



UNIWERSYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Śląskie.
DLA KLIMATU



foto: M. Sołtysiak

Adaptacja ujęć infiltracyjnych do zmian klimatu

dr Sławomir Sitek, prof. UŚ

mgr Krzysztof Janik

dr Kinga Ślósarczyk



Fundusze Europejskie
dla Śląskiego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Województwo
Śląskie

Projekt "Śląskie Centrum Klimatu - Etap I" współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu Fundusze Europejskie dla Śląskiego 2021–2027

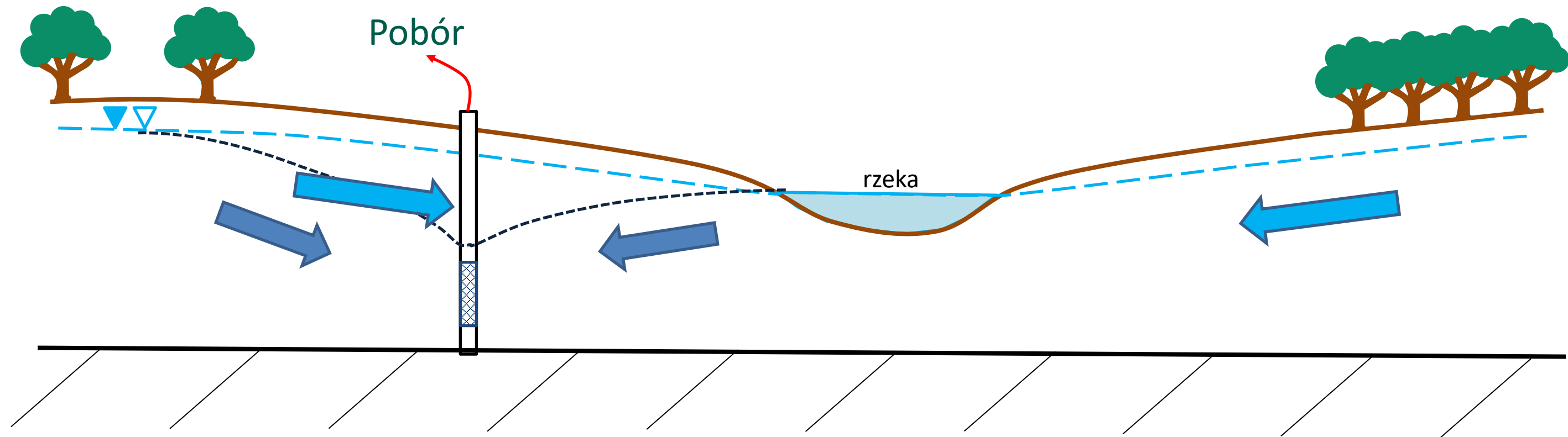
13-14 maja 2026

Ujęcia infiltracyjne

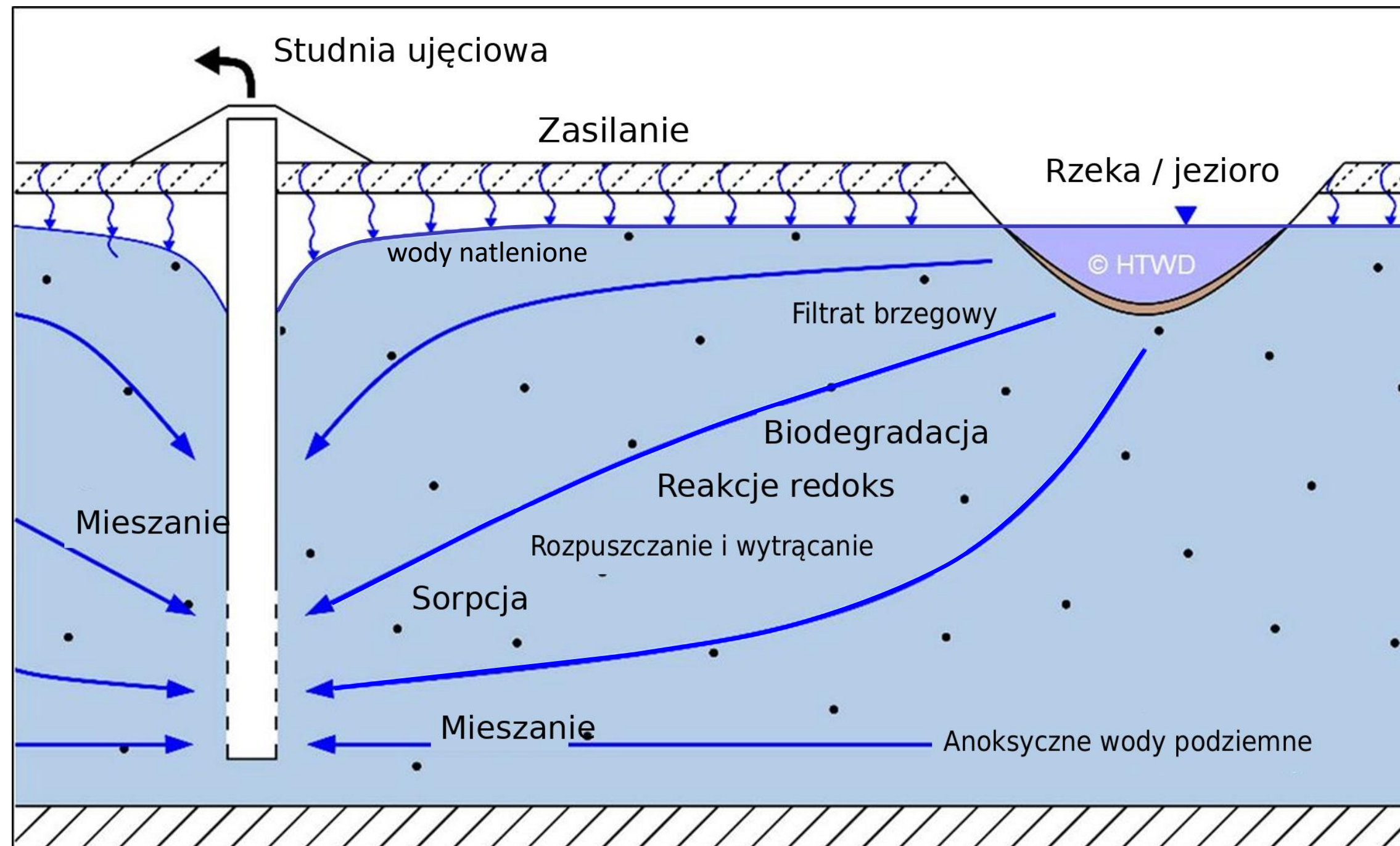
Ujęcia infiltracyjne to rodzaj ujęć wody, w których pobierana woda pochodzi głównie z **wód powierzchniowych**, najczęściej z rzeki, ale zanim zostanie ujęta przez studnie lub dreny, **przesącza się przez warstwy gruntu**.



Proces infiltracji brzegowej



Naturalny proces uzdatniania



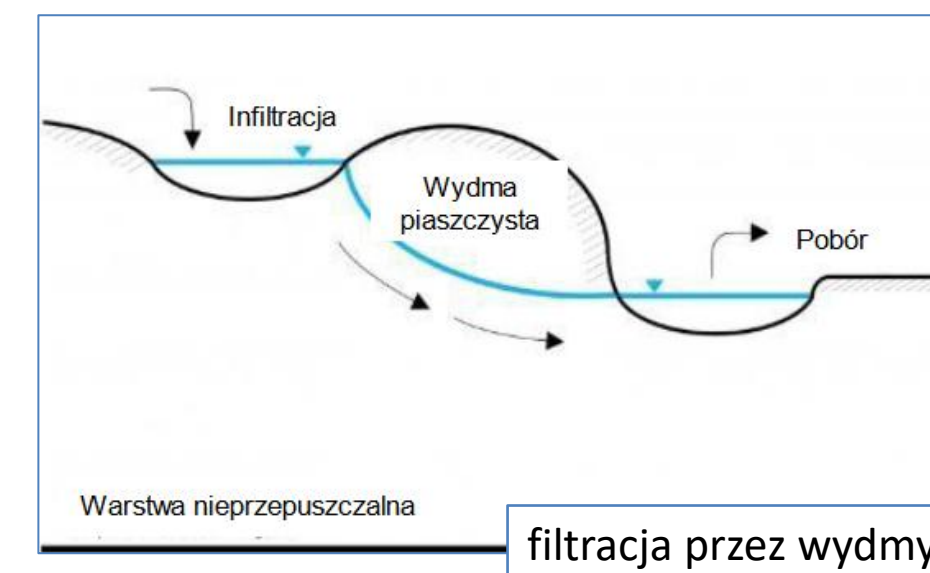
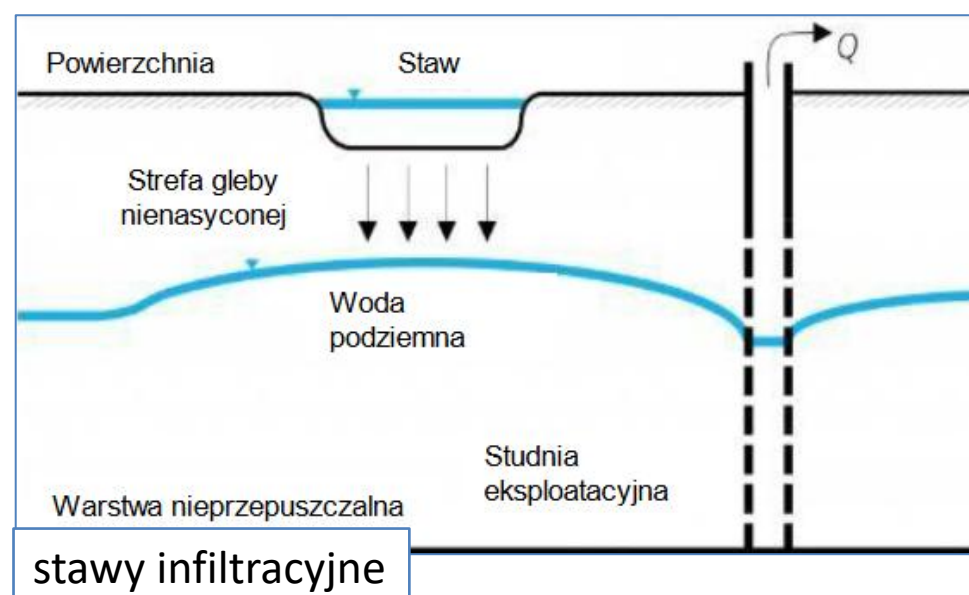
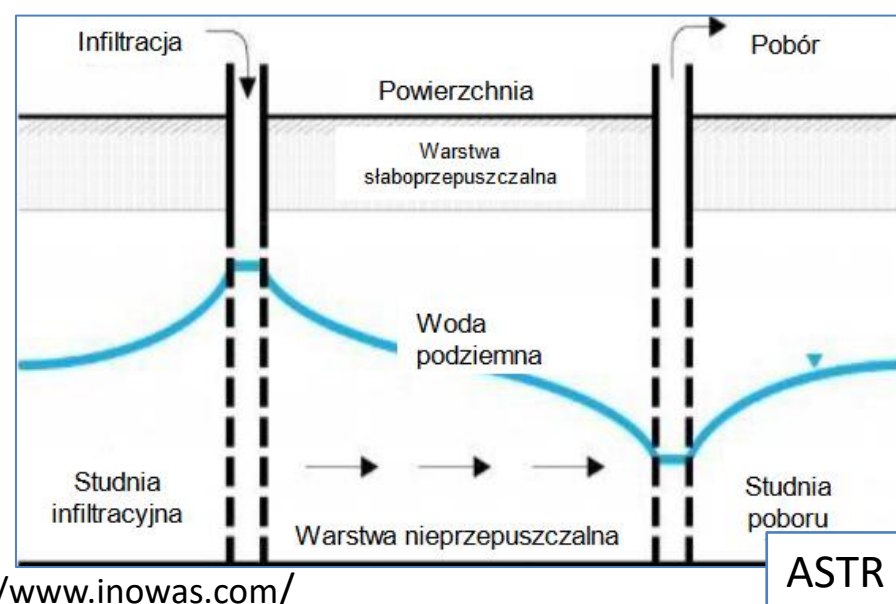
Źródło: <https://www.htw-dresden.de/en/university/faculties/civil-engineering/studies/subject-areas/water-sciences/research/river-bank-filtration>

Sztuczne zasilanie wód podziemnych

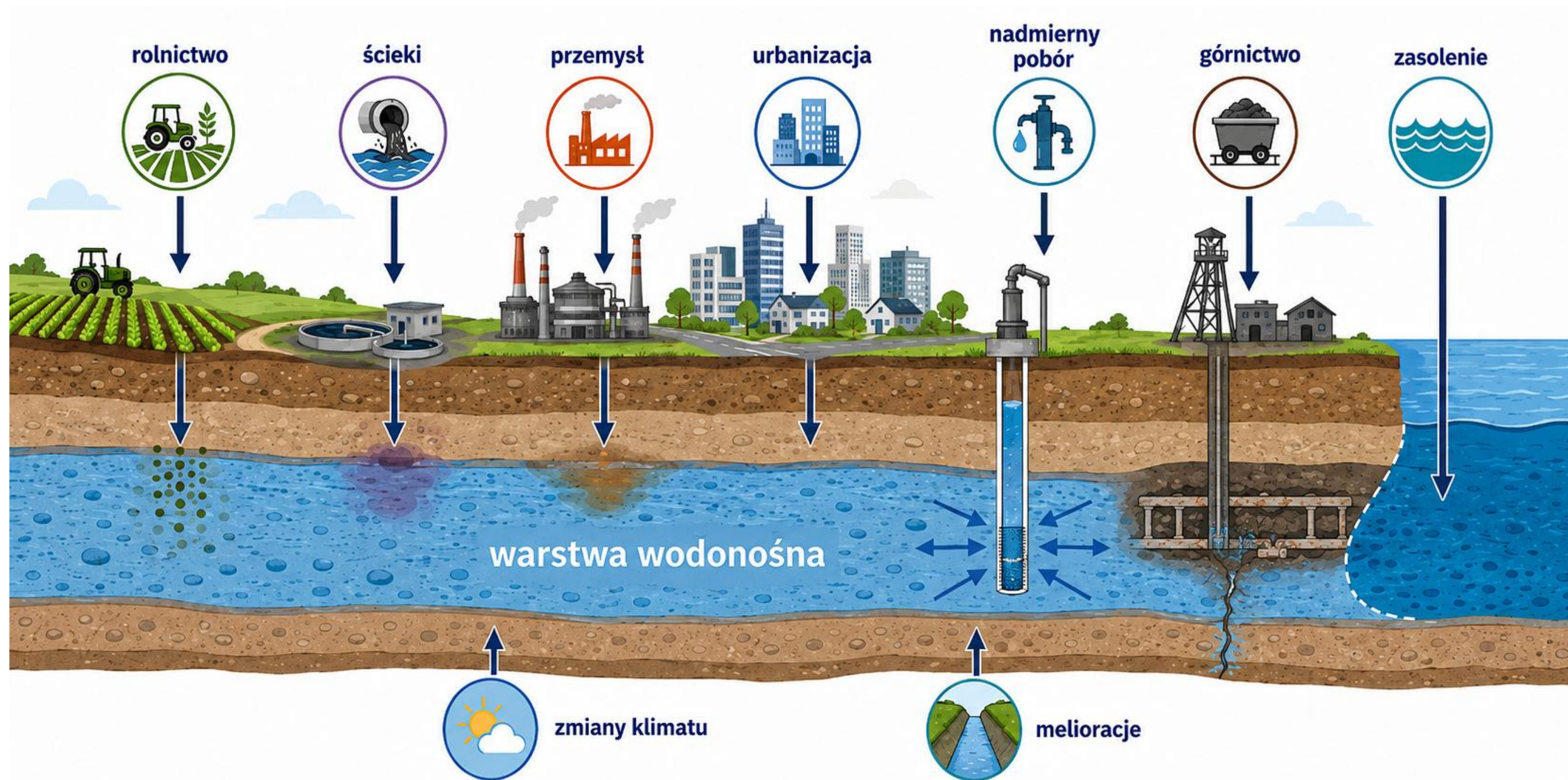
Ujęcia infiltracyjne (brzegowe) są jedną z metod zarządzania sztucznym zasilaniem warstw wodonośnych (tzw. **MAR** – od angielskiego **M**anaged **A**aquifer **R**echarge).

