

Krytyczna analiza możliwości magazynowania energii elektrycznej



Robert Smoleński

GEKON1/O2/213880/30/2015 Budowa lokalnego obszaru bilansowania (LOB) jako elementu zwiększenia bezpieczeństwa i efektywności energetycznej pracy systemu dystrybucyjnego, 2016-2017

Budżet: 22.816.000 PLN

Pierwszy w Polsce magazyn energii elektrycznej
przyłączony do sieci SN w Pucku

1.5MWh/0.75MW

Technologia bateryjna Li-Ion

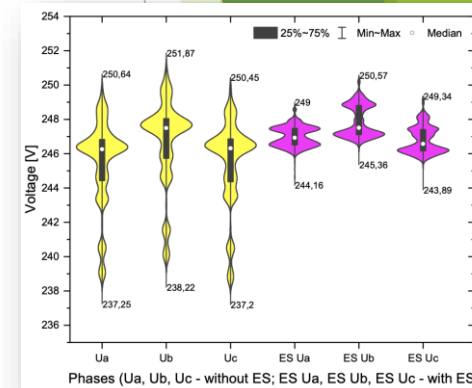
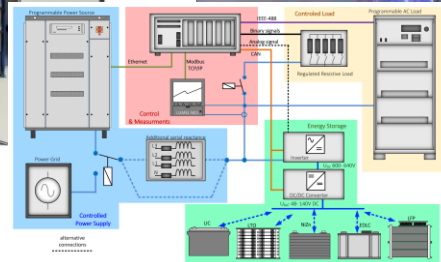


POIR.01.02.00-00-0232/16 Innowacyjne usługi systemowe magazynów energii zwiększające jakość i wydajność wykorzystania energii elektrycznej, 2017-2020

Budżet: 8.017.000 PLN



Technology/Cost	LFP	LTO	VRLA	EDLC	LIC
Investment cost C_{inv} [EUR/kWh]	400	950	168	47,500	43,750
Operating cost $LCOE$ [EUR/kWh]	0.17	0.06	0.66	0.07	0.02
Cycle life $N_{C(DOD)}$ [cycles]	3,000	20,000	1,000	1,000,000	2,000,000



R. Smolenski, P. Szczesniak, W. Drozd, and L. Kasperski. *Advanced metering infrastructure and energy storage for location and mitigation of power quality disturbances in the utility grid with high penetration of renewables* / Renewable and Sustainable Energy Reviews / 157, 2022.

Lezynski P., Szczesniak P., Waskowicz B., Smolenski R., Drozd W., *Design and Implementation of a Fully Controllable Cyber-Physical System for Testing Energy Storage Systems* / IEEE Access / 2019, s. 1-15.

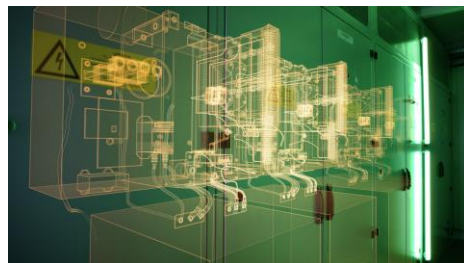
POIR.01.02.00-00-0230/16-00 **System dynamicznej redukcji obciążenia podstacji trakcyjnej, działający z wykorzystaniem zasobnika dużej mocy, 2017-2020**

Budżet: 20.059.000 PLN

W ramach projektu zrealizowanego w konsorcjum z PKP Energetyka, zespół IAEE pod kierownictwem

