

**POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH
ODDZIAŁ CZĘSTOCHOWA**

WYBRANE ZAGADNIENIA HYDROGEOLOGICZNE ORAZ RÓŻNE ASPEKTY ZWIĄZANE Z EKSPLOATACJĄ WÓD PODZIEMNYCH

pod redakcją Ewy Krogulec



**WYBRANE ZAGADNIENIA
HYDROGEOLOGICZNE ORAZ RÓŻNE
ASPEKTY ZWIĄZANE Z EKSPLOATACJĄ
WÓD PODZIEMNYCH**



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

**POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH
ODDZIAŁ CZĘSTOCHOWA**

WYBRANE ZAGADNIENIA HYDROGEOLOGICZNE ORAZ RÓŻNE ASPEKTY ZWIĄZANE Z EKSPLOATACJĄ WÓD PODZIEMNYCH

pod redakcją Ewy Krogulec



**WYDAWNICTWO
UNIwersytetu
ŁÓDZKIEGO**

Łódź 2021

Ewa Krogulec – Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Hydrogeologii i Geofizyki
02-089 Warszawa, ul. Żwirki i Wigury 93

RECENZENCI

Dorota Porowska

Paweł Popielski

REDAKTOR INICJUJĄCY

Katarzyna Włodarczyk-Gil

REDAKCJA NAUKOWA

Ewa Krogulec

REDAKCJA I SKŁAD

Łukasz Kaczmarek

Marcin Folwaczny

PROJEKT OKŁADKI

Judyta Jaszczyk-Parcheta

DOSTOSOWANIE PROJEKTU OKŁADKI

Monika Rawska

Wydrukowano z gotowych materiałów dostarczonych do Wydawnictwa UŁ

Publikacja jest udostępniona na licencji Creative Commons

Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 4.0 (CC BY-NC-ND)

© Copyright by Authors, Łódź 2021

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2021

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.10427.21.0.K

Ark. druk. 23,5

ISBN 978-83-8220-655-5

e-ISBN 978-83-8220-656-2

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5>

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

90-131 Łódź, ul. Lindleya 8

www.wydawnictwo.uni.lodz.pl

e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl

tel. 42 665 58 63

SPIS TREŚCI

WSTĘP

Ewa Krogulec, Łukasz Kaczmarek

7

ARTYKUŁY TEMATYCZNE

Hydrogeologia

Stan i możliwości odbudowy stosunków wodnych na Pojezierzu Gnieźnieńskim po zakończeniu odkrywkowej eksploatacji węgla brunatnego

Jan Przybyłek

11

Obrazowanie 3D w modelowaniu przepływu wód podziemnych – przykłady dla złoża „Złoczew” i zlewni Biebrzy

Lech Śmietaniński, Sławomir Filar, Elżbieta Przytuła

27

Optymalizacja poboru wód podziemnych do nawadniania użytków rolnych w okresie suszy

Piotr Herbich

41

Ułatwiona migracja zanieczyszczeń do użytkowych poziomów wodonośnych w wyniku wad technicznych studni i otworów hydrogeologicznych

Józef Górski

53

Reinterpretacja pionierskich badań z wykorzystaniem pionowych sondowań elektrooporowych budowy geologicznej warstwy wodonośnej

Łukasz Kaczmarek, Sebastian Kowalczyk, Radosław Mieszkowski

63

Problematyka hydrogeologiczna w czasopiśmie Geologos

Krzysztof Dragon, Tomasz Zieliński

77

Hydrotechnika

Ocena sposobów obniżenia straty wody na przykładzie PWiK w A

Damian Świdorski, Florian G. Piechurski

87

Bilans mocy w układzie pompowym studni ujęciowej

Marian Strączyński

101

Prawo wodne

Funkcjonowanie systemu ochrony wód podziemnych w Polsce w świetle przepisów ustawy

Prawo wodne

Małgorzata Woźnicka, Elżbieta Przytuła, Dorota Palak-Mazur

111

Obszary terenów ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych a Plany Bezpieczeństwa Wody – wskazówki dla praktyków

Krzysztof Filipek

131

STRESZCZENIA

Rozszerzone

Ascenzja mineralnych wód okołowysadowych do koryta Moszczenicy w rejonie Gieczna (pow. zgierski) <i>Magdalena Lisiecka-Długosz, Marek Marciniak, Maciej Ziulkiewicz</i>	141
Ocena geochemicznych efektów ingresji zasolonych wód termalnych do dolnokredowego poziomu zwykłych wód podziemnych małej niecki łódzkiej. Symulacja hipotetycznych scenariuszy <i>Aneta Walas, Dariusz Dobrzyński, Maciej Ziulkiewicz</i>	143
Substancje humusowe w komunalnej gospodarce wodnej <i>Anna M. Anielak, Aneta Kleczek, Dominika Łomińska-Platek, Tomasz Orliński</i>	145
Tomografia elektrooporowa i otworowe badania geofizyczne w hydrogeologii i hydrotechnice – studium przypadków <i>Agata Kasprzak, Tomasz Górka, Łukasz Kaczmarek, Radosław Mieszkowski</i>	147
Krótki przegląd badań współczynnika filtracji gruntów <i>Łukasz Kaczmarek, Agnieszka Dąbska, Paweł Popielski</i>	150
Wprowadzenie do badań współczynnika filtracji w aparacie trójosiowego ściskania <i>Łukasz Kaczmarek, Agnieszka Dąbska, Paweł Popielski</i>	153
GWE – Pasja do postępu <i>Mateusz Szatko</i>	156
Aspekty właściwego utrzymania systemu kanalizacji sanitarnej w Wodociągach Częstochowskich <i>Robert Miglus</i>	161
Analiza ryzyka dla ujęć wód podziemnych jako element Planów Bezpieczeństwa Wody <i>Izabela Zimoch, Barbara Mulik</i>	163

Konkursowe

Dodatkowe zasilanie wód podziemnych a migracja mikrozanieczyszczeń do warstwy wodonośnej na przykładzie ujęcia infiltracyjnego w południowej Polsce <i>Kinga Ślósarczyk</i>	169
Mikrozanieczyszczenia organiczne w wodach powierzchniowych i infiltracyjnych ujęcia Mosina-Krajkowo zaopatrującego aglomerację poznańską <i>Roksana Kruć-Fijałkowska</i>	171
Charakterystyka fizyko-chemiczna wód w strefie hyporeicznej Skierniewki na obszarze zurbanizowanym <i>Piotr Markowicz</i>	173
Przebudowa typowego wału przeciwpowodziowego rzeki Wisły z uwzględnieniem uwarunkowań hydrogeologicznych <i>Karolina Kaczmarek</i>	174
Zastosowanie metody elementów analitycznych (AEM) do wyznaczania stref ochronnych ujęć wód podziemnych <i>Maciej Nikiel</i>	176
Koncepcja zabezpieczenia piwnic budynku wysokiego przy ul. Nowowiejskiej w Warszawie przed wodą gruntową w oparciu o analizę sieci wod-kan oraz warunków hydrogeologicznych <i>Aleksander Rajkowski</i>	178

WSTĘP

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.01>

Wśród wielu hydrogeologicznych wyzwań, w tym związanych z różnymi aspektami eksploatacji wód podziemnych, można wskazać te o znaczeniu fundamentalnym. W kontekście pojawiających się nowych metod badań oraz aktualnych danych na tle zmieniających się uwarunkowań środowiskowo-cywilizacyjnych powinny one być stale analizowane. Takimi zagadnieniami są m.in. badania nad jakością i ilością wód podziemnych (obejmujące także ich poszukiwania i charakterystykę filtracyjną wodonośca), optymalne technologie ujmowania wód w odniesieniu do wodociągów, odwodnienia i nawadniania, czy też prawo konstytuujące znaczenie wody. Właśnie takie zagadnienia zostały poruszone w przedstawianej monografii, która powstała w oparciu o materiały XXIII edycji Konferencji Naukowo-Technicznej pt.: *Eksploatacja i zagrożenia ujmowanych wód podziemnych oraz zagadnienia związane z technologiami bezwykopowymi*.

Ta najstarsza polska konferencja obejmująca zagadnienia hydrogeologiczne należy już do 44-letniego cyklu konferencji *Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej*, który został zainicjowany przez środowisko „Wodociągów Częstochowskich”. Pierwsze cztery edycje konferencji organizowało Centrum Techniki Komunalnej w Warszawie, co związane było z jej ówczesnym dyrektorem – Panem mgr inż. Stanisławem Nawarą (wcześniejszym dyrektorem Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego) oraz pochodzącym z Częstochowy Panem mgr Jackiem Gospodarkiem. Kolejne edycje organizowane były przez Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Częstochowa, przy kluczowej roli Koła Zakładowego PZITS przy PWiK Okręgu Częstochowskiego SA w Częstochowie oraz Pani inżynier Elżbiety Kowalczyk (aktualnie Członek Zarządu PZITS Oddział Częstochowa). Z krótkim opisem historii konferencji można zapoznać się m.in. na jej stronie internetowej (www.knt.czyst.pl).

Prezentowany w tegorocznej edycji materiał stanowi przekrój zagadnień pogrupowany na artykuły tematyczne oraz streszczenia wystąpień i artykułów pokonferencyjnych. Artykuły tematyczne w rozdziale *Hydrogeologia* skupiają się na studium przypadków ważnych projektów i badań hydrogeologicznych. Poruszono zagadnienia pionierskiego planu odwrócenia efektów wielkopowierzchniowych odwodnień, modelowania numerycznego przepływu wód podziemnych, coraz bardziej istotnego problemu relacji susz hydrologicznych i niżówek hydrogeologicznych, przyczyn zanieczyszczeń ujęć komunalnych, przykładu reinterpretacji

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Hydrogeologii i Geofizyki, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, ewa.krogulec@uw.edu.pl, ORCID 0000-0002-2230-0720

² Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Wodnego, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, lukasz.kaczmarek@pw.edu.pl, ORCID 0000-0001-5207-3816

³ Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie, ul. Jaskrowska 14/20, 42-202 Częstochowa

materiałów archiwalnych z zakresu geofizycznej prospekcji, jak również analizy problematyki hydrogeologicznej na tle trendów publikacyjnych.

W kontekście coraz bardziej docenianej wartości wody i stąd wzrastającej troski o jej zasoby, w rozdziale zatytułowanym *Hydrotechnika* opisano techniczne możliwości obniżania strat ujmowanej wody w zakresie systemu wodociągowego oraz omówiono najnowsze osiągnięcia optymalizacji pracy układów pompowych studni głębinowych.

W rozdziale *Prawo wodne* usystematyzowano aktualny zbiór regulacji prawnych dotyczący zasobów wód podziemnych wraz ze szczególnym omówieniem metodyki tworzenia terenów stref ochronnych w świetle Planów Bezpieczeństwa Wody.

Podział artykułów tematycznych *hydrogeologia-hydrotechnika-prawo* znajduje odzwierciedlenie także w treści *Streszczeń rozszerzonych*, gdzie zebrano wybrane najnowsze badania hydrogeochemiczne, tomografii elektrooporowej oraz przedstawiono cały wachlarz metod wyznaczania współczynnika filtracji gruntów, ze szczególnym omówieniem możliwości zaawansowanej aparatury trójosiowego ściskania. Również w tym rozdziale można znaleźć ciekawe technologiczne informacje na temat infrastruktury towarzyszącej studniom głębinowym oraz renowacji kolektorów sanitarnych metodą bezwykopową, które mogą stać się linowym ogniskiem zanieczyszczeń wód podziemnych. Czytelnik ma możliwość zapoznania się także z „wyciągami” aktów prawnych dotyczących ciągle jeszcze „nowego” opracowania jakim jest Analiza ryzyka wymagana ustawą *Prawo wodne*.

Dopełnieniem opisywanego materiału jest podrozdział poświęcony *Streszczeniom konkursowym prac Młodych Hydrogeologów*. Prace cechują się bardzo wysokim poziomem merytorycznym i tworzą most łączący kolejne pokolenia „wodziarzy”.

Niniejsza wieloautorska monografia stanowi cenną interdyscyplinarną publikację z zakresu hydrogeologii stosowanej, zawierającą bogate doświadczenia środowisk współpracujących hydrogeologów, hydrotechników i inżynierów sanitarnych. Rozpowszechnianie takiej specjalistycznej i aktualnej wiedzy pozwala na coraz bardziej optymalną, to znaczy ekologiczną i ekonomiczną, gospodarkę wodną.

ARTYKUŁY TEMATYCZNE

Hydrogeologia

STAN I MOŻLIWOŚCI ODBUDOWY STOSUNKÓW WODNYCH NA POJEZIERZU GNEŹNIEŃSKIM PO ZAKOŃCZENIU ODKRYWKOWEJ EKSPLOATACJI WĘGLA BRUNATNEGO

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.02>

Streszczenie: Wielkopolska cechuje się największymi deficytami wody w kraju. Od lat region ten nawiedzają zjawiska suszy z problemami wysychania małych cieków wodnych i obniżania się zwierciadeł wody w jeziorach. W szczególności dotyczy to Pojezierza Gnieźnieńskiego, gdzie do czynników klimatycznych doszły jeszcze wieloletnie procesy odwadniania kolejnych odkrywek PAK KWB Konin z zasięgiem kopalnianego leja depresji sięgającego aż na tereny Powidzkiego Parku Krajobrazowego z jeziorami w głębokich rynnach glacialnych, co sprzyja katastrofalnemu obniżaniu się w nich lustra wody pod wpływem górniczych systemów odwodnieniowych. Ujemny klimatyczny bilans wodny oraz lej depresji obniżający dynamiczne zwierciadło wody w wodonośnych poziomach użytkowych są również powodem zmniejszania się zasobów dyspozycyjnych dla ujęć wód podziemnych w gminach Pojezierza Gnieźnieńskiego. W artykule przedstawiono aktualny stan stosunków wodnych na tym obszarze oraz koncepcję ratowania jezior poprzez przyspieszone zalewanie końcowych wyrobisk górniczych, powierzchniowymi wodami zewnętrznymi doprowadzanymi z Kanału Ślesińskiego zasilanego zasobami wodnymi z rzeki Warty.

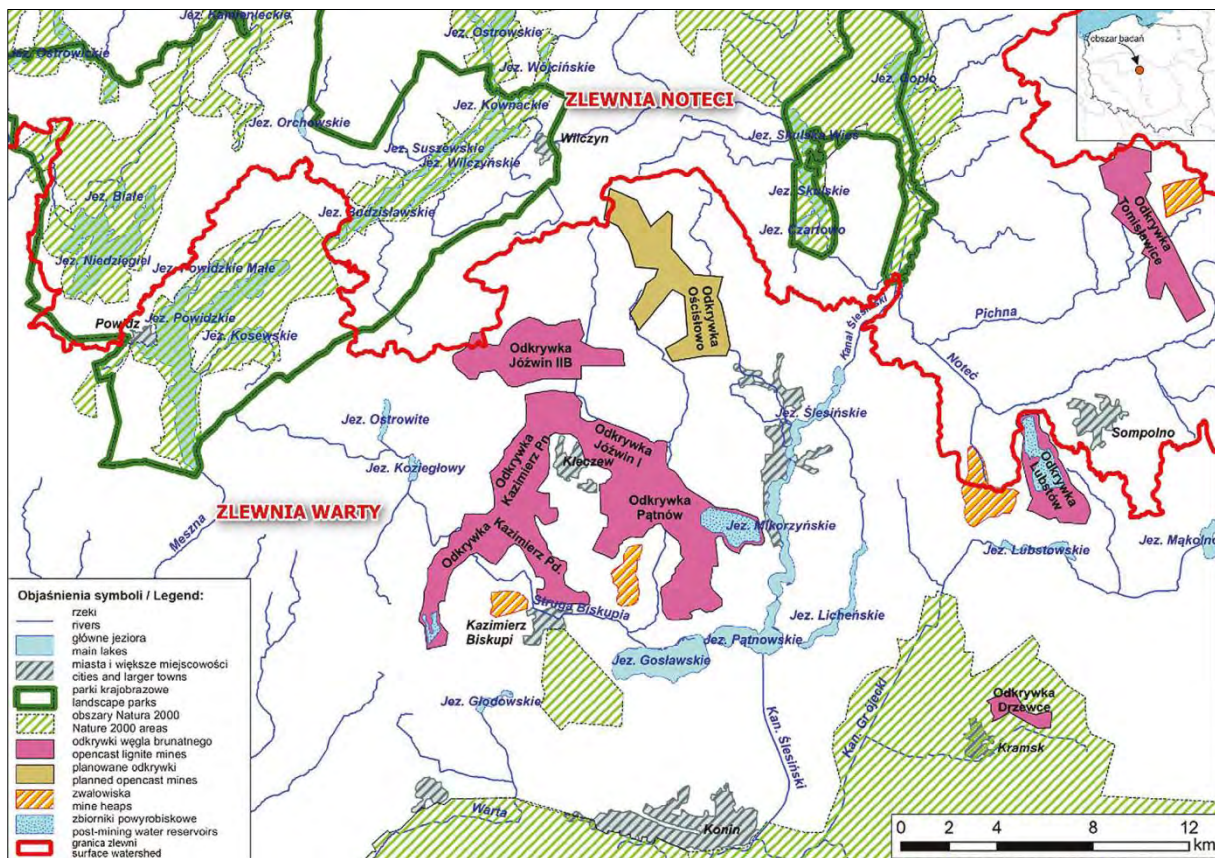
Słowa kluczowe: odwadnianie górnicze, zalewanie wyrobisk, rekultywacja wodna, odnawialność wód podziemnych, bilans wodny.

Wprowadzenie

Eksploracja górnicza węgla brunatnego w KWB Konin, połączona z wielkopromiennym odwadnianiem odkrywek we wschodniej części Pojezierza Gnieźnieńskiego pomiędzy goplańską rynną subglacialną (Kanał Ślesiński) a rynną subglacialną Powidz-Ostrowo w Powidzkim Parku Krajobrazowym (PPK), rozpoczęła się w 1958 roku od odkrywki Pątnów, założonej na złożu węglowym w sąsiedztwie Jeziora Mikorzyńskiego w biegu Kanału Ślesińskiego (ryc. 1). W wyniku budowy i odwadniania kolejnych odkrywek: Kazimierz Południe, Kazimierz Północ, Józwin I, Józwin IIA, Józwin IIB rozległy lej depresji odwodnienia górniczego rozbudował się w wielowarstwowym systemie wodonośnym w kierunku NE, sięgając jezior PPK. Wraz z upływem czasu, w drugiej dekadzie XXI wieku, lej depresji objął swoim zasięgiem struktury hydrogeologiczne w piętrze czwartorzędowym i piętrze neogeńskim, związane z jeziorami: Powidzkim, Budziszawskim, Wilczyńskim, Suszewskim i Kownackim, doprowadzając do obniżenia w nich lustra wody i znacznej degradacji przyrodniczej poprzez ograniczenie ich zasilania podziemnego i z czasem infiltrację wód jeziornych do systemu odwodnienia górniczego.

W warunkach głębokiego odwadniania odkrywek rzędna zwierciadła wody podziemnej w mioceńskich piaskach podwęglowych ukształtowała się w przedziale rzędnych od 37 w odkrywce Pątnów, do 46 m n.p.m. w odkrywce Kazimierz Północ, powodując depresję zwierciadła wody w tym poziomie w wielkości odpowiednio od 47 m do 38 m w stosunku do stanu Kanału Ślesińskiego ze stałą rzędną lustra wody ok. 84 m n.p.m.

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geologii, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań, janex@amu.edu.pl, ORCID 0000-0002-7692-8273

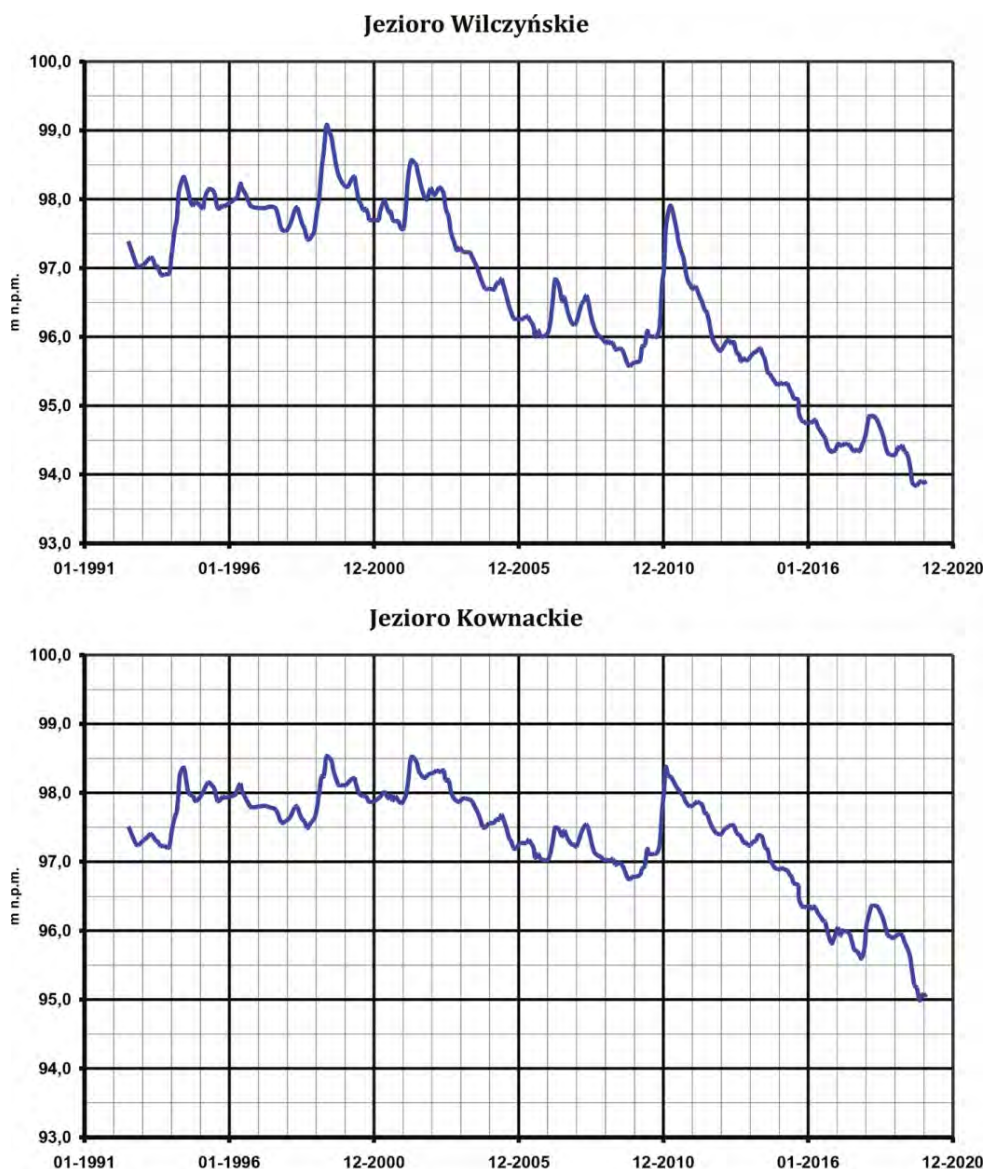


Ryc. 1. Hydrografia i wzajemne położenie jezior i odkrywek KWB Konin na Pojezierzu Gnieźnieńskim

Źródło: Przybyłek 2020

Blechacz i Karpa (1969) wykazali, że zwierciadło wody poziomu mioceńskiego kształtowało się pierwotnie przy Jeziorze Budziszawskim i Jeziorze Wilczyńskim na terenie WDK na rzędnej ok. 99 m n.p.m. i obniżało się proporcjonalnie ku bazie jego drenażu naturalnego do 84 m n.p.m. przy Kanale Ślesińskim na odległości ok. 20 km, dzielących obie rynny jeziorne (ryc. 1). Z upływem czasu, w wyniku wzajemnego oddziaływania kolejno zakładanych systemów odwodnieniowych odkrywek Pątnów, Kazimierz Południe, Józwin, Kazimierz Północ i Józwin IIB, ukształtował się na obszarze Pojezierza Gnieźnieńskiego na północny-zachód od Konina rozległy lej depresji sięgający w kierunku na zachód i północ na odległość ponad 10 km, obejmując łączące się ze sobą regionalne poziomy wodonośne: mioceński i górnokredowy oraz nadległe warstwy wodonośne w utworach czwartorzędowych.

Regionalny lej depresji, rozwijając się intensywnie w stronę jezior w rynn timer Powidz-Ostrowo, zagroził wraz z upływem dziesięcioleci zakłóceniem naturalnego bilansu wodnego tych jezior ze skutkiem kilkumetrowego obniżenia się w nich lustra wody, czego przykładem jest wykres stanów Jeziora Wilczyńskiego z obserwacjami z lat 1991–2020 (ryc. 2).



Ryc. 2. Wykresy stanów zwierciadła wody w Jeziorze Wilczyńskim i w Jeziorze Kownackim na terenie Powidzkiego Parku Krajobrazowego w latach 1991–2020, wskazujące na drastyczny ubytek wody w tych jeziorach w ostatnim dziesięcioleciu

Źródło: Przybyłek i in. 2020

W obszarze działalności górniczej, całkowitej przebudowie uległa pierwotna sieć hydrograficzna związana z rejonem wododziału pomiędzy zlewnią Noteci a zlewnią Warty (ryc. 1), utrudnione zostały warunki eksploatacji ujęć wód podziemnych indywidualnych i zbiorowego zaopatrzenia w gminach Kleczew, Kazimierz Biskupi, Ślesin, Wilczyn w powiecie konińskim. W wyniku rozwoju kopalnianego leja depresji przy ujemnym klimatycznym bilansie wodnym w strefie wododziałowej, omawiane jeziora PPK stały się z czasem bezodpływowe, a obszar hydrograficzny o powierzchni ponad 250 km² w części zlewni Noteci, definiowany jako

zlewnia kanału Ostrowo-Gopło lub jako zlewnia Jeziora Kownackiego (Marszelewski i in. 2012), już od ponad 20. lat cechuje się brakiem odpływu rzeczno-jeziernego (Przybyłek i Nowak 2011; Nowak 2018, 2020). Złożoność stanu hydrograficznego, bilansu wodnego i roli gospodarki wodno-ściekowej w kształtowaniu się tego bilansu na obszarze Pojezierza Gnieźnieńskiego objętego wpływem odwodnień górniczych przedstawił Nowak (2018) w swojej rozprawie doktorskiej. Problematyka opisywanych zjawisk i ich uciążliwość dla środowiska przyrodniczego i ludzi już od lat 90. XX wieku rodziła pytania o środki zaradcze (Ilnicki 1996). Początkowo rozważano sprawę przerzutu odpowiednio przygotowanych wód w głębsze ze studziennego odwodnienia górniczego do wysychających jezior, zakładania barier studni chłonnych i nawadniających drenów dla ograniczania nadmiernego rozwoju górniczych lejów depresji.

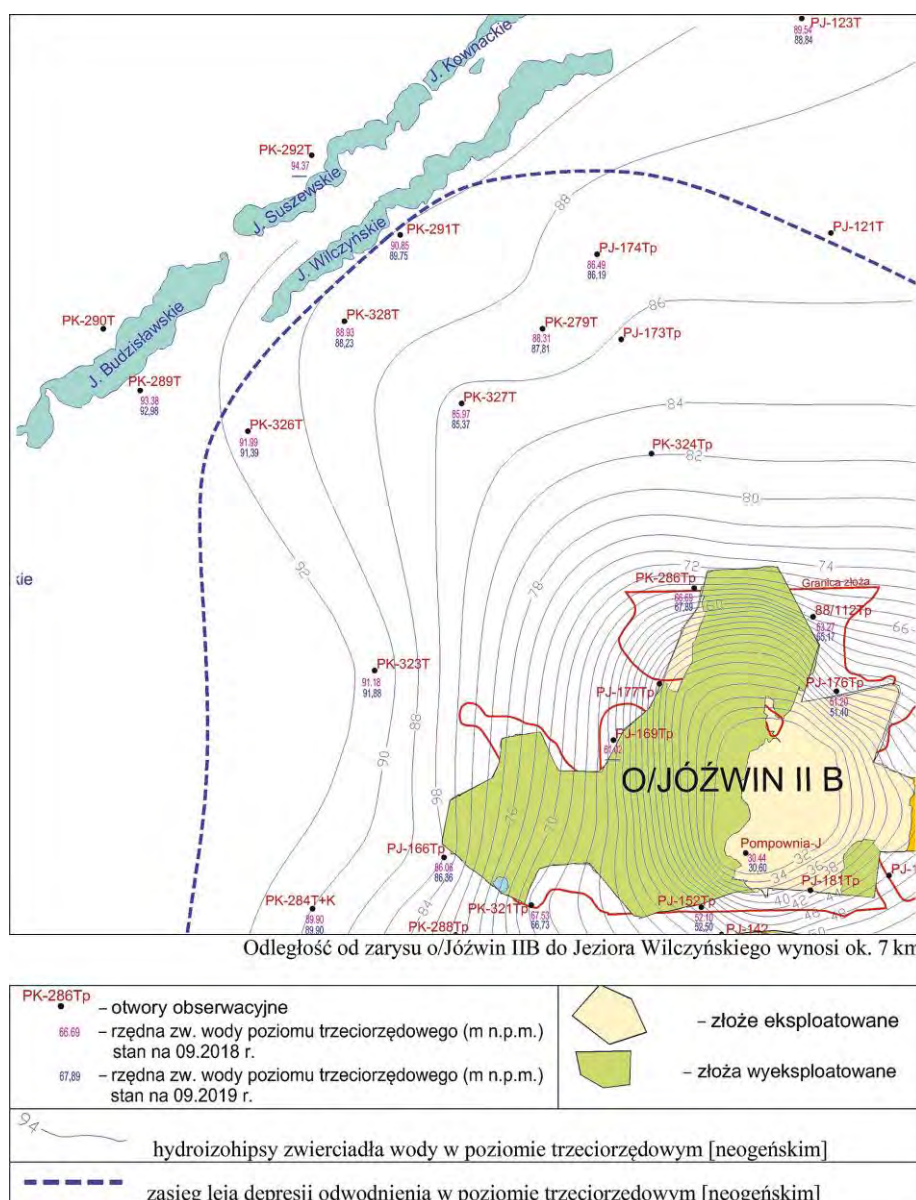
Po publikacjach naukowych (Ilnicki i Orłowski 2006a, 2006b, 2007; Ilnicki 2008) i licznych publikacjach prasowych podjęto w latach 2006–2008 starania o realizację projektów hydrotechnicznych zasilania Jeziora Budzińskiego i Jeziora Wilczyńskiego wodami z odwodnienia odkrywki Józwin IIB (ryc. 1). W trakcie głośnej batalii społecznej, w tym prasowej oraz urzędowych narad ścierały się w tej sprawie zróżnicowane opinie biologów, wskazujących na unikatowe ekosystemy bardzo wrażliwych łąk ramienicowych (siedlisko przyrodnicze 3140, Natura 2000, Gąbka i Burchardt 2006), hydrologów, hydrogeologów, chemików oraz organizacji proekologicznych, dotyczących głównie technologii zasilania jezior (Przybyłek 2018).

W efekcie, na ochronę unikatowych siedlisk przyrodniczych tych bardzo głębokich jezior wododziałowych o wyjątkowej przezroczystości wody, plany bezpośredniego ich zasilania wodami z odwodnienia górniczego nie zostały w następnych latach zrealizowane. Skutek jest taki, że obecnie pogłębia się degradacja jezior w PPK, a proces ten będzie w kolejnych latach wzrastał, potęgowany niekorzystnym klimatycznym bilansem wodnym Pojezierza Gnieźnieńskiego (Kędziora 2008, 2011; Nowak 2018, 2020; Nowak i Przybyłek 2020) oraz powtarzającymi się bardzo często suszami w Wielkopolsce (Kępińska-Kasprzak 2015). Możliwość zaradzenia tej sytuacji upatruje się aktualnie w przyspieszeniu procesu rekultywacji wodnej końcowego wyrobiska odkrywki Józwin IIB, której eksploatację przewiduje się zakończyć w najbliższych latach. Według ostatnich planów PAK KWB Konin, po zakończeniu eksploatacji węgla brunatnego z odkrywki Józwin IIB, nie przewiduje się otwarcia kolejnej planowanej odkrywki Ościszewo (ryc. 1).

Opisana sytuacja otworzyła możliwości rozważenia przyspieszonej rekultywacji wodnej wyrobiska górniczego po odkrywce Józwin IIB, kształtując w nim akwen wodny zasilany nie tylko z wód podziemnych, z poziomów wodonośnych objętych likwidowanym lejem depresji, co dla wypełnienia zbiornika trwałoby kilkadziesiąt lat, ale również z wykorzystaniem możliwości jego zewnętrznego zasilania z zasobów wód powierzchniowych rzeki Warty w postaci rurociągowego przerzutu wody z Kanału Ślesińskiego, o czym będzie mowa w dalszej części niniejszego artykułu. Przyspieszenie procesu rekultywacji pozwoli na przywrócenie stosunków wodnych sprzyjających odbudowie zasilania jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego poprzez odzyskanie przynależnym im zlewni powierzchniowych i podziemnych, włączonych dotychczas w strefę leja depresji odwodnienia górniczego.

Aktualny stan stosunków wodnych w rejonie jezior w strefie leja depresji odwodnienia górniczego

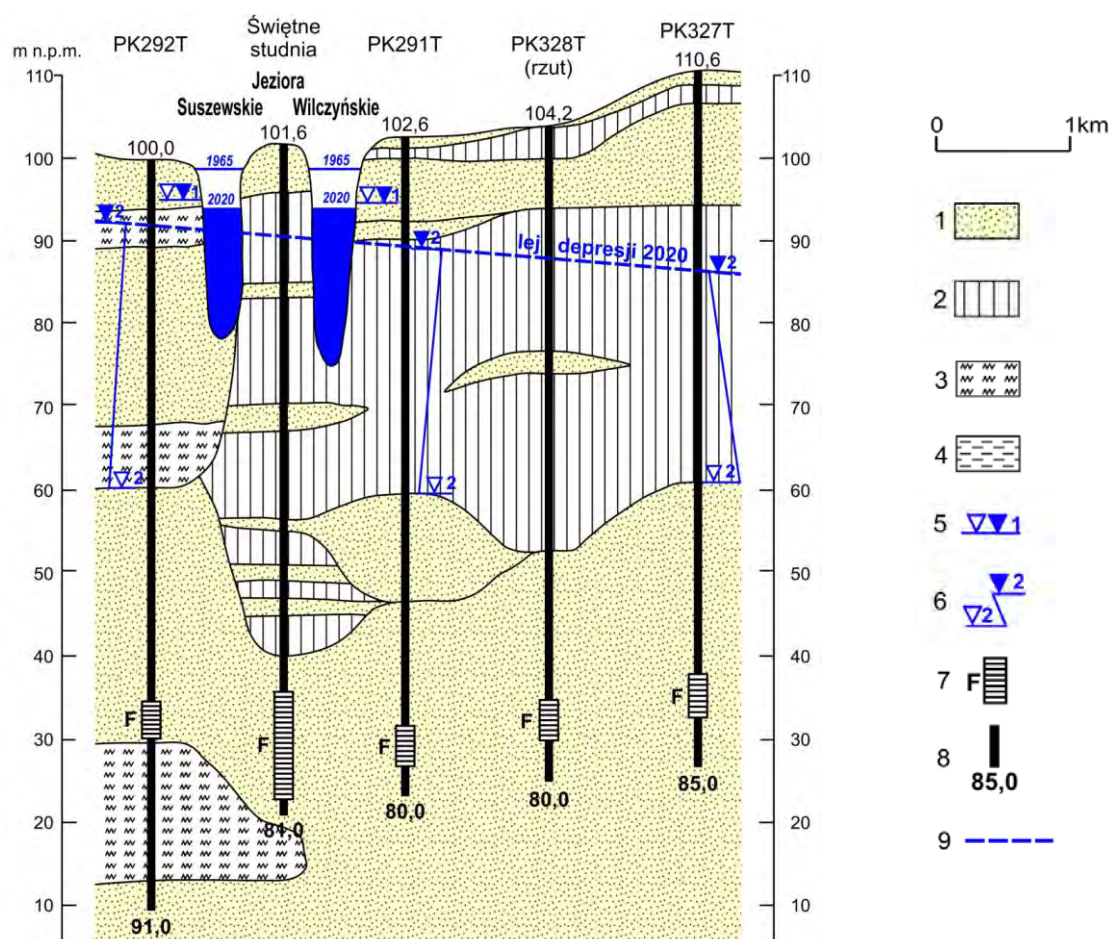
Bliskie sąsiedztwo aktualnie odwadnianej odkrywki węgla brunatnego Józwin IIB powoduje utrzymywanie się stałej, bardzo silnej presji hydrodynamicznej na jeziora: Budzisławskie, Wilczyńskie, Suszewskie i Kownackie, o czym świadczy rozkład hydroizohips stanów wody podziemnej w poziomie trzeciorzędowym (neogeńskim) przedstawiony w postaci mapy hydroizohips na ryc. 3.



Ryc. 3. Sieć otworów obserwacyjnych (piezometrów) w rejonie jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego (Budzisławskie, Suszewskie, Wilczyńskie) oraz w otoczeniu O/Józwin IIB z postacią leja depresji w 2019 r.

Źródło kartograficzne: fragment mapy na rys. 5 opracowania PROXIMA S.A. (Tarnowski i in. 2020) w wersji z publikacji Przybyłek i in. 2020

Odwadnianie odkrywki Józwin IIB, położonej zaledwie w odległości 7. km od brzegów jezior, odbywa się przy bardzo wysokim stopniu jej zawodnienia, bo utrzymującym się w przewadze poboru wody w ilości ok. 70–80 m³/min z rzędną odprowadzania wód spągowych na poziomie +30,60 m n.p.m. W dokumentach „kopalnianych” podkreśla się, że duże dopływy do odkrywki Józwin IIB są wynikiem intensywnego dopływu wód podziemnych (zasilania) od strony północnej z obszaru GZWP nr 144 określanego jako „Wielkopolska Dolina Kopalna” (Dąbrowski 1990) oraz przejmowania wód z doliny Strugi Kleczewskiej, a także licznych dolin erozyjnych, często pod glinami zwałowymi, wypełnionych osadami piaszczysto-żwirowymi. Ilustracją powiązań hydraulicznych pomiędzy jeziorami PPK z odwadnianą odkrywką Józwin IIB poprzez układ warstw wodonośnych w strefie odwadniania górniczego jest przekrój hydrogeologiczny Jeziora Suszewskiego i Jeziora Wilczyńskiego (ryc. 4).



Ryc. 4. Przekrój hydrogeologiczny Jeziora Suszewskiego i Jeziora Wilczyńskiego obrazujący zakres powiązań hydraulicznych tych jezior z odwadnianą odkrywką Józwin IIB poprzez układ warstw wodonośnych w strefie odwadniania górniczego

Objaśnienia: 1 – utwory piaszczysto-żwirowe, 2 – gliny zwałowe, 3 – mułki, 4 – iły, 5 – zwierciadło swobodne, 6 – zwierciadło naporowe, 7 – głębokość zabudowy filtrów, 8 – głębokość otworów, 9 – profil górniczego leja depresji

Źródło: Przybyłek i in. 2020

Wrysowany na tym przekroju profil leja depresji odkrywki Józwin IIB wskazuje, że wpływ odwodnienia górniczego objął jednoznacznie oba te jeziora, powodując wykazane w nich kilkumetrowe obniżenia zwierciadła wody (ryc. 2) oraz przechwytyjąc dopływy do tych jezior z ich lokalnych zlewni. Spadek hydrauliczny zwierciadła wody wyznaczony profilem leja depresji na ryc. 4 wynosi $I=0,0018$. Jego wielkość wskazuje na intensywny odpływ wód podziemnych z rejonu jezior do odkrywki Józwin IIB. Według badań na modelu numerycznym (Fiszer i in. 2013) wielkość tego odpływu w ostatnich latach szacuje się na $4,6 \text{ m}^3/\text{min}$ do $6 \text{ m}^3/\text{min}$. Przyjmując za uzasadnioną wielkość $6 \text{ m}^3/\text{min}$ otrzymamy straty bilansowe w zasilaniu jezior wynoszące blisko $3,15 \text{ mln m}^3$ wody rocznie. W treści przekroju umieszczono sygnalizację zaistniałego obniżenia lustra wody w analizowanych jeziorach w stosunku do ich stanów podawanych na mapach topograficznych z lat 60. XX wieku. Na podkreślenie zasługuje fakt, że obszar zasilania po stronie wschodniej jezior został prawie całkowicie skaptowany na rzecz odpływu podziemnego w stronę odkrywki Józwin IIB.

Koncepcja zasilania zbiornika końcowego w wyrobisku odkrywki Józwin IIB zasobami wodnymi rzeki Warty z ich poborem ze szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego

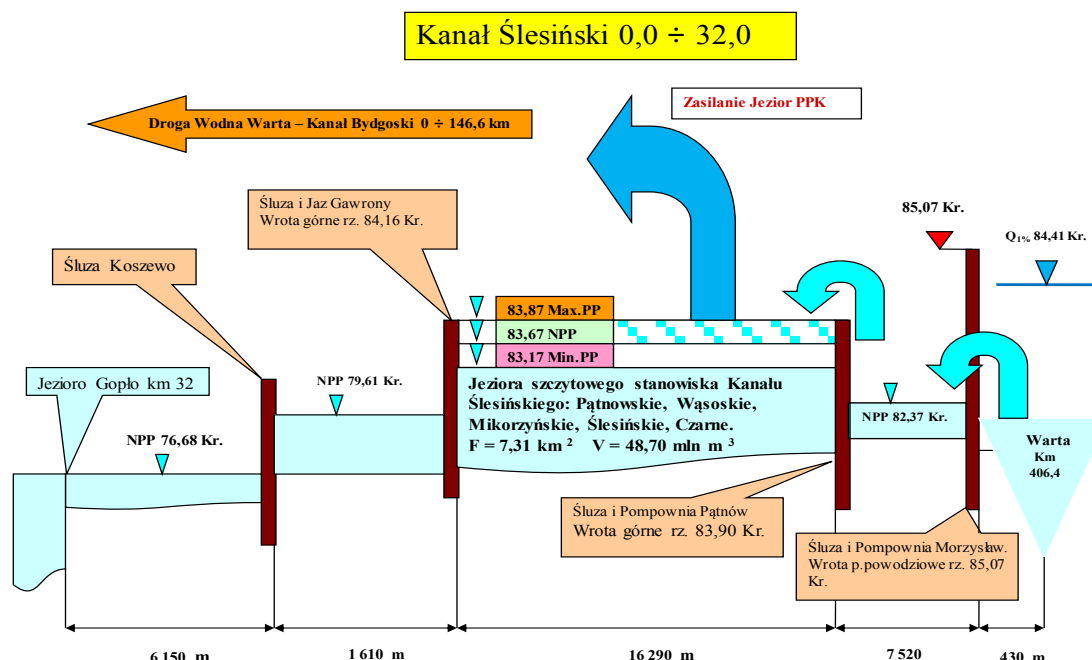
W dniu 11 lutego 2020 r. odbyło się w Sejmie RP otwarte posiedzenie Parlamentarnego Zespołu ds. Ochrony Pojezierzy Wielkopolskich, pod przewodnictwem pani Poseł na Sejm RP Pauliny Hennig-Kloski, na którym została przedstawiona wstępnie koncepcja ratowania i ochrony jezior położonych w PPK na Pojezierzu Gnieźnieńskim, w sąsiedztwie odkrywek węgla brunatnego KWB Konin. Ustalono, że należy pilnie podjąć działania zmierzające do zasilania zarówno jezior jak i poddanych rekultywacji wodnej wyrobisk po węglu brunatnym, którymi są odkrywka Kazimierz Północ oraz w niedalekiej przyszłości odkrywka Józwin IIB. Długoterminowe działania ratunkowe mogłyby być prowadzone na drodze rurociągowego przesyłu wody z ujęcia wód powierzchniowych – w oparciu o pobór wody z Kanału Ślesińskiego. Kanał Ślesiński stanowi ciąg drogi wodnej o długości 32 km, łączący rzekę Wartę z jeziorem Gopło wraz z jeziorami na jego trasie (ryc. 1). Odcinek tego Kanału z łańcuchem naturalnie połączonych jezior: Pątnowskie, Wąsowsko-Mikorzyńskie, Ślesińskie oraz Czarne tworzy tzw. szczytowe stanowisko Kanału Ślesińskiego o łącznej długości 16,29 km, utrzymywane pomiędzy śluzą w Pątnowie (od południa) oraz śluzą w Gawronach (od północy). Pozycję szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego wraz z jego charakterystyką liczbową przedstawia ryc. 5.

W trakcie posiedzenia Zespołu Parlamentarnego ustalono, że przerzut wód z Kanału Ślesińskiego w kierunku jezior PPK, w połączeniu z przyspieszoną rekultywacją wodną wyrobiska końcowego odkrywki Józwin IIB, musi być poprzedzony specjalistycznymi opracowaniami studialnymi, w tym dokonaniem oceny możliwości zasilania tych jezior zasobami wodnymi rzeki Warty poprzez szczytowe stanowisko Kanału Ślesińskiego.

W celu realizacji tego zamierzenia odbyło się w dniu 19 lutego 2020 r. w Urzędzie Marszałkowskim Województwa Wielkopolskiego spotkanie z Panem Marszałkiem Markiem Woźniakiem, na którym pani poseł Paulina Hennig-Kloska przedstawiła rysujące się plany ratowania jezior w PPK, prosząc o pomoc w uruchomieniu wstępnego opracowania specjalistycznego,

Stan i możliwości odbudowy stosunków wodnych na Pojezierzu Gnieźnieńskim po zakończeniu...

na co Pan Marszałek wyraził zgodę, wskazując przy tym jako koordynatora opracowania – Wielkopolskie Biuro Planowania Przestrzennego w Poznaniu (WBPP).



Ryc. 5. Poglądowy schemat szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego jako miejsca poboru wody powierzchniowej do poprawy zasilania jezior PPK poprzez napełnianie końcowych zbiorników wodnych po odkrywkach PAK KWB Konin – schemat na ryc. 6

Źródło: Przybyłek i in. 2020

Do współpracy z WBPP w Poznaniu został upoważniony profesor dr hab. Jan Przybyłek z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Następnie uchwałą Sejmiku Województwa Wielkopolskiego (18.05.2020 r.) zapewniono środki budżetowe dla WBPP na realizację wstępnego opracowania pn.: „Analiza możliwości zasilania jezior Powidzkiego Parku Krajo-
brazowego zasobami wodnymi rzeki Warty oraz szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego”. Ekspertyza pod powyższym tytułem została opracowana przez zespół autorski w składzie: prof. dr hab. Jan Przybyłek – hydrogeolog z Instytutu Geologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu; prof. UAM, dr hab. Maciej Gąbka – hydrobiolog, Kierownik Zakładu Hydrobiologii na Wydziale Biologii UAM; mgr inż. Witold Kamiński – specjalista hydrotechnik w zakresie urządzeń wodno-melioracyjnych i bilansów wodnych; mgr inż. Roman Wiliński – projektant w zakresie budowli hydrotechnicznych.

Ekspertyzę ukończono w grudniu 2020 r. Opracowanie w formie publikacji zostało przygotowane do druku przez Bogucki Wydawnictwo Naukowe (ISBN 978-83-7986-343-3) i rozpowszechnione w kwietniu 2021 roku przez WBPP w Poznaniu (Przybyłek i in. 2020). Poniżej podane opisy są przedstawione w oparciu o treści tej publikacji.

Techniczne możliwości przerzutu wody z Warty na szczytowe stanowisko Kanału Ślesińskiego zapewniają następujące urządzenia i obiekty hydrotechniczne:

- kanał sztuczny o długości 430 m od Warty do śluzy komorowej oraz pompowni w Morzysławiu;
- pompownia Morzysław, usytuowana po południowej stronie głowy dolnej przy śluzie Morzysław;
- kanał sztuczny o długości 7 520 m od śluzy komorowej w Morzysławiu do śluzy komorowej w Pątnowie (tzw. stanowisko pośrednie kanału);
- pompownia Pątnów, usytuowana po wschodniej stronie głowy dolnej przy śluzie Pątnów;
- łańcuch jezior naturalnie połączonych: Pątnowskie, Wąsosko-Mikorzyńskie, Ślesińskie oraz Czarne, które połączone jest przekopem (sztucznie) o długości 1 800 m z Jeziorem Ślesińskim.

Przerzut wody z Warty na szczytowe stanowisko Kanału Ślesińskiego odbywa się dwustopniowo, poprzez przepompowanie wody pompownią Morzysław z kanału o długości 430 m biegnącego od Warty na stanowisko pośrednie – kanał o długości 7 520 m od śluzy komorowej w Morzysławiu do śluzy komorowej w Pątnowie, a następnie z tego kanału przepompowanie wody pompownią Pątnów na stanowisko szczytowe Kanału Ślesińskiego. Schemat poglądowy ilustruje ryc. 5.

Z powodów środowiskowych (szeroko opisanych w Przybyłek i in. 2020), jak również związanych z obecną jakością wody w Warcie oraz Kanale Ślesińskim, bezpośrednie zasilanie jezior PPK wodą z wymienionych źródeł jest niemożliwe. Wobec powyższego dalsze rozważania będą skoncentrowane na zasilaniu pośrednim jezior PPK poprzez sztuczne zalewanie zbiorników końcowych: odkrywki Kazimierz Północ – zbiornik Kleczew oraz odkrywki Józwin IIB. Podstawowe dane dotyczące zbiorników końcowych według informacji otrzymanych od PAK KWB Konin S.A. przedstawiono w tab. 1.

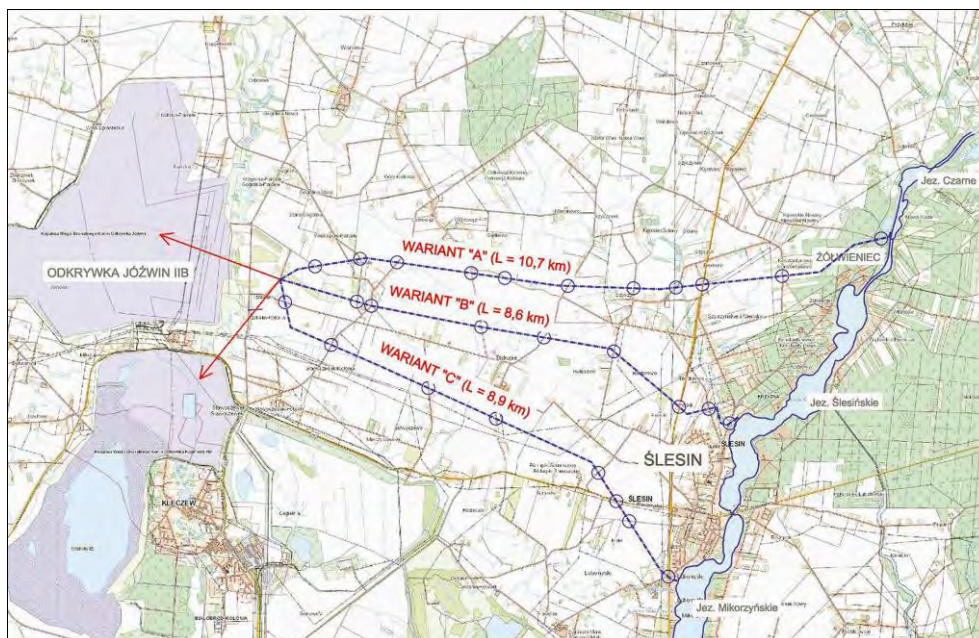
Tab. 1. Zestawienie parametrów zbiorników wodnych po eksploatacji odkrywek PAK KWB Konin

Nazwa zbiornika wodnego	Zbiornik Kleczew po odkrywce Kazimierz Północ	Zbiornik końcowy po odkrywce Józwin IIB
Obecny status zbiornika	W trakcie wypełniania	Planowany do wykonania
Aktualna rzędna napęnlienia	75,02 m n.p.m. (30.10.2021)	–
Docelowa rzędna napęnlienia	92 m n.p.m.	93 m n.p.m.
Powierzchnia zbiornika	648 ha	750 ha
Powierzchnia lustra wody przy rzędnej docelowej	522 ha	720 ha
Pojemność zbiornika przy rzędnej docelowej	ok. 143 mln m ³	ok. 213 mln m³
Minimalna rzędna terenu w zbiorniku	28,30 m n.p.m.	24,30 m n.p.m.
Głębokość zbiornika	63,7 m	40,3–68,7 m
Przewidywany czas napęnliania	4 lata	33 lata

Objaśnienia: **pojemność zbiornika wodnego** po odkrywce Józwin IIB będzie wyższa od pojemności zbiornika retencyjnego Jezioro na rzece Warcie – 202,04 mln m³ przy maksymalnym poziomie piętrzenia (Max PP 121,50 m n.p.m.)

Źródło: w oparciu o Przybyłek i in. 2020.

Podane poniżej informacje o koncepcji zasilania wyrobisk końcowych po odkrywkach PAK KWB Konin przedstawia się w oparciu o treść Ekspertyzy (Przybyłek i in. 2020). Z analizy danych uzyskanych od PAK KBW Konin S.A. przerzut wody z odwodnienia O/Józwin IIB do zbiornika Kleczew po odkrywce Kazimierz Północ odbywał się do 2 czerwca 2020 roku z wydatkiem ok. $0,189 \text{ m}^3/\text{s}$ (pomiar w dniu 02.06.2020 r.), natomiast później z wydatkiem ok. $0,802 \text{ m}^3/\text{s}$ (pomiar ostatni w dniu 27.10.2020 r.). Przy obecnym tempie zalewania zbiornika Kleczew w ilości ok. $25 \text{ mln m}^3/\text{rok}$ z odwodnienia odkrywki Józwin IIB, docelowy poziom zwierciadła wody na rzędnej 92,00 m n.p.m. może być osiągnięty już po 3–4 latach o ile cały czas byłaby dostarczana woda z odwadniania odkrywki Józwin IIB, co może być nierealne w przypadku skrócenia okresu końcowej eksploatacji złoża węglowego. W przypadku zbiornika końcowego odkrywki Józwin IIB, przewidywany czas napełniania określono na ok. 33 lata. Czas ten może ulec skróceniu w przypadku zasilenia zbiornika końcowego wodami przerzucanymi systemem rurociągowym DN1000 mm z Kanału Ślesińskiego przy zasilaniu wyrobiska ilością ok. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ wody powierzchniowej przez połowę roku w okresach suchych i przez okres całego roku w warunkach normalnych i okresach mokrych (średnio ok. 9 miesięcy w roku). Przy takiej podaży wody zewnętrznej, zbiornik zostałby wypełniony po ok. 9. latach. Wypełnienie zbiorników końcowych po odkrywkach węglowych spowoduje zanik leja depresji (ryc. 3 i ryc. 4) i pozwoli odbudować w miarę pierwotne stosunki w systemach wodonośnych w otoczeniu jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego i zatrzymać wieloletni trend obniżania się poziomu wody w tych jeziorach. Analizowane warianty przerzutu wody ze szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego (ryc. 5) do zbiorników końcowych po odkrywkach węglowych przedstawiono na ryc. 6.



Ryc. 6. Warianty przerzutu wody z Kanału Ślesińskiego do końcowych zbiorników wodnych po odkrywkach węgla brunatnego Kazimierz Północ (Zbiornik Kleczew) i Józwin IIB

Źródło: Przybyłek i in. 2020

We wszystkich ukazanych na ryc. 6 wariantach trasy rurociągów przesyłowych kończą się na skraju odkrywki Józwin IIB, gdzie powinna zostać wykonana komora rozprężna i komora rozdzielcza, umożliwiająca rozrząd wody do zbiorników końcowych obu odkrywek (czerwone strzałki na ryc. 6). Komory te mogą być odrębne lub zintegrowane. W przypadku zbiornika Kleczew wystarczy wodę doprowadzić do Strugi Kleczewskiej, z której już obecnie woda dostarczana jest do tego zbiornika. We wszystkich wariantach przyjęto, że woda będzie pompowana ze szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego przy poziomie piętrzenia 83,40 m n.p.m. (ryc. 5, poziom pomiędzy Min PP 83,17 m n.p.m. a NPP 83,67 m n.p.m.).

Poziom ten został ustalony przez wszystkie lokalne jednostki samorządowe jako optymalny dla zapewnienia właściwych warunków środowiskowych i sportowo-rekreacyjnych dla tego akwenu.

Wariant „A”

- długość ok. 10,7 km;
- pompownia w rejonie mostu w Żółwińcu na lewym brzegu Kanału Ślesińskiego;
- rejon pompowni i trasy rurociągu słabo zagospodarowany;
- 11 większych kolizji na trasie rurociągu.

Wariant „B”

- długość ok. 8,6 km;
- pompownia w rejonie Ślesina na lewym brzegu Kanału Ślesińskiego;
- rejon pompowni średnio zagospodarowany, trasy rurociągu słabo zagospodarowany;
- 8 większych kolizji na trasie rurociągu.

Wariant „C”

- długość ok. 8,9 km;
- pompownia w rejonie Lubomyśla na lewym brzegu Kanału Ślesińskiego;
- rejon pompowni średnio zagospodarowany, trasy rurociągu słabo zagospodarowany;
- 8 większych kolizji na trasie rurociągu.

Uwzględniając wstępne obliczenia hydrauliczne i uwarunkowania lokalizacyjne pompowni uznano jako najwłaściwszą jej lokalizację wg wariantu „C”.

Zbiorniki wodne powstałe w wyniku rekultywacji wodnej odkrywek: Kazimierz Północ (istniejący – zalewany obecnie zbiornik Kleczew) oraz Józwin IIB (planowany) położone są w obszarze wododziału, rozdzielającego zlewnię Kanału Ostrowo-Gopło od zlewni Kanału Ślesińskiego (ryc. 1). Zwierciadła wody w tych zbiornikach będą podlegały wahaniom w granicach ok. 1 m, w zależności od występujących warunków meteorologicznych. Jeżeli zbiorniki będą pełniły głównie funkcję sportowo-rekreacyjną, co jest najbardziej prawdopodobne, pożądane będzie utrzymanie w nich stabilnego poziomu wody. Do tego celu może być wykorzystana wybudowana instalacja na potrzeby szybszego wypełnienia zbiorników wodnych powstałych po odkrywkach Kazimierz Północ oraz Józwin IIB.

W okresach suszy można będzie przepompowywać wodę z Kanału Ślesińskiego do wcześniej wymienionych zbiorników, z wydatkiem gwarantującym utrzymanie stabilnego poziomu wody. W zasadzie jest to jedyny kierunek (sposób) wykorzystania infrastruktury wybudowanej na potrzeby szybszego wypełnienia zbiorników wodnych powstałych po odkrywkach Kazimierz Północ oraz Józwin IIB.

Odwolywanie się do funkcji przeciwpowodziowej tej infrastruktury, polegającej na przerzucie nadmiaru wody z Kanału Ślesińskiego do tych zbiorników wodnych, jest nieuzasadnione ze względów ekonomicznych, ponieważ wody powodziowe można grawitacyjnie (bez kosztów) zrzucić poprzez jaz w Gawronach do Noteci w kierunku Gopła, albo poprzez służę Pątnów (grawitacyjnie poprzez zamknięcia motylkowe) i dalej poprzez pompownię odwrotną w Morzysławiu do Warty – bez względu na poziom wody w Warcie – przy niewspółmiernie niższych kosztach.

Po napełnieniu zbiorników końcowych, wcześniej wymienionych odkrywek, do poziomu docelowego 92,00–93,00 m n.p.m. można rozważyć ponownie koncepcję zasilania Jeziora Budzisławskiego (do poziomu 98,40 m n.p.m.) oraz Jeziora Wilczyńskiego (do poziomu 98,20 m n.p.m.) wodami pochodzącymi z wypełnionego zbiornika końcowego Józwin IIB. Podane poziomy wynikają z decyzji z dnia 24.06.2010 r., znak: DSR.VI.6213-90/10, wydanej przez Marszałka Województwa Wielkopolskiego w sprawie udzielenia pozwolenia wodnoprawnego na zasilanie bezpośrednio Jeziora Budzisławskiego oraz Jeziora Wilczyńskiego wodami z odwodnienia O/Józwin IIB.

W decyzji tej ustalono docelowe poziomy zwierciadła wody na rzędnych:

- 98,40 m n.p.m. – dla Jeziora Budzisławskiego;
- 98,20 m n.p.m. – dla Jeziora Wilczyńskiego.

Z technicznego punktu widzenia przerzut ten będzie podobny jak przerzut wody z Kanału Ślesińskiego do odkrywek, ponieważ:

- a) odległość przesyłu wynosi ok. 8 km;
- b) geometryczna wysokość podnoszenia wynosi ok. 19 m (z uwzględnieniem morfologii wododziału pomiędzy jeziorami a zbiornikiem końcowym po odkrywce Józwin IIB).

Wydatek do zasilania tych jezior uznaje się za wystarczający w wielkości od 0,1 m³/s do 0,15 m³/s, w warunkach, które zaistnieją po likwidacji leja depresji po odkrywkach. Zagadnienie może być rozważane już po wypełnieniu zbiornika końcowego O/Józwin IIB, w szczególności po zbadaniu jakości wody w tym zbiorniku i jej przydatności do zasilania wcześniej wymienionych jezior, z równoczesnym zapewnieniem warunków ochrony zlewni wyżej wymienionego zbiornika przed zanieczyszczeniami. Docelowe poziomy wody w wcześniej opisywanych jeziorach oraz pozostałych jeziorach PPK, można ustalić ponownie, na podstawie wnikliwej analizy warunków: środowiskowych, gospodarczych, społecznych i formalno-prawnych.

Podsumowanie i wnioski

- 1) Bezpośrednie zasilanie jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego (PPK) wodą pobieraną z Kanału Ślesińskiego jest niemożliwe ze względów środowiskowych, związanych z ochroną tzw. jezior ramienicowych z dominacją makroglonów z gromady *Charophyta* w strefie litoralu.
- 2) Rekomendowane jest pośrednie zasilanie jezior PPK poprzez wypełnienie zbiorników końcowych po odkrywkach Kazimierz Północ oraz Józwin IIB wodą pompowaną z Kanału Ślesińskiego (wsparcie naturalnej odnawialności wód podziemnych w tych zbiornikach).

- 3) Warunki do bezpośredniego zasilania jezior PPK mogłyby zaistnieć w przyszłości wodą czerpaną ze zbiornika końcowego odkrywki Józwin IIB, po zakończonej rekultywacji wodnej tego wyrobiska. W tym celu, przy urządzeniu czaszy zbiornika Józwin IIB, należałoby przewidzieć usypanie w jego krawędzi północno-zachodniej – od strony jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego – sztucznego złoża filtracyjnego i ułożenia w nim rusztu drenów poziomych dla ujęcia sztucznej infiltracji w postaci np. studni promienistych o łącznej wydajności ok. $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (8,6 tys. m^3/d). Woda infiltracyjna z tego ujęcia byłaby kierowana do jezior lub na ich przedpole filtracyjne (piaski sandrowe) trasą zaprojektowanego już w ubiegłych latach rurociągu. Funkcja tego układu stwarzałaby szansę długoterminowej odbudowy i utrzymywania optymalnych stosunków wodnych w kompleksie jezior PPK.
- 4) Istotne jest przeznaczenie zbiornika końcowego odkrywki Józwin IIB na cele ściśle retencyjne. Ze względu na konieczność utrzymania dobrej jakości wody zbiornika, zlewnię zbiornika końcowego należy zabezpieczyć przed dopływem zanieczyszczeń i eutrofizacją wód. Powyższe zagadnienia powinny zostać uwzględnione w dokumentach planistycznych Gminy Kleczew, związanych z zagospodarowaniem przestrzennym obszaru zlewni zbiornika końcowego (retencyjnego) po odkrywce Józwin IIB.
- 5) Zasoby wodne Warty w przekroju wlotu do Kanału Ślesińskiego, w tym zasoby wody zgromadzonej w zbiorniku Jeziorsko, gwarantują możliwość alimentowania zasobów wodnych szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego w takim zakresie, aby można było pompować wodę do zbiorników końcowych po odkrywkach Kazimierz Północ oraz Józwin IIB, z wydatkiem **$1,26 \text{ m}^3/\text{s}$ przez ok. 6 miesięcy w roku, głównie w półroczu zimowym**. W półroczu zimowym woda w Kanale Ślesińskim ma lepszą jakość od wody w półroczu letnim.
- 6) Wodę do zbiorników końcowych po odkrywkach Kazimierz Północ oraz Józwin IIB zaleca się pompować w półroczu zimowym, ponieważ w tym okresie na ogół nie występują niedobory wody na szczytowym stanowisku Kanału Ślesińskiego, a pogorszenie klimatu akustycznego wystąpi w okresie znikomej aktywności sportowo-turystycznej na tym terenie. Rocznie można przepompować wodę do zbiorników końcowych po odkrywkach Kazimierz Północ oraz Józwin IIB w ilości **ok. 20 mln m^3** .
- 7) Wypełnianie zbiornika końcowego po odkrywce Józwin IIB, o pojemności ok. 213 mln m^3 , można skrócić z planowanych 33. lat do ok. **10 lat**, przy założeniu, że rocznie będzie pompowane z Kanału Ślesińskiego ok. 20 mln m^3 wody.
- 8) W półroczu zimowym zagwarantowana jest możliwość zaspokojenia potrzeb obecnych beneficjentów zasobów wodnych szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego oraz potrzeb przerzutu wody do zasilania zbiorników końcowych odkrywki Kazimierz Północ oraz odkrywki Józwin IIB w ilości **$1,26 \text{ m}^3/\text{s}$** , w ramach aktualnego pozwolenia wodnoprawnego – decyzja Wojewody Wielkopolskiego nr SR.II-6.6811-45/06 z dnia 22 grudnia 2006 r. oraz decyzja Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW) nr KZGW-oa-22a/425/07/MP z dnia 05 kwietnia 2007 r. udzielające RZGW w Poznaniu pozwolenia wodnoprawnego dla obiektów hydrotechnicznych Kanału Ślesińskiego z przerzutem wody z rzeki Warty na stanowisko szczytowe kanału i rzeki Noteć.

