

Autoreferat

1. Imię i nazwisko: **Dominika Dąbrowska**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:
Licencjat z geologii: Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach, **2011**; egzamin
Licencjat z matematyki: Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, Uniwersytet Śląski w Katowicach, **2012**; egzamin
Magisterium z geologii: Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach, **2012**; „*Zmienność składu chemicznego wód podziemnych w rejonie nieczynnego składowiska odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach*”
Magisterium z matematyki: Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, Uniwersytet Śląski w Katowicach, **2013**; „*Sumy kwadratów wielomianów wymiernych*”
Doktorat w dziedzinie Nauk o Ziemi: Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach, **2018**; „*Wiarygodność i reprezentatywność wyników badań wód podziemnych realizowanych w ramach monitoringu składowisk odpadów komunalnych*”
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych:
 - a) **10.10.2016** r. do **30.09.2018** r.; Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach, **asystent**;
 - b) **01.10.2018** r. do **nadal**; Instytut Nauk o Ziemi, Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski w Katowicach (poprzednia nazwa: Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach); **adiunkt**.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

I WSTĘP

Na osiągnięcie naukowe pod tytułem „Zastosowanie badań lizymetrycznych, modelowania matematycznego oraz technologii sztucznej inteligencji do oceny zagrożenia środowiskowego generowanego przez odcieki ze składowisk odpadów” składa się pięć recenzowanych prac naukowych przygotowanych i opublikowanych po otrzymaniu stopnia naukowego doktora. W czterech artykułach jestem pierwszym autorem.

Artykuły wchodzące w skład rozprawy habilitacyjnej zostały opublikowane w latach 2019-2022 w języku angielskim w recenzowanych czasopismach znajdujących się na tzw. liście JCR - Web of Science (wykaz czasopism naukowych posiadających współczynnik wpływu IF) i znajdujących się na liście Czasopism Punktowanych MNiSW. Przedstawione artykuły, wchodzące w skład omawianego osiągnięcia, opublikowano w zagranicznych czasopismach posiadających w 2022 roku współczynnik wpływu IF od **2.838 do 6.708** i mających od 70 do 140 punktów (punktacja zgodna z listą opublikowaną pod koniec 2021 r.).

Lista artykułów stanowiących moje osiągnięcie naukowe (ON) została przedstawiona chronologicznie, od najstarszego do najnowszego.

[ON1] **Dąbrowska, D**, Sołtysiak, M., Binniecka, P., Michalska, J., Wasilkowski, D., Nowak, A., Nourani V. **2019**. Application of hydrogeological and biological research for the lysimeter experiment performance under simulated municipal landfill condition. Journal of material cycles and waste management 21 (6), pp.1477-1487

IF (2022): **3.579**

Punktacja MNiSW (2021): **70**

[ON2] **Dąbrowska, D**, Rykala, W. **2021**. A Review of Lysimeter Experiments Carried Out on Municipal Landfill Waste. Toxics 9 (2).

IF (2022): **4.472**

Punktacja MNiSW (2021): **70**

[ON3] Dąbrowska, D, Nowak, A, Sołtysiak, M, Biniecka, P, Nourani, V, Wasilkowski, D. 2022. In situ lysimeter experiment of leaching pollutants from municipal waste with physicochemical status and microbiome condition. Journal of Hydrology 613 (3).

IF (2022): **6.708**

Punktacja MNiSW (2021): **140**

[ON4] Baghanam, A, Vakili, A, Nourani, V, Dąbrowska, D, Sołtysiak, M. 2022. AI-based ensemble modeling of landfill leakage employing a lysimeter, climatic data and transfer learning. Journal of Hydrology 612 (3).

IF (2022): **6.708**

Punktacja MNiSW (2021): **140**

[ON5] Dąbrowska, D, Witkowski, A. 2022. Groundwater and human health risk assessment in the vicinity of a municipal waste landfill in Tychy, Poland. Applied Sciences, 12 (24).

IF (2022): **2.838**

Punktacja MNiSW (2021): **100**

Wszystkie powyższe publikacje (**ON1-5**) wchodzące w skład osiągnięcia naukowego były recenzowane przez przynajmniej dwóch specjalistów z danej dziedziny.

Zasadniczym celem przeprowadzonych przeze mnie badań naukowych składających się na główne osiągnięcie naukowe, było sprawdzenie możliwości i celowości zastosowania różnych metod badawczych do oceny zagrożenia środowiskowego (w tym przede wszystkim dla wód podziemnych) ze strony odcieków generowanych przez składowiska odpadów komunalnych. W prezentowanych artykułach do oceny tego zagrożenia wykorzystano wyniki badań monitoringowych, badań lizymetrycznych, badań modelowych oraz wybranych metod sztucznej inteligencji.

Ze względów ekonomicznych składowanie jest jednym z najczęstszych sposobów unieszkodliwiania odpadów komunalnych (Huang i in., 2018). Składowanie odpadów jest jednak realnym problemem środowiskowym ze względu na ilość, jakość i toksyczność odpadów, migrację zanieczyszczeń oraz możliwość wystąpienia pożarów zarówno w przypadku odpadów gromadzonych na legalnych składowiskach jak i tzw. dzikich składowiskach (Alwaeli, 2015; Cudjoe i in. 2020). W związku z rozwojem gospodarczym i wzrostem liczby ludności wytwarzanie odpadów stale wzrasta (Cudjoe i Acquah, 2021). Szacuje się, że około 1/3 z 2 miliardów ton wytwarzanych rocznie odpadów komunalnych jest nieprawidłowo zagospodarowywana. Według prognoz Banku Światowego w ciągu najbliższych trzech lat światowa produkcja odpadów stałych w miastach wzrośnie nawet do 6 100 000 ton dziennie (Makarichi i in., 2018). W tym kontekście niezwykle istotna jest ocena zagrożenia dla wód podziemnych, która powinna być wykonywana na podstawie wyników monitoringu jakościowego i ilościowego wód podziemnych. Otwarte pozostaje jednak pytanie, jakimi metodami można wesprzeć badania monitoringowe, aby ocena ryzyka była jak najbardziej efektywna.

Aktualne uwarunkowania prawne w Polsce regulują projektowanie, budowę i eksploatację składowisk odpadów oraz systemów monitoringu wód podziemnych i systemów odprowadzania odcieków (Dz. U. 2021 poz. 673, Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 19 marca 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie składowisk odpadów). Proponowany zakres monitorowanych parametrów oraz liczba punktów obserwacyjnych w kontekście rzetelnej oceny ryzyka dla wód podziemnych i zdrowia człowieka może być jednak niewystarczająca (Witkowski, 2017; Dąbrowska i in., 2018). Co więcej, uregulowania te nie zawsze są przestrzegane, a sam monitoring może być nierzetelnie wykonywany (Witkowski i Dąbrowska, 2017). Minimalny zakres badań terenowych i laboratoryjnych ogranicza się do oznaczenia wartości przewodności elektrycznej właściwej, pH, ogólnego węgla organicznego (OWO), Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA).

Ocena zanieczyszczenia wód podziemnych metalami jest jednym z szeroko dyskutowanych tematów (Xu i in., 2006; Badr i in., 2011; Tian i in., 2020), zwłaszcza w przypadku składowisk odpadów w krajach rozwijających się. Dodatkowo, w wielu badaniach (np. Buchhamer i in., 2012) oceniano negatywny wpływ zanieczyszczenia metalami na zdrowie z uwagi na pojawiające się problemy neurologiczne, choroby nerek oraz zwiększone ryzyko zachorowania na nowotwory (Obinaju, 2009; Agusa i in., 2014).

W przypadku składowisk komunalnych oprócz rekomendowanego zakresu parametrów należy zwrócić uwagę na monitoring głównych jonów w wodach podziemnych (Shen i in., 2018; Knopek i Dąbrowska, 2021). Przykładowo, zawartość chlorków w wodach podziemnych nieprzekraczająca 250 mg/l nie jest uważana za zanieczyszczenie, ale wody gruntowe i gleba mogą zawierać podwyższone stężenia chlorków i siarczanów w wyniku migracji zanieczyszczeń z odcieków składowiskowych (Venkateswara i in., 2003). W takim przypadku stężenia chlorków mogą sięgać nawet 2000 mg/l a siarczanów do 190 mg/l (Dąbrowska i Witkowski, 2022).

Istnieje szereg metod, które można wykorzystać do oceny ryzyka zanieczyszczenia wód podziemnych, takich jak metody szacowania, metody parametryczne, metody rankingowe, modelowanie hydrogeochemiczne i sztuczne sieci neuronowe (Goldscheider, 2003; Kabbour i in., 2006; Oke i in., 2016; Hermanowski i Ignaszak, 2017). W przypadku obszarów, na których prowadzony jest stały monitoring zmian parametrów fizykochemicznych wód podziemnych, metody sztucznej inteligencji mogą być wykorzystane do oceny jakości i analizy ryzyka dla wód wraz z prognozą zmian (Nourani i in., 2011, 2013). Jednak na obszarach, w których monitoring prowadzony jest zgodnie z wymogami prawnymi lub przy rozszerzonym zakresie obserwowanych parametrów, można zastosować metody wskaźnikowe. Opracowano szereg wskaźników, które mogą być pomocne w ocenie jakości wód podziemnych w sąsiedztwie źródeł zanieczyszczeń (Mohan i in., 1996; Backman i in., 1998; Talalaj, 2014).

Metodą wspomagającą ocenę zagrożenia wód podziemnych jest prowadzenie badań lizymetrycznych. Badania te znane są przede wszystkim z wykorzystania ich w rolnictwie i agronomii, np. nawadnianie zbóż (Schuch i Burger, 1997; Pardosii, 2014; Treder i in., 2017) czy badanie wpływu dodatku kompostu na wypłukiwanie składników mineralnych z gruntów ornych (Plosek i in., 2017) oraz w hydrologii i hydrogeologii (Staško i Chodacki, 2014; Żurek i Mościcki, 2017). Badania lizymetryczne sprawdzają się jednak również w symulacji warunków panujących na składowiskach (Matsufuji i in., 2007; Aziz i in., 2010; Qiang i in., 2015). Należy zwrócić uwagę na fakt, że eksperyment lizymetryczny pozwala na określenie wielkości ładunków zanieczyszczeń oraz dynamiki ich wymywania (Sołtysiak, 2007; Ahsan i in., 2014; Sarto i in., 2016).

Wykorzystanie metod modelowania przepływu wód podziemnych i transportu zanieczyszczeń jest również doskonałym sposobem oceny warunków rozprzestrzeniania się chmury zanieczyszczeń (Boztosun i Charafi, 2002; Boztosun i in., 2002; Li i in., 2003; Herrera i in., 2009; Alhuri i in., 2011). Chociaż fizyczne techniki numeryczne są szeroko stosowane do

czasowego i/lub przestrzennego modelowania systemów hydro środowiskowych, niektóre rzeczywiste warunki, takie jak anizotropia i heterogeniczność, mogą mieć znaczący wpływ na wynik działania modelu (Alhuri i in., 2011; Swathi i Eldho, 2013; Taormina i Chau, 2014). Rozwiązaniem tego problemu mogą być metody oparte na danych lub modelowanie metodą czarnej skrzynki, gdy nie ma wystarczającego zestawu danych terenowych, a dokładność wyjściowa jest preferowana w stosunku do fizycznej percepcji zjawiska. Ilość danych, która jest wprowadzana do modelu i ich niejednorodność powoduje, że modele wykorzystujące np. sztuczne sieci neuronowe czy adaptacyjny system wnioskowania neuronowo-rozmytego, są szeroko stosowane przez hydrogeologów (Mohamed i Hawas, 2004; Singh i in., 2004; Nourani i in., 2008, Foddis i in., 2013, Foddis i in., 2015; Nourani in., 2015).

Jak już wspomniano cykl problemowy, tworzący niniejszą rozprawę habilitacyjną, stanowi zestaw pięciu artykułów dotyczących wykorzystania różnych metod badawczych do oceny zagrożenia wód podziemnych. Na potrzeby przygotowania niniejszych artykułów dokonano przeglądu aktualnych eksperymentów lizymetrycznych, zaprojektowano dwa stanowiska badawcze wraz z przeprowadzeniem eksperymentu, wykonano badania fizykochemiczne, mikrobiologiczne i biochemiczne odcieków oraz przeanalizowano statystycznie ich wyniki. Opracowano również model dotyczący badania wartości przewodności elektrolitycznej właściwej w lizymetrze w oparciu o metody sztucznej inteligencji – uczenie transferowe. Dodatkowo wybrano najbardziej efektywne wskaźniki do oceny ryzyka dla wód podziemnych w rejonie składowisk oraz scharakteryzowano to ryzyko na wybranym obszarze badań. Wyniki wszystkich prowadzonych badań dotyczą wód podziemnych w rejonie składowisk odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach.

Niniejszy wstęp stanowi wprowadzenie do publikacji wchodzących w skład rozprawy. We wstępie omówiono ogólne założenia teoretyczne opublikowanych prac. W dalszej części zaprezentowano najważniejsze wyniki badań.

