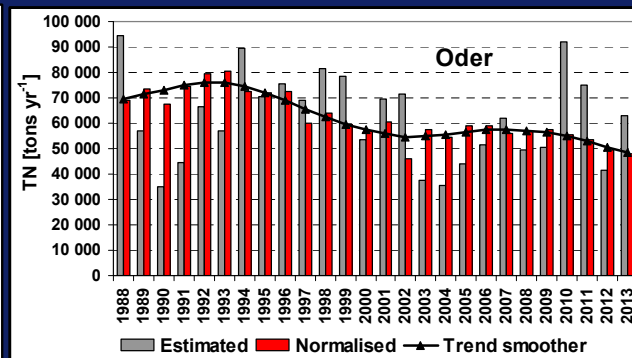
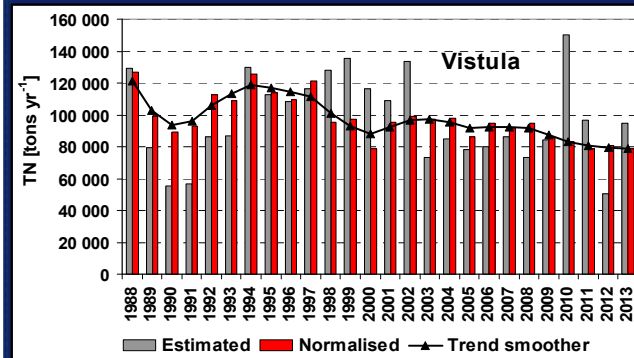
# Stężenia azotu całkowitego (TN) i fosforu całkowitego (TP) w wodach Wisły i Odry (dane: IMGW oraz WIOŚ Gdańsk, Szczecin)



Pastuszak i Witek, 2012; Pastuszak, dane niepublikowane

# Stężenia azotanów ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) i fosforu nieorganicznego (DIP) w wodach Wisły i Odry (dane: IMGW oraz WIOŚ Gdańsk, Szczecin)





## Ładunki znormalizowane

1988-2013

### Wisła:

**TN** ~47 000 t (37%) ↓

**N-NO<sub>3</sub>** 31 039 t (43%) ↓

**TP** ~2 950 t (37%) ↓

**P-PO<sub>4</sub>** 2 500 t (57%) ↓

### Odra:

**TN** 32 000 t (40%) ↓

**N-NO<sub>3</sub>** 17 498 t (37%) ↓

**TP** 5 100 t (61%) ↓ odniesione do roku 2013

**P-PO<sub>4</sub>** ca. 1 800 t (79%) ↓

Pastuszek i Witek, 2012; Pastuszek, dane niepublikowane.



**Redukcja znormalizowanych ładunków azotu całkowitego (TN) i fosforu całkowitego (TP) zrzucanych przez Wisłę, Odrę, oraz rzeki Przymorza w okresie transformacji (1988-2013); uwzględniono retencję TN, TP w estuarium Odry**

<b>Specyfikacja</b>	<b>Redukcja TN [tony]</b>	<b>Redukcja TP [tony]</b>
<b>Basen Wisły; okres transformacji (1988-2013); ładunki znormalizowane (Pastuszek i in., praca złożona do druku)</b>	<b>47 000 (o 37%)</b>	<b>2 950 (o 37%)</b>
<b>Basen Odry; okres transformacji (1988-2013) ładunki znormalizowane (Pastuszek i in., praca złożona do druku)</b>	<b>32 000 (o 40%)</b>	<b>5 100 (o 61%)</b> odniesione do roku 2013
<b>Rzeki Przymorza (oszacowane dla średnich znormalizowanych ładunków N, P w 2000-2013 r., przy założeniu, że średnie ładunki rzek Przymorza stanowią 13% sumarycznego średniego ładunku TN, oraz 10% sumarycznego ładunku TP Wisły i Odry w tych samych latach wnoszonych oraz przy założeniu średniej redukcji ładunku TN na poziomie 40% i TP na poziomie 54%) (Pastuszek i Witek, 2012a)</b>	<b>3 700</b>	<b>240</b>
<b>Estuarium Odry – redukcja oszacowana w oparciu o średni ładunki TN i TP dla okresu 2000-2013, przy 45% redukcji TN oraz 37% redukcji TP w estuarium (Pastuszek i Witek, 2012b)</b>	<b>25 000</b>	<b>1 150</b>
<b>Całkowita redukcja ładunków TN i TP zrzucanych przez polskie rzeki w odniesieniu do max. ładunków na przełomie lat 80. i 90.</b>	<b>107 747</b>	<b>9 440</b>



## BSAP i CART - Parametry brane po uwagę celem odtworzenia dobrego statusu ekologicznego środowiska morskiego do roku 2021

- Stężenia substancji biogenicznych zbliżone do stężeń naturalnych,
- Przezroczysta woda,
- Naturalny poziom zakwitów alg morskich,
- Naturalne rozmieszczenie i występowanie roślin zanurzonych i zwierząt,
- Naturalny poziom tlenu rozpuszczonego w wodzie.

