

MAGAZYNOWANIE ENERGII HYDROELEKTRYCZNEJ W OBSZARACH POKOPALNIANYCH PROJEKT HYDROMINE

HYDROPOWER ENERGY STORAGE IN POST-MINING AREAS THE HYDROMINE PROJECT

mgr Sławomir Szymanowicz – Poltegor Instytut – Instytut Górnictwa Odkrywkowego

DOI: 10.5604/01.3001.0055.5951

Streszczenie

Wraz z obserwowaną obecnie intensywną dekarbonizacją Europejskiej energetyki przy jednoczesnym rosnącym udziale energii elektrycznej produkowanej z mało przewidywalnych źródeł odnawialnych, pojawia się pilna potrzeba tworzenia efektywnych magazynów energii. Spośród wielu znanych metod magazynowania energii to właśnie elektrownie szczytowo-pompowe ze względu na dużą pojemność energetyczną oraz długi okres użytkowania mają obecnie na świecie największy udział w magazynowaniu energii. Z uwagi na duże koszty środowiskowe oraz inwestycyjne dla budowy elektrowni szczytowo-pompowych w nowych niezagospodarowanych obszarach, oczywisty wydaje się główny cel Projektu Hydromine adoptowania na potrzeby ich budowy istniejących już powierzchniowych wyrobisk górniczych i obszarów pokopalnianych. Magazynowanie energii hydroelektrycznej w obszarach pokopalnianych będzie nie tylko wsparciem dla regionalnych, bezemisyjnych systemów energetycznych, ale pozwoli również obszarom związanym wcześniej z branżą górnictwem i energetyką na kontynuowanie działalności w zmienionej ekologicznej formie.

Słowa kluczowe: elektrownie szczytowo-pompowe, magazyny energii, wyrobiska górnicze

Abstract

In the context of the current intensive decarbonisation of the European energy sector, combined with the increasing share of electricity generated from inherently intermittent and unpredictable renewable energy sources, there is an urgent need to develop efficient energy storage systems. Of the various available technologies, pumped-storage hydropower plants currently represent the dominant share of global energy storage capacity, primarily due to their high energy storage potential and long operational lifetime. However, considering the substantial environmental impact and high investment costs associated with the constructing of pumped-storage power plants in newly developed and previously undeveloped areas, the Hydromine Project's main objective is to adapt existing surface mining excavations and post-mining areas for this purpose. Deploying hydroelectric energy storage systems in post-mining regions will support regional, zero-emission energy systems and enable areas historically associated with the mining and energy to continue their economic activity in an environmentally sustainable way.

Keywords: pumped-storage power plants, energy storage systems, mining excavations

Wstęp

Wszyscy jesteśmy świadkami zmian, które zachodzą w otaczającym nas świecie. Nie trzeba być uważnym obserwatorem by zauważyć rosnącą liczbę paneli fotowoltaicznych oraz turbin wiatrowych w naszym najbliższym otoczeniu. W powiecie chocheńskim na morzem powstaje elektrownia atomowa, a z pobliskiej plaży

zobaczyć można na linii horyzontu powstające morskie farmy wiatrowe Baltica. Coraz częściej, jako źródło ciepła w naszych domach wybieramy elektryczne pompy ciepła, a mijane przez nas na drogach samochody z zieloną rejestracją również nie należą już do rzadkości. Bardziej dociekliwy obywatel naszego kraju, może sięgnąć również po dokumenty dotyczące Polityki Energetycznej Państwa do 2040 r., w której znajdzie informacje, że udział odnawialnych źródeł

energii w Krajowej Sieci Energetycznej będzie stopniowo wzrastał przy zmniejszającym się udziale paliw kopalnych. Obecnie to jeszcze paliwa kopalne zapewniają w dużym stopniu stabilność sektora energetycznego, jednak ta sytuacja wraz z upływem lat będzie się zmieniać. Według prognoz sektor energetyczny w najbliższej przyszłości zasilą nowe źródła energii m.in. energia atomowa, fotowoltaika, lądowe i morskie turbiny wiatrowe oraz inne źródła energii m.in. wodorowe, biogazownie itp. Problem w tym, że odnawialne źródła energii zależne są od warunków klimatycznych i same w sobie nie stanowią obecnie stabilnego źródła energii. Coraz częściej mamy do czynienia z nadprodukcją energii np. w słoneczne i wietrzne dni oraz jej niedoborem w okresach dużego zachmurzenia lub bezwietrznej pogody. Krajowy system elektroenergetyczny jest przestrzennie rozległym i bardzo złożonym obiektem technicznym, na który składają się różnego typu jednostki generujące energię elektryczną, elektroenergetyczne linie przesyłowe i stacje wysokich napięć oraz końcowe urządzenia odbiorcze. Tym, co jest niezwykle istotne, to konieczność zapewnienia nieustannego zbilansowania mocy w systemie. Oznacza to, że w danej chwili moc generowana przez jednostki wytwórcze musi być w przybliżeniu równa sumie mocy pobieranej przez odbiorców oraz mocy strat przesyłowych. Naruszenie tego bilansu powoduje zmianę częstotliwości pracy sieci elektroenergetycznych, co w skrajnych przypadkach może wymusić konieczność automatycznego wyłączenia grupy odbiorców, w celu umożliwienia ponownego powrotu systemu do stanu zbilansowania [1].

