



Badania termomechaniczne skał węglanowych z rejonu Roztocza

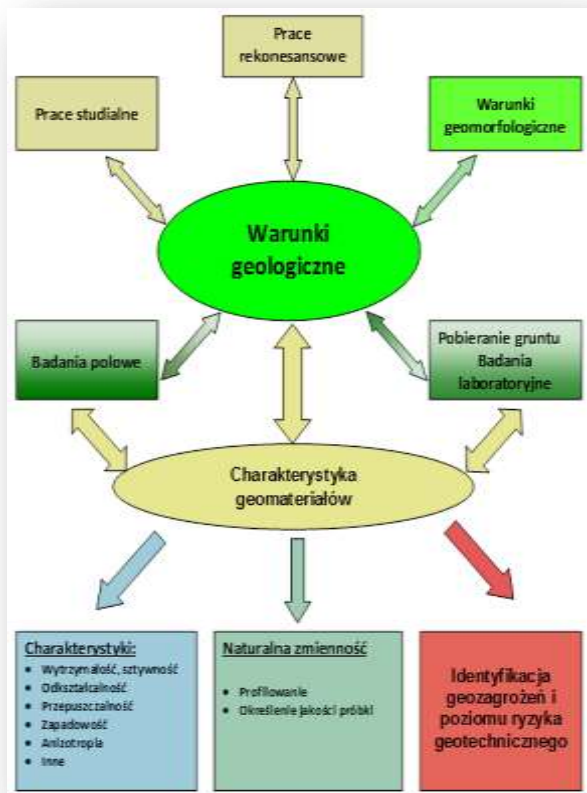
Marek Barański Grzegorz Ryżyński

Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy



Ocena charakterystyki geomateriałów

Hight, Leroueil (2003)



$$F_{SB} = (\sigma', S_r, e, \dot{\epsilon}, T, \phi)$$

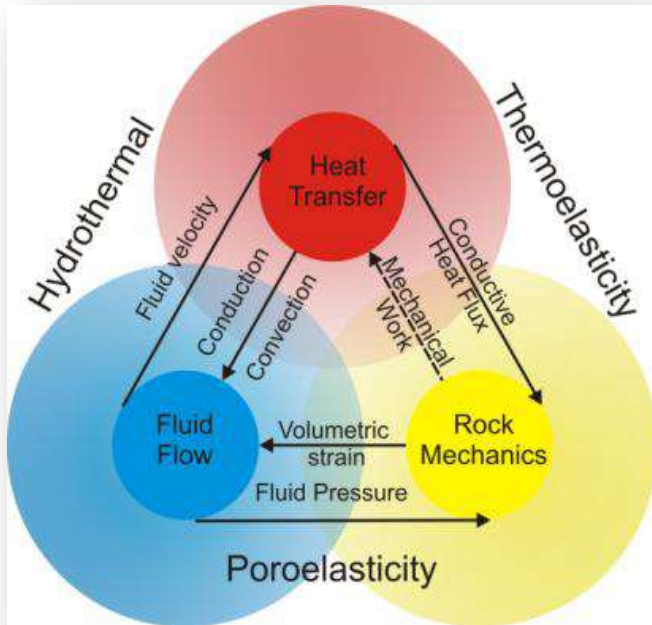


**badania
termiczne**

!!!

