



BADANIA TERENOWE I MODELOWE WÓD PODZIEMNYCH W GMINIE PUCK

Dawid Potrykus (dawpotry@pg.edu.pl),
Beata Jaworska-Szulc, Adam Szymkiewicz,
Małgorzata Pruszkowska-Caceres, Anna Gumuła-Kawęcka

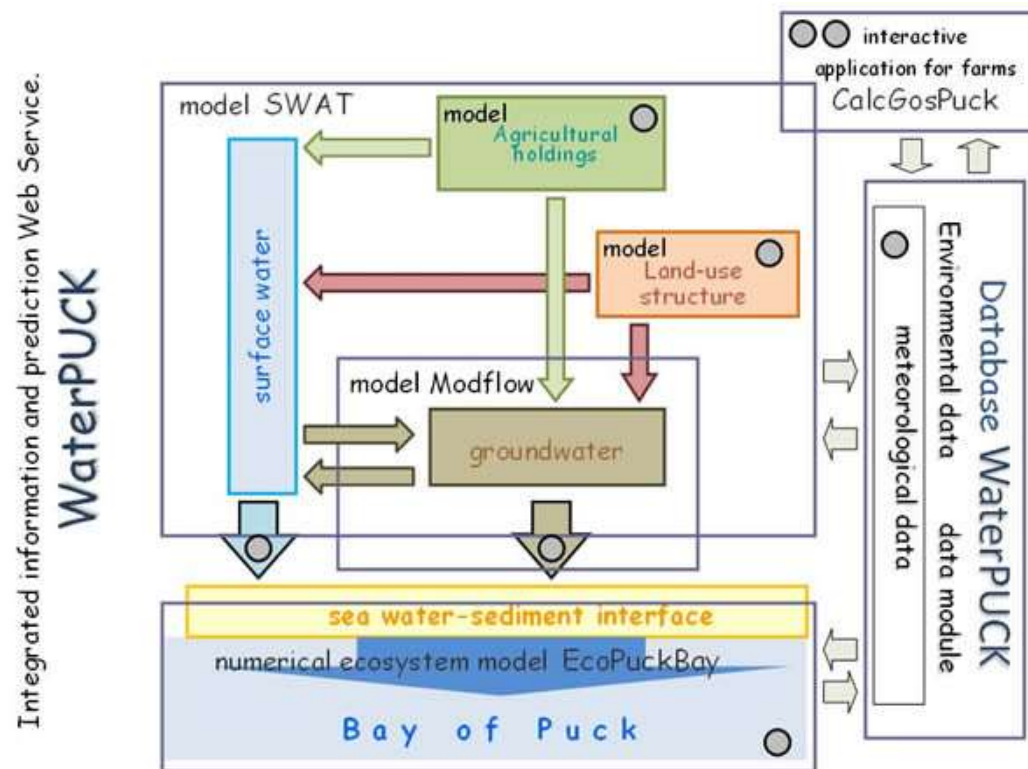


POLITECHNIKA
GDAŃSKA

PROJEKT WaterPUCK

ZADANIE (WP4)

MODEL ROZPRZĘSTRZENIA SIĘ ZANIECZYSZCZEŃ W WODACH PODZIEMNYCH





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

PLAN PREZENTACJI

1. WARUNKI WYSTĘPOWANIA WÓD PODZIEMNYCH

2. BADANIA TERENOWE

3. BADANIA JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH - HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

4. BADANIA MODELOWE - MODUŁ GROUNDPUCK





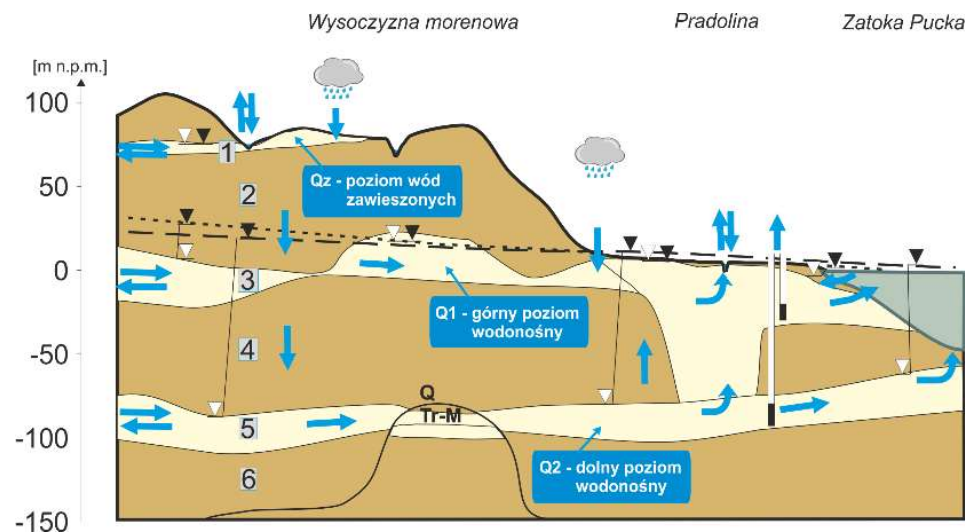
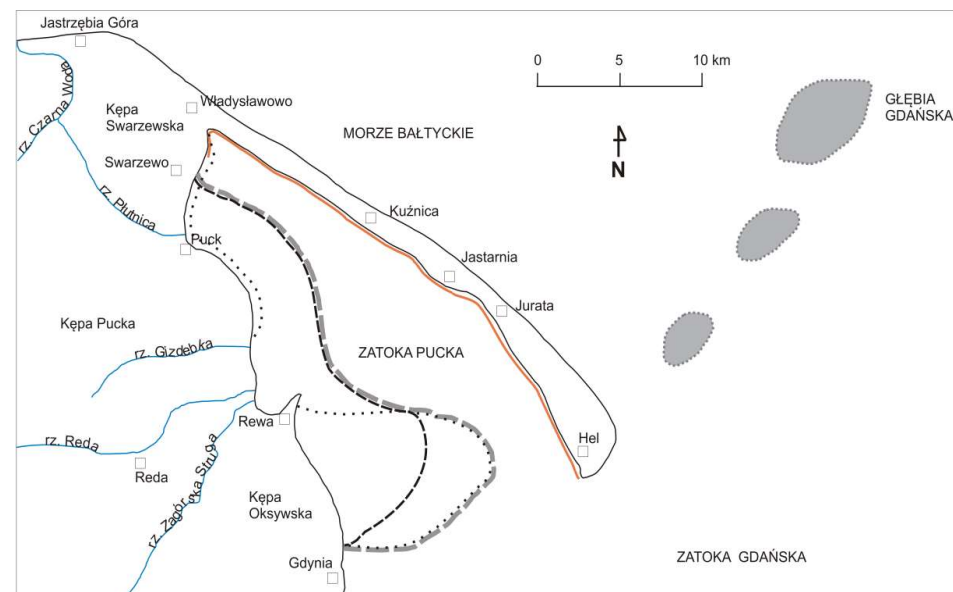
POLITECHNIKA
GDAŃSKA

WARUNKI WYSTĘPOWANIA WÓD PODZIEMNYCH

Podstawą prowadzenia badań terenowych i modelowych było zgromadzenie i dokładna analiza dostępnych materiałów archiwalnych na temat badanego terenu.

Na badanym obszarze rozpoznano trzy poziomy wodonośne (w piaskach i żwirach), rozdzielone warstwami glin polodowcowych, słabo przepuszczalnych dla wody.

Zasadniczą strefą drenażu wód podziemnych występujących w obrębie Pobrzeża Kaszubskiego jest Zatoka Pucka.





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

BADANIA TERENOWE

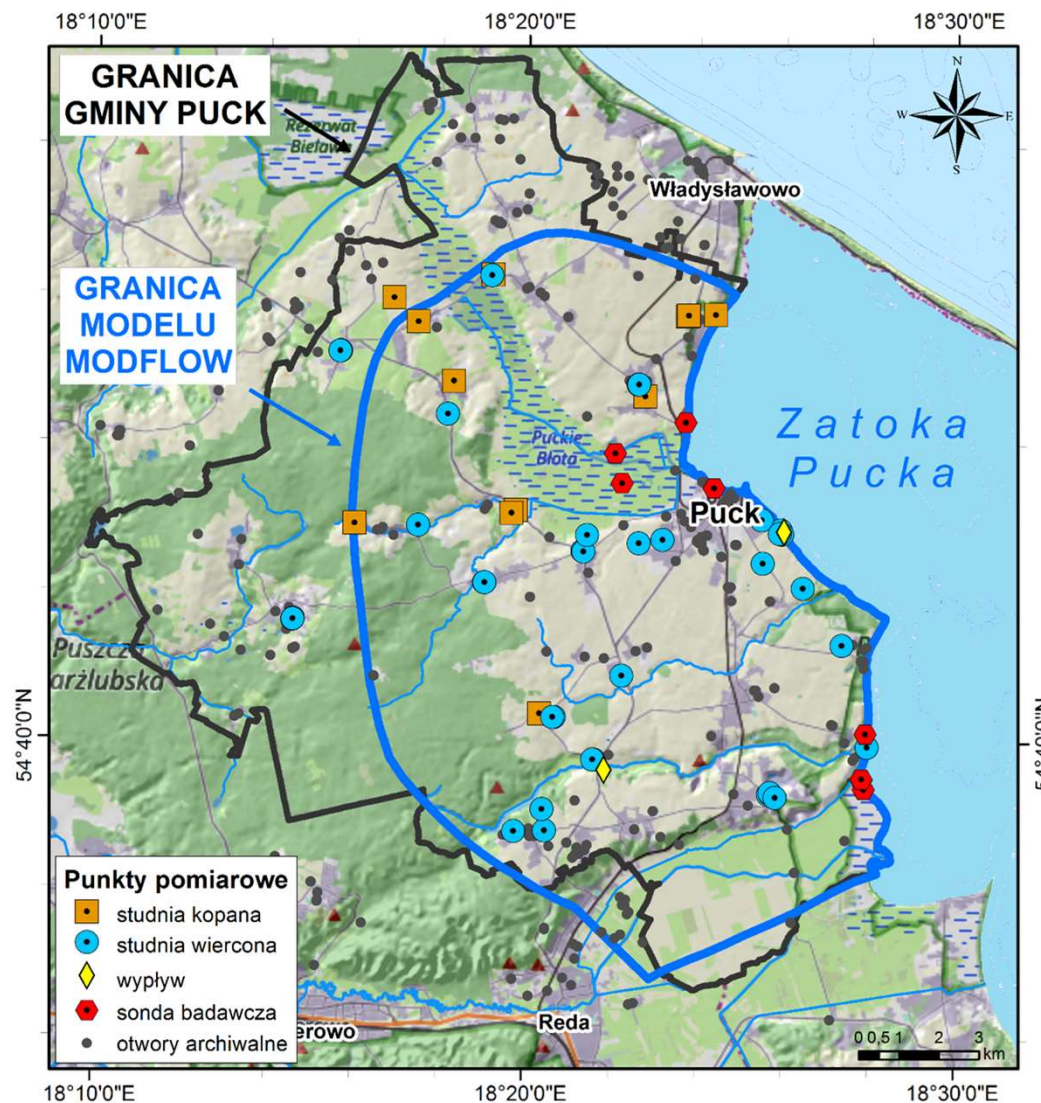
18 sesji terenowych
(lipiec 2017 – lipiec 2019):

