



Politechnika
Śląska

SYSTEMY MAGAZYNOWANIA ENERGII W SPRĘŻONYCH GAZACH

Łukasz BARTELA

WYDZIAŁ INŻYNIERII
ŚRODOWISKA I ENERGETYKI

Marcin LUTYŃSKI

WYDZIAŁ GÓRNICTWA, INŻYNIERII
BEZPIECZEŃSTWA I AUTOMATYKI
PRZEMYSŁOWEJ

Seminarium Naukowe podobszaru POB6.9: **Magazynowanie
energii i energetyka wodorowa**

16.12.2020

Zespół badawczy

WIŚE:

dr hab. inż. **Łukasz BARTELA**, prof. PŚ

dr hab. inż. **Sebastian RULIK**

dr hab. inż. **Anna SKOREK-OSIKOWSKA**, prof. PŚ

dr inż. **Michał JURCZYK**

dr inż. **Daniel WĘCEL**

mgr inż. **Bartosz STANEK**

inż. **Jakub OCHMANN**

WGIBiAP:

dr hab. inż. **Marcin LUTYŃSKI**, prof. PŚ

dr inż. **Grzegorz SMOLNIK**

inż. **Konrad KOŁODZIEJ**

Energoprojekt Katowice SA:

mgr inż. **Michał BRZUSZKIEWICZ**

mgr inż. **Sebastian WANICZEK**



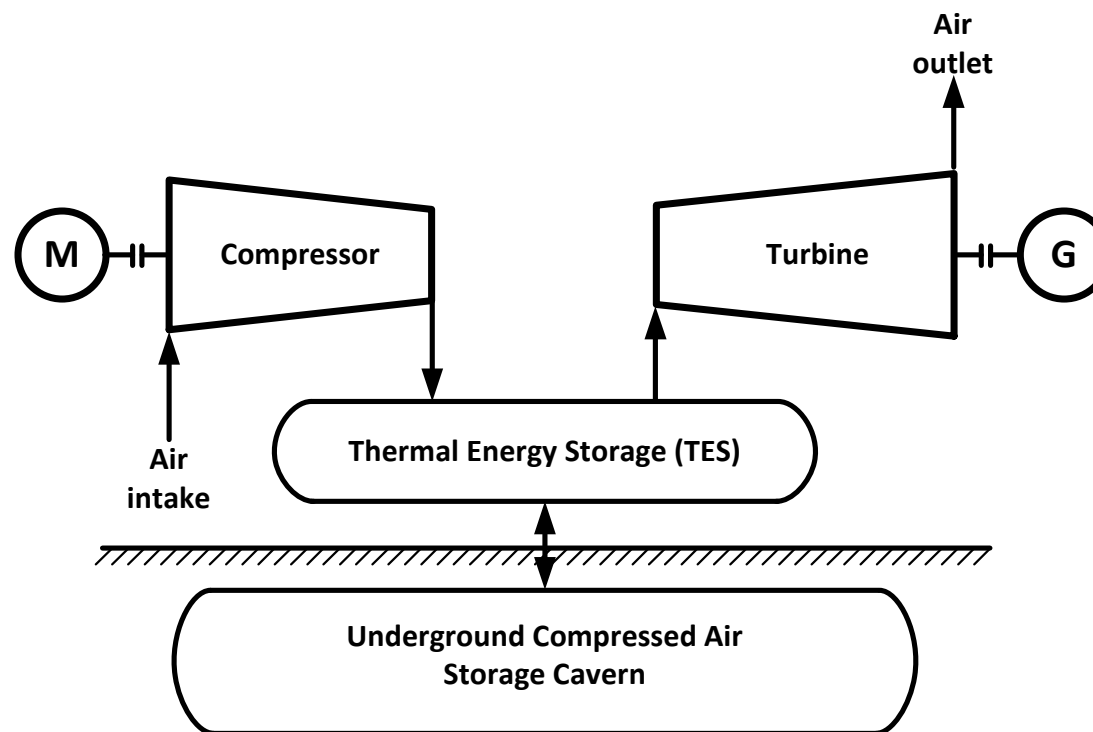
Aktywność Zespołu

Tezy stanowiące podstawę aktywności Zespołu:

- I. Część pokopalnianych wyrobisk podziemnych może być z powodzeniem zaadaptowana dla magazynowania gazów pełniących rolę nośników energii w ramach tzw. systemów CGES (ang. *Compressed Gases Energy Storage*).
- II. Adiabatyczne systemy magazynowania energii w sprężonym powietrzu, wykorzystujące dla magazynowania sprężonego powietrza oraz ciepła szyby pokopalniane mogą być w przyszłości konkurencyjne w stosunku do innych, wielkoskalowych technologii magazynowania energii.



Adiabatyczny system magazynowania energii w sprężonym powietrzu



Projekt ADELE (A-CAES)

Finansowanie: Ministerstwo Gospodarki i Energii Niemiec

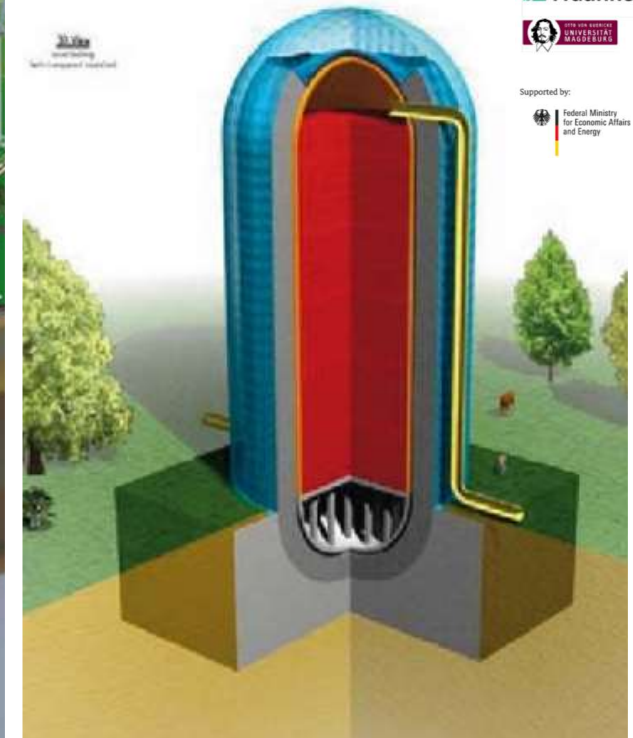
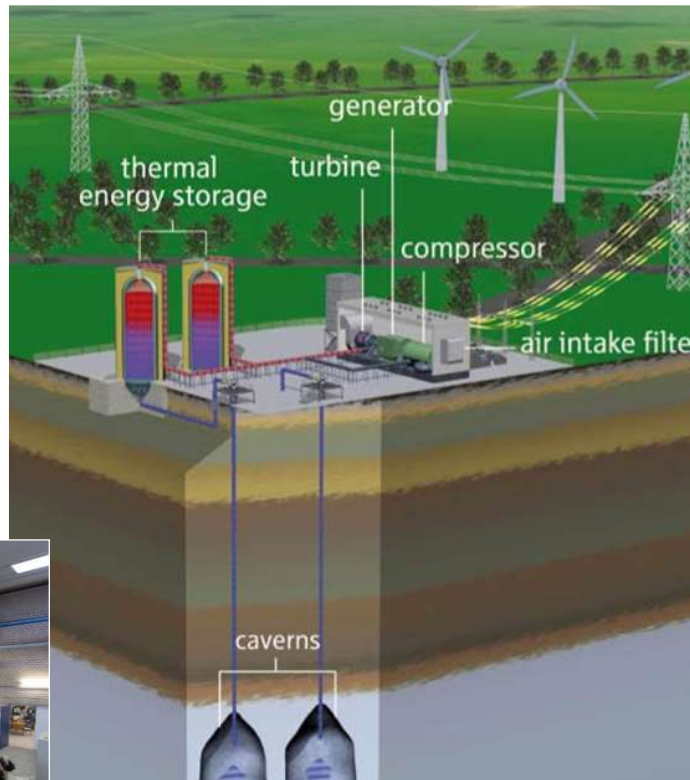
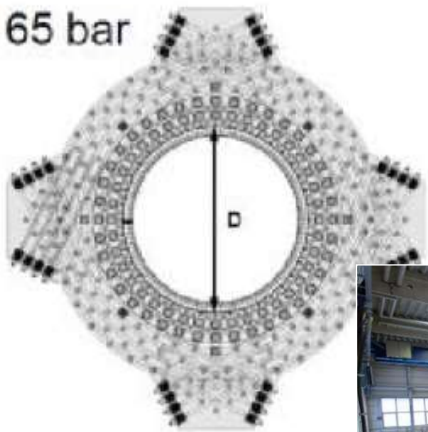
Niemcy, 2009 – 2020 (został wstrzymany w uwagi na sytuację rynkową)