Kraj	BSAP 2007 N (tony rok <sup>-1</sup> )	Ministers 2013 N (tony rok <sup>-1</sup> )	BSAP 2007 P (tony rok <sup>-1</sup> )	Ministers 2013 P (tony rok <sup>-1</sup> )
Dania	17,210	2,890	16	38
Niemcy	5,620	7,670	240	170
<b>Polska</b>	<b>62,400</b>	<b>43,610</b>	<b>8,760</b>	<b>7,480</b>
Litwa	11,750	8,970	880	1,470
Łotwa	2,560	1,670	300	220
Estonia	900	1,800	220	320
Rosja	6,970	10,380	2,500	3,790
Finlandia	1,200	3,030	150	356
Szwecja	20,780	9,240	290	530
Suma	133,170	89,260	15,016	14,374

HELCOM, 2013



TN znormalizowane HELCOM (PLC-5) lata 1997-2003 – 187 693 t – różnica 11 985 t

max. różnica 41 000 ton

## TN – znormalizowane dla lat 1997-2003 (dane MIR)

Wisła Odra rz. Przymorza (13%)

97 800 t + 57 694 t + 20 214 t = 175 708 t – 43 610 t (CART) = 132 098 t

97 800 t + 57 694 t = 155 494 t - 37 941 t (CART pomniejszony o rzeki Przymorza) = 117 553 t

72 883 t

44 670 t

Wisła 34 km<sup>3</sup>  
2.14 mgNdm<sup>-3</sup>

Odra 16.7 km<sup>3</sup>  
2.67 mgNdm<sup>-3</sup>

W tym 5669 ton na rzeki Przymorza

TP znormalizowane HELCOM (PLC-5) 1997-2003 - 11 892 ton

## TP – znormalizowane dla lat 1997-2003 (dane MIR)

Wisła Odra rz. Przymorza (10%)

6 497 t + 4 092 t + 1 059 t = 11 648 t – 7 480 t (CART) = 4 168 t

6 497 t + 4 092 t = 10 648 t - 6800 t (CART pomniejszony o rzeki Przymorza) = 3 848 t