- pomiary położenia zwierciadła wody
- określenie wybranych wskaźników fizycznych i chemicznych (pH, PEW, T, Eh, NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 , SO_4 , Cl, K)
- pobór próbek do badań laboratoryjnych

60 punktów badawczych:

- studnie kopane (12)
- studnie wiercone (37)
- sondowania (9)
- wypływy (2)

Analiza danych z otworów archiwalnych (434)



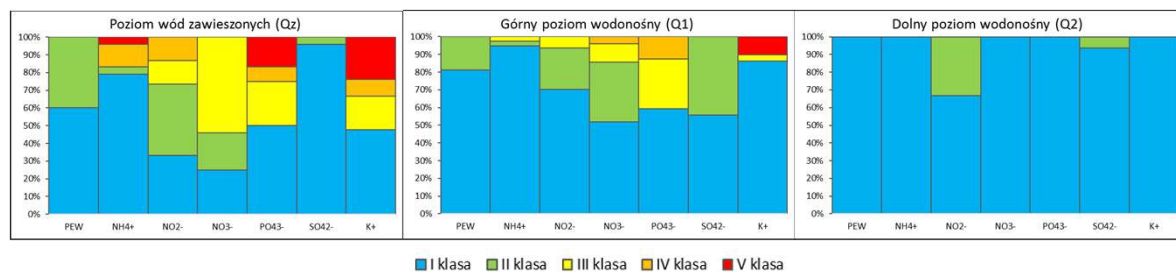
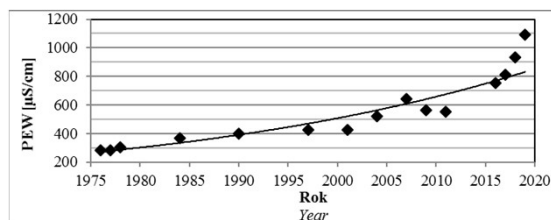
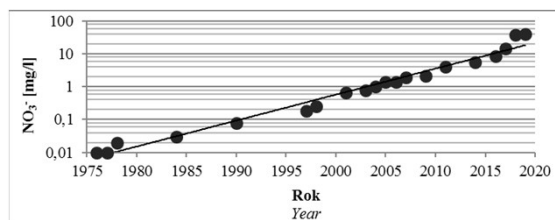


POLITECHNIKA
GDAŃSKA

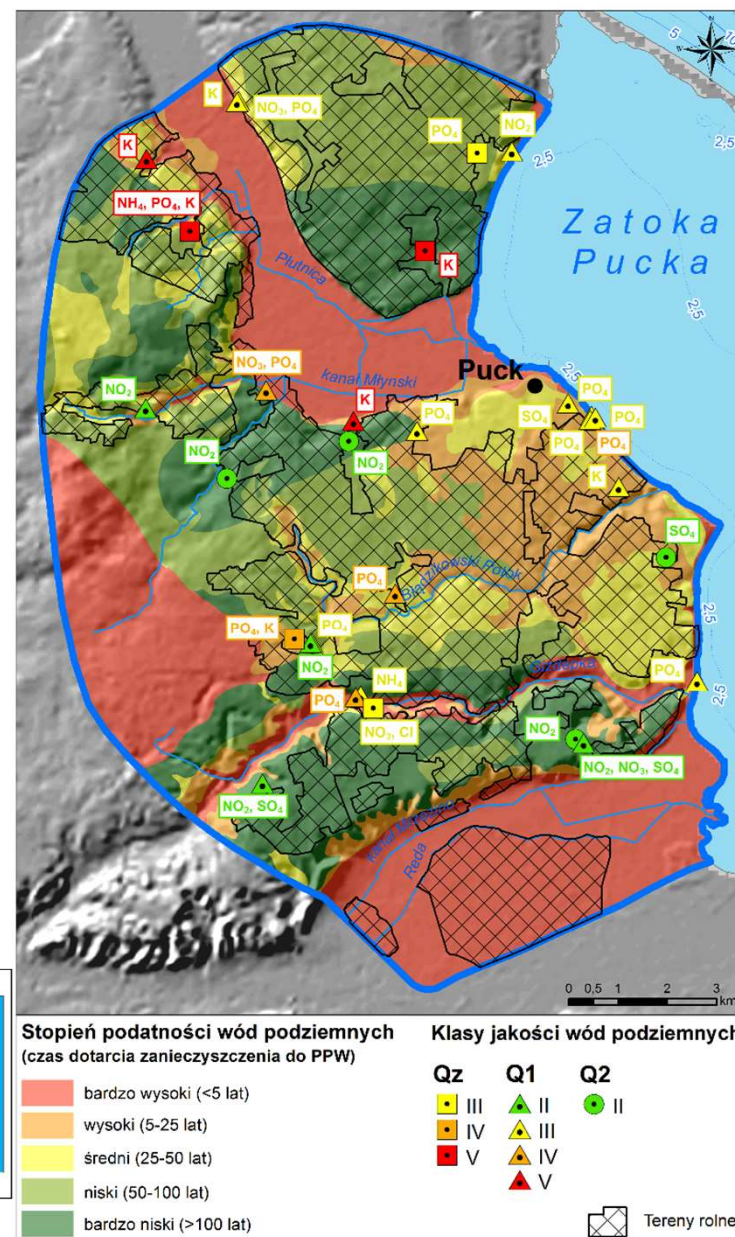
BADANIA JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Dopływ zanieczyszczeń do poziomu wodonośnego powoduje zróżnicowanie jakości wód podziemnych, co w obrębie badanego terenu przejawia się :

- wzrostem stężeń niektórych składników w stosunku do badań archiwalnych
- inwersją hydrogeochemiczną
- mozaikowym rozkładem przestrzennym wybranych parametrów



Klasy jakości wód podziemnych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. 2019 poz. 2148)





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

BADANIA JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Badania zawartości pestycydów w wodach podziemnych:

- 20 próbek wód podziemnych
- dwukrotny pobór próbek (08.2018 i 06.2019)
- 1870 analiz w zakresie zawartości pestycydów chloroorganicznych (aldryny, dieldryny, endryny, izodryny, DDT, DDD, DDE, izomerów HCH) oraz ich substancji czynnych (po ok. 330 związków czynnych z różnych grup pestycydów) wykonanych przez Instytut Morski w Gdańsku



Pestycydy wykryto tylko w dwóch próbkach badanych podczas pierwszej serii pobrań:

- studnia kopana (kwas aminometylofosfonowy AMPA 0,11 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)
- wypływ (glifosat 0,021 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

Druga seria pobrań nie potwierdziła obecności pestycydów w badanych wodach.



