



POLSKIE TOWARZYSTWO GEOGRAFICZNE • POLISH GEOGRAPHICAL SOCIETY


czasopismo
geograficzne

geographical
journal od
since 1923

KSZTAŁTOWANIE JAKOŚCI WODY W JUNIKOWSKIM STRUMIENIU NA OBSZARZE AGLOMERACJI POZNAŃSKIEJ

THE DEVELOPMENT OF WATER QUALITY IN THE JUNIKOWSKI STREAM IN THE POZNAŃ METROPOLITAN AREA

Małgorzata Mazurek

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geoeologii i Geoinformacji,  <https://orcid.org/0000-0002-9139-2462>, e-mail: gmazurek@amu.edu.pl

Streszczenie

Jakość wody w małych ciekach ma istotny wpływ na stan całego systemu rzecznego. Jedną z małych zlewni w aglomeracji poznańskiej, podlegającą różnokierunkowym przekształceniom antropogenicznym, jest zlewnia Junikowskiego Strumienia o powierzchni 48,9 km², którą odwadnia ciek o długości 12,1 km. Celem pracy było rozpoznanie zróżnicowania właściwości fizykochemicznych wody w profilu podłużnym cieku oraz wskazanie źródeł dostawy substancji rozpuszczonych i ognisk zanieczyszczeń w zlewni. Charakterystykę właściwości fizykochemicznych wód Junikowskiego Strumienia przeprowadzono w oparciu o wyniki analiz hydrochemicznych z profilowań hydrochemicznych przeprowadzonych wiosną 2021 r. i latem 2023 r. Na podstawie badań wód Junikowskiego Strumienia wskazano strefy najbardziej narażone na zanieczyszczenia w zlewni, są to: początek cieku w okolicach lotniska Poznań-Ławica, środkowa część zlewni (od ul. Grunwaldzkiej do linii kolejowej Poznań-Berlin) oraz dolny bieg cieku na terenie Lubonia (od autostrady A2 do ujścia cieku do Warty). Wśród ognisk zanieczyszczeń wyróżniają się wody spływu powierzchniowego z zanieczyszczonych powierzchni uszczelnionych, oddziaływanie infrastruktury komunikacyjnej oraz punktowa dostawa ścieków bytowych. Ograniczaniu rozprzestrzenienia zanieczyszczeń i samooczyszczaniu wody sprzyja litologia osadów oraz zbiorowiska roślinne w dwóch seminaturalnych odcinkach doliny rzecznej, tj. w Lasku Marcelińskim i na Szachtach. Skład chemiczny wód

Mazurek M. (2024). Kształtowanie jakości wody w Junikowskim Strumieniu na obszarze aglomeracji poznańskiej. *Czasopismo Geograficzne*, 95(2): 293–329. <https://doi.org/10.12657/czageo-95-13>



Otrzymano/Received: 23.03.2024
Zaakceptowano/Accepted: 21.06.2024

Junikowskiego Strumienia pozwala na ocenę obecnego stopnia antropopresji, co można wykorzystać w zintegrowanym zarządzaniu zasobami wodnymi oraz w zagospodarowaniu zlewni w celu poprawy stanu wody w ciekach w zmieniających się warunkach klimatycznych i urbanistycznych.

Słowa kluczowe: Junikowski Strumień, ogniska zanieczyszczeń, profilowanie hydrochemiczne, skład jonowy, zlewnia miejska.

Abstract

The water quality of small streams has a significant impact on the condition of the entire river system. One of the small catchments in the Poznań metropolitan area subject to multidirectional anthropogenic transformations is the Junikowski Stream catchment with an area of 48.9 km², which is drained by a 12.1-km-long watercourse. The aim of the study was to identify the variability of physicochemical properties of water in the longitudinal profile of the stream and to identify sources of solute supply pollution in the catchment. The characterisation of the physicochemical properties of the waters of the Junikowski Stream was based on the results of hydrochemical analyses from hydrochemical profiling carried out in spring 2021 and summer 2023. On the basis of surveys of the Junikowski Strumień, the zones most vulnerable to pollution in the catchment have been identified: the beginning of the river near Poznań-Ławica Airport, the middle part of the catchment (from Grunwaldzka Street to the Poznań– Berlin railway line) and the lower course of the river in the Luboń area (from A2 motorway to the mouth of the river to the Warta River). Prominent among the sources of pollution are surface runoff water from contaminated sealed surfaces, the impact of traffic infrastructure and point source delivery of domestic wastewater. Limiting the spread of pollutants and self-purification of the water is favoured by the lithology of the sediments and the plant communities in the two seminatural sections of the river valley, i.e. in Lasek Marceliński and Szachty. The chemical composition of the water of the Junikowski Stream allows an assessment of the current degree of anthropopression, which can be used in integrated water resources management and catchment development to improve the river water status under changing climatic and urban conditions.

Keywords: hydrochemical profiling, ionic composition, Junikowski Stream, sources of pollution, urban catchment.

WPROWADZENIE

Aglomeracja poznańska należy do grupy siedmiu najbardziej zurbanizowanych obszarów Polski z silnym natężeniem procesu suburbanizacji, którego wynikiem są duże zmiany środowiskowe i infrastrukturalne. Rozwój przestrzenny aglomeracji wiąże się z rozbudową infrastruktury drogowej i intensyfikacją ruchu komunikacyjnego. Procesy urbanizacji przejawiają się m.in. przyrostem zwartej zabudowy i powierzchni uszczelnionych, lokalizacją zabudowy przy terenach

cennych przyrodniczo, rozczłonkowaniem ciągów korytarzy ekologiczno-turystycznych czy dostosowaniem sieci rzecznej do potrzeb osadnictwa oraz celów gospodarczych i komunikacyjnych (Kaniecki, 1993; Graf, 1995; Kaczmarek i in., 2012; Zwoliński i in., 2018). Wysokie tempo urbanizacji w miastach i na terenach podmiejskich stwarza nowe wyzwania w zakresie zapewnienia dobrej jakości życia, którą w dużym stopniu reguluje obecność wody i zieleni. Równocześnie należy wskazać, że aglomeracja poznańska leży w regionie o dużym deficycie wody w kraju, a małe zasoby wodne tego obszaru są nadmiernie eksploatowane i znacznie zanieczyszczone.

Właściwości fizykochemiczne wód cieków zależą od uwarunkowań naturalnych (geogenicznych), które ulegają modyfikacji pod wpływem antropopresji (Chełmicki, 2001; Anh i in., 2023). Do głównych uwarunkowań geogenicznych można zaliczyć: budowę geologiczną i związane z nią warunki hydrogeologiczne, wykształcenie i rodzaj gleb, warunki klimatyczne oraz szatę roślinną (Kostrzewski i in., 1994). Na obszarach rolniczych, przemysłowych i zurbanizowanych decydującego znaczenia dla chemizmu wody w korycie rzeczonym nabiera dostawa antropogeniczna. Lokalizacja ognisk zanieczyszczeń wynika ze zróżnicowanego pokrycia terenu i użytkowania ziemi w zlewni (Medupin i in., 2020). Do punktowych ognisk zanieczyszczeń zalicza się m.in. dostawę wód pościekowych z oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych oraz zrzuty ścieków bytowych z systemów kanalizacyjnych gospodarstw domowych. Na obszarach miejskich oddziaływanie na jakość wody następuje poprzez zanieczyszczone opady atmosferyczne, które wraz z zanieczyszczeniami gazowymi i aerozolami poprzez depozycję mokrą mogą przyczynić się także do degradacji wód powierzchniowych. Ruch drogowy i kolejowy oraz funkcjonowanie infrastruktury komunikacyjnej przyczynia się ponadto do wprowadzania zanieczyszczeń do powietrza, gleb, wód powierzchniowych i wód gruntowych. Istotnym ogniskiem obszarowych zanieczyszczeń wód powierzchniowych jest spływ powierzchniowy z terenów miejskich i rolniczych. Ponadto do tego typu ognisk zanieczyszczeń można zaliczyć wysypiska i składowiska odpadów oraz magazyny substancji niebezpiecznych (np. składowiska paliw), które są przemywane wodami opadowymi i poprzez odcieki zasilają wody gruntowe i powierzchniowe. Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE (2000) wprowadza konieczność identyfikacji obecnych i potencjalnych zagrożeń w zlewniach, głównie ze strony sektora komunalnego, przemysłowego czy rolniczego. Inwentaryzacja, a następnie kontrola ognisk zanieczyszczeń powinna prowadzić do ich ograniczenia czy nawet likwidacji.

Poznań położony jest nad rzeką Wartą i jej dopływami, m.in.: Główną, Cybiną, Głuszynką, Różanym Strumieniem, Bogdanką, Wirynką i Junikowskim Strumieniem. Wiele mniejszych cieków zostało ujętych w kolektory podziemne, często służąc odprowadzeniu ścieków i wód deszczowych (Kaniecki, 1993; Graf, Wrzeński, 2020). Jednocześnie wzdłuż Warty, Cybiny, Głuszynki, Bogdanki

i Junikowskiego Strumienia rozciągają się cenne tereny przyrodnicze tworzące tzw. kliny zieleni (Poniży, 2010). Na terenie miasta zlokalizowanych jest kilka dużych jezior oraz kilkadziesiąt mniejszych zbiorników wodnych, zarówno pochodzenia naturalnego (Jezioro Kierskie i Jezioro Strzeszyńskie), jak i utworzonych sztucznie (Rusałka i Stawy Sołackie w dolinie Bogdanki, zbiornik Malta na Cybinie, zespół 42 zbiorników poeksploatacyjnych nazywany Szachtami w dolinie Junikowskiego Strumienia).

Wody Warty na terenie Poznania charakteryzują się wysoką zawartością m.in. biogenów, zanieczyszczeń bakteriologicznych i innych substancji niekorzystnie oddziałujących na florę i faunę wodną (Michałkiewicz i in., 2011; Pułyk, 2018; Gołdyn i in., 2019). Zaburzenia naturalnego funkcjonowania obiegu wody w wyniku procesów urbanizacyjnych są szczególnie odczuwalne w zlewniach małych cieków. W 2017 r. dla małych cieków aglomeracji poznańskiej, tj.: Bogdanki, Cybiny, Głównej i Junikowskiego Strumienia wykazano stan chemiczny poniżej dobrego i zły stan wód (Pułyk, 2018). Natomiast w przypadku Różanego Strumienia, zlokalizowanego na północnym obrzeżu Poznania, stan jego wód w 2021 r. był poniżej dobrego (Major i in., 2022). Jakość wody w tych małych ciekach kształtuje również wielkość ładunku zanieczyszczeń w ich odbiorniku, czyli w Warcie.

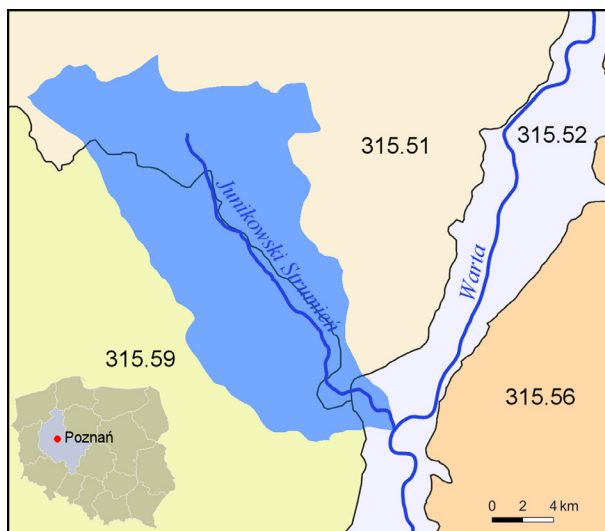
Jedną z małych zlewni w obrębie aglomeracji poznańskiej podlegającą różnokierunkowym przekształceniom antropogenicznym jest zlewnia Junikowskiego Strumienia o powierzchni 48,9 km² (wg MPHP, 2021), którą odwadnia ciek o długości 12,1 km (Mazurek, Abramowicz, 2022). Zlewnia stanowi przykład obszaru silnie przeobrażonego w wyniku zakończonej eksploatacji surowców ceramicznych i intensywnych procesów urbanizacyjnych, a jednocześnie bardzo cennego pod względem przyrodniczym, o czym mogą świadczyć dawne użytki ekologiczne „Strumień Junikowski”, „Kopanina I”, „Kopanina II” (Wrońska-Pilarek, Kluza-Wieloch, 2022). Zmiany struktury pokrycia terenu i użytkowania ziemi w zlewni Junikowskiego Strumienia od połowy XX w. znajdowały odzwierciedlenie w chemizmie wód powierzchniowych, zwłaszcza w zakresie stężeń składników biogenych i zanieczyszczeń organicznych, co przedstawiali m.in. Buczyńska i in. (1985), Gogołek i in. (1995), Gołdyn i in. (1996), Włosik-Bieńczak (2000a), Joniak i in. (2010) oraz Gołdyn i in. (2019) podsumowali stan wód cieków jako mocno zanieczyszczony na całej długości. Potwierdzają to profilowania hydrochemiczne wzdłuż Junikowskiego Strumienia rozpoczęte w 2013 r. i kontynuowane w 2014 i 2021 r. (Biegała, 2014; Mazurek i in., 2022). Badaniem chemizmu wody obejmowano także wody zbiorników poeksploatacyjnych na Szachtach (m.in. Olejniczak, Szeląg, 1980; Gogołek i in., 1995; Masiakowska, 1995; Nowacki, 1995; Szeląg-Wasielewska, Ziętkowiak, 1997; Włosik-Bieńczak, 2000b; Klimaszuk, 2010; Gołdyn i in., 2019; Graf i in., 2022a).

Celem opracowania jest kontynuacja rozpoznania zróżnicowania właściwości fizykochemicznych wód w profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia oraz

wskazanie źródeł dostawy substancji rozpuszczonych i ognisk zanieczyszczeń w zlewni, ze szczególnym uwzględnieniem procesów urbanizacyjnych i związanej z nimi antropopresji. Charakterystykę właściwości fizykochemicznych wód Junikowskiego Strumienia przeprowadzono w oparciu o wyniki analiz hydrochemicznych z profilowań hydrochemicznych przeprowadzonych wiosną 2021 i latem 2023 r.

OBSZAR BADAŃ

Zlewnia Junikowskiego Strumienia położona jest na Pojezierzu Wielkopolskim (315.5, Solon i in., 2018), a przez jej środek (częściowo doliną Junikowskiego Strumienia) wyznaczono granicę między mezoregionami Pojezierza Poznańskiego (315.51) i Wysoczyzny Grodzkiej (315.59). Strefa ujściowa Junikowskiego Strumienia, lewobrzeżnego dopływu Warty, usytuowana jest w mezoregionie Poznański Przełom Warty (315.52, ryc. 1). Zlewnia zlokalizowana jest w aglomeracji poznańskiej, w znacznej części w obrębie gminy miasto Poznań, ale także w gminach: Dopiewo, Komorniki i Tarnowo Podgórne, natomiast dolny bieg Junikowskiego Strumienia przebiega przez gminę miasto Luboń.