W celu uniknięcia problemów związanych z bilansowaniem energii system energetyczny wymaga istnienia źródeł stabilizujących, które będą mogły dostarczać brakującą energię w razie potrzeby. Taką rolę może pełnić energetyka atomowa, ewentualnie elektrownie gazowe i wodorowe. Nasuwa się jednak pytanie jak magazynować energię z nadwyżek produkcji OZE aby móc ją potem wykorzystywać. Odpowiedzią na to pytanie są magazyny energii. Wyzwanie związane z magazynowaniem energii podejmowane jest już od wielu lat. Jednak dopiero pod koniec XX wieku, z chwilą pojawienia się istotnego zapotrzebowania na wyżej wymienione zastosowania, technologie magazynowania energii znacznie się rozwinęły².

Znanych jest wiele metod magazynowania energii, które opierają się na wielu zjawiskach fizycznych bądź chemicznych. Najbardziej znane i obecnie stosowane metody magazynowania energii to [2]:

- ciśnieniowe – hydrauliczne szczytowo-pompowe, sprężone powietrze,
- mechaniczne – sprężynowe, kinetyczne, koła zamachowe,
- termiczne – zasobniki ciepła i chłodu,
- elektrochemiczne – akumulatory kwasowo-ołowiowe, litowo-jonowe, przepływowe i inne,
- elektryczne – kondensatory, superkondensatory, cewki nadprzewodzące,
- chemiczne – wodór, paliwa syntetyczne, biopaliwo i wiele innych.

Wszystkie powyżej wymienione metody magazynowania energii mają oczywiście swoje wady i zalety a ich użycie uzależnione jest od funkcji, jaką mają spełniać w systemie elektroenergetycznym. Dlatego w dużym uproszczeniu można

dokonać podziału magazynów energii na [2]:

- krótkoterminowe - superkondensatory, cewki nadprzewodzące, koła zamachowe,
- dobowe - baterie elektrochemiczne, magazyny szczytowo-pompowe, sprężone powietrze itp.,
- średnio i długoterminowe – wodór, biopaliwa itp.

Używając powyższego podziału elektrownie szczytowo-pompowe należą do dobowych magazynów energii. Ich zaletą jest możliwość magazynowania dużych ilości energii, uzależnione głównie od wielkości zbiorników oraz różnicy wysokości ich lokalizacji. Ponadto charakteryzują się one długim okresem eksploatacji. Do wad zaliczyć można: zajmowanie dużych powierzchni terenu oraz potrzeba spełnienia wielu wymagań takich jak: uwarunkowania morfologii terenu, geologia, geotechnika, dostępność wody oraz wysokie nakłady inwestycyjne i środowiskowe.

Idealnym rozwiązaniem, budowy nowych ESP byłoby lokalizowanie ich w obszarach już wstępnie zagospodarowanych. Do takich obszarów zaliczyć można wyrobiska górnicze wraz z przyległymi obszarami zmienionymi na skutek eksploatacji górniczej. Ponieważ proces eksploatacji złóż powoduje nieuniknione przekształcanie terenu na obszarze wydobywania kopalin tereny powydobywcze wymagają po wyeksploatowaniu przeprowadzenia procesu rekultywacji, celem zabezpieczenia obszaru przed dalszą jego degradacją. Szczególnie ważny jest ten proces w kopalniach odkrywkowych. Rekultywację można przeprowadzić na wiele sposobów m.in. na przywróceniu terenu do stanu pierwotnego przez zasypianie wyrobiska lub jego częściowe wypłcenie i zalanie wodą najczęściej pochodzącą z wcześniej pompowanych wód gruntowych [9]. Można też takie tereny przekształcać w małej lub średniej wielkości magazyny energii oparte na technologii szczytowo-pompowej.