II METODY BADAŃ

Ze względu na fakt, że prace wskazane jako osiągnięcie naukowe bazowały na różnych metodach badawczych, zostały one scharakteryzowane przy omówieniu każdej z prac oddzielnie. Ogólnie bazowano na następujących metodach:

- eksperyment lizymetryczny w zakresie badań fizykochemicznych odcieków, badań

mikrobiologicznych i biochemicznych oraz statystycznych na dwóch różnych typach odpadów komunalnych

- kwerenda dotycząca prowadzonych na świecie badań lizymetrycznych na odpadach komunalnych;

- metody sztucznej inteligencji w prognozowaniu zmian przewodności elektrycznej właściwej odcieków

- wykorzystanie wyników badań monitoringowych jakości wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów komunalnych w Tychach do obliczenia wskaźników wykorzystanych do oceny ryzyka dla wód i zdrowia ludzkiego w tym rejonie

III WYNIKI BADAŃ

III.1 Pierwszy interdyscyplinarny eksperyment lizymetryczny

[ON1] **Dąbrowska, D**, Soltysiak, M., Biniecka, P., Michalska, J., Wasilkowski, D., Nowak, A., Nourani V., 2019. Application of hydrogeological and biological research for the lysimeter experiment performance under simulated municipal landfill condition. *Journal of material cycles and waste management* 21 (6), pp.1477-1487

Eksperyment lizymetryczny pozwala na określenie wielkości ładunków zanieczyszczeń oraz dynamiki ich wymywania (Qiang i in., 2015). Oprócz badań fizykochemicznych można prowadzić w eksperymentach oznaczenia mikroorganizmów. Patogeny i potencjalne patogeny, które mogą stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia i samopoczucia ludzi – są często obecne w odciekach (Kajiwara i in., 2014; Grzyb i in., 2015; Kumar i in., 2016). Dlatego określenie liczby odpowiednich organizmów wskaźnikowych jest niezbędne do oceny wpływu składowisk na otaczające środowisko i wody. Uważa się, że potencjalną obecność patogenów w odciekach przedostających się do środowiska można wywnioskować poprzez monitorowanie bakterii grupy coli, enterokoków, *P. aeruginosa* i *C. perfringens*. Ponadto oznaczenie *E. coli* należące do grupy coli jest zalecane jako wskaźnik stopnia niedawnego zanieczyszczenia fekaliami (Yanez i in., 2006).

Mikroorganizmy są kluczowymi wskaźnikami jakości środowiska ze względu na ich rolę w cyklach biochemicznych i rozkładzie materii organicznej. Aktywność biochemiczna mikroorganizmów jest czułym narzędziem oceny stanu ekologicznego środowiska, ponieważ szybko reagują one na niekorzystne zmiany (Dumontet i in., 2017).

Celem artykułu jest przedstawienie wyników sześciomiesięcznej fazy pilotażowej badań lizymetrycznych przeprowadzonych na próbcie odpadów komunalnych. Badania obejmowały analizę bilansu odcieków, określenie składu chemicznego odcieków oraz analizę mikrobiologiczną. Do oceny występowania istotnych różnic w składzie chemicznym i jakości odcieków zastosowano analizę głównych składowych (PCA). Nowością w badaniach lizymetrycznych było profilowanie poziomu populacji fizjologicznej (CLPP) w odcieku. CLPP przeprowadzono w różnych okresach sezonowych, stosując system BIOLOG® i EcoPlates™ do monitorowania aktywności metabolicznej i różnorodności funkcjonalnej populacji drobnoustrojów w wyciekających odciekach. W tym eksperymencie użyto odpadów zmieszanych o kodzie 20 03 01, zawierających dużą ilość popiołu. Badania prowadzono na zaprojektowanym przez siebie i dr inż. Marka Sołtysiaka stanowisku lizymetrycznym.

Eksperyment lizymetryczny (Rys.1) prowadzono od listopada 2016 r. do maja 2017 r. W trakcie eksperymentu lizymetr zasilano wodą destylowaną o objętości równej średniej miesięcznej sumy opadów obliczonej na podstawie pomiarów wielkości opadów dla składowiska odpadów komunalnych w Tychach-Urbanowicach w latach 2004-2009 (Januszek, 2011).

W każdym miesiącu trwania doświadczenia mierzono całkowitą objętość otrzymanych odcieków oraz wyznaczano wartości przewodnictwa elektrolitycznego właściwego, temperatury, pH i Eh. Ponadto charakterystyczne wskaźniki zanieczyszczenia wód podziemnych w rejonie składowisk odpadów komunalnych (Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Ni, Cu, Sr, S, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃, NO₂, NH₄, PO₄, N Kjeldahl, ogólny węgiel organiczny) były monitorowane co miesiąc, zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów.

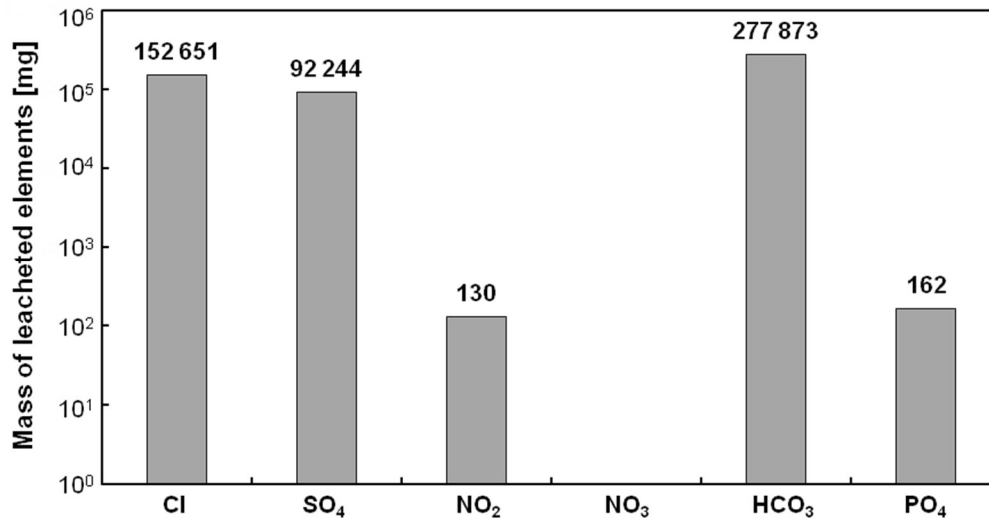


Rys.1. Stanowisko badawcze (fot. własna)

W styczniu, kwietniu i maju 2017 r. pobrane próbki odcieków poddano analizie mikrobiologicznej, która obejmowała oznaczenie liczby bakterii ogółem, *E. coli* i bakterii z grupy *coli*, enterokoków, *P. aeruginosa* i *C. perfringens*. Liczbę bakterii heterotroficznych nadających się do hodowli ogółem (mezofilnych i psychrofilnych) oceniano na podstawie seryjnych 10-krotnych rozcieńczeń próbek odcieków (PN-EN ISO 6222, 2004). Z kolei liczbę bakterii z grupy *coli* określono metodą fermentacji na pożywce Eijkman Lactose Medium (PN-C-04615-07,1977). Szybkość wykorzystania źródła węgla, jako wskaźnika aktywnych mikroorganizmów, oceniano na podstawie redukcji barwnika redoks fioletu tetrazoliowego do purpurowego formazanu i rozwoju barwy (Stefanowicz, 2006). Dlatego EcoPlatesTM zawierało 31 różnych źródeł węgla (trzy powtórzenia), które zasilono 120 μ l stukrotnie rozcieńzonego odcieku z 0,9% NaCl. Następnie płytki inkubowano w 22°C przez 92 h, a rozwój barwy śledzono odczytując spektrofotometrycznie absorbcję za pomocą czytnika MicroStationTM (Frąc i in., 2012).

Zawartość większości poszczególnych składników w odciekach uległa zmniejszeniu, co wskazuje na ich stopniowe wymywanie. Podczas doświadczenia największy spadek zawartości wystąpił w przypadku siarczanów. Najwyższe stężenia Mg, NH₄, K, Na, SO₄ i Cl stwierdzono w

odciekach z lutego. Zbadano również łączne masy wymytych zanieczyszczeń w trakcie trwania całego eksperymentu. Wartości dla głównych składników przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Całkowite ładunki zanieczyszczeń wymytych z odcieków

Analizy mikrobiologiczne wykazały, że liczebność bakterii heterotroficznych w próbkach odcieków pobranych w kolejnych miesiącach była istotnie zróżnicowana. Całkowita liczba bakterii psychrofilnych w odcieku utrzymywała się na stałym poziomie w trakcie trwania eksperymentu, co może świadczyć o tym, że odcieki dostarczały tym bakteriom łatwo przyswajalnej materii organicznej (Szyk, 2003).

Co zaskakujące, wykazano, że aktywność mikroorganizmów i wartości wskaźników różnorodności były wyższe zimą niż wiosną. Można to wytłumaczyć jakością podłoża i dostępnością składników odżywczych w odpadach w okresie zimowym i wiosennym, które są głównymi czynnikami kontrolującymi procesy rozkładu mikrobiologicznego. Początkowo odpady były potencjalnie bogate w materię organiczną i mogły być źródłem składników odżywczych dla mikroorganizmów. Jednak źródła węgla i składniki odżywcze mogą z czasem ulec wyczerpaniu, co może prowadzić do zmniejszenia różnorodności funkcjonalnej drobnoustrojów. Na wyczerpanie składników odżywczych w lizymetrze może wskazywać również spadek wartości wskaźnika zużycia fosforu w czasie trwania doświadczenia w wyniku obniżenia stężenia ortofosforanów.

III.2 Eksperymenty lizymetryczne na świecie

[ON2] Dąbrowska, D, Rykała, W. 2021. A Review of Lysimeter Experiments Carried Out on Municipal Landfill Waste. *Toxics* 9 (2).

Pierwszy poważniejszy przegląd literatury dotyczącej eksperymentów lizymetrycznych na odpadach komunalnych miał miejsce w trakcie przeprowadzania pierwszego eksperymentu, czego efektem był artykuł przygotowywany na potrzeby konferencji SGEM (Survey, Geology, Ecology and Management) w 2018 roku (Dąbrowska i in., 2018a). Wykonanie pierwszego eksperymentu lizymetrycznego na odpadach komunalnych rozwinęło chęć sprawdzenia innych rozwiązań dla badań lizymetrycznych przeprowadzanych na świecie. W wyniku tego przeprowadzono dodatkową, rozszerzoną kwerendę dostępnych artykułów poświęconych temu zagadnieniu.

W tradycyjnym znaczeniu lizymetr jest urządzeniem wypełnionym glebą, służącym do pomiaru wartości infiltracji i ewapotranspiracji w naturalnym cyklu hydrologicznym (Sołtysiak i Rakoczy, 2019). Najczęściej lizymetr jest kolumną z materiałów odpornych na wilgoć o średnicy w zakresie 0,5–2,0 m i długości w zakresie 1–3 m, choć może mieć inną konstrukcję (Cepuder i Supersberg, 1991). Istnieją trzy rodzaje lizymetrów: lizymetry klasyczne, lizymetry wagowe i lizymetry napięciowe. Konstrukcja drugiego typu jest zwykle podobna do klasycznego lizymetru, ale jest rozbudowana o urządzenia ważące do dokładniejszych badań parowania w okresach suchych (Martins i in., 2017). Istnieją również dwa rodzaje lizymetrów specjalnych – lizymetr stokowy (Rey i in., 2014). i lizymetr dla wód podziemnych (Schwaerzel i Bohl, 2003).

Badania lizymetryczne są częścią dynamicznych testów wymywania, w których płyn (najczęściej woda) jest dodawany jako medium ługujące w określonym czasie i w określonej objętości. Biorąc pod uwagę, że badań lizymetrycznych nie wykonuje się typowo na małych próbkach gleb, a czas ich trwania znacznie przekracza czas tradycyjnych testów dynamicznego wymywania, nie są one dominującym rodzajem badań. Warto jednak podkreślić, że badania lizymetryczne mogą być wykorzystywane w różnych dziedzinach nauki, np. hydrogeologii, agronomii, agrotechnice, ekologii, ochronie środowiska, geochemii, gospodarce odpadami (Sołtysiak i Rakoczy, 2019).

Możliwość wykorzystania lizymetru w badaniach z pogranicza hydrogeologii i gospodarki odpadami nie była mi obca, bo w 2017 brałam udział w przygotowaniu własnego stanowiska eksperymentalnego, ale zdobycie nowej wiedzy spowodowało wykonanie nowego

stanowiska badawczego, które zostało opisane w ON3-4.

Dane z dostępnej literatury wskazywały na różne cele, czas trwania i konstrukcję lizymetru. Jednym z zastosowań badań lizymetrycznych była ocena składu odcieków. Wyniki jednego z pierwszych eksperymentów z lizymetrem zostały przedstawione w pracy Pohlanda (1975) (Caribe i in., 2020). W pracy oceniono zmiany składu chemicznego odcieku. Eksperyment trwał 699 dni. Odpady o gęstości 319 kg/m^3 umieszczano w otwartych i szczelnych celach, w których również obserwowano zawilgocenie odpadów (Pohland, 1975). Bardzo podobne badania przeprowadzili Kemper i Smith (1981) oraz Reinhart (1995). Nowszym przykładem testów lizymetrycznych jest eksperyment na wysypisku śmieci w Bangladeszu. Zaprojektowano trzy lizymetry o średnicy zewnętrznej 1,98 m i średnicy wewnętrznej 1,48 m, wysokości 3,35 m oraz zbiornik na odcieki (3,68 m 1,56 m 1,64 m) zawierający cztery oddzielne rury do odprowadzania odcieków do zbiorników do czasowego gromadzenia i składowania. Lizymetry zostały zbudowane z muru o grubości 250 mm posadowionego na żelbetowej macie fundamentowej na głębokości 760 mm. Na dno każdego lizymetru ułożono warstwę betonu o grubości 125 mm, a następnie lizymetry wypełniono odłamkami kamiennymi (średnica 5–20 mm) i gruboziarnistym piaskiem (średnica 0,05–0,4 mm) do wysokości 15 cm każdy w celu zapewnienia jednorodności. W pierwszym lizymetrze symulowano warunki tlenowe i otwarte wysypisko, podczas gdy w drugim lizymetrze panowały sanitarne warunki beztlenowe. Trzeci lizymetr był analogiczny do drugiego, z tą różnicą, że użyto naturalnej wierzchniej warstwy gleby o grubości 900 mm zamiast 300 mm konwencjonalnej ubitej gliny i wierzchniej warstwy gleby o grubości 600 mm (Ahsan i in., 2014).