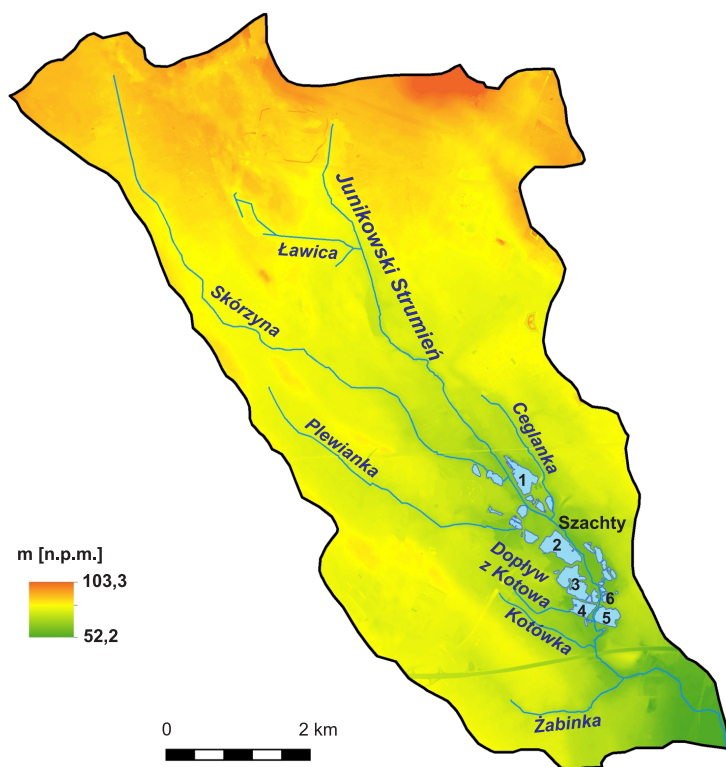


Ryc. 1. Położenie zlewni Junikowskiego Strumienia na tle granic Polski i województwa wielkopolskiego oraz w obrębie makroregionu Pojezierza Wielkopolskiego (315.5)

Objaśnienia: mezoregiony (zróżnicowane kolorami): 315.51 – Pojezierze Poznańskie, 315.52 – Poznański Przełom Warty, 315.56 – Równina Wrzesińska, 315.59 – Wysoczyzna Grodzka; kolorem niebieskim zaznaczono zlewnię Junikowskiego Strumienia

Źródło: Solon i in. (2018).

Obszar badań reprezentuje silnie antropogenicznie przekształcony młodoglacjalny krajobraz nizinny, który obejmuje zróżnicowane hipsometrycznie formy rzeźby lodowcowej i fluwialnej. Najwyższy punkt o rzędnej 103,3 m n.p.m. położony jest w obrębie wzniesienia morenowego, którym przebiega dział wodny, a najniższy punkt o wysokości 52,2 m n.p.m. zlokalizowany jest przy ujściu Junikowskiego Strumienia do Warty (ryc. 2). Średni spadek podłużny Junikowskiego Strumienia wynosi 2,8‰. Dwie główne jednostki morfologiczne, wysoczyznę morenową płaską i równinę wodnolodowcową (sandr ławicki) rozcina rynną subglacjalną odwadnianą przez Junikowski Strumień oraz jego dopływy (ryc. 3). Wśród utworów powierzchniowych dominują piaski i żwiry wodnolodowcowe oraz gliny zwałowe, na których miejscami zalegają piaszczysto-żwirowe osady lodowcowe

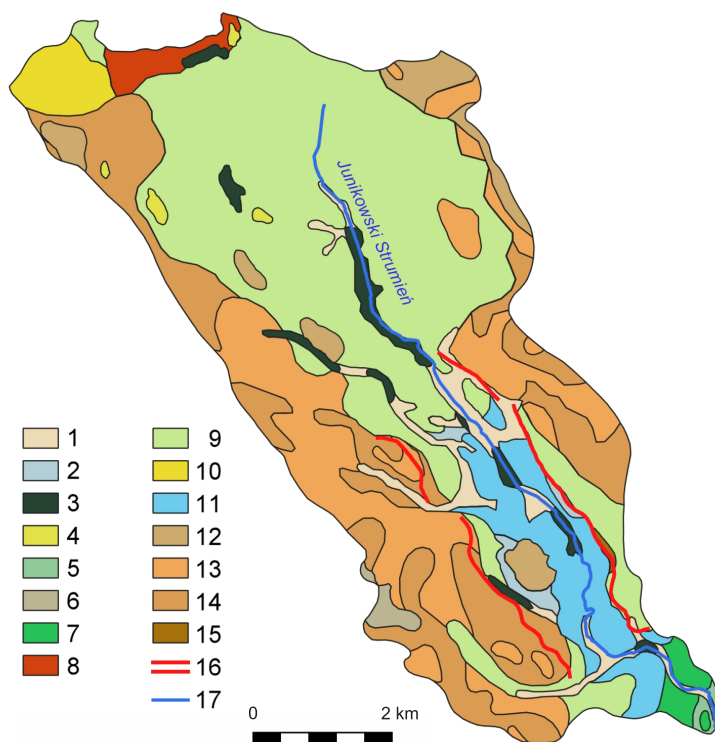


Ryc. 2. Zlewnia Junikowskiego Strumienia: numeryczny model terenu oraz sieć hydrograficzna

Cyframi oznaczono wybrane zbiorniki Szacht: 1 – Staw Baczkowski, 2 – Staw Nowakowski, 3 – Staw Rozlany, 4 – Staw Glabisia, 5 – Staw Glinki Edy, 6 – Staw Parkowy

Źródło: cyfrowy model wysokościowy (dane z projektu ISOK, GUGiK, <https://www.geoportal.gov.pl/>), oprac. graf. M. Majewski.

i eluvia piaszczysto-pyłowe (Chmal, 1997). W rynnne subglacialnej występują mułki i łył zastoiskowe o miąższości dochodzącej do 10–15 m (Krygowski, 1961; Chmal, 1997; ryc. 3). Dna dolin wypełniają torfy i namuły piaszczyste, na których wytworzyły się gleby torfowe, mułowo-torfowe i czarne ziemie (np. w Lasku Marcelińskim). W południowej części zlewni, w odcinku ujściowym, dolina Junikowskiego Strumienia rozcina system teras akumulacyjno-erozyjnych doliny Warty.



Ryc. 3. Mapa litologiczno-geomorfologiczna zlewni Junikowskiego Strumienia

Objaśnienia: 1 – namuły piaszczyste den dolinnych, 2 – namuły piaszczyste den dolinnych na łąłach i mułkach zastoiskowych, 3 – torfy den dolinnych, 4 – namuły piaszczyste zagłębień bezodpływowych, 5 – piaski rzeczne terasów zalewowych 4,0–6,0 m n.p.rz., 6 – eluvia piaszczysto-pyłowe na glinach zwałowych wysoczyzny morenowej, 7 – piaski rzeczne terasów nadzalewowych 6,0–9,0 m n.p.rz., 8 – piaski i żwiry wodnolodowcowe moren martwego lodu, 9 – piaski i żwiry wodnolodowcowe poziomu sandrowego I, 10 – piaski i żwiry, miejscami głązy lodowcowe na glinach zwałowych wysoczyzny morenowej, 11 – łył i mułki zastoiskowe, 12 – piaski lodowcowe wysoczyzny morenowej, 13 – gliny zwałowe zlodowacenia wisły wysoczyzny morenowej, 14 – piaski lodowcowe na glinach zwałowych wysoczyzny morenowej, 15 – gliny zwałowe zlodowacenia warty wysoczyzny morenowej, 16 – rynnna subglacialna, 17 – ciek

Źródło: Chmal (1997), Mazurek i in. (2022, zm.), oprac. graf. J. Biegała i D. Abramowicz.

W zlewni Junikowskiego Strumienia w obrębie czwartorzędowego piętra wodonośnego wykształcone są następujące poziomy wód: gruntowy, międzyglinowy górny i międzyglinowy środkowy (Wijura i in., 2007). Na terenie Poznania poziomy międzyglinowe tworzą piaszczysto-żwirowe utwory fluwioglacjalne oraz osady rzeczne zalegające pomiędzy warstwami glin zwałowych różnych zlodowaceń. Występowanie tych poziomów piętra czwartorzędowego jest ograniczone, gdyż na obszarze badań gliny zwałowe zlodowacenia wisły zalegają najczęściej bezpośrednio na glinach zwałowych zlodowaceń środkowopolskich. Poziom wodonośny międzyglinowy górny występuje w środkowej części doliny pomiędzy łałkami warwowymi a gliną zwałową stadiału Warty, zlodowacenia Odry. Wyeksploatowanie lub znaczne zmniejszenie miąższości łałków spowodowało, że wody z tego poziomu swobodnie zasilają zbiorniki powyrobowiskowe Szacht (Konieczny i in., 1970). Poziom wód gruntowych wykształcony jest głównie w utworach piaszczysto-żwirowych równiny sandrowej oraz w osadach aluwialnych dolin rzecznych.

Wody podziemne ujmowane na terenie zlewni Junikowskiego Strumienia w utworach czwartorzędu należą do klasy hydrochemicznej $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ (Wijura i in., 2007). Pierwszy poziom wodonośny na obszarze sandrowym w górnym oraz dolnym biegu Junikowskiego Strumienia, ze względu na płytkie położenie zwierciadła wód gruntowych (1–5 m p.p.t.), brak izolacji zbiornika wodonośnego oraz dobre warunki migracji jonowej w osadach piaszczysto-żwirowych, cechuje się bardzo wysoką i wysoką podatnością na zanieczyszczenia.

Junikowski Strumień przyjmuje sześć większych dopływów: lewobrzeżną Ceglankę i pięć prawobrzeżnych: Ławicę, Skórzynę (Skórzynkę), Plewiankę, Kotówkę i Żabinkę. Cieki te stanowią część systemu hydrograficznego Poznańskiego Przełomu Warty (Graf, 2012). Gęstość sieci rzecznej wynosi $0,8 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$, natomiast sieci kanalizacyjnej $3,85 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (Graf i in., 2022a).

Badany obszar charakteryzuje się klimatem umiarkowanym o cechach przejściowych. Średnia roczna temperatura powietrza w latach 1991–2020 wynosiła $9,5^\circ\text{C}$ i stanowi jedną z najwyższych wartości w kraju. Średnia roczna suma opadów 539 mm należy do najniższych w Polsce (Półrolniczak, Kolendowicz, 2022).

W strukturze użytkowania ziemi grunty orne zajmują 10% powierzchni zlewni, lasy 13%, a parki i zieleńce 30% (w tym: Cmentarz Komunalny nr 2 Junikowo i ogródki działkowe). Grunty orne zlokalizowane są w zachodniej części zlewni, w górnej części zlewni Skórzyny, w zlewniach Plewianki i Kotówki. Funkcjonujące gospodarstwa rolne zajmują się przede wszystkim produkcją warzyw i roślin ozdobnych (rośliny doniczkowe, kwiaty cięte) oraz szkółkarstwem. W mniejszym stopniu prowadzona jest uprawa zbóż, ziemniaków, a także hodowla zwierząt gospodarskich, w tym koni. Tereny antropogeniczne obejmujące obszary zabudowy miejskiej zwartej i luźnej, tereny komunikacyjne, miejsca eksploatacji odkrywkowej stanowią w sumie 45%. Udział wód powierzchniowych w zlewni wynosi 2% (BDOT, 2021; ryc. 3). Każdy z tych typów użytkowania wiąże się z obecnością róż-

nych ognisk zanieczyszczeń, które mają wpływ na jakość wody w Junikowskim Strumieniu i jego dopływach.

W środkowej części zlewni Junikowskiego Strumienia doszło do silnych przekształceń sieci odwodnienia w wyniku eksploatacji łąk warwowych i glin żwawych, trwającej od lat 30. XIX w. do lat 60., a niekiedy nawet do końca lat 90. XX w. Po zaprzestaniu eksploatacji w większości wyrobisk doszło do samoczynnego powstania zbiorników wodnych powyrobiskowych, które obecnie stanowią istotny element krajobrazu miejskiego, wpływają na klimat lokalny, pełnią ważną funkcję retencyjną oraz rekreacyjną (Graf, 1995, 2014; Tritt i in., 2022). W obrębie Szacht Junikowski Strumień przepływa równoległe do brzegów Stawu Baczkowskiego, a następnie Stawu Nowakowskiego. Poprzez przepusty z korytem połączone są tzw. stawy parkowe. Następnie ciek płynie w wąskim pasie pomiędzy Stawem Głabisa i Stawem Edy. Poprzez Odpływ z Kotowa strumień bezpośrednio zasilany jest ze Stawu Głabisa (ryc. 2)

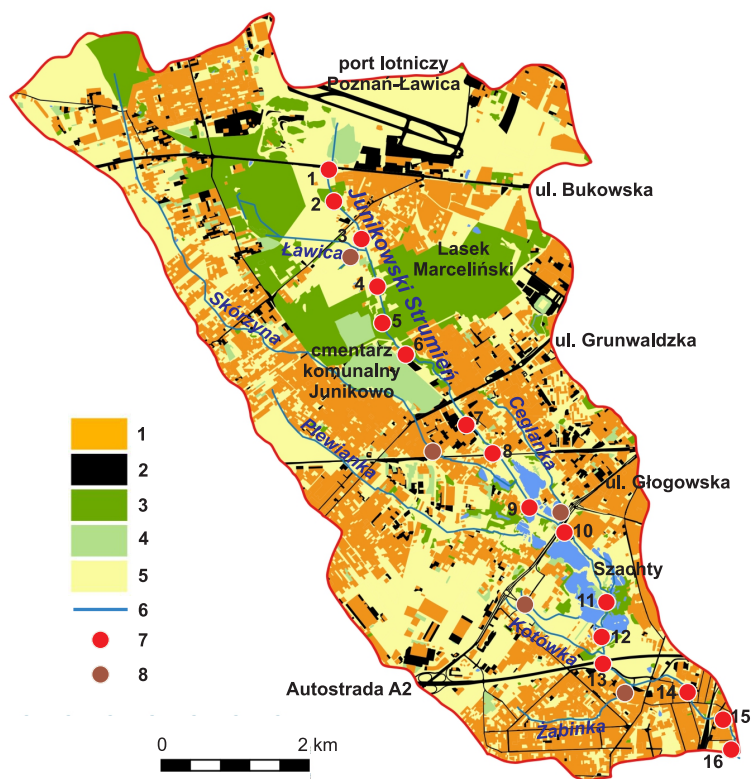
W zlewni Junikowskiego Strumienia wpływ urbanizacji widoczny jest w przekształceniach naturalnego charakteru zlewni oraz doliny rzeki i obejmuje zwiększenie powierzchni uszczelnionych kosztem naturalnych obszarów retencyjnych, regulację rzeki i zabudowę brzegów koryta oraz włączenie odcinka źródłowego strumienia w podziemny system drenażu (Graf i in., 2022b). Rzeka na znacznej długości płynie w uregulowanym korycie, pozbawionym stref ekotonowych, często w bardzo bliskim sąsiedztwie zabudowy mieszkalnej i infrastruktury drogowej. W górnej części doliny Junikowskiego Strumienia (obszar Lasku Marceleńskiego) zachowała się roślinność zbliżona do naturalnej obejmująca zbiorowiska wodne, szuwarowe i łąkowe oraz bagienne lasy z olszą (dawny użytek ekologiczny „Strumień Junikowski”; Borysiak, 2001; Danielewicz, 2022). Zmianom uległ także reżim hydrologiczny Junikowskiego Strumienia, który charakteryzuje się skróceniem czasu koncentracji fali wezbraniowej, dużą częstością wezbrań, a także gwałtownymi wahaniami przepływów wody (Kowalczak i in., 2010). Intensywna urbanizacja zlewni i związany z nią wysoki współczynnik spływu powierzchniowego (0,51) oraz postępujące zmiany klimatu skutkujące m.in. wzrostem częstości występowania opadów nawałnych powodują, że predyspozycje i podatność zlewni Junikowskiego Strumienia na występowanie miejskich powodzi błyskawicznych w ostatnich latach zdecydowanie się zwiększyły (Jawgiel, 2021; Graf i in., 2022b), co sprzyja szybkiej dostawie zanieczyszczeń wraz z wodami spływu powierzchniowego do koryt rzecznych i prowadzi do obniżenia jakości wód powierzchniowych.