W ostatnich latach taka koncepcja zyskuje poza granicami naszego kraju na popularności. Dobrym przykładem jest ESP „Dinorwig” zlokalizowana w Walii (Wielka Brytania).

ESP „Dinorwig” znana również jako „Electric Mountain” zbudowana została w starym wyrobisku górniczym paleozoicznych łupków. Oczywiście jej powstanie wiązało się z nakładami finansowymi, które były niezbędne dla przygotowania inwestycji m.in. drążenie tuneli, budowa infrastruktury. Jednak obecnie znaczenie ESP „Dinorwig” w Brytyjskim systemie elektroenergetycznym jest kluczowe.

Obecnie w realizacji jest również projekt Kidston w Australii wykorzystujący zlokalizowane w niewielkiej odległości wyrobiska kopalni złota jako zbiorniki górny i dolny. Projekt o mocy 250 MW będzie współpracował z farmą PV stanowiąc stabilne dobowe źródło energii odnawialnej [7].

Sukces projektu wykorzystującego wyrobiska kopalń powierzchniowych dla instalacji ESP zależy od wielu czynników takich jak: dostępna różnica wysokości, odległość potencjalnych zbiorników, geologia wyrobisk, dostępność wody czy dostępność linii wyprowadzenia mocy. Należy również zwrócić uwagę na możliwość zwiększenia efektywności tego typu inwestycji poprzez ich planowanie na etapie działania kopalni. Pozwala to na optymalizację kosztów przez odpowiednie kształtowanie wyrobiska i tworzenie zwałowisk zbędnego materiału skalnego w sposób kształtujący przyszły zbiornik. Takie świadome działanie może wzmocnić

potencjał lokalizacji elektrowni szczytowo-pompowych w wielu eksploatowanych obecnie kopalniach [7].

Obecnie realizowany w „Poltegor Instytut” Projekt pn „Szczytowo-pompowe magazyny energii na obszarach po górniczych, w celu wspierania rozwoju zeroemisyjnych regionalnych systemów energetycznych” (akronim Hydromine) został wybrany i prowadzony jest w ramach konkursu Joint Call 2023 inicjatywy Clean Energy Transition Partnership. Projekt współfinansowany jest przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt współtworzy Europejskie konsorcjum, które obejmuje jednostki naukowe, Instytuty badawcze oraz przyszłych użytkowników wdrożeń powstałych na podstawie projektu m.in. przedsiębiorstwa górnicze:

- Politechnika wrocławska (Lider konsorcjum) (WUST) - Polska
- „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa odkrywkowego (POLT) - Polska
- Kopalnie Odkrywkowe Surowców Drogowych Spółka Akcyjna w Niemodlinie Niemodlin S.A (KOSD) - Polska
- Technical University of Crete (TUC) - Grecja
- University of Petrosani (UP) - Rumunia
- Technische Universitaet Chemnitz (CUT) - Republika Federalna Niemiec
- Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology (IWU) - Republika Federalna Niemiec
- Brown Coal Research Institute (VUHU) - Czechy

Podstawy teoretyczne

Elektrownie szczytowo-pompowe (ESP) stanowią technologię, która od lat funkcjonuje w ogólnoswiatowej energetyce oraz w Polsce. Jest to obecnie najlepiej dopracowana technologia wielkoskalowego magazynowania energii elektrycznej. Elektrownie powierzchniowe składają się najczęściej z dwóch zbiorników wodnych połączonych rurociągiem, położonych na różnych wysokościach. Generalnie im większe będą zbiorniki oraz różnica wysokości ich lokalizacji tym proces magazynowania i produkcji energii elektrycznej będzie wydajniejszy. Najprościej funkcjonowanie ESP opisać można jako proces polegający na przepompowaniu wody ze zbiornika dolnego do górnego w czasie, gdy produkcja prądu

w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym jest większa niż zapotrzebowanie (na przykład: w słoneczne i wietrzne dni, kiedy występuje nadprodukcja ze źródeł OZE lub po prostu kiedy produkcja prądu jest bardzo tania). Następnie gdy pobór energii elektrycznej w systemie jest duży i mogą występować jego niedobory (np. w godzinach szczytu, w pochmurne i bezwietrzne dni itp.), można uruchomić proces odwrotny, w którym woda uwolniona ze zbiornika górnego spływając grawitacyjnie rurociągiem w dół do zbiornika dolnego, wprawia w ruch turbiny hydroelektryczne, które z przepływającej przez nie wody produkują energię elektryczną wprowadzaną następnie do sieci. Poniżej na rysunku nr 1 przedstawiono schemat ideowy pracy dwuzbiornikowej elektrowni szczytowo-pompowej.

