

Zintegrowany Serwis informacyjno-predykcyjny WaterPUCK

W ramach projektu WaterPUCK opracowano i zbudowano Zintegrowany Serwis informacyjno-predykcyjny dla Gminy Puck jako system komputerowy udostępniający usługę „WaterPUCK”, która w sposób czytelny i praktyczny umożliwia ocenę wpływu gospodarstw rolnych i struktury użytkowania terenu na wody powierzchniowe i gruntowe na obszarze Gminy Puck, a w konsekwencji na jakość wód Zatoki Puckiej.

Zanieczyszczenie wody jest jednym z największych zagrożeń i problemów świata. Z tego powodu dostarczanie innowacyjnych rozwiązań dla właściwego zarządzania środowiskiem jest niezbędne zarówno dla zrównoważonego, oszczędnego i racjonalnego zużycia wody pitnej, jak i ochrony zasobów wodnych zarówno lądowych jak i śródlądowych. Dlatego gospodarka wodna w ekosystemach rolniczych powinna zgromadzić ekspertów z dziedzin obejmujących nauki społeczne, ekologię, nauki rolnicze, nauki o glebie i wodzie, nauki polityczne i badania rozwojowe, aby zbadać przykłady sukcesu w odwróceniu degradacji gleby, zrozumieć ich znaczenie i zbadać podstawowe relacje i powiązania między użytkowaniem gruntów i gospodarką wodną w ich obrębie. Projekt WaterPUCK i produkt stworzony w ramach projektu – serwis WaterPUCK- to doskonałe narzędzie, które będzie wykorzystane lokalnie (Gmina Puck), natomiast ma potencjał zastosowania narodowego i międzynarodowego, zarówno jeżeli chodzi o gotowy serwis, jak i poszczególne cząstkowe etapy jego stworzenia takie sposób monitoringu środowiska, integracja poszczególnych jego części (kalkulatory dla rolników: CalcGosPuck i CalcNPuck, modele numeryczne rozprzestrzeniania się substancji w wodach powierzchniowych SWAT_Puck i podziemnych GroundPuck, a także morskich EcoPuckBay).

Budowa serwisu oparta jest o badania *in situ*, dane środowiskowe (chemiczne, fizykochemiczne i hydrologiczne) oraz modelowanie numeryczne. Serwis WaterPUCK to zintegrowany system składający się z połączonych ze sobą komputerowych modeli, działający w sposób ciągły poprzez zasilanie go danymi meteorologicznymi tj.

z 2 kalkulatorów jako interaktywne aplikacje:

- 1) *kalkulatora gospodarstw rolnych CalcGosPuck PR-1,*
- 2) *kalkulatora wymywania azotu CalcNPuck PR-2;*

oraz

- 3) *elektronicznej ANKIETY do zbierania danych od rolników PR-3;*

i z 5 procedur badawczych opisujących metody analityczne, użyte w ramach prac w projekcie:

- 4) *procedura oznaczania jonów fosforanowych PR-4,*
- 5) *procedura oznaczania jonów amonowych PR-5,*
- 6) *procedura oznaczania fosforu w glebie w wyciągu wodnym PR-6,*
- 7) *procedura oznaczania azotanów III i V PR-7,*
- 8) *procedura oznaczania pestycydów chloroorganicznych w próbkach gleby PR-8;*

a także z 6 modeli numerycznych:

- 9) *kompleksowego modelu spływu wód powierzchniowych opartego na kodzie SWAT PR-11,*
- 10) *numerycznego modelu przepływu wód podziemnych GroudPUCK_Modflow PR-12;*

trójwymiarowego numerycznego modelu ekosystemu Zatoki Puckiej 3D EcoPuckBay składającego się z:

- 11) *modelu hydrodynamicznego Zatoki Puckiej PR-9,*
- 12) *modelu biochemicznego Zatoki Puckiej PR-10,*
- 13) *modelu rozptyłu biogenów PR-13,*
- 14) *modelu ekosystemu Morza Bałtyckiego z modułem upwellingu 3D CEMBS dającego dane na granicy woda-woda PR-14;*
- i 15) *Bazy Danych PR-15.*

Opis działania wszystkich produktów został przedstawiony w oddzielnych załącznikach.

Opracowanie ANKIETY pozwoliło określić stan gospodarki składnikami nawozowymi i środkami ochrony roślin w ocenianych gospodarstwach rolnych w Gminie Puck. W zakresie dotyczącym stanu gospodarki składnikami nawozowymi, wyniki ankietyzacji umożliwiły sporządzić dla nich w szczególności bilanse NPK metodą „u bramy gospodarstw” i określić ilość wymywania azotu z pól. W tym celu przygotowane zostały specjalne kalkulatory o nazwie „Kalkulator gospodarstwa” i „Kalkulator wymywania”. Dane z ANKIET także posłużyły do parametryzacji i kalibracji modeli wód powierzchniowych SWAT_Puck i podziemnych GroudPuck_Modflow. Dane wielkości ładunków biogenów i pestycydów z modeli spływu wód powierzchniowych i podziemnych są automatycznie, poprzez moduł – interface sea water-sediment, przeliczane i przekazywane do modelu ekosystemu Zatoki Puckiej 3D EcoPuckBay jako dane wejściowe – brzegowe na granicy ląd-woda. Natomiast dane z modelu ekosystemu Morza Bałtyckiego 3D CEMBS z modułem upwellingu użyto jako dane wejściowe – brzegowe na granicy woda-woda.

