



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE



Projekt BONUS Soils2Sea *od mechaniki płynów do socjologii*

Reducing nutrient loadings from agricultural soils to
the Baltic Sea via groundwater and streams



Seminarium WFiIS
27 listopada 2015

WYKONAWCY PROJEKTU

Zespół Fizyki Środowiska WFiIS

Prof. Kazimierz Różański
Dr Przemysław Wachniew
Mgr Damian Zięba (dokt.)

Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej WGGiOŚ

Prof. Stanisław Witczak
Prof. Grzegorz Malina
Dr Anna Żurek
Dr Jarosław Kania
Mgr Dominika Bar-Michalczyk (dokt.)
Mgr Tomasz Michalczyk (dokt.)

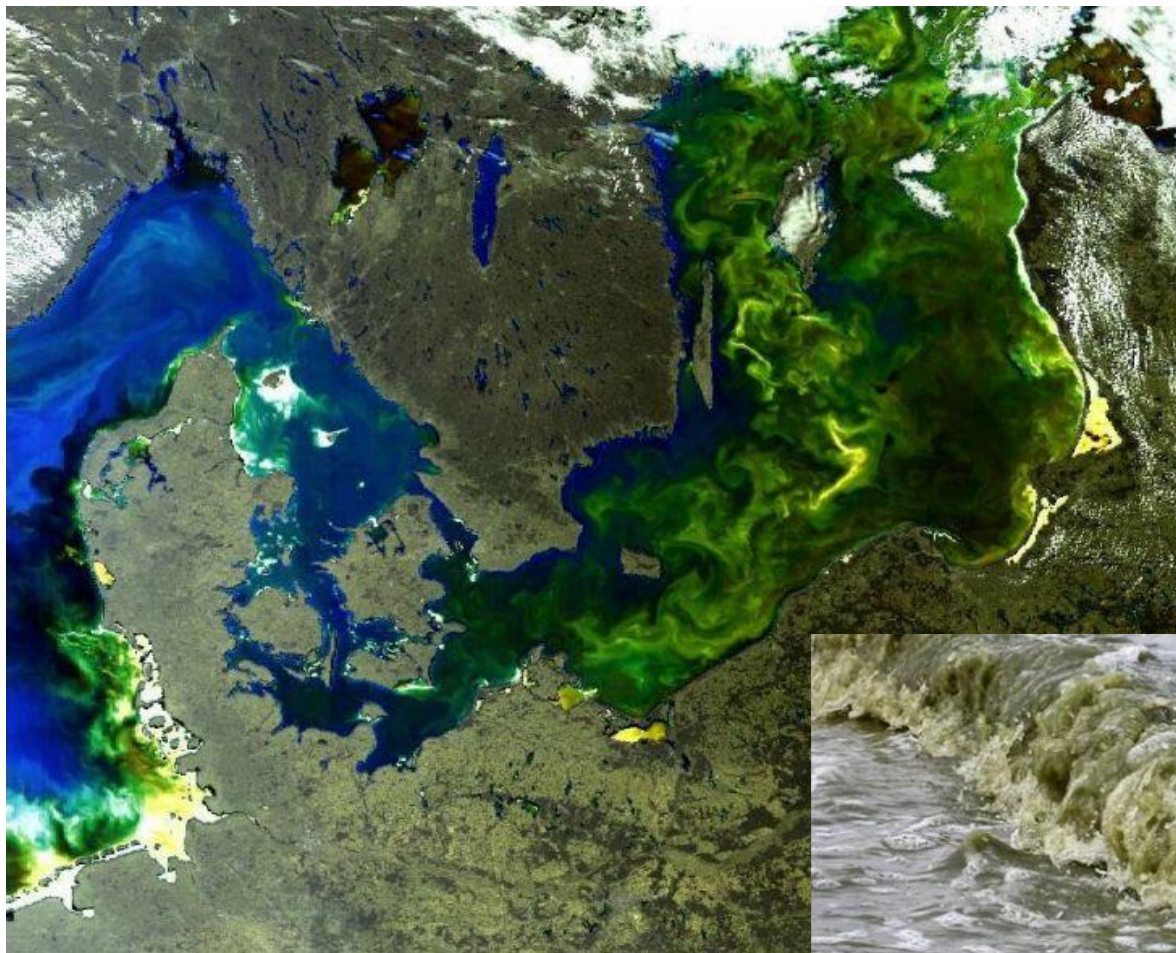
Magistranci: Marcin Jaszczur,
Wojciech Wrona, Martyna
Borusławska

Inżynieranci: Mateusz Greń,
Marcin Legierski, Edyta Mamełka

Magistranci: Marcin Dudzic, Dawid
Badylak i 9 innych

Inżynieranci: 10 osób

EUTROFIZACJA BAŁTYKU

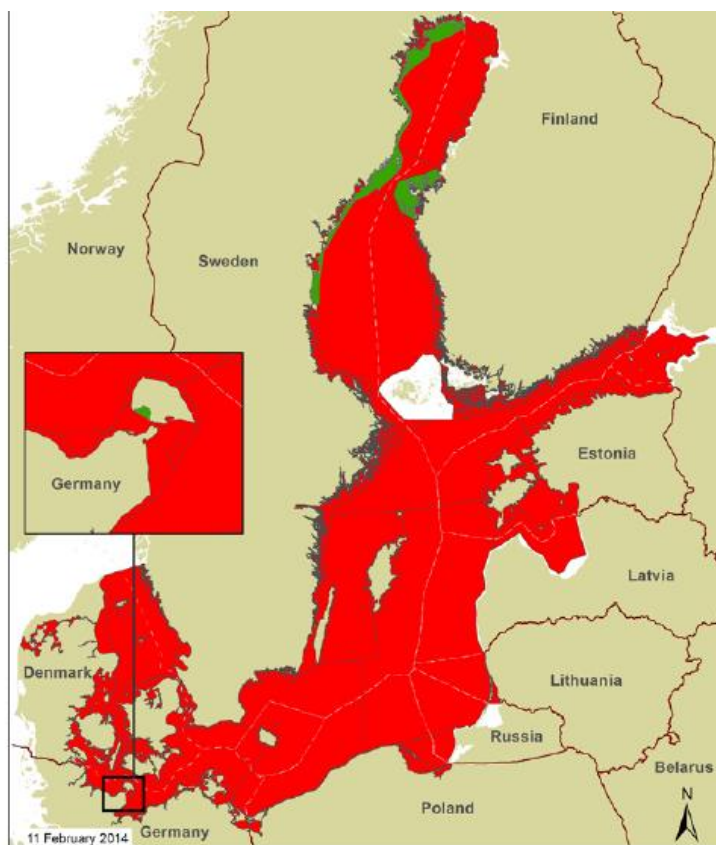


eutrofizacja [gr. eutrophía 'dobre odżywianie'], proces wzbogacania się zbiorników wodnych w substancje odżywcze — pierwiastki biogenne, głównie azot i fosfor, powodujący nadmierną produkcję biomasy glonów (co objawia się tzw. zakwitem glonów) prowadzący do eutrofizmu



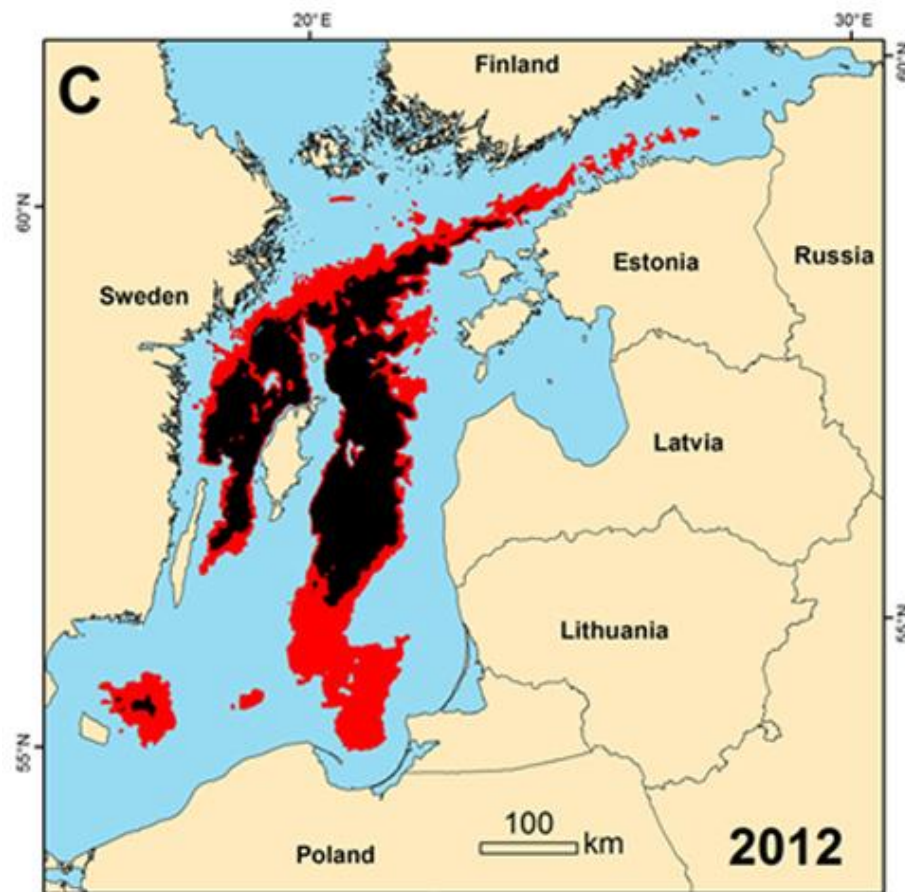
EUTROFIZACJA BAŁTYKU

Stopień eutrofizacji



HELCOM

Strefy martwe

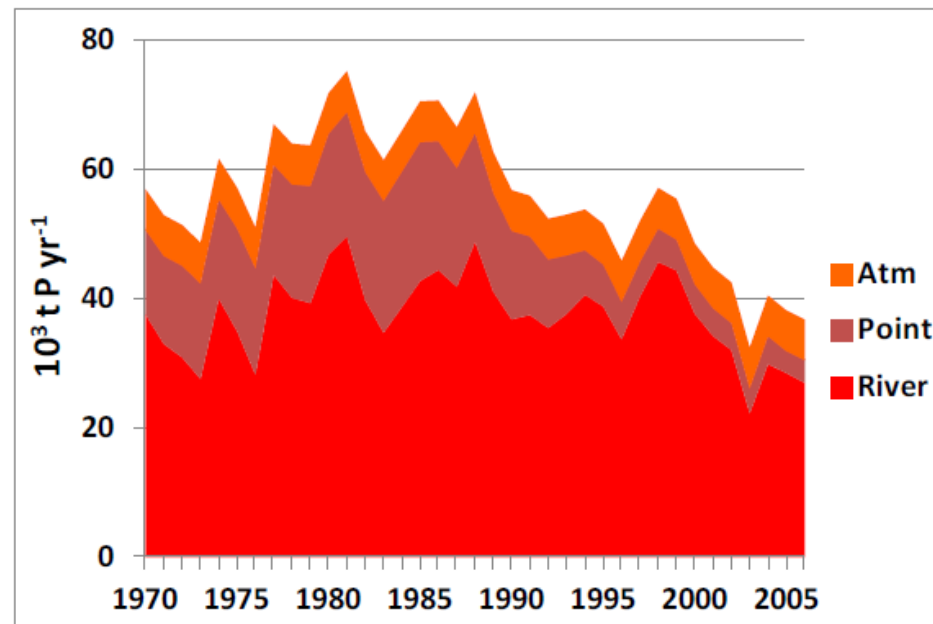
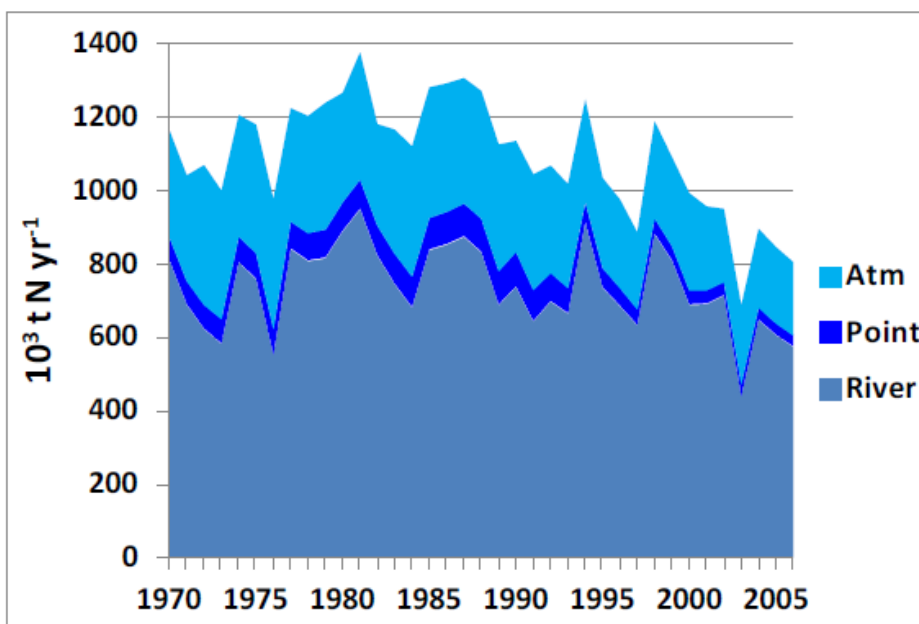