Celem zastosowania MAR **jest osiągnięcie korzyści środowiskowych** lub późniejsze **odzyskanie wód na potrzeby gospodarcze**.

Pierwotnie zastosowanie technik MAR służyło przede wszystkim zwiększaniu zasobów wód podziemnych, natomiast obecnie MAR jest coraz częściej stosowany także w celu poprawy jakości wód podziemnych, minimalizowania ryzyka powodziowego, ograniczania skutków suszy, osiadania terenu, ochrony powiązanych ekosystemów wodnych oraz ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych, a także ograniczania intruzji wód słonych.



Główne presje na wody podziemne



- Nadmierna eksploatacja zasobów
- Zanieczyszczenia obszarowe i punktowe
- Presje komunalne i przemysłowe
- Górnictwo i odwodnienia
- Zmiany użytkowania terenu i urbanizacja
- **Zmiany klimatu**
- Melioracje i przekształcenia hydrologiczne

Kontekst i uzasadnienie badań na poligonie w Tarnowie

- Tereny zurbanizowane i przemysłowe zmagają się z problemem wyczerpywania się zasobów wód i/lub pogorszeniem jakości wód
- Tendencje te pogłębia zmiana klimatu
- Jednym z obiecujących rozwiązań to zarządzane sztuczne zasilanie wód podziemnych



Badania prowadzone są od 2019 roku





Ujęcie Świerczków

Ujęcie wykorzystuje połączenie **infiltracji brzegowej** oraz **czterech rowów infiltracyjnych** o długości od 20 do 280 metrów.

W skład ujęcia wchodzi **17 studni**.

Wydajność: Średni pobór wody w latach 2021-2025 wynosił ok. **5600 m³/d**.

Ujęcie Kępa Bogumiłowicka

Ujęcie opiera się tylko na **metodzie infiltracji brzegowej**.

Struktura ujęcia: Składa się z **11 studni**

2 rzędy:

- **Rząd A** (studnie S-30-S-36): położony bliżej Dunajca, w odległości 90-125 metrów od brzegu.
- **Rząd B** (studnie S-37-S-40): położony dalej od Dunajca, w odległości od 320-390 metrów od brzegu

Wydajność: Średni pobór wody w latach 2021-2025 wynosił ok. **9400 m³/d**.



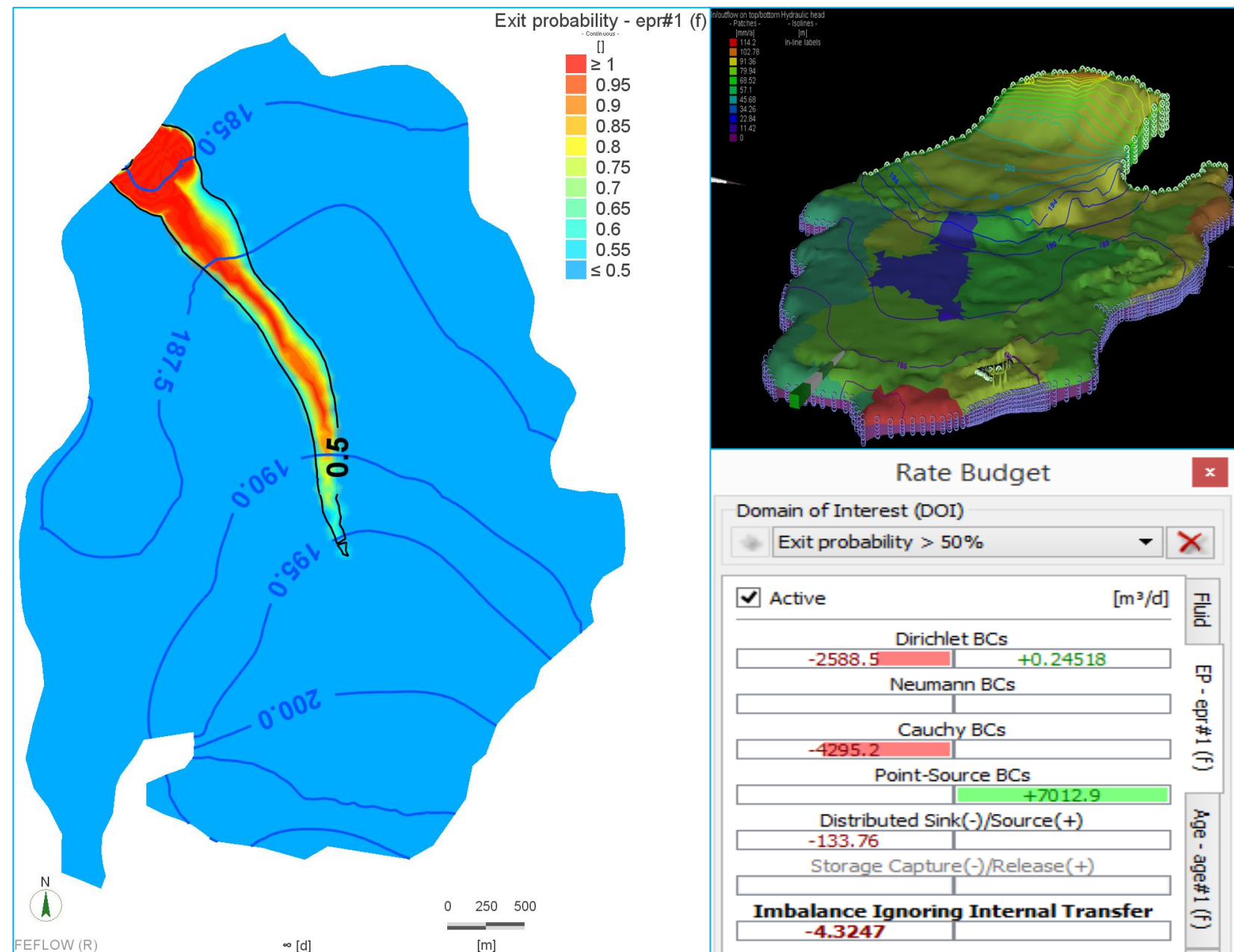
Ujęcie infiltracyjne Świerczków



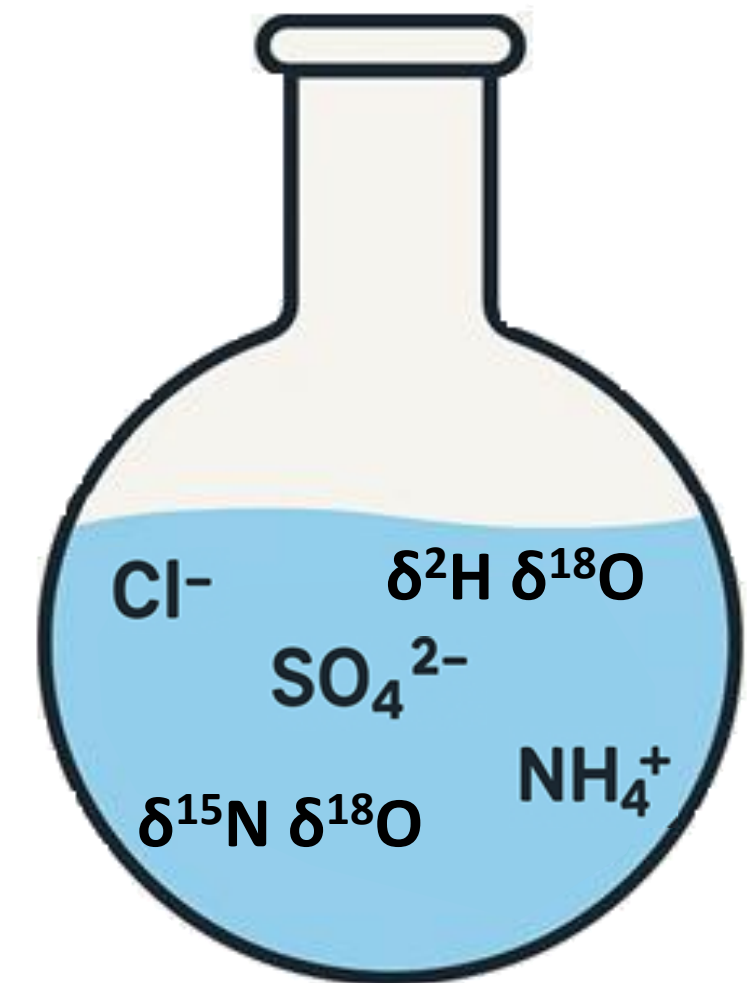
Dwie główne metody badań:

modelowanie numeryczne (FEFLOW)

badania znacznikowe:



- *izotopy stabilne wody i azotanów,*
- *wybrane jony*



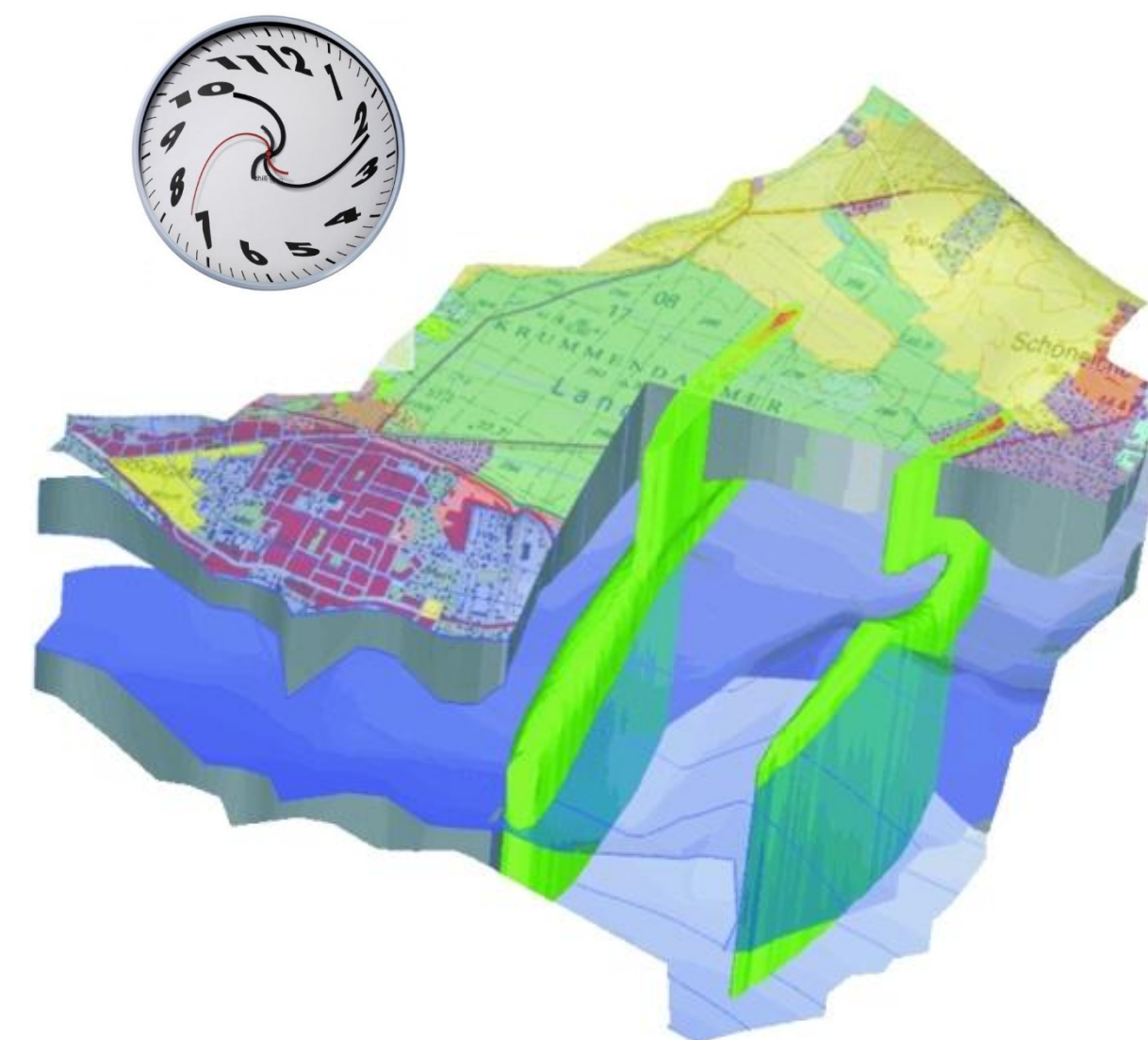
Czym jest model i do jakich celów jest przydatny

Model przepływu wód podziemnych to matematyczne narzędzie służące do dokładnego i wszechstronnego rozpoznania przepływu wód w warstwach wodonośnych.

Modele wykorzystuje się do analizy i przewidywania zachowania wód podziemnych w zmiennych warunkach otoczenia.

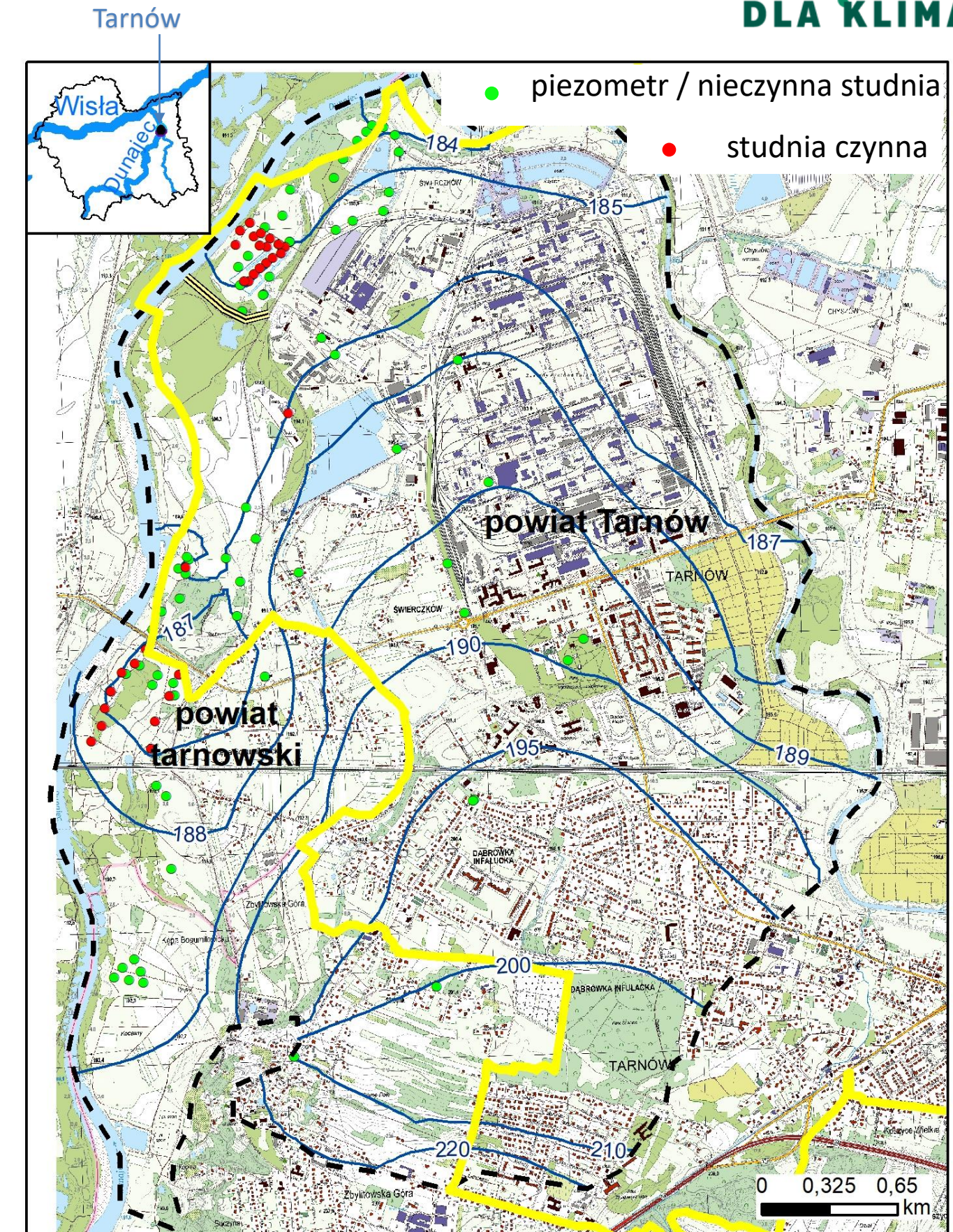
Główne cele wykonywania modeli to:

- rozpoznanie systemu krążenia wód podziemnych;
- zarządzanie zasobami wodnymi;
- ocena wpływu działalności człowieka;
- planowanie i ochrona środowiska;
- ocena wpływu zmian klimatu;
- wsparcie projektów inżynieryjnych.