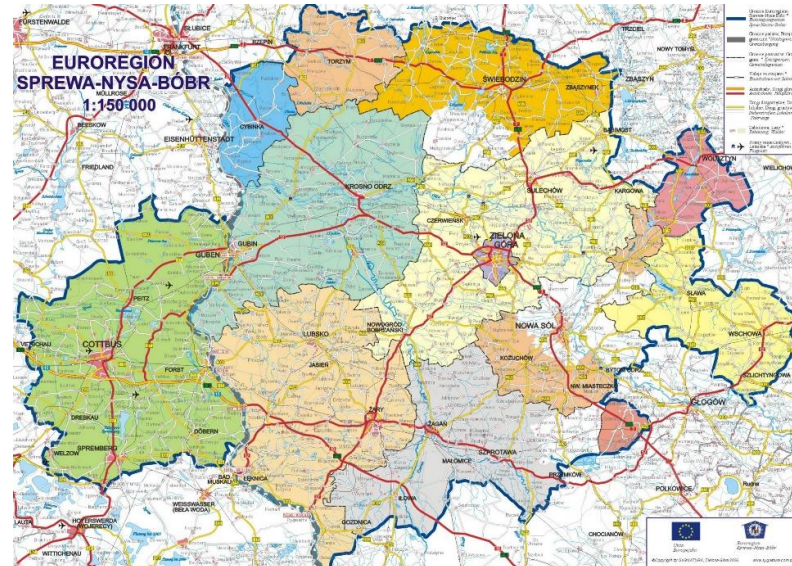
Prof. Benyska opracował i wdrożył największy magazyn energii w Europie podłączony do sieci trakcyjnej w Garbcach (5,5 MW, 1,2 MWh).

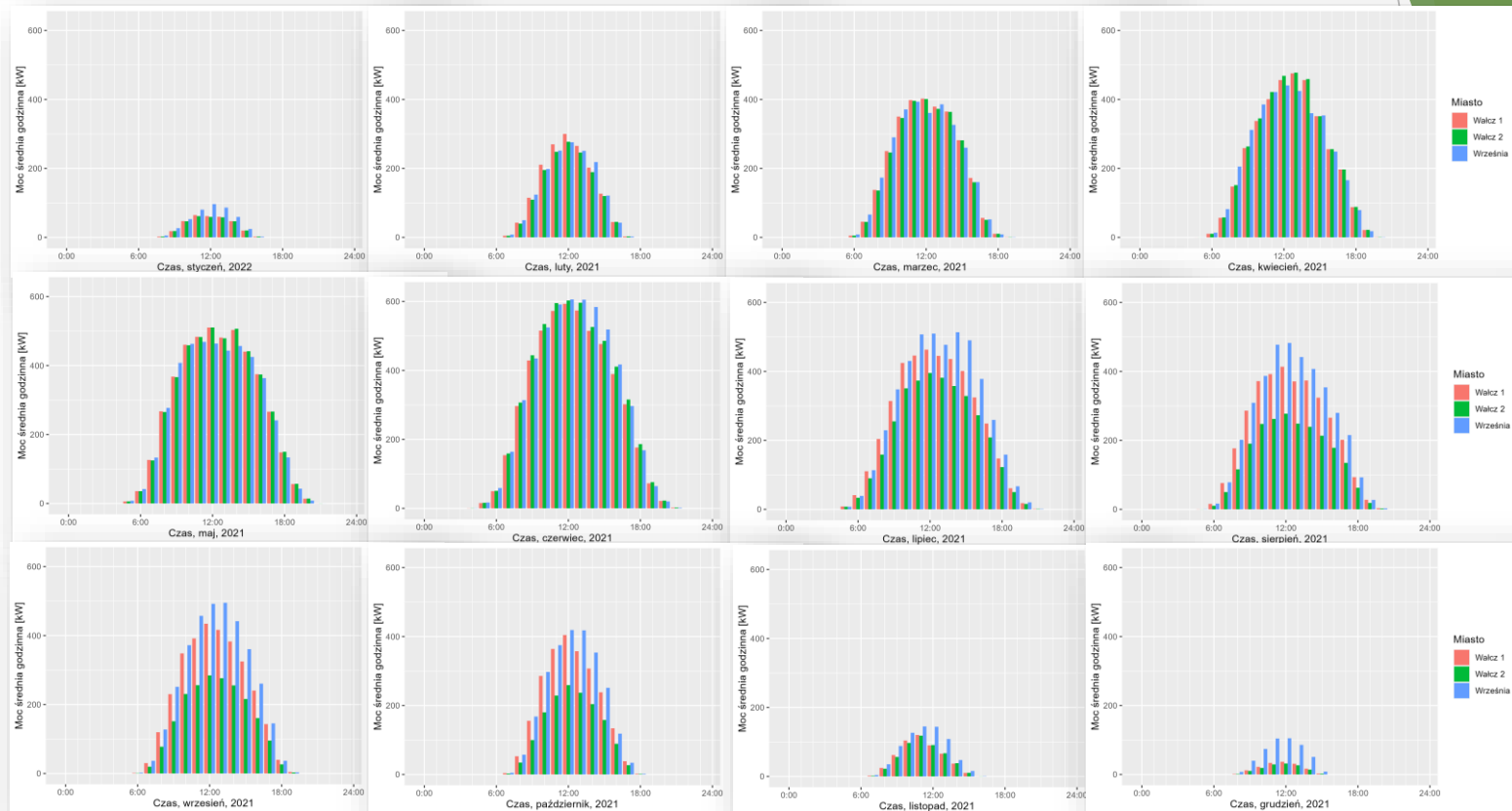
Od momentu uruchomienia 1 lipca 2021 roku, magazyn zasilił już ponad 10.000 podróży pociągów pasażerskich regionalnych i dalekobieżnych oraz pociągów towarowych.