Innym celem prowadzenia badań lizymetrycznych może być symulacja warunków panujących na składowisku przy jednoczesnej prognozie wytwarzania gazu składowiskowego. Takie badania zostały przeprowadzone w Indiach (Swati i Joseph, 2018). Zaprojektowano tam cztery różne lizymetry: jeden został wypełniony świeżymi stałymi odpadami komunalnymi w celu symulacji młodego kontrolowanego wysypiska bez recykulacji odcieków; drugi wypełniono świeżymi odpadami komunalnymi, symulując młode wysypisko, bioreaktor z recykulacją odcieków; trzeci został wypełniony wydobytymi stałymi odpadami komunalnymi w celu symulacji starego kontrolowanego składowiska odpadów bez recykulacji odcieków; a czwarty wypełniono wydobytymi odpadami komunalnymi w celu symulacji starego bioreaktora wysypiskowego z recykulacją odcieków.

Jednym z głównych problemów w produkcji biogazu jest powstawanie odcieków na

składowiskach, co może wynikać z małej przepuszczalności, dużej wilgotności lub dużej wysokości składowiska. Ponadto wysoki poziom odcieków może powodować niestabilność składowiska, np. uszkodzenie zboczy. Biogaz zbierany jest na składowisku przez system zrzutowy w kierunku górnym, podczas gdy odciek spływa grawitacyjnie w dół do systemu zrzutowego. Eksperyment przeprowadzony w Chinach (Xu i in., 2019) zbadał działanie symulowanych składników odpadów przy różnych akumulacjach biogazu. W eksperymencie tym charakterystyka produkcji biogazu zmieniała się w trakcie eksperymentu w zależności od stężenia odpadów i sposobu pozyskiwania biogazu. Zarówno lizyometr zbierający biogaz tylko z górnego otworu, jak i lizyometr zbierający biogaz zarówno z dolnego, jak i górnego otworu wykazywały podobny wzorec produkcji metanu przed zagęszczeniem.

Ostatnim celem prowadzenia badań lizymetrycznych, który został opisany w artykule była ocena ryzyka wód podziemnych wraz z określeniem wielkości migracji zanieczyszczeń. Jednym z przykładów takich badań był eksperyment przeprowadzony we Włoszech (Guidi-Nissimi i in., 2021), w którym przyjęto podejście fitotechnologiczne poprzez wykorzystanie żywych roślin do oczyszczania odcieków ze składowisk. W badaniu zbadano zdolność topoli i wierzby do usuwania określonych zanieczyszczeń z różnych ilości odcieków. W rejonie składowiska ustawiono 26 lizymetrów. Lizymetry składały się z polietylenowego pudełka o pojemności 1 m³ ustawionego na drewnianej ławce o wysokości 0,3 m. W eksperymencie zbadano zawartość PEW, pH, BZT₅, ChZT, chlorków, siarczanów, fluorków i fosforu.

Prezentowany artykuł stanowi najnowsze podsumowanie badań lizymetrycznych na odpadach komunalnych prowadzonych na świecie. Jednocześnie stanowił on inspirację do przeprowadzonego drugiego eksperymentu na odpadach w Tychach i pomysłu na projekt. W efekcie zrealizowano grant NCN, Miniatura 2 pt. Interdyscyplinarny eksperyment lizymetryczny na odpadach komunalnych o zróżnicowanym dostępie do tlenu. Drugi eksperyment lizymetryczny został wykonany w ramach ww. projektu.

III.3 Nowy eksperyment lizymetryczny

[ON3] **Dąbrowska, D.**, Nowak, A, Sołtysiak, M, Biniecka, P, Nourani, V, Wasilkowski, D. 2022. In situ lysimeter experiment of leaching pollutants from municipal waste with physicochemical status and microbiome condition. *Journal of Hydrology* 613 (3).

Odpady i odcieki mogą się różnić w zależności od pory roku, miejsca pochodzenia odpadów, zamożności i mentalności ekologicznej lokalnych mieszkańców (Aljaradin i Persson, 2016). Normy europejskie i światowe nakładają obowiązek prowadzenia badań wymywania zanieczyszczeń z odpadów, dotyczy to jednak badań statycznych (Kosson i in., 2002; Menghini i in., 2005; Hassett, 2005). Ostatnie badania wskazują, że stosowanie ogólnie przyjętych wytycznych do badań wymywania nie pozwala na właściwą ocenę rzeczywistego zagrożenia środowiska glebowo-wodnego ze względu na niedoszacowanie wyników badań (Izquierdo i Querol 2012; Tiwari i in., 2015).

Jedną z metod oceny potencjalnego wpływu odcieków na ekosystemy glebowe jest analiza zmian różnorodności strukturalnej i funkcjonalnej zarówno gleby, jak i mikrobiomu odcieków. Ze względu na swój istotny udział w cyklach biochemicznych i rozkładzie materii organicznej mikroorganizmy obecne w odciekach z odpadów komunalnych są kluczowymi wskaźnikami jakości środowiska (Fraczek i in., 2014). Oprócz określenia struktury populacji drobnoustrojów w danym ekosystemie, równie ważna jest ocena ich zróżnicowania metabolicznego i jego zmian w czasie. Warto zauważyć, że mikroorganizmy odgrywają kluczową rolę w biogeochemicznym obiegu składników odżywczych ze względu na ich wszechstronny metabolizm i zdolność do biotransformacji niektórych związków, zarówno prostych, jak i strukturalnie złożonych. Dlatego monitorowanie zarówno aktywności, jak i ogólnego stanu badanego mikrobiomu jest kluczowe w ocenie ewentualnych zagrożeń, jakie mogą stwarzać odcieki ze składowiska. Jedną z często stosowanych metod szybkiej oceny tych parametrów jest metoda BIOLOG (BIOLOG Inc., Hayward, USA), której zastosowanie w badaniach środowiskowych jest dobrze udokumentowane w literaturze (Michalska i in., 2020 ; Zhen i in., 2020).

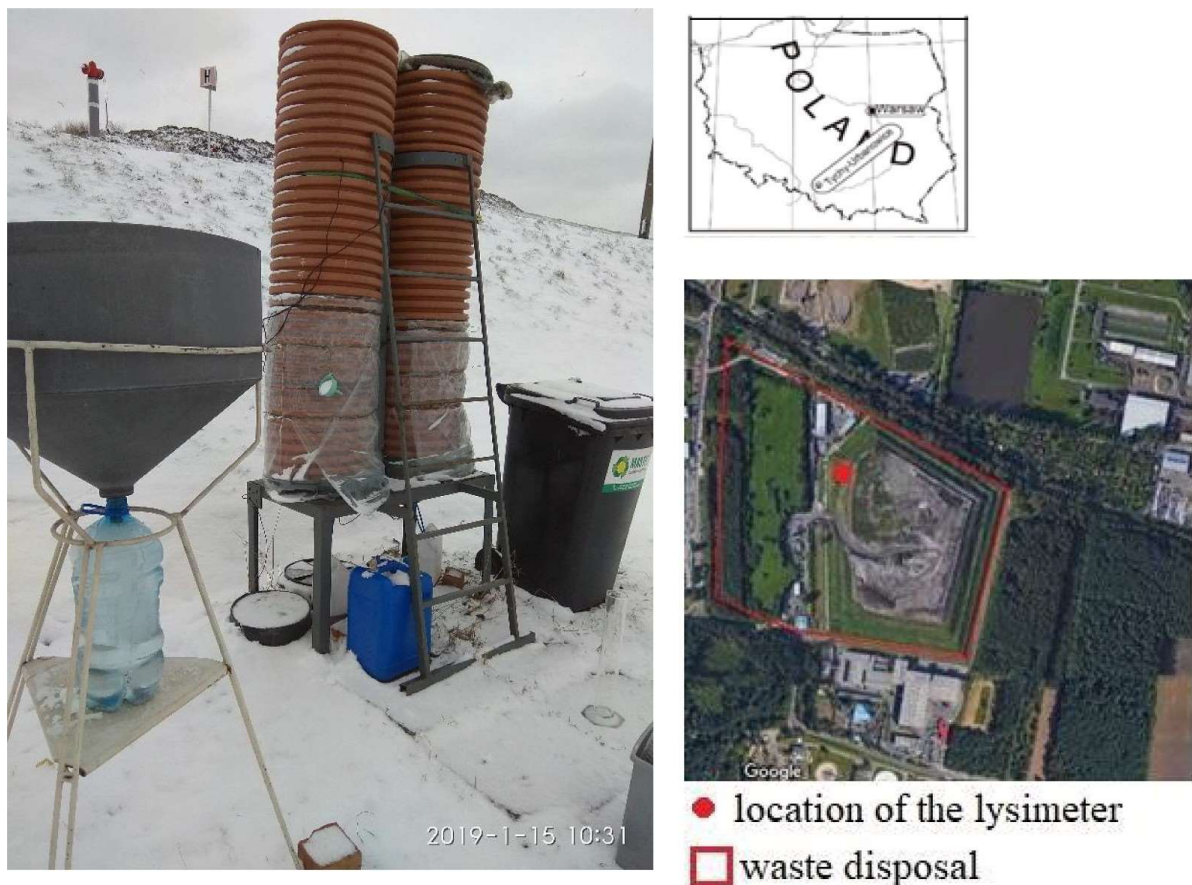
Celem pracy jest zbadanie tempa wymywania zanieczyszczeń z odpadów komunalnych w interdyscyplinarnym eksperymencie lizymetrycznym. W eksperymencie wykorzystano jeden lizymetr (Rys. 3). Został wypełniony odpadami komunalnymi o Europejskim Kodzie Odpadów 19 05 99. Ten rodzaj odpadów przechodzi przez proces unieszkodliwiania D5, czyli unieszkodliwianie na kwaterach poprzez składowanie. Eksperyment został przeprowadzony na tym samym stanowisku badawczym co poprzednio, jednak został on zmodyfikowany o sposób zasilania i zabezpieczenia. Nowością w tych badaniach jest wykonywanie nie tylko pomiarów składu chemicznego wód odciekowych, ale również opadów atmosferycznych. Eksperyment działał przez około 400 dni od końca listopada 2018 r. do końca grudnia 2019 r.

Badania składu chemicznego były prowadzone w zakresie: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Mn^{6+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Sr^{2+} , As^{3+} , Sb^{3+} , B, Zn^{2+} , F⁻, Cd^{2+} , Cl⁻, SO_4^{4-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_3^- , N Kjeldahla, ogólny węgiel organiczny, SiO_2 , zasadowość oraz parametry mierzone w terenie: przewodność, pH, Eh,

temperatura. W zakresie badań mikrobiologicznych wykonano oznaczenie ogólnej liczby mikroorganizmów mezofilnych i psychrofilnych, ogólnej liczby bakterii *Escherichia coli* i bakterii z grupy coli, enterokoków, *Pseudomonas aeruginosa* i *Clostridium perfringens*. Aby określić sezonowe zmiany metaboliczne mikroorganizmów w odciekach ze składowisk odpadów, wykorzystano system Biolog® EcoPlates™ z 31-oma różnymi źródłami węgla. Specyficzne tempo wzrostu aktywności drobnoustrojów zostało dopasowane do nieliniowego modelu opisanego przez Verhulsta (Michalska i in., 2019).

W odciekach zaobserwowano wysokie stężenia wodorowęglanów, chlorków i siarczanów. Dominującymi kationami są Ca, Mg, Na i K. Największą wymywalność tych jonów można zaobserwować w stosunku do siarczanów i chlorków. Zawartość siarczanów w analizowanym okresie badawczym zmniejszyła się 21-krotnie, a chlorków – 4-krotnie. Zaobserwowano około dwukrotny spadek zawartości w stosunku do zmian stężeń sodu i potasu.

Próbki opadów pobrane w Tychach charakteryzowały się różnym składem chemicznym. Przewodność elektryczna próbek opadów wahała się w przedziale 15–163 $\mu\text{S}/\text{cm}$. pH wahało się od 6,04 do 7,59. Analiza danych nie wykazuje istotnych różnic w obrębie głównych jonów w zależności od pory roku. Zmienność przewodnictwa jest raczej związana z intensywnością opadów. Najniższą przewodność stwierdzono w maju, po kilkudniowych opadach deszczu. Najwyższa mineralizacja opadów występuje w ich początkowej fazie, następnie po wypłukaniu zanieczyszczeń z atmosfery mineralizacja opadów maleje. W składzie chemicznym opadów dominowały wodorowęglany, których stężenia mieściły się w zakresie 4,88–40,00 mg/l oraz siarczany w zakresie 2,22–12,54 mg/l.