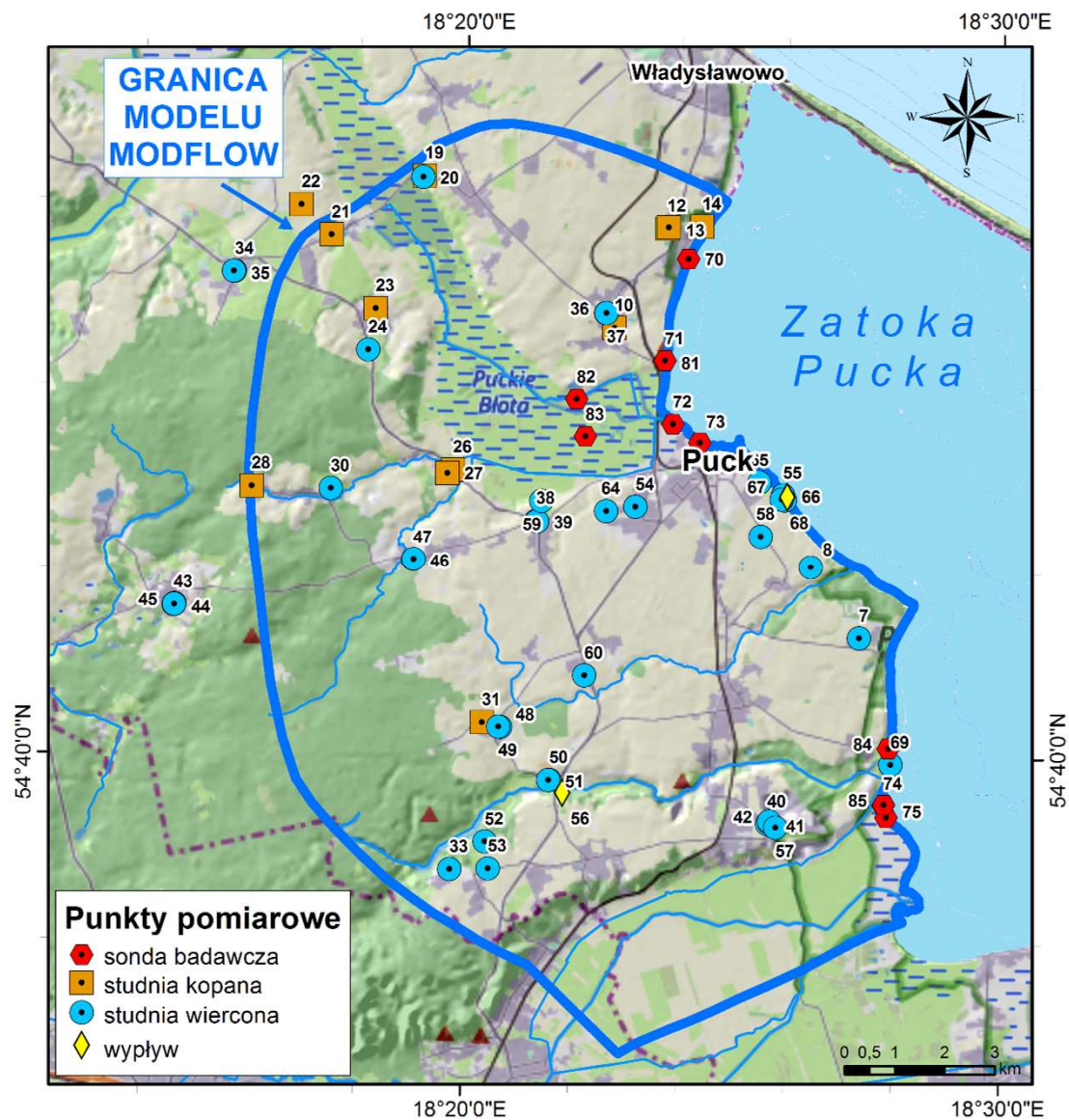
POLITECHNIKA
GDAŃSKA

HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

www.waterpuck.pl

HBD zawiera wyniki oznaczeń z **60** punktów badawczych w łącznej ilości **1942** analiz wykonywanych w terenie i laboratorium w zakresie:

- pH, PEW, temperatura, Eh
- N-NH₄, NH₄, N-NO₂, NO₂, N-NO₃, NO₃, N_{org}, N_{og}, PO₄, P-PO₄, P_{org}, P_{og}, SO₄, Cl, K, Na, Ca, Mg, HCO₃, ChZT oraz Tw_{og}
- pestycydy (+1870 oznaczeń)





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

www.waterpuck.pl

← → ↻ waterpuck.pl/pl

Telefon: +48 58 731 19 15 Kontakt: dzierzb@iopan.gda.pl



[START](#)

[PROJEKT WATERPUCK](#)

[PARTNERZY](#)

[AKTUALNOŚCI](#)

[PUBLIKACJE](#)

[KONFERENCJE](#)

[GALERIA](#)

[PRODUKTY](#)

[KONTAKT](#)

WATERPUCK

Modelowanie wpływu gospodarstw rolnych i struktur użytkowania terenu zlewni na jakość wód lądowych i morskich.

[DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ](#)

- KALKULATOR GOSPODARSTWA
- KALKULATOR WYMYWANIA
- ANKIETA
- PROCEDURY
- ECOPUCKBAY - MODEL HYDRODYNAMICZNY ZATOKI PUCKIEJ
- ECOPUCKBAY - MODEL BIOCHEMICZNY ZATOKI PUCKIEJ
- SWAT - MODEL WÓD POWIERZCHNIOWYCH
- GROUNDPUCK - MODEL WÓD PODZIEMNYCH
- ECOPUCKBAY - MODEL ROZPŁYWU BIOGENÓW
- 3DCMBS - MODEL EKOSYSTEMU MORZA BAŁTYCKIEGO
- BAZA DANYCH**

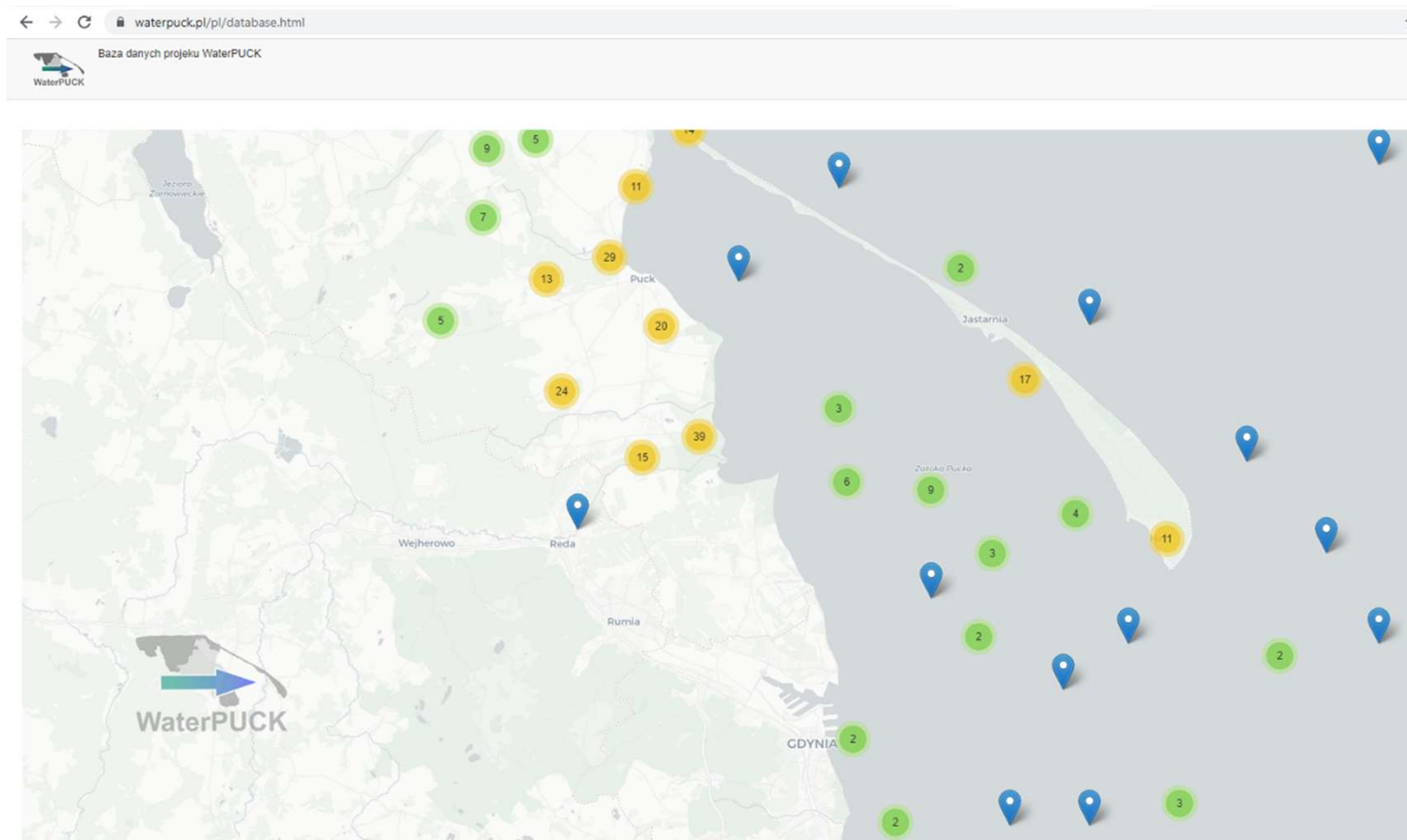




POLITECHNIKA
GDAŃSKA

HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

www.waterpuck.pl





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

www.waterpuck.pl

← → ↻ waterpuck.pl/pl/database.html ☆

Baza danych projektu WaterPUCK

WaterPUCK

Punkt pomiaru: PG_WP4-56

Wybierz jeden z poniższych parametrów:

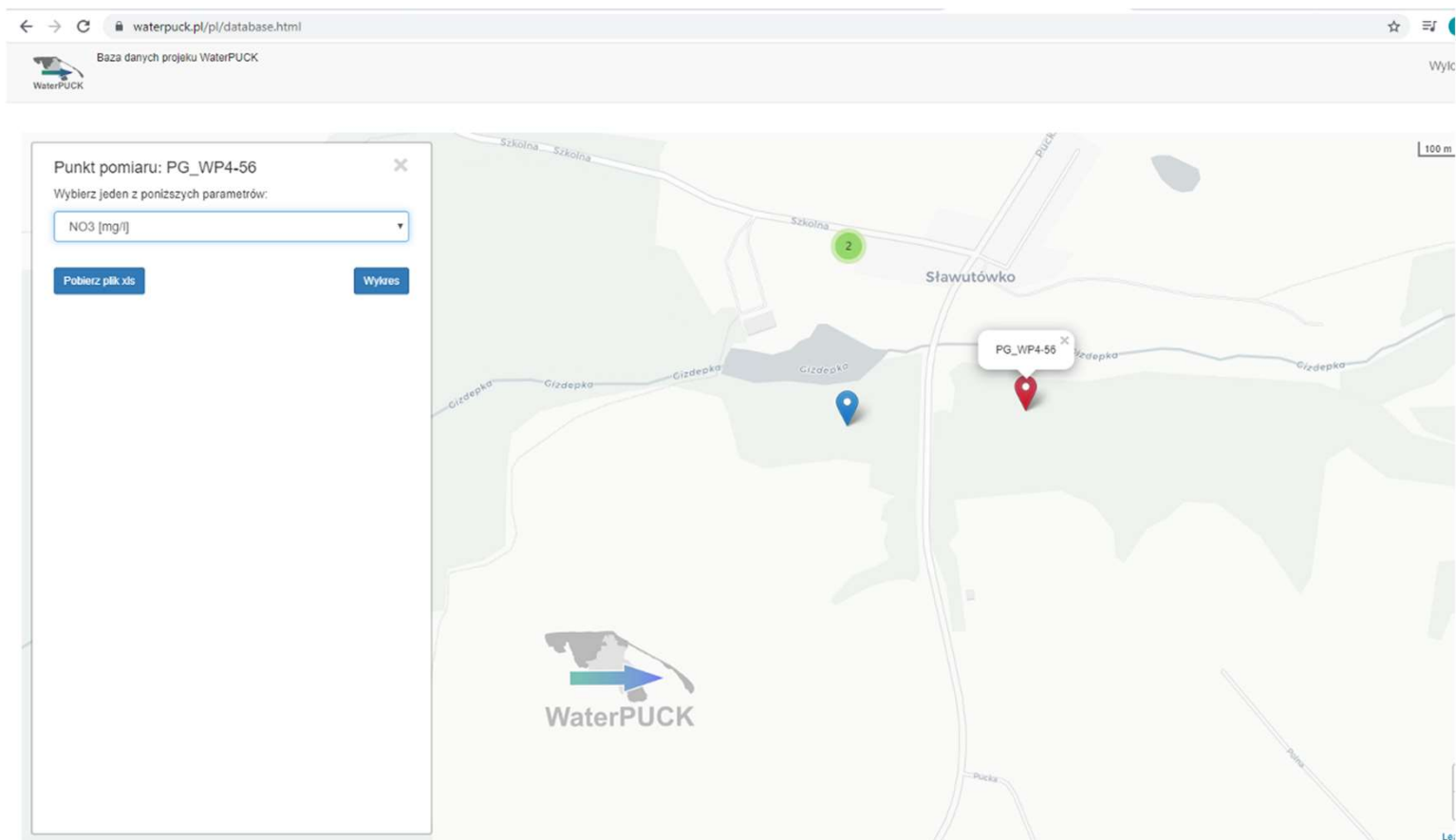
- NO3 [mg/l]
- pH [-]
- Eh [mV]
- PEW [μ S/cm]
- T [°C]
- NH4 [mg/l]
- NO2 [mg/l]
- NO3 [mg/l]**
- PO4 [mg/l]
- SO4 [mg/l]
- Cl [mg/l]
- N-NH4 [mg/l]
- N-NO2 [mg/l]
- N-NO3 [mg/l]
- Norg [mg/l]
- Norg mg/dm³
- P-PO4 [mg/l]
- Porg [mg/l]
- Porg mg/dm³
- K mg/kg
- Na [mg/l]



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

www.waterpuck.pl





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

www.waterpuck.pl

dane.xls [Tryb zgodności] - Microsoft Excel

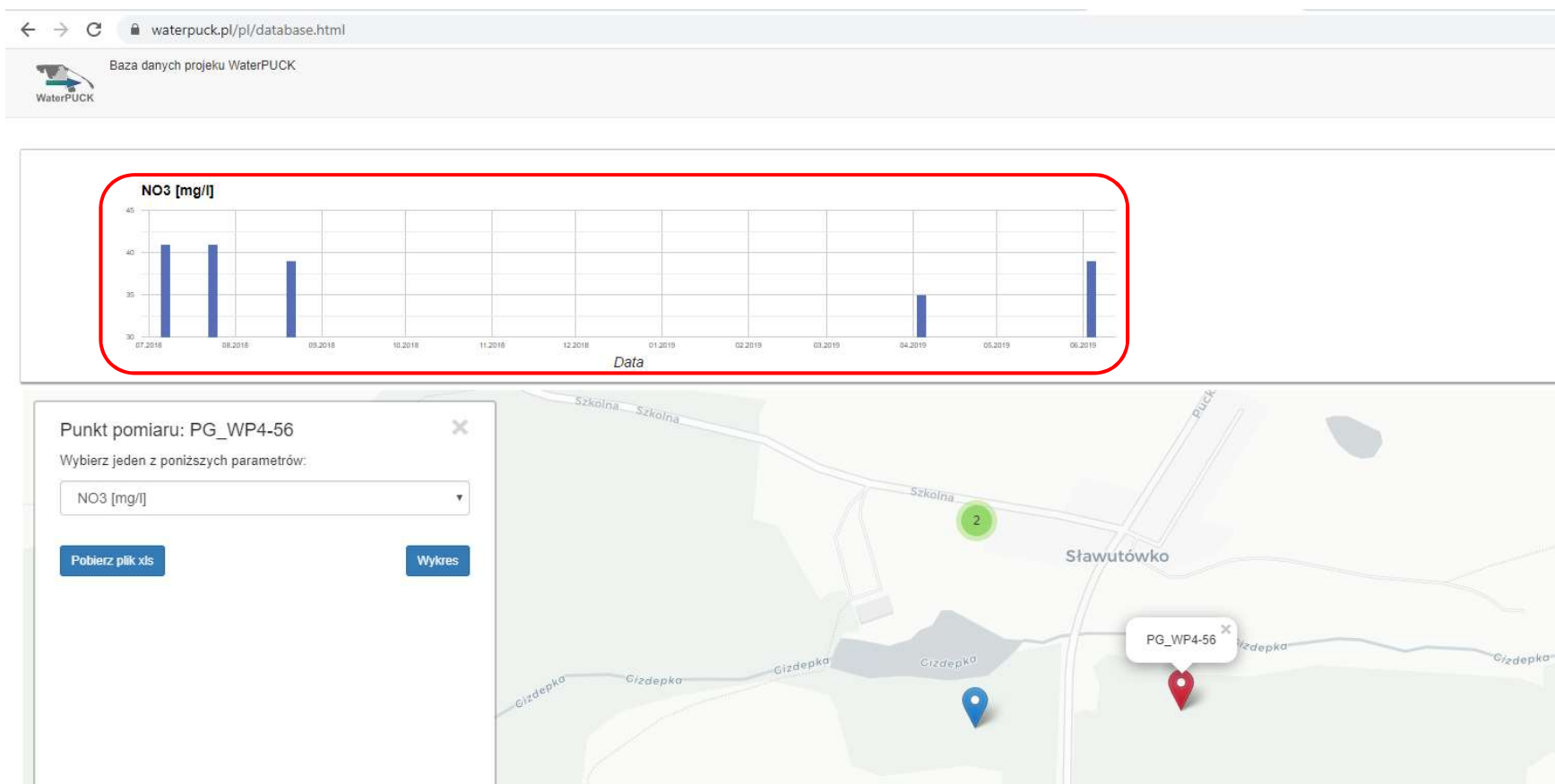
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	data	parametr	wartość	jednostka	wykonął								
2	2018-04-24 00:00:00	pH	8,1	[-]	Politechnika Gdańska								
3	2018-04-24 00:00:00	Eh	426	[mV]	Politechnika Gdańska								
4	2018-04-24 00:00:00	PEW	800	[μS/cm]	Politechnika Gdańska								
5	2018-04-24 00:00:00	T	11	[	Politechnika Gdańska								
6	2018-04-24 00:00:00	NH4	b/d	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
7	2018-04-24 00:00:00	NO2	b/d	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
8	2018-04-24 00:00:00	NO3	b/d	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
9	2018-04-24 00:00:00	PO4	b/d	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
10	2018-04-24 00:00:00	SO4	b/d	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
11	2018-04-24 00:00:00	Cl	b/d	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
12	2018-07-07 00:00:00	pH	7,2	[-]	Politechnika Gdańska								
13	2018-07-07 00:00:00	Eh	464	[mV]	Politechnika Gdańska								
14	2018-07-07 00:00:00	PEW	869	[μS/cm]	Politechnika Gdańska								
15	2018-07-07 00:00:00	T	12,6	[	Politechnika Gdańska								
16	2018-07-07 00:00:00	NH4	0,03	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
17	2018-07-07 00:00:00	NO2	0,11	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
18	2018-07-07 00:00:00	NO3	41	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
19	2018-07-07 00:00:00	PO4	0,44	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
20	2018-07-07 00:00:00	SO4	44	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
21	2018-07-07 00:00:00	Cl	46	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
22	2018-07-24 00:00:00	pH	7,1	[-]	Politechnika Gdańska								
23	2018-07-24 00:00:00	Eh	538	[mV]	Politechnika Gdańska								
24	2018-07-24 00:00:00	PEW	886	[μS/cm]	Politechnika Gdańska								
25	2018-07-24 00:00:00	T	13	[	Politechnika Gdańska								
26	2018-07-24 00:00:00	NH4	0,03	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
27	2018-07-24 00:00:00	NO2	0,07	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
28	2018-07-24 00:00:00	NO3	41	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
29	2018-07-24 00:00:00	PO4	0,24	[mg/l]	Politechnika Gdańska								
30	2018-07-24 00:00:00	SO4	46	[mg/l]	Politechnika Gdańska								