Bibliografia

- Blechacz J., Karpa Z., 1969, *Odwodnienie kopalń węgla brunatnego w rejonie Konina*, Przewodnik XLI Pol. Tow. Geol, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa: 59–63.
- Dąbrowski S., 1990, *Hydrogeologia i warunki ochrony wód podziemnych Wielkopolskiej Doliny Kopalnej*, Wyd. SGGW–AR, Warszawa.
- Fiszer J., 2013, *Model numeryczny warunków hydrogeologicznych dla projektowanej odkrywki Ościsłowo*, HYDROS Biuro Usług Hydrogeologicznych i Kompleksowych Analiz Środowiska, Oborniki Śląskie, Archiwum RDOŚ Poznań.
- Gąbka M., Burchardt L., 2006, *Ramienice zbiorników wodnych Powidzkiego Parku Krajobrazowego (Wielkopolska)*, Fragmentata Floristica et Geobotanica Polonica, 13(2): 387–398.
- Ilnicki P., 1996, *Wpływ drenażu odkrywek węgla brunatnego na walory rekreacyjne Pojezierza Gnieźnieńskiego*, Aura, 11: 10–12.
- Ilnicki P., 2008, *Ratowanie jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego*, Biuletyn Parków Krajobrazowych Wielkopolski, 14(16): 47–65.
- Ilnicki P., Orłowski W., 2006a, *Ocena oddziaływania odwodnienia odkrywek w rejonie Kleczewa prowadzonych przez kopalnię węgla brunatnego Konin w Kleczewie, na poziomy wody w jeziorach położonych na wododziale rzeki Noteci i Warty*, Ekspertyza, rys. 44, fot. 38, Polskie Towarzystwo Rybackie, Zarząd Krajowy, Poznań: 206.
- Ilnicki P., Orłowski W., 2006b, *Klęska ekologiczna w Powidzkim Parku Krajobrazowym*, Aura, 10: 11–14.
- Ilnicki P., Orłowski W., 2007, *Problemy gospodarowania wodą w otoczeniu Kopalni Węgla Brunatnego „Konin”*, Gospodarka Wodna, 9: 383–386.
- Ilnicki P., Orłowski W., 2011, *Rezygnacja z retencjonowania wody na wododziale Noteci i Warty sprzeczna z zasadą zrównoważonego rozwoju*, Gospodarka Wodna, 8.
- Kędziora A., 2008, *Bilans wodny krajobrazu konińskich kopalni odkrywkowych w zmieniających się warunkach klimatycznych*, R. Gleboz., Tom LXI, 2: 104–118.
- Kędziora A., 2011, *Warunki klimatyczne i bilans wodny Pojezierza Kujawskiego*, Rocznik Gleboznawczy, Tom LXII, 2: 189–203.
- Kępińska-Kasprzak M., 2015, *Susze hydrologiczne w Polsce i ich wpływ na gospodarowanie wodą*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 1–132.
- Marszałewski W., Operacz M., Pietruszewska L., Solarczyk A., 2012, *Ocena możliwości odprowadzania wód z planowanej o/Ościsłowo do wód powierzchniowych położonych w obszarze NATURA 2000*, Opracowanie na zlecenie Kopalni Węgla Brunatnego „Konin”, Toruń, Niepubl.
- Nowak B., 2018, *Rola jezior w drenażu i zasilaniu wód podziemnych na Pojezierzu Gnieźnieńskim w warunkach naturalnych i antropopresji hydrodynamicznej*, Rozprawa doktorska, Instytut Geologii UAM, Poznań: 1–178.
- Nowak B. (red. nauk.), 2019, *Jezioro Powidzkie wczoraj i dziś*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Nowak B., 2020, *Znikające jeziora*, Gazeta Obserwatora IMGW (ISSN: 0208–4325): 22–25.

- Nowak B., Przybyłek J., 2020, *Recharge and drainage of lakes in the Powidzki Landscape Park in conditions of increased anthropogenic and environmental pressure (central – western Poland)*, Geological Quarterly, 64(1): 205–219.
- PROXIMA S.A., Praca zbiorowa, 2006, *Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Ościsłowo w kategorii B, C1 i C2*, Wrocław, Niepubl.
- Przybyłek J., 2011, *Warunki hydrogeologiczne i problemy odwadniania odkrywek węgla brunatnego we wschodniej Wielkopolsce*, Rocznik Gleboznawczy, 62(2): 341–356.
- Przybyłek J., Nowak B., 2011, *Wpływ niżówek hydrogeologicznych i odwodnień górniczych na systemy wodonośne Pojezierza Gnieźnieńskiego*, Biuletyn PIG, Nr 445, seria Hydrogeologia, z. XII/2: 513–527.
- Przybyłek J., 2018, *Aktualne problemy odwadniania złóż węgla brunatnego w Wielkopolsce*, Górnictwo Odkrywkowe, 2/2018: 5–14.
- Przybyłek J., 2020, *Środowiskowe uwarunkowania skutków eksploatacji odkrywkowej węgla brunatnego na Pojezierzu Gnieźnieńskim*, Przegląd Geologiczny, 68(8): 645–654.
- Przybyłek J., Gębka M., Kamiński W., Wiliński R., 2020, *Analiza możliwości zasilania jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego zasobami wodnymi rzeki Warty oraz szczytowego stanowiska Kanału Ślesińskiego*, Samorząd Województwa Wielkopolskiego, Wojewódzkie Biuro Planowania Przestrzennego w Poznaniu, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, <https://wbpp.poznan.pl/2021/07/30/analiza-mozliwosci-zasilania-jezior> (dostęp: 15.08.2021).
- Tarnowski R., Bołwach A., Małecki M., 2020, *Monitoring środowiska wodnego rejonu odkrywek węgla brunatnego Konin S.A. w roku hydrologicznym 2019 (XI 2018 – X 2019)*, Tom II, Część I – Odkrywka Józwin i Odkrywka Kazimierz w likwidacji, Poltegor–projekt Sp. z o.o., Wrocław, Archiwum KWB Konin.

dr Lech Śmietański¹
mgr inż. Sławomir Filar¹
mgr Elżbieta Przytuła¹

OBRAZOWANIE 3D W MODELOWANIU PRZEPŁYWU WÓD PODZIEMNYCH – PRZYKŁADY DLA ZŁOŻA „ZŁOCZEW” I ZLEWNI BIEBRZY

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.03>

Streszczenie: W artykule poruszono zagadnienie zastosowania trójwymiarowego obrazowania dynamiki wód podziemnych w modelowaniu numerycznym na przykładzie odwodnienia złoża „Złoczew” i przepływu wód podziemnych w zlewni Biebrzy. Autorzy koncentrują swoją uwagę na modelowaniu symulatorem MODFLOW, najczęściej stosowanym w hydrogeologii. W pierwszym przykładzie modelowano przepływ wód podziemnych w celu określenia lokalizacji barier studni odwadniających, umożliwiających eksploatację złoża węgla brunatnego „Złoczew”. Po wykonaniu obliczeń modelowych wygenerowano obraz 3D uzyskanego zwierciadła wód podziemnych wraz ze stropem i spągami złoża. Położenie w przestrzeni 3D tych powierzchni względem siebie ilustruje skuteczność symulowanych barier odwadniających. W drugim przykładzie modelowano przepływ wód podziemnych, który został wykorzystany do oceny zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewni Biebrzy. Zbudowano 7-warstwowy model koncepcyjny (4 warstwy reprezentujące utwory przepuszczalne oraz 3 rozdzielające je warstwy utworów słabo przepuszczalnych), który następnie został przekształcony w 4-warstwowy model numeryczny z 3. warstwami słabo przepuszczalnymi odwzorowanymi poprzez parametr międzywarstwowego przesączania pionowego. Wynik symulacji w postaci obliczonych czterech powierzchni piezometrycznych, reprezentujących rozkład wysokości hydraulicznej w poszczególnych warstwach modelowych nie pokazuje relacji przestrzennej pomiędzy nimi. Aby pokazać tę zależność, autorzy przekształcili dane wyjściowe modelu do formatu, który można zwizualizować w 3D. Umożliwiło to zobrazowanie 3D wszystkich powierzchni piezometrycznych oraz relacji przestrzennej między nimi. Analiza tej zależności ukazuje szczegółowo złożoność systemu przepływu wód podziemnych zlewni Biebrzy i umożliwia identyfikację obszarów zasilania i drenażu.

Słowa kluczowe: modelowanie przepływu wód podziemnych, obrazowanie 3D, odwadnianie złóż węgla brunatnego, zasoby dyspozycyjne wód podziemnych.

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono możliwości obrazowania trójwymiarowego (3D) dynamiki wód podziemnych w oparciu o model przepływu tych wód. Używany w artykule termin „przepływ wód podziemnych” oznacza ruch laminarny wód podziemnych zgodny z liniowym prawem Darcy. Z kolei termin „dynamika wód podziemnych” oznacza ruch wód podziemnych pod działaniem siły masowej jaką jest grawitacja.

Jest wiedzą podręcznikową w hydrogeologii, iż przepływ wód podziemnych w ziemskim polu grawitacyjnym ma charakter potencjalny i każdej cząsteczce wody można przyporządkować określoną wielkość energii potencjalnej wyrażającej zdolność tej cząsteczki do przemieszczania się. Wielkość tę wyraża zgodnie z teorią Bernoulliego wysokość hydrauliczna.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, lech.smietanski@gmail.com; slawomir.filar@pgi.gov.pl, ORCID 0000-0002-9803-5628; elzbieta.przytula@pgi.gov.pl, ORCID 0000-0002-2973-4273

Rozkład energii potencjalnej w strumieniu wód podziemnych jest więc tożsamy z rozkładem wartości wysokości hydraulicznej w przestrzeni objętej przepływem. Sens wysokości hydraulicznej mają rzędne zwierciadła wód podziemnych w warstwach wodonośnych o zwierciadle swobodnym oraz rzędne zwierciadła piezometrycznego dla warunków naporowych.

W artykule zwierciadło dla warunków zarówno swobodnych jak i naporowych, nazywane jest powierzchnią piezometryczną. Tym samym obrazowanie 3D dynamiki wód podziemnych można sprowadzić do obrazowania 3D powierzchni piezometrycznych.

Na tle licznych zastosowań obrazowania 3D jako efektywnego narzędzia badawczego w wielu dziedzinach wiedzy, w tym także w geologii, wyraźnie widoczny jest brak szerszego wykorzystania tego narzędzia w hydrogeologii dla trójwymiarowego obrazowania dynamiki wód podziemnych w modelowaniu przepływu tych wód. Autorzy koncentrują w artykule swoją uwagę na modelowaniu najczęściej stosowanym w krajowej i światowej hydrogeologii symulatorze MODFLOW, stworzonym przez amerykańską służbę geologiczną. Symulator ten, na przestrzeni ponad 30. lat, doczekał się kolejnych swoich wersji i jest „silnikiem numerycznym” w komercyjnych aplikacjach graficznych stosowanych do budowy modeli przepływu wód podziemnych. Istotną cechą modeli budowanych na bazie tego symulatora jest ich warstwowość. Użytkownik otrzymuje wynikowy obraz dynamiki wód podziemnych w postaci map hydroizohips osobno dla każdej warstwy modelu.

Tym samym w procesie modelowania za pomocą wcześniej wymienionego symulatora użytkownik nie otrzymuje obrazu 3D, co powoduje, iż pozbawiony jest możliwości szczegółowej trójwymiarowej analizy dynamiki wód podziemnych, co jest istotne np. dla oceny skuteczności projektowanego odwodnienia górniczego, czy wydzielenia stref zasilania i drenażu dla skomplikowanych systemów krążenia wód podziemnych w procesie ustalania zasobów tych wód.

Celem artykułu jest pokazanie możliwości praktycznego zastosowania obrazowania 3D do analizy dynamiki wód podziemnych w procesie modelowania ich przepływu na przykładzie złoża węgla brunatnego „Złoczew” oraz zlewni Biebrzy. Artykuł oparty jest na materiale jaki stanowią model odwodnienia złoża „Złoczew” (Śmiateński i in. 2013) i model przepływu regionalnego wód podziemnych w zlewni Biebrzy (Filar i in. 2018).

Dla trójwymiarowego obrazowania dynamiki wód podziemnych autorzy wykorzystują model typu TIN. Model ten jest stosowany w geodezji do budowy numerycznych modeli powierzchni terenu. Obliczone przez symulator przepływu wód podziemnych wartości wysokości hydraulicznej są danymi wejściowymi dla modelu TIN uruchamianego ze środowiska graficznego GMS 2.1 (GMS 2.1 User's Manual 1999).

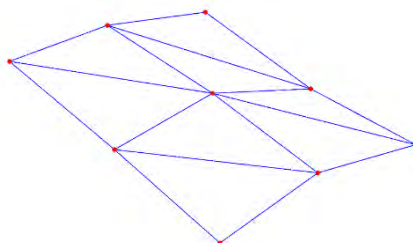
Zastosowana metoda obrazowania 3D – model TIN

Model TIN daną powierzchnię odwzorowuje za pomocą siatki trójkątów. Boki tych trójkątów są odcinkami łączącymi w przestrzeni 3D punkty o znanych współrzędnych (x, y, z). Współrzędne „x” i „y” to współrzędne węzłów siatki obliczeniowej modelu, natomiast współrzędna „z” reprezentuje wartość przypisaną do tego węzła. Wartość „z” może tu reprezentować np.

rzędną stropu lub spągu danej warstwy modelu lub obliczoną przez symulator przepływu wód wartość wysokości hydraulicznej. Trójkąty tworzone są w wyniku numerycznego procesu triangulacji.

W modelu TIN modelowana powierzchnia jest więc zbudowana z fragmentów płaszczyzn wyznaczonych przez poszczególne trójkąty.

Rycina 1 przedstawia wynik triangulacji dziewięciu punktów o określonych współrzędnych (x, y, z). Powstały fragment powierzchni 3D budują w tym przypadku fragmenty płaszczyzn wyznaczonych przez każdy z ośmiu przykładowych trójkątów.



Ryc. 1. Elementy trójkątne budujące powierzchnię trójwymiarową w modelu TIN

Modelowanie odwodnienia złoża węgla brunatnego „Złoczew”

Celem badań modelowych (ryc. 2) było ustalenie wielkości wydatku barier studni odwadniających, umożliwiającego dostęp do złoża węgla brunatnego „Złoczew” w poszczególnych etapach jego eksploatacji. Celem tych badań było także określenie zasięgu odwodnienia złoża.



Ryc. 2. Lokalizacja obszaru badań (dla złoża węgla brunatnego „Złoczew”)

Złoże węgla brunatnego „Złoczew” rozciąga się wąskim pasem o szerokości 1–1,5 km i długości ok. 10 km, o kierunku z południowego zachodu na północny-wschód. Od południowego zachodu złoże dochodzi do miejscowości Janów, od północnego-wschodu do miejscowości Kamionka. Odległość złoża od miejscowości Złoczew wynosi około 4 km w kierunku południowo-wschodnim.

Obszar modelu regionalnego jest położony w województwie łódzkim, a jedynie północno-zachodni fragment obszaru badań modelowych znajduje się w województwie wielkopolskim. Obszar znajduje się w zlewni Warty (II rzędu) oraz jej lewostronnego dopływu rzeki Prosną (zlewnia III rzędu). Wododział pomiędzy zlewnią Prosną i Warty biegnie z kierunku północnego przez środek obszaru, skręcając w jego centralnej części w kierunku południowo-zachodnim. Sieć rzeczna w obrębie obu zlewni jest dobrze rozwinięta. Średni opad z wielolecia 1981–2011 dla obszaru wynosi 597 mm/rok, a parowanie terenowe roczne jest rzędu 500–520 mm (Śmiateński i in. 2013).

Zachodnią część obszaru badań obejmuje Nizina Południowowielkopolska, zaś wschodnią Wzniesienia Południowomazowieckie (Kondracki 2009).

Obszar modelu położony jest we wschodniej części monokliny przedsudeckiej, w granicach mniejszej jednostki tektonicznej, zwanej monokliną kalisko-złoczewską (Żelaźniewicz i in. 2011). W budowie zaznaczają się tektoniczne elementy blokowe zarówno wypiętrzone jak i zrzucane. Główne elementy blokowe zrzucane tworzą rów Złoczewa, który uformował się w wyniku ruchów tektonicznych w końcowym okresie kredy i w neogenie.

Utwory triasu, reprezentowane głównie przez ropy, łowce i łupki piaszczyste występują jedynie w skrajnie południowo-zachodniej części obszaru modelu, poza strefą rowu Złoczewa. Na przeważającej części obszaru badań modelowych utwory jurajskie stanowią główny element piętra mezozoicznego. To kompleks piaszczysto-ilasto-mułowcowy (jura dolna), piaski, piaskowce żelaziste, mułowce (jura środkowa) i wapienie margliste (jura górna). Kredę reprezentują piaski (kreda dolna) oraz margle i ropy, wapienie margliste i opoki (kreda górna). Osady paleogenu występują lokalnie, zachowały się w formie szczątkowej jedynie w północnej części obszaru badań modelowych. Występujące powszechnie osady neogenu są głównie reprezentowane przez miocen i pliocen.

Utwory czwartorzędowe są wykształcone w postaci osadów lodowcowych, wodnolodowcowych, rzecznych, jeziornych i eolicznych zaliczanych do zlodowaceń: południowo-polskiego, środkowopolskich (Odry i Warty) i północnopolskiego (Wisły) oraz interglacjałów: lubelskiego, mazowieckiego (wielkiego) i eemskiego, przykrytych osadami holocenu.

Strefa zapadliskowa rowu Złoczewa rozciąga się na długości ok. 10 km i szerokości 1–1,5 km. Jej głębokość przeciętnie wynosi 150–250 m, a maksymalnie w środkowej części przekracza 340 m. Rów poprzecinany jest licznymi uskokami poprzecznymi o kierunku SW-NE (ryc. 3). W strefie rowu utwory miocenu podzielone są na serię węglową o miąższości 95–138 m i serię nadwęglową o miąższości 120–165 m. W serii węglowej występują trzy ogniwa osadów z pokładami węgla o miąższościach od 16,0 do 35,6 m, przewarstwione gytiami, ksylitami i piaskami drobnymi. Seria nadwęglowa składa się z piasków drobnoziarnistych i pylastych przewarstwionych ropy ze szczątkami roślin i ksylitów. Poza strefą rowu tektonicznego miocen reprezentują głównie piaski, mułki i ropy, miejscami z przewarstwieniami węgla brunatnego. Pliocen wykształcony jest tu w serii ilasto-piaszczystej jako pstre ropy poznańskie oraz piaski. Czwartorzęd w strefie rowu budują gliny zwałowe oraz piaski drobno- i średnioziarniste akumulacji wodnolodowcowej. Miąższość tych utworów jest zróżnicowana od 14,5 do

110,8 m. Geneza tych osadów związana jest ze zlodowaceniami środkowopolskimi (Odry, Warty).

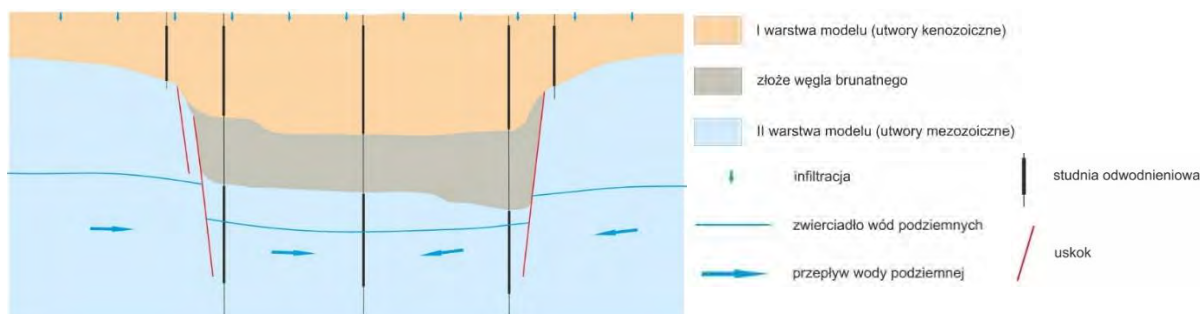
Główne użytkowe piętro wodonośne stanowią osady czwartorzędowe, natomiast piętro wodonośne o charakterze podrzędnym reprezentują utwory paleogenu, neogenu i mezozoiku. W utworach czwartorzędowych na analizowanym obszarze wyróżnione zostały dwa poziomy wodonośne: przypowierzchniowy i międzyglinowy. Poziom przypowierzchniowy w rejonie złoża „Złoczew” występuje w piaskach i żwirach rzecznych interglacjału eemskiego, zlodowacenia bałtyckiego i holocenu. Zasilanie poziomu odbywa się przez infiltrację opadów. Poziom ten nie jest eksploatowany studniami wierconymi, natomiast jest powszechnie ujmowany studniami kopanymi. Poziom międzymorenowy tworzą osady rzeczne interglacjału mazowieckiego oraz osady fluwioglacjalne i rzeczne, głównie piaski i żwiry. Poziom o miąższości w przedziale 10–20 m został ujęty licznymi studniami. Zwierciadło wody tego poziomu ma charakter napięty.

Występowanie wód w utworach miocenu jest związane z seriami piasków średnioziarnistych i drobnoziarnistych wypełniających rów Złoczewa. Wody występują tu głównie w piaskach drobnoziarnistych formacji adamowskiej, a poniżej głównego pokładu węgla w utworach piaszczystych formacji rawickiej. Miąższości tych utworów w kompleksie nadwęglowym (formacja adamowska) są znaczne – wynoszą średnio 96,5 m, osiągając maksymalnie 129 m. Udział utworów wodoprzepuszczalnych w profilu tego kompleksu sięga 70,0% (Paczyński i Sadurski red. 2007, Śmietański i in. 2013).

Wody podziemne piętra mezozoicznego występują w piaskach i piaskowcach jury dolnej i środkowej oraz w utworach węglanowych jury górnej tworzących strefę brzeżną monokliny przedsudeckiej, a także w utworach kredy dolnej i górnej, należących już do niecki łódzkiej (północno-wschodnia część obszaru badań modelowych).

Zasilanie wód podziemnych zachodzi w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych do strefy wód przypowierzchniowych, przesączania przez osady słabo przepuszczalne do głębiej położonych poziomów wodonośnych. Drenaż wód podziemnych następuje poprzez systemy cieków, dopływów Prosnę i Warty.

Rycina 3 przedstawia model koncepcyjny przepływu wód podziemnych w rejonie złoża „Złoczew” w warunkach działania modelowanych barier studni odwadniających.



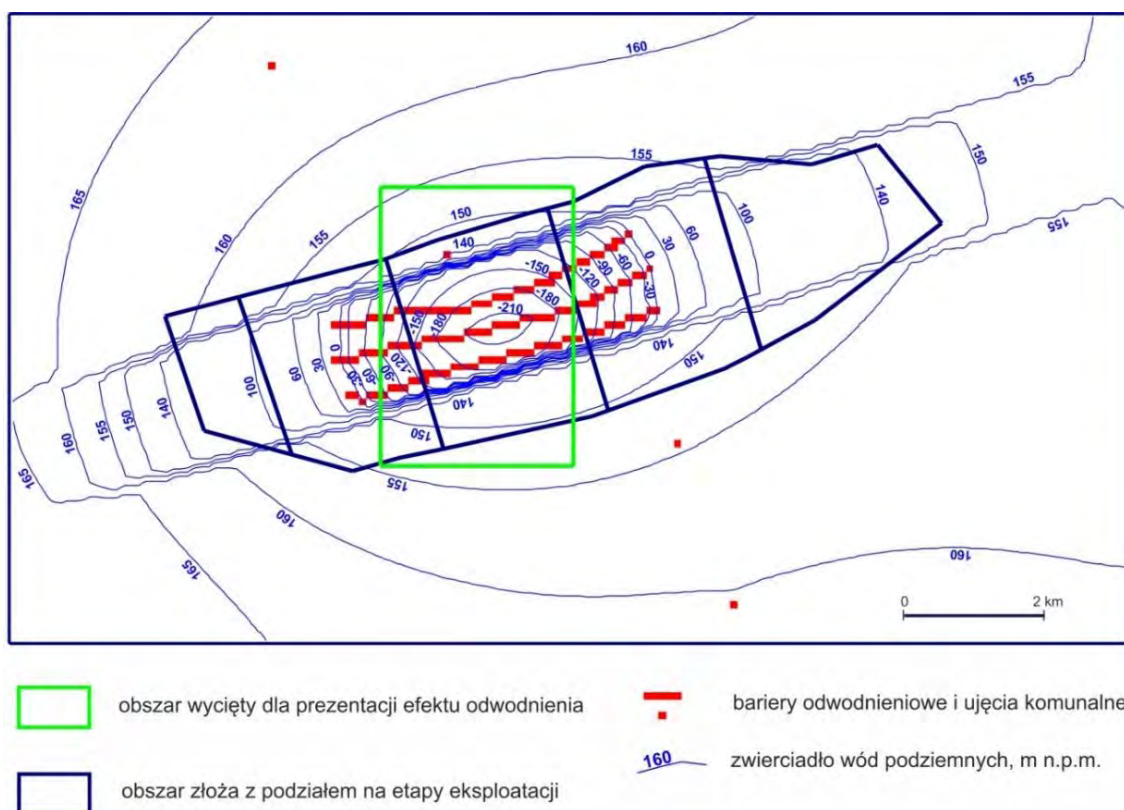
Ryc. 3. Model koncepcyjny przepływu wód podziemnych w warunkach odwadniania złoża

Źródło: Śmietański i in. 2013

Na podstawie modelu koncepcyjnego zbudowano 2-warstwowy model numeryczny. Na danym projektowanym etapie udostępniania złoża utwory kenozoiczne, tworzące I warstwę modelu, są osuszane nad złożem i w jego bliskim sąsiedztwie. Bariery odwodnieniowe osuszają bezpośrednio pod złożem strop górotworu mezozoicznego, odwzorowanego II warstwą modelu. Uskoki, tworzące rów tektoniczny w którym złożę się znajduje, mają charakter barier słabo przepuszczalnych (Śmietański i in. 2013).

Na rycinie 4 przedstawiono wynik symulacji odwodnienia złoża na 3. etapie jego udostępnienia. Na tym etapie osuszana jest środkowa część złoża. Ustalona na modelu wydajność barier odwodnieniowych dla tego etapu wynosi 4 085,04 m³/h. Obszar obejmujący złożę ma powierzchnię 144,0 km² (ryc. 4) i stanowi centralny fragment modelu regionalnego o powierzchni 2 508,6 km² (ryc. 2).

Rycina 4 przedstawia obliczony rozkład wartości wysokości hydraulicznej w II warstwie modelu reprezentującej utwory mezozoiczne.



Ryc. 4. Obliczona przez symulator powierzchnia piezometryczna dla II warstwy modelu (utwory mezozoiczne) – symulacja 3-go etapu odwadniania złoża

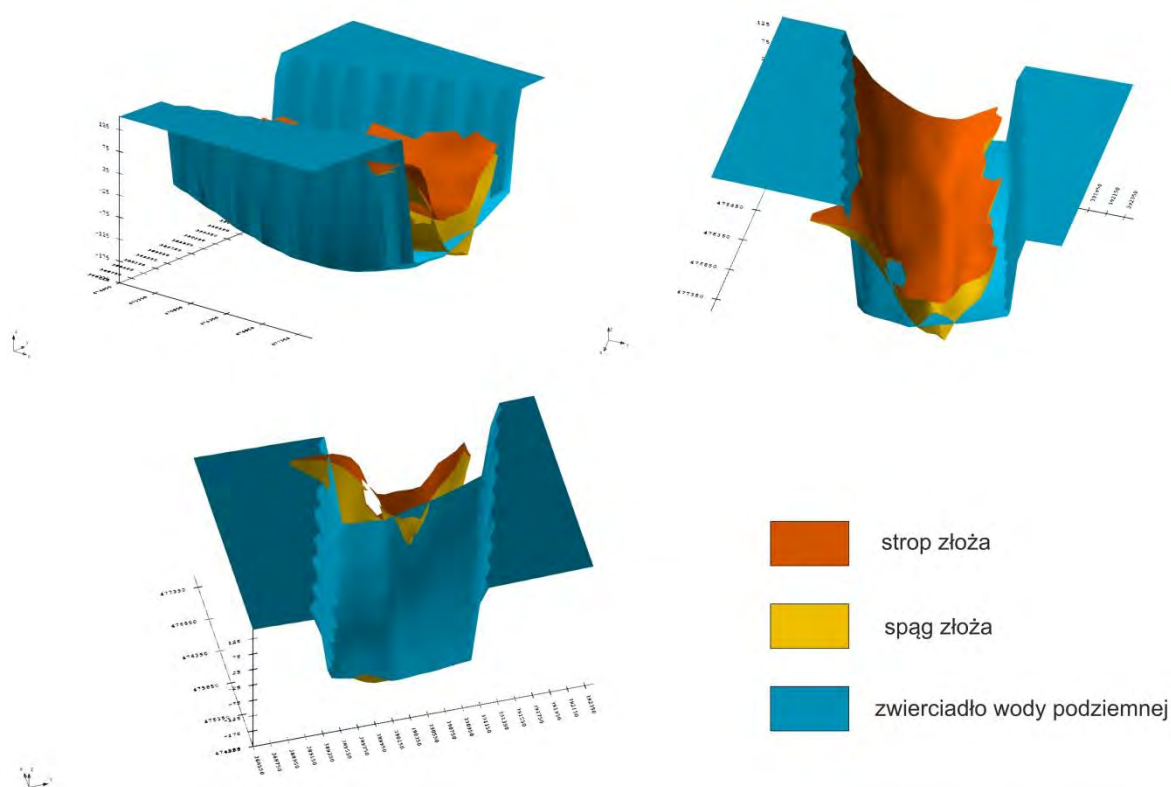
Dla zilustrowania w formacie trójwymiarowym wyniku obliczeń dla tego etapu, dokonano „wycięcia” z modelu przepływu wód podziemnych powierzchni stropowej i spągowej złoża oraz obliczonej powierzchni piezometrycznej. Obszar „wycięty” oznaczony jest na ryc. 4 zieloną ramką. Proces „wycięcia” przeprowadzono przy użyciu autorskich programów TAB2TIN,

HDS2TIN i TIN_CLEAN napisanych w języku Fortran 95. Programy te umożliwiły zapisanie danych uzyskanych z symulatora przepływu wód podziemnych, jakim był program MODFLOW96, w formacie czytany przez moduł TIN środowiska graficznego GMS 2.1 dla przedstawienia ich w postaci trójwymiarowej (GMS 2.1 User's Manual 1999).

Rycina 5 przedstawia w układzie 3D wynik modelowania odwodnienia środkowej części złoża w postaci powierzchni piezometrycznej oraz stropu i spągu złoża. Wyraźnie widać, iż dla ustalonej wydajności barier odwodnieniowych dla 3-go etapu udostępniania złoża, bryła tego złoża jest praktycznie odwodniona.

Bardzo wyraźnie jest także widoczne hydrauliczne działanie uskoku, które uwzględniono na modelu jako bariery słabo przepuszczalne.

Obrazowanie 3D dynamiki wód podziemnych umożliwia wprost dokonanie oceny skuteczności projektowanego odwodnienia (ryc. 5), natomiast otrzymany bezpośrednio z symulatora dwuwymiarowy obraz dynamiki wód podziemnych nie pozwala na dokonanie takiej oceny (ryc. 4).



Ryc. 5. Obrazowanie 3D odwodnienia środkowej części złoża „Złoczew” – przewyższenie 5-krotne

Modelowanie przepływu wód podziemnych w zlewni Biebrzy

Badania modelowe przepływu wód podziemnych w zlewni Biebrzy (ryc. 6) wykonano w ramach sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej dla ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych na tym obszarze. Ustaleń zasobowych dokonano w oparciu o rozpoznanie

budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, w tym wydzielono główne poziomy wodonośne oraz opracowano koncepcję systemu krążenia wód podziemnych w analizowanej zlewni (Filar i in. 2018).



Ryc. 6. Lokalizacja zlewni Biebrzy

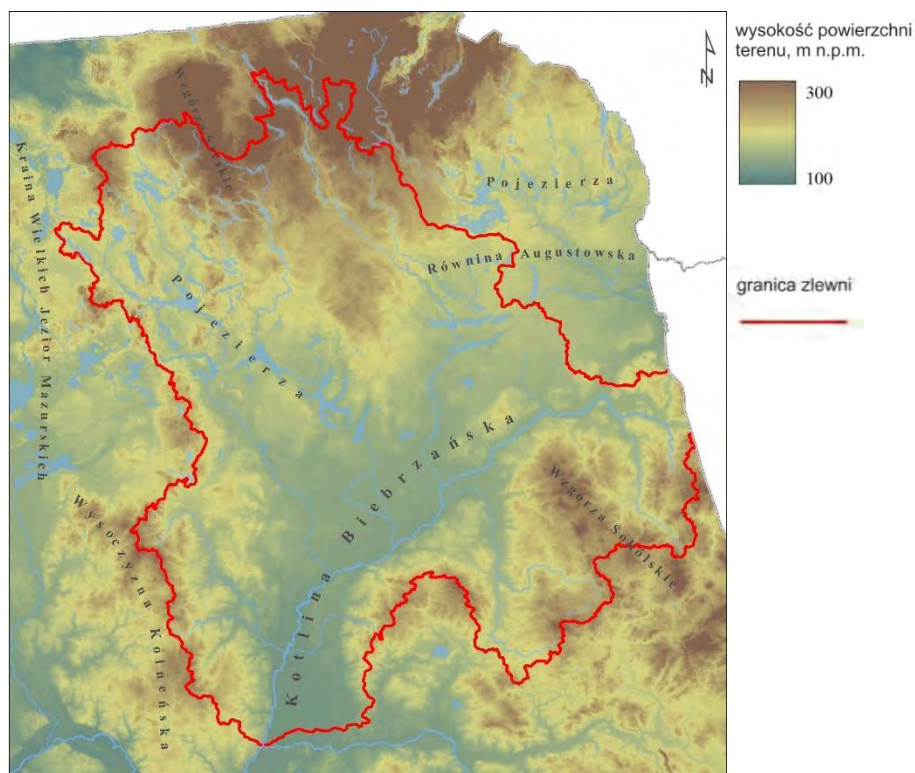
Powierzchnia obszaru bilansowego jakim jest zlewnia Biebrzy wynosi 7 062,12 km² (ryc. 6), natomiast powierzchnia obszaru objętego badaniami modelowymi wyniosła 9 120,10 km².

Zlewnia Biebrzy (zlewnia III-rzędu należąca do dorzecza Wisły) położona jest w północno-wschodniej części Polski, na pograniczu województw warmińsko-mazurskiego i podlaskiego. Wschodnią granicę stanowi granica Polski z Republiką Białorusi. Północną oraz północno-wschodnią i południowo-wschodnią granicę wyznacza dział wodny I-rzędu Wisły, odpowiednio Zalewu Wiślanego i Niemna. Zachodnią granicę wyznacza dział wodny III-rzędu Pisy, południowo-zachodnią dział wodny III-rzędu Narwi od Biebrzy do Pisy, a południową dział wodny III-rzędu Narwi od Biebrzy.

Średni opad dla wielolecia 1981–2010 w zlewni Biebrzy wynosi 602 mm/rok. Średni dla tego wielolecia odpływ podziemny do rzek tej zlewni wynosi 123 mm/rok (Filar i in. 2018).

Centralną część obszaru zlewni zajmuje Kotlina Biebrzańska otoczona obszarami wysoczyznowymi takimi jak: Pojezierze Zachodnio- i Wschodniosuwalskie, Równina Augustowska, Wzgórza Szeskie, Pojezierze Ełckie, Wysoczyzna Kolneńska, Wysoczyzna Białostocka i Wzgórza Sokólskie (ryc. 7).

Obszar zlewni Biebrzy jest położony w zasięgu zachodniej części prekambryjskiej platformy wschodnioeuropejskiej, na obszarze dwóch jednostek niższego rzędu: antekliny mazursko-białoruskiej i syneklizy perybałtyckiej (Żelaźniewicz i in. 2011). Granica między jednostkami ma przebieg zbliżony do równoleżnikowego, wzdłuż linii Suwałki-Ełk. Granicę obu jednostek wyznacza zasięg wychodni serii osadowych kambru dolnego (zaliczanych do syneklizy perybałtyckiej). Większość terenu zlewni znajduje się na obszarze wyniesienia mazursko-suwalskiego, a jedynie najdalej na północ wysunięte fragmenty zlewni zaliczają się do syneklizy perybałtyckiej.



Ryc. 7. Szkic geomorfologiczny obszaru zlewni Biebrzy

Źródło: opracowanie własne

Wprost na podłożu krystalicznym spoczywa kompleks osadów mezozoicznych i kenozoicznych. Osady paleozoiku (piaskowce kambru, osady węglanowe ordowiku i osady marglisto ilaste syluru) występują lokalnie i mają silnie zredukowaną miąższość. Na przeważającej części obszaru badań nie występują również utwory triasu. Osady jury tworzą ciągłą pokrywę o zróżnicowanej miąższości. To kompleks piaskowcowy (jura dolna) oraz piaski z wkładkami ilastymi i seria węglanowa (jura górna). Kredę reprezentują piaski i piaskowce kwarcowo-głaukownitowe (kreda dolna) oraz margle, wapienie margliste, opoki i kreda pisząca (kreda górna). Osady paleogenu i neogenu są reprezentowane przez piaski z przewarstwieniami lignitu, mułowców oraz lokalnie węgla brunatnego. W wyniku zaburzeń glacitektonicznych i erozji powierzchnia stropu tych utworów jest bardzo urozmaicona.

Osady czwartorzędowe występują na obszarze całej zlewni Biebrzy. Największą miąższość, dochodzącą do 150–160 m, osiągają na obszarze Kotliny Biebrzy Środkowej i w zachodniej części Kotliny Biebrzy Górnej. Na pozostałym obszarze miąższość osadów wynosi ok. 120–130 m. Utwory czwartorzędowe są wykształcone w postaci osadów lodowcowych, wodnolodowcowych, rzecznych, jeziornych i zastoiskowych, zaliczanych do zlodowaceń: najstarszego (Narwi), południowopolskiego (Nidy, Sanu i Wilgi), środkowo-polskich (Odry i Warty) i północnopolskiego (Wisły) oraz interglacjalów: augustowskiego (podlaskiego), mazowieckiego (wielkiego) i eemskiego, przykrytych osadami holocenu.

W obszarze zlewni Biebrzy główne użytkowe piętro wodonośne stanowią osady czwartorzędowe, natomiast piętro wodonośne o charakterze podrzędnym reprezentują utwory paleogenu i neogenu. Duże deniwelacje terenu oraz bardzo urozmaicona rzeźba stropu podłoża podczwartorzędowego skutkują zmienną miąższością oraz dużym zróżnicowaniem hydrostrukturalnym piętra czwartorzędowego.

Profil osadów czwartorzędowych składa się z naprzemianległych warstw przepuszczalnych piaszczysto-zwirowych, słabo przepuszczalnych glin zwałowych i mułków oraz bardzo słabo przepuszczalnych ilów. Poziomy wodonośne paleogeńsko-neogeńskie często pozostają w więzi hydraulicznej z głębszymi poziomami czwartorzędowymi. Głębsze poziomy wodonośne są słabo rozpoznane, udokumentowane głębokimi otworami zlokalizowanymi jedynie w rejonach pozbawionych płytszych poziomów wodonośnych lub otworami badawczymi bez badań hydrogeologicznych.

Zasilanie wód podziemnych zachodzi w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych do strefy wód przypowierzchniowych, a w wyniku przesączania przez osady słabo przepuszczalne do głębiej położonych poziomów wodonośnych. Drenaż wód podziemnych następuje poprzez systemy cieków i jezior, ewapotranspirację oraz w mniejszym stopniu poprzez odpływ lateralny. Na regionalny biebrzański system krążenia wód podziemnych składa się szereg systemów lokalnych wygenerowanych przez liczne ciek, będące dopływami Biebrzy. Zaznacza się silny drenujący charakter doliny Biebrzy w stosunku do obszarów wysoczyznowych. Wody podziemne w granicach basenu środkowego doliny Biebrzy spływają w kierunku południowo-zachodnim, a następnie w basenie dolnym przyjmują kierunek południowy, dążąc do głównej regionalnej bazy drenażu – Narwi (Filar i in. 2018).

Na rycinie 8 przedstawiono model koncepcyjny przepływu wód podziemnych na obszarze zlewni Biebrzy. Model koncepcyjny był podstawą do budowy modelu numerycznego przepływu wód podziemnych.

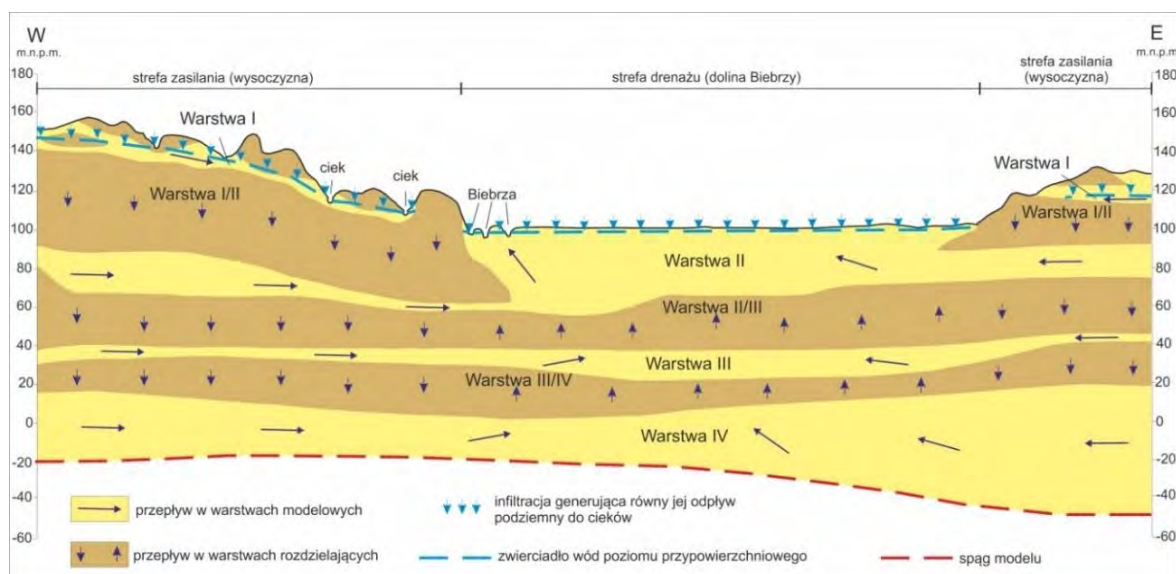
Wydzielono cztery warstwy modelowe reprezentujące przepuszczalne utwory, w tym trzy czwartorzędowe (warstwy I, II i III) oraz warstwę IV – czwartorzędowo-paleogeńsko-neogeńskie (ryc. 8). Warstwy te odwzorowano na modelu numerycznym przewodnością poziomą T . Warstwa I modelu zdefiniowana została na obszarach wysoczyznowych i nie występuje na obszarze doliny Biebrzy. Pozostałe warstwy modelowe II, III i IV obejmują cały obszar badań.

Rozdzielające warstwy słabo przepuszczalne I/II, II/III i III/IV (ryc. 8) nie są bezpośrednio warstwami modelu numerycznego, lecz są odwzorowane na tym modelu pośrednio parametrem międzywarstwowego przesączania pionowego, jakim jest przewodność pionowa T_z utworów słabo przepuszczalnych.

Po zdefiniowaniu warunków brzegowych wykonano kalibrację modelu programem PEST przy użyciu punktów pilotowych. W procesie kalibracji otrzymano pole wartości T i T_z , dla których suma kwadratów różnic pomiędzy pomierzonymi i obliczonymi rzędnymi zwierciadła wody podziemnej w studniach głębinowych na obszarze modelu osiąga minimum.

Dla zobrazowania trójwymiarowego powierzchni piezometrycznych obliczonych przez symulator przepływu wód podziemnych, jakim był MODFLOW96, wykorzystano programy

autorskie HDS2TIN i TIN_CLEAN przetwarzające dane wysokości hydraulicznej otrzymane z symulatora do formatu importowanego do modułu TIN środowiska graficznego GMS 2.1.



Ryc. 8. Model koncepcyjny przepływu wód podziemnych w zlewni Biebrzy

Źródło: opracowanie własne

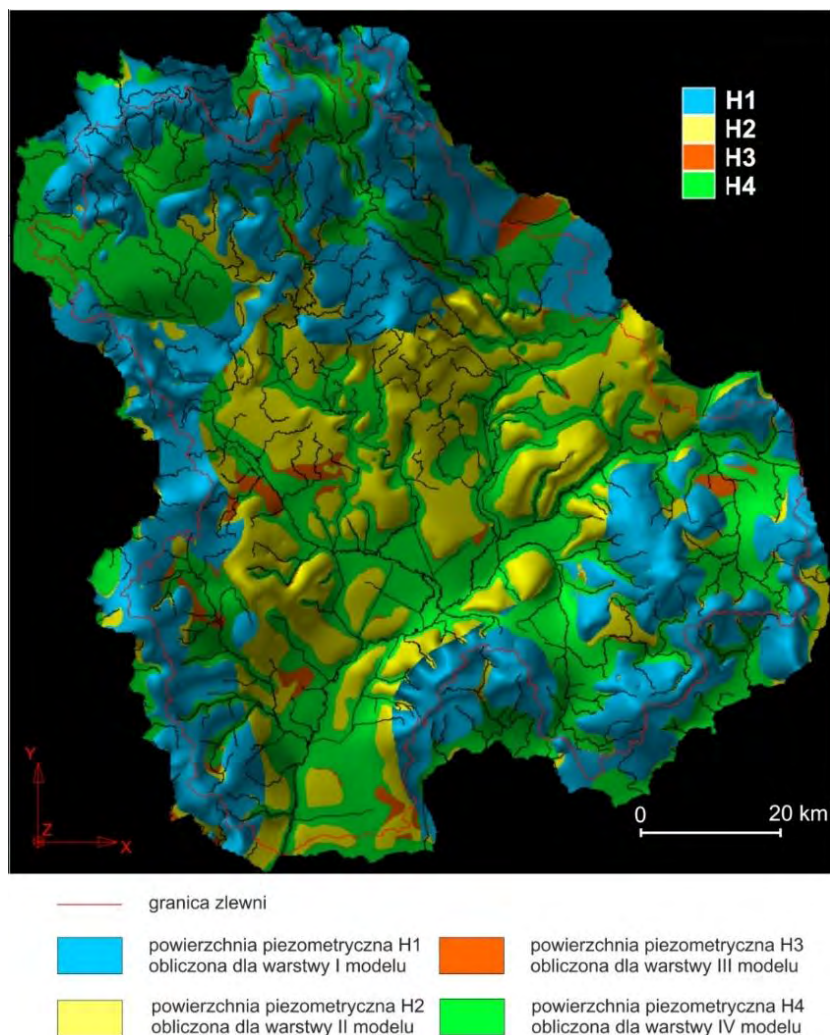
Wynik symulacji w postaci obliczonych czterech powierzchni piezometrycznych (H1, H2, H3 i H4), reprezentujących rozkład wysokości hydraulicznej w warstwach modelowych I, II, III i IV, przedstawiono w obrazowaniu 3D na ryc. 9 i 10. Wynik ten otrzymano dla symulowanego poboru wód podziemnych z obszaru badań wynoszącego $65\,198\text{ m}^3/24\text{h}$ wg. stanu na rok 2016 (Filar i in. 2018).

Na rycinach 9 i 10 kolorem niebieskim przedstawiono powierzchnię piezometryczną H1 obliczoną dla warstwy I modelu, zdefiniowanej na wysoczyznach otaczających dolinę Biebrzy. Kolorem żółtym, pomarańczowym i zielonym przedstawiono odpowiednio powierzchnie piezometryczne H2, H3 i H4 obliczone dla warstw II, III i IV modelu.

Układ powierzchni piezometrycznych na rycinach 9 i 10 przedstawia, w sensie zbudowanego modelu, system krążenia wód podziemnych w zlewni Biebrzy. Rysunki te pokazują, iż biebrzański system krążenia wód podziemnych składa się z szeregu systemów lokalnych związanych ze zlewniami cieków niższego rzędu niż Biebrza. I tak na obszarze wysoczyznowym będącym generalnie strefą zasilania, widocznych jest szereg lokalnych stref drenażu wód podziemnych związanych z głęboko wciętymi dolinami rzecznyymi. Z kolei w obszarze doliny Biebrzy będącej generalnie strefą drenażu widoczne są lokalne strefy zasilania poziomów wodonośnych odwzorowanych przez III i IV warstwę modelową.

Rycina 9 przedstawia powierzchnie piezometryczne widziane prostopadłe do płaszczyzny XY. W danym punkcie obszaru modelu widoczna jest powierzchnia piezometryczna o największej rzędnej. Tym samym kolorystyczne zróżnicowanie obrazu będącego wynikiem nałożenia na siebie powierzchni H1, H2, H3 i H4 jest wyrazem przestrzennej struktury badanego systemu

krążenia wód podziemnych. Elementami tej struktury są przepływy międzywarstwowe przez utwory słaboprzepuszczalne oraz kierunki tych przepływów.



Ryc. 9. Obrazowanie 3D obliczonych powierzchni piezometrycznych H1, H2, H3 i H4 – widok prostopadły do płaszczyzny XY; przewyższenie 300-krotne

Źródło: opracowanie własne

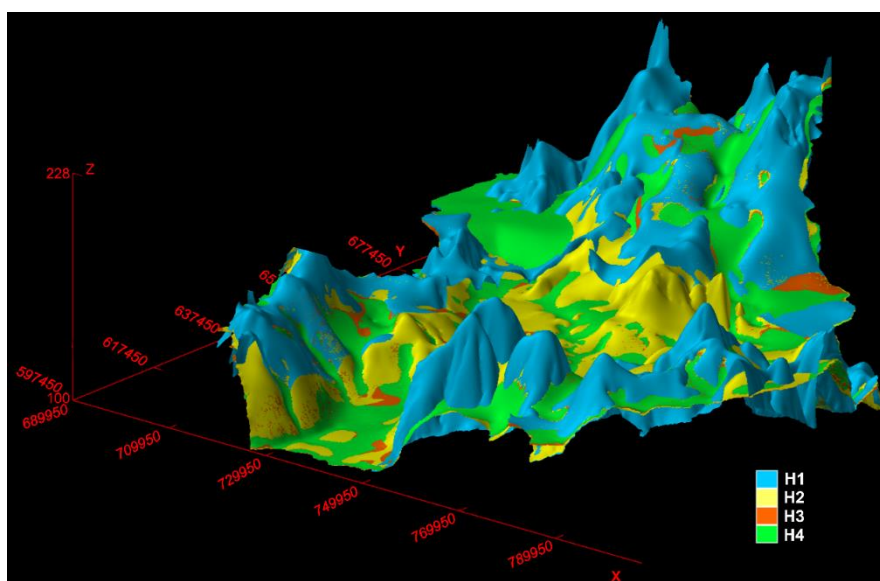
Tak więc obszary widoczne jako niebieskie to obszary wysoczyznowe, gdzie warstwa I zasila warstwę II, warstwa II zasila warstwę III, a warstwa III zasila warstwę IV. Z kolei w położonych na wysoczyźnie obszarach oznaczonych kolorem żółtym warstwa II zasila warstwę I, jednocześnie zasilając warstwę III, która z kolei zasila warstwę IV. W obszarach żółtych położonych w dolinie Biebrzy warstwa II zasila warstwę III, która zasila warstwę IV.

W obszarach oznaczonych kolorem pomarańczowym na wysoczyźnie – warstwa III zasila warstwę II, która zasila warstwę I. Ponadto warstwa III zasila tu jednocześnie warstwę IV. W dolinie Biebrzy w obszarze pomarańczowym warstwa III zasila warstwy II i IV.

Kolor zielony na wysoczyźnie wskazuje obszary, gdzie warstwa IV zasila warstwę III, warstwa III zasila warstwę II, a warstwa II zasila warstwę I. W dolinie Biebrzy kolor zielony oznacza, iż warstwa IV zasila warstwę III, która z kolei zasila warstwę II.

Obszary zielone to strefy drenażu, obszary widoczne jako niebieskie to wysoczyznowe obszary zasilania. Rejony żółte w dolinie Biebrzy to obszary zasilania, natomiast na wysoczyźnie to obszary drenażu warstwy II przez warstwy I i III.

W obszarach pomarańczowych warstwa III drenowana jest przez warstwy II i IV. Kształt granic poszczególnych obszarów na ryc. 9 jest miarą przestrzennego zróżnicowania systemu krążenia wód podziemnych w zlewni Biebrzy.



Ryc. 10. Obrazowanie 3D obliczonych powierzchni piezometrycznych H1, H2, H3 i H4 – widok z kierunku o azymucie 40° względem osi X i pod kątem 20° do płaszczyzny XY; przewyższenie 300-krotne; układ współrzędnych 1992 w płaszczyźnie XY; wartości na osi Z w metrach

Objaśnienia: na ryc. 9

Źródło: opracowanie własne

Przestrzenny obraz dynamiki wód podziemnych w zlewni Biebrzy może być wykorzystany dla ewentualnej rozbudowy sieci monitoringu wód podziemnych na tym obszarze.

Obrazowanie 3D pozwala „zobaczyć” dynamikę wód podziemnych z dowolnego kierunku. Przykładowo ryc. 10 to układ powierzchni piezometrycznych H1, H2, H3 i H4 widziany z kierunku o azymucie 40° względem osi X i nachyleniu 20° do płaszczyzny XY. Z tego kierunku łatwo dostrzec, szczególnie dobrze przy południowo-wschodniej granicy modelu, występowanie na wysoczyznach w dolinach cieków warunków subartezyjskich w warstwach II, III i IV.

Zwraca uwagę różnica morfologii pomiędzy poszczególnymi powierzchniami piezometrycznymi. Im głębszą warstwę modelu reprezentuje dana powierzchnia piezometryczna, tym

mniej charakteryzuje się zróżnicowaniem morfologicznym, co daje w efekcie mniejsze spadki hydrauliczne i tym samym mniejsze prędkości przepływu wód podziemnych niż w warstwie wyżej położonej. Świadczy to o mniejszej odnawialności zasobów wód podziemnych w dolnych warstwach badanego systemu wodonośnego niż w górnych warstwach tego systemu. Na podstawie określonej w procesie modelowania odnawialności wód podziemnych ustalone zostały ich zasoby dyspozycyjne.

Wnioski

- 1) Obrazowanie 3D dynamiki wód podziemnych w procesie modelowania ich przepływu jest praktycznym narzędziem, które można wykorzystać do analizy wyniku wykonanych symulacji.
- 2) W przypadku modelowania odwodnień górniczych obrazowanie 3D pozwala wprost ocenić skuteczność proponowanych wydatków barier odwodnieniowych.
- 3) W przypadku modelowania przepływu wód podziemnych w skali regionalnej w skomplikowanych na ogół systemach krążenia wód podziemnych, obrazowanie 3D pozwala wydzielić podstawowe elementy tych systemów jakimi są strefy zasilania i drenażu. Wydzielenie tych stref jest istotne dla rozdysponowania ustalonych zasobów tych wód.
- 4) Zdaniem autorów obrazowanie 3D wyników badań modelowych może być praktycznym uzupełnieniem typowego zestawu załączników graficznych w dokumentacji tych badań.

Bibliografia

- Filar S., Honeczaruk M., Janik M., Jóźwiak K., Nidental M., Przytuła E., Starościak A., Szydło M., Śliwiński Ł., Węglarz D., 2018, *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru bilansowego zlewni Biebrzy*, NAG (nr inw. 8548/2019), PIG–PIB Warszawa.
- GMS 2.1 User's Manual, 1999, Brigham Young University – Engineering Computer Graphics Laboratory, Provo, Utah 84602, USA.
- Kondracki J., 2009, *Geografia Regionalna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007, *Hydrogeologia regionalna Polski, Tom I – Wody słodkie, Tom II – Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane*, PIG, Warszawa.
- Śmietański L., Filar S., Olesiuk G., Piasecka A., 2013, *Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonaniem odwodnień w celu wydobywania węgla brunatnego ze złoża „Złoczew” w kategorii B+C₁, Część II. Numeryczny model filtracji wód podziemnych obszaru złoża węgla brunatnego „Złoczew”*, NAG (nr inw. 1457/2014), PIG–PIB, Warszawa.
- Woś A., 2010, *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Żelaźniewicz A., Aleksandowski P., Buła Z., Karnkowski P. H., Konon A., Oszczytko N., Ślęczka A., Żaba J., Żytko K., 2011, *Regionalizacja tektoniczna Polski*, Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław: 60.

OPTYMALIZACJA POBORU WÓD PODZIEMNYCH DO NAWADNIANIA UŻYTKÓW ROLNYCH W OKRESIE SUSZY

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.04>

Streszczenie: Istniejące w obszarach bilansowych kraju wysokie rezerwy dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych umożliwiają ich wykorzystanie do nawadniania upraw rolnych podczas długotrwałej suszy hydrologicznej. W oparciu o dane bazy GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski (MHP) w skali 1:50 000 ustalono warunki hydrogeologiczne optymalne dla intensywnego poboru wody studniami wierconymi z poziomów wodonośnych. Pobór z pojedynczej studni może pokryć wysokie niedobory wody upraw rolnych w roku skrajnie suchym na powierzchni najczęściej 15–50 ha zaś czas odbudowy retencji szcerpanych zasobów w ujętym poziomie wodonośnym wyniesie w większości przypadków 1–5 lat. Pobór wód podziemnych do nawadniania 10 ha upraw rolnych w 5-leciu obejmującym jeden rok skrajnie suchy oraz dwa lata umiarkowanie suche może być zbilansowany średnim zasilaniem wód podziemnych 50–100 mm/rok na obszarze 10–30 ha.

Słowa kluczowe: hydrogeologia, susza, nawodnienia upraw rolnych, pobór wód podziemnych, bilans wodno-gospodarczy.

Wprowadzenie

W warunkach cyklicznie powtarzającej się głębokiej i długotrwałej suszy w sezonie wegetacyjnym, stało się konieczne opracowanie wskazań do racjonalnego i zrównoważonego wykorzystania rezerw dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych do okresowych i intensywnych nawodnień, pokrywających niedobory wodne upraw rolniczych i zapobiegających spadkowi plonów. Podstawy prawne dla wykorzystania zasobów wód podziemnych do nawodnień upraw rolnych w warunkach suszy stwarzają m.in. zapisy ustawy z dnia 20 lipca 2017 roku *Prawo wodne*. Stanowią one, że zarządzanie zasobami wodnymi ma na celu m.in. ograniczenie skutków suszy poprzez zapewnienie wody na potrzeby rolnictwa w ramach przygotowania i wdrożenia planów przeciwdziałania skutkom suszy na obszarach dorzeczy i w regionach wodnych. W sytuacji stanu klęski żywiołowej wywołanej suszą, dopuszczalne jest korzystanie z wód podziemnych w rozmiarze i czasie wynikającym z konieczności zwalczania zagrożenia dla utrzymania niezbędnego poziomu produkcji rolniczej. Opracowane w latach 2010–2017 dla wybranych zlewni warunki korzystania z wód dopuszczały wykorzystanie rezerw zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych do nawodnień upraw rolniczych, gdy pobór odpowiednich ilości wód powierzchniowych nie jest ekonomicznie i technicznie uzasadniony.

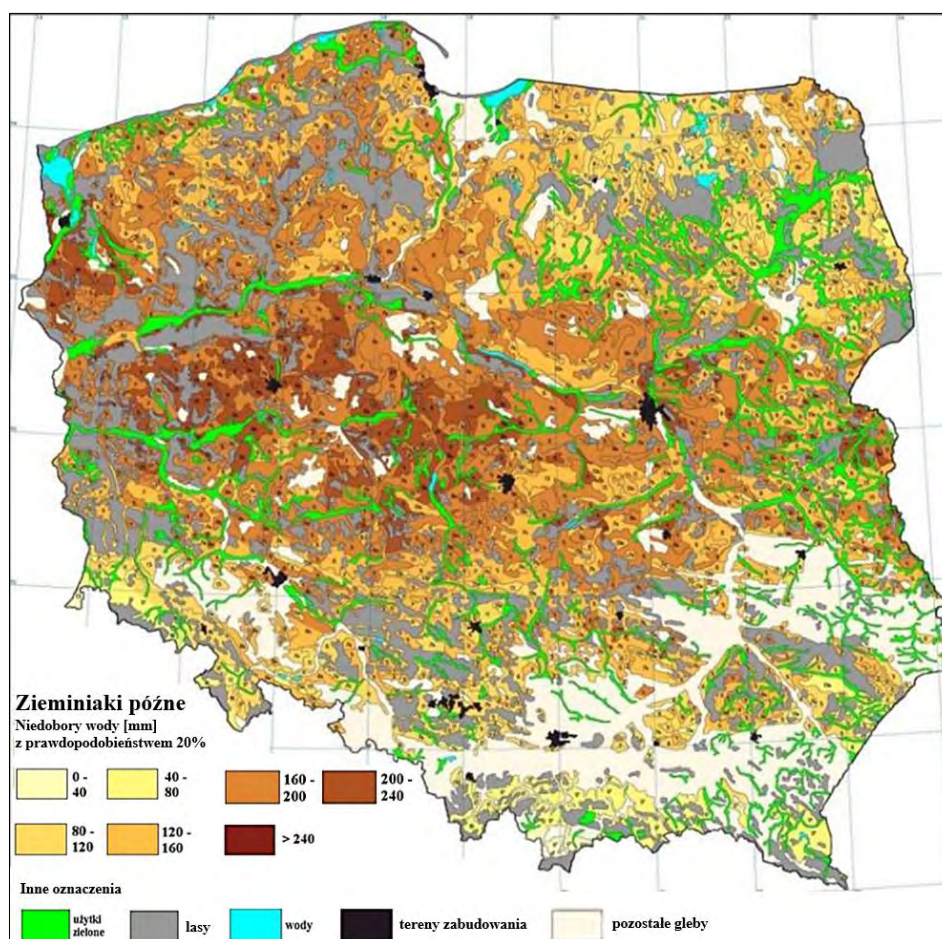
Ocena możliwości wykorzystania rezerw zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych do nawadniania dla pokrycia niedoborów wodnych upraw rolnych w okresie suszy była przedmiotem zadania, wykonanego w ramach działalności Państwowej Służby Hydrogeologicznej w latach 2015–2017 (Herbich i in. 2018, Herbich 2019) pod nadzorem Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej i sfinansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska

¹ Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, pher@pgi.gov.pl, ORCID 0000-0002-7453-2136

i Gospodarki Wodnej. Celem tego zadania było wskazanie optymalnych warunków hydrogeologicznych dla poboru wód podziemnych studniami wierconymi do intensywnego nawadniania upraw rolniczych, pokrywającego ich niedobory wodne i zapobiegającego drastycznemu spadkowi plonów w warunkach głębokiej i długotrwałej suszy hydrologicznej w sezonie wegetacyjnym, prowadzonego z zachowaniem zrównoważonego bilansu wodnogospodarczego w cyklu lat kształtujących stabilność stanu retencji systemu wodonośnego.

Dane i założenia wejściowe do obliczeń

Określenie wysokości poboru wód podziemnych, niezbędnego dla nawadniania upraw rolnych w okresie suszy, zostało przeprowadzone z wykorzystaniem wskaźnika niedoborów wodnych NW ziemniaka późnego (ryc. 1), którego potencjalny obszar uprawiania obejmuje największą część gruntów ornych w kraju, zaś pokrycie wysokiego niedoboru wodnego tych upraw podczas głębokiej suszy (o prawdopodobieństwie $p=20\%$ – występującej raz na 5 lat) będzie równoznaczne z pokryciem niedoboru wody innych upraw (Ostrowski i in. 2008).