Rys. 3. Stanowisko badawcze wraz z lokalizacją (rysunek zamieszczony w ON3)

Przeprowadzone analizy mikrobiologiczne wykazały, że liczebność bakterii heterotroficznych w odciekach istotnie się różniła w próbkach pobranych w kolejnych sezonach. Od wiosny do jesieni liczba bakterii mezofilnych utrzymywała się na tym samym poziomie (107 CFU cm^{-3}) i była wyższa niż zimą (105 CFU cm^{-3}). Podobne zależności odnotowano dla mikroorganizmów psychrofilnych wyizolowanych z odcieków. Zarówno *E. coli*, jak i bakterie z grupy coli były obecne w badanych próbkach odcieku przez cały czas trwania eksperymentu. W sezonach wiosenno-jesiennych ich liczba utrzymywała się na tym samym poziomie i była wyższa w porównaniu z zimą o ok. odpowiednio 38% dla *E. coli* i 37% dla bakterii z grupy coli. *Enterococcus sp.* i *C. perfringens* były obecne w próbkach przez cały rok, z najmniejszą liczbą w zimie. Z kolei *P. aeruginosa* występowała okresowo w odciekach latem i jesienią.

Parametry kinetyczne utleniania podłoża wykazały, że mikrobiom był najbardziej aktywny wiosną i jesienią, natomiast jego aktywność spadała latem i zimą. Wykazano, że wyższe temperatury latem i najniższe zimą zmniejszają zdolność mikrobiomu do utleniania polimerów i amin odpowiednio o 80 i 86% w porównaniu z wiosną i jesienią. Jednocześnie największą zdolność do utleniania węglowodanów (44,19%) zaobserwowano latem, a aminokwasów (35,72%) i surfaktantów (27,19%)

zimą. Ponadto wiosną i jesienią odnotowano wzrost intensywności zużycia kwasów karboksylowych. Zaobserwowano również, że mikroorganizmy raczej nie były w stanie wykorzystać kwasów fenolowych jako źródła węgla. Analiza możliwości wykorzystania źródeł azotu i fosforu wykazała sezonowe różnice w wykorzystaniu substratów zawierających te pierwiastki biogenne. Zaobserwowano, że związki zawierające azot były najintensywniej zużywane zimą (50,95 %), a najmniej wiosną (32,31 %), natomiast związki fosforu najintensywniej utleniały się latem (12,23 %), a najmniej zimą (1,22 %).

Na podstawie wyników przeprowadzonego eksperymentu lizymetrycznego wpływ odcieków na jakość wód można stwierdzić w kilku aspektach, takich jak zagrożenia chemiczne, mikrobiologiczne i biochemiczne. Badanie to wykazało, że dla danego obszaru badań eksperyment lizymetryczny pozwala na odzwierciedlenie warunków składowiska. Wartość przewodności elektrycznej (dochodząca do 30 mS/cm) jest porównywalna z wartościami uzyskanymi w pomiarach odcieków ze składowisk. Niemożliwe jest jednak uzyskanie tego samego rodzaju odpadów, co na zamkniętym starym składowisku. Przeprowadzone badania lizymetryczne wykazały, że wartości większości parametrów fizykochemicznych zmniejszają się wraz z kolejnym miesiącem badań. Sugeruje to szybkie wymywanie zanieczyszczeń z odpadów. W pracy zidentyfikowano korzyści (ocena oddziaływania odcieków na środowisko z uwzględnieniem kinetyki procesów fizykochemicznych zachodzących w cząstkach stałych składowiska, wykonanie analizy bilansu wodnego) i wady (koszt, czas trwania, możliwe błędy pomiarowe wynikające od silnego nasłonecznienia na lizymetrze, skala eksperymentu) eksperymentu lizymetrycznego na odpadach komunalnych. Istotną zaletą interdyscyplinarnego eksperymentu lizymetrycznego jest badanie wpływu czynników atmosferycznych i dostępu tlenu na skład chemiczny i bakteriologiczny oraz określanie sezonowych przemian metabolicznych mikroorganizmów odcieków składowiskowych. Wyniki uzyskiwane z badań lizymetrycznych mogą pełnić pomocną rolę przy budowie składowisk odpadów, gdyż na ich podstawie można wskazać najlepsze metody izolacji odpadów, a tym samym ograniczyć migrację zanieczyszczeń, w tym także aktywność mikroorganizmów.

III.4 Wykorzystanie sztucznej inteligencji w modelowaniu parametrów fizykochemicznych odcieków

[ON4] Baghanam, A, Vakili, A, Nourani, V, **Dąbrowska, D**, Sołtysiak, M. 2022. AI-based ensemble modeling of landfill leakage employing a lysimeter, climatic data and transfer learning. *Journal of Hydrology* 612 (3).

Badania lizymetryczne mogą być również uzupełnione o stały monitoring wybranych parametrów fizykochemicznych poprzez wyposażenie lizymetrów w czujniki. Jakość i ilość odcieków jest związana z kilkoma czynnikami, takimi jak ilość odpadów, początkowa zawartość wilgoci w odpadach, wiek i rodzaj składowiska oraz warunki klimatyczne (Zhang i in., 2013). Na obecność jonów wskazuje wartość przewodności elektrycznej właściwej (PEW). Im wyższa zawartość rozpuszczonych składników w odcieku, tym wyższa wartość PEW. W związku z tym PEW można wykorzystać jako wskaźnik zanieczyszczenia w odcieku (de Sousa i in., 2014) i można go zmierzyć za pomocą prostej metody, która wykorzystuje przenośne czujniki na składowisku lub w lizymetrze.

W ciągu ostatnich dziesięcioleci zaproponowano różne podejścia do oceny przewodności odcieków ze składowisk poprzez metody pobierania próbek i eksperymenty laboratoryjne. Chu i in. (1994) badali odcieki z dwóch składowisk w ciągu dziesięciu miesięcy w latach 1990-1991, analizując ich właściwości. Wyniki badań wykazały dodatnią korelację między chemicznym zapotrzebowaniem na tlen (ChZT) a PEW, spowodowaną krótkotrwałym rozcieńczeniem spowodowanym sezonowymi opadami atmosferycznymi. Li i Zeiss (2001) wskazali na znaczenie wilgotności jako jednego z nieodzownych czynników optymalizacji wydajności składowiska, który ma wpływ na tempo biodegradacji odpadów i zmiany PEW odcieków. Abu-Rukah (2001) badał wpływ składowiska odpadów El-Akader, znajdującego się w północnej Jordanii, na przyległy obszar, eksperymentując z właściwościami fizykochemicznymi próbek wód gruntowych. Guerin i in. (2004) podkreślili nadrzędną rolę zawartości wilgoci w projektowaniu i sterowaniu bioreaktorami. Badania potwierdziły zależność między wilgotnością, temperaturą i przewodnością. Wyniki pokazały, że przy wzroście temperatury o 1°C, przewodność wzrasta o 2%. Jednak wysokie stężenie zawiesiny w odcieku zmniejszało zależność PEW od temperatury. Wyniki pokazały, że metoda zastosowana do pomiaru rezystywności elektrycznej może mieć wpływ na śledzenie zmian zawartości wilgoci w odpadach i ocenę wydajności systemu recykulacji odcieków w

bioreaktorach.

Do modelowania przepływu wód podziemnych i transportu zanieczyszczeń (GFCT) stosuje się kilka metod obliczeniowych, a mianowicie metodę różnic skończonych, metodę objętości skończonych, metodę elementów skończonych i metodę elementów brzegowych, do numerycznego rozwiązania rządzącego fizycznym równaniem różniczkowym cząstkowym (PDE) (Bear i Cheng, 2010). Oprócz modeli eksperymentalnych, modele czarnej skrzynki (Li i Mao, 2011), takie jak metody sztucznej inteligencji (AI), mogą być stosowane w celu rozpoznania zależności statystycznej między różnymi parametrami fizykochemicznymi w odcieku (Abunama i in., 2019), a także ilością generowanych odcieków. Możliwości podejść opartych na danych, takich jak sztuczne sieci neuronowe (ANN), zostały potwierdzone w problemach inżynierii środowiska dotyczących niejasnej fizyki i warunków nieliniowych (Nourani, 2012). Ostatnio, aby rozwiązać wątpliwości dotyczące właściwości i procesów na składowiskach, zastosowano Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Bagheri i in. (2017) wykorzystali ANN i logikę rozmytą do symulacji szybkości migracji odcieku do warstwy wodonośnej. W kilku badaniach oceniono wpływ czynników klimatycznych na powstawanie odcieków; jednak nie przeprowadzono badań, z których można by wyciągnąć wnioski na temat związku między czynnikami klimatycznymi, takimi jak temperatura i opady, a charakterystyką odcieku, taką jak przewodność lub wilgotność, które są oceniane w tym badaniu.

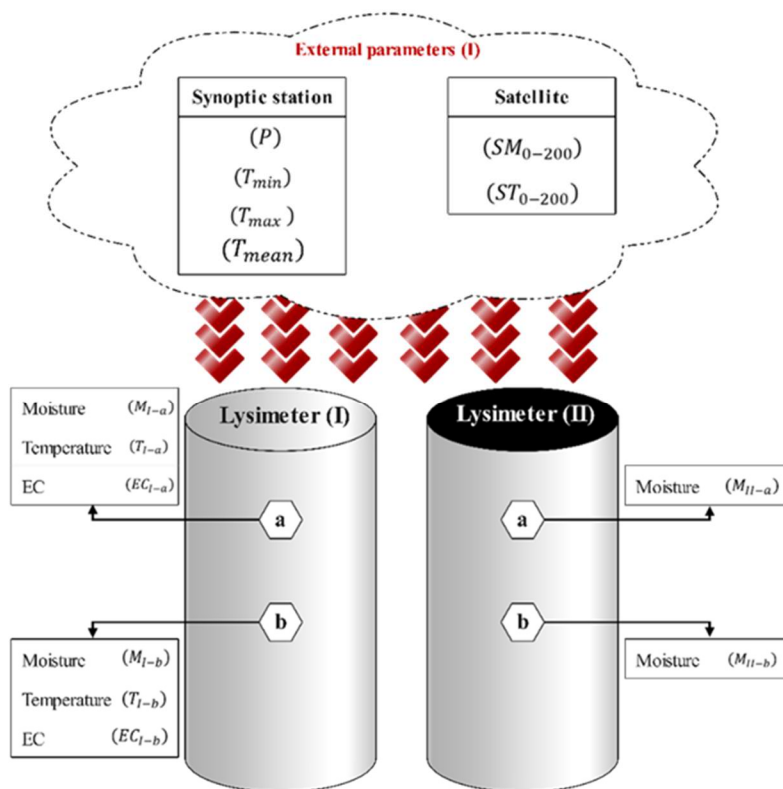
Nowością w badaniach środowiskowych jest połączenie sztucznych emocji i konwencjonalnej ANN i powstanie nowej generacji zwanej EANN (Emotional Artificial Neural Network), w której produkowane są hormony kalibrujące wydajność węzła. W każdym węźle EANN informacje zmieniają się wielokrotnie między jednostkami wejściowymi i wyjściowymi (Nourani, 2017).

Aby scharakteryzować odciek ze składowiska, nieuniknione są pomiary terenowe. Jednak składowiska odpadów mają szczególne warunki konstrukcyjne, takie jak niestabilność zboczy lub brak dostępu do głęboko zakopanych warstw, które zagrażają możliwości wykonania pomiaru. W ten sposób instalacja czujników rejestrujących właściwości fizykochemiczne składowisk odpadów wydaje się procesem czasochłonnym i kosztownym. Dlatego w tym badaniu przeprowadzono **testy lizymetryczne w celu symulacji warunków składowiska**. Ponadto opracowano modele oparte na sztucznej inteligencji, w tym ANN, ANFIS i **Emotional ANN (EANN)**, w celu analizy zależności między zarejestrowanymi zanieczyszczeniami (tj. przewodnością) a parametrami hydro środowiskowymi składowiska, z uwzględnieniem danych meteorologicznych i satelitarnych. Badania były prowadzone podczas

wykonywania drugiego eksperymentu lizymetrycznego w Tychach.

W tym badaniu wykorzystano dane z dwóch lizymetrów. Jeden z lizymetrów funkcjonował ze stałym dostępem do tlenu (lizymetr otwarty), a drugi był izolowany od dostępu do tlenu (lizymetr zamknięty). Lizymetr z dostępem do tlenu został wyposażony w dwa czujniki wilgotności, temperatury i przewodności gleby. Lizymetr zamknięty od powierzchni został wyposażony w dwa czujniki wilgotności gleby. Czujniki zainstalowano w każdym z lizymetrów na głębokościach 0,6 m i 1,2 m. Rejestracja danych z czujników odbywała się co godzinę i była rejestrowana podstawowym rejestratorem Em50.

Schemat danych wejściowych i zainstalowanych czujników został przedstawiony na rysunku 4.

