

Rekultywacja terenów pogórnicznych – studium przypadku Jeziora Tarnobrzeskiego

Maksymilian Cieśla¹, Renata Gruca-Rokosz¹,
Lilianna Bartoszek¹, Omonov Sokhibnazar Omonov²

Recultivation of post-mining areas – a case study of Tarnobrzeg Lake. *Prz. Geol.*, 71: 614–619; doi: 10.7306/2023.48

Abstract. The article attempted to discuss the problems related to the recultivation of post-mining lands, especially in the context of the possibility of creating ecologically sustainable lake-like water systems in these areas. In this view, the anthropogenic origin of Tarnobrzeg Lake can be a model example of eco-innovative recultivation activities of degraded post-mining lands. The case study of Tarnobrzeg Lake indicates that, as a result of the implemented works, a stable and mature aquatic ecosystem with macrophyte orientation was created. Moreover, it turns out that the peculiar characteristics of macrophytic lakes now make them an optimal solution for newly designed reservoirs for tourist and recreational use in places of depleted post-mining depressions. The example of the recultivated areas after the decommissioned Machów mine encourages us to look at mining not only as an invasive human activity in the environment anymore, but also as an activity that enriches the landscape and environment with new, often unique morphological forms.

Keywords: recultivation of post-mining lands, post-mining reservoirs, phytomediation, Machów Mine, Lake Tarnobrzeg

Kwestie związane z zagospodarowaniem terenów pokopalnianych są złożonym i wieloaspektowym zagadnieniem zależnym m.in. od czynników społeczno-ekonomicznych, technicznych oraz środowiskowych (Kivinen, 2017). Na ogół decyzja o wyborze najbardziej właściwego kierunku rekultywacji pokopalnianego terenu jest poprzedzona analizą zarówno obszaru objętego działaniami naprawczymi, jak i jego otoczenia. Przyjęty kierunek rekultywacji powinien wyznaczać zakres działań naprawczych w celu osiągnięcia docelowego stanu zagospodarowania terenu. Realizacja ustalonego zakresu działań to długofalowe i progresywne przedsięwzięcie. Działania te są związane m.in. z ukształtowaniem terenu, neutralizacją zanieczyszczeń, bioremediacją gruntu oraz utworzeniem docelowej infrastruktury technicznej oraz zaplecza gospodarczo-usługowego. Zasadniczo ogół tych czynności ma na celu tzw. ożywienie terenu dotkniętego działalnością górnictwem. Wspomniane ożywienie terenu, można rozumieć wielopłaszczyznowo, tzn. z jednej strony jako dosłowne ożywienie w znaczeniu biologicznym, ale z drugiej strony, tj. w szerszym ujęciu, jako zrównoważony rozwój danego obszaru (rejonu, regionu) (Ostręga, Uberman, 2010).

W kontekście zrównoważonej gospodarki wodny kierunek rekultywacji terenów pogórnicznych jest niezwykle ważny, gdyż prowadzi do powstawania akwenów wodnych (często też nazywanych jeziorami). Poza zwiększaniem zasobów wody cennym atutem powstania nowych form jej retencji jest fakt, iż mogą być one wykorzystywane również do innych celów, m.in.: rekreacji i wypoczynku, mogą też stanowić siedliska dla roślin i zwierząt itp. Szacuje się, że dotychczas wodny kierunek rekultywacji terenów pogórnicznych był wykorzystywany w ok. 10% przypadków (Jawecki i in., 2018). Niemniej jednak potencjalne wykorzystanie terenów poeksploatacyjnych w kierunku utworzenia sztucznych akwenów wodnych jest zależne m.in. od ich parametrów morfometrycznych oraz ilości i jakości zgromadzonej w nich wody. W zależności od sytuacji

utworzone w zlikwidowanych kopalniach zbiorniki wodne mogą różnić się między sobą głębokością, powierzchnią, objętością, a wody w nich zgromadzone mogą mieć odmienne właściwości fizyczno-chemiczne (Jawecki, 2022).

TEREN BADAŃ I METODYKA

Jezioro Tarnobrzekie to duży zbiornik wodny zlokalizowany na prawym brzegu Wisły, w granicach administracyjnych miasta Tarnobrzeg. Powierzchnia lustra wody zbiornika wynosi ok. 500 ha, a maksymalna głębokość to 42 m (tab. 1). Zbiornik powstał w wyniku rekultywacji