Ryc. 1. Niedobory wodne NW [mm/r] ziemniaka późnego podczas głębokiej suszy rolniczej o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=20\%$ – raz na pięć lat

Źródło: Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy w Falentach

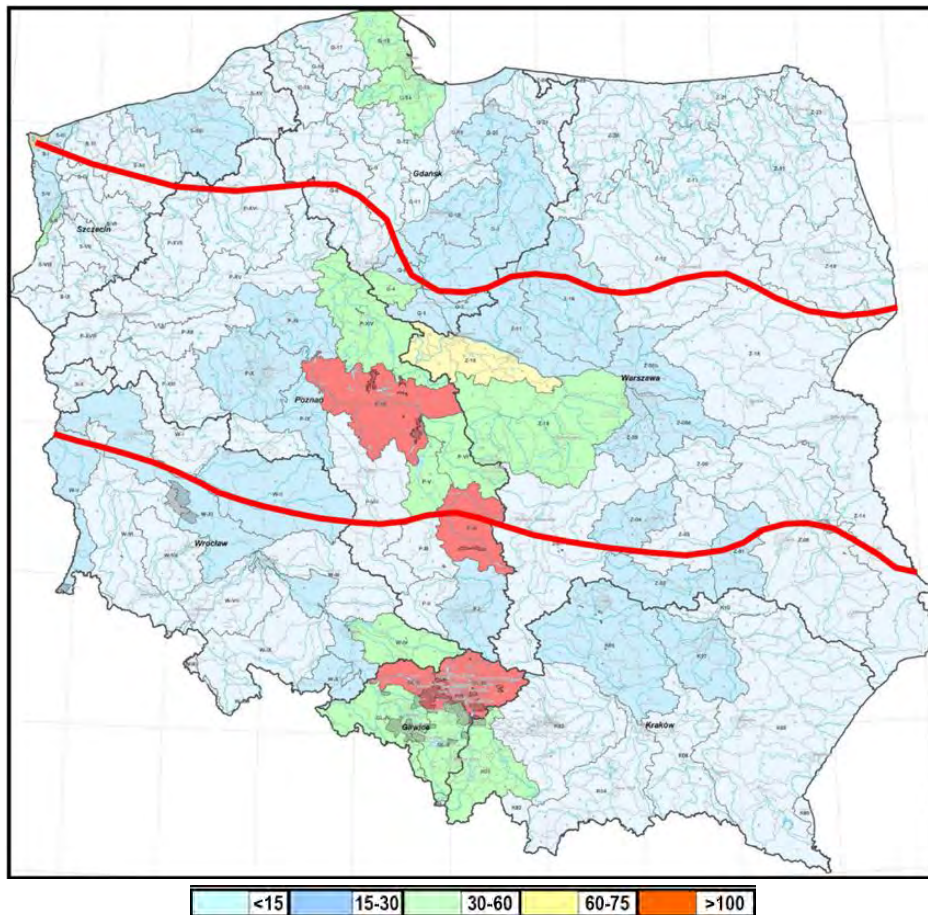
Wysokość możliwych do zagospodarowania rezerw zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych jest ustalana corocznie w ramach zadań państwowej służby hydrogeologicznej, a wynikiem tych ustaleń jest m.in. ocena stopnia *wzd* (wzór 1) wykorzystania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (ryc. 2):

$$wzd = \frac{U}{ZD} [\%] \quad (1)$$

gdzie:

ZD – zasoby dyspozycyjne wód podziemnych jednostki bilansowej [m^3/d];

U – pobór wód podziemnych w jednostce bilansowej [m^3/d].



Ryc. 2. Stopień *wzd* (%) wykorzystania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach i jednostkach bilansowych

Objaśnienia: czerwona linia – granica obszaru środkowo-polskiego pasa suszy

Źródło: Herbich i in. 2017, Herbich 2018

Interpretacja wysokiego stopnia zagospodarowania zasobów dyspozycyjnych ($wzd > 100\%$) w obszarach bilansowych, obejmujących odwodnienia górnicze i aglomeracje miejsko-przemysłowe, wymaga uzupełnienia komentarzem o sposobie wykorzystania pobranych tam wód podziemnych i o zmianach struktury bilansu hydrogeologicznego w regionalnym leju depresji (ryc. 2). Dwa z trzech takich obszarów występują w zasięgu środkowopolskiego pasa suszy

o najniższych opadach atmosferycznych i wysokim, najwyższej częstotliwości występowania susz hydrologicznych w kraju (Stuczyński i in. 2007).

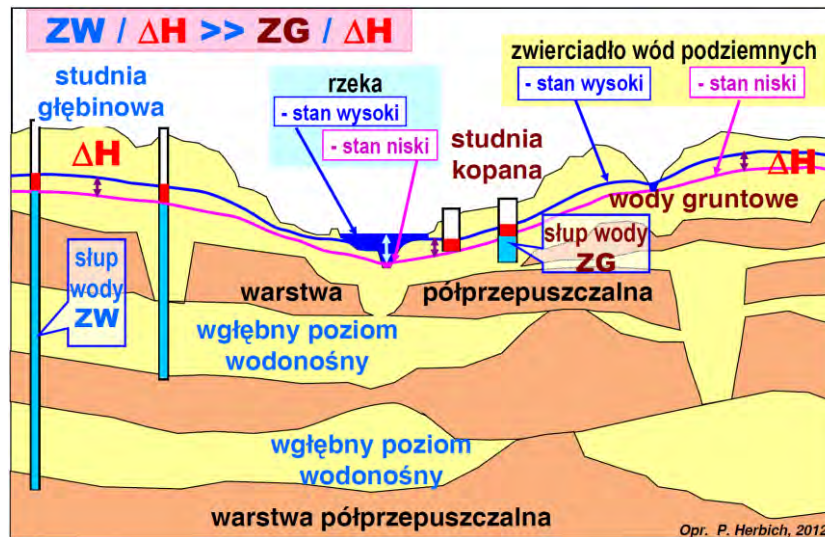
Drenaż górniczy jest poborem zwrotnym dla systemu hydrologicznego zlewni, gdyż pobrane wody są wprowadzane praktycznie w 100% jako zrzut oczyszczonych wód kopalnianych do rzek lub do wód podziemnych, w ramach rekultywacji wodnej odkrywkowych wyrobisk górniczych. Ponadto pobór wód podziemnych w leju depresji jest najczęściej znacznie wyższy od ich zasilania w tym obszarze uwzględnianego na modelu matematycznym w ramach ustalania zasobów dyspozycyjnych jednostki bilansowej, gdyż w leju depresji wzrasta infiltracja opadów atmosferycznych w warunkach zmniejszonej ewapotranspiracji po osuszeniu podmołkości, zostaje wymuszona infiltracja z rzek i jezior do wód podziemnych, a także zachodzi szczyptywanie zasobów statycznych odwadnianego systemu wodonośnego. Podobnie pobór wód podziemnych z dużych ujęć komunalnych jest zwracany w ilości >75% do rzek jako oczyszczone ścieki, a bilans hydrogeologiczny w obszarze leja depresji ujęć zmienia się w kierunku wzrostu zasobów odnawialnych systemu wodonośnego.

Ocena aktualnego stanu możliwych do zagospodarowania rezerw zasobów wód podziemnych jednostki bilansowej wymaga zatem przeprowadzenia jednolitego bilansu wodnogospodarczego zlewni, uwzględniającego m.in. wpływ zwrotu pobranych wód podziemnych na istotny wzrost przepływu rzek w strefie stanów niskich – powyżej wymaganego nienaruszalnego przepływu hydrobiologicznego (Herbich i in. 2013).

Intensywny pobór wód podziemnych do nawadniania upraw rolnych w okresie głębokiej suszy hydrologicznej powinien być prowadzony ze studni ujmującej poziom wodonośny o możliwie niskim stopniu zagrożenia spadkiem retencji, a tym samym spadkiem jej wydajności – w wyniku okresowego braku zasilania infiltracją efektywną opadów. Jednocześnie, po częściowym szczypaniu zasobów statycznych wód podziemnych intensywnym poborem podczas suszy, ujęty poziom wodonośny powinien mieć hydrodynamicznie uwarunkowaną możliwość wydajnej odbudowy jego retencji infiltracją opadów w okresach występowania nadwyżki bilansu klimatycznego w określonym cyklu lat hydrologicznych.

W okresie suszy hydrologicznej następuje pogłębienie stanów niskich wody w rzekach do strefy przepływu hydrobiologicznie nienaruszalnego (skrajnie – aż do zaniku przepływu mniejszych rzek w ich górnym biegu), co praktycznie uniemożliwia efektywny pobór wód powierzchniowych do nawadniania upraw rolnych. W płytkich studniach kopanych następuje spadek lustra wody aż do jej wyschnięcia, natomiast w studniach wierconych ujmujących wody gruntowe dochodzi do znaczącego spadku ich wydajności w wyniku istotnego obniżenia możliwości do wytworzenia depresji eksploatacyjnej nad pompą. Natomiast hydrauliczne warunki eksploatacji studni wierconej, ujmującej poziom wodonośny o zwierciadle napiętym lub o poziomie swobodnym o dużej miąższości – nie ulegają istotnym zmianom w okresie suszy (ryc. 3).

Najkorzystniejsze hydrodynamicznie warunki dla ujmowania wód podziemnych w celu intensywnego poboru do nawadniania upraw rolnych podczas głębokiej suszy hydrologicznej i niżówki hydrogeologicznej spełnia główny użytkowy poziom wodonośny o zwierciadle napiętym, zasilany pośrednio stabilnym przesączaniem z poziomów wyżej ległych (typ NP – niezupełnie napięty i NS – niezupełnie swobodny).



Ryc. 3. Porównanie wpływu spadku ΔH lustra wody na słup wody w studniach ujmujących płytkie poziomy gruntowe (G) i poziomy wgłębne (W)

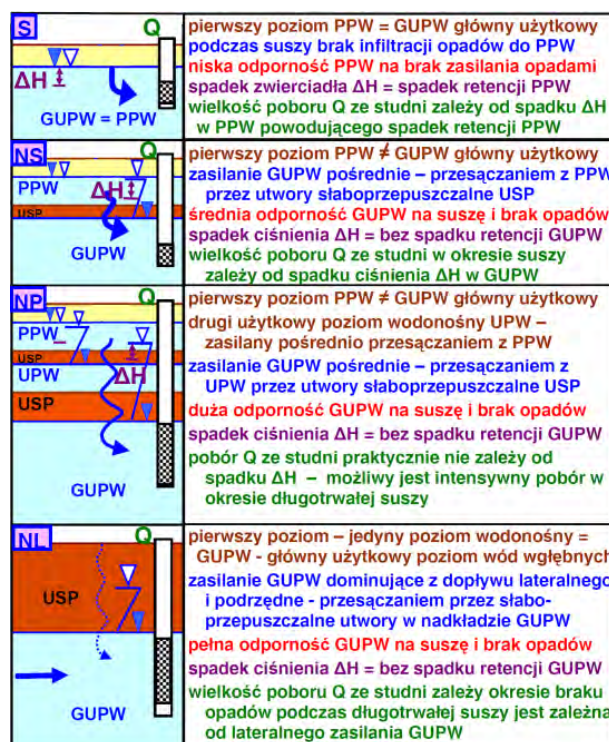
Objaśnienia: ΔH – obniżenie zwierciadła wody w studni; Z – słup wody w studni ujmującej:
ZW poziom wgłębny, ZG wody gruntowe

Źródło: Herbich 2015

Najmniej korzystne warunki występują w poziomie wodonośnym typu S o miąższości mniejszej niż 10 m, zwierciadło swobodnym i stanie retencji silnie reagującym na brak zasilania w roku skrajnie suchym (ryc. 4). Zrównoważony bilansowo intensywny pobór z naporowego poziomu wodonośnego typu NL (poziom wodonośny napięty z dopływem lateralnym) jest wprawdzie niewrażliwy na wpływ suszy hydrologicznej lecz przeważnie angażuje obszar zasilania ujęcia znacznie przekraczający nawadniany areał upraw rolnych przez okres dłuższy niż 5 lat.

Analiza hydrogeostrukturnych i hydrodynamicznych warunków ujmowania wód podziemnych jest prowadzona z wykorzystaniem następujących warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (MHP):

- zapis symbolu jednostki hydrogeologicznej (podaje on użytkowe poziomy wodonośne UPW występujące w danej jednostce ze wskazaniem głównego użytkowego poziomu wodonośnego GUPW, jego pozycji w profilu pionowym i stopnia izolacji GUPW od powierzchni terenu: stopień a – brak izolacji, b – słaba izolacja, c – izolacja dobra oraz ab, ba, bc i cb – stopnie pośrednie);
- potencjalna wydajność typowej studni wierconej Q_{pot} ujmującej GUWP (uwzględniana w przedziałach: 5–10, 10–30, 30–50, 50–70, 70–120 m³/h);
- przekroje hydrogeologiczne (ukazujące hydrostrukturne i hydrodynamiczne warunki występowania GUPW i PPW w jednostce hydrogeologicznej);
- wskaźnik infiltracji efektywnej opadów SZO (PPW, w jednostce mm/r) do pierwszego poziomu wodonośnego, uwzględniany procedurze ustalania stopnia wrażliwości PPW na zanieczyszczenia z powierzchni terenu.



Ryc. 4. Charakterystyka hydrogeologiczna warunków zasilania poziomów wodonośnych ujmowanych do nawadniania upraw rolnych w okresie długotrwałej suszy hydrologicznej i niżówki hydrogeologicznej

Objaśnienia: typ hydrodynamiczny ujętego poziomu wodonośnego: S – swobodny, NS – niezupełnie swobodny, NP – niezupełnie napięty, NL – napięty z dopływem lateralnym

Źródło: Herbich 2015

Średnia wieloletnia odnawialność zasobów SZO(GUPW) [mm/r] wytypowanego do ujmowania na cele nawodnieniowe GUPW jest określana z wykorzystaniem wskaźnika infiltracji efektywnej opadów do pierwszego poziomu wodonośnego SZO(PPW) (Rodzoch 2008) oraz stopnia współczynnika redukcji Wr , zależnego od stopnia izolacji GUPW (tab. 1).

Tab. 1. Wartość współczynnika redukcyjnego Wr przyjęta do obliczeń wskaźnika średniej wieloletniej odnawialności SZO(GUPW) głównego użytkowego poziomu wodonośnego (GUPW):

$SZO(GUPW) = Wr \times SZO(PPW)$ w warunkach określonej odnawialności zasobów wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego PPW

Typ hydrodynamiczny GUPW	Stopień izolacji GUPW wg MHP	Wr [-]	SZO(GUPW) [mm/r]				
			SZO(PPW) [mm/r]				
			50	100	150	200	250
S	a	1	50	100	150	200	250
NS	ab	0,9–0,8	45–40	90–80	135–120	180–160	225–200
NP	ba, b	0,7–0,5	35–25	70–50	105–75	140–100	175–125
N	cb, c	0,4–0,2	20–10	40–20	60–30	80–40	100–50

Objaśnienia: stopień izolacji GUPW od powierzchni terenu: a – brak izolacji, b – słaba izolacja, c – dobra izolacja oraz stopnie pośrednie: ab i cb; pozostałe objaśnienia – patrz ryc. 4

Źródło: w oparciu o materiały Państwowej Służby Hydrogeologicznej z lat 2015–2017.

Analiza wyników

W wyniku przeprowadzonych obliczeń ustalone zostały następujące charakterystyki optymalnych warunków poboru wód podziemnych do nawadniania upraw rolnych w okresie suszy (tab. 2, 3, 4, 5; ryc. 5):

- powierzchnia obszaru PNS (ha), na którym możliwe jest pokrycie niedoborów wodnych upraw rolnych w okresie suszy poborem z pojedynczej studni o wydajności Q_{pot} (m^3/h);
- czas TOR (lata) potrzebny na odbudowę stanu retencji ujętego poziomu wodonośnego w warunkach średniej wieloletniej odnawialności jego zasobów SZO (mm/r);
- powierzchnia obszaru POR (ha), na której w okresie 5. lat odnawialność zasobów głównego użytkowego poziomu wodonośnego SZO(GUPW) zrównoważy pobór wód podziemnych, prowadzony dla stałego nawadniania upraw ziemniaka późnego w sezonach wegetacyjnych jednego roku skrajnie suchego ($NW=p20\%$), dwóch lat umiarkowanie suchych ($NW=p50\%$) i dwóch lat co najmniej średnich ($NW=0,3p50\%$).

Tab. 2. Przykład obliczeń parametrów charakteryzujących warunki i możliwości nawadniania pokrywającego niedobory wodne upraw rolnych w roku suchym

Parametr	Symbol	Przykładowa wartość	Miano	Źródło danych / formuła obliczeniowa
sezonowy (w okresie wegetacyjnym) niedobór wody w roku suchym o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=20\%$	NWs(20)	240	mm/sezon	Ostrowski i in. 2008
		2 400	$m^3/sezon \times ha$	Ostrowski i in. 2008
liczba dni w sezonie z nawadnianiem upraw	ts	90	doby	założenie
efektywny czas nawadniania upraw w ciągu doby	td	10	h (godziny)	założenie
średni dobowy niedobór wody upraw w sezonie	NWtds	27	$m^3/24h \times 1ha$	$NWts=NWs/ts$
moduł średniej wieloletniej odnawialności zasobów PPW	SZO(PPW)	100	mm/r	Baza danych GIS MHP
współczynnik redukcji dla odnawialności zasobów GUPW	Wr	0,6	–	założenie
moduł średniej wieloletniej odnawialności zasobów GUPW	SZO(GUPW)	60	mm/r	$SZO(GUPW)=Wr \times SZO(PPW)$
czas odbudowy retencji ujętego poziomu wodonośnego	TOR	4,0	lata	$TOR=NWs/SZO(GUPW)$
średnia wydajność potencjalna studni typowej	Q_{pot}	40	m^3/h	Baza danych GIS MHP
powierzchnia nawadniana przez 1. studnię typową	PNS	15	ha	$PNS=Q_{pot} \times td/NWtds$

Źródło: w oparciu o materiały Państwowej Służby Hydrogeologicznej z lat 2015–2017.

Zależnie od warunków hydrogeologicznych i rodzaju gleb, pobór z pojedynczej studni o wydajności potencjalnej $Q_{pot} \geq 40 m^3/h$ w okresie głębokiej suszy hydrologicznej o prawdopodobieństwie 20% (raz na 5 lat) może pokryć (tab. 3):

- wysokie niedobory wody upraw rolnych ($NWs20 \geq 180$ mm/sezon) na powierzchni PNS=10–60 ha;
- średnie niedobory ($120 < NWs20 < 180$ mm/sezon) na powierzchni PNS=20–90 ha;
- niskie niedobory ($NW \leq 120$ mm/sezon) na powierzchni PNS=30–140 ha.

Czas TOR odbudowy retencji zasobów ujętego poziomu wodonośnego, czerpanych w obszarze PNS poborem nawodnieniowym Q_{pot} dla pokrycia niedoboru NW w roku skrajnie suchym (występującym raz na pięć lat), wyniesie nie więcej niż 5 lat, gdy średnia wieloletnia odnawialność zasobów ujętego poziomu będzie wynosiła $SZO > 50$ mm/r. Przykład obliczeń parametrów charakteryzujących warunki i możliwości nawadniania pokrywającego niedobory wodne upraw rolnych w roku suchym podany jest w tab. 2, zaś wyniki – w tab. 3 i 4 i na ryc. 5.

Tab. 3. Powierzchnia PNS [ha] upraw rolnych nawadnianych przez 1. studnię typową o wydajności potencjalnej Qpot [m³/h] w sezonie wegetacyjnym na pokrycie niedoboru wody NW [mm/sezon] podczas suszy występującej raz na 5 lat (prawdopodobieństwo wystąpienia p=20%)

NW	mm/sezon	220			
Qpot	m³/h	40	60	80	120
PNS	ha	10	30	40	30
NW	mm/sezon	180			
Qpot	m³/h	40	60	85	120
PNS	ha	20	30	40	60
NW	mm/sezon	140			
Qpot	m³/h	40	60	85	120
PNS	ha	30	40	50	80
NW	mm/sezon	120			
Qpot	m³/h	40	60	85	120
PNS	ha	30	50	60	90
NW	mm/sezon	100			
Qpot	m³/h	40	60	85	120
PNS	ha	40	50	80	110
NW	mm/sezon	80			
Qpot	m³/h	40	60	85	120
PNS	ha	50	70	100	140

Objaśnienia: w obliczeniach uwzględniano 10-cio godzinny czas trwania poboru Qpot w ciągu doby na potrzeby nawadniania w sezonie wegetacyjnym

Źródło: Herbich 2017.

Tab. 4. Wartości czasu odbudowy stanu retencji TOR w poziomie wodonośnym o średniej wieloletniej odnawialności zasobów SZO, ujętym przez studnię eksploatowaną na pokrycie niedoboru wody NW upraw rolnych w sezonie wegetacyjnym podczas suszy występującej raz na 5 lat (p=20%)

NW	mm/sezon	220					
SZO	mm/r	20	40	50	60	90	120
TOR	lata	10	6	5	4	3	2
NW	mm/sezon	180					
SZO	mm/r	20	40	50	60	90	120
TOR	lata	9	5	4	3	2	1
NW	mm/sezon	140					
SZO	mm/r	20	40	50	60	90	120
TOR	lata	7	4	3	2	2	1
NW	mm/sezon	120					
SZO	mm/r	20	40	50	60	90	120
TOR	lata	6	3	2	2	1	1
NW	mm/sezon	100					
SZO	mm/r	20	40	50	60	90	120
TOR	lata	5	3	2	2	1	1
NW	mm/sezon	80					
SZO	mm/r	20	40	50	60	90	120
TOR	lata	4	2	2	1	1	1

Objaśnienia: wyboldowano czas odbudowy TOR ≥ 5 lat

Źródło: Herbich 2017.

W 5-leciu, obejmującym jeden rok skrajnie suchy (NWp=20%), dwa lata umiarkowanie suche (NWp=50%) i dwa lata co najmniej średnie (NW0,3p50%), stały – systematyczny pobór wód podziemnych niezbędny do nawadniania 10 ha upraw rolnych, w warunkach niskiej wartości SZO(GUPW)=50 mm/rok średniego wieloletniego zasilania ujętego poziomu wodonośnego jest zbilansowany na obszarze POR o powierzchni od 7 ha do 32 ha, zależnie od typu gleb i regionu klimatycznego. W warunkach wysokiej wartości średniego wieloletniego zasilania SZO(GUPW)=150 mm/rok pobór taki jest zbilansowany na obszarze POR<10 ha nawadnianych upraw rolnych prowadzonych praktycznie na każdym typie gleb we wszystkich regionach klimatycznych (tab. 5).

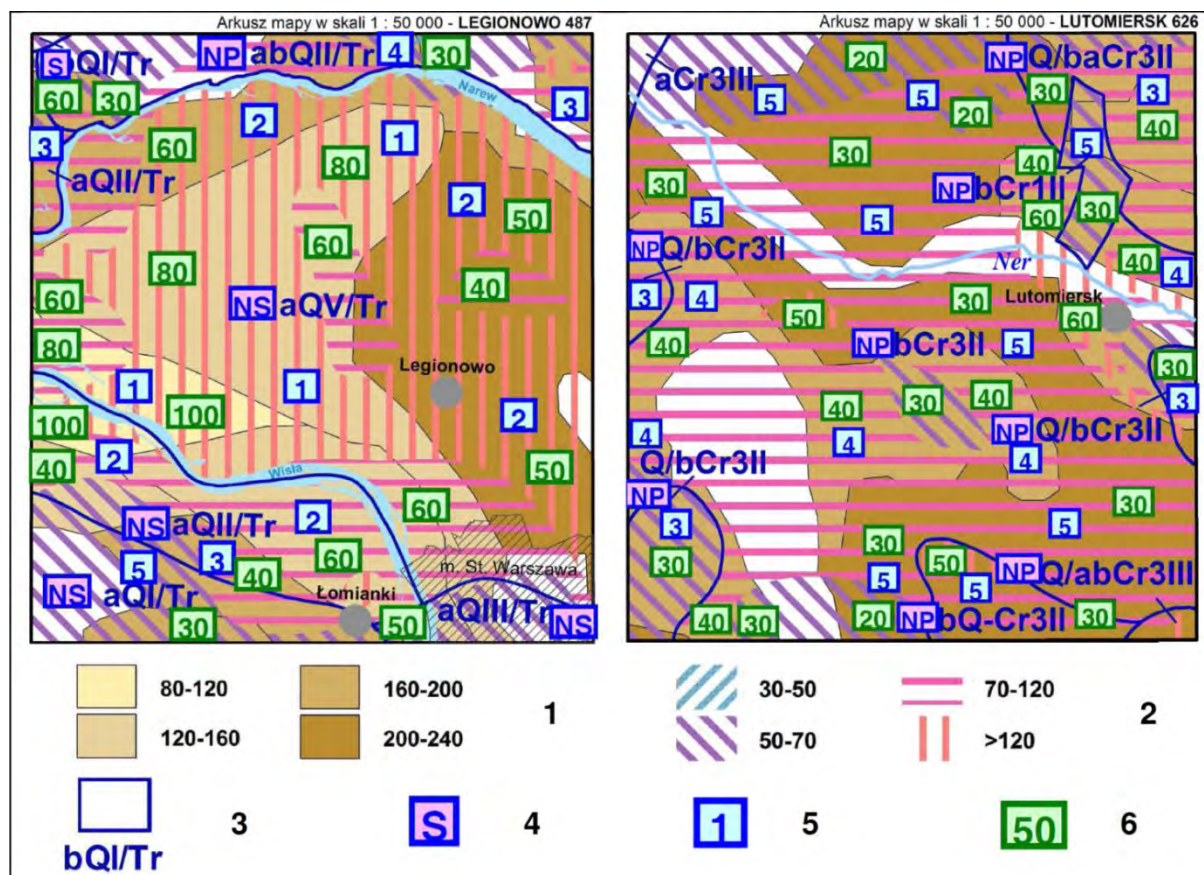
Tab. 5. Powierzchnia obszaru POR [ha] zapewniająca odbudowę retencji w poziomie wodonośnym w warunkach średniego wieloletniego zasilania SZO (A: SZO=50 mm/r, B: SZO=150 mm/r), w warunkach poboru wody do nawodnień upraw ziemniaka późnego prowadzonych w sezonie wegetacyjnym na areale 10 ha, pokrywających niedobory wody NW upraw w 5-letnim cyklu hydrologicznym, obejmującym jeden rok skrajnie suchy (NWp20%), dwa lata przeciętnie suche (NWp50%) i 2 lata normalne (NW 0,3P50%)

Region	A: SZO=50 mm/r				B: SZO=150 mm/r			
	Typ gleby				Typ gleby			
	ciężka	średnia	lekka	b.lekka	ciężka	średnia	lekka	b.lekka
Zachodniopomorski	17,81	19,80	23,42	31,97	5,94	6,60	7,81	10,66
Pomorze	11,09	12,63	15,65	23,13	3,70	4,21	5,22	7,71
Warmińsko-Mazurski	7,35	8,30	10,29	16,34	2,45	2,77	3,43	5,45
Podlasie	6,60	7,66	10,00	16,55	2,20	2,55	3,33	5,52
Kujawy	15,01	16,91	20,12	28,43	5,00	5,64	6,71	9,48
Ziemia Lubuska	18,37	20,26	23,57	31,39	6,12	6,75	7,86	10,46
Wielkopolska	20,43	22,34	25,72	33,62	6,81	7,45	8,57	11,21
Województwo Łódzkie	14,28	16,06	19,40	27,80	4,76	5,35	6,47	9,27
Mazowsze	16,38	18,30	21,85	29,91	5,46	6,10	7,28	9,97
Polesie Lubelskie	9,66	11,38	14,63	22,72	3,22	3,79	4,88	7,57
Dolny Śląsk	11,91	13,58	16,82	24,65	3,97	4,53	5,61	8,22
Opolszczyzna	10,83	12,21	15,23	22,91	3,61	4,07	5,08	7,64
Małopolska	5,69	6,90	9,43	15,85	1,90	2,30	3,14	5,28
Podkarpackie	7,68	8,74	11,29	17,89	2,56	2,91	3,76	5,96

Objaśnienia: kolorem zaznaczono obszary POR o powierzchni przekraczającej nawadniany areal 10 ha upraw (żółty: 10 ha<POR<20 ha, różowym: POR>20 ha)

Źródło: Herbich 2017.

Warunki hydrogeologiczne ujmowania wód podziemnych z głównego użytkowego poziomu wodonośnego w obszarze arkuszy Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 – nr 487 „Legionowo” i nr 626 „Lutomiersk”, prowadzonego do nawodnienia potencjalnych terenów uprawy ziemniaka późnego, pokrywającego niedobory wodne w okresie suszy występującej raz na 5 lat, pokazane są na ryc. 5.



Ryc. 5. Warunki hydrogeologiczne ujmowania wód podziemnych z użytkowych poziomów wodonośnych na łagodzenie skutków suszy w obszarze arkuszy MHP: Legionowo (487) i Lutomiersk (626) do nawadniania terenów potencjalnych upraw ziemniaka późnego, pokrywających niedobory wodne w okresie suszy występującej raz na 5 lat

Objaśnienia:

- 1 – niedobory wodne NW upraw ziemniaka w okresie suszy występującej raz na 5 lat (mm/sezon),
- 2 – wydajność potencjalna studni typowej Q_{pot} (m^3/h),
- 3 – zapis symbolu jednostki hydrogeologicznej głównego użytkowego poziomu wodonośnego wydzielonej na MHP w skali 1:50 000 (Instrukcja 1999),
- 4 – typ hydrodynamiczny ujętego poziomu wodonośnego (patrz ryc. 4, tab. 1),
- 5 – czas odbudowy retencji wód podziemnych GUPW w obszarze spływu do studni TOR (lata),
- 6 – powierzchnia upraw możliwa do nawodnienia przez jedną studnię o typowej wydajności potencjalnej PNS (ha)

Źródło: Herbich i in. 2018, Herbich 2019

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że w obszarze objętym tymi arkuszami MHP, pobór z pojedynczej studni może pokryć niedobory wodne na areale od 30 ha do 100 ha, zaś czas odbudowy stanu retencji głównego poziomu wodonośnego nie będzie przekraczał 5 lat.

Wnioski

Aktualny bilans wodnogospodarczy wód podziemnych kraju wykazuje niski stopień (średnio ok. 20%) wykorzystania ich zasobów dyspozycyjnych w jednostkach bilansowych oraz wysoki stopień (ponad 75%) zwrotu pobranych wód do systemu hydrologicznego w postaci oczyszczonych ścieków komunalnych i wód kopalnianych.

Znaczne i powszechnie występujące rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych mogą być podstawowym źródłem dla pokrywania niedoborów wodnych upraw rolnych w okresie głębokiej suszy hydrologicznej o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 5 lat, jak i w sposób ciągły, zapewniający uzyskiwanie wysokich plonów.

Pobór wód podziemnych dla nawadniania upraw rolnych jest ekonomicznie i technicznie uzasadniony ze względu na powszechne występowanie użytkowych poziomów wodonośnych, zapewniających odpowiednią wydajność studni, co jest istotne zwłaszcza w warunkach braku dostępności do zasobów wód powierzchniowych w latach suchych.

Stan retencji poziomów wodonośnych, okresowo obniżany w wyniku intensywnego i skoncentrowanego poboru wód podziemnych na cele nawodnieniowe w latach suchych, jest odbudowywany w latach o normalnej i wysokiej sumie opadów na obszarze najczęściej nie przekraczającym dwukrotnej powierzchni nawadnianych upraw.

Najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne dla okresowego intensywnego poboru wód podziemnych do nawodnień rolnych w latach posusznych występują w wielopoziomowych systemach wodonośnych o znacznej miąższości, gdy ujmowany jest poziom wodonośny o zwierciadle napiętym, zasilany stabilnym przesączaniem z poziomów wyżej ległych.

Zaproponowana metodyka obliczeń jest podstawą dla wstępnej oceny możliwości wykorzystania rezerw dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych do nawadniania upraw rolnych w konkretnej lokalizacji wystąpienia takich potrzeb.

Dokonanie w pełni miarodajnej oceny możliwości wykorzystania wód podziemnych do nawadniania rolniczego o konkretnej lokalizacji obiektu, jego powierzchni i rodzaju uprawy, jest możliwe dopiero na etapie sporządzania projektu prac geologicznych na wykonanie dokumentacji hydrogeologicznej, ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych na potrzeby uzupełniania niedoborów wodnych upraw rolnych.

W dokumentacji powinny być uwzględnione wszelkie ograniczenia dla planowanego poboru wód podziemnych, wynikające z wymogów ustanowionych dla obszarów ochronnych i utrzymania określonego stanu jednolitych części wód podziemnych, z obowiązku zachowania nabytych praw do korzystania z wód przez innych użytkowników wód podziemnych, utrzymania określonego stanu retencji ujętego poziomu wodonośnego oraz spełnienia lokalnych priorytetów w dostępie do zagospodarowania rezerw zasobów wodnych zlewni.

Wniosek o udzielenie pozwolenia wodnoprawnego na pobór wód podziemnych do nawadniania upraw rolnych powinien również wykazać brak uzasadnionych ekonomicznie, hydrologicznie i technicznie warunków dla odpowiedniego poboru wód powierzchniowych oraz powinien wskazać na istnienie rezerw zasobów wód podziemnych w danej jednostce bilansowej, możliwych do zagospodarowania z zachowaniem wymienionych wyżej ograniczeń dla poboru wód.

Bibliografia

- Baza GIS MHP, <https://www.pgi.gov.pl/psh/dane-hydrogeologiczne-psh/947-bazy-danych-hydrogeologiczne/8888-dane-hydrogeologiczne-mhp.html> (dostęp: 15.08.2021).
- Herbich P., Mordzonek P., Przytuła E., 2017, *Stopień wykorzystania dostępnych do zagospodarowania zasobów wód podziemnych w Polsce*, PIG Warszawa 2017, <https://www.pgi.gov.pl/psh/materialy-informacyjne-psh/stan-srodowiskowy-wod-podziemnych.html> (dostęp: 15.08.2021).
- Herbich P. i in., 2018, *Określenie możliwości poboru wód podziemnych na cele nawodnień rolniczych oraz okresowego łagodzenia skutków suszy gospodarczej*, *Zadania Państwowej Służby Hydrogeologicznej w 2017 r. Synteza*, Warszawa, marzec 2018 r., <https://www.pgi.gov.pl/psh/psh-2/najnowsze-publicacje/5951-synteza-psh-2017.html> (dostęp: 15.08.2021).
- Herbich P., 2019, *Ocena możliwości wykorzystania rezerw zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych do łagodzenia suszy w rolnictwie*, Biuletyn PIG nr 475.
- Instrukcja opracowania i komputerowej edycji Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000*, PIG, Warszawa, 1999.
- Ostrowski J., Łabędzki L., Kowalik W., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K., Tusiński E., 2008, *Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce*, Wyd. IMUZ, Falenty.
- Rodzoch A., 2008, *Przeglądowa mapa wskaźnika odnawialności zasobów pierwszego poziomu wodonośnego*, HYDROEKO Warszawa, Arch. MHP w PIG-PIB, Warszawa.
- Stuczyński Tomasz i in., 2007, *Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce*, Studia i raporty IUNG – PIB, zeszyt 7.
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne* (Dz.U. z 2001 r., nr 115, poz. 1229; Dz.U. z 2017 r., poz. 1566).

UŁATWIONA MIGRACJA ZANIECZYSZCZEŃ DO UŻYTKOWYCH POZIOMÓW WODONOŚNYCH W WYNIKU WAD TECHNICZNYCH STUDNI I OTWORÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.05>

Streszczenie: W artykule przedstawiono przykłady występowania, w głębokich dobrze izolowanych poziomach wodonośnych, zanieczyszczeń typowych dla wód przypowierzchniowych, w tym w szczególności bakteriologicznych. Udokumentowano, że zjawisko to może być związane z niezamknięciem poziomów przypowierzchniowych w trakcie wiercenia studni, a także brakiem lub niewłaściwym uszczelnieniem głowicy studni. Przedstawiono również w jaki sposób należy wykonać analizy chemiczne i bakteriologiczne w celu udokumentowania wad technicznych studni.

Słowa kluczowe: migracja zanieczyszczeń, zanieczyszczenia bakteriologiczne, zamykanie poziomów wodonośnych, wady techniczne studni i otworów hydrogeologicznych.

Wprowadzenie

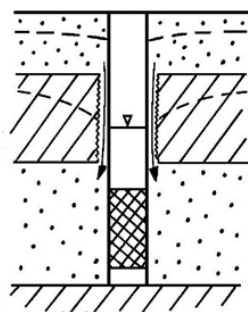
Badania jakości wód ze studni ujmujących poziomy wodonośne dobrze chronione nadkładem utworów słabo przepuszczalnych wykazują niekiedy przejawy występowania zanieczyszczeń typowych dla bardzo płytkich, czasami wręcz zaskórnych wód gruntowych. Dotyczy to nawet bardzo głębokich, izolowanych poziomów wodonośnych, do których czas dotarcia zanieczyszczeń konserwatywnych, migrujących poprzez środowisko geologiczne, wynosi setki, a nawet tysiące lat. Przyczyny zanieczyszczenia należy więc szukać w samym obiekcie ujęcia wody, bądź też położonych w jego pobliżu nieczynnych studniach lub otworach wiertniczych. Najczęściej przyczyną jest przenikanie zanieczyszczeń wzdłuż kolumny rur studziennych z niezamkniętych płytkich poziomów wód gruntowych. Czasami również płytkie wody zaskórne mogą przenikać do studzienek stanowiących obudowę studni wierconych i wlewać się bezpośrednio do studni poprzez jej głowicę.

W przypadku starych otworów może także dochodzić do przenikania zanieczyszczeń do wnętrza studni poprzez skorodowane orurowanie. Inną przyczyną zanieczyszczenia może być migracja do studni lub otworu wiertniczego zanieczyszczonych wód opadowych. Zjawisko to, często obserwowane przy studniach kopanych, w przypadku studni wierconych może w szczególności zachodzić przed wykonaniem ich obudów. Zagrożenie dla ujęcia mogą stanowić jednak również położone w jego pobliżu otwory, jeśli nie wykonano prawidłowego zabezpieczenia ich głowic przy powierzchni terenu. Należy podkreślić, że największy problem związany z przenikaniem do studni płytkich wód przypowierzchniowych stanowi możliwość bakteriologicznego zanieczyszczenia ujmowanych wód.

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geologii, Pracownia Hydrogeologii i Ochrony Wód, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań, gorski@amu.edu.pl, ORCID 0000-0001-8628-4515

Migracja zanieczyszczeń z niezamkniętych poziomów wodonośnych

Ogólnie wiadomo, że przy wykonywaniu studni i otworów hydrogeologicznych powinna być stosowana zasada zamykania poziomów wodonośnych. Praktyka wykazuje jednak, że zasada ta nie zawsze jest stosowana. Dotyczy to w szczególności braku zamknięcia płytkich, przypowierzchniowych poziomów wodonośnych, których wody są często silnie zanieczyszczone. Wody takie mogą przenikać nawet do głębokich poziomów wodonośnych pomiędzy rurą studzienną a naruszonym w trakcie wiercenia środowiskiem geologicznym. Schemat takiej sytuacji przedstawia ryc. 1.



Ryc. 1. Przykład studni z wadą techniczną wynikającą z braku zamknięcia poziomu wodonośnego

Źródło: opracowanie własne

Zjawisko ułatwionej migracji zanieczyszczeń z płytkiego zanieczyszczonego poziomu przypowierzchniowego dobrze ilustruje przykład studni o głębokości 23 m wykonanej na terenie rolniczym dla Stacji Redukcji Gazu w rejonie Granowa (ryc. 2).

Sygnałem wskazującym na taką możliwość był stwierdzany przez użytkownika ujęcia fakt pojawiania się w wodzie zanieczyszczenia bakteriologicznego. Nie było to jednak zanieczyszczenie stałe, pojawiało się bowiem tylko w niektórych analizach.

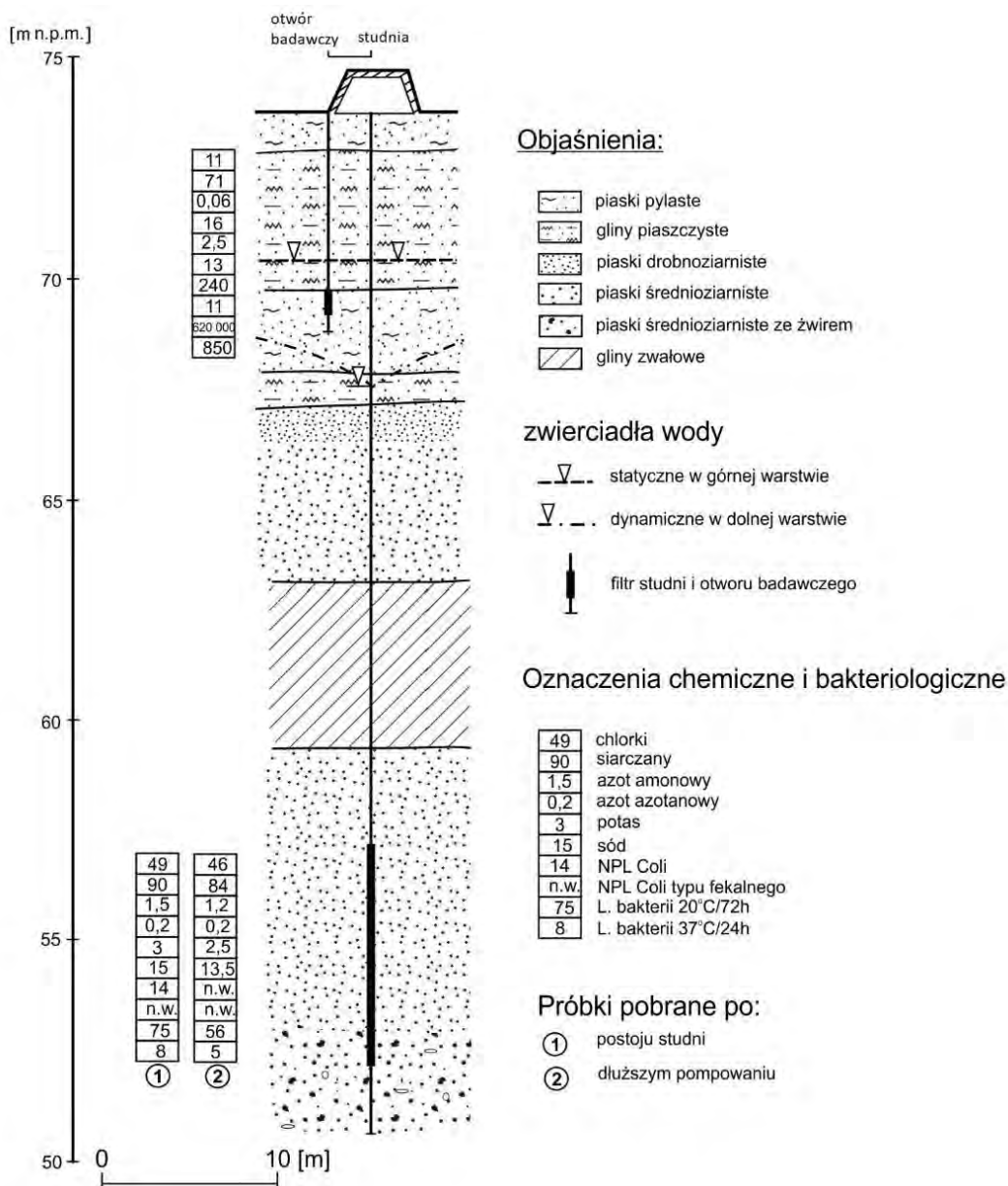
W ciągu 2. lat eksploatacji ujęcia ciągle jednak okresowo pojawiało się zanieczyszczenie bakteriologiczne.

W celu wyjaśnienia przyczyn tego zjawiska wykonane zostały kompleksowe badania, które objęły:

- rozpoznanie stopnia zanieczyszczenia płytkiego poziomu przypowierzchniowego;
- wykonanie badań bakteriologicznych i hydrochemicznych wody ze studni.

Badania poziomu przypowierzchniowego potwierdziły silne zanieczyszczenia w wyniku oddziaływania ścieków z nieszczelnego systemu kanalizacyjnego (nieszczelne szamba i rurociągi). Zasadniczym celem badań było jednak wyjaśnienie dlaczego zanieczyszczenia bakteriologiczne wykrywane są tylko w niektórych analizach. W celu wyjaśnienia tego problemu pobrane zostały dwie próbki wody do analizy – jedna po kilkunastogodzinnym postoju studni (próbka została pobrana po wypompowaniu wody stagnującej w kolumnie filtracyjnej), druga po długotrwałej (kilkunastogodzinnej) pracy studni.

Wyniki analiz przedstawione na ryc. 2 wskazują, że zanieczyszczenie bakteriologiczne zaznaczyło się wyraźnie tylko w próbce nr 1 – pobranej po długim postoju studni. Przejawem były bakterie grupy Coli, których nie wykryto w próbce 2. W próbce nr 1 wyższe były również liczby bakterii wyhodowanych w temperaturze 20°C i 37°C.



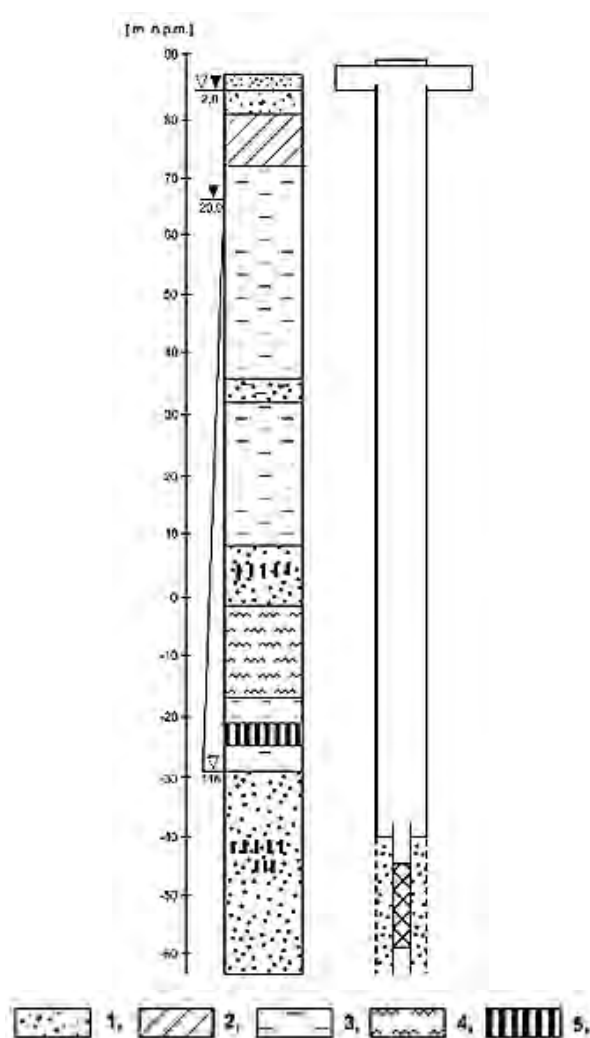
Ryc. 2. Przekrój hydrogeochemiczny ukazujący migrację do studni zanieczyszczeń z płytkiego poziomu przypowierzchniowego

Źródło: opracowanie własne

Ponadto w próbce nr 1 były nieco wyższe stężenia Cl, SO₄, NH₄, K i Na. Powyższe różnice wynikają z faktu, że w trakcie postoju studni następowało stopniowe gromadzenie się w strefie zafiltrowanej zanieczyszczeń migrujących z poziomów przypowierzchniowych. W warunkach długotrwałej pracy studni dominujący był natomiast dopływ z warstwy wodonośnej, a niewielka ilość wód migrujących z poziomu przypowierzchniowego miała niewielki wpływ na wynik analizy.

Ułatwiona migracja zanieczyszczeń do użytkowych poziomów wodonośnych w wyniku wad technicznych...

Inny przykład migracji zanieczyszczeń z płytkiego poziomu przypowierzchniowego przedstawiono na ryc. 3 (Kaźmierczak-Wijura 1998).



Ryc. 3. Profil studni na terenie Zakładu Reprodukcyj Kur w Brodziszewie

Objaśnienia: 1 – piaski, 2 – gliny zwałowe, 3 – iły, 4 – mułki, 5 – węgle brunatne

Źródło: zmodyfikowane za Kaźmierczak-Wijura 1989

Przykład dotyczy studni o głębokości 163 m ujmującej wody poziomu mioceńskiego na terenie Zakładu Reprodukcyj Kur w Brodziszewie. W studni tej występuje od powierzchni poziom wodonośny o miąższości kilku metrów, który był poddany oddziaływaniu ścieków z ferm drobiu, które po mechanicznym oczyszczeniu pompowane były na złoża filtracyjne i rozszczazane do gruntu.

Ujęta w studni warstwa wodonośna jest bardzo dobrze chroniona serią glin i iłów miopliocenu. Pomimo tego w wodzie pojawiały się zanieczyszczenia bakteriologiczne (tab. 1).

Tab. 1. Parametry mikrobiologiczne wody ze studni Zakładu Reprodukcyj Kur w Bodziszewie

Parametr	Woda stagnująca w kolumnie studni (początek czerpania)	Woda z warstwy po wymianie objętości przekraczającej pojemność kolumny studni
Wskaźnik Coli w 100 cm ³	1	11
Wskaźnik coli typu fekalnego w 100 cm ³	0	8
Liczba kolonii na agarze w 1 cm ³ – 20°C po 72 h	10	1 700
Liczba kolonii na agarze w 1 cm ³ – 37°C po 24 h	2	260

Źródło: zmodyfikowane za Kaźmierczak-Wijura 1989.

Zaznaczyły się również zmiany parametrów chemicznych w stosunku do danych z okresu budowy studni (tab. 2). Przejawem tego są stężenia azotanów i siarczanów. Powyższe zanieczyszczenia są niewątpliwie związane z migracją zanieczyszczeń z poziomu przypowierzchniowego wzdłuż rury nadfiltrowej studni.

Tab. 2. Parametry fizykochemiczne wody ze studni Zakładu Reprodukcyj Kur w Bodziszewie

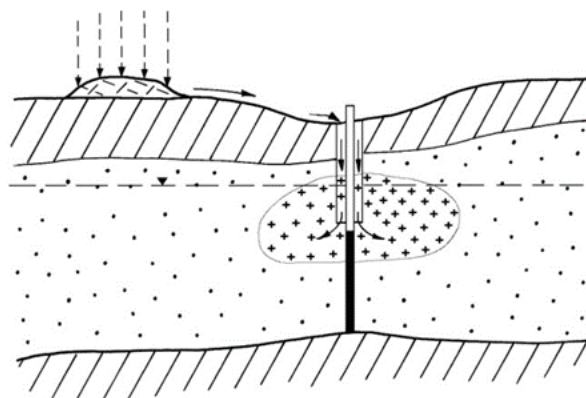
Składnik	Okres budowy	Podczas eksploatacji
Azot azotanowy [mgN/dm ³]	0,1	5,00
Azot amoniakalny [mgN/dm ³]	0,8	0,28
Siarczany [mg/dm ³]	13,9	72,00
Chlorki [mg/dm ³]	23,0	20,00
Żelazo [mg/dm ³]	0,6	2,00

Źródło: zmodyfikowane za Kaźmierczak-Wijura 1989.

Należy dodać, że zjawisko ułatwionej migracji zanieczyszczeń z płytkich przypowierzchniowych poziomów wodonośnych do głębokich studni ujmujących poziom wodonośny miocenu zostało również zidentyfikowane w kilku innych studniach na terenie środkowej Wielkopolski (Górski 1989).

Migracja zanieczyszczeń poprzez nieuszczelnioną głowicę studni lub otworu hydrogeologicznego

Problem ten obserwuje się w szczególności w przypadku studni kopanych. Studnie takie bardzo często nie posiadają odpowiedniego uszczelnienia wokół cembrowiny. Migracja zanieczyszczeń zachodzi w szczególności jeśli teren przy studni jest obniżony, a studnia jest zbudowana z betonowych odcinków cembrowiny (ryc. 4).



Ryc. 4. Schemat migracji zanieczyszczeń do studni bez uszczelnienia głowicy przy powierzchni terenu

Źródło: zmodyfikowane za Kleczkowski (red.) 1984

Sytuacja taka sprzyja migracji do studni nie tylko zanieczyszczonych wód powierzchniowych, ale również płytkich wód zaskórnych. Dodatkowym czynnikiem może być brak zamknięcia studni, do której mogą przedostawać się różnego typu zanieczyszczenia drogą eoliczną.

Szczególne warunki migracji zanieczyszczeń mogą występować w przypadku studni kopano-wierconych, czyli w studniach kopanych, w których dnie wykonano studnię wierconą bez odizolowania od płytkiego poziomu ujmowanego w studni kopanej.

Sytuację taką dobrze ilustruje przykład dwóch studni kopanych, pogłębionych poprzez wykonanie wierceń w ich dnie (Kazimierzak-Wijura 1998). Studnie kopane w rejonie Głuszyny i Rogalina ujmowały pierwszy od powierzchni poziom wodonośny zanieczyszczony w wyniku oddziaływania rolnictwa, w tym ścieków przemysłu ziemniaczanego. Obie studnie zostały pogłębione poprzez wiercenie do poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej chronionej od płytkiej warstwy ponad 20-to metrową warstwą glin. W jednej z tych studni pozostał słup wody pierwszego poziomu wód gruntowych, w drugiej zaś zasypano studnię gliną pochodzącą z wiercenia do wysokości słupa wody tworząc rodzaj zamknięcia pierwszego poziomu wodonośnego.

Badania wody ze studni, gdzie pozostawiony został słup wody pierwszego poziomu wykazały bardzo wyraźne zanieczyszczenie azotem azotanowym – 25 mg/l, siarczanami – 160 mg/l i chlorkami – 80 mg/l. W drugiej studni, gdzie wykonano uszczelnienie z gliny, stężenia wcześniej wymienionych parametrów były znacznie niższe (NNO_3 – 0,7 mg/l, SO_4 – 55 mg/l, Cl – 25 mg/l) i odzwierciedlały naturalny stan jakości wody w poziomie wielkopolskiej doliny kopalnej.

Dane te pokazują dobitnie, że poprzez odwiercenie otworu w dnie studni stworzona została droga migracji zanieczyszczonych wód górnej warstwy wzdłuż rury nadfiltrowej do poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej.

Migracja zanieczyszczeń z powierzchni terenu lub z wód zaskórnych może następować również w przypadku studni i otworów wierconych, dla których nie wykonano właściwego zabezpieczenia ich głowic. Dobitny przykład ilustrujący taką sytuację zaobserwowano przy pompowaniu wody ze świeżo wykonanego otworu studziennego o głębokości ok. 40 m.

W trakcie pompowania nadeszła gwałtowna burza i trzeba było je przerwać. Po burzy wznowiono pompowanie, ale okazało się, że pompowana jest żółta woda powstała w wyniku rozmycia glin przy powierzchni terenu. Wody te, z powierzchni terenu, natychmiast spłynęły wzdłuż rury nadfiltrowej do filtra na głębokości 20 m. Spływ ułatwił fakt, że teren przy wylocie rury nadfiltrowej był obniżony i nieuporządkowany po wierceniu studni. Przypadek ten pokazuje, że uszczelnienie głowicy studni czy otworu wiertniczego powinno być wykonane chociażby prowizorycznie zaraz po zakończeniu wiercenia.

Migracja zanieczyszczeń z płytkich poziomów przypowierzchniowych może zachodzić również w przypadku możliwości pojawienia się takich wód w obudowach studni wierconych i bezpośredniego wlewania się tych wód przez głowicę studni. Sytuację taką obrazuje przykład studni w miejscowości Gonne Małe.

W wodzie z wodociągu wiejskiego w tej miejscowości stwierdzono zanieczyszczenia bakteriologiczne wody ujmowanej ze studni głębinowej. Przejawem zanieczyszczenia była ogólna liczba bakterii wyhodowanych w temperaturze 22°C w 1 ml po 72 godzinach. Wartość tego wskaźnika w okresie od 4.04.2003 r. do 17.06.2003 r. utrzymywała się powyżej poziomu dopuszczalnego wg przepisów sanitarnych i wynosiła najczęściej >300 bakterii w 1 ml wody. Pozostałe badane parametry nie wykazywały zanieczyszczenia. Ogólna liczba bakterii wyhodowanych w temperaturze 37°C po 24 godzinach wynosiła 1 lub <1 w 1 ml. Nie wykrywano natomiast bakterii grupy coli i grupy coli typu kałowego oraz paciorkowców kałowych. Brak było również wyraźnych oznak zanieczyszczenia chemicznego ujmowanej wody.

Rozpatrując przyczynę zanieczyszczenia władze miejscowe skierowały podejrzenie na firmę prowadzącą fermę hodowli świń, stosującą gnojowicowanie pól otaczających ujęcie wody. Analiza warunków hydrogeologicznych w rejonie ujęcia, wyniki analiz chemicznych oraz charakter zanieczyszczenia bakteriologicznego wody nie wskazywały jednak na taką przyczynę zanieczyszczenia. Woda ujmowana była bowiem z poziomu wodonośnego izolowanego od powierzchni warstwą glin zwałowych o miąższości 30 m. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym ewentualną migrację zanieczyszczeń bakteriologicznych był fakt zalegania statycznego zwierciadła wody na głębokości 25 m. Jedynie przy powierzchni występowała ok. 3-metrowa warstwa piasków gliniastych, w której mogły się zbierać wody zaskórne.

Wyraźnego zanieczyszczenia antropogenicznego wody ze studni nie wykazała również analiza składu chemicznego wykonana w okresie występowania zanieczyszczenia bakteriologicznego. Stwierdzono skład typowy dla naturalnego środowiska hydrochemicznego ujętego poziomu wodonośnego, zbliżonego do stanu jaki stwierdzono w trakcie budowy studni w roku 1976.

Za pewien przejaw zanieczyszczenia można było uznać jedynie niewielki wzrost azotu azotanowego, którego stężenie w roku 1976 wynosiło 0,08 mg/l i wzrosło do 0,3 mg/l. Nie tłumaczyło to jednak pojawienia się zanieczyszczenia bakteriologicznego, tym bardziej, że miało ono charakter okresowy.

Ułatwiona migracja zanieczyszczeń do użytkowych poziomów wodonośnych w wyniku wad technicznych...

Przyczynę zanieczyszczenia bakteriologicznego udało się ustalić dopiero na podstawie szczegółowej wizji ujęcia i otaczającego go terenu oraz wywiadu z okoliczną ludnością. Okazało się mianowicie, że w pobliżu ujęcia, w odległości 100 m, znajdował się niewielki staw, przez który przepływał mały strumyk.

Z wywiadu wynikało, że odpływ z tego stawu został okresowo zablokowany przez bawiące się dzieci. Spowodowało to podwyższenie się zwierciadła płytkich wód zaskórnych, które zebrały się w studziencie obudowy studni i wody te poprzez głowicę rury nadfiltrowej wlały się bezpośrednio do studni.

Migracja zanieczyszczeń pochodzenia geogenicznego do poziomów użytkowych

W użytkowych poziomach wodonośnych możemy niekiedy obserwować pojawienie się wód o podwyższonym zasoleniu lub zabarwieniu. Pojawienie się takich wód, typowych dla głębszych poziomów wodonośnych może być efektem ich ascenzji do poziomów użytkowych. Warunki do ascenzji mogą być spowodowane naturalnymi czynnikami bądź też wynikają z migracji poprzez studnie lub otwory hydrogeologiczne. Warunki do naturalnej ascenzji wynikają z wytworzenia się lokalnych kontaktów pomiędzy poziomami wodonośnymi w wyniku erozji bądź też zaznaczają się wzdłuż aktywnych hydraulicznie uskoków tektonicznych. Przypadki ascenzji wód o podwyższonym zasoleniu do poziomów użytkowych w czwartorzędzie zaznaczają się w szczególności w dolinach rzecznych i znane są w dolinie Warty w rejonie miejscowości Pyzdry oraz Słonawy koło Obornik. Lokalnie stwierdzono również zasolenie poziomu WDK w rejonie Stęszewa w strefie kontaktu piaszczystych osadów czwartorzędu i miocenu, a także w rejonie Śremu, gdzie ascenzję ułatwiają uskoki tektoniczne (Górski 1989). Przypadek naturalnej ascenzji wód silnie zabarwionych z poziomu mioceńskiego do czwartorzędowego stwierdzony został w dolinie odcinka ujściowego rzeki Bogdanki w Poznaniu.

Ascenzja wód zasolonych i/lub zabarwionych może zachodzić jednak również przez studnie i otwory hydrogeologiczne. Powodem może być brak zamknięcia ujętego poziomu od poziomu płytszego bądź też korozja konstrukcji otworu, który nie został zlikwidowany, co umożliwia przepływ z kolumny filtracyjnej. Zjawisko takie obserwowano m.in. w dolinie rzeki Słupi na terenie Słupska.

Ascenzję wód silnie zabarwionych z poziomu mioceńskiego do poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej stwierdzono w rejonie miejscowości Joanka pomiędzy Dopiewem a Stęszewem. Ascenzja następuje tu poprzez starą studnię ujmującą zabarwione wody poziomu mioceńskiego. Problem został szczegółowo przedstawiony w publikacji Dragona i in. (2007).

Wnioski

1. W niektórych studniach ujmujących wody głębokich, dobrze izolowanych poziomów wodonośnych, mogą występować zanieczyszczenia typowe dla płytkich wód przypowierzchniowych, w tym w szczególności bakteriologiczne. Przyczyną występowania takich zanieczyszczeń może być brak zamknięcia przypowierzchniowych poziomów wodonośnych w trakcie wiercenia studni.

2. W celu stwierdzenia czy przyczyną zanieczyszczenia jest brak zamknięcia przypowierzchniowego poziomu wodonośnego należy wykonać analizę wody ze studni po długotrwałej eksploatacji (rzędu kilkunastu godzin) i porównać z analizą wody wykonana po kilkugodzinnym postoju studni.
3. Przyczyną zanieczyszczenia wodami powierzchniowymi i zaskórnymi może być brak właściwego uszczelnienia głowicy studni. Dotyczy to najczęściej studni kopanych. Istnieje również możliwość wlewania się wód zaskórnych do obudowy studni wierconych w przypadku niewłaściwego posadowienia obudowy oraz piętrenia wód gruntowych w sąsiedztwie studni.
4. Przykład zaprezentowany w artykule wskazuje również na możliwość wlewania się zanieczyszczonych wód powierzchniowych do studni zaraz po zakończeniu wiercenia, przed wykonaniem obudowy. Wskazuje to na konieczność wykonywania nawet prowizorycznego uszczelnienia głowicy otworu przed realizacją właściwej obudowy.
5. Problemy właściwego zamykania poziomów wodonośnych i w szczególności uszczelniania głowic są również bardzo istotne przy wykonaniu otworów badawczych służących do monitoringu wód podziemnych.

Bibliografia

- Dragon K., Górski J., Marciniak M., Kasztelan D., 2007, *Geneza i warunki migracji intensywnie zabarwionych wód w poziomie wielkopolskiej doliny kopalnej*, Geologos Monographiae 4, UAM, Poznań: 59.
- Górski J., 1989, *Główne problemy chemizmu wód podziemnych utworów kenozoiku środkowej Wielkopolski*, Zesz. Nauk., AGH Kraków, z. 45, zał. 23: 117.
- Kaźmierczak-Wijura Z., 1998, *Antropogeniczne zanieczyszczenia wód podziemnych w wyniku wad technicznych otworów hydrogeologicznych. Zaopatrzenie w wodę miast i wsi*, PZTS Poznań, 1: 125–132.
- Kleczkowski A.S. (red.), 1984, *Ochrona wód podziemnych*, Wyd. Geol., Warszawa: 328.

dr inż. Łukasz Kaczmarek^{1,2}

dr hab. Sebastian Kowalczyk, prof. ucz.³

dr hab. Radosław Mieszkowski³

REINTERPRETACJA PIONIERSKICH BADAŃ Z WYKORZYSTANIEM PIONOWYCH SONDOWAŃ ELEKTROOPOROWYCH BUDOWY GEOLOGICZNEJ WARSTWY WODONOŚNEJ

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.06>

Streszczenie: Badania geofizyczne dostarczają przestrzennych informacji o zmienności ośrodka gruntowo-skalnego. Wyniki zastosowania tych metod, także archiwalne, warto wykorzystywać w prowadzonych hydrogeologicznych pracach dokumentacyjnych. Takim przykładem są zrealizowane badania rozpoznawcze w miejscowości Łobodno w północno-zachodniej części Wyżyny Śląsko-Krakowskiej zlokalizowanej w granicach GZWP nr 326 Częstochowa (E). Przeprowadzone tam pionowe sondowania elektrooporowe, korelowane z profilami wierceń umożliwiły m.in.: (i) zwiększenie głębokości rozpoznania z ok. 70 do 100–150 m p.p.t. obejmując czwartorzędowe grunty gliniasto-piaszczyste przykrywające górnourajski kompleks wapieni zalegających na środkowourajskich łłach i marglach, (ii) identyfikację głębokości zalegania różnych utworów gruntowo-skalnych wraz z określeniem reliefu ich stropu, (iii) wskazanie zmienności litologiczno-strukturalnej w obrębie tych samych wydzieli, (iv) lokalizację większych dyslokacji, (v) dokładniejsze opisanie warunków przepływu wód podziemnych.

Słowa kluczowe: geofizyka, przekrój geoelektryczny, wapienie, ujęcie wody, Łobodno.

Wprowadzenie

Metody geofizyczne mają szerokie zastosowania w naukach geologicznych oraz inżynierskich (Vogelsang 1995, Loke 2004, Reynolds 2011, Mieszkowski i in. 2014, Tarnawski i in. 2020, Marciniak i in. 2021), a w szczególności w badaniach hydrogeologicznych (Castany 1972, Kirsch 2006, Topolewska i in. 2016). Metody te dostarczają istotnych informacji przy obrazowaniu budowy geologicznej i uwarunkowań hydrogeologicznych w sposób jedno, dwu oraz trójwymiarowy, a także w funkcji czasu. Jednymi z najbardziej popularnych metod w analizie warunków przepływu wód podziemnych są metody elektrooporowe, które właśnie w tym celu zostały opisane przez Wenner'a (1916), a następnie Schlumberger'a (1920). Najczęściej zasięg głębokościowy tych metod wynosi do 100–150 m p.p.t. (Tarnawski i in. 2020). Tabela 1 przedstawia zestawienie wybranych metod geofizycznych stosowanych przy rozpoznawaniu warunków hydrogeologicznych.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Wodnego, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, lukasz.kaczmarek@pw.edu.pl, ORCID 0000-0001-5207-3816

² Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie, ul. Jaskrowska 14/20, 42-202 Częstochowa

³ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Hydrogeologii i Geofizyki, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; s.kowalczyk@uw.edu.pl, ORCID 0000-0002-9835-1479; r.mieszkowski@uw.edu.pl, ORCID 0000-0002-4021-4965

Tab. 1. Wybrane metody geofizyczne stosowane w rozpoznaniu hydrogeologicznym

METODA GEOFIZYCZNA	ROZWIĄZYWANE ZAGADNIENIA DLA ROZPOZNANIA				KOMENTARZE
	Osadów piaszczysto-ilastych		Litego podłoża		
	Struktura osadów (rodzaj, miąższość i następstwo warstw)	Stopień zaburzenia budowy (ciągłość, upad, zmienność wykształcenia)	Głębokość zalegania i rodzaj podłoża	Stopień zaburzenia budowy (spękania, uskoki, nieciągłości)	
Sondowania elektrooporowe (VES, SGE)	+++	++	++	++/+	Aktualnie pomiary tanie i relatywnie łatwe do wykonania
Tomografia elektrooporowa (ERI, ERT)	+++	+++	++	++	Pomiary stosunkowo tanie, ale trudniejsze do wykonania
Sejsmika refrakcyjna	–	–	+++	+++	Metoda kosztowna, ale najefektywniejsza w badaniu podłoża skalnego.
Georadar (GPR)	++	++	++	++	Mały zasięg głębokościowy. Warstwa gruntów spoistych przy powierzchni może uczynić tą metodę nieefektywną.
Pomiary otworowe (karotażowe)	+++	++	+++	++	Pomiary w otworach wiertniczych w celu ograniczenia ilości wierceń rdzeniowych.