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

HYDROGEOLOGICZNA BAZA DANYCH

www.waterpuck.pl





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

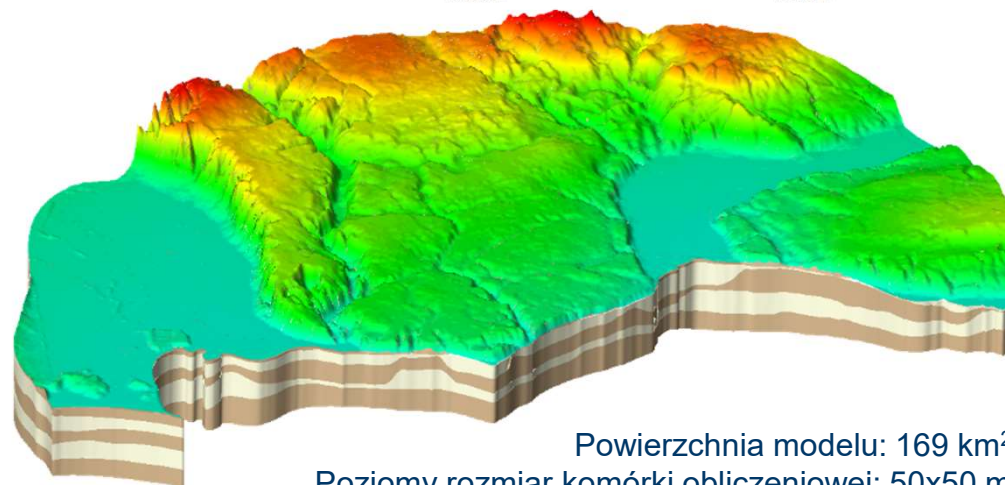
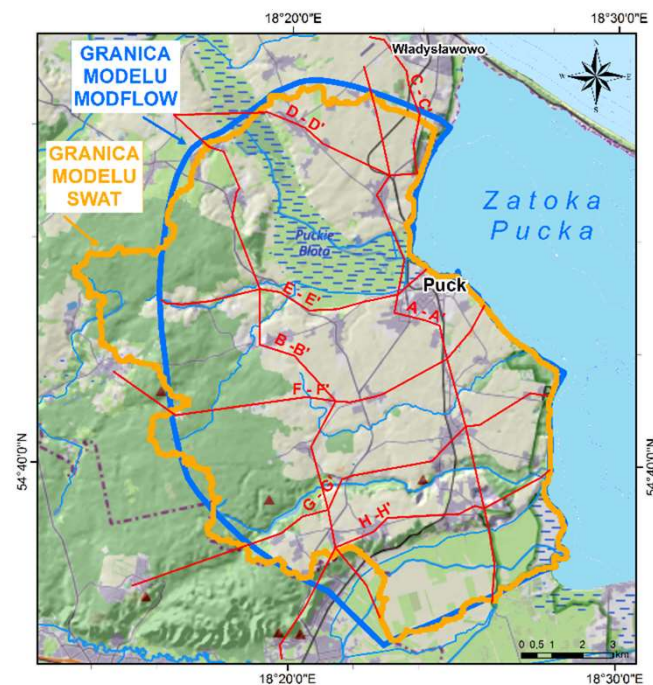
BADANIA MODELOWE

Prace modelowe zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu oprogramowania Groundwater Modeling System (GMS) oraz ModelMuse:

- model przepływu wód podziemnych (MODFLOW-NWT)
- model transportu zanieczyszczeń w wodach podziemnych (MT3DMS)

Dane wejściowe do modelu stanowiły wielkości zasilania i ładunki azotanów otrzymane z modelu SWAT, opracowanego w ramach WP3.

Celem badań modelowych było określenie wielkości dopływu wód podziemnych oraz ładunku zanieczyszczeń do zatoki w warunkach ustalonych oraz nieustalonych.



Powierzchnia modelu: 169 km²

Poziomy rozmiar komórki obliczeniowej: 50x50 m

6 warstw komórek w kierunku pionowym

Łączna liczba komórek obliczeniowych w modelu: 340 497

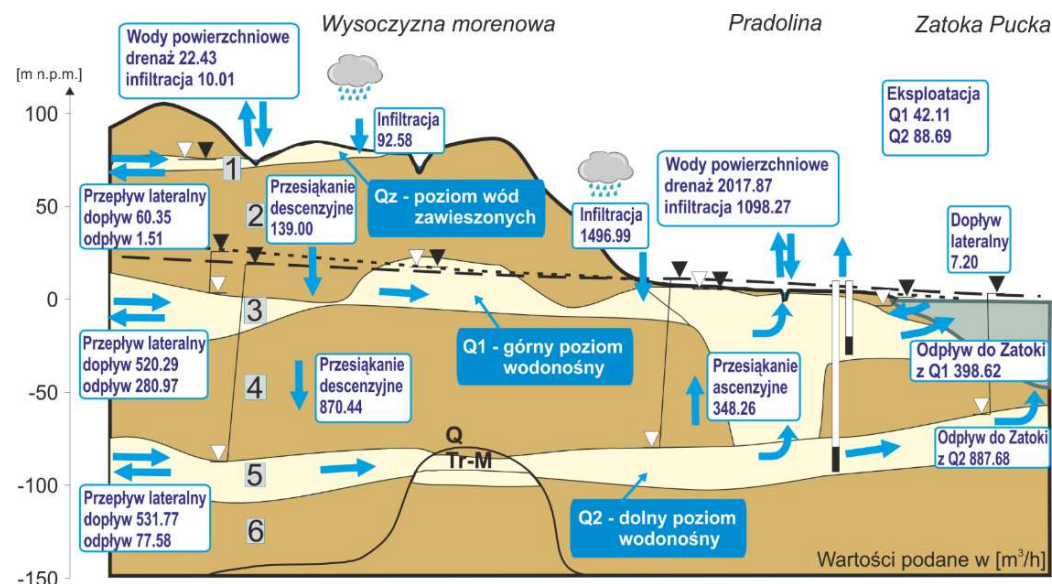
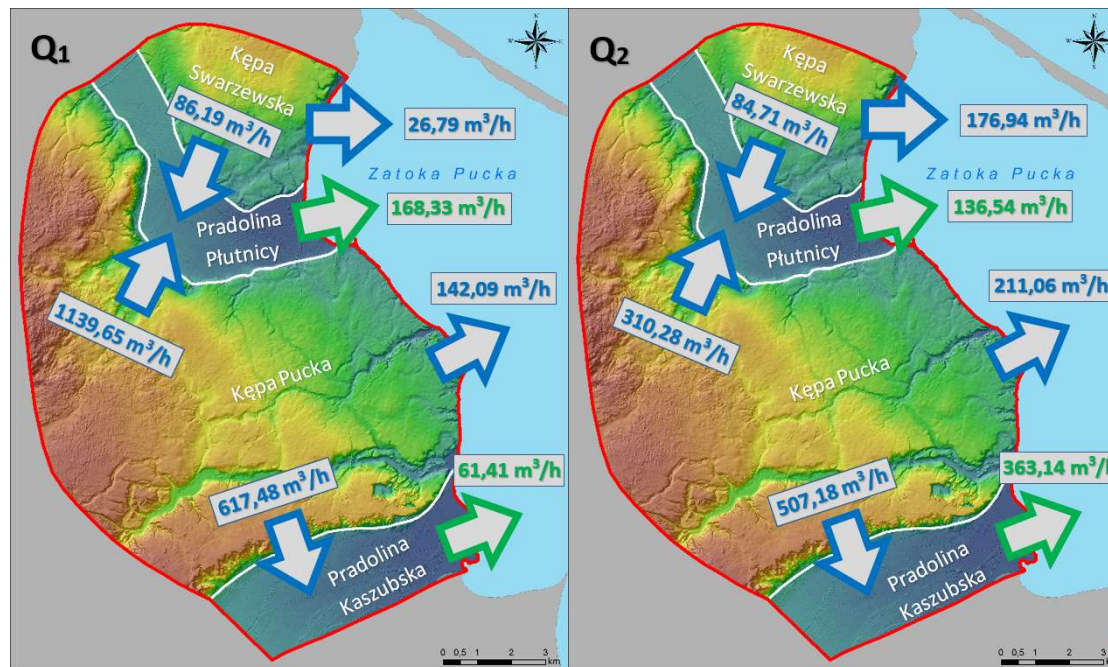


POLITECHNIKA
GDAŃSKA

BADANIA MODELOWE

Uśredniona wielkość odpływu wód podziemnych z obszaru objętego modelem w kierunku zatoki wynosi **1286,3 m³/h**
(stan ustalony, dane z lat 2000-2009)

Odpływ wód podziemnych do zatoki jest porównywalny w poszczególnych jednostkach geomorfologicznych do wartości uzyskanych na tym obszarze we wcześniejszych badaniach (Piekarek-Jankowska 1994; Kryza i Kryza 2006; Jaworska-Szulc 2009, Lidzbarski 2015)



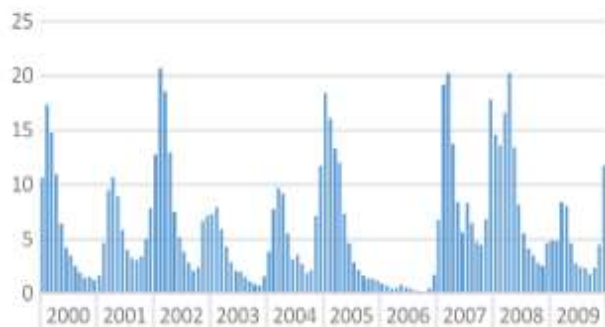


POLITECHNIKA
GDAŃSKA

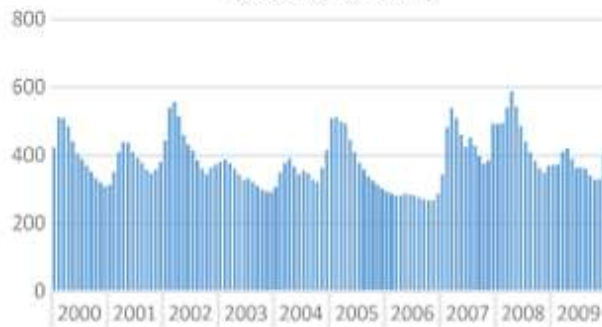
BADANIA MODELOWE

W oparciu o symulacje numeryczne przeprowadzone w warunkach przepływu nieustalonego dla danych pogodowych z lat 2000-2009, średnia wielkość odpływu wód podziemnych z obszaru objętego modelem w kierunku zatoki mieściła się w zakresie **1028 – 1587 m³/h**, zaś ładunek N-NO₃ w przedziale **0,61 – 1,74 kg/h**.