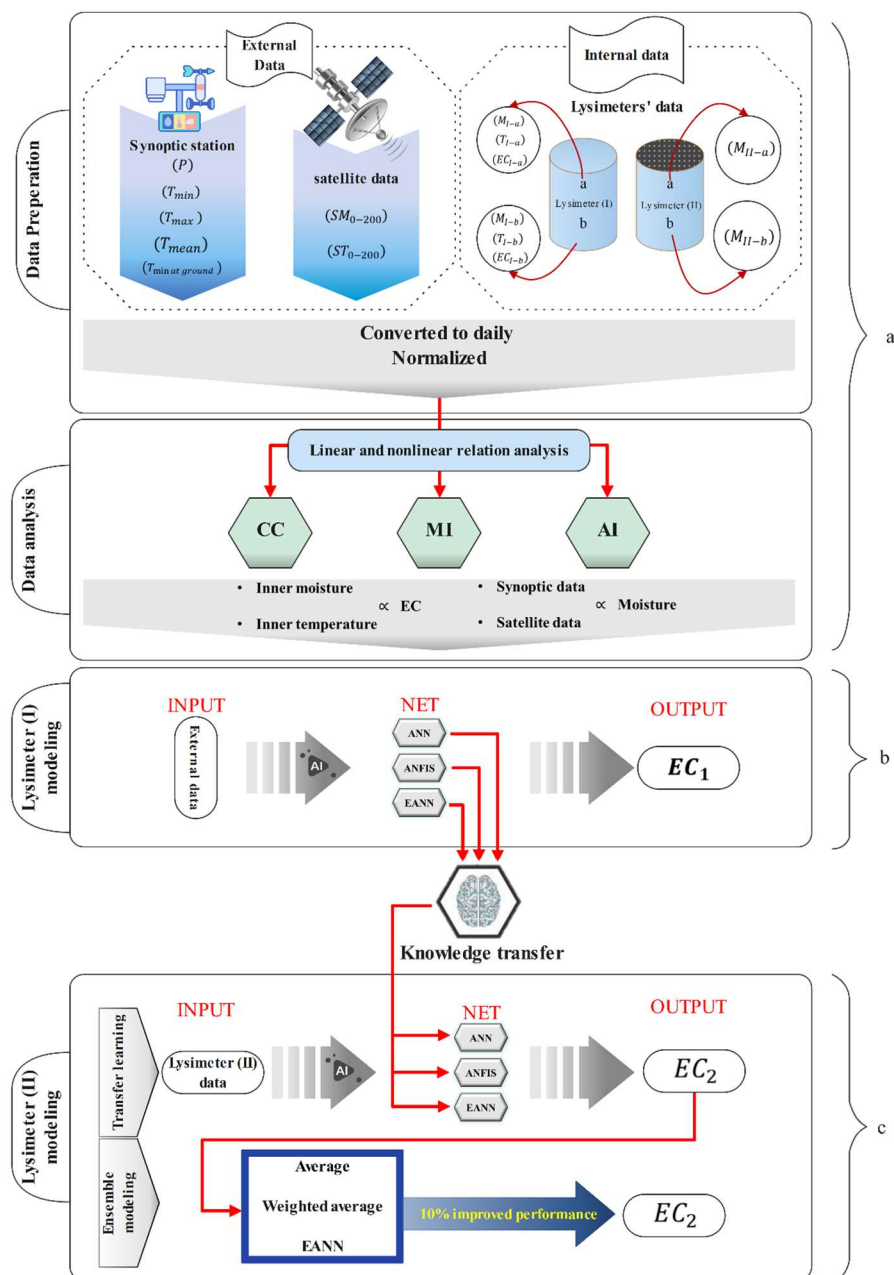


Rys. 4. Schemat danych na stanowisku lizymetrycznym (rysunek zamieszczony w ON4)

Ponieważ warunki funkcjonowania lizymetrów były w tym przypadku identyczne, metodę Transfer Learning (TL) można było zastosować do oszacowania brakującej wartości przewodności dla lizymetru zamkniętego, wykorzystując modele opracowane dla lizymetru otwartego. Z dotychczasowego przeglądu literatury technicznej wynika, że metoda TL była stosowana w różnych dziedzinach nauki (Pan i Yang, 2010; Weiss i in., 2016), ale **nie znalazła**

jak dotąd zastosowania na składowiskach czy lizymetrach.

Schemat postępowania w przygotowaniu badań został przedstawiony na rysunku 5. Ponieważ wilgotność i temperatura wewnątrz składowiska odpadów lub lizymetrów mogą zmieniać parametr przewodności poprzez wpływ na szybkość rozpuszczania się materiałów w odcieku, do analizy zależności wykorzystano współczynnik korelacji (CC), informację wzajemną (MI) oraz analizę wrażliwości opartą na sztucznej inteligencji między tymi zmiennymi. Ponadto zewnętrzne parametry środowiska, takie jak dane meteorologiczne i wilgotność gleby, wykazały istotną korelację z parametrem PEW, ponieważ mogą wpływać na wewnętrzną wilgotność i temperaturę składowiska lub lizymetru.



Rys. 5. Etapy proponowanej metodyki, w tym a) przygotowanie i analiza danych b) modelowanie za pomocą lizymetru (I) c) modelowanie za pomocą lizymetru (II) (rysunek zamieszczony w ON4)

Wyniki analizy danych wykazały, że:

- Wewnętrzny parametr wilgotności jest dominującym czynnikiem w wahaniach PEW
- Dane dostarczane przez satelitę GLDAS są wiarygodne i mogą być wykorzystane w zbiorach danych wejściowych.
- Wilgotność wewnątrz lizymetrów można było przewidzieć na podstawie danych zewnętrznych
- Temperatura zewnętrzna i temperatura gleby wykazały silny związek z temperaturą wewnątrz lizymetrów.

Następnie oszacowano PEW dla pierwszego lizymetru za pomocą danych satelitarnych i synoptycznych. Następnie przeprowadzono symulację brakujących danych o przewodności za pomocą metody TL, wykorzystując wszystkie trzy wyżej wymienione modele AI. Wreszcie model zespołu neuronowego został skonstruowany w oparciu o wyniki trzech oddzielnych modeli (tj. ANN, ANFIS i EANN), które wykazały poprawę wydajności współczynnika determinacji o **prawie 20% w porównaniu z istniejącymi modelami AI** do przewidywania przewodności.

Podsumowując, należy zauważyć, że **EANN może prowadzić do dokładniejszego oszacowania przewodności** i sugeruje się wdrożenie satelitarnych danych dotyczących wilgotności i temperatury gleby ze względu na ich wiarygodność i dostępność dla prawie wszystkich krajów w ostatnich latach, które poprawiają dokładność modelu.

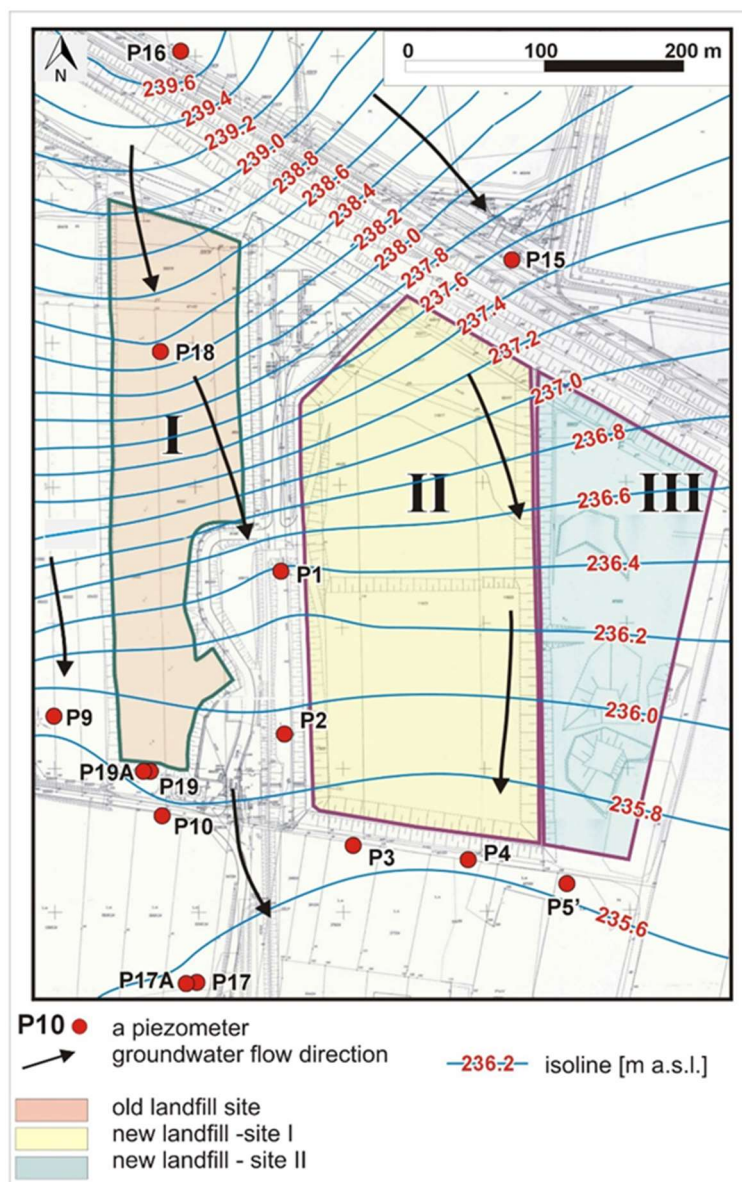
III.5 Najlepsze wskaźniki w ocenie ryzyka dla zdrowia ludzkiego i zagrożenia wód podziemnych w rejonie składowisk odpadów

[ON5] Dąbrowska, D., Witkowski, A. 2022. Groundwater and human health risk assessment in the vicinity of a municipal waste landfill in Tychy, Poland. Applied Sciences, 12 (24).

Istnieje szereg metod wskaźnikowych, które można wykorzystać do określenia jakości wód podziemnych i zagrożenia wód podziemnych przez zanieczyszczenia (Singh i in., 2015). Zaletą tych metod jest to, że mogą one uwzględniać dowolny zestaw parametrów służących do określenia wartości poszczególnych wskaźników (Hossain i Patra, 2020). Pierwsze wskaźniki jakości wody pojawiły się w połowie XIX wieku (Horton, 1965). Jednak to wskaźnik jakości wody zaproponowany przez Hortona (WQI) (Abbasi i Abbasi, 2012) jest uważany za pierwszy właściwy miernik określania jakości wody. Niektóre parametry stosowane przez Hortona (pH, przewodność elektryczna, temperatura, mętność, rozpuszczony tlen, bakterie z grupy coli, biochemiczne zapotrzebowanie na tlen, zasadowość, chlorki, fosforany i azotany) są dalej stosowane do obliczania innych wskaźników, takich jak wskaźnik zanieczyszczenia metalami, wskaźnik Backmana, wskaźnik metali ciężkich, wskaźnik jakości sezonowej, wskaźnik zanieczyszczenia wód składowiskowych (LWPI) lub wskaźnik Nemerowa (Nemerow, 1974; Backman i in., 1998; Prasad i Bose, 2001; Tsegaye i in., 2006 ; Talalaj i Biedka, 2016; Rezaei i in., 2017; Kumar i in., 2019).

Drugim aspektem, który można stosować pomocniczo w przypadku danych monitoringowych wód podziemnych jest ocena ryzyka dla zdrowia ludzkiego. Metodologia oceny ryzyka jest oparta o wytyczne Agencji Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (US EPA, 1989). We wskaźniku uwzględnia się wzór na obliczenie średniej dawki dobowej dla poszczególnych składników drogą pokarmową (ADD) (Wang i in., 2021).

W artykule przedstawiono wyniki Oceny Ryzyka Środowiskowego (ERA) i Oceny Ryzyka Zdrowotnego (HRA) w sąsiedztwie składowiska odpadów komunalnych w Tychach- Urbanowicach na podstawie danych z monitoringu wód podziemnych z lat 1995-2021 (Rys. 6).



Rys. 6. Obszar badań (na podstawie Witkowski, 2021).

Analizy wykonano dla danych uwzględniających metale (Pb, Cd, Ni, Cu, Fe, Zn), czyli składników przedstawiających standardowe podejście do tematyki wskaźników zanieczyszczeń. Dodatkowo wzięto pod uwagę wartości dla wybranych parametrów (chlorki, siarczany i NH_4) w celu podkreślenia wagi zagrożeń, które są bardzo często pomijane przy ocenie jakości wód podziemnych jako nieobligatoryjne w kontekście aktualnie obowiązujących uwarunkowań prawnych (Dz.U. 2022 poz. 1902). W ramach ERA obliczono trzy wskaźniki, tj. wskaźnik poziomy (Olagunju i in., 2020), wskaźnik Nemerowa oraz współczynnik wzbogacenia (Hakanson, 1980). Wzory służące do obliczania poszczególnych wskaźników znajdują się w artykule.

Wskaźnik poziomy (HR) został obliczony dla poszczególnych składników na kierunku

przepływu wód podziemnych w pewnej odległości od piezometru P16 (zlokalizowanego na dopływie wód podziemnych do składowiska) do poszczególnych piezometrów sieci obserwacyjnej nieczynnego składowiska, tj. piezometry P1, P2, P8, P9, P10, P17, P18 i P19 (Rys.1). Wartość wskaźnika większa niż 1 dla pojedynczego parametru sugeruje, że wody po przejściu przez składowisko zostałyby uzdatnione, wartość wskaźnika mniejsza niż 1 dla pojedynczego parametru sugeruje wpływ odcieków składowiskowych na wody podziemne, natomiast wartość 1 sugeruje brak wpływu.

Drugi ze wskaźników, czyli wskaźnik Nemerowa (NPI) uwzględnia stosunek pomiędzy pomierzoną wartością danego składnika w wodach, a dopuszczalną granicą dla danego parametru (Zhang i in., 2018). Wartości dla III klasy jakości wód podziemnych przyjęto jako wartość dopuszczalną na podstawie Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód jednolitych części wód podziemnych (Dz. U. 2019 poz. 2148). Uwzględnienie akurat tych wartości jest podyktowane faktem, że stanowią one granicę pomiędzy dobrym a słabym stanem jakości wód podziemnych.

Współczynnik wzbogacenia (EF) to kolejna miara uwzględniająca zależność między zmierzonym stężeniem danego parametru, ale tym razem w odniesieniu do stężenia parametru niemobilnego, w artykule przyjęto za taki parametr żelazo.