BALTIC NEST INSTITUTE

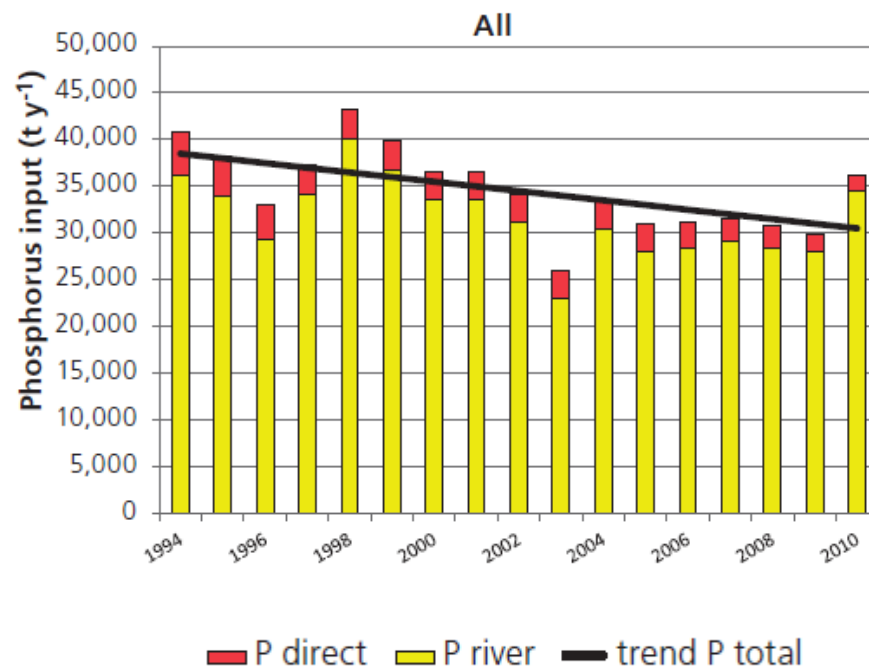
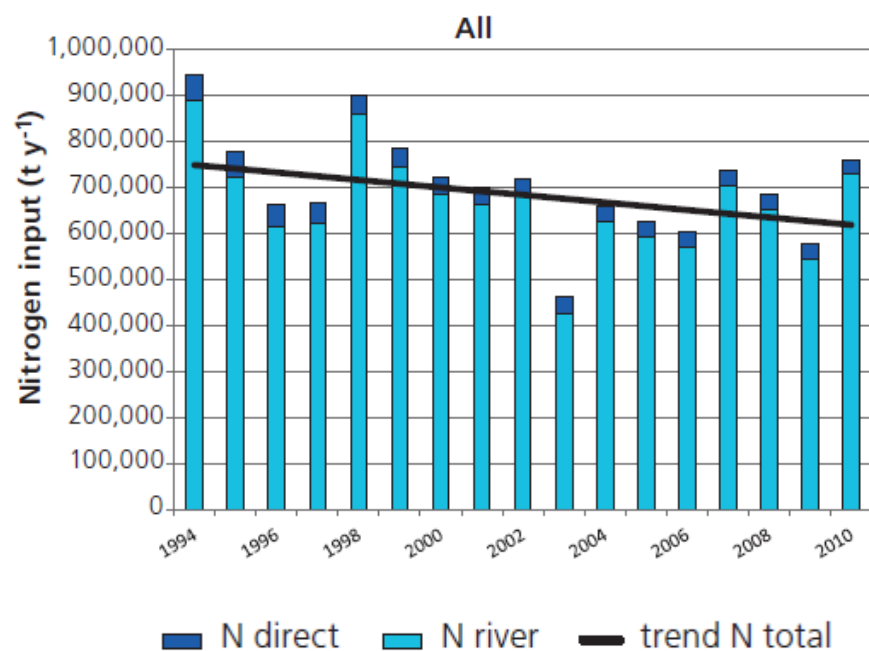
PRZYCZYNY EUTROFIZACJI BAŁTYKU

- Uwalnianie do wód powierzchniowych i podziemnych w zlewni Bałtyku (oraz do atmosfery) nadmiernych ilości azotu i fosforu pochodzących z:
 - rolnictwa (nawożenie, hodowla zwierząt)
 - ścieków bytowych (brak lub niewłaściwe oczyszczanie ścieków)
- Problem pogłębia się w związku ze zmianami klimatu
- Nawet przy zlikwidowaniu antropogenicznych emisji pierwiastków biogennych Bałtyk pozostałby eutroficzny przez następne 50 – 100 lat!

Ładunki N i P do Bałtyku

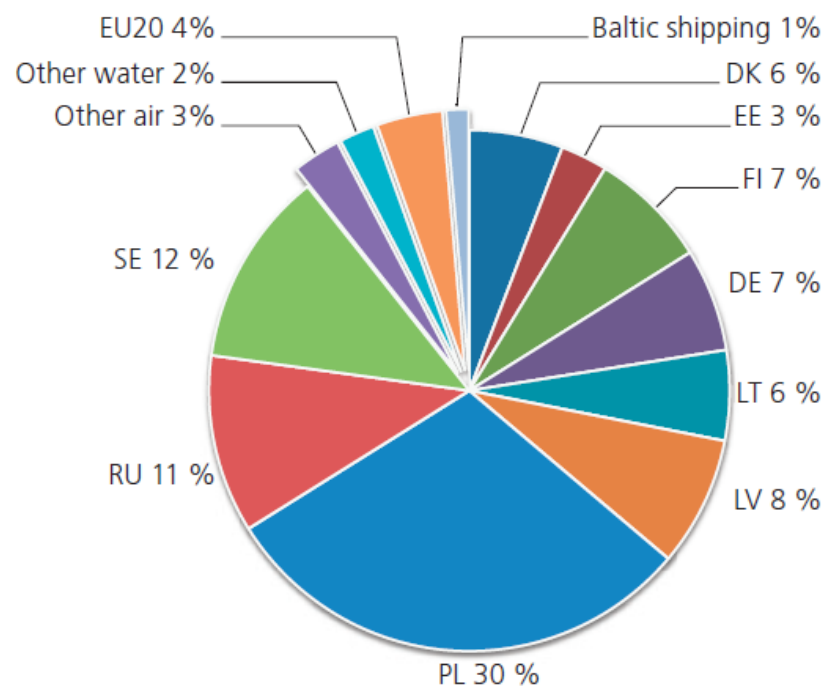


Ładunki N i P do Bałtyku

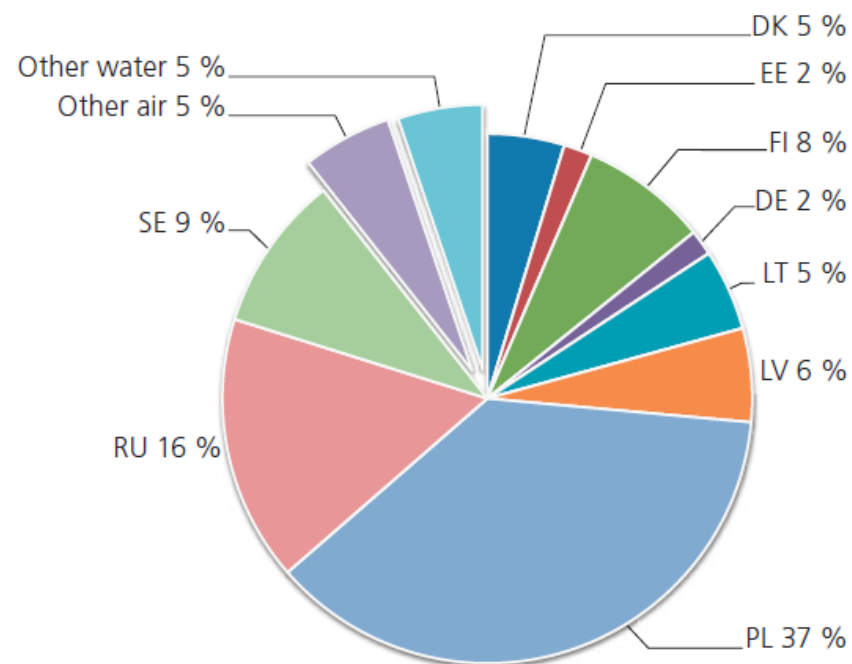


Cele projektu

Nitrogen (977,000 tonnes)



Phosphorus (38,300 tonnes)



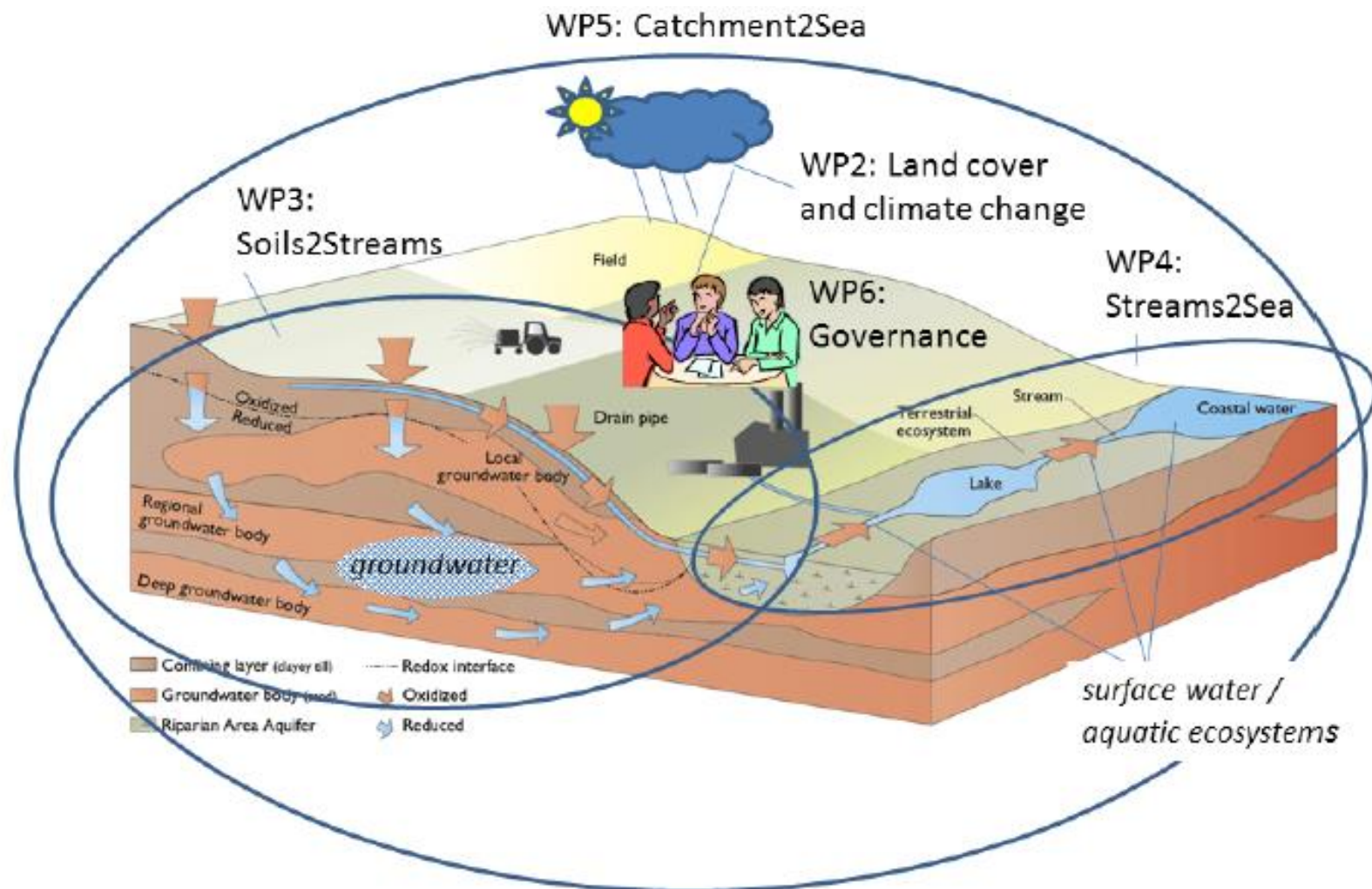
Akty prawne i międzynarodowe inicjatywy

- HELCOM - Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku powstała w roku 1974 w celu monitorowania i ochrony środowiska naturalnego Morza Bałtyckiego
- Bałtycki Plan Działania HELCOM (Baltic Sea Action Plan - BSAP) zakłada zdecydowane ograniczenie zanieczyszczeń Bałtyku oraz przywrócenie jego dobrego stanu ekologicznego do roku 2021.
- Ramowa Dyrektywa Wodna UE (WFD) koordynująca europejskie ustawodawstwo wodne ma na celu osiągnięcie dobrego stanu wód w UE, w tym przybrzeżnych wód Bałtyku
- BONUS - program badań (2011-2017) mający dostarczyć wiedzy wspierającej rozwój i wdrażanie regulacji, polityki środowiskowej i praktyk dla poprawy stanu Morza Bałtyckiego.