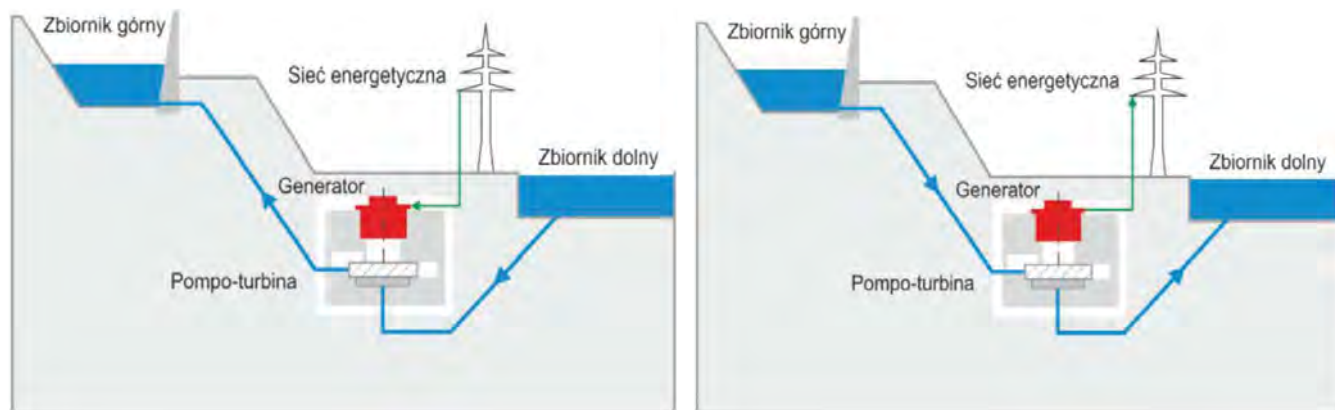
Elektrownie szczytowo-pompowe w Polsce – stan aktualny

Na podstawie raportu pn „Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym uwarunkowania i kierunki rozwoju”⁴ całkowita moc istniejących elektrowni wodnych i szczytowo-pompowych w Polsce stanowi około 4,4% mocy zainstalowanej w Krajowym Systemie energetycznym. Ich roczna produkcja energii elektrycznej w latach 2020 i 2021 wyniosła odpowiednio 2698 GWh i 2830 GWh [4].

Zgodnie z raportem na podstawie danych z 2021 roku obecnie w Polsce w eksploatacji są poniższe elektrownie szczytowo-pompowe:

- Elektrownia Żarnowiec o mocy zainstalowanej 780 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 3 800 MWh
- Elektrownia Porąbka-Żar o mocy zainstalowanej 552 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 2 015 MWh
- Zespół elektrowni wodnych Solina-Myczkowice o mocy zainstalowanej 198 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 39 774 MWh
- Elektrownia Żydowo o mocy zainstalowanej 165 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 687 MWh
- Elektrownia Czorsztyn-Niedzica-Sromowce Wyżne o mocy zainstalowanej 92 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 12 500 MWh

b)



Rys.1. Idea pracy elektrowni szczytowo-pompowej: a) faza ładowania zbiornika górnego, b) faza rozładowania magazynu energii na podstawie [3]

Fig. 1. Concept of pumped-storage power plant operation: (a) upper reservoir charging phase, (b) energy storage discharging phase [3]



Rys. 2. Elektrownia szczytowo-pompowa Porąbka-Żar [8]

Fig. 2. Porąbka-Żar pumped-storage power plant [8]

- Elektrownia Dychów o mocy zainstalowanej 90 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 224 MWh

Planowane w przyszłości elektrownie szczytowo-pompowe

- Elektrownia Tolkmicko o mocy zainstalowanej 1040 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 12 000 MWh
- Elektrownia Młoty o mocy zainstalowanej 750 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 3 500 - 4 000 MWh
- Elektrownia Rożnów II o mocy zainstalowanej 700 MW i pojemności energetycznej zbiornika górnego 3 500 MWh
- oraz pozostałe lokalizacje m.in. [4].
- ESP Sobel/Sobol – 1000 MW
- ESP Niewiastka – 1000 MW
- ESP Pilchowice III – 612 MW
- ESP Smolniki – 200 MW
- ESP Włocławek – 100MW
- ESP Bełchatów – 10006 MW
- ESP Chojna – 5.6 MW