Artykuł miał na celu prezentację uzyskanych wyników dla poszczególnych wskaźników, ale również wskazać, która z miar jest najbardziej adekwatna w przypadku obliczeń dla wód podziemnych w rejonie składowisk. Pomimo tego, że większość istniejących wskaźników jest bardzo pomocna w ocenie zagrożenia dla wód podziemnych i zdrowia ludzi w pobliżu źródeł zanieczyszczeń, jednak niewłaściwy dobór parametrów tła lub piezometrów jako odniesienia może prowadzić do błędnej interpretacji sytuacji. Wieloletni monitoring wód podziemnych w rejonie nieczynnego składowiska odpadów w Tychach jednoznacznie wskazuje na migrację odcieków ze składowiska i zanieczyszczenie wód podziemnych na tym terenie. Jeśli jednak wziąć pod uwagę wyniki dla HR, okazałoby się, że składowisko nie jest głównym źródłem zanieczyszczeń, co prowadziłoby do bardzo dużego błędu.

W niniejszych badaniach wskaźnik Nemerowa (NPI) okazał się najmniej odporny na wybór tła, parametru wskaźnika czy punktu odniesienia. Ciężko jest jednoznacznie wskazać, które wartości powinny zostać zastosowane jako wartości tła dla metod wykorzystujących wskaźniki. W tym przypadku najbardziej zasadne wydaje się wykorzystanie wartości dla III klasy jakości wód podziemnych.

Ocena ryzyka dla zdrowia ludzi, nawet na podstawie ogólnych danych statystycznych

dotyczących Polaków, wskazuje, że spożywanie wód podziemnych z tego regionu naraziłoby użytkowników na szkodliwe działanie zawartych w nich substancji. Wskaźnik ten sugeruje również, że wysoka wartość zależy przede wszystkim od stężenia jonów chlorkowych i amonowych. Z punktu widzenia wykorzystania monitorowanych wód podziemnych jako wody pitnej, najistotniejszym problemem jest jakość wód w strefie odpływu wód ze składowiska.

Ze względu na zalety wybranych zaproponowanych wskaźników w ocenie ryzyka wód podziemnych, sugeruje się wykorzystanie **wskaźnika NPI oraz metod sztucznych sieci neuronowych** do wieloletnich obserwacji w przyszłych badaniach innych składowisk.

IV Podsumowanie-główne osiągnięcia badawcze

Moje główne osiągnięcie badawcze stanowi kontynuację wyników badań pracy magisterskiej i doktorskiej i dotyczy przetestowania wybranych metod hydrogeologicznych, matematycznych i informatycznych do oceny ryzyka zanieczyszczenia wód podziemnych w rejonie tak niebezpiecznych ognisk zanieczyszczeń jak składowiska odpadów komunalnych.

W ramach badań dokonałam analizy dostępnej literatury w celu identyfikacji prowadzonych na świecie eksperymentów lizymetrycznych na odpadach komunalnych, w celu zaprojektowania **jak najlepszego** własnego eksperymentu. W Polsce badania na próbkach odpadów komunalnych prowadziły **tylko dwa ośrodki** naukowe (Uniwersytet Śląski i Politechnika Łódzka). **Zaprojektowane stanowisko** badawcze zlokalizowane w rejonie składowiska odpadów komunalnych w Tychach stanowi przykład interdyscyplinarnego eksperymentu, w którym otrzymano dane hydrogeologiczne, biochemiczne, mikrobiologiczne oraz dokonano ich analizy statystycznej (analiza podstawowa, analiza wariancji i analiza głównych składowych). Dodatkowo, jest **to pierwszy eksperyment w Polsce, w którym wykorzystano czujniki** monitorujące zmienność przewodności, wilgotności i temperatury w odpadach. Na tej podstawie można było dokonać prognozowania zmienności przewodności elektrolitycznej właściwej w profilu pionowym z wykorzystaniem **sztucznych sieci neuronowych**. Wykorzystane w badaniach modele dały w efekcie **lepsze wyniki prognozy** niż, gdyby stosować tradycyjne metody statystyczne, dla których współczynnik determinacji osiągnął nawet wartość 0,9.

Kolejnym z osiągnięć jest wskazanie najbardziej odpornych na dobór parametrów oraz

wartości tła wskaźników służących do określenia ryzyka dla wód podziemnych oraz dla zdrowia ludzkiego. Należy zauważyć, że wskaźnik Nemerowa, wskaźnik wzbogacenia, wskaźnik poziomy, to nie jedyne wskaźniki, które testowałam w przypadku danych dotyczących składowisk odpadów komunalnych, gdyż we wcześniejszych badaniach odrzuciłam mniej efektywne miary. W efekcie **wskaźnik Nemerowa okazał się najbardziej dokładną miarą**, która może być używana w celu wykonania analizy ryzyka dla wód podziemnych.

V Literatura

1. Abbasi, T., Abbasi, S. **2012**. Water Quality Indices, 353–356, 10.1016/B978-0-444-54304-2.00016-6
2. Abunama, T., Othman, F., Ansari, M., El-Shafie, A. **2019**. Leachate generation rate modeling using artificial intelligence algorithms aided by input optimization method for an MSW landfill. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(4), 3368-3381.
3. Abu-Rukah, Y. **2001**. The assessment of the effect of landfill leachate on ground-water quality—a case study. El-Akader landfill site—north Jordan. *Journal of Arid Environments*, 49(3), 615-630.
4. Agusa, T., Trang, P., Lan, V., Anh, D., Tanabe, S., Viet, P., Berg, M. **2014**. Human exposure to arsenic from drinking water in Vietnam. *Science of The Total Environment*, 488-489, 562-569.
5. Ahsan, K., Shaikh, M., Rafizul, I., Alamgir, M. **2014**. Statistical Analysis of Leachate Characteristics in Pilot Scale Landfill Lysimeter. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering* 3(3): 283-292
6. Aljaradin, M., Persson, K. **2016**. The Emission Potential from Municipal Solid Waste Landfill in Jordan. *JEE* 17 (1), 38–48.
7. Alhuri, Y., Ouazar, D., Taik, A. **2011**. Comparison between local and global meshfree methods for ground-water modeling. *Int. J. Comput. Sci.* 8, 337–342.
8. Aziz, S., Aziz, H., Yusoff, M., Bashir, M., Umar, M. 2010. Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: a comparative study. *Journal of Environmental Management* 91: 2608-2614
9. Alwaeli, M. **2015**. An overview of municipal solid waste management in Poland. The current situation, problems and challenges. *Environ. Prot. Eng.*, 41.
10. Backman, B., Bodis, D., Lahermo, P., Rapant, S., Tarvainen, T. **1998**. Application of a contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, 36: 55-64
11. Badr, E., Agrama, A., Badr, S. **2011**. Heavy metals in drinking water and human health, Egypt. *Nutr. Food Sci.*, 41, 210–217.
12. Baghanam, A., Vakili, A., Nourani, V., **Dąbrowska, D.**, Sołtysiak, M. 2022. AI-based ensemble modeling of landfill leakage employing a lysimeter, climatic data and transfer learning. *Journal of Hydrology* 612 (3).
13. Bagheri, M., Bazvand, A., Ehteshami, M. **2017**. Application of artificial intelligence for the management of landfill leachate penetration into groundwater, and assessment of its

- environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, 149, 784-796.
14. Bear, J., Cheng, A.H.-D., **2010**. *Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport*. Springer Science & Business Media.
 15. Boztosun, I., Charafi, A., **2002**. An analysis of the linear advection–diffusion equation using mesh-free and mesh-dependent methods. *Eng. Anal. Boundary Elem.* 26, 889–895.
 16. Boztosun, I., Charafi, A., Zerroukat, M., Djidjeli, K. **2002**. Thin-plate spline radial basis function scheme for advection-diffusion problems. *Electron. J. Boundary Elem.* 2, 267–282.
 17. Buchhamer, E., Blanes, P., Osicka, R., Giménez, C. **2012**. Environmental Risk Assessment of Arsenic and Fluoride in the Chaco Province, Argentina: Research Advances, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 75:22-23, 1437-1450, DOI: 10.1080/15287394.2012.721178
 18. Caribe, R., Ribeiro, L., Neto, A., Sousa, R., Nobrega, B., Melo, M., Paiva, W., Monteiro, V. **2020**. Analysis of volumetric variation and specific deformation of municipal solid waste in experimental lysimeters. *Int. J. Environ. Waste Manag.* 25, 508–520.
 19. Cepuder, P., Supersberg, H. **1991**. *Erfahrungen mit der Lysimeteranlage Groß-Enzersdorf ; BAL—Bericht*; Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft: Wien, Germany.
 20. Chu, L. M., Cheung, K. C., Wong, M. H. **1994**. Variations in the chemical properties of landfill leachate. *Environmental Management*, 18(1), 105-117.
 21. Cudjoe, D., Acquah P. **2021**. Environmental impact analysis of municipal solid waste incineration in African countries. *Chemosphere*, 265, 10.1016/j.chemosphere.2020.129186.
 22. Cudjoe D., Yuan Q., Su Han M. **2020**. An assessment of the influence of awareness of benefits and perceived difficulties on waste sorting intention in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 272, 123084, 10.1016/j.jclepro.2020.123084
 23. **Dąbrowska, D.**, Nowak, A., Soltysiak, M., Binniecka, P., Nourani, V., Wasilkowski, D. **2022**. In situ lysimeter experiment of leaching pollutants from municipal waste with physicochemical status and microbiome condition. *Journal of Hydrology* 613 (3).
 24. **Dąbrowska, D.**, Rykala, W. 2021. A Review of Lysimeter Experiments Carried Out on Municipal Landfill Waste. *Toxics* 9 (2).
 25. **Dąbrowska, D.**, Soltysiak, M., Binniecka, P., Michalska, J., Wasilkowski, D., Nowak, A., Nourani V., 2019. Application of hydrogeological and biological research for the lysimeter experiment performance under simulated municipal landfill condition. *Journal of material cycles and waste management* 21 (6), pp.1477-1487
 26. **Dąbrowska, D.**, Witkowski, A. **2022**. Groundwater and human health risk assessment in the vicinity of a municipal waste landfill in Tychy, Poland. *Applied Sciences*, 12 (24).

27. **Dąbrowska D.**, Sołtysiak, M., Cnota, Ł. **2018a**. Lysimeter experiments on municipal landfill waste-overview of current global research. *International Multidisciplinary Scientific Geoconference*, vol. 18, no. 5.1, 2018, ISSN: 13142704.
28. **Dąbrowska, D.**, Witkowski, A., Sołtysiak, M. **2018b**. Application of pollution indices for the assessment of the negative impact of a municipal landfill on groundwater (Tychy, southern Poland). *Geological Quarterly*, 62 (3), 496-508.
29. de Sousa, D., Mozeto, A., Carneiro, R., Fadini, P. **2014**. Electrical conductivity and emerging contaminant as markers of surface freshwater contamination by wastewater. *Science of The Total Environment*, 484, 19-26.
30. Dumontet, S., Cavoski, I., Ricciuti, P., Mondelli, D., Jarrar, M., Pasquale, V., Crecchio, C. **2017**. Metabolic and genetic patterns of soil microbial communities in response to different amendments under organic farming system. *Geoderma* 296: 79-85
31. Foddis, M.L., Ackerer, P., Montisci, A., Uras, G. **2013**. Polluted aquifer inverse problem solution using artificial neural networks. *AQUA Mundi*. 4, 15–21.
32. Foddis, M.L., Ackerer, P., Montisci, A., Uras, G. **2015**. Ann-based approach for the estimation aquifer pollutant source behaviour, water science and technology. *Water Supply* 15 (6), 1285–1294.
33. Frąc, M., Oszust, K., Lipiec, J. **2012**. Community level physiological profiles (CLPP), characterization and microbial activity of soil amended with dairy sewage sludge. *Sensors* 12: 3253-3268
34. Fraczek, K., Ropek, D., Lenart-Boron, A. **2014**. Assessment of microbiological and chemical properties in a municipal landfill area. *J. Environ. Sci. Health. Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 49 (5), 593–599.
35. Goldscheider, N. **2003**. The PI Method. In: F. Zwahlen (ed.), *Cost Action 620 – Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*. Final report. European Commission Directorate General for Research: 144-154.
36. Guérin, R., Munoz, M. L., Aran, C., Laperrelle, C., Hidra, M., Drouart, E., Grellier, S. **2004**. Leachate recirculation: moisture content assessment by means of a geophysical technique. *Waste Management*, 24(8), 785-794.
37. Guidi Nissim, W., Palm, E., Pandolfi, C., Mancuso, S., Azzarello, E. **2021**. Willow and poplar for the phyto-treatment of landfill leachate in Mediterranean climate. *J. Environ. Manag.* 277, 111454
38. Grzyb, J., Fraczek, K., Chmiel, M. **2015**. Zagrożenia mikrobiologiczne wód podziemnych w strefie oddziaływania składowiska odpadów komunalnych. *Woda-Środowisko-Obszary*

Wiejskie 15(1): 47-58.