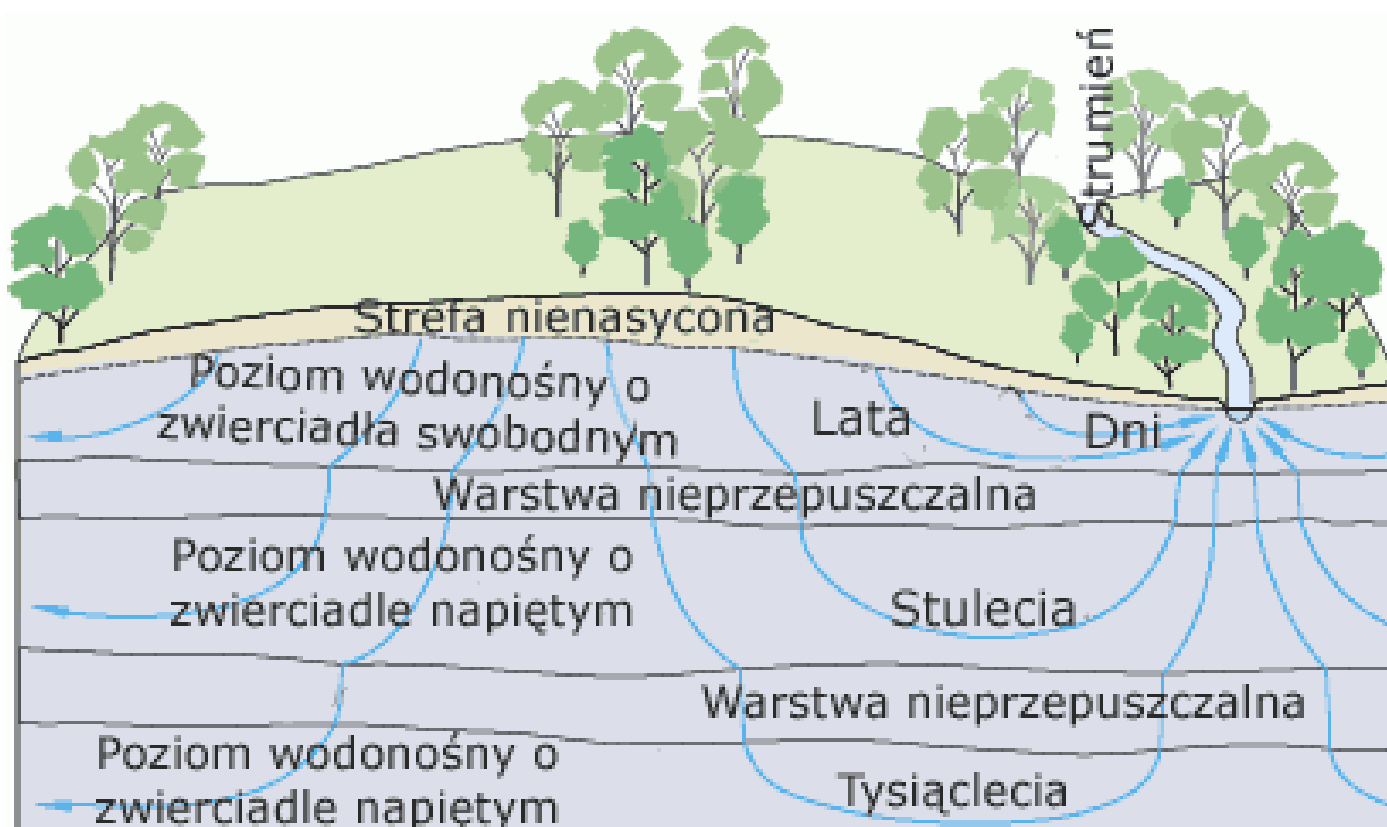
Tło projektu

- BSAP i WFD wymagają zmniejszenia ładunków N i P do Bałtyku.
- Podejmowane do tej pory, odnośnie rolnictwa, działania (np. ograniczenie dawek nawozów) nie przynoszą satysfakcjonujących rezultatów.
- Niezbędne jest zróżnicowanie działań ze względu na warunki glebowe i hydrologiczne, które wpływają na:
 - czas przepływu wód podziemnych do rzek,
 - intensywność procesów usuwania substancji biogennych.

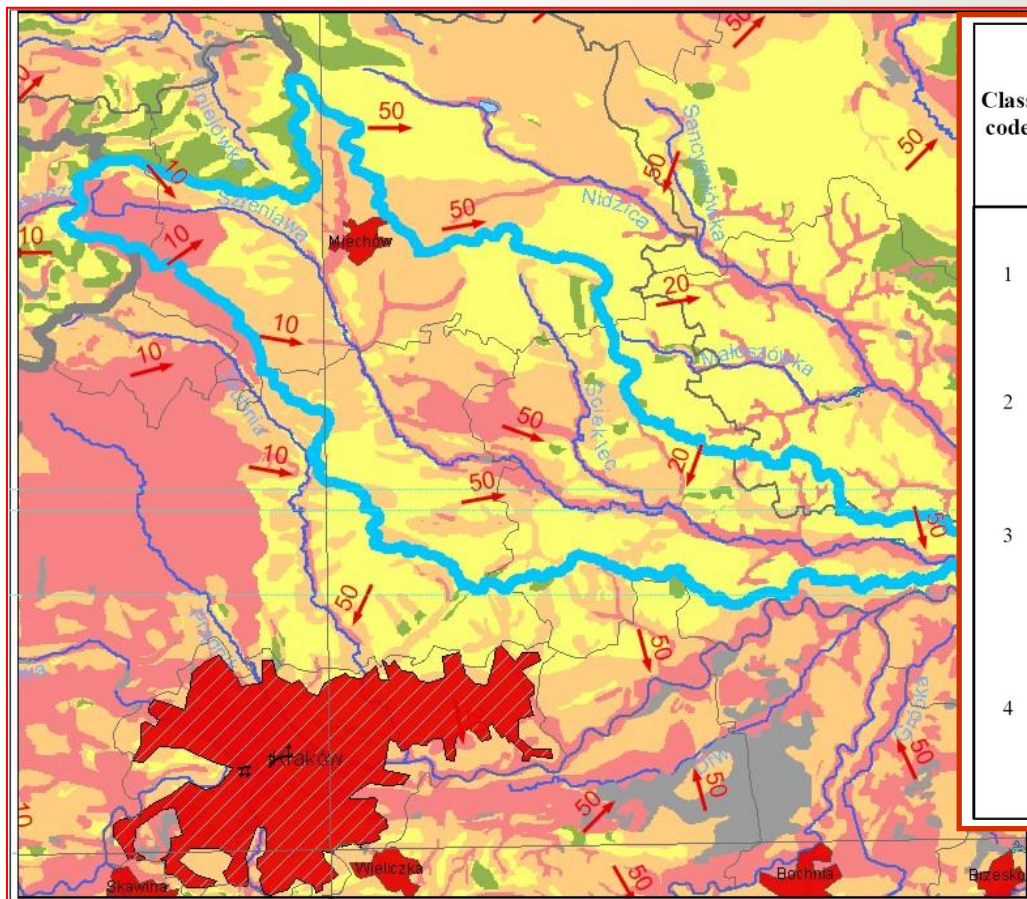
Pakiety robocze projektu



Skale czasowe przepływu wód podziemnych



Skale czasowe przepływu wód podziemnych



Class code	Color on the map	MRT estimated Mean Residence Time of water in vadose zone ^{b)} [years]	Groundwater vulnerability to pollution	Vulnerability characteristics ^{c)}
1		<5	very vulnerable	aquifer vulnerable to most water pollutants with rapid impact in many pollution scenarios
2		5 – 25	vulnerable	aquifer vulnerable to many pollutants, except those strongly absorbed or readily transformed
3		25 – 50	moderately vulnerable ^{d)}	aquifer vulnerable to some pollutants, but only when continuously discharged or leached
4		>50	low and very low vulnerable ^{d)}	aquifer only vulnerable to conservative pollutants in the long term when continuously and widely discharged or leached. Aquifer confining beds present with no significant vertical groundwater leakage

Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie (Witczak i inni, 2011)

Cele projektu

- Rezultatami projektu Soils2Sea mają być nowa wiedza i metody w zakresie:
 - intensywności usuwania N oraz opóźnień w jego transporcie związanych z przepływem wody pod powierzchnią gruntu – Soils2Streams,
 - skuteczności usuwania N i P w wodach powierzchniowych (spływ powierzchniowy, dreny, rzeki, mokradła, jeziora) – Streams2Sea,
 - przydatności hydrologicznych modeli zlewiska Bałtyku do określania wpływu podejmowanych działań (przestrzennie zróżnicowanych) na ładunki N i P do Bałtyku – Catchment2Sea,
 - metod zarządzania opartych o „zróżnicowane regulacje” działalności rolniczej wypracowanych z aktywnym udziałem interesariuszy.

Soils2Sea team

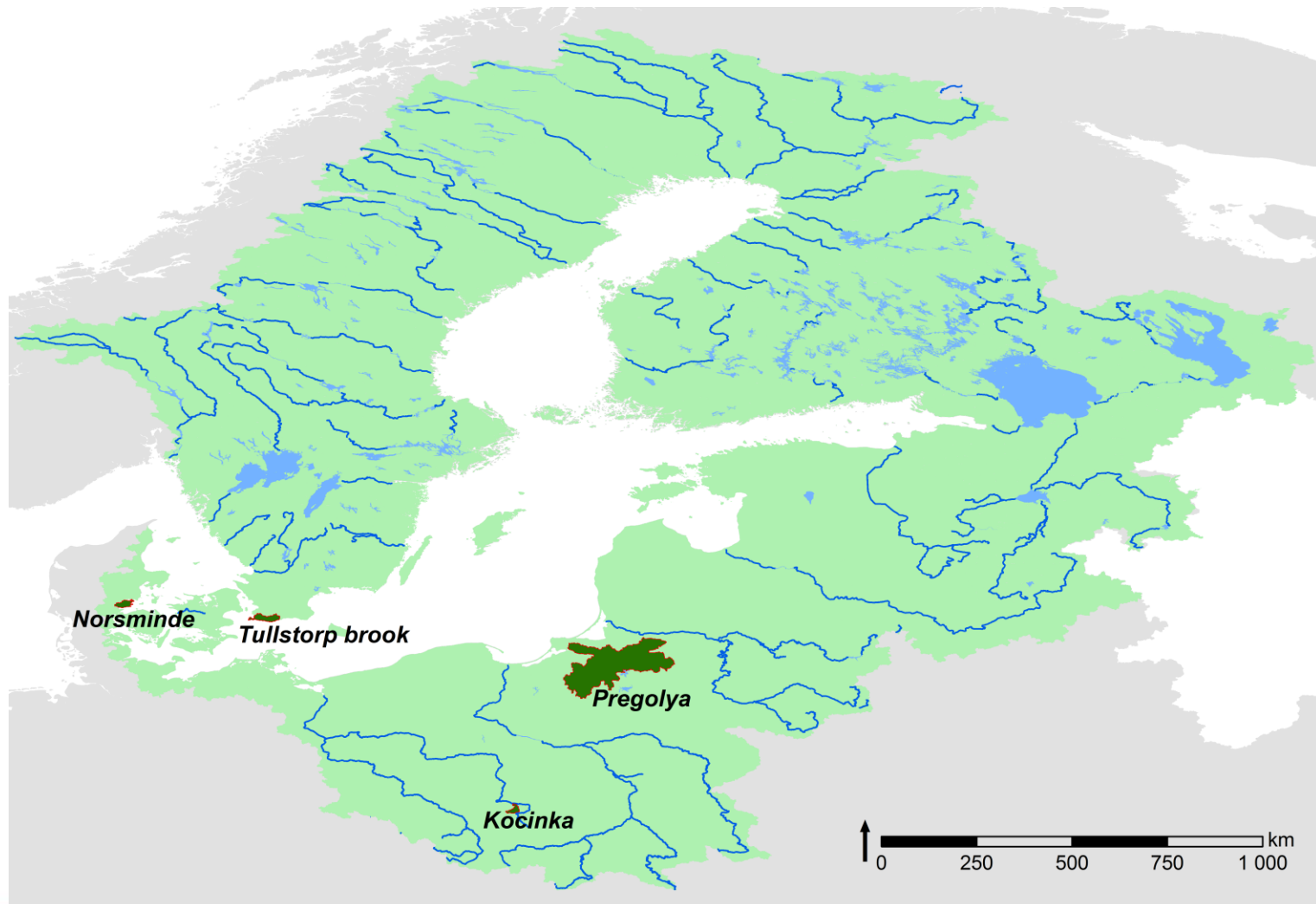
Multidisciplinary

- **Climate**
- **Agriculture**
- **Surface water**
- **Groundwater**
- **Policy and stakeholder processes**

