Norway grants

EnerGizerS Project
CO_2-Enhanced Geothermal Systems for Climate Neutral Energy Supply

Projekt EnerGizerS - Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO_2-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu

Anna Sowiżdżał AGH University of Science and Technology

8.12.2022 Kraków
Warsztaty geotermalne - projekt User4GeoEnergy

Wspólnie działamy na rzecz Europy zielonej,
konkurencyjnej i sprzyjającej integracji społecznej

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

www.energizers.agh.edu.pl

Norway grants

Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO_2-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu

CO_2-Enhanced Geothermal Systems for Climate Neutral Energy Supply

EnerGizerS

Lider Projektu: AGH
Kierownik Projektu: Anna Sowiżdżał, prof. AGH

Projekt *CO_2-Enhanced Geothermal Systems for Climate Neutral Energy Supply*, akronim EnerGizerS, numer rejestracyjny NOR/POLNOR/EnerGizerS/0036/2019, otrzymał dofinansowanie w ramach polsko-norweskich projektów badawczych POLNOR 2019 finansowanych przez Fundusze Norweskie za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju

The project EnerGizerS has received funding as part of the POLNOR 2019 Polish-Norwegian research projects financed under Norway Grants via the National Centre for Research and Development.

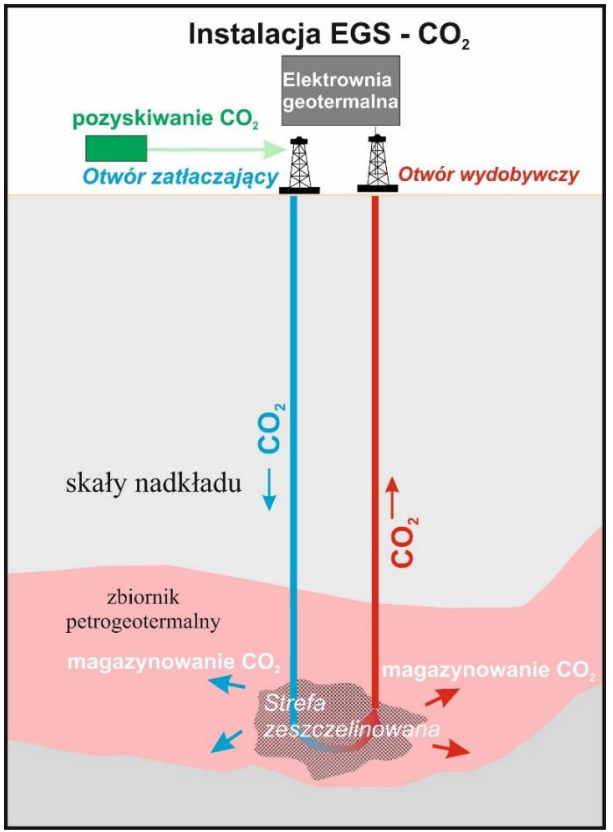
Partnerzy Projektu

AGH · Research University Excellence Initiative · IGSMiE PAN · SINTEF · NTNU · EXERGON

Głównym celem projektu jest analiza efektywności funkcjonowania niekonwencjonalnych systemów geotermalnych (ang. Enhanced Geothermal Systems; EGS) wykorzystujących dwutlenek węgla (CO_2) jako medium robocze

- ✓ Rozwój technologii wspomaganych systemów geotermalnych (EGS) wykorzystujących nadkrytyczny dwutlenek węgla jako medium robocze;
- ✓ Intensyfikacja współpracy między partnerami polskimi i norweskimi oraz wymiana doświadczeń w zakresie wykorzystania energii geotermalnej i geologicznego składowania dwutlenku węgla;
- ✓ Ograniczenie emisji dwutlenku węgla i łagodzenie antropogenicznych zmian klimatu przy jednoczesnym zaspokojeniu potrzeb energetycznych.

Technologia EGS wykorzystująca CO_2 jako płyn roboczy łączy w sobie aspekty pozyskiwania czystej energii z wnętrza Ziemi oraz redukcji emisji dwutlenku węgla



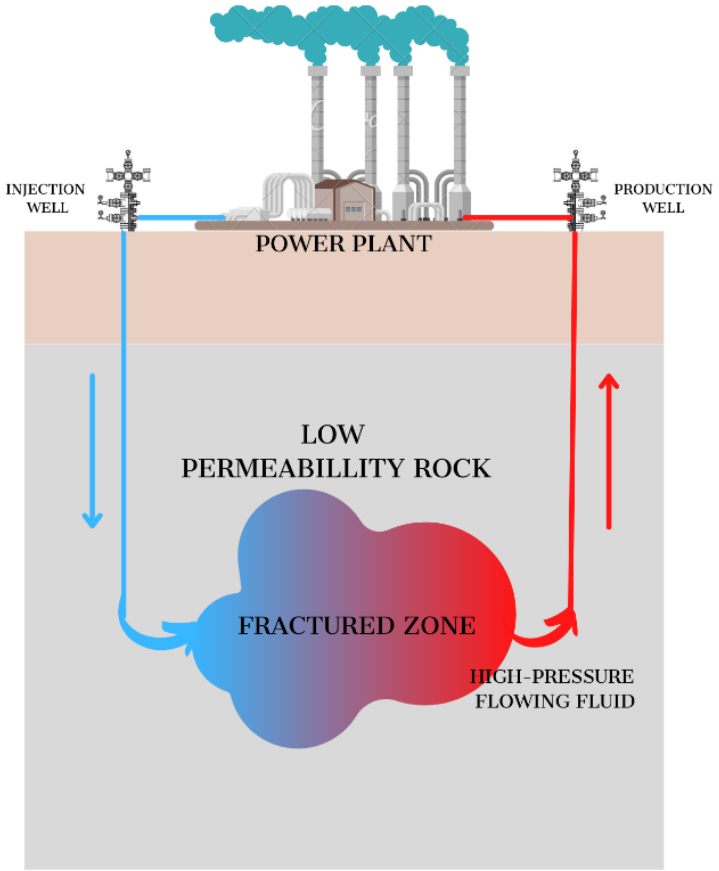
Energia gorących suchych skał jest wykorzystywana na świecie za pomocą technologii **E**nhanced **G**eothermal **S**ystems – wspomaganych systemów geotermalnych

Rok 1974 – Los Alamos, Fenton Hill, USA

Koncepcja wykorzystania ciepła Ziemi w zamkniętych systemach geotermalnych poprzez sztuczne zwiększenie przewodności hydraulicznej zbiornika geotermalnego

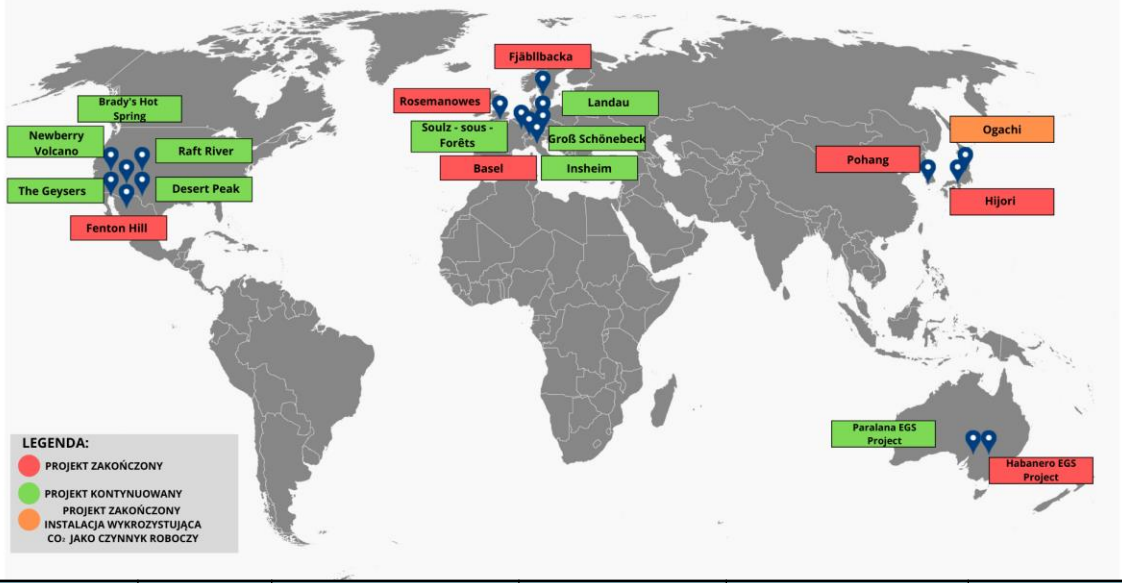
Projekty EGS - kilkadziesiąt miejsc na świecie w różnych fazach realizacji

The concept of Enhanced Geothermal System technology



Lokalizacja wybranych systemów EGS na świecie

(na podstawie Bergur i in., 2015, Breede i in., 2013, Lu 2017, Olasolo i in. 2016, Tester 2006)



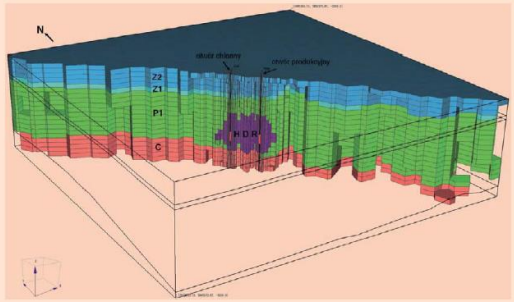
2022 - Pierwszy demonstracyjny system geotermalny (EGS) w basenie Gonghe w północno-zachodnich Chinach - 2.86 – 3.23 MWe

NAZWA PROJEKTU	Habanero EGS Project	Paralana EGS Project	Soultz - sous-Forêts	Ogachi	Hijori	Pohang	Groß Schönebeck	Basel	Fenton Hill
MOC	1 MW	3,75 MW	1,7 MW	-	130 kW	1 MW	1 MW	3 MW	60 kW
SKAŁY ZBIORNIKOWE	granity	osadowe/metamorficzne	granity	granodioryty	granodioryty	granodioryty	piaskowce i andezyty (formacja czerwonego spągowca)	granity	granity
TEMPERATURA W ZBIORNIKU °C	263 °C	171 °C	230 °C	160 °C	190 °C	-	145 °C	200 °C	192 °C
DATA OTWARCIA	2003	2005	1984	1989	1985	2010	2000	2005	1974
DATA ZAMKNIĘCIA	2013	-	-	2002	2002	2017	-	2009	1995

GORĄCE SUCHE SKAŁY – HOT DRY ROCKS (HDR)

2010-2013

OCENA POTENCJAŁU, BILANSU CIEPLNEGO I PERSPEKTYWICZNYCH STRUKTUR GEOLOGICZNYCH DLA POTRZEB ZAMKNIĘTYCH SYSTEMÓW GEOTERMICZNYCH (HOT DRY ROCKS) W POLSCE



Warszawa/Kraków 2013

MINISTERSTWO ŚRODOWISKA

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

OCENA POTENCJAŁU, BILANSU CIEPLNEGO I PERSPEKTYWICZNYCH STRUKTUR GEOLOGICZNYCH DLA POTRZEB ZAMKNIĘTYCH SYSTEMÓW GEOTERMICZNYCH (HOT DRY ROCKS) W POLSCE

MINISTERSTWO ŚRODOWISKA

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

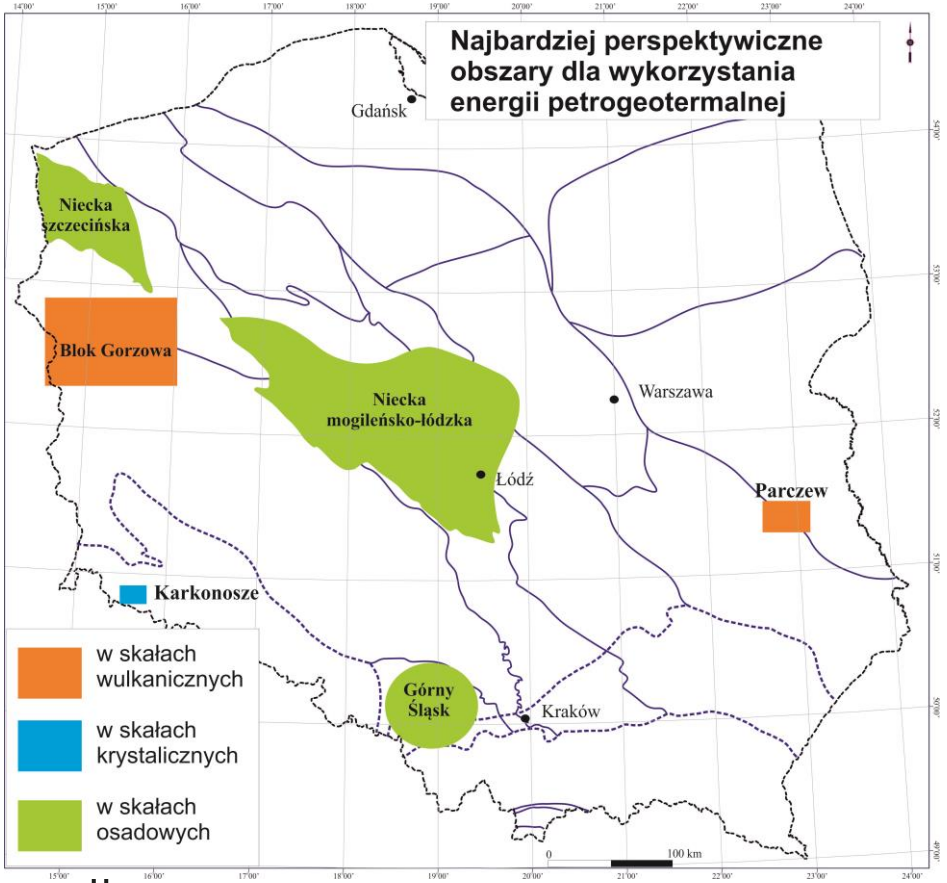
AGH

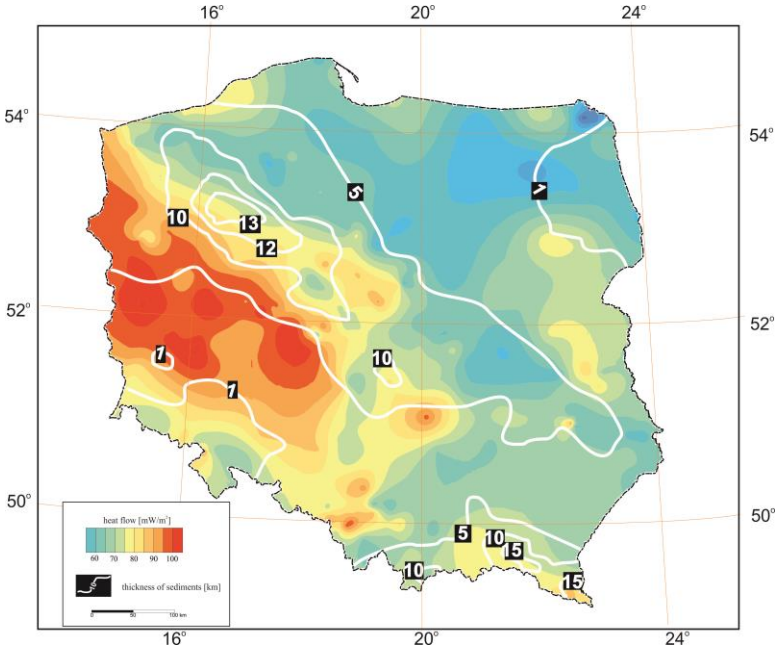
Warszawa/Kraków 2013

Norway grants

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII GORĄCYCH SUCHYCH SKAŁ W POLSCE

Na podstawie: Wójcicki, Sowiżdżał, Bujakowski (red) i in., 2014;





Miąższość utworów sedymentacyjnych na obszarze Polski (na podstawie Majorowicz i in, 2019) na tle mapy strumienia cieplnego (Szewczyk, J., Gientka, D., 2009)

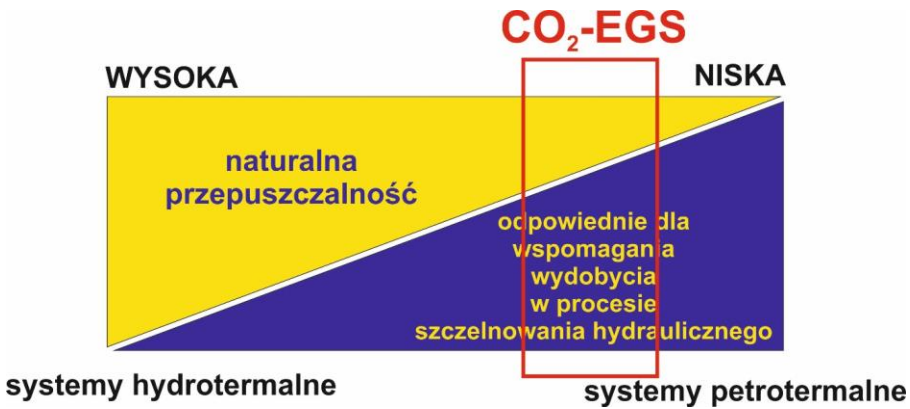
Norway grants

ZAŁOŻENIA PROJEKTU EnerGizerS

1. EGS – dla celów energetycznych

Koncepcja wykorzystania ciepła z gorących, suchych skał zakłada wykonywanie głębokich otworów wiertniczych na obszarach charakteryzujących się anomalnie wysokimi temperaturami i wysoką gęstością strumienia ciepła.

2. Sekwestracja CO_2 – dla celów środowiskowych



Wg Blöcher et al., 2016

Kryteria wyboru lokalizacji CO_2-EGS

- Czynnikiem determinującym jest technologia systemów EGS-CO_2 - systemy lądowe (obszary chronione), systemy budowane na morzu (głębokość wody)

❖ Dostęp do źródeł CO_2

❖ Poziom regionalnego rozpoznania geologicznego

❖ Odległość do sieci elektroenergetycznej i odbiorców ciepła

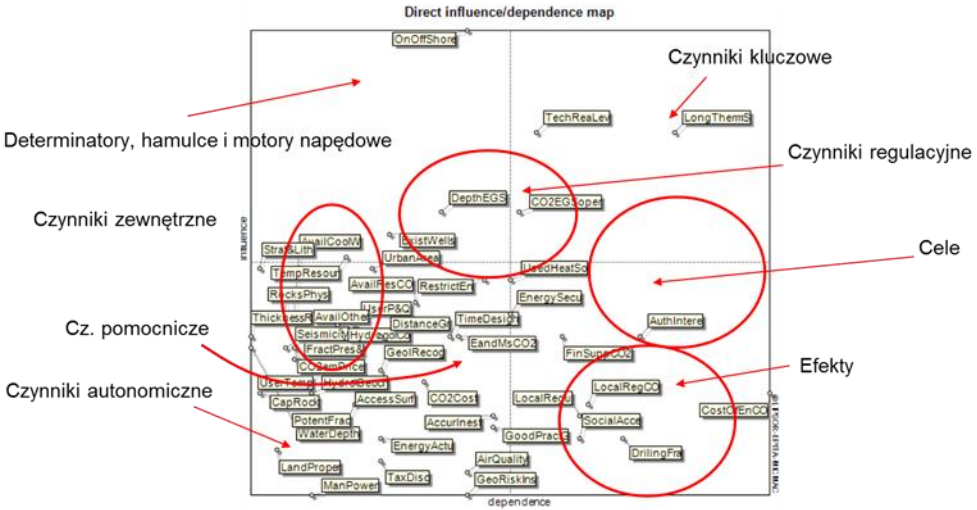
❖ Istniejące otwory wiertnicze (potwierdzające parametry i potencjalne wykorzystanie)

❖ Głębokość zalegania interesujących struktur geologicznych (wpływa na temperaturę, bezpieczeństwo, parametry złożowe, koszty, rozwiązania techniczne)

❖ Parametry złożowe (cieplne i mechaniczne – szczelinowanie)

❖ Dostępna temperatura (wykorzystanie anomalii)

Metoda Matrix of Influences (MOI)

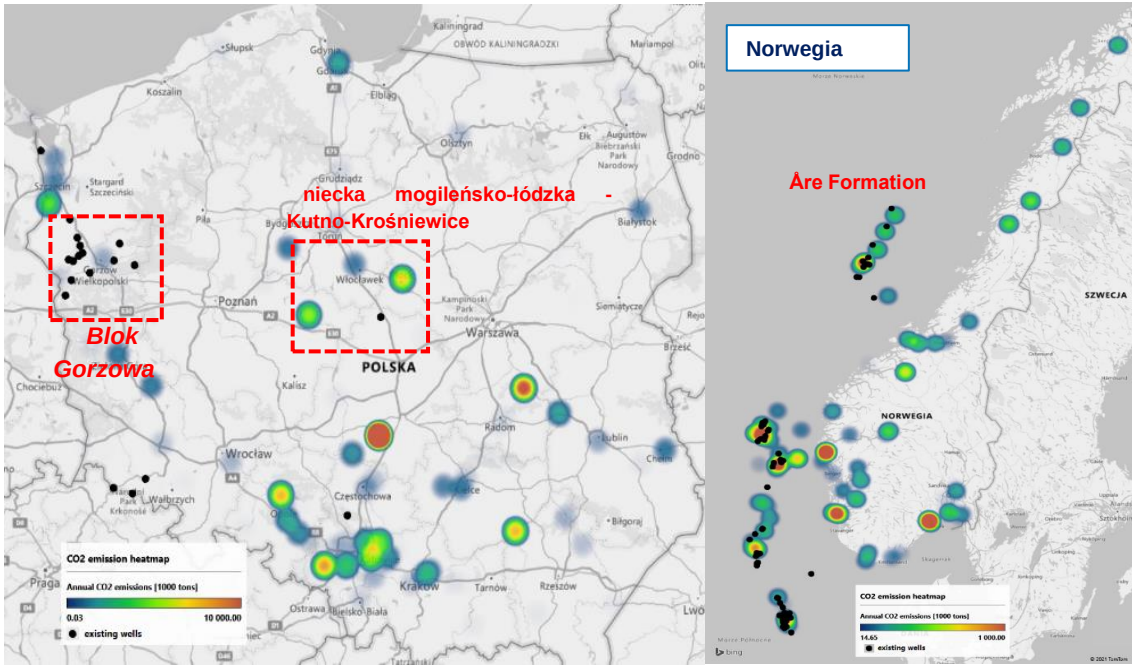


IDENTYFIKACJA STRUKTUR GEOLOGICZNYCH ODPOWIEDNICH DLA SYSTEMU CO_2-EGS

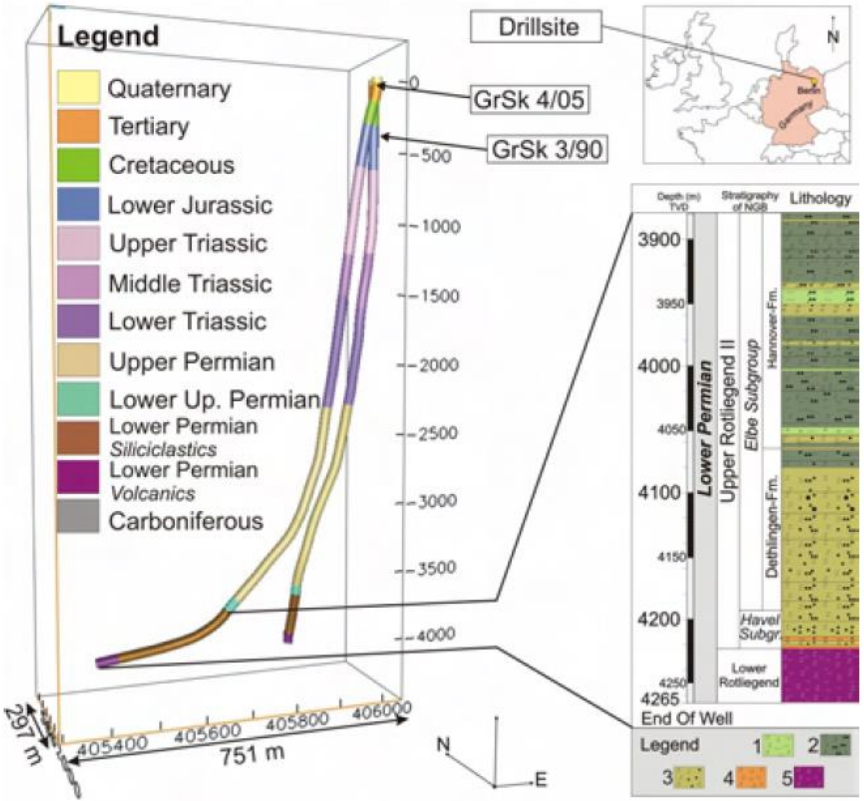
Identyfikacja struktur geologicznych odpowiednich dla CO_2-EGS:

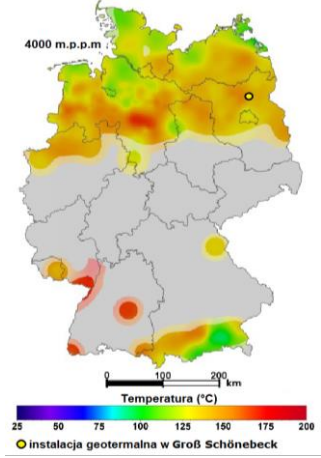
- ❑ w Polsce - obszar **Bloku Gorzowa i niecki mogileńsko-łódzkiej**
- ❑ w Norwegii: **formacja Åre na Morzu Norweskim**, formacja Ula i formacja Skagerrak (Morze Północne)

Metoda Matrix of Influences (MOI)



Instalacja EGS - Groß Schönebeck



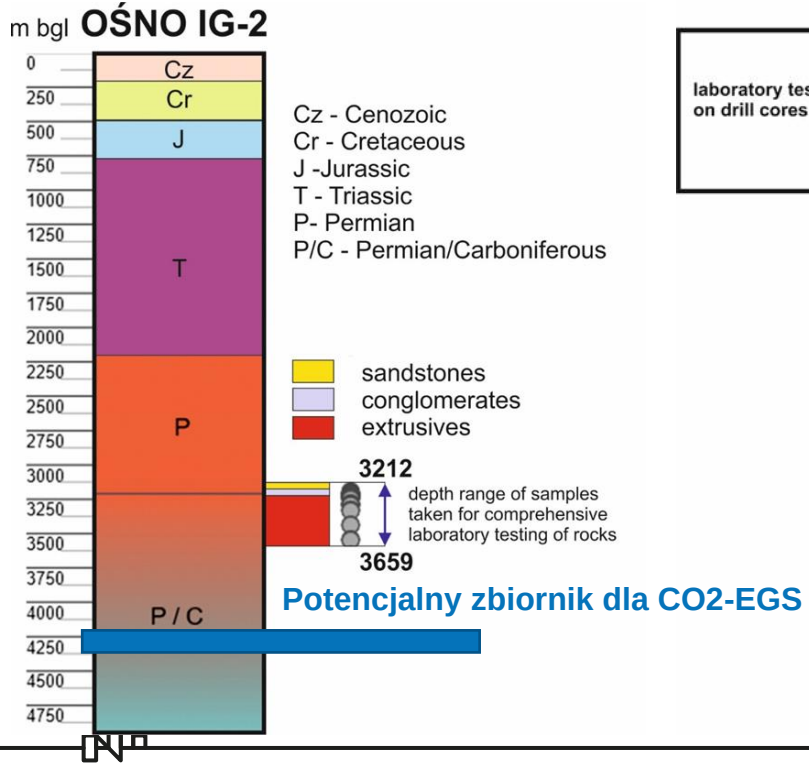


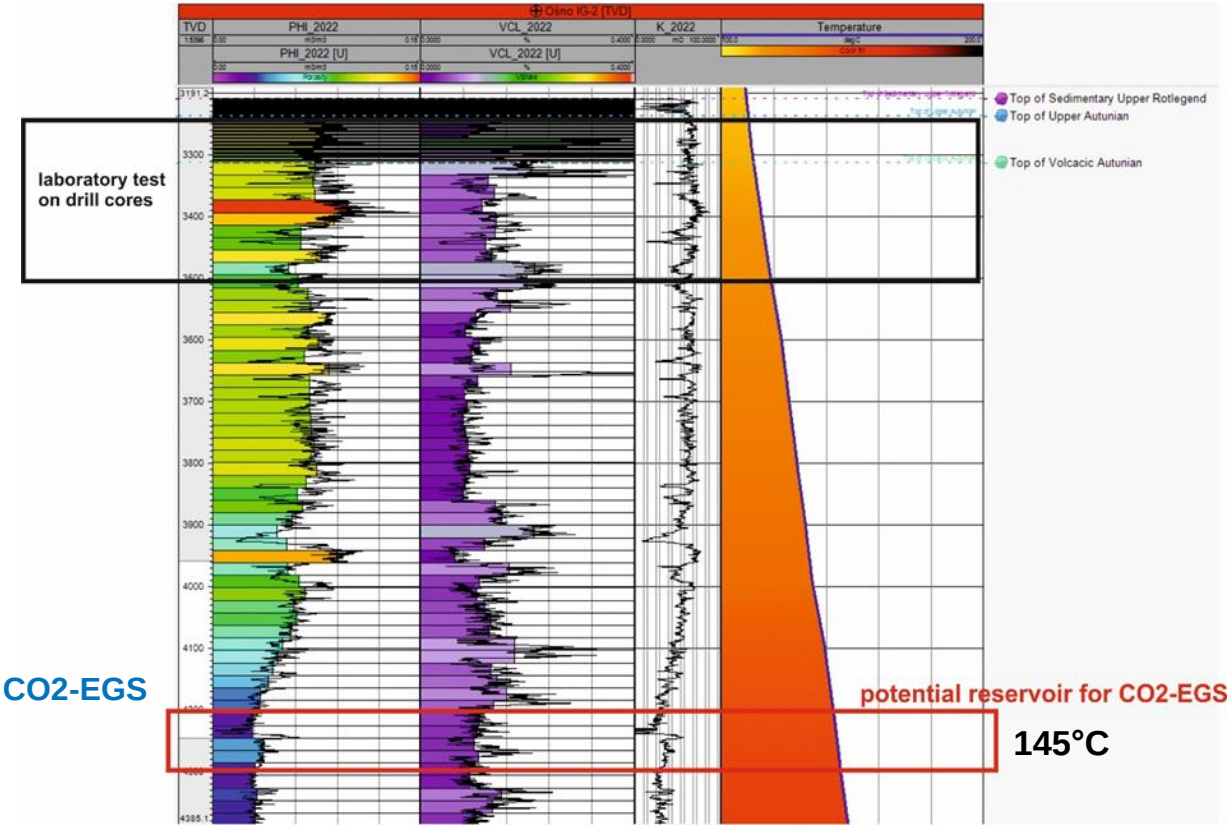
- ✓ Instalacja **Groß Schönebeck** zlokalizowana jest w północnych Niemczech około 50 km od Berlina
- ✓ Temperatury w obrębie zbiornika: 137 - 150°C
- ✓ Głębokość zbiornika: 3900 – 4300 m p.p.m.
- ✓ Skały zbiornikowe: piaskowce, andezyty, zlepieńce, mułowce czerwonego spągowca
- ✓ Średnia porowatość: ok. 10% (piaskowce), 5% (wulkanity)
- ✓ Średnia przepuszczalność: ok 8 mD (piaskowce), 0,1 mD (wulkanity)

Norway grants

(Huenges i in., 2007)

BLOK GORZOWA – otwór reperowy





Charakterystyka zbiornika geotermalnego na podstawie wyników kompleksowych badań laboratoryjnych skał

LaTiS
NMR Tomography & Spectroscopy Lab
AGH-UST, Department of Fossil Fuels

Badania laboratoryjne realizowane w laboratoriach AGH:

- Petrofizyczne (MICP, NMR)
- Mechaniczne
- Termiczne

(A) POLSKA – BLOK GORZOWA
(B) NORWEGIA – FORMACJA ARE

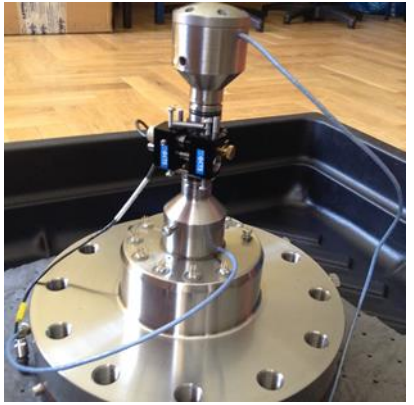
LABORATORIUM POROZYMETRYCZNE

AutoPore IV 9520

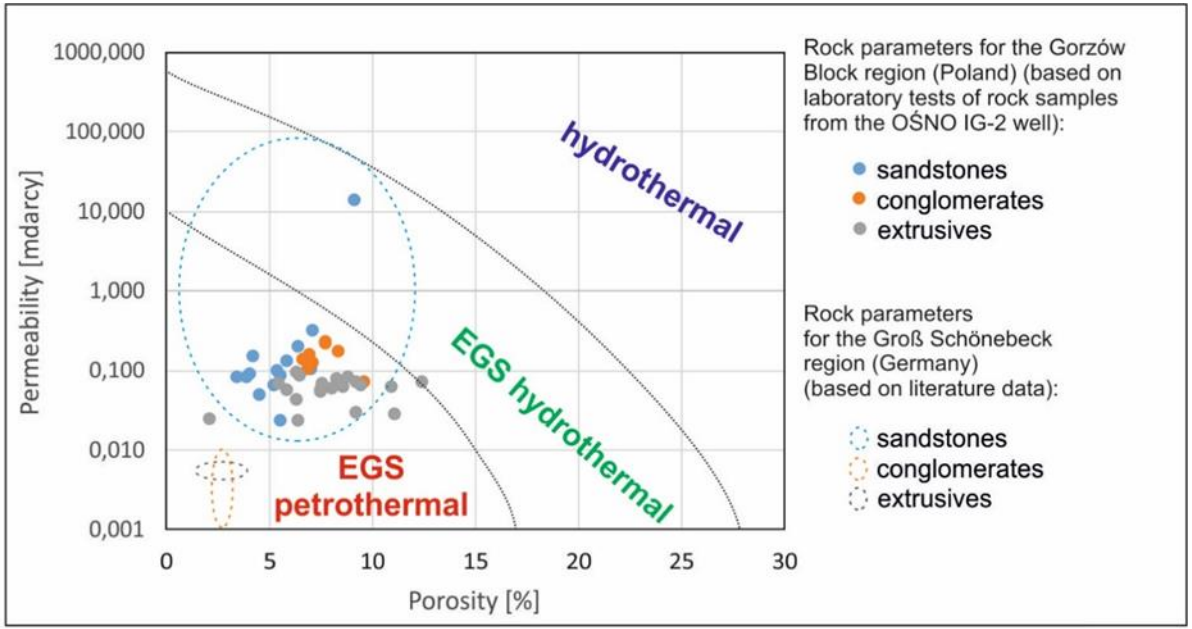
AGH TEAM:
Anna Sowiżdżał
Grzegorz Machowski
Artur Krzyżak
Edyta Puskarczyk
Paulina Krakowska-Madejska

NMRLab.agh.edu.pl

BADANIE WŁASNOŚCI TERMICZNYCH I MECHANICZNYCH SKAŁ



Wyniki prac laboratoryjnych – Polska – BLOK Gorzowa



Relacja porowatości i przepuszczalności różnych typów geotermalnych skał zbiornikowych. Zastosowanie jako zbiorniki EGS petrotermalne, EGS hydrotermalne lub hydrotermalne przedstawiono na podstawie (Moeck, 2014).

AGH TEAM:
Bartosz Papiernik
Gabriel Ząbek

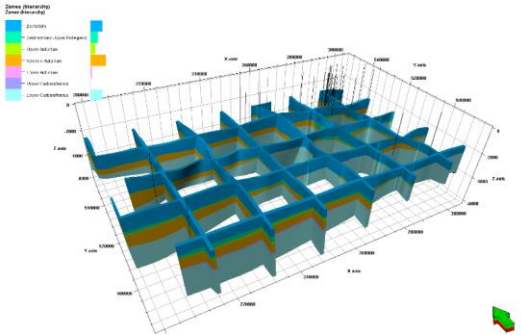
Modelowanie strukturalno-parametryczne

Blok Gorzowa

Model parametryczny:
- porowatość (PHI)
- zailenie (VSH)
- RHOB

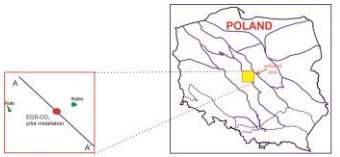
Model strukturalny

Potencjalny zbiornik petrotermalny – ***skały wulkaniczne czerwonego spągowca***

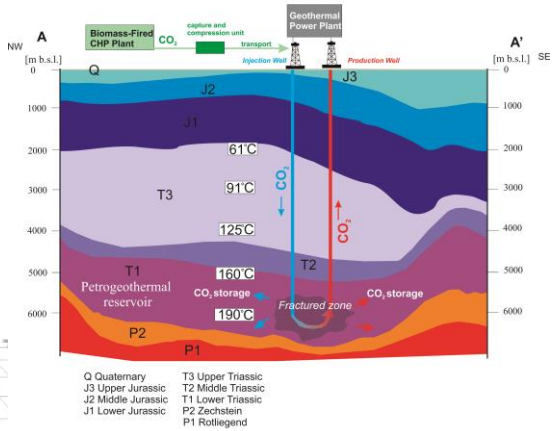


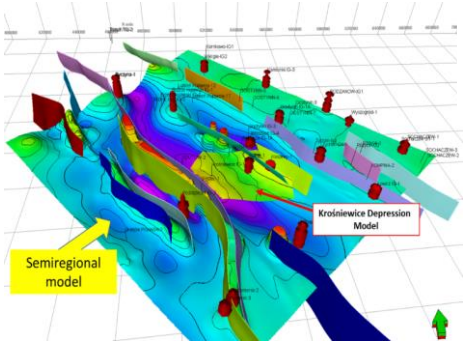
Schemat sytuacyjny modelu strukturalnego 3D w rejonie Bloku Gorzowa

Krośniewice-Kutno



Model parametryczny:
- porowatość (PHI)
- zailenie (VSH)
- RHOB
- przepuszczalność



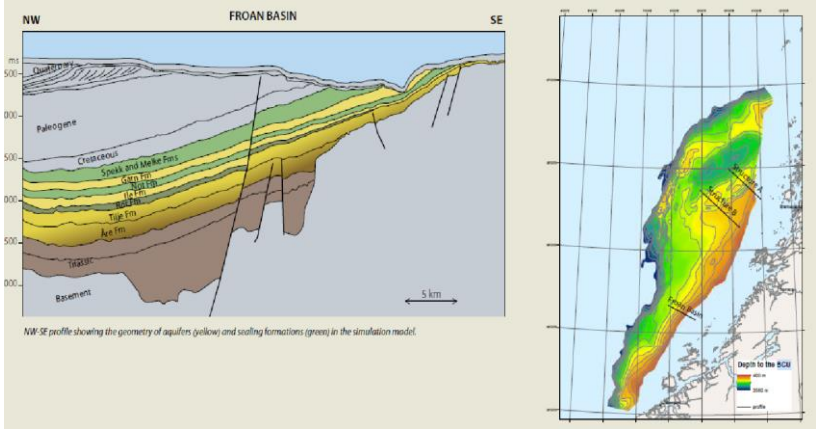


Mapa strukturalna stropu triasu dolnego i model uskokowy rejonu Krośniewice-Kutno

Model strukturalny

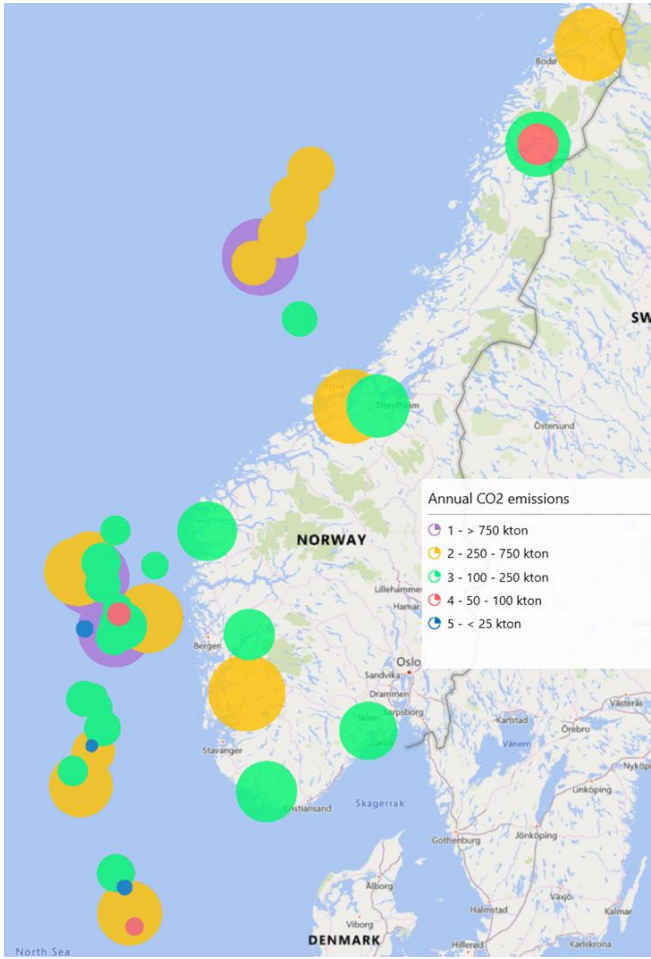
Potencjalny zbiornik petrotermalny – ***skały osadowe triasu dolnego***

Formacja Åre - Norwegia



NW-SE profile showing the geometry of aquifers (yellow) and sealing formations (green) in the simulation model.

Parameter	Value
Deep [m]	4700
Reservoir temperature [°C]	160
Reservoir pressure [bar]	480
Reservoir permeability [mD]	500
Porosity of the fractured zone [-]	0.15



Parametry	Scenariusz 1	Scenariusz 2	Scenariusz 3
Lokalizacja	· Polska · na lądzie	· Polska · na lądzie	· Norwegia · na morzu
Formacja geologiczna i jej parametry	· blok gorzowski · skały wulkaniczne i osadowe · 150 °C na głębokości ok. 4,3 km	· niecka mogileńsko-łódzka · skały osadowe · od 165 do 195 °C na głębokości od 5 do 6,5 km	· obszar Åre · piaskowce · od 155 do 167 °C na głębokości od 4 do 4,7 km
Charakterystyka produkcji	· **kogeneracja** · ciepło dostarczane do miejskiego systemu ciepłowniczego	· **kogeneracja** · ciepło dostarczane do miejskiego systemu ciepłowniczego	· wyłącznie produkcja energii elektrycznej · odbiór ciepła na potrzeby własne platformy
Typ układu energetycznego	· układ bezpośredni na nadkrytyczne CO_2 w obiegu Braytona	· układ pośredni z obiegiem ORC	· **układ hybrydowy** (obieg na nadkrytyczne CO_2 oraz obieg ORC)

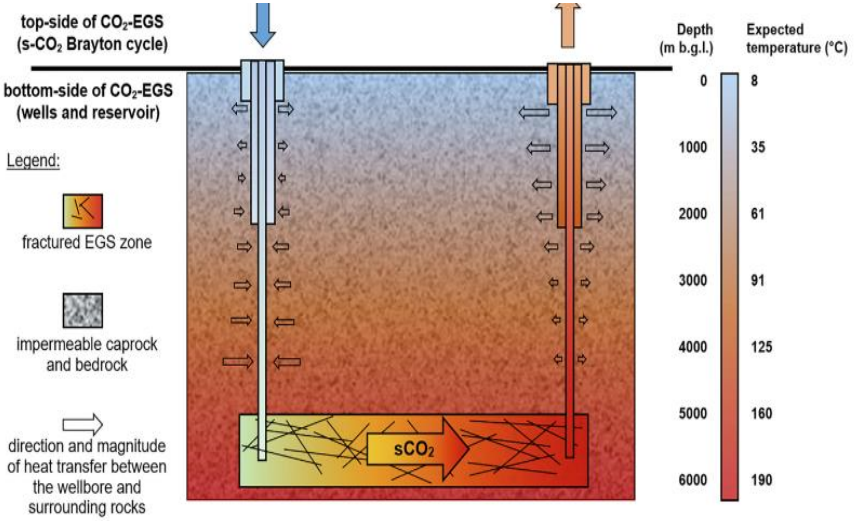
+3 inne scenariusze

Potencjalne **korzyści** wynikające z **kogeneracji**:
- poprawa rentowności realizacji systemu CO_2-EGS (NPV ↑)
- zmniejszenie zapotrzebowanie na wodę chłodzącą (problem dostępności)

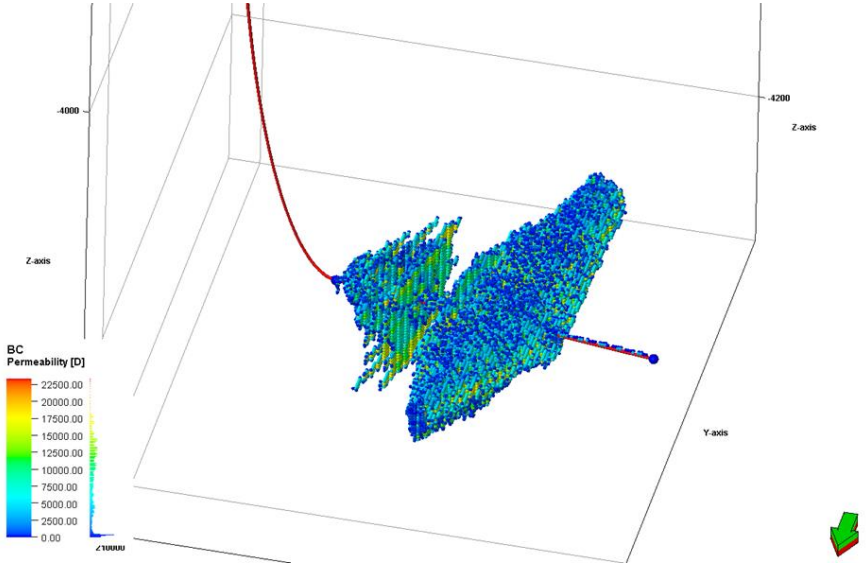
Potencjalne **problemy** wynikające z **kogeneracji**:
- bliskość skupisk ludzkich (sieć ciepłownicza)
- bariery legislacyjne związane z składowaniem/utylizacją CO_2 w obszarach zurbanizowanych

Norway grants

Uproszczony model przepływu



Modelowanie strefy szczelinowania

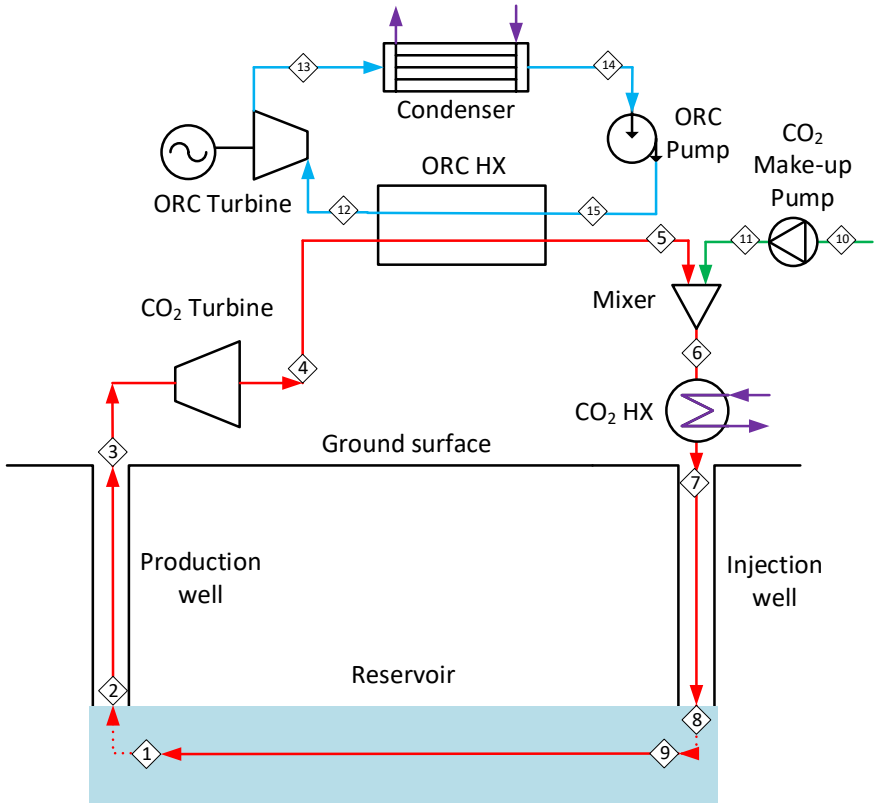


Wyniki: odwiert kierunkowy oraz woda jako płyn szczelinujący, wiercenie odwiertu o długości odcinka produkcyjnego powyżej ok. 600 metrów jest nieefektywne

Modelowanie matematyczne opartych na CO_2 systemów do produkcji ciepła i energii elektrycznej

Model systemu „**All in One**"

Formacja Åre (studium przypadku Norwegia): moc 2,56 i 3,38 MW dla cyklu bezpośredniego i hybrydowego



Eksperymentalne określenie właściwości i sposobu zachowania płynów roboczych w systemach CO_2-EGS

Staż młodego naukowca w Norwegii
Doktorant Szkoły Doktorskiej AGH:
mgr inż. Maciej Szymanek
(promotor: Anna Sowiżdżał, prof. AGH)

SINTEF Energy Research

Cel ogólny:
Poprawa zrozumienia zachowania się płynów roboczych w warunkach temperatury i ciśnienia EGS

Cele cząstkowe:

- ✓ Dostarczenie wysokiej jakości eksperymentalnych danych laboratoryjnych
- ✓ Modyfikacja istniejących modeli płynów roboczych CO_2-EGS
- ✓ Zaangażowanie i kształcenie młodych polskich naukowców

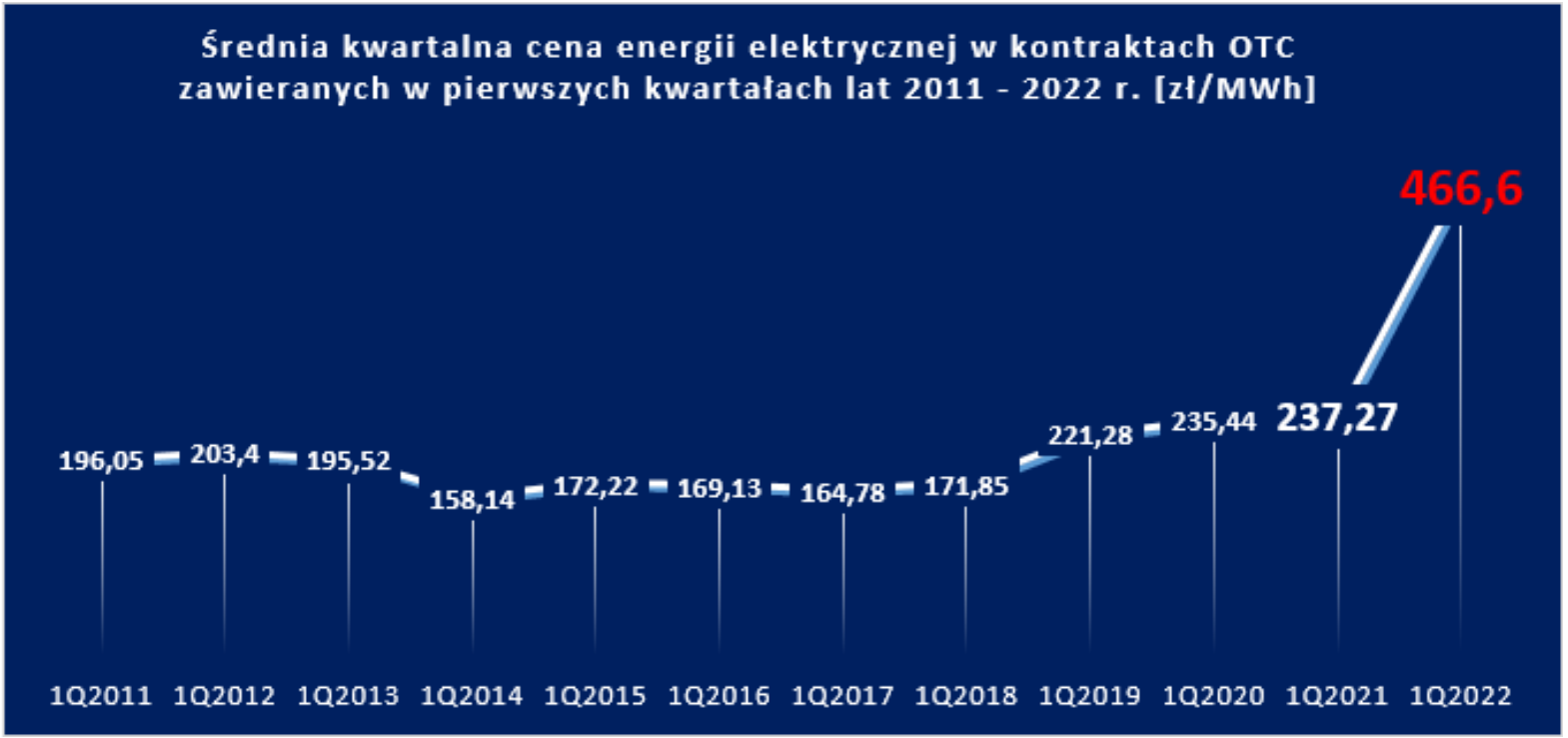
Urządzenie HPC-PE do pomiarów równowagi fazowej pod wysokim ciśnieniem

Dalsze działania dla określenia efektywności funkcjonowania systemów geotermalnych CO_2-EGS

Efekty końcowe – konferencja końcowa projektu - wrzesień 2023
ZAPRASZAMY!!!

- **Eksperymentalne określenie właściwości i sposobu zachowania płynów roboczych systemów CO_2-EGS** - Eksperymentalne pomiary właściwości płynów roboczych systemów CO_2-EGS, wykorzystanie danych i aktualizacja istniejących modeli płynów w oparciu o pozyskane dane eksperymentalne
- **Modelowanie matematyczne złoża geologicznego wytypowanego do eksploatacji systemu CO_2-EGS** - Numeryczne modelowanie procesu szczelinowania ośrodka skalnego dla wybranego zbiornika EGS; Budowa numerycznego modelu 3D dla wielowariantowych symulacji zatłaczania i eksploatacji CO_2 wraz z prognozami sposobu zachowania złoża w czasie
- **Modelowanie matematyczne opartych na CO_2 systemów energetycznych do produkcji ciepła i energii elektrycznej** - symulacja i optymalizacja wydajności systemu
- **Ocena techniczno-ekonomiczna i środowiskowa** - Założenia dla oceny techniczno-ekonomicznej i środowiskowej; Techniczno-ekonomiczne analizy wykonalności; Ocena oddziaływania na środowisko, w tym bezpieczeństwo składowania CO_2; Analiza ram prawnych i politycznych

Średnia kwartalna cena energii elektrycznej w kontraktach dwustronnych zawieranych w pierwszych kwartałach lat 2011 - 2022 [zł/MWh]



II kwartał 2022 – 489,22 zł/MWh

Źródło: opracowanie URE

Nowe technologie energetyczne

Nowe technologie – wyzwania i trudności

- Konieczność realizacji badań eksperymentalnych i budowy instalacji pilotażowych
- Konieczność podejmowania ryzyka
- Wysokie koszty inwestycyjne
- Aspekty techniczne – np. szczelinowanie

Nowe technologie – szanse i korzyści

- Rozwój nowych kierunków i sposobów pozyskiwania energii
- Zwiększenie wykorzystania energii odnawialnej – lokalnej i ekologicznej
- Korzyści ekologiczne
- Korzyści wynikające z sekwestracji dwutlenku węgla

Norway grants

www.energizers.agh.edu.pl | www.norwaygrants.org | Follow us www.researchgate.net

Dziękuję za uwagę

Źródło finansowania badań

Prace zrealizowano w ramach polsko-norweskiego projektu: ***Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO_2-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu***, akronim ***EnerGizerS***, numer rejestracyjny NOR/POLNOR/EnerGizerS/0036/2019 dofinansowanego z Funduszy Norweskich 2014-2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

AGH RESEARCH UNIVERSITY EXCELLENCE INITIATIVE | IGSMiE PAN | SINTEF | NTNU | EXERGON