Objaśnienia: efektywność metody: +++ duża, ++ średnia, + mała, – metody nie stosuje się

Źródło: opracowano we własnym zakresie – zmodyfikowane za Rodzoch i in. 2006.

Do niedawna, jedną z powszechnie wykorzystywanych metod były pionowe sondowania elektrooporowe (*ang. Vertical Electrical Sounding – VES*; w Polsce opisywana także skrótami SGE – sondowania geoelektryczne, PSE – pionowe sondowania elektrooporowe). Jest to jednowymiarowa (1D) metoda umożliwiająca nieinwazyjną prospekcję z powierzchni terenu, której wyniki z poszczególnych pomiarów można zestawić w postaci przekroju geoelektrycznego. Metoda ta obecnie jest coraz częściej wypierana przez metodę tomografii elektrooporowej, nazywaną także metodą obrazowania elektrooporowego, pozwalającą na bardziej efektywne obrazowanie 2D oraz 3D.

Metody elektrooporowe polegają na pomiarach parametrów sztucznie wywołanego pola elektrycznego w ośrodku gruntowo-skalnym. Takim podstawowym parametrem jest oporność utworów geologicznych, której jednostką jest omometr (Ωm). Oporność górotworu cechuje się znacznym zróżnicowaniem, gdzie utwory zawodnione mają najniższe oporności (w przypadku zasolonych utworów nawet pojedyncze omometry), a utwory suche mogą cechować się wartościami kilkudziesięciu tysięcy omometrów (np. wydymowe piaski suche, nasypy przesuszone, czy skały pochodzenia chemicznego). Wartości oporności takich samych litologicznych gruntów i skał (o zbliżonym składzie mineralnym) są różnicowane przez wilgotność, mineralizację wody, porowatość oraz przepuszczalność, zailenie, a także temperaturę. Parametr oporności stanowi zatem wypadkową właściwość fizyczną materiału. Dzięki dużej zmienności, szczegółowa interpretacja rezultatów prospekcji elektrooporowej, umożliwia m.in. jakościowe i ilościowe kartowanie budowy geologicznej – w tym głębokości stropu *bedrock* oraz poszukiwania

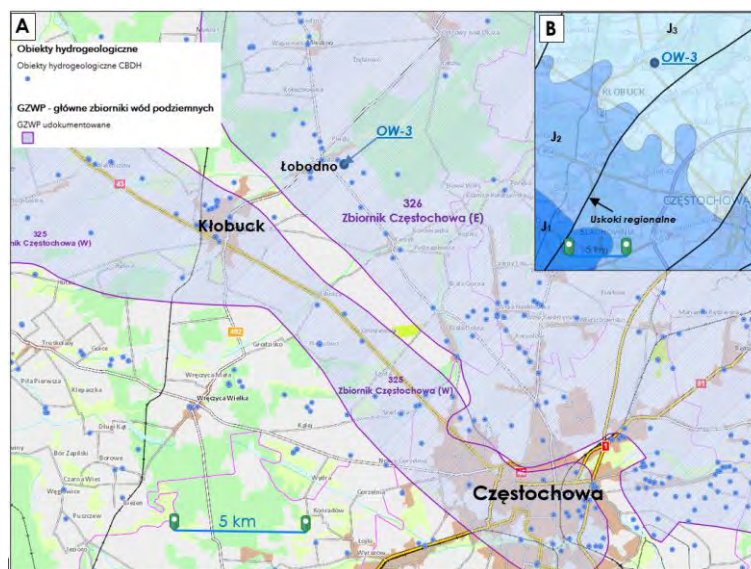
warstw wodonośnych (Tarnawski i in. 2020). Określanie miąższości warstw wodonośnych, obecności wody, rozciągłości warstw zawodnionych oraz ich możliwych strukturalnych dróg kontaktu, z płycej i głębiej położonymi utworami przepuszczalnymi, jest szczególnie istotne w przypadku użytkowych poziomów wód podziemnych, wykorzystywanych przez przedsiębiorstwa wodociągowe jako zasobny rezerwuuar wysokiej jakości wód przeznaczanych do spożycia przez ludzi.

Poniżej przedstawiono wybrane, pionierskie w Polsce, archiwalne wyniki badań pionowych sondowań elektrycznych (z 1968 r.). Rezultaty przeanalizowano w odniesieniu do tradycyjnie wykonywanych prac dokumentacyjnych. Opisane możliwości badań geofizycznych zostały przedstawione na przykładzie rejonu m. Łobodno (północny-zachód od Częstochowy), gdzie lokalizowane są m.in. komunalne ujęcia wód podziemnych.

Region badań

Rejon Łobodna administracyjnie położony jest w powiecie kłobuckim, natomiast morfologicznie należy do Wyżyny Wieluńskiej, będącej północno-zachodnią częścią Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (Kondracki 2000). Rzeźba terenu cechuje się występowaniem pojedynczych wzniesień ostańcowych (zbudowanych z wapieni górnej jury – Bednarek i in. 1987, Kaziuk i Nowak 1999). Rzędne terenu kształtują się na ogół na poziomie 225–240 m n.p.m. Lokalnie, w miejscach wzniesień ostańców, rzędne mogą dochodzić do 275 m n.p.m., a w dolinie rzeki Białej Okszy wynoszą ok. 210 m n.p.m. Powierzchnia terenu zapada na północny-wschód.

Prezentowane badania geofizyczne zostały przeprowadzone dla ujęcia górnourajskich wód podziemnych. Rejon ten położony jest w zlewni Warty i w granicach GZWP nr 326 Częstochowa (E) – ryc. 1. W artykule skupiono się na zestawieniu wyników analizy w obszarze otworu nr 3 położonego na rzędnej 227,5 m n.p.m.



Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna (A) oraz fragment mapy geologicznej bez utworów kenozoiku (B) analizowanego rejonu w m. Łobodno

Źródło: Portal mapowy Geologia, PIG-PIB

Budowa geologiczna

Analizowany obszar, zgodnie z geologicznym podziałem Polski oraz opisem przedstawionym w objaśnieniach do szczegółowych map geologicznych Polski – arkusze 808 i 809 (Bednarek i in. 1992, Kaziuk i Nowak 2014), jest położony w granicach mezozoicznej struktury Monokliny Śląsko-Krakowskiej o rozciągłości północny-zachód a południowy-wschód (zapadającej pod niewielkim nachyleniem na północny-wschód). Monoklina Śląsko-Krakowska zbudowana jest z utworów triasu i jury. Trias dolny i środkowy składa się z facji węglanowej, trias górny z facji ilastych. W oparciu o wyniki wierceń (Hermanński i in. 2005) oraz szczegółowe mapy geologiczne Polski (Bednarek i in. 1992, Kaziuk i Nowak 2014) można stwierdzić, że strop utworów triasowych położony jest na głębokości ok. 400 m. Powyżej zalegają utwory jury dolnej (głównie warstwy piaskowców). Następnie występują utwory jury środkowej (tzw. dogger) o łącznej miąższości ok. 200 m. W spągu tych utworów, obecne są utwory piaszczysto-piaskowcowe stanowiące poziom wodonośny – tzw. „warstwy kościeliskie” o miąższości ok. 30 m (aalen i bajos dolny). Powyżej, obecne są izolujące skały ilaste (rudonośne) bajosu górnego i batonu o bardzo dużej miąższości (ok. 170 m), nad którymi występują płytowe wapienie piaszczyste przewarstwione marglami keloweju (o miąższości tutaj ok. 15 m). Powyżej zalegają osady jury górnej (malm), które w okolicach Łobodna wykształcone są w postaci wapieni skalistych i płytowych (oksford). Udział wapieni skalistych, które cechują się zeszczelinowaniem i obecnością krasu, wraz z głębokością wzrasta. Miąższość górnajurajskich utworów w analizowanym rejonie jest w przybliżonym zakresie od 50 do 100 m. Powierzchnia stropu jury górnej (w rejonie Łobodna rzędne od ok. 205 m n.p.m. do 235 m n.p.m.) jest silnie rozwinęta, co wynika z historycznej aktywności ruchów tektonicznych, a w późniejszym czasie wietrzenia i erozji (także glacialnej). Jura górna cechuje się strukturą zrębowo-rowową, gdzie uskoki (najczęstszy przebieg z południowego-zachodu na północny-wschód) ułatwiają powstawanie sieci spękań wapieni jury górnej (Bednarek i in. 1992, Kaziuk i Nowak 2014).

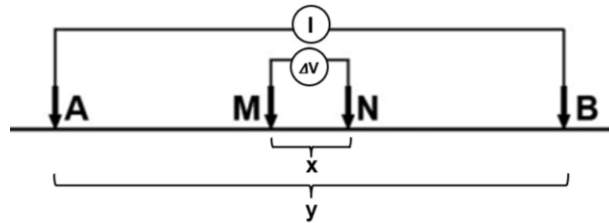
Struktura Monokliny Śląsko-Krakowskiej przykryta jest czwartorzędowymi osadami, takimi jak np. wodnolodowcowe i rzeczne piaski, lodowcowe gliny piaszczyste, czy gliny z okruciami wapieni oraz miejscowo występującymi osadami rzecznyymi. Utwory te mają przeważnie niewielką miąższość, natomiast w dolinach miąższość dochodzi do ok. 40 m.

Warunki hydrogeologiczne

Na analizowanym obszarze występuje czwartorzędowe piętro wodonośne, w którym zwierciadło wody zalega na głębokości kilku metrów. Kierunek przepływu wód czwartorzędowych jest zgodny z kierunkiem przepływu Białej Okszy, tj. na północny-wschód (Liszka i in. 2006). Użytkowe znaczenie ma szczelinowo-krasowy górnajurajski poziom wodonośny cechujący się napiętym zwierciadłem (głównie przez gliniaste utwory czwartorzędowe) na przybliżonej rzędnej ok. 220 m n.p.m. (Dziuk i Będkowski 1997, Liszka i in. 2000). Dominujące kierunki przepływu górnajurajskich wód podziemnych w rejonie otworu nr 3 to z południowego-zachodu na północny-wschód oraz z południa na północ. Zasilanie tego poziomu następuje poprzez infiltrację wód opadowych. W ujęciu regionalnym izolacja górnajurajskiego poziomu wodonośnego nie jest ciągła, co w efekcie występowania także uskoków w skali regionalnej i lokalnej umożliwia mieszanie się przypowierzchniowych wód z wodami górnajurajskimi.

Metodyka

W metodach elektrooporowych celem rozpoznania jest przestrzeń ośrodka geologicznego, do którego został wprowadzony prąd stały za pomocą pary elektrod (np. A i B). Jednocześnie, za pomocą dwóch kolejnych elektrod (np. M i N) rejestrowany jest spadek napięcia, będący proporcjonalnym do oporności elektrycznej ośrodka oraz rozstawu elektrod (wzajemna konfiguracja położenia i odległości w układzie wyznaczanym lokalizacją elektrod zasilających i pomiarowych). Rozstaw elektrod musi zostać wcześniej zdefiniowany. Jednym z najpopularniejszych układów w technice *VES* jest układ Schlumberger'a (ryc. 2). Wynika to z wiarygodności wyników prospekcji oraz dokładności pomiarowej (tab. 3). Aspekty techniczne wraz ze szczegółowym opisami metodyki zostały przedstawione m.in. przez Stenzela i Szymanko (1973), jak również w przekrojowym opracowaniu zbiorowym pod redakcją Tarnawskiego (2020).



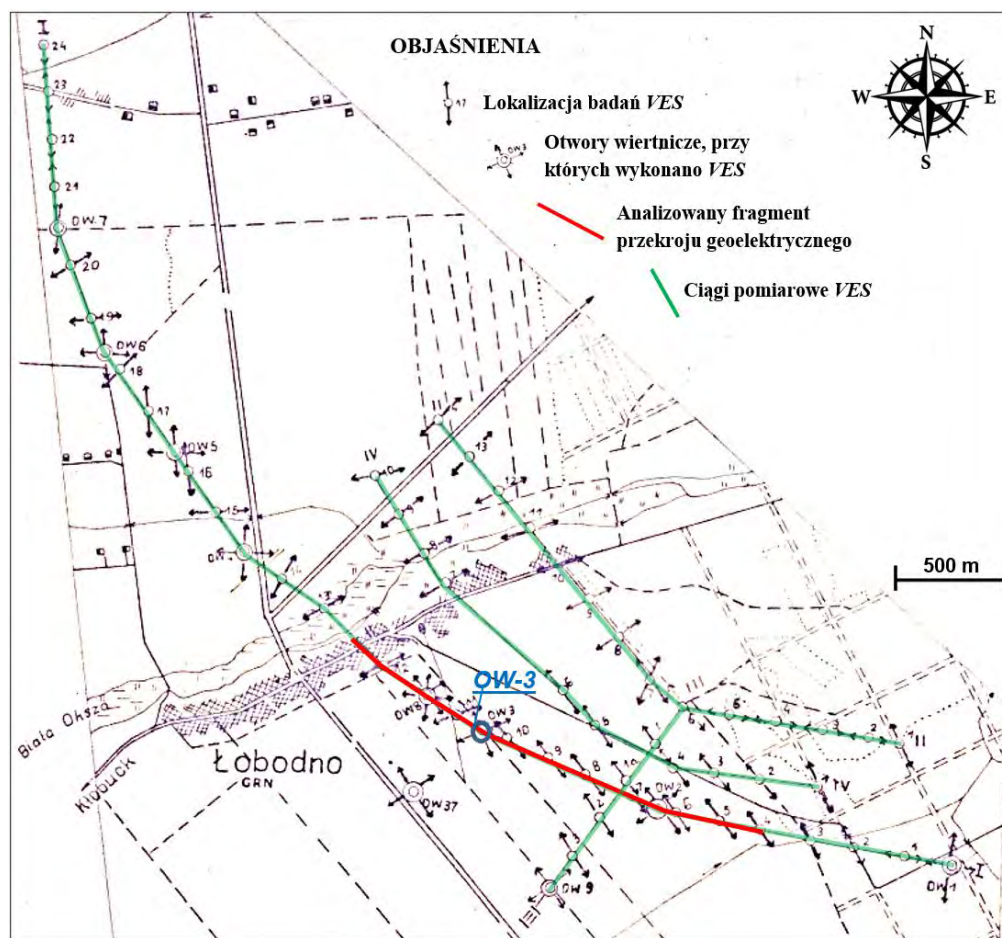
Ryc. 2. Przestrzenny rozstaw elektrod układu Schlumberger'a, który został zastosowany w opisywanych badaniach

Objaśnienia: A, B – elektrody prądowe; M, N – elektrody pomiarowe; I – natężenie prądu wprowadzonego do gruntu przez elektrody A, B; ΔV – różnica potencjałów elektrycznych mierzona między elektrodami M i N; x, y – odległości między elektrodami, gdzie $x \leq 1/3y$

Źródło: opracowanie własne

Pionowe sondowania elektrooporowe prowadzono w rejonie Łobodna od 18.06 do 30.07 1968 r. (tj. 43 dni), w czasie których zrealizowano kilkadziesiąt pionowych sondowań. Badania te zrealizowane były przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych (PPG) na rzecz (aktualnie) Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego SA w Częstochowie. Sondowania przeprowadzono z zastosowaniem wcześniej wymienionego układu symetrycznego Schlumberger'a – w pierwszej kolejności wzdłuż linii I przy już istniejących otworach wiertniczych. Dzięki temu uzyskano wartości referencyjne oporności skorelowane z dokładnie rozpoznanymi utworami wodonośnymi. W następnym etapie, wzdłuż linii zagęszczono miejsca sondowań między otworami archiwalnymi wykonując badania w odległości co ok. 200 m. Kolejne dwie linie przekroju poprowadzono równolegle do pierwszej linii, natomiast ostatni ciąg pomiarowy prostopadłe do trzech pierwszych. Te cztery ciągi sondowań (ryc. 3), wytyczane z wykorzystaniem teodolitu oraz taśmy stalowej miały łączną długość 12 km. Harmonogram prac pozwolił na dostosowywanie lokalizacji ciągów pomiarowych do budowy geologicznej oraz położenia uskoku. Rozstaw elektrod A i B dochodził do 1 500 m. W pomiarach wykorzystano polowy kompensator elektronowy typu PKE, linie pomiarowe i zasilające z kabli typu Glx, elektrody stalowe i miedziane oraz źródło zasilania w postaci suchych baterii anodowych. Zbliżone komponenty wykorzystuje się we współcześnie produkowanych systemach pomiarowych *VES*.

Na rycinie 3 przedstawiono reinterpretację jednego fragmentu głównego przekroju geoelektrycznego nr 1 (o długości ~2 km i głębokości prospekcji ~150 m) przy otworach nr: 2, 3 i 8. Otwór nr 3 aktualnie wykorzystywany jest jako studnia głębinowa. Przekroje geoelektryczne stanowią finalny rezultat prac interpretacyjnych wielu wyników pojedynczych pionowych sondowań elektrooporowych w postaci krzywych opornościowych. Reinterpretowany przekrój geoelektryczny zestawiono z przykładowym przekrojem hydrogeologicznym, który mógłby być wykonany w przypadku braku znajomości wyników badań geofizycznych. Z powodów m.in. aspektów finansowych zrealizowane badania dla celów hydrogeologicznych w takiej skali nie są, nawet współcześnie, często spotykane.



Ryc. 3. Lokalizacja badań VES na tle mapy topograficznej

Źródło: zmodyfikowano w oparciu o opracowanie PPG (1968)

Wyniki badań

Rezultaty przeprowadzonych pionowych sondowań elektrooporowych stanowią jednowymiarowe krzywe oporności pozornej w funkcji długości rozstawu elektrod „prądowych” (AB/2). W analizowanym odcinku ciągu badań VES zrealizowano 12 takich sondowań, z których trzy to sondowania parametryczne, tzn. wykonane w pobliżu otworów wiertniczych (nr: 2, 3 i 8).

Zestawienie wyników sondowań elektrooporowych z profilem wiertniczym jest dużą zaletą przeprowadzonych badań, ponieważ wyniki *VES* nie zawsze są jednoznaczne (Stenzel i Szymanko 1973, Tarnowski 2020). Istotnym uzupełnieniem tego typu badań mógłby być także karoż elektryczny (Stenzel i Szymanko 1973).

Dane zarejestrowane, w trakcie pomiarów terenowych, poddano etapowemu przetwarzaniu z wykorzystaniem specjalistycznych procedur, czego efektem było uzyskanie najpierw wyinterpretowanej i przetworzonej krzywej *VES* (oporności pozornej w funkcji rozstawu AB), a następnie wartości oporności w przedziale głębokości (profili geoelektrycznych). Rycina 4 przedstawia dwa wynikowe wykresy tego samego sondowania elektrooporowego z przetwarzaniem krzywej *VES*, wykonanego w środkowej części analizowanego ciągu pomiarowego przy otworze OW-3.

Pierwszy wykres z ryc. 4 obejmuje pierwotnie wykonaną interpretację, natomiast drugi jego aktualną reinterpretację. Między obiema interpretacjami minęło wiele lat, co przekłada się na zastosowanie różnych technik interpretacyjnych. Pierwsza odbyła się poprzez „dopasowanie” krzywej pomiarowej do zestawu krzywych teoretycznych. Druga natomiast jest efektem inwersji wykonanej w programie *IPI2win*. Zauważalne różnice w interpretacji dotyczą głębokości położenia granic między warstwami litologicznymi (skorelowanymi z przetworzoną krzywą *VES*), miąższości warstw oraz szczegółowości uzyskanego obrazu opornościowego w górnej i dolnej strefie sondowania.

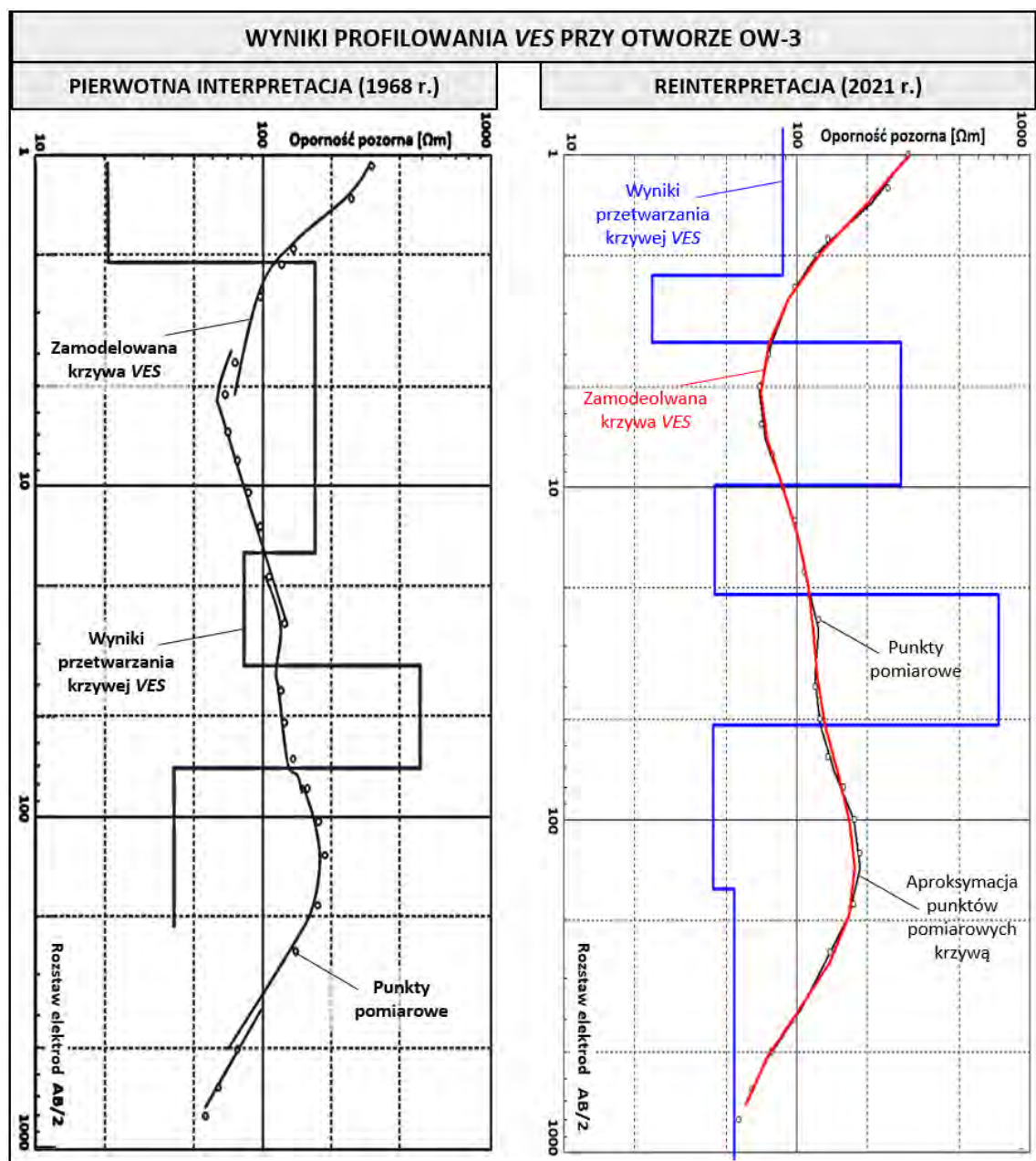
Dzięki połączeniu 12. wykonanych profili geoelektrycznych w analizowanym fragmencie ciągu otrzymano przekrój geoelektryczny (ryc. 5.B). Dla uwypuklenia korzyści płynących z wykonanych badań geofizycznych na ryc. 5.A przedstawiono zgeneralizowany przekrój geologiczny, który wykonano wyłącznie w oparciu o profile wierceń pozyskane z Narodowego Archiwum Geologicznego.

W budowie geologicznej analizowanego obszaru można wskazać ility, ility piaszczyste i margle na rzędnych 150–160 m n.p.m. (głębokości poniżej ~70 m) jury środkowej. Powyżej położone są zawodnione utwory jury górnej – wapienie skaliste i płytowe, gdzie mogą rozwijać się procesy szczelinowania i krasu. Bliżej stropowej powierzchni obecne są także górnourajskie spoiste utwory zwietrzelinowe oraz wapienie margliste, które napinają zwierciadło wód podziemnych. Stropowa powierzchnia górnourajskich utworów różnicuje się ± 20 m, tworząc w rejonie otworu nr 2 wyniesienie.

Powierzchniowo zalegające utwory czwartorzędowe mają miąższość 20–30 m i w południowo-wschodnim rejonie (otwory nr 1 i 2) to głównie grunty gliniaste i piaszczyste, natomiast w północno-zachodniej części opisywanego przekroju znajdują się głównie utwory piaszczyste. W pierwszym rejonie występuje kilka lokalnych zwierciadeł wód gruntowych, natomiast w drugim rejonie obecne jest najczęściej jedno. Najmniejszy stopień izolacji głównego użytkowego górnourajskiego poziomu wodonośnego znajduje się w pobliżu otworu nr 2.

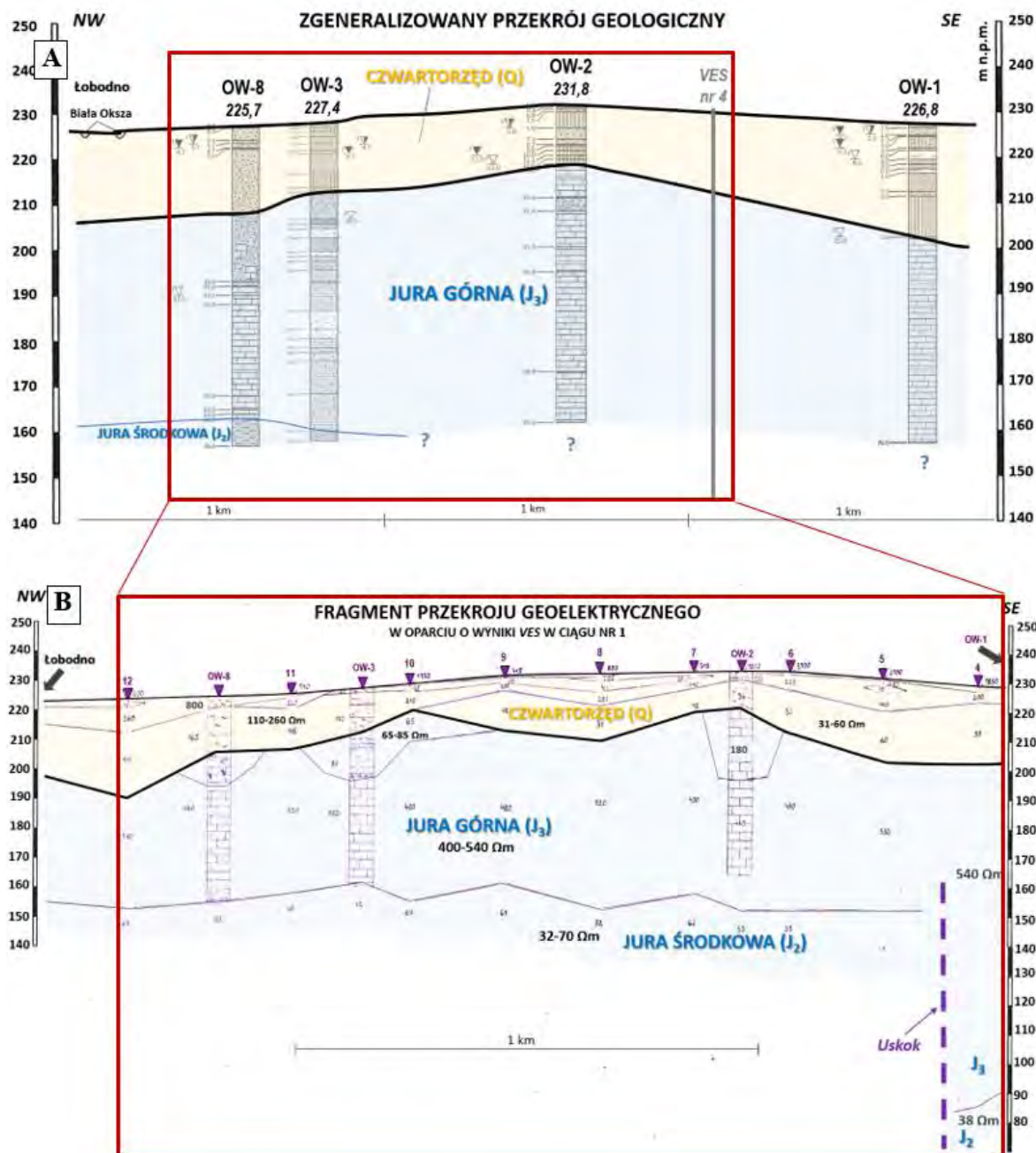
Przeprowadzone sondowania *VES* umożliwiły uszczegółowienie budowy geologicznej oraz zwiększenie jego głębokości rozpoznania, co jest szczególnie istotne w ośrodku: (i) o zmieniającej się strukturze wynikającej z genezy, (ii) zróżnicowanym litologicznie, (iii) w którym występują procesy szczelinowania i krasowania, (iv) oraz zaangażowanego tektonicznie.

Reinterpretacja pionierskich badań z wykorzystaniem pionowych sondowań elektrooporowych...



Ryc. 4. Zestawienie przykładowej interpretacji wyników profilowania VES przy OW-3 w Łobodnie z aktualną reinterpretacją

Źródło: zmodyfikowano w oparciu o opracowanie PPG (1968)



Ryc. 5. Przekrój geologiczny na analizowany odcinku (A);
fragment przekroju geoelektrycznego w rejonie Łobodna (B)

Źródło: zmodyfikowano w oparciu o opracowanie PPG (1968)

Przekrój geoelektryczny przedstawiony na ryc. 5.B odślania:

- bardziej zróżnicowaną powierzchnię stropową niż zgeneralizowany przekrój geologiczny (ryc. 5.A), gdzie między otworami nr 2 i 3, w rejonie sondowania VES nr 8 można wyszczególnić kilkunastometrowe zagłębienie erozyjne górnourajskich wapieni

wypełnione utworami spoistymi, na których położone są utwory piaszczyste przewarstwione glinami. Podobna sytuacja występuje w pobliżu sondowania nr 12, aczkolwiek wartości opornościowe wskazują na bardziej dominujący udział utworów piaszczystych. Wyniesienia i obniżenia stropu zawodnionych utworów górnourajskich mogą korespondować z występowaniem systemów otwartych szczelin powodujących wysokie wydajności studni, tak jak ma to miejsce np. w przypadku pozytywnej próby ujęcia wód podziemnych otworem nr 2 i negatywnej próby w przypadku otworu nr 1;

- obecność uskoku w utworach jurajskich między otworem nr 1 i 2 oraz między sondowaniem *VES* nr 4 i 5. Ta obecność uskoku potwierdzona jest, udokumentowanymi w tym rejonie, innymi uskokami (Hermański i in. 2005);
- oszacowanie utworów poniżej głębokości wierceń (ok. 70 m) – zasięg prospekcji 100–150 m. Dzięki temu w przypadku wiercenia nr 2 stwierdzono występowanie stropu środkowourajskich margli, a dalej na południowy-wschód zmianę miąższości wapieni górnourajskich związaną z wcześniej wymienioną dyslokacją;
- w glinach czwartorzędowych, udział innych gruntów (oporność wzrasta wraz z ilością piasku, żwiru oraz rumoszu). Natomiast w utworach górnourajskich wykorzystana metoda pozwoliła na zgeneralizowane wykrycie zwietrzeliny wapieni, obecności margli czy dyslokacji w postaci obniżonych wartości oporności. W tab. 2 przedstawiono zmienność litologiczną utworów na badanym obszarze w nawiązaniu do ich charakterystyk opornościowych. W odniesieniu do literaturowych zestawień i archiwalnych charakterystyk opornościowych najczęściej spotykanych w Polsce można stwierdzić, że zarejestrowane wyniki mieszczą się w ich zakresach.

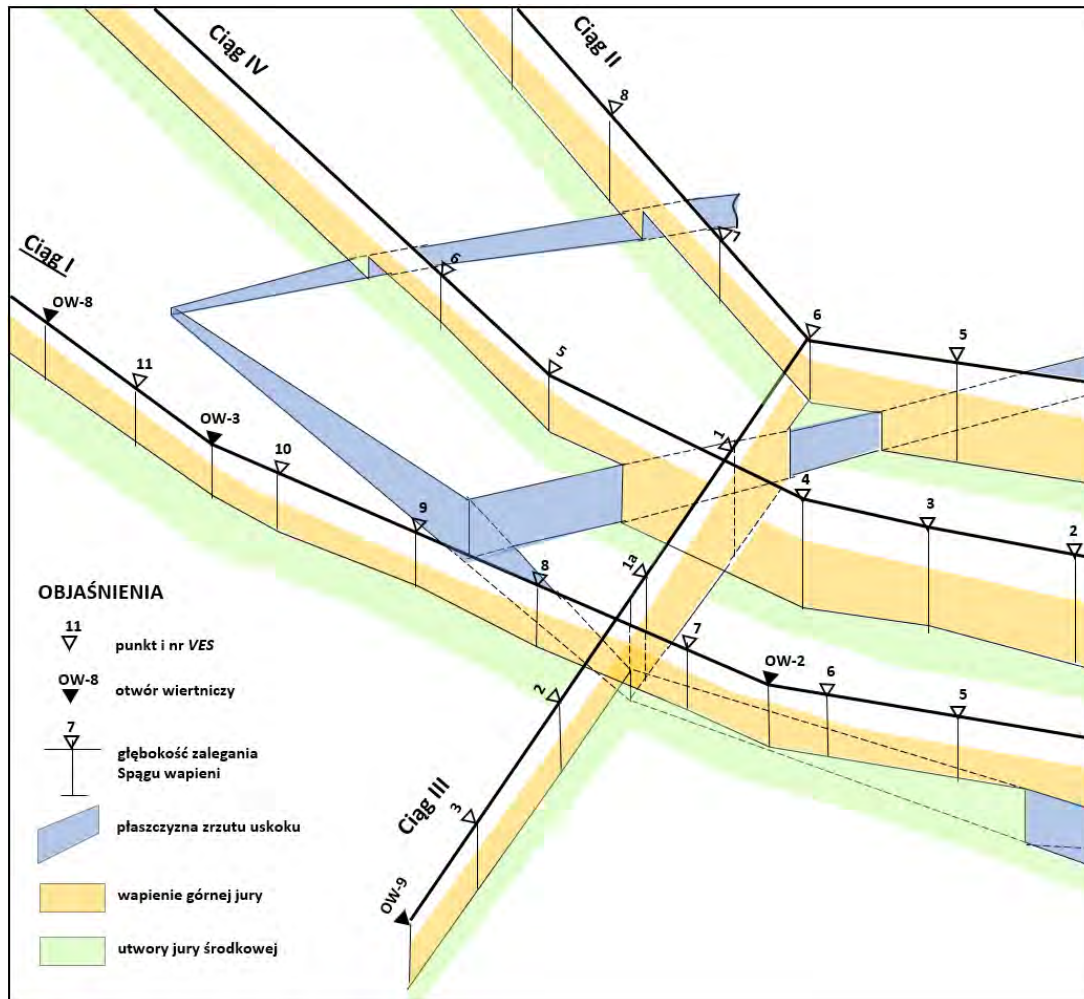
Tab. 2. Wyniki prospekcji geoelektrycznej na tle literaturowych i archiwalnych wartości oporności wybranych gruntów, skał i innych mediów

RODZAJ OSADU (MEDIUM)		OPORNOŚĆ ELEKTRYCZNA [Ω m]		
		Literaturowe wartości (Tarnawski i in. 2020 za Vogelsang 1995)	Najczęściej spotykane w Polsce (Stenzel i Szymanko 1973)	Północno-zachodni region Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (Łobodno)
Piaski, w tym z domieszką żwirów		200–1 000 <i>90–250</i>	250–10 000 <i>80–350</i>	150–kilka tysięcy
Piaski pylaste, piaski gliniaste, gliny piaszczyste i gliny		30–250 <i>15–110</i>	35–80	22–170
Wapień	szczelinowate	1 000–3 000 <i>50–250</i>	>300 <300	65–140
	słabo szczelinowate	200–800 <i>100–600</i>		150–600
Iły		10–20 <i>5–10</i>	<30	20–80
Margle		–	20–300	

Objaśnienia: wartości podane bez kursywy dotyczą strefy aeracji, *kursywą dotyczą strefy saturacji*

Źródło: w oparciu o opracowania PPG 1968, Stenzel i Szymanko 1973, Tarnawski i in. 2020.

Zastosowana metoda pionowych sondowań elektrooporowych znacząco uszczegóławia rozpoznanie geologiczne, co wyraźnie widać przy porównaniu przekroju geologicznego z przekrojem geoelektrycznym na ryc. 5. Wykonana szczegółowa analiza wyników oraz dokładna interpretacja pozwala na przestrzenne ilustrowanie zmienności budowy geologicznej (ryc. 6). Na obszarze badań połączenie to pozwoliło wykazać występowanie uskoku.



Ryc. 6. Archiwalne przestrzenne zestawienie przekrojów geoelektrycznych opartych o wyniki pionowych sondowań elektrooporowych w rejonie Łobodna

Źródło: zmodyfikowano w oparciu o opracowanie PPG (1968)

Podsumowanie

Jedne z pierwszych badań z wykorzystaniem pionowych sondowań elektrooporowych w Polsce (wykonanych przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych w 1968 r.) przeprowadzonych w rejonie m. Łobodno, k. Częstochowy objęły duży obszar rozszerzając i uszczegóławiając dotychczasowe rozpoznanie budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych na podstawie wierceń. Rejon ten jest położony w granicach Głównego Zbiornika Wód Podziemnych

nr 326 Częstochowa (E). Pomimo tego, z powodu złożonej budowy geologicznej i występujących dyslokacji, nie wszystkie wiercenia rozpoznawczo-badawcze mogły być wykorzystane jako komunalne studnie głębinowe ujmujące górnourajski poziom wodonośny.

Badania elektrooporowe umożliwiły m.in.: (i) zwiększenie głębokości rozpoznania z ok. 70 m do 100–150 m p.p.t., (ii) uszczegółowienie głębokości zalegania różnych utworów litologicznych wraz z oszacowaniem relifu ich stropu, (iii) wskazanie zmienności litologiczno-strukturalnej w obrębie samych wydzieli, (iv) lokalizację większych dyslokacji, (v) dokładniejsze opisanie warunków przepływu czwartorzędowych oraz górnourajskich wód podziemnych.

Przeprowadzona analiza archiwalnych wyników badań wskazuje na dużą przydatność pomiarów elektrooporowych w rozpoznaniu ośrodka geologicznego, a połączenie kilku metod badań pozwala uzyskać bardziej wiarygodne odwzorowanie rzeczywistych warunków geologicznych.

Bibliografia

- Bednarek J., Haisig J., Lewandowski J., Wilanowski S., 1992, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski arkusz Kłobuck*, PIG–PIB, Warszawa.
- Castany G., 1972, *Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych*, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Dziuk M., Będkowski Z., 1997, *Mapa Hydrogeologiczna Polski – arkusz Kłobuck*, PIG–PIB, Warszawa.
- Hermański S., Nikiel G., Hermańska-Nikiel D., 2005, *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne dla wielootworowego ujęcia wód podziemnych z utworów jury górnej w rejonie Łobodna koło Kłobucka*, Geobios, Częstochowa.
- Kaziuk H., Nowak B., 2014, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski – arkusz Ostrowy*, PIG–PIB, Warszawa.
- Kirsch R., 2006, *Groundwater Geophysics. A Tool for Hydrogeology*, Druga edycja, Springer, Berlin.
- Kondracki J., 2000, *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Liszka P., Guzik M., Zembal M., 2000, *Mapa Hydrogeologiczna Polski – arkusz Ostrowy*, PIG–PIB, Warszawa.
- Liszka P., Guzik M., Pacholewski A., 2006, *Mapa Hydrogeologiczna Polski – Pierwszy poziom wodonośny, arkusz Ostrowy*, PIG–PIB, Warszawa.
- Loke M.H., 2004, *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*, https://sites.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/loke_course_notes.pdf (dostęp: 22.08.2021).
- Marciniak A., Kowalczyk S., Gontar T., Owoc B., Nawrot A., Luks B., Cader J., Majdański M., 2021, *Integrated geophysical imaging of a mountain landslide – a case study from the Outer Carpathians, Poland*, *Journal of Applied Geophysics*, 191.
- Mieszkowski R., Kowalczyk S., Barański M., Szczepański T., 2014, *Zastosowanie metod geofizycznych do rozpoznania powierzchni stropowej gruntów słaboprzepuszczalnych oraz wyznaczenia stref rozluźnienia w korpusie zapory ziemnej*, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 86: 167–180.

- Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych, 1968, *Dokumentacja badań geoelektrycznych – temat: Łobodno*, Warszawa.
- Reynolds J.M., 2011, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Druga edycja, Wiley-Blackwell, Chichester.
- Rodzoch A., Kuśmierz A., Sawicka-Siarkiewicz H., Borzyszkowski J., Bestyński Z., Dobkowska A., Górka J., Kruk L., Leśniak J., Oficjalska H., Pacholewski A., Tkaczyk A., 2006, *Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad – poradnik metodyczny*, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Schlumberger C., 1920, *Etude sur la Prospection Electrique du Sous-sol.*, Gauthier-Vilars, Paris.
- Stenzel P., Szymanko J., 1973, *Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich*, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Tarnawski M., Frankowski Z., Godlewski T., Kłosiński J., Mieszkowski R., Nowosad A., Saloni J., Słabek A., Szczepański T., Ura M., Wierzbicki J., Wójcik M., 2020, *Badanie podłoża budowli – metody polowe*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- Topolewska S., Stępień M., Kowalczyk S., 2016, *Mapping of the north-eastern part of Kozłowska buried valley based on geoelectrical data*, *Studia Quaternaria*, 33(2): 91–101.
- Wenner F., 1916, *A method of measuring earth resistivity*, *Bulletin of US Bureau of Standards*, 12: 469–478.
- Vogelsang D., 1995, *Environmental geophysics – a practical guide*, Springer-Verlag, Berlin.

dr hab. Krzysztof Dragon, prof. ucz.¹
prof. dr hab. Tomasz Zieliński¹

PROBLEMATYKA HYDROGEOLOGICZNA W CZASOPIŚMIE GEOLOGOS

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.07>

Streszczenie: W artykule zaprezentowano jedno z nielicznych polskich czasopism naukowo-badawczych *Geologos* dedykowane zagadnieniom geologicznym i hydrogeologicznym. Po krótkim streszczeniu historii czasopisma przedstawiono współcześnie obowiązujące zasady publikowania wraz z procesem recenzyjnym, publikacyjnym, dystrybucji i zasad rozpowszechniania jakie obowiązują w *Geologosie*. Opisano także profil czasopisma wraz z omówieniem geograficznego rozkładu obiektów badanych i opisywanych w czasopiśmie. Na tym tle przedstawiono rozkład tematyczny artykułów w *Geologosie* ze szczegółowym omówieniem tematyki hydrogeologicznej w artykułach naukowych publikowanych w okresie ostatnich 5 lat.

Słowa kluczowe: hydrogeologia, *Geologos*, czasopismo naukowe, trendy badawcze.

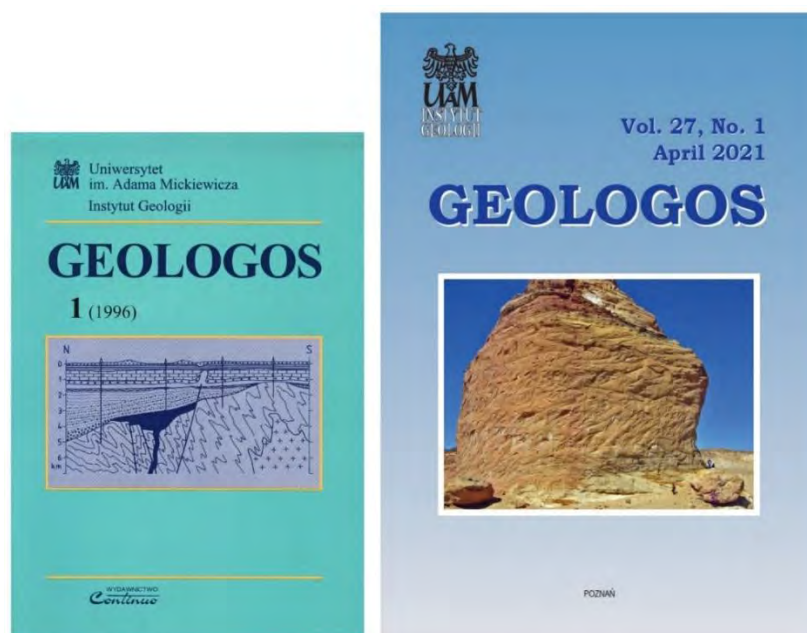
Wprowadzenie

Polscy hydrogeolodzy mają jedno polskojęzyczne czasopismo skoncentrowane na tematyce wód podziemnych (*Hydrogeologia*). Na świecie, owszem, istnieje kilka tytułów czasopism poświęconych zagadnieniom hydrogeologicznym. Wymienić tu należy chociażby *Hydrogeology Journal* (sztandarowe czasopismo międzynarodowej asocjacji hydrogeologów – IAH), czy *Groundwater*. Są to najczęściej periodyki „z najwyższej półki”, tj. rangi Journal Citation Reports (JCR czyli tzw. lista filadelfijska). Każdy artykuł tam opublikowany jest dla badacza, szczególnie polskiego, nobilitacją. Jednak na liście filadelfijskiej świat nauki nie kończy się. Najczęściej zajmujemy się bowiem problemami regionalnymi, a nasze publikacje interesują głównie czytelnika krajowego. Wróćmy więc na grunt polskiej nauki i z tej perspektywy prześledźmy profil czasopisma *Geologos*.

Rys historii i współczesności czasopisma *Geologos*

Pierwszy numer czasopisma ukazał się w 1996 roku, w sześć lat po powstaniu Instytutu Geologii Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W końcu ubiegłego wieku autorzy publikowanych prac wywodzili się głównie z macierzystej uczelni czasopisma. Zwykle wychodził wówczas jeden tom na rok. Oprócz prac w języku polskim pojawiały się już również teksty po angielsku. Obok tomów składających się z artykułów, wydawana była też seria *Geologos Monographiae*, zawierająca obszernie opracowania monograficzne. Przełom nastąpił w 2008 roku, gdy *Geologos* zmienił swą szatę graficzną i zaczął być wydawany w większym formacie (ryc. 1).

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geologii, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań, geologos@amu.edu.pl, ORCID 0000-0001-5767-0783, ORCID 0000-0001-9018-0276



Ryc. 1. Okładka czasopisma *Geologos* (objaśnienia w tekście)

Źródło: materiały własne

Po roku odstąpiono od zasady publikowania prac w języku polskim, koncentrując się na artykułach angielskojęzycznych. Obecnie, co roku ukazują się trzy numery czasopisma. Każdy numer oprócz oryginalnych studiów (*research papers*) zawiera recenzje książek geologicznych ukazujących się aktualnie na rynku. Publikowane są również artykuły informacyjne – sprawozdania z konferencji, a także krótsze artykuły będące dyskusjami lub polemikami naukowymi (dział *Miscellaneous*). Redakcja otwarta jest również na publikacje numerów specjalnych (*Special Issue*), co najczęściej odbywa się jako pokłosie konferencji.

Proces recenzyjny artykułów

Redakcja przyjęła zasadę, że każdy manuskrypt poddawany jest dwóm recenzjom. Staramy się, aby jeden recenzent zawsze był krajowy, natomiast drugi zagraniczny. Recenzenci są anonimowi dla autorów prac. Pod koniec każdego roku publikujemy wykaz recenzentów w ramach zbiorowego podziękowania. Redakcja dba o to, by recenzje były fachowe i sprawiedliwe, a z drugiej strony – przyjazne autorom manuskryptów.

Proces publikacyjny

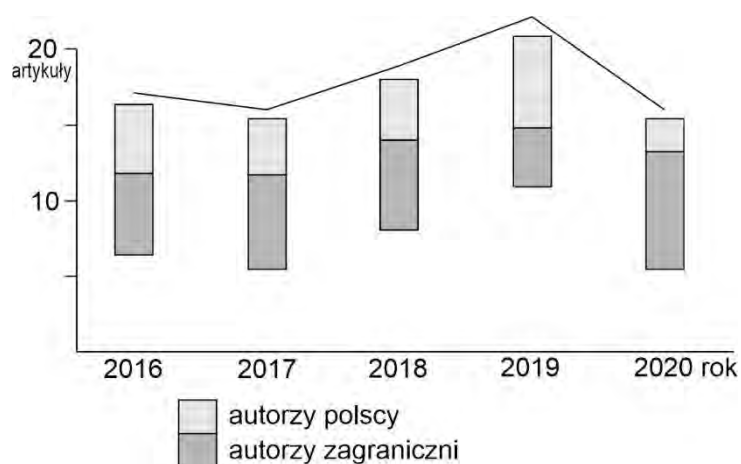
Zaaprobowane do druku manuskrypty poddawane są edycji redaktorskiej. Niedociągnięcia lingwistyczne poprawiane są przez redaktora językowego – doświadczonego zagranicznego geologa. Czasopismo *Geologos* gwarantuje tę usługę bezpłatnie. Dbamy również o wysoki poziom szaty graficznej publikowanych artykułów poprzez odpowiednie programy poprawiające jakość figur i fotografii. Wciąż trzymamy się zasady dostarczania autorom drukowanych wersji czasopisma wraz z nadbitkami.

Rozpowszechnianie artykułów

Zawartość czasopisma *Geologos* jest powszechnie dostępna w wersji elektronicznej (status *open access*). Widoczność publikacji na „rynku nauki” to niezwykle istotny problem będący w gestii naszej redakcji. Wszystkie publikowane artykuły znajdują się w bazie *Web of Science* oraz *Scopus*. Te dwie bazy są powszechnie uznawane przez naukowców na całym świecie jako podstawowe narzędzia bibliograficzne. Kolejne wydania czasopisma są oczywiście dostępne na stronie internetowej (www.geologos.com.pl), a ponadto publikowane w pełnych wersjach na platformie renomowanego wydawcy publikacji naukowych De Gruyter – portal Sciendo (sciendo.com/pl). Drukowane wersje czasopisma rozsyłane są do bibliotek wszystkich ośrodków naukowych w Polsce oraz najważniejszych ośrodków akademickich Europy. Redakcja dba również o bardziej indywidualną dystrybucję treści czasopisma. Informacja o publikacji każdego artykułu *Geologos* rozsyłana jest do naukowców w kraju i za granicą, którzy opublikowali prace na ten sam lub podobny temat.

Profil czasopisma w okresie ostatnich pięciu lat

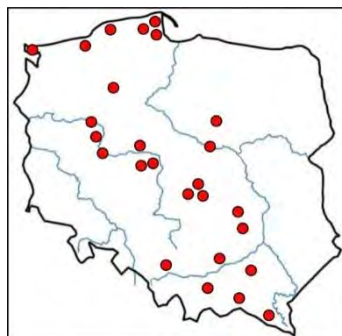
Każdego roku w czasopiśmie *Geologos* publikowanych jest od 15. do 25. artykułów naukowych. Co ciekawe, autorzy zagraniczni najczęściej przeważają nad krajowymi (ryc. 2). Wynika to niewątpliwie z tendencji do publikowania wyników badań w czasopismach spoza granic własnego kraju. Redakcja *Geologos* pragnie odwrócić tę tendencję, gdyż uważamy, że na terenie Polski wciąż istnieje wiele nierozwiązanych problemów geologicznych, a ponadto – chcemy, by *Geologos* był czasopismem w pierwszej kolejności poczytnym w Polsce.



Ryc. 2. Autorstwo publikacji w czasopiśmie

Źródło: opracowanie własne

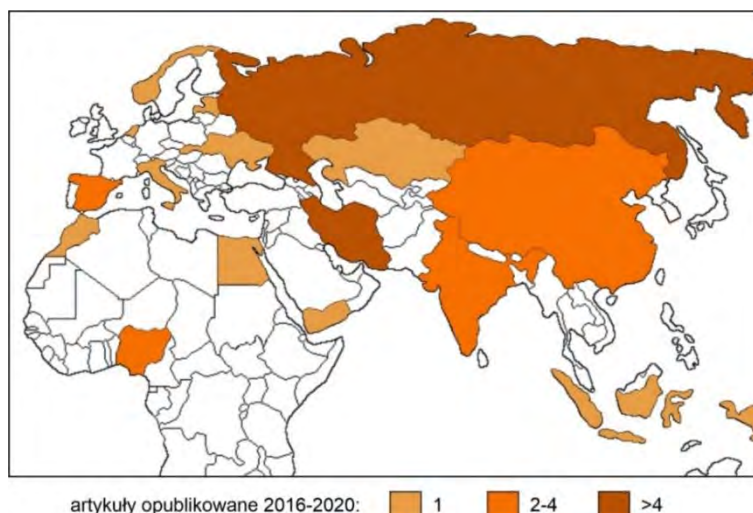
Geograficzny rozkład obiektów badanych i opisywanych w czasopiśmie z obszaru Polski (ryc. 3) nie wykazuje jakiegokolwiek regionalizacji publikowanych badań. Pod tym względem *Geologos* jest ogólnokrajowy.



Ryc. 3. Geograficzny rozkład obiektów badanych i opisywanych w czasopiśmie z obszaru Polski

Źródło: opracowanie własne

Jeżeli popatrzymy na mapę opracowań zagranicznych (ryc. 4), to widać, że oprócz Europy publikowane badania obejmują sporą część Azji, a nawet Afrykę. Znacząca liczba studiów poświęcona jest rejonom o stosunkowo słabym rozpoznaniu geologicznym. Takie odkrywane *terra incognita* to Nigeria, wielkie przestrzenie Rosji, Chin, Indii i Iranu, a nawet Hiszpania. Liczne artykuły z Chin i Indii to również odwzorowanie trendu widocznego w całej światowej bibliografii geologicznej – istniej inwazji publikacji z tych rejonów świata.



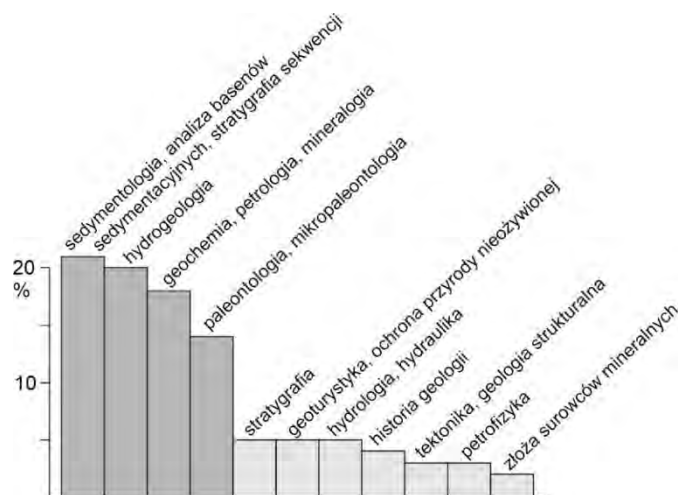
Ryc. 4. Przestrzenny rozkład liczby autorów zagranicznych

Źródło: opracowanie własne

A jak wygląda rozkład tematyczny artykułów w *Geologos*? Wykres (ryc. 5) jednoznacznie pokazuje rozdział na dwie zasadnicze grupy. Najpopularniejsze działy tematyczne to: sedymenologia, hydrogeologia, geochemia z petrologią i mineralogią, paleontologia. Wszelkie inne działy (włącznie ze stratygrafią, tektoniką i petrofizyką) reprezentowane są w wyrażnie mniejszym stopniu.

O zainteresowaniu hydrogeologów czasopismem *Geologos* niech świadczą chociażby wybrane statystyki z ostatnich 5. lat publikacji czasopisma (lata 2016–2021). Ukazało się w tym

czasie 16 numerów czasopisma, w których znalazło się 21 artykułów o tematyce hydrogeologicznej. Spośród wymienionych 16. numerów czasopisma, 2 poświęcone były wyłącznie problematyce wód podziemnych (*special issue*). W analizowanych latach w czasopiśmie zamieszczono też kilka recenzji książek o tematyce „wodnej”.



Ryc. 5. Tematyka artykułów publikowanych w czasopiśmie

Źródło: opracowanie własne

Tematyka artykułów w zakresie hydrogeologii jest bardzo zróżnicowana i dotyczy praktycznie wszystkich aspektów hydrogeologii. Wiele artykułów poświęconych było zagadnieniom infiltracji brzegowej i to zarówno w aspekcie kolmatacji dna koryta rzecznej w warunkach eksploatacji ujęć (Kaczmarek 2017, Przybyłek i in. 2017) jak i w aspekcie zmienności chemizmu wód w warunkach infiltracji brzegowej (Górski i in. 2021), czy też w aspekcie naturalnego uzdatniania wód w warunkach zasilania infiltracyjnego różnych typów infiltracyjnych ujęć wód (Górski i in. 2018). Duża liczba artykułów poświęcona była tematyce modelowania matematycznego przepływu wód podziemnych. Artykuły te dotyczyły przede wszystkim analizy warunków krążenia wód (Dendys i in. 2018; Hoc i in. 2018, 2019; Kordalski i Sadurski 2018; Zdechlik i Kałuża 2019), modelowania transportu zanieczyszczeń (Sieczka i in. 2018, Pietrzak i in. 2019), czy też wykorzystania metod modelowania matematycznego do określania dopływu wód do kopalń cynku i ołowiu (Juško i in. 2018) oraz modelowania warunków zasilania płytkich wód podziemnych (Graf i Przybyłek 2018). Publikowane były również artykuły dotyczące oceny warunków krążenia wód podziemnych (Jamorska i in. 2019). W ostatnim czasie z coraz większą popularnością publikowane są artykuły dotyczące nowo pojawiających się zanieczyszczeń w wodach podziemnych, np. farmaceutyków (Kuczyńska 2019, Okońska 2019) oraz wykorzystania nowych metod badań hydrogeologicznych, w tym nowych metod oceny niepewności wyników analiz składu chemicznego (Wątor i in. 2019), czy też wykorzystania metod teledetekcji do oceny ryzyka wystąpienia i zasięgu powodzi (Solovey 2019). Liczne są też artykuły dotyczące wykorzystania metod izotopowych w hydrogeologii (Duliński i in. 2019, Kotoski i Satora 2016, Leśniak i Wilamowski 2019).

Bibliografia

- Dendys M., Szczepański A., Tomaszewska B., 2018, *Groundwater circulation in the Miechów Trough and the central part of the Carpathian Foredeep (Poland): a hydrogeological conceptual model*, Geologos, 24(3): 177–187.
- Duliński M., Gorczyca Z., Marzec M., Czub R., Brudnik K., 2019, *Radiocarbon dating of groundwater from a PZ-2 piezometer located in the foreground of Wieliczka Salt Mine, Poland*, Geologos, 25(3): 187–192.
- Górski J., Dragon K., Kruć R., 2018, *A comparison of the efficiency of riverbank filtration treatments in different types of wells*, Geologos, 24(3): 245–251.
- Górski J., Dragon K., Kruć-Fijałkowska R., Matusiak M., 2021, *Assessment of river water infiltration conditions based on both chloride mass-balance and hydrogeological setting: the Krajkowo riverbank filtration site (Poland)*, Geologos, 27(1): 35–41.
- Graf R., Przybyłek J., 2018, *Application of the WetSpa simulation model for determining conditions governing the recharge of shallow groundwater in the Poznań Upland, Poland*, Geologos, 24(3): 189–205.
- Hoc R., Sadurski A., Wiśniowski Z., 2018, *A groundwater flow model for the Wolin Island area, including glaciotectionic deformation*, Geologos, (24)3: 207–216.
- Hoc R., Sadurski A., Wiśniowski Z., 2019, *Possibilities of safe yield increase in the Wydrzany well field (Uznam Island, Poland) by surface water from a drainage system*, Geologos, 25(3): 263–270.
- Jamorska I., Kubiak-Wójcicka K., Krawiec A., 2019, *Dynamics of the status of groundwater in the Polish Lowland: the River Gwda catchment example*, Geologos, 25(3): 193–204.
- Juśko K., Motyka J., d'Obyrn K., Adamczyk Z., 2018, *Construction of a numerical groundwater flow model in areas of intense mine drainage, as exemplified by the Olkusz Zinc and Lead Ore Mining Area in southwest Poland*, Geologos, 24(3): 237–244.
- Kaczmarek P., 2017, *Hydraulic conductivity changes in river valley sediments caused by river bank filtration – an analysis of specific well capacity*, Geologos, 23(2): 123–129.
- Kordalski Z., Sadurski A., 2018, *Groundwater flow modelling of main groundwater reservoirs in the Gdańsk region, Poland*, Geologos, 24(3): 217–224.
- Kotowski T., Satora S., 2016, *Isotope characterisation of deep aquifers in the Gwda catchment, northern Poland*, Geologos, 22(2): 137–147.
- Kuczyńska A., 2019, *Presence of pharmaceutical compounds in groundwater with respect to land use in the vicinity of sampling sites*, Geologos, 25(3): 231–240.
- Leśniak P., Wilamowski A., 2019, *The $\delta^{18}O$ and δD isoscapes of recent groundwater in Poland*, Geologos, 25(3): 205–211.
- Okońska M., Marciniak M., Zembrzuska J., Kaczmarek M., 2019, *Laboratory investigations of diclofenac migration in saturated porous media – a case study*, Geologos, 25(3): 213–223.
- Pietrzak D., Kania J., Kmiecik E., Wątor K., 2019, *Identification of transport parameters of chlorides in different soils on the basis of column studies*, Geologos, 25(3): 225–229.

- Przybyłek J., Dragon K., Kaczmarek P., 2017, *Hydrogeological investigations of river bed clogging at a river bank filtration site along the River Warta, Poland*, *Geologos*, 23(3): 201–214.
- Sieczka A., Bujakowski F., Koda E., 2018, *Modelling groundwater flow and nitrate transport: a case study of an area used for precision agriculture in the middle part of the Vistula River valley, Poland*, *Geologos*, 24(3): 225–235.
- Solovey T., 2019, *An analysis of flooding coverage using remote sensing within the context of risk assessment*, *Geologos*, 25(3): 241–248.
- Wątor K., Kmieć E., Postawa A., Rusiniak P., 2019, *A probabilistic approach to assessment of the quality of drinking water*, *Geologos*, 25(3): 249–254.
- Zdechlik R., Kałuża A., 2019, *The FEM model of groundwater circulation in the vicinity of the Świniarsko intake, near Nowy Sącz (Poland)*, *Geologos*, 25(3): 255–262.

ARTYKUŁY TEMATYCZNE

Hydrotechnika

mgr inż. Damian Świdorski¹
dr inż. Florian G. Piechurski¹

OCENA SPOSOBÓW OBNIŻENIA STRATY WODY NA PRZYKŁADZIE PWiK W A

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.08>

Streszczenie: Przedstawione zostały sytuacje związanej ze stratami wody w PWiK w A. Analizowano różnorodne czynniki wpływające na objętość traconej wody oraz metody zmniejszania strat w analizowanym przedsiębiorstwie, takie jak zmiana struktury wiekowej, materiałowej oraz długość sieci wodociągowej i przyłączy w ciągu 7. lat. Przeanalizowano liczby awarii w sieci wodociągowej i przyłączach. Poziom strat wody zmniejszył się z 43. do 26,6%, a celem przedsiębiorstwa jest osiągnięcie poziomu 8–12%.

Słowa kluczowe: sieć wodociągowa, długość, materiały, straty, ocena strat wody, metody obniżania strat.

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono sytuacje związane ze stratami wody w przykładowym PWiK w A. Analizie poddano różne czynniki wpływające na wielkość strat wody, jak również metody zmniejszania ich. Przeanalizowano także liczby awarii w sieci wodociągowej i przyłączach.

Problem strat wody występuje w każdym przedsiębiorstwie wodociągowym na świecie. Obliczane są one jako różnica objętości wody wtłoczonej do sieci i objętości wody sprzedanej użytkownikom oraz zużytej do potrzeb zakładu wodociągowego – są znaczne (Zygmanowski 1957). W ostatnich dwóch dekadach XX w. nieprawidłowo gospodarowano wodą i ją marnotrawiono, nie zastanawiano się, jak wielki udział zużywanej wody stanowią straty.

Od ok. 30. lat ogólne zużycie wody systematycznie spada, liczba odbiorców przyłączanych do systemów wodociągowych z roku na rok wzrasta, objętość sprzedawanej zafakturowanej wody spada przy pogłębianiu wielkości strat wody. Przedstawiona sytuacja zmusiła przedsiębiorstwa do walki z zaistniałym problemem oraz obniżania strat wody, zmniejszenia różnicy między zakupioną, wyprodukowaną wodą a sprzedaną (Mutikanga i in. 2013).