Dane środowiskowe zebrane na obszarze Gminy Puck i Zatoki Puckiej w ramach projektu pozwoliły określić, w okresie prowadzenia badań, wpływ gospodarstw rolnych i struktury użytkowania terenu na wody lądowe i morskie, a także z danymi pochodzącymi z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony środowiska w Gdańsku posłużyły do kalibracji i weryfikacji modeli numerycznych Serwisu WaterPUCK.

Interaktywne aplikacje CalcGosPuck i CalcNPuck określają wskaźniki presji wywieranej na środowisko – a w szczególności na wody powierzchniowe i gruntowe, przez gospodarstwa rolne położone w gminie Puck, w zakresie dotyczącym rozpraszanych z nich (traconych w procesie produkcji rolnej) ładunków azotu i fosforu. Model spływu wód powierzchniowych SWAT_Puck jako model typu opad-odpływ uwzględnia rozprzestrzenianie zanieczyszczeń wynikających z użytkowania terenu i praktyk rolniczych wraz ze spływającymi wodami w postaci związków biogenych i pestycydów do Zatoki Puckiej.

Model przepływu wód podziemnych GroudPuck_Modflow określa wielkość jego dopływu do Zatoki Puckiej. Umożliwia ocenę wpływu gospodarstw rolnych i struktury użytkowania powierzchni zlewni na wody podziemne i wielkość odprowadzanego do Zatoki Puckiej ładunku biogenów - azotanów.

Opracowany i zbudowany w ramach projektu trójwymiarowy model ekosystemu Zatoki Puckiej (wewnętrznej i zewnętrznej) 3D EcoPuckBay, składający się z modelu hydrodynamicznego, modelu biochemicznego i modelu rozptyłu biogenów uwzględniając moduł asymilacji danych, jako nowoczesne narzędzie mające na celu śledzenie i prognozowanie zachodzących w środowisku morskim zmian dla zwiększenia zasobów danych i zrozumienia wobec potrzeb zrównoważonego rozwoju i przeciwdziałania zagrożeniom, przedstawia dzienne i sezonowe zmiany zachodzące w środowisku Zatoki Puckiej w aspekcie presji antropogenicznych związanych z wprowadzaniem zanieczyszczeń z wód powierzchniowych i gruntowych Gminy Puck.

Zintegrowany Serwis informacyjno-predykcyjny WaterPUCK działa w trybie operacyjnym poprzez przygotowany system zarządzania poszczególnymi modułami serwisu WaterPuck w czasie rzeczywistym. Jest on odpowiedzialny m. in. za kontrolę pracy poszczególnych modułów, obsługę ewentualnych błędów, przekazywanie danych pomiędzy modułami oraz raportowanie wyników ich pracy w formie dziennika. Moduł ten cyklicznie sprawdza pojawienie się nowych danych wejściowych dla modułów danych wymuszających. W przypadku pojawienia się któryś z ww. danych uruchomione są odpowiednie moduły obsługi danych. Pozwala to na generowanie bieżących 48-godzinnych prognoz a) dla wód powierzchniowych i gruntowych w Gminie Puck głównie o wielkości ładunku biogenów i pestycydów dostarczanych do Zatoki Puckiej i b) dla

parametrów hydrodynamicznych, biochemicznych Zatoki Puckiej oraz Morza Bałtyckiego oraz c) zapewnia w pełni zautomatyzowaną pracę Serwisu WaterPuck.

Serwis WaterPUCK zawiera dodatkowo Bazę danych dla potrzeb przetwarzania, składowania udostępniania, także w formie graficznej, danych środowiskowych. W ramach prac środowiskowych i laboratoryjnych w projekcie WaterPUCK opracowano pięć procedur badawczych zawierających opis metod: i) pobierania próbek doływającej do środowiska morskiego wody gruntowej (wody wysiękowej) - SGD (z ang. Submarine Groundwater Discharge) oraz oznaczania analitycznego fosforanów w pobranych próbkach; ii) oznaczania analitycznego jonów amonowych w pobranych próbkach; iii) oznaczania fosforu przyswajalnego w glebie w wyciągu wodnym; iv) oznaczania analitycznego sumy stężeń azotu azotanowego (V) i azotu azotanowego (III) w pobranych próbkach wody i v) oznaczania pestycydów chloroorganicznych w próbkach gleb.

Dostęp do produktów Serwisu WaterPUCK jest poprzez stronę internetową projektu WaterPuck (www.waterpuck.pl) w zakładce PRODUKTY.