Średni roczny przepływ wody w Junikowskim Strumieniu w latach 1991–1992 kształtował się w granicach od $17 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (górnny bieg), poprzez około $80\text{--}90 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w odcinku środkowym, do około $100\text{--}110 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dolnym biegu, w okolicach Lubonia (Graf i in., 2022b). Przy ujściu do Warty przepływ strumienia osiągnął wartość $\text{SSQ} = 130 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ustalono pozostałe przepływy charakte-

rystyczne kształtowały się następująco: średni niski przepływ $SNQ = 21 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast średni wysoki przepływ $SWQ = 1150 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Kowalczak i in., 2010).

METODY BADAŃ

Dla rozpoznania zróżnicowania przestrzennego składu chemicznego wód wzdłuż biegu Junikowskiego Strumienia zastosowano metodę profilowania hydrochemicznego. Charakterystykę właściwości fizykochemicznych wód Junikowskiego Strumienia przeprowadzono w oparciu o badania wykonane 30 czerwca i 1 lipca 2023 r., które zestawiono z wynikami badań z 17 i 18 maja 2021 r. (Mazurek i in., 2022). Profilowania zostały przeprowadzone w godzinach 9:00–17:00, w jednorodnych warunkach hydrologicznych w czasie pomiarów. Badania stanowią kon-

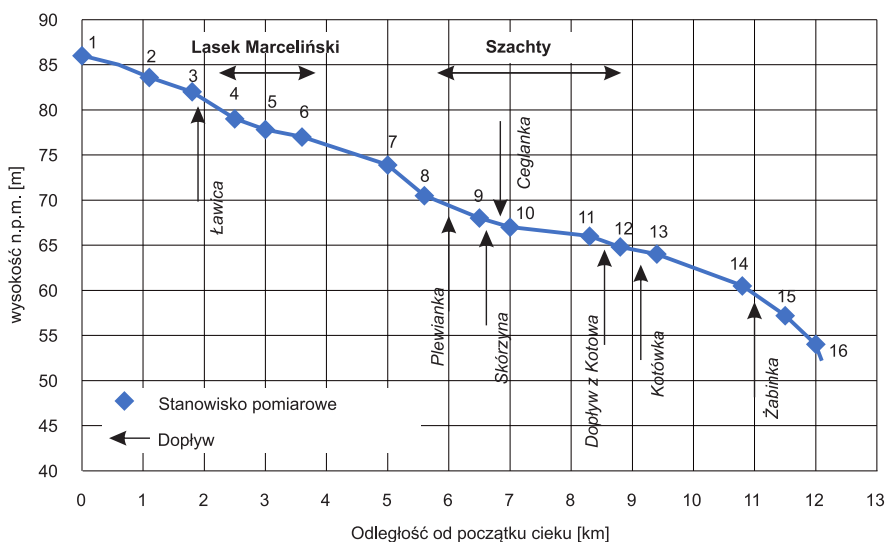


Ryc. 4. Lokalizacja stanowisk pomiarowych w zlewni Junikowskiego Strumienia na tle pokrycia terenu i użytkowania ziemi

Objaśnienia: 1 – zabudowa, 2 – drogi i tereny uszczelnnione, 3 – lasy, 4 – parki i zieleńce, 5 – grunty orne, 6 – cieki, 7 – stanowiska pomiarowe zlokalizowane na Junikowskim Strumieniu, numeracja stanowisk zgodna z tab. 1, 8 – stanowiska pomiarowe na dopływach

Źródło: BDOT (2021), Mazurek i in. (2022, zmodyfikowane).

tynuację prac rozpoczętych w październiku 2013 r., kiedy wyznaczono 16 stanowisk poboru prób wody (Biegała, 2014; Mazurek i in., 2022; ryc. 4, 5). Stanowiska pomiarowe zostały zlokalizowane w profilu podłużnym cieku z uwzględnieniem rodzaju pokrycia terenu i użytkowania ziemi oraz ich dostępności (mosty, skrzyżowania dróg itp.). Wybrane stanowiska usytuowane są na terenach zabudowanych, leśnych (Lasek Marceliński), łąkowych i przy głównych szlakach komunikacyjnych (ul. Głogowska, autostrada A2). Takie rozmieszczenie stanowisk pozwoliło na zarejestrowanie zmian poszczególnych parametrów środowiska przyrodniczego wraz z biegiem cieku oraz wskazanie obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenia (tab. 1). Podczas profilowań pobrano także próby wody z dopływów: Ławicy, Skórzyny, Ceglanka, Plewianki, dopływu z Kotowa i Żabinka celem stwierdzenia ich wpływu na jakość wód w głównym cieku. W zależności od stanu wody i zarośnięcia koryta, natężenie przepływu wody w wybranych stanowiskach zmierzono metodą konduktometryczną lub stosując elektromagnetyczny młynek hydrometryczny Valeport.



Ryc. 5. Lokalizacja stanowisk pomiarowych na tle profilu podłużnego Junikowskiego Strumienia

Źródło: opracowanie własne.

Do charakterystyki zmienności czasowej jakości wód Junikowskiego Strumienia wykorzystano także dane z lat: 1990, 1996–2010, 2014 i 2017 udostępniane przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, od 2019 r. przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska dla punktu pomiarowo-kontrolnego (kod PL02S0501_0852), który jest zlokalizowany w odcinku ujściowym cieku w Luboniu.

Tabela 1. Charakterystyka stanowisk pomiarowych w profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia (Mazurek i in., 2022, uzup.)

Lp.	Miasto	Kilometraż [km]	Stanowisko	Pokrycie terenu i użytkowanie ziemi Potencjalne ogniska zanieczyszczeń	Budowa geologiczna	Cechy hydrograficzne
1	Poznań	0,6	ul. Bukowska	lotnisko, droga szybkiego ruchu, ogródki działkowe, zabudowa mieszkaniowa	piaski i żwiry wodnolodowcowe	zasilanie przez wody gruntowe z sandru ławickiego
2		1,1	ul. Witnicka, mostek	zabudowa mieszkaniowa, obszar zielni miejskiej, ogródki działkowe	piaski i żwiry wodnolodowcowe	zasilanie przez wody gruntowe z sandru ławickiego
3		1,8	ul. Głowicka	zabudowa mieszkaniowa, obszar łąkowy	piaski i żwiry wodnolodowcowe, torfy	zasilanie przez wody gruntowe z sandru ławickiego
4		2,5	Lasek Marceliński	obszar łąkowy, tereny podmokłe	piaski i żwiry wodnolodowcowe, torfy	zasilanie przez wody gruntowe z sandru ławickiego, ujście Ławicy, obszary zmeliorowane
5		3,0	Lasek Marceliński	obszar leśny, tereny podmokłe, torfowiskowe, tereny rekreacyjne	piaski i żwiry wodnolodowcowe, torfy	zasilanie przez wody gruntowe z sandru ławickiego, torfianki, podpiętrzenie wody przez działalność bobrów
6		3,6	Cmentarz Junikowski	obszar leśny, tereny podmokłe, zabudowa usługowa, Cmentarz Komunalny nr 2 Junikowo	piaski i żwiry wodnolodowcowe, torfy	zasilanie przez wody gruntowe z sandru ławickiego

Lp.	Miasto	Kilometraż [km]	Stanowisko	Pokrycie terenu i użytkowanie ziemi Potencjalne ogniska zanieczyszczeń	Budowa geologiczna	Cechy hydrograficzne
7	Poznań	5,0	Elektromontaż – parking	zabudowa przemysłowo-usługowa, Cmentarz Komunalny nr 2 Junikowo	piaski i żwiry wodnolodowcowe	system kanalizacji deszczowej
8		5,6	ul. Miśnieńska	zabudowa mieszkaniowa, linia kolejowa	piaski i żwiry wodnolodowcowe	system kanalizacji deszczowej, obszary zmeliorowane
9		6,5	ul. Wykop	obszar łąkowy, ekosystemy wodne, tereny leśne	iły i mułki zastoiskowe	zasilanie wodami z poziomu międzyglinowego górnego, obszar Szacht, obszary zmeliorowane, ujście Skórzyny, Ceglanki, połączenie Plewianki poprzez stawy
10		7,0	ul. Głogowska	zabudowa mieszkaniowa, droga szybkiego ruchu, obszar łąkowo-leśny, ekosystemy wodne	iły i mułki zastoiskowe	zasilanie wodami z poziomu międzyglinowego górnego, odwodnienie ul. Głogowskiej, obszar Szacht
11		8,3	ul. Żabia Grobla	obszar łąkowo-leśny, pola uprawne, tereny podmokłe, ogródki działkowe, zabudowa mieszkaniowa, ekosystemy wodne, tereny rekreacyjne (łowiska, hodowla koni)	iły i mułki zastoiskowe, glina zwałowa	zasilanie wodami z poziomu międzyglinowego górnego, obszar Szacht, połączenie ze stawami, podpiętrzenie wody przez działalność bobrów

Lp.	Miasto	Kilometraż [km]	Stanowisko	Pokrycie terenu i użytkowanie ziemi Potencjalne ogniska zanieczyszczeń	Budowa geologiczna	Cechy hydrograficzne
12	Luboń	8,8	ul. Niezłomnych	obszar łąkowy, zbiorniki poeksploatacyjne, ogródki działkowe, zabudowa mieszkaniowa	iłły i mułki zastoiskowe, glina zwałowa	zasilanie wodami z poziomu międzygłównego górnego, ujście dopływu z Kotowa, obszar Szacht
13		9,4	Park Papieski	autostrada A2, obszar zieleni miejskiej, ogródki działkowe, tereny trawiaste	iłły i mułki zastoiskowe, glina zwałowa	obszar Szacht, ujście Kotówki, odwodnienie pasa autostrady A2
14		10,8	ul. Puszkina	zabudowa mieszkaniowa, obszar zieleni miejskiej, tereny podmokłe	piaski rzeczne	zasilanie przez wody gruntowe, ujście Żabinki, system kanalizacji deszczowej i komunalnej
15		11,5	Osiedle Nad Wartą	zabudowa mieszkaniowa, przemysłowo-usługowa, infrastruktura drogowa	piaski rzeczne	zasilanie przez wody gruntowe, system kanalizacji deszczowej i komunalnej, odwodnienie linii kolejowej
16		12,0	ul. Jachtowa	zabudowa mieszkaniowa, obszar zieleni miejskiej	piaski rzeczne	zasilanie przez wody gruntowe, system kanalizacji deszczowej, ujście do Warty

Źródło: opracowanie własne.

W celu określenia jakości wód Junikowskiego Strumienia zmierzono bezpośrednio w terenie następujące wskaźniki: temperaturę wody (T_w), odczyn (pH) i przewodność elektrolityczną właściwą (PEW w 25°C). Ponadto w laboratorium hydrochemicznym oznaczono stężenia następujących kationów i anionów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} oraz krzemionkę SiO_2 (tab. 2).

Tabela 2. Metody analityczne zastosowane w analizach laboratoryjnych

Wskaźniki	Jednostka	Metody analityczne
pH	[-]	elektrometryczna, potencjometria
Przewodność elektrolityczna właściwa PEW	$\mu\text{S cm}^{-1}$	konduktometria w temperaturze odniesienia 25°C
Wapń Ca^{+2}		miareczkowa kompleksometryczna
Magnez Mg^{+2}		płomieniowa spektrometria absorpcji atomowej FAAS
Sód Na^+		płomieniowa spektrometria emisji atomowej FAES
Potas K^+		FAES
Wodorowęglany HCO_3^-		miareczkowa wobec oranżu metylowego, alkacymetryczna
Siarczany SO_4^{-2}	mg dm^{-3}	chromatografia jonowa
Chlorki Cl^-		
Azotany NO_3^-		
Fosforany PO_4^{-3}		
Krzemionka SiO_2		spektrofotometryczna, redukcja do błękitu krzemowo-molibdenowego

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Wyniki testu Manna-Whitneya świadczące o braku różnic między wartościami wskaźników fizykochemicznych wody podczas profilowań w 2021 i 2023 r.

Wskaźnik	Poziom istotności <i>p</i>
Tw	0,00007
pH	0,65070
Ca	0,00346
Mg	0,04757
Na	0,34140
K	0,24250
HCO_3	0,59770
Cl	1,00000
SO_4^{2-}	0,08632
NO_3	0,00511
PO_4^{3-}	0,00690
PEW	0,00628

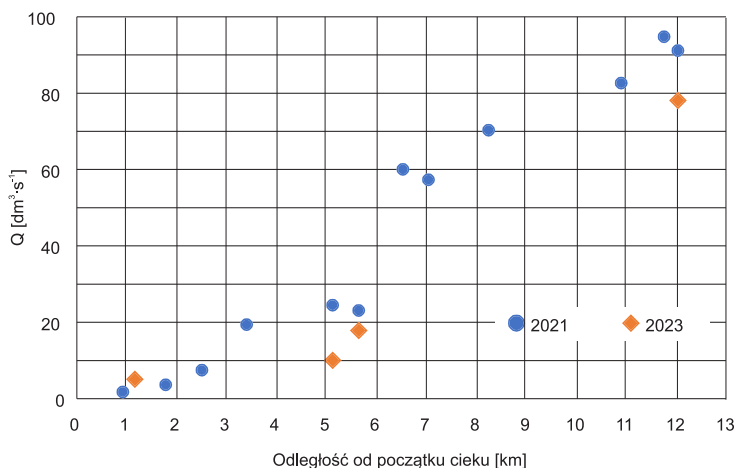
Pogrubioną czcionką zaznaczono różnice istotne na poziomie $p < 0,05$.