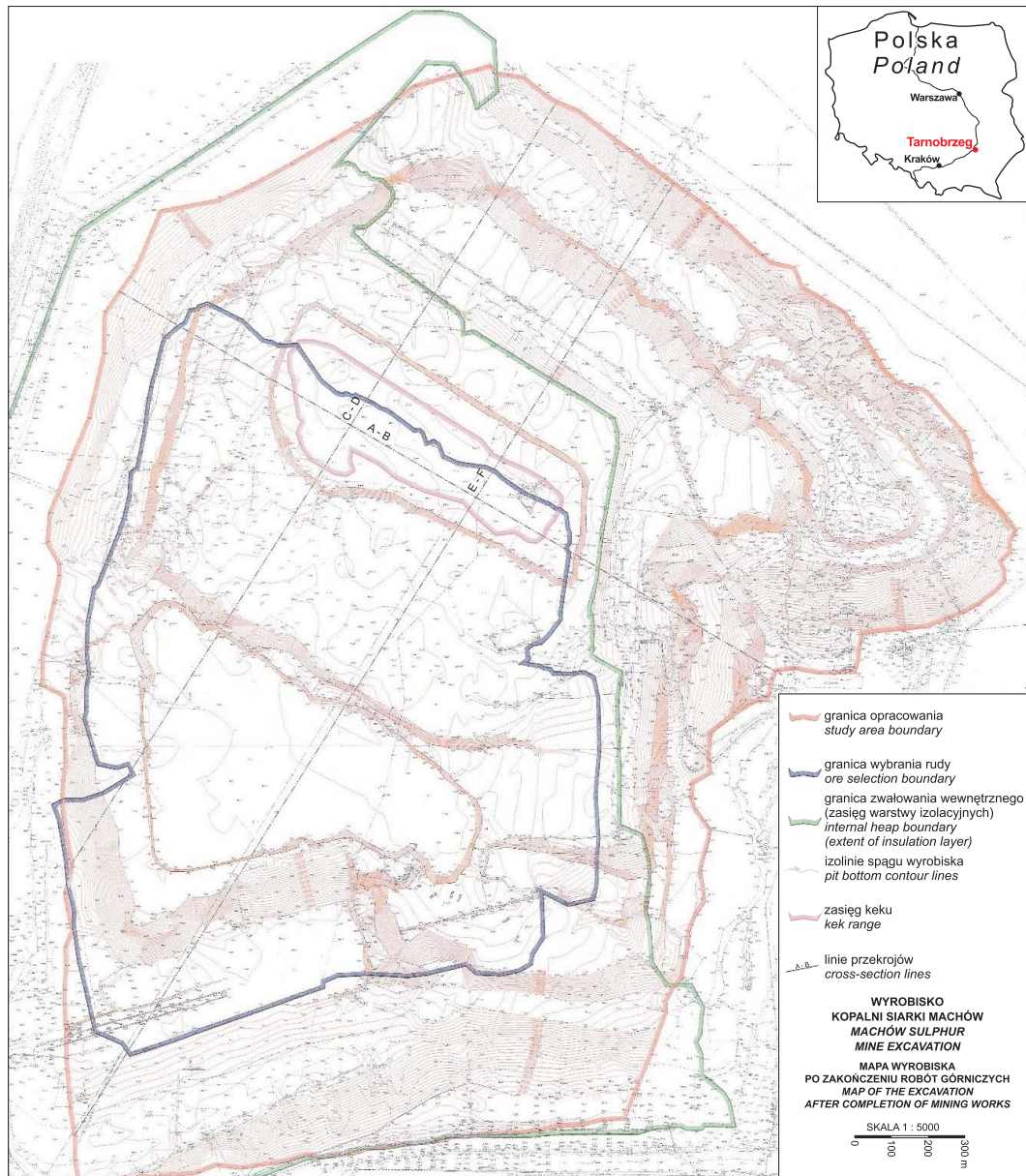
Tab. 1. Wybrane parametry morfometryczne Jeziora Tarnobrzeskiego (na podstawie Mitury, 2015)

Table 1. Selected morphometric parameters of Tarnobrzeg Lake (from Mitura, 2015)

Parametr Parameter	Wartość Value
Pojemność całkowita [mln m ³] Total capacity [M m ³]	111,2
Powierzchnia lustra wody [ha] Water surface area [ha]	500
Długość zbiornika [m] Length of reservoir [m]	ok. 3000
Szerokość zbiornika [m] Width of reservoir [m]	ok. 2500
Długość linii brzegowej [m] Shoreline length [m]	ok. 10 000
Głębokość maksymalna [m] Maximum depth [m]	ok. 42
Głębokość średnia [m] Average depth [m]	22,0
Współczynnik rozwinięcia linii brzegowej [–] Shoreline development factor [–]	0,8
Efektywny zasięg mieszania [m] Effective mixing range [m]	29,0

¹ Katedra Inżynierii i Chemii Środowiska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; cmax@prz.edu.pl; ORCID ID: Maksymilian Cieśla – 0000-0001-5533-9560, Renata Gruca-Rokosz – 0000-0001-8222-2480

² Karshi Engineering-Economics Institute, 225 Mustakillik Avenue, Qarshi 180100, Uzbekistan



Ryc. 1. Mapa poeksploatacyjnego wyrobiska (na podstawie materiałów udostępnionych przez Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne SIGMA BP Sp. z o.o.)

Fig. 1. Map of the excavation after the completion of mining works (prepared based on materials provided by the Service and Production Company SIGMA BP Ltd.)

terenów pogórnich tarnobrzezkiego przemysłu siarkowego (likwidacja Kopalni Siarki *Machów*). Dno wyrobiska górniczego zostało uszczelnione 25-metrową warstwą izolacyjną składającą się głównie z ilów krakowieckich (Jadach, 2016). Eksploatacja surowca odcisnęła swoje piętno, powodując znaczące przekształcenia okolicznego krajobrazu. Jednym z najbardziej namacalnych przeobrażeń przestrzeni było utworzenie poeksploatacyjnego wyrobiska (Mitura, 2015) (ryc. 1).