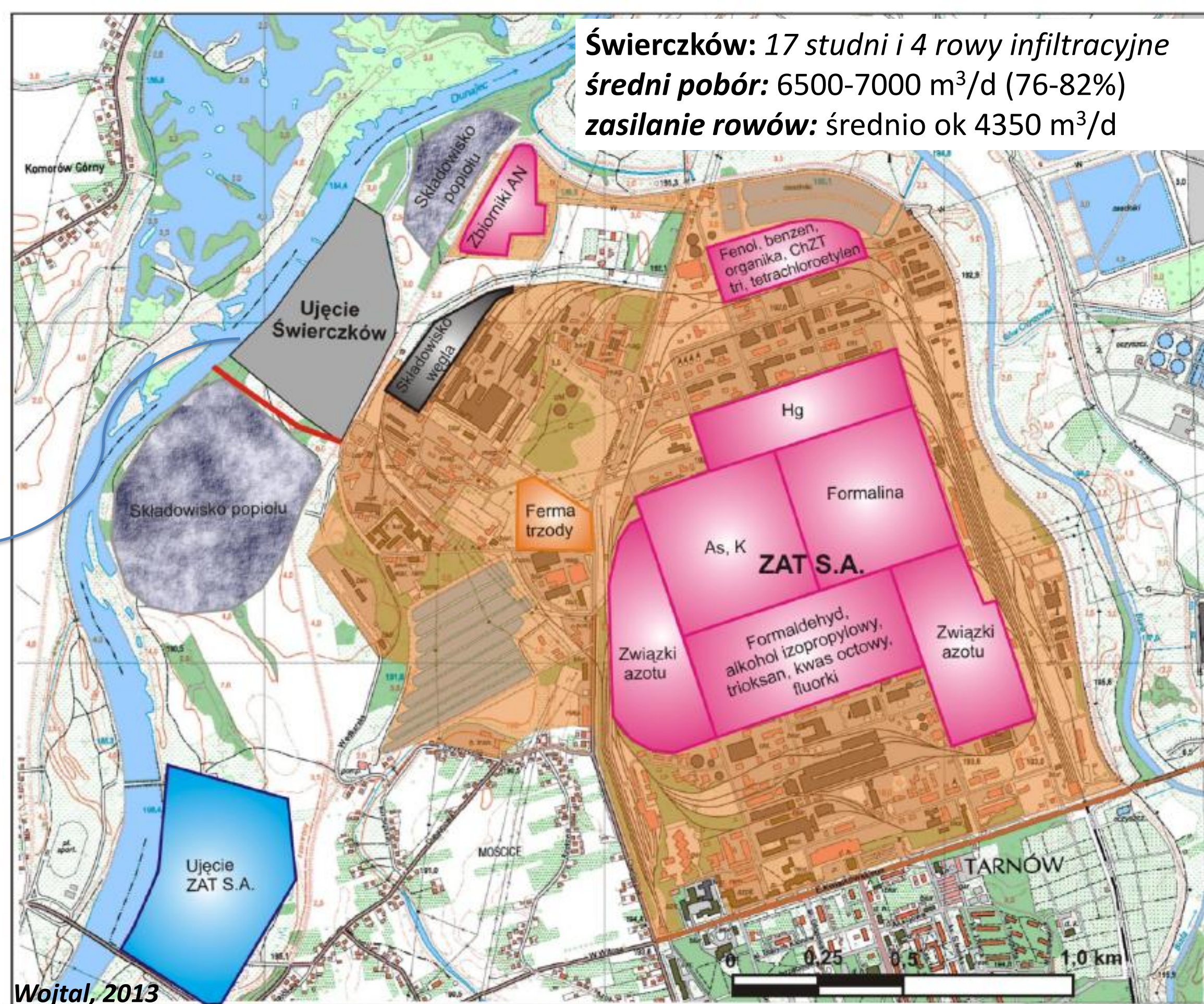
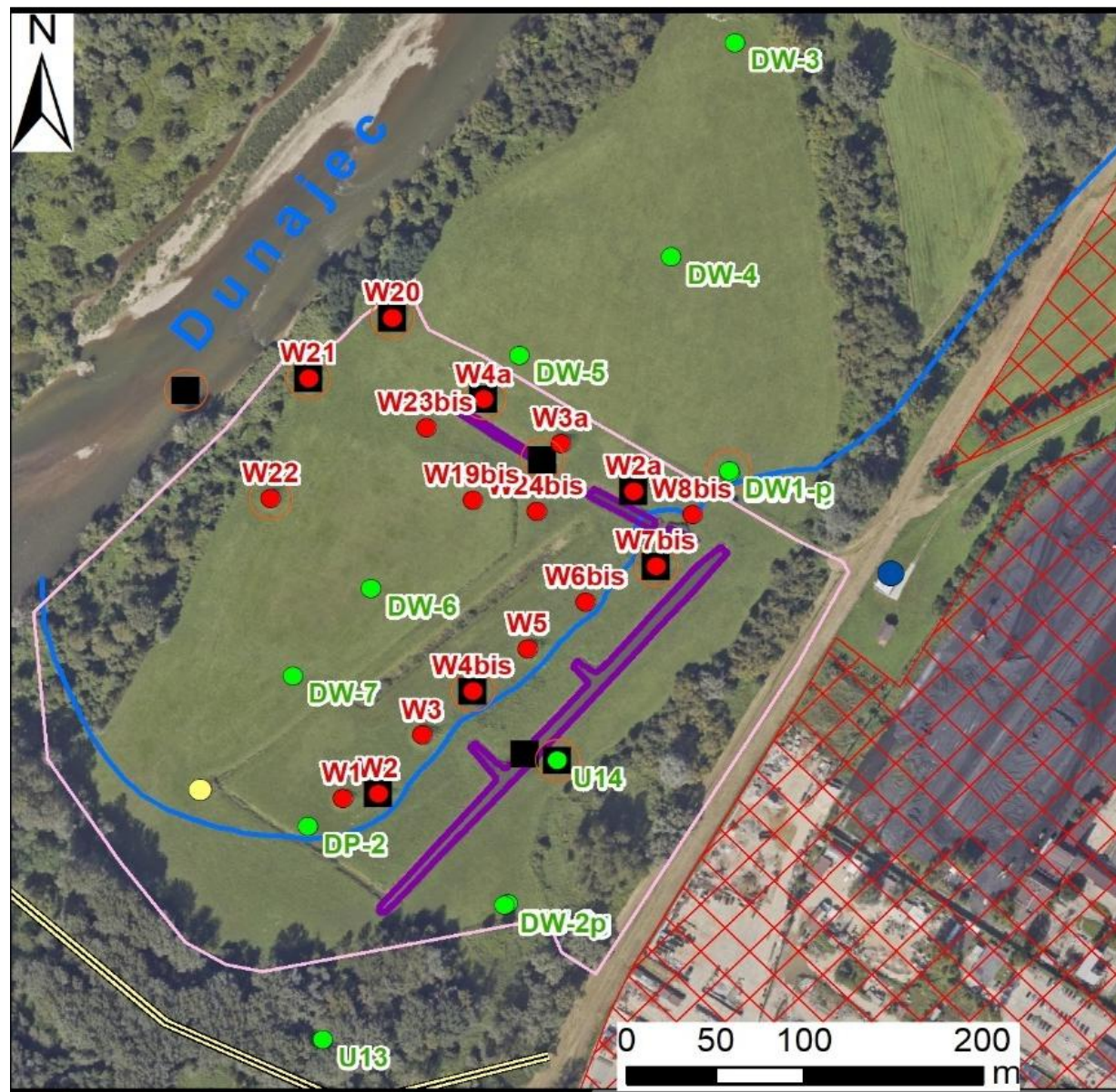
Obszar badań modelowych

- Widły rzeki Dunajec i Biała
- Powierzchnia 15 km²
- Obszary z zabudową miejską i przemysłową stanowią odpowiednio 36 i 24 % (CLC, 2018).
- Terenu użytkowane rolniczo stanowią 30% (14% to grunty orne).
- 9% powierzchni pokrywają lasy i roślinność o charakterze półnaturalnym.



Obszar badań szczegółowych

- ujęcie Świerczków



Świerczków: 17 studni i 4 rowy infiltracyjne
średni pobór: 6500-7000 m³/d (76-82%)
zasilanie rowów: średnio ok 4350 m³/d

 wybrane instalacje przemysłowe ZAT S.A.

 Ściana szczelna

 inne tereny przemysłowe



„nowe” studnie

DUNAJEC

rowy infiltracyjne

„stare” studnie z kopcami ziemnymi

S

N

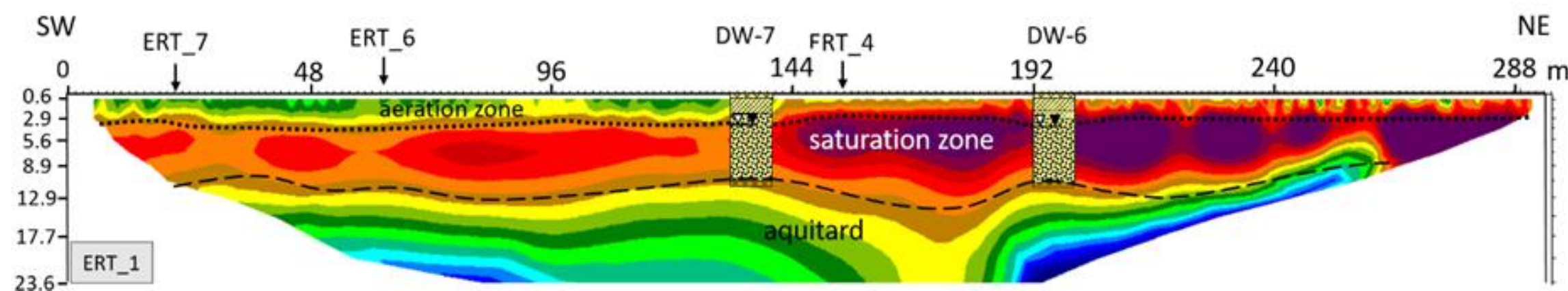
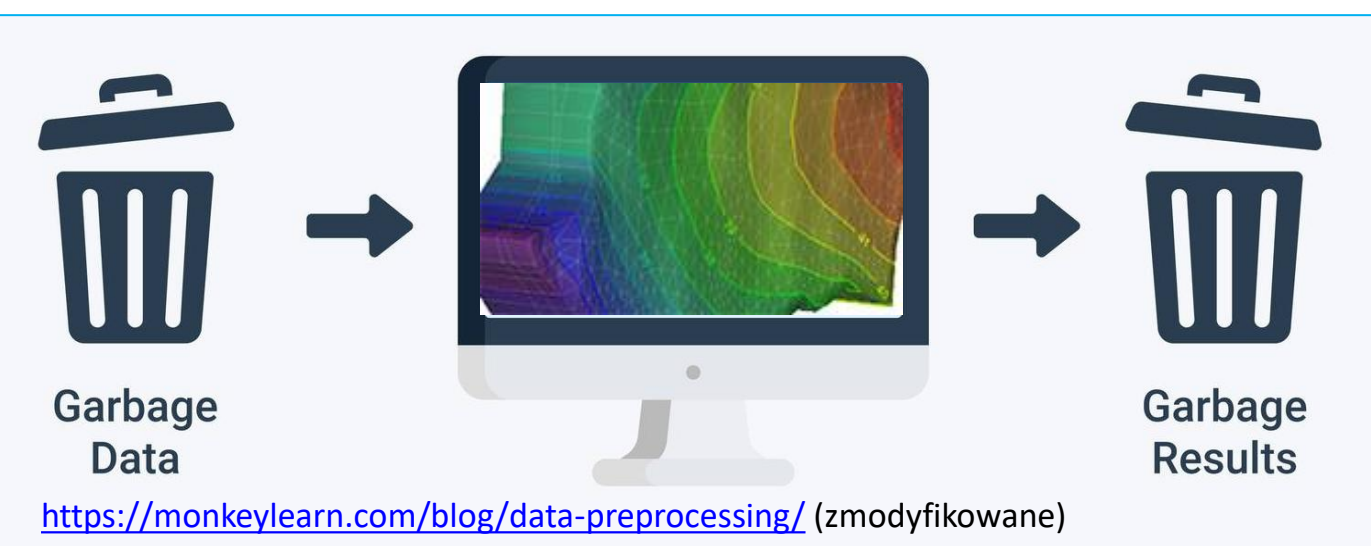
ujęcie Świerczków

Dane do modelu

Badania terenowe 2019-2021

Źródła danych:

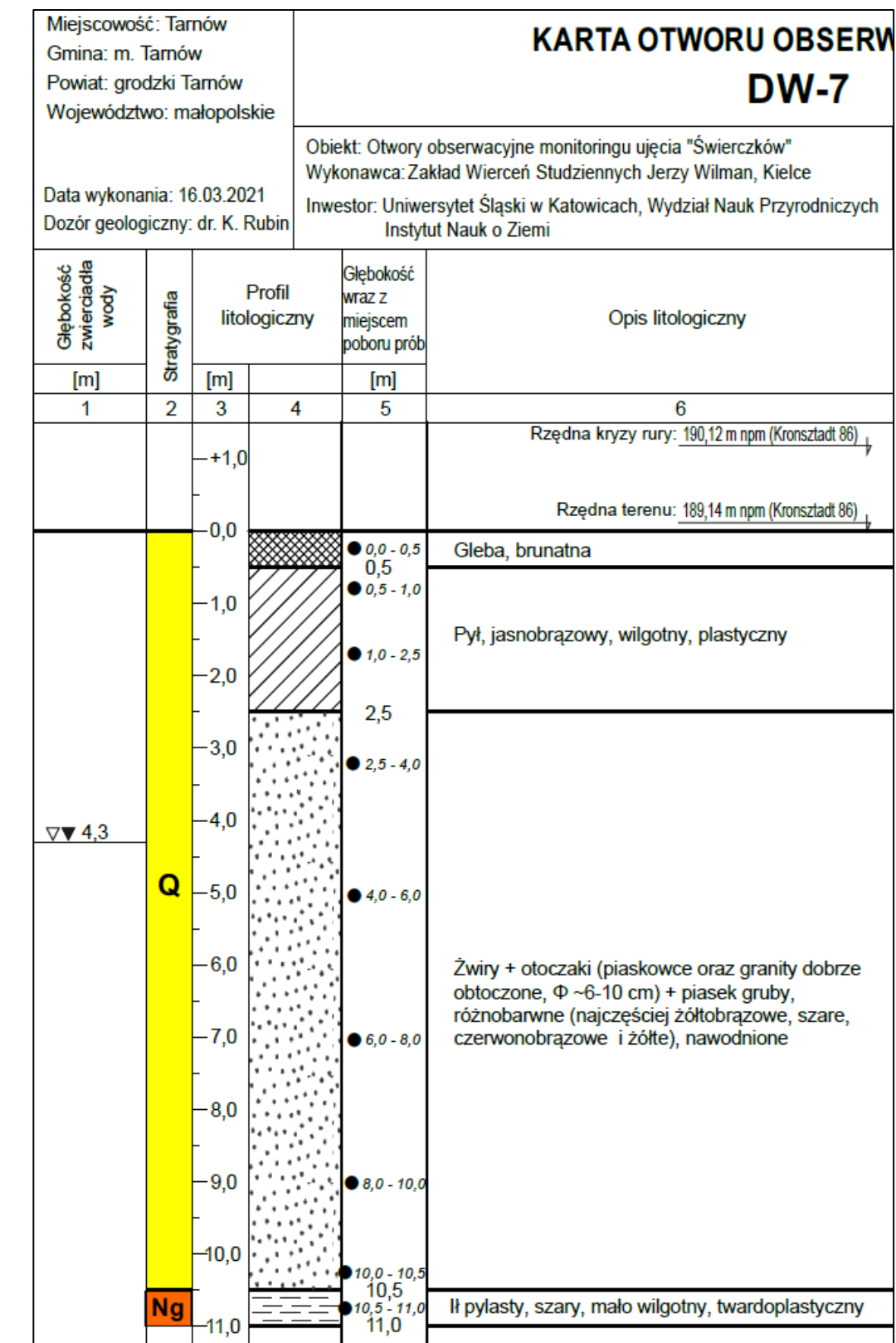
- badania własne UŚ
- Tarnowskie Wodociągi Sp. z o.o.
- Grupa Azoty S. A.
- PIG-PIB
- IMGW-PIB