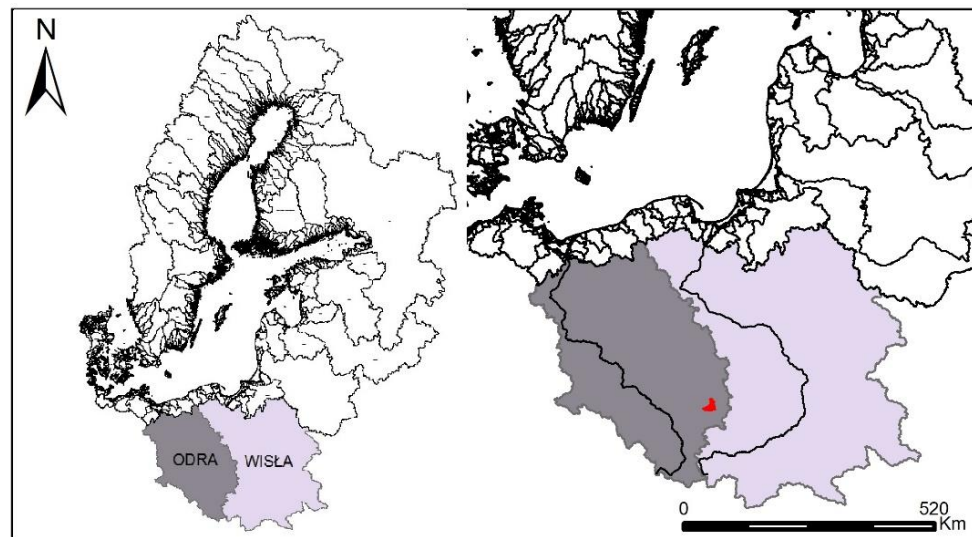
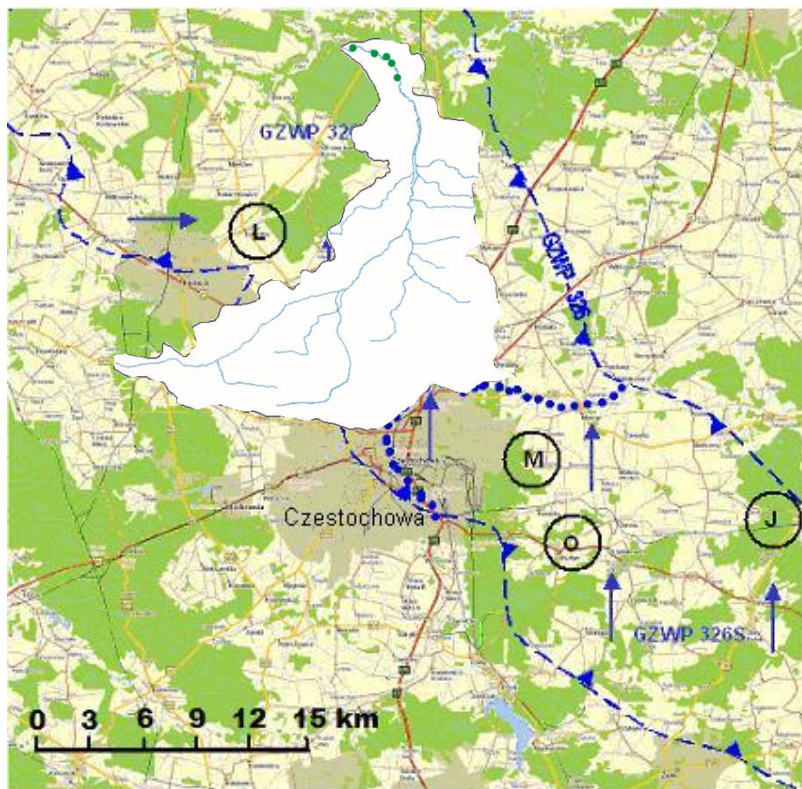


- GEUS, Geological Survey of Denmark and Greenland, Copenhagen, Denmark (GEUS - coordinator)
- Aarhus University, Denmark (AU)
- AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland (AGH)
- Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden (KTH)
- Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden (SMHI)
- ECOLOGIC Institute, Berlin, Germany (EI)
- Sorbisense A/S, Denmark (SOR)
- Atlantic Branch of P.P.Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia (ABIORAS)

Case study areas



Zlewnia Kocinki



Główny Zbiornik Wód Podziemnych 325
częściowo zanieczyszczony azotanami

Kocinka

długość: 40.2 km
powierzchnia zlewni: 257.8 km²

uregulowana w górnej i środkowej części, intensywne rolnictwo



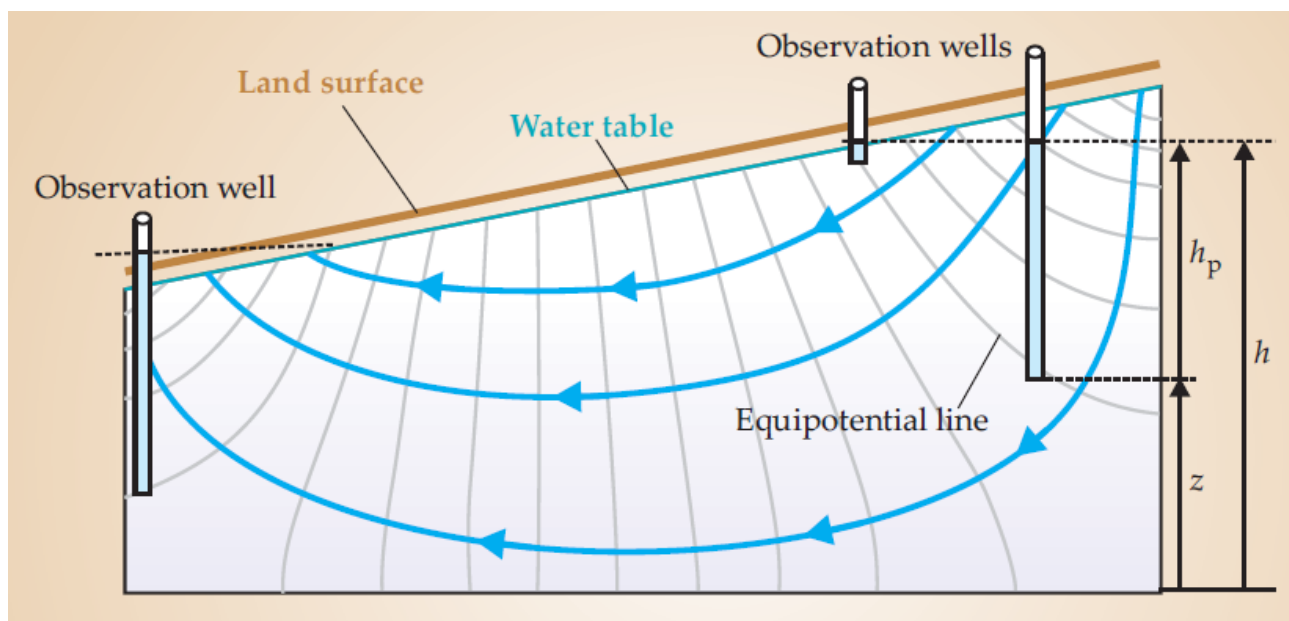
zbliżony do naturalnego charakter dolnej części

Czym zajmujemy się w projekcie?

1. Rozpoznaniem zlewni Kocinki pod względem rodzajów upraw, praktyk rolniczych, intensywności nawożenia, własności gleb, zmeliorowania, itp.
2. Rozwijaniem numerycznego modelu przepływu wód podziemnych i transportu w nich zanieczyszczeń uwzględniającego oddziaływania pomiędzy wodami podziemnymi i powierzchniowymi.
3. Określeniem wpływu wód podziemnych oraz procesów zachodzących w wodach i osadach Kocinki i jej dopływów na ładunki zanieczyszczeń odprowadzane do Warty.
4. Wykorzystaniem, w skali kraju, istniejących modeli (SWAT, HYPE, Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie) do przewidywania ładunków i opóźnień w transporcie N i P do Bałtyku.
5. Współpracą z oraz badaniem opinii interesariuszy (rolnicy, samorządy, wodociągi częstochowskie, wędkarze, ...)

Fizyka wód podziemnych

Przepływ wód podziemnych wywołany jest różnicą ciśnień (gradient ciśnienia).
Miarą ciśnienia jest wysokość hydrauliczna H .



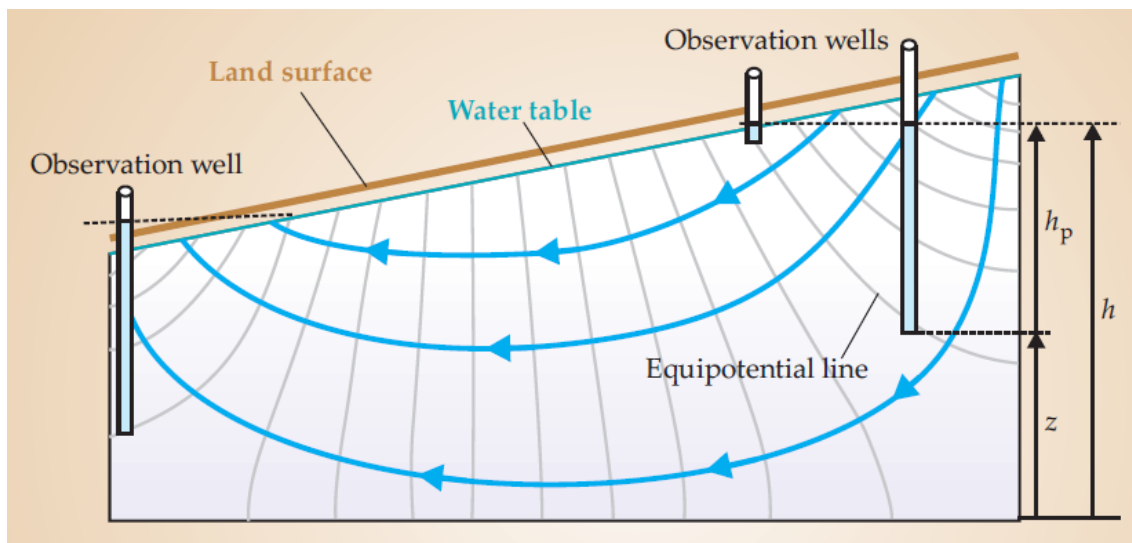
H – energia wody na jednostkowy ciężar

$$H = \frac{v^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho g}$$

$v < \text{m/dzień}$ więc:

$$H = z + \frac{p}{\rho g}$$

Fizyka wód podziemnych



$$H = z + \frac{p}{\rho g} = z + h_p$$

$$gH = g(z + h_p) = \Phi$$

$$\text{grad } \Phi = g \text{ grad } H$$

q – strumień wody przepływającej przez jednostkowy przekrój poprzeczny prostopadły do linii prądu (prędkość filtracji)

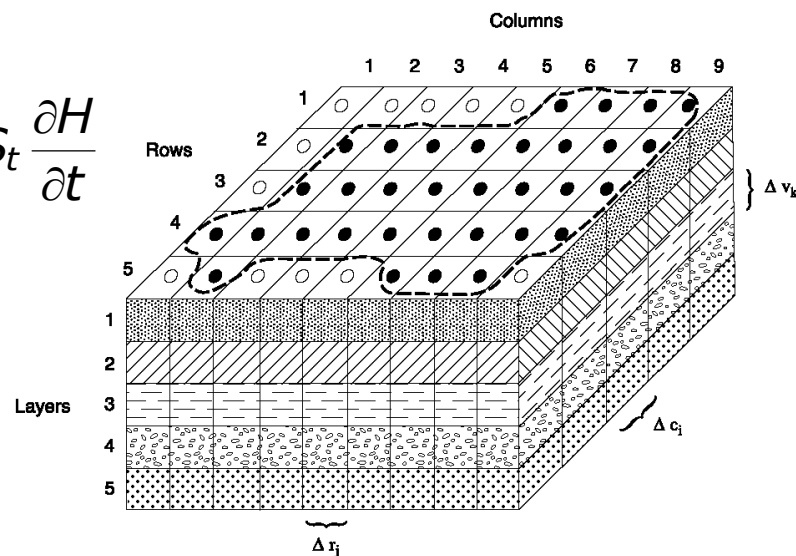
$$q = -K \text{ grad } H \quad K - \text{współczynnik filtracji [L/T]}$$

$$\mathbf{q} = -\mathbf{K} \nabla H \quad \text{Prawo Darcy'ego}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{K} \nabla H = S_t \frac{\partial H}{\partial t} \quad S_t - \text{pojemność wodna [-]}$$

MODFLOW!