Poznanie przyczyn wycieków wody, ich wysokości oraz ciągłe działanie na rzecz ich ograniczenia jest jednym z głównych celów zakładów wodociągowych. Straty wody są podstawą oceny poprawności działania sieci i dlatego właściwe określenie ich wartości warunkuje prawidłową eksploatację systemu wodociągowego. W każdym, nawet bardzo poprawnie działającym systemie dystrybucji, pewna objętość wody wtłoczonej jest tracona i zakłady nie uzyskują przychodów z jej sprzedaży. Poważnym problemem są jednak straty wody stanowiące wysoki procent wody wtłaczanej do sieci. Dlatego też bardzo ważne jest szybkie lokalizowanie i usuwanie wycieków w celu ograniczenia ich do minimalnego poziomu charakterystycznego dla danego systemu dystrybucji wody. Jest to konieczne w celu oszczędzania zasobów wody oraz pozwala na zmniejszenie kosztów jej dostawy (Ferrari i Sawic 2015, EEA 2012, Clarke i in. 2012, Piechurski i Mierzwa 2020).

¹ Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, florian.piechurski@polsl.pl, ORCID 0000-0001-8065-962X

Charakterystyka strat wody

Charakterystyka strat wody w przedsiębiorstwie powinna zawierać informacje na temat objętości wody sprzedanej przez przedsiębiorstwo, objętości wody zużytej przez przedsiębiorstwo (w celach produkcji wody, płukania sieci itp.) oraz strat wody.

Straty wody dzielą się na rzeczywiste i pozorne.

Straty rzeczywiste: określane są najczęściej w przedsiębiorstwach wodociągowych na podstawie różnicy rocznego bilansu całkowitych strat oraz zużycia wody na potrzeby własne systemu. Powodowane są wyciekami z nieszczelności przewodów wodociągowych, armatury, nieszczelnych instalacji.

Straty pozorne: objętości wody, które nie stanowią faktycznych wycieków. Są to straty wynikające z niedokładności i niejednoznaczności pomiarów, czyli tzw. błędów pomiarowych wynikających ze źle dobranych urządzeń pomiarowych, błędów metrologicznych, kradzieży wody. Na wielkość strat pozornych wody (definiowanych jako niestanowiące faktycznych ubytków z nieszczelnego systemu sieciowego, ale jedynie wpływające na wartość obliczeniowego wskaźnika strat, to znaczy na wynik liczbowy bilansu ilości wody wtłoczonej do sieci i sprzedanej odbiorcom) wpływają dokładność pomiaru objętości medium dostarczonego do sieci i zużytej przez odbiorców oraz niejednoczesność odczytów przyrządów pomiarowych objętości wody w miejscu dostawy do sieci i u odbiorców.

Można przyjąć uproszczoną definicję strat wody: „objętość bezpowrotnie utraconej wody w wyniku jej nieracjonalnego zużycia z przyczyn zależnych i niezależnych od zarządzającego siecią wodociągową”. Także prawidłowe jest stwierdzenie, że systematyczna eliminacja czynników zależnych i niezależnych oraz umiejętne dobór urządzeń pomiarowych prowadzą do ograniczenia strat wody (Mutikanga i in. 2013).

Do czynników zależnych należą (Piechurski i Mierzwa 2020):

- nieszczelności na złączach przewodów wodociągowych – awarie;
- przecieki wody z nieszczelnego uzbrojenia wodociągowego – awarie;
- nieszczelności na przyłączach wodociągowych – awarie;
- płukanie sieci wodociągowej;
- klasa dokładności urządzeń pomiarowych.

Czynniki częściowo niezależne to:

- kradzieże wody;
- awarie wodociągowe.

Ponadto widoczny w ostatnich latach spadek zużycia wody wywołany m.in. urynkowieniem cen wody i ścieków, a także wprowadzeniem indywidualnego opomiarowania zużycia wody spowodował, że wśród wielu czynników powodujących straty wody w systemach wodociągowych, coraz większego znaczenia nabierają kradzieże wody wynikające z zewnętrznej ingerencji w wodomierz lub instalację.

Przyczyny uszkodzeń przewodów wodociągowych

Awarie przewodów wodociągowych mają w większości przypadków charakter losowy, a ustalenie przyczyn ich powstania jest często trudne ze względu na różnorodność czynników oddziałujących równocześnie na przewody. Błędne obliczenia hydrauliczne, nieprawidłowe wykonanie złączy czy niedbała konserwacja to tylko przykłady przyczyn późniejszych awarii elementów układów wodociągowych. Liczne badania wskazują, że najczęściej uszkodzenia sieci wodociągowych i związane z tym straty wody powstają w wyniku (Ferrari i Sawic 2015, EEA 2012, Piechurski i Mierzwa 2020, Zambrano i in. 2009):

- wad zamontowanych materiałów, co dotyczy rur, armatury, połączeń;
- nieprawidłowego wykonawstwa przewodów, np. niewłaściwe uszczelnienie połączeń kielichowych;
- nadmiernego ciśnienia w sieci;
- gwałtownych zmian ciśnienia (uderzenia hydrauliczne);
- korozyjności wód gruntowych, a także wody płynącej wewnątrz przewodów;
- przemarzania gruntu w otoczeniu przewodów wodociągowych;
- nadmiernego obciążenia gruntu nad sieciami wodociągowymi, szczególnie dynamicznego; osiadania gruntu; ruchów tektonicznych itp.;
- prądów błądzących, na obszarach miast czy zakładów posiadających trakcję elektryczną;
- wieloletniej eksploatacji i naturalnego zużycia materiałów wodociągowych.

O zaistnieniu i objętości wycieków decydują przede wszystkim:

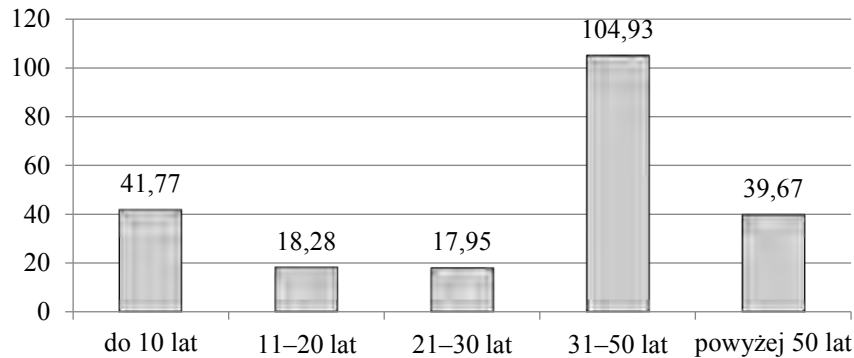
- stan techniczny przewodów i armatury;
- średnica, wiek i materiał przewodów;
- gęstość przyłączy i przewodów wodociągowych;
- ciśnienie wody i jego wahania dobowe;
- warunki gruntowe.

Należy nadmienić, że straty wody powstają nie tylko w wyniku uszkodzenia, pęknięcia przewodów wodociągowych, wycieków na połączeniach oraz przez nieszczelności rur przesyłowych, ale również w wyniku przelewania się wody ze zbiorników magazynujących wodę lub ich nieszczelności.

Wiek sieci wodociągowej

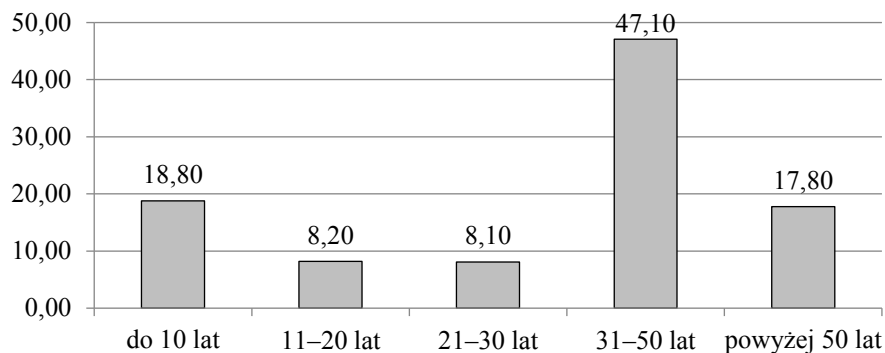
Okres eksploatacji sieci wodociągowej oraz wiele innych czynników jak na przykład materiał, jakość wykonania złączy, warunki eksploatacji, jakość materiału itp. decydują o awaryjności sieci wodociągowej. Poniżej przedstawiono jak prezentuje się okres eksploatacji sieci wodociągowej w A (ryc. 1 i 2). Długość sieci wodociągowej wynosi 222,6 km.

Ocena sposobów obniżenia straty wody na przykładzie PWiK w A



Ryc. 1. Długości eksploatowanej sieci wodociągowej w strukturze wiekowej [km]

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020



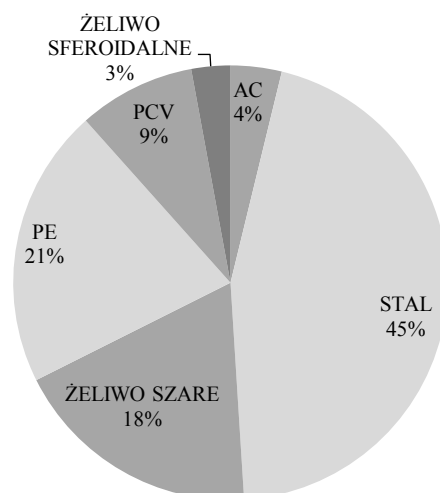
Ryc. 2. Procentowy udział sieci wodociągowej w strukturze wiekowej [%]

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Jak widać, ponad 47% sieci jest eksploatowana od 31. do 50. lat oraz aż 17,8% stanowią sieci w wieku ponad 50. lat. Podsumowując wiek sieci w A – niewątpliwie większość sieci wymaga modernizacji lub wymiany. Niestety przedsiębiorstwo nie dysponuje tak dużymi środkami finansowymi aby pozwolić sobie na znaczny zakres wymiany sieci wodociągowej. Dlatego też sieci najstarsze i najbardziej awaryjne wymieniane są co roku – w miarę możliwości finansowych przedsiębiorstwa, co pokazuje ryc. 6.

Materiał sieci wodociągowej

Materiał jest jednym z czynników wpływających na awaryjność sieci oraz związaną z tym ilość wody traconej. Strukturę materiałową sieci w A przedstawia ryc. 3.



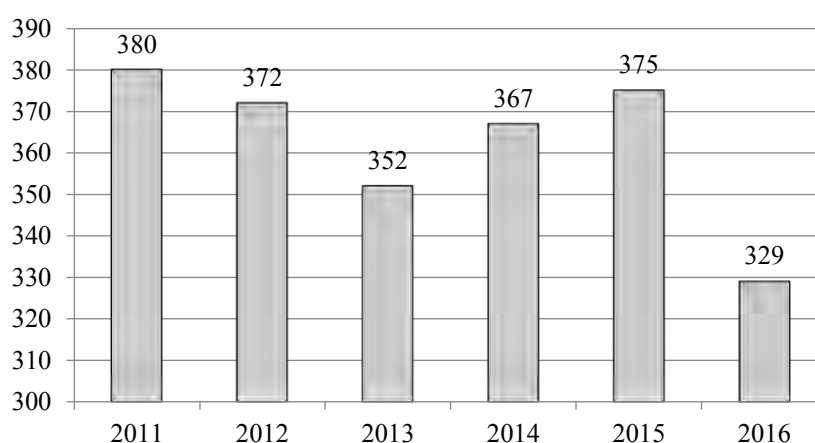
Ryc. 3. Struktura materiałowa sieci wodociągowej – stan na 31.12.2016 r.

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Analizując wykres (ryc. 3) widać, że największą część sieci wodociągowej stanowią rurociągi stalowe, których większość została wybudowana w latach 60-, 70- i 80-tych XX wieku. Sieci ze stali oraz żeliwa szarego są najbardziej awaryjnymi eksploatowanymi w A. Chcąc znacznie zmniejszyć straty w sieci wodociągowej, w pierwszej kolejności należałoby wymienić właśnie te sieci, które generują największe straty.

Awarie na sieci wodociągowej

Rycina 4 pokazuje jak przedstawiała się liczba awarii na sieci wodociągowej na przestrzeni 6. lat od roku 2011 do 2016.



Ryc. 4. Liczba awarii na sieci wodociągowej w latach 2011–2016 [szt.]

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Liczba awarii w badanych latach nieznacznie się różni. Największy spadek liczby awarii na sieci wodociągowej odnotowano między 2015 a 2016 rokiem, czyli o 46 awarii mniej. Oczywiście największy wpływ na liczbę tych awarii ma wiek sieci i materiał.

W tabeli 1 zestawiono obliczone wskaźniki awaryjności (liczba awarii/km i rok) w latach 2011–2016. Widać wyraźnie, że jest on bardzo duży i na jego podstawie można ocenić stan techniczny sieci jako niezadawalający – zły.

Tab. 1. Wskaźnik awaryjności w sieci wodociągowej w latach 2011–2016 [liczba awarii/km]

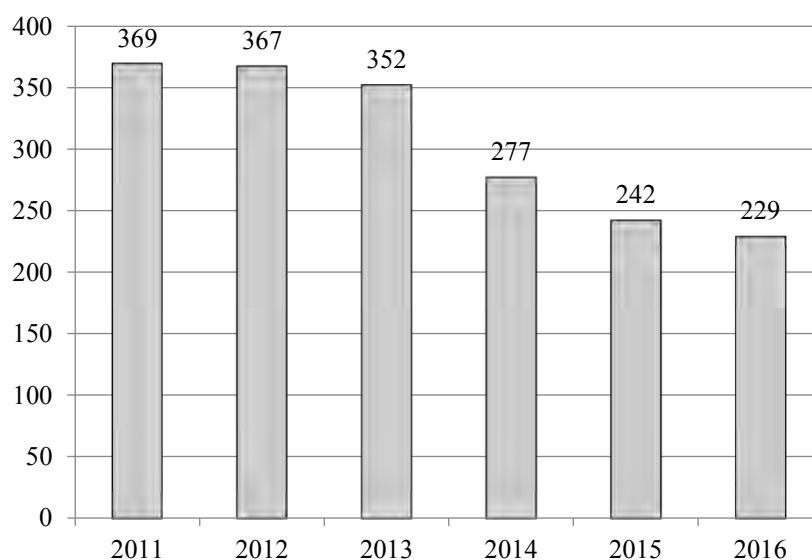
2011	2012	2013	2014	2015	2016
1,71	1,67	1,58	1,65	1,68	1,48

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020.

Liczba awarii na przyłączach wodociągowych

Niewątpliwie bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na poziom strat jest stan techniczny przyłączy wodociągowych. Aktualnie w A eksploatowane są 8 202 przyłącza wodociągowe.

Wykrycie awarii na sieci wodociągowej najczęściej następuje bardzo szybko ponieważ jest od razu widoczne w monitoringu i szybko zgłaszane, natomiast awarie na przyłączach wodociągowych są najczęściej długotrwałe i trwają nawet do kilku lat, i generują przez ten czas często większe straty niż awarie na sieciach, które usuwane są w trybie natychmiastowym. Liczbę awarii na przyłączach wodociągowych przedstawia ryc. 5.



Ryc. 5. Liczba awarii na przyłączach wodociągowych w latach 2011–2016 [szt.]

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Wykres na rycinie 5 pokazuje, że występuje tutaj tendencja spadkowa – z roku na rok awarii na przyłączach wodociągowych jest coraz mniej. Największy spadek liczby awarii na przyłączach wodociągowych odnotowano w 2014 roku – o 75 mniej niż w roku 2013. Oceniając wskaźniki awaryjności na przyłączach wodociągowych (tab. 2) można zauważyć tendencję spadkową, ale jest on dalej bardzo wysoki i wymaga prowadzenia działań naprawczych, czyli wymiany stalowych na PEHD.

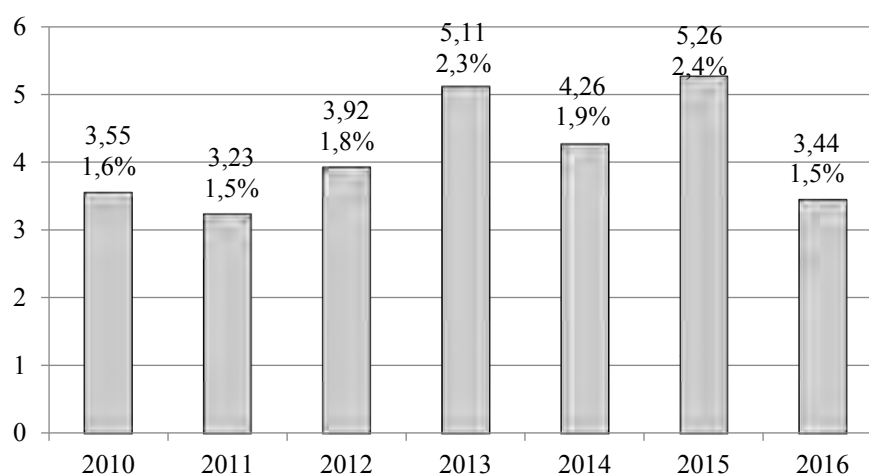
Tab. 2. Wskaźnik awaryjności na przyłączach wodociągowych w latach 2011–2016 [liczba awarii/km]

2011	2012	2013	2014	2015	2016
1,67	1,65	1,58	1,24	1,09	1,03

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Wymiana i budowa sieci wodociągowych

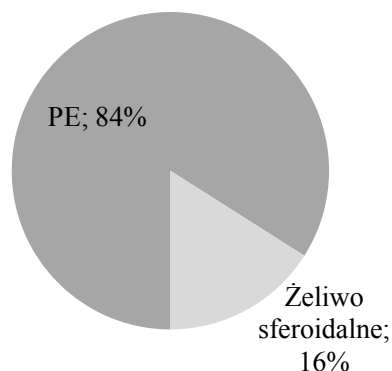
„Odnowienie” (wymiana, renowacja) eksploatowanych sieci wodociągowych jest jednym z głównych składników strategii przedsiębiorstwa i planowane jest w tymże przedsiębiorstwie w okresach dwuletnich. Wymiana, czy też budowa sieci wodociągowych, stanowi znaczną część budżetu firmy, dlatego też planowanie takich inwestycji jest starannie przemyślane i konsultowane na wielu szczeblach przedsiębiorstwa – tak, aby optymalnie dopasować inwestycje, a zarazem zmniejszyć poziom strat oraz związanych z tym pośrednich kosztów. Długości wymienianych sieci wodociągowych w latach 2010–2016 przedstawia ryc. 6.



Ryc. 6. Długość wymienionych/wybudowanych sieci wodociągowych w latach 2010–2016 ([km] i procentowy udział w stosunku do całej długości sieci)

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

W ostatnich 7. latach zostało wymienionych/wybudowanych prawie 30 km sieci, co stanowi niestety tylko około 13% całej eksploatowanej sieci. Na przestrzeni 10. lat większość nowych sieci budowanych jest z PE – 84%, a pozostałe z żeliwa sferoidalnego – 16% (ryc. 7).

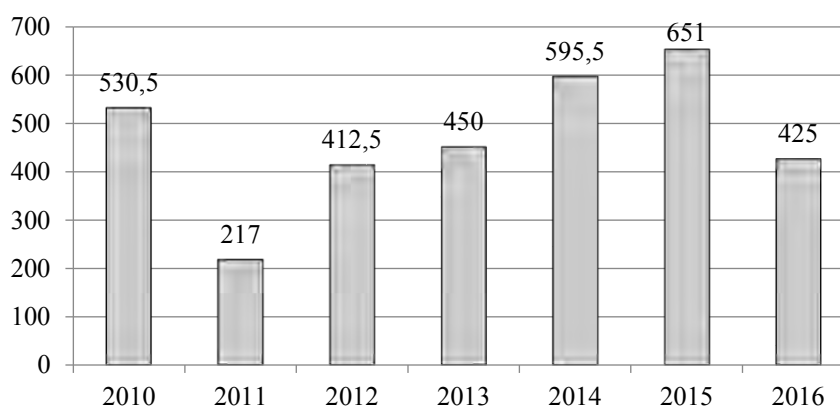


Ryc. 7. Materiał wymiany/budowy sieci wodociągowych w ostatnich 7. latach

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Wymiana i budowa przyłączy wodociągowych

Przedsiębiorstwo systematycznie wymienia przyłącza wodociągowe będące w jego eksploatacji. Większość przyłączy wodociągowych jest w eksploatacji odbiorców wody i do nich należy wymiana przyłączy będących w złym stanie technicznym. Przedsiębiorstwo nie jest w stanie pozwolić sobie na wymianę tych przyłączy na własny koszt. W przypadku wymiany sieci wodociągowych w większości przypadków przyłącza są wymieniane na nowe, a dla budowy nowych sieci wodociągowych projektowane są również przyłącza wodociągowe wraz ze studnią wodomierzową zlokalizowaną do 2 m za granicą działki. Liczba oraz długość wymienianych przyłączy wodociągowych w latach 2010–2016 została pokazana na wykresie (ryc. 8).



Ryc. 8. Wymiana przyłączy wodociągowych w latach 2010–2016 [m]

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Wymiana przyłączy na przestrzeni ostatnich 7. lat była bardzo zróżnicowana. W 2015 roku wymieniono najwięcej metrów bieżących przyłączy wodociągowych, a najmniej w 2011 r.

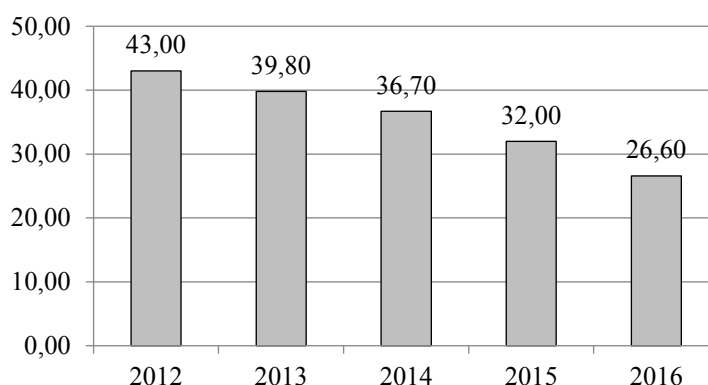
Bilans wody

W tab. 3 i na ryc. 9. przedstawiony został bilans produkcji, sprzedaży i strat wody w latach 2012–2016.

Tab. 3. Bilans wody na przestrzeni w latach 2012–2016

Parametr (jednostka)/rok	2012	2013	2014	2015	2016
Woda wtłoczona (m ³)	4 133 348,0	3 695 125,0	3 529 101,0	3 484 374,0	3 341 604,0
Zużycie własne (m ³)	182 398,0	177 985,0	191 232,0	193 383,0	208 099,0
Płukanie sieci (m ³)	206 667,4	184 756,3	176 455,1	174 218,7	167 080,2
Sprzedaż (m ³)	1 964 376,0	1 862 292,0	1 864 625,0	1 999 780,0	2 077 015,0
Strata (m ³)	1 779 907,0	1 470 092,0	1 296 789,0	1 116 992,0	889 409,8
Strata (%)	43,0	39,8	36,7	32,0	26,6

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020.



Ryc. 9. Poziom strat w latach 2012–2016 [%]

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Analiza danych z tab. 3 i ryc. 9 pozwala stwierdzić, że z roku na rok straty systematycznie maleją. Nie jest to bardzo duży spadek strat, lecz stabilne coroczne pomniejszanie ich o kilka procent. Celem przedsiębiorstwa jest osiągnięcie poziomu 8–12%, lecz wymaga to niestety czasu oraz dużych nakładów finansowych związanych z budową, czy też renowacją sieci i przyłączy oraz innymi czynnikami wpływającymi na poziom strat wody.

Strefy pomiaru

Miasto A w roku 2016 podzielone było na 11 stref zasilania w wodę oraz 29 studni pomiarowych pozwalających na monitorowanie obszarów sieci wodociągowej w celu jak najszybszego wykrywania nieszczelności w przewodach wodociągowych.

Redukcja ciśnienia w sieci

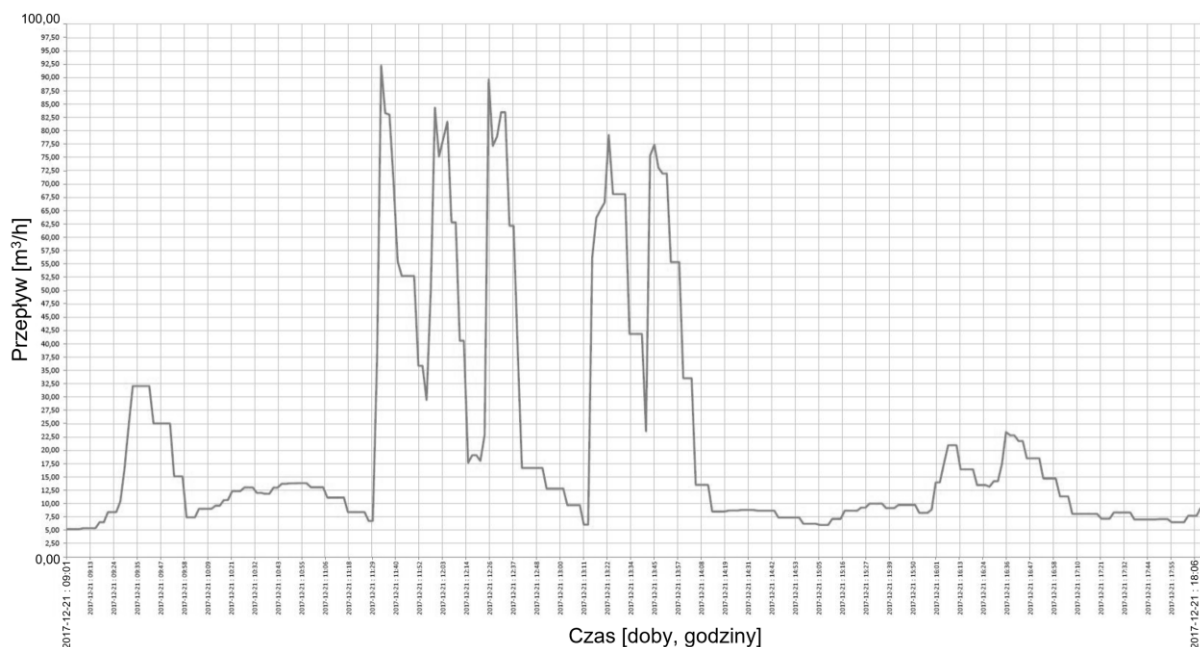
Na ujęciach wody wtłaczających medium bezpośrednio do sieci wodociągowej zamontowane są falowniki, które regulują natężenie przepływu wtłaczanej wody z zadaniem ciśnieniem.

Ponadto na sieci zabudowanych jest siedem reduktorów ciśnienia oraz jeden zawór pierwszeństwa. Przepływ wody w sieci, ciśnienie i wiele innych czynników podlegają ciągłej analizie przez pracowników, a następnie wprowadzane są odpowiednie działania mające na celu optymalizację ciśnienia wody oraz zapobieganie zwiększania strat spowodowanych wyciekami. Jak wiadomo wyższe ciśnienie wody w sieci powoduje wielokrotny wzrost wypływu z przykładowego wycieku jak również powstawanie nowych awarii.

Monitoring sieci wraz z przykładami i analizą

PWiK w A wykorzystuje monitoring dla stref urządzenia do pomiaru przepływu i ciśnienia. Dane te przesyłane są za pomocą telefonii komórkowej GSM. W studniach pomiarowych zabudowywane są urządzenia Cello – bezprzewodowe rejestratory danych. Urządzenia współpracują z oprogramowaniem PMAC firmy Technolog. Możliwość odczytu danych występuje co 8 godzin, a następnie dane te można analizować w dokładniejszych odstępach czasu (minutowych – kilkunastominutowych, w zależności od ustawienia rejestratora).

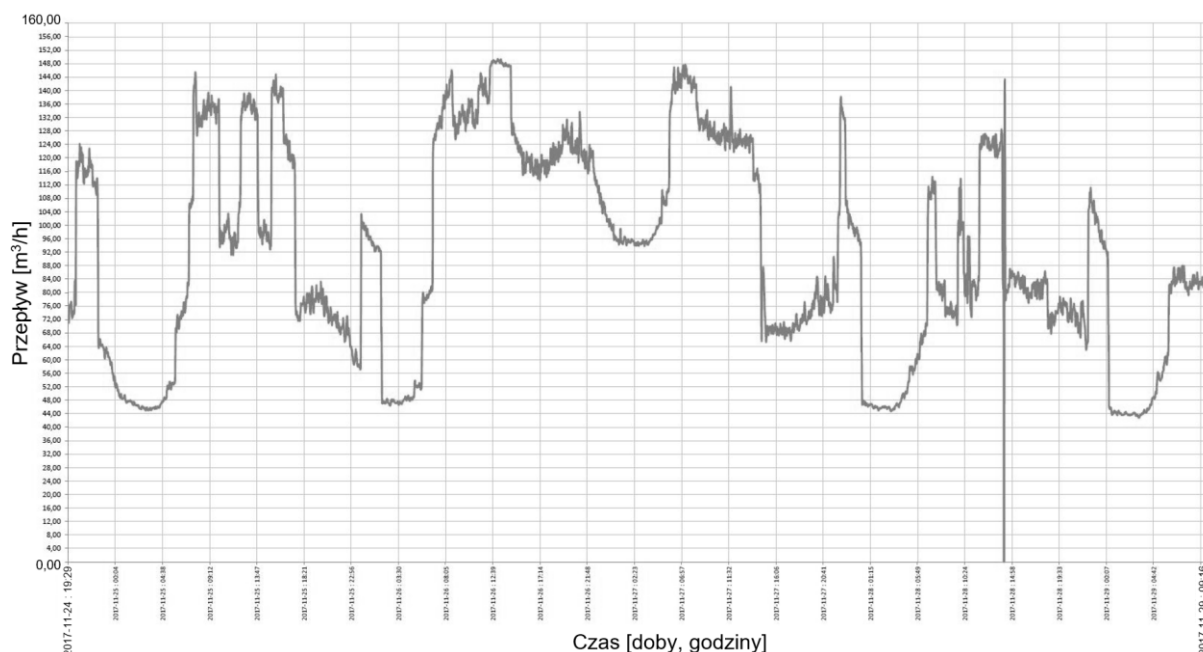
Dla ujęć wody wykorzystywany jest monitoring wewnętrzny, gdzie przekaz bezpośredni pomiaru ciśnienia i przepływu przekazywany jest przez Internet oraz sieć GSM. Monitoring sieci jest niezbędny do wykrywania wycieków w sieci wodociągowej. Na rycinie 10 widać kilka kilkunastominutowych poborów wody z hydrantu lub nieopomiarowanych poborów wody z wodociągu. Z uwagi na krótki czas poboru wody, niezwykle trudnym jest wykrycie takich poborów. Woda ta najczęściej pobierana jest do napełniania zbiorników wodnych, studni, basenów itp.



Ryc. 10. Nieopomiarowany pobór wody [m^3/h] z hydrantu lub wodociągu (09:01–18:06, 21 XII 2021 r.)

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Na ryc. 11 widać, że przed wystąpieniem dwóch awarii przepływ nocny był na poziomie $46 \text{ m}^3/\text{h}$, a po wystąpieniu awarii zwiększył się do $94 \text{ m}^3/\text{h}$. Od razu zareagowano i usunięto jedną awarię, co spowodowało spadek przepływu nocnego do $68 \text{ m}^3/\text{h}$, a następnie w kolejnym dniu usunięto kolejną awarię, co unormowało przepływ nocny w tym obszarze do poziomu średnio $46 \text{ m}^3/\text{h}$.



Ryc. 11. Przepływ wody [m^3/h] przed i po usunięciu 2. awarii (19:29, 24 XI–09:16, 29 XI 2017 r.)

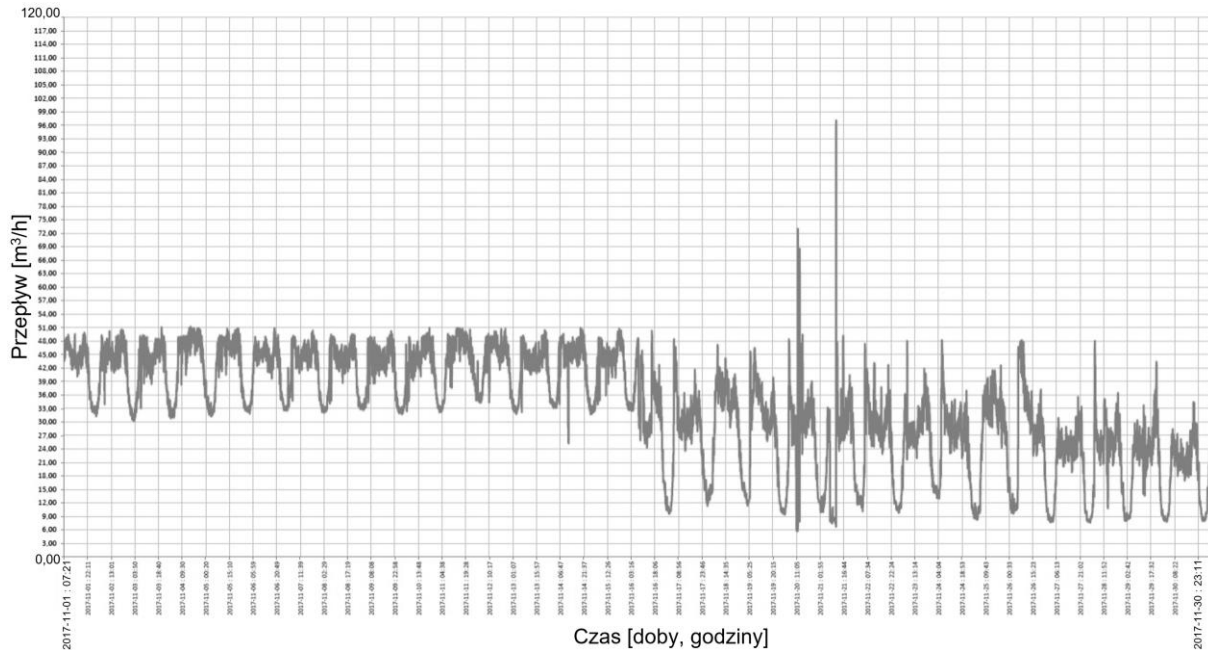
Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Minimalny nocny przepływ

Bardzo ważnym elementem monitoringu jest MNP – minimalny nocny przepływ. Jest to powtarzające się codziennie minimalne natężenie przepływu w okresie nocnym w godzinach od 01:00 do 05:00. Aby prawidłowo analizować MNP należy znać charakter odbiorców w danej strefie. Trzeba pamiętać, że w nocy też zdarzają się rozbiory (przemysł, napełnianie zbiorników itp.). Dzięki codziennej analizie przepływów nocnych można łatwo ustalić zaistnienie nieszczelności na sieci czy też nocne kradzieże wody. Przykład przepływu w trakcie i po awarii pokazany jest na ryc. 12.

Na rycinie 12 widać, że przepływ nocny w analizowanej strefie wynosił przed 16. listopada około $32 \text{ m}^3/\text{h}$, a po usunięciu awarii przepływ nocny spadł do około $9 \text{ m}^3/\text{h}$. Najwyższe widoczne na rysunku skoki to najczęściej płukania sieci lub kradzieże z hydrantów.

Ocena sposobów obniżenia straty wody na przykładzie PWiK w A



Ryc. 12. Przepływ wody [m³/h] w okresie 07:21, 01 XI – 23:11, 30 XI 2017 r.

Źródło: Piechurski i Mierzwa 2020

Urządzenia do lokalizacji wycieków i armatury

PWiK w A dysponuje następującymi urządzeniami wspomagającymi wykrywanie awarii oraz lokalizacji rur i kabli:

- Loggery akustyczne – permalogi (pomiar szumów) – 15 sztuk;
- Geofon;
- Minigeofon;
- Korelator cyfrowy;
- sprzęt do lokalizacji instalacji podziemnych i odszukiwania armatury: CS-CAT XD z Generatorem Sygnału oraz MagnaTrak.

Zmniejszanie strat wody

Poniżej przedstawiono działania stosowane w przedsiębiorstwie mające na celu zmniejszanie strat wody:

- monitoring pracy sieci wodociągowej;
- redukcja ciśnienia do poziomu minimalnego – falowniki na ujęciach;
- szybka reakcja na ujawnione wycieki – szybkie naprawy uszkodzonej sieci;
- aktywna kontrola wycieków;
- coroczna wymiana najbardziej awaryjnych sieci i przyłączy wodociągowych;
- budowa/wymiana sieci wodociągowych wraz z przyłączami;
- stosowanie najwyższej klasy urządzeń pomiarowych;
- kontrola odbiorców o bardzo małym zużyciu wody (prawdopodobieństwo kradzieży);

- odpowiednie wykonawstwo (głębokość, podsypka, obsypka, utwardzanie gruntu, materiały, połączenia, dokładność przy wykonawstwie);
- zabudowa reduktorów ciśnienia i zaworów pierwszeństwa.

Propozycje ograniczania strat wody na kolejne lata

Na kolejne lata proponuje się kontynuację działań jak wyżej i również dodatkowo:

- zawężanie stref poprzez budowę dodatkowych studni pomiarowych;
- montaż większej liczby reduktorów ciśnienia wody celem ustabilizowania ciśnienia w sieci;
- montaż urządzeń odpowietrzających sieć celem zminimalizowania skutków uderzeń hydraulicznych.

Podsumowanie

Wycieki w sieciach i przyłączach wodociągowych są nieuniknionym zjawiskiem występującym w każdym systemie zaopatrzenia w wodę. Jest to nieprzewidywalne zjawisko, którego czasu ani miejsca nie jest w stanie przewidzieć żaden człowiek ani przedsiębiorstwo wodociągowe.

Przyczyny awarii mogą być bardzo różne i często jednoznaczne ustalenie przyczyny jest po prostu niemożliwe. W wielu przypadkach przyczyny te nakładają się na siebie.

Wysokie wskaźniki awaryjności w sieci powyżej 1,5 awarii/km rok świadczą o złym stanie technicznym i dużych problemach związanych z jej eksploatacją.

Efektorem uszkodzeń sieci wodociągowych są straty, które stanowią często wysoki procent wody wtłaczanej do sieci.

Działania związane z budową systemu monitoringu mające na celu obniżanie poziomu strat wody są kosztowne, lecz niezbędne.

Wycieki wody oraz kradzieże wpływają niekorzystnie na kondycję finansową zakładu oraz stwarzają możliwość zanieczyszczenia wody oraz utratę ciągłości dostaw.

W związku z powyższym podstawowym działaniem każdego przedsiębiorstwa wodociągowego winno być ograniczenie strat wody.

Wnioski

1. Z przedstawionych wyników analizy widać, że działania polegające na budowie systemu monitoringu w PWiK w A przynoszą efekty.
2. Wskaźniki awaryjności są podobne w analizowanym okresie, a straty zmniejszane są co-rocennie o kilka procent.
3. Celem przedsiębiorstwa jest osiągnięcie strat na poziomie 8–12%, co niestety wymaga czasu oraz bardzo dużych nakładów finansowych, a biorąc pod uwagę wiek sieci – zadanie to będzie bardzo trudne do osiągnięcia.

Bibliografia

- Clarke M., Boden P., McDonald A., 2012, *Debtor: debt evaluation, benchmarking and tracking – a water debt management tool to address UK water debt*, Water Environ J. 2012, 26(3): 292–300.
- European Environment Agency, 2012, *Towards efficient use of water resources in Europe*, EEA Report No 1/2012, <https://www.eea.europa.eu/publications/towards-efficient-use-of-water> (dostęp: 21.08.2021).
- Ferrari G., Savic D., 2015, *Economic performance of DMAs in water distribution systems*, Procedia Engineering, 2015, 119: 189–195.
- Mutikanga H., Sharma S., Vairavamoorthy K., 2013, *Methods and tools for managing losses in water distribution systems*, Journal of Water Resources Planning and Management, 2013, 139(2): 166–174.
- Piechurski F., Mierzwa T., 2020, *Ocena działań zmniejszających do obniżenie awaryjności i strat wody w sieci wodociągowej na przykładzie miasta Z w latach 2012–2017*, INSTAL, 11(419)/2020: 41–46.
- Zambrano J.A., Gil-Martinez M., Garcia-Sanz M., Irizar I., 2009, *Benchmarking of control strategies for ATAD technology: a first approach to the automatic control of sludge treatment systems*, Water Science & Technology 2009, 60(2): 409–417.
- Zygmanowski F., 1957, *Walka ze stratami wody w sieciach wodociągowych*, Warszawa.

dr inż. Marian Strączyński¹

BILANS MOCY W UKŁADZIE POMPOWYM STUDNI UJĘCIOWEJ

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.09>

Streszczenie: Opisana w artykule metoda wykonania bilansu 4. ciśnień i tym samym bilansu mocy w układzie pompowym pompy głębinowej, opiera się na wykorzystaniu zintegrowanej sondy. Sonda montowana jest za króćcem tłocznym pompy, pod wodą – patent EP3271546B1. Metoda daje możliwość dokładnego wyznaczenia mocy w układzie pompowym przeznaczonej na uruchomienie działania geohydrauliki studni. Wyznaczono wskaźnik jakości energetycznej geohydrauliki e_{GH} , który określa jednostkową wartość energii na podanie m^3 wody. W artykule zademonstrowano także wyniki działania modelu matematycznego wizualizującego bilans mocy podczas eksploatacji układu pompowego.

Słowa kluczowe: sonda pomiarowa, ciśnienie wody, straty mocy, geohydraulika, komputerowy system zarządzania.

Wprowadzenie

Zastosowanie metody dokładnej diagnostyki parametrycznej pracy głębinowego agregatu pompowego w układzie pompowym studni, a więc pomiaru ciśnień wewnątrz i na zewnątrz rurociągu tłocznego specjalną sondą umieszczoną za króćcem tłocznym pompy pod wodą – ryc. 1, 2, otworzy zupełnie nowe możliwości w bilansie mocy podczas eksploatacji ujęcia studziennego.



Ryc. 1. Widok na sondę rejestrującą ciśnienia, umieszczoną za króćcem ssawnym pompy głębinowej

(19)  (11)  **EP 3 271 546 B1**

(12) **EUROPEAN PATENT SPECIFICATION**

(45) Date of publication and mention of the grant of the patent: **05.06.2019 Bulletin 2019/23**

(51) Int Cl.: **E21B 43/12 (2006.01)**

(86) International application number: **PCT/IB2015/051920**

(21) Application number: **15719509.0**

(87) International publication number: **WO 2016/147029 (22.09.2016 Gazette 2016/38)**

(22) Date of filing: **16.03.2015**

(54) **METHOD FOR CONDUCTING ON-GOING ANALYSIS OF THE CURRENT TECHNICAL CONDITION OF A SUBMERSIBLE PUMP SYSTEM AND A PROBE USED FOR EMPLOYING THIS METHOD**

VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG EINER LAUFENDEN ANALYSE DES AKTUELLEN TECHNISCHEN ZUSTANDS EINES TAUCHPUMPENSYSTEMS UND EINE ZUM EINSATZ DES VERFAHREN VERWENDETE SONDE

PROCÉDÉ POUR EFFECTUER UNE ANALYSE CONTINUE DE L'ÉTAT TECHNIQUE ACTUEL D'UN SYSTÈME DE POMPE SUBMERSIBLE ET SONDE UTILISÉE POUR EMPLOYER CE PROCÉDÉ

Ryc. 2. Opis przewodni patentu EP3271546B1 (2019)

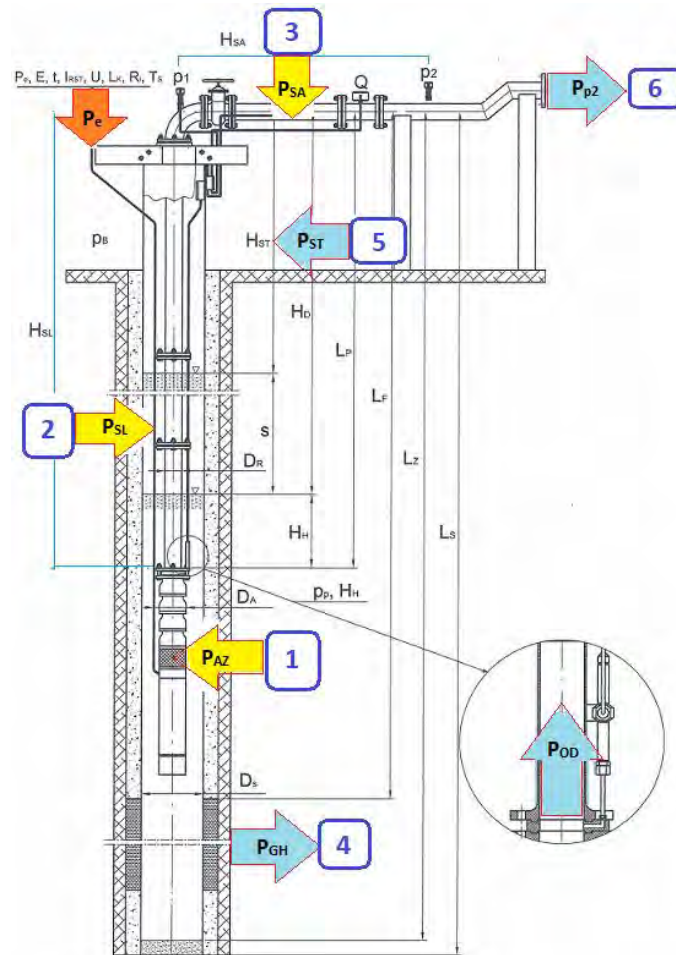
Źródło: Patent 2019

¹ MAST, Zawady 20P, 97-400 Bełchatów, mast@mast.com.pl

Dokładna znajomość rozdziału mocy pobranej w zasilaniu silnika głębinowego z wyliczeniem strat w układzie pompowym oraz wyznaczeniem wartości mocy przeznaczonej na uruchomienie działania geohydrauliki studziennej umożliwia precyzyjną ocenę jakości energetycznej tej geohydrauliki jak i pozostałych obszarów, do których moc została przekazana – odpływ z układu, podnoszenie stałe (Strączyński 2020, Strączyński i in. 2021).

Bilans mocy

Na rycinie 3 pokazano 6 podstawowych obszarów – miejsc, w których rozpraszana jest moc pracującego układu pompowego pompy głębinowej w studni ujęcia. Zgodnie z patentem EP3271546B1 (Patent 2019) dolna sonda pomiarów ciśnień umożliwia wykonanie dokładnego rozliczenia mocy w układzie pompowym.



Ryc. 3. Schemat miejsc rozpraszania mocy pracującego układu pompowego studni głębinowej

Objaśnienia:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1 – moc stracona w zasilaniu i agregacie, | 4 – moc uruchomienia geohydrauliki, |
| 2 – moc strat liniowych rurociągu, | 5 – moc podnoszenia stałego, |
| 3 – moc stracona w armaturze, | 6 – moc oddana w odpływie |

Źródło: Strączyński i in. 2021

Posiadając komplet 4. ciśnień z układu (Patent 2019, Strączyński i in. 2019): p_P , H_H , p_1 , p_2 i wydajność pompy Q oraz znając aktualny pobór mocy czynnej P_e wraz z danymi instalacyjnymi jego budowy L_P , D_R , możemy wyznaczyć dokładną wartość mocy w tych 6. obszarach układu, które powszechnie znane są w technice pompowej – dla wody o temperaturze ca 18°C , $\gamma_c=1\ 000\ \text{kG/m}^3$. Na ryc. 3 pokazano i ponumerowano te miejsca – obszary. Tak więc (Strączyński i in. 2021):

Numer 1 – tu przypada strata mocy w agregacie pompowy (silnik + pompa) oraz w zasilaniu (kabel + np. falownik): P_{AZ} . Ta strata mocy zależy od „punktu pracy” pompy na jej charakterystyce $H=f(Q)$, przekroju i długości kabla zasilającego, typu silnika (asynchroniczny – synchroniczny). Użytkownik może wartość traczonej mocy P_{AZ} optymalizować zarówno po stronie parametrów pompy (właściwy dobór i regulacja) jak i stosując właściwy przekrój kabla lub też np. silniki synchroniczne.

Numer 2 – dotyczy wielkości strat liniowych w rurociągu tłocznym pompy: P_{SL} . Straty te zależą od średnicy i długości rurociągu oraz od jakości wody (tlenki żelaza, mangan, itp.). Użytkownik może zmniejszyć wartość tych strat – P_{SL} gdy przestrzega ograniczenia prędkości przepływu w rurociągu – maks. $2,25\ \text{m/s}$, stosuje przewody „elastyczne” (Strączyński i in. 2020) dla wód np. z tlenkami żelaza, podczas wymiany pompy czyści rury tłoczne.

Numer 3 – straty w armaturze – P_{SA} . Podstawowa zasada – nigdy nie dławić pompy zasuwą. Kiedy jest konieczność zmiany punktu pracy – regulować wydajność przy pomocy falownika, a więc zmieniając charakterystykę pompy, a nie układu pompowego (Strączyński i in. 2020). Okresowo należy sprawdzać stan techniczny tzw. klap zwrotnych, czy też zaworów i wodomierzy.

Numer 4 – moc zużywana na uruchomienie działania geohydrauliki studni P_{GH} zależy głównie od jej stanu technicznego, jak i jakości zafiltrowania wraz z warstwą przystudzienną. Nazwaną tu – jakością energetyczną geohydrauliki określa wskaźnik e_{GH} , którego wartość najlepiej gdy nie przekracza $100\ \text{Wh/m}^3$. Użytkownik ma pośredni wpływ na moc zużywaną na uruchomienie działania geohydrauliki studni, jednak po jej wyraźnej zmianie może przedsięwziąć np. działania związane z regeneracją studni. Może też ograniczyć dopuszczalną wydajność studni – tak, by niewiele przekraczać $e_{GH}=100\ \text{Wh/m}^3$.

Numer 5 – moc P_{ST} dotyczy tzw. podnoszenia stałego związanego z położeniem zwierciadła statycznego wody w studni. Podnoszenie to uzależnione jest od głębokości położenia warstwy wodonośnej. Użytkownik w tym zakresie nie ma możliwości optymalizacji tej części mocy i można przyjąć, że im warstwa występuje płycej tym energetycznie lepiej.

Numer 6 – moc P_{p2} konieczna by pokonać opory na odpływie z układu pompowego i zależy od typu instalacji za układem. Klasycznie można rozróżnić 3 typy odpływu (Patent 2019), a więc: na sieć, zbiornik lub tzw. „wolny” wypływ. Wartość ta zależy też od odległości np. zbiornika od studni oraz przekroju rurociągu łączącego obiekty. Jeżeli układ pompowy studni pracuje na wspólny rurociąg z innymi studniami ujęcia, wartość tej części mocy zależeć będzie od oporów „wtłaczania” się układu dla różnych ilości pracujących studni.

Przedstawione powyżej metody identyfikacji bilansu mocy w układach pompowych studni są współcześnie nowymi sposobami wykorzystującymi najnowsze, patentowane (Strączyński 2017, Patent 2019) rozwiązanie z zakresu techniki pomiarowej w układach pompowych pomp głębinowych – zintegrowaną sondę pomiarów ciśnień.

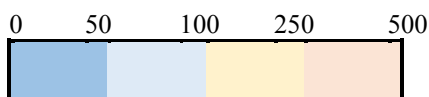
Dotychczasowe metody pozbawione możliwości dokonywania dokładnego bilansu energii podczas pracy układu pompowego i studni wprowadzały zawsze przybliżenia, które często ukierunkowywały do niewłaściwych wniosków.

Geohydraulika studni

Gdy wyznaczymy (Strączyński i in. 2021) dokładną wartość części mocy P_{GH} (kW) (**numer 4**) poświęconej na wytworzenie depresji s i podzielimy ją przez wydajność pompy Q (m³/h) otrzymamy wartość tzw. wskaźnika jakości energetycznej geohydrauliki e_{GH} (kWh/m³, Strączyński i in. 2021). Po przemnożeniu przez 1 000, finalnie otrzymamy wskaźnik e_{GH} w Wh/m³.

Trzeba pamiętać, że byty energetyczne układu pompowego i studni są różne choć powiązane wspólnym położeniem zwierciadła wody w studni – H_D i wydajnością pompy – Q . Część mocy w układzie pompowym poświęcona jest na wytworzenie depresji w studni i uruchamianie działania geohydrauliki – inaczej ujmując, efekt funkcjonowania układu generuje geohydraulikę do działania według jej jakości energetycznej. Przekłada się to dalej na znane w hydrogeologii wskaźniki ocen, lecz finalnie wartość depresji – s w studni zależy wprost od jakości bytu – studnia. Pompa ze swoim układem pompowym spełnia tu rolę wykonawczą. Po zastosowaniu patentu EP3271546B1 (Strączyński 2017) otworzyła się możliwość dokładnego rozliczania energetycznego oddziaływania między bytami: układ pompowy – studnia.

Na rycinie 4 pokazano zakres możliwych zmian współczynnika e_{GH} (Wh/m³) i orientacyjnie nakreślono przedziały korzystne energetycznie.



Ryc. 4. Przedziały wartości wskaźnika jakości energetycznej geohydrauliki e_{GH} [Wh/m³]

Objaśnienia:

0–50 geo – hydraulika korzystna energetycznie,

51–100 geo – hydraulika graniczna energetycznie,

101–250 geo – hydraulika z problemami energetycznymi,

251–500 geo – hydraulika z wysokimi problemami energetycznymi

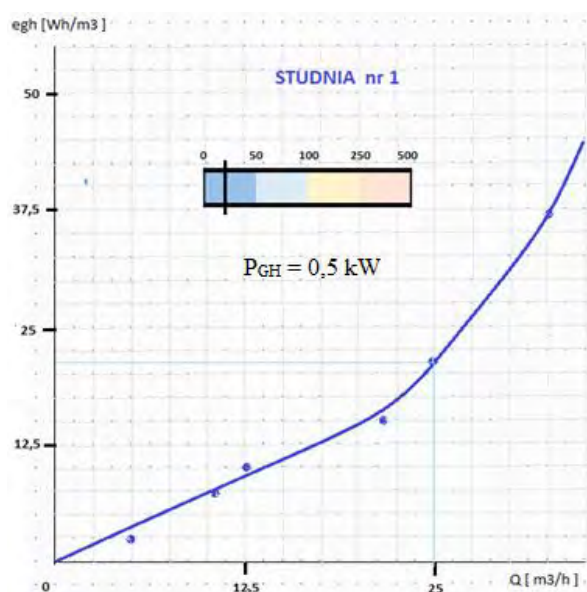
Źródło: Strączyński 2021

Praktycznie można przyjąć, że gdy wskaźnik e_{GH} jest większy od 50–100 Wh/m³ mamy już do czynienia ze studnią z problemami energetycznymi, a gdy przekroczy 200–250 Wh/m³ trzeba się zastanowić czy taką studnię energetycznie warto eksploatować.

Wskaźnik nie określa przyczyn niskiej jakości energetycznej geohydrauliki studni lecz sugeruje użytkownikowi by przeanalizował, czy warto dobierać pompę do studni o wysokim zapotrzebowaniu mocy z układu dla danej wydajności studni – Q . Można dobrze dobrać pompę i ocenić pozytywnie jej pracę do wysokoenergochłonnej już studni – czasami uszkodzonej

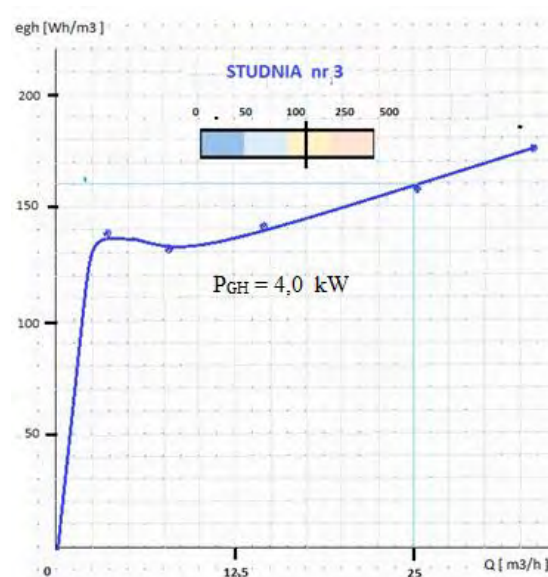
(kolmatacja itd.). Właśnie e_{GH} dokładnie pomaga taką sytuację zdiagnozować wykorzystując bieżące pomiary lub z pompowań próbnych studni. Na rycinie 5 pokazano jak zmienia się wartość wskaźnika dla studni nr 1 z bardzo dobrą energetycznie geohydrauliką, a więc potrzebującą niewielką moc z układu na jej uruchomienie. Pompa pracuje z wydajnością $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$ i dla tej wartości $e_{GH}=20 \text{ Wh/m}^3$. Po prostym przeliczeniu $P_{GH}=e_{GH}\times Q=500 \text{ W}$ lub $0,5 \text{ kW}$. Taką wartość mocy zużywamy na działanie geohydrauliki – porównywaną do mocy niezbędnej do pokonania strat liniowych w rurociągu.

Rycina 6 pokazuje inną studnię – nr 3, która już po uruchomieniu osiąga wskaźnik e_{GH} powyżej 100 Wh/m^3 , a w punkcie pracy pompy $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$ i $e_{GH}=160 \text{ Wh/m}^3$, co po przeliczeniu odpowiada mocy $4,0 \text{ kW}$.



Ryc. 5. Zmienność wskaźnika dla przykładowej studni nr 1 z bardzo dobrą charakterystyką energetyczną geohydrauliki

Źródło: Strączyński 2021



Ryc. 6. Zmienność wskaźnika dla przykładowej studni nr 3, która już po uruchomieniu osiąga $e_{GH} > 100 \text{ Wh/m}^3$

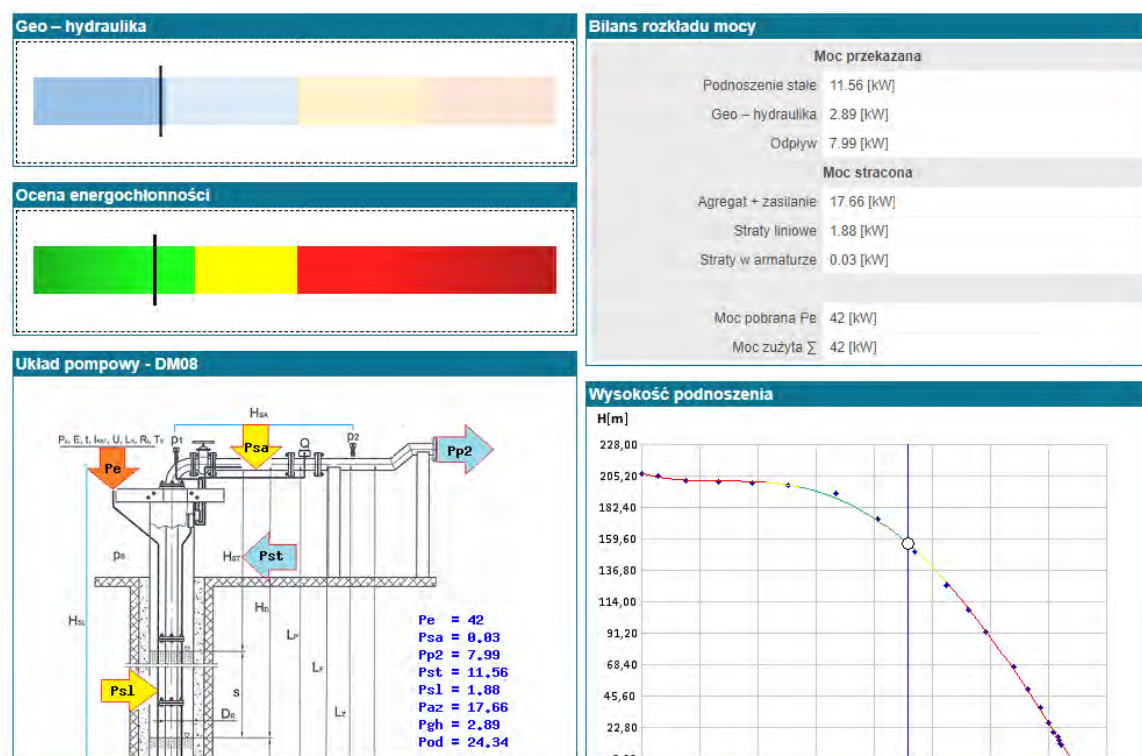
Źródło: Strączyński 2021

Zestawiając powyższą charakterystykę z charakterystyką studni nr 1 (dla tej samej wartości $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$) okaże się, że studnia nr 3 zużywa 8 razy więcej mocy na pracę geohydrauliki! Niewątpliwie użytkownik powinien się zastanowić czy nie odstawić jej do regeneracji.

Współczesne, nowe metody rozdziału mocy w pracy układów pompowych (Strączyński 2017) realizowane są w **SPM_{SYSTEM}**, gdzie operator systemu znając własne ceny energii może dokładnie zbilansować koszty np. uruchomienia obsługi stanu technicznego studni.

Na rycinie 7 pokazano fragment ekranu uwidaczniający dokładne rozliczenie mocy w układzie pompowym. Zestawiono też graficznie oceny: energochłonności układu pompowego oraz stanu jakości energetycznej geohydrauliki studziennej.

Wizualizowany na ryc. 7 stan pracy układu pompowego i studni jest w modelach matematycznych systemu oceniony jako pozytywny, tak więc operator nie ingeruje w eksploatację tego ujęcia. Na uwagę zasługuje fakt, że gdy policzymy sprawność energetyczną tego układu, to otrzymamy wartość $\eta_{UP}=0,52$, a więc pozytywną przy $e_{GH}=49 \text{ Wh/m}^3$. Warto zauważyć, że wzajemne śledzenie zmian wartości mocy w układzie pompowym otwiera zupełnie nowy wgląd w eksploatację ujęcia.



Ryc. 7. Fragment ekranu pokazujący dokładne rozliczenie mocy w układzie pompowym

Źródło: Strączyński 2021

Podsumowanie

Trzeba stwierdzić, że w 21 roku XXI wieku, systemowe wspomaganie, w optymalizacji eksploatacji układów pompowych pomp głębinowych jest już faktem i powinno być dalej intensywnie rozwijane. Modele matematyczne optymalizujące działania w eksploatacji ujęć i to zarówno po stronie techniki pompowej czy też hydrogeologii, potrzebują danych rzeczywistych z pompowań próbnych jak też, z aktualnej pracy studni. Wyniki modelowych ocen eksploatacji wraz z analizą kosztów umożliwiają podejmowanie optymalnych decyzji w zarządzaniu pracą ujęć. Współczesne działania nie przynoszą już oszczędności na poziomie kilkudziesięciu procent, a jest to kilka lub kilkanaście cennych procent. Współcześnie liczy się trafność i szybkość reakcji, która skutecznie podnosi efektywność i jakość eksploatacji.

Bibliografia

- Patent EP3271546B1, 2019, European Patent Office, <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/053016620/publication/EP3271546B1?q=EP3271546B1> (dostęp: 15.8.2021).
- Strączyński M. (red.), 2017, *Energooszczędna, systemowa eksploatacja ujęć i pomp głębinowych*, [w:] Materiały konferencyjne, Seminarium Szkoleniowo-Promocyjne – Orle Gniazdo Hucisko, 16–17 listopada 2017 r.
- Strączyński M., Urbański P., Solecki J., 2019, *Pompy głębinowe*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wydanie I, Warszawa.
- Strączyński M., 2020, *Technika cyfrowa w energooszczędnej eksploatacji pomp i ujęć głębinowych – cz. 1. Modele matematyczne wspomagające podejmowanie decyzji eksploatacyjnych*, Pompy Pompownie, 1/2020, Racibórz.
- Strączyński M., 2021, *Bilans mocy w układzie pompowym pompy głębinowej*, Forum Eksploatatora, 2: 62–64.
- Strączyński M., Urbański P., Latoń D., 2021, *Energooszczędna eksploatacja pomp głębinowych*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wydanie I, Warszawa.

ARTYKUŁY TEMATYCZNE

Prawo wodne

dr Małgorzata Woźnicka¹
mgr Elżbieta Przytuła¹
mgr Dorota Palak-Mazur¹

FUNKCJONOWANIE SYSTEMU OCHRONY WÓD PODZIEMNYCH W POLSCE W ŚWIEŁE PRZEPISÓW USTAWY PRAWO WODNE

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.10>

Streszczenie: Ramowa Dyrektywa Wodna wprowadziła wysoki priorytet dla ochrony zasobów wodnych, co w polskim prawodawstwie zostało zaimplementowane najpierw ustawą z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne, a następnie uzupełnione ustawą z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne. Wody podziemne, stanowiące strategiczne rezerwy zasobów wodnych oraz podstawę zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia, zajmują szczególną pozycję w systemie ochrony wód. Celem ochrony wód podziemnych jest osiągnięcie celów środowiskowych, odnoszących się zarówno do stanu ilościowego (ochrona ilościowa) jak i chemicznego (ochrona jakościowa). Określone cele środowiskowe są osiągane poprzez wdrażanie programów działań w planach gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy, przy równoczesnej realizacji przepisów odrębnych dotyczących ochrony środowiska. W artykule przedstawiono zasady i instrumenty prawne służące ochronie wód podziemnych, w świetle przepisów ustawy Prawo wodne, a także aktualny stan zasobów wód podziemnych w Polsce na podstawie wyników oceny stanu jednolitych części wód podziemnych.

Słowa kluczowe: wody podziemne, ochrona wód podziemnych, ustawa Prawo wodne, stan jednolitych części wód podziemnych.

Wprowadzenie

Zgodnie z art. 50 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne* – wody, jako integralna część środowiska oraz siedlisko dla organizmów, niezależnie od tego czyją stanowią własność, podlegają ochronie. Stanowi to implementację celu określonego dla Dyrektywy 2000/60/WE ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Ramowa Dyrektywa Wodna – RDW). Na poziomie Unii Europejskiej (UE) zagadnienia związane z ochroną stanu chemicznego wód podziemnych zostały ponadto szczegółowo uregulowane przepisami Dyrektywy 2006/118/WE w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu (Dyrektywa Wód Podziemnych – DWP) oraz Dyrektywy 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dyrektywa Wód Pitnych).

Poza wymienionymi aktami prawnymi UE w odniesieniu do ochrony wód podziemnych, mają także zastosowanie przepisy dyrektyw powiązanych, w tym 91/676/EWG dotyczącej ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (Dyrektywa azotanowa), 91/271/EWG dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych, 91/414/EWG dotyczącej wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin oraz 86/278/EWG w sprawie ochrony środowiska, w szczególności gleby, w przypadku wykorzystania osadów ściekowych w rolnictwie.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, mwoz@pgi.gov.pl, ORCID 0000-0002-7840-6049, ORCID 0000-0002-2973-4273, ORCID 0000-0002-9427-6790

Rozbudowana i podlegająca okresowej rewizji legislacja unijna w odniesieniu do zagadnień związanych z ochroną zasobów wodnych na obszarze wspólnoty (Chmielewska i Jezierski 2004, Witczak 2006, Witczak i in. 2012, Woźnicka i Kuczyńska 2019) sprawia, że przepisy krajowe w tym zakresie podlegają częstym zmianom. Jednocześnie, z uwagi na wielowymiarowy charakter ochrony wód podziemnych, wdrażane mechanizmy i instrumenty prawne są zróżnicowane. Dominują działania zapobiegawcze, co jest zgodne z podstawowymi zasadami polityki ekologicznej UE, takimi jak zasada prewencji i ostrożności. W przypadku stwierdzonego zanieczyszczenia obowiązuje z kolei zasada odpowiedzialności za szkody (zanieczyszczający płaci).

Zgodnie z art. 51 ustawy *Prawo wodne* głównym celem ochrony wód jest osiągnięcie celów środowiskowych, które w odniesieniu do wód podziemnych w art. 59 zostały zdefiniowane jako:

- 1) zapobieganie lub ograniczanie wprowadzania do nich zanieczyszczeń;
- 2) zapobieganie pogorszeniu oraz poprawa ich stanu;
- 3) ich ochrona i podejmowanie działań naprawczych, a także zapewnianie równowagi między poborem a zasilaniem tych wód, tak aby osiągnąć ich dobry stan.

Działania służące osiągnięciu ustalonych dla jednolitych części wód podziemnych (JCWPd) celów środowiskowych, polegają w szczególności na stopniowym redukowaniu zanieczyszczenia wód podziemnych przez odwracanie znaczących i utrzymujących się tendencji wzrostowych zanieczyszczenia powstałego w wyniku działalności człowieka, przy czym cele środowiskowe realizuje się poprzez podejmowanie działań zawartych w planach gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy (art. 60 ustawy *Prawo wodne*). Podstawowym celem środowiskowym dla JCWPd jest utrzymanie lub osiągnięcie dobrego stanu, definiowanego jako stan osiągnięty przez jednolitą część wód podziemnych, jeżeli zarówno jej stan ilościowy, jak i chemiczny jest oceniony jako „dobry”. Ogólny stan JCWPd określany jest zatem na podstawie oceny stanu ilościowego oraz oceny stanu chemicznego, przy czym o wyniku końcowym oceny stanu JCWPd decyduje gorszy wynik powyższych składowych oceny (Pałak-Mazur i in. 2020a).

Ramowa Dyrektywa Wodna dopuszcza wprowadzenie odstępstw od osiągnięcia ustalonych dla poszczególnych JCWPd celów środowiskowych (derogacji), poprzez zastosowanie procedury określonej w art. 4.4–4.7 RDW (przedłużenie terminu osiągnięcia celów środowiskowych bądź ustanowienie mniej rygorystycznego celu). Procedury te jednak mogą mieć zastosowanie wyłącznie przy spełnieniu szeregu warunków oraz uzasadnieniu wskazującym, iż podjęte zostały wszystkie możliwe do wykonania działania, aby ograniczyć niekorzystny wpływ na stan wód. W aktualnym cyklu planistycznym procedurą derogacji objętych jest 21 JCWPd, w tym: 9 z tytułu art. 4.4 RDW (odstępstwo czasowe), 10 z tytułu art. 4.5 (ustalenie mniej rygorystycznego celu) oraz 2 JCWPd z uwagi na zastosowanie obydwu przesłanek.

Ochrona ilościowa wód podziemnych (utrzymanie/osiągnięcie dobrego stanu ilościowego JCWPd)

Ochrona ilościowa wód podziemnych, rozumiana jako utrzymanie lub osiągnięcie dobrego stanu ilościowego jednolitych części wód podziemnych, powinna być wdrożona w planach gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy. Podstawę do prowadzenia efektywnej ochrony ilościowej stanowi wynik bilansu wodnego, uwzględniającego wielkość zasobów oraz poboru (stopień wykorzystania zasobów wód podziemnych/rezerwy zasobów). Należy przy tym zwrócić uwagę na funkcjonujące w polskim prawodawstwie dwie definicje odnoszące się do zasobów wód podziemnych.

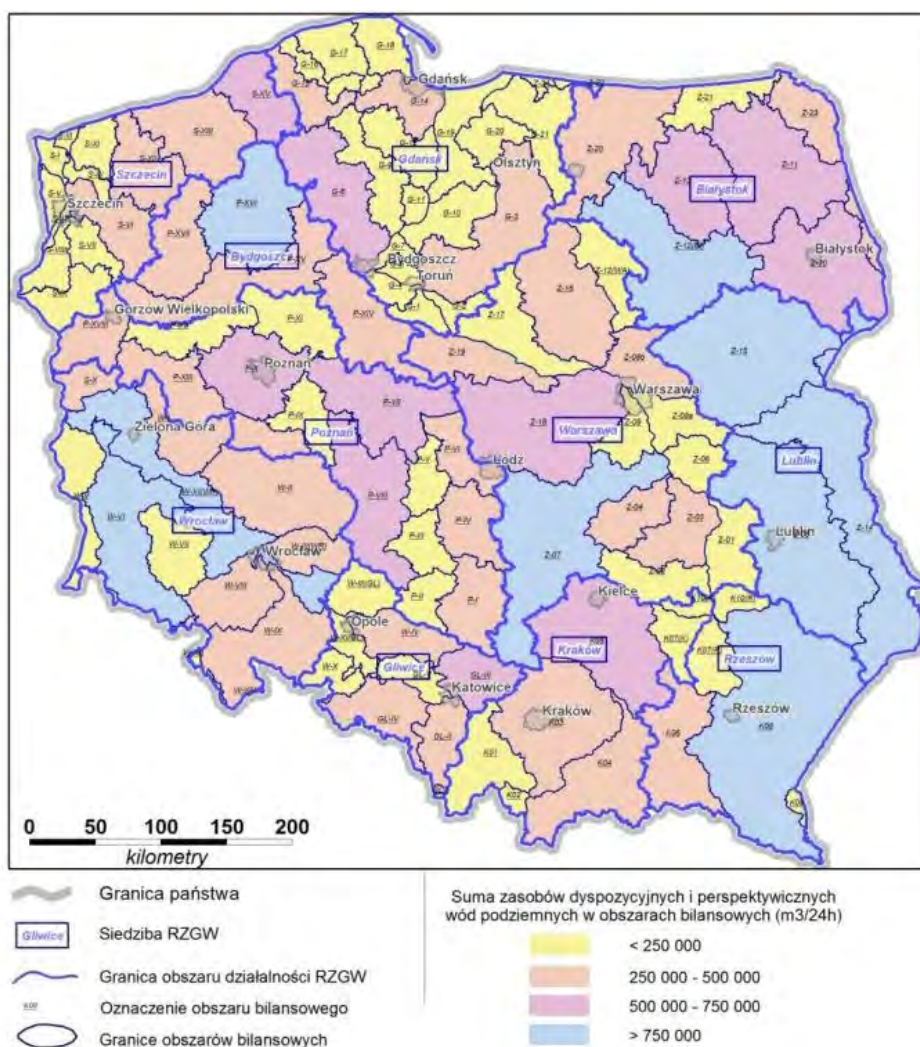
Podstawę bilansowania wód podziemnych stanowią zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (ZD), ustalane w jednostkach bilansowych, rozumianych jako wyznaczone do przeprowadzania bilansu wodnogospodarczego zlewnie rzek, będących w związku hydraulicznym z wodami podziemnymi, obejmujące strefy zasilania ujęć wód podziemnych. Obecnie na obszarze Polski wydzielonych jest 109 obszarów bilansowych oraz 676 mniejszych jednostek bilansowych – rejonów wodnogospodarczych. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych są ustalane zgodnie z ustawą *Prawo geologiczne i górnicze* oraz rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz wytycznymi *Poradnika metodycznego* (Herbich i in. 2013) w trybie sporządzenia dokumentacji hydrogeologicznej, zatwierdzanej przez ministra właściwego do spraw środowiska. Są one określane w ilościach średnich wieloletnich zgodnie z przebiegiem ich odnawialności, właściwym dla warunków hydrogeologicznych panujących w jednostkach bilansowych, z zastosowaniem metod modelowania matematycznego przepływu wód podziemnych, prognozowanego w warunkach dopuszczalnego stopnia zagospodarowania zasobów z zachowaniem celów środowiskowych w obszarach chronionych. Model matematyczny powstaje na podstawie szczegółowej analizy wyników rozpoznania geologicznego, hydrogeologicznego i hydrologicznego, uzupełnionego zaprojektowanymi badaniami i pomiarami terenowymi, stanowiąc kluczowy element dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (Przytuła 2015).

Według stanu rozpoznania na dzień 31 grudnia 2020 roku, zasoby dyspozycyjne (ZD) zwykłych wód podziemnych wynoszą dla obszaru całego kraju około 12,4 km³/rok (około 34 mln m³/dobę). W tej wartości około 50 tys. m³/dobę stanowią zasoby perspektywiczne (ZP) oszacowane dla ok. 1% powierzchni Polski. Dla dwóch największych dorzeczy, wielkości zasobów wód podziemnych przedstawiają się następująco:

- dla obszaru dorzecza Wisły zasoby wód podziemnych wynoszą ok. 6,75 km³/rok (ok. 18,49 mln m³/dobę), co – uwzględniając powierzchnię tego obszaru (ok. 183,2 tys. km²) – daje średnią wartość modułu zasobów dyspozycyjnych zwykłych wód podziemnych równą 101,0 m³/dobę km²;
- dla obszaru dorzecza Odry zasoby wód podziemnych wynoszą ok. 5,2 km³/rok (ok. 14,27 mln m³/dobę), co – uwzględniając powierzchnię dorzecza (ok. 118,0 tys. km²) – daje średnią w tym dorzeczu wartość modułu zasobów dyspozycyjnych około 120,9 m³/dobę km².

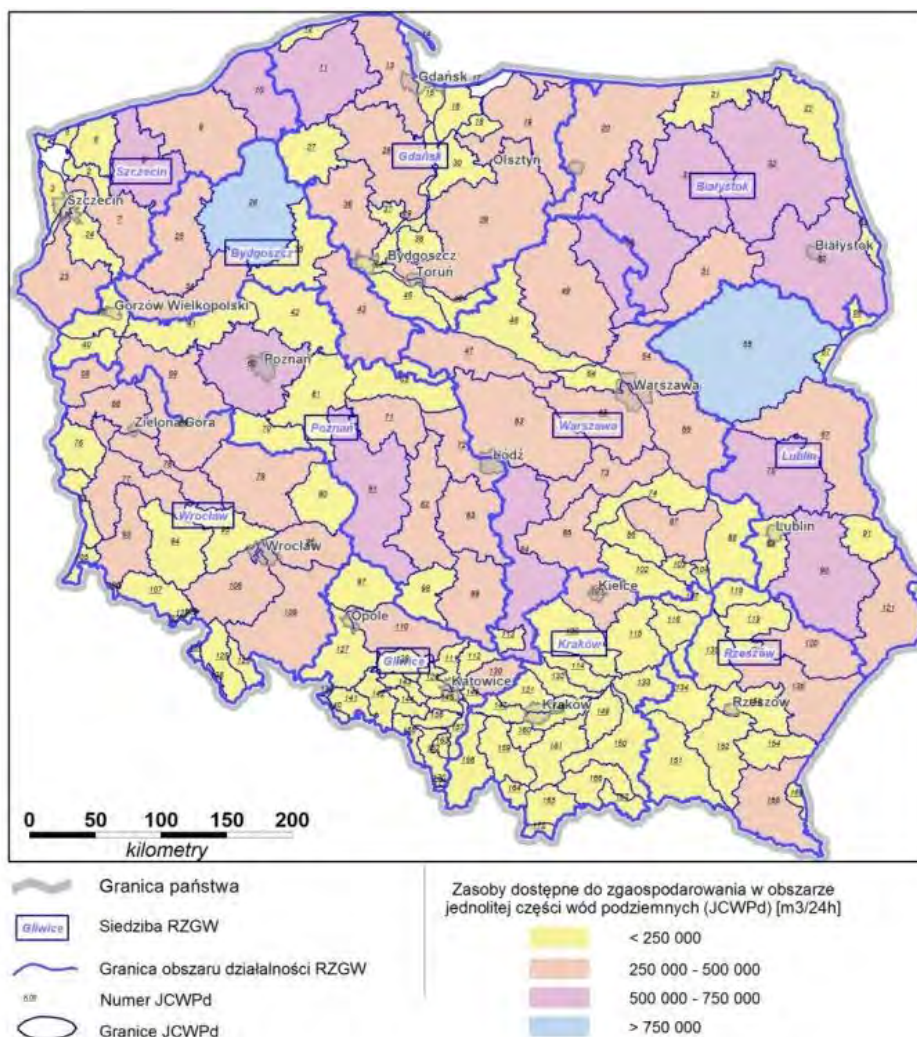
W odniesieniu do jednolitych części wód podziemnych ustawa *Prawo wodne* wprowadza pojęcie dostępnych zasobów wód podziemnych (ZDG). Danymi wejściowymi dla określenia ich wielkości w JCWPd, zależnie od dostępności danych są: zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (ZD) ustalone w jednostkach bilansowych w ramach dokumentacji hydrogeologicznej lub zasoby perspektywiczne (ZP) określone w sposób oszacowany na podstawie metod hydrologicznych. W metodyce stosowanej na potrzeby realizacji zadań państwowej służby hydrogeologicznej zasoby dostępne wód podziemnych są przeliczane, z zastosowaniem wartości modułów zasobów dyspozycyjnych (i/lub perspektywicznych) charakteryzujących dany rejon wodnogospodarczy, na sumaryczną wartość zasobów w obrębie JCWPd, przy uwzględnieniu udziału w danej JCWPd powierzchni poszczególnych rejonów wodnogospodarczych.

Rozkład wielkości zasobów dyspozycyjnych w jednostkach bilansowych oraz zasobów dostępnych w JCWPd przedstawiają odpowiednio ryc. 1 i ryc. 2.



Ryc. 1. Mapa zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych (stan na 31.12.2020 r.)

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna



Ryc. 2. Mapa dostępnych zasobów wód podziemnych w JCWPd (stan na 31.12.2020 r.)

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna

Zasoby dostępne w JCWPd, stanowiące podstawę do oceny stanu JCWPd, są pochodną zasobów dyspozycyjnych ustalanych dla jednostek bilansowych, co jest zgodne z definicją jednolitych części wód podziemnych wskazaną w art. 24 ustawy *Prawo wodne*, ale może prowadzić do rozbieżności w interpretacji wyników, jeżeli na potrzeby innych zadań zostanie przyjęta odmienna metodyka przeliczenia wielkości zasobów dyspozycyjnych na zasoby dostępne (Sadurski i Śmiałowski 2015). Należy także podkreślić, iż w przeciwieństwie do zasobów dyspozycyjnych, zasoby dostępne w JCWPd nie podlegają zatwierdzaniu w trybie procedur administracyjnych, więc wydawanie decyzji na ich podstawie (np. naliczanie wysokości opłaty stałej za pobór wód, której stawka jest uzależniona od stopnia wykorzystania zasobów dostępnych) może być podważane.

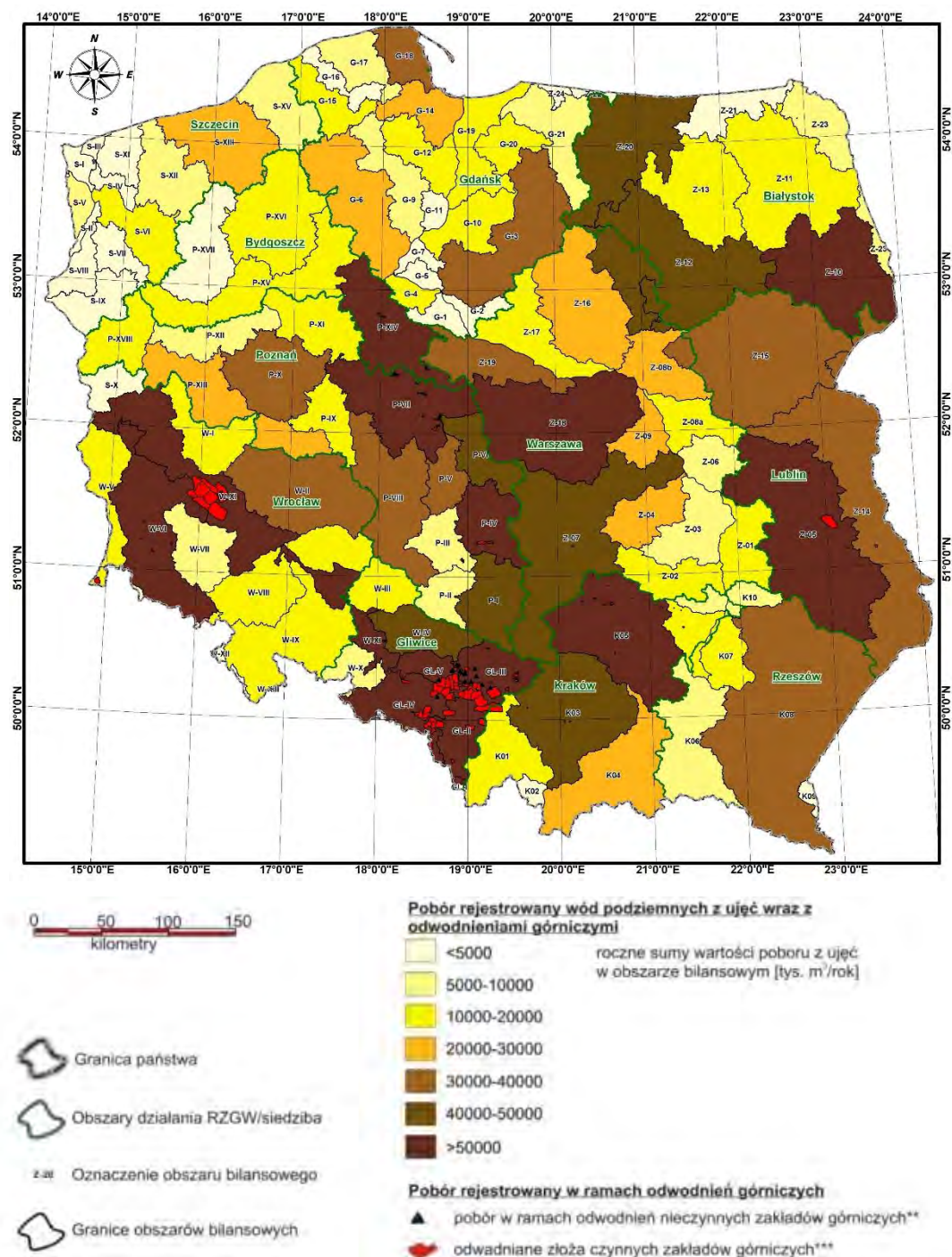
Z tego względu zasadne wydaje się przeprowadzenie integracji jednostek bilansowych oraz jednolitych części wód podziemnych, co przyczyni się z jednej strony do istotnego zwiększenia dokładności oceny stanu ilościowego wód podziemnych, zaś z drugiej umożliwi prowadzenie zrównoważonego gospodarowania wodami i efektywną ochronę ilościową wód podziemnych. W efekcie JCWPd będą mogły pełnić swoją funkcję jako jednostki, w których zarządzanie wodami będzie oparte na bilansie wodnym w mniejszych jednostkach bilansowych (rejonach wodnogospodarczych). Umożliwi to również dokonywanie podziału poszczególnych JCWPd na subczęści zgodne z wydzielonymi rejonami wodnogospodarczymi, co stworzy warunki oceny stanu ilościowego wód podziemnych w rejonie oddziaływania intensywnego poboru wód podziemnych na stan ich bilansu i ekosystemów od nich zależnych.

Drugi element bilansu wodnego stanowi wielkość poboru wód podziemnych. Podstawowym źródłem danych w tym zakresie jest informacja na temat ilości wód pobieranych z ujęć działających na potrzeby zaopatrzenia ludności wodę do spożycia oraz rolnictwa i przemysłu. Informacja ta do 2017 roku pozyskiwana była z baz opłatowych prowadzonych przez urzędy marszałkowskie (Felter i in. 2012), zaś od roku 2018, zgodnie z przepisami ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – *Prawo wodne*, źródłem danych referencyjnych jest baza Eden, do której użytkownicy zgłaszają co kwartał wielkość poboru wód. Baza ta prowadzona jest przez poszczególne zarządy zlewni, będące jednostkami regionalnymi Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie. Istotnym elementem jest również pobór prowadzony w ramach odwodnienia kopalń: terenów zarówno czynnych jak i nieczynnych zakładów górniczych. Odwadnianie części nieczynnych już zakładów górniczych jest konieczne, aby uchronić przed zalaniem położone niżej wyrobiska sąsiednich, czynnych kopalń. Problem ten dotyczy przede wszystkim Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW).

Według informacji zgromadzonych na koniec 2020 r. pobór rejestrowany wód podziemnych w Polsce wynosił około 2,7 km³/rok. Na tę ilość składają się:

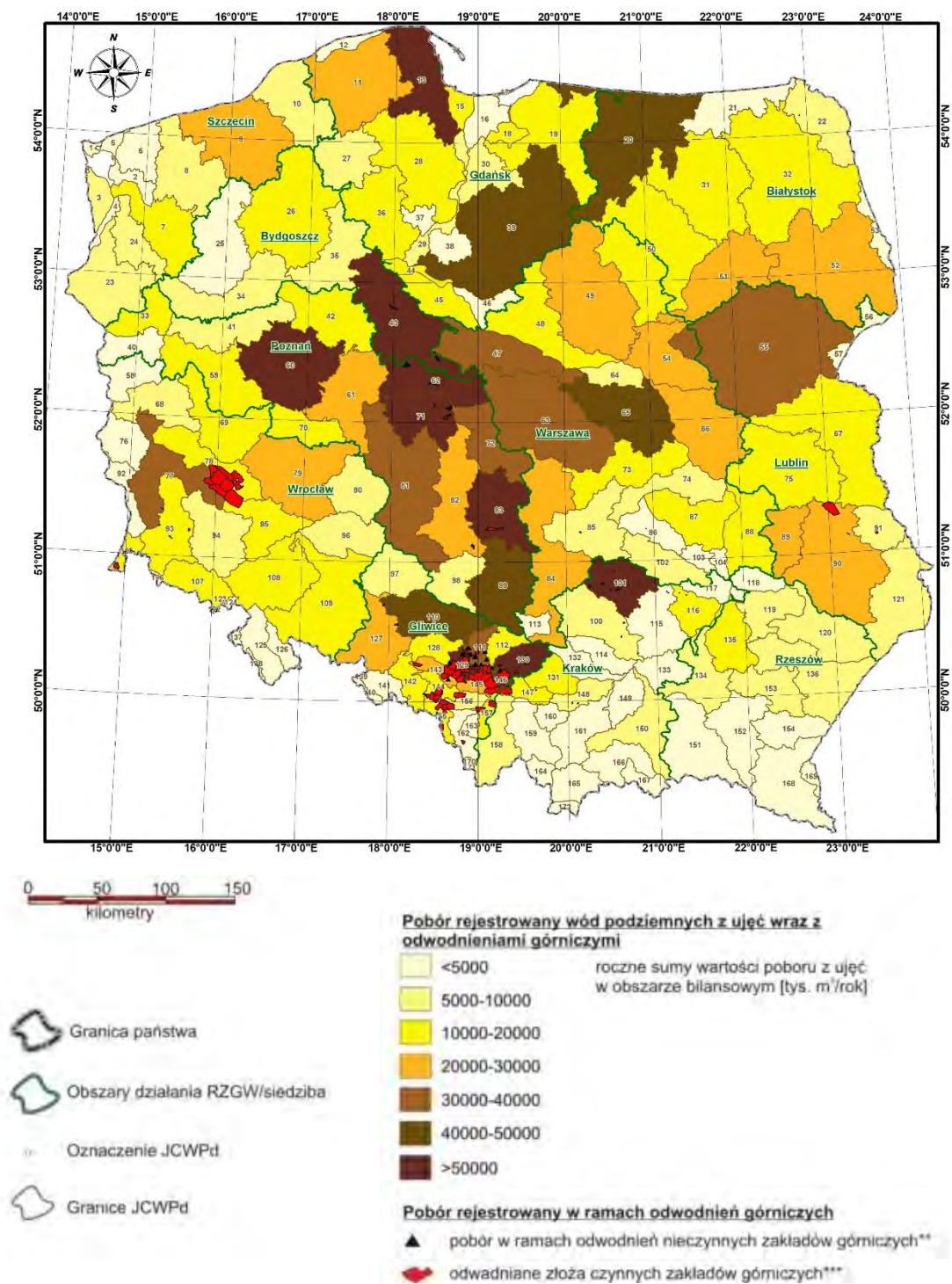
- pobór rejestrowany zwykłych wód podziemnych z ponad 18 000 ujęć wód działających na potrzeby zaopatrzenia ludności i przemysłu w wodę, wynoszący 1,77 km³/rok (wg danych za 2018 r.),
- pobór wód w ramach odwodnień górniczych (czynnych i nieczynnych) dla ponad 120. zakładów, wynoszący łącznie 0,96 km³/rok (wg danych za 2019 r.). Według informacji zgłaszanych przez zakłady górnicze z podanej wartości rocznie około 10% wód podziemnych podlega wykorzystaniu na potrzeby kopalń i zaopatrzenia ludności, zaś około 90% podlega zrzutowi do wód powierzchniowych.

Podana wartość poboru nie obejmuje tzw. poboru nierejestrowanego wód podziemnych – tzn. niezgłoszonego przez użytkowników, wynikającego z luk ewidencyjnych oraz poboru w ramach zwykłego korzystania z wód. Szacuje się, że pobór nierejestrowany może stanowić ok. 30% poboru rejestrowanego, a regionalnie osiągać nawet dużo wyższe wartości (Frankowski i in. 2009). Rozkład wielkości poboru rejestrowanego wód podziemnych w jednostkach bilansowych oraz w JCWPd przedstawiają odpowiednio ryc. 3 i ryc. 4.



Ryc. 3. Mapa poglądowa rocznej sumy poboru rejestrowanego wód podziemnych w obszarach bilansowych

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna



Ryc. 4. Mapa poglądowa rocznej sumy poboru rejestrowanego wód podziemnych w JCWPd

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna

Stopień wykorzystania zasobów dyspozycyjnych zwykłych wód podziemnych został określony na podstawie stanu rozpoznania ilości zasobów na koniec 2020 r. i wielkości poboru dla 2018 r. (Biuletyn PSH 2020 – sprawozdanie z realizacji zadań Państwowej Służby Hydrogeologicznej w 2020 r.). Dla obszaru całego kraju stopień wykorzystania zasobów zwykłych wód podziemnych wynosi około 22%. W dorzeczu Wisły wartość tego wskaźnika wynosi niespełna 20%, natomiast w dorzeczu Odry około 24%. Wartości te oznaczają, że stan rezerw zasobów wód podziemnych dostępnych do zagospodarowania w skali roku w powyższych dorzeczach wynosi odpowiednio: około 80% w dorzeczu Wisły oraz 76% w dorzeczu Odry (tab. 1).

Tab. 1. Stopień wykorzystania zasobów wód podziemnych w podziale na dorzecza i regiony wodne

Dorzecze	Region wodny	Zasoby wód podziemnych łącznie (ZG=ZD+ZP)	Suma poboru rejestrowanego z ujęć i odwodnień górniczych (POB)	Stopień wykorzystania zasobów wód podziemnych (POB/ZG)
		mln m ³ /rok	mln m ³ /rok	%
Banówki	Razem dorzecze Banówki	5,457	0,102	1,9
	Banówki	5,457	0,102	1,9
Dniestru	Razem dorzecze Dniestru	17,851	0,031	0,2
	Dniestru	17,851	0,031	0,2
Dunaju	Razem dorzecze Dunaju	8,410	0,152	1,8
	Czadeczki	0,239	0,066	27,6
	Czarnej Orawy	8,140	0,086	1,1
	Morawy	0,031	0,000	0,0
Łaby	Razem dorzecze Łaby	8,111	0,166	2,0
	Izery	2,190	0,000	0,0
	Łaby i Ostrożnicy (Upa)	0,860	0,000	0,0
	Metuje	4,399	0,166	3,8
	Orlicy	0,662	0,000	0,0
Niemna	Razem dorzecze Niemna	105,864	7,663	7,2
	Niemna	105,864	7,663	7,2
Odry	Razem dorzecze Odry	5 208,881	1 260,659	24,2
	Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego	890,075	77,504	8,7
	Górnej Odry	463,950	124,933	26,9
	Noteci	723,104	90,152	12,5
	Środkowej Odry	1 534,861	283,262	18,4
	Warty	1 596,891	685,808	42,9
Pregoły	Razem dorzecze Pregoły	216,918	31,327	14,4
	Łyny i Węgorapy	216,918	31,327	14,4
Świeżej	Razem dorzecze Świeżej	4,649	0,204	4,4
	Świeżej	4,649	0,204	4,4
Wisły	Razem dorzecze Wisły	6 750,306	1 309,132	19,4
	Bugu	1 148,023	136,323	11,9
	Dolnej Wisły	1 301,547	235,524	18,1
	Górnej-Wschodniej Wisły	690,865	56,490	8,2
	Górnej-Zachodniej Wisły	711,198	144,000	20,2
	Małej Wisły	353,974	334,093	94,4
	Narwi	931,326	81,948	8,8
	Środkowej Wisły	1 613,373	322,754	20,0
Suma dla obszaru kraju		12 326,447	2 609,436	21,2

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna.

Regionami wodnymi o najintensywniejszej eksploatacji zwykłych wód podziemnych są: region wodny Małej Wisły w dorzeczu Wisły oraz region wodny Warty w dorzeczu Odry. Wysokie wartości rocznego wykorzystania zasobów w tych regionach wynikają głównie z lokalizacji w ich granicach odwadnianych obszarów górniczych, zwłaszcza węgla kamiennego w GZW na obszarze regionu wodnego Małej Wisły oraz węgla brunatnego w regionie wodnym Warty. Należy tu podkreślić, że wysoka wartość stopnia wykorzystania zasobów wynika z poboru obejmującego szczytowanie zasobów statycznych wód podziemnych w lejach depresji odwadnianych kopalń oraz występującego tam dodatkowego zasilania wód podziemnych, nie uwzględnianego w ustalaniu zasobów dyspozycyjnych. Należy podkreślić fakt, że około 90% z ilości wód pobieranych przez systemy odwadniania kopalń jest zrzucane do wód powierzchniowych, a więc wraca do obiegu wody w środowisku. W innych regionach wodnych dorzeczy Wisły i Odry stopień wykorzystania zasobów wynosi średnio kilkanaście procent. Na obszarze pozostałych dorzeczy jego wartości są bardzo niskie – poniżej 1% lub na poziomie kilku procent (tab. 1).

Efektywna ochrona ilościowa wód podziemnych powinna być prowadzona na podstawie bieżącego i prognozowanego wyniku bilansu wodnogospodarczego, przeprowadzanego w jednostkach bilansowych i polegać na wykorzystywaniu zasobów wodnych zgodnie z przyjętymi priorytetami i hierarchią poszczególnych użytkowników wód. Ustawa *Prawo wodne* wprowadza szereg instrumentów prawnych służących tak rozumianej ochronie ilościowej wód podziemnych. Należą do nich w szczególności:

- 1) ustalenie kryteriów dla zwykłego korzystania z wód;
- 2) mechanizm zgody wodnoprawnej (wydanie pozwolenia wodnoprawnego dla szczególnego korzystania z wód, przyjęcie zgłoszenia wodnoprawnego bądź wydanie oceny wodnoprawnej);
- 3) ustalenie hierarchii dla użytkowników wód podziemnych;
- 4) zasada zwrotu kosztu usług wodnych;
- 5) procedury kontroli gospodarowania wodami;
- 6) planowanie w gospodarowaniu wodami, w tym:
 - a) plany gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy;
 - b) plany zarządzania ryzykiem powodziowym;
 - c) plan przeciwdziałania skutkom suszy.

Ustanowienie limitu ilości poboru wód w ramach zwykłego korzystania z wód, które służy zaspokojeniu potrzeb własnego gospodarstwa domowego lub rolnego stanowi jedną z ważniejszych zasad ochrony ilościowej zasobów wodnych (art. 33 ustawy *Prawo wodne*).

W założeniu pobór w ilości nieprzekraczającej średniorocznie 5 m³ na dobę jest bezpieczną granicą dla użytkowania wód podziemnych i nie prowadzi do pogorszenia stanu ilościowego. Jednakże, z uwagi na wyłączenie poboru w ramach zwykłego korzystania z wód z obowiązku opomiarowania (art. 36, ust. 3 ustawy *Prawo wodne*), w połączeniu z wyłączeniem spod przepisów ustawy *Prawo geologiczne i górnicze*, ujęć wód podziemnych do głębokości do 30 m, zarówno liczba takich ujęć, jak też ilość wody z nich pobierana pozostają poza jakąkolwiek ewidencją. Stwarza to trudności w przeprowadzaniu bilansów wodnogospodarczych, a ponadto w określonych sytuacjach niekontrolowany, intensywny pobór może mieć realny

wpływ na stan ilościowy wód podziemnych i rozwój regionalnego obniżenia zwierciadła wód podziemnych (Matusiak i Przybyłek 2017).

W obszarze szczególnego korzystania z wód najważniejszym instrumentem prawnym, mającym bezpośredni wpływ na użytkowanie wód podziemnych, a tym samym ich ochronę ilościową jest pozwolenie wodnoprawne, wydawane w drodze decyzji na czas określony, ale nie dłuższy niż 30 lat, przez organy regionalne Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie (dyrektor właściwego terytorialnie regionalnego zarządu gospodarki wodnej). W aspekcie ochrony zasobów wód podziemnych pozwolenie wodnoprawne ma zastosowanie nie tylko w odniesieniu do usług wodnych związanych z poborem wód podziemnych, ale także do innej działalności prowadzonej w ramach szczególnego korzystania z wód oraz długotrwałego obniżenia poziomu zwierciadła wody podziemnej i wykonywania urządzeń wodnych. Pozwolenie wodnoprawne nie może naruszać planu gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy, a jednocześnie należy podkreślić, iż ustawa *Prawo wodne* w art. 415 określa przypadki, w których można cofnąć lub ograniczyć pozwolenie wodnoprawne bez odszkodowania. W odniesieniu do ochrony stanu ilościowego wód podziemnych zastosowanie mają następujące przesłanki:

- 1) zasoby wód podziemnych uległy zmniejszeniu w sposób naturalny;
- 2) nastąpiło zagrożenie osiągnięcia celów środowiskowych i jest to uzasadnione danymi z monitoringu wód oraz wynikami dodatkowego przeglądu pozwoleń wodnoprawnych, o którym mowa w art. 325, ust. 1, pkt 2 ustawy *Prawo wodne*.

Poza wyżej wymienionymi zasadami określonymi w ustawie *Prawo wodne*, w kontekście ochrony ilościowej wód podziemnych zastosowanie mają także przepisy odrębne dotyczące procedur przeprowadzania ocen oddziaływania na środowisko przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (ustawa z dnia 3 października 2008 r. *o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko* – Dz.U. z 2021 r., poz. 247, 784, 922, 1211).

Z uwagi na fakt, iż wszystkie wydzielone na obszarze Polski jednolite części wód podziemnych spełniają określone w art. 72 ustawy *Prawo wodne* kryteria zaliczenia ich do jednolitych części wód przeznaczonych do poboru wody na potrzeby zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia przez ludzi, względem obszaru całego kraju mają zastosowanie przepisy ustawy z dnia 7 czerwca 2001 r. *o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków* (Dz.U. z 2020 r., poz. 2028).

Ochrona jakościowa (utrzymanie/osiągnięcie dobrego stanu chemicznego JCWPd)

Ochrona jakościowa, rozumiana jako utrzymanie bądź osiągnięcie dobrego stanu chemicznego jednolitych części wód podziemnych, realizowana jest na podstawie przepisów ustawy *Prawo wodne* poprzez wprowadzenie szeregu zakazów lub ograniczeń w użytkowaniu terenu bądź stosowaniu określonych substancji. Stanowi to wypełnienie nadrzędnej zasady ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem (zasada prewencji). Do tego rodzaju uregulowań należą w szczególności:

- 1) zakaz wprowadzania ścieków bezpośrednio do wód podziemnych;

- 2) zakaz wprowadzania ścieków do ziemi zgodnie z warunkami określonymi w art. 75, pkt 3 ustawy *Prawo wodne*;
- 3) zakaz wprowadzania wód opadowych lub roztopowych, ujętych w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacji deszczowej, służące do odprowadzania opadów atmosferycznych bezpośrednio do wód podziemnych;
- 4) ograniczenia w rolniczym wykorzystaniu ścieków, zgodnie z art. 84, ust. 4 ustawy *Prawo wodne*;
- 5) wdrożenie programu działań mających na celu zmniejszenie zanieczyszczenia wód azotanami pochodzącymi ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu (tzw. program azotanowy);
- 6) realizacja krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych.

Poza wyżej wymienionymi, ochronie stanu chemicznego zasobów wodnych służą także wskazania i zalecenia, przewidziane do dobrowolnego stosowania. Należy do nich m.in. zbiór zaleceń dobrej praktyki rolniczej, obejmujący wskazówki dotyczące okresów i sposobu nawożenia, sposobu przechowywania nawozów naturalnych i innych.

Inną formę ochrony jakościowej wód podziemnych stanowi ustanawianie stref i obszarów ochronnych. Zgodnie z art. 120 ustawy *Prawo wodne* zapewnieniu odpowiedniej jakości wód ujmowanych do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi oraz zaopatrzenia zakładów wymagających wody wysokiej jakości, a także ochronie zasobów wodnych służy ustanawianie:

- 1) stref ochronnych ujęć wody;
- 2) obszarów ochronnych zbiorników wód śródlądowych (w odniesieniu do wód podziemnych rozumianych jako główne zbiorniki wód podziemnych).

Główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) to struktury geologiczne lub ich fragmenty, wykazujące w skali regionów hydrogeologicznych najwyższą zasobność. Stanowią one obecnie lub w przyszłości strategiczne rezerwy zasobów wodnych, jako źródło zaopatrzenia w wodę do spożycia przez ludzi. Ze względu na kryteria wydzielania: wysoką jakość wód, zasobność i potencjalną wysoką wydajność ujęć, GZWP stanowią najcenniejsze fragmenty jednostek hydrostrukturalnych oraz systemów wodonośnych i zgodnie z ustawą *Prawo wodne* podlegają ochronie (Herbich i in. 2011). Ochrona GZWP realizowana jest poprzez ustanawianie dla nich obszarów ochronnych, w zasięgu których mogą obowiązywać zakazy lub ograniczenia w zakresie użytkowania gruntów lub korzystania z wód, w celu ochrony zasobów tych wód, przede wszystkim przed degradacją ich jakości (stanu chemicznego). Obszar ochronny GZWP ustanawiany jest przez właściwego terytorialnie wojewodę, na wniosek Wód Polskich, w drodze aktu prawa miejscowego (art. 141 ustawy *Prawo wodne*). W Polsce wydzielone są 163 zbiorniki (ryc. 5), obejmujące łącznie powierzchnię 174 284 km² (55,7% powierzchni kraju) w tym:

- 141 głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP udokumentowane);
- 20 lokalnych zbiorników wód podziemnych (LZWP udokumentowane);
- 2 zbiorniki nieudokumentowane.

Projektowane obszary ochronne dla udokumentowanych GZWP/LZWP obejmują łącznie ok. 20% powierzchni kraju. Do końca 2020 r. dla żadnego GZWP nie ustanowiono obszaru ochronnego. W ramach realizacji działań zawartych w Planach gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy, od 2016 r. realizowane są prace mające na celu ustanowienie obszarów ochronnych dla kilkunastu GZWP. Wykonane zostały analizy kosztów i korzyści ustanowienia obszarów ochronnych, a dla kilku GZWP zostały już złożone wnioski do wojewody. Planowana jest kontynuacja tych działań w kolejnym cyklu planistycznym w latach 2022–2027.



Ryc. 5. Główne i lokalne zbiorniki wód podziemnych wydzielone i udokumentowane na obszarze Polski

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna

Strefy ochronne ujęć wód podziemnych stanowią obszary, na których obowiązują nakazy, zakazy i ograniczenia w zakresie użytkowania gruntów oraz korzystania z wód. Strefa ochronna ujęcia wody podziemnej, obejmująca wyłącznie teren ochrony bezpośredniej, ustanawiana jest przez PGW Wody Polskie, zaś obejmująca teren ochrony bezpośredniej i dodatkowo teren ochrony pośredniej – przez wojewodę.

Ustanowienie strefy ochronnej obejmującej teren ochrony bezpośredniej jest obowiązkowe dla wszystkich ujęć wód, z wyłączeniem ujęć służących zwykłemu korzystaniu z wód. Teren ochrony pośredniej, obejmujący obszar zasilania ujęcia, wyznacza się na podstawie ustaleń z dokumentacji hydrogeologicznej.

Stefę ochronną obejmującą teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej ustanawia się na podstawie analizy ryzyka.

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – *Prawo wodne* wprowadziła obowiązek wykonywania analizy ryzyka, obejmującej identyfikację oraz ocenę zagrożeń dla jakości wód podziemnych ujmowanych w celu zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia. W przypadku wystąpienia wysokiego ryzyka rekomendowane jest ustanowienie strefy ochronnej ujęcia obejmującej teren ochrony pośredniej. Wprowadzanie stref ochronnych przyczynia się do eliminowania i ograniczania zagrożeń przez właściwe użytkowanie terenu oraz korzystanie z wód w obszarach zasobowych ujęć.

Monitoring wód podziemnych i ocena stanu JCWPd

Zgodnie z art. 52 ustawy *Prawo wodne* ochrona wód jest realizowana w szczególności z uwzględnieniem wyników oceny stanu. Zgodnie z art. 349, ust. 8 ustawy *Prawo wodne* badania i ocenę stanu wód podziemnych w zakresie elementów fizykochemicznych i ilościowych wykonuje państwowa służba hydrogeologiczna. Zadania te stanowią element Państwowego Monitoringu Środowiska i służą pozyskaniu informacji o stanie wód podziemnych na potrzeby planowania w gospodarowaniu wodami oraz oceny osiągnięcia celów środowiskowych. Wyniki oceny stanu JCWPd w powiązaniu z wynikiem analizy presji i oddziaływań stanowią podstawę do podejmowania działań naprawczych ukierunkowanych na redukcję presji, ograniczenie zanieczyszczenia oraz w efekcie osiągnięcie celów środowiskowych, co bezpośrednio przekłada się na ochronę wód.

Aktualnie obowiązująca ocena stanu jednolitych części wód podziemnych wykonana została w 2020 r. i opierała się na przeprowadzeniu dziewięciu testów klasyfikacyjnych oraz dwóch analiz wspierających, ukierunkowanych na potrzeby różnych odbiorców wód podziemnych tzw. receptorów (ekosystemy lądowe zależne od wód podziemnych, wody powierzchniowe, wody przeznaczone do spożycia). Końcowa ocena stanu JCWPd jest rezultatem agregacji wyników wszystkich testów klasyfikacyjnych. Warunkiem koniecznym do stwierdzenia dobrego stanu w badanej JCWPd jest pozytywny wynik oceny stanu wszystkich testów.

W wyniku przeprowadzonej w 2020 r. procedury oceny stanu JCWPd, na podstawie wyników monitoringu diagnostycznego z 2019 r., stwierdzono, że (ryc. 6 i 7):

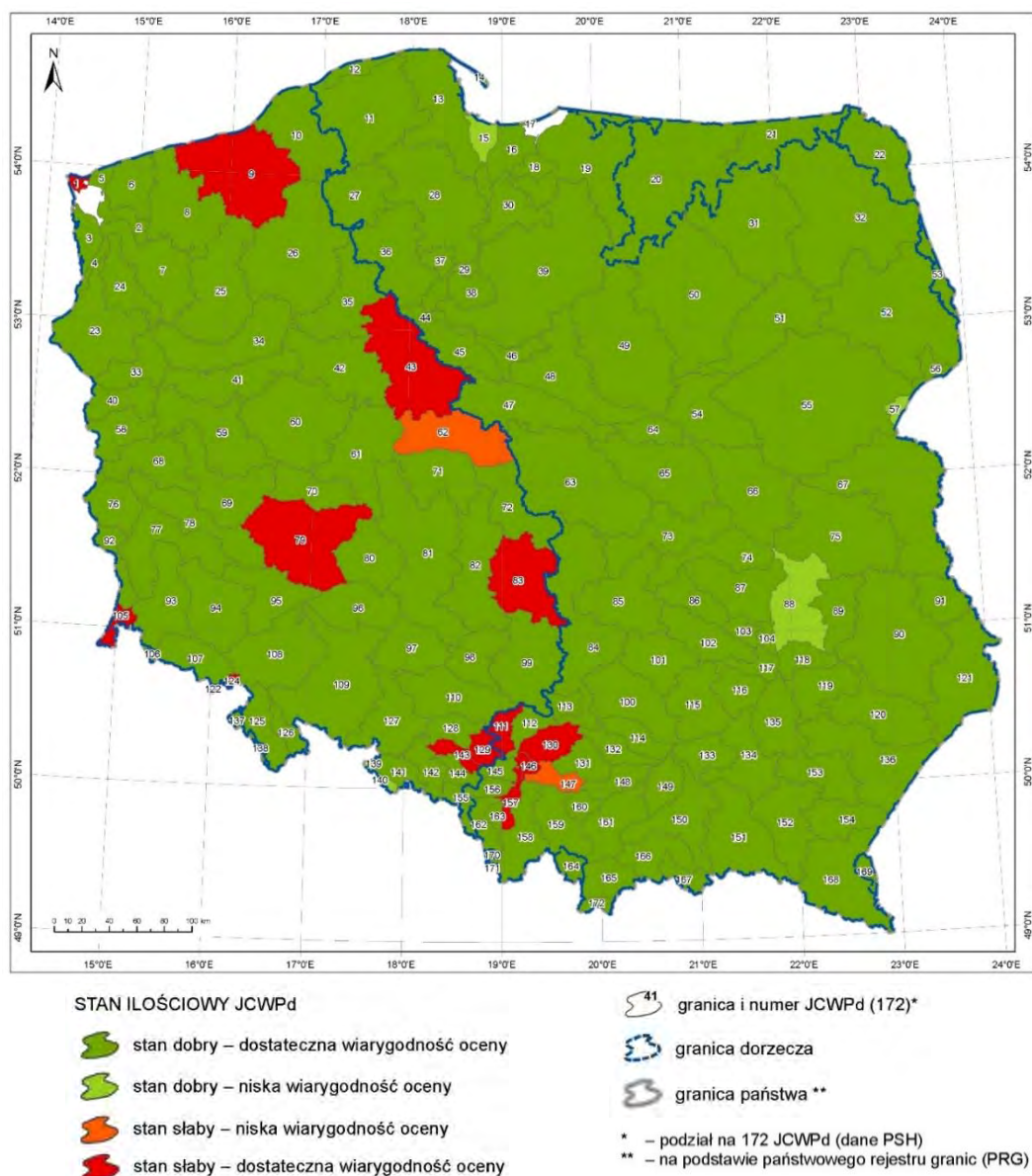
- liczba JCWPd o stanie dobrym wynosi 151, a o stanie słabym 21;
- liczba JCWPd o dobrym stanie chemicznym wynosi 163, a o stanie słabym 9;
- liczba JCWPd o dobrym stanie ilościowym wynosi 157, a o stanie słabym 15;
- w porównaniu z oceną stanu wg danych z 2016 r., 160 JCWPd utrzymało swój stan. Dotyczyło to 144. JCWPd o stanie dobrym i 16. JCWPd o stanie słabym;
- utrzymujący się stan słaby stwierdzono w 15. JCWPd, o numerach: 1, 43, 62, 70, 83, 105, 111, 129, 130, 135, 143, 145, 146, 157 i 164;

- zmianę ze stanu dobrego na stan słaby stwierdzono w 6. JCWPd, o numerach: 9, 64, 79, 124, 127, 147;
- zmianę ze stanu słabego na stan dobry stwierdzono w 7. JCWPd, o numerach: 15, 18, 39, 60, 110, 132, 156;
- powierzchnia JCWPd, w których stwierdzono dobry stan, wynosi 285 605,25 km², co stanowi 91,61% powierzchni całego kraju;
- powierzchnia JCWPd, w których stwierdzono słaby stan, wynosi 26 168,43 km², co stanowi jedynie 8,39% powierzchni kraju (Palak-Mazur i in. 2020b).



Ryc. 6. Wynik oceny stanu chemicznego JCWPd – ocena wykonana w 2020 r. wg wyników monitoringu diagnostycznego z 2019 r.

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna



Ryc. 7. Wynik oceny stanu ilościowego JCWPd – ocena wykonana w 2020 r. wg danych z 2019 r.

Źródło: Państwowa Służba Hydrogeologiczna

Warto także zaznaczyć, że zgodnie z przepisami Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 9 października 2019 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. z 2019 r., poz. 2147), monitoring jednolitych części wód podziemnych prowadzi się w sposób umożliwiający wykrycie znaczących i utrzymujących się trendów wzrostu stężeń zanieczyszczeń spowodowanych oddziaływaniami antropogenicznymi (§ 11, pkt. 2).

W ramach oceny stanu przeprowadzana jest analiza tendencji wartości stężeń wskaźników fizyczno-chemicznych oraz identyfikacja znaczących i utrzymujących się trendów wzrostowych stężeń zanieczyszczeń (Palak-Mazur i in. 2020a). Znaczący i utrzymujący się trend wzrostowy oznacza każdy statystycznie i pod względem środowiskowym istotny wzrost stężenia zanieczyszczeń w wodach podziemnych, w związku z którym istnieje konieczność odwrócenia tego trendu. Zgodnie z Dyrektywą Wód Podziemnych (Załącznik IV, część B, punkt 1), punktem początkowym inicjowania działań mających odwrócić znaczące i utrzymujące się trendy wzrostowe jest stan, kiedy stężenie zanieczyszczenia osiąga 75% wartości parametrów norm jakości wód podziemnych określonych w załączniku I oraz wartości progowych ustalonych zgodnie z art. 3 DWP i określonych w Rozporządzeniu MG MiŻŚ z dnia 9 października 2019 r. *w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych* (Dz.U. z 2019 r., poz. 2147).

W ramach analizy tendencji zmian stężeń zanieczyszczeń w punktach wykonywana jest także prognoza wartości stężeń poszczególnych wskaźników, poprzez przedłużenie linii trendu do końca danego cyklu planistycznego. W przepisach prawnych nie ma odniesienia do prognozowania analiz szeregów czasowych, niemniej jednak przewidywanie znaczących i utrzymujących się trendów wzrostowych w kolejnym cyklu planistycznym jest ważnym elementem w śledzeniu zmian stężeń zanieczyszczeń i daje możliwość oceny ryzyka nieosiągnięcia bądź nieutrzymania dobrego stanu (Palak-Mazur i in. 2020a). Analiza tendencji wartości stężeń wskaźników fizyczno-chemicznych na reprezentatywnych danych z monitorowania, a także identyfikacja znaczących i utrzymujących się trendów wzrostowych stężeń zanieczyszczeń daje możliwość pozyskania spójnej i całościowej oceny stanu chemicznego wód podziemnych. Pozwala także, na odpowiednim poziomie pewności i precyzji, odróżnić zmiany naturalne od zmian antropogenicznych. Dzięki temu odpowiednio wcześniej można zastosować środki mające na celu zapobieżenie lub co najmniej jak największe złagodzenie istotnych dla środowiska niekorzystnych zmian w jakości wód podziemnych.

Podsumowanie

Podsumowanie niniejszego opracowania skłania do zadania podstawowego pytania: czy funkcjonujące w Polsce rozwiązania prawne służące ochronie zasobów wodnych są wystarczające? Czy obowiązujące przepisy, zasady i procedury spełniają swoją rolę i służą efektywnej ochronie wód podziemnych, zarówno w zakresie stanu ilościowego jaki i chemicznego (jakości wód)?

Odpowiedź nie jest ani prosta ani jednoznaczna, gdyż z jednej strony zgodnie z wynikami oceny stanu JCWPd, słaby stan wód stwierdzono na niewiele ponad 8% powierzchni kraju. Porównując je z wynikami z poprzednich lat w skali kraju nie stwierdza się pogorszenia stanu wód podziemnych, a wręcz widoczna jest niewielka poprawa, co także przemawia za pozytywną oceną systemu ochrony wód w Polsce. Należy jednak pamiętać o ograniczeniach oceny stanu JCWPd, na której wynik i wiarygodność przekłada się wiele elementów i ograniczeń, od reprezentatywności sieci monitoringu wód podziemnych po dostępność i wiarygodność danych wejściowych. Nie do pominięcia jest także efekt skali wykonywanej oceny – wydzielone w Polsce JCWPd są dość dużymi jednostkami i dlatego np. zanieczyszczenia stwierdzone w skali lokalnej giną w procedurze oceny w skali regionalnej.

W odniesieniu do stanu ilościowego z kolei dużym ograniczeniem jest brak informacji na temat wielkości poboru nierejestrowanego, który w ocenie jest uwzględniany jedynie w sposób szacunkowy, a tym samym pomijane jest jego regionalne zróżnicowanie.

Dalszy rozwój sieci monitoringu wód podziemnych, integracja danych o presjach na poziomie ogólnokrajowym oraz innych danych środowiskowych, przyczynią się do sukcesywnego zwiększania stopnia rozpoznania stanu wód w Polsce i umożliwią podejmowanie działań naprawczych dobrze ukierunkowanych na redukcję presji lub łagodzenie jej skutków.

Z drugiej strony na efektywność systemu ochrony zasobów wodnych ma także wpływ przejrzystość obowiązujących przepisów i procedur, a także sposób ich przestrzegania. Skomplikowane i długotrwałe procedury sprzyjają działaniom ukierunkowanym na ich pomijanie. Podobny wpływ mają nieefektywne systemy kontroli w gospodarowaniu wodami oraz brak lub niewystarczające sankcje za naruszanie przepisów. Jest to spotykane zarówno w odniesieniu do stanu chemicznego (np. niekontrolowane wylwanie ścieków lub gnojowicy), jak też do stanu ilościowego (np. wykonywanie studni bez projektów robót geologicznych i pobór wód bez pozwolenia wodnoprawnego).

Wciąż bardzo wiele jest do zrobienia w zakresie działań edukacyjnych i podnoszenia świadomości społecznej na temat warunków występowania wód podziemnych, ich użytkowania i roli jakie pełnią zarówno w środowisku, jak i w zaspokajaniu potrzeb wodnych ludności i gospodarki. Ramowa Dyrektywa Wodna kładzie duży nacisk na udział społeczeństwa w planowaniu i realizacji działań mających na celu utrzymanie bądź osiągnięcie celów środowiskowych dla wód. Jednak zaangażowanie społeczne w tym zakresie w Polsce nadal wydaje się być niewystarczające.

Bibliografia

- Felter A., Forst Sz., Gałkowski P., Herbich P., Mikołajków J., Mordzonek G., Mikołajczyk A., Przytuła E., Węglarz D., 2012, *Zadania Systemu Przetwarzania Danych Państwowej Służby Hydrogeologicznej – rozpoznawanie, bilansowanie i ochrona wód podziemnych*, PZTiS, 19(1): 37–59.
- Frankowski Z., Gałkowski P., Mitreǵa J., 2009, *Struktura poboru wód podziemnych w Polsce*, Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej, PIG–PIB.
- Herbich P., Mikołajków J., Skrzypczyk L., 2011, *Wybrane problemy ustanawiania obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 445: 179–192.
- Herbich P., Kapuściński J., Nowicki K., Rodzoch A., 2013, *Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych*, Poradnik metodyczny, Ministerstwo Środowiska.
- Chmielewska J., Jezierski H.J., 2004, *Europejskie instrumenty prawne ochrony wód podziemnych - co nas czeka po wejściu do Unii Europejskiej?*, [w:] Materiały XV Sympozjum naukowo-technicznego: Gospodarowanie wodami podziemnymi w Unii Europejskiej, PZTiS, 15(1): 1–11.

- Matusiak M., Przybyłek J., 2017, *Wykorzystanie niestacjonarnego modelu przepływu do oceny rzeczywistej wielkości eksploatacji wód podziemnych z piętra jurajsko-kredowego na obszarze intensywnych nawodnień rolniczych w rejonie Kalisza*, Przegląd Geologiczny, 65(11/2): 1218–1224.
- Palak-Mazur D., Stojek M., Kowalczyk A., Mikołajczyk A., Felter A., Piskorek K., Połujan-Kowalczyk M., Przytuła E., Solovey T., Janica R., Galczak M., Gidziński T., Cabalska J., Rojek A., Kuczyńska A., Razowska-Jaworek L., Woźnicka M., 2020a, *Aktualizacja metodyki oceny stanu JCWPd wraz z opracowaniem metodyki analizy odwracania trendów zanieczyszczeń* (Wykonano w ramach realizacji Etapu III umowy nr 25/2018/F z dnia 12.07.2018 r., pt. Monitoring stanu chemicznego oraz ocena stanu jednolitych części wód podziemnych w dorzeczach w latach 2018–2021, na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska), PIG–PIB.
- Palak-Mazur D., Stojek M., Kowalczyk A., Mikołajczyk A., Felter A., Piskorek K., Połujan-Kowalczyk M., Przytuła E., Solovey T., Janica R., Galczak M., Gidziński T., Cabalska J., Rojek A., Kuczyńska A., Razowska-Jaworek L., Woźnicka M., 2020b, *Opracowanie oceny stanu chemicznego i ilościowego jednolitych części wód podziemnych w dorzeczach* (Wykonano w ramach realizacji Etapu V umowy nr 25/2018/F z dnia 12.07.2018 r., pt. Monitoring stanu chemicznego oraz ocena stanu jednolitych części wód podziemnych w dorzeczach w latach 2018–2021, na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska), PIG–PIB.
- Przytuła E., 2015, *Programy prac i dokumentacje hydrogeologiczne ustalające zasoby dyspozycyjne wód podziemnych na potrzeby przeprowadzania bilansów wodnogospodarczych oraz opracowania warunków korzystania z wód regionu wodnego i zlewni – założenia metodyczne, stan realizacji przedsięwzięcia*, Przegląd Geologiczny, 63(10/2): 1027–1032.
- Rozporządzenie 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. z 2019 r., poz. 2148).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 9 października 2019 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. z 2019 r., poz. 2147).
- Sadurski A., 2004, *Zadania ochrony wód podziemnych wynikające z Ramowej Dyrektywy Wodnej UE*, Przegląd Geologiczny, 52(10): 1004–1005.
- Sadurski A., 2015, *Problem zasobów wód podziemnych*, Przegląd Geologiczny, 63(10/2): 1047–1052.
- Sadurski A., Przytuła E., 2016, *Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych dorzeczy w Polsce w świetle zrównoważonego gospodarowania wodami*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 466: 261–270.
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz. U. z 2021 r., poz. 624, 784).

- Witczak S., 2006, *Ochrona jakości wód podziemnych w świetle dyrektyw UE*, [w:] Materiały XVI Sympozjum naukowo-technicznego: Problemy związane z wprowadzaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej, PZTiS, 16(1): 61–71.
- Witczak S., Kania J., Żurek A., 2012, *Kierunki zmian w dyrektywach Unii Europejskiej (RDW i DWP) w świetle realizacji europejskiego projektu FP7 GENESIS*, [w:] Materiały XIX Sympozjum naukowo-technicznego: Gospodarowanie wodami podziemnymi w aktualnych uwarunkowaniach, PZiTS, 19(1): 3–12.
- Woźnicka M., Kuczyńska A., 2019, *Rewizja dyrektyw unijnych dotyczących zarządzania zasobami wodnymi – plany Komisji Europejskiej w zakresie nowelizacji polityki wodnej*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 475.

OBSZARY TERENÓW OCHRONY POŚREDNIEJ UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH A PLANY BEZPIECZEŃSTWA WODY – WSKAZÓWKI DLA PRAKTYKÓW

<https://doi.org/10.18778/8220-655-5.11>

Streszczenie: Analiza ryzyka jest koniecznym do opracowania dokumentem, którego wnioski stanowią argument za lub przeciw utworzeniu strefy ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych. Celem analizy ryzyka jest ocena zagrożeń zdrowotnych wynikających ze sposobów zagospodarowania zlewni ujęcia, ocena ryzyka związanego z tymi zagrożeniami oraz analiza barier ochronnych dla ograniczenia skutków. Dopiero na końcu decyduje się kwestia wprowadzenia ewentualnych obostrzeń w gospodarczym korzystaniu z obszarów zlewni ujęcia. Dokumenty hydrogeologiczne są narzędziami bazowymi wykorzystywanymi w metodyce. Identyczne analizy i oceny ryzyka są elementami Planu Bezpieczeństwa Wody (PBW). Praktycznym celem publikacji jest wykazanie możliwości wykorzystania oceny ryzyka z PBW w analizie ryzyka na potrzeby utworzenia strefy. Ważnym wnioskiem z publikacji jest podkreślenie ustawowego wymogu wykonania oceny zagrożeń zdrowotnych dla jakości wody z wykorzystaniem analiz hydrogeologicznych w ramach oceny ryzyka, wykonanej ściśle zgodnie z wymogami normy PN-EN 15975-2.

Słowa kluczowe: analiza i ocena ryzyka, zagrożenia zdrowotne, strefa ochrony pośredniej, dokumentacja hydrogeologiczna, Plan Bezpieczeństwa Wody.

Wprowadzenie

Wyznaczenie i charakterystyka stref ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych zawsze były elementami dokumentacji hydrogeologicznej, jednak ustawa *Prawo wodne* z 2017 roku (Dz.U. z 2021 r., poz. 624) nakazała wykonanie analizy ryzyka dla stwierdzenia potrzeby utworzenia tych stref. Przepisy, mimo że nie zawierają szczegółowej metodyki ani precyzyjnie ustalonego zakresu tejże analizy ryzyka, jasno mówią, kto zobowiązany jest do wykonania dokumentacji, określają także, w artykule 133, ust. 3 ustawy *Prawo wodne*, jakie elementy powinna obejmować analiza ryzyka. Z cytowanego artykułu wynika wprost, że analiza ryzyka obejmować powinna „ocenę zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody”. Dalej w tym akapicie stwierdza się, że tę **ocenę zagrożeń zdrowotnych** wykonać należy w oparciu o:

- analizy hydrogeologiczne oraz dokumentację hydrogeologiczną;
- identyfikację źródeł zagrożenia [...];
- wyniki badania jakości ujmowanej wody.

Z treści tegoż artykułu jasno zatem wynika, że chodzi tutaj nie o dokumentację hydrogeologiczną, nie o identyfikację źródeł zagrożenia i nie o wyniki badania jakości wody; wymienione trzy istotne elementy stanowią **wyłącznie narzędzia pomocnicze** do wykonania analizy ryzyka, na co trafnie zwracają uwagę specjaliści (Łyp 2019).

¹ FDKF Firma doradcza – gospodarka wodno-ściekowa, Siemianowice Śląskie, k.filipek@fdkf.pl, ORCID 0000-0002-4728-1124

Tak się składa, że analiza ryzyka, związana z oceną ryzyka (rozumianą jako skwantyfikowaną kwintesencję analizy ryzyka), stanowi przedmiot normy PN-EN 15975-2 (PKN 2016). Można i należy zatem przyjąć, iż sformalizowane wytyczne metodyczne do przeprowadzenia analizy ryzyka, wraz z oceną, znajdują się w przytoczonej normie.

Ocena ryzyka stanowi bardzo istotny, kluczowy, element Planów Bezpieczeństwa Wody. Metodyka wykonania Planu opisana jest szczegółowo w dokumencie pn. *Podręcznik opracowania Planów Bezpieczeństwa Wodnego* (Światowa Organizacja Zdrowia 2009, Główny Inspektorat Sanitarny 2012). Zgodnie z tymi wytycznymi coraz więcej przedsiębiorstw wodociągowych w Polsce, bo w Europie ten proces jest już dużo bardziej zaawansowany, opracowuje Plan Bezpieczeństwa Wody, zdając sobie sprawę z rangi i istoty tego dokumentu.