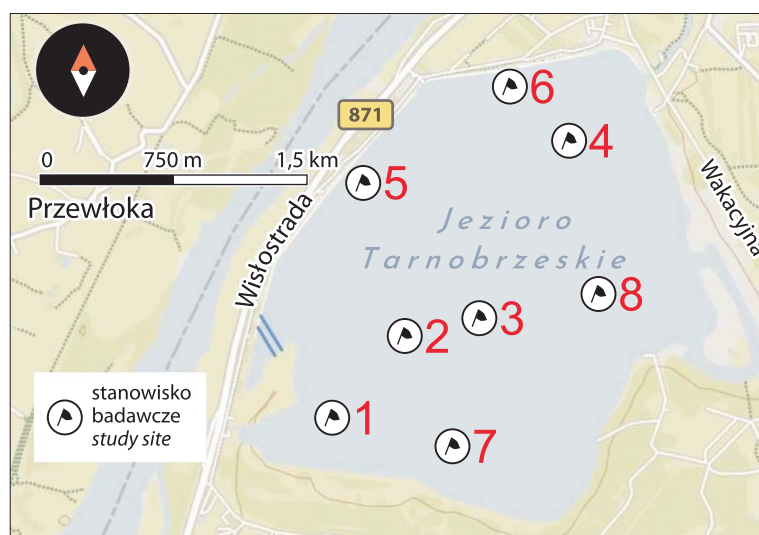
W rezultacie podjętych działań rekultywacyjnych pokopalnianego wyrobiska utworzono obiekt biologicznie czynny o unormowanej rzeźbie terenu z roślinnością wodną i drzewiastą, uregulowanych stosunkach wodnych oraz z infrastrukturą i zapleczem gospodarczo-usługowym (Kasztelewicz i in., 2010).

W celu określenia właściwości fizykochemicznych wód, wodę powierzchniową ze stanowisk zlokalizowanych na Jeziorze Tarnobrzezkim pobrano trzykrotnie: 1.03.2023 r.,

następnie 7.03.2023 r. oraz 29.03.2023 r. W warunkach *in situ* przy użyciu multimetra HQ40d firmy HACH oznaczano przewodność elektrolityczną. Natomiast pozostałe wskaźniki, niezwłocznie po przetransportowaniu próbek, oznaczano w laboratorium badawczym. W warunkach laboratoryjnych oznaczano: siarczany, chlorki, wapń, magnez (metoda przy użyciu chromatografii jonowej), zawiesinę (metoda wagowa), azot i fosfor ogólny (metoda spektrofotometryczna) (Gruca-Rokosz i in., 2023). Próbkę wody do badań pobrano z 8 stanowisk zlokalizowanych na obszarze Jeziora Tarnobrzezkiego (stanowiska 1–8) (ryc. 2).

WYNIKI BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rycinach 3–5. Wody powierzchniowe jeziora charakteryzowały się bardzo niską zawartością zawiesiny, która we wszystkich seriach badawczych zmieniała się w zakresie



Ryc. 2. Lokalizacja stanowisk badawczych
Fig. 2. Location of study sites

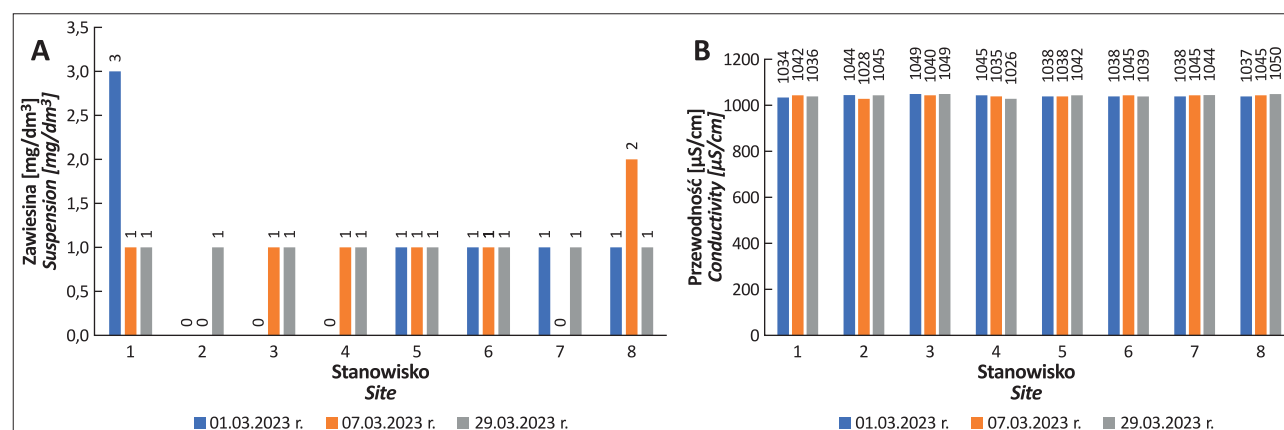
od 0 do 3 mg/dm³ (ryc. 3A). Analiza parametru charakteryzującego poziom zasolenia wód jeziora wykazała, że w całym okresie badawczym zmieniał się on w wąskim zakresie od 1025 do 1050 μS/cm (ryc. 3B).

Również zawartość siarczanów w wodzie z jeziora w całym okresie badawczym zmieniała się w wąskim zakresie od 199 do 210 mg/dm³ (ryc. 4A). Woda powierzchniowa w jeziorze pod kątem stężenia chlorków charakteryzowała się stężeniami zmieniającymi się od 113 do 122 mg/dm³ (ryc. 4B). Z kolei wartości stężenia wapnia i magnezu oscylowały w granicach od ok. 82 do 90 mg/dm³ w przypadku jonów wapnia, natomiast dla magnezu od ok. 21 do 24 mg/dm³ (ryc. 4C, D).

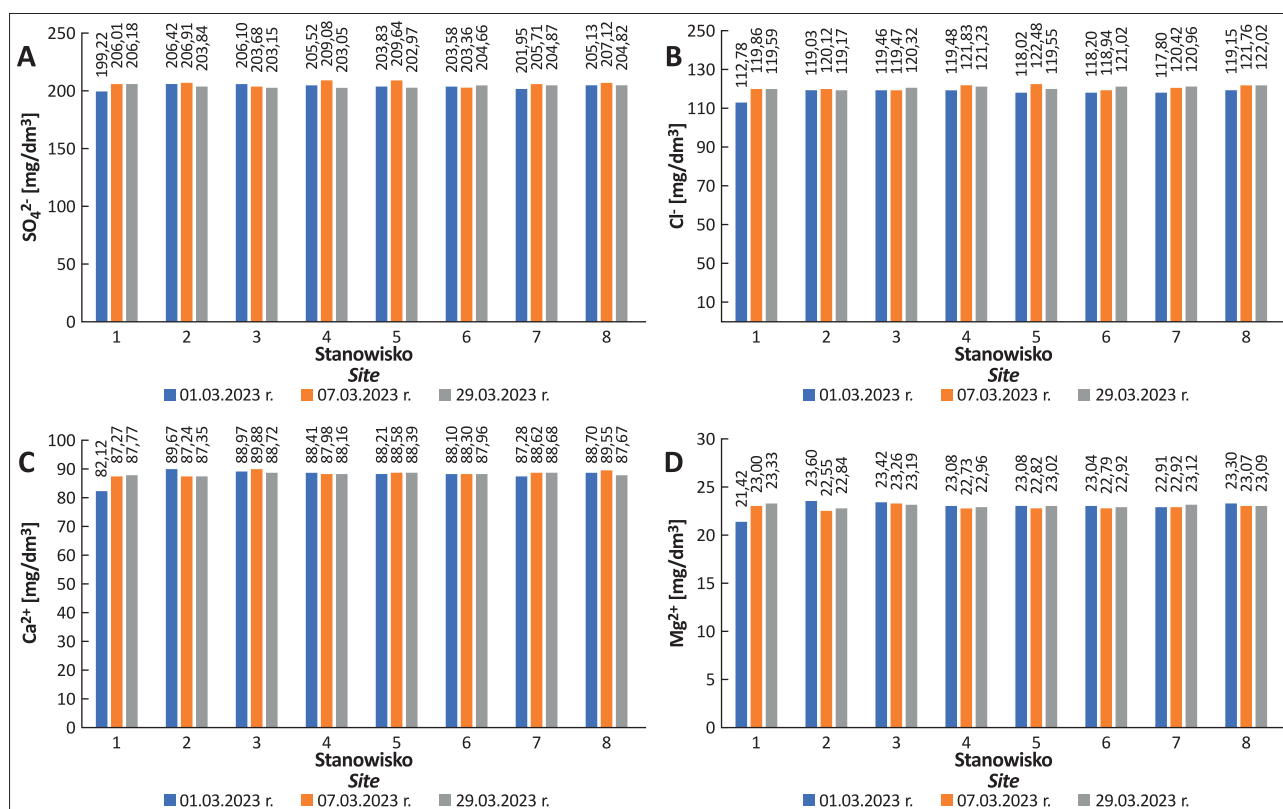
Analiza wskaźników charakteryzujących warunki biogenne (ryc. 5) wykazała, że stężenia podstawowych związków biogennych (azot ogólny i fosfor ogólny) w wodzie powierzchniowej Jeziora Tarnobrzesckiego kształtowały się na bardzo niskim poziomie. Stężenie fosforu ogólnego w powierzchniowej warstwie wody zbiornika wahało się w przedziale 0,0041–0,0057 mg/dm³. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku stężenia azotu ogólnego, wartości tego parametru w powierzchniowej warstwie wody zawierały się w zakresie 0,2679–0,3269 mg/dm³ (Gruca-Rokosz i in., 2023).

GŁÓWNE EFEKTY DZIAŁAŃ REKULTYWACYJNYCH TERENU PO KOPALNI MACHÓW

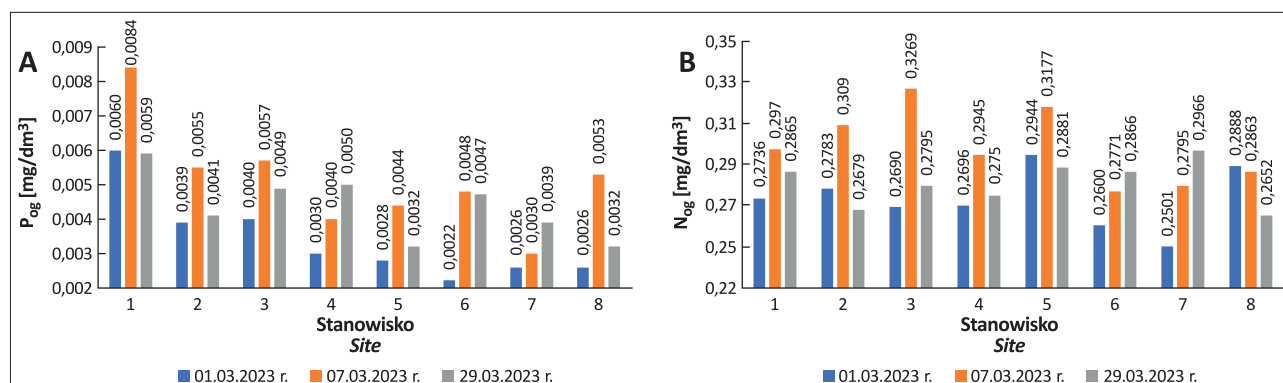
W efekcie zrealizowanych działań naprawczych terenu po kopalni Machów został utworzony sztuczny akwen wodny oficjalnie nazwany jako Jezioro Tarnobrzesckie. Jednakże pomimo pewnych podobieństw, obiekty te mogą się różnić od jezior naturalnych. Tego rodzaju akweny stanowią odrębne ekosystemy wodne, scalające specyficzne właściwości środowiska odpowiedniego dla jezior i rzek (Chapman, 1996). Aczkolwiek, niezależnie od swojego pochodzenia, mogą one stanowić ważny i wartościowy komponent krajobrazu oraz urozmaicać bioróżnorodność w swoim otoczeniu. W miarę upływu czasu antropogeniczne zbiorniki mogą stać się miejscem bytowania wielu gatunków roślin i zwierząt (Wiatkowski i in., 2010). Wyrobisko po zlikwidowanej kopalni siarki Machów może posłużyć jako namacalny przykład tego rodzaju moderatorskiego oddziaływania na środowisko. Okazuje się, że miejsce to stało się siedliskiem dla wielu gatunków ryb (tj. szczupaki, sumy, karpie królewskie, płocie i okonie) (Bestdivers.pl). Ponadto, oprócz tego występują tu też sprzyjające warunki dla rozwoju flory. Spotkać tu można wiele gatunków makrofitów zanurzonych, m.in. rdestnicę, osokę aloesowatą, ramienice i moczarki kanadyjskie czy też rogatek sztywny. Istnieją też pewne przypuszczenia (jednakże oficjalnie niepotwierdzone), iż dno jeziora mogło zostać zasiedlone przez rzadki gatunek rośliny wodnej, tj. jezierzę (Bestdivers.pl) (na obszarze polski roślina ta objęta jest ochroną gatunkową; Mirek i in., 2006). Należy też zwrócić uwagę, iż wspomniane powyżej rośliny preferują głównie eutroficzne wody, bytując w akwenach zdegradowanych oraz obfitujących w znaczne ilości materii organicznej (Bernatowicz, Wolny, 1974; Kłosowski, Kłosowski, 2010). Natomiast wody Jeziora Tarnobrzesckiego cechują się relatywnie niskim poziomem wzbogacenia w substancje odżywcze (w pewnym uproszczeniu są to azot i fosfor). Można przypuszczać, iż bytująca w jeziorze rdestnica może być kluczem do wyjaśnienia tychże specyficznych przypadków. Ponieważ roślina ta jest współodpowiedzialna za tworzenie korzystnych warunków do bytowania innych organizmów. Przypisuje się jej ważną rolę w ekosystemach wodnych, m.in. może służyć jako



Ryc. 3. Wskaźniki charakteryzujące: A – zawartość zawiesiny, B – przewodność
Fig. 3. Indicators characterizing: A – suspended sediment, B – conductivity



Ryc. 4. Wskaźniki charakteryzujące: **A** – siarczany SO₄²⁻, **B** – chlorki Cl⁻, **C** – wapń Ca²⁺, **D** – magnez Mg²⁺
 Fig. 4. Indicators characterizing: **A** – sulfates SO₄²⁻, **B** – chlorides Cl⁻, **C** – calcium Ca²⁺, **D** – magnesium Mg²⁺



Ryc. 5. Wskaźniki charakteryzujące: **A** – fosfor ogólny, **B** – azot ogólny
 Fig. 5. Indicators characterizing: **A** – total phosphorus, **B** – total nitrogen

bank substancji odżywczych, pandto stabilizuje osady denne (ograniczając ich resuspensję) oraz wspomaga proces sedymentacji zawiesin w słupie wody (Potamogeton Linnaeus, 2023).

Co więcej, zaobserwowane niskie poziomy substancji biogenych świadczyć mogą o dobrej kondycji analizowanego akwenu. Pomimo relatywnie młodego wieku zbiornik ten wykazuje cechy dojrzałego ekosystemu, w którym mogła zostać wykreowana pewnego rodzaju homeostaza. W homeostatycznych akwenach wodnych ma miejsce naturalny mechanizm obronny przed postępującym procesem degradacji. Mechanizm ten w głównej mierze polega na wyłączeniu z obiegu (poprzez sedymentację) znacznej puli zawieszonych materii wprowadzonej ze źródeł zarówno zewnętrznych, jak i powstałej wewnątrz ekosystemu (Kajak, 2001). Proces sedymentacji materii zawieszonych w toni wodnej jest uzależniony od wielu czynników. Znaczenie ma zarówno głębokość akwenu, właściwości materii zawie-

szonej (mineralna, organiczna, wielkość i ciężar), jak i reżim hydrologiczny (przepływ wody) oraz atmosferyczny, tj. intensywność oddziaływania wiatrowego (zasadniczo ogranicza sedymentację zawiesin). Znaczący wpływ mogą też mieć uwarunkowania fizyczne i chemiczne panujące w wodzie, m.in. wytrącanie osadów mineralnych (Cieśla i in., 2020).

W tym kontekście stwierdzona bardzo niska zawartość zawieszonych materii w wodach jeziora może stanowić podstawę potwierdzającą tezę o wykreowanej w tym akwenu homeostazie. Ponadto na ten stan mogła korzystnie wpłynąć duża jego głębokość (ok. 42 m), a w związku z tym możliwość występowania stratyfikacji termicznej wód. Dodatkowo duża pojemność zbiornika w odniesieniu do stosunkowo mało rozwiniętej jego linii brzegowej, a także niedużej powierzchni (tab. 1) przekłada się na skuteczniejszą zdolność do rozcieńczenia zanieczyszczeń. Z kolei możliwość występowania termicznego rozwarstwienia wód

(tj. stratyfikacji termicznej) jest specyficzną cechą odpowiednio głębokich akwenów. Szczególnie w okresie stagnacji letniej determinuje ona krążenie wielu substancji. W rezultacie przez większość okresu wegetacyjnego substancje odżywcze pochodzące z osadów dennych mogą być skutecznie zatrzymywane w strefie hypolimnionu, a tym samym ograniczać rozwój fitoplanktonu w powierzchniowej warstwie wody (Bartoszek, Czech, 2014). Jest to o tyle ważne, że nadmierny rozwój fitoplanktonu może pociągać szereg negatywnych dla jeziora konsekwencji. Przykładem tego może być nieadekwatna do zapotrzebowania akumulacja materii organicznej, zwiększone zapotrzebowanie tlenu niezbędnego do jej rozkładu, jak też alkalizacja wód. Przyrost fitoplanktonu może też skutkować wzrostem mętności wody oraz doprowadzić do niekorzystnych zmian właściwości organoleptycznych (Blindow i in., 2014). Jeszcze innym niekorzystnym zjawiskiem związanym ze wzrostem mętności wody jest realne ryzyko obumierania roślinności wodnej (m.in. wskutek pogorszenia warunków świetlnych; Gałczyńska, Buśko, 2016), a ponieważ makrofity w wodzie pełnią wiele pożytecznych funkcji jest to bardzo niekorzystne zjawisko dla ekosystemu. Makrofity wodne współrywalizując o substancje odżywcze, stanowią naturalną konkurencję dla fitoplanktonu. Współodpowiadają też za obieg nutrientów w wodzie przez skuteczną ich asymilację w swoich tkankach. Dodatkowo tworzą naturalną barierę biogeochemiczną, co nie tylko redukuje zjawisko resuspensji osadów dennych, ale też ogranicza tranzyt zanieczyszczeń wprowadzanych ze zlewni (Pełechaty, Proń, 2015).

Z uwagi na specyficzne właściwości makrofitowych jezioro do efektywnego wyhamowania rozwoju fitoplanktonu (fitomediacja procesu eutrofizacji) stanowią one najczęściej zalecane rozwiązanie w rekultywacji pogórnich zagłębi (Ramanchuk i in., 2021). Ogólnie rzecz biorąc, akweny wodne o makrofitowej orientacji są bardziej stabilne i odporne na degradację aniżeli obiekty opanowane przez fitoplankton. Dodatkowo tego rodzaju zbiorniki są w mniejszym stopniu narażone na masowy rozwój glonów planktonowych oraz charakteryzują się bardzo dobrą przejrzystością. Przywołany powyżej potencjał fitomediacji procesu eutrofizacji jest oparty na specyficznych zdolnościach makrofitów do pobierania substancji odżywczych zarówno z wody, jak i z osadów dennych, ponadto do tego celu wykorzystują nie tylko liście, ale również system korzeniowy (Xu i in., 2021).

Ukształtowanie pokopalnianego wyrobiska w akwen wodny o określonych cechach makrofitowych wiąże się z realizacją szeregu różnorodnych czynności. Niezwykle ważny element stanowi właściwe uformowanie niecki zbiornika oraz prace pogłębiarskie zwiększające objętość obiektu bez zwiększania powierzchni lustra wody. Przede wszystkim kształt nowopowstałej niecki powinien umożliwiać rozwarstwienie masy wody (stratyfikację) oraz jej stabilność. Do tego celu zaleca się formowanie niecki w kształcie zbliżonym do walca lub półelipsoidy. Istotne jest również uzyskanie odpowiedniego stosunku głębokości średniej do maksymalnej (tzw. współczynnik regularności). Stosunek ten powinien zawierać się w zakresie od 0,66 do 1. Kolejnym ważnym aspektem jest odpowiednie uformowanie strefy płytkiej wody przybrzeżnej. Zaleca się, aby do głębokości 2,0 m podwodna część skarpy miała nachylenie w stosunku 1 : 2. Uzyskanie tego rodzaju parametrów sprzyja stworzeniu korzystnych warunków do zasiedlenia zbiornika roślinnością makrofitową. Wskazane

jest również, aby strefa obszaru litoralnego zbiornika wynosiła co najmniej 10–25% powierzchni wody. Ponadto w celu ograniczenia możliwości powstawania wód zastojowych (które mogą mieć negatywny wpływ na bioprodukcyjny reżim zbiornika) istotna jest niwelacja linii brzegowej. Warto też pamiętać o prawidłowym ukształtowaniu terenów plażowych, zaleca się, aby w strefie od brzegu do poziomu ok. 1 m powyżej maksymalnego poziomu wody nachylenie zboczy wynosiło 1 : 3 (Ramanchuk i in., 2021).

W tym kontekście Jezioro Tarnobrzeskiego może stanowić przykład dobrze zaplanowanych, a następnie zrealizowanych eko-innowacyjnych działań rekultywacyjnych wyeksploatowanego terenu pogórnego. Po analizie dostępnych danych okazało się, że w trakcie projektowania i budowy Jeziora Tarnobrzeskiego wykonano większość z wyżej wymienionych zaleceń. Ukształtowano optymalny kształt akwenu zbliżony do półelipsoidy, a uzyskany współczynnik regularności zbiornika wynoszący 0,52 niemalże zawiera się w zalecanym przedziale. Dołożono też starań, aby stworzyć odpowiednie warunki do zasiedlenia zbiornika makrofitami. W tym celu w większości przypadków strefę płytkiej wody przybrzeżnej oraz wielkość strefy litoralnej (ryc. 1) uformowano w sposób opisany powyżej. Finalnie zrealizowane czynności rekultywacyjne doprowadziły do stworzenia jeziora o cechach zbliżonych do sztucznych jezior typu makrofitowego (ryc. 6).

Dzięki eko-innowacyjnym przedsięwzięciom związanym z rekultywacją zdegradowanego terenu po zlikwidowanej kopalni *Machów* ukształtowano sztuczne jezioro, które w naturalny sposób uzyskało pożądane cechy stabilnego i zrównoważonego ekosystemu wodnego. Dodatkowo na unikalność tego miejsca składa się również pewnego rodzaju ewenement związany ze specyficznymi właściwościami wody wypełniającej nieckę zbiornika. Wyrażnym tego przykładem może być wysoki poziom zasolenia (przewodność elektrolityczna) wód Jeziora Tarnobrzeskiego (ryc. 4B). Można domniemywać, że wysoki poziom zasolenia wód zbiornika jest związany ze specyficznym geochemicznym tłem tego terenu (miejsce wydobywania siarki). W analogiczny sposób można wyjaśnić również stwierdzone wysokie stężenia pozostałych analizowanych substancji mineralnych (siarczany, chlorki, magnez oraz wapń). Uzyskane wyniki badań wykazały, że sumarycznie wody Jeziora Tarnobrzeskiego zawierają co najmniej ok. 446 mg/dm³ tych ważnych dla zdrowia mikroelementów. Co ciekawe, jest to poziom porównywalny do zawartości substancji mineralnych wielu powszechnie dostępnych wód mineralnych. Dla przykładu w wodzie *Jan* (Krynica Zdrój) znajduje się ok. 588 mg/dm³ składników mineralnych. Z kolei, poziom zmineralizowania wody *Wysowianka Zdrój* oraz *Kinga Pienińska Naturalna* (Krościenko) wynosi odpowiednio 495 i 537 mg/dm³. Dodatkowo stwierdzony relatywnie wysoki poziom siarczanów w wodzie z jeziora może wskazywać cechy wody potencjalnie leczniczej. Co prawda o prozdrowotnym wpływie zawartych w wodzie siarczanów mówi się, gdy ich stężenie przekracza poziom 250 mg/dm³. W wodach Jeziora Tarnobrzeskiego zantowano ich zawartość na dość zbliżonym poziomie sięgającym 210 mg/dm³. Jeszcze inną kwestią jest fakt, iż sam wysoki poziom siarczanów w wodzie nie stanowi podstawy do stwierdzenia, że jest ona wodą leczniczą, ale niewątpliwie nadaje temu miejscu dodatkowej unikatowości, szczególnie w przypadku terenu, na którym prowadzona była ekspansyjna działalność górnicza.



Ryc. 6. Jezioro Tarnobrzegskie – wrzesień 2023 r. Fot. M. Cieśla
Fig. 6. Tarnobrzeg Lake – September 2023. Photo by M. Cieśla

PODSUMOWANIE

Nie ulega wątpliwości, że odkrywkowa eksploatacja surowców odciska trwałą i wyraźną ślad w środowisku, przyczyniając się do przekształceń jego naturalnych właściwości. Z drugiej jednak strony stanowić może załączek do kreowania nowych i często unikatowych form krajobrazu. Co więcej, nowopowstałe utwory morfologiczne mogą stanowić inspirujący element poprawiający zarówno walory środowiska, jak i atrakcyjność turystyczną regionu. Przykład Jeziora Tarnobrzegskiego doskonale wpisuje się w tego rodzaju kanon atrakcyjności przyrodniczej, krajobrazowej oraz turystycznej. Dzięki tego rodzaju ekoinnowacyjnej rekultywacji pokopalnianego terenu na nowo oraz z pewnym spokojem można spojrzeć na odkrywkową eksploatację surowców, już nie tylko jako destrukcyjnej ingerencji człowieka, lecz też jako działalności o pozytywnym i pobudzającym oddziaływaniu na środowisko.

Dziękujemy Recenzentom za merytoryczną oraz profesjonalną recenzję artykułu.

LITERATURA

- BARTOSZEK L., CZECH D. 2014 – Podatność na degradację zbiornika zaporowego Solina. *Czas. Inż. Łąd., Środ., Architek.*, 61 (4): 35–53.
- BERNATOWICZ S., WOLNY P. 1974 – Botanika dla limnologów i rybaków. Państw. Wydaw. Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Bestdivers.pl. – Jezioro Tarnobrzegskie (Machów). <https://www.bestdivers.pl/fotorelacje/polska/jezioro-tarnobrzegskie-machow/> (dostęp: 29.08.2023).
- BLINDOW I., HARGEBY A., HILT S. 2014 – Facilitation of clear-water conditions in shallow lakes by macrophytes: differences between charophyte and angiosperm dominance. *Hydrobiologia*, 737 (1): 99–110.
- CHAPMAN D.V. (red.) 1996 – Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Second Edition. London, E & FN Spon.
- CIEŚLA M., BARTOSZEK L., GRUCA-ROKOSZ R. 2020 – Characteristics and origin of suspended matter in a small reservoir in Poland. *Ecohydrol. Hydrobiol.*, 20 (1): 73–82.
- GAŁCZYŃSKA M., BUŚKO M. 2016 – Stan zbiorników wodnych w Polsce oraz potencjalne i stosowane metody ich ochrony i rekultywacji. *Wiad. Meliorac. Łąk.*, 3: 129–135.
- GRUCA-ROKOSZ R., BARTOSZEK L., CIEŚLA M., MIĄSIK M., BUJAK E., STROJNY W., NAWOTNIK A., PYTEL M. 2023 – Ocena wpływu okresowego przerzutu wody z Wisły na jakość wód Jeziora Tarnobrzegskiego (ekspertyza). Politechnika Rzeszowska.
- JADACH R. 2016 – Właściwości fizyczno-chemiczne wód powierzchniowych zrehabilitowanych terenów pogórnich tarnobrzegskiego zagłębia siarkowego. *Pr. Nauk. UE we Wrocławiu*, 461: 87–96.
- JAWECKI B. 2022 – The influence of Strzelin Quarry Lakes on small reservoir retention resources in the regional catchments. *Sci. Rep.*, 12, 14642.
- JAWECKI B., DĄBEK P.B., PAWĘSKA K. i in. 2018 – Estimating Water Retention in Post-mining Excavations Using LiDAR ALS Data for the Strzelin Quarry, in Lower Silesia. *Mine Water Environ.*, 37: 744–753.
- KAJAK Z. 2001 – Hydrobiologia – Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Warszawa.
- KASZTELEWICZ Z., HAJDO S., SYPNIEWSKI S. 2010 – Górnictwo odkrywkowe a rekultywacja terenów pogórnich. *Cz. 1. Problemy Ekologii*, 14 (1): 22–32.
- KIVINEN S. 2017 – Sustainable Post-Mining Land Use: Are Closed Metal Mines Abandoned or Re-Used Space? *Sustainability*, 9 (10): 1705.
- KŁOSOWSKI G., KŁOSOWSKI S. 2010 – Rośliny wodne i bagienne. Wydaw. Multico: 104–105.
- MIREK Z., ZARZYCKI K., WOJEWODA W. i in. (red.) 2006 – Czerwona lista roślin i grzybów w Polsce. PAN, 1: 99
- MITURA T. 2015 – Zagospodarowanie terenów pogórnich na potrzeby turystyki. *Rozpr. Nauk. AWF we Wrocławiu*, 50: 49–58.
- OSTRĘGA A., UBERMAN R. 2010 – Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposób wyboru, klasyfikacja i przykłady. *Górn., Geoinż.*, 34 (4): 445–461.
- PEŁECHATY M., PRONIN E. 2015 – The role of aquatic and rush vegetation in the functioning of lakes and assessment of the state of their waters. *Stud. Limnol. Telmatolog.*, 9 (1): 25–34.
- POTAMOGETON LINNAEUS 2023 – Wydawnictwo Flora of North America, 22 (5): 61 (dostęp: 29.08.2023).
- RAMANCHUK A.I., MAKAREVICH T.A., KHOMITCH S., MACHOWSKI R., RZETALA M.A., RZETALA M. 2021 – Methodological approaches to phytomediation of productive processes in chalk quarry reservoirs of Belarus. *Ecol. Indic.*, 129: 107995.
- SIGMA BP Sp. z o.o. – Mapa wyrobiska po kopalni siarki „Machów”. Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne SIGMA BP Sp. z o.o., ul. Sienkiewicza 23, 39-400 Tarnobrzeg.
- WIATKOWSKI M., ROSIK-DULEWSKA C., WIATKOWSKA B. 2010 – Charakterystyka stanu użytkowania małego zbiornika zaporowego Nowaki na Korzkwi. *Rocz. Ochr. Środ.*, 12: 351–364.
- XU Z., YANG Y., YU Ch., YANGA Z. 2021 – Optimizing environmental flow and macrophyte management for restoring a large eutrophic lake-marsh system. *Hydrolog. Proc.*, 35 (1): e13965.

Praca wpłynęła do redakcji 20.10.2023 r.
 Akceptowano do druku 8.11.2023 r.