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right] + W = S_t \frac{\partial H}{\partial t}$$



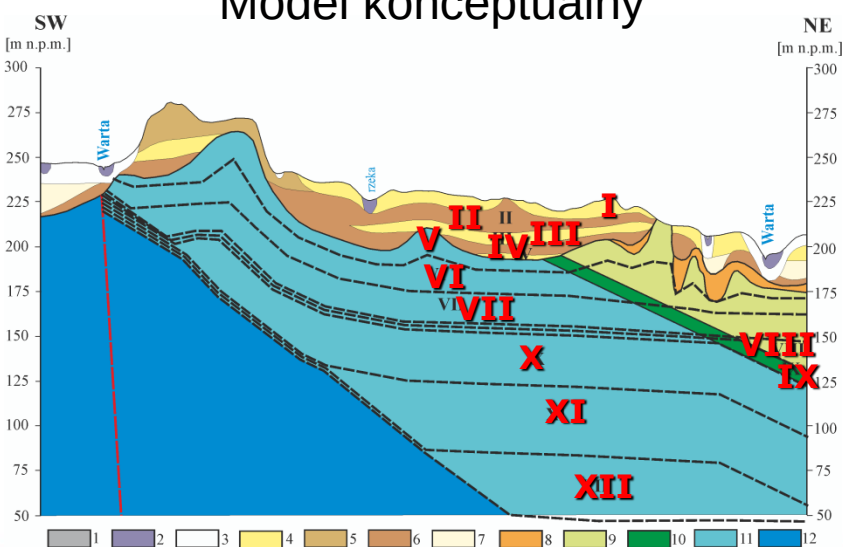
Model numeryczny GZWP 325

Visual MODFLOW v.4.3/v.4.6

- MODFLOW
- MT3D

3D – 12 warstw
powierzchnia: 951,5 km²
siatka: 100 m × 100 m

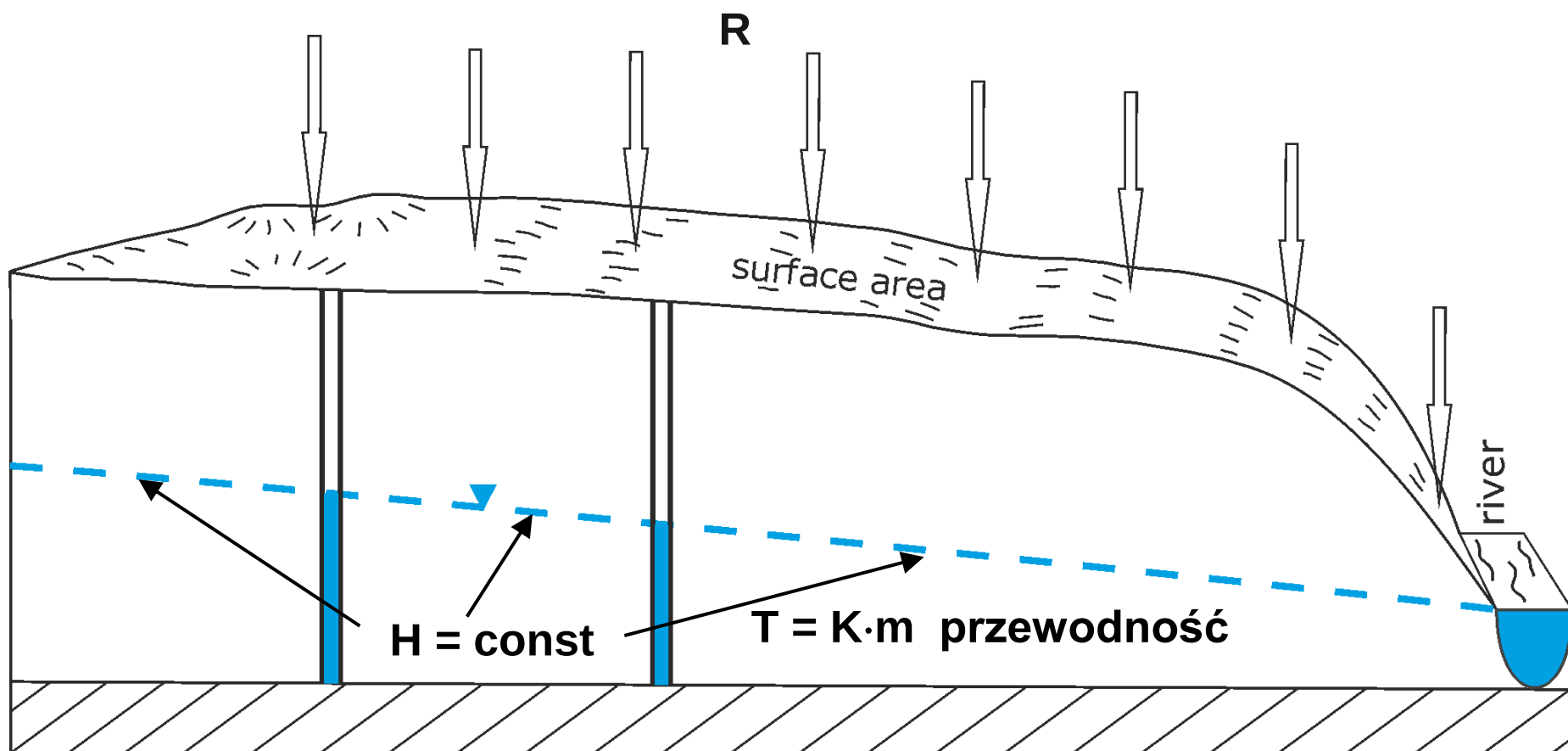
Model konceptualny



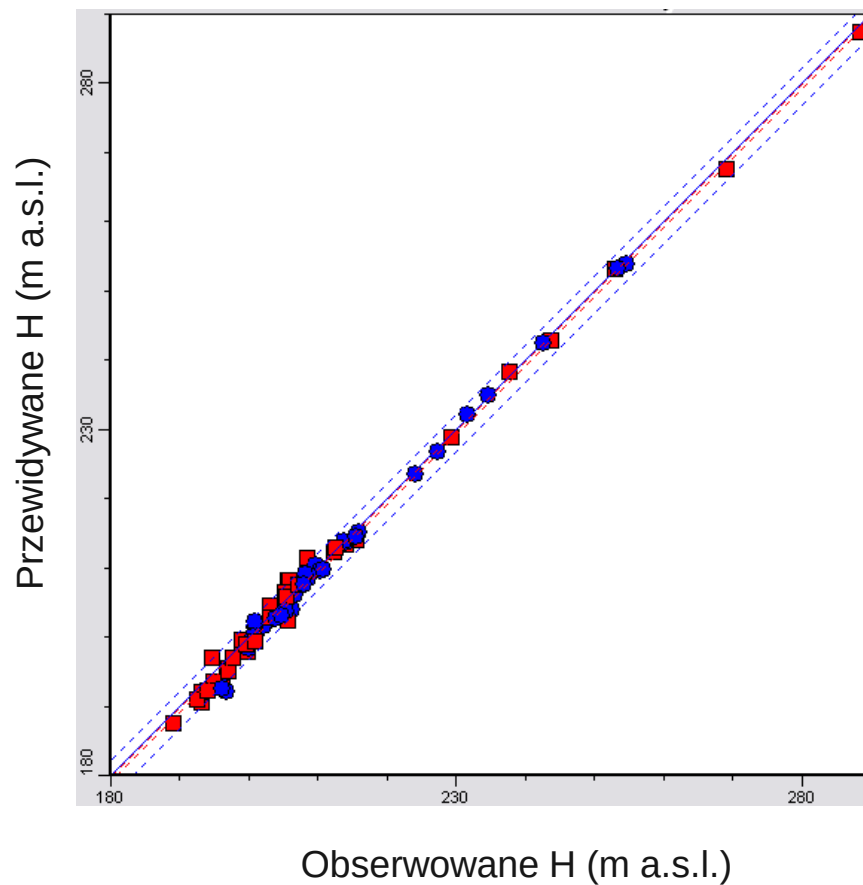
Kalibracja numerycznego modelu przepływu

Wolne parametry: zasilanie – R , współczynnik filtracji – K

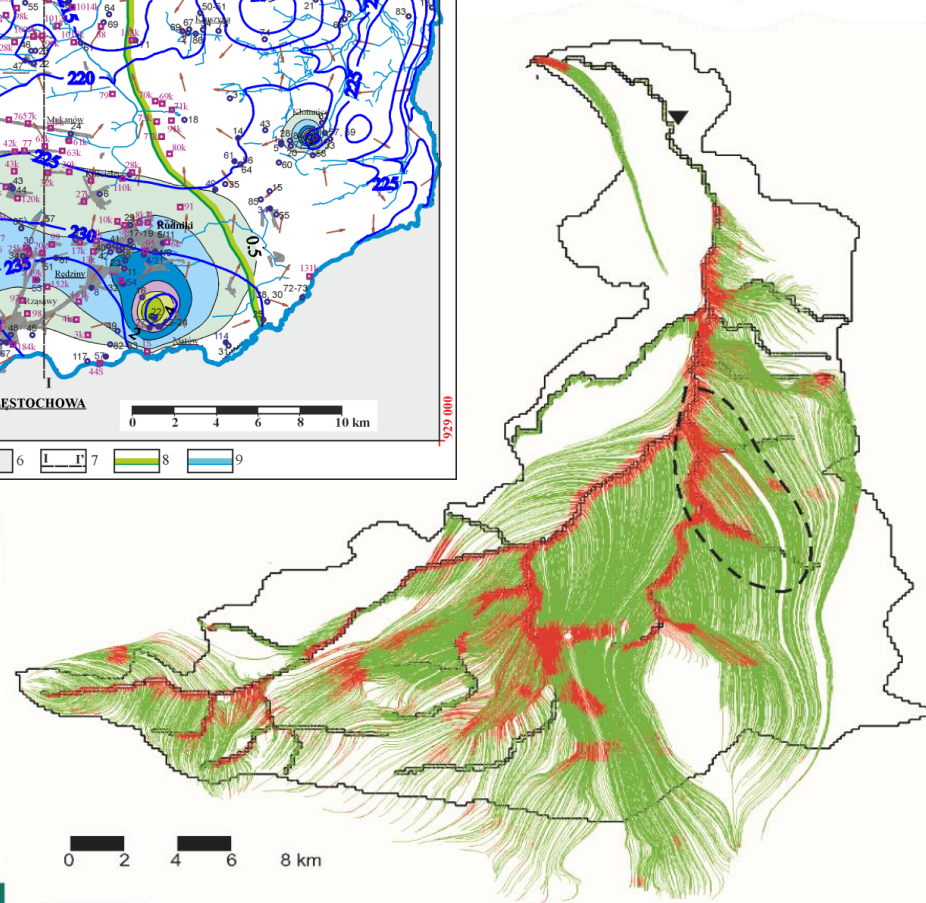
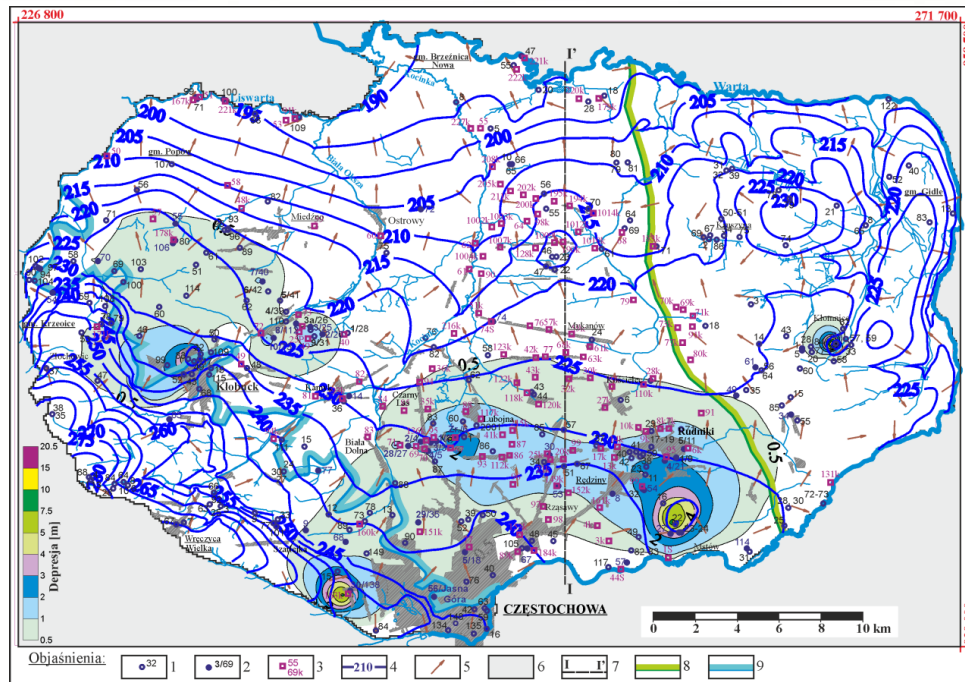
Kalibracja do obserwowanych wysokości hydraulicznych H