39. Hakanson, L. **1980**. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.*, 14, 975–1001.
40. Hassett, D.J., Pflughoeft-Hassett, D. F., Heebink, L. V. **2005**. Leaching of CCBs: observations from over 25 years of research. *Fuel*, 84.
41. Hermanowski, P., Ignaszak, T. **2017**. Ground water vulnerability based on four different assessment methods and their quantitative comparison in a typical North European Lowland river catchment (the Pliszka River catchment, western Poland). *Geological Quarterly*, 61 (1): 166-176.
42. Herrera, P.A., Massabó, M., Beckie, R.D. **2009**. A meshless method to simulate solute transport in heterogeneous porous media. *Adv. Water Resour.* 32, 413–429.
43. Horton, R.K. **1965**. An index number system for rating water quality. *J. Water Pollu. Cont. Fed.*, 37(3), 300–305.
44. Hossain, M., Patra, P. **2020**. Water pollution index – A new integrated approach to rank water quality. *Ecological Indicators*, 117, 106668.
45. Huang, J., Zhao, R., Huang, T., Wang, X., Tseng, M.-L. **2018**. Sustainable municipal solid waste disposal in the belt and road initiative: A preliminary proposal for Chengdu city. *Sustainability*, 10, 1147.
46. Izquierdo, M., Querol, X., **2012**. Leaching behaviour of elements from coal combustion fly ash: An overview. *Int. J. Coal Geol.* 94, 54–66.
47. Januszek, K. **2011**. Groundwater quality monitoring in the region of closed municipal landfill in Tychy-Urbanowice. SGS-EKO Projekt, Pszczyna
48. Kabbour, B., Zouhri, L., Mainia, J., Colbeaux, J. **2006**. Assessing groundwater contamination risk using the DASTI/IDRISI GIS method: coastal system of western Mamora, Morocco. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 65: 463-470.
49. Kajiwara, N., Hirata, O., Takigami, H., Noma, Y., Tachifuji, A., Matsufuji, Y. **2014**. Leaching of brominated flame retardants from mixed wastes in lysimeters under conditions simulating landfills in developing countries. *Chemosphere* 116: 46-53
50. Kemper, J., Smith, R. **1981**. Lysimeter tests indicate leachate diluted by processing solid waste. In *Sanitation Industry Yearbook*; PRJ Publishing Corporation: Cennai, India, pp. 131–138.
51. Knopek, T., Dabrowska, D. **2021**. The Use of the Contamination Index and the LWPI Index to Assess the Quality of Groundwater in the Area of a Municipal Waste Landfill. *Toxics* 9, 66. <https://doi.org/10.3390/toxics9030066>

52. Kosson, D. S., van der Sloot, H., Sanchezand, F., Garrabrants A., **2002**. An integrated framework for evaluating leaching in waste management and utilization of secondary materials. *Environmental Engineering Science*, 19, 3, 159-204.
53. Kumar, V., Parihar, R.D., Sharma, A., Bakshi, P., Sidhu, G.P.S., Bali, A.S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A.K., Yeboah Gyasi-Agyei, Y.G., Rodrigo-Comino, J. **2019**. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, 236, 124364.
54. Kumar, A., Ranjan, A., Gulati, K., Thakur, S., Jindal, T. **2016**. Assessment of chemical and microbial contamination in groundwater through leaching of sewage waste in Delhi, India. *Environmental Earth Sciences* 75: 275. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5016-0>
55. Martins, I., Faria, R., Fabiano, P., Dalri, A., Oliverio, C., Libardi, L. **2017**. Weighing lysimeters for greenhouse evapotranspiration measurements. *IRRIGA*, 22, 715–722.
56. Li, J., Cheng, A.H.-D., Chen, C.-S. **2003**. A comparison of efficiency and error convergence of multiquadric collocation method and finite element method. *Eng. Anal. Boundary Elem.* 27, 251–257.
57. Li, Z., Mao, X.Z. **2011**. Global multiquadric collocation method for groundwater contaminant source identification. *Environ. Modell. Software* 26, 1611–1621.
58. Li, R., Zeiss, C. **2001**. In situ Moisture Content Measurement in MSW Landfills with TDR. *Environmental Engineering Science - ENVIRON ENG SCI*, 18, 53-66.
59. Makarichi, L., Jutidamrongphan, W., Techato, K-A. **2018**. The evolution of waste-to-energy incineration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91: 812–821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088>.
60. Martins, I., Faria, R., Fabiano, P., Dalri, A., Oliverio, C., Libardi, L. **2017**. Weighing lysimeters for greenhouse evapotranspiration measurements. *IRRIGA* 22, 715–722
61. Matsufuji, Y., Hirata, O., Tanaka, A., Yanase, R., Suzuki, S. **2007**. Biodegradation process and mass balance of different landfill types using large scale simulator—Quality control of experimental method with lysimeter- In: *Proceedings Sardinia Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium 2007, Cagliari, Italy*.
62. Menghini, M. J., Hornberger, R. J., Dalberto, A. D. **2005**. The use of Leachate Data Factors in Evaluating CCB's for Placement at Coal Mine Site in Pennsylvania. *World of Coal Ash*.
63. Michalska, J., Gren, I., Zur, J., Wasilkowski, D., Mroziak, A. **2019**. Impact of the biological cotreatment of the Kalina pond leachate on laboratory sequencing batch reactor operation and activated sludge quality. *Water* 11, 1539. <https://doi.org/10.3390/w11081539>.
64. Michalska, J., Pinski, A., Zur, J., Mroziak, A. **2020**. Analysis of the Bioaugmentation Potential

- of *Pseudomonas putida* OR45a and *Pseudomonas putida* KB3 in the Sequencing Batch Reactors Fed with the Phenolic Landfill Leachate. *Water* 12 (3), 906.
65. Mohamed, A.M.O., Hawas, Y. **2004**. Neuro-fuzzy logic model for evaluating water content of sandy soils. *Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 19 (4), 274–287.
 66. Mohan, S., Nithila, P., Reddy, S. **1996**. Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index. *J. Environ. Sci. Health*, 31, 283–289.
 67. Nemerow, N. L. **1974**. *Scientific Stream Pollution Analysis*. New York: McGraw-Hill.
Retrieved from <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=160939&indexSearch=ID>.
 68. Nourani, V. **2012**. Investigating the Ability of Artificial Neural Network (ANN) Models to Estimate Missing Rain-gauge Data. *Journal of Environmental Informatics*, 19, 38-50.
 69. Nourani, V. **2017**. An Emotional ANN (EANN) approach to modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 544, 267-277.
 70. Nourani, V., Alami, M.T., Vousoughi, F.D. **2015**. Wavelet-entropy data pre- processing approach for ANN-based groundwater level modeling. *J. Hydrol.* 524, 255–269.
 71. Nourani, V., Ejlali, R. Alami, M. **2011**. spatiotemporal groundwater level forecasting in coastal aquifers by hybrid artificial neural network-geostatistics model: A case study. *Environmental Engineering Sciences*, 28: 217-228.
 72. Nourani, V., Khanghah, T., Sayyadi, M. **2013**. Application of the Artificial Neural Network to monitor the quality of treated water. *International Journal of Management and Information Technology*, 3 (1): 38-45.
 73. Nourani, V., Mogaddam, A.A., Nadiri, A.O. **2008**. An ANN-based model for spatiotemporal groundwater level forecasting. *Hydrol. Process.* 22, 5054–5066.
 74. Nourani, V., Mousavi, S., **Dąbrowska, D.**, Sadikoglu, F., **2017**. Conjunction of radial basis function interpolator and artificial intelligence models for time-space modeling of contaminant transport in porous media. *Journal of Hydrology* 548, pp.569-587
 75. Obinaju, B. E. **2009**. Mechanisms of arsenic toxicity and carcinogenesis. *Afr. J. Biochem. Res.*, 3(5), 232–237.
 76. Oke, S., Vermeulen, D., Gomo, M. **2016**. Aquifer vulnerability assessment of the Dahomey Basin using the RTt method. *Environmental Earth Sciences*, 75 (11): 1-9.
 77. Olagunju, T., Olagunju, A., Akawu, I., Ugokwe, C. **2020**. Quantification and Risk Assessment of Heavy Metals in Groundwater and Soil of Residential Areas around Awotan Landfill, Ibadan, Southwest- Nigeria. *J Toxicol Risk Assess*, 6:033, doi.org/10.23937/2572-

4061.1510033

78. Pan, S. J., Yang, Q. **2010**. A Survey on Transfer Learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 22(10), 1345-1359.
79. Pardossi, A. **2014**. Substrate water status and evapotranspiration irrigation scheduling in heterogenous container nursery crops. *Agricultural Water Management* 131: 30-40
80. Plošek, L., Elbl, J., Lošák, T., Kužel, T., Kintl, A., Juříčka, D., Kynický, J., Martensson, A., Brtnický, M. **2017**. Leaching of mineral nitrogen in the soil influenced by addition of compost and N-mineral fertilizer, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, DOI: 10.1080/09064710.2017.1322632
81. Pohland, F. **1975**. Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycle and Residual Treatment; Municipal Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency: Cincinnati, OH, USA.
82. Pohland, F., Shank, D., Benson, R., Timmerman, H. **1978**. Pilot-Scale Investigations of Accelerated Landfill Stabilization with Leachate Recycle; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, pp. 283–295.
83. Prasad, B., Bose, J.M. **2001**. Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. *Environ. Geol.*, 41, 183–188.
84. Qiang, T., Kim, H., Endo, K., Katsumi, T., Inui, T. **2015**. Size Effect on Lysimeter Test Evaluating the Properties of Construction and Demolition Waste Leachate. *Soils and Foundations* 55(4): 720-736
85. Reinhart, D. **1996**. Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: Case studies. *Waste Manag. Res*, 14, 347–365.
86. Rey, E., Weingartner, R., Liniger, H. **2014**. Case study of a hillside lysimeter with realistic boundary conditions on slope and hillside in an inner alpine area, Switzerland. *Geophys. Res. Abstr.* 16, EGU2014-5065.
87. Rezaei, A., Hassani, H., Jabbari, N. **2017**. Evaluation of groundwater quality and assessment of pollution indices for heavy metals in North of Isfahan Province, Iran. *Sustain. Water Resour. Manag*, <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0209-1>.
88. Sarto, K., Syamsiah, S., Prasetya, A. **2016**. Pattern of Characteristics of Leachate Generation from Municipal Solid Waste Landfill by Lysimeter Experiment. *International Journal of Environmental Science and Development* 7(10): 768-771
89. Schuch, U, Burger, D. **1997**. Water use and crop coefficients of woody ornamentals in containers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122(5): 727–734

90. Schwarzael, K., Bohl, H. **2003**. An easily installable groundwater lysimeter to determine waterbalance components and hydraulic properties of peat soils. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 7, 23–32.
91. Shen, S., Chen, Y., Zhan, L., Xie, H., Bouazza, A., He, F. **2018**. Methane hotspot localization and visualization at a large-scale Xi'an landfill in China: Effective tool for landfill gas management. *J. Environ. Manag.*, 225, 232–241
92. Singh, R.M., Datta, B., Jain, A. **2004**. Identification of unknown groundwater pollution sources using artificial neural networks. *J. Water Resour. Plann.Manage.* 130, 506–514.
93. Sołtysiak, M., Rakoczy, M. **2019**. An overview of the experimental research use of lysimeters. *Environ. Socio-Econ. Stud.* 7 (2), 49–56.
94. Staśko, S., Chodacki, M. **2014**. Infiltracja do wód podziemnych na podstawie pomiarów lizymetrycznych w Górach Sowich. *Przegląd Geologiczny*, 62, 8, 414–419.
95. Stefanowicz, A. **2006**. The Biolog plates technique as a tool in ecological studies of microbial communities. *Polish Journal of Environmental Studies* 15: 669-676
96. Szyc, J. **2003**. Leachates from municipal landfills. Monograph. Publisher of the Institute for Environmental Protection, Warsaw
97. Swathi, B., Eldho, T.I. **2013**. Groundwater flow simulation in confined aquifers using meshless local Petrov-Galerkin (MLPG) method. *ISH J. Hydraul. Eng.* 19, 335– 348.
98. Swati, M., Joseph, K. **2018**. Settlement analysis of fresh and partially stabilised municipal solid waste in simulated controlled dumps and bioreactor landfills. *Waste Management*, 28, 8,1355-1363.
99. Talalaj, I. **2014**. Assessment of groundwater quality near the landfill site using the modified water quality index. *Environ. Monit. Assess.*, 186, 3673–3683.
100. Talalaj, I., Biedka, P. **2016**. Use of the Landfill Water Pollution Index (LWPI) for Groundwater Quality Assessment Near the Landfill Sites. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23, 24601–24613.
101. Taormina, R., Chau, K.-W. **2014**. Neural network river forecasting with multi- objective fully informed particle swarm optimization. *J. Hydroinf.* 17 (1), 99– 113.
102. Tian, Y., Yang, W.C. **2020**. Analysis on Migration of Heavy Metals in Groundwater Fluctuation Zone. *Environ. Sci. Manag.*, 44, 40–44.
103. Tiwari, M.K., Bajpai, S., Dewangan, U., Tamrakar, R. **2015**. Suitability of leaching test methods for fly ash and slag: A review. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.06.003>.
104. Treder, J., Treder, W., Klamkowski, K. **2017**. Determination of irrigation requirements and

- crop coefficients using weighing lysimeters in perennial plants. *Infrastructure and ecology of rural areas* III(2): 1213-1228
105. Tsegaye, T., Sheppard, D., Islam, K.R., Tadesse, W., Atalay, A., Marzen, L. **2006**. Development of chemical index as a measure of in-stream water quality in response to land-use and land cover changes. *Water Air Soil Pollut.* 174, (1–4), 161–179.
 106. U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A) U.S. EPA; Washington, DC, USA: **1989**.
 107. Venkateswara, R., Malaini, B., Nageswara K. **2003**. Ground water quality in the changing urban and industrial environment of Visakhapatnam city, *Journal of Applied Hydrology*, 16,3, 46–51.
 108. Xu, P., Huang, S., Wang, Z.A., Lagos, G. **2006**. Daily intakes of copper, zinc and arsenic in drinking water by population of Shanghai, China. *Sci. Total Environ.*, 362, 50–55.
 109. Xu, Q., Qin, J., Ko, J. **2019**. Municipal solid waste landfill performance with different biogas collection practices: Biogas and leachate generations. *J. Clean. Prod.* 222, 446–454.
 110. Wang, B., Lin, C., Cheng, H., Duan, X., Wang, Q., Xu, D. **2021**. Health Risk Assessment of Metals via Multi-Source Oral Exposure for Children Living in Areas with Intense Electronic Manufacturing Activities. *Int J Environ Res Public Health*, 29,18,21,11409. doi: 10.3390/ijerph182111409. PMID: 34769926; PMCID: PMC8583640.
 111. Weiss, K., Khoshgoftaar, T. M., Wang, D. **2016**. A survey of transfer learning. *Journal of Big Data*, 3(1), 9.
 112. Witkowski, A. **2017**. Monitoring składowisk odpadów komunalnych w Polsce wymagania prawne a rzeczywistość. *Hydrogeologia* 1, 49-56.
 113. Witkowski, A., Dąbrowska, D. **2017**. Diagnoza stanu prawnego i organizacyjnego monitoringu wód podziemnych w Polsce. *Przegląd geologiczny*, 65,11/2.
 114. Yanez, M., Valor, C., Catalan, V. **2006**. A simple and cost-effective method for the quantification of total coliforms and *Escherichia coli* in potable water. *Journal of Microbiological Methods* 65: 608–611
 115. Zhang, Q., Feng, M., Hao, X., **2018**. Application of Nemerow Index Method and Integrated Water Quality Index Method in Water Quality Assessment of Zhangze Reservoir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 128, 012160.
 116. Zhang, Q., Tian, B., Zhang, X., Abba, G., Cheng-Ran, F., Ruo, H. **2013**. Investigation on characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants. *Waste Management*, 33(11), 2277-2286.
 117. Zhen, T., Fan, W., Wang, H., Cao, X., Xu, X. **2020**. Monitoring Soil Microorganisms with

Community-Level Physiological Profiles Using Biolog EcoPlates™ in Chaohu Lakeside Wetland, East China. *Eurasian Soil Sc.* 53, 1142–1153. <https://doi.org/10.1134/S1064229320080141>.