Źródło: opracowanie własne.

Mineralizację wody obliczono jako sumę oznaczonych jonów. Analizy laboratoryjne przeprowadzono w laboratorium Stacji Geoekologicznej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Storkowie oraz w laboratorium Zakładu Geoinformacji Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Test nieparametryczny Manna-Whitneya dla prób niezależnych wykazał brak istotnych różnic między wartościami wskaźników fizykochemicznych, takich jak: pH, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ podczas profilowań hydrochemicznych (tab. 3).

Warunki hydrometeorologiczne podczas pomiarów terenowych

Pomiary terenowe przeprowadzono 17 i 18 maja 2021 r. oraz 30 czerwca i 1 lipca 2023 r. Średnie miesięczne sumy opadów w tych miesiącach są bardzo zbliżone, tj.: w maju – 54 mm, a w czerwcu – 58 mm (dane IMGW-PIB). Natomiast w roku 2021 suma opadów w maju wyniosła 78 mm, na co złożył się m.in. opad o wysokości 30 mm, który wystąpił w dniu 2 maja. Miesięczna suma opadów w czerwcu 2023 r. była niższa od wartości z wielolecia i wyniosła 40 mm. Zróżnicowanie wysokości opadów w miesiącach poprzedzających pomiary odzwierciedliło się w zarejestrowanych przepływach wody w Junikowskim Strumieniu podczas badań. W odcinku źródłowym ciek w dniach 17 i 18 maja 2021 r. przepływ wody wynosił 1,8 dm³·s⁻¹ (stanowisko 1, ryc. 4), natomiast w dniach 30 czerwca i 1 lipca 2023 r. na 1,1 km biegu (stanowisko 2) zmierzono 5,1 dm³·s⁻¹. W dolnym biegu ciek, przy ujściu do Warty (12,0 km), w trakcie pomiarów w 2021 r. przepływ wody wzrósł do 90,1 dm³·s⁻¹, w 2023 r. zaś osiągnął 78,1 dm³·s⁻¹ (ryc. 6).



Ryc. 6. Natężenie przepływu wody (Q) Junikowskiego Strumienia w profilu podłużnym w maju 2021 r. oraz czerwca/lipcu 2023 r.

Źródło: opracowanie własne.

Junikowski Strumień odwadniający obszar zurbanizowany zasilany jest wodami gruntowymi i wodami drugiego poziomu wodonośnego międzyglinowego górnego (Graf i in., 1995), bezpośrednio wodami deszczowymi, wodami spływu powierzchniowego, ale także przez wody pochodzące z odwodnienia linii komunikacyjnych, epizodyczne zrzuty z kanalizacji deszczowej i punktowe zrzuty ścieków bytowych-gospodarczych.

Sumaryczne spływy wód deszczowych do Junikowskiego Strumienia w 2010 r. były oceniane na około $4500 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast przyszłe potrzeby dotyczące prognozowanych wielkości odprowadzania wód deszczowych oceniono dodatkowo na około $2200 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, nawet zakładając czasową retencję wód deszczowych w zbiornikach zlokalizowanych w zlewni Junikowskiego Strumienia (Kowalczak i in., 2010). Te zróżnicowane źródła zasilania na obszarach miejskich współcześnie kształtują reżim odpływu rzecznoego (Bartnik, Jokiel 2022), a także jakość jego wody.

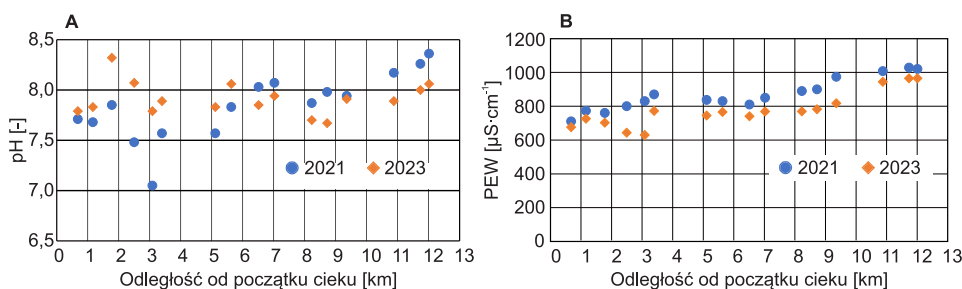
WYNIKI I DYSKUSJA

Zmiany właściwości fizykochemicznych wody w profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia

Chemizm wód rzecznych w profilu ujściowym zamykającym zlewnię Junikowskiego Strumienia w Luboniu stanowi wypadkową oddziaływania wszystkich źródeł dostawy i dróg przepływu wody z substancjami rozpuszczonymi w zlewni topograficznej i podziemnej. Wyniki monitoringu operacyjnego wykazały, że w 2017 r. Junikowski Strumień miał wody o słabym potencjale ekologicznym i stan chemiczny poniżej dobrego (Pułyk, 2018). Wysoka przewodność elektrolityczna właściwa (w okresie 1990–2017 średnia roczna PEW w 20°C – $996 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), określająca zawartość substancji rozpuszczonych w wodzie wskazuje na utrzymującą się dostawę zanieczyszczonych antropogenicznie wód do koryta Junikowskiego Strumienia. W ostatnich latach obserwuje się spadek stężeń składników biogennych, tj.: azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego. W 2017 r. w ujściowym odcinku strumienia średnie miesięczne stężenia azotu ogólnego mieściły się w przedziale $3,1\text{--}5,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a fosforu ogólnego $0,06\text{--}0,14 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Na podstawie punktowego monitorowania jakości wody w korycie rzecznoym trudno wnioskować o przestrzennym zróżnicowaniu źródeł dostawy substancji rozpuszczonych w zlewni. Przeprowadzenie profilowania hydrochemicznego umożliwia rozpoznanie różnych ognisk dostawy zanieczyszczeń wzdłuż biegu rzeki oraz prześledzenie zachodzących zmian chemizmu wody (Ziułkiewicz i in., 2016; Bagrowicz i in., 2017). Wartości pH podczas profilowań hydrochemicznych w latach 2021 i 2023 pozwoliły zaliczyć wody Junikowskiego Strumienia do wód słabo i umiarkowanie zasadowych (wartości pH w granicach $7,1\text{--}8,4$; 34% ponad-

normatywnych pomiarów wg Dz.U. 2021.1475 znalazło się poza zakresem 7,0–7,9; ryc. 7A). Badania wykazały, że na całej długości wody Junikowskiego Strumienia charakteryzują się bardzo wysoką przewodnością elektrolityczną w zakresie 630–1028 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (tab. 4). Najniższe wartości (minima: wiosną 2021 – 710 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, latem 2023 – 630 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) odnotowane zostały w górnym odcinku cieku (ryc. 7B). Test Manna-Whitneya wykazał wystąpienie istotnych różnic dla wartości PEW



Ryc. 7. Zróżnicowanie wskaźników fizykochemicznych wód w profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia podczas profilowań hydrochemicznych w latach 2021 i 2023: A – pH, B – przewodności elektrolitycznej właściwej PEW

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Właściwości fizykochemiczne wód Junikowskiego Strumienia z profilowań hydrochemicznych dla 16 stanowisk pomiarowych w latach 2021 i 2023

Wskaźnik	Jednostka	2021				2023					
		średnia	min.	maks.	SD	Cv [%]	średnia	min.	maks.	SD	Cv [%]
Tw	°C	15,1	11,7	17,0	1,6	10,3	18,9	13,5	22,0	2,3	12,0
pH	[–]	7,7*	7,1	8,4	$2 \cdot 10^{-5} \text{H}^+$	4,2	7,9*	7,7	8,3	$4 \cdot 10^{-5} \text{H}^+$	2,1
PEW	$\mu\text{S cm}^{-1}$	868	710	1028	96	11	776	630	965	104	13
Ca ²⁺		122,4	97,0	140,0	10,4	8,5	110,4	96,6	128,7	10,5	9,5
Mg ²⁺		13,2	10,6	17,0	2,0	15,1	11,1	6,5	14,3	2,5	22,9
Na ⁺		45,5	19,0	74,0	17,2	37,8	39,4	23,0	61,9	14,2	36,0
K ⁺		5,0	2,0	6,8	1,5	29,8	5,4	2,2	7,0	1,7	31,1
HCO ₃ [–]		279,1	247,7	316,0	21,2	7,6	275,6	211,1	378,8	47,0	17,1
Cl [–]	mg dm ^{–3}	70,5	25,0	135,0	33,2	47,1	76,2	19,5	144,4	44,5	58,4
SO ₄ ^{2–}		94,6	71,0	120,0	13,9	14,7	104,3	23,2	136,4	33,7	32,3
NO ₃ [–]		6,1	0,9	14,7	3,4	56,0	2,9	0,5	8,0	2,3	80,2
PO ₄ ^{3–}		0,15	0,02	0,15	0,04	66,7	0,15	0,01	0,31	0,1	65,1
SiO ₂				bd			9,5	4,3	17,5	4,0	42,1

SD – odchylenie standardowe, Cv – współczynnik zmienności.

* wartość uzyskana w oparciu o stężenie jonów wodorowych.

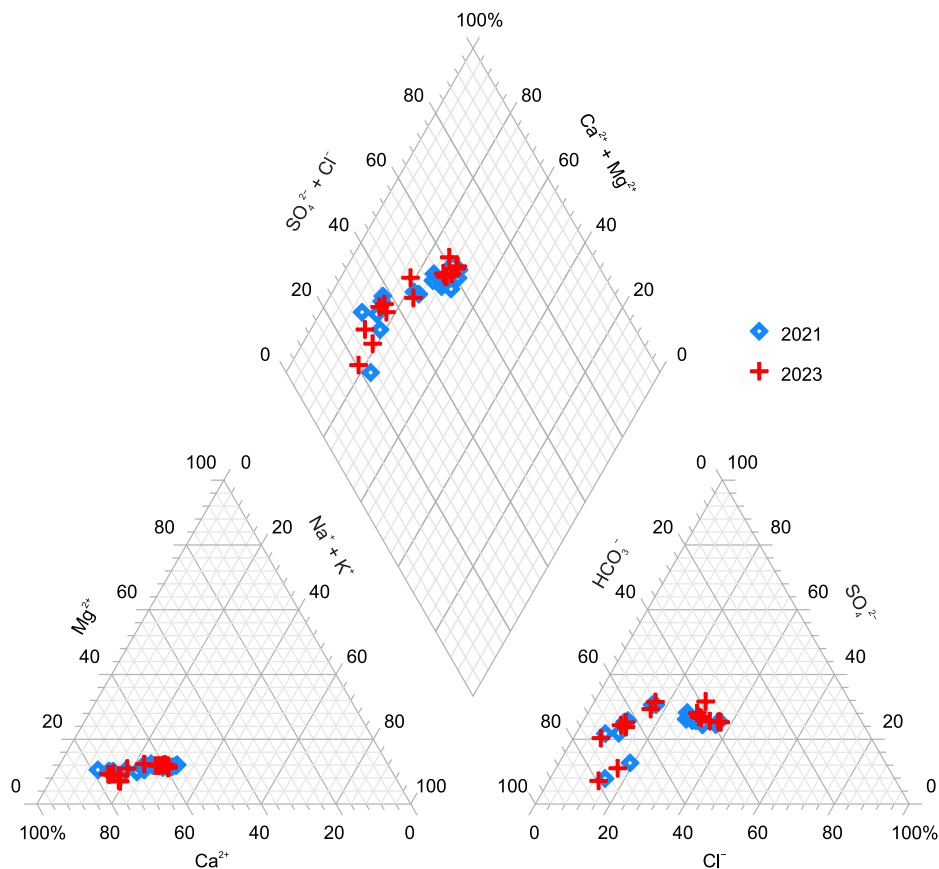
Źródło: opracowanie własne.

z dwóch profilowań hydrochemicznych, co może wskazywać na udział różnych, zmiennych ognisk kształtujących chemizm wód Junikowskiego Strumienia (tab. 3). Profilowanie hydrochemiczne w 2021 r. przeprowadzone było po okresie wysokich miesięcznych opadów, przy wyższym natężeniu przepływu (por. ryc. 6), a zanotowane wyższe wartości przewodności właściwej wody mogą wynikać z dostawy do koryta rzecznych składników pochodzących z ognisk obszarowych w zlewni, których zasięg poszerzał się wraz ze wzrostem obszaru zasilania koryta i wzrostem przepływu. Natomiast niższe wartości stężeń składników chemicznych przy niższym natężeniu przepływu wody mogą także wskazywać na poprawę jakości wód rzecznych podczas profilowania w 2023 r.

W profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia wraz z oddalaniem się od wypływu z betonowego rurociągu o długości 1400 m (stanowisko 1) obserwowano wzrost przewodności właściwej z zaznaczającymi się na krótkich odcinkach skokami wartości (np. w 2021 r. wzrost PEW na odcinku 3,1–3,4 km przy Cmentarzu Komunalnym nr 2 Junikowo, a w 2023 r. spadek PEW pomiędzy 1,3 a 2,5 km na terenie Lasku Marcelesińskiego; ryc. 5B). Od 7 km biegu cieku, po przepłynięciu przepustem pod ul. Głogowską, postępował ciągły wzrost zawartości substancji rozpuszczonych wyrażający się wyższymi wartościami PEW. Na terenie miasta Lubonia wody cieku miały najwyższe wartości przewodności elektrolitycznej, która przy ujściu do Warty osiągnęła poziom mieszczący się w zakresie średnich rocznych zarejestrowanych przez GIOŚ w Poznaniu w latach 1990–2017 (Mazurek i in., 2022). Wysokie wartości PEW wykazywały także wody dopływów. W roku 2021 wartości te wynosiły w wodach: Ławicy $868 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, Ceglanki $1058 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, dopływu z Kotowa $974 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i Żabinki $870 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, natomiast w roku 2023 w Skórzynie $617 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, Ceglance $932 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, dopływie z Kotowa $791 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i Żabince $825 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

W składzie jonowym podczas dwóch profilowań hydrochemicznych główny anion wodorowęglanowy wykazywał stężenia w przedziale od 211,1 do 378,8 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tab. 4). Stanowił on 19,7–38,9% sumy anionów i kationów, przy znaczącym udziale siarczanów (3,2–16,7%) i chlorków (3,6–19,3%, ryc. 8). Natomiast wśród kationów najwyższe stężenie osiągnęły kationy wapnia, mieściły się bowiem w zakresie 96,6–140,0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, a udział wapnia w sumie anionów i kationów wynosił od 27,3 do 42,4%. Z pozostałych kationów sód występował w stężeniach od 19,0 do 74,0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, co stanowiło 5,4–15,1% sumy anionów i kationów (ryc. 8). Pod względem hydrochemicznym wody badanych stanowisk według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłonskiego (Macioszczyk, 1987) przyporządkowano do następujących klas hydrochemicznych (ryc. 9):

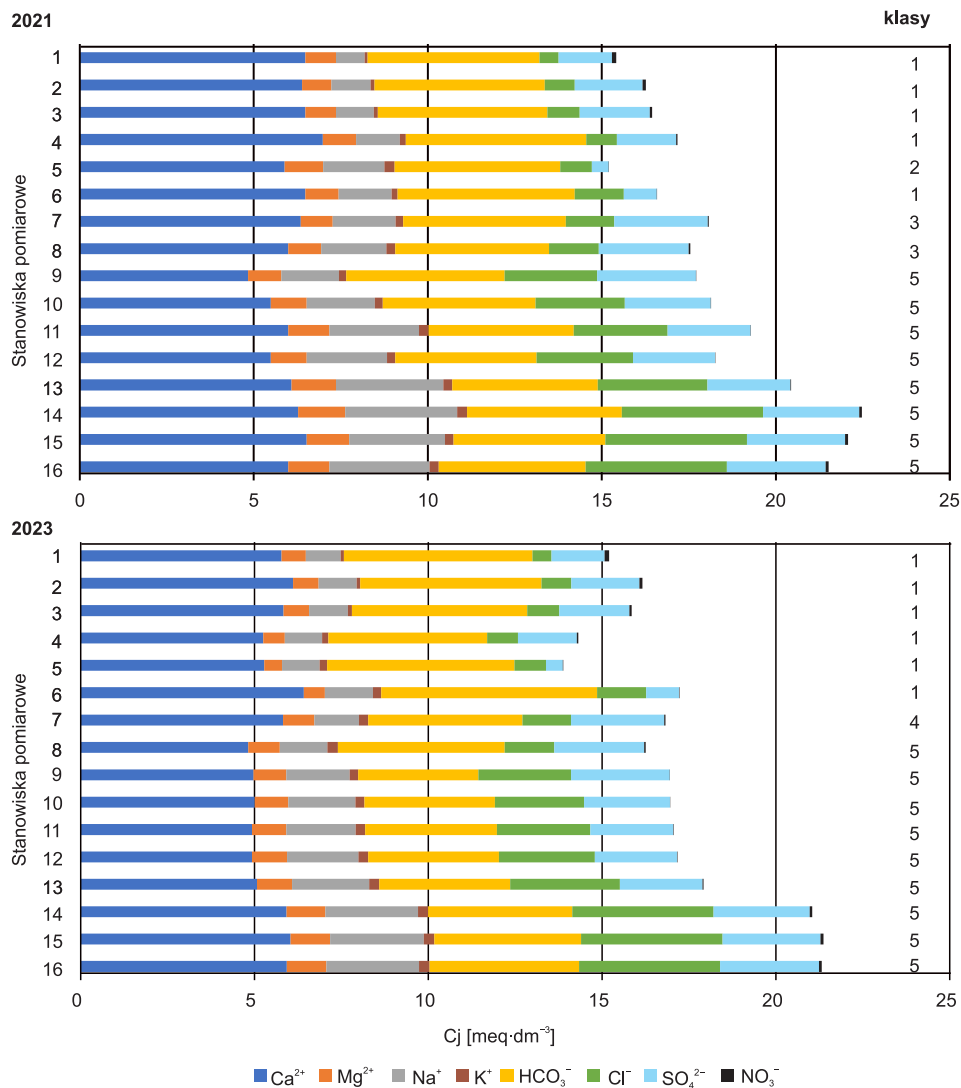
- HCO_3^- - Ca^{2+} (2021 r.: stanowiska 1–4, 6, 2023 r.: stanowiska 1–6) i HCO_3^- - Ca^{2+} - Na^+ (2021 r.: stanowisko 5),
- HCO_3^- - SO_4^{2-} - Ca^{2+} - Na^+ (2021 r.: stanowiska 7–8) i HCO_3^- - SO_4^{2-} - Ca^{2+} (2023 r.: stanowisko 7),
- HCO_3^- - SO_4^{2-} - Cl^- - Ca^{2+} - Na^+ (2021 r.: stanowiska 9–16, 2023 r.: stanowiska 8–16).



Ryc. 8. Skład jonowy wód Junikowskiego Strumienia z profilowań hydrochemicznych w latach 2021 i 2023

Źródło: opracowanie własne.

Wody górnego biegu ciekę należały do klasy $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ uznawanej za charakterystyczną dla zlewni zbudowanych z osadów polodowcowych zasobnych w węglan wapnia (Kostrzewski i in., 1993, 1994; Mazurek, 2010). Natomiast klasy wielojonowe reprezentują wody o wyższej przewodności elektrolitycznej oraz udziale składników pochodzących z ognisk antropogenicznych. Znajduje to odzwierciedlenie w rosnącym wraz z biegiem ciekę ładunkiem materiału rozpuszczonego. W odcinku źródłiskowym, w sąsiedztwie Portu Lotniczego Ławica, przy wypływie wody z rurociągu w dniu pomiaru w 2021 r. dostarczony został do koryta ładunek materiału rozpuszczonego wynoszący około $1 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ ($0,1 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$), natomiast do ujścia do rzeki Warty dotarł ładunek: w 2021 r. w wysokości $64,7 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ ($5,6 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$, $0,11 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$), a w 2023 r. $59,1 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ ($5,1 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$, $0,1 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$).



Ryc. 9. Skład jonowy C_j w poszczególnych stanowiskach pomiarowych w profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia podczas profilowań hydrochemicznych w latach 2021 i 2023

Cyframi oznaczono klasy hydrochemiczne wody: 1 – HCO₃⁻-Ca²⁺, 2 – HCO₃⁻-Ca²⁺-Na⁺, 3 – HCO₃⁻-SO₄²⁻-Ca²⁺-Na⁺, 4 – HCO₃⁻-SO₄²⁻-Ca²⁺, 5 – HCO₃⁻-SO₄²⁻-Cl⁻-Ca²⁺-Na⁺

Źródło: opracowanie własne.

Stężenia wapnia i wodorowęglanów charakteryzowały się w okresach przeprowadzonych pomiarów podobnymi współczynnikami zmienności jak przewodność elektrolityczna (tab. 4). Te dwa dominujące jony wykazują zmienny

przebieg w profilu podłużnym, najwyższe stężenia odnotowano w górnym i dolnym biegu ciek, niższe stężenia występowały m.in. na terenie Szacht (ryc. 9). Zawartość i proporcje makrojonów zależą w zlewniach naturalnych głównie od czynników litosferycznych i pedosferycznych, jednak relacje te ulegają zdecydowanej zmianie w wodach pozostających pod wpływem działalności człowieka. Wzrost stężenia Ca^{+2} na terenach zurbanizowanych może wynikać z dopływu do koryta zanieczyszczeń komunalnych i przemysłowych oraz stanowić rezultat dostawy węglanu wapnia wymywanego z materiałów użytych do budowy dróg, parkingów, chodników i budynków (Ciupa, 2009) bądź nawierzchni lotniskowych (Kowalska, Misztal, 2016). W Poznaniu podwyższone stężenia wapnia wykazują również gleby trawników przyulicznych i parków miejskich, a w przypadku zlewni Junikowskiego Strumienia obszary te zlokalizowane są w górnej części doliny (3,4–5 km biegu) i w Luboniu (Lis, Pasieczna, 2005).

Wraz z oddalaniem się od obszaru źródłowego w wodach Junikowskiego Strumienia odnotowano wzrost sumy makroskładników w zakresie kationów sodu, a także magnezu i potasu oraz anionów chlorkowych (ryc. 9). Składniki te wykazują wzajemnie wysokie korelacje (tab. 5). Chlorki i sól (poza ługowaniem z gleb) dostarczane są przez opady atmosferyczne, ścieki przemysłowe i gospodarcze. Mogą także pochodzić z działalności rolniczej oraz sezonowego wykorzystania soli do zimowego utrzymania dróg (Ciupa, 2008). Kationy sodu w niewielkim stopniu ulegają adsorpcji przez np. koloidy glebowe. Chlorki również zachowują się konserwatywnie, nie podlegają przemianom chemicznym i biochemicznym, a dodatkowo hamują procesy samooczyszczania się wody. Tło geochemiczne chloru w Poznaniu i okolicach mieści się w zakresie $<0,5\text{--}74,1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Lis, Pasieczna, 2005), a w trakcie pomiarów wartości stężeń przekraczały górną granicę w dolnym odcinku rzeki.

Kation potasu, oprócz pochodzenia naturalnego (z wietrzenia chemicznego minerałów zawierających ten pierwiastek), dostaje się do wód powierzchniowych ze spływami powierzchniowymi i śródpokrywowymi z gruntów ornych oraz ze ściekami komunalnymi i przemysłowymi (Dojlido, 1995). W przypadku magnezu źródłem mogą być grunty antropogeniczne na terenach o zwartej zabudowie oraz gleby terenów przemysłowych miasta Lubonia, które cechuje podwyższona jego koncentracja (Lis, Pasieczna, 2005). Jednak najwyższe koncentracje tego pierwiastka zanotowano w osadach dennych zbiorników na Szachtach. W wodach stawów stężenia K^+ mieściły się w przedziale $8\text{--}29 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Graf i in., 2022a), co odzwierciedla się w stopniowym wzroście stężeń Mg^{2+} w stanowiskach pomiarowych zlokalizowanych na Szachtach.

Różnokierunkowe zmiany stężeń między poszczególnymi stanowiskami wykazywały jony siarczanowe: spadek stężeń na obszarze Lasku Marcelińskiego i najwyższe wartości na terenie Lubonia (ryc. 9). Lis i Pasieczna (2005) podają, że tło geochemiczne siarczanów w wodach powierzchniowych Poznania i okolic

Tabela 5. Współczynniki korelacji rang Spearmana między parametrami fizykochemicznymi wód Junikowskiego Strumienia z profilowań hydrochemicznych w latach 2021 i 2023 ($p < 0,05$, $N = 16$)

Wskaźniki	2021										
	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	PEW
pH	1,000	-0,319	0,573	0,673	0,327	- 0,695	0,785	0,544	-0,016	0,187	0,642
Ca ⁺²	1,000	1,000	-0,271	-0,354	-0,491	0,576	-0,367	-0,120	0,518	-0,143	-0,182
Mg ⁺²	1,000	1,000	1,000	0,912	0,837	- 0,678	0,867	0,552	-0,242	0,450	0,866
Na ⁺	1,000	1,000	1,000	1,000	0,810	- 0,820	0,939	0,677	-0,341	0,510	0,921
K ⁺	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	- 0,645	0,712	0,572	-0,334	0,476	0,673
HCO ₃ ⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	- 0,809	-0,442	0,421	-0,298	- 0,722
Cl ⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,685	-0,296	0,494	0,916
SO ₄ ²⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,109	0,561	0,571
NO ₃ ⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-0,127	-0,387
PO ₄ ⁻³	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,326
PEW	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

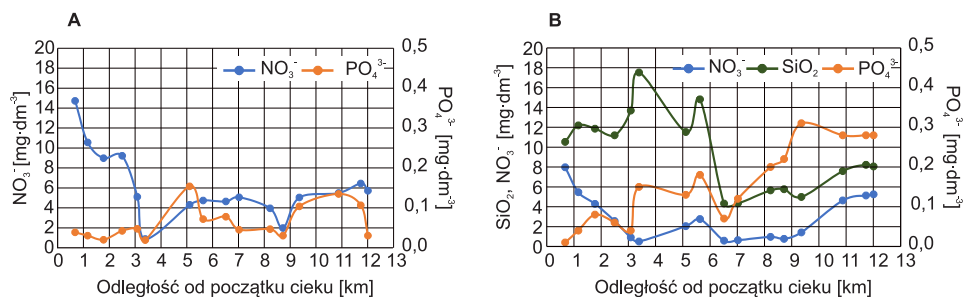
Wskaźniki	2023											
	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	SiO ₂	PEW
pH	1,000	0,199	0,101	0,140	0,201	0,053	0,131	0,258	0,232	0,188	0,149	0,108
Ca ⁺²	1,000	1,000	-0,082	0,025	-0,146	0,521	-0,063	-0,091	0,415	-0,021	0,425	0,161
Mg ⁺²	1,000	1,000	1,000	0,923	0,831	- 0,714	0,908	0,806	0,184	0,826	- 0,649	0,859
Na ⁺	1,000	1,000	1,000	1,000	0,862	- 0,659	0,982	0,718	-0,068	0,915	- 0,556	0,955
K ⁺	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	- 0,509	0,900	0,744	0,009	0,896	-0,312	0,846
HCO ₃ ⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	- 0,671	- 0,653	0,359	-0,494	0,906	-0,467
Cl ⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,735	-0,103	0,912	- 0,556	0,914
SO ₄ ²⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,124	0,579	- 0,521	0,618
NO ₃ ⁻	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-0,035	0,224	0,016
PO ₄ ⁻³	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-0,356	0,928
SiO ₂	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-0,381
PEW	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Pogrubioną czcionką zaznaczono współczynniki istotne na poziomie $p < 0,05$.

Źródło: opracowanie własne.

zawiera się w granicach $<1\text{--}165\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, wskazując także na wysoką anomalię stężeń w okolicach Lubonia (do $387\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Taki rozkład potwierdzają pomiary przeprowadzone w odcinku lubońskim Junikowskiego Strumienia. Naturalne źródło anionu siarczanowego w badanej zlewni stanowią produkty rozkładu materii organicznej ługowane przez infiltrujące wody z osadów organicznych wypełniających dolinę strumienia. Siarczany pochodzenia antropogenicznego docierają do wód bezpośrednio jako ścieki przemysłowe i bytowo-gospodarcze, w wyniku ługowania odpadów stałych oraz składników nawozów sztucznych z gleb i z zanieczyszczeń atmosferycznych (emisje SO_2 ze spalania węgla i innych paliw oraz kwaśne deszcze). Wysokie stężenia tego pierwiastka w osadach zbiorników na Szachtach, a także w ich wodach (Graf i in., 2022a) mogą być lokalnie wywołane również gniciem wysokobiałkowej karmy niezjedzonej przez ryby lub wynikać z nagromadzeniami substancji organicznej w osadach (Lis, Pasieczna, 2005).