Główne założenia projektu Hydromine

W przypadku zakłóceń w dostawach prądu dla Krajowego Systemu Energetycznego ESP mogą stanowić źródło szybko dostępnej mocy bilansującej jednocześnie będąc prostym i bardzo wydajnym magazynem energii. W związku z tym nasuwa się pytanie: dlaczego nie budować ich więcej? Odpowiedź jest prosta, ponieważ ich budowa jest

kosztowna inwestycyjnie i środowiskowo, ponadto wiąże się z wieloma warunkami, które należy spełnić. Podstawowy warunek to morfologia terenu, jego budowa geologiczna, warunki geotechniczne oraz inne czynniki wpływające na szczelność i stateczność magazynu. Mniej kosztowne będzie sytuowanie ESP w regionach gdzie występują duże różnice wysokości a warunki geologiczne będą stabilne. Następnym warunkiem koniecznym do spełnienia jest dostępność wody, która jest niezbędna dla funkcjonowania całego systemu. Do elementów, które mają największy udział w ogólnych kosztach budowy ESP należy wymienić również zbiorniki wodne oraz część budowlaną samego obiektu[4]. Oczywiście idealnym rozwiązaniem byłaby adaptacja naturalnych bądź sztucznych obiektów np. powstałych w sposób naturalny wąwozów, zagłębień terenowych lub niecek oraz sztucznie utworzonych wyrobisk po eksploatacji odkrywkowej lub podziemnej. Obecnie funkcjonujące w Polsce ESP zlokalizowane są głównie na głównych nurtach dużych polskich rzek lub w ich pobliżu. Wyjątki stanowią elektrownie Żydowo oraz Żarnowiec, gdzie przynajmniej jeden ze zbiorników stanowią jeziora[4].

Projekt Hydromine wychodzi naprzeciw wyzwaniom środowiskowym oraz ponoszeniem wysokich kosztów inwestycyjnych przy projektowaniu i budowie ESP, proponując innowacyjne rozwiązania poprzez adaptację obszarów związanych już wcześniej z górnictwem odkrywkowym. Projekt stanowić będzie równocześnie wsparcie dla regionalnych, bezemisyjnych systemów energetycznych a poprzez współpracę międzynarodową wsparcie rozwoju i optymalizacji zintegrowanego europejskiego systemu energetycznego o zerowej emisji netto poprzez wykorzystanie wielu małych i średnich, opłacalnych i efektywnych magazynów energii typu ESP, które jednocześnie zapewnią istotne korzyści środowiskowe [7].



Rys. 3. Wizualizacja elektrowni szczytowo-pompowej w wyrobisku nieczynnej kopalni odkrywkowej [7]

Fig. 3. Visualization of a pumped-storage power plant in an inactive open-pit mine [7]

Głównym celem projektu Hydromine jest zbadanie możliwości wykorzystania małych i średnich zbiorników wodnych, które powstały w wyniku działalności kopalni odkrywkowych, do magazynowania energii. Jak już wspomniano wyżej budowa ESP wiąże się często z wysokimi kosztami, które są związane zarówno z samymi obiektami hydrotechnicznymi (zbiornik górny i dolny), jak i częściami mechanicznymi (pompa, turbina itp.). W proponowanym rozwiązaniu koszty obiektów hydrotechnicznych można znacznie obniżyć poprzez odpowiednie planowanie już na etapie wydobywania i rekultywacji w sposób umożliwiający utworzenie niezbędnych zbiorników wodnych. W przypadku części mechanicznych pojawiają się wyzwania w zakresie opracowania stosunkowo tanich i wysokosprawnych komponentów systemu (zoptymalizowana jednostka PAT - pompa jako turbina). Konieczne jest więc, aby małe magazyny energii w postaci ESP na obszarach, np. po eksploatacji górniczej, były ekonomicznie opłacalne. Ważną częścią projektu będzie także opracowanie nowej technologii wykorzystującej ekologiczne i pochodzące z recyklingu materiały do budowy rurociągów łączących zbiorniki, w celu zmniejszenia negatywnego wpływu ich produkcji oraz utylizacji na środowisko. Takie rurociągi mogą stać się w przyszłości istotnymi elementami małych ESP pod względem kosztów i wpływu na środowisko [7].

Podsumowując główne cele projektu są następujące:

- Zbadanie europejskiego potencjału terenów pokopalnianych i wyrobisk odkrywkowych w kontekście możliwości instalacji magazynów ESP oraz stworzenie ich bazy danych.
- Opracowanie kompleksowego narzędzia umożliwiającego ocenę potencjału terenów pokopalnianych, wyrobisk i innych lokalizacji do wdrożenia opracowanej technologii ESP
- Opracowanie bazy danych możliwych dla lokalizacji innych podobnych instalacji wraz z prognozowaną ich mocą i wydajnością.