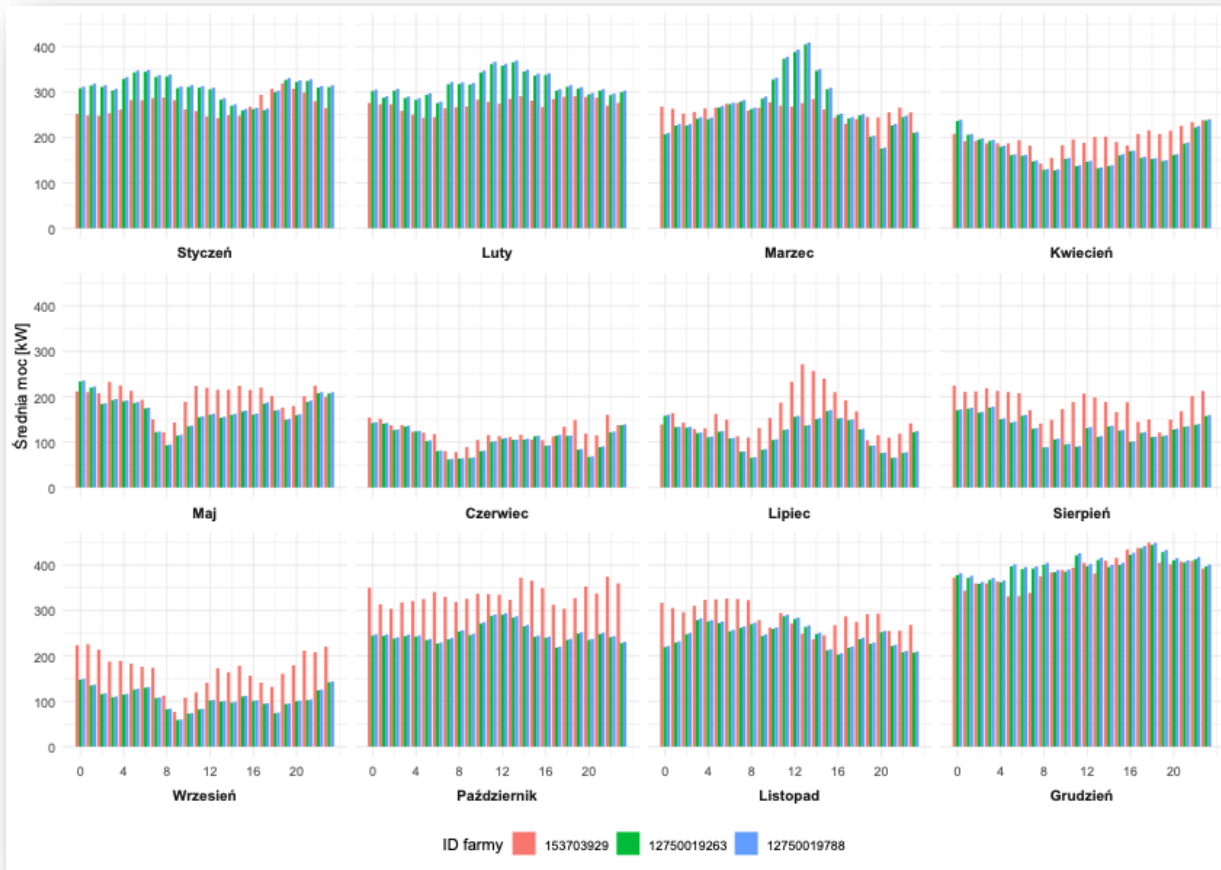
CCI-NR2021TC16RFCB010 Green Energy - Region Sprewa-Nysa-Bóbr jako innowacyjne pogranicze transferu wiedzy i technologii w obszarze odnawialnych źródeł energii, inteligentnego magazynowania energii i gospodarki wodorowej,
Green Energy - SNB-Region, Program Interreg Brandenburgia – Polska 2021–2027