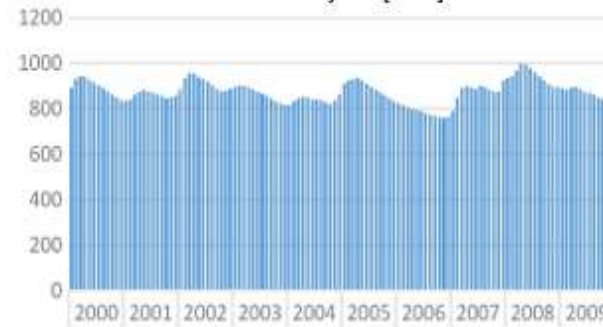
A. Zasilanie wód podziemnych [mm/miesiąc]



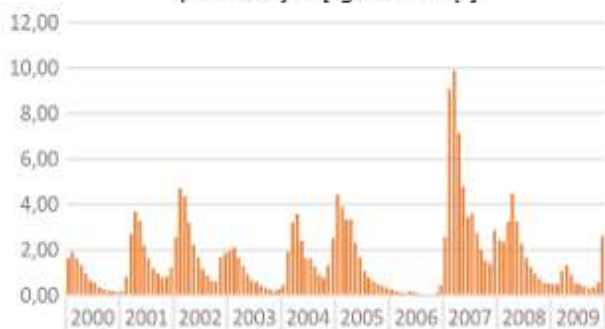
C. Dopływ wód podziemnych do zatoki z warstwy Q1 [m³/h]



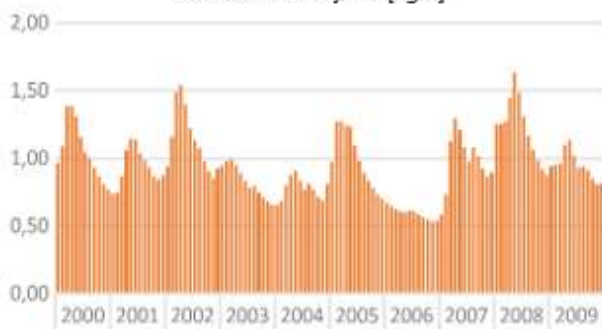
E. Dopływ wód podziemnych do zatoki z warstwy Q2 [m³/h]



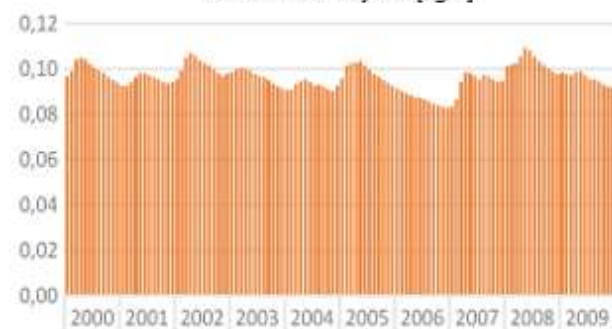
B. Ładunek N-NO₃ z gleby do wód podziemnych [kg/ha/miesiąc]



D. Ładunek N-NO₃ z wód podziemnych do zatoki z warstwy Q1 [kg/h]



F. Ładunek N-NO₃ z wód podziemnych do zatoki z warstwy Q2 [kg/h]





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

MODUŁ GROUNDPUCK

www.waterpuck.pl

[START](#)

[PROJEKT WATERPUCK](#)

[PARTNERZY](#)

[AKTUALNOŚCI](#)

[GALERIA](#)

[PUBLIKACJE](#)

[KONFERENCJE](#)

[PRODUKTY](#)

[OPISY PRODUKTÓW](#)

[KONTAKT](#)

W związku z pandemią koronawirusa Konferencja WaterPUCK zostaje przesunięta na 2020 rok. Konferencja dostępna będzie online na platformie youtube.pl, na kanale WaterPUCK.

[KALKULATOR GOSPODARSTWA](#)

[KALKULATOR WYMYWANIA](#)

[ANKIETA](#)

[PROCEDURY](#)

[ECOPUCKBAY - MODEL
HYDRODYNAMICZNY ZATOKI
PUCKIEJ](#)

[ECOPUCKBAY - MODEL
BIOCHEMICZNY ZATOKI
PUCKIEJ](#)

[SWAT - MODEL WÓD
POWIERZCHNIOWYCH](#)

[GROUNDPUCK - MODEL WÓD
PODZIEMNYCH](#)

[ECOPUCKBAY - MODEL
ROZPŁYWU BIOGENÓW](#)

[3DCEMBS - MODEL
EKOSYSTEMU MORZA
BAŁTYCKIEGO](#)

WATERPUCK

Modelowanie wpływu gospodarstw rolnych i struktur użytkowania terenu zlewni na jakość wód lądowych i morskich.

[DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ](#)





POLITECHNIKA
GDAŃSKA

MODUŁ GROUNDPUCK

www.waterpuck.pl

POŁOŻENIE ZWIERCIADŁA WÓD PODZIEMNYCH

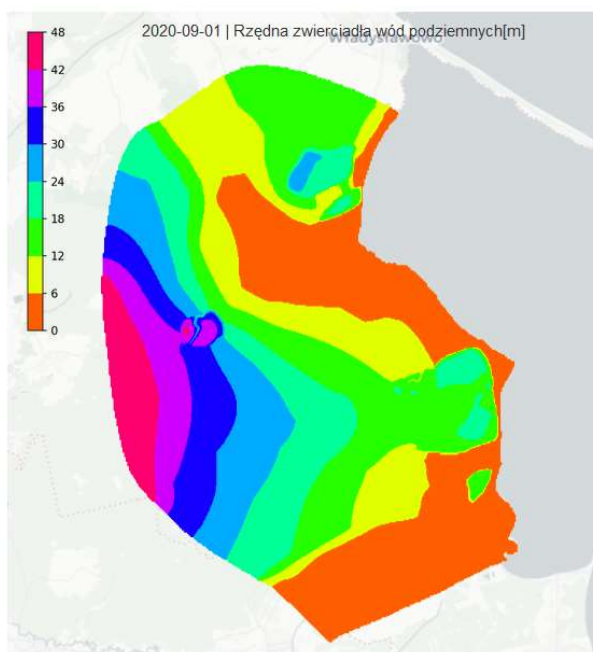
◀ 🏠 wrzesień 2020 ▶

nd	pn	wt	śr	cz	pt	sb
30	31	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	1	2	3

Rzędna zwierciadła wód podzi

Q1 - górny poziom wodonośny

Generuj mapę



STĘŻENIE AZOTU AZOTANOWEGO (N-NO₃)

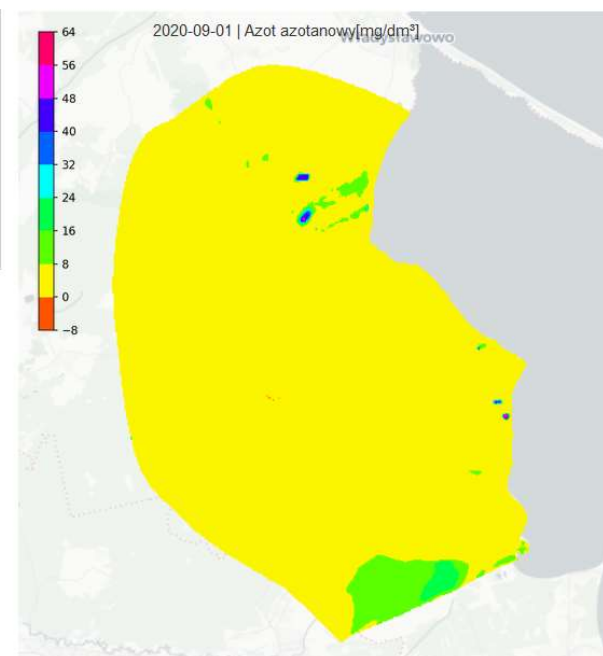
◀ 🏠 wrzesień 2020 ▶

nd	pn	wt	śr	cz	pt	sb
30	31	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	1	2	3

Azot azotanowy

Q1 - górny poziom wodonośny

Generuj mapę





**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

PUBLIKACJE

www.waterpuck.pl

ES3 Web of Conferences 48, 00147 (2018)
DOI: 10.1051/ES3/20184800147

<https://doi.org/10.1051/ES3/20184800147>

Assessing groundwater vulnerability to pollution in the Puck region (denudation moraine upland) using vertical seepage method

David Potrykus^{1,*}, Anna Gumula-Kawęcka¹, Beata Jaworska-Szulc¹, Małgorzata Pruszkowska-Caceres¹, Adam Szymkiewicz¹

¹ Gdańsk University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering, 80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11/12, Poland

Abstract. Degradation of groundwater quality can cause a serious water supply and environmental pollution. The assessment of groundwater vulnerability to pollution can be determined by the vertical seepage method. The assessment of groundwater vulnerability to pollution is based on estimations of the transmission through the vadose zone. In this study, the Puck Island Moraine Plateau was estimated with flow and modeling with HYDRUS-1D with water groundwater head calculations indicate variable contamination, depending on it as a part of a project which estimates transport model approaches pollution sources.

ES3 Web of Conferences 48, 00123 (2018)
DOI: 10.1051/ES3/20184800123

Assessing groundwater vulnerability to sea water intrusion in the coastline of the inner Puck Bay using GALDIT method

David Potrykus^{1,*}, Anna Gumula-Kawęcka¹, Beata Jaworska-Szulc¹, Małgorzata Pruszkowska-Caceres¹, Adam Szymkiewicz¹, L. Dzierżbińska-Głowacka²

¹ Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, Gdańsk, Poland
² Physical Oceanography Department, Institute of Oceanology PAS, Powiśle Wąsary 55, 81-712 Sopot, Poland

1 Introduction

One of the biggest threats and challenges of groundwater is its general pollution, which can cause a serious water supply and environmental pollution. The assessment of groundwater vulnerability to pollution is based on estimations of the transmission through the vadose zone. In this study, the Puck Island Moraine Plateau was estimated with flow and modeling with HYDRUS-1D with water groundwater head calculations indicate variable contamination, depending on it as a part of a project which estimates transport model approaches pollution sources.