- Stworzenie wytycznych dla powielania rozwiązania w innych obszarach.
- Budowa i testowanie demonstratora w postaci małej elektrowni szczytowo-pompowej, wykorzystującej koncepcję wysokosprawnej turbiny PAT.
- Opracowanie serii wysoko sprawnych jednostek turbin PAT, które działają zarówno jako pompa, jak i turbina.
- Opracowanie rurociągów dla małych i średnich ESP wykonanych materiałów przyjaznych dla środowiska.
- Ostatecznie opracowanie wydajnej i opłacalnej technologii małych i średnich magazynów energii, możliwej do instalacji w terenach pokopalnianych, wyrobiskach i innych dogodnych lokalizacjach.

Opis zadań, planowanych rozwiązań i oczekiwanych wyników w Projekcie Hydromine[7]

W ramach projektu zrealizowane zostaną następujące zadania podzielone na poszczególne punkty:

WP1 - Zgromadzenie danych na temat potencjalnych lokalizacji dla proponowanej technologii magazynowania energii.

Liderem zadania jest Poltegor Instytut (POLT). Obaj krajowi partnerzy, czyli WUST i KOSD biorą w nim udział wraz z partnerami zagranicznymi. W ramach tego zadania partnerzy projektu zbiorą informacje na temat lokalizacji kopalni odkrywkowych, powiązanych z nimi składowisk, a także charakterystyki obszarów poeksploatacyjnych. Następnie partnerzy projektu dokonają wstępnego wyboru potencjalnych lokalizacji dla zastosowania proponowanej technologii ESP. Dla wybranych lokalizacji zostaną następnie zgromadzone szczegółowe dane obejmujące informacje na temat topografii obszaru górniczego, istniejącego sprzętu, dostępności miejsca i materiałów, bliskości sieci elektroenergetycznej, bliskości wszelkich lokalizacji farm wiatrowych i fotowoltaicznych (lub możliwości ponownego wykorzystania innej części obszarów poeksploatacyjnych do takich celów). W ramach projektu wykorzystane zostanie skanowanie wybranych kopalni odkrywkowych, przypadku braku dostępu do informacji geotechnicznych. Zastosowane techniki skanowania pozwolą uzyskać trójwymiarowe, aktualne geometryczne modele 3D kopalni co pozwoli na dalszych etapach na szczegółową ocenę potencjału lokalizacji pod kątem zastosowania technologii ESP. Następnie nastąpi identyfikacja kluczowych parametrów geotechnicznych i infrastrukturalnych oraz czynników wpływających na przydatność lokalizacji dla proponowanej technologii. W wyniku jego realizacji zgromadzone zostaną dane i charakterystyki miejsc potencjalnie korzystnych do zastosowania proponowanej technologii w małej skali. Określone zostaną kluczowe czynniki wpływające na przydatność miejsc do wdrożenia ESP. Na tej podstawie opracowana zostanie ogólna metodologia oceny potencjału wdrożenia oraz stworzona będzie baza danych wybranych obszarów górniczych i po górniczych do zastosowania proponowanej technologii. Końcowym efektem zadania będzie kamień milowy w postaci wyboru miejsca do

testowania demonstracyjnej instalacji proponowanej technologii ESP.

WP2 - Geotechniczna ocena potencjalnych lokalizacji technologii magazynowania energii POLT (UP)

Liderem zadania jest University of Petrosani (UP). Dwaj krajowi partnerzy czyli POLT i KOSD biorą w nim udział wraz z partnerami zagranicznymi. W wyniku realizacji zadania określone zostaną charakterystyki geotechniczne gruntów i skał w wytypowanych lokalizacjach. Po analizie statystycznej określone zostaną parametry geotechniczne reprezentatywne dla każdej lokalizacji, które będą wykorzystane w modelowych analizach geotechnicznych (np. w analizach stateczności). Analizy modelowania geotechnicznego zostaną wykonane dla co najmniej trzech wybranych lokalizacji (kamień milowy). Na podstawie modelowania numerycznego, zostaną przeanalizowane warunki stateczności zboczy i zaproponowane parametry/środki w celu jej zapewnienia/utrzymania podczas eksploatacji w ramach proponowanej technologii ESP.

WP3 - Opracowanie metodyki projektowania dedykowanych małych elektrowni szczytowo-pompowych.