Budżet: 5.409.499 PLN



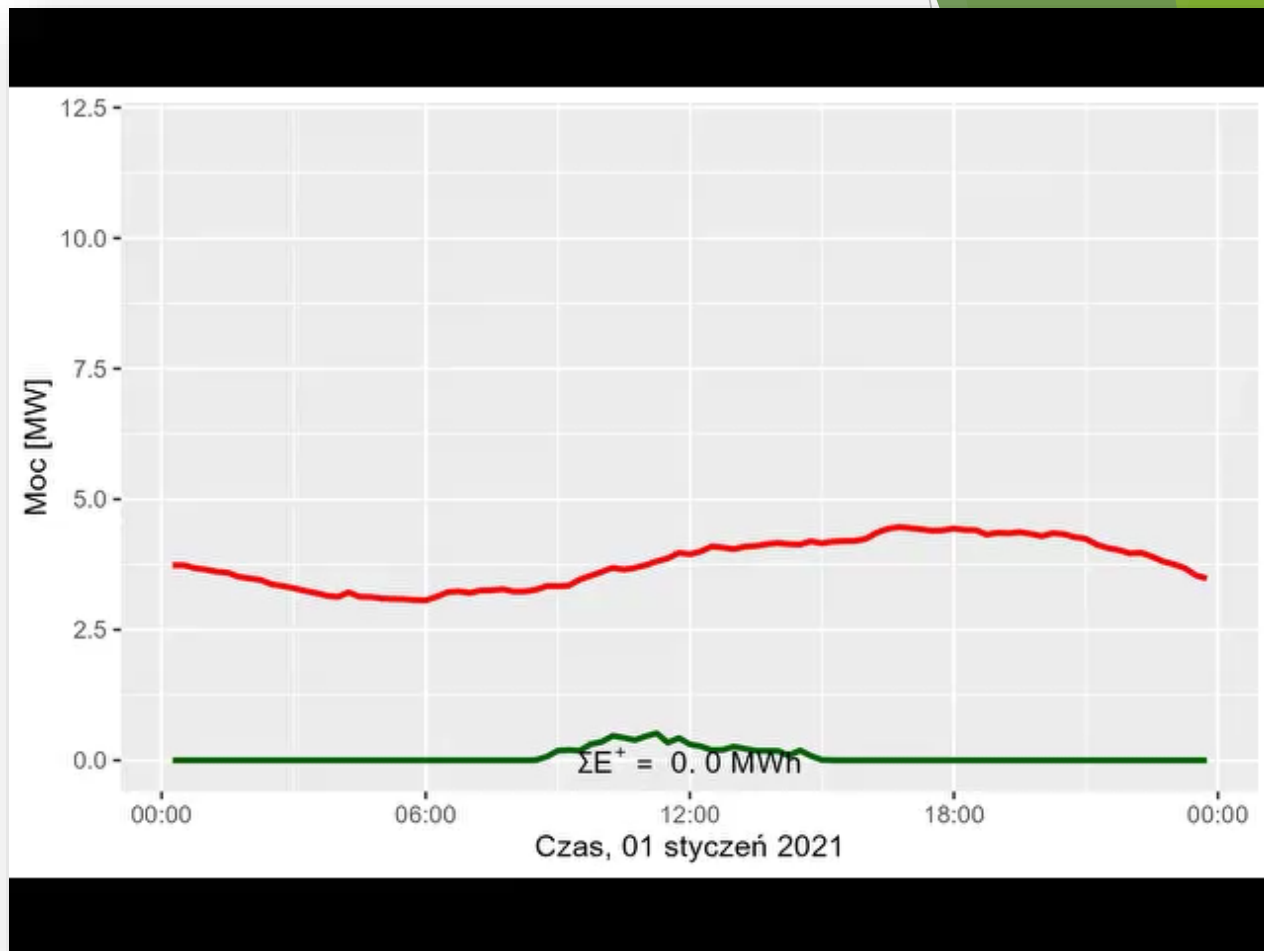


Histogramy mocy godzinowej trzech elektrowni fotowoltaicznych o mocy 1 MW w poszczególnych miesiącach

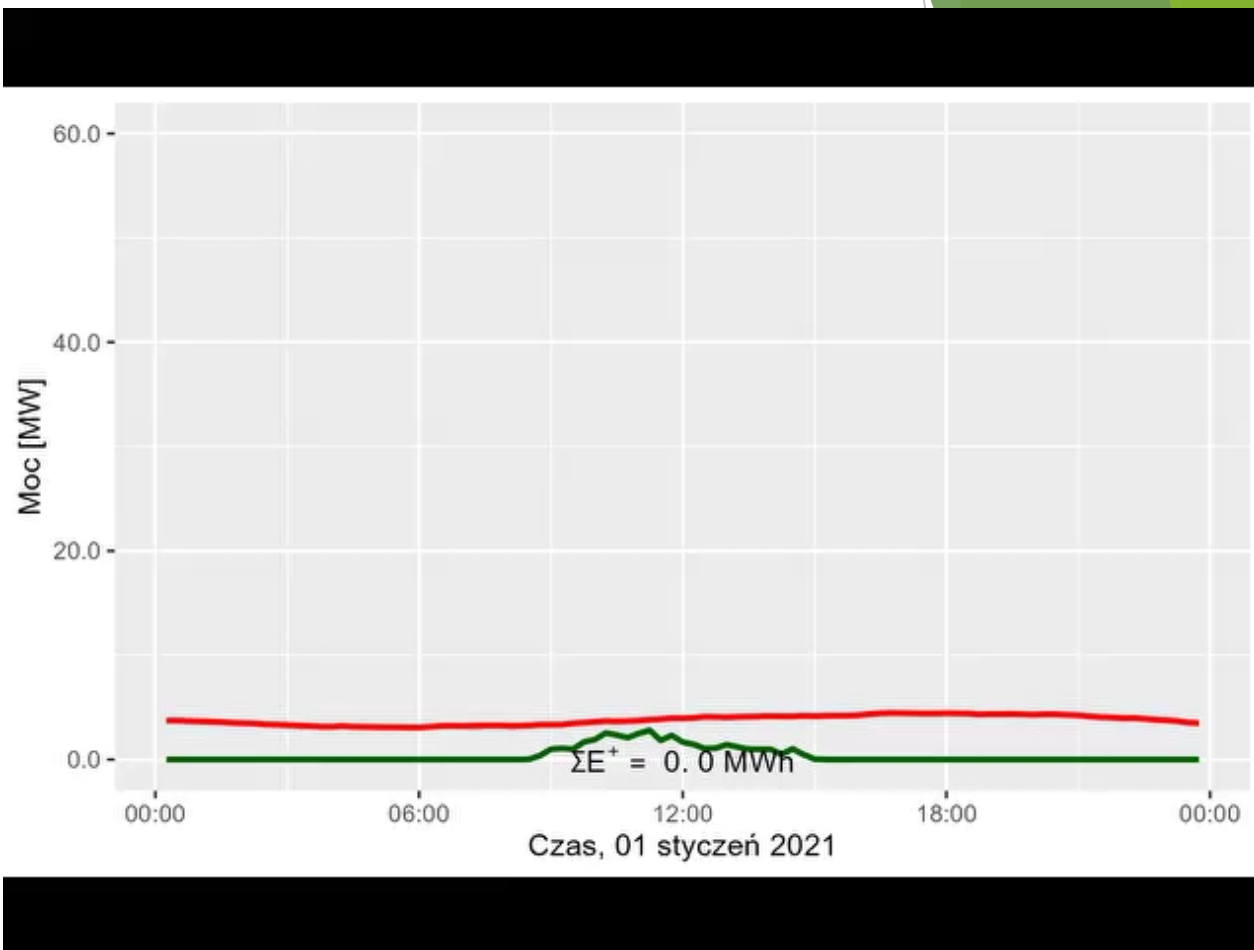


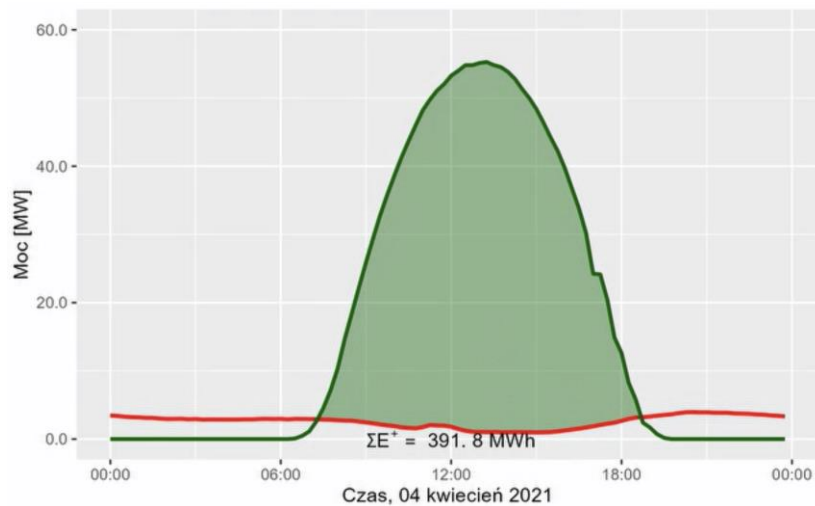
Histogramy mocy godzinowej trzech elektrowni wiatrowych w poszczególnych miesiącach

Dodatkowe 12 MW



Dodatkowe 65 MW





Magazyn baterijny

- Baterie: 1 MWh ok. 1,5 mln PLN
- Przekształtnik: 1 MW ok. 0,8 mln PLN
- 300 MWh i 60 MW to ok. **500 mln PLN**

Dane techniczne Elektrowni Bełchatów:

- Moc elektryczna zainstalowana 5096,7 MWe
- Moc elektryczna osiągalna 5102 MWe
- Moc cieplna osiągalna 373,8 MWt

Dane produkcyjne za rok 2021:

- produkcja energii elektrycznej – 27,4 TWh netto/30,3 TWh brutto
- sprzedaż ciepła – 2 mln GJ
- ilość zużytego węgla brunatnego – 38,2 mln ton

Największy baterijny magazyn energii Edwards & Sanborn Solar + Energy Storage project,

Moc szacowana: **800 MW**

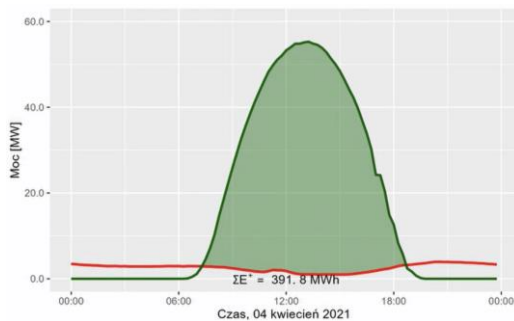
Pojemność: **3.287 MWh**

Szacowana moc to 16% mocy elektrowni Bełchatów i pozwala zmagazynować energię wyprodukowaną w ok. 40 minut