2501 t

1 347 t

Wisła 34 km<sup>3</sup>  
0.07 mgPdm<sup>-3</sup>

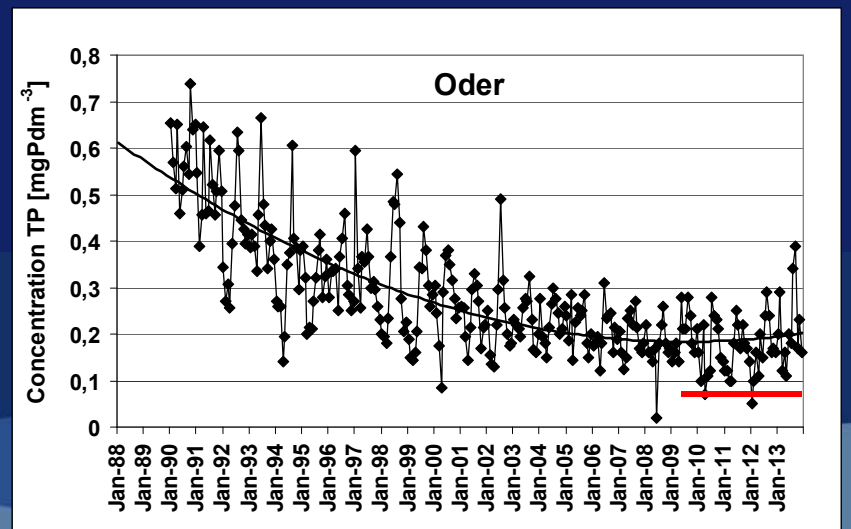
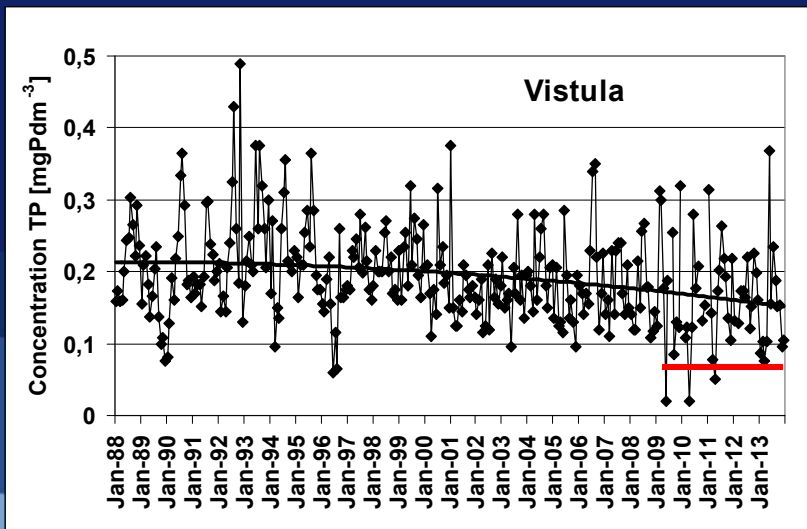
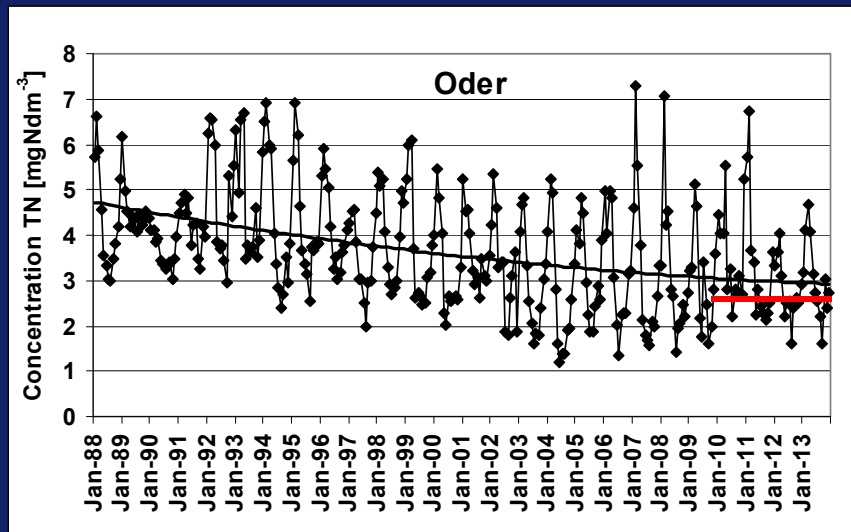
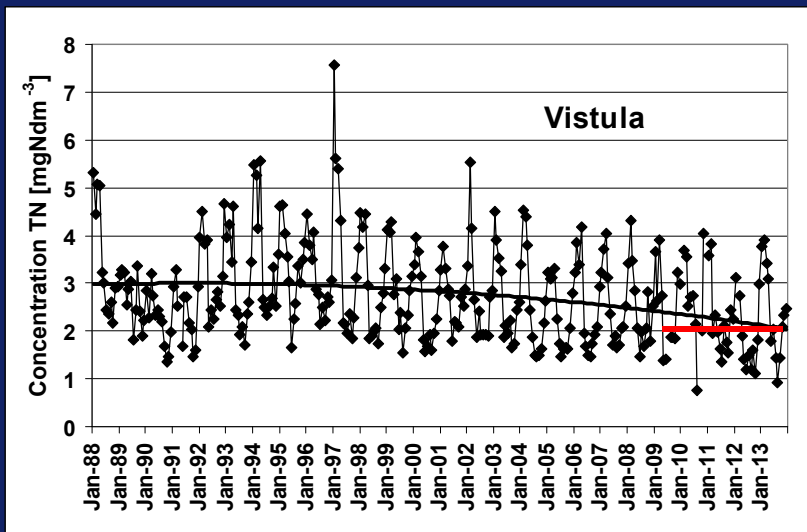
16.7 km<sup>3</sup> Odra  
0.08 mgPdm<sup>-3</sup>