Liderem zadania jest Politechnika Wrocławska WUST. Spośród krajowych partnerów w zadaniu bierze udział dodatkowo POLT wraz z partnerami zagranicznymi. W tym zadaniu przeprowadzona zostanie ocena całkowitych kosztów proponowanego rozwiązania ESP dedykowanego dla kopalni odkrywkowych. Opracowane zostaną także koncepcje konstrukcyjne i przepływowe dla małych jednostek w technologii ESP. Koncepcje te analizowane będą przy wykorzystaniu m.in. analiz numerycznych. Opracowane zostaną także założenia projektowe dla systemu rurociągów dla małych jednostek ESP. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowana zostanie metodologia projektowania dedykowanych małych magazynów szczytowo-pompowych ESP.

WP4 - Projekt przyjaznego dla środowiska systemu rurociągów dla małych magazynów szczytowo-pompowych.

Liderem zadania jest CUT. Spośród krajowych partnerów w zadaniu bierze udział dodatkowo WUST wraz z partnerami zagranicznymi. W ramach tego zadania zostanie opracowany materiał i technologia do produkcji rurociągów możliwych do zastosowania w dedykowanych małych magazynach szczytowo-pompowych ESP. Do produkcji wykorzystane zostaną nowoczesne bio-materiały przyjazne dla środowiska. Przeprowadzone zostaną również testy laboratoryjne. Następnie zostanie wyprodukowany rurociąg demonstracyjny, który będzie wchodził w skład demonstracyjnej instalacji proponowanej technologii ESP. Rurociąg ten stanowi kamień milowy projektu.

WP5 - Projekt i budowa demonstratora małej elektrowni szczytowo-pompowej.

Liderem zadania są Kopalnie Odkrywkowe Surowców Drogowych S.A. (KOSD). Obaj pozostali krajowi partnerzy, czyli WUST i POLT biorą w nim udział wraz z partnerami zagranicznymi. W ramach jego realizacji przeprowadzone zostaną szczegółowe analizy i optymalizacje numeryczne demonstracyjnej instalacji proponowanej technologii ESP. Na ich podstawie opracowany zostanie szczegółowy projekt demonstratora, a następnie jego budowa (kamień milowy projektu).

WP6 - Testowanie małego demonstratora elektrowni szczytowo-pompowej.

Liderem zadania jest Politechnika Wrocławska (WUST). Obaj pozostali krajowi partnerzy, czyli KOSD i POLT biorą w nim udział wraz z partnerami zagranicznymi. W ramach tego zadania przeprowadzone zostaną testy wstępne i zasadnicze instalacji demonstracyjnej proponowanej technologii ESP, wraz z ich analizą i optymalizacją parametrów eksploatacyjnych.

WP7 – Techniczno-ekonomiczna ocena i opracowanie wytycznych stosowania proponowanej technologii ESP.

Liderem zadania jest Technical University of Crete (TUC). Wszyscy krajowi partnerzy projektu biorą udział w zadaniu. W ramach jego realizacji przeprowadzona zostanie ocena proponowanej dedykowanej technologii ESP w zakresie technicznym, ekonomicznym i ekologicznym. Ponadto opracowane zostaną końcowe wytyczne zastosowań przemysłowych w postaci narzędzia do oceny potencjału proponowanej technologii w innych lokalizacjach (kamień milowy).

WP8 – Raportowanie i rozpowszechnianie wyników projektu

Za realizację tego zadania odpowiedzialni są wszyscy partnerzy projektu. Głównym celem tego pakietu roboczego jest przygotowywanie niezbędnych raportów okresowych w postępowaniu przy realizacji prac badawczych. Bardzo ważną częścią tego zadania są również aktywności związane z rozpowszechnianiem wyników projektu. Ostateczne rezultaty projektu mają umożliwić dynamiczny rozwój proponowanej technologii.

Podsumowanie

Możliwość magazynowania energii jest kluczowym wsparciem dla energetyki opartej na zwiększającym się udziale odnawialnych źródeł energii. Budowa elektrowni szczytowo-pompowych jako magazynów energii jest również ważnym elementem Europejskiej i Polskiej polityki energetycznej. Wymienić tu można Rozporządzenie Rady (UE) 2022/2577 z dnia 22 grudnia 2022 r. ustanawiające ramy służące przyspieszeniu wdrażania rozwiązań w zakresie energii odnawialnej (Dyrektywa 32022R2577) [6] oraz Ustawę z dnia 14 kwietnia 2023 r. o przygotowaniu i realizacji

inwestycji w zakresie elektrowni szczytowo-pompowych oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U.2023 poz.1113) [5].