Dużą zmiennością wzdłuż biegu strumienia odznaczała się krzemionka (ryc. 10), osiągając wysokie stężenia (powyżej $10\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) na pierwszych 5 km biegu cieku, a następnie na terenie Szacht wykazując znaczący spadek (o ok. 71%, do $4,3\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Ponowny wzrost stężenia wystąpił na odcinku lubońskim cieku. Podobne tendencje zmian stężenia krzemionki w osadach powierzchniowych oraz w wodach powierzchniowych zlewni Junikowskiego Strumienia przedstawili Lis i Pasieczna (2005) w *Atlasie geochemicznym Poznania i okolic*. Rozkład stężeń krzemionki wykazywał silny związek z występowaniem jonów wodorowęglanowych (rho Spearmana 0,906; tab. 5). Krzemionka, podobnie jak i wodorowęglany, zaliczana jest do składników geogenicznych uwalnianych w wyniku wietrzenia minerałów krzemianowych, ługowania amorficznej SiO_2 oraz mineralizacji substancji organicznej. Obserwowany spadek stężenia SiO_2 w profilu podłużnym mógł zostać wywołany bioakumulacją lub/i rozcieńczeniem przez wody ze zbiorników poeksploatacyjnych na Szachtach.



Ryc. 10. Zróznicowanie stężeń biogenów (azotanów NO_3^- i fosforanów PO_4^{3-}) oraz krzemionki SiO_2 w profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia: A – profilowanie hydrochemiczne w 2021 r., B – profilowanie hydrochemiczne w 2023 r. Źródło: opracowanie własne.

Substancjami biogennymi badanymi w wodach strumienia są azotany i fosforany, które wykazywały istotne statystycznie zróżnicowanie pomiędzy dwoma profilowaniami hydrochemicznymi (tab. 3). Najwyższe wartości stężeń azotanów notowano w miejscu wypływu ciek z rurociągu przy ul. Bukowskiej (ryc. 10). Stanowisko 1 w 2021 r. jako jedyne z badanych należało do II klasy jakości wody (Dz.U. 2021.1475), ale do Warty odprowadzone były wody I klasy jakości (stanowisko 16), co wskazuje na zachodzące procesy samooczyszczania się wody. Na obszarach zurbanizowanych obecność azotanów związana jest z zanieczyszczeniami wywołanymi spalaniem paliw kopalnych, dopływami ścieków gospodarczo-bytowych i odcieków ze składowisk odpadów, jak również stosowaniem nawozów w rolniczej części zlewni. Azotany, jako główny składnik nawozów NPK, nie są wiązane przez kompleks sorpcyjny gleb i przez to są łatwo wypłukiwane.

Mechanizmem zmniejszającym ilość azotu w wodzie może być jego sedymentacja w osadach dennych Junikowskiego Strumienia i bioakumulacja głównie w makrofitach na obszarach Szacht i Lasku Marcelińskiego. Obecność makrofitów przy wyższej temperaturze wody (tab. 4) skutecznie pozwala na eliminację azotanów (Górniak, Kajak, 2020). Podobną tendencję zmian stężenia azotanów w wodach powierzchniowych zlewni Junikowskiego Strumienia przedstawili Lis i Pasieczna (2005).

Stężenia fosforanów w wodach podczas dwóch profiliowań hydrochemicznych były zróżnicowane. W roku 2021 stężenia PO_4^{3-} wahały się od 0,02 do 0,15 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, natomiast w roku 2023 były wyższe i mieściły się w przedziale 0,01–0,31 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. W profilu podłużnym ciek zmiany stężenia fosforanów cechowały się nieregularnością, niskie wartości stężeń występowały w odcinku górnym, a na Szachtach i na terenie Lubonia jego wartości wykazywały dużą zmienność przestrzenną (ryc. 10). W naturalnych wodach powierzchniowych zawartość PO_4^{3-} jest niewielka ze względu na małą rozpuszczalność oraz silną sorpcję na cząstkach ilastych. Podwyższone zawartości fosforu odnotowano w glebach północnej części zlewni (stanowiska 2 i 3) oraz w północnej części Szacht (stanowiska 8, 9, 10) oraz w osadach korytowych w górnym biegu strumienia (Lis, Pasieczna, 2005). Związki fosforu dostają się do wód powierzchniowych wskutek erozji gleb w zlewni, niewłaściwie prowadzonych zabiegów agrotechnicznych, a na obszarach miejskich także z nawozów mineralnych stosowanych w ogródkach działkowych i przydomowych (Dondajewska i in., 2009). Na terenie Szacht, w przypadku zbiorników stanowiących popularne miejsca dla wędkarzy, niekontrolowane stosowanie zanęt i odławiania ryb może wpływać na zmiany zasobów biogenów (Czerniejewski, Brysiewicz, 2018). Można także zwrócić uwagę na wpływ ornitofauny (licznej zwłaszcza w okresie lęgowym) na jakość wody w tej części zlewni. Wysoka trofia zbiorników jest jednak przede wszystkim efektem dopływu ścieków bytowo-gospodarczych z terenów nieskanalizowanej zabudowy oraz z sąsiadujących ogródków działkowych (Klimaszyk, 2010; Gołdyn i in., 2019; Graf i in., 2022a).

ZRÓŻNICOWANIE OGNISK DOSTAWY SUBSTANCJI ROZPUSZCZONYCH

Jakość wód powierzchniowych w zlewni Junikowskiego Strumienia kształtowana jest przez uwarunkowania geogeniczne i antropogeniczne. Właściwości fizykochemiczne wód powierzchniowych w zlewni odzwierciedlają środowisko geochemiczne osadów czwartorzędowych i gleb oraz warunki obiegu wody. Uwarunkowania naturalne (mineralogiczno-litologiczne) zmieniają się w osadach zlewni Junikowskiego Strumienia w stosunkowo niewielkim stopniu, a głównym elementem różnicującym osady glacialne (gliny zwałowe oraz piaski i żwiry fluwioglacjalne) jest zawartość węglanu wapnia. Gliny zwałowe na Wysoczyźnie Grodziskiej (por. ryc. 3) cechuje znacząca zawartość węglanu wapnia – od 7 do 12%, natomiast w powierzchniowych osadach fluwioglacjalnych jest to średnio 2% (Chmał, 1997). Ługowane z osadów glacialnych jony, m.in. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ i HCO_3^- , poprzez wody podziemne docierają do koryt rzecznych, kształtując odczyn i przewodność elektrolityczną właściwą wód rzecznych. Dla porównania średnie roczne wartości przewodności elektrolitycznej wód rzecznych w 2022 r. kształtowane przede wszystkim przez czynniki geogeniczne w strefie młodoglacjalnej Polski wynosiły dla Parsęty – $409 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (klasa hydrochemiczna HCO_3^- - Ca^{2+}), a dla Czarnej Hańczy – $553 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (klasa hydrochemiczna HCO_3^- - Ca^{2+} - Mg^{2+}) (Majewski, Kostrzewski, 2023). Podczas kartowań hydrochemicznych w 1992 r. na stanowisku przy ul. Głogowskiej (przed przebudową obecnej drogi) przewodność elektrolityczna wody Junikowskiego Strumienia wynosiła $285 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w 18°C (Gogołek i in., 1995), a w trakcie obecnie prowadzonych badań odnotowano PEW o 250–300% wyższe. Prezentowane wyniki badań z lat 2021 i 2023 udokumentowały obecność zanieczyszczeń na całej długości Junikowskiego Strumienia, a wzrost ich ilości od źródeł do ujścia potwierdza związki z obecnym stopniem zurbanizowania zlewni.

Użytkowanie ziemi i intensywność działań prowadzonych przez człowieka na terenie zlewni ma decydujący wpływ na jakość przepływającej wody w korycie rzecznym. Na podstawie profilowań hydrochemicznych można stwierdzić, że strefami najbardziej narażonymi na zanieczyszczenia w zlewni są: początek cieku w okolicach lotniska Poznań–Ławica, środkowa część zlewni (od ul. Grunwaldzkiej do linii kolejowej Poznań–Berlin) oraz dolny bieg cieku na terenie Lubonia (od autostrady A2 do ujścia cieku do Warty). W górnym biegu cieku oraz między ul. Grunwaldzką a linią kolejową Poznań–Berlin na kształtowanie właściwości fizykochemicznych wody Junikowskiego Strumienia oddziałują powierzchniowe ogniska zanieczyszczeń, które związane są z obecnością jednorodzinnej zabudowy mieszkaniowej, terenami działalności gospodarczo-przemysłowej, a w zachodniej części zlewni z działalnością rolniczą. W tej części zlewni również zaobserwowano punktową dostawę ścieków bytowo-gospodarczych (poprzez zrzuty ścieków bytowo-gospodarczych z domów i ogródków działkowych) oraz oddziaływanie

liniowej infrastruktury komunikacyjnej. Rozprzestrzenianiu zanieczyszczeń obszarowych sprzyja płytkie położenie zwierciadła wód gruntowych (1–5 m p.p.t.), brak izolacji zbiornika wodonośnego na obszarze równiny sandrowej oraz dobre warunki migracji jonowej w osadach piaszczysto-żwirowych, które nie mają zdolności retencyjnych w stosunku do jonów siarczanowych czy potasowych. Koryto Junikowskiego Strumienia zasilane jest na tym odcinku przez wody gruntowe z sandru ławickiego, które w trakcie badań przeprowadzonych w latach 2009–2010 (Straburzyńska-Janiszewska, Flieger-Szymańska, 2010) charakteryzowały się przewodnictwem właściwym w przedziale $514\text{--}1786\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, lokalnie ponadnormatywną zawartością azotanów (od $59,0$ do $181,2\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), wysokimi stężeniami siarczanów (od $65,2$ do $246,0\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) i chlorków (od $17,1$ do $189,9\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Na terenie Szacht dolina Junikowskiego Strumienia oraz część stawów zasilane są z poziomu międzyglinowego górnego lokalnie połączonego z poziomem wód gruntowych. W wodach tych przewodnictwo elektrolityczne właściwe było w zakresie $466\text{--}1533\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, zawartość siarczanów mieściła się w przedziale $118,5\text{--}371,5\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, a chlorków $31,1\text{--}151,2\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Porównanie stężeń siarczanów i chlorków między wodami podziemnymi a powierzchniowymi wskazuje, że wody podziemne zasilają wody rzeczne w wymienione aniony, natomiast w przypadku przewodności elektrolitycznej generalnie wody podziemne rozcieńczają wody rzeczne. Wzrost powierzchni dachów, utwardzonych placów, ulic, chodników i parkingów w zlewni sprzyja zwiększonemu dopływowi do koryt rzecznych wód spływu powierzchniowego odprowadzającego wody deszczowe lub roztopowe. Spływy powierzchniowe, przy znacznym zanieczyszczeniu powietrza i wód opadowych w Poznaniu, przyczyniają się także do degradacji wód powierzchniowych. Wody opadowe badane w północnej części Poznania są źródłem dostawy anionów siarczanowych, azotanowych i chlorkowych oraz kationów amonowych, sodowych i wapniowych (Majewski, Kostrzewski, 2023). W latach 2016–2020 przewodność elektrolityczna wód opadowych była lekko podwyższona i wynosiła $22,6\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Major i in., 2022). Zanieczyszczenia wód opadowych w Poznaniu są wynikiem regionalnych i lokalnych emisji z przemysłu paliwowo-energetycznego, emisji komunalno-bytowych oraz emisji komunikacyjnych.

Wody spływu powierzchniowego formującego się na uszczelnionych powierzchniach zlewni, zwłaszcza na obszarze zabudowy przemysłowo-usługowej, są dodatkowo zanieczyszczone przez substancje organiczne i mineralne, związki ropopochodne, a w okresie zimowo-wiosennym przez sole używane do odśnieżania solnego ulic. W zlewni Junikowskiego Strumienia analizy chemizmu wód spływu powierzchniowego nie były prowadzone, ale badania takie przeprowadzone w zlewniach miejskich, m.in. w zlewni Cybiny na terenie Poznania wykazały wpływ tego rodzaju wód na wody powierzchniowe w zakresie, m.in. stężeń związków biogennych, zwłaszcza fosforu, metali ciężkich, substancji ropopochodnych, a jonów Na^+ i Cl^- wykorzystywanych do zimowego utrzymania dróg

(Dondajewska i in., 2009; Mazur, 2015; Barańkiewicz i in., 2016). Poza tym wody spływu powierzchniowego niosą dużo zawiesiny, przyczyniając się do wzrostu mętności wód, oraz mają wysokie wskaźniki zanieczyszczenia bakteriologicznego (Chmiel, Michalczyk, 2008; Polkowska, Namieśnik, 2008; Sapota i in., 2008; Ociepa, 2011).

W profilowaniach hydrochemicznych zauważalne jest pogorszenie stanu jakości wód na terenie miasta Lubonia (ryc. 7). Miasto Luboń stanowi jedną z gmin Poznańskiego Obszaru Metropolitalnego, w której można obserwować silne zjawiska suburbanizacji, a w efekcie dynamiczny wzrost zasięgu zabudowy luźnej (budownictwo niskie jednorodzinne) i zwartej (osiedla deweloperskie). Jednocześnie na obszarach zabudowy miejskiej zmniejsza się powierzchnia ogrodów/terenów zielonych kosztem powierzchni utwardzonych pełniących rolę parkingów, powstają wielkopowierzchniowe centra handlowe, powierzchnie magazynowe, stacje benzynowe oraz strefy wypoczynkowo-sportowe i place zabaw. Zmiany zagospodarowania tej części zlewni w znaczący sposób przyczyniają się do uszczelnienia terenu, zmniejszenia zdolności infiltracyjnych i zwiększania spływu powierzchniowego wody. Zanieczyszczenia obszarowe docierające do koryta Junikowskiego Strumienia pochodzą częściowo z zanieczyszczonych wód opadowych i spływu powierzchniowego. Na tym odcinku do koryta odprowadzane są również wody odwadniające linię kolejową Poznań–Wrocław. Duże zmiany w wartościach wskaźników fizykochemicznych wody (wysokie wartości przewodności elektrolitycznej, skokowy wzrost stężeń jonów sodowych i chlorkowych, wysokie stężenia jonów siarczanowych i azotanowych) odnotowane zostały w stanowisku 13 położonym w sąsiedztwie autostrady A2 w Luboniu, gdzie do koryta odprowadzane są wody ściekowe z terenów związanych z pasem drogowym. Wciąż aktualnym problemem jest powiększanie się obszarów nieskanalizowanych w strefach nowej zabudowy, skąd zanieczyszczenia bytowe w sposób niekontrolowany mogą przedostawać się do sieci rzecznej. Warto podkreślić, że na wymienionych powyżej terenach koryto Junikowskiego Strumienia jest uregulowane, pogłębione, z brzegami sztucznie umocnionymi, z ograniczonymi procesami erozji i akumulacji rzecznej, pełniąc tylko funkcję tranzytową w transporcie zanieczyszczeń z niewielkimi możliwościami samooczyszczania wody.

Należy także wskazać na pozytywne uwarunkowanie przyrodnicze dla jakości wód Junikowskiego Strumienia, jakim jest oddziaływanie buforowe doliny rzecznej w Lasku Marcelińskim i na Szachtach. W Lasku Marcelińskim dno płaskodennej doliny wypełniają namuły piaszczyste, gytia i torf, występuje roślinność łąkowa i leśna oraz torfowisko fluwioogeniczno-soligeniczne (obszar dawnego użytku ekologicznego „Strumień Junikowski”; Borysiak, 2001; Danielewicz, 2022). Natomiast w obrębie Szacht, wokół brzegów zbiorników i wzdłuż cieku, występują fitocenozy szuwarów, siedliska wilgotnych łąk i torfowisk niskich, las łąkowy oraz zbiorowiska wodne (obszary dawnych użytków ekologicznych „Kopanina I”

i „Kopanina II”; Jackowiak, 1995; Borysiak, Markiewicz, 2005; Kluza-Wieloch, 2022). Lokalne podpiętrzenia wody spowodowane przez rumosz drzewny czy działalność bobrów, stosunkowo powolny przepływ wody, zaleganie osadów organiczno-mineralnych, obecność roślinności szuwarowej, łąkowej i torfowiskowej powodują wydłużenie czasu odpływu, zwiększają retencję zanieczyszczeń w strefie brzegowej oraz hyporeicznej, co może ograniczać rozprzestrzenienie się zanieczyszczeń i sprzyjać samooczyszczaniu wody. Zmiany w składzie chemicznym wody obserwowano wiosną 2021 r. na stanowisku 5, ale także na stanowiskach 4 i 6 (tab. 1, ryc. 4, 5) w zakresie stężenia wapnia, siarczanów, azotanów. Na terenie Szacht (stanowiska: 9, 10, 11, 12) obserwowano natomiast spadek stężeń azotanów, a mechanizmem zmniejszającym ilość azotu w wodzie jest m.in. możliwość jego kumulacji przez roślinność, a zwłaszcza makrofity. Roślinność korzystająca w okresie wegetacyjnym ze związków biogenych (także krzemionki) pełni funkcję filtra mechanicznego, zatrzymując w korycie materiał organiczno-mineralny, który ma także udział w retencji biogenów. W ostatnich latach postępuje zabudowa mieszkaniowa wokół tych dwóch ważnych stref buforowych w zlewni (np. nowe osiedla powstają w bezpośrednim sąsiedztwie stawów Szacht), rośnie także oddziaływanie rekreacyjne, co stopniowo będzie wpływać na bioróżnorodność tych terenów, ograniczając zdolność nadbrzeżnych stref buforowych doliny i rzeki do mikrobiologicznej degradacji zanieczyszczeń.

Na terenie zlewni występują bardzo zróżnicowane formy zagospodarowania terenu, których oddziaływanie na stan jakości wód w zlewni nie został jeszcze jednoznacznie określony i wymaga uszczegóławiających badań, są to w szczególności obszary ogródków działkowych, Cmentarz Komunalny nr 2 Junikowo oraz Port Lotniczy Ławica.

Junikowski Strumień w części źródłowej odwadnia obszar Portu Lotniczego Poznań-Ławica, a wypływające na powierzchnię z przepustu pod ul. Bukowską wody charakteryzują się ponadnormatywną przewodnością elektrolityczną. Na poznańskim lotnisku wody opadowe z nawierzchni lotniskowych, częściowo po wstępnym oczyszczeniu, kierowane są do zbiornika retencyjnego lub do kanalizacji deszczowej. Rozszerzenie badań składu chemicznego wody pozwoli dopiero określić wielkości oddziaływania wód odprowadzanych z terenu portu lotniczego na wody powierzchniowe i gruntowe. Polkowska i Błaś (2010) wskazują, że wraz ze ściekami opadowymi z terenów lotnisk do środowiska przedostają się m.in. substancje ropopochodne, środki powierzchniowo czynne, chemiczne środki odładowane stosowane w okresie zimowym. Skład zanieczyszczonych wód zmienia się w ciągu roku i jest uzależniony od wielu czynników, takich jak warunki pogodowe, ilość stosowanych środków chemicznych, czas trwania opadów czy też natężenie ruchu lotniczego.

Tereny rodzinnych ogródków działkowych (ROD) zajmują około 4% powierzchni zlewni i charakteryzują się dużą gęstością zabudowy (lokalizacja tzw. letnich do-

mów) z dominującą funkcją rekreacyjną, przy malejącym znaczeniu dla zaopatrzenia w warzywa i owoce. Tereny te mogą stanowić istotne miejsce dostawy do wód ścieków bytowych pochodzących z gospodarstw niepodłączonych do kanalizacji, co wpływa na jakość wody w górnym odcinku Junikowskiego Strumienia oraz na terenie Szacht. Herbicydy i pestycydy stosowane są tutaj sporadycznie (Borysiak i in., 2017; Speak i in., 2017), jednak lokalnie w wyniku wymywania pozostałości stosowanych nawozów lub środków ochrony roślin wpływają na jakość wód powierzchniowych i podziemnych zlewni. Ocenę oddziaływania takich lokalnych ognisk zanieczyszczeń na wody w korycie rzeczonym może wg Ziulkiewicza i in. (2023) umożliwić rozpoznanie stanu hydrochemicznego wód hyporeicznych.

W skład terenów zieleni w zlewni wchodzi także Cmentarz Komunalny nr 2 Junikowo. Jest to drugi pod względem powierzchni poznański cmentarz (92,7 ha), który powstał na dawnym poligonie wojskowym. Zlokalizowany jest na obszarach o bardzo wysokiej podatności na zanieczyszczenia pierwszego poziomu wodonośnego, co wynika z występowania w podłożu piasków i żwirów fluwioglacjalnych z płytko położonym zwierciadłem wód gruntowych (1–5 m p.p.t.). Badania prowadzone np. w południowej części Polski wskazują, że cmentarze mogą negatywnie oddziaływać na środowisko przyrodnicze w związku z niewłaściwą ich lokalizacją oraz brakiem zabezpieczeń przed migracją zanieczyszczeń (Żychowski, 2010). Wpływ cmentarza na jakość wód w zlewni na podstawie badań na stanowiskach 6 i 7 nie został jednoznacznie określony.

Różnorodne formy działalności antropogenicznej w zlewni Junikowskiego Strumienia sprawiają, że pochodzenie zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych może być zidentyfikowane z różnym stopniem pewności, a dodatkowo wielkość udziału poszczególnych ognisk antropogenicznych może wykazywać duże różnice czasowe i przestrzenne.

PODSUMOWANIE

Junikowski Strumień i jego dopływy pełnią różne funkcje w mieście, od odprowadzania wód z kanalizacji deszczowej z terenu całej zlewni, poprzez dostawę ładunku zanieczyszczeń do Warty, która po jego przyjęciu wpływa na teren miasta Poznania, po zasilanie obszarów cennych przyrodniczo. Dolina Junikowskiego Strumienia jako część krajobrazu Lasku Marcelesińskiego oraz Szacht powinna dalej odgrywać istotną rolę korytarza ekologicznego i stanowić teren atrakcyjny rekreacyjnie. Funkcje te stoją ze sobą w sprzeczności, jednak skala zmian w zagospodarowaniu zlewni uniemożliwia powrót do warunków naturalnych w części koryta rzecznego i jego doliny.

Wyniki badań prowadzonych od lat 90. XX w. (Gogołek i in., 1995; Klimaszyk, 2010; Pułyk, 2018; Gołdyn i in., 2019; Mazurek i in., 2022) oraz przedstawione wartości wskaźników fizykochemicznych jakości wód wskazują, że należy zwró-

cić uwagę na postępujący proces degradacji cieków w zlewni, który wymaga aktywizacji działań ochronnych. Ważnym elementem takich działań powinien być kompleksowy monitoring ilości i jakości wód, obejmujący pomiary objętości przepływu, właściwości fizykochemicznych wód i wskaźników biologicznych, analizę jakości osadów dennych oraz kontrolowanie wielkości ognisk zanieczyszczeń w profilu podłużnym Junikowskiego Strumienia i całej jego zlewni. Istnieje także konieczność identyfikacji nowych typów zanieczyszczeń w zlewni, które mogą przyczyniać się do degradacji jakości wód. Wody odpływające korytem strumienia, oprócz wysokich stężeń makroskładników jonowych i zanieczyszczeń organicznych, mogą zawierać dużo trudniejsze do wyeliminowania substancje chemiczne szczególnie szkodliwe dla środowiska, m.in. pestycydy, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), metale ciężkie i farmaceutyki (Kasprzyk-Hordern i in., 2008; Kruć i in., 2019).

Badania pozwoliły na częściową ocenę obecnego antropogenicznego przekształcenia geosystemu Junikowskiego Strumienia, co można wykorzystać w zintegrowanym zarządzaniu zasobami wodnymi (Graf, Pyszny 2016) oraz zagospodarowaniu zlewni w celu poprawy stanu wody w ciekach, np. poprzez wymuszenie spływu turbulენტnego wody dla poprawy natlenienia wody, tworzenie stref buforowych w postaci pasów zieleni wzdłuż koryta i doliny oraz zagospodarowanie wód opadowych prowadzące do ograniczenia ich dostawy do systemów kanalizacyjnych. Poprawa jakości wody w jednej z małych zlewni aglomeracji poznańskiej ma przecież znaczenie dla stanu ekologicznego poznańskiego odcinka rzeki Warty.

Należy także wskazać na występowanie niekorzystnych zjawisk suszy meteorologicznej i hydrologicznej, co skutkuje dłuższym brakiem wody w ciekach okresowych (np. w Kotówce i Plewiance), małym natężeniem przepływu w Junikowskim Strumieniu, w części długości koryta prawie stagnacją wody, a poza tym wzrostem jej temperatury. Wymienione uwarunkowania mogą przekładać się na brak możliwości rozcieńczenia zanieczyszczeń i zdolności samooczyszczenia, a w efekcie prowadzić do pogorszenia się jakości wód w zlewni, szczególnie latem. Natomiast występowanie intensywnych opadów, zwłaszcza poprzedzonych długotrwałą suszą, i związane z tym błyskawiczne powodzie miejskie mogą powodować dostawę w krótkim czasie poprzez spływ powierzchniowy znacznego ładunku zanieczyszczeń rozpuszczonych i stałych, zmywanych z powierzchni uszczelnionych, wymywanych z zanieczyszczonych gleb i z nielegalnych wysypisk odpadów.

Podziękowania

Badania hydrochemiczne przeprowadzone w 2021 i 2023 r. zostały dofinansowane ze środków Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu. Podziękowania za udział w badaniach terenowych kieruję do prof. dr. hab.

Zbigniewa Zwolińskiego i mgr Marleny Makowskiej, natomiast dr Grażynie Szpikowskiej i mgr Monice Domańskiej jestem wdzięczna za wykonanie analiz hydrochemicznych i konsultacje wyników oznaczeń. Recenzentom dziękuję za cenne i konstruktywne wskazówki i uzupełnienia, które pozwoliły na dopracowanie problematyki artykułu.

LITERATURA

- Anh N.T., Can L.D., Nhan N.T., Schmalz B., Luu T.L. (2023). Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review. *Chemical and Environmental Engineering*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100424>
- Bagrowicz T., Fortuniak A., Górecki M., Lewandowska M., Ziułkiewicz M. (2017). Hydrochemical transformations of river waters during the flow in the reception basin on the basis of Olechówka River in Łódź. *E3S Web of Conferences* 17, 00002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171700002>
- Barańkiewicz D., Chudzińska M., Szpakowska B., Świerk D., Gołdyn R.J., Dondajewska R. (2014). Storm water contamination and its effect on the quality of urban surface waters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186: 6789–6803. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3889-0>
- Bartnik A., Jokiel P. (2022). Formy i dynamika zasilania Neru wodami pościekowymi z aglomeracji łódzkiej. *Czasopismo Geograficzne*, 93(1): 33–51. <https://doi.org/10.12657/czageo-93-02>
- BDOT10k. *Baza Danych Obiektów Topograficznych BDOT w skali 1:10 000* (2021). Państwowy Zasób Geodezyjny i Kartograficzny, GUGiK, Warszawa (<https://www.geoportal.gov.pl/dane/baza-danych-obiektow-topograficznych-bdot>; dostęp: 18.10.2022).
- Biegała J. (2014). *Jakość wód płynących na obszarze zurbanizowanym zlewni Strumienia Junikowskiego*. Archiwum Zakładu Paleogeografii, Instytut Geoinformacji i Geoekologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań (mpis).
- Borysiak J. (2001). *Zasoby i walory przyrody żywej użytku ekologicznego „Strumień Junikowski” na terenie miasta Poznania*. Miejska Pracownia Urbanistyczna, Poznań (mpis).
- Borysiak J., Markiewicz J. (2005). *Weryfikacja granic terenów cennych przyrodniczo – byłych użytków ekologicznych Kopanina I i Kopanina II w celu wyróżnienia terenów predysponowanych do objęcia ochroną, z uwzględnieniem wprowadzenia w ich sąsiedztwie (teren ZKO) funkcji sportowej*. Miejska Pracownia Urbanistyczna w Poznaniu, Poznań (mpis).
- Borysiak J., Mizgajski A., Speak A. (2017). Floral biodiversity of allotment gardens and its contribution to urban green infrastructure. *Urban Ecosystems*, 20(2): 323–335.
- Buczyńska E., Kubiak B., Oryś A., Szulczyńska M. (1985). *Gospodarka wodno-ściekowa zlewni Strumienia Junikowskiego*. Poznań: Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska.
- Chełmicki W. (2001). *Woda. Zasoby, degradacja, ochrona*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Chmal R. (1997). *Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, arkusz Poznań (471)*. Warszawa: PIG.

- Chmiel S., Michalczyk Z. (2008). Spływ powierzchniowy z obszaru miasta jako czynnik kształtujący jakość wód rzecznych (na przykładzie Lublina). W: M. Ziulkiewicz (red.), *XV Ogólnopolska Konferencja nt.: Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych*. Łódź, s. 16.
- Ciupa T. (2008). Wpływ użytkowania zlewni na przestrzenne i czasowe zróżnicowanie wartości pH i stężenia tlenu w wodach rzeki Silnicy i Sufragańca (Kielce). *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 22: 31–38.
- Ciupa T. (2009). *Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwalny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Silnicy*. Kielce: Wyd. Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego Jana Kochanowskiego.
- Czerniejewski P., Brysiewicz A. (2018). Eksploatacja wędkarska oraz poziom biogenów wprowadzanych do jezior w zanętach wędkarskich na przykładzie zlewni górnej Mysli. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 18, 1(61): 23–35.
- Danielewicz W. (2022). Zbiorowiska roślinne dawnego użytku ekologicznego „Strumień Junikowski”. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 291–302.
- Dojlido J.R. (1995). *Chemia wód powierzchniowych*. Białystok: Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko.
- Dondajewska R., Gołdyn R., Barańkiewicz D., Szpakowska B. (2009). The quality of rainwater runoff from urban area to a lowland river. W: A.T. Jankowski, D. Absalon, R. Machowski, M. Ruman (red.), *Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska*. Sosnowiec: Uniwersytet Śląski, Pol. Tow. Geograficzne Oddział Katowicki, RZGW Gliwice, s. 117–128.
- Dz.U.2021.1475. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych* (Dz.U. z dnia 13 sierpnia 2021).
- Gogołek A., Kaniecki A., Ziętkowiak Z. (1995). Ocena jakości wód powierzchniowych. W: A. Kaniecki (red.), *Dorzecze Strumienia Junikowskiego. Stan obecny i perspektywy*. Poznań: Wyd. Sorus, s. 44–53.
- Gołdyn R., Basińska A., Budzyńska A., Dondajewska-Pielka R., Joniak T., Klimaszek P., Kowalczyńska-Madura K., Kozak A., Kuczyńska-Kippen N., Nagengast B., Piotrowicz R., Szelaż-Wasielewska E., Szyper H., Świdnicki K. (2019). *Stojące i płynące wody Poznania*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Gołdyn R., Jankowska B., Kowalczak P., Pułyk M., Tobiszewska E., Wiśniewski J. (1996). *Wody powierzchniowe Poznania*. W: L. Kurek (red.), *Środowisko naturalne miasta Poznania*. Cz. I. Poznań: Urząd Miejski w Poznaniu, s. 52–57.
- Graf R. (1995). Zmiany stosunków wodnych w dorzeczu Strumienia Junikowskiego związane z kopalnictwem. W: A. Kaniecki (red.), *Dorzecze Strumienia Junikowskiego*. Poznań: Wydawnictwo Sorus, s. 14–21.
- Graf R. (2012). Struktura i funkcjonowanie lokalnych systemów krążenia wód podziemnych na obszarze Wysoczyzny Poznańskiej. *Studia i Prace z Geografii i Geologii*, 26. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Graf R. (2014). Spuren des Abbaus der keramischen Rohstoffe im Einzugsgebiet des Junikower Baches (die Stadt Posen/Polen) basierend auf kartographischen Überlieferungen aus dem 18. bis 20. Jahrhundert. *Historia Urbana*, 22(22): 155–168.

- Graf R., Abramowicz D., Borkowski G. (2022a). Właściwości fizyczne i chemizm wód wybranych zbiorników poeksploatacyjnych w zlewni Junikowskiego Strumienia. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 77–101.
- Graf R., Jawgiel K., Mazurek M. (2022b). Wpływ antropopresji na sieć rzeczną zlewni Junikowskiego Strumienia. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 157–184.
- Graf R., Kaniecki A., Ziętkowiak Z. (1995). Charakterystyka wód powierzchniowych. W: A. Kaniecki (red.), *Dorzecze Strumienia Junikowskiego*. Poznań: Wydawnictwo Sorus, s. 29–43.
- Graf R., Pyszny K. (2016). Zintegrowane zarządzanie zasobami wodnymi. W: T. Kaczmarek, Ł. Mikuła (red.), *Koncepcja kierunków rozwoju przestrzennego Metropolii Poznań*. Poznań: Centrum Badań Metropolitalnych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, s. 59–74.
- Graf R., Wrzesiński D. (2020). Zanikające rzeki Poznania. *Dzikhi Bit: dziedzictwo, interpretacja, kultura, historia: nieregularnik Bramy Poznania i Traktu Królewsko-Cesarzskiego*. Poznań: Centrum Turystyki Kulturowej TRAKT, s. 10–13.
- Górniak A., Kajak Z. (2020). *Hydrobiologia – limnologia*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Jackowiak B. (1995). Wstępna charakterystyka szaty roślinnej doliny Strumienia Junikowskiego. W: A. Kaniecki (red.), *Dorzecze Strumienia Junikowskiego*. Poznań: Wydawnictwo Sorus, s. 71–76.
- Jawgiel K. (2021). *Modelowanie splywu powierzchniowego w aspekcie miejskich powodzi błyskawicznych (UFF) w zlewniach aglomeracji poznańskiej*. Praca doktorska. Poznań: Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej UAM [mpis].
- Joniak T., Piotrowicz R., Klimaszuk P. (2010). Strumień Junikowski. W: R. Gołdyn, A. Basińska, A. Budzyńska, R. Dondajewska, T. Joniak, P. Klimaszuk, K. Kowalczevska-Madura, A. Kozak, N. Kuczyńska-Kippen, B. Nagengast, R. Piotrowicz, E. Szląg-Wasielewska, J. Stasiak, H. Szyper, K. Świdnicki, *Przewodnik przyrodniczy po wodach miasta Poznania. Cz. I. Wody powierzchniowe miasta Poznania*. Poznań: Urząd Miasta Poznania, Wydział Ochrony Środowiska.
- Kaczmarek T., Mikuła Ł., Kaczmarek L. (red.) (2012). *Studium uwarunkowań rozwoju przestrzennego aglomeracji poznańskiej*. Poznań: Centrum Badań Metropolitalnych UAM.
- Kaniecki A. (1993). *Poznań. Dzieje miasta wodą pisane*. Poznań: Wydawnictwo Aquarius.
- Kasprzyk-Hordern B., Dąbrowska A., Vieno N., Kronberg L., Nawrocki J. (2008). Occurrence of Acidic Pharmaceuticals in the Warta River in Poland. *Chemia Analityczna (Warsaw)*, 53, 289: 289–303.
- Klimaszuk P. (2010). Zespół drobnych zbiorników wodnych w rejonie osiedli Rudnicze-Świerczewo. W: R. Gołdyn (red.), *Przewodnik przyrodniczy po wodach miasta Poznania. Cz. I. Wody powierzchniowe miasta Poznania*. Poznań: Urząd Miasta Poznania, Wydział Ochrony Środowiska, s. 33–40.
- Kluza-Wieloch M. (2022). Flora dawnych użytków ekologicznych „Kopanina I” i „Kopanina II”. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 283–290.

- Konieczny S., Kudlaszyk M., Żurawski M. (1970). *Niektóre elementy stosunków wodnych zlewni Strumienia Junikowskiego*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z. (1994). *Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni*. Poznań: Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Kowalczak P., Kurosz P., Sobolewski Ł. (2010). *Powódź w powiecie poznańskim w 2010 roku*. Poznań: Starostwo Powiatowe.
- Kowalska D., Misztal A. (2016). Zimowe utrzymanie nawierzchni lotniskowych a bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych przez statki powietrzne. *Autobusy*, 17, 12: 276–285.
- Kruc R., Dragon K., Górski J. (2019). Farmaceutyki w wodach rzecznych oraz ich migracja do ujęć infiltracyjnych w Krajkowie. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 475: 109–116.
- Krygowski B. (1961). *Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej*. Cz. I. *Geomorfologia*. Poznań: PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, s. 1–204.
- Lis J., Pasieczna A. (2005). *Atlas geochemiczny Poznania i okolic. Gleby, osady wodne, wody powierzchniowe. 1:100 000*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- Macioszczyk A. (1987). *Hydrogeochemia*. Warszawa: Wydawnictwo Geologiczne.
- Majewski M., Kostrzewski A. (2023). *Stan geosystemów Polski w 2022 roku na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego*. Poznań, s. 130 (<https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/raporty/>; dostęp: 20.04.2024).
- Major M., Chudzińska M., Majewski M. (2022). Wielkość dostawy wybranych zanieczyszczeń atmosferycznych i ich wpływ na jakość wód w zurbanizowanej zlewni Różanego Strumienia w Poznaniu w latach hydrologicznych 2016–2020. *Przegląd Geograficzny*, 94, 4: 415–436. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2022.4.1>
- Masiakowska A. (1995). *Ocena jakości wód wybranych zbiorników poeksploatacyjnych zlewni Strumienia Junikowskiego*. Poznań: Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFiKŚP UAM (mpis).
- Mazur N. (2015). Wpływ soli do odladzania dróg na środowisko przyrodnicze. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 18, 4: 449–458.
- Mazurek M. (2022). Rzeźba, osady i wody zlewni Junikowskiego Strumienia. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 10–18.
- Mazurek M., Abramowicz D. (red.) (2022). *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Mazurek M., Abramowicz D. (2022). Wprowadzenie do interdyscyplinarnych badań zlewni Junikowskiego Strumienia. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 10–18.
- Mazurek M., Biegała J., Makohonienko M., Gadzińska J. (2022). Wpływ działalności człowieka na chemizm wód Junikowskiego Strumienia. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 123–156.

- Medupin C., Bark R., Owusu K. (2020). Land Cover and Water Quality Patterns in an Urban River: A Case Study of River Medlock, Greater Manchester, UK. *Water*, 12, 848: 1–21. <https://doi.org/10.3390/w12030848>
- Michałkiewicz M., Mądrecka B., Dysarz T., Joniak T., Szelań-Wasielewska E. (2011). Wpływ miasta Poznania na jakość wód rzeki Warty. *Nauka Przyroda Technologie*, 5, 5: 1–13.
- Moniewski P., Stolarska M. (2007). Wpływ naturalnych i antropogenicznych czynników na podstawowe charakterystyki fizykochemiczne wody w małej zlewni strefy podmiejskiej Łodzi. *Woda–Środowisko–Obszary wiejskie*, 7, 1(19): 105–122.
- MPHP10k. *Mapa Podziału Hydrograficznego Polski MPHP w skali 1:10 000* (2021). Warszawa: Państwowy Zasób Geodezyjny i Kartograficzny, GUGiK (<https://dane.gov.pl/pl/dataset/2167,mapa-podzialu-hydrograficznego-polski-w-skali-110>; dostęp: 18.10.2022).
- Nowacki M. (1995). *Ocena jakości wód wraz z morfometrią wybranych zbiorników poeksploatacyjnych zlewni Strumienia Junikowskiego*. Poznań: Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFiKŚP UAM (mpis).
- Ociepa E. (2011). Ocena zanieczyszczenia ścieków deszczowych trafiających do systemów kanalizacyjnych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 14, 4: 357–364.
- Olejniczak K., Szelań E. (1980). Fitoplankton zbiorników wodnych na terenie przyszłego Zalewu Kotowskiego i Junikowskiego. W: I. Dąbska (red.), *Stan biologiczny zbiorników wodnych w okolicy Poznania*. Poznań: PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Prace Komisji Biologicznej, 53: 35–81.
- Polkowska Ż., Namieśnik J. (2008). Road and roof runoff waters as a source of pollution in a big urban agglomeration (Gdansk, Poland). *Ecological Chemistry and Engineering*, 15, 3: 375–385.
- Polkowska Ż., Błaś M. (2010). Obecność wybranych grup związków w wodach spływających z płyty lotniska. W: M. Ziułkiewicz (red.), *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*. T. VI. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, s. 29–40.
- Ponizy L. (2010). Tereny zieleni na obszarze miasta Poznania. W: I. Piotrowska, M. Cichoń (red.), *Człowiek w krajobrazie miasta Poznania*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Półrolniczak M., Kolendowicz L. (2022). Zróżnicowanie temperatury powietrza na obszarze Szacht według typów klimatu lokalnego (LCZ). W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 185–198.
- Pułyk M. (red.) (2018). *Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2017*. Poznań: Biblioteka Monitoringu Środowiska, WIOŚ (<https://poznan.wios.gov.pl/monitoring-srodowiska/publikacje-wios/raport-o-stanie-srodowiska-w-wielkopolsce-w-roku-2017/>; dostęp: 18.04.2024).
- Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE (RDW) z dnia 23 października 2000 r.
- Sapota G., Wiśniewski S., Dembska G., Flasińska A., Grynkiewicz M., Aftanas B. (2008). Stężenia zanieczyszczeń w wodach opadowych mierzone na wylotach kolektorów deszczowych na terenie Gdyni i Wejherowa. W: M. Ziułkiewicz (red.), *XV Ogólnopolska Konferencja nt.: Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych*. Łódź, s. 39–40.

- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W. (2018). Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica*, 91(2): 143–170.
- Speak A., Mizgajski A., Borysiak J. (2017). The spontaneous floral diversity of allotment gardens. *Acta Horticulturae*, 1189: 389–394.
- Straburzyńska-Janiszewska R., Flieger-Szymańska M. (2010). *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1: 50 000. Pierwszy poziom wodonośny. Wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód. Arkusz Poznań (0471)*. Warszawa: PIG & MŚ.
- Szeląg-Wasielewska E., Ziętkowiak Z. (1997). *Fitoplankton na tle jakości wód w zbiornikach poeksploatacyjnych doliny Strumienia Junikowskiego*. Materiały XVII Zjazdu Hydrobiologów Polskich. Poznań, s.112.
- Tritt R., Graf R., Borkowski G., Jawgiel K., Abramowicz D. (2022). Charakterystyka morfometryczna zbiorników poeksploatacyjnych w zlewni Junikowskiego Strumienia. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 103–121.
- Wijura A., Lichtarski G., Mikołajczyk M., Piechówka A. (2007). Poznań. W: Z. Nowicki (red.), *Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej*. Warszawa: PIG.
- Włosik-Bieńczyk E. (2000a). Fauna mięczaków (Mollusca) Strumienia Junikowskiego w Poznaniu w latach 1996–99. *Badania Fizjograficzne nad Polska Zachodnią*, C, 48: 7–19.
- Włosik-Bieńczyk E. (2000b). Zmiany w faunie mięczaków Mollusca zbiorników powyro-biskowych w dolinie Strumienia Junikowskiego w Poznaniu w latach 1996–99. *Prze-gład Przyrodniczy*, 11, 4: 53–63.
- Wrońska-Pilarek D., Kluza-Wieloch M. (2022). Dawne użytki ekologiczne w zlewni Junikowskiego Strumienia i ich rola w ekologicznym systemie obszarów chronionych miasta Poznania. W: M. Mazurek, D. Abramowicz (red.), *Środowisko geograficzne zlewni Junikowskiego Strumienia*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 223–230.
- Ziulkiewicz M., Fortuniak A., Górecki M., Grzędzińska S., Małecka B., Waack-Zajac A., (2016). Zdjęcie hydrochemiczne rzeki miejskiej na przykładzie Olechówki (Łódź). *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk*, 39: 279–291.
- Ziulkiewicz M., Fortuniak A., Górski J., Ajzert M., Kaźmierczak K., Lik K., Mytkowska N., Ślusarczyk T. (2023). Zintegrowana ocena stanu hydrochemicznego doliny rzecznej w obszarze podmiejskim na przykładzie Strugi Dobieszkowskiej (Młynówki) (gm. Stryków). *Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Geographica Physica*, 22: 19–36. <https://doi.org/10.18778/1427-9711.22.02>
- Zwoliński Z., Hildebrandt-Radke I., Mazurek M., Makohonienko M. (2018). Anthropo-geomorphological Metamorphosis of an Urban Area in the Postglacial Landscape: A Case Study of Poznań City. W: M.J. Thornbush, C.D. Allen (red.), *Urban Geomorphology. Landforms and Processes in Cities*. Elsevier, s. 55–77.
- Żychowski J. (2010). Wpływ krakowskich cmentarzy na środowisko przyrodnicze. *Prze-gład Geograficzny*, 82, 3: 409–433.