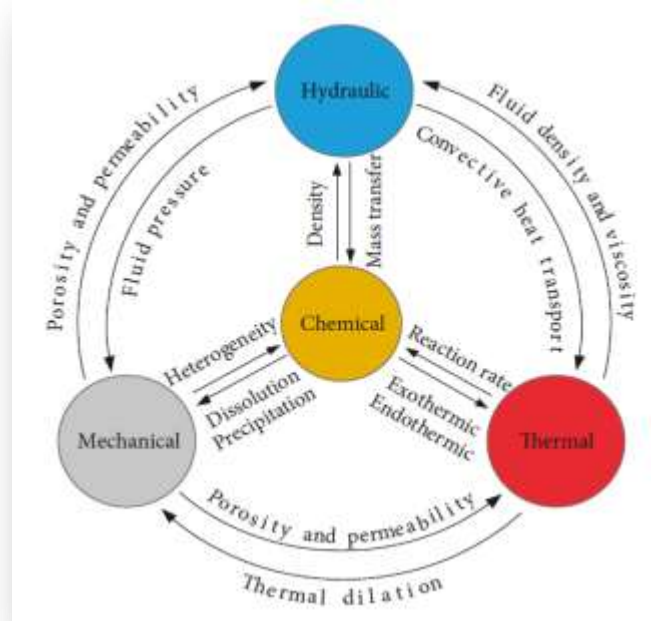
MODELE

Model Thermo-Hydro-Mechanical - THM



Hassanzadegan i inni 2011

Model Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical - THMC



Tao i inni 2019

Model THM – zastosowania w geomechanice

Zajmując się ośrodkami porowatymi konieczne jest podejście mechaniczne jak i fluido-dynamiczne (w pełni sprzężone). Temperatura w istotny sposób wpływa na mechaniczne i hydrauliczne właściwości ośrodka.

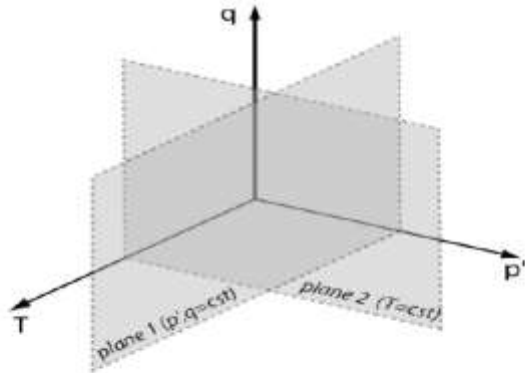


Figure 6: Thermo-mechanical loading paths; p' the effective mean pressure, q the deviatoric stress and T the temperature.

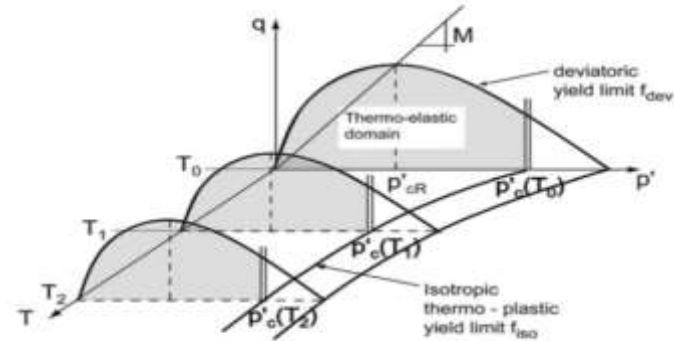
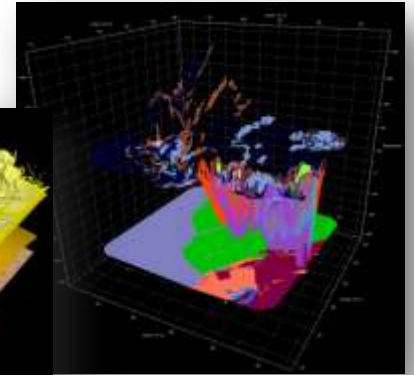
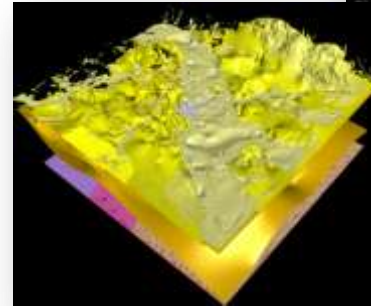


Figure 12: Coupled thermoplasticity yield limits (Lalouian & François 2009)