W tym 680 ton na rzeki Przymorza

To są obecne stężenia DIP



# Stężenia TN i TP w Wiśle i Odrze przy teoretycznym wprowadzeniu BSAP



TN w rzekach Europy Zachodniej - 5-8 mg N dm<sup>-3</sup>  
 TN w 4 dużych rzekach USA – 3.75-4.79 mg N dm<sup>-3</sup>

TP w 4 dużych rzekach USA – 0.20-0.31 mg P dm<sup>-3</sup>

## Ładunki TP – Wisła, Odra (znormalizowane), rz. Przymorza (szacunkowe)

Znormalizowane ładunki TP odprowadzone do Bałtyku – średnia dla lat 1997-2003

Wisła      Odra      rz. Przymorza

TP 6 497 t + 4 092 t + 1 059 t = 11 648

Ładunki TP – średnia dla lat 2011-2013 = 9 028 t + 900 t rz. P = 9 928 t

11 648 t – 9 928 t = 1 720 t

1 720 t – zredukowaliśmy TP w stosunku do okresu odniesienia (1997-2003)

7 480 t – wymóg redukcji ładunku TP wg. CART

5 760 t – pozostało do zredukowania TP

Sumaryczne ładunki PO4-P - Wisła + Odra + rz. Przymorza - średnia dla lat 2011-2013

2 883 t + 288 t rz. P = 3 171 t

Nawet super nowoczesne oczyszczalnie nie mają 100% wydajności usuwania P





## Wnioski:

- 1) Zrozumienie problemu eutrofizacji wód Bałtyku wymaga podejścia holistycznego, uwzględniającego wszystkie siły sprawcze, lokalne i wielkoskalowe, oddziałujące na funkcjonowanie ekosystemu Bałtyku.
- 2) W okresie 1988-2013 roczne ładunki znormalizowane wnoszone polskimi rzekami (plus retencja w estuarium Odry) spadły o ok. 107 000 ton TN i ok. 9 000 ton TP.
- 3) W okresie 1988-2013 ładunki znormalizowane w Wiśle spadły o: TN ~ 47 000 ton (37%) , TP 2 950 ton (37%); w Odrze - TN 32 000 ton (40%), TP 5 100 ton (61%).
- 4) Ładunek znormalizowany TP dla okresu referencyjnego 1997-2003 = 11 648 ton. Redukcja polskiego ładunku TP o 7 480 (HELCOM –CART) oznacza zejście z ładunkami TP do poziomu 4 168 ton, a to oznacza zredukowanie stężeń TP w Wiśle i Odrze do nierealnie niskiego poziomu 0.07-0.08 mg dm<sup>-3</sup>. To wyliczone szacunkowe stężenie obejmuje naturalne tło, odpływ trans-graniczny, źródła punktowe, odpływ obszarowy. Bezkrytyczna realizacja zawyżonej alokacji redukcji ładunku TP (HELCOM-CART) będzie mieć bardzo poważne konsekwencje dla polskiego rolnictwa, a cel i tak nie zostanie osiągnięty bo założenia są irracjonalne.
- 5) Znormalizowany średni ładunek TN, policzony przez HELCOM (PLC-5) dla lat 1997-2003, jest wyższy o ca. 12 000 ton od wartości polskiej dla tego samego przedziału czasowego. Różnica ład. TN w poszczególnych latach sięga 41 000 ton. W interesie Polski jest wyjaśnienie przyczyny tych różnic.



## Wnioski:

- 6) Kluczową kwestią jest zapewnienie udziału naukowców z Polski w grupach roboczych i warsztatach modelowych, na których powstają naukowe podstawy polityki HELCOM, wcielane w życie w formie np. BSAP, CART. Wnoszenie uwag do gotowych dokumentów nie zapewnia takiego wpływu na ich ostateczny kształt, jak jest to możliwe w przypadku uczestnictwa na kolejnych etapach ich tworzenia.
- 7) Monitoring rzek, w tym przypadku chemiczny, ma olbrzymią wartość, bowiem stanowi niepodważalne źródło danych potrzebnych nie tylko do wyznaczenia ładunków, ale także do kalibracji modeli matematycznych. W żywotnym interesie Polski jest zwiększenie częstotliwości pomiarów stężeń substancji biogennych w Krajniku Dolnym i Kiezmarku do minimum 2 razy w miesiącu (dodatkowe koszty oznaczenia tych parametrów byłyby symboliczne).



*Dziękuję za uwagę !*