Warunki hydrogeologiczne

Czwartorzędowy poziom wodonośny:

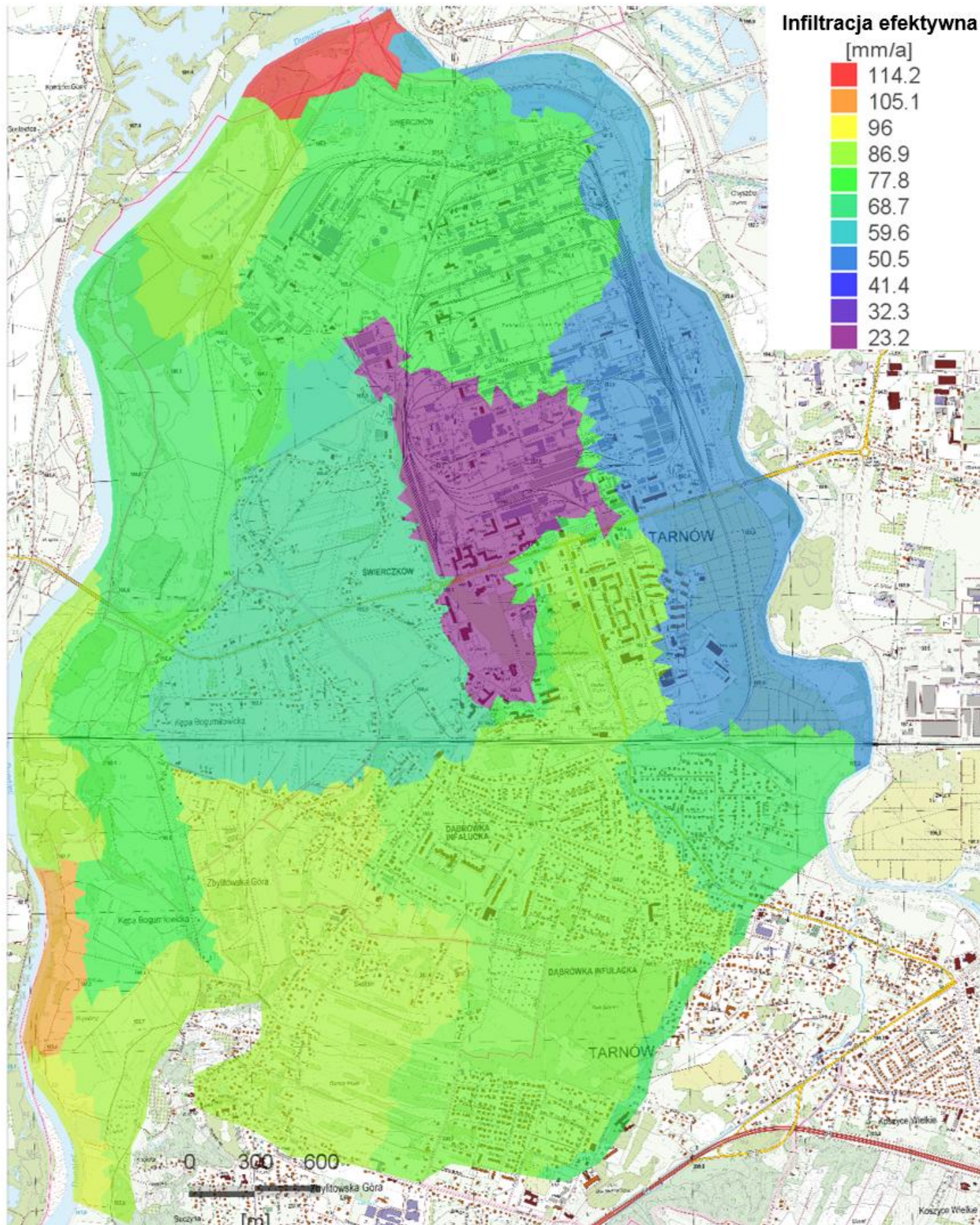
- zw. swobodne, lokalnie napięte,
- zbudowany z piasków i żwirów z otoczkami
- miąższość 3-12 m, średnio 4-7 m
- współczynnik filtracji 10^{-4} - 10^{-3} m/s
- drenowany przez rzeki Dunajec, Biała i ujęcia
- zasilany z opadów i wodami z Dunajca w rejonie ujęć



KARTA OTWORU OBSERWACYJNEGO DW-7

Zasilanie wód podziemnych z opadów na podstawie modelu SWAT

min. 23.2 mm/rok
max 114, 2 mm/rok



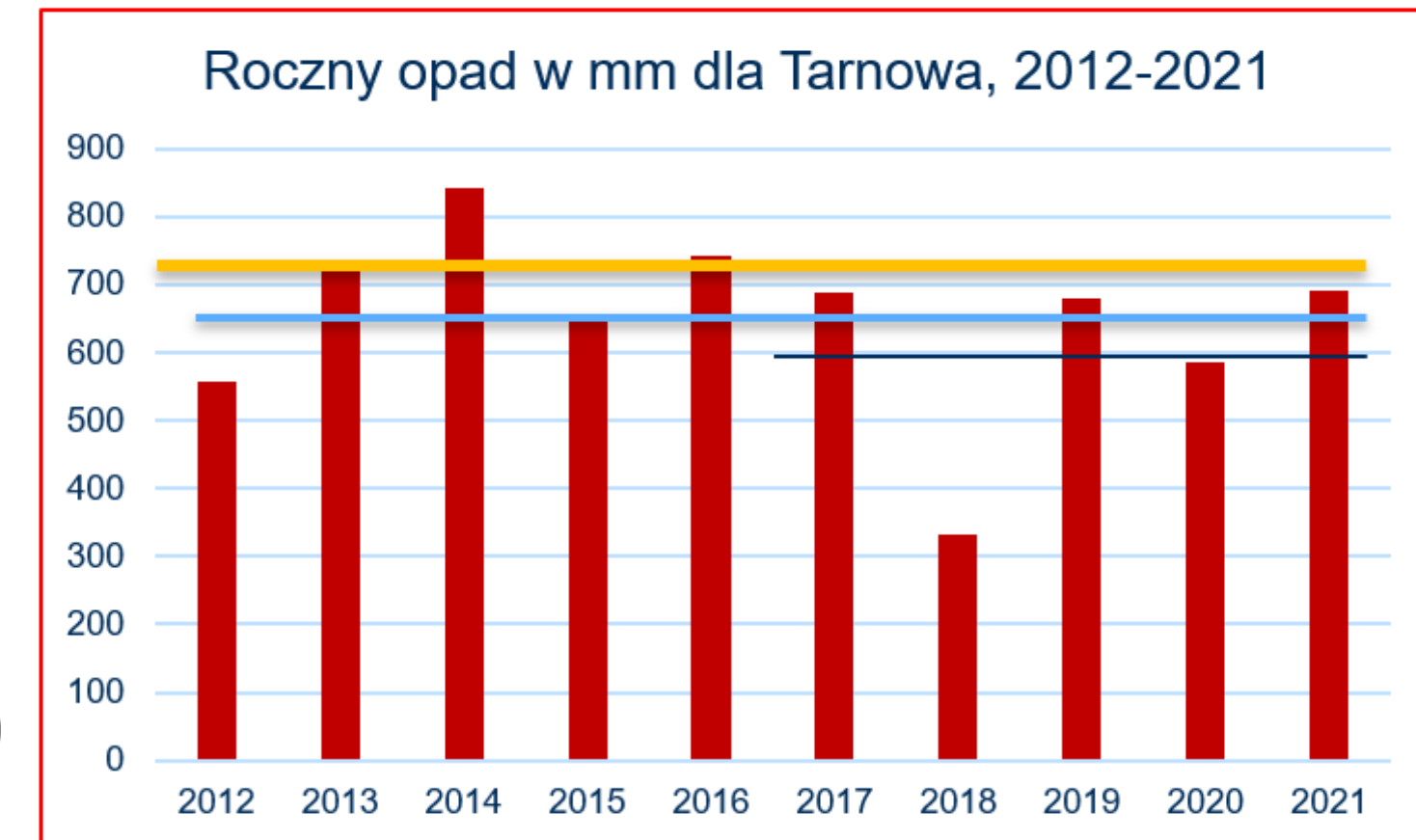
średnia z 10 lat
(2012-2021): **652 mm**

średnia z 5 lat
(2012-2021): **596 mm**

średnia z 55 lat
(1966-2021): **722 mm**

ekstrema:

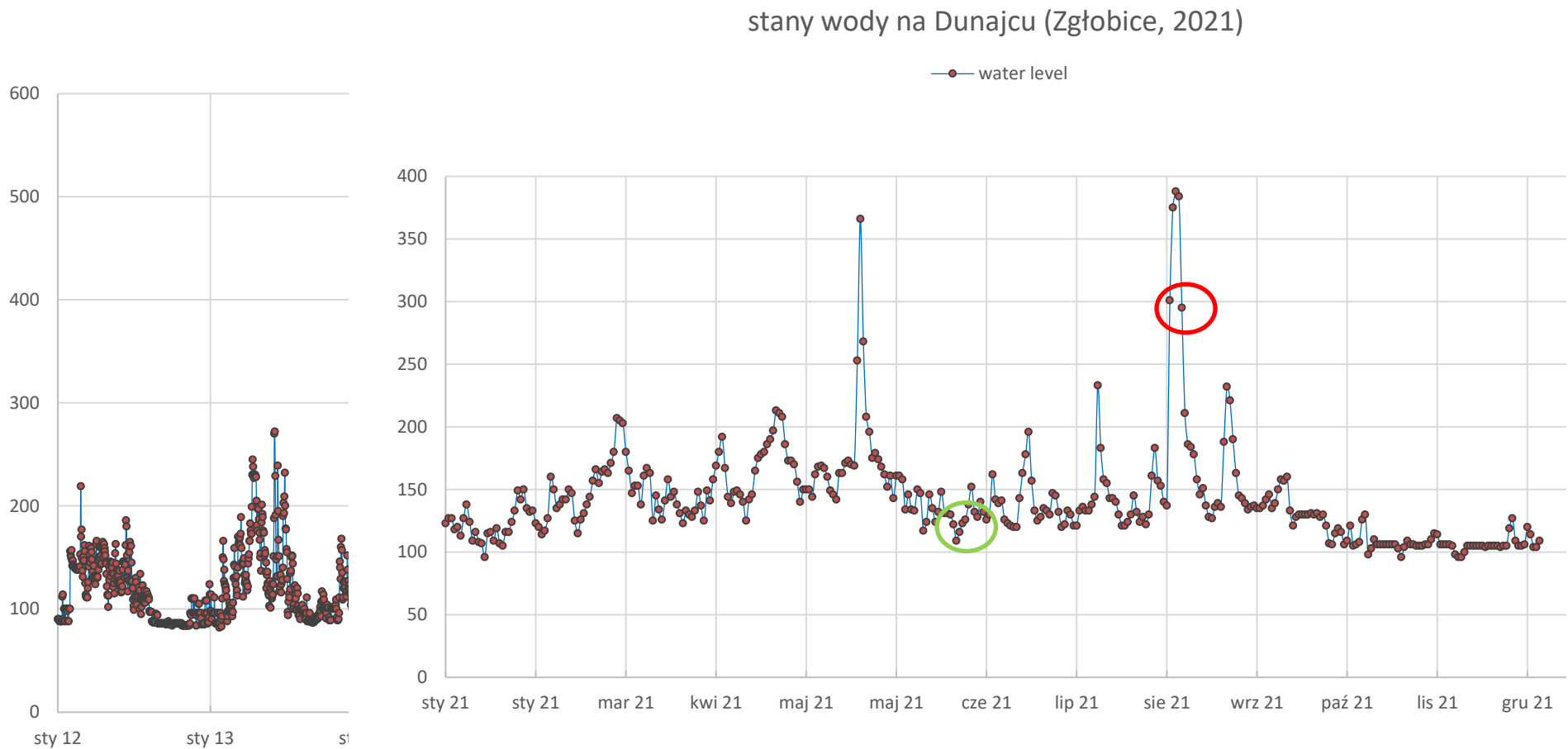
max: 1215,5 mm (2010)
min: 332,3 mm (2018)





Dunajec (2012-2021), posterunek IMGW - Zgłobice

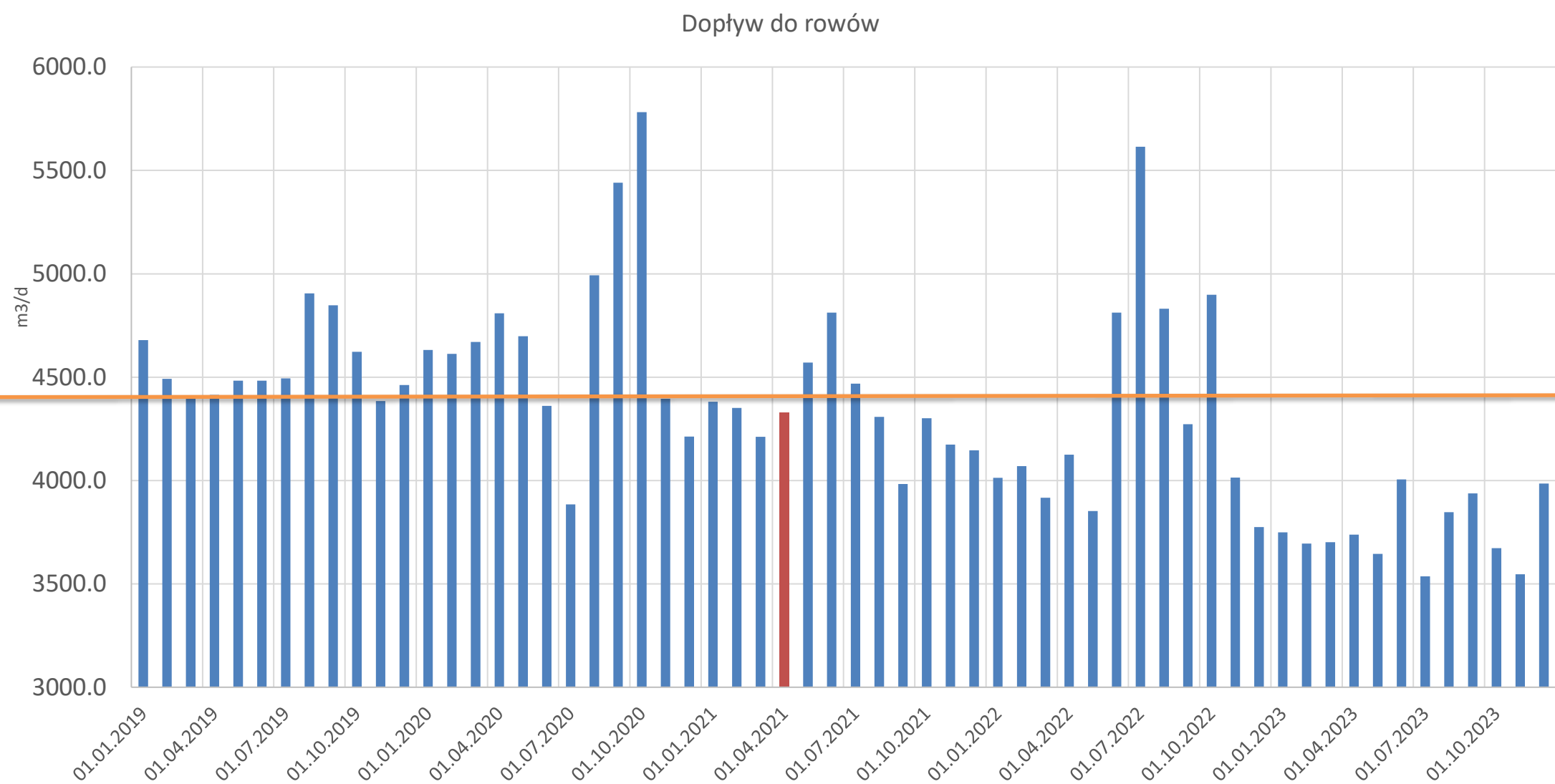
2012-2021		Przepływ [m³/s]	Stan [cm]
średnia		78,1	135
minimum		20,4	82
kwartyle	Q1	35	110
	Q2 (mediana)	57,8	127
	Q3	92,8	150
	Q4 (max)	1670	588
percentyle	5	22,6	93
	95	136	203