INTRODUCTION

The detection of groundwater resources due to seawater intrusion is a significant problem for the water supply in coastal areas. Seawater intrusion is usually a result of sea-level rise and groundwater overexploitation that causes coastal aquifers severely vulnerable to salinization. This phenomenon has a degrading influence on the availability of fresh water, ecosystem condition, coastal infrastructure and tourism. Potential implications of sea-level rise for coastline in Poland have been subject of several studies (Pruszkowska-Caceres 2008; Modakiewicz 2016; Pogorzelski and Terefenko 2017). In order to control seawater intrusion in coastal aquifers, a number of management strategies and prevention methods have been developed (Chachad and Lobo-Ferreira 2001; Kallioner et al. 2012; Trabelsi et al. 2016). One of the principal approaches to predict the influence of seawater intrusion to groundwater is analysis of vulnerability maps. The most common worldwide method of assessing groundwater vulnerability to seawater intrusion is GALDIT. It is a numerical ranking system, based on six hydrological, hydrological and morphological parameters with appropriately assigned weights and ranges (Chachad and Lobo-Ferreira 2001, 2007; Lobo-Ferreira et al. 2007). The method (or its modifications) has been applied in many coastal regions (Chachad and Lobo-Ferreira 2007; Leuwa et al. 2017; Kaczis et al. 2018). In this paper, GALDIT method was used to assess seawater intrusion in the coastal aquifer of the inner Puck Bay (Southern Baltic Sea). The impact of potential sea-level rise to groundwater vulnerability for years 2081-2100 was also considered.

AREA OF STUDY

The research area is situated along the coastline of the inner Puck Bay, in the eastern part of the Kashubian Coast and western part (13 km) of the Hel Peninsula, covering an area of 85.2 km² (Fig. 1). The vicinity of Baltic Sea creates a specific marine climate in this region,



Article

Evaluation of the Influence of Farming Practices and Land Use on Groundwater Resources in a Coastal Multi-Aquifer System in Puck Region (Northern Poland)

Adam Szymkiewicz^{1,*}, David Potrykus¹, Beata Jaworska-Szulc¹, Anna Gumula-Kawęcka¹, Małgorzata Pruszkowska-Caceres¹ and Lidia Dzierżbińska-Głowacka²

¹ Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland; david.potrykus@puck.edu.pl (D.P.); bejaw@puck.edu.pl (B.J.-S.); anagum@puck.edu.pl (A.G.-K.); dszymk@puck.edu.pl (M.P.-C.)
² Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences, ul. Powstańców Warszawy 55, 81-712 Sopot, Poland; lidia.dz@puck.edu.pl
* Correspondence: dszymk@puck.edu.pl; Tel.: +48-58-347-1085

Received: 21 January 2020; Accepted: 2 April 2020; Published: 7 April 2020

Abstract: This study focuses on the modeling of groundwater flow and nitrate transport in a multi-aquifer hydrogeological system in northern Poland, adjacent to Puck Bay (Baltic sea). The main goal was to investigate how changes in land use and farming practices may affect groundwater recharge and submarine groundwater discharge (SGD) to the sea and the associated N-NO₃ fluxes. An integrated modeling approach has been developed, which couples the SWAT hydrologic model, MODFLOW-NWT groundwater flow model, and MT3DMS transport model. Transient simulations were performed for a 10-y period, assuming 10 different scenarios of land use (farming, grassland, forest) and crop types. Both recharge and SGD showed a distinct pattern of seasonal time variability. In terms of the average flow rates, the effect of varying crop type was more significant than that of land use change, with the minimum recharge and SGD corresponding to winter wheat and the maximum for peas and potatoes. Nitrate loads were strongly affected by both land use and crop type, with minimum values obtained for grassland and maximum values for cereals.

Keywords: groundwater recharge; submarine groundwater discharge (SGD); nitrate transport; MODFLOW; MT3DMS; SWAT; WaterPuck

1. Introduction

The development of integrated surface-subsurface flow and transport models is often based on the coupling of existing computer codes, capable of simulating processes in various hydrological compartments. The combination of SWAT hydrologic model [1] with MODFLOW/MT3D groundwater flow and transport models [2–3] has been used by a number of authors over the last 20 years [4–24]. Such an approach enhances the capacities of both models because the groundwater component of SWAT is simplified and does not offer the accuracy required in many applications, especially involving complex hydrological conditions. On the other hand, SWAT is well-suited for computations of recharge rates and the associated nitrate loads varying in space and time over the watershed. Coupling between computer codes can be implemented as one-way sequential coupling, where spatially distributed recharge rates and nitrate loads from SWAT (and possibly also river stages) are passed to MODFLOW and MT3DMS, which calculate groundwater flow and transport independently from the SWAT groundwater submodel. Alternatively, the groundwater procedure in SWAT can be replaced by the

Water 2020, 12, 1042; doi:10.3390/w12041042

www.mdpi.com/journal/water



Article

Estimation of Conservative Contaminant Travel Time through Vadose Zone Based on Transient and Steady Flow Approaches

Adam Szymkiewicz^{1,*}, Anna Gumula-Kawęcka¹, David Potrykus¹, Beata Jaworska-Szulc¹, Małgorzata Pruszkowska-Caceres¹ and Włodzisław Gorczyński-Langer¹

¹ Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdańsk University of Technology, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland; anagum@puck.edu.pl (A.G.-K.); dszymk@puck.edu.pl (D.P.); bejaw@puck.edu.pl (B.J.-S.); mspod@puck.edu.pl (M.P.-C.); wgorczy@puck.edu.pl (W.G.-L.)
* Correspondence: dszymk@puck.edu.pl; Tel.: +48-58-347-1085

Received: 5 September 2018; Accepted: 2 October 2018; Published: 10 October 2018

Abstract: Estimation of contaminant travel time through the vadose zone is needed for assessing groundwater vulnerability to pollution, planning monitoring and remediation activities or predicting the effect of land use change or climate change on groundwater quality. The travel time can be obtained from numerical simulations of transient flow and transport in the unsaturated soil profile, which typically require a large amount of data and considerable computational effort. Alternatively, one can use simpler analytical methods based on the assumptions of steady water flow and purely advective transport. In this study, we compared travel times obtained with transient and steady-state approaches for several scenarios. Transient simulations were carried out using the HYDRUS-1D computer program for two types of homogeneous soil profiles (sand and clay loam), two types of land cover (bare soil and grass) and two values of dispersion constant. It was shown that the presence of root zone and the dispersion constant significantly affect the results. We also computed the travel times using six simplified methods proposed in the literature. None of these methods was in good agreement with transient simulations for all scenarios and the discrepancies were particularly large for the case of clay loam with grass cover.

Keywords: unsaturated zone; Richards' equation; contaminant transport; time lag

1. Introduction

Reliable determination of contaminant travel time in an unsaturated zone (also known as an

Skład chemiczny wód podziemnych dopływających z Półwyspu Kaszubskiego do Zatoki Puckiej

Chemical composition of groundwater discharged from the Kashubian Coast to the Bay of Puck

David Potrykus¹, Małgorzata Pruszkowska-Caceres¹, Beata Jaworska-Szulc¹, Anna Gumula-Kawęcka¹, Adam Szymkiewicz¹

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, dapotry@puck.edu.pl; mpc@puck.edu.pl; bejaw@puck.edu.pl; anagum@puck.edu.pl; dszymk@puck.edu.pl
Owość do kontaktu: Małgorzata Pruszkowska-Caceres mpc@puck.edu.pl

Abstract: This study presents preliminary results of investigation of groundwater chemical composition (major ions, nitrogen and phosphorus compounds) in a coastal multi-aquifer groundwater system in the Puck Municipality. It was found that the groundwater composition is specific for each aquifer and shows some local variation. There is also a clear vertical geochemical inversion among the aquifers, with the highest concentrations of dissolved components in the shallowest aquifer. In general, all of the aquifers represent I, II or III class of groundwater quality, which can be evaluated as good quality according to Polish environmental law. An increase of concentrations of principal pollution indicators over time has been observed only in the shallow aquifer. Distribution of basic pollution indicators in the groundwater implies a local impact of agriculture, as well as an influence of municipal wastes from households and farms. Poor sanitary conditions of farms, animal husbandry, storage and distribution of organic fertilizers (e.g., manure) can be potential sources of contamination. However, concentrations of contaminants in the coastal zone of aquifers discharging to the Bay of Puck are within the range for I and II quality classes, and generally lower than concentrations measured in seawater, which suggests limited impact of the terrestrial groundwater discharge on the Bay of Puck contamination.