Budżet: 338 M€

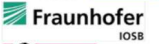
Główne cele:

- Ocena potencjału magazynowania ciepła wysokotemperaturowego
- Budowa instalacji o mocy 260 MW i pojemności 1040 MWh

65 bar



VORWEG GEHEN



Supported by:
Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy



Politechnika
Śląska

Seminarium Naukowe podobszaru POB6.9:
Magazynowanie energii i energetyka wodorowa

Magazynowanie sprężonych gazów

	Kawerny solne	Warstwy porowate	Komory skalne
Koszt inwestycyjny	Średni	Niski	Wysoki
Szczelność	Wysoka	Wysoka	Zadawalająca
Wydajność	Wysoka	Niska	Wysoka
Pojemność	Wysoka	Wysoka	Wysoka
Koszt ekologiczny	Wysoki	Niski	Niski

Magazynowanie sprężonych gazów

Tabela. Szacunkowe objętości wyrobisk dla jednej z kopalni GZW

PODZIAŁ WYROBISK	ILOŚĆ	DŁUGOŚĆ, m	OBJĘTOŚĆ, m ³
SZYBY	2	1 718,00	64 828
POZIOM 1050 M	6	328,00	6 928
POCHYLNIE POMIĘDZY 1050M - 850M	1	1 224,00	26 806
POZIOM 850 M	94	28 882,50	496 874
POCHYLNIE POMIĘDZY 850M - 650M	20	9 059,50	153 210
POZIOM 650 M	57	32 279,00	503 442
SUMA	180	73 491,00	1 252 088

Magazynowanie sprężonych gazów

ZALETY:

Dobrze znana struktura geologiczna - zmniejszone koszty badań geologicznych

Lokalizacja w ramach mocno zindustrializowanych regionów przemysłowych – mniejsze koszty związane z zabudową infrastruktury przesyłowej i mniejsze straty przesyłowe

Zmniejszone oddziaływanie na środowisko w porównaniu do kawerny solnej, której wykonanie wymaga ługowania złoża soli

8

WADY:

Powietrze w kontakcie z węglem może powodować samorzutne spalanie węgla i w efekcie niekontrolowany pożar

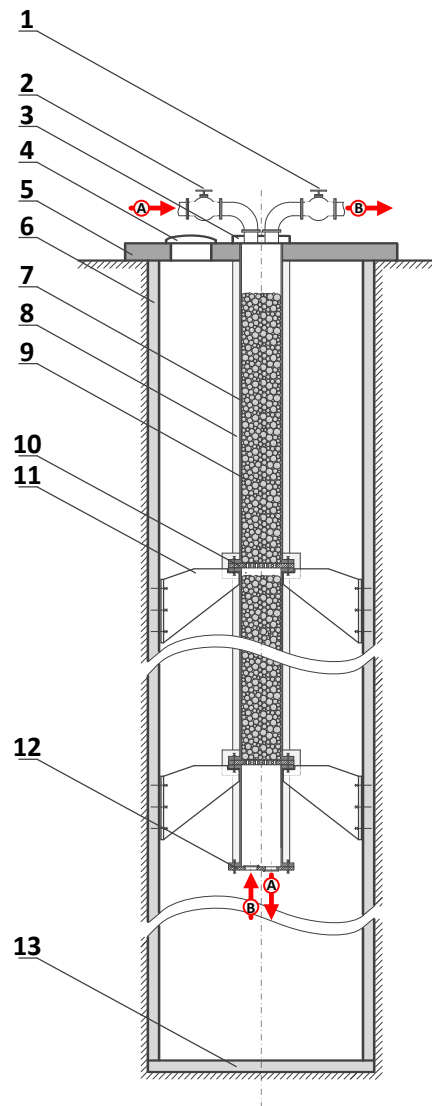
Dawna eksploatacja górnicza na różnych głębokościach powoduje pęknięcia lub szczeliny i osiadanie powierzchni, które mogą zagrażać integralności magazynu powietrza i w rezultacie powodować wyciek powietrza lub przenikanie wody



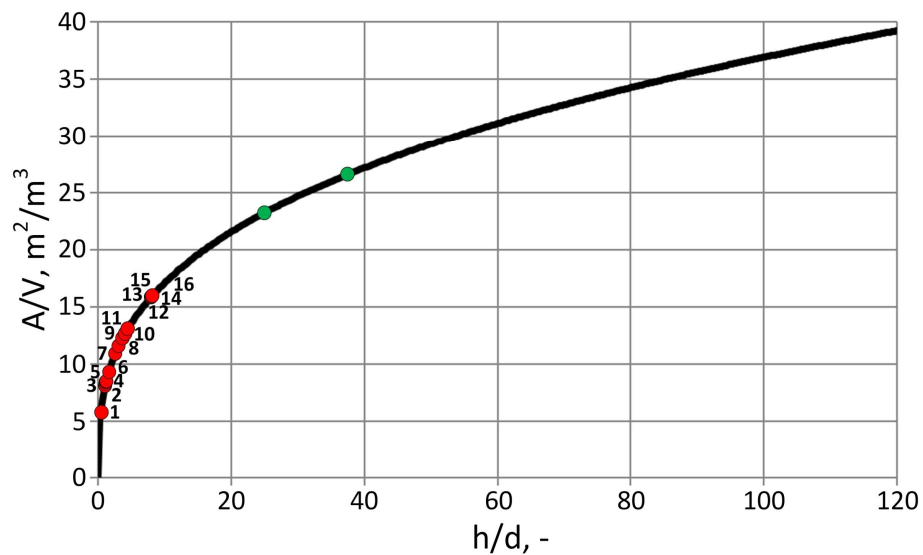
foto: Albin Marciniak

Podziemny magazyn na sprężone powietrze zabudowany zwłaszcza w poeksploatacyjnym szybie kopalnianym

Łukasz Bartela, Marcin Lutyński, Grzegorz Smolnik, Sebastian Waniczek
 Zgłoszenia patentowe:
 w UPRP (nr P.431156 - rok 2019)
 EPO (nr EPO 20000302.8/EP20000302 – rok 2020)



1. Zawór odcinający na rurociągu wylotowym
2. Zawór odcinający na rurociągu wlotowym
3. Pokrywa zasobnika ciepła
4. Właz rewizyjny
5. Pokrywa magazynu sprężonego powietrza
6. Obudowa cylindrycznego zbiornika podziemnego (np. szybu pokopalnianego)
7. Element cylindryczny zasobnika ciepła
8. Izolacja termiczna zasobnika ciepła
9. Wkład akumulujący ciepło
10. Dennica sitowa
11. Wsporniki pionizujące zasobnika ciepła
12. Dennica z kłapami ciśnieniowymi
13. Dno cylindrycznego zbiornika podziemnego



Rys. Stosunek powierzchni bocznej cylindra do jego objętości w funkcji współczynnika smukłości

- [1] Singh S., et al., Investigation on transient performance of a large-scale packed-bed thermal energy storage. Applied Energy 2019;239:1114-1129
- [2] McTigue J.D., et al., Performance response of packed-bed thermal storage to cycle duration perturbations. Journal of Energy Storage 2018;19:379-392
- [3] Sciacovelli A., et al., Dynamic simulation of Adiabatic Compressed Air Energy Storage (A-CAES) plant with integrated thermal storage – Link between components performance and plant performance. Applied Energy 2017;185:16-28
- [4] Wang P., et al., Performance analysis of a combined heat and compressed air energy storage system with packed bed unit and electrical heater. Applied Thermal Engineering 2019;162:114321
- [5] Trevisan S., et al., Coatings utilization to modify the effective properties of high temperature packed bed thermal energy storage. Applied Thermal Engineering 2021;185:116414
- [6] Ortega-Fernandez I., et al., Analysis of an integrated packed bed thermal energy storage system for heat recovery in compressed air energy storage technology. Applied Energy 2017;205:280-293
- [7] Tola V., et al., Performance assessment of Adiabatic Compressed Air Energy Storage (A-CAES) power plants integrated with packed-bed thermocline storage systems. Energy Conversion and Management 2017;151:343-356
- [8] Cascetta M., et al., A comparison between CFD simulation and experimental investigation of a packed-bed thermal energy storage system. Applied Thermal Engineering 2016;98:1263-1272
- [9] Geissbühler L., et al., Pilot-scale demonstration of advanced adiabatic compressed air energy storage, Part 1: Plant description and tests with sensible thermal-energy storage. Journal of Energy Storage 2018;17:129-139
- [10] Tuttle J.F., et al., A novel dynamic simulation methodology for high temperature packed-bed thermal energy storage with experimental validation. Sustainable Energy Technologies and Assessments 2020;42:100888
- [11] Hoffmann J.-F., et al., Experimental and numerical investigation of a thermocline thermal energy storage tank. Applied Thermal Engineering 2017;114:896-904
- [12] Mohammad M.S.Al-Azawii, et al., Experimental study on the cyclic behavior of thermal energy storage in an air-alumina packed bed. Journal of Energy Storage 2018;18:239-249
- [13] He W., et al., Study of cycle-to-cycle dynamic characteristics of adiabatic Compressed Air Energy Storage using packed bed Thermal Energy Storage. Energy 2017;141:2120-2134
- [14] Elouali A., et al., Physical models for packed bed: Sensible heat storage systems. Journal of Energy Storage 2019;23:69-78
- [15] Hänchen M., et al., High-temperature thermal storage using a packed bed of rocks – Heat transfer analysis and experimental validation. Applied Thermal Engineering 2011;31:1798-1806
- [16] Liao Z., Efficiency analyses of high temperature thermal energy storage systems of rocks only and rock-PCM capsule combination. Solar Energy 2018;162:153-164



Potencjał w regionie Górnego Śląska

zgodnie z listą przedstawioną przez Spółkę Restrukturyzacji Kopalń S.A. [www.srk.com.pl] na Śląsku zlikwidowanych będzie 14 kopalń węgla kamiennego do 2023 roku,

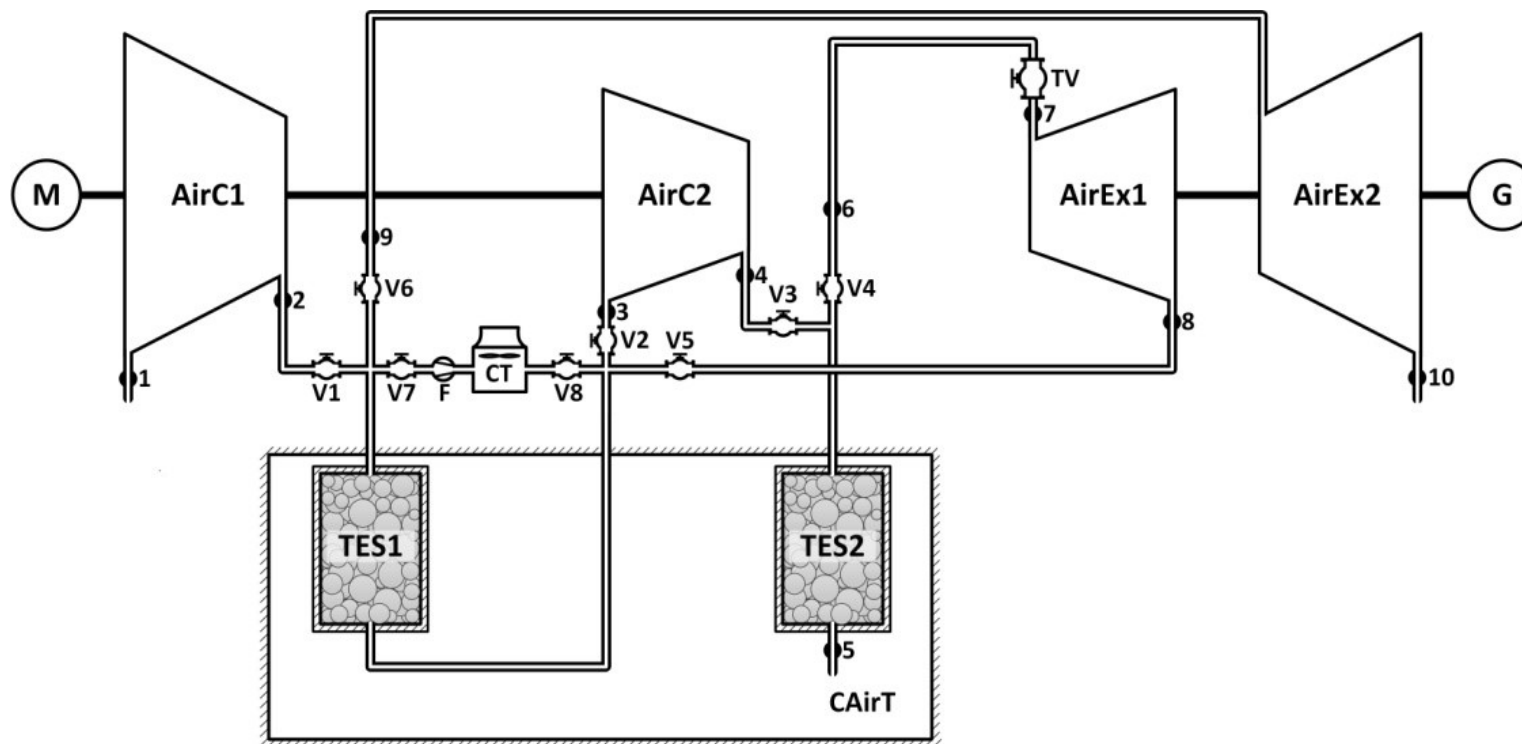
w obrębie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego funkcjonuje około 150 szybów,

głębokości szybów mieszczą się najczęściej w zakresie od 600 m do 1200 m (kubatura pojedynczego szybu wynosić może nawet ponad 60 tys. m³),

¹¹ szyby górnicze lokalizowane są w tak zwanych filarach ochronnych, stąd wpływ eksploatacji górniczej na takie obiekty jest znacznie ograniczony lub też wyeliminowany,

koszty budowy pojedynczego szybu liczone są co najmniej w setkach milionów złotych – adaptacja poeksploatacyjnego szybu kopalnianego jako zbiornika ciśnieniowego stanowić może modelowy przykład rewitalizacji terenów pogórnich i tym samym doskonałą alternatywę dla konwencjonalnych sposobów likwidacji szybów.

Potencjał energetyczny



Rys. Schemat analizowanego systemu A-CAES

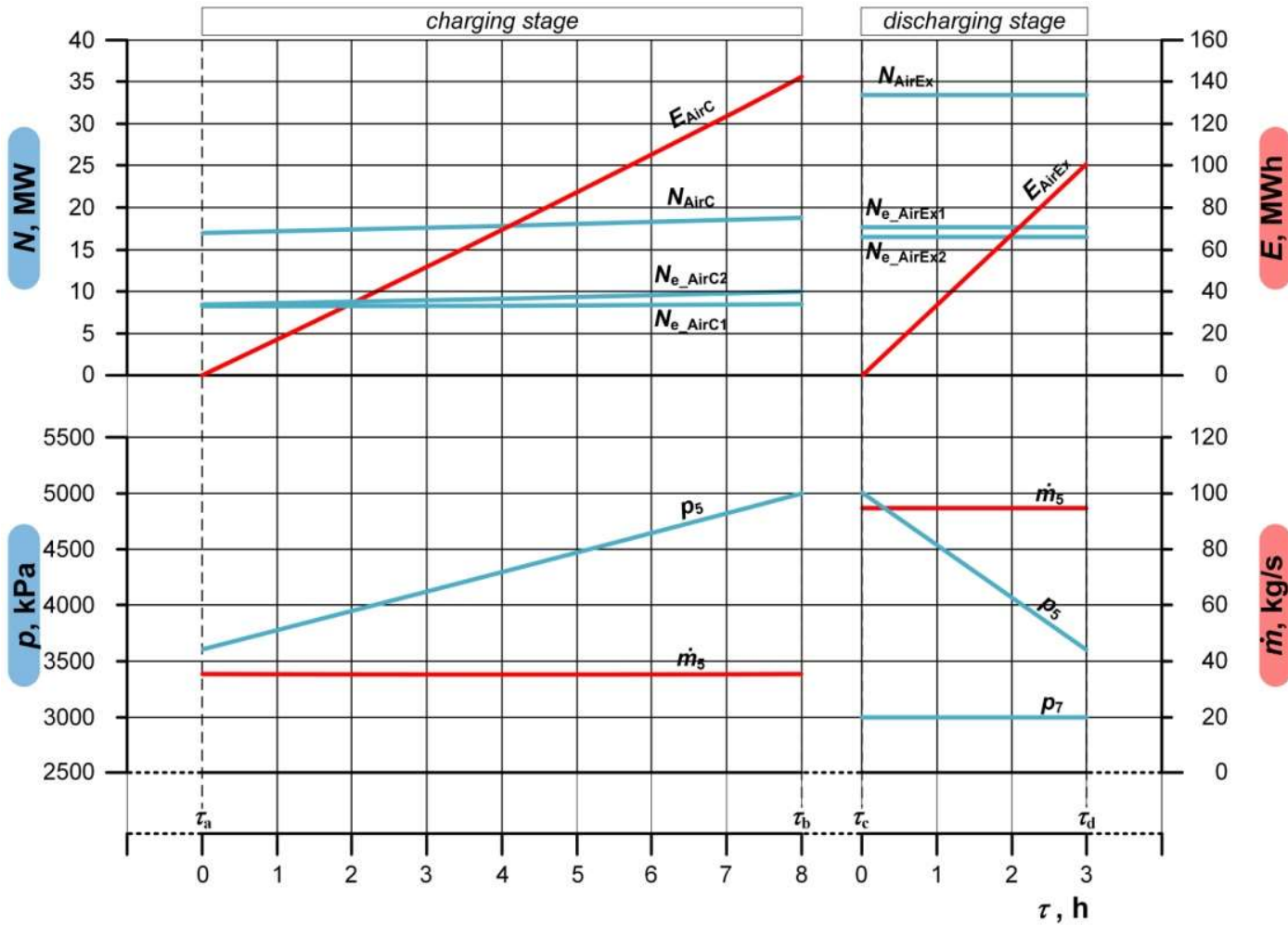


Item	Value
Volume of air storage (including TES), m ³	61,643
TES storage volume, m ³	3,770
Porosity of the packing bed, -	0.4764
Efficiency of heat storage, -	0.95
Minimum and maximum loading pressure, MPa	3.6-5.0
Air storage tank temperature, °C	30
Nominal isentropic efficiency of compressor sections, -	0.88
13 Electromechanical efficiency of compressor, -	0.98
Compressor daily time operation (charging time), h	8
Nominal isentropic efficiency of expander sections, -	0.90
Electromechanical efficiency of expander, -	0.98
Expander daily time operation (discharging time), h	3

$$E_{\text{ESS}} = 140 \text{ MWh}$$

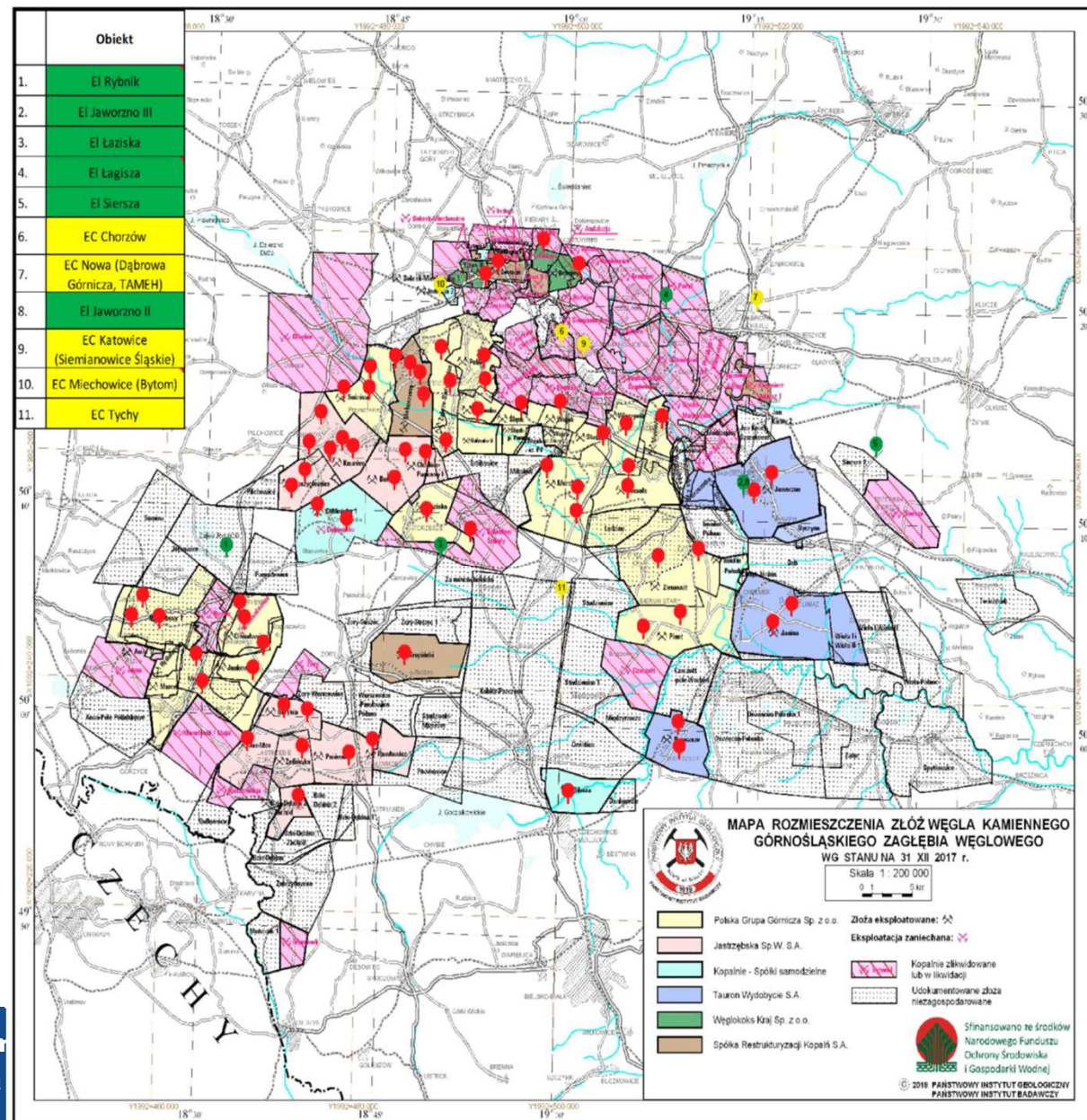
$$\eta_{\text{ESS}} = 0.7044$$

14



Rys. Podstawowe charakterystyki operacyjne systemu A-CAES w funkcji time pracy dla cyklu dobowego

JSW SA	1	Borynia	5
		Zofiówka	5
		Jastrzębie	4
	2	Budryk	5
	3	Bzie Dębina	1
PGG	4	Pniówek	5
		5	Knurów
	6	Szczygłowice	5
		Jankowice	5
		Chwałowice	5
	7	Marcel	
		Rydułtowy	6
	8	Bielszowice	8
		Halemba	6
	9	Pokój	
		Piast	4
	10	Ziemowit	6
		Bolesław Śmiały	
11	Sośnica	6	
	Murcki		
12	Staszic		
	Mysłowice	8	
13	Wesoła		
	Wujek		
TAURON	14	Brzeszcze	8
	15	Janina	2
Silesia	16	Sobieski	6
	17	Silesia	5
Siltech	18	Siltech	



Podstawowe wyzwania badawcze

Identyfikacja procesów cieplnych i przepływowych w ramach systemu magazynowania ciepła oraz w ramach całego hybrydowego systemu magazynowania ciepła i sprężonego powietrza,

Identyfikacja maksymalnych poziomów ciśnienia magazynowania powietrza w ramach wyrobisk szybowych oraz wpływu cyklicznych zmian ciśnienia na procesy degradacji struktury szybu,

Identyfikacja dyfuzyjności powietrza (oraz innych gazów) w materiale stanowiącym obudowę szybu oraz w materiałach membranowych (np. membran natryskowych TSL),

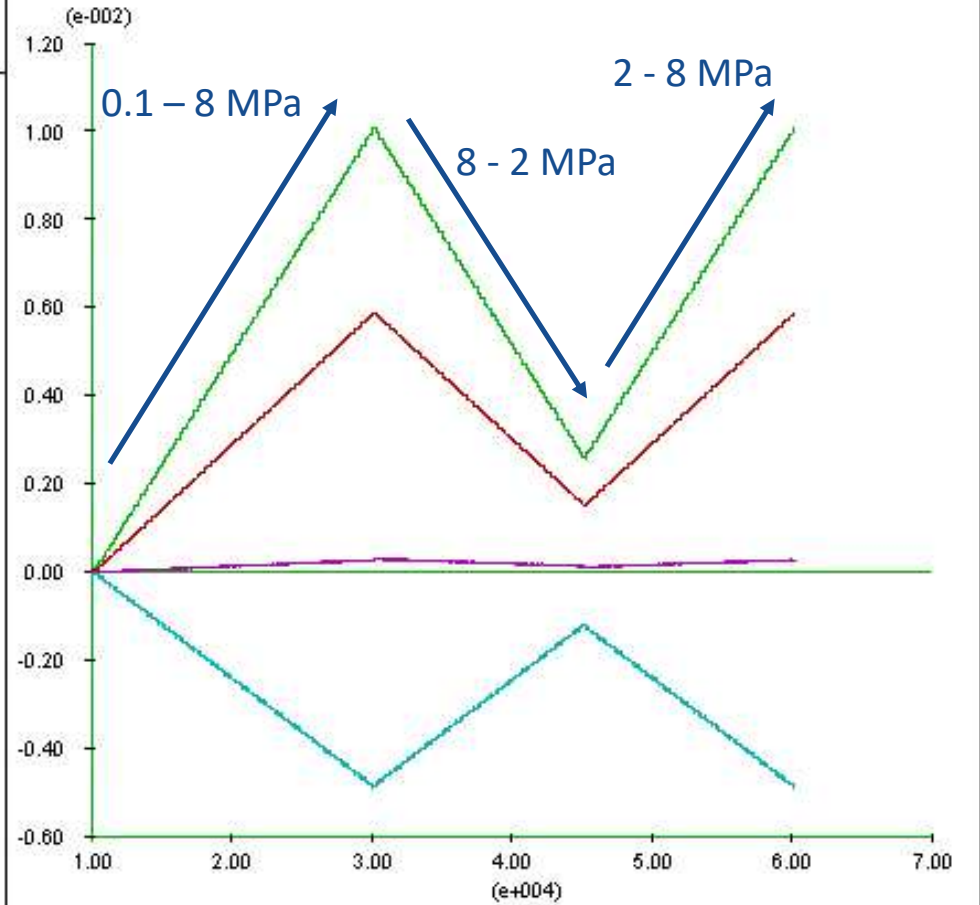
Optymalizacja cieplna struktury technologicznej oraz parametrów pracy uwzględniająca zidentyfikowane bariery techniczne.

JOB TITLE : przemieszczenia w kierunku y

UDEC (Version 4.01)

LEGEND

28-Nov-19 14:36
cycle 60250
time = 3.041E+01 sec
history plot
1.46E-05<hist 1> 1.01E-02
-4.89E-03<hist 3> -1.43E-05
8.30E-06<hist 5> 5.88E-03
-1.85E-05<hist 7> 3.01E-04
Vs:
1.00E+04<cycle> 6.03E+04

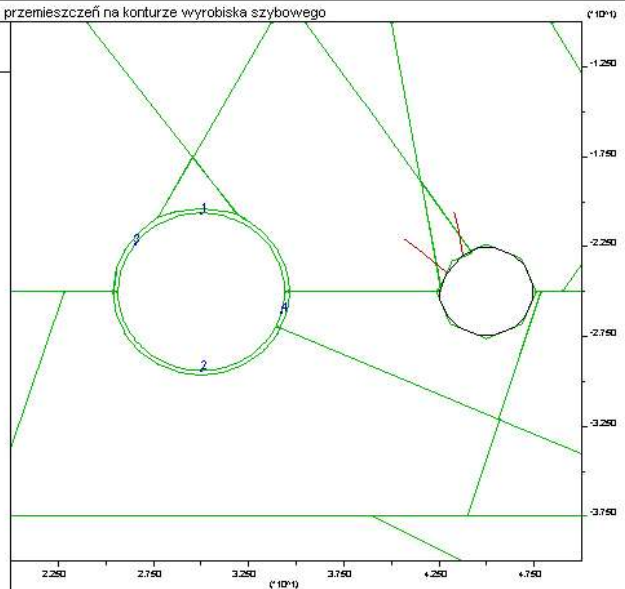


JOB TITLE : miejsca monitorowania przemieszczeń na konturze wyrobiska szybowego

UDEC (Version 4.01)

LEGEND

28-Nov-19 13:57
cycle 10000
time = 5.011E+00 sec
block plot
cable reinforcing plotted
structural elements plotted
History Locations

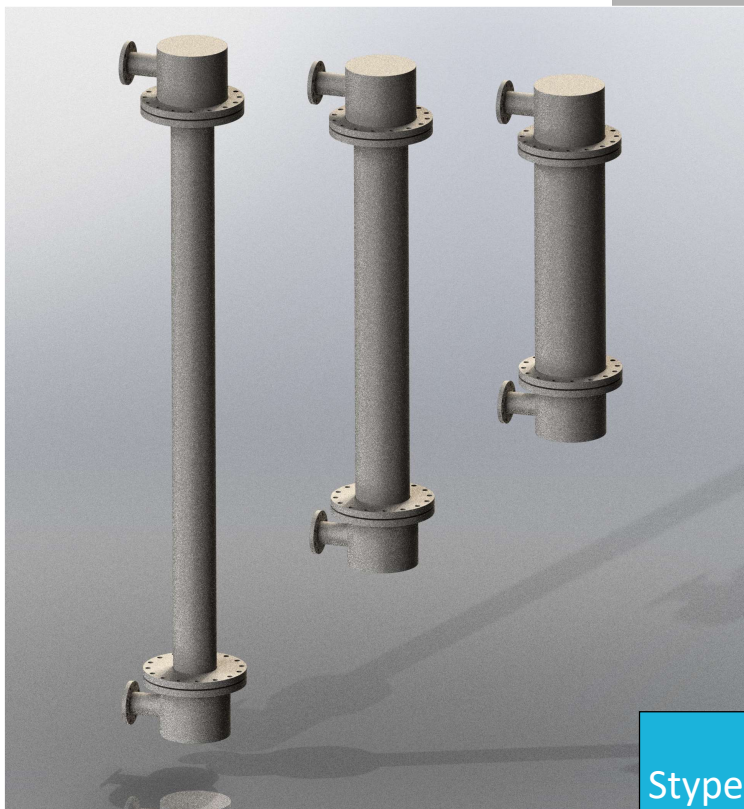


Silesian University
of Technology, Gliwice



Politechnika
Śląska

Seminarium Naukowe podobszaru POB6.9:
Magazynowanie energii i energetyka wodorowa



Rys. Wizualizacja stanowiska badawczego do badania procesu akumulacji ciepła w materiałach stałych



Stypendium na dofinansowanie rozpoczęcia działalności naukowej w nowej tematyce w ramach priorytetowych obszarów badawczych Politechniki Śląskiej.

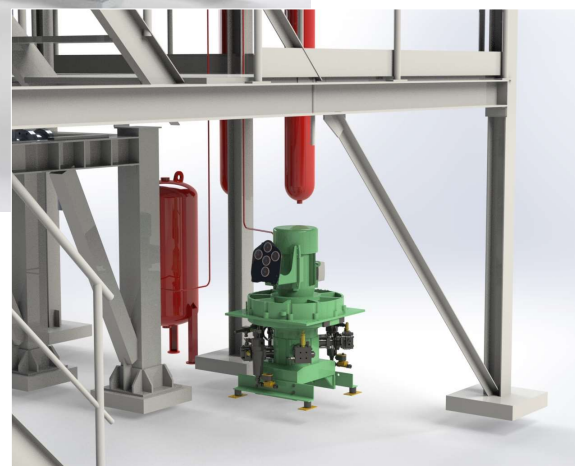
Temat: Akumulacja ciepła w złożu stałym

Stypendysta: dr inż. Michał Jurczyk



Politechnika
Śląska

**Seminarium Naukowe podobszaru POB6.9:
Magazynowanie energii i energetyka wodorowa**



Rys. Wizualizacja stanowiska ze sprężarką wysokoprężną

Aktywność patentowa

Sposób integracji systemu magazynowania energii w wodorze oraz sprężonym powietrzu

Bartela Ł., Chmielniak T., Kotowicz J. - Patent PL235565 (rok 2018)

Podziemny magazyn na sprężone powietrze zabudowany zwłaszcza w poeksploatacyjnym szybie kopalnianym

Bartela Ł., Lutyński M., Smolnik G., Waniczek S. - Zgłoszenie patentowe P.431156 (rok 2019)

System i sposób magazynowania energii w sprężonym dwutlenku węgla

Bartela Ł., Skorek-Osikowska A., Lutyński M. - Zgłoszenie patentowe P.431779 (rok 2019)

System i sposób magazynowania energii w ciekłym dwutlenku węgla

Bartela Ł., Skorek-Osikowska A., Dykas S. - Zgłoszenie patentowe P.433012 (rok 2019)

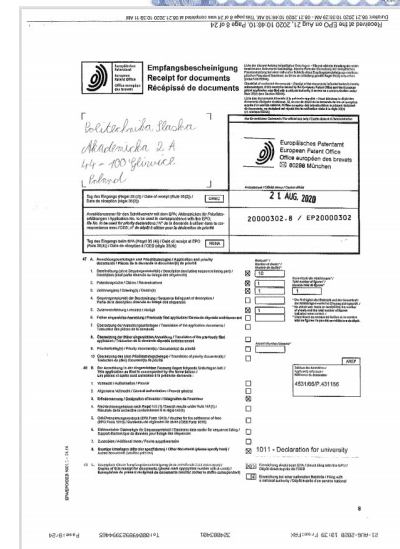
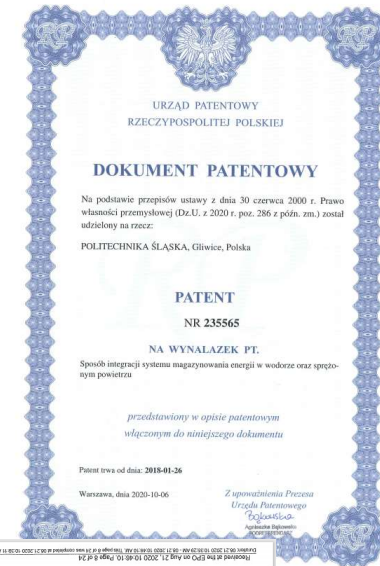
System i sposób magazynowania energii w sprężonym dwutlenku węgla oraz wodorze

Bartela Ł., Skorek-Osikowska A. - Zgłoszenie patentowe P.433271 (rok 2020)

Underground storage of compressed air in particular in the post-mining mine shaft

Bartela Ł., Lutyński M., Smolnik G., Waniczek S.

Zgłoszenie patentowe EPO 20000302.8/EP20000302 (rok 2020)



Aktywność w zakresie pozyskiwania i realizacji projektów

Wniosek złożony do Funduszu Badawczego Węgla i Stali (koordynator POLSL), w 2018 oceniony pozytywnie na liście rezerwowej.

Tytuł: CAESMINE - Strategic Storage of Compressed Air Energy in Abandoned Coal Mines

Partnerzy: TU Delft (Holandia), CERTH (Grecja), GiG, JSW Innowacje SA

Wniosek w ramach programu H2020: Building a low-carbon, climate resilient future: Research and innovation in support of the European Green Deal (H2020-LC-GD-2020)

Tytuł roboczy: Transferring Abandoned Mines into Green Powerhouse via Large Scale PV array and Geological Condition-based Energy Storage

partnerzy: University of York (koordynator), Leeds Beckett University, University of Pretoria, Optimal Engineering Solution Ltd, Wansdronk Architektuur BV

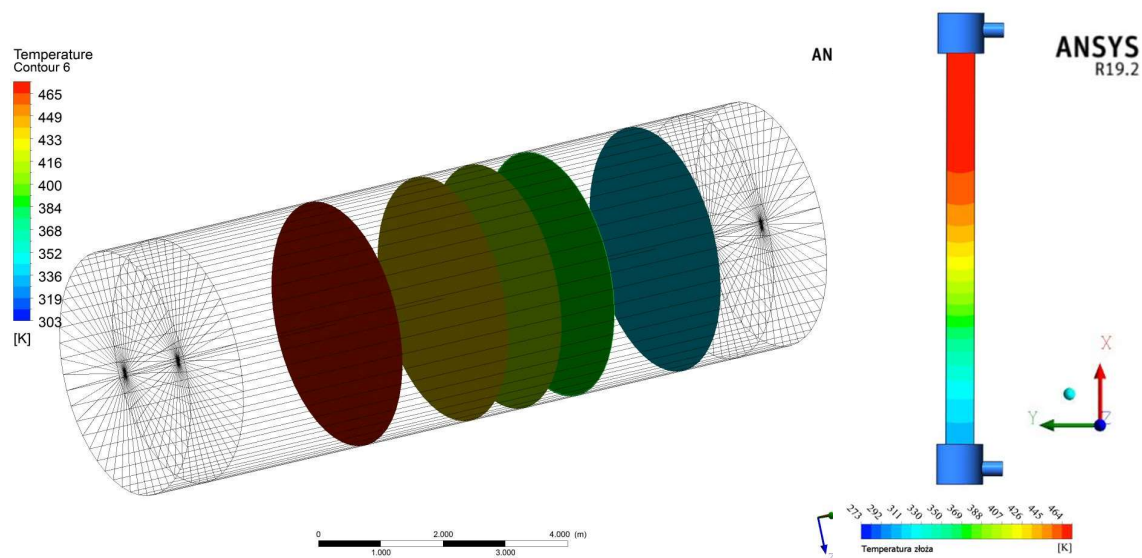
Wniosek w ramach programu **OPEN Pathfinder**

Tytuł roboczy: High Obsolete Infrastructure Performance for Sustainable Energy

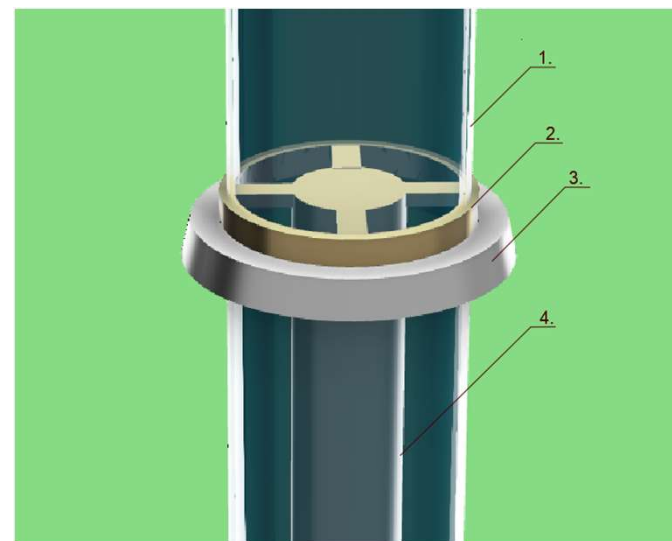
Koordynator: UPM Madryt

Uczestnictwo we wniosku w ramach COST Action: SEED - SMART AND EMERGING SUBSURFACE TECHNOLOGIES FOR THE ENERGY TRANSITION AND SOCIAL. 114 partnerów w 33 krajach. Złożony w październiku 2020

Działalność projektowa – realizacje projektów studenckich



Rys. 1. Rozkłady temperatury złoża w trakcie etapu ładowania



Rys. 2. Model z zaznaczonymi elementami.
1 - Obudowa szybu, 2- Pierścień imitujący ciężar sekcji zasobnika, 3 - Przykładowa stopa szypowa. 4 - zasobnik

Opiekunowie: dr inż. Daniel Węcel, mgr inż. Bartosz Stanek

Zespół badawczy

dr hab. inż. **Włodzimierz WRÓBLEWSKI**, prof. PŚ

dr hab. inż. **Sebastian RULIK**

dr hab. inż. **Mirosław MAJKUT**, prof. PŚ

dr inż. **Michał STROZIK**

mgr inż. **Krzysztof RUSIN**

Tematyka badawcza:

- 1) Optymalizacja geometryczna układu przepływowego turbiny zapewniająca wzrost sprawności przy maksymalizacji uzyskiwanej mocy
- 2) Opracowanie kształtu mikrokanałów na powierzchniach dysków wirnika w celu zwiększenia sprawności turbiny
- 3) Opracowanie algorytmu doboru cech konstrukcyjnych turbiny pod zadane parametry termodynamiczne czynnika