Badania środowiskowe

Badania zrealizowano na typowym dla gminy Puck pofałdowanym obszarze użytków rolnych, w strukturze których 78,2% stanowiły grunty orne i 21,8% użytku zielone. Gleby gruntów ornych pod względem składu mechanicznego w przeważającym stopniu należały do gleb mineralnych bardzo lekkich i lekkich, natomiast gleby użytków zielonych w całości były pochodzenia organicznego. Większość z nich odznaczała się dużym zakwaszeniem (na ponad 62% działkach rolnych gleby posiadały odczyn bardzo kwaśny i kwaśny) i niedoborem fosforu przyswajalnego dla roślin. W tym drugim przypadku ponad 62% badanych gleb – w tym 72% gleb mineralnych i ponad 18% gleb organicznych, odznaczało się bardzo niską i niską zasobnością wymienionego składnika. Badane gleby mineralne charakteryzowały się dobrą zasobnością w przyswajalny potas (ponad 96% próbek gleb odznaczało się co najmniej średnim poziomem zasobności potasu) oraz bardzo wysoką zasobnością w przyswajalny magnez (gleby z ponad 92% próbek zaliczone zostały do klas o wysokiej i bardzo wysokiej zasobności w magnez a ok. 8% do klasy o średniej zasobności w ten składnik), natomiast gleby organiczne badanego obszaru pod względem zawartości przyswajalnego magnezu i potasu sklasyfikowano jako gleby V i IV klasy (tj. niskiej i bardzo niskiej zasobności w omawiane składniki).

Gospodarstwa rolne

Na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych określono stan gospodarki składnikami nawozowymi i środkami ochrony roślin w gospodarstwach rolnych uczestniczących w projekcie WaterPUCK. W szczególności na ich podstawie wyznaczono wskaźniki presji gospodarstw rolnych na środowisko, jakie jak: obsada zwierząt w $\text{DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR, zużycie nawozów azotowych w $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR, zużycie nawozów fosforowych w $\text{kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR, nadmiar azotu w $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR, nadmiar fosforu $\text{kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR, zużycie substancji aktywnej, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ GO. Stwierdzono m.in, że we wszystkich badanych gospodarstwach, przeciętnie w latach 2007-2008:

- obsada zwierząt wynosiła $0,69 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR ($0,91 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR w grupie gospodarstw utrzymujących zwierzęta);
- zużycie mineralnych nawozów azotowych i fosforowych kształtowało się na poziomie odpowiednio: $109,5 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR i $9,9 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR;
- nadmiar azotu wynosił $116,2 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR a fosforu $6,8 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$ UR (efektywność wykorzystania tych składników wynosiła odpowiednio 32,1% i 61,7% - bez uwzględnienia wartości skrajnej efektywność wykorzystania P w 2018 r).

- zużycie substancji aktywnej było na poziomie $0,63 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ GO}$.

Oceniając powyższe dane można stwierdzić, że:

- Średnia obsada zwierząt w grupie ankietowanych gospodarstwach była większa w porównaniu ze średnią obsadą zwierząt w Polsce i w województwie pomorskim, jednak była znacznie mniejsza od granicznej obsady $1,5 \text{ DJP} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ UR}$ zalecanej dla gospodarstw o zrównoważonej produkcji rolnej.
- Jednostkowe zużycie nawozów azotowych w badanych gospodarstwach było większe niż przeciętne ich zużycie w skali całej Polski i województwa pomorskiego. Zużycie nawozów fosforowych było większe niż w województwie pomorskim, natomiast mniejsze niż w całym kraju.
- Średnie nadmiary N i P były na poziomie porównywalnym, do występujących w porównywalnych gospodarstwach w Szwecji. Zważywszy, że Szwecja jest krajem, w którym zwraca się dużą uwagę na ograniczenie start składników nawozowych z rolnictwa, zwłaszcza w związku z potrzebą przeciwdziałania eutrofizacji wód Bałtyku, wydaje się, że nadmiary N i P generowane przez gospodarstwa z gminy Puck można uznać za akceptowalne - w kontekście ich oddziaływania na środowisko.
- Zużycie środków ochrony roślin (w substancji czynnej) było typowe dla rolnictwa polskiego

Na tle wyznaczonych wartości podanych wskaźników wysunięto wniosek, że ogólny poziom oddziaływania gospodarstw z gminy Puck na środowisko można uznać za względnie (w porównaniu z wynikami innych badań) akceptowalny. Zaznaczyć jednak że wśród poddanej badaniom populacji, występowały gospodarstwa których napór na środowisko określony za pomocą przyjętych wskaźników miał ponad standardowo duży wymiar.

Wody powierzchniowe

Średnie stężenia związków biogenych w wodach analizowanych cieków na terenie gminy Puck: Kanału Łyskiego, Redy, Kanału Mrzezino, Gizdepki, Potoku Błądzikowskiego, Płutnicy oraz Dopływu z Darżlubia generalnie odpowiadał I lub II klasie czystości według Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. 2019 poz. 2149). W przypadku Kanału Łyskiego i Redy stężenia analizowanych substancji biogenych na przestrzeni poszczególnych półroczy były raczej wyrównane i odpowiadały I klasie czystości wód w rzekach nizinnych i przyujściowych będących pod wpływem wód słonych. W przypadku wód powierzchniowych w Kanale Mrzezino przekroczenie w odniesieniu do Dz.U. 2019 poz. 2149 odnotowano w półroczu letnim 2018 dla średniej wartości fosforu ogólnego ($0,89 \text{ mg/dm}^3$) oraz w półroczu zimowym 2018/2019 dla średniej wartości azotu ogólnego ($3,42 \text{ mg/dm}^3$). W przypadku rzeki Gizdepka półrocza letnie i zimowe w latach 2017 i 2018 charakteryzowały przekroczenia I klasy czystości dla średniej wartości fosforu ogólnego. Najgorsze wyniki w kontekście przekroczenia I klasy czystości odnotowano dla wszystkich półroczy w Potoku Błądzikowskim dla azotu i fosforu ogólnego. W przypadku Płutnicy newralgiczne okazały się półrocza zimowe dla średniego stężenia azotu ogólnego. Średnie stężenia azotu ogólnego dla wód powierzchniowych Dopływu z Darżlubia plasowały się na granicy dla I klasy czystości w rzekach nizinnych dla półrocza letniego 2017 i 2018 oraz zimowego 2017/2018.

Analizując szczegółowe wyniki dla poszczególnych cieków można stwierdzić, że przekroczenia stężeń azotu ogólnego najczęściej występowały w przypadku Potoku Błądzikowskiego, gdzie przekroczone były nawet stężenia graniczne dla II klasy czystości, które w przypadku potoków nizinnych piaszczystych wynoszą $4,9 \text{ mg N/dm}^3$ (Dz. U. 2019 poz. 2149). Przekroczenia występowały w lecie (czerwiec - sierpień) 2017 roku oraz w

okresach zimowo-wiosennych w latach 2018 i 2019 (od stycznia do maja). Najwyższe zmierzone stężenie wynosiło $12,50 \text{ mg N/dm}^3$ i ponad dwukrotnie przekraczało graniczną wartość dla II klasy czystości. Z kolei pod względem stężeń fosforu ogólnego dla Potoku Błądzikowskiego zaobserwowano przekroczenia I klasy czystości ($0,2 \text{ mg P/dm}^3$) w okresie letnim (czerwiec – wrzesień) 2017 roku. Zlewnia Potoku Błądzikowskiego ma charakter typowo rolniczy – udział gruntów użytkowanych rolniczo w całkowitej powierzchni zlewni stanowi prawie 90%. Stąd obserwowany najwyższe stężenia analizowanych biogenów. Wykazano związek pomiędzy nadmiarem azotu (N surplus) w gospodarstwach rolnych na terenie zlewni Potoku a podwyższonymi stężeniami azotu ogólnego (Wojciechowska i in., 2019). Przekroczenie I klasy czystości w odniesieniu do stężeń fosforu ogólnego w miesiącach letnich 2017 roku ma związek obfitymi opadami w tym okresie, które przyczyniały się do wzmożonej erozji i wypłukiwania tego pierwiastka z gruntu.

Kolejnym ciekim, w którym zaobserwowano przekroczenia stężeń biogenów jest Gizdeпка. Wprawdzie stężenia azotu ogólnego w ciągu całego okresu badawczego odpowiadały I klasie czystości, jednak w okresach letnich w 2017 roku (czerwiec – wrzesień) i w 2018 roku (lipiec – sierpień) stwierdzono znaczne przekroczenia stężeń fosforu ogólnego. Stężenie graniczne dla II klasy czystości, wynoszące $0,3 \text{ mg P/dm}^3$ zostało w tych miesiącach przekroczone aż 12-krrotnie. Zlewnia Gizdeпки jest również intensywnie użytkowana rolniczo; w przypadku tej zlewni analiza wykazała silną zależność pomiędzy stężeniami fosforu ogólnego a nadmiarem fosforu.

Przekroczenia stężeń azotu i fosforu ogólnego stwierdzono również w Płutnicy i jej dopływie (Dopływ z Darżlubia) w okresie zimowym i wiosennym. W przypadku stężeń azotu ogólnego przekroczone były wartości dopuszczalne dla I klasy czystości. Pod względem stężeń fosforu ogólnego w Płutnicy wartości dopuszczalne dla I klasy czystości zostały przekroczone w miesiącach czerwiec – październik 2017 roku, w styczniu 2018 roku oraz w okresie od czerwca do września 2018 roku. W Dopływie z Darżlubia w miesiącach lipiec – wrzesień 2017 roku oraz w marcu i kwietniu 2018 zostały przekroczone wartości dopuszczalne dla I klasy czystości, natomiast w miesiącach letnich 2018 roku (od maja do sierpnia) przekroczone zostało nawet stężenie dopuszczalne dla II klasy czystości. Najwyższe zmierzone stężenie fosforu ogólnego wyniosło w tym okresie $0,48 \text{ mg P/dm}^3$ i ponad 1,5 raza przekraczało graniczną wartość dla II klasy czystości. Ponownie, przekroczenia stężeń fosforu ogólnego obserwowano przede wszystkim w miesiącach letnich. Częściowo, w 2017 roku, związane jest to z obfitymi opadami, które zanotowano na terenie całej Gminy i ze wzmożonym wypłukiwaniem fosforu z gruntów. Natomiast przekroczenia stężeń fosforu w lecie 2018 roku zaobserwowane w Dopływie z Darżlubia, które rzutowały również na jakość wód rzeki Płutnicy, co potwierdzają obserwacje w przekroju zamykającym, wymagają dokładnej obserwacji i lokalizacji prawdopodobnych źródeł zanieczyszczeń o charakterze punktowym.

Bardzo dobrą jakością pod względem stężeń analizowanych substancji charakteryzowały się Kanał Łyski oraz rzeka Reda (przekrój otwierający).