Zasilanie z rowów infiltracyjnych

W latach 2019-2023

średnio: 4341 m³/d
max. 5781,8 m³/d
min. 3536,4 m³/d



Ryzyka techniczne i nietechniczne dla ujęcia „Świerczków”
w fazie operacyjnej na podstawie obliczonej oceny ryzyka

Journal of Hydrology 621 (2023) 129591

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydrology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol



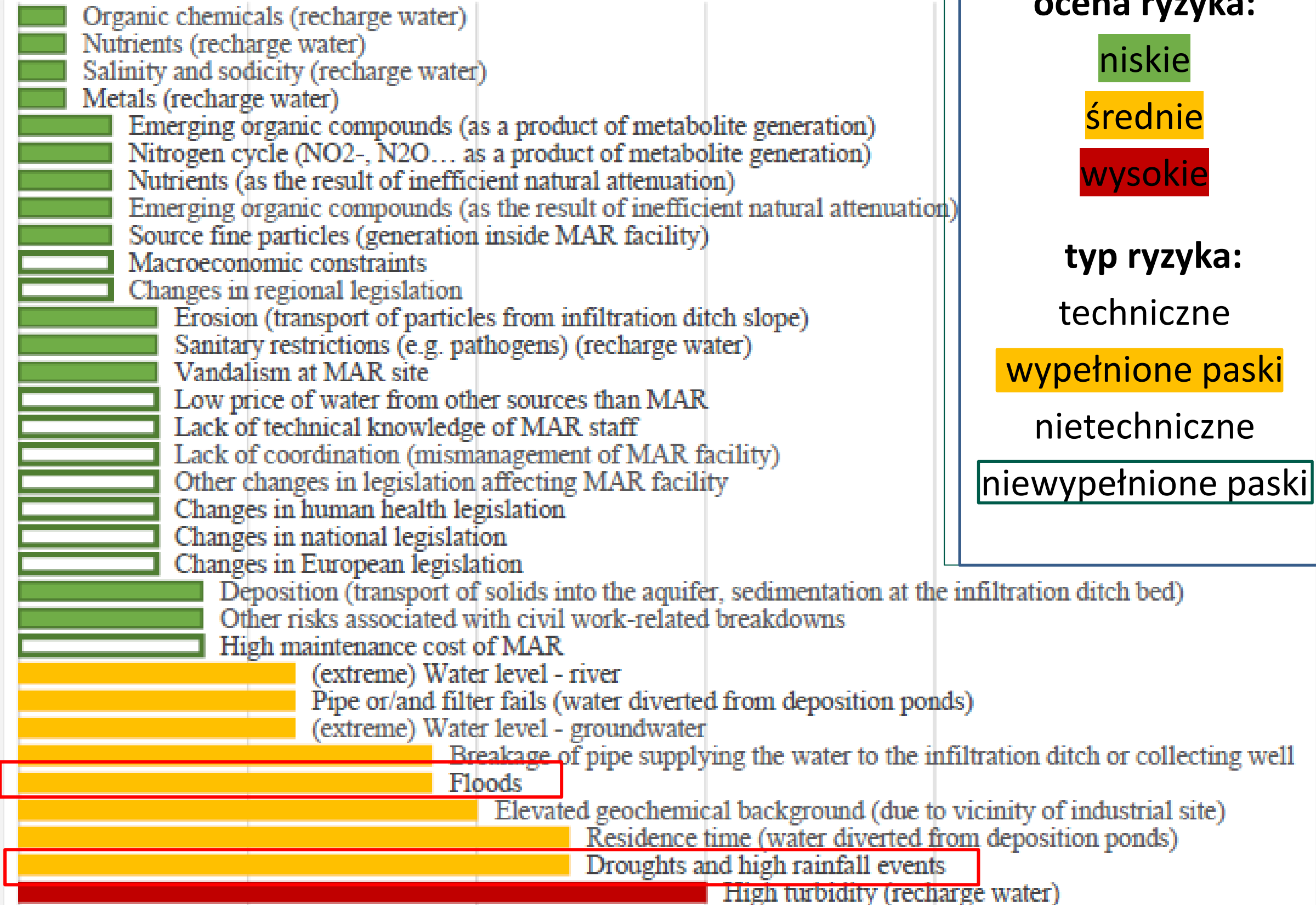
ELSEVIER

Research papers

Risk assessment for the prevention of managed aquifer recharge (MAR) facility failure during the operation and the expansion phases

Sławomir Sitek^{a,*}, Krzysztof Janik^a, Dominika Dąbrowska^a, Jacek Różkowski^a, Grzegorz Wojtal^b, Jakub Mukawa^{b,c}, Andrzej Jarosław Witkowski^a, Sabina Jakóbczyk-Karpierz^a

^a Institute of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Silesia in Katowice, Będzińska Str. 60, 41-200 Sosnowiec, Poland
^b Tarnów Waterworks Ltd., Narutowicza Str. 37, 33-100 Tarnów, Poland
^c Department of Power Systems and Environmental Protection Facilities, The Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, AGH University of Science And Technology, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland



ocena ryzyka:

niskie

średnie

wysokie

typ ryzyka:

techniczne

wypełnione paski

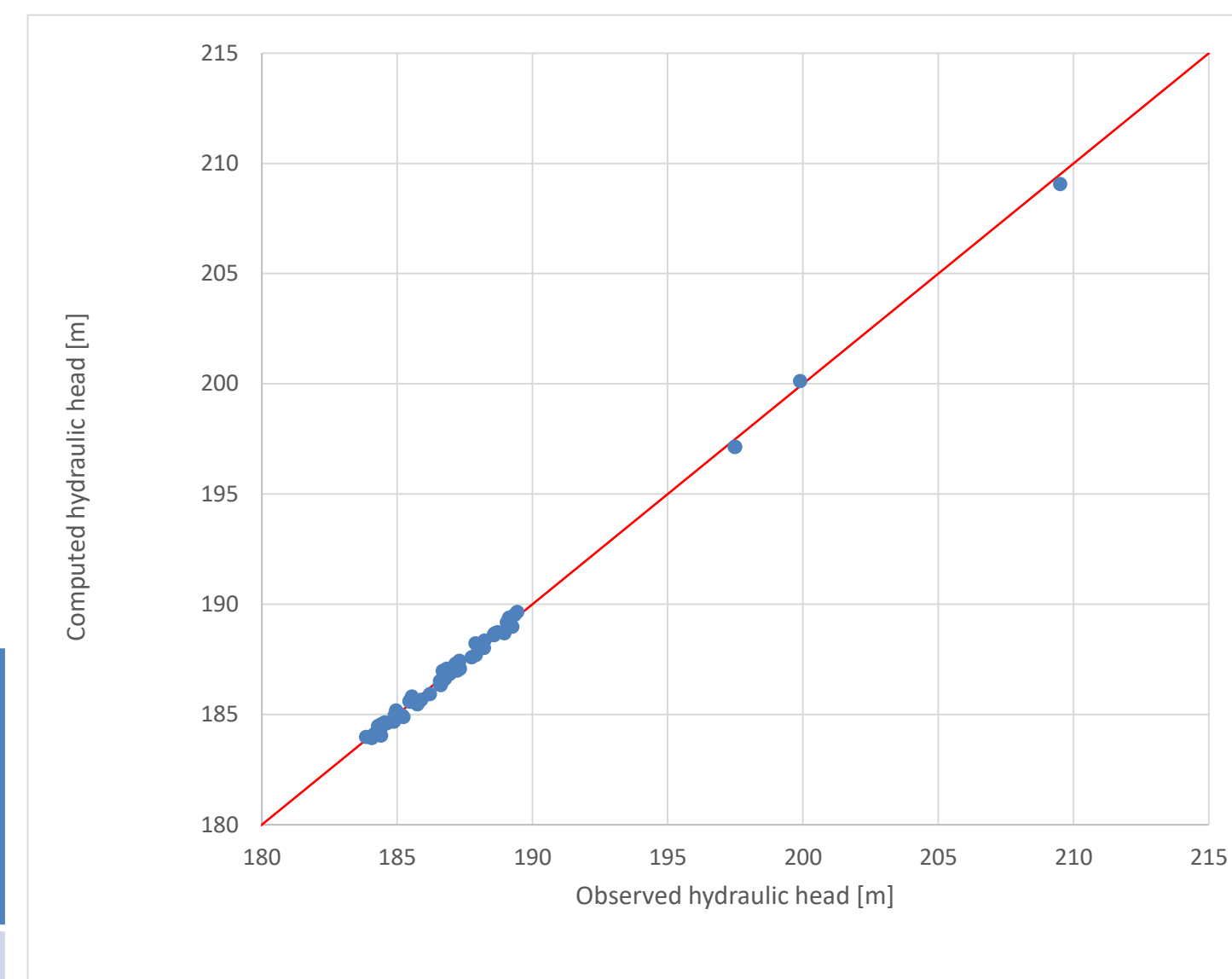
nietechniczne

niewypełnione paski

Kalibracja i weryfikacja modelu

- Pomiarzy zwierciadła w piezometrach
- Obserwacje z monitoringu chemicznego:
 - izotopy stabilne wody
 - jon amonowy
 - izotopy azotu

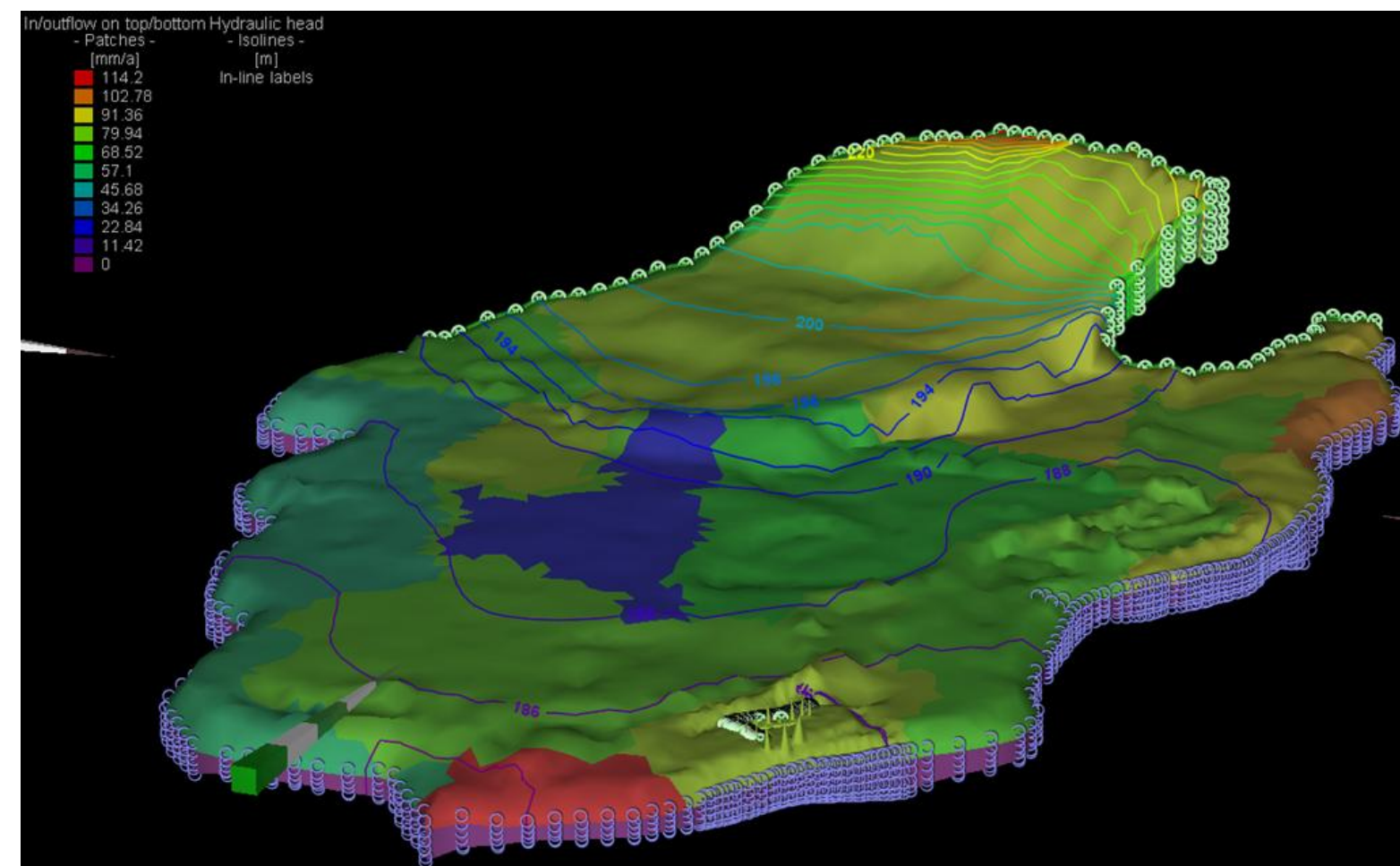
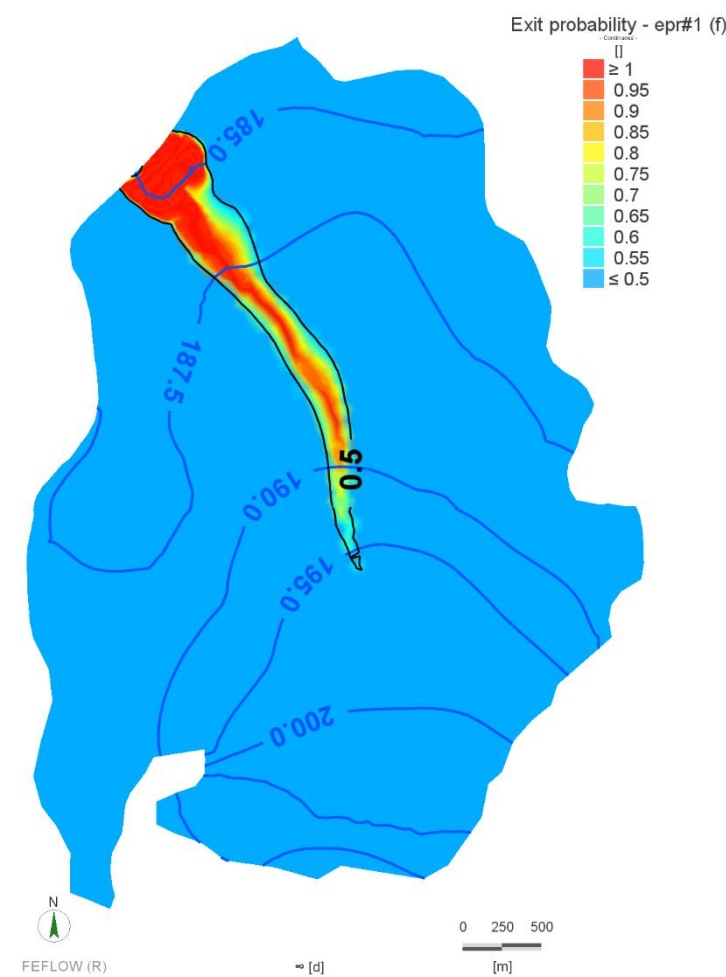
Punkty obserwacyjne	Błąd średni [m]	Błąd średniokwadratowy [m]	Odchylenie standardowe [m]
68	0.17	0.20	0.20



Odwzorowany stan dla wiosny 2021



Wyniki badań modelowych



Rate Budget	
Domain of Interest (DOI)	
Exit probability > 50%	
☒ Active	[m ³ /d]
Dirichlet BCs	
-2588.5	+0.24518
Neumann BCs	
Cauchy BCs	
-4295.2	
Point-Source BCs	
	+7012.9
Distributed Sink(-)/Source(+)	
-133.76	
Storage Capture(-)/Release(+)	
Imbalance Ignoring Internal Transfer	
-4.3247	

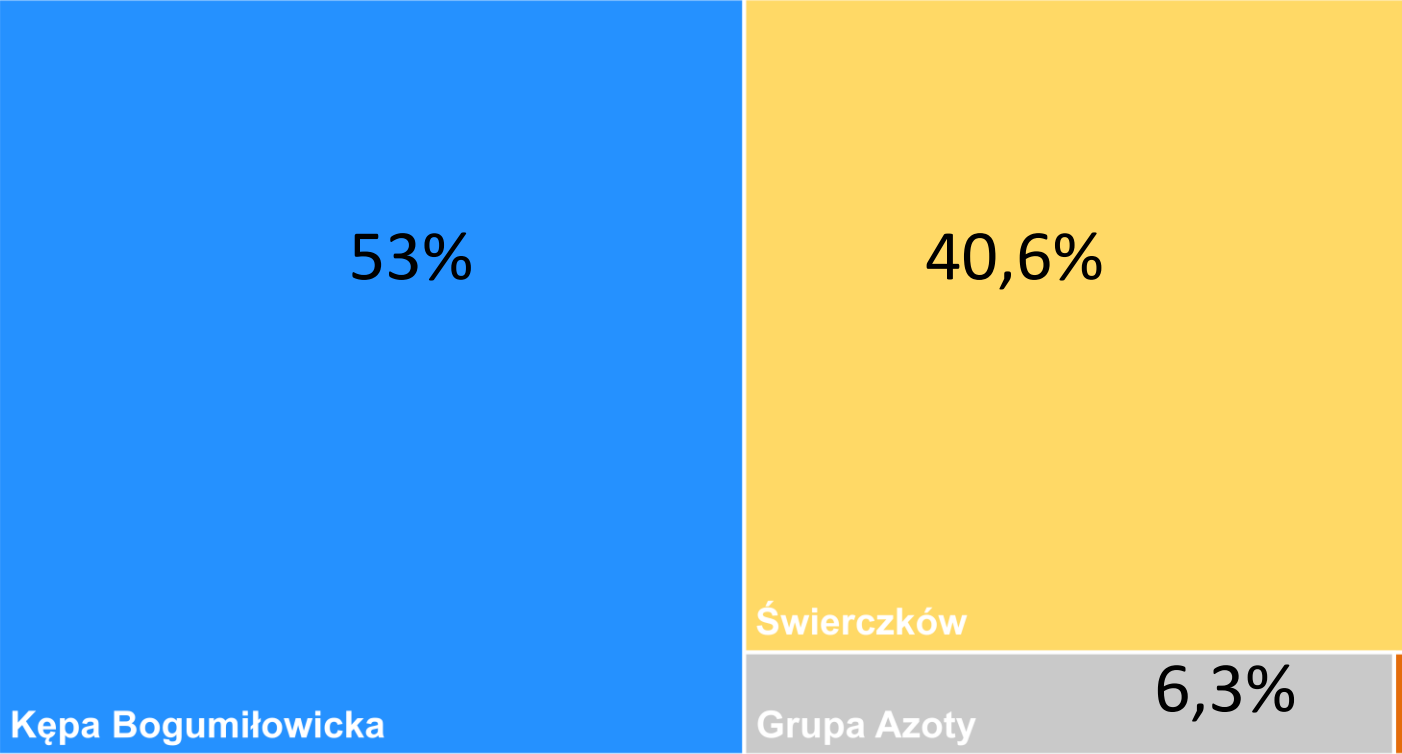


Bilans krążenia wód podziemnych dla
stanu z 2021

Zasoby odnawialne: 23,1 tys. m³/d

Zasoby statyczne: 2,26 x10⁷ m³

Świerczków Grupa Azoty Inne Kępa Bogumiłowicka



Składniki bilansu		m³/d	dm³/s/km²	mm/rok	%
Zasilanie z:	opadów	2990,4	2,3	73,2	12,9
	Dunajca	14685,2	11,4	359,2	63,6
	Białej	641,8	0,5	15,7	2,8
	rowów	4294,9	3,3	105,1	18,6
	południowej granicy modelu	488,1	0,4	11,9	2,1
Suma zasilania (Σ _z)		23100,4	17,9	565,1	100,0
Drenaż:	studnie	17255,0	13,4	422,1	74,7
	Dunajec	4024,6	3,1	98,5	17,4
	Biała	1809,4	1,4	44,3	7,8
	odpływ przez granicę południową	12,3	0,0	0,3	0,1
Suma drenażu (Σ _d)		23101,3	17,9	565,1	100,0

Obszary spływu do ujęć Tarnowskich Wodociągów

Świerczków

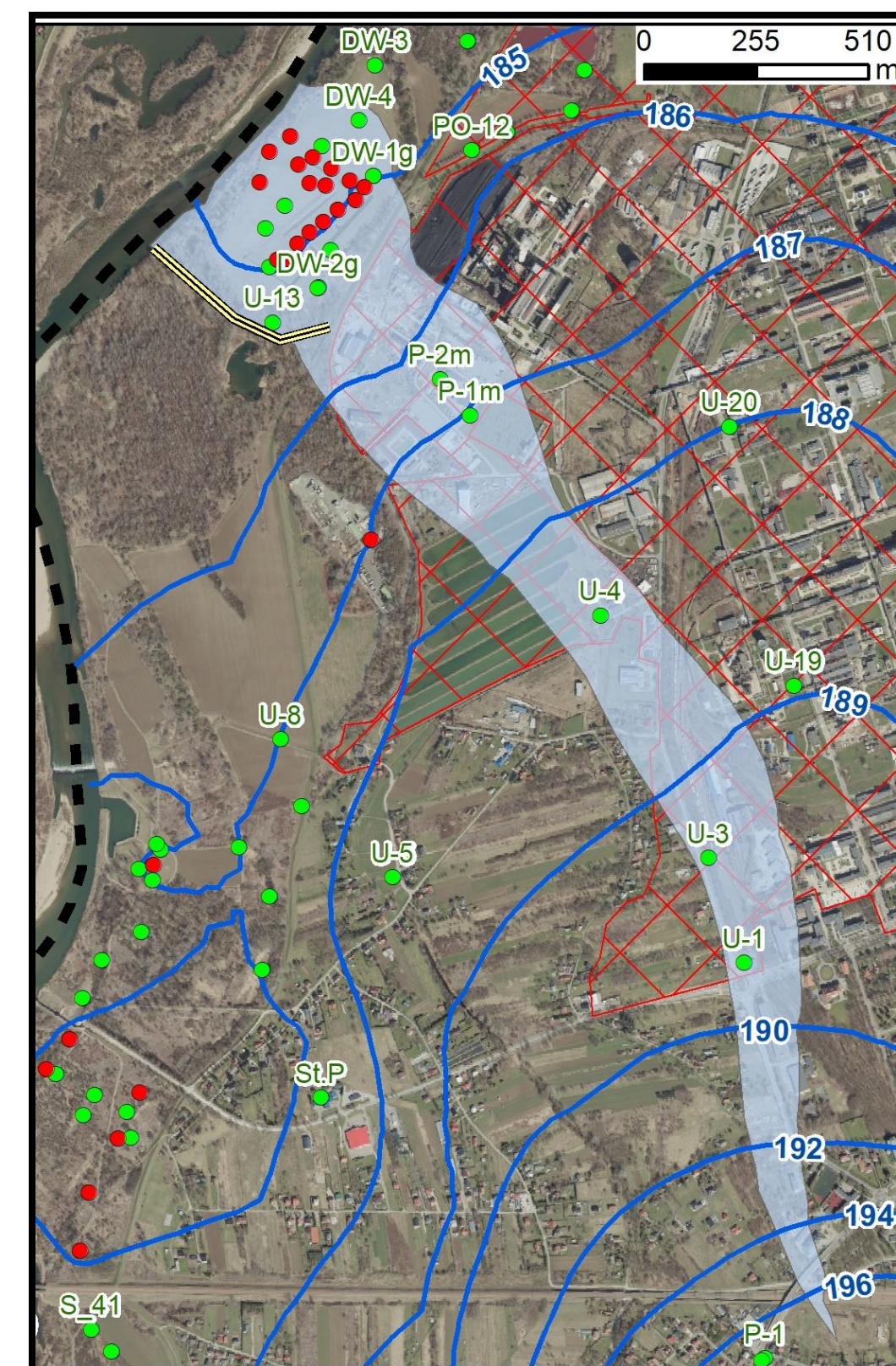
(obszar spływu około 0,77 km²)

Pobór studniami: 7012,9 m³/d

Zasilanie ujęcia:

- Infiltracja z rowów 4295,2 m³/d (61%)
- Dunajec 2588,5 m³/d (37 %)
- Infiltracja z opadów 133,76 m³/d (2%)

błąd bilansu:0,06%

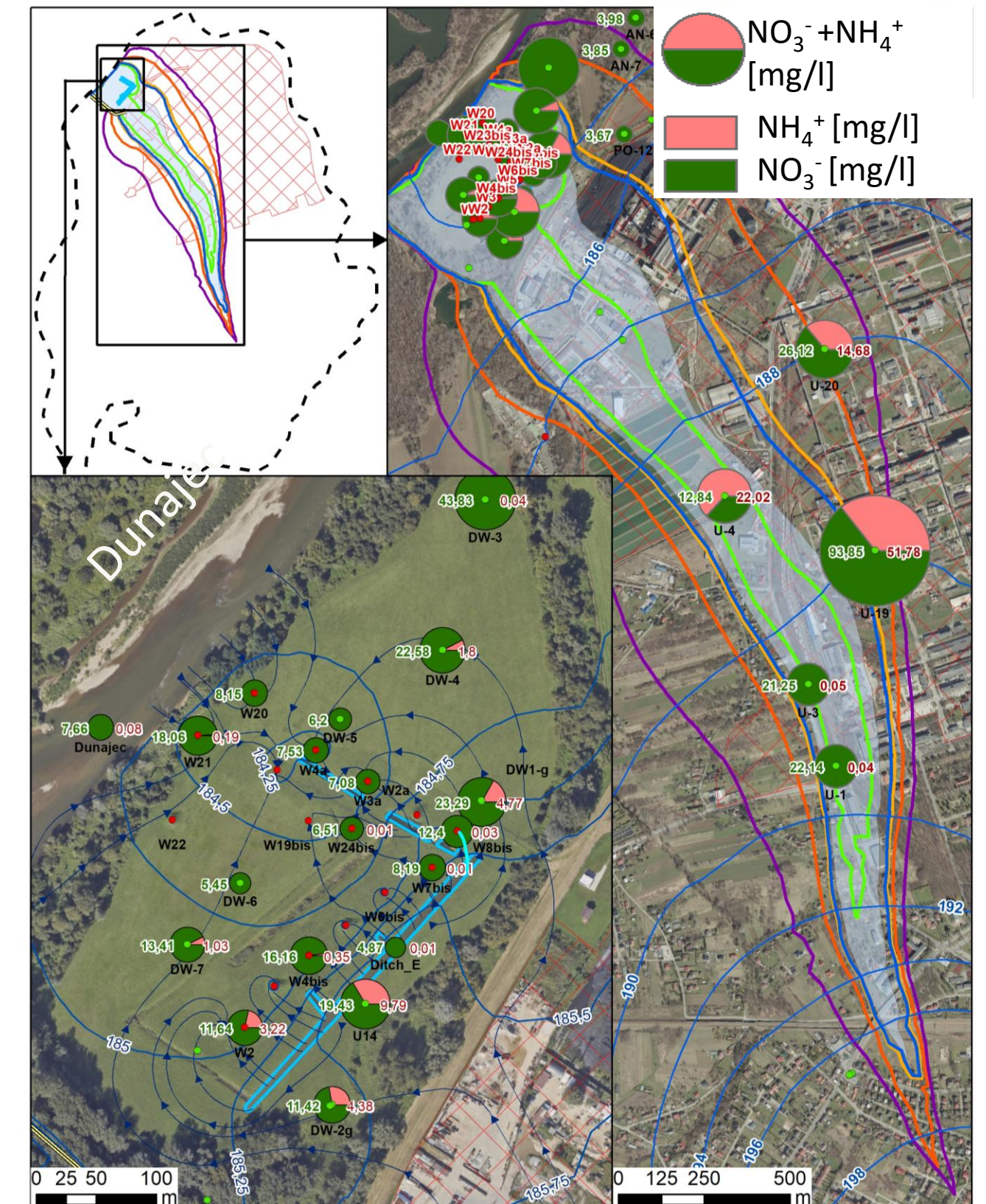


Symulacje prognostyczne działania rowów infiltracyjnych

- spadek przewodności osadów dennych w rowie o 25% w skutek kolmatacji
- spadek przewodności osadów dennych w rowie o 50% w skutek kolmatacji
- obniżenie poziomu wody w rowie o 0,5 m
- podwyższenie poziomu wody w rowie o 0,5 m
- brak rowów infiltracyjnych

Dopływ od SE/ infiltracja z rowów [m³/d]	Powierzchnia obszaru spływu do ujęcia [km²]	Część obszaru spływu przechodząca przez strefę przemysłową [km²]
181,11 / 4000,7	1,04	0,59
303,11 / 2687,3	1,65	0,98
194,45 / 3893,8	1,13	0,65
94,07 / 4699,8	0,51	0,24
429,09 / 0	2,36	1,25

Kolmatacja powoduje rozszerzenie obszaru spływu wód do ujęcia i zwiększa udział wód zanieczyszczonych w sumarycznym poborze ujęcia.



