

Czy warto zbudować elektrownię szczytowo-pompową Turów?

O widoczne zmiany klimatyczne zachodzące na Ziemi oskarża się dwutlenek węgla. Dlatego Unia Europejska, stosując mechanizm wysokich opłat z tytułu emisji CO₂, oczekuje znaczącego wzrostu produkcji energii elektrycznej z odnawianych źródeł energii, czyli tych, które nie wytwarzają tego gazu.

W naszym kraju energia odnawialna otrzymywana jest głównie z wiatru przy pomocy turbin wiatrowych oraz z promieniowania słonecznego za pomocą paneli fotowoltaicznych. W Polsce łączna moc zainstalowana elektrowni słonecznych na koniec maja 2022 wyniosła 10,22 GW [1], natomiast elektrowni wiatrowych – 7,67 GW [2] (koniec sierpnia 2022). Planowany jest dalszy rozwój produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawianych (OZE). Na przykład grupa Orlen zamierza zbudować na Morzu Bałtyckim farmę wiatrową o mocy zainstalowanej 7 GW [3]. W sierpniu 2022 r. udział odnawianych źródeł energii w krajowej produkcji energii elektrycznej wyniósł 17,5%.

Choć czystość produkcji energii elektrycznej wytwarzanej za pomocą OZE jest bezsprzecznie jej zaletą, to jednak jej niestabilność stanowi poważną wadę. W przypadku braku wiatru czy też niewystarczającego nasłonecznienia, niezbędne staje się uzupełnienie niedoboru wytwarzanej energii. Natomiast w przypadku, gdy OZE produkują więcej energii elektrycznej w stosunku do zapotrzebowania, powstaje problem magazynowania jej nadwyżek. Energia elektryczna gromadzona jest głównie w dwojaki sposób: w akumulatorach, jako energia chemiczna oraz w zbiornikach wodnych, jako energia potencjalna grawitacji. To drugie rozwiązanie jest znane i stosowane w elektrowniach szczytowo-pompowych (ESP).

Elektrownia Turów

Ciepłota Elektrownia Turów (fot. 1) stała się ostatnio bardzo znana, głównie za sprawą Czechów oraz wyroków Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej, domagających się wstrzymania wydobycia z kopalni odkrywkowej węgla brunatnego, stanowią-



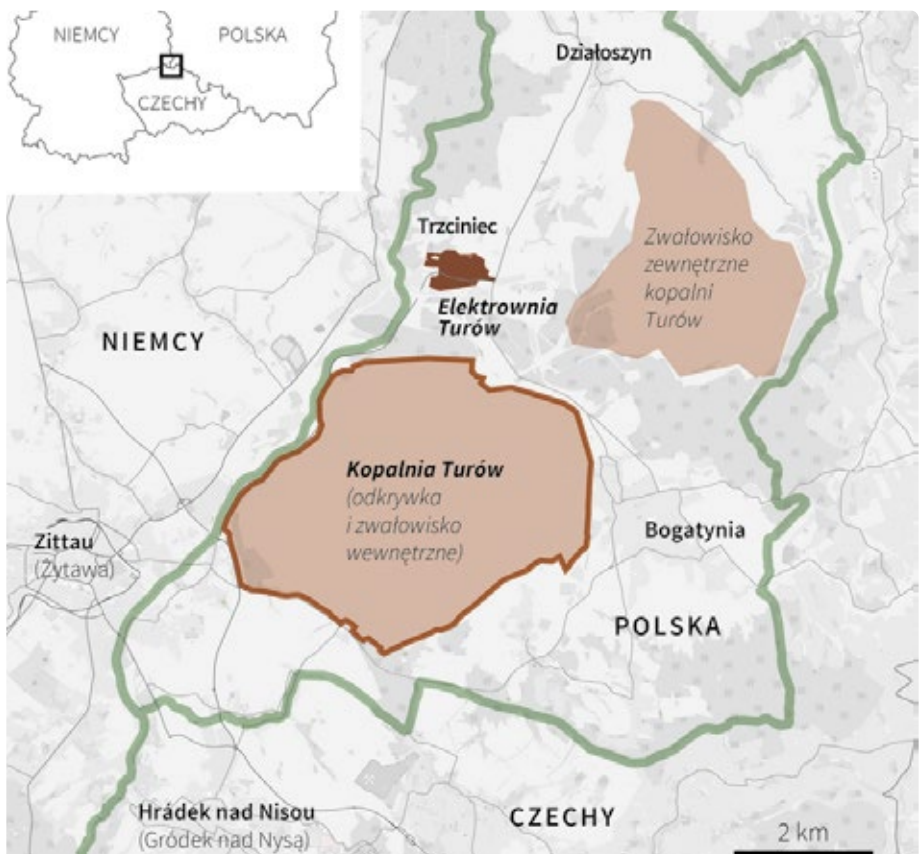
Fot. 1. Elektrownia Turów

cego paliwo dla elektrowni Turów. Sprawa wywołała w naszym kraju szeroką dyskusję nad zasadnością jej eksploatacji.

Niezależnie od tego, jak duże jest złoż węgla brunatnego i tak zostanie ono kiedyś wyczerpane, a teren po kopalni odkrywkowej będzie wymagać rekultywacji. Nie można też wykluczyć sytuacji, że działalność kopalni zostanie przerwana zanim wyczerpią się zasoby węgla brunat-

nego i do rekultywacji trzeba będzie przystąpić znacznie wcześniej.

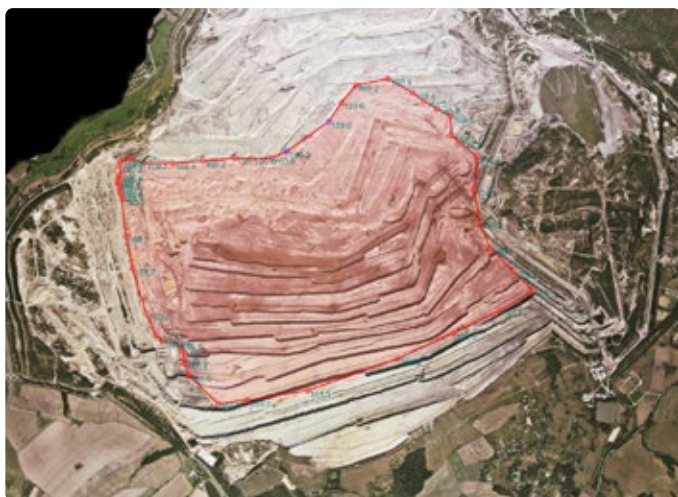
Skutkiem prowadzonej w Turowie eksploatacji złoża węgla brunatnego jest nie tylko rozległe na ok. 2400 ha i głębokie na przeszło 150 m wyrobisko, lecz także usypane w bliskiej odległości od kopalni (ok. 2 km) zwałowisko (rys. 1), które w chwili obecnej wznosi się około 240 m nad przyległy teren [4]. Takie usytuowanie wyrobiska i zwałowiska sugere-



Rys. 1. Kopalnia Turów oraz zewnętrzne zwałowisko

Zdjęcie: iStock, Casika

Zdjęcie: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, OpenStreetMap



Rys. 2. Proponowana lokalizacja dolnego zbiornika. Poziom wody na rzędnej 160 m n.p.m., zaznaczona powierzchnia wynosi 933,03 ha



Rys. 3. Proponowana lokalizacja górnego zbiornika. Poziom dna zbiornika na rzędnej 400 m n.p.m., zaznaczona powierzchnia wynosi 657,58 ha

ruje zbudowanie elektrowni szczytowo-pompowej, w której dolny zbiornik usytuowany byłby w wyrobisku, a górny na przyległym zwałowisku, gdzie należałoby jeszcze zbudować odpowiednie obwałowania.

Szacunkowe obliczenia

Na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą serwisu Geoportál 2 przyjmijmy następujące, przybliżone dane do szacunkowych obliczeń:

- średnia rzędna terenu wokół wyrobiska: 220 m n.p.m.,
- rzędna maksymalnej głębokości wyrobiska: -5,0 m n.p.m.,
- rzędna wody WD w dolnym zbiorniku (rys. 2): 160 m n.p.m.,
- powierzchnia wody dolnego zbiornika A_d : 933,03 ha,
- rzędna dna DG górnego zbiornika (rys. 3): 400 m n.p.m.,
- powierzchnia górnego zbiornika A_g : 657,58 ha,
- wysokość napełnienia obwałowań górnego zbiornika h_g : 30 m.

Porównanie pojemności górnego i dolnego zbiornika

Zakładając dla uproszczenia pionowość ścian obwałowania górnego zbiornika, objętość górnego zbiornika V_g wynosi w przybliżeniu:

$$\begin{aligned} V_g &= A_g \cdot h_g = \\ &= 657,58 \cdot 10^4 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ m} = \\ &= 19,73 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Objętość dolnego zbiornika zostanie obliczona jak objętość stożka, którego wysokość h_d jest równa różnicy pomiędzy WD a najgłębszym punktem wyrobiska:

$$\begin{aligned} h_d &= 160 \text{ m n.p.m.} - \\ &- (-5 \text{ m n.p.m.}) = 165 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_d &= \frac{1}{3} A_d \cdot h_d = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 933,03 \cdot 10^4 \text{ m}^2 \cdot 165 \text{ m} = \\ &= 51,32 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Otrzymany wynik oznacza, że przyjęte założenia co do objętości zbiorników górnego i dolnego są poprawne, bo pojemność proponowanego górnego zbiornika jest mniejsza od pojemności zbiornika dolnego. W związku z tym nie nastąpi przepełnienie dolnego zbiornika w przypadku całkowitego zrzutu wody ze zbiornika górnego.

Obliczenie zgromadzonej energii

Zgromadzona energia potencjalna wody w górnym zbiorniku wynosi:

$$E_p = m \cdot g \cdot H = \rho \cdot V_g \cdot g \cdot H = \gamma \cdot V \cdot H$$

gdzie:

E_p – energia potencjalna

m – masa zgromadzonej wody

H – wysokość środka ciężkości masy wody

g – przyspieszenie ziemskie $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

ρ – gęstość wody $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

V_g – objętość górnego zbiornika

γ – ciężar właściwy wody $9,81 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$

Środek ciężkości wody znajduje się w połowie wysokości obwałowania, zatem, wysokość energii potencjalnej wynikającej z piętrzenia wynosi:

$$\begin{aligned} H &= WG - DG + \frac{h_2}{2} = \\ &= 400 - 160 + \frac{30}{2} = 255,0 \text{ m} \end{aligned}$$

Stąd, zgromadzona w górnym zbiorniku energia potencjalna ma wartość:

$$\begin{aligned} E_p &= 9,81 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \cdot 19,73 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \cdot 255 \text{ m} = \\ &= 49,36 \cdot 10^{13} \text{ J} \end{aligned}$$

Jest to wartość, trzydziestoosiemkrotnie większa od największej, polskiej ESP – Żarnowiec, w której zgromadzona energia wynosi 3,66 GWh = $1,3 \cdot 10^{13}$ J [5] oraz prawie trzy i pół raza większa, od największej na świecie chińskiej ESP Fening, która gromadzi energię 40 GWh = $14,4 \cdot 10^{13}$ J [6].

Możliwe czasy zasilania systemu energetycznego

Jeżeli założyć, że moc instalowana P wyniesie 1 GW oraz, zakładając ogólną sprawność elektrowni $\eta = 0,7$, to będzie możliwe zasilanie systemu energetycznego przez:

$$\begin{aligned} t &= \eta \frac{E_p}{P} = 0,7 \cdot \frac{49,36 \cdot 10^{13} \text{ J}}{10^9 \text{ W}} = \\ &= 34,55 \cdot 10^4 \text{ s} = 95,8 \text{ h} \end{aligned}$$

Czyli prawie 4 dni!

Natomiast porównując z mocą zainstalowaną źródeł OZE, która w 2022 r. wynosiła 20 GW, otrzymujemy, że zasilanie przez proponowaną ESP Turów zastąpi OZE przez:

$$\begin{aligned} t &= \eta \frac{E_p}{P} = 0,7 \cdot \frac{49,36 \cdot 10^{13} \text{ J}}{20 \cdot 10^9 \text{ W}} = \\ &= 1,73 \cdot 10^4 \text{ s} = 4,8 \text{ h} \end{aligned}$$

Jeżeli natomiast projektować elektrownię na maksymalne zapotrzebowanie na moc, które zanotowano 12 lutego 2021 r. i wyniosło 27,6 GW [7], wtedy czas zasilania całego krajowego systemu energetycznego wyniosłby prawie 3,5 godziny:

$$t = \eta \frac{E_p}{P} = \frac{49,36 \cdot 10^{13} \text{ J}}{27,617 \cdot 10^9 \text{ W}} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ s} = 3,48 \text{ h}$$

Obecne możliwości budowy ESP

Budowa proponowanej ESP Turów może być zrealizowana dopiero po zakończeniu pracy kopalni, ale i w chwili obecnej można już wykorzystać istniejące możliwości. W układ zaopatrzenia w wodę elektrowni Turów wchodzi trzy zbiorniki: Zbiornik w Niedowie, przy którym znajduje się ujęcie wody, Zbiornik Zatonie oraz Zbiornik Wyrównania Dobowego. Głównym magazynem wody jest, położony u podstawy zwałowiska, Zbiornik Zatonie (rys. 4).

Możliwym rozwiązaniem jest budowa na zwałowisku zbiornika górnego, a istniejący Zbiornik Zatonie wykorzystać jako zbiornik dolny. Takie rozwiązanie nie koliduje z obecnym celem zbiornika, jakim jest magazynowanie wody dla potrzeb elektrowni ciepłej Turów. Pojemność Zbiornika Zatonie wynosi $V = 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, normalny poziom piętrzenia (NPP) 303,00 m n.p.m., a maksymalna wysokość piętrzenia 34,5 m [8]. Przyjmijmy poprzednie założenia, czyli: dno górnego zbiornika na rzędnej 400 m n.p.m. oraz, że na zwałowisku zostanie zbudowana zapora umożliwiająca piętrzenie górnego zbiornika wynoszące 30 m. Wtedy wysokość energii potencjalnej będzie liczona od środka ciężkości Zbiornika Zatonie do środka ciężkości górnego zbiornika.

Rzędna środka ciężkości górnego zbiornika:

$$400,00 \text{ m n.p.m.} + \frac{30 \text{ m}}{2} = 415,00 \text{ m n.p.m.}$$

Środek ciężkości dolnego zbiornika w przybliżeniu można przyjąć:

$$303,00 \text{ m n.p.m.} - \frac{34,5 \text{ m}}{2} = 285,75 \text{ m n.p.m.}$$

Stąd, wysokość energii potencjalnej:

$$H = 415,00 \text{ m} - 285,75 \text{ m} = 129,25 \text{ m}$$

Podstawiając te wielkości otrzymujemy, że zgromadzona energia potencjalna wynosiłaby:

$$E_p = \gamma \cdot V \cdot H \cdot 9,81 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot 129,25 \text{ m} = 25,36 \cdot 10^{11} \text{ J}$$



Rys. 4. Lokalizacja Zbiornika Zatonie

Oznacza to, że jeżeli moc instalowana wyniesie 1 GW, a sprawność $\eta = 0,7$, to czas zasilania krajowego systemu energetycznego wyniesie 1775 s, czyli 0,5 godz.

Podsumowanie

Przedstawione, szacunkowe obliczenia wskazują na ekonomiczną zasadność wykorzystania układu wyrobisko – zwałowisko pokopalniane do budowy ESP. Istotne jest także, że znaczna część kosztów niezbędnych do budowy ESP już została poniesiona. Tereny, gdzie miałyby być usytuowane ESP, należą do państwowej spółki. Nie będzie zatem niebagatelnych kosztów wykupienia terenu. Gigantycznym, a już poniesionym kosztem jest wydrążenie wyrobiska, usypanie zwałowiska oraz wykonanie przesłony filtracyjnej osłaniającej wyrobisko. Główne elementy ESP są już gotowe. Pozostaje przygotowanie zboczy wyrobiska i zbudowanie zbiornika górnego na zwałowisku. Rezygnacja z budowy elektrowni wodnej i rekultywacja terenu pokopalnianego byłyby zwykłym marnotrawieniem zainwestowanych pieniędzy. Oczywiście zbudowanie ESP Turów wiąże się z wieloma problemami, które trzeba będzie rozwiązać. Górny zbiornik byłby posadowiony nie na gruncie rodzimym, tylko antropogenicznym. Nie dysponujemy badaniami, jakie byłyby odształcenia tego gruntu na skutek zmiennego obciążenia wodą. Jest dość czasu, aby takie badania przeprowadzić i ewentualnie zaproponować stosowne wzmocnienia. Kolejna trudność to gospodarowanie wodą. Z jednej strony nie byłoby aktualnej utraty wody, jaka obecnie zachodzi w chłodniach komi-

nowych, a z drugiej byłyby zwiększone parowanie z dolnego i górnego zbiornika. Czy ta strata mogłaby być zbilansowana aktualnym poborem? Jeżeli nie, to skąd wziąć dodatkowe źródła zasilania w wodę?

Probleatów jest wiele. Autorzy artykułu uważają, że błędem byłoby niepodjęcie wyzwania, jakim jest budowa ESP Turów. Jak wykazano, budowa ESP Turów byłaby inwestycją bardzo opłacalną. Szukajmy stale nowych technologii produkcji energii elektrycznej. Podejmujemy wysiłek budowy elektrowni jądrowych. Ale przede wszystkim wykorzystujemy możliwości już istniejące.

dr hab. inż. Leszek Opyrczał
dr inż. Aleksandra Bąk

Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
Wojskowa Akademia Techniczna

Literatura:

- <https://wysokienapiecie.pl/73113-moc-fotowoltaiki-w-polsce/> dostęp: 3.10.2022
- <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-farm-wiatrowych-w-polsce/> dostęp: 2.11.2022
- <https://www.orlen.pl/pl/o-firmie/media/komunikaty-prasowe/2022/luty/Grupa-ORLEN-planuje-dalszy-dynamiczny-rozwoj-morskiej-energetyki-wiatrowej> dostęp: 2.11.2022
- <https://polska.geoportal2.pl/mapa/www/mapa.php?mapa=polska> dostęp: 2.11.2022
- http://elektroenergetyka.pl/upload/file/2003/8/elektroenergetyka_nr_03_08_1.pdf dostęp: 10.11.2022
- <http://www.ecns.cn/news/2021-12-31/detail-ihau-emxn3938662.shtml> dostęp: 10.11.2022
- <https://globenergia.pl/padl-kolejny-rekord-zapotrzebowania-na-moc-latem-w-polsce/> dostęp: 2.11.2022
- W. Hrabowski, Monografia zbiornika wodnego Zatonie, wyd. J. Konwerska-Hrabowska, Warszawa-Turów, 2012, brak nr ISBN.