Realizowane projekty naukowe:

„Poprawa efektywności wymiany pędu w przepływie między wirującymi tarczami” – projekt finansowany przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu Opus 18

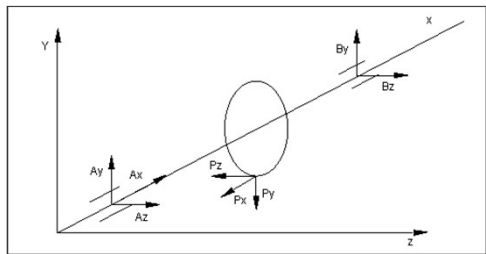


Politechnika
Śląska

Seminarium Naukowe podobszaru POB6.9:
Magazynowanie energii i energetyka wodorowa

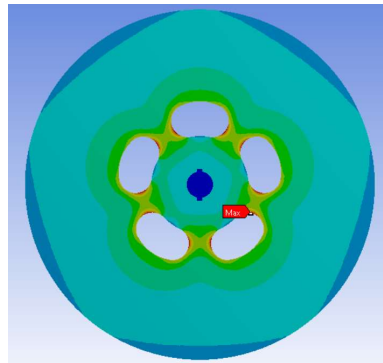
Ekspander bezłopatkowy – dotychczasowe badania

Projekt turbiny o średnicy wirnika 160mm

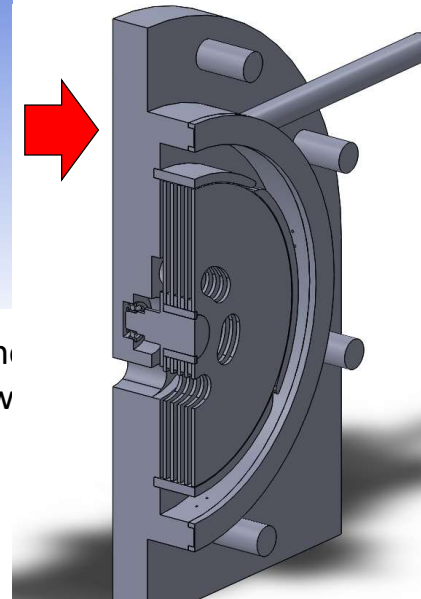


24

Obliczenia analityczne w celu uzyskania wstępnych wymiarów turbiny



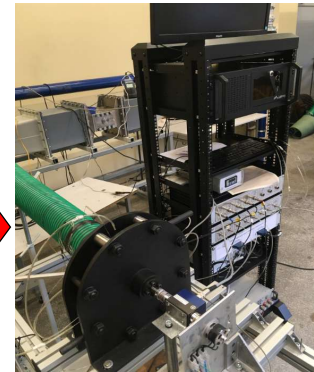
Szczegółowe numerycznej analizy wytrzymałościowej turbiny



Projekt turbiny



Wykonanie turbiny

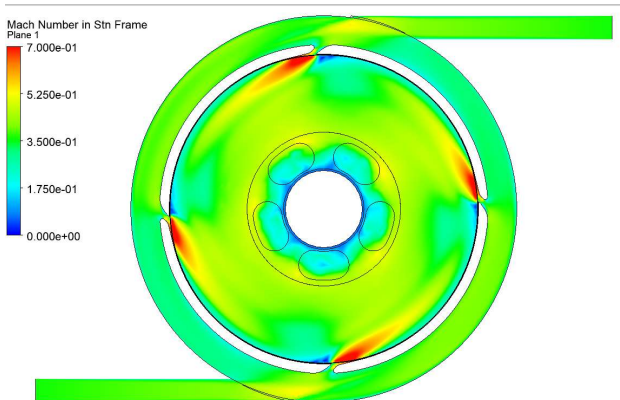


Złożenie stanowiska badawczego

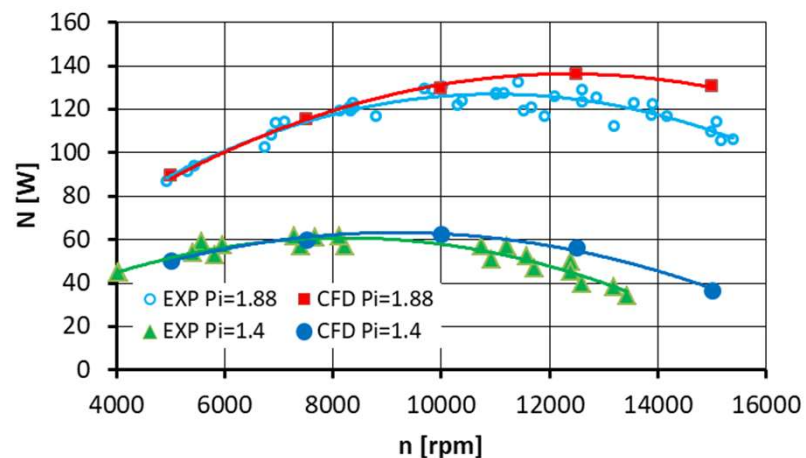


Politechnika
Śląska

Seminarium Naukowe podobszaru POB6.9:
Magazynowanie energii i energetyka wodorowa

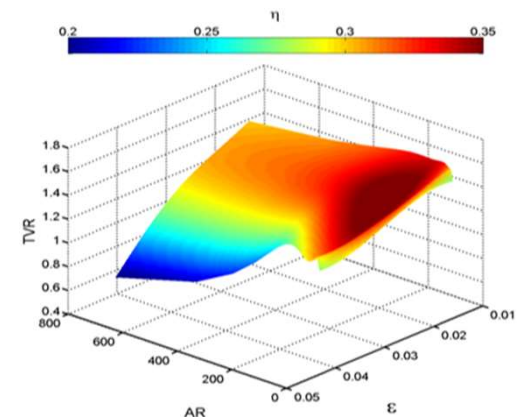
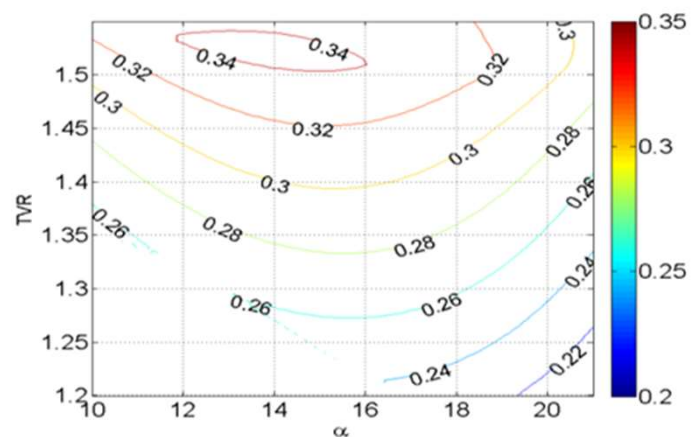


Wyniki analiz numerycznej dynamiki płynów



Porównanie wyników analiz numerycznych z eksperymentem

25



Wyniki wstępnej optymalizacji



Dziękuję za uwagę