Wpływ wahań zwierciadła wody w Dunajcu

Warunku uśrednione dla rok 2021:

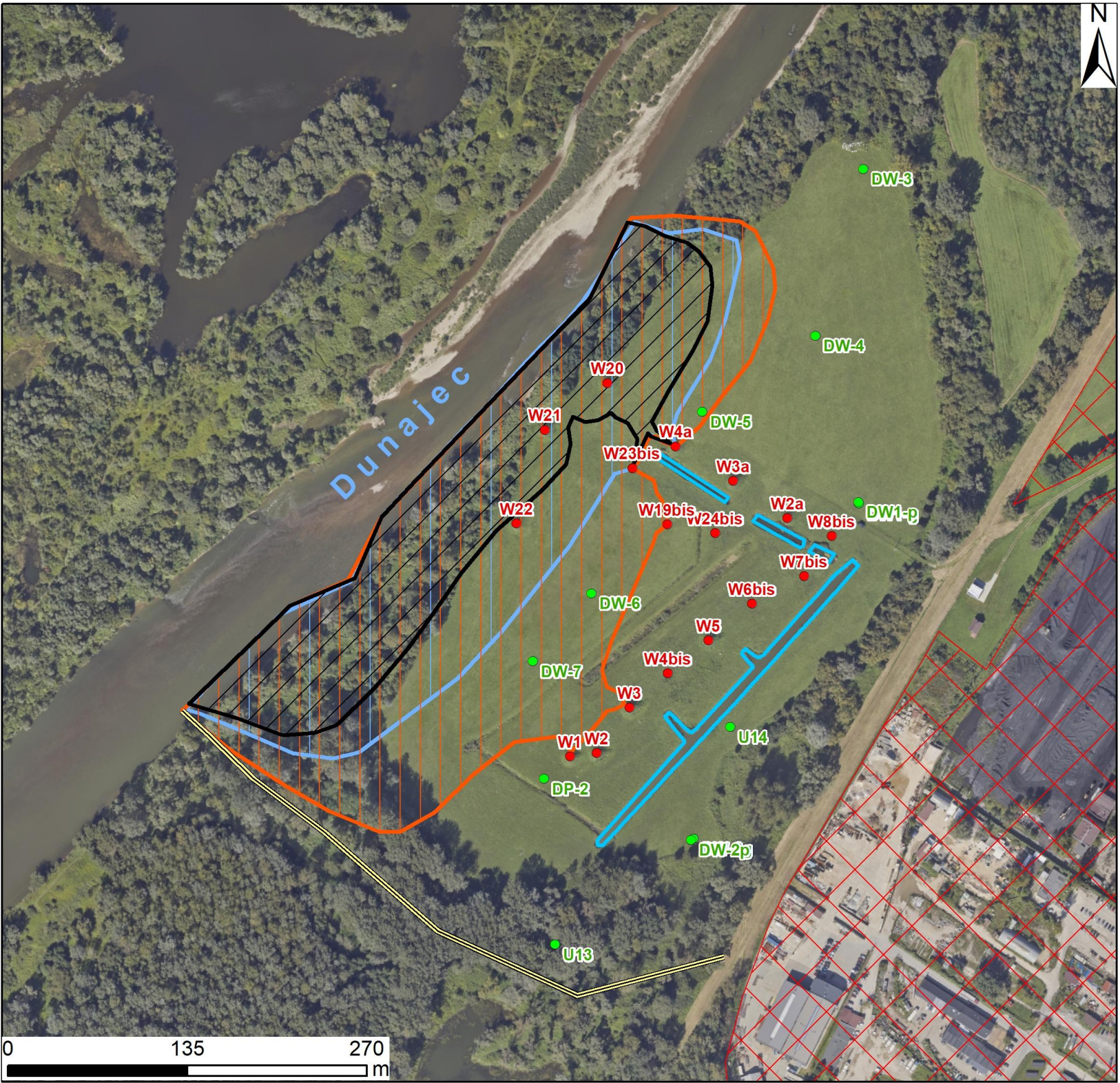
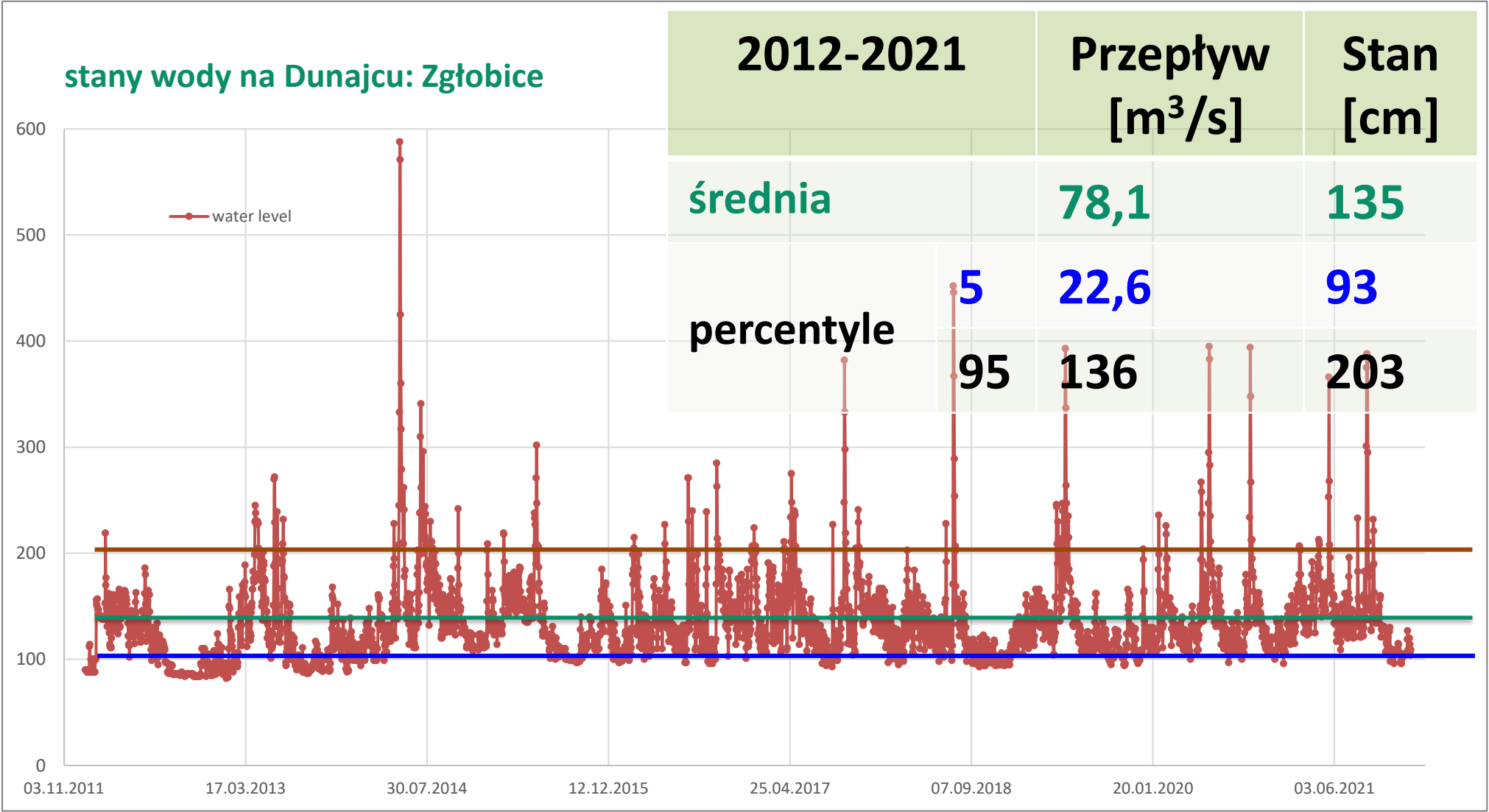
- udział infiltracji wód z Dunajca 37%

Niskie stany wody na Dunajcu:

- udział infiltracji wód z Dunajca 32% (- ok. 350 m3/d)

Wysokie stany wody na Dunajcu:

- udział infiltracji wód z Dunajca 44% (+ ok. 490 m3/d)



Zastosowane znaczniki

$\delta^2\text{H}$ $\delta^{18}\text{O}$

- 9 punktów poboru
 - 1 Dunajec
 - 2 rowy infiltracyjne
 - 5 studni
 - 1 piezometr

➤ okres poboru
09.2020-08.2021

$\delta^{15}\text{N}$ $\delta^{18}\text{O}$

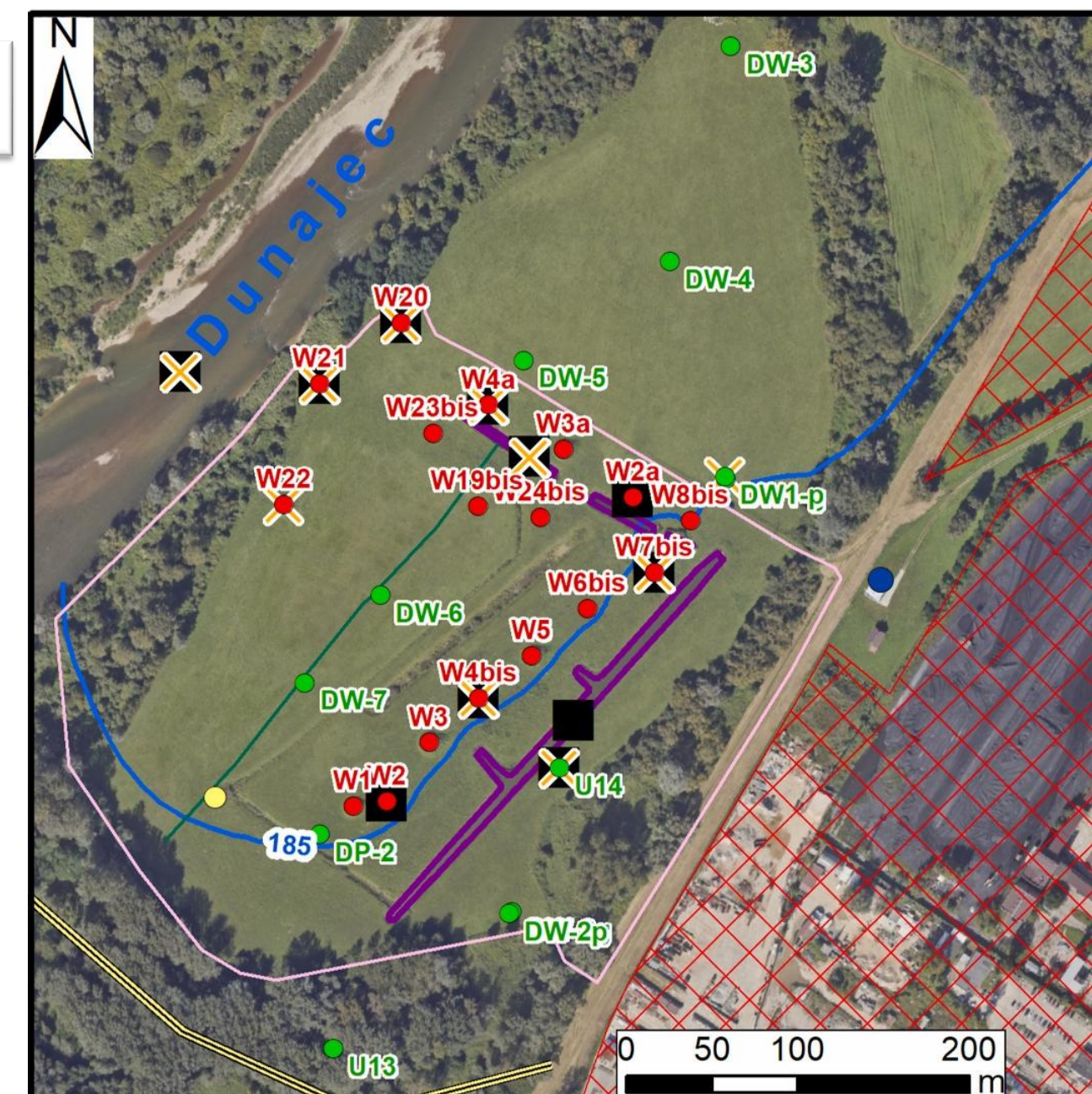
- 11 punktów poboru
 - 1 opad
 - 1 Dunajec
 - 1 rów infiltracyjny
 - 6 studni
 - 3 piezometry

➤ okres poboru
10.2020-06.2021
+ 2 próbki wody z obszaru
przemysłowego w 2022

Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+

- 12 punktów poboru
 - 1 opad
 - 1 Dunajec
 - 1 rów infiltracyjny
 - 8 studni
 - 1 piezometr

➤ okres poboru
09.2020-08.2021



Sampling points
of stable Isotopes of:

✕ nitrate ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) ■ Water ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$)

Ujęcie infiltracyjne Kępa Bogumiłowska



Obszary spływu do ujęć Tarnowskich Wodociągów

Kępa Bogumiłowska (obszar spływu około 4,5 km²)

Pobór studniami: 9140 m³/d

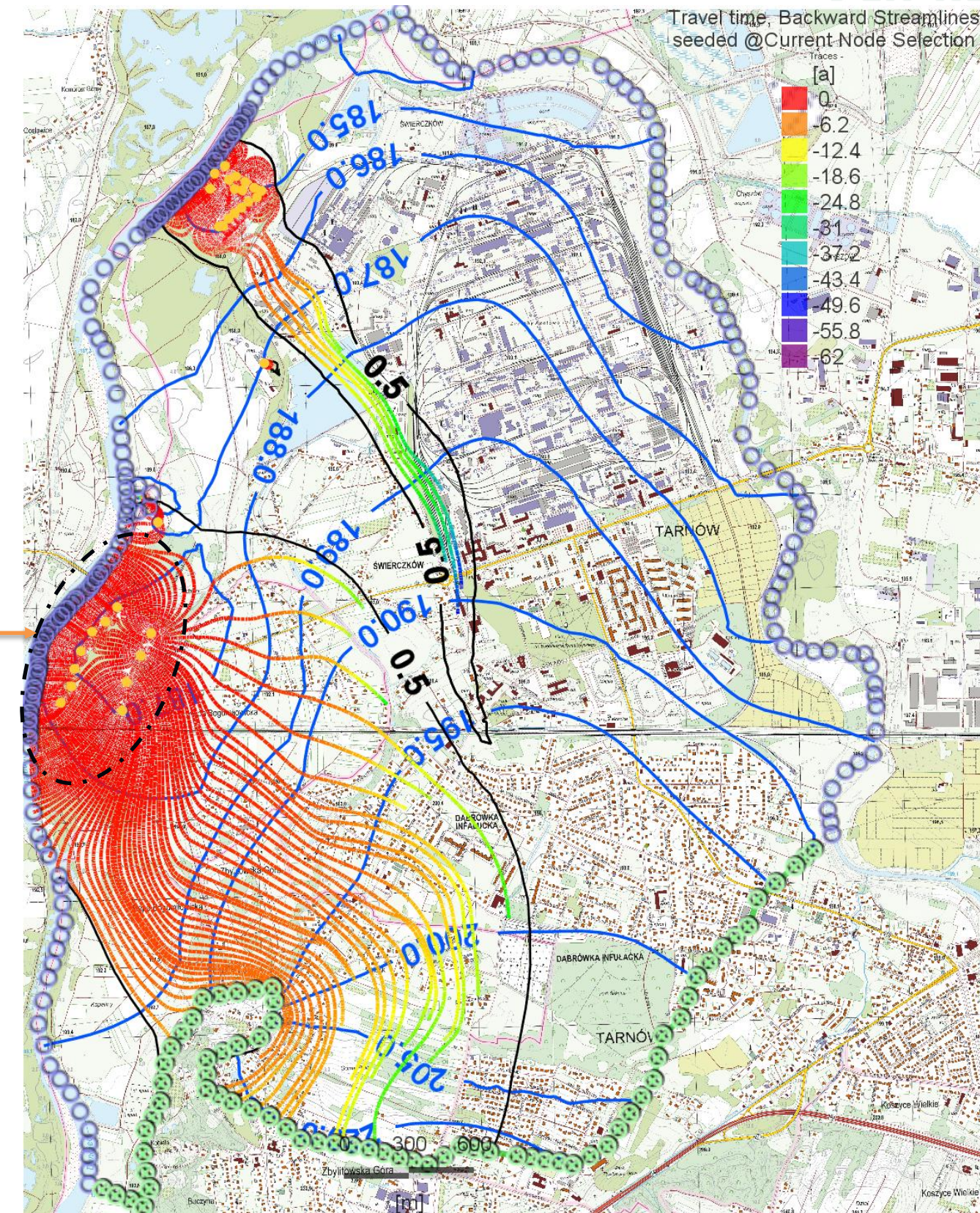
Zasilanie ujęcia:

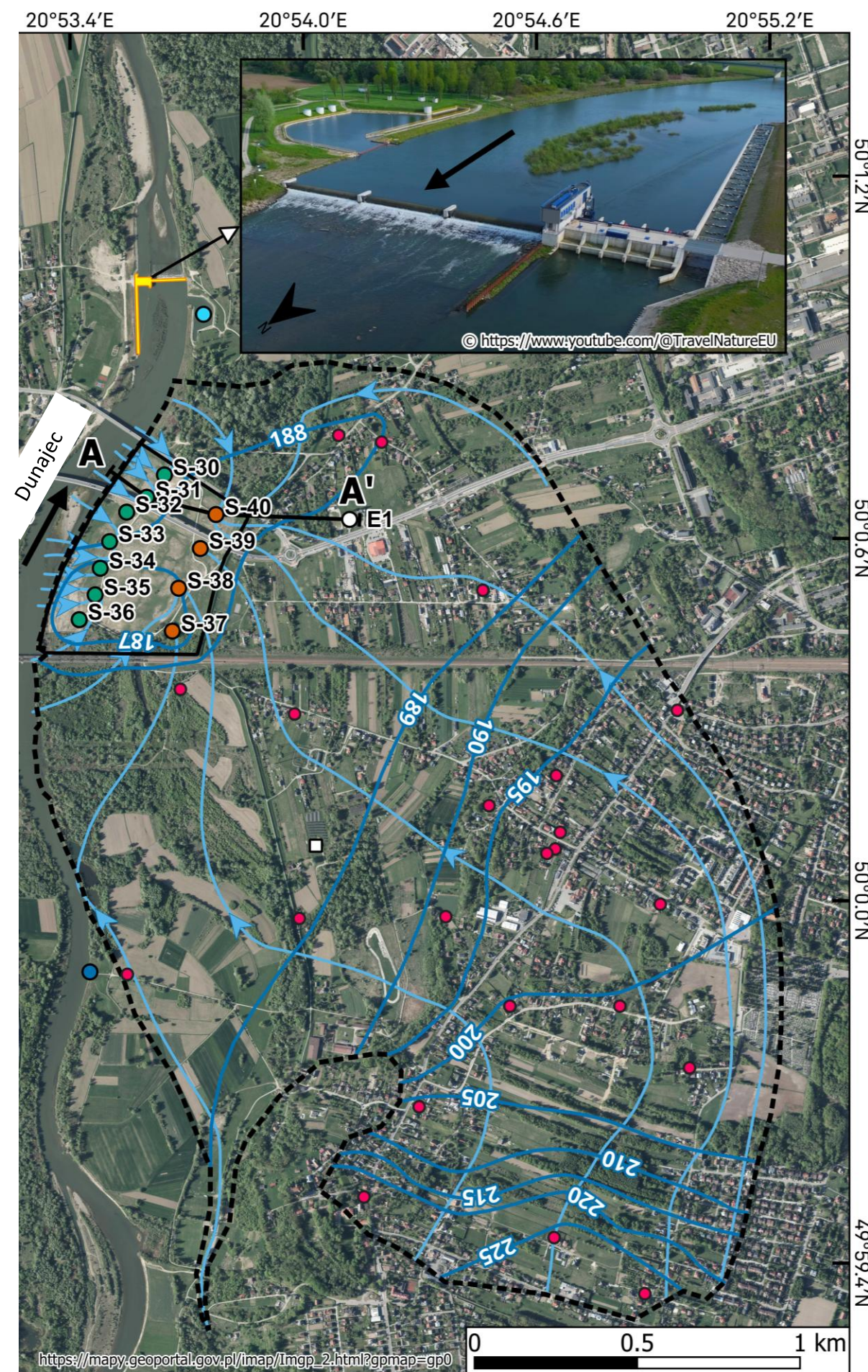
Dunajec 7730 m³/d (około 85 %)

Infiltracja z opadów 1068 m³/d (około 12%)

Dopływ z południa 310 m³/d (około 3%)

błąd bilansu: 0,35%





Efekty spowodowane:

1. zmianami w zagospodarowanie terenu
2. zmianami klimatu

Adaptacja do zmian klimatu



Jakie ryzyka klimatyczne są kluczowe dla ujęć infiltracyjnych?