Rowy melioracyjne i gleba

Przeprowadzona ocena stanu zanieczyszczenia wód substancjami biogennymi i pestycydami w rowach melioracyjnych oraz próbkach gleb w gminie Puck wykazała w szczególności, że:

- jedynie w 5,2% badanych próbek występowała woda zanieczyszczona azotanami (stężenie NO_3 było większe niż $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), bądź zagrożona na zanieczyszczenie azotanami (stężenie NO_3 w przedziale $40\text{-}50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$);
- ze względu na przekroczenie wartości granicznych wskaźników eutrofizacji N-NO_3 , Nog , i Pog , udział analizowanych próbek wody, był stosunkowo nieduży (stwierdzono przekroczenie jednego wskaźnika

eutrofizacji, co najwyżej w 29% próbkach), biorąc pod uwagę dostępne dane o stanie zeutrofizowania wody w rowach melioracyjnych w kraju (stwierdzono przekroczenie najmniej jednego wskaźnika eutrofizacji w blisko 70% punktach monitoringowych);

- w testowanych próbkach wód nie stwierdzono obecności insektycydów chloroorganicznych (aldryny, dieldryny, endryny, izodryny; sumy DDT), heksachlorocykloheksanu (HCH) (alfa, beta, gama i delta). Wszystkie uzyskane wyniki plasowały się poniżej granicy oznaczalności zastosowanej metody analitycznej i jednocześnie poniżej wartości granicznych w wodach powierzchniowych ustanowionych dla poszczególnych związków (Dz. U. 2016 poz.1187);
- w próbkach wód powierzchniowych pobranych z rowów melioracyjnych spośród badanych 309 substancji z grupy pestycydów, wykryto środki ochrony roślin obejmujące:
 - insektycydy fosfoorganiczne: chloropiryfos etylowy
 - fungicydy: boskalid, epoksykonazol, difenokonazol, flupikolid
 - herbicydy: dimetachlor, diflufenikan, metazachlor, glifosat i jego metabolit AMPA
 - repelenty: antrachinon.
- w próbkach wód powierzchniowych pobranych z Zatoki Puckiej nie stwierdzono obecności żadnej z 309 badanych substancji z grupy pestycydów oraz pestycydów chloroorganicznych.

Na tle uzyskanych wyników badań jakości wody z rowów melioracyjnych oraz próbek gleb i ich analizy można uznać, że ogólny poziom oddziaływania gospodarstw z gminy Puck na środowisko, w tym na jakość wód Zatoki Puckiej jest stosunkowo niewielki. Zaznaczyć jednak należy, że wśród poddanej badaniom populacji, występowały gospodarstwa, których napór na środowisko określony za pomocą badań ankietowych i przyjętych wskaźników presji miał ponadstandardowo duży wymiar.

Wody podziemne

Przeprowadzone w ramach projektu badania terenowe i laboratoryjne wód podziemnych na obszarze gminy Puck wykazały lokalne zróżnicowanie ich składu chemicznego wynikające z działalności człowieka. Zróżnicowanie to przejawia się przede wszystkim w wyższych niż naturalne stężeniach związków azotu (przede wszystkim azotanów i jonów amonowych), siarczanów, chlorków, sodu i potasu, a także podwyższonym przewodnictwie PEW. Pestycydy wykryto tylko w dwóch punktach, jednak ponowne badanie nie potwierdziło ich obecności w wodach podziemnych. Zanieczyszczenie wód podziemnych dotyczy przede wszystkim płytkich wód i ma charakter lokalny. Większość badanych parametrów w górnym poziomie wodonośnym (Q1) odpowiada I, II lub III klasie jakości (wody bardzo dobrej, dobrej i zadawalającej jakości), co według klasyfikacji stanu chemicznego charakteryzuje dobry stan chemiczny (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). Parametry odpowiadające IV i V klasie (wody niezadawalającej jakości i wody złej jakości) jakości stwierdzono w górnym poziomie jedynie punktowo: 3 z 77 próbek wykazywało IV klasę jakości ze względu na zawartość azotanów, 8 z 64 ze względu na zawartość fosforanów, 6 z 57 próbek wykazywało V klasę jakości ze względu na zawartość potasu. W dolnym poziomie wodonośnym (Q2) wszystkie badane parametry jakości wód odpowiadały I, II lub III klasie jakości, co zgodnie z przywołanym rozporządzeniem charakteryzuje dobry stan chemiczny wód.

W odniesieniu do Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, (Dz. U. 2017 poz. 2294), większość badanych parametrów spełnia wytyczne. Pojedyncze przekroczenia wartości dopuszczalnych stwierdzono dla azotanów (w 3 z 77 próbkach z Q1) i jonów amonowych (w 4 z 77 próbkach z Q1 i 2 z 19 w Q2), oraz siarczanów (w 1 z 19 w Q2).

Stwierdzone wskaźniki zanieczyszczeń wskazują, że główną przyczyną zanieczyszczenia wód podziemnych jest działalność bytowo-rolnicza, potencjalnie zanieczyszczenie może być skutkiem złego stanu sanitarnego gospodarstw rolnych i obejść gospodarskich, hodowli i wypasu zwierząt oraz składowanie i stosowanie nawozów naturalnych (np. obornika).

Numeryczny model transportu opracowany w ramach projektu pozwala wyznaczyć ładunek azotanów w wodach podziemnych dopływających do Zatoki Puckiej. Model ten skalibrowano w oparciu o rzeczywiste wartości stężenia NO_3^- stwierdzone na badanym obszarze. Przeprowadzono symulacje modelowe dla różnych wariantów upraw oraz zróżnicowanego zagospodarowania terenu, uzyskane wyniki wykazują zbieżność z wynikami badań terenowych. Obliczone stężenia azotanów w wodach podziemnych dopływających do Zatoki Puckiej nie przekraczają norm zawartości azotanów dla wód podziemnych I i II klasy (wody bardzo dobrej i dobrej jakości), zgodnie z przywołanym wcześniej rozporządzeniem. Należy podkreślić, że zawartości azotanów mieszczące się w zakresie II klasy dotyczą tylko górnego poziomu wodonośnego Q1.

Wody gruntowe SGD

Stężenie substancji biogenicznych w pobranych próbkach SGD w strefie brzegowej Gminy Puck nie wykazały znaczącej zmienności przestrzennej w przypadku stężenia jonów amonowych i azotanów, jednak stężenia fosforanów różniły się istotnie statystycznie między poszczególnymi miejscami badań. Wyniki te sugerują, iż na terenie Gminy Puck stężenia azotanów, jonów amonowych nie wykazują statystycznie istotnych różnic, jeżeli chodzi o ich zawartość w wodach gruntowych w porównaniu do innych miejsc zlokalizowanych w rejonie zatoki. Jest to ciekawe, ponieważ na terenie Gminy Puck istotny sektor gospodarki stanowi rolnictwo, natomiast na terenie Półwyspu Helskiego przeważa turystyka, a terenów rolniczych brak. Niemniej jednak najistotniejsze zmiany stężeń obserwowano sezonowo. Stężenia fosforanów istotnie różniły się między badanymi miejscami i porami roku, podczas gdy stężenia zarówno jonów amonowych jak i azotanów (zmieniały się tylko sezonowo). Stosunek N: P wskazywał na ograniczenie P w większości próbek.

Wszystkie pobrane w ramach projektu WaterPUCK wyniki związków biogenicznych oznaczonych w wybranych próbkach wód gruntowych zarówno zlokalizowanych na Półwyspie Helkim jak i na terenie Gminy Puck zostały zaklasyfikowane ze względu na kryteria i sposoby oceny stanu jednolitych wód podziemnych (Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polski, 2016).

Jeżeli chodzi o jony amonowe w próbkach to 60% próbek mieściło się w I klasie jakości, 29% w II klasie jakości, 4% w III klasie jakości, 4% w IV klasie jakości, a 3% w V klasie jakości. Jedynie 9% próbek pobranych z terenu Gminy Puck zostało zakwalifikowane do IV i V klasy jakości. W przypadku jonów azotanowych 80% pobranych próbek mieściło się w I klasie jakości, 15% w II klasie jakości, a 4% w III klasie jakości, 1% w IV klasie jakości. Na terenie Gminy Puck tylko jedna próbka charakteryzowała się II klasą czystości reszta mieściła się w I klasie jakości. Jeżeli chodzi o jony fosforanowe to 89% próbek mieściło się w I klasie jakości, 4% w II klasie jakości i 7% w III klasie jakości, natomiast w przypadku próbek pobranych jedynie na terenie Gminy Puck tylko jedna próbka była w III klasie jakości, a tak pozostałe w I i II klasie jakości. Podsumowując przeanalizowane wody gruntowe na terenie Gminy Puck charakteryzują się generalnie bardzo dobrą i dobrą jakością jeżeli chodzi o zawartość substancji biogenicznych.

W przypadku próbek wód określanych jako SGD dopływających wód gruntowych czy też innymi słowy wód wysiękowych nie ma norm mówiących o klasie ich czystości. Próbkę były pobierane na głębokości 10 cm w osadzie zatem stosowanie normy charakterystycznej dla wód podziemnych jest nadużyciem z racji bliskiego kontaktu z wodami morskimi. Natomiast zastosowanie normy dla wód przybrzeżnych również nie wydaje się

do końca słuszną. Aby móc ocenić wpływu SGD na środowisko morskie posłużono się obiema klasyfikacjami i na tej podstawie wyciągnięto wnioski.

Najpierw przedyskutowane zostaną wyniki pod kątem normy dla wód podziemnych. Podobnym rozkładem charakteryzowały się próbki pobrane u wybrzeży Gminy Puck i Półwyspu Helskiego – stąd zostaną omówione razem. Jeżeli chodzi o jony amonowe oznaczone w próbkach SGD to 19 % mieściło się w I klasie jakości, 56 % w II klasie, jakości 15 % w III klasie jakości, 10 % w IV klasie jakości. Jony azotanowe oznaczone w próbkach SGD to 90% mieściło się w I klasie jakości, 2% w II klasie jakości, 7% w III klasie jakości i 1% w IV klasie jakości. Jony fosforanowe oznaczone w próbkach SGD generalnie zaliczały się do I i II klasy jakości: odpowiednio 75% i 25%. Jednakże jak zastosujemy normę wód przybrzeżnych do oceny jakości wód SGD sytuacja zmienia się drastycznie. Należy również zwrócić uwagę na fakt że, klasyfikacja podaje tylko dwie klasy jakości, a mianowicie: I (b. dobra) i II (dobra). Tylko 22% próbek w których oznaczono jony fosforanowe należały do I i II klasy pozostałe 88 % były poza skalą, w przypadku jonów azotanowych 67% mieściło się w I i II klasie. Dla jonów amonowych nie ma podanej normy natomiast jak SGD trafi do morza do jony amonowe się utlenią do azotanów. Wydaje się zatem, że SGD jest czynnikiem istotnie wpływającym na środowisko morskie i lokalnie istotnym źródłem omawianych substancji.

Ponadto uzyskane wyniki wskazują, że SGD jest ważnym czynnikiem uwalniania substancji odżywczych z osadów, w porównaniu do strumieni powrotnych tych substancji z osadów w innych obszarach Morza Bałtyckiego. Uzyskane wyniki mogą wskazywać na zanieczyszczenie związkami biogenicznymi z rolnictwa oraz ścieków. Ładunki związków biogenicznych dostarczanych do Zatoki Puckiej za pośrednictwem SGD jest potencjalnie ważnym źródłem i należy go wziąć pod uwagę przy ocenie roli SGD w Zatoce Puckiej i budżetów badanych substancji chemicznych. Obszary eutrofizacji znajdują się przede wszystkim w pobliżu wybrzeża ze względu na wkład lądowy. SGD może znacząco przyczynić się do stężenia składników pokarmowych w Morzu Bałtyckim, zwiększając wiosenne i letnie zakwity glonów.

Prace numeryczne

Na terenie zlewni Zatoki Puckiej możemy zaobserwować stopniowe zwiększanie antropopresji. Nie tylko postępująca urbanizacja, ale również intensyfikacja rolnictwa i zmiany zagospodarowania zlewni mogą skutkować wzrostem zanieczyszczeń trafiających do wód przybrzeżnych Zatoki Puckiej. Większość biogenów w spływie powierzchniowym jest pochodzenia rolniczego. Warto dążyć do optymalizacji praktyk rolniczych, szczególnie nawożenia i dawkowania środków ochrony roślin, w celu minimalizacji spływu zanieczyszczeń do rowów melioracyjnych i cieków odprowadzających z terenów rolniczych nadmiarową wodę. Dyrektywa azotanowa wprowadza ograniczenia związane z maksymalnymi aplikowanymi dawkami nawozów, dodatkowo wprowadza obowiązek wyliczania masy czystego nawozu trafiającego na pola.

Kalkulatory: W oparciu o koncepcję bilansu składników nawozowych metodą „u bramy gospodarstwa” opracowano kalkulator (program komputerowy) o nazwie CalcGosPuck do obliczania nadwyżki/deficytu i wydajności wykorzystania składników nawozowych w gospodarstwie rolnym. Dodatkowo w ramach WP1 opracowano i zbudowano kalkulator CalcNPuck (program komputerowy) dla szacowania wymywania azotu z poszczególnych pól w gospodarstwie rolnym w Gminie Puck.

Kalkulatory CalcGosPuck i CalcNPuck działają jako niezależne interaktywne aplikacje (są one dostępne na stronie internetowej www.waterpuck.pl). Jego upowszechnienie może się przyczynić do poszerzania wiedzy

rolników dotyczącej poprawnego zarządzania składnikami nawozowymi i poprzez to ograniczyć presję wywieraną przez działalność rolniczą na środowisko.

SWAT: W trakcie prac w ramach projektu wykazano, że ilość związków NPK dostarczanych w nawozach nie przekłada się bezpośrednio na ilość biogenów trafiających do cieków i dalej do Zatoki Puckiej. Istotne są również parametry meteorologiczne, determinujące spływ powierzchniowy, przede wszystkim charakterystyka opadu. Na podstawie dobowych sum opadu w modelu wód powierzchniowych SWAT_PUCK analizowane są przemiany związków aplikowanych w nawozach (dawki składników, pobieranie przez rośliny, wypłukiwanie przez spływ powierzchniowy itd.), w celu określenia dobowego, miesięcznego lub rocznego spływu biogenów z poszczególnych obszarów jednorodnej odpowiedzi hydrologicznej (HRU).

W ramach projektu zaimplementowano model SWAT do badanego obszaru umożliwiając wykonanie symulacji dopływu wód ze spływu powierzchniowego do Zatoki Puckiej wraz z zanieczyszczeniami pochodzenia rolniczego z terenu Gminy Puck. Dodatkowo model jest zintegrowany z modelem wód podziemnych (GroudPuck) poprzez protokół wymiany danych. W obliczeniach wykorzystywane są aktualne i prognozowane warunki meteorologiczne. Usługa jest dostępna dla wszystkich zainteresowanych za pośrednictwem strony internetowej projektu www.waterpuck.pl. Dostępne są dwa warianty:

1. Dane ogólne – umożliwiające podgląd symulowanych zawartości wybranych biogenów i pestycydów w spływie powierzchniowym oraz w ciekach.
2. Kalkulator – umożliwia wykonanie symulacji po wprowadzeniu zmian dotyczących planowanych upraw, dawek i rodzaju nawozów oraz środków ochrony roślin.

GroudPUCK: Numeryczny model transportu GroudPUCK oparty na kodzie Modflow opracowany w ramach projektu pozwala wyznaczyć ładunek azotanów w wodach podziemnych dopływających do Zatoki Puckiej. Model ten skalibrowano w oparciu o rzeczywiste wartości stężenia NO_3^- stwierdzone na badanym obszarze. Przeprowadzono symulacje modelowe dla różnych wariantów upraw oraz zróżnicowanego zagospodarowania terenu, uzyskane wyniki wykazują zbieżność z wynikami badań terenowych. Obliczone stężenia azotanów w wodach podziemnych dopływających do Zatoki Puckiej nie przekraczają norm zawartości azotanów dla wód podziemnych I i II klasy (wody bardzo dobrej i dobrej jakości), zgodnie z przywołanym wcześniej rozporządzeniem. Należy podkreślić, że zawartości azotanów mieszczące się w zakresie II klasy dotyczą tylko górnego poziomu wodonośnego Q1.

EcoPuckBay: Numeryczny trójwymiarowy model ekosystemu Zatoki Puckiej 3D EcoPuckBay, opracowany w ramach projektu jako nowoczesne narzędzie ma na celu śledzenie i prognozowanie zachodzących w środowisku zmian dla zwiększenia zasobów danych i zrozumienia wobec potrzeb zrównoważonego rozwoju i przeciwdziałania zagrożeniom w aspekcie presji antropogenicznych związanych z wprowadzaniem zanieczyszczeń z wód powierzchniowych i gruntowych Gminy Puck. W odróżnieniu od metod tradycyjnych, model numeryczny wysokiej rozdzielczości pozwala na ciągłe w czasie i w przestrzeni, kontrolowanie głównych charakterystyk ekosystemu. Takie podejście pozwala na uzyskanie szczegółowego ilościowego opisu zmienności fizycznych, dynamicznych i biochemicznych parametrów środowiska morskiego. Elementy te są niezbędne w nowoczesnym prognozowaniu ekologicznym środowiska morskiego. Model ekosystemu Zatoki Puckiej 3D EcoPuckBay składa się z modelu hydrodynamicznego, modelu biochemicznego z modułem pestycydów i modelu rozptyłu biogenów, a także z modułu asymilacji danych satelitarnych. Jako, że modelowanie numeryczne badanego rejonu jest trudnym zagadnieniem nie tylko ze względu na specyfikę samego akwenu, ale również na dużą zmienność czasową modelowanych parametrów, uwzględniono wiele czynników wymuszających oraz zapewniających zarówno ich dobrą jakość jak i częstotliwość. W tym celu w

modelu 3D EcoPuckBay uwzględnione zostały dopływy wody słodkiej z modelu wód powierzchniowych SWAT i modelu przepływu wód podziemnych GroundPuck. Wykorzystane zostały atmosferyczne siły wymuszające przez 48-godzinne prognozy meteorologiczne z modelu UM dostarczonego przez Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Obliczeniowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM UW). Model został skalibrowany i zweryfikowany, a uzyskane wyniki wykazują zbieżność z danymi pomiarowymi i modelowymi, pochodzącymi z różnych źródeł. Produkty udostępnione na stronie internetowej projektu pozwalają generować mapy i przebiegi czasowe symulowanych parametrów hydrodynamicznych (temperatura, zasolenie, poziom morza i prądy, ich wartość i kierunek) i parametrów biochemicznych (stężenia chlorofilu-a, azotanów, amoniaku, fosforanów i krzemianów oraz koncentracja rozpuszczonego tlenu), a także pestycydów–(jako mg substancji aktywnej), z modelu 3D EcoPuckBay rejonu Zatoki Puckiej i zachodniej części Zatoki Gdańskiej.

W zakresie prac WP1-WP8 zrealizowano zakładane cele fazy badawczej. Przeprowadzone badania środowiskowe i numeryczne pozwoliły na opracowanie numerycznych modeli, modelu przepływu wód powierzchniowych i transportu substancji biogennych oraz pestycydów w programie SWAT, modelu przepływu wód podziemnych GroudPuck opartego na programie Modflow i modelu ekosystemu Zatoki Puckiej 3D EcoPuckBay, które w ramach fazy wdrożeniowej zostaną udostępnione gminie Puck, jako narzędzia analiz, prognoz i wspomagania decyzji. Zastosowanie modeli będzie związane ze strategicznym problemem ochrony środowiska w Polsce, jakim jest ograniczenie dopływu substancji biogennych do Bałtyku i ograniczenie jego eutrofizacji. Powiązanie modeli spływu wód lądowych powierzchniowych i podziemnych oraz wód morskich w Zatoce Puckiej w ramach serwisu WaterPuck ma charakter innowacyjny w skali światowej i pozwoli na dokładniejsze i bardziej kompleksowe odwzorowanie procesów zachodzących w strefie brzegowej.

Wszystkie wyniki z prac badawczo-rozwojowych w ramach projektu WaterPUCK zostały przedstawione w 20 (+ 5 złożonych do druku) publikacjach w czasopismach objętych Science Citation Index. Opracowano i udostępniono 15 PRODUKTÓW (w tym 5 PROCEDUR) na stronie internetowej projektu WaterPUCK w zakładce PRODUKTY (www.waterpuck.pl).

Faza A projektu była realizowana w ramach konsorcjum składającego się z czterech instytutów naukowych i naukowo badawczych: Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk – Lider, Politechniki Gdańskiej – Partner 1, Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach – Partner 2, Instytutu Morskiego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni – Partner 3, i jednostki samorządu terytorialnego Urzędu Gminy Puck – Partner 4.

Kierownikiem projektu i koordynatorem ze strony IO PAN jest Pani prof. dr hab. Lidia Dzierzbicka-Głowacka.

Projekt jest finansowany przez NCBiR w ramach Programów Strategicznych – BIOSTRATEG III.