Zastosowanie modeli **THM, THMC**

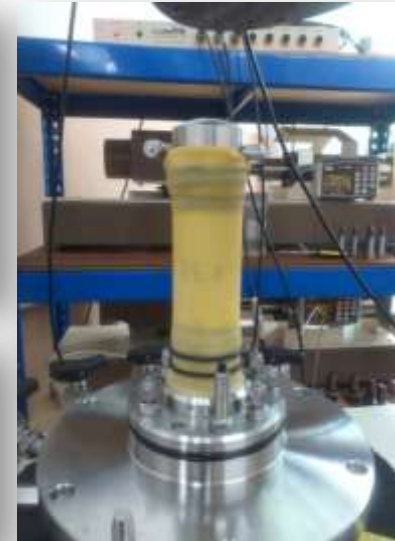
1. Ocena stabilności otworów wiertniczych
2. Parametry otworów hydrotermalnych
3. Szczelinowanie hydrauliczne
4. Metody odzyskiwania temperatury
5. Osiadanie powierzchni terenu
6. Badania przepuszczalności skał
7. Procesy związane z sekwestracją CO₂
8. Procesy związane z magazynowaniem i składowaniem w górotworze
1. Procesy związane ze składowaniem odpadów promieniotwórczych HLW



**Przykład:
Parametryzacja
geotermalnych
modeli 3D**

Program badawczy – **pilotażowy**

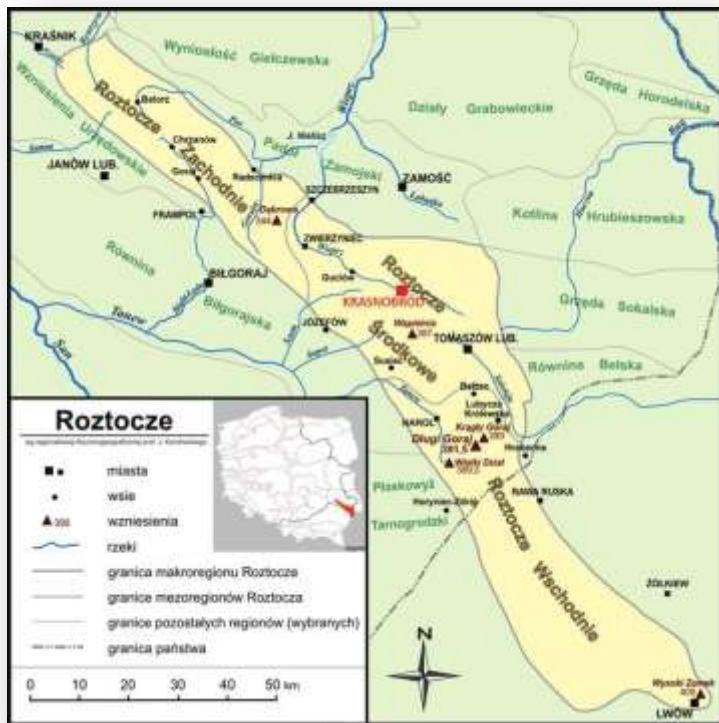
- Materiał skalny powietrzno-suchy:
skały węglanowe z Roztocza.
- Badanie TX UU.
- Naprężenia: 5, 10, 15 MPa.
- Temperatura: -5, 25, 40, 70 °C.
- Pseudomodel THM.
- 2 ośrodki badawcze:
PIG-PIB, WG UW.



REJON POBORU MONOLITÓW SKALNYCH

Roztocze – wytypowane kamieniołomy:

- Nowe Brusno,
- Józefów,
- Krasnobród.



Kaniewska 2021



Kamieniołomy

Nowe Brusno



Józefów



Krasnobród



Materiał badawczy - monolity

Skąły węglanowe – górnokredowe.

- **Nowe Brusno**
 - grainstone, wapień organodetrytyczny porowaty.
- **Józefów 1**
 - grainstone wapień organodetrytyczny porowaty.
- **Józefów 2**
 - grainstone wapień organodetrytyczny silnie porowaty.
- **Krasnobród**
 - mudstone – wapień organodetrytyczny porowaty.



Pakiety próbek do badań wytrzymałościowych



Komplet do badań TX THM
3 zakresy ciśnienia
(5, 10 i 15 MPa)
x 4 zakresy temperatury
(-5, 25, 40 i 70 st. C)



Próbki do badań TX UU (w sumie 118 próbek)



Józefów 1 & 2



Pobrano do badań TX:

Józefów 1: **21**

Józefów 2: **21**

Nowe Brusno: **37**

Krasnobród: **39**

Nowe Brusno



Szlify cienkie (4 typy litologiczne)



KRASNOBRÓD

– mudstone
wapień organo-
detrytyczny
porowaty



NOWE BRUSNO

– grainstone,
wapień
organo-
detrytyczny
porowaty



JÓZEFÓW 1

– grainstone
wapień
organo-
detrytyczny
porowaty



JÓZEFÓW 2

– grainstone
wapień
organo-
detrytyczny
silnie
porowaty.

APARATURA – PIG-PIB ETAS – GDS INSTRUMENTS

250 kN, 32 MPa, -40 ÷ 100 °C



Wyniki badań wytrzymałości

JÓZEFÓW 1

NR PRÓBKII	T °C	P MPa	Badania wytrzymałościowe				
			S _{pl}	S _c	S _{3,5}	S _{koniec}	E
JZ1-1	70	5	6,7		7,1		
JZ1-2	25	5	7,6		8,3		
JZ1-3	25	5	7,8		9,7		
JZ1-4	70	5		10,5	10,2**		
JZ1-5	40	5		11,4	11,3***		11
JZ1-6	40	5	7,5		8,3****		
JZ1-7	25	5	6,4		7,1***		
JZ1-8	40	5	10,8		11,6*		
JZ1-9	70	5	~10,5	10,9	10,8	12,9	
JZ1-10	70	10	-	3,9	0,02	0,02	
JZ1-11	70	15	-	-	10,2	33,1	
JZ1-12	40	5	~10	10,4	10,1	11,5	
JZ1-13	40	10	-	7,5	9,3	9,1	
JZ1-14	40	15	-	3,8	11,5	33,5	
JZ1-15	25	5	~10	9,4	9,9	12,6	
JZ1-16	25	10	-	9,9	11,7	24,7	
JZ1-17	25	15	-	1,3	6,6	30,0	
JZ1-18	-5	5	~8,7	8,4	9,2	14,7	
JZ1-19	-5	10	-	6,8	9,9	23,6	
JZ1-20	-5	15	-	4,1	10,3	31,8	
JZ1-21	70	5		9			

JÓZEFÓW 2

NR PRÓBKII	T °C	P MPa	Badania wytrzymałościowe				
			S _{pl}	S _c	S _{3,5}	S _{koniec}	E
JZ2-1	25	5		23,1	20,6		13,7
JZ2-2	40	5		23,2	19,2		11,2
JZ2-3							
JZ2-4	70	5		22,6	19,3		8,9
JZ2-5	25	5		19,4	19,9		13,6
JZ2-6	40	5		16,6	14,9		9,5
JZ2-7	70	5	18,1		18,2		12,3
JZ2-8	25	5		23,1	19,8		11,8
JZ2-9							
JZ2-10	70	10	~22	23,6	25,6	31,8	
JZ2-11	70	15	-	24,7	27,9	37,5	
JZ2-12	40	5	~20	18,7	20,0	20,9	
JZ2-13	40	10	-	22,1	22,0	30,4	
JZ2-14	40	15	-	20,1	24,0	41,6	
JZ2-15	25	5	~18	20,1	18,3	9,5	
JZ2-16	25	10	-	-	26,6	31,1	
JZ2-17	25	15	-	-	30,4	45,9	
JZ2-18	-5	5	~18,3	22,8	18,1	18,6	
JZ2-19	-5	10	~22,3	24,0	24,3	32,5	
JZ2-20	-5	15	-		31,4	48,0	
JZ2-21	40	5		21,5	18,9		15,8
JZ2-22	70	5		20	19,1		11,3

NR PRÓBK	T °C	P MPa	Badania wytrzymałościowe				
			S _{pl}	S _c	S _{1,5}	n	E
NB-1	25	5		27,2	24,5*		15,1
NB-2	40	5		20,8	20,7**		14,6
NB-3	70	5		20,8	16,8***		9,5
NB-4							
NB-5	70	15	23,8		32,5		12,3
NB-6							
NB-7	40	15	18,1		29,8		10,3
NB-8	70	10	18,8		27		8,8
NB-9	25	15	27		37		12,9
NB-10	25	10	27,2		30		12,0
NB-11	40	10	27,4		31,1		12,3
NB-12	25	5		25,2	23,1		12,7
NB-13							
NB-14	70	5		22,6	22,8		11,8
NB-15	25	5		25,2	22,1		10,1
NB-16	70	5	-	20,1	22,7	19,8	
NB-17	70	10	-	20,8	21,3	27,1	
NB-18	70	15	-	8,4	0,1	0,1	
NB-19	40	5	~23,9	24,3	22,8	22,5	
NB-20	40	10	~30,7	-	30,8	31,3	
NB-21	40	15	~55	55,3	54,6	55,2	
NB-22	25	5	~21,4	19,6	21,5	21,6	
NB-23	25	10	-	28,0	31,5	36,7	
NB-24	25	15	-	-	40,7	53,1	
NB-25	-5	5	~18	19,5	9,9	0,2	
NB-26	-5	10	~28,7	27,9	27,1	28,7	
NB-27	-5	15	-	-	30,0	43,4	
NB-28	70	5	~21,8	19,7	21,2	20,8	
NB-29	70	10	-	18,3	25,6	32,8	
NB-30	70	15	-	16,5	16,0	15,0	
NB-31	40	5	~22,5	24,1	23,0	23,2	
NB-32	40	10	-	-	27,9	33,6	
NB-33	40	15	-	-	28,8	37,4	
NB-34	25	5	~15,5	16,3	16,1	15,4	
NB-35	25	10	-	11,5	29,6	35,3	
NB-36					26,6	43,2	
NB-37					20,0	21,1	
NB-38					52,8	52,9	
NB-39					22,1		12,8
NB-40	70	5		24	22,6		12,2

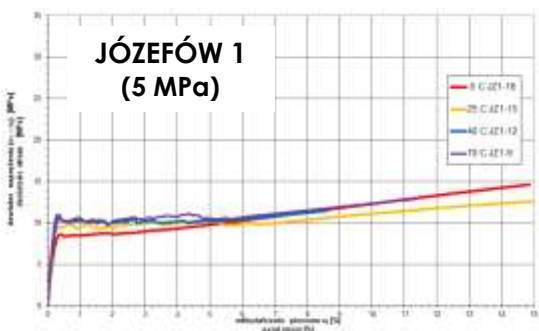
NR PRÓBK	T °C	P MPa	Badania wytrzymałościowe				
			S _{pl}	S _c	S _{1,5}	n	E
KR-1	25	5	-	118		0,24	23,1
KR-2	40	5	-	123		0,17	23,2
KR-3	70	5	-	118		0,18	21,7
KR-4	25	10	-	126		0,19	21,2
KR-5	40	10	-	129		0,15	19,1
KR-6	70	10	-	128		0,16	20,6
KR-7	25	15	-	148		0,16	22,8
KR-8	40	15	-	150		0,16	23,6
KR-9	70	15	-	143		0,15	22,3
KR-10	25	5	-	130		0,17	22,7
KR-11	40	5	-	119		0,21	20,6
KR-12	70	5	-	105		0,15	15,9
KR-13	25	5	-	113		0,15	20,1
KR-14	40	5	-	127		0,17	21,1
KR-15	70	5	-	102		0,17	20,1
KR-16	-5	5	-	107,7	-	-	
KR-17	-5	10	-	131,8	-	-	
KR-18	-5	15	-	167,9	-	-	
KR-19	25	5	-	119,1	-	-	
KR-20	25	10	-	71,2	-	-	
KR-21	25	15	-	79,3	-	-	
KR-22	40	10	-	161,8	-	-	
KR-23	40	5	-	96,6	-	-	
KR-24	40	15	-	135,6	-	-	
KR-25	70	5	-	93,5	-	-	
KR-26	70	10	-	97,6	-	-	
KR-27	70	15	-	118,4	-	-	
KR-28	-5	5	-	98,8	-	-	
KR-29	-5	10	-	139,8	-	-	
KR-30	-5	15	-	158,2	-	-	
KR-31	25	5	-	111,3	-	-	
KR-32	25	10	-	111,6	-	-	
KR-33	25	15	-	129,3	-	-	
KR-34	40	10	-	134,0	-	-	
KR-35	40	5	-	115,9	-	-	
KR-36	40	10	-	115,4	-	-	
KR-37				83,2	-	-	
KR-38					98,1	-	
KR-39					121,8	-	
KR-40	70	15	-				

NOWE BRUSNO

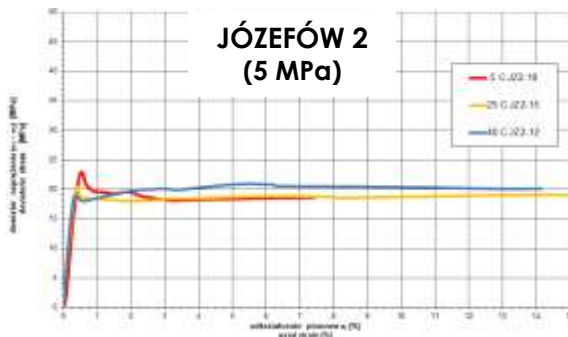
KRASNOBRÓD

**Wyniki badań
wytrzymałości
cd.
WALIDACJA
WYNIKÓW
GDS ETAS
(PIG-PIB)
VS.
MTS
(WGUW)**

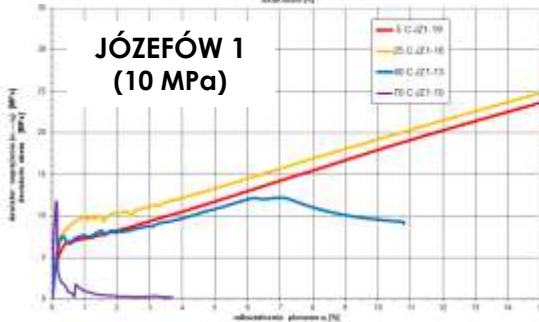
JÓZEFÓW 1 (5 MPa)



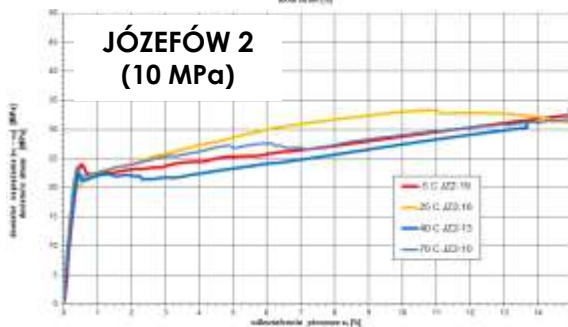
JÓZEFÓW 2 (5 MPa)



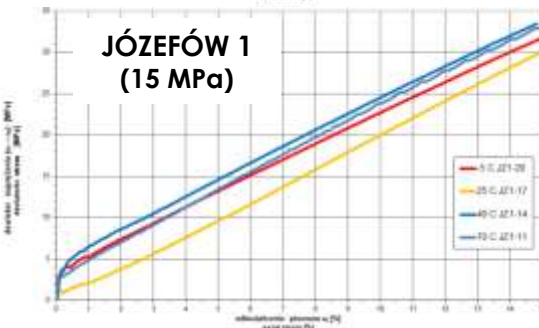
JÓZEFÓW 1 (10 MPa)



JÓZEFÓW 2 (10 MPa)



JÓZEFÓW 1 (15 MPa)

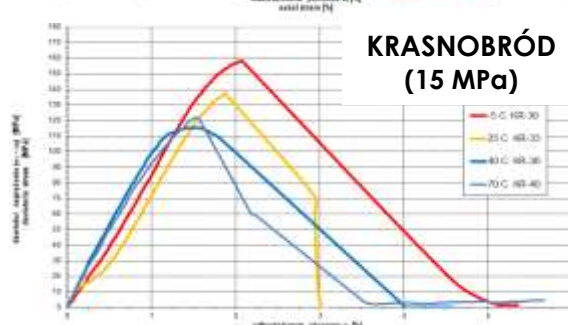
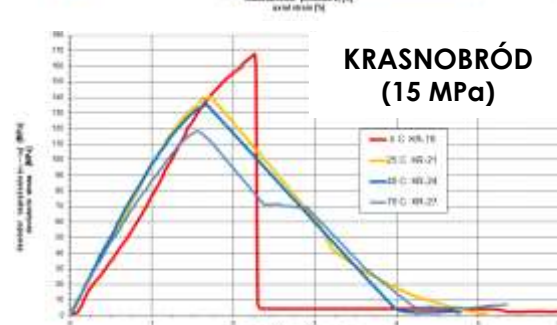
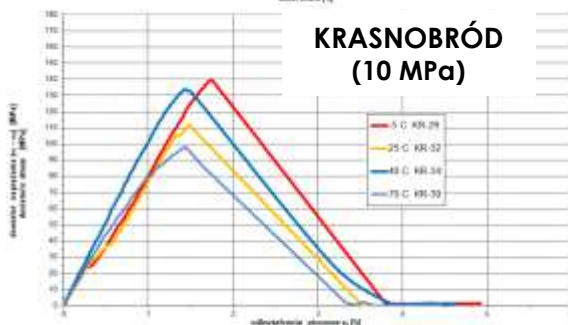
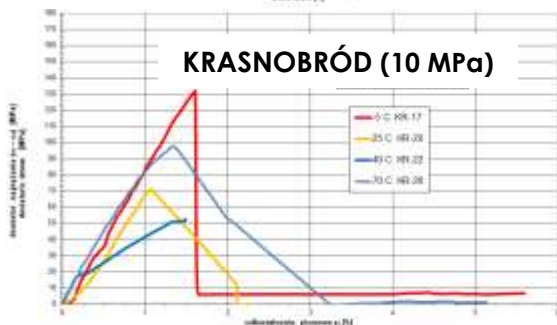
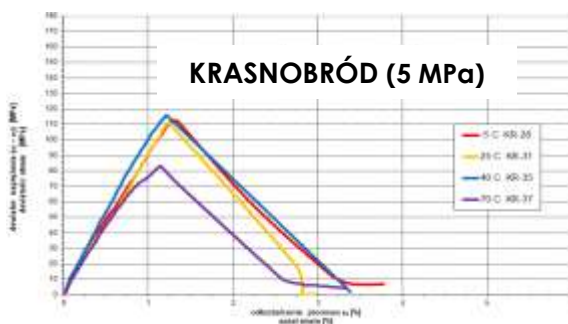