118. Żurek, A., Mościcki W. 2017. Badanie strefy aeracji na stanowisku lizymetrycznym przy pomocy penetracyjnego profilowania oporności elektrycznej. *Prace Geograficzne*, 151: 121–132.
119. Dz. U. 2019 poz. 2148, Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód jednolitych części wód podziemnych.
120. Dz. U. 2021 poz. 673, Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 19 marca 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie składowisk odpadów.
121. PN-EN ISO 6222, 2004. Water quality - Enumeration of culturable micro-organisms - Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium (ISO 6222:1999)
122. PN-C-04615-07,1977. Water quality - Detection and enumeration of the spores of sulfite-reducing anaerobes (clostridia) - Part 2: Method by membrane filtration (ISO 6461-2:1986)

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

a) współpraca z zagranicznymi instytucjami naukowymi

W roku 2015 do NCBR złożono propozycję projektu do I konkursu na wspólne polsko-południowoafrykańskie projekty badawcze (Współpraca Polska-RPA). Propozycja pt. WOGOWO dotyczyła badania wpływu odpadów na środowisko gruntowo-wodne w Polsce i RPA. Projekt przeszedł ocenę formalną, ale nie uzyskał dofinansowania. Propozycja projektu złożona we współpracy z dr Modreckiem Gomo z University of Free States (RPA) zapoczątkowała dalszą współpracę naukową. Dr Gomo poprowadził wykład specjalny dla uczestników Międzynarodowych Warsztatów dla Młodych Hydrogeologów w roku 2016, natomiast ja miałam przyjemność recenzowania kilku prac magisterskich i doktorskich dla studentów z University of Free States jako zagraniczny recenzent. W roku 2019 Komitet Specjalistyczny składający się z naukowców z południowoafrykańskich instytucji szkolnictwa wyższego działający w National Research powołał mnie na recenzenta dorobku

dr Modrecka Gomo w zakresie hydrogeologii.

W celu prowadzenia współpracy międzynarodowej w roku 2018 podpisano list intencyjny pomiędzy Uniwersytetem Śląskim a Uniwersytetem w Tabriz (Iran). Zostałam koordynatorem tej współpracy ze strony polskiej. W ramach tej współpracy przygotowano dotychczas dziewięć wysoko punktowanych wspólnych publikacji naukowych, a kolejne dwie znajdują się aktualnie w recenzji. Dodatkowo koordynator współpracy ze strony Iranu – prof. Vahid Nourani prowadził online w roku 2022 dodatkowe zajęcia dla studentów Inżynierii Zagrożeń Środowiskowych jako profesor wizytujący.

W maju 2022 roku otrzymałam zaproszenie do wzięcia udziału w konferencji pt. Contaminated Sites organizowanej przez Ministerstwo Środowiska Słowacji. Warto podkreślić, że w konferencji wzięli udział tylko zaproszeni naukowcy. Podczas konferencji miałam również przyjemność poprowadzić jedną sesję referatową dotyczącą odpadów.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

a) **Osiągnięcia dydaktyczne:**

Opieka nad jednym doktorantem (jako promotor pomocniczy):

- 1) **Wojciech Rykała** (data rozpoczęcia studiów III stopnia: **październik 2020**): *Porównanie toksyczności stałych odpadów komunalnych niezmiennych i przekształconych w efekcie pożaru oraz ich oddziaływanie na środowisko i wody podziemne*

Wypromowanie 4 inżynierów

- 1) **Malwina Więsek** (data obrony: 14 lutego 2019): *Oznaczanie wilgotności gruntu z wykorzystaniem modułów Arduino oraz analiza precyzji uzyskanych wyników.*
- 2) **Łukasz Pałka** (data obrony: 13 marca 2020): *Analiza stanu środowiska gruntowo-wodnego w rejonie rekultywowanego zbiornika na rzece Stradomka w Blachowni*
- 3) **Mateusz Grajewski** (data obrony: 24 marca 2021): *Identyfikacja potencjalnych i rzeczywistych źródeł zanieczyszczenia wód powierzchniowych w obrębie zlewni Gostynia*

od Zbiornika Paprocańskiego do ujścia rzeki

- 4) Kornelia Choroba** (data obrony: 21 maja 2021): *Jakość wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów komunalnych w Sosnowcu w latach 2014-2019*

Wypromowanie 6 magistrów

- 1) Wojciech Rykała** (data obrony: 28 sierpnia 2020): *Analiza ryzyka dla wód podziemnych w rejonie zespołu składowisk odpadów w Tychach - Urbanowicach (Południowa Polska)*
- 2) Tomasz Knopek** (data obrony: 26 lipca 2021): *Zastosowanie wskaźnika zanieczyszczeń i wskaźnika LWPI do oceny jakości wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów komunalnych*
- 3) Mateusz Gorzelak** (data obrony: 26 lipca 2021): *Ocena zmian jakości wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów w Poczesnej (południowa Polska) z użyciem wskaźnika LWPI*
- 4) Radosław Karkocha** (data obrony: 17 sierpnia 2021): *Ocena zmian jakości wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów komunalnych w Wojkowicach*
- 5) Martyna Łukasik** (data obrony: 6 kwietnia 2022): *Badanie jakości wód podziemnych w rejonie składowisk odpadów komunalnych w Dąbrowie Górniczej.*
- 6) Kornelia Miernik** (data obrony: 24 października 2022): *Stężenie tlenków azotu i siarki oraz ozonu na tle warunków meteorologicznych w ujęciu dobowym i sezonowym na terenie Metropolii Śląsko-Zagłębiowskiej*

Pierwsze sześć prac magisterskich zostało opublikowanych jako artykuły naukowe w czasopiśmie o punktacji od 40 do 70 punktów wg MNiSW.

Byłam recenzentem **23 prac dyplomowych** w latach 2018-2022 w Uniwersytecie Śląskim oraz **recenzentem zagranicznym** dla **4 prac magisterskich** i **2 doktorskich** w University of Free States (RPA).

Jestem autorką i prowadziłam **przedmioty akademickie w języku angielskim** – Groundwater monitoring oraz Introduction to Computer Aided Design (CAD).

Dodatkowo brałam udział w przygotowaniu nowych programów studiów dla kierunków Ochrona środowiska, Geologia, Geologia stosowana, Aquamatyka.

Od 23.10.2019 jestem członkiem Rady Dydaktycznej Kierunków Geologicznych, a od 27.09.2021 pełnię funkcje opiekuna I roku studiów MU - kierunek Aquamatyka oraz 7-go

semestru studiów - kierunek geologia stosowana.

b) Osiągnięcia organizacyjne:

organizacja kilku konferencji o zasięgu międzynarodowym, organizacja Praktycznego Warsztatu Hydrogeologa na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach. Najważniejsze i zarazem najbardziej prestiżowe konferencje o zasięgu międzynarodowym, które współorganizowałam to:

- **Groundwater Vulnerability, 25-29.05.2015, Ustroń, Polska**
- **7th International Workshops for Young Hydrogeologists, 13-15.06.2016, Sosnowiec, Polska**
- **International conference New Approaches to Groundwater Vulnerability, 04-08.06.2018, Ustroń, Polska**

c) Osiągnięcia popularyzujące naukę:

Od liceum jestem zaangażowana w przygotowywanie prelekcji dla uczniów realizowanych w ramach spotkań z cyklu Podróże po świecie organizowanych przez Polskie Towarzystwo Geograficzne. Efektem pracy były m.in. wykłady dotyczące Austrii, Niemiec, Norwegii czy Szwajcarii.

W ramach popularyzacji nauki od 2016 roku współpracuję z firmami prowadzącymi szkolenia z zakresu produktów Autodesk – PA Nova oraz Arkance Systems. Efektem współpracy było przeprowadzenie szkolenia z zakresu nakładki River dla uczestników Międzynarodowych Warsztatów dla Młodych Hydrogeologów w roku 2016 oraz udział studentów w darmowych szkoleniach z zakresu obsługi AutoCADA, Map3D oraz Fusion 360. W ramach współpracy z firmą PA Nova oraz dzięki projektowi Krajowy Naukowy Ośrodek Wiodący dla Centrum Studiów Polarnych udało się przeszkolić ponad 40 osób.

Regularnie zachęcam studentów do uczestnictwa w dodatkowych zajęciach czy kursach, propagując kursy przygotowywane na Moodle, kursy na platformie Navoica oraz zajęcia prowadzone przez profesora wizytującego. W ramach ostatniej aktywności grupa studentów z Inżynierii Zagrożeń Środowiskowych wzięła udział w 30h wykładów pt. Hydrologic systems

prowadzonych online przez prof. Vahida Nourani z University of Tabriz.

W ramach działań w Zespole ds. promocji Wydziału Nauk Przyrodniczych koordynuję działania mające na celu podniesienie widzialności potencjału badawczego Wydziału (redakcja not popularnonaukowych dotyczących publikacji naukowych i projektów naukowych). W szczególności przygotowuję posty w mediach społecznościowych z cyklu SCIENCE JOURNAL CLUB @Faculty of Natural Sciences.

Jako przykład działań popularyzujących naukę należy wymienić również przygotowanie i wygłoszenie we współpracy z dr inż. Markiem Sołtysiakiem prezentacji pt. Wpływ dzikich składowisk odpadów na wody podziemne w 2016 roku podczas panelu dyskusyjnego Spotkania mieszkańców z inicjatywy Stowarzyszenia Samorządne Strzemieszyce. Prezentacja dotyczyła zagadnień dzikich składowisk odpadów i wpływu tych odpadów na środowisko gruntowo-wodne.

Z uwagi na fakt, że w latach 2013-2022 pracowałam w Pałacu Młodzieży w Katowicach, a od roku 2020 pracuję również w Zespole Doskonalenia Zawodowego ZS w Sosnowcu, popularyzuję naukę również poza murami uczelni. W trakcie pracy z uczniami trzykrotnie brałam udział w Śląskim Festiwalu Nauki. Podczas tej imprezy naukowej prezentowaliśmy własne gry komputerowe, stworzone podczas zajęć. Dodatkowo pełniłam funkcję opiekuna uczniów w konkursach informatycznych, jak np. Masterbit w Sosnowcu czy konkursu naukowego E(x)plory, w ramach którego uczeń zakwalifikował się do etapu regionalnego we Wrocławiu.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Aktywność naukowa, dydaktyczna i organizatorska Kandydatki została doceniona poprzez otrzymanie następujących wyróżnień, nagród i stypendiów, przyznawanych już w trakcie studiów I-go stopnia:

-**2022** – laureatka konkursu „Listy gratulacyjne JM Rektora Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach dla nauczycieli/nauczycielek akademickich za doskonałą dydaktykę w roku akademickim 2021/2022” w kategorii Praca ze studentami lub doktorantami

-**2019** – uzyskanie stopnia nauczyciela mianowanego

-**2018** – nagroda PolarKNOW z osiągnięcia publikacyjne w roku 2017

-**2017** – wyróżnienie Rektora Uniwersytetu Śląskiego za działalność naukową i

popularnonaukową

-2017 – nagroda PolarKNOW za osiągnięcia publikacyjne w roku 2016

-2015 – uzyskanie stopnia nauczyciela kontraktowego

-2014/2015, 2016/2017 – stypendium dla Młodych Naukowców WNoZ UŚ

-2013-2015 – stypendium w ramach projektu DoktoRIS – Program Stypendialny na Rzecz Innowacyjnego Śląska

-stypendium naukowe w roku akademickim 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012, 2013/2014, 2015/2016, 2016/2017

-2011 – Dyplom Najlepszego Absolwenta Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach



(podpis wnioskodawcy)