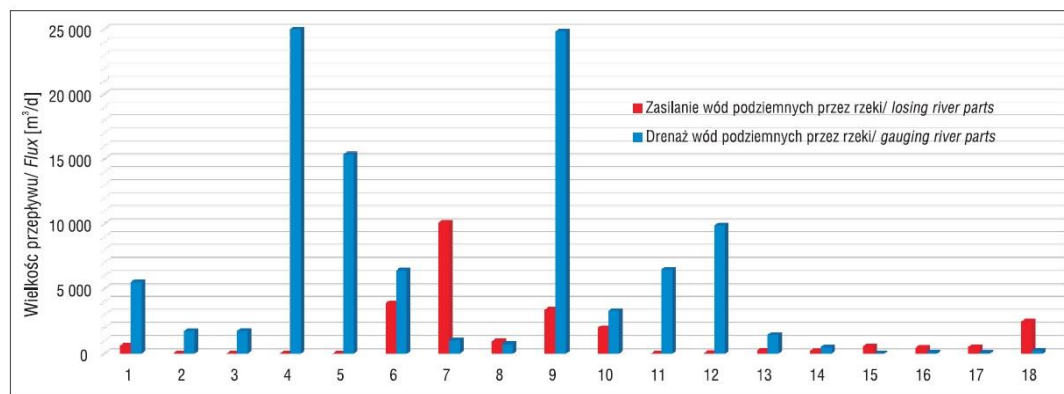
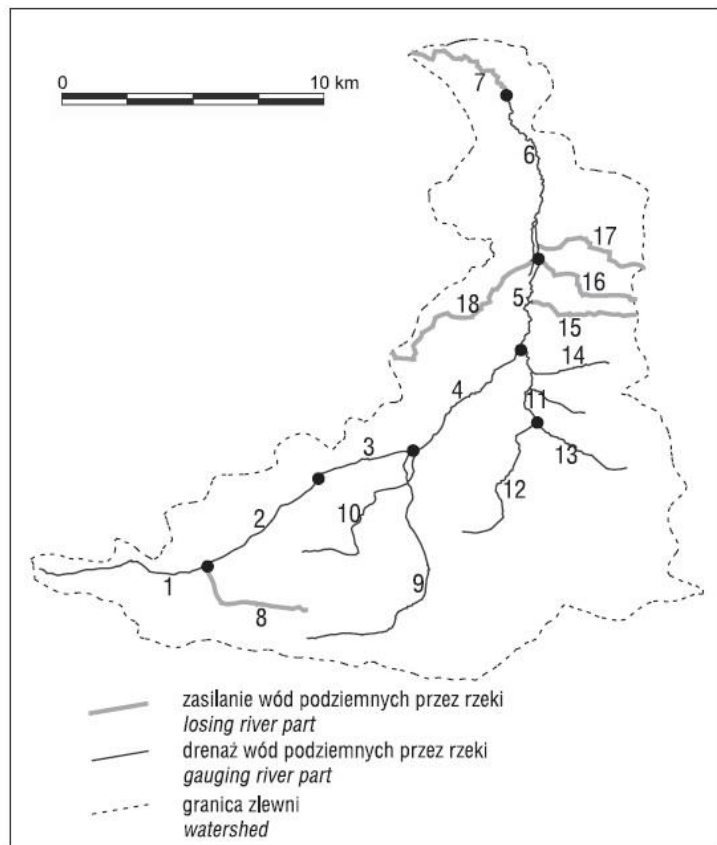
Kalibracja numerycznego modelu przepływu



Wyniki modelu – kierunki przepływu wód podziemnych

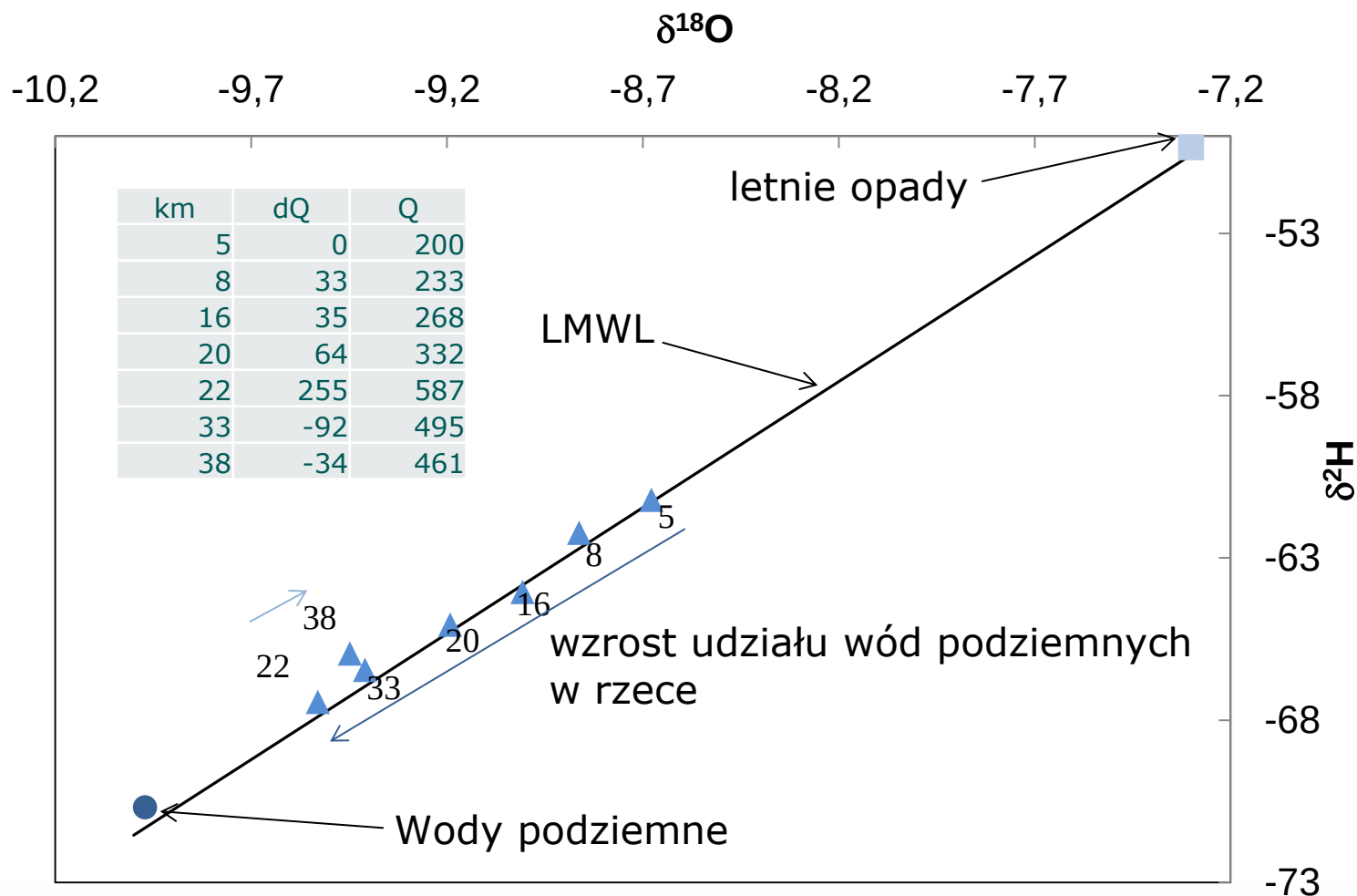


Wyniki modelu – interakcje wód podziemnych i powierzchniowych

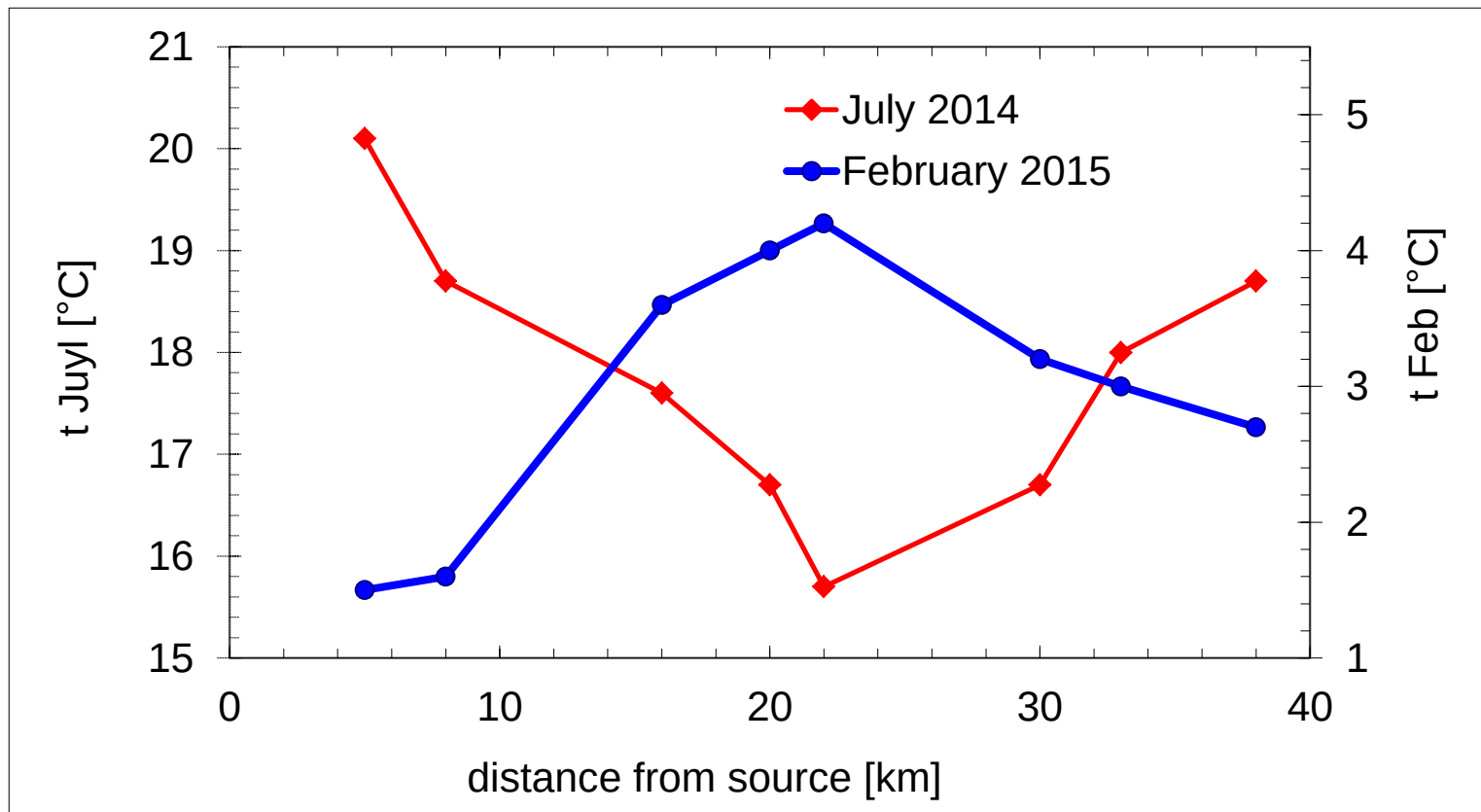


Potwierdzenie przewidywań modelu odnośnie dopływu wód podziemnych do rzeki

Zmienność składu izotopowego wody w Kocince (lipiec 2014)



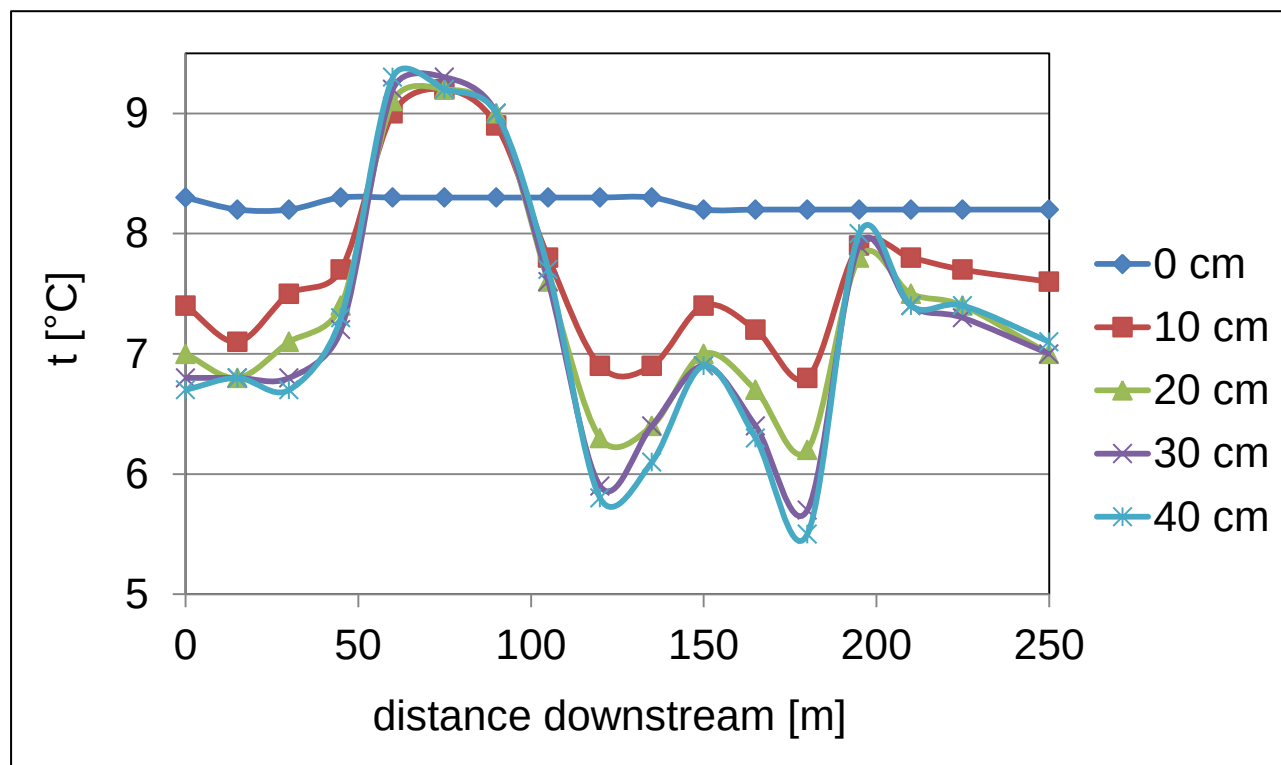
Potwierdzenie przewidywań modelu odnośnie dopływu wód podziemnych do rzeki