Key words: groundwater contamination, agricultural pollution, nutrients compounds, the Bay of Puck, coastal groundwater system

Zatoka Pucka jest płytkim akwensem morskim szczególnie wrażliwym na dopływ biogenów z otaczających obszarów lądowych. Postępujący problem eutrofizacji wód zatoki wymaga



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju



WaterPuck



BIOSTRATEG



PAN



URSUS PUCK



POLITECHNIKA
GDAŃSKA



ITP



INSTYTUT MORSKI
W GDAŃSKU



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

Dziękuję za uwagę



Widok na Zatokę Pucką od strony Władysławowa (fot. Ra2nski)



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

Pakiet MODFLOW

(przepływ wód podziemnych)

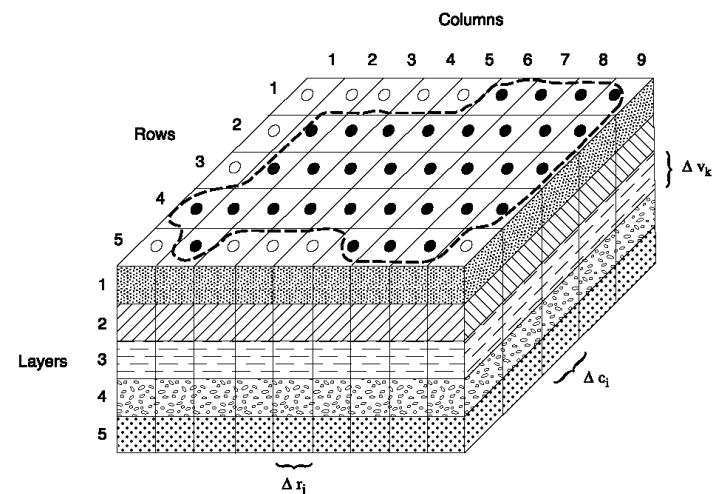
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$



Pakiet MT3DMS

(transport zanieczyszczeń)

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n$$



Harbaugh, 2005



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

Parametr	PEW [μS/cm]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]
I klasa	700	0,5	0,03	10	0,5	60	10
II klasa	2500	1,0	0,15	25	0,5	250	10
III klasa	2500	1,5	0,50	50	1,0	250	15
IV klasa	3000	3,0	1,00	100	5,0	500	20
V klasa	>3000	>3,0	>1,00	>100	>5,0	>500	>20



		NH ₄ ⁺ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	PO ₄ ³⁻ [mg/l]
		MIN – MAX mediana median			
Wody podziemne <i>Groundwater</i>	lokalne wody podziemne <i>local groundwater</i>	<0,01 – 3,56 0,03	<0,01 – 0,67 0,04	2,0 – 49,0 26,0	0,16 – 6,38 0,50
	wody podziemne podlegające drenażowi w zatoce Puckiej <i>groundwater discharging to the Bay of Puck</i>	<0,01 – 3,32 0,03	<0,01 – 0,42 0,01	<0,1 – 92,0 10,0	0,10 – 3,06 0,37
	wody zawieszone Qz <i>perched aquifer</i>	<0,01 – 0,37 0,14	<0,01 – 0,09 <0,01	<0,1 – 1,0 0,3	0,09 – 0,49 0,14
Wody powierzchniowe ¹ <i>Surface waters</i>	Phłpnica <i>Phłpnica river</i>	0,05 – 0,27 0,16	0,03 – 0,16 0,10	3,1 – 10,9 3,8	0,15 – 0,77 0,40
	Bładzikowski Potok <i>Bładzikowski Stream</i>	0,18 – 0,75 0,16	0,10 – 0,43 0,13	8,8 – 33,4 10,4	0,31 – 1,38 0,31
	Reda <i>Reda river</i>	0,04 – 0,19 0,12	0,03 – 0,13 0,07	1,7 – 6,7 3,9	0,15 – 0,74 0,21
Zatoka Pucka ² <i>Bay of Puck</i>	Strefy podmorskiego drenażu wód podziemnych <i>Submarine groundwater discharge</i>	0,05 – 8,33 0,81	- -	0,0 – 31,4 0,35	0,02 – 4,28 0,72

¹⁾ wg Wojciechowska i in. 2019

²⁾ wg Symczycha i in. 2020, w pobliżu miejscowości Osłonino, Puck, Swarzewo, Chałupy, Jurata, Hel.
vicinity of the Osłonino, Puck, Swarzewo, Chałupy, Jurata, Hel.

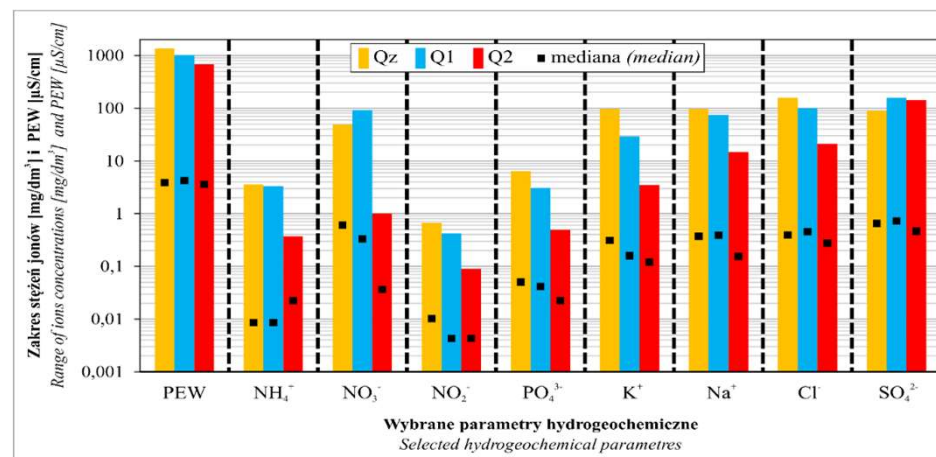
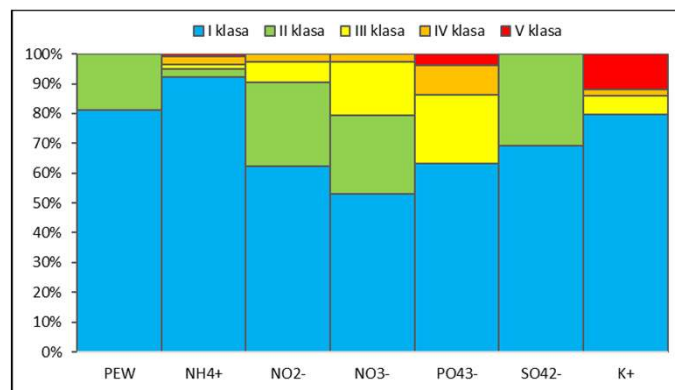
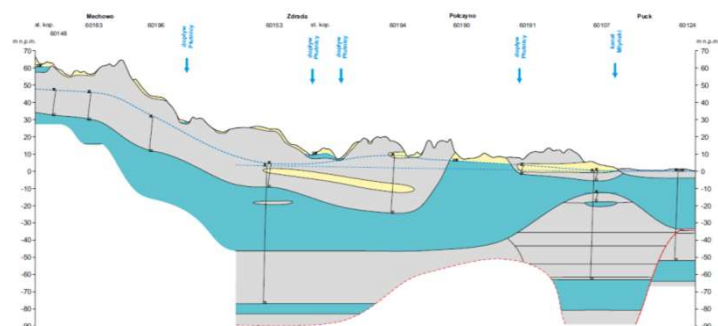


Table 3. Average flow rates and nitrate loads obtained from transient simulations.

Scenario	Recharge [mm/y]	N-NO ₃ Leaching from Soil [kg/ha/y]	Discharge to Puck Bay [m³/h]		N-NO ₃ Load to Puck Bay [kg/h]	
			Q1	Q2	Q1	Q2
S1 (baseline)	73	19.7	386	875	0.95	0.10
S2 (winter wheat)	62	7.4	367	839	0.62	0.03
S3 (silage corn)	84	23.9	403	906	1.12	0.14
S4 (canola)	75	30.5	389	881	1.22	0.15
S5 (summer cereals)	73	12.7	384	872	0.79	0.07
S6 (potatoes)	90	26.0	414	927	1.21	0.17
S7 (peas)	92	19.5	417	933	1.02	0.12
S8 (only farmland)	79	33.9	391	881	1.75	0.14
S9 (only grassland)	85	3.4	398	897	0.59	0.03
S10 (only forest)	71	14.7	379	858	1.19	0.04



POLITECHNIKA
GDAŃSKA



Tab.1. Zakres wartości poszczególnych parametrów mierzonych w ramach badań terenowych.

Parametr	pH [-]	Eh [mV]	PEW [μS/cm]	Temperatura [°C]
Zakres wartości	6,3 – 8,6	47 – 538	124 – 6560	5,3 – 19,2
Ilość oznaczeń	171	171	171	171

Parametr	NH ₄ [mg/l]	NO ₂ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	PO ₄ [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Cl [mg/l]	K [mg/l]
Zakres wartości	<0,03 – 2,78	<0,07 – 0,67	<1 – 92	0,09 – 6,38	<25 – 156	1 – >185	0,4 – 96,5
Ilość oznaczeń	123	82	125	105	125	119	95

Tab.2. Zakres wartości poszczególnych parametrów mierzonych w ramach badań laboratoryjnych.

Parametr	N-NH ₄ [mg/l]	N-NO ₂ [mg/l]	N-NO ₃ [mg/l]	N _{org.} [mg/l]	N _{org.} [mg/l]
Zakres wartości	0,001 – 2,000	0,001 – 0,068	0,060 – 8,350	0,010 – 1,713	0,16 – 10,90
Ilość oznaczeń	30	30	30	30	30

Parametr	P-PO ₄ [mg/l]	P _{org.} [mg/l]	P _{org.} [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Cl [mg/l]
Zakres wartości	0,031 – 1,630	0,000 – 1,669	0,060 – 2,840	11,2 – 97,6	1,42 – 121,60
Ilość oznaczeń	30	30	30	24	30

Parametr	K [mg/l]	Na [mg/l]	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]
Zakres wartości	1,78 – 119,4	4,91 – 95,70	20,40 – 137,07	2,67 – 46,24	61,0 – 664,9
Ilość oznaczeń	30	30	30	24	30

Parametr	CHZT [mg/l]	Twardość og. [mg CaCO ₃ /l]
Zakres wartości	1,90 – 25,60	162 – 381
Ilość oznaczeń	30	10



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

Tab.2.3. Błędy kalibracji modelu (wg Anderson i Woessner, 1992).

Błąd średni [m]	Błąd średni absolutny [m]	Błąd standardowy [m]
$\left(n \sum_{i=1}^n H_{obs,i} - H_{obl,i}\right)^{-1}$	$\left(n \sum_{i=1}^n H_{obs,i} - H_{obl,i} \right)^{-1}$	$\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n (H_{obs,i} - H_{obl,i})^2\right)^{-1}}$
0,29	1,10	1,79