Zmiana klimatu	Skutek dla ujęcia infiltracyjnego
Dłuższe susze i niżówki rzeczne	mniej dostępność wody do infiltracji, spadek zwierciadła wód podziemnych, krótsza rezerwa eksploatacyjna
Nawalne opady i powodzie	dopływ zanieczyszczeń, wzrost mętności, patogenów, substancji ropopochodnych, pestycydów
Wyższa temperatura wody	szybsze procesy biologiczne, większe ryzyko kolmatacji, zmiany redoks, wzrost Fe, Mn, NH_4^+
Większa zmienność przepływów	niestabilna efektywność infiltracji i zmienne czasy przepływu w warstwie wodonośnej



Adaptacja ujęć infiltracyjnych do zmian klimatu

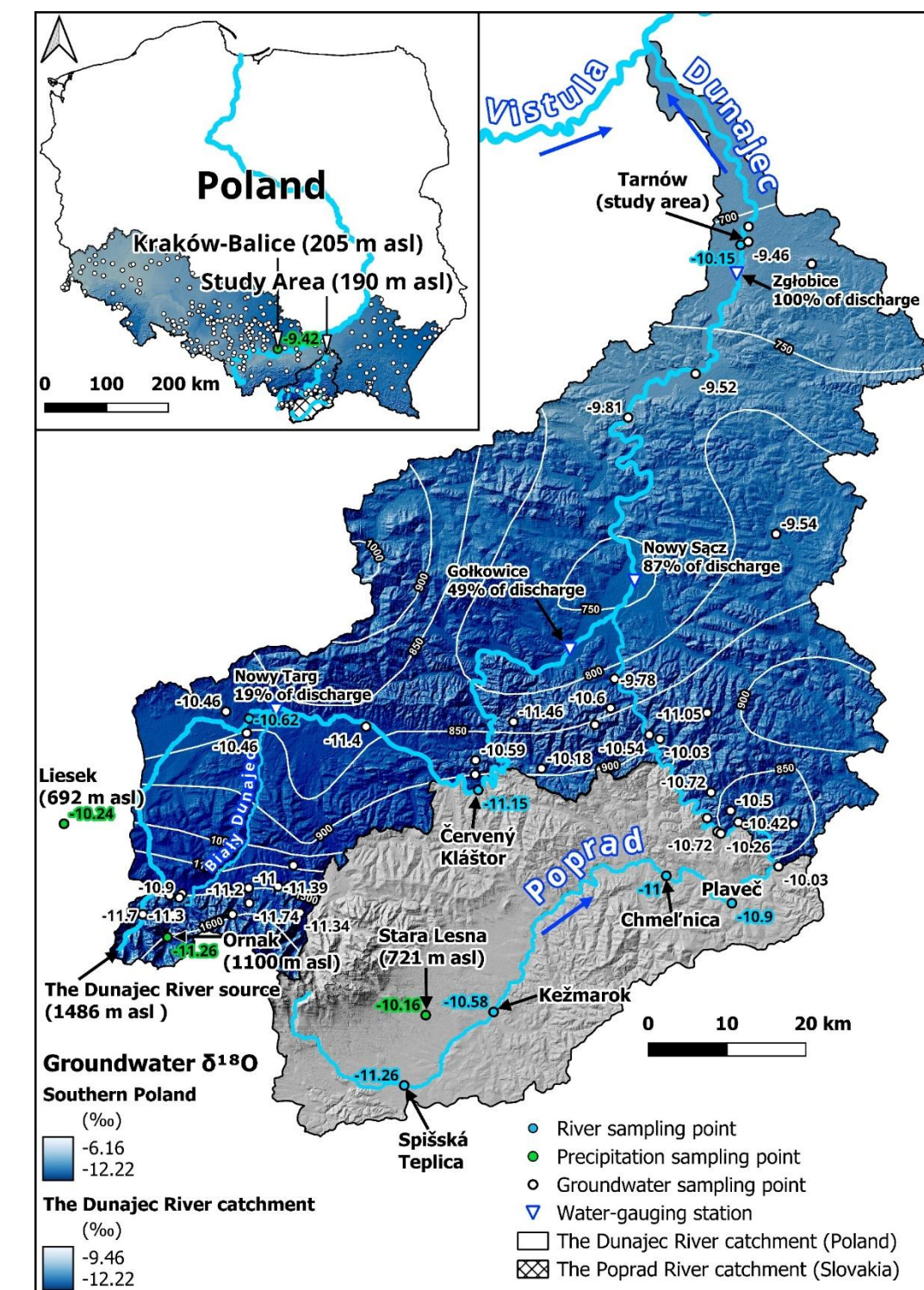
Punkt wyjścia:

zlewnia / rzeka lub zbiornik → strefa infiltracji → warstwa wodonośna → studnie / dreny /
→ uzdatnianie → sieć → odbiorcy

WHO w metodyce Water Safety Plan zaleca **identyfikowanie zagrożeń** i zdarzeń niebezpiecznych **dla każdego etapu systemu zaopatrzenia w wodę**. Zmiana klimatu może wpływać m.in. na jakość wody, ilość wody, akceptowalność wody i ciągłość dostaw.

IPCC wskazuje, że cieplejsza woda, intensywniejsze opady oraz dłuższe okresy niskich przepływów pogarszają jakość wód i wpływają na niezawodność oraz koszty funkcjonowania usług wodnych. W praktyce oznacza to, że **dla ujęć infiltracyjnych należy analizować** nie tylko średnie warunki, ale **przede wszystkim sytuacje skrajne**: powódź po długiej suszy, długotrwałą niżówkę, awarię kanalizacji, zrzut zanieczyszczeń powyżej ujęcia albo gwałtowny spływ zanieczyszczeń po opadzie.

Dla ujęć infiltracyjnych analiza adaptacji powinna być przede wszystkim:
analizą ryzyka ilościowego, jakościowego i eksploatacyjnego



Powierzchnia dorzecza Dunajca wynosi 6804 km²
(w Polsce 4854,1 km², na Słowacji 1949,9 km²)

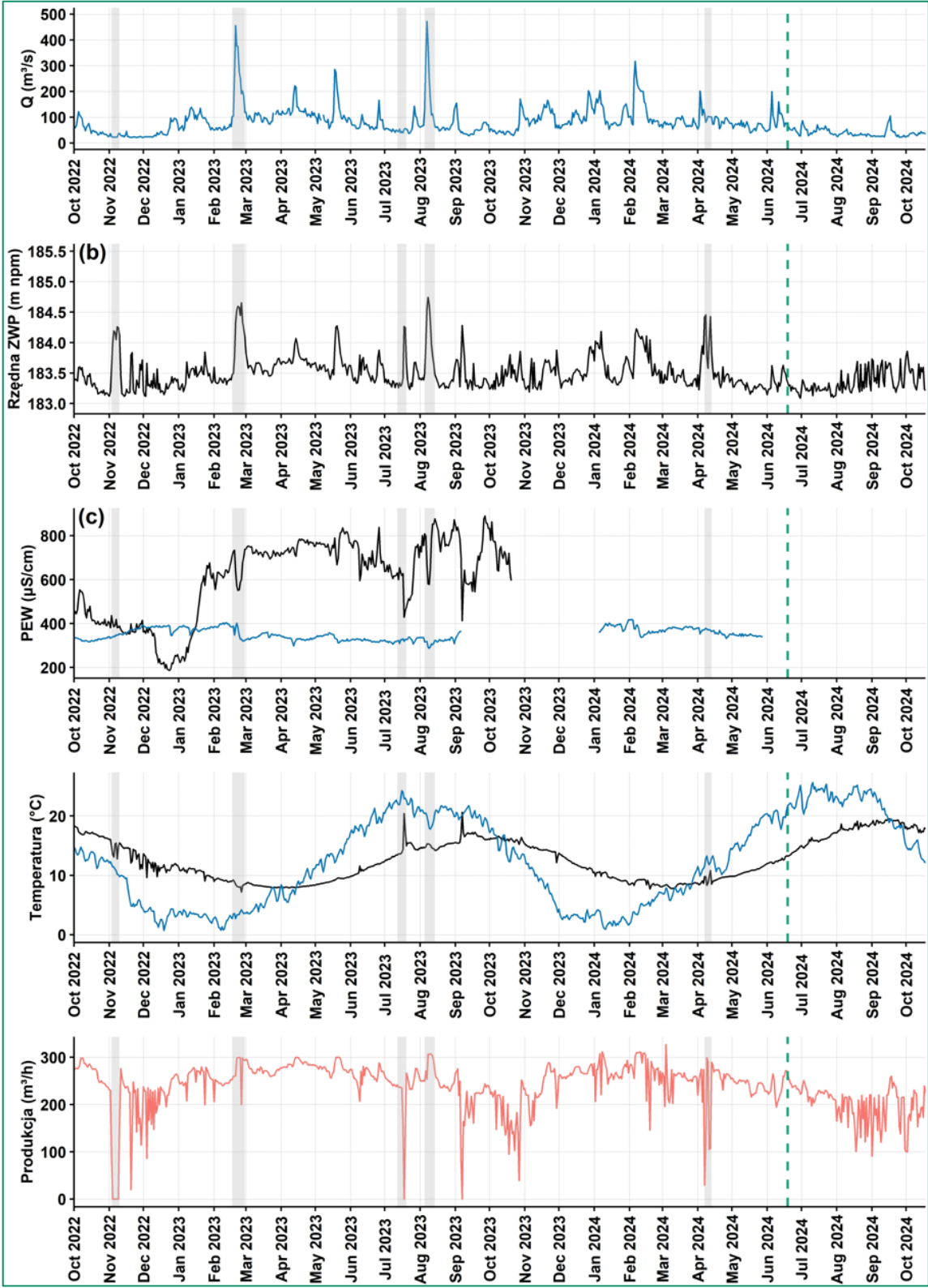
Adaptacja operacyjna: sterowanie poborem

1. **Zmienne wydajności studni** zależne od stanu rzeki, poziomu wód podziemnych, jakości wody i prognozy hydrologicznej.
2. **Ograniczanie poboru w czasie niżówek**, szczególnie gdy pompowanie nadmiernie zwiększa udział wody rzecznej lub pogarsza warunki ekologiczne cieku.
3. **Czasowe wyłączenia lub redukcje poboru po falach zanieczyszczeń**, np. po powodziach, awariach kanalizacji, spływach z pól, zrzutach przemysłowych.
4. **Sterowanie czasem retencji podziemnej**, gdy jakość wody powierzchniowej się pogarsza - przez zmianę układu pracy studni, zmniejszenie gradientu hydraulicznego lub wykorzystanie bardziej oddalonych studni.



Adaptacja monitoringowa: więcej czujników, krótszy krok decyzyjny

Poziom rzeki i przepływ	ocena dostępności wody do infiltracji
Poziomy piezometryczne	kontrola depresji, gradientu i zasobów
Temperatura wody	wskaźnik udziału wody rzecznej i procesów biologicznych
Przewodność elektrolityczna	szybki wskaźnik zasolenia lub dopływu zanieczyszczeń
Tlen, pH, potencjał redoks	kontrola warunków uruchamiania Fe, Mn, NH ₄ ⁺
Mętność, DOC/TOC	sygnał spływów powierzchniowych i materii organicznej
Azotany, pestycydy, mikrozanieczyszczenia	szczególnie po opadach i w okresach prac rolniczych
Mikrobiologia	szczególnie po powodziach i awariach kanalizacji



zdjęcia pochodzą ze strony firmy AquaTerra



Adaptacja techniczna: zwiększyć elastyczność układu

- modernizacja lub rozbudowa rowów, stawów i basenów infiltracyjnych, jeżeli ujęcie je wykorzystuje;
- zwiększenie powierzchni infiltracji, żeby nie eksploatować stale jednego najbardziej obciążonego fragmentu;
- renowacja studni i odkolmatowanie stref infiltracyjnych;
- budowa dodatkowych piezometrów kontrolnych między rzeką a studniami;
- zabezpieczenie obiektów przed zalaniem wodami powodziowymi;
- rezerwowe źródła wody na czas skrajnej suszy lub pogorszenia jakości wody rzecznej.



Adaptacja jakościowa: przygotować scenariusze dla sytuacji ekstremalnych

Sytuacja	Reakcja eksploatacyjna
Nawalny opad w zlewni	zwiększony monitoring mętności, mikrobiologii, pestycydów
Fala powodziowa	ograniczenie lub czasowe wyłączenie najbardziej narażonych studni
Wzrost przewodności	kontrola zasolenia, chlorków, siarczanów, możliwe ograniczenie poboru
Wzrost temperatury i spadek tlenu	kontrola Fe, Mn, NH_4^+ , warunków redoks
Awaria kanalizacji / przemysłu w górze rzeki	przejsięcie na źródło rezerwowe lub wydłużenie czasu retencji
Długotrwała susza	redukcja wydajności, rotacja studni, priorytetyzacja poboru, zarządzanie popytem



Adaptacja przestrzenna: chronić obszar zasilania

- aktualizować strefy ochronne ujęcia z uwzględnieniem scenariuszy powodzi, suszy i zmian użytkowania terenu;
- ograniczać lokalizację magazynów paliw, chemikaliów, składowisk, intensywnego rolnictwa i kanalizacji nieszczelnej w strefach podatnych;
- odtwarzać tereny zalewowe i retencję dolinną tam, gdzie to możliwe;
- zwiększać retencję krajobrazową i miejską w zlewni;
- monitorować dopływy punktowe i obszarowe powyżej ujęcia.

Ujęcie infiltracyjne jest tak odporne, jak odporne są jego **zlewnia i strefa zasilania.**





Dzisiejsze spotkanie było możliwe dzięki otwartości i wieloletniej współpracy
Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z Tarnowskimi Wodociągami Sp. z o.o.





UNIWERSYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH

Śląskie.
DLA KLIMATU

Dziękuję za uwagę



Instytut Nauk o Ziemi

Zespół badawczy: Wody podziemne pod wpływem antropopresji



slawomir.s.sitek@us.edu.pl



+48 32 3689 369