Temperatura wód podziemnych $\sim 9^{\circ}C$

Określenie lokalizacji dopływów wód podziemnych do rzeki

Profile temperatury w osadach dennych Kocinki (kwiecień 2015)

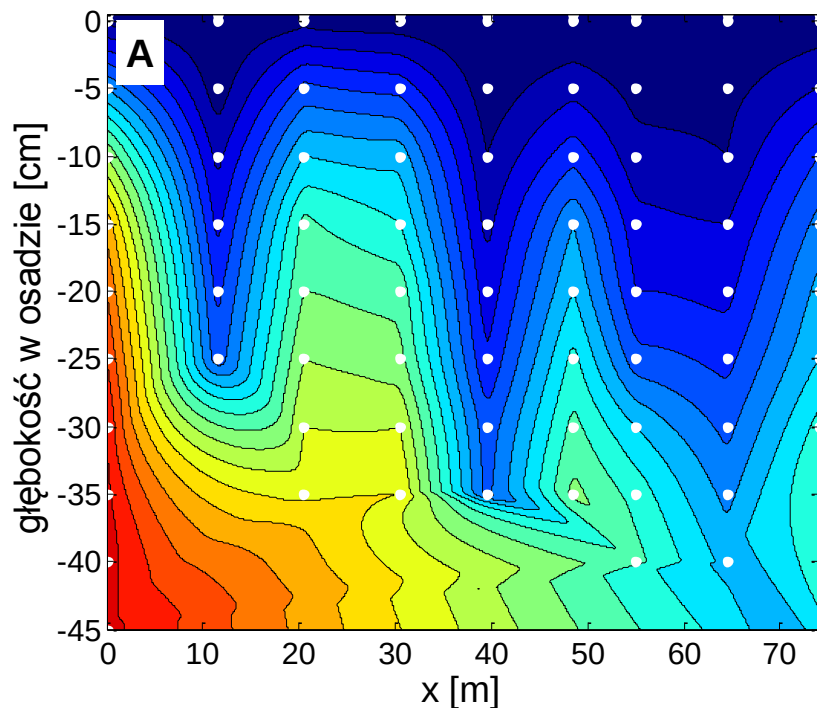


Temperatura wód podziemnych $\sim 9^{\circ}\text{C}$

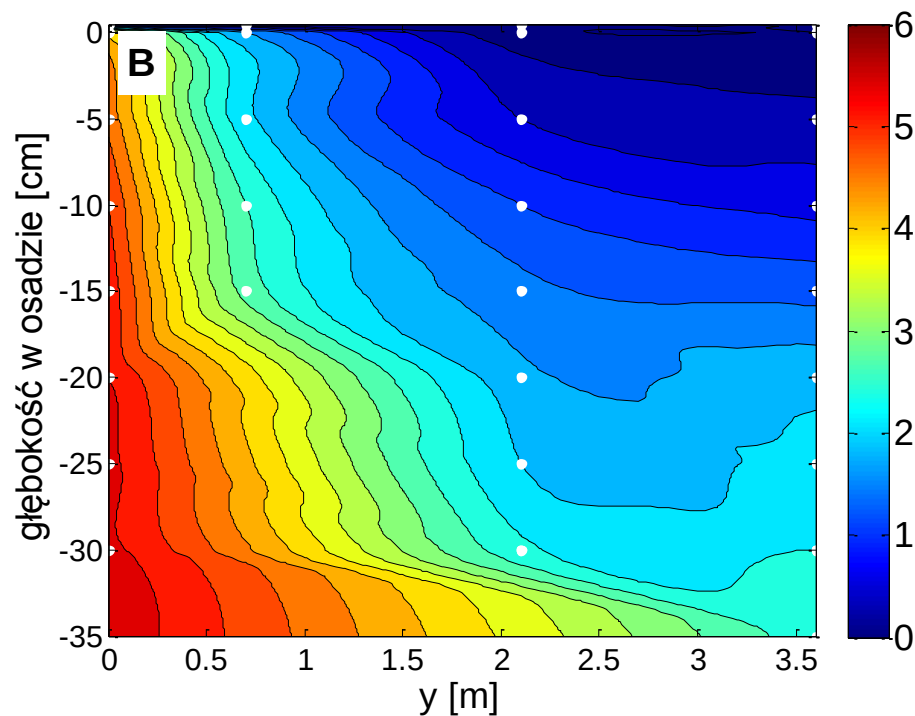
Określenie lokalizacji dopływów wód podziemnych do rzeki

Profile temperatury w osadach dennych Kocinki (kwiecień 2015)

podłużny



poprzeczny



Temperatura wód podziemnych $\sim 9^{\circ}\text{C}$

Bezpośrednie pomiary wysokości hydraulicznej w osadach dennych

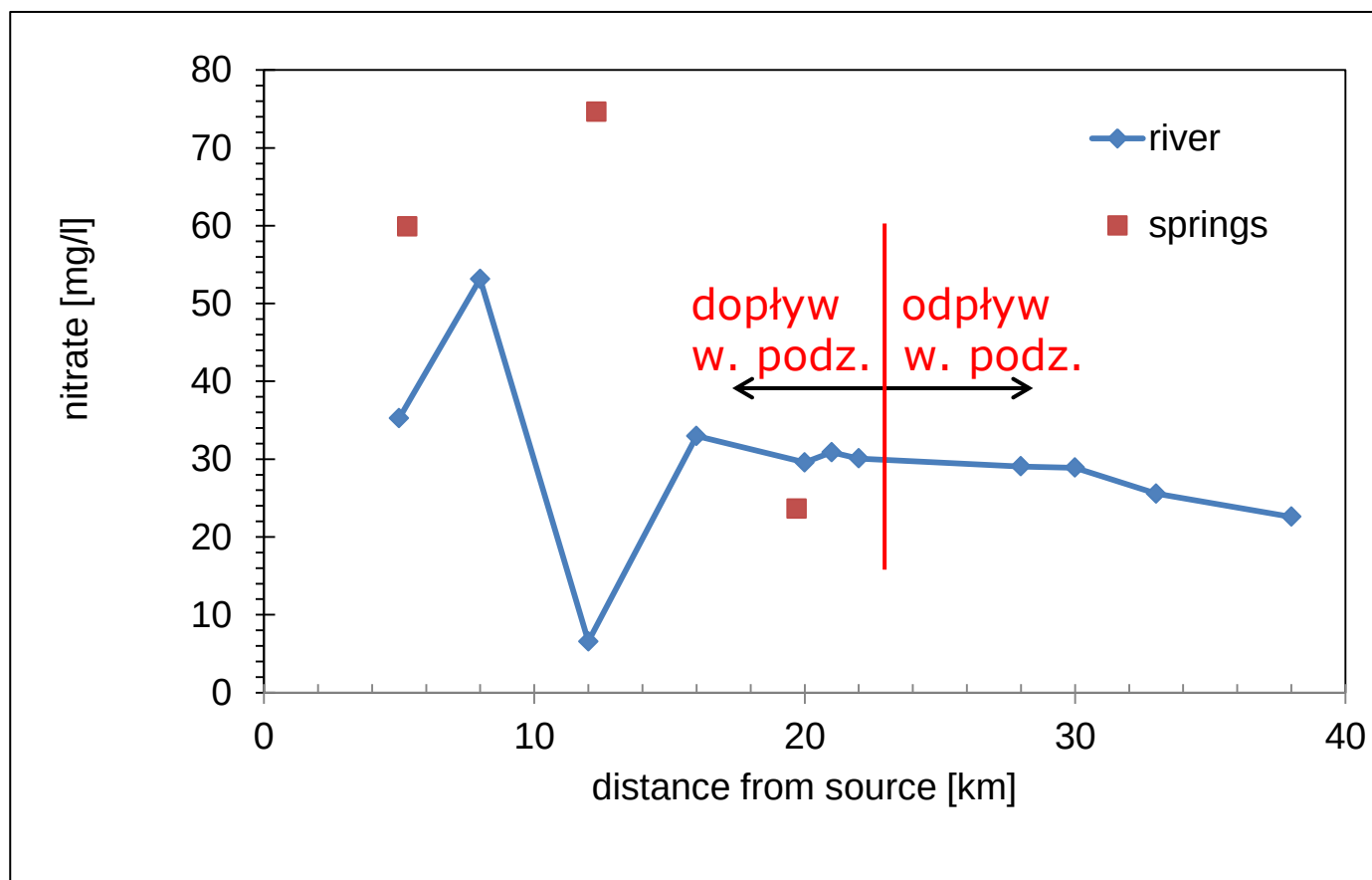


17.5 cm

Nadwyżka ciśnienia w osadach

Wpływ wód podziemnych na zawartość azotanów w Kocince

Zmienność stężenia azotanów wzdłuż rzeki (sierpień 2015)



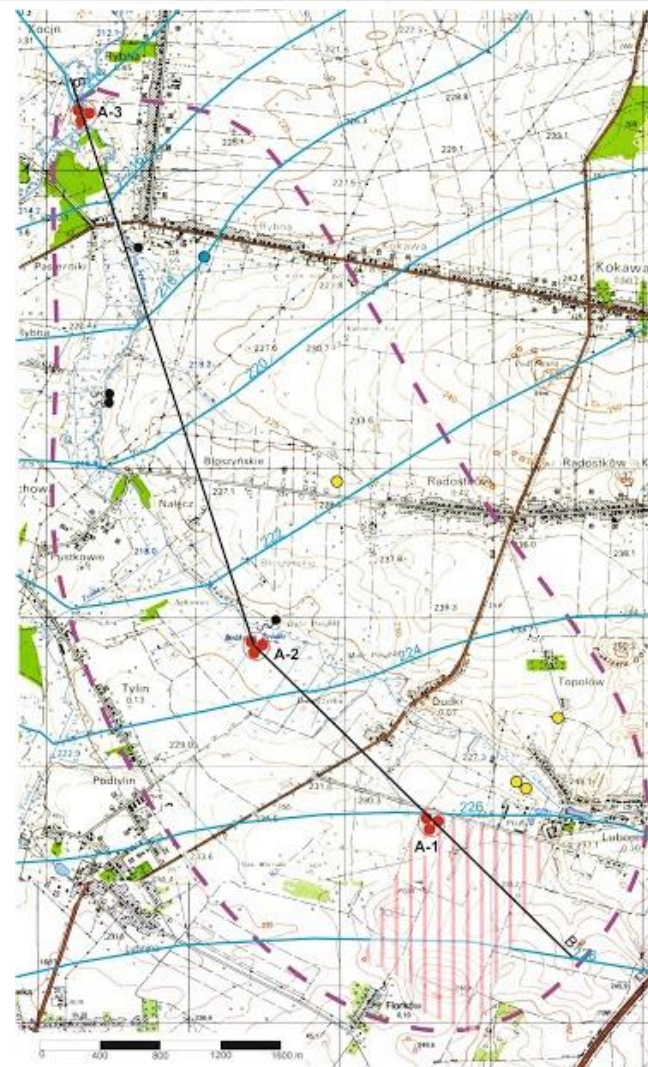
Pomiary hydrometryczne i testy znacznikowe

Wyznaczanie wielkości przepływu rzeki oraz czasowych i dyspersyjnych charakterystyk transportu zanieczyszczeń.
Test znacznikowy w Szwecji z użyciem: Rodaminy WT, ^3H , ^{32}P i ^{15}N .



„Hillslope experiment”

Obserwacje i modelowanie transportu azotanów pomiędzy obszarem intensywnie użytkowanym rolniczo i rzeką



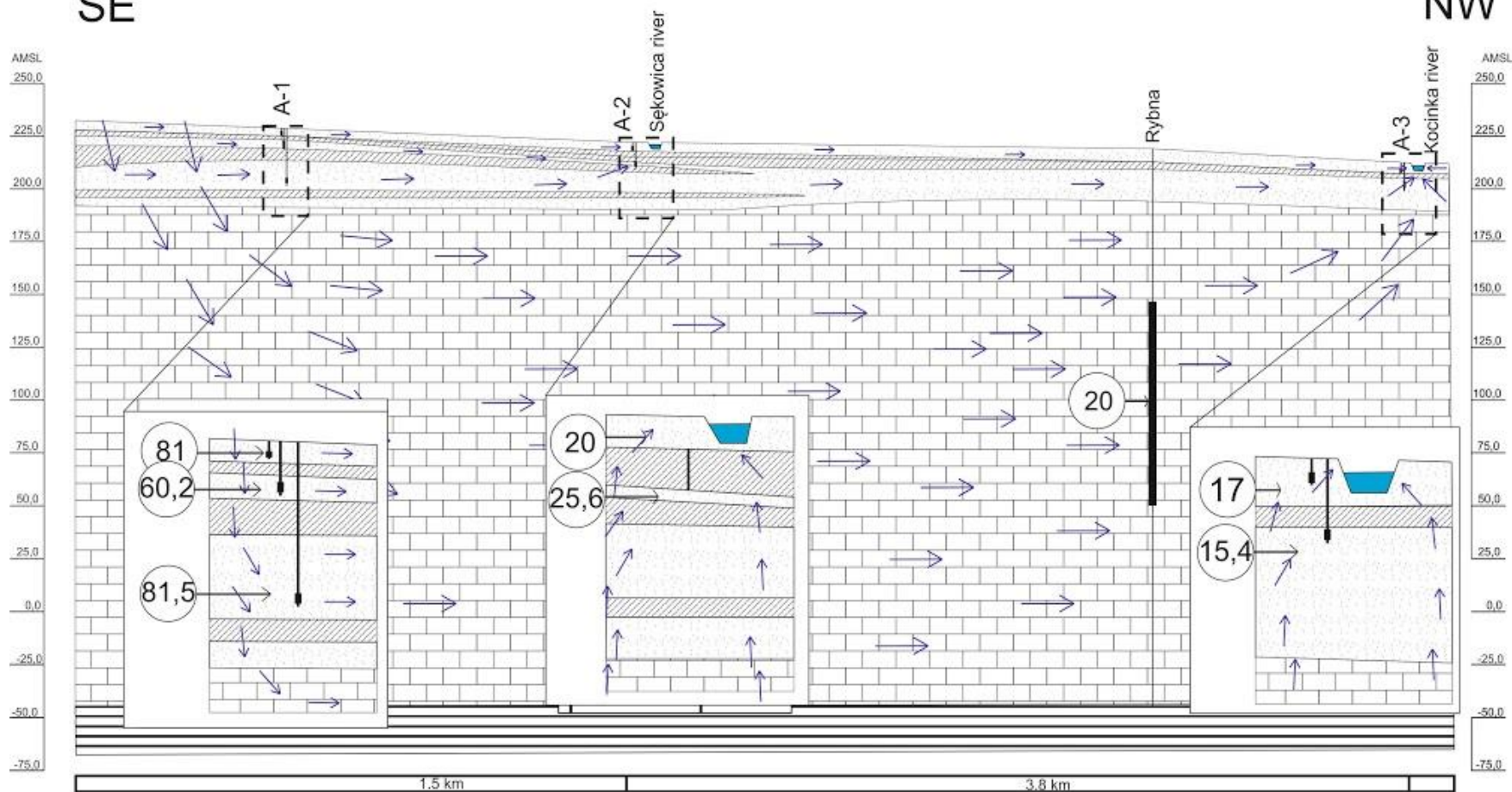


AGH

SE

„Hillslope experiment“

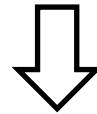
NW



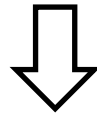
- A-1 multilevel monitoring sites
- groundwater flow direction
- Quaternary semipermeable strata
- Upper Jurassic limestone
- Quaternary sands and gravels
- Middle Jurassic mudstone
- 81 concentration of nitrates NO₃ [mg/l]

NUMERYCZNE MODELOWANIE TRANSPORTU (substancji rozpuszczonych w wodzie)

Model przepływu wód podziemnych (skalibrowany względem obserwowanych wysokości hydraulicznych)



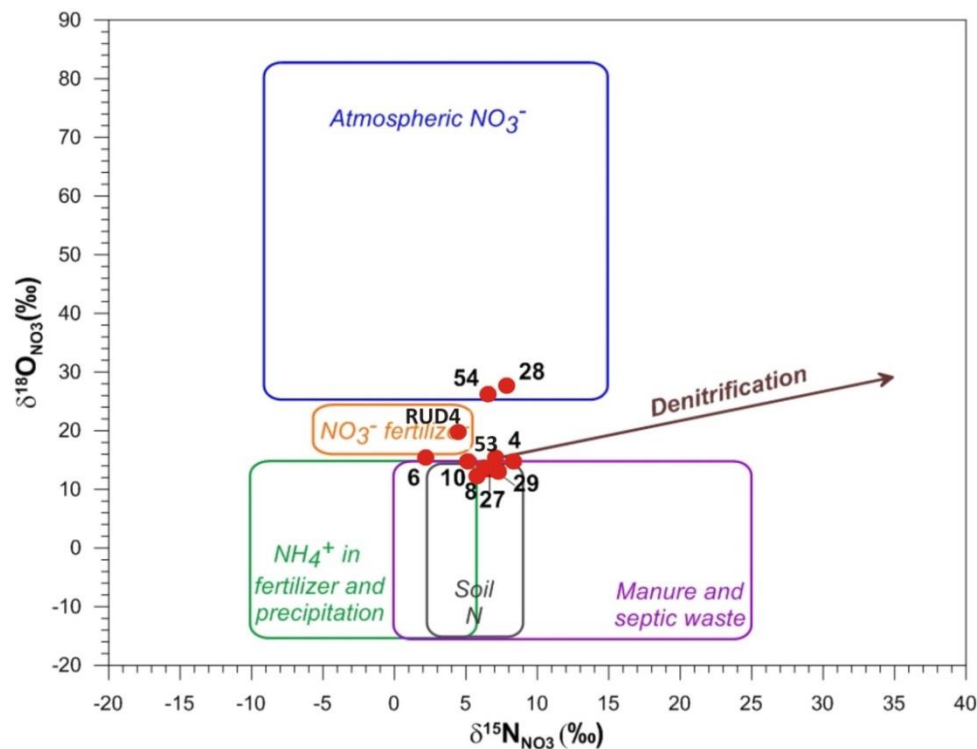
Pole prędkości wody $V(x,y,z)$



Model transportu oparty o równanie adwekcyjno-dyspersyjne

$$\frac{\partial(\varepsilon C)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\varepsilon D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\varepsilon C V_i) - C' W^*$$

Izotopy trwałe N i O jako wskaźniki pochodzenia i transformacji azotanów



$\delta^{15}\text{N}$ i $\delta^{18}\text{O}$ w azotanach:

- niejednoznaczne odnośnie pochodzenia azotanów

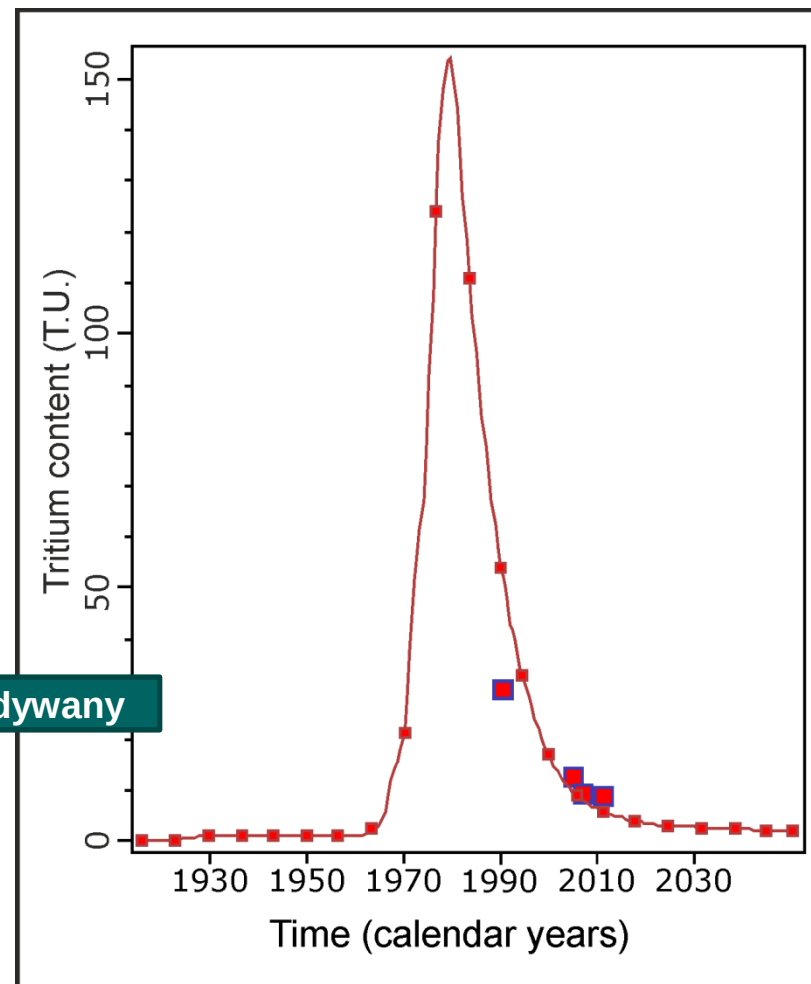
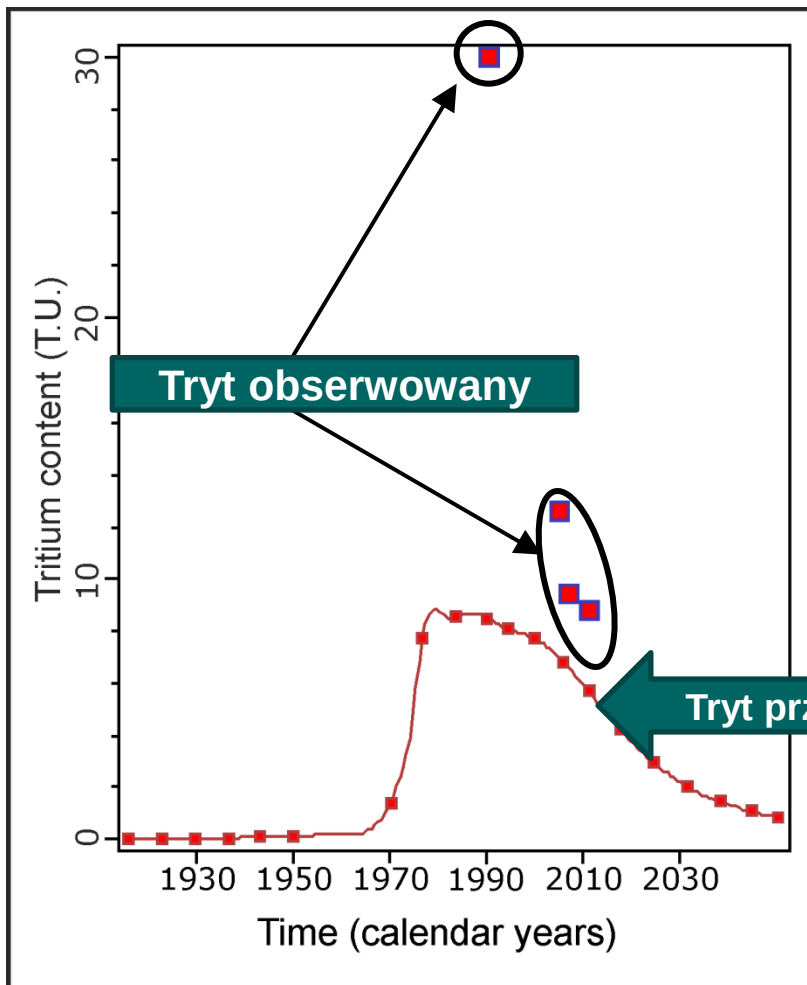
- nie wskazują na zachodzenie denitryfikacji



model transportu azotanów może zostać skalibrowany względem stężeń trytu w wodach podziemnych

Kalibracja modelu transportu

Po zmianie wartości R i T



„Ethnographic background study”



Materiały archiwalne



„Ethnographic background study”



Wywiady



„Ethnographic background study”



Obserwacje - film

Fotografie: Anne Berrini, Grit Martinez, BMBF



Podsumowanie

- Numeryczny model transportu zanieczyszczeń pomiędzy ich powierzchniowymi ogniskami i siecią rzeczną z zlewni Kocinki pozwoli:
 - określić udział poszczególnych obszarów źródłowych w odpływie zanieczyszczeń ze zlewni,
 - zbadać wpływ różnych scenariuszy (użytkowania ziemi, gospodarki rolnej, zmian klimatu, warunków społeczno-ekonomicznych) na odpływ zanieczyszczeń ze zlewni.
- Obserwacje i modelowanie transportu zanieczyszczeń w ciekach wodnych zlewni pozwoli określić zdolność cieków do usuwania zanieczyszczeń i powiązać ją z warunkami hydromorfologicznymi i hydrologicznymi.
- Uzyskana wiedza przyczyni się do rozwoju modeli przewidujących odpływ zanieczyszczeń w skali całego zlewiska Bałtyku