Elektrownie szczytowo-pompowe (ESP) stanowią technologię, która od lat funkcjonuje w ogólnosiwiatowej energetyce oraz w Polsce i jest to obecnie najlepiej dopracowana technologia wielkoskalowego magazynowania energii elektrycznej. Do wad ESP zaliczyć można: zajmowanie dużych powierzchni terenu oraz potrzebę spełnienia wielu wymagań takich jak: uwarunkowania morfologii terenu, geologia, geotechnika, dostępność wody oraz wysokie nakłady inwestycyjne i środowiskowe. Dlatego idealnym rozwiązaniem jest lokalizowanie elektrowni w obszarach już wstępnie zagospodarowanych np. związanych z górnictwem.

Realizowany przez międzynarodowe konsorcjum naukowo-przemysłowe złożone z partnerów: Politechnika Wrocławska – Lider Konsorcjum, Technical University of Crete, „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, j. s.c., KOSD Niemodlin S.A., University of Petrosani, Technische Universität Chemnitz, Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology IWU oraz Brown Coal Research Institute Projekt Hydromine pn „**Szczytowo-pompowe magazyny energii na obszarach po górniczych, w celu wspierania rozwoju zeroemisyjnych regionalnych systemów energetycznych**” stanowi istotny wkład dla rozwoju magazynów energii opartych na technologii ESP w obszarach górniczych.

Zastosowanie w projekcie nowoczesnych, interdyscyplinarnych oraz proekologicznych rozwiązań z pewnością przyczyni się do lepszego rozpoznania dogodnych lokalizacji dla budowy nowych magazynów energii opartych na technologiach ESP, szczególnie w obszarach związanych z górnictwem. Obszary te z uwagi na wcześniej pełnioną górniczą funkcję dostaną szansę na rozpoczęcie nowej działalności w zakresie zeroemisyjnych magazynów energii. Projekt ponadto zakłada budowę kompletnego układu magazynu szczytowo-pompowego o mocy kilkudziesięciu kW jako demonstratora. Jako dolny zbiornik zostanie wykorzystany istniejący w wyrobisku rezerwar o pojemności kilkuset tysięcy metrów sześciennych wody. Na potrzeby projektu zbudowany zostanie górny zbiornik o objętości ok. 15 tys. m³. W demonstratorze zostanie wykorzystany i przebadany dedykowany i opracowany wysokosprawny zespół PAT. Zbiorniki górny i dolny będą połączone rurociągiem wykonanym z materiałów pochodzących w dużej części z recyklingu, co pozwoli na zmniejszenie negatywnego oddziaływania śladu węglowego dla takiej inwestycji. Demonstrator zostanie zbudowany i przetestowany na terenie Kopalni Odkrywkowej Surowców Drogowych S.A. w Niemodlinie, członka konsorcjum [9].

Planowana instalacja prototypu ESP i przeprowadzone w terenie badania pozwolą ocenić potencjał energetyczny dla wybranych obszarów w ramach proponowanych technologii.

Literatura

- [1] Mirosław Gajer, Zbigniew Handzel, 2022, *O pilnej potrzebie budowy w Polsce kolejnych elektrowni szczytowo-pompowych pełniących rolę magazynów energii*; Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Ekonomii i Informatyki w Krakowie 2022 | 18 | 49-68
- [2] Rafał Krzysztof, Grabowski Paweł, 2021; *Magazyny energii jako elastyczny zasób wszechstronnie wspierający pracę sieci będą niezbędne, gdy zabraknie pełniących dotąd funkcje regulacyjne elektrowni ciepłych*, Magazyn Polskiej Akademii Nauk, 1/65/2021, (34-40)
- [3] Mirek Paweł, 2021, *Podstawy konwersji energii w elektrowniach szczytowo-pompowych*, Odnawialne źródła energii, Politechnika Częstochowska (rozdział 2, s 33-51)
- [4] Zespół Ekspertki do spraw Budowy Elektrowni Szczytowo-Pompowych, 2022, *Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju*, Warszawa 2022
- [5] Ustawa z dnia 14 kwietnia 2023 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie elektrowni szczytowo-pompowych oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U.2023 poz.1113)
- [6] Rozporządzenie Rady (UE) 2022/2577 z dnia 22 grudnia 2022 r. ustanawiające ramy służące przyspieszeniu wdrażania rozwiązań w zakresie energii odnawialnej (Dyrektywa 32022R2577)
- [7] *Pumped hydroelectric storage in post mined areas to support regional net-zero emission energy systems development*, full proposal cetp-2023-00276
- [8] <https://wysokienapiecie.pl/82421-pge-tauron-i-orlen-zbuduja-elektrownie-szczytowopompowe/>
- [9] Przemysław Moczko i inni, 2025, *Wykorzystanie terenów pogórniczych na potrzeby magazynowania energii*, Kruszywa Mineralne (s 135-147) Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej