

Poprawa efektywności energetycznej i ekonomicznej przykładowej przepompowni wód z niecki bezodpływowej

Sebastian Guja, Janusz Piotrowski, Łukasz Niesporek, Andrzej Chmiela, Adam Smoliński

1. WSTĘP

Podziemna eksploatacja złóż oddziałuje na środowisko zarówno w okresie czynnego wydobycia, jak i po jego zakończeniu. Niezależnie od sposobu prowadzenia eksploatacji deformacje terenu wpływające na zmiany stosunków wodnych zawsze towarzyszą wybieraniu złóż. Jednym z objawów osiadań terenu jest powstawanie nieck bezodpływowych, a w nich obszarów podtopień [2, 5, 14]. Efektem deniwelacji może być zmiana kierunku i natężenia spływu wód powierzchniowych i podziemnych. Skuteczność systemu odwadniania jest najważniejszym elementem profilaktyki zagrożeń wynikających ze zmiany warunków hydrogeologicznych spowodowanych dokonaną eksploatacją górniczą. Zaprzestanie odwadniania może prowadzić do zatopienia niżej położonych terenów na powierzchni i potencjalnego zanieczyszczenia przypowierzchniowych warstw wodonośnych i źródeł wody pitnej [16].

Na terenie górniczym analizowanej kopalni funkcjonuje system 10 przepompowni wód deszczowych w depresyjnie w stosunku do rzeki położonych nieckach obniżeniowych. Rocznie na utrzymanie i obsługę przepompowni wydatkuje się około 80 wielokrotności jednostkowego rocznego kosztu pracowniczego w 2023 roku w SRK S.A. [15]. Prowadzenie odwadniania nieck bezodpływowych zabezpiecza społeczność lokalną przed podtopieniami czy zalaniem w okresie wzmożonych opadów [9, 10]. Przepompownie zlokalizowane na terenie kopalni rocznie odprowadzają do rzeki około 12 mln m³ wód opadowych i wód niesionych do nieck bezodpływowych lokalnymi ciekami (dane za 2023 r.). Zakup energii elektrycznej jest jednym z najwyższych składników kosztów utrzymania systemu odwadniania nieck bezodpływowych. Zużycie energii w 2023 r. w przepompowniach na terenie kopalni wyniosło około 377 MWh, co odpowiada ekwiwalentnej emisji około 310 Mg CO₂ do atmosfery [24].

2. Cel i zakres opracowania

W rejonie przepompowni przypowierzchniową warstwę tworzą gliny i iły o bardzo małych własnościach filtracyjnych, co przy zaniechaniu pompowania doprowadziłoby do ich wypełnienia się odwadnianą niecką bezodpływową wodą [12, 13]. Awaria czy niesprawność procesu odwadniania może nawet w krótkim czasie doprowadzić do podtopień [11, 17]. Przepompownia, nawet działająca w systemie automatycznego sterowania, wymaga utrzymywania jej w sprawności i przynajmniej

Streszczenie: Wieloletnie wydobycie węgla kamiennego spowodowało deniwelację powierzchni terenu, a ta zmieniła warunki hydrogeologiczne. Przez zmiany w morfologii terenu zwiększyło się zagrożenie podtopieniami na powierzchni terenów dotkniętych wpływem eksploatacji górniczej. Bez profilaktyki zalewowej pojawiać się będą zalania i podtopienia stref najbardziej obniżonych oraz zanieczyszczenie wód powierzchniowych, źródeł wody pitnej. W publikacji przeprowadzono analizę możliwości obniżenia kosztów utrzymania funkcjonującej przepompowni wód opadowych z bezodpływowej niecki na terenie zlikwidowanej kopalni. Przedstawiono technicznie możliwe do przeprowadzenia, ekonomicznie uzasadnione rozwiązanie projektowe.

Słowa kluczowe: niecki bezodpływowe, zagrożenie podtopieniami, likwidacja kopalni, OZE, element gospodarki obiegu zamkniętego.

Summary: Many years of hard coal mining have caused the land surface to delevelle, which has changed the hydrogeological conditions. Changes in the morphology of the terrain have increased the risk of flooding in areas affected by mining. Without flood prevention, flooding and flooding of the most depressed areas will occur, as well as contamination of surface waters and drinking water sources. The publication analyzes the possibility of reducing the costs of maintaining the functioning rainwater pumping station from a septic tank on the premises of a closed mine. A technically feasible, economically justified design solution was presented.

Keywords: septic tanks, risk of flooding, mine closure, renewable energy, element of the circular economy.

wyrywkowej kontroli i nadzoru. Operacje te pociągają za sobą ponoszenie wymiernych kosztów. Celem przeprowadzonej analizy było opracowanie innowacyjnego pilotażowego projektu przepompowni wód powierzchniowych oraz poznanie wpływu zmieniających się uwarunkowań energetycznych i technicznych na efektywność ekonomiczną projektu modernizacji przykładowej przepompowni wód powierzchniowych. Modernizacja istniejącej infrastruktury przepompowni w nowatorski

sposób połączona z nowymi technologiami będzie częściowo samofinansującym się rozwiązaniem, pozytywnie odbieranym społecznie i wizerunkowo, a zarazem wpisującym się w model pracy elementu gospodarki obiegu zamkniętego [2].

Jednym ze sposobów ograniczenia zapotrzebowania na zakup energii elektrycznej z sieci jest budowa farm fotowoltaicznych [3, 4, 6]. Proponowane wyposażenie przepompowni w odnawialne źródła energii (OZE) zgodnie z analizowanym projektem może stać się pilotażowym rozwiązaniem możliwym do powielania w kolejnych lokalizacjach. Połączenie odnawialnych źródeł energii (OZE) i procesów odwadniania niecki bezodpływowej jest nowym dotychczas niepraktykowanym rozwiązaniem [23]. Poza pokryciem zapotrzebowania energetycznego przepompowni i w pewnym stopniu niezależniącym się od dostaw energii z sieci, projekt ma na celu rewitalizację zdegradowanych terenów pozalewowych i ochronę zagrożonych ujęć wody pitnej [20]. Bardzo istotnym elementem projektowym było ograniczenie kosztów utrzymania przepompowni i zwiększenie efektywności finansowej przedsięwzięcia.

Badania wykonano w oparciu o wyniki cyklicznych pomiarów geodezyjnych linii obserwacyjnych zlokalizowanych na terenie górniczym kopalni, prowadzonych przez własne służby geodezyjne. Dla potrzeb projektowych wykonano geodezyjne pomiary sytuacyjno-wysokościowe parametrów ukształtowania analizowanego potoku na terenie górniczym oraz aktualizację pomiarów geodezyjnych okolic analizowanego cieków wodnego. W końcowym etapie prac projektowych zaktualizowano wielkość niezbędnych nakładów, które pozwoliłyby na modernizację przepompowni, późniejsze zmniejszenie kosztów odwodnienia zlewni analizowanej niecki bezodpływowej i częściowe zabezpieczenie układu techniczno-organizacyjnego przed zanikami zasilania z sieci tzw. „blackout”.

3. Analiza deformacji wywołanych dokonaną eksploatacją górniczą

W 2015 roku Spółka Restrukturyzacji Kopalń S.A. (SRK S.A.) przejęła postawiony w stan likwidacji zakład górniczy. Analizowana pompownia znajduje się na terenie jednej z gmin rolniczych przyległych do dużych miast w Aglomeracji Śląskiej [1, 5, 14]. Największe wpływy w ukształtowaniu powierzchni na terenie kopalni były wywoływane osiadaniami [22]. W zasięgu wpływów prowadzonych robót górniczych znalazło się około 90% obszaru górniczego. Wystąpiły zarówno deformacje terenu ciągłe jak i nieciągłe, ale w większości były to niecki osiadaniami, w zakresie I – IV kategorii wpływów [21]. Wypełnianie się wodami dotychczas użytkowanych depresyjnie wobec rzeki położonych terenów, może powodować powstawanie zalewisk, tworzenie się bagien czy torfowisk i zmienić tereny zagospodarowane w nieużytki [19, 20]. Dla przeciwdziałania skutkom powstałych osiadań terenu na obszarze górniczym kopalni, dotychczas przeprowadzono regulację rzeki i jej dopływów poprzez budowę obwałowań, pogłębianie dna ich koryt, budowę nowej i pogłębianie już istniejącej infrastruktury melioracyjnej, zasypywanie depresyjnie położonych niecek i przywracanie prawidłowego spływu wód oraz budowę przepompowni wód powierzchniowych i gruntowych.

Przyjęto ostateczną niezmienną ukształtowania powierzchni terenu, ponieważ przyrosty osiadań wywołane wcześniejszą eksploatacją górniczą uległy zanikowi i nie należy się liczyć z większymi zmianami morfologii terenu. Powstałe już deformacje powierzchni spowodowane wcześniejszą działalnością wydobywczą wywołały jednak powstanie niecek bezodpływowych, w których konieczne jest prowadzenie odwadniania poprzez system przepompowni wód powierzchniowych [22]. W zasięgu wpływów eksploatacyjnych kopalni znajduje się



Rys. 1. Lokalizacja przepompowni w terenie. Źródło: <https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/>



Rys. 2. Nieruchomość SRK S.A. przyległa do przepompowni. Źródło: <https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/>

10 przepompowni odprowadzających wody powierzchniowe i gruntowe z nieck bezodpływowych do rzeki lub jej dopływów.

4. Charakterystyka analizowanej pompowni

Powstanie jednej z nieck zaburzyło bieg lokalnego ciek przepływającego przez tę nieckę. Przedmiotowy potok ma długość około 3,9 km i zlewnię o powierzchni 2,7 km². Na odcinku koryta potoku w obrębie niecki, dno potoku opadło poniżej rzędnej dna rzeki i naturalne odprowadzenie wód potoku do rzeki stało się niemożliwe. W najniższym miejscu niecki wywołanej poeksploatacyjnymi osiadaniami powierzchni terenu, została zbudowana przepompownia wód oznaczona jako P na rys 1.

Zagrożenie podtopieniami obliuguje właściciela, jakim jest Spółka Restrukturyzacji Kopalń S. A., do nieprzerwanego przerzucania wód z górnego, obniżonego koryta potoku do jego dolnego odcinka. Zgodnie z posiadanym pozwoleniem wodno-prawnym, woda z przepompowni tłoczona jest do koryta omawianego ciek czterema rurociągami \varnothing 600 (żółta linia na rys. 1) i następnie po odcinku około jednego kilometra wpada do rzeki. Przepompownia odbiera napływającą wodę z „górnego”, obniżonego koryta i przepompowuje ją do wyżej położonego odcinka koryta tego potoku w jego dolnym biegu. Na potrzeby retencjonowania nadmiaru wód przy szczególnie intensywnych opadach na potoku powyżej przepompowni wykonano zbiornik Z (rys. 1) o pojemności około 15 tys. m³. Do przygotowanego w ten sposób zlewiska Z kierowane są wszystkie wody dopływające potokiem i wody pochodzące z opadów czy roztopów. Poniżej zbiornika zabudowana jest przepompownia oznaczona jako P na rys 1. Zadaniem przepompowni jest utrzymanie pożądanego poziomu lustra napływającej wody w zbiorniku Z. W przepompowni utrzymywany jest system odwadniania oparty na układzie 4 pomp o sumarycznej wydajności pompowania około 2700 m³/h. Każda z pomp napędzana jest silnikiem o mocy 350 kW. Pompowanie odbywa się w systemie ciągłym przez wszystkie dni w roku, ale w zależności do wielkości dopływu pracuje od 1 do 4 pomp. Wody ze zlewiska za pomocą tych zatapialnych pomp ściekowych są tłoczone czterema rurociągami w dół potoku do kolektora K (rys. 1). Z kolektora woda swobodnie wypływa do nieobniżonej części swojego koryta

zasadniczego. Dla poprawy spływu należy na bieżąco udrażniać odcinek starego „dolnego” koryta potoku, celem ułatwienia grawitacyjnego spływu wód opadowych do rzeki.

5. Projekt zwiększenia efektywności ekonomicznej przepompowni wód powierzchniowych

Działalność przepompowni wymagała pozostawienia pomp w rząpiu sterowanych z posadowionego nieopodal budynku kontenera (rys. 2). Obiektem powierzchniowym towarzyszy obszar o powierzchni 0,1 ha. Z niecki bezodpływowej w 2023 roku przepompowania odprowadziła około 6 mln m³ wody. Przy doborze wielkości farmy fotowoltaicznej przyjęto maksymalne wykorzystanie

dostępnej powierzchni sąsiadującej działki. Projekt modernizacji przepompowni zakłada wybudowanie farmy o mocy wytwórczej około 0,09 MWp.

Zbudowana farma fotowoltaiczna rocznie będzie mogła wygenerować do około 136 MWh „zielonej” energii elektrycznej. Przepompownia przy minimalnym i nominalnym obciążeniu (tylko 1 czynna pompa) wymaga co najmniej około 0,35 MW. Szacuje się, że przy minimalnym obciążeniu przepompownia do realizacji swoich działań wymaga około 3,1 GWh energii elektrycznej rocznie. Przyjmując minimalne obciążenie tylko jedną pompą, farma mogłaby zaspokoić do około 24% zapotrzebowania energetycznego pompowni w dni słoneczne i do 4,4% energii niezbędnej dla pracy przepompowni w układzie rocznym. Dodatkowym efektem ekologicznym byłoby ograniczenie ekwiwalentnej emisji do atmosfery o około 112 Mg CO₂ [25]. Wykorzystanie potencjału źródeł OZE jest ograniczone warunkami technicznymi i atmosferycznymi, ale nawet w dni słoneczne generowana energia całkowicie zostanie zużyta przez zabudowane pompy. Brakującą część energii elektrycznej przez cały rok przepompownia na bieżąco pobierać będzie z sieci krajowej. Należność będzie regulowana zgodnie z wynegocjowaną z lokalnym dostawcą energii, jednostkową ceną zakupu energii.

Tabela 1. Parametry pracy zmodernizowanej przepompowni wód powierzchniowych

	Wielokrotność jednostkowego rocznego kosztu pracowniczego w 2023 roku	QIV 2023	QI 2024
Nakłady na modernizację przepompowni			2,2
Zmniejszenie kosztu zakupu energii		0,733	0,473
Przewidywany czas zwrotu nakładów	[lata]	3,0	4,6
Źródło: opracowanie własne			

Dla jednostkowej ceny zakupu energii elektrycznej w IV kwartale 2023 roku energia wyprodukowana przez farmę dałaby oszczędności równoważne 0,733 jednostkowego rocznego kosztu pracowniczego w 2023 roku w SRK S.A. (tabela 1). Uwzględniając koszt budowy farmy powiększony o dodatkowe koszty utrzymania instalacji fotowoltaicznej, prosty czas zwrotu dodatkowych nakładów wyniósłby około 3 lata. Krótki czas zwrotu dodatkowych nakładów związany jest z faktem, że znakomita większość kosztów utrzymania przepompowni jest już ponoszona, a te dodatkowe są nieznaczne. Projekt nie przewiduje dodatkowego zwiększenia zatrudnienia. Przy pracy automatycznej wymagane będzie jedynie utrzymanie dotychczasowej kontroli zdalnej i incydentalnej obsługi technicznej.

W pierwszym kwartale 2024 nastąpiła zmiana wysokości cen jednostkowych za energię elektryczną. Spadek jednostkowej ceny energii elektrycznej, wynegocjowany z lokalnym dostawcą zmniejszył koszty jej zakupu, co spowodowało wydłużenie prostego czasu zwrotu dodatkowych nakładów do 4,6 roku (tabela 1). Prawdopodobne są kolejne obniżki jednostkowej ceny zakupu energii i kolejne wydłużenie prostego czasu zwrotu dodatkowych nakładów. Przy aktualnej sytuacji rynkowej prosty czas zwrotu dodatkowych nakładów nie powinien jednak przekroczyć 6,5 roku. Krótki okres zwrotu dodatkowych nakładów sugeruje przeprowadzenie opisanego przedsięwzięcia [7, 8].

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Powstanie niecek bezodpływowych spowodowało konieczność

budowy sieci przepompowni, które umożliwiają użytkowanie terenów zagrożonych podtopieniami lub stałym zalaniem.

Przepompownia stanowiąca przedmiot opracowania zlokalizowana została w niecce obejmującej część koryta potoku i jest odpowiedzialna za nieustanne przierzucanie wód płynących tym ciekim oraz wód opadowych ze zlewni. Wody z najniższego miejsca niecki bezodpływowej tłoczone są do nieobniżonego starego odcinka tego samego potoku. Rezygnacja z pompowania lub awaria przepompowni może spowodować zanieczyszczenie lokalnych ujęć wody (studnie) i lokalne podtopienia sąsiadujących terenów gminnych, co może doprowadzić do niepokoi i protestów lokalnej społeczności.

Połączenie przepompowni wód powierzchniowych z OZE jest nowatorskim rozwiązaniem w realiach likwidowanych kopalń. Poza pokryciem częściowego zapotrzebowania energetycznego przepompowni, projekt ma na celu rewitalizację zdegradowanych terenów pozalewowych i ochronę zagrożonych ujęć wody pitnej. Bardzo istotnym elementem projektowym było ograniczenie przyszłych kosztów i zwiększenie efektywności finansowej przedsięwzięcia.

Przedstawione przedsięwzięcie jest ekonomicznie uzasadnione i zalecane do realizacji również ze względu na zwiększenie bezpieczeństwa powodziowego. Realizacja zaproponowanego przedsięwzięcia wymaga nakładów inwestycyjnych w wysokości równoważnej 2,2 jednostkowego rocznego kosztu pracowniczego w 2023 roku w SRK S.A. Poniesione dodatkowe nakłady powinny się zwrócić po około 3 do 6 latach.

Literatura

- [1] Bluszcz A., Smoliło J.: Uwarunkowania transformacji rejonów górniczych, [in] Wybrane problemy środowiska przyrodniczego w ujęciu naukowym. Wydaw. Naukowe Tygiel. Lublin 2021.
- [2] Bondaruk J., Janson E., Wysocka M., Chałupnik S.: Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian Coal Basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides. „Journal of Sustainable Mining” 2015.
- [3] Chmiela A., Smoliło J., Smoliński A., Magdziarczyk M.: Zarządzanie wyborem wariantu samowystarczalności energetycznej pompowni wód kopalnianych, „Management and Quality – Zarządzanie i Jakość”, Vol 5 No 3, 2023.
- [4] Chmiela A., Wysocka M., Smoliński A.: Multi-criteria analysis of the possibility of retrofitting the system of rainwater drainage from subsidence basins in a liquidated mine, „Journal of Sustainable Mining” Vol. 22: Iss. 4, Article 2. 2023. <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1395>
- [5] Chmielewska I., Chałupnik S., Wysocka M., Smoliński A.: Radium measurements in bottled natural mineral-, spring- and medicinal waters from Poland, „Water Resources and Industry” 2020.
- [6] Doorga J.R.S., Hall J.W., Eyre N.: Geospatial multi-criteria analysis for identifying optimum wind and solar sites in Africa: Towards effective power sector decarbonization, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2022.
- [7] Gawęda, A.: Sustainability Reporting: Case of European Stock Companies. „European Journal of Sustainable Development”, 10(4), 41-53. 2021. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2021.v10n4p41>
- [8] Gawęda, A.: ESG Rating and Market Valuation of the Firm: Sector Approach. “European Journal of Sustainable Development”, 11(4), 91. 2022. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2022.v11n4p91>
- [9] Kaczmarek J., Kolegowicz K., Szymła W.: Restructuring of the Coal Mining Industry and the Challenges of Energy Transition in Poland (1990 – 2020). „Energies” 2022.
- [10] Kaczmarek J.: The Balance of Outlays and Effects of Restructuring Hard Coal Mining Companies in Terms of Energy Policy of Poland PEP 2040. „Energies” 2022.
- [11] Khomenko D., Jelonek I.: Study of a Low-Cost Method for Estimating Energy Fuel Resources in Anthropogenic Sediments. „Management Systems in Production Engineering”, 31(4), 434-441. 2023.
- [12] Krzemień A., Álvarez Fernández J.J., Riesgo Fernández P., Fidalgo Valverde G., Garcia-Cortes S.: Valuation of Ecosystem Services Based on EU Carbon Allowances – Optimal Recovery for a Coal Mining Area. „International Journal of Environmental Research and Public Health”. 20(1):381. 2023. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010381>
- [13] Krzemień A., Álvarez Fernández J.J., Riesgo Fernández P., Fidalgo Valverde G., Garcia-Cortes S.: Restoring Coal Mining-Affected Areas: The Missing Ecosystem Services. „International Journal of Environmental Research and Public Health”. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114200>,
- [14] Łabaj P., Wysocka M., Janson E., Deska M.: Application of the Unified Stream Assessment Method to Determine the Direction of Revitalization of Heavily Transformed Urban Rivers. „Water Resources” 47(4), 2020.
- [15] Magdziarczyk M., Smoliło J., Chmiela A., Smoliński A.: Method of estimating the expenditures required to carry out the liquidation processes of a mining site, „Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series” Issue No. 182, 2023. <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2023.182.12>,
- [16] Mhlongo S.E.: Evaluating the post-mining land uses of former mine sites for sustainable purposes in South Africa, „Journal of Sustainable Mining”, 2023.
- [17] Prakash Pandey B., Prasad Mishra D.: Improved Methodology for Monitoring the Impact of Mining Activities on Socio-Economic Conditions of Local Communities, „Journal of Sustainable Mining”, 2022.
- [18] Prusek S., Turek M.: Improving the Management of a Mining Enterprise a Condition for Increasing the Efficiency of Hard Coal Production, „Journal of the Polish Mineral Engineering Society”, 2018.
- [19] Riesgo Fernández P., Rodríguez Granda G., Krzemień A., García Cortés S., Fidalgo Valverde G.: Subsidence versus natural landslides when dealing with property damage liabilities in underground coal mines, „International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences” 2020.
- [20] Rubio C.J.P., Yu I., Kim H., Kim S., Jeong S.: An investigation of the adequacy of urban evacuation centers using index-based flood risk assessment, „Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation” 19 (2), 2019.
- [21] Strzałkowski P., Ścigała R.: The causes of mining induced ground steps occurrence – case study from Upper Silesia in Poland. Acta Geodyn. Geomater., 14, No. 3 (187), 305–312, 2017. <http://dx.doi.org/10.13168/AGG.2017.0013>
- [22] Strzałkowski P., Szafulera K.: Przykład analizy sumowania deformacji terenu górniczego w długim okresie czasu. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 10, 2016.
- [23] Tokarski S., Magdziarczyk M., Smoliński A.: Risk management scenarios for investment program delays in the Polish power industry, „Energies”, 2021.
- [24] Wojtacha-Rychter K., Kucharski P., Smoliński A.: Conventional and alternative sources of thermal energy in the production of cement an impact on CO2 emission, „Energies”, 2021.
- [25] Woszczyński, M., Jasiulek, D., Jagoda, J., Kaczmarczyk, K., Matusiak, P., Kowol, D., Marciniak, B.: Monitoring of the mining waste neutralization facility of LW Bogdanka. „Acta Montanistica Slovaca”, 28(1). 2023.

 Sebastian Guja, Janusz Piotrowski, Łukasz Niesporek, Andrzej Chmiela, Adam Smoliński