źródło: <https://elbelchatow.pgegiel.pl/O-oddziale>

źródło: <https://insideevs.com/news/489894/vistra-moss-landing-energy-storage-world-largest/>





Magazyn wodorowy

- Energia do wyprodukowania 1 kg wodoru: 50 kWh
- Woda do wyprodukowania 1 kg wodoru: 9 l
- Z nadwyżki wyprodukowane zostanie: 7.820 kg wodoru
- Do wyprodukowania wodoru potrzebne będzie 70.380 kg wody
- Gęstość masowa dla zbiornika wodoru przy 700 barach (H70):
Toyota Mirai II 39 g/l ; BMW iX5 Hydrogen 43 g/l ; Hyundai Nexo 43 g/l ;
- Butla 700 bar o pojemności: 195 m³ (5 cystern 39 m³)

Największy magazyn wodorowy

ACES Delta (nadal nie działa),

Moc elektrolizera: **220 MW**

Dobowa produkcja wodoru: **100 t**

Pojemność ok.: **300 GWh**

Pojemność wodoru ok.: **11.000 t**

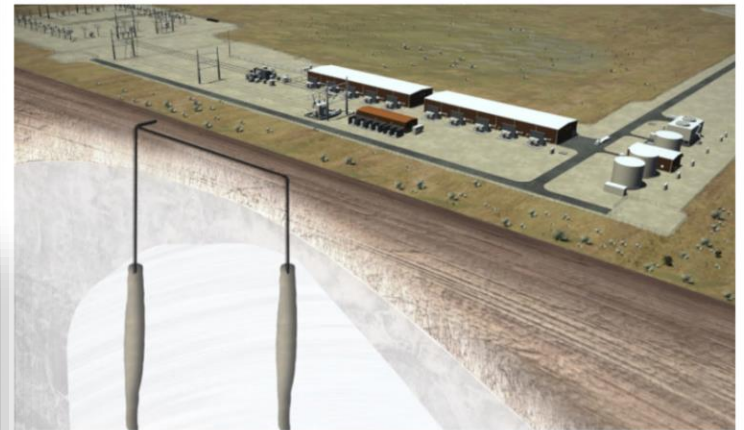
Przy założeniu pojemności 11.000 t wodoru,
gęstości energetycznej 33.33 MWh/t
oraz sprawności ogniw 0,5
można zmagazynować energię
wyprodukowaną przez Bełchatów w 37 godzin

PRESS RELEASE

ACES Delta I Hydrogen Production and Storage

Published by [Todd Bush](#) on July 11, 2025

World's largest green hydrogen storage facility being developed in Utah with funding from the [U.S. Department of Energy \(DOE\)](#). Loan Programs Office will help scale low-carbon energy for western states.



źródło: <https://aces-delta.com/hubs/>

źródło: <https://decarbonfuse.com/posts/aces-delta-i-hydrogen-production-and-storage>

RWE is testing two electrolysis technologies under industrial conditions in the pilot plant

Dresden-based manufacturer Sunfire has installed an alkaline electrolyser with a capacity of 10 MW for RWE. Four modules, each weighing 15 tonnes, were assembled in a specially constructed hall to form two 'stacks' almost ten metres long.

At the same time, Linde Engineering designed and built a 4 MW plant with a PEM electrolyser from ITM Power. The abbreviation PEM stands for "polymer electrolyte membrane". The PEM electrolyzers are installed in the smaller hall of the test plant in two compact "cubes" of 2 MW each.



The arrival of the world's largest electrolyser

September 10th, Porsgrunn – Today marks a milestone in HydrogenPro's history. The world's largest electrolyser has arrived at HydrogenPro's test facility at Herøya.

RWE gains experience with pilots for industrial hydrogen production

The Lingen site plays a key role in RWE's hydrogen strategy: as part of the **GET H2 Nukleus** project, the company plans to commission 300 MW of electrolysis capacity in three stages by 2027. The aim of GET H2 Nukleus is to initiate the development of a supra-regional hydrogen infrastructure together with partners and thus provide impetus for a strong European hydrogen market. With the 14 MW pilot plant, RWE is testing on a small scale what the company wants to implement a few metres away in the GET H2 Nukleus in the three-digit MW range: the production of green hydrogen in order to provide industrial customers with green molecules and thus support them in their decarbonisation.



Yara International 24 MW Herøya, Norwegia
Moc elektrolizera: 24 MW

GET H2 Nukleus – Lingen, Niemcy
Moc elektrolizera: 14 MW (planowane 300 MW)

źródło: <https://hydrogenpro.com/2022/09/12/the-arrival-of-the-worlds-largest-electrolyser/>

źródło: <https://www.rwe.com/en/research-and-development/hydrogen-projects/lingen-pilot-h2-electrolysis-plant/>



Największy magazyn grawitacyjny
EVx™ Gravity Energy Storage System
Rudong, China,
Moc: **25 MW**
Pojemność ok.: **100 MWh**



Szacowana moc to 0,5% mocy elektrowni
Bełchatów i pozwala zmagazynować energię
wyprodukowaną w ok. 1 minutę i 12 sekund



Jeden metr sześcienny wody na wysokości 10 metrów:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$m = 1000 \text{ [kg]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m / s}^2\text{]}$$

$$h = 10 \text{ [m]}$$

$$E_p = 1000 \text{ [kg]} \cdot 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \cdot 10 \text{ [m]} = 98\,000 \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$$
$$= 98\,000 \text{ [J]} = 98\,000 \text{ [Ws]} = 0,27 \text{ [kWh]}$$

Przy cenie 1 PLN/kWh i założeniu 100% sprawności systemu tona wody wpompowana na wysokość 10 metrów pozwala zmagazynować energię za 27 groszy



Moc wyciągu szybowego w przedziale skipowym szybu R1 w KGHM Rudna wynosi 4 MW
33 tony rudy pokonują ponad kilometrową trasę w pionie w 90 sekund

Największa elektrownia szczytowo-pompowa
**Fengning Pumped Storage Power Station,
China**

Moc: **3.600 MW**

Pojemność ok.: **40 GWh**

Wysokość spadku hydraulicznego: **425 m**

Pojemność zbiornika górnego: **49 mln m³**

Pojemność do generacji: **41 mln m³**

Szacowana moc to 72% mocy elektrowni
Bełchatów i pozwala zmagazynować energię
wyprodukowaną w ok. 8 godzin



Największa elektrownia szczytowo-pompowa
Żarnowiec

Moc: **716 MW**

Pojemność ok.: **3,6 GWh**

Wysokość spadku hydraulicznego: **125 m**

Pojemność zbiornika górnego: **16 mln m³**

Pojemność do generacji: **14 mln m³**

Szacowana moc to 14% mocy elektrowni
Bełchatów i pozwala zmagazynować energię
wyprodukowaną w ok. 43 minuty





Szczytowo-Pompowa Elektrownia Wodna DYCHÓW

- moc znamionowa: 90 MW (największa farma PV - Zwartowo 204 MW)
- spad netto: 28 m
- przepływ: **360 m³/s**

19

Według statystyk i informacji GUS przeciętny Polak zużywa do 100 litrów wody dziennie. W skali miesiąca możemy zużyć ok. 3 m³.

- Aktualnie dostępne technologie magazynowania energii elektrycznej pozwalają na realizację bilansowania dobowego oraz świadczenia wielu cennych usług systemowych w zakresie wybranych parametrów jakości dostawy energii elektrycznej.
- Brak jest obecnie technologii magazynowania energii elektrycznej pozwalającej na sezonowe bilansowanie systemu elektroenergetycznego Polski w przypadku oparcia systemu na źródłach PV.
- Zasadne wydaje się oparcie podstawy systemu na źródłach o stałej dostawie energii pierwotnej i dużej dynamice, np. SMR.
- Konieczne będzie opracowanie modeli biznesowych regulujących wykorzystanie poszczególnych źródeł w systemie elektroenergetycznym.