Plan Bezpieczeństwa Wody obejmuje swoim zasięgiem proces dostawy wody od zlewni ujęcia aż do odbiorcy. Obszar zlewni jest więc tylko jednym z elementów Planu, jednakże ocena ryzyka wykonywana w ramach Planu obejmuje, na równych prawach, także i ten obszar. Skoro zatem obszar zlewni jest wspólnym elementem analizy ryzyka opracowywanej na potrzeby utworzenia strefy ochrony pośredniej oraz oceny ryzyka stanowiącej istotę Planu Bezpieczeństwa Wody, warto by wykonanie dokumentacji dotyczącej ryzyka stanowiło jeden proces z zastosowaniem jednej metodyki i z uwzględnieniem identycznych kryteriów oceny. Przypomnieć bowiem należy, że i w jednym i w drugim dokumencie, tj. analizie ryzyka na potrzeby strefy oraz Planie Bezpieczeństwa Wody, chodzi przede wszystkim o **zapewnienie bezpieczeństwa i ochronę jakości (i ilości) wody**.

Tło i obszar analizy

Zlewnia ujęcia wód podziemnych, a w zasadzie część zlewni będąca obszarem spływu wód do ujęcia, którego czas jest równy lub krótszy od 25. lat, stanowi środowisko badawcze analizy i oceny ryzyka. Warto w tym miejscu zauważyć, że w prawodawstwie i w praktyce krajów zachodnich, a także w niektórych polskich publikacjach analizuje się bardziej precyzyjnie zdefiniowane strefy, obejmujące np. obszary spływu o czasie trwania rzędu dni lub miesięcy, co wpływać może na lepszą ochronę zasobów wodnych danego ujęcia (co w interesujący sposób opisuje m.in. B. Łyp 2018a).

Dokumentacja hydrogeologiczna oraz towarzyszące jej analizy (z bardzo dobrze omówioną metodyką, np. w materiale M. Czopa 2019), często wykonane z wykorzystaniem najnowszych narzędzi modelowania numerycznego, bardzo dokładnie ustalają zasięg obszaru ustalonej hydroizohipsy, z uwzględnieniem precyzyjnie wyliczonego czasu wędrówki wody z obecnymi w niej ewentualnymi zanieczyszczeniami przez warstwy izolujące (czas aeracji) oraz przez warstwę wodonośną (czas saturacji). Punktem „startu” omawianej migracji jest dowolny punkt stanowiący ognisko zanieczyszczeń, obecny w omawianej w strefie (w przypadku zanieczyszczeń obszarowych może to być określona powierzchnia presji); punktem docelowym natomiast jest konkretna studnia ujęcia. Analizowanym, lub lepiej powiedzieć – kontrolowanym albo nadzorowanym medium jest konkretny wskaźnik zanieczyszczeń, którym może być albo czynnik mikrobiologiczny, np. bakteria *Escherichia coli*, albo fizykochemiczny, np. jon azotanowy albo metalu ciężkiego lub substancji ropopochodnej. Pamiętajmy bowiem, że

zagrożenie zdrowotne, o którym mowa w ustawie *Prawo wodne*, nie jest tworem niematerialnym, abstrakcyjnym lecz konkretną substancją lub organizmem żywym, np. wirusem lub bakterią.

Istota zagadnienia

Celem ustawodawcy, nakazującego np. ochronę ujęć wód podziemnych, było stworzenie warunków do prowadzenia działań, które powinny przyczynić się do zmniejszenia lub całkowitego usunięcia presji jakościowej bądź ilościowej na zasoby wodne wykorzystywane jako źródło wody do spożycia przez ludzi (Łyp 2018b). Dlatego kluczowym elementem działań są aspekty zdrowotne, a narzędziami – zakazy, nakazy bądź ograniczenia w stosunku do istniejących lub planowanych albo nawet potencjalnych działań na ściśle zdefiniowanym obszarze zlewni ujęcia wód podziemnych. W związku z tym, że mowa jest, z reguły, o już eksploatowanych ujęciach wód podziemnych, wykonanych na podstawie profesjonalnie opracowanej dokumentacji hydrogeologicznej, nie ma w zasadzie obawy o fundamenty sprawy, dlatego też ustawodawca nie zaleca wykonywanie całej analizy hydrogeologicznej od nowa, ani też nie wspomina o konieczności precyzyjnego modelowania migracji konkretnych, może nawet wszystkich, zidentyfikowanych wskaźników zanieczyszczeń (choć opracowanie takich precyzyjnych analiz nie jest wykluczone), lecz wymaga wyłącznie wykonania analizy ryzyka, która, zgodnie z ustaleniami cytowanej wcześniej normy PN EN 15975-2, może być opracowana metodami półilościowymi, z wykorzystaniem np. matrycy 5x5 lub nawet 3x3. Oznacza to w takim razie zgodę na pewną „uznaniowość” otrzymanych wyników takiej analizy ryzyka. Należy bowiem pamiętać, że wyniki analizy ryzyka stanowią wyłącznie narzędzie w procesie decyzyjnym, na co zresztą wskazuje słowo „może” (a nie np. „musi” lub „powinien”) w odniesieniu do wprowadzenia restrykcji na obszarze strefy ochrony pośredniej. Plan Bezpieczeństwa Wody, mimo że nie odnosi się wprost do kwestii zdrowotnych, to jednak analizuje każdy element całego cyklu dostarczania wody, w tym np. sieci przesyłowe oraz zagadnienia skażeń mikrobiologicznych, np. w kontekście procedur lub systemu monitoringu, a wszystko to z wykorzystaniem oceny ryzyka. Gdyby zatem przyjąć, że ocena (analiza) ryzyka dla obszaru zlewni oraz dla pozostałych elementów systemu zaopatrzenia w wodę powinna być wykonana z wykorzystaniem takiej samej metodyki, w tym także i matrycy oceny ryzyka, to nie ma powodu, aby taką ocenę wykonywać dwa razy, tj. osobno w ramach wymogów ustawy *Prawo wodne*, a osobno jako element Planu Bezpieczeństwa Wody, którego wykonanie, co należy podkreślić, wydaje się być obligatoryjne dla producentów i dostawców, zgodnie z zapisami Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) (2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r.).

Kluczowe elementy negatywnie wpływające na wody w odniesieniu do terenu ochrony pośredniej, które mogą zostać wykorzystane do analizy i oceny ryzyka

Artykuł 130 (w kontekście art. 140) ustawy *Prawo wodne* zawiera kluczowe dla oceny ryzyka elementy, tj. listę robót lub czynności, które, jako stanowiące źródło potencjalnych zagrożeń dla jakości wody, mogą podlegać określonym restrykcjom. Zgodnie z normą PN-EN 15975-2 zagrożenia (ich charakterystyka) stanowią bazę do przeprowadzenia skwantyfikowanej oceny

ryzyka. Inne elementy normy, tj. np. opis systemu zaopatrzenia w wodę lub sama ocena ryzyka, można założyć, że odnoszą się, w tym przypadku z konieczności, wyłącznie do obszaru zlewni ujęcia, a konkretnie zgodnie z aktualnymi przepisami, do terenu ograniczonego izoliną hydroizohipsy 25. lat. Lista zagrożeń w odniesieniu do terenu ochrony pośredniej wymienia 26 „zdarzeń”, które mogą wpływać na stan wód. Zdarzenia te powinny zostać zatem ocenione przez zespół ekspertów pod względem prawdopodobieństwa wystąpienia oraz spodziewanych skutków także w analizie ryzyka, która ponadto powinna być rozszerzona także o inne specyficzne, różne, potencjalne zdarzenia i sytuacje. I ten element wydaje się kluczowym aspektem oceny ryzyka, której wyniki, przypomnijmy, stanowią podstawę do podjęcia konkretnych decyzji administracyjnych.

Cała procedura (analizy ryzyka) nie kończy się jednak na sporządzeniu listy rankingowej zdarzeń, którym przypisane zostanie określone (wyliczone, ustalone, oszacowane) ryzyko jako iloczyn kilku zdefiniowanych składowych. Nie kończy się nawet na dokonaniu podziału tak otrzymanych ryzyk na trzy grupy, tj. ryzyka akceptowalnego, tolerowalnego i nie do zaakceptowania. Pamiętać bowiem należy, że zgodnie z metodyką, ocenę ryzyka należy przeprowadzić przy założeniu istniejących barier ochronnych, braku barier oraz przy ewentualnych nowych barierach. Trzeba również zwrócić uwagę na zalecane do wprowadzenia narzędzia monitoringu, które także stanowić mogą bardzo konkretną formę barier ochronnych. I dopiero wnioski z tak krótko opisanej, ale rzetelnie przeprowadzonej analizy (oceny) ryzyka mogą stanowić podstawę do rozważenia potrzeby wprowadzenia ograniczeń, nakazów lub zakazów na obszarze potencjalnego terenu ochrony pośredniej ujęcia. Samo utworzenie takiej strefy nie przesądza jeszcze o konieczności wprowadzenia restrykcji, a te restrykcje wcale także nie oznaczają konieczności zaprzestania lub zakazu rozpoczęcia określonych działań. Są bowiem jeszcze wspomniane bariery ochronne, o których niewiele wspomina się tak w normie jak i w Ustawie. Niestety, w dostępnych dokumentach nazwanych „Analizami (Ocenami) ryzyka na potrzeby utworzenia strefy ochrony pośredniej ujęcia X”, ten istotny element jest w zasadzie zupełnie ignorowany. Tak więc wykonana w ten sposób „analiza” nie uwzględniająca barier ochronnych, nie tylko nie spełnia podstawowych wymogów metodycznych lecz także jest niezgodna z wymogami ustawowymi, o czym mało kto zdaje się pamiętać.

Czynniki oddziaływania na jakość wody – aspekty zdrowotne

Czym są, wymieniane w ustawie *Prawo wodne*, czynniki zagrożenia zdrowotnego? Można by, w celu udzielenia pełnej odpowiedzi, odnieść się do zapisów Rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2017 r., poz. 2294), a w szczególności do treści załączników, które bardzo precyzyjnie wymieniają owe czynniki, jako ściśle zdefiniowane wskaźniki mikrobiologiczne oraz fizyko-chemiczne (są to konkretne organizmy, jak np. bakterie *E. coli*, enterokoki, albo związki chemiczne lub jony), których obecność w wodzie jest niepożądana lub zakazana, jeśli woda ma być przydatna do spożycia przez ludzi. Zarówno system monitoringu jakości wody prowadzony przez organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej jak i system kontroli wewnętrznej, posiadany przez przedsiębiorstwo wodociągów, obejmują kontrolę dokładnie tych elementów (choć nie tylko), które mogą w sposób szkodliwy oddziaływać

na zdrowie i życie człowieka. I konkretnie te elementy mają stanowić podstawę omawianej analizy ryzyka (Łyp 2019). W tym miejscu pojawia się jednak pewna trudność, wynikająca z faktu, że ocena ryzyka, wykonana zgodnie z omówioną metodyką, jest działaniem w zasadzie szacunkowym, podczas gdy wpływ konkretnych czynników presji na zdrowie człowieka jest mierzalny (choć zróznicowany dla różnych osobników) i wyrażany czasem jako dawka letalna lub dopuszczalne dzienne spożycie, lub w inny sposób. Czasem też, jak w przypadku bakterii paciorkowców, nawet jedna sztuka jest podstawą do stwierdzenia braku przydatności wody do spożycia. Chcąc stwierdzić, jaka ilość danej substancji (szkodliwej) dostaje się (lub może dostać się) do wody, należałoby precyzyjnie ustalić stężenie tej substancji w źródle skażenia, jej ilość, która ulegnie adsorpcji lub dezaktywacji w strefie aeracji oraz wielkość rozcieńczenia w strefie saturacji, zanim dotrze do ujęcia wody podziemnej. Taką precyzyjną odpowiedź daje niemal wyłącznie bardzo dokładne badanie konkretnego przypadku, poparte wynikami analizy fizyko-chemicznej albo/ oraz bakteriologicznej wody. Modelowanie natomiast jest jednak wyłącznie modelowaniem, z przyjętym marginesem błędu. Biorąc pod uwagę fakt, że w ocenie ryzyka omawiamy nie tylko przypadki stosunkowo łatwe do skwantyfikowania, które miały miejsce i są dobrze udokumentowane, lecz także i takie, które są wyłącznie hipotetyczne, można przyjąć, że półilościowa metoda, zatwierdzona przez normę, jest wystarczającym, choć z pewnością niedoskonałym narzędziem analizy.

Zagrożenia dla jakości wody wynikające ze sposobów zagospodarowania obszarów zlewni

Generalizując omówione wcześniej czynniki presji zdrowotnej na jakość wody wynikają głównie (zgodnie z zapisami art. 130. ustawy *Prawo wodne*) z konkretnych działań prowadzonych na obszarze zlewni. Każde z tych działań charakteryzuje się, niewymienionymi w Ustawie, „specjalistycznymi” czynnikami presji, np.

- wprowadzanie ścieków do wód lub do ziemi (1) – związki biogenne, związki węgla;
- rolnicze wykorzystanie ścieków (2) – azot amonowy, mikroorganizmy;
- stosowanie nawozów sztucznych (4) – sole mineralne, mocznik;
- fermy hodowlane (7) – azot amonowy, mikroorganizmy;
- transport drogowy (8) – związki organiczne, metale ciężkie;
- środki zimowego utrzymania dróg (26) – chlorki;

(liczby w nawiasach oznaczają pozycję na liście ustawowych zagrożeń).

W literaturze dostępne są liczne pozycje (np. Piontek i in. 2012, Kłojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2017), w których praktycznie wszystkie wymienione czynniki presji zostały poddane szczegółowej analizie ilościowej w odniesieniu do wielkości emisji oraz do ustalenia ilości docierających do warstwy wodonośnej i dalej – do samego ujęcia. Trzeba jednak pamiętać, że omówione przypadki zawierają raczej globalne wielkości zanieczyszczeń, skumulowane np. w trakcie rocznego, typowego użytkowania terenu, a pojedyncze zdarzenia, np. wyciek paliwa z kilkudziesięciotonowej cysterny, omawiane są wyłącznie jako studia hipotetycznych przypadków. Jednakże zasób danych wejściowych jest w pełni dostępny dla chętnych badaczy. Z punktu widzenia metodyki oceny wpływu zdrowotnego wymienionych czynników istotny

jest kolejny element analizy, tj. porównanie (lub lepiej – uwzględnienie) takich dodatkowych ilości określonych składników zanieczyszczeń w wodzie surowej, której skład jest doskonale znany z najczęściej wieloletnich badań monitoringowych. I dopiero taka końcowa „mieszanka” stanowi podstawę do oceny możliwości uzdatnienia wody z wykorzystaniem technologii istniejącej w konkretnej stacji uzdatniania wody lub stanowi ewentualnie przyczynek do proponowania niezbędnych modyfikacji lub zgodnie z intencją ustawodawcy, jest argumentem do nakazania usunięcia (lub zapobieżenia) takiego zagrożenia. Niezależnie od konieczności przeprowadzenia kartowania analizowanego obszaru zawsze można (i naprawdę warto) skorzystać z bardzo dobrej mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenia (Duda i in. 2011).

Bariery ochronne – synergia ograniczeń w strefie ochrony pośredniej oraz ustaleń Planu Bezpieczeństwa Wody

Bariery ochronne, inaczej nazywane także środkami bezpieczeństwa, są z jednej strony niezbędnymi elementami oceny ryzyka, z drugiej zaś naturalnymi sprzymierzeńcami i właścicielami (oraz konsumentów) wody, i użytkowników zlewni, których miałyby dotknąć ewentualne ograniczenia lub zakazy wprowadzone na danym obszarze. Jeśli bowiem przeprowadzona analiza (i ocena) ryzyka wykaże, że pewne zagrożenia charakteryzują się ryzykiem nie do zaakceptowania, to albo takie ryzyko eliminujemy usuwając źródło, albo wprowadzamy skuteczne bariery ochronne. W szerszym kontekście bariery ochronne dotyczą także ryzyka akceptowalnego, gdzie środkiem bezpieczeństwa będzie na przykład kontrola sprawdzająca, czy sytuacja nie uległa pogorszeniu. Tak więc bariery ochronne to element zarządzania ryzykiem. W dużym uproszczeniu można stwierdzić, że to jest najbardziej spektakularny rezultat wykonywanej analizy ryzyka. I to właśnie jest w pewnym sensie „elegancki” wspólny element analizy ryzyka na potrzeby utworzenia strefy ochrony pośredniej oraz oceny ryzyka jako elementu Planu Bezpieczeństwa Wody, co w obu przypadkach wpływać może pozytywnie na jakość i bezpieczeństwo dostaw wody. Nie ma wielkiej potrzeby omawiania barier ochronnych w postaci eliminacji źródeł problemu, np. zakazu stosowania nawozów sztucznych, zakazu stosowania osadów ściekowych lub nakazu zimowego utrzymania dróg bez stosowania środków chemicznych – są to działania oczywiste i niekiedy konieczne do zastosowania. Jednak konieczność ta musi, zgodnie z przepisami Ustawy, wynikać jednoznacznie z przeprowadzonej analizy ryzyka. W większości jednak przypadków zastosowanie dobrze opracowanych, innych barier ochronnych również może spełnić rolę skutecznej ochrony zasobów wodnych. Pamiętajmy, że mówimy o obszarze, z którego ewentualne zanieczyszczenia, po spełnieniu kilku warunków koniecznych, dostaną się do warstwy wodonośnej w okresie wielu lat, pomijając rzecz jasna przypadki skrajne, obejmujące krótki, np. kilkumiesięczny okres spływu. W takich sytuacjach warto skupić się na skutecznych barierach ochronnych, pamiętając także i o tym, że wprowadzenie restrykcji może wiązać się z wypłatą odszkodowań przez właściciela ujęcia wody, zgodnie z przepisami ustawy *Prawo ochrony środowiska* (Dz.U. z 2020 r., poz. 1219), np. artykuł 129. Bariery ochronne, co wynika np. z treści podręcznika do opracowania Planu Bezpieczeństwa Wody, mogą mieć charakter działań organizacyjnych, formalno-prawnych, technicznych lub technologicznych.

Wśród działań organizacyjnych warto wspomnieć np. o żądaniu przez właściciela ujęcia dostępu do informacji o planowanych zmianach w planach zagospodarowania przestrzennego lub o przewidywanych przedsięwzięciach mogących oddziaływać na środowisko. Należy podkreślić, że o to musi zadbać sam właściciel! Innym środkiem ochronnym może być wprowadzenie do systemu monitoringu nowych punktów badawczych (piezometrów) zlokalizowanych np. na trasie potencjalnej migracji zanieczyszczeń w miejscu oddalonym o kilkanaście lat od studni. Dość skuteczną barierą ochronną wydaje się umieszczenie w zakresie wymagań dla planowanej inwestycji, np. stacji benzynowej, konieczności wyposażenia obiektu w odpowiedni system ochronny oraz skuteczną stację osłonową w postaci indywidualnych piezometrów. W przypadku potencjalnych zagrożeń obszarowych, związanych z nieakceptowalnym ryzykiem, skuteczną barierą może być prowadzenie nadzoru nad stosowanymi środkami ochrony roślin lub nawozami naturalnymi albo sztucznymi. Stosowanie takich barier wymaga ścisłego współdziałania właściciela ujęcia, podmiotu prowadzącego określoną działalność gospodarczą na obszarze zlewni oraz instytucji kontrolnych i organów samorządowych. W każdym takim przypadku sprawdza się zasada, że lepiej zapobiegać (i kontrolować) niż leczyć. Z formalnego punktu widzenia po wprowadzeniu wymienionych (nowych) barier ochronnych konieczne jest ponowne przeprowadzenie oceny ryzyka, z góry przewidzianym rezultatem, tj. znaczącym obniżeniem niektórych ryzyk.

Podsumowanie

Procedury stosowane w analizie ryzyka stanowiącej uzasadnienie dla utworzenia strefy ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych powinny być tożsame z metodami oceny ryzyka stanowiącej kluczowy element Planów Bezpieczeństwa Wody. Mimo że w przypadku terenu ochrony pośredniej kluczowym elementem oceny są jasno wyartykułowane (w ustawie *Prawo wodne*) aspekty zagrożeń zdrowotnych, to bez obawy możemy ten czynnik także potraktować jako kluczowy na potrzeby Planu Bezpieczeństwa Wody. Jest to o tyle istotne, że bariery zaproponowane i w jednej, i w drugiej procedurze, są zbliżone i z pewnością służą temu samemu celowi czyli zapewnieniu bezpieczeństwa wody. Czynniki determinujące wpływ konkretnego zagrożenia, w tym przede wszystkim uwarunkowania hydrogeologiczne, stanowią wyłącznie tło dla samej analizy (oceny) ryzyka. Konkluzja ta powinna stanowić bardzo solidną wytyczną dla wszystkich autorów dokumentacji analizy ryzyka na potrzeby utworzenia terenu ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych.

Bibliografia

- Czop M., 2019, *Wstępna propozycja zakresu i metodyki analizy ryzyka dla ujęć wód podziemnych wg Stowarzyszenia Hydrogeologów Polskich*, [w:] Warsztaty w ramach X Konferencji: Awarie, Monitoring, Budowa i Modernizacja Sieci WOD-KAN, BMP Raci-bórz, Kielce.
- Duda R., Witeczak S. i Żurek A., 2011, *Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie. 1:500 000. Metodyka i objaśnienia tekstowe*, Kraków.

- Kłojzy-Karczmarczyk B. i Mazurek J., 2017, *Zanieczyszczenie metalami ciężkimi przypowierzchniowych warstw gruntu w otoczeniu południowej obwodnicy Krakowa*, Przegląd Geologiczny, 65(11/2): 1296–1300.
- Łyp B., 2018a, *Trójstronna ochrona ujęć wód podziemnych słabo izolowanych*, Technologia wody, 1(57): 22–26.
- Łyp B., 2018b, *Strefy ochrony ujęć wód podziemnych*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Sp. z o.o., Warszawa.
- Łyp B., 2019, *Analiza ryzyka bezpieczeństwa zdrowotnego dla ustanowienia strefy ochrony pośredniej ujęcia wody podziemnej*, Technologia wody, 2(64): 52–55.
- Piontek M., Walczak B., Czyżewska W., Lechów H., 2012, *Miedź, kadm i cynk w pyłe drogowym oraz określenie toksyczności tych metali metodą biologiczną*, Kosmos, Problemy Nauk Biologicznych, 61(3): 409–415.
- Światowa Organizacja Zdrowia, 2009, *Podręcznik opracowania Planów Bezpieczeństwa Wodnego. Zarządzanie ryzykiem krok po kroku. Instrukcja dla dostawców wody do spożycia*, Główny Inspektorat Sanitarny, Warszawa 2012.
- Polska Norma PN-EN 15975-2, 2016, *Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: zarządzanie ryzykiem*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2017 r., poz. 2294).
- Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* (Dz.U. z 2020 r., poz. 1219).
- Ustawa z 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne* (Dz.U. z 2021 r., poz. 624).

STRESZCZENIA

Rozszerzone

dr hab. Magdalena Lisiecka-Długosz, prof. ucz.¹

prof. dr hab. Marek Marciniak²

dr hab. Maciej Ziulkiewicz, prof. ucz.³

ASCENZJA MINERALNYCH WÓD OKOŁOWYSADOWYCH DO KORYTA MOSZCZENICY W REJONIE GIECZNA (POW. ZGIERSKI)

Moszczenica, prawobrzeżny dopływ Bzury, jest jedyną w kraju rzeką, która wykształciła swoją dolinę w nadkładzie wysadu solnego. Moszczenica płynąc poprzez równinę Łowicko-Błońską ku północy, pokonuje strefę wysadu solnego Rogoźno. Wysad ten jest jedną z wielu struktur halokinetycznych na pograniczu wału kujawskiego i małej niecki łódzkiej, która przebiła się poprzez nadkład utworów mezozoicznych. Przeciętna miąższość nadkładu kenozoicznego ponad czapą iłowo-gipsową sięga 200 m. Zasadniczo są to utwory piaszczyste, z pokładami węgla brunatnego pokryte nieciągłym pokładem gliny morenowej zlodowacenia Warty. Środowisko to penetrowane jest przez wody podziemne, których chemizm świadczy o ich kontakcie ze strukturą solną. Północna część strefy nadwysadowej, w okolicach wsi Gieczno, charakteryzuje się płytkim występowaniem wód mineralnych, w tym również w obrębie pierwszego poziomu wodonośnego. Rozpoznanie hydrodynamicznie i hydrochemicznie strefy hyporeicznej Moszczenicy wskazuje na przenikanie wód mineralnych wprost do koryta rzeczne.

Celem niniejszej pracy była identyfikacja warunków krążenia wód mineralnych w strefie drenażu wód podziemnych oraz *upwellingu* w strefie hyporeicznej. W szczególności chodziło o stwierdzenie czy w strefie hyporeicznej występują tylko wody gruntowe, czy są tam także zmineralizowane wody głębokiego krążenia?

W analizie warunków hydrodynamicznych uwzględniono pomiary różnicy natężenia przepływu wody w Moszczenicy na dwóch przekrojach hydrometrycznych oraz dane o stanie zwierciadła wód podziemnych w sąsiednich studniach ujmujących wody gruntowe. Dodatkowo uwzględniono pomiary gradientu hydraulicznego w strefie hyporeicznej, wykonane za pomocą nowego urządzenia pomiarowego zwanego gradientometrem. Wykorzystując własną metodę obliczeniową wykazano, że strumień zasilania podziemnego strefy hyporeicznej Moszczenicy (*upwelling*) ma dwie składowe: dopływ wód gruntowych oraz drenaż zmineralizowanych wód podziemnych głębokiego krążenia.

Dla weryfikacji tego świadectwa przeprowadzono badania izotopowe wód w rejonie Gieczna, obejmując analizą wody: wgłębne zmineralizowane, wody gruntowe, wody hyporeiczne ze strefy *upwellingu* oraz wody z koryta rzeczne Moszczenicy. Zakres oznaczeń izotopów promieniotwórczych obejmował ⁴⁰K, ²²⁶Ra oraz ²²⁸Ra. Analizy przeprowadzono w Międzyresortowym Instytucie Techniki Jądrowej Politechniki Łódzkiej. Stosunek aktywności dwóch izotopów radu tj. ²²⁸Ra/²²⁶Ra, w wodach uzależniony jest od aktywności macierzystych

¹ Politechnika Łódzka, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, ul. Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź, magdalena.dlugosz-lisiecka@op.lodz.pl, ORCID 0000-0003-1358-049X

² Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, ul. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań, mmarc@amu.edu.pl, ORCID 0000-0002-5377-5585

³ Uniwersytet Łódzki, Katedra Geologii i Geomorfologii, ul. Prezydenta Gabriela Narutowicza 88, 90-139 Łódź, maciej.ziulkiewicz@geo.uni.lodz.pl, ORCID 0000-0002-9196-845X

izotopów ^{238}U oraz ^{232}Th budujących dwa naturalne szeregi promieniotwórcze. Oba izotopy radu, ^{228}Ra oraz ^{226}Ra , jako przedstawiciele tego samego pierwiastka wykazują ten sam chemizm, ale biorąc pod uwagę różne czasy połowicznego zaniku i różne pochodzenie, stężenia każdego z tych izotopów są różne. Na podstawie stosunków izotopowych $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ możliwe jest określenie oddziaływań między skałami wodonośnymi a wodą i w związku z tym podobieństw występujących pomiędzy tymi strukturami geologicznymi. Izotop ^{40}K jest niezależnym wskaźnikiem charakteryzującym i rozróżniającym wody o różnym pochodzeniu.

Zastosowanie metod chemometrycznych, np. metody analizy hierarchicznej czy PCA (głównych składowych) umożliwiło wytypowanie wód o podobnej historii, wieku, czy głębokości, a przede wszystkim podobieństwie struktur skał wodonośnych.

Uzyskane wyniki wskazują na silne powiązanie genetyczne wód hyporeicznych w strefie *upwellingu* z wodami wgłębnymi, zwłaszcza tymi, które zostały pobrane w bezpośredniej bliskości czapy iłowo-gipsowej wysadu solnego. Potwierdzono tym samym obliczenia hydrodynamiczne i pozytywnie zweryfikowano metodę wyznaczania składowych systemu drenażu dolinnego rzeki nizinnej. W strefie hyporeicznej (*upwellingu*) występują wody głębokiego krążenia, w niewielkim stopniu zmieszane z wodami gruntowymi i powierzchniowymi.

inż. Aneta Walas¹

dr hab. inż. Dariusz Dobrzyński²

dr hab. Maciej Ziulkiewicz, prof. ucz.¹

OCENA GEOCHEMICZNYCH EFEKTÓW INGRESJI ZASOLONYCH WÓD TERMALNYCH DO DOLNOKREDOWEGO POZIOMU ZWYKŁYCH WÓD PODZIEMNYCH MAŁEJ NIECKI ŁÓDZKIEJ. SYMULACJA HIPOTETYCZNYCH SCENARIUSZY

Dolnokredowy zbiornik wód podziemnych w regionie łódzkim pełni ważną funkcję gospodarczą, mając 25% udziału w zaopatrzeniu mieszkańców regionu w wodę pitną. Walory użytkowe poziomu dolnokredowego wynikają z małej mineralizacji wód, stabilności parametrów jakościowych oraz głębokiego występowania, co przekłada się na ograniczone ryzyko dotarcia zanieczyszczeń ze strefy przypowierzchniowej. Problemem jest natomiast ocena bezpiecznego poziomu eksploatacji tych wód. Znaczne zagłębienie wodonośca dolnokredowego na obszarze o budowie blokowej, jaką wykazuje mała niecka łódzka, i położenie w bliskim sąsiedztwie struktur solnych, niosą ryzyko zanieczyszczenia geogenicznego. W takich okolicznościach rozważana jest eksploatacja zasobów geotermalnych reprezentowanych przez wody występujące w utworach jurajskich małej niecki łódzkiej. Na przykład wody jury dolnej mogą osiągać na tym obszarze temperaturę do 80°C, przy wydajnościach sięgających 300 m³/h. Wody podziemne w jurajskich utworach wodonośnych występują pod dużymi ciśnieniami złożowymi, mają mineralizację w granicach od 2 do 100 g/l, wykazują przy tym duże stężenia chlorków oraz wysoką twardość i agresywność, a tym samym znaczną odmienność składu i właściwości od wód dolnokredowych. Może to rodzić poważne zagrożenia w razie zaistnienia niepożądanych kontaktów hydraulicznych, jakie mogą powstać w wyniku degradacji konstrukcji ujęć geotermalnych lub nieuszczelności w otworach eksploatacyjnych bądź otworach zatłaczających wody zużyte.

Niniejsza praca powstała w celu odpowiedzi na pytanie jak ewentualna ingresja zmineralizowanych, termalnych wód jurajskich może wpłynąć na jakość wód zbiornika dolnokredowego małej niecki łódzkiej. Innym ważnym celem była ocena wpływu mieszania się jurajskich wód z dolnokredowymi, na stan trwałości naturalnych bądź wtórnych faz mineralnych. Zmiany stanu nasycenia wody względem minerałów mogą prowadzić do wzmożonej kolmatacji i/lub korozyjności.

Do przeprowadzenia analizy wpływu mieszania się wód posłużyły analizy fizykochemiczne zamieszczone w dokumentacjach geologicznych z lat 60-tych oraz wyniki badań fizykochemicznych realizowanych dla potrzeb regionalnej sieci monitoringu wód podziemnych z pierwszej połowy lat 90-tych. Archiwalne analizy obejmowały jedynie podstawowe parametry i składniki wód, jak odczyn (pH), temperaturę, zasadowość lub stężenie wodorowęglanów,

¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geologii i Geomorfologii, ul. Prezydenta Gabriela Narutowicza 68, 90-136 Łódź, aneta.walas2@gmail.com; maciej.ziulkiewicz@geo.uni.lodz.pl, ORCID 0000-0002-9196-845X

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, d.r.dobrzynski@uw.edu.pl, ORCID: 0000-0002-0128-2201

chlorków, siarczanów, magnezu, wapnia, sodu, potasu oraz żelaza. Brak potrzebnych informacji o stężeniach krzemu i glinu uzupełniono szacując je przy użyciu programu PHREEQC. Programu posłużył również do przeprowadzenia symulacji mieszania się, w zmiennych proporcjach, wód jurajskich z dolnokredowymi oraz oceny stanu nasycenia wód-mieszanek względem wybranych faz mineralnych budujących skały wodonośne.

Spośród 22. studni dolnokredowych oraz 6. otworów sięgających wodonośnych utworów jurajskich, dla potrzeb niniejszej pracy wybrano trzy pary ujęć reprezentujących poziom dolnokredowy i poziomy jurajskie. Kryteriami wyboru było możliwie bliskie położenie otworów w parze, zakładając, że chemizm wód na takim obszarze nie ulega dużym zmianom zarówno w utworach dolnokredowych, jak i jurajskich. Pierwsza para otworów jura-kreda położona jest na wschodnim skrzydle małej niecki (otwór Telefoniczna – ujęcie Mazowiecka), druga w centralnej, synklinalnej, części niecki łódzkiej (otwór Tuszyn – ujęcie Grodzisko), zaś trzecia na zachodnim skrzydle niecki (otwór Żytowice-1 – ujęcie Prusinowice) w strefie dyslokacji Ponętów-Pabianice, w której przebiegają struktury salinarne.

Wybór ujęć w trzech różnych strefach małej niecki łódzkiej, a jednocześnie uwzględnienie analiz wód z trzech poziomów wodonośnych jury (górnego, środkowego i dolnego), stwarza szerokie możliwości porównania ze sobą różnych scenariuszy ingresji jurajskich wód termalnych. Uzyskany obraz hipotetycznej ingresji wód jurajskich do poziomu dolnokredowego pokazuje, że niespełna jednoprocenowy udział wód jurajskich w mieszaninie może doprowadzić do przekroczenia standardów jakości dla wód pitnych. Przenikanie najsilniej zmineralizowanych wód dolnojurajskich, występujących w rejonie Tuszyna i tamtejszej poduszki solnej, do wodonośca dolnokredowego (Grodzisko) może najszybciej doprowadzić do przekroczenia standardów dla wód pitnych. Największe ryzyko związane jest z przekroczeniem stężenia normatywnego chlorków. Kilkuprocenowy udział wód jury dolnej i/lub środkowej doprowadzi z kolei do przekroczenia dopuszczalnej zawartości sodu, a także dalszego wzrostu zawartości żelaza w wodzie.

Ingresja zmineralizowanych wód jurajskich zmieni stan nasycenia wód dolnokredowych względem faz mineralnych. Wyniki symulacji dowodzą, że może to prowadzić do intensyfikacji kolmatacji – tworzenie się faz wtórnych (względem węglanów, minerałów ilastych oraz faz żelazonośnych), jak i wzrostu agresywności wody (rozkład minerałów pierwotnych, rozwój korozji). Mieszanie się wód podziemnych z kredy dolnej z wodami jurajskimi może skutkować pogłębianiem się stanu przesycenia względem minerałów węglanowych, smektytów oraz kaolinitu.

Bardzo niepełny obraz warunków hydrogeologicznych panujących w głębszych partiach małej niecki łódzkiej, w przypadku poziomów jurajskich ograniczony do informacji z zaledwie kilku otworów, stwarza możliwość przeprowadzenia jedynie wstępnej oceny sytuacji. Jednak fakt, iż geotermalne wody jurajskie wykazują silną odmienność hydrochemiczną od wód z utworów dolnej kredy i jednocześnie znajdują się pod wysokimi ciśnieniami złożowymi, każe zakładać istnienie poważnego ryzyka wystąpienia ingresji, jako nowej formy geogenicznego zagrożenia zasobów pitnych wód podziemnych, czerpanych dla łódzkiej aglomeracji miejskiej.

prof. dr hab. inż. Anna M. Anielak¹

dr inż. Aneta Kłeczek¹

dr inż. Dominika Łomińska-Płatek¹

dr inż. Tomasz Orliński¹

SUBSTANCJE HUMUSOWE W KOMUNALNEJ GOSPODARCE WODNEJ

Substancje humusowe (SH) są to produkty rozkładu materii organicznej, najczęściej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Występują one powszechnie w glebie oraz środowisku wodnym (powierzchniowym i podziemnym).

Od kilkunastu lat prowadzone m.in. w Politechnice Krakowskiej badania wykazują, że istotnym źródłem ich powstawania jest gospodarka komunalna. Stwierdzono ich występowanie nie tylko w wodach ujmowanych na cele komunalne, ale również w odciekach składowisk odpadów komunalnych, w osadzie czynnym, odciekach osadu nadmiernego i przefermentowanego, w ściekach surowych, oczyszczanych i oczyszczonych.

Ocieki składowisk odpadów komunalnych, ze względu na duże stężenie zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych są odprowadzane do oczyszczalni biologicznej. Ponieważ zawarte w nich SH nie ulegają biodegradacji, są częściowo adsorbowane na osadzie czynnym, natomiast frakcje lekkie pozostają w ściekach oczyszczonych i są z nimi odprowadzane do odbiorników otwartych, z których woda ujmowana jest na cele komunalne. W zakładach uzdatniania wody SH są poddawane procesowi utleniania i w procesie tym generują związki kancerogenne, mutagenne i teratogenne. Jednocześnie SH są niezbędne dla roślin, przyczyniają się do żyzności gleby, transportują substancje organiczne i nieorganiczne do masy korzeniowej, utrzymują odpowiednią wilgotność gleby.

Dane statystyczne wykazują, że w Polsce znajduje się niemal 65 tys. ha gruntów wymagających rekultywacji. Na przykład wg GUS najwięcej tego typu gruntów mamy w województwie wielkopolskim (10,9 tys. ha) i dolnośląskim (8,1 tys. ha), a także śląskim, warmińsko-mazurskim i łódzkim (po około 4,9 tys. ha). Dlatego w pracy przeprowadzono izolację substancji humusowych z wielu miejsc gospodarki komunalnej, przeprowadzono ich analizę jakościową, potwierdzającą występowanie w danych miejscach substancji humusowych, głównie ze względu na dużą mobilność były to kwasy fulwowe. W tym celu przeprowadzono dla ekstraktów analizę widma UV-VIS, IR oraz jakościową skład elementarnego i mikrozanieczyszczeń nieorganicznych.

Otrzymane wyniki badań potwierdziły, że głównymi substancjami organicznymi są substancje humusowe, występujące w zależności od źródła w różnych stężeniach. Dla wybranych SH przeprowadzono Phytotesty, które wykazały dużą ich przydatność pod uprawę roślin.

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii Środowiskowych, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, aanielak@pk.edu.pl, ORCID 0000-0001-8965-936X, ORCID 0000-0001-8129-5151, ORCID 0000-0001-9377-5590, ORCID 0000-0002-1969-9718

Analiza liczby biologicznych oczyszczalni ścieków i ilości wytwarzanych osadów ściekowych w Polsce oraz składowisk odpadów komunalnych generujących odcieki o dużym stężeniu SH wskazuje, że gospodarka komunalna stanowi atrakcyjne źródło substancji humusowych, które mogą być wykorzystane do rewitalizacji nieużytków i rekultywacji terenów zdegradowanych.

mgr inż. Agata Kasprzak¹
dr Tomasz Górka²
dr inż. Łukasz Kaczmarek^{3,4}
dr hab. Radosław Mieszkowski⁵

TOMOGRAFIA ELEKTROOPOROWA I OTWOROWE BADANIA GEOFIZYCZNE W HYDROGEOLOGII I HYDROTECHNICE – STUDIUM PRZYPADKÓW

Dla identyfikacji obszarów cechujących się najlepszymi w danym rejonie parametrami hydrogeologicznymi konieczne są polowe badania obejmujące często duże obszary. Metodą pozwalającą na zwiększenie efektywności poszukiwań i skrócenie ich czasu są metody geofizyczne. Metody te dzięki szybkiemu rozwojowi techniki znajdują szerokie zastosowania m.in. w rozpoznaniu warunków gruntowo-wodnych. Jedną z najpopularniejszych metod geofizycznych jest nieinwazyjna tomografia elektrooporowa (*ERT*), natomiast w trudnych przypadkach, na coraz większą skalę, stosuje się metody geofizyki otworowej. W artykule przedstawiono kilka przykładów zastosowania tomografii oraz możliwości wykorzystania badań otworowych: (i) jedna z pierwszych prospekcji *ERT* w Polsce (rejon Łobodna, na północny-zachód od Częstochowy, ryc. 1), (ii) współczesny przykład poszukiwań warstw wodonośnych (rejon Chrzanowa), (iii) analizy ilościowe ośrodka gruntowo-skalnego w oparciu o wyniki badań geofizyki wiertniczej.

Rezultaty przeprowadzonych prac wskazują na najlepsze efekty rozpoznania przy komplementarnym zastosowaniu tomografii, analizy profilów wierceń otworów badawczych wraz z ilościową interpretacją wykonanych w nich badań geofizycznych. W przypadkach braku możliwości przeprowadzenia szerokiego zakresu kompleksowych badań, rekomendowane jest wykorzystanie wszystkich dostępnych danych archiwalnych z analizowanego rejonu.

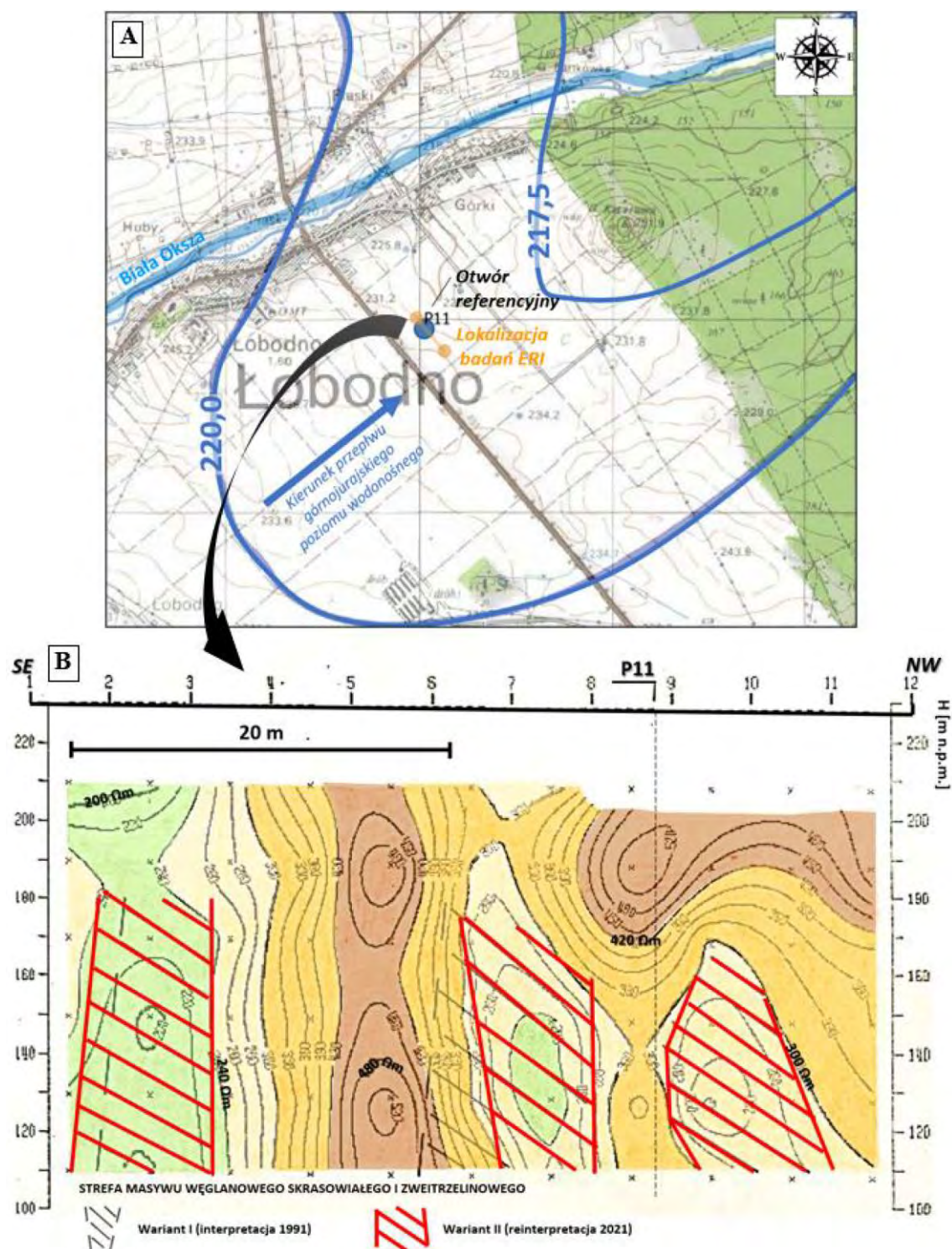
¹ Wodociągi Chrzanowskie Sp. z o.o., ul. Jagiellońska 8a, 32-500 Chrzanów, kasprzak@wodociagi.chrzanowskie.pl

² BLWM Sp. z o.o., ul. Kożuchowska 20c, 65-364 Zielona Góra, t.gorka@blwm.pl

³ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Wodnego, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, lukasz.kaczmarek@pw.edu.pl, ORCID 0000-0001-5207-3816

⁴ Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie, ul. Jaskrowska 14/20, 42-202 Częstochowa

⁵ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Hydrogeologii i Geofizyki, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, ORCID 0000-0002-4021-4965



Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna na tle topografii i kierunku przepływu górnajurajskich wód podziemnych (rozkład hydroizohips na podstawie Zdechlik i in. 2013, A), wybrany przekrój geoelektryczny (zmodyfikowane za Szymanko i Żyliński 1991, B)

Bibliografia

- Szymanko J., Żyliński P., 1991, *Dokumentacja badań geofizycznych metodą paneli elektrooporowych wykonanych dla lokalizacji ujęć wód podziemnych*, UW, Warszawa.
- Zdechlik R., Nikiel G., Jaros M., 2013, *Zanieczyszczenie chromem wód podziemnych w rejonie Częstochowy*, Biuletyn PIG, nr 456, seria: Hydrogeologia, z. 14/2: 665–670.
- Reynolds J.M., 2011, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Druga edycja, Wiley-Blackwell, Chichester.

dr inż. Łukasz Kaczmarek^{1,2}
dr inż. Agnieszka Dąbska¹
dr hab. inż. Paweł Popielski, prof. ucz.¹

KRÓTKI PRZEGLĄD BADAŃ WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI GRUNTÓW

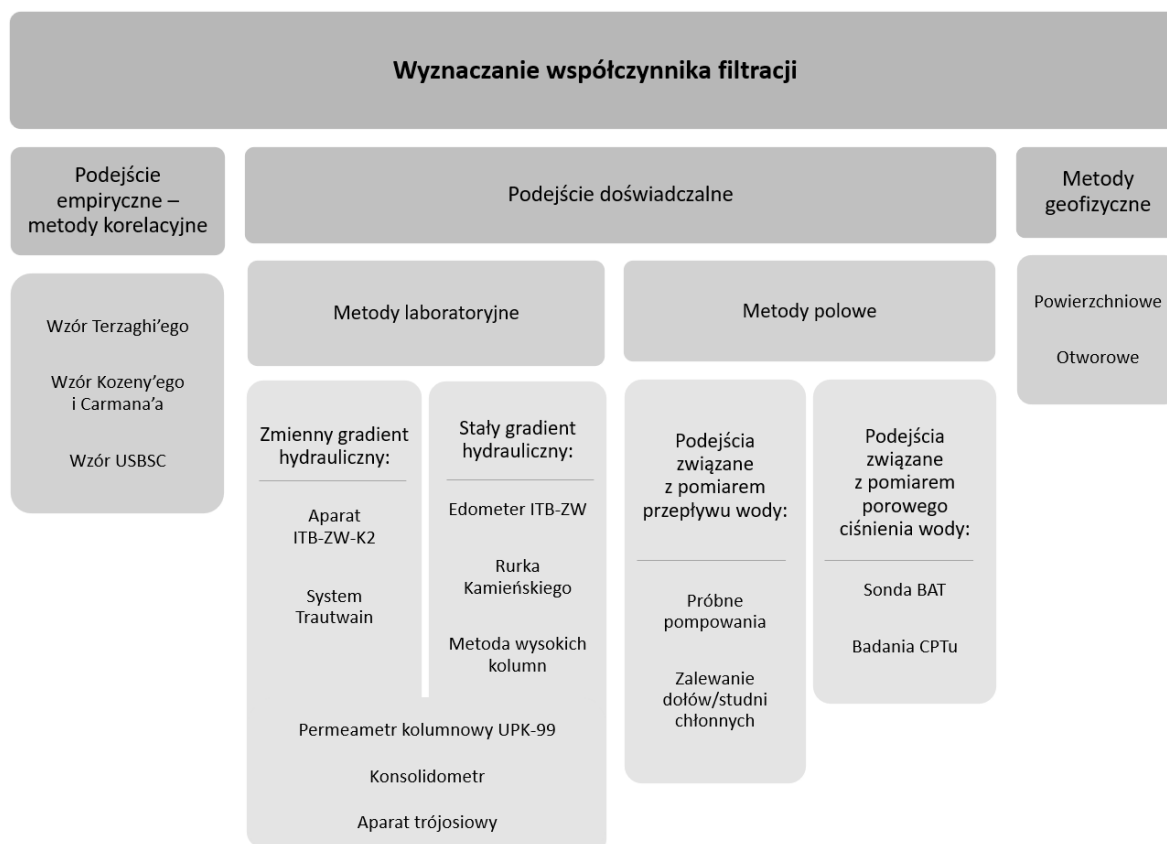
Znaczenie właściwości filtracyjnych manifestuje się w różnorodności wypracowanych metod badań przepływu wody, związanych z licznymi zastosowaniami w hydrogeologii i hydrotechnice, czy też szerzej w naukach przyrodniczych i inżynierskich. Kompleksowy przegląd możliwych do zastosowania metod pozwala wybrać optymalne rozwiązania spełniające zakładane wymagania dokładności, czasu trwania, stopnia zaawansowania technicznego, jak również ekonomiczności. W artykule zebrano i omówiono najważniejsze grupy badań współczynnika filtracji gruntów.

Różnym rodzajom gruntów dedykowane są określone metody badania współczynnika filtracji. Niektóre z nich mają szersze zastosowania, a inne mogą być dostosowane do specyfiki danego materiału. Zróżnicowanie gruntów (spoiстых i niespoistych) odzwierciedla się w znacznej zmienności współczynnika filtracji. W doborze właściwej metody oraz odpowiedniej aparatury do jego określenia, oprócz rodzaju gruntu, powinno uwzględniać się także dominujące kierunki przepływu wody (horyzontalny, ukośny lub pionowy) w warunkach naturalnych (Szymkiewicz i Kryczka 2011). Rycina 1 przedstawia różne grupy metod wyznaczania współczynnika filtracji, podzielone ze względu na zastosowane podejścia, skalę badań oraz warunki brzegowe (parametry wymuszane i mierzone). Metody te obejmowały podejście korelacyjne, laboratoryjne, polowe, jak również rzadziej stosowane metody geofizyczne. Metody korelacyjne pozwalają na szybką wstępną ocenę współczynnika filtracji. Metody laboratoryjne dają szeroki zakres badań filtracji przy różnych warunkach przepływu i przy wysokiej dokładności wyników. Metody polowe umożliwiają badania wypadkowej odpowiedzi analizowanych utworów (najczęściej warstw wodonośnych). Natomiast metody geofizyczne dają możliwość szybkiego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych identyfikując szacunkowe zakresy wartości współczynników filtracji.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, lukasz.kaczmarek@pw.edu.pl, ORCID 0000-0001-5207-3816; agnieszka.dabska@pw.edu.pl, ORCID 0000-0002-1185-3872; pawel.popielski@pw.edu.pl, ORCID 0000-0002-5425-5821

² Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie, ul. Jaskrowska 14/20, 42-202 Częstochowa

Krótki przegląd badań współczynnika filtracji gruntów



Ryc. 1. Wybrane metody określania współczynnika filtracji gruntów

Bibliografia

- Assaad F., LaMoreaux Ph.E., Hughes T.H., 2004, *Field methods for geologists and hydrogeologists*, Springer.
- Coe J.T., Brandenburg S.J., Ahdi S., Kordaji A., 2018, *Geophysical methods for determining the geotechnical engineering properties of earth materials*, Temple University.
- Dąbrowski S., Przybyłek J., 2005, *Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych*, Poradnik Metodyczny, Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Elhakim A., 2016, *Estimation of soil permeability*, Alexandria Engineering Journal, 55(3): 2631–2638.
- Kleczkowski A.S., Szczepański A., 1973, *Przyczynek do porównań wartości współczynnika filtracji uzyskiwanych różnymi metodami*, Zesz. Nauk. AGH, nr 361, Geologia, z. 17, Kraków: 71–84.
- Krogulec E., 1992, *Określenie wartości współczynnika filtracji osadów słaboprzepuszczalnych przy zastosowaniu systemu monitoringu BAT*, Technika Poszukiwań Geologicznych, 5: 47–51.

- Malinowska E., Hyb M., 2004, *Wyznaczanie współczynnika filtracji na podstawie badań laboratoryjnych*, [w:] Materiały konferencyjne, Geoinżynieria Środowiska, Transfer doświadczeń i dyrektyw Unii Europejskiej do nowo przyjętych państw, Seminarium EU GEO ENV NET, Warszawa.
- Marciniak M., 1999, *Uniwersalny permeametr kolumnowy UPK-99. Instrukcja obsługi*, Arch. UAM.
- Nagy L., Tabacks A., Huszak T., Mahler A., Varga G., 2013, *Comparison of permeability testing methods*, [w:] Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris: 399–402.
- Pisarczyk S., Rymsza B., 2003, *Badania laboratoryjne i polowe gruntów*, Oficyna Wyd. PW.
- Szymkiewicz A., Kryczka A., 2011, *Obliczanie współczynnika filtracji piasków i żwirów na podstawie krzywej uziarnienia: przegląd wzorów empirycznych*, Inżynieria Morska i Geotechnika, 2: 110–121.
- Twardowski K., Drożdżak R., 2007, *Uwarunkowania dotyczące laboratoryjnych metod wyznaczania wodoprzepuszczalności*, Wiertnictwo Nafta Gaz, 24(1): 565–573.

dr inż. Łukasz Kaczmarek^{1,2}

dr inż. Agnieszka Dąbska¹

dr hab. inż. Paweł Popielski, prof. ucz.¹

WPROWADZENIE DO BADAŃ WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI W APARACIE TRÓJOSIOWEGO ŚCISKANIA

Największym atutem filtracyjnych badań w aparacie trójosiowego ściskania jest możliwość zadania zróżnicowanego przestrzennego stanu naprężenia nawiązującego do warunków *in situ*, czyli warunków, które często są złożone, odmienne na różnych głębokościach i anizotropowe. Metoda ta znalazła najlepsze aplikacje w badaniach niezłityfikowanych utworów osadowych (takich jak grunty). Związane jest to między innymi ze zdolnością do uzyskiwania wysokiego stanu nasycenia wodą przestrzeni porowo-szczelinowych. Ta przestrzeń wolna – determinowana jest stanem zagęszczenia/konsolidacji gruntów, będąc efektem panującego reżimu naprężenia. Stąd precyzyjne laboratoryjne oznaczenia wartości k wymagają możliwości kontroli stanu naprężenia oddziałującego na badaną próbkę gruntu. Innym aspektem badań w aparacie trójosiowym jest możliwość kompleksowego określania parametrów mechanicznych gruntów oraz filtracyjnych, także w momencie wystąpienia deformacji filtracyjnych (Cheng i Zhang 2013, Liang i in. 2017). W artykule zaprezentowano zaawansowaną technikę wyznaczania współczynnika filtracji bazującą na wykorzystaniu trójosiowego aparatu ściskania.

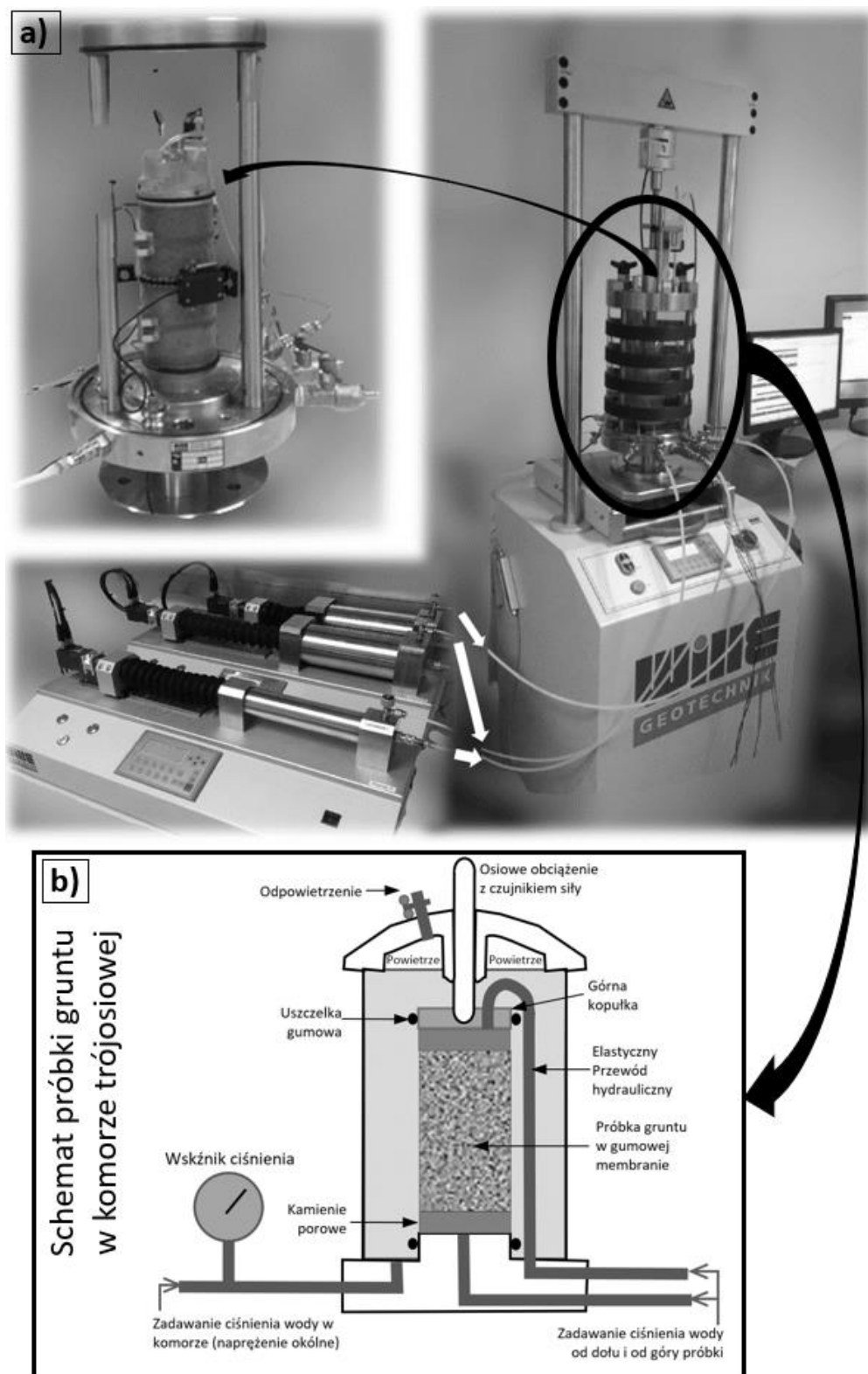
Na rycinie 1 przedstawiono przykładowy zestaw trójosiowy umożliwiający zautomatyzowane badania filtracji w trójosiowym stanie naprężenia (tutaj w zakresie do 3,5 MPa) wraz ze schematem próbki umieszczonej w komorze. Badania mogą obejmować filtracje: przy zmiennym gradiencie lub stałym, jednoetapowe lub wieloetapowe, przy przepływie w kierunku „do góry” lub „do dołu” oraz mogą być połączone z badaniami wytrzymałościowymi na ściskanie przy kontrolowanej prędkości odkształcenia lub naprężenia w ramach określonego przebiegu ścieżki naprężenia.

Badania filtracji z wykorzystaniem aparatu trójosiowego ściskania znajdują szereg zastosowań badawczych, jak również inżynierskich. Dzięki opisywanej metodzie możliwe jest uzyskanie referencyjnych wartości współczynnika filtracji dla określanych wartości k innymi metodami (empirycznymi, doświadczalnymi czy geofizycznymi).

Kolejną ważną aplikacją jest, w kontekście badań porowatości (i szczelinowatości), wpływ zmian reżimu naprężenia geostatycznego na właściwości filtracyjne gruntu. Takie badania są szczególnie ważne w zagadnieniach dotyczących ujęć wód podziemnych, czy analizie możliwych dróg migracji substancji z bezzbiornikowych magazynów substancji oraz składowanych odpadów zlokalizowanych poniżej powierzchni terenu.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, lukasz.kaczmarek@pw.edu.pl, ORCID 0000-0001-5207-3816; agnieszka.dabska@pw.edu.pl, ORCID 0000-0002-1185-3872; pawel.popielski@pw.edu.pl, ORCID 0000-0002-5425-5821

² Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie, ul. Jaskrowska 14/20, 42-202 Częstochowa



Ryc. 1. Badanie filtracji w aparacie trójosiowego ściskania: a) przykładowy zestaw trójosiowy dedykowany dla badań filtracji, b) schemat próbki umieszczonej do badania w komorze aparatu

Z ostatnim zagadnieniem wiąże się także określanie właściwości filtracyjnych naturalnych oraz sztucznych (grunty antropogeniczne takie jak popioły czy osady typu zagęszczone szlamy) barier izolacyjnych. Bariery te stanowią pierwszy element ochrony środowiska, często występujący naturalnie, co jest także ważne w kontekście zagrożeń nielegalnym składowaniem odpadów niebezpiecznych (płytko pod powierzchnią terenu) w strefach wahań zwierciadła wód gruntowych. W tej grupie zagadnień czas i kierunek przemieszczenia się zanieczyszczeń w glebach i gruntach jest bardzo ważnym aspektem badań właściwości filtracyjnych różnych ośrodków.

Bibliografia

- ASTM D5084 – 16a, *Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter*.
- Bishop A.W., Henkel D.J., 1962, *The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test*, (2nd edition), St. Martin's Press.
- Chang D.S., Zhang L.M., 2013, *Critical hydraulic gradients of internal erosion under Complex Stress States*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 139(9): 1454–1467.
- Head K.H., 1998, *Manual of Soil Laboratory Testing, Vol. 3: Effective Stress Tests*, Wiley.
- Jaromińska M., 2002, *Badania współczynnika filtracji gruntów słabo przepuszczalnych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Budownictwo, 95: 241–250.
- Szczepański T., Wójcik E., Gawriuczenkow I., 2011, *Zmienność współczynnika filtracji w zależności od spadku hydraulicznego na przykładzie badań glin w miejscowości Różanka*, Biuletyn PIG, 446(2): 417–422.
- Liang Y., Jim Yeh T., Zha Y., Wang J., Liu M., Hao Y., 2017, *Onset of suffusion in gap-graded soils under upward seepage*, Soils and Foundations, 57(5): 849–860.

GWE – PASJA DO POSTĘPU

Wprowadzenie

Woda jest niezbędnym do życia i zarazem najbardziej powszechnym związkiem organicznym na Ziemi. Rosnące zużycie oraz niekorzystne warunki hydrogeologiczne wymuszają na nas racjonalne eksploataowanie i ochronę zasobów wód podziemnych. Na terenie naszego kraju około 70% wody przeznaczonej do spożycia to woda pochodząca z ujęć wód podziemnych, eksploatowana przy wykorzystaniu studni głębinowych.

Razem jesteśmy silniejsi

Od ponad 40. lat dostarczamy naszym klientom najwyższej jakości materiały do budowy i wyposażenia studni głębinowych. Od 1998 roku spółka należy do grupy German Water and Energy (GWE), która koncentruje swoją działalność na rozwoju, produkcji i dystrybucji wysokiej jakości produktów stosowanych w poszukiwaniu, wydobywaniu i transporcie wody, energii i surowców naturalnych. Działalność, kompetencje i struktury spółek zależnych została połączona i jest rozwijana jako jedna strategiczna jednostka.

Jako przedsiębiorstwo należące do BAUER Resources GmbH, grupa GWE ma możliwość korzystania z zasobów struktury międzynarodowej. Koncern BAUER to ponad 100 spółek zależnych i oddziałów działających w niemal 70. krajach na świecie. Od 2007 roku GWE jest częścią BAUER Resources GmbH, trzeciego segmentu koncernu, koncentrującego się na branży wodnej, środowiskowej, bogactw naturalnych i energetycznych. Aby sprostać tym wszystkim zadaniom koncern BAUER oferuje swoim klientom pełen zakres usług dotyczących środowiska, energii i wody, niezależnie od tego, czy chodzi o odnalezienie nowych zasobów wodnych, wykonywanie studni czy też uzdatnianie wód procesowych lub przemysłowych.

Wsparcie na każdym etapie projektu

Budowa studni głębinowych jest długotrwałym i wieloetapowym procesem rozpoczynającym się od wyboru konstrukcji – istotnego zagadnienia technicznego uwzględniającego m.in.: warunki hydrogeologiczne, metodę wiercenia oraz założone parametry eksploatacyjne.

Szczególnie jest to ważne w przypadku studni ujęciowych zaprojektowanych do długotrwałej eksploatacji. Materiały oraz rozwiązania wykorzystane podczas budowy i wyposażenia studni głębinowej (ryc. 2) mają ogromne znaczenie dla jej późniejszego funkcjonowania. Konstrukcja o odpowiedniej przepustowości powierzchni czynnej powinna pozwalać na łatwy i szybki montaż, jednocześnie zapewniając odporność na korozję oraz odpowiednią wytrzymałość mechaniczną. Na przestrzeni lat zrealizowaliśmy wiele indywidualnych projektów obejmujących wykonanie studni ujęciowych oraz otworów geotermalnych, zapewniając fachowe doradztwo techniczne na wszystkich etapach procesu inwestycyjnego.

¹ GWE POL-BUD Sp. z o.o., ul. Demokratyczna 89/93, 93-430 Łódź, mszatko@gwe-polbud.pl



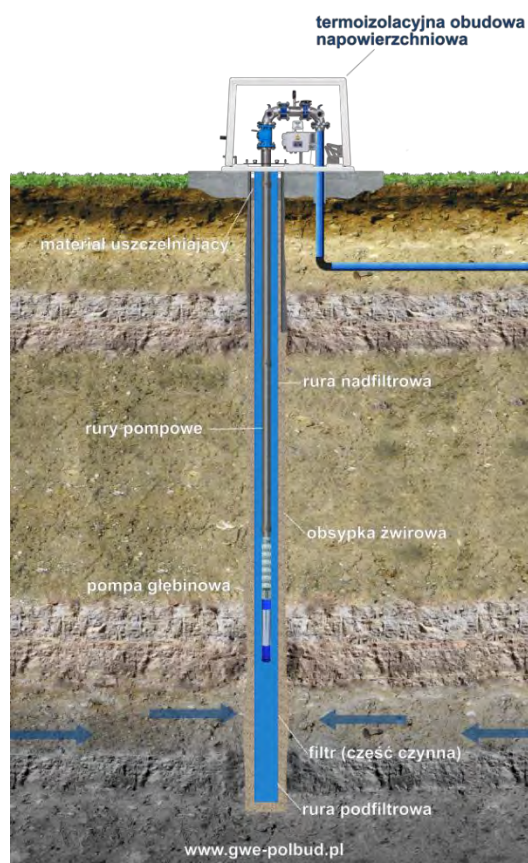
Ryc. 1. Widok na siedzibę główną firmy
GWE POL-BUD Sp. z o.o. w Łodzi



Ryc. 2. Kolumna filtrowa przygotowana do zapuszczenia do otworu

Konstrukcja otworów hydrogeologicznych

Konstrukcja projektowanego otworu (ryc. 3) może składać się z jednej lub kilku kolumn rur okładzinowych oraz kolumny filtrowej w zależności od warunków hydrogeologicznych, wybranej metody wiercenia oraz założonych parametrów.



Ryc. 3. Konstrukcja otworu studni głębinowej
Źródło: opracowanie własne

Zadaniem kolumny rur okładzinowych jest zabezpieczenie ścian otworu wiertniczego i zamknięcie wyżej leżących warstw wodonośnych. W wielu otworach rolę kolumny rur okładzinowych przejmują rura nadfiltrowa, która zostaje wyprowadzona do powierzchni terenu. Rura podfiltrowa natomiast spełnia rolę osadnika dla drobnych cząsteczek skał, które mogą podczas eksploatacji przedostać się z warstwy wodonośnej do wnętrza kolumny filtrowej. W przypadku ujmowania warstwy wodonośnej, która jest zbudowana ze skał zwięzłych, niewymagających rurowania wykonuje się studnie bezfiltrowe.

Najważniejszym elementem komuny filtrowej i zarazem całej studni jest część czynna, która powinna zostać wykonana z materiałów odpornych na korozję, utrudniających tworzenie się osadów pochodzenia chemicznego lub biologicznego oraz zapewniających odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, która będzie gwarantowała stabilność otworu. Dobór właściwej dla konkretnych warunków konstrukcji filtra pozwala na osiągnięcie dużej wydajności studni oraz wysokiej sprawności hydraulicznej. Z biegiem lat opracowano wiele typów filtrów studziennych pozwalających na wykonanie konstrukcji odpowiedniej dla każdych warunków hydrogeologicznych.

Nawet najlepiej zaprojektowana i wykonana studnia głębinowa podlegać będzie procesom starzenia. Ze względu na ten fakt bardzo istotny jest również dobór konstrukcji pozwalającej na wykonanie w późniejszym czasie zabiegów renowacyjnych lub rekonstrukcyjnych.

Wypożyczenie studni głębinowych

Obecne na rynku surowce służące do produkcji wyposażenia można podzielić na dwie grupy. Pierwsza z nich obejmuje: stal węglową, stal wiertniczą, stal szlachetną oraz metale kolorowe. Do drugiej grupy zaliczamy nieplastifikowany polichlorek winylu, polietylen o dużej gęstości oraz fiberglass. Wyposażenie wykonane ze stali czarnej potocznie zwanej stalą węglową nie posiada atestu PZH. W zależności od warunków panujących na ujęciu elementy ze stali czarnej powinny zostać poddane odpowiedniemu procesowi zabezpieczenia antykoryzyjnego. Najczęściej spotykany jest proces cynkowania ogniowego dla którego alternatywą może stanowić lakierowanie proszkowe lub wulkanizacja – szczególnie rekomendowana do użytku z wodami termalnymi.

W przypadku zastosowania stali szlachetnych elementy z nich wykonane muszą zostać poddane procesom trawienia i pasywacji. Dodatki molibdenu lub tytanu pojawiające się w różnych stopach stali szlachetnych wpływają na odporność stali w środowisku zasolonym oraz o wysokim stężeniu chloru, mogą mieć również wpływ na wytrzymałość na temperaturę.

Dobór materiałów powinien zostać wykonany w oparciu o warunki środowiskowe oraz przeznaczenie. W przypadku rur pompowych wybrany materiał wpływa na możliwość wyboru systemu połączeń. Tradycyjne połączenia kołnierzowe coraz częściej wypierane przez szybkołączące pozwalające na znacznie szybszy montaż lub demontaż pompy głębinowej, dodatkowo ze względu na małą średnicę zewnętrzną na połączeniach ułatwiają montaż w studniach o małych średnicach, nie utrudniając pomiarów poziomu zwierciadła.

Podczas doboru wyposażenia należy unikać łączenia elementów wykonanych z różnych rodzajów stali np. stali czarnej i stali nierdzewnej. Podczas kontaktu dwóch różnych materiałów w obecności elektrolitu (np. wody), dochodzi do przepływu elektronów powodującego przyspieszoną korozję materiału mniej szlachetnego.

Odpowiednia eksploatacja studni głębinowej to nie tylko zagwarantowanie odpowiedniej jakości ujmowanej wody poprzez wykorzystanie odpowiednich materiałów, ale również zapewnienie bezpieczeństwa pracownikom wykonującym prace w studniach. Prace te, na podstawie obecnie obowiązujących rozporządzeń, zostały zakwalifikowane jako prace niebezpieczne. Obecne przepisy i normy nie określają wymagań dotyczących obudów studni głębinowych. Zgodnie z obowiązującym Prawem Wodnym na terenie ochrony bezpośredniej należy uniemożliwić przedostanie się wody opadowej lub roztopowej do urządzeń służących do poboru wody. Na wniosek właściciela ujęcia właściwy organ Wód Polskich może nałożyć na właściciela gruntów położonych na terenie ochrony pośredniej obowiązek zlikwidowania nieczynnych studni, jeśli zagrażają one jakości ujmowanej wody.

Powszechnie stosowane obudowy podziemne wykonane z kręgów betonowych bardzo często nie zapewniają odpowiedniego zabezpieczenia studni przed wodami gruntowymi. Dodatkowo wymagają dużego nakładu pracy związanego z odpowiednim utrzymaniem właściwego stanu technicznego. Obudowy napowierzchniowe (ryc. 4) stosowane jako system ujmowania i eksploatacji ujęcia głębinowego, zabezpieczają studnię oraz zabudowaną w niej armaturę przed dostępem osób niepowołanych oraz uniemożliwiają przedostanie się do wnętrza wody opadowej lub roztopowej.

Laminat wykorzystywany do produkcji obudowy cechuje się bardzo wysoką odpornością na warunki atmosferyczne, wytrzymałością mechaniczną oraz odpornością na zabrudzenia. Izolacja termiczna w połączeniu z ogrzewaniem radiatorowym z automatycznym ogranicznikiem temperatury pozwala na eksploatację studni przez cały rok bez konieczności zapewnienia okresowego przepływu wody przez armaturę w przypadku ujemnych temperatur. Wydajny system wentylacji z regulacją przepływu powietrza uniemożliwia przedostanie się do wnętrza owadów oraz wody opadowej. System unoszenia górnej kopuły działający w oparciu o zawiasy wspomagane sprężynami gazowymi umożliwia pełen dostęp do urządzeń znajdujących się w obudowie i swobodną pracę. Pomiary lustra wody, pobór próbek wody, odczyt urządzeń pomiarowych, demontaż i zabudowa pompy głębinowej oraz prace inspekcyjne w studni mogą zostać wykonane bez demontażu kopuły.

Armatura ze stali szlachetnej jest wyposażona w przystosowany do opalania kranik do poboru próbek wody oraz złącza strażackie pozwalające na płukanie studni (ryc. 5) bez konieczności demontażu części armatury, co znacznie ułatwia eksploatację studni głębinowej. Dodatkowe gniazdo elektryczne oraz oświetlenie LED wewnątrz obudowy umożliwiają obsługę w każdych warunkach.

Kompleksowy dostawca rozwiązań

Szeroka oferta produktów pozwala firmie GWE POL-BUD na kompleksowe realizowanie projektów związanych zarówno z budową jak i wyposażeniem otworów hydrogeologicznych o głębokościach sięgających do 3 000 m. Ponadto w ofercie firmy znajdują się rurociągi wykonane z włókna szklanego znajdujące zastosowanie w takich dziedzinach, jak: rurociągi przemysłowe, transport ropy naftowej i gazu ziemnego, Marine & Offshore, wiercenia związane z geotermią i wodami termalnymi. Dogłębna znajomość technologii oraz możliwość realizowania indywidualnych rozwiązań czynią z nas idealnego partnera w dziedzinie wykonania i wyposażenia otworów hydrogeologicznych.



Ryc. 4. Termoizolacyjna obudowa napowierzchniowa oferowana przez GWE POL-BUD Sp. z o.o.



Ryc. 5. Wyposażenie obudowy napowierzchniowej oferowane przez GWE POL-BUD Sp. z o.o.

Bibliografia

- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. z 1997 r., nr 129, poz. 884).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi z dnia 7 grudnia 2017 r. (Dz.U. z 2017 r., poz. 2294).
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. z 2017 r., poz. 1566).
- Gonet A., Macuda J., Zawisza L., Duda J., Porwisch J., 2011, *Instrukcja obsługi wierceń hydrogeologicznych*, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2011 r., nr 163, poz. 981).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. z 2011 r., nr 288, poz. 1696).

mgr Robert Miglus¹

ASPEKTY WŁAŚCIWEGO UTRZYMANIA SYSTEMU KANALIZACJI SANITARNEJ W WODOCIĄGACH CZĘSTOCHOWSKICH

Podstawowym zadaniem Wydziału Sieci Kanalizacyjnej Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego SA w Częstochowie (PWiKOCz) jest kompleksowa obsługa ponad 1 300 km sieci grawitacyjnej, tłocznej i przyłączy.

Na eksploatowanej sieci kanalizacji sanitarnej PWiKOCz, w samym roku 2020, dokonało:

- renowacji metodą długiego rękawa na długości 6,1 km;
- usunięcia 72. awarii;
- wyczyszczenia 204. kilometrów przewodów;
- inspekcji telewizyjnej na dystansie 69. km;
- przeglądu 17 305. sztuk włączów studzienek;
- kontroli 1 354. posesji pod względem włączeń odprowadzeń wód opadowych;
- realizacji ponad 500. zleceń zewnętrznych.

Zakupione w latach 2019–2020, dwa nowoczesne samochody ciśnieniowe (ryc. 1) umożliwiają usuwanie z przewodów osadzających się, niepożądanych osadów (m.in. piasek) oraz złogów tłuszczu. System odzysku wody instalacji ciśnieniowych pozwala istotnie zmniejszyć zużycie medium.

Posiadany od 2015 roku zestaw maszynowy bezwykopowej renowacji kanałów metodą „rękawa” (ryc. 2) umożliwia zarówno kompleksową renowację długich odcinków (do tej pory 29 km o średnicach w zakresie DN200–525 mm), jak i naprawy uszkodzonych punktowo rurociągów (ponad 100 prac każdego roku).

W skład zestawu wchodzi:

- nasączalnia ze zbiornikami żywicy i utwardzacza oraz zestawem walców, służąca do przygotowania rękawa filcowego przed wprowadzeniem do naprawianego przewodu kanalizacyjnego – zabudowa na dedykowanym samochodzie;
- kotłownia i mobilna elektrownia – zabudowane na przyczepie;
- robot frezujący rurociągi i umożliwiający wykonywanie otworów technologicznych.

Posiadany sprzęt umożliwia działania w zakresie średnic DN200–600 mm.

Do prac wykorzystywane są bawełniane „łaty” oraz „rękawy” nasączone żywicami epoksydowymi o składzie zależnym od podejmowanych czynności naprawczych/renowacyjnych.

Zasadniczym celem renowacji kanałów sieci sanitarnej, oprócz samej funkcji naprawczej jest ograniczanie infiltracji wód gruntowych, deszczowych i roztopowych, których udział, w przypadku PWiKOCz, szacuje się do blisko 55%.

¹ Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A. w Częstochowie, ul. Jaskrowska 14/20, 42-202 Częstochowa, robert.miglus@pwik.czyst.pl

Zalety ekonomiczne i ekologiczne technologii bezwykopowej w zestawieniu z technikami odkrywkowymi to przede wszystkim:

- brak konieczności odtwarzania struktury powierzchni terenu;
- ograniczanie do minimum utrudnień komunikacyjnych;
- redukcja emisji hałasu, dwutlenku węgla oraz drobnych pyłów;
- zmniejszenie o blisko 33% kosztów w stosunku do ponoszonych w przypadku realizacji przez firmy zewnętrzne.



Ryc. 1. Specjalistyczny samochód ciśnieniowy z systemem odzysku wody

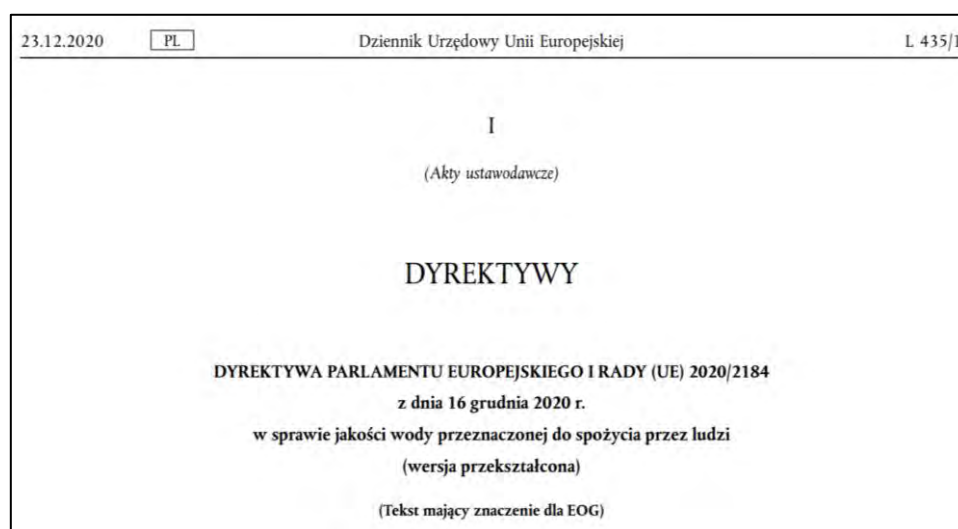


Ryc. 2. Typowa realizacja bezwykopowej renowacji kanalizacji – wprowadzanie „rękawa”

prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch¹
mgr inż. Barbara Mulik²

ANALIZA RYZYKA DLA UJEĆ WÓD PODZIEMNYCH JAKO ELEMENT PLANÓW BEZPIECZEŃSTWA WODY

Od dnia 17 stycznia 2021 r. obowiązuje w Unii Europejskiej (UE) Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (wersja przekształcona) (Dz.U. L 435 z 23.12.2020 r.) (ryc. 1).



Ryc. 1. Oficjalne ogłoszenie dyrektywy 2020/2184 w Dzienniku Urzędowym UE

Państwa członkowskie mają 2 lata na jej implementowanie do prawa krajowego i 5–6 lat na wdrożenie poszczególnych artykułów. Istotą nowej dyrektywy jest poprawa ochrony zdrowia ludzkiego przed skutkami braku wody lub jej niewłaściwej jakości poprzez:

- 1) wprowadzenie obowiązkowej oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody – poczynając od obszaru zasilania, poprzez pobór, uzdatnianie i dystrybucję wody, na instalacjach wewnętrznych kończąc;
- 2) określenie obowiązujących wartości parametrycznych dla bisfenolu-A chloranów, chlorynów, kwasów halogenooctowych, mikrocytyny–LR, PFAS Ogółem, Sumy PFAS i uranu;
- 3) poprawienie nadzoru nad materiałami przeznaczonymi do kontaktu z wodą, stosowanymi w procesach zaopatrzenia ludności.

Ponadto dyrektywa wprowadza kontrolę nad wyciekami wody z sieci dystrybucyjnej i nakazuje ich ograniczanie, co jest niewątpliwie powiązane ze zmianami klimatu i koniecznością oszczędzania wody i energii.

¹ Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, izabela.zimoch@polsl.pl

² Doradca ds. bezpieczeństwa i jakości wody, basiamulik@op.pl

W odniesieniu do obszarów zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi art. 7, ust. 4 dyrektywy wprowadza obowiązek przeprowadzenia oceny ryzyka i wprowadzenia zarządzania ryzykiem po raz pierwszy do dnia 12 lipca 2027 r. Następnie ma ona podlegać przeglądom w regularnych odstępach czasu nie dłuższych niż sześć lat, z uwzględnieniem wymogów przewidzianych w art. 7 dyrektywy 2000/60/WE, oraz w razie konieczności być aktualizowana.

W odniesieniu do nowych substancji, dla których określono wartości parametryczne państwa członkowskie zostały zobowiązane art. 25, ust. 1 dyrektywy, by do dnia 12 stycznia 2026 r. stosowały środki niezbędne do zapewnienia, aby woda przeznaczona do spożycia przez ludzi spełniała wartości parametryczne określone w załączniku I, część B dla bisfenolu-A, chloranów, chlorynów, kwasów halogenooctowych, mikrocytyny-LR, PFAS Ogółem, Sumy PFAS i uranu. W tym celu, w pierwszej kolejności należałoby dokonać oceny aktualnego stanu wód podziemnych i tendencji zmian poprzez zintensyfikowanie badań nowych substancji a w szczególności PFAS w ramach państwowego monitoringu środowiskowego i monitoringu jakości wód podziemnych. Następnie przeprowadzić szerzej zakrojone badania przesiewowe w dalszej kolejności zastosować środki ochronne ograniczające zagrożenie, w tym określić w jakich regionach kraju dostawcy wody powinni wprowadzić w następnych latach dodatkowe parametry do monitorowania. Zgodnie z art. 25, ust. 2 do dnia 12 stycznia 2026 r. dostawcy wody nie są zobowiązani do monitorowania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi zgodnie z art. 13 w odniesieniu do nowych parametrów.

Prace nad dyrektywą trwały od wielu lat, było więc wiadomym, że obowiązkowe: ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem zostaną wprowadzone. Stąd do nowego *Prawa wodnego* w 2017 roku Minister Zdrowia wprowadził przepis nakazujący przeprowadzenie dla każdego ujęcia wody analizy ryzyka. Zgodnie z art. 133 *Prawa wodnego* analiza ta jest podstawą do ustanowienia terenu ochrony pośredniej. Jest także elementem systemu zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody. Zgodnie z pkt 14 preambuły w dyrektywie wykorzystano zalecenia WHO dotyczące planowania bezpieczeństwa wody zawarte w Wytycznych dotyczących jakości wody do picia (Wytyczne WHO 2014, 2020). Wytyczne te wraz z normą dotyczącą bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę pitną (PN-EN 15975-2), stanowią uznane na poziomie międzynarodowym zasady, na których opierają się produkcja i dystrybucja wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, oraz monitorowanie i analiza jej parametrów. Treści zawarte w dyrektywie, Wytycznych WHO i normie PN-EN 15975-2 wskazują, że analiza ryzyka, o której mowa w art. 133 *Prawa wodnego* jest jednocześnie analizą ryzyka niezbędną do przeprowadzenia oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem, o których mowa w dyrektywie, w odniesieniu do obszarów zasilania punktów poboru wody.

Zgodnie z przywołaną normą analiza ryzyka wraz z jego ewaluacją są elementami oceny ryzyka. W ramach analizy ryzyka interdyscyplinarny zespół w pierwszej kolejności powinien zidentyfikować sytuacje i zdarzenia niebezpieczne, występujące w konkretnym systemie zaopatrzenia w wodę (w obszarze zasilania), które mogłyby doprowadzić do pojawienia się zagrożeń w postaci braków wody, chorobotwórczych mikroorganizmów czy substancji chemicznych, mających wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt.

Wykaz potencjalnych sytuacji i zdarzeń niebezpiecznych na poszczególnych etapach zaopatrzenia w wodę znaleźć można w wielu opracowaniach zagranicznych. Jednym z bardziej obszernych jest np. przewodnik irlandzki (EPA 2010). Przetłumaczony z przewodnika wykaz sytuacji i zdarzeń niebezpiecznych znalazł się w monografii profesorskiej Izabeli Zimoch (Zimoch 2019). Następnie oszacować prawdopodobieństwo wystąpienia każdego zdarzenia i dotkliwość następstw wynikających z zagrożeń. Każde ryzyko należy analizować i szacować odrębnie, wykorzystując dla każdego jednakowe podejście (analiza ilościowa, półilościowa, jakościowa). Najczęściej wykorzystywana jest metoda matrycowa, której przykład przedstawia tab. 1.

Tab. 1. Przykład matrycy ryzyka

Prawdopodobieństwo (WP)		Dotkliwość (WD)				
		Nieistotna	Niewielka	Umiarkowana	Poważna	Katastrofalna
		1	2	3	4	5
Prawie pewne	5	5	10	15	20	25
Prawdopodobne	4	4	8	12	16	20
Umiarkowanie prawdopodobne	3	3	6	9	12	15
Mało prawdopodobne	2	2	4	6	8	10
Niespotykane	1	1	2	3	4	5

Ryzyko ocenia się jako kombinację dotkliwości następstw i prawdopodobieństwa wystąpienia, przy czym każda niepewność obliguje do przyjęcia wyższych wartości. Zgodnie z normą, na tym etapie kończy się analiza ryzyka.

Następnym etapem jest ewaluacja ryzyka (rankingowanie, przyznawanie priorytetów) konieczna do przeprowadzenia całościowej oceny ryzyka, niezbędnej do skutecznego zarządzania ryzykiem. Dalsze działania mające na celu kontrolę ryzyka obejmują identyfikację środków bezpieczeństwa, ich walidację, wdrożenie, monitoring operacyjny środków bezpieczeństwa i działania korygujące. Proces zarządzania ryzykiem powinien być poddawany systematycznej weryfikacji, odpowiednio dokumentowany.

Bibliografia

- Handbook on implementation for Water Services Authorities for public water supplies*, Environmental Protection Agency, 2010.
- PN-EN 15975-2 *Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia – Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka – Część 2: Zarządzanie ryzykiem*.
- Wytyczne WHO dotyczące jakości wody do picia*, Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie, Bydgoszcz, 2014.
- Wytyczne WHO dotyczące jakości wody do picia. Pierwsze uzupełnienie do wydania czwartego*, Główny Inspektorat Sanitarny, Warszawa, 2020.
- Zimoch I., 2019, *Plany Bezpieczeństwa Wody, ich wdrażanie i weryfikacja*, Wyd. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Studia z zakresu inżynierii nr 103, ISBN 978-83-939534-7-9, Monografia profesorska, Warszawa.

STRESZCZENIA

Konkursowe

DODATKOWE ZASILANIE WÓD PODZIEMNYCH A MIGRACJA MIKROZANIECZYSZCZEŃ DO WARSTWY WODONOŚNEJ NA PRZYKŁADZIE UJĘCIA INFILTRACYJNEGO W POŁUDNIOWEJ POLSCE

Dodatkowe zasilanie wód podziemnych (ang. *Managed Aquifer Recharge* – MAR) to rozwiązanie umożliwiające wzbogacenie zasobów poprzez gromadzenie nadmiaru wód powierzchniowych oraz ich wymuszoną infiltrację do warstwy wodonośnej. Systemy MAR wykorzystywane są coraz częściej z uwagi na ich potencjał w zakresie przystosowania się do negatywnych skutków zmian klimatu dla zasobów wodnych. Rozwiązanie to wiąże się jednak z możliwością migracji do wód podziemnych mikrozanieczyszczeń występujących w wodach powierzchniowych, w tym tzw. nowo pojawiających się zanieczyszczeń (ang. *Emerging Contaminants* – EC). Związki te występują w próbkach środowiskowych w niewielkich stężeniach (rzędu µg/l lub ng/l), niemniej jednak część z nich charakteryzuje się wysoką trwałością i powolną degradacją w warunkach naturalnych, czego skutkiem może być ich akumulacja w środowisku wodnym.

Badania prowadzono na obszarze ujęcia infiltracyjnego zlokalizowanego w południowej Polsce. W skład ujęcia wchodzi studnie kopane i wiercone o głębokości ok. 10 m p.p.t., eksploatujące wody z czwartorzędowego poziomu wodonośnego, zbudowanego z piasków i żwirów. Poziom ten wzbogacany jest poprzez infiltrację wód z przepływającej w pobliżu rzeki, a także sieć rowów nawadniających, zasilanych wodami rzecznyymi. W celu określenia możliwości zanieczyszczenia wód podziemnych i migracji EC do warstwy wodonośnej w zasięgu badanego ujęcia, w trakcie prac terenowych zebrano 8 próbek wód do analiz pod kątem występowania 102. związków z grupy EC, w tym farmaceutyków i środków higieny osobistej (ang. *pharmaceuticals and personal care products* – PPCP), a także metabolitów, repelentów, słodzików, stymulantów i substancji stosowanych w przemyśle. Analizy wykonano z wykorzystaniem chromatografii cieczowej sprzężonej z tandemową spektrometrią mas (LC–MS/MS). W ramach badań opróbowano rzekę oraz jeden z rowów infiltracyjnych, które zasilają czwartorzędowy poziom wodonośny, jak również wody podziemne z 5. wybranych studni i 1. piezometru – zlokalizowanych na terenie ujęcia.

Analizy wykazały obecność 18. ze 102. badanych substancji w próbkach wody rzecznej oraz opróbowanego rowu nawadniającego. Największe stężenia zaobserwowano w przypadku takich związków jak metformina (lek stosowany w leczeniu cukrzycy, stężenia: 331 ng/l w rzece oraz 315 ng/l w rowie) oraz kofeiny (środek psychoaktywny, odpowiednio w stężeniach 174 ng/l i 120 ng/l). Co ciekawe, w wodach podziemnych wykryto 20 związków, w tym także substancje, których nie zaobserwowano w wodach powierzchniowych. Zawartości niektórych związków były znacznie wyższe w porównaniu do wód rzecznych i z rowu, w szczególności w przypadku kofeiny i jej głównego metabolitu, paraksantyny, których stężenia w wodach ze studni dochodziły odpowiednio do 1 130 ng/l i 818 ng/l.

¹ Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Przyrodniczych, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, kinga.slosarczyk@us.edu.pl, ORCID 0000-0002-1890-0483

Warto zaznaczyć, że według archiwalnych badań ujęcie zasilane jest w ponad 90% z infiltracji wód z rzeki i sieci rowów, a w otoczeniu badanego obszaru nie występują inne źródła, które mogłyby być związane z zanieczyszczeniem wód związkami z grupy PPCP. Wyższe stężenia tych związków w wodzie można powiązać z ich akumulacją w warstwie wodonośnej i migracją do wód podziemnych w okresie większego zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

MIKROZANIECZYSZCZENIA ORGANICZNE W WODACH POWIERZCHNIOWYCH I INFILTRACYJNYCH UJĘCIA MOSINA-KRAJKOWO ZAOPATRUJĄCEGO AGLOMERACJĘ POZNAŃSKĄ

Mikrozanieczyszczenia organiczne (pestycydy, farmaceutyki, środki kosmetyczne) stanowią nowy problem w procesie uzdatniania wód przeznaczonych do spożycia. Wody powierzchniowe mogą być zanieczyszczone mikrozanieczyszczeniami pochodzącymi ze ścieków komunalnych, przemysłowych, szpitalnych, odcieków wysypiskowych i cementarnych. Źródłem pochodzenia mikrozanieczyszczeń w wodach może być również działalność rolnicza. Korzystnym rozwiązaniem w kontekście poprawy jakości wód jest zastosowanie naturalnego procesu uzdatniania, jakim jest infiltracja brzegowa. Specyfika ujęć infiltracji brzegowej polega na tym, że wody powierzchniowe z rzek, jezior lub stawów infiltracyjnych zasilają studnie ujęcia wskutek wymuszonej infiltracji. Podczas infiltracji zachodzą korzystne z punktu widzenia uzdatniania wody procesy, takie jak: filtracja, sorpcja-desorpcja, biodegradacja czy wytrącanie chemiczne. Dochodzi także do mieszania się wód wskutek dopływu wód podziemnych. Dzięki temu stężenia mikrozanieczyszczeń organicznych w wodach infiltracyjnych maleją.

W latach 2016–2020 na ujęciu infiltracji brzegowej Mosina-Krajkowo zaopatrującym w wodę aglomerację poznańską analizowana była efektywność uzdatniania wody w zakresie mikrozanieczyszczeń organicznych. W latach 2016–2018 przeprowadzono badania wstępne, które wykazały występowanie mikrozanieczyszczeń organicznych zarówno w Warcie, jak i w wodach infiltracyjnych. W badaniach stwierdzono, iż stężenia mikrozanieczyszczeń organicznych maleją wraz ze wzrostem odległości studni od rzeki. Najniższą redukcję odnotowano w studni promienistej, której dreny zlokalizowane są 5 m pod dnem rzeki. W studniach zlokalizowanych w odległości 60–80 m od rzeki osiągnięto znaczny stopień redukcji, natomiast w studniach położonych ok. 750 m od rzeki mikrozanieczyszczeń organicznych nie wykryto.

W celu pogłębionej analizy efektywności uzdatniania wody w zakresie mikrozanieczyszczeń poprzez infiltrację brzegową w latach 2019–2020 wykonano kolejne serie badań, do których wytypowano 10 najczęściej pojawiających się w badaniach wstępnych farmaceutyków z grupy leków przeciwbólowych, przeciwpadaczkowych, psychotropowych, przeciwgrzybiczych, przeciwbakteryjnych, nadiśnieniowych i antybiotyków (karbamazepina, diklofenak, lamotrygina, flukonazol, paracetamol, gabapentyna, sulfametoksazol, sulfapirydyna, tramadol, telmisartan). Badania wykonano w wodach powierzchniowych (rzeka Warta, kanał przepływowo-ochronny), w studni promienistej oraz w studniach bariery brzegowej położonych w podobnych odległościach od rzeki (55–80 m). We wszystkich punktach badawczych wykryte zostały farmaceutyki.

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań, roksana.kruc@amu.edu.pl, ORCID: 0000-0001-9235-2916

Badania potwierdziły, iż stężenia mikrozanieczyszczeń organicznych ulegają redukcji wraz ze wzrostem odległości od rzeki. Najniższą redukcją charakteryzuje się studnia promieniasta, w której stężenia mikrozanieczyszczeń kształtowały się na podobnym poziomie jak w rzece. Odnotowano natomiast redukcję ogólnego i rozpuszczonego węgla organicznego, azotanów i jonu amonowego. Stwierdzono, iż studnia z drenami poziomymi zlokalizowanymi 5 m pod dnem rzeki nie jest skutecznym rozwiązaniem w procesie uzdatniania wody pod kątem trwałych, niskodegradowalnych farmaceutyków. Jest ona jednak w 100% zasilana wodami powierzchniowymi, co skutkuje brakiem rozcieńczenia mikrozanieczyszczeń w wyniku dopływu wód podziemnych. Stężenia mikrozanieczyszczeń organicznych uległy znacznej redukcji w studniach bariery brzegowej (55–80 m od rzeki). Jak wskazują stężenia zanieczyszczeń konserwatywnych (chlorki, karbamazepina) do studni bariery brzegowej dopływają wody podziemne, które powodują rozcieńczanie mikrozanieczyszczeń organicznych. Ponadto, odnotowano znaczne różnice w stopniach redukcji uzyskanych dla poszczególnych studni. Najwyższą redukcją zanieczyszczeń charakteryzowała się studnia 34L (55 m od rzeki) i 19L (64 m od rzeki), najniższą natomiast studnia 24L (65 m od rzeki). Analizie poddano czynniki, które mogły wpłynąć na kształtowanie się stężeń farmaceutyków w poszczególnych studniach. Odnotowano, iż w studni 24L budowa geologiczna warstwy wodonośnej jest najkorzystniejsza z punktu widzenia infiltracji (utwory gruboziarniste), panują korzystne warunki hydrogeologiczne (najwyższy współczynnik filtracji warstwy wodonośnej spośród badanych studni, najwyższy spadek hydrauliczny, najpłytsze zafiltrowanie), zaś temperatura wody była najbardziej zbliżona do temperatury wód rzecznych. Studnia 24L pracowała też z najwyższą wydajnością przez cały okres badań.

Powyższe czynniki sprawiają, że studnia 24L charakteryzuje się największym udziałem wód powierzchniowych w ogólnym bilansie, co skutkuje wysoką zawartością mikrozanieczyszczeń organicznych. Redukcję farmaceutyków przeanalizowano także w oparciu o parametry fizyko-chemiczne wody. Analizując zmiany stężeń mikrozanieczyszczeń w poszczególnych studniach, stwierdzono, iż wyższe stężenia farmaceutyków występują w warunkach redukcyjnych, niższe natomiast w warunkach utleniających. Wartości stężeń farmaceutyków nie wykazują zależności od zawartości ogólnego i rozpuszczonego węgla organicznego.

CHARAKTERYSTYKA FIZYKO-CHEMICZNA WÓD W STREFIE HYPOREICZNEJ SKIERNIEWKI NA OBSZARZE ZURBANIZOWANYM

Celem prowadzonych badań jest uzyskanie obrazu różnicy ciśnień między wodami powierzchniowymi i wodami strefy hyporeicznej w dnie rzeki naturalnej na obszarze miejskim. Badania prowadzone są w Skierniewicach na wytypowanym fragmencie koryta Skierniewki. Pomiar gradientu hydraulicznego umożliwi identyfikację kierunków przepływu – drenażu wód podziemnych lub ucieczki wód rzecznych w osady dennie. Zjawiska te mają cały szereg przyczyn, od skali makro – w zlewni topograficznej i podziemnej, do skali mikro – form dennych i przeszkód, jakie na swojej drodze napotyka płynąca korytem rzeczny wodą. Poza pomiarami ciśnień prowadzone są również analizy fizyko-chemiczne wód powierzchniowych jak i pobranych ze strefy hyporeicznej.

Do pomiarów ciśnień i poboru wód ze strefy hyporeicznej stosowany jest gradientometr. Pomiary prowadzone są w cyklach około miesięcznych, w różnych warunkach hydrometeorologicznych. Powtarzalność pomiarów stworzy podstawy do opisu zmienności/stałości panujących w dnie koryta rzeczno kontaktów jednego środowiska wód z drugim, a odniesienie uzyskanego obrazu do zmian przepływów i stanów wód podziemnych stworzy okazję do identyfikacji lokalnych uwarunkowań. Dla ich pogłębienia dokonano identyfikacji osadów dennych pod względem wielkości współczynnika filtracji – jego zmienności w wytypowanym odcinku obserwacyjnym oraz warunków sedymentacji w korycie rzeczny.

Wyniki pierwszych badań wskazują na *upwelling* do koryta rzeczno wód o gorszych parametrach chemicznych niż wody powierzchniowe. Wody zasilające rzekę mają kilkakrotnie większe stężenia np.: amoniaku, związków fosforu czy azotu mineralnego. Dotychczas uzyskane wyniki wskazują na zmienność rozkładu ciśnień i stanu chemicznego wód w poszczególnych przekrojach pomiarowych. Porównanie charakterystyk fizykochemicznych wód rzecznych i wód zasilających ciek może doprowadzić do zidentyfikowania dopływów zanieczyszczonych wód podziemnych (spod miasta) oraz potencjalnego oddziaływanie na rzekę ujęć wód podziemnych, przy ich lokalizacji w strefie dolinnej (wymuszone wnikanie w aluwia zanieczyszczonych wód rzecznych).

¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, piotr.markowicz2@edu.uni.lodz.pl

PRZEBUDOWA TYPOWEGO WAŁU PRZECIWPOWODZIOWEGO RZEKI WISŁY Z UWZGLĘDNIENIEM UWARUNKOWAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

W ramach pracy inżynierskiej przedstawiono projekt modernizacji wału przeciwpowodziowego obejmujący zmianę geometrii budowli oraz materiału, z którego jest wykonany, uwzględniając właściwości filtracyjne oraz warunki hydrogeologiczne. Wyniki zrealizowanej pracy mogą zostać wykorzystane do poprawy ochrony przeciwpowodziowej dwóch gmin w województwie mazowieckim, gdzie planowana jest modernizacja prawostronnego wału przeciwpowodziowego rzeki Wisły, który na analizowanym odcinku zaliczany jest do II klasy budowli hydrotechnicznych.

Do przeprowadzenia niezbędnych analiz planowanej przebudowy wybrano najniekorzystniejsze warunki gruntowo-wodne oraz określono modele podłoża. Opracowanie zawiera obliczenia posadowienia wału przeciwpowodziowego według stanów granicznych nośności GEO i HYD i stanu granicznego użytkowności zgodnie z normami PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2 oraz wykraczającą poza powszechnie stosowane metody analizę filtracji, osiadań i stateczności za pomocą symulacji numerycznych Metodą Elementów Skończonych. W ramach opracowania modernizacji budowli ziemnej przedstawiono również projekt monitoringu zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w *sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie* oraz zgodnie z normą PN-EN 1997-1. Monitoring ten powinien objąć sieć kontrolno-pomiarową składającą się z reperów oraz piezometrów otwartych.

W obszarze analizy występują złożone warunki gruntowe. Profile wierceń oraz analiza Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski wskazują na podłoże zbudowane z utworów czwartorzędowych. Występują w nim głównie grunty facji fluwialnych i powodziowych, tj. piaski, gliny oraz pyły z lokalnie pojawiającymi się warstwami gruntów organicznych. W rejonie analizowanego odcinka wału zwierciadło wód gruntowych ma charakter swobodny (lokalnie napięty) i położone jest na zróżnicowanej głębokości. Zgodnie z mapą hydrogeologiczną (pierwszy poziom wodonośny) kierunek przepływu następuje do Wisły (głównie na zachód i południowy-zachód). Zgodnie z wytycznymi Rozporządzenia w *sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych* wybrano dwa warianty podłoża gruntowego: pierwszy przedstawiający najniekorzystniejsze warunki gruntowe występujące bezpośrednio w linii korony wału oraz drugi określający najniekorzystniejsze warunki podłoża gruntowego, zlokalizowane w bliskiej okolicy wału.

Pierwszy model – model I – ze względu na lokalizację przyjętych warunków gruntowo-wodnych i aktualne wysokości wału zakłada nasyp o wysokości 2,1 m. Ze względu na warstwy piasku średniego wbudowane w nasyp w tej lokalizacji zaprojektowano na rozpatrywanym odcinku korpus wału także zbudowany z piasków średnich.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, karolina.kaczmarek.stud@pw.edu.pl

Na podstawie opracowań archiwalnych oraz wymagań co do bezpiecznego wzniesienia korony stałych budowli hydrotechnicznych przyjęto rzędną wody miarodajnej na wysokości 90,14 m n.p.m., a bezpiecznego wzniesienia korony wału 91,14 m n.p.m. Rzędna terenu znajduje się na 89,04 m n.p.m. W profilu odwiertu wykonanego (do głęb. 5 m) w tym obszarze nie stwierdzono zwierciadła wód gruntowych. Podłoże jest jednorodne, zalega w nim glina nie prekonsolidowana w stanie plastycznym. W tym modelu stwierdza się najslabsze warunki gruntowe w koronie wału ze względu na największą miąższość warstwy glin słabonośnych znajdującej się bezpośrednio w poziomie posadowienia.

Drugi model – model II – ma rzędną terenu 90,77 m n.p.m. Z powodu lokalizacji wysokość wału dla modelu II to 3,6 m. Bezpośrednio w poziomie posadowienia zalega metrowa warstwa namułu gliniastego w stanie plastycznym. Poniżej położone są piaski drobne. Zwierciadło swobodne wód gruntowych stwierdzono na głębokości 3,2 m p.p.t. Rzędna wody miarodajnej to 93,37 m n.p.m. Opisywane warunki stanowią jedne z najmniej korzystnych ze względu na największą miąższość warstwy słabonośnych gruntów organicznych, która dodatkowo występuje bezpośrednio w poziomie posadowienia obiektu.

Zaprojektowano nasyp wału o wysokości od 2,1 do 3,6 m zbudowany z lokalnie występujących piasków drobnych o stopniu zagęszczenia = 0,90 i piasków średnich o stopniu zagęszczenia = 0,70. Rekomenduje się także zmianę nachyleń skarp nasypu, które po modernizacji będą takie same dla skarpy odwodnej i skarpy odpowietrznej wynosząc 1:4. W modernizowany wał należy wbudować drenaż przyzmowy z filtrem odwrotnym u podnóża skarpy odpowietrznej, którego zadaniem będzie zbieranie i odprowadzanie wody filtrującej przez korpus wału przeciwpowodziowego podczas wystąpienia wezbrań.

ZASTOSOWANIE METODY ELEMENTÓW ANALITYCZNYCH (AEM) DO WYZNACZANIA STREF OCHRONNYCH UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH

Wyznaczanie obszarów spływu wód (OSW) do ujęcia, będących podstawą analizy zasadności ustanowienia stref ochronnych dla ujęć wód podziemnych, jest jednym z częstszych zadań hydrogeologa. Obecnie, gdy zmiana prawa wymusiła sporządzanie analiz ryzyka dla ujęć wód, część podmiotów decyduje się na opracowanie modelu hydrogeologicznego dla dokładniejszego zbadania przepływu wód w ich regionie. Równocześnie, w dalszym ciągu do wyznaczania zasięgu OSW i w konsekwencji stref ochronnych stosowane są nieefektywne czasowo i jakościowo metody analogowe oraz metody graficzne, które dają często niewiarygodne wyniki. Równocześnie bardziej wiarygodne metody modelowe wymagają wielu żmudnych przygotowań do przeprowadzenia prognoz, co czyni je bardzo kosztownymi oraz czasochłonnymi. W związku z tym często rezygnuje się z wykonania modelu, co skutkuje nierealistycznymi OSW do ujęcia i w konsekwencji błędnie wyznaczonymi strefami ochronnymi lub brakiem wyznaczenia strefy wokół ujęć, co może wiązać się z realnymi stratami finansowymi.

W niniejszej pracy przedstawiono alternatywę dla powyższych metod w postaci modelowania metodą elementów analitycznych (AEM). Metoda ta, oparta na rozwiązywaniu układu równań opisujących przepływ wód w modelowanym obszarze i jest z powodzeniem stosowana na świecie. Uogólniony model wykorzystywany w tej metodzie pozwala na osiągnięcie w krótszym czasie wyników bardzo zbliżonych do efektów najczęściej stosowanego modelowania przepływu wód metodami FDM i FEM. Metoda ta wymaga zdecydowanie mniej przygotowań do wykonania modelu poprzez możliwość przyjęcia bardziej uogólnionych danych, które często mogą pochodzić z archiwalnych źródeł, a czas na ich zebranie może być porównany do czasu potrzebnego na przygotowanie danych dla metod graficznych i analitycznych.

Jako przykładowe środowisko pracy wykorzystano oprogramowanie WhAEM, przygotowane przez Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych specjalnie do celów wyznaczania stref ochronnych wokół ujęć wód podziemnych. Oprogramowanie to jest głównym narzędziem dla poszczególnych jednostek administracyjnych w USA do wyznaczania stref ochronnych i z powodzeniem wyparło prostsze metody. Poligonem badawczym był obszar ujęcia wód podziemnych dla miasta Olesno. Ujęcie to składa się z trzech grup, w łącznej liczbie ośmiu studni. Dla analizowanego obszaru w przeszłości został sporządzony model wykonany w technologii FDM, powstały podczas realizacji dokumentacji hydrogeologicznej dla ustalenia zasobów eksploatacyjnych przedmiotowego ujęcia. Na podstawie wyników z modelu FDM został wyznaczony OSW do ujęcia będący podstawą do analizy zasadności ustanowienia terenu ochrony pośredniej ujęcia. Z tak wyznaczonym OSW został porównany OSW wyznaczony z wykorzystaniem modelu AEM. Dla szerszego zbadania i porównania różnych metod obliczono również zasięg potencjalnej strefy ochronnej prostszymi metodami: metodą analogową CFR oraz programem SimpleWHPA wykonującym obliczenia analogowe.

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, m.nikiel@gmail.com

W wyniku porównania stwierdzono, że rezultat otrzymany dla metody CFR był niezadowalający, natomiast metoda SimpleWHPA dała wyniki satysfakcjonujące, w 78% pokrywające się z wynikami z metody FDM. Natomiast dla metody AEM zgodność zasięgu OSW z modelem FDM wyniosła aż 85%, równocześnie zachowując kształt OSW wyznaczonego modelem numerycznym. Różnice w powierzchni wynikały głównie z różnych charakterystyk metody, a także subiektywnych wyborów parametrów przez osobę modelującą. Takie rozbieżności można uznać za mało znaczące przy wyznaczaniu strefy ochronnej. Uzyskane wyniki wskazują na konieczność zmiany podejścia do wyznaczania OSW i stref ochronnych dla ujęć oraz odejścia od metod analogowych, czy graficznych zastępując je stosunkowo prostym do realizacji modelem AEM.

KONCEPCJA ZABEZPIECZENIA PIWNIC BUDYNKU WYSOKIEGO PRZY UL. NOWOWIEJSKIEJ W WARSZAWIE PRZED WODĄ GRUNTOWĄ W OPARCIU O ANALIZĘ SIECI WOD-KAN ORAZ WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Przedmiotową koncepcję wykonano na podstawie szczegółowej analizy warunków gruntowo-wodnych w rejonie analizowanego budynku przy ulicy Nowowiejskiej oraz wizji lokalnych sieci wod-kan. Praca inżynierska zawiera przegląd archiwalnych dokumentacji projektowych, charakterystykę obiektu pod względem instalacji budowlanych, analizę hydrogeologiczną sporządzaną na podstawie dostępnych zasobów kartograficznych, a także dokumentacji dotyczącej wykonanych odwiertów. Przedmiotowy budynek posiada przybliżone wymiary długości ok. 65 m, szerokości ok. 20 m, wysokości ok. 30 m. Problem podtopień występuje w różnych jego miejscach, a każde z tych zidentyfikowanych dwóch miejsc analizowano z uwzględnieniem ich specyficznych charakterystyk.

Na podstawie odbytych wizji lokalnych potwierdzono aktualny stan instalacji wodociągowo-kanalizacyjnych w obrębie budynku oraz poddano analizie możliwość ich wpływu na występowanie problemu zalewania piwnic. Efektem przeprowadzonych działań jest raport z samodzielnie wykonanych inspekcji instalacji kanalizacyjnej stanowiący załącznik nr 1 do pracy oraz dokumentacja zdjęciowa wraz z opisem przeprowadzonych działań. Stwierdzono wpływ stanu instalacji kanalizacyjnej oraz brak wpływu stanu instalacji wodociągowej na problem występujący w obu lokalizacjach. Odnotowano również możliwość wpływu czynników eksploatacyjnych i środowiskowych na intensyfikację analizowanego problemu.

Budynek został posadowiony w gruntach słabo przepuszczalnych (część północna) i nieprzepuszczalnych (część południowa), jednakże przed posadowieniem budynku wykonano piaskową podsypkę i obsypkę ścian fundamentowych. Biorąc pod uwagę dobrą przepuszczalność gruntów na wysokości obsypki ścian fundamentowych oraz poziom zwierciadła wód gruntowych na głębokości, na jakiej została wykonana obsypka, zakłada się, że wody opadowe spływające zgodnie z morfologią terenu w kierunku budynku (z północnego-zachodu na południowy-wschód) infiltrują przepuszczalnymi utworami wokół budynku; opływając tenże budynek po obrysie oraz pod budynkiem zasilając tym samym poziomy wodonośne obecne w soczewkach utworów przepuszczalnych znajdujących się pod budynkiem. Przepływające wody gruntowe mogą trafiać także na uszkodzone fragmenty kanalizacji kablowej, czy też deszczowej lub uszkodzone/zarysowane elementy konstrukcyjne budynku wnikać pod i do wnętrza budynku. Założenie to wymaga weryfikacji, poprzez monitoring umożliwiający obserwacje poziomu zwierciadła wody w otworach piezometrycznych. Sezonowe obserwacje położenia zwierciadła wody należy porównywać z poziomem wód w korycie kablowym pod rozdzielnią. Jednym z rezultatów realizacji pracy inżynierskiej jest opracowanie i złożenie do zatwierdzenia projektu robót geologicznych na wykonanie otworów piezometrycznych.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, aleksander.rajkowski.stud@pw.edu.pl

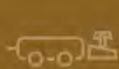
Głównym efektem pracy jest koncepcja zabezpieczenia piwnic budynku przy ulicy Nowowiejskiej przed wodą gruntową, a także wnioski wyciągnięte z przeprowadzonych prac i obserwacji z rekomendacjami dotyczącymi dalszych działań w przyszłości. Koncepcja obejmuje wykluczenie czynników powodujących przedostawanie się wody do wnętrza budynku na skutek niewłaściwego funkcjonowania instalacji kanalizacji kablowej, a także deszczowej. W tym celu należy wykonać uszczelnienie tych instalacji metodą dającą największą pewność przy nieregularnych powierzchniach i trudno dostępnych miejscach, tj. metodą iniekcijną. Po wykonaniu uszczelnień należy zaprojektować i wykonać system odwodnienia powierzchniowego, które zbierałoby wody opadowe spływające w kierunku wydziału. Najbardziej niezawodnym wydaje się być zastosowanie odwodnienia liniowego wzdłuż wschodniej, zachodniej i północnej elewacji budynku. Podczas realizacji koncepcji należy rozważyć umiejscowienie zbiornika pod ziemią, który gromadziłby wodę na cele podlewania zieleni. Takie rozwiązanie pozwoli ograniczyć w znacznym stopniu zasilanie wód gruntowych wodami opadowymi, co pozwoli na wyeliminowanie lub znacznie ograniczenie występowania analizowanego problemu badawczego.



SEZAM INSTAL



SAMOCHOBY
CISNIENIOWE



FREZY
HYDRAULICZNE



KAMERY CCTV
DO RUROCIĄGÓW



METODY
BEZWYKOPOWE

Firma Sezam Instal sp.j. od ponad 25 lat zajmuje się technologiami bezwykopowymi CIPP. Naszym „flagowym” produktem jest kompletny, certyfikowany (DIBT) system do renowacji kanałów CITY LINER. Pod pojęciem kompletnego systemu należy rozumieć: komplet urządzeń (nasączalnia RS Technik wraz z piecem Buderus, frez KA-TE), pełne szkolenie obsługi, know how dla stworzenia wydziału technologii bezwykopowych w firmie klienta, dostawy materiałów (żywica, utwardzacz oraz rękawy), pełne wsparcie techniczno - organizacyjne od aktualnych i bardzo doświadczonych klientów w ramach wymiany doświadczeń pomiędzy firmami wod-kan, promocję na rynku polskim, gwarancję zarówno na rękaw i żywicę oraz, co najważniejsze, unikatową i jedyną na rynku gwarancję na utwardzony rękaw.

Bardzo ważnym aspektem dostarczanej technologii jest jej prostota i bezawaryjność. W rankingu laboratorium IKT za 2017 r. technologia CITY LINER jako jedyna z badanych zdobyła wynik 4x100% we wszystkich krytycznych parametrach (tab1).

Na tak doskonałe rezultaty składają się przede wszystkim:

najwyższa jakość produktów (żywice serii MaxPox produkowane

przez największego producenta żywic na świecie firmę OLIN oraz filcowe rękawy bezzwowe pokryte poliuretanem za pomocą unikatowego systemu topniejącego wprasowania, produkowane przez Applied Felts - największego na świecie producenta rękawów), **prostota systemu mieszania żywic** osiągnięta poprzez zastosowanie dwustronnych pomp tłokowych (ilość żywicy odliczana jest ilością cykli pompy, dzięki czemu uniknięto stosowania zawodnych i nierzadko przekłamujących przepływomierzy) oraz **nieskomplikowany system montażu nasączonego rękawa** (inwersji) za pomocą słupa wody.

Technologia CITY LINER jest dostępna na rynku polskim jedynie dla komunalnych osób prawnych o statusie operatora sieci kanalizacyjnej. Taka „reglamentacja” wynika z konieczności zachowania najwyższych parametrów powtarzalności instalacji zakończonych pełnym sukcesem. Wskazany zabieg ma celu utrzymanie rozwiązania CITY LINER jako dominującego w aspekcie bezawaryjności na rynku krajowym, a także europejskim.

Producent	Typ rękawa	Szczelność		Moduł zginający E		Wytrzymałość na zginanie		Grubość ścianki	
		Ilość próbek	Szczelna w % badań	Ilość próbek	Wartość oczekiwana* osiągnięta w % badań	Ilość próbek	Wartość oczekiwana* osiągnięta w % badań	Ilość próbek	Wartość oczekiwana* osiągnięta w % badań
RS CityLiner	NF	30	100,0**	30	100,0	30	100,0	28	100,0
PAA SF-Liner	NF	160	100,0**	160	99,4	160	99,4	90	100,0
Alphaliner	GFK	867	99,1	882	99,0	882	99,3	630	97,0
SAERTEX Liner	GFK	410	99,5	409	97,6	409	98,3	281	98,6
Insituform Schlauchliner (NL)	NF	54	100,0**	64	84,4	64	90,6	64	96,9
iMPREG Liner	GFK	192	97,9	198	99,5	198	97,5	147	100,0
Berolina Liner	GFK	174	98,9	174	97,7	174	97,7	133	70,7
Brandenburger Liner	GFK	200	100,0	200	91,0	200	93,5	116	93,1
Insituform iPlus Glass (NL)	GFK	30	90,0	30	93,3	30	70,0	30	60,0
Wartość średnia			99,1		97,4		97,6		94,5

■ powyżej wartości średniej ■ poniżej wartości średniej

wartość oczekiwana według danych inwestora DIB-Zulassung (lub KOMO-Zertifikat i QUIK-Richtlinie)/ ** bez nacinania zintegrowanej folii
GFK: laminat na bazie włókna szklanego / NF: laminat na bazie filcu igłowego



SEZAM INSTAL

Sezam Instal
45-131 Opole
ul. Józefa Cygana 1

tel. +48 77 457 84 98
fax +48 77 457 84 90
e-mail: fsi@op.pl

www.sezaminstal.pl



PPR

PREUSS Pipe
Rehabilitation
Polska

Firma Preuss Pipe Rehabilitation Polska Sp. z o.o. jest obecna na rynku polskim od 2000 roku. Należy do międzynarodowego koncernu PREUSS, który w głównej mierze zajmuje się budową rurociągów podziemnych i renowacją rurociągów. Działalność grupy PREUSS na całym świecie wymaga, stosownie do stawianych technicznych wymogów, optymalizacji wykorzystywanych przez nią metod.

Podstawowym wyznacznikiem działalności firmy Preuss Pipe Rehabilitation Polska Sp. z o.o. jest wykorzystywanie nowości nie tylko technologicznych, ale także związanych z profesjonalnym sposobem zarządzania. Aby sprostać wymaganiom stawianym przez inwestorów, firma uzyskała oraz wdrożyła certyfikat zintegrowanego systemu zarządzania wg norm ISO 9001, 14001 oraz 45001.

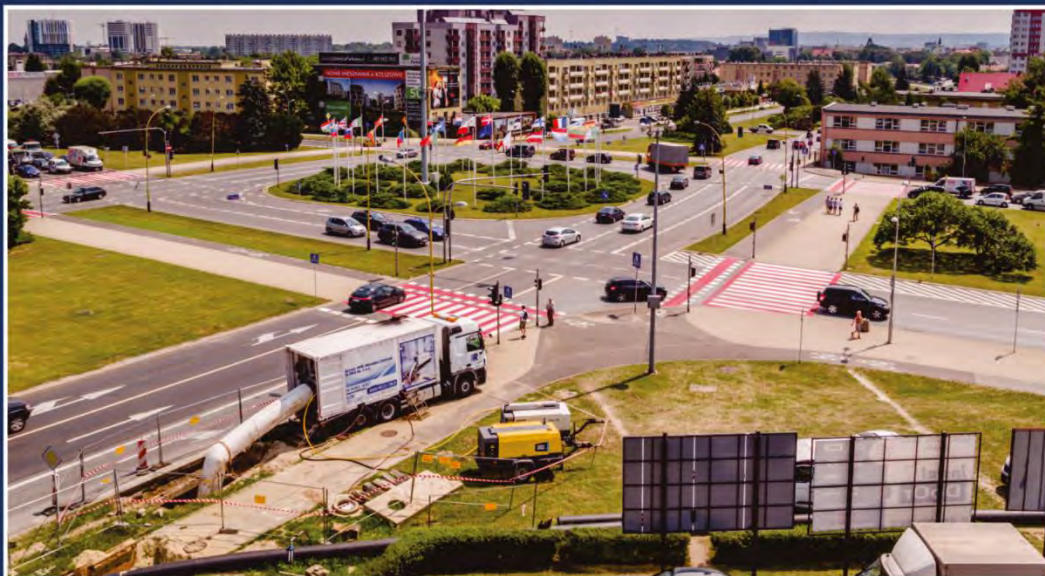
Zebrane przez lata doświadczenia grupy PREUSS, wdrożone do spółki Preuss Pipe Rehabilitation Polska Sp. z o.o. pozwalają na lepszą realizację projektów oraz służą dobru odbiorców usług.

Obecny profil usług firmy Preuss Pipe Rehabilitation Polska Sp. z o.o. przedstawia się następująco:

- opracowanie koncepcji renowacji oraz budżetu;
- inspekcja i czyszczenie rurociągów;
- renowacja przewodów ciśnieniowych i wolnospławnych dla wszelkich średnic i stopni ciśnień.

Do stosowanych przez firmę Preuss Pipe Rehabilitation Polska Sp. z o.o. metod renowacyjnych należą między innymi: Process Phoenix™, cementyzacja.

Process Phoenix™ to najlepsza ze wszystkich metod regeneracyjnych, która służy do rekonstrukcji rurociągów wody. W technologii tej włóknina powleczone klejem przylega ściśle do wewnętrznej ścianki regenerowanego rurociągu. Do utwardzenia tzn. przyklejenia rękawa do starego rurociągu wykorzystuje się parę wodną. Ważnym atutem tej technologii jest uniwersalność i minimalna redukcja wewnętrznej ścianki regenerowanego rurociągu, jak również możliwość pokonywania łuków nawet do 90°.



Preuss Pipe Rehabilitation Polska Sp. z o.o. ul. Katowicka 134, 43-190 Mikołów
Sekretariat: tel.: 32 326 11 91, fax.: 32 322 90 49, e-mail: sekretariat@preuss.com.pl, www.preuss.com.pl
od poniedziałku do piątku w godz. 07:00-15:00

Kompleksowe systemy z żeliwa sferoidalnego



www.sgpam.pl



Firma GWE POL-BUD Sp. z o.o. istnieje na rynku od roku 1976. Początkowo jako przedsiębiorstwo państwowe później jako spółka, związane z koncernem PREUSSAG. Od 1998 roku spółka wchodzi w skład grupy GWE, która koncentruje swoją działalność na produkcji i dystrybucji produktów stosowanych w poszukiwaniach, wydobywaniu i transporcie wody, gwarantując ich najwyższą jakość oraz fachowe doradztwo techniczne. Od 2007 roku firmy z grupy GWE należą do działu Resources międzynarodowego koncernu BAUER A.G. Zakres działalności działu obejmuje wszystkie zagadnienia dotyczące środowiska, energii, wody i surowców.

Nieustanne doskonalenie, gromadzenie zasobów oraz usprawnienie procesów niezbędne do ciągłego i dynamicznego wzrostu umożliwiające dotarcie do coraz większego grona klientów i dostarczenie optymalnych rozwiązań.

Do naszego asortymentu produkcyjnego i handlowego należy szeroka gama materiałów służących do budowy i wyposażenia studni głębinowych. Ponadto w ofercie firmy znajdują się rurociągi wykonane z włókna szklanego znajdujące zastosowanie w takich dziedzinach, jak: rurociągi przemysłowe, transport ropy naftowej i gazu ziemnego, Marine & Offshore, wiercenia związane z geotermią i wodami termalnymi.

Ciągle poszukiwanie nowych obszarów działalności oraz zarządzanie zgodne z zasadami etyki biznesowej pozwalają nam na stworzenie przyjaznego środowiska pracy, gdzie nasi pracownicy mają możliwość rozwijania swojego potencjału, pracy przy innowacyjnych projektach, gwarantując profesjonalną obsługę na każdym etapie inwestycji!



GWE POL-BUD Sp. z o.o. has been present on the market since 1976. Initially it was a state-owned enterprise, later it became affiliated with the PREUSSAG group. Since 1998, the company has been part of the GWE group, whose activities are centred around the production and distribution of products used in the exploration, extraction and transport of water, guaranteeing the top quality and professional technical advice. Since 2007, the companies from the GWE group have been a part of the Resources department of the international BAUER A.G. group. The scope of the department's activities covers all issues related to the environment, energy, water and raw materials.

The continuous improvement, accumulation of resources and streamlining of processes, which are necessary for the constant and dynamic growth, enable reaching a growing number of customers and providing optimal solutions.

Our production and trade range includes a wide gamut of materials for the construction and equipment of deep water wells. In addition, the company offers pipelines made of fiberglass that are used in areas such as: industrial pipelines, transport of crude oil and natural gas, Marine & Offshore, drilling related to geothermal energy and thermal waters.

The constant search for new business areas and management in accordance with the business ethics principles allow us to create a friendly work environment where our employees have the opportunity to develop their potential and work on innovative projects, which guarantees professional service at every stage of a project!



GERMAN WATER & ENERGY GROUP
GWE POL-BUD Sp. z o.o.
 93-430 Łódź
 ul. Demokratyczna 89/93
 office@gwe-polbud.pl
 www.gwe-polbud.pl

GWE
POL-BUD

Bezpieczne odczyty wodomierzy w dobie pandemii

DIEHL
Metering



Nowe oprogramowania IZAR@NET2

Udoskonalone odczyty radiowe

Jesteśmy liderem zdalnego odczytu w polskich wodociągach.

Szybki i uniwersalny system IZAR zastosowało już ponad 180 przedsiębiorstw wodociągowych w Polsce! Co miesiąc odczytujemy ponad 900.000 wodomierzy jadąc samochodem i siecią stacjonarną.

Rozwiązania – systemy zdalnego odczytu

ODCZYT MOBILNY I SIEĆ STACJONARNA



Zdalny odczyt radiowy – kiedy chcesz, błyskawicznie odczytujesz 100% liczników. Systemem IZAR możesz odczytywać stacjonarnie lub jadąc samochodem.



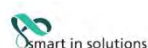
Zobacz film o odczytach radiowych



Zobacz film o Hydrus 2.0

Diehl Metering Sp. z o.o.
Bażanowice, ul. Cieszyńska 1A, 43-440 Golezów
T: +48 33 851 04 39, F: +48 33 852 16 75

www.diehl.com/metering
metering-poland-info@diehl.com



Przyszłość budujemy
w partnerstwie

Ultrimis W



Wodomierz ultradźwiękowy

www.apator.com

Expect... **AVR**



Expect... **AVR** www.avk.com.pl



Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji
Okręgu Częstochowskiego SA w Częstochowie

**Wodociągi
Częstochowskie**

ul. Jaskrowska 14/20, 42-202 Częstochowa
www.pwik.czest.pl

Publikacja zawiera aktualnie podejmowaną problematykę badawczą zarówno w zakresie prac naukowych, jak i ich praktycznych zastosowań. Prezentowane zagadnienia stanowią kompendium wiedzy na temat badań nad jakością i ilością wód podziemnych (obejmują także ich poszukiwania i charakterystykę filtracyjną wodonośca), optymalnych technologii ujmowania wód w odniesieniu do wodociągów, odwodnień oraz prawa dotyczącego gospodarowania wodą. [...]

Bez wątpienia można uznać, że niniejsza monografia stanie się cenną, interdyscyplinarną publikacją z zakresu hydrogeologii stosowanej. Ukazuje bogate doświadczenia środowisk współpracujących hydrogeologów i hydrotechników na różnym stopniu kariery zawodowej.

dr hab. Dorota Porowska, prof. ucz.

Książka zakorzeniona jest w unikalnym czterdziestoczteroletnim cyklu konferencji *Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej* dedykowanym środowiskom hydrogeologicznym i wodociągowym. Monografia stanowi ważny element w dzieleniu się doświadczeniem umożliwiającym rozpowszechnienie specjalistycznej i aktualnej wiedzy, co pozwala na coraz bardziej optymalną, to znaczy ekologiczną i ekonomiczną, gospodarkę wodną. [...]

Publikacja stanowi bardzo wartościowy zbiór opracowań specjalistycznych (badawczych, inżynierskich oraz prawnych) zawierających doświadczenia szczegółowych analiz oraz innowacyjne rozwiązania, z których wiele stanowi przełomowe projekty w gospodarce wodnej.

dr hab. inż. Paweł Popielski, prof. ucz.



 wydawnictwo.uni.lodz.pl
 ksiegarnia@uni.lodz.pl
 (42) 665 58 63

Książka dostępna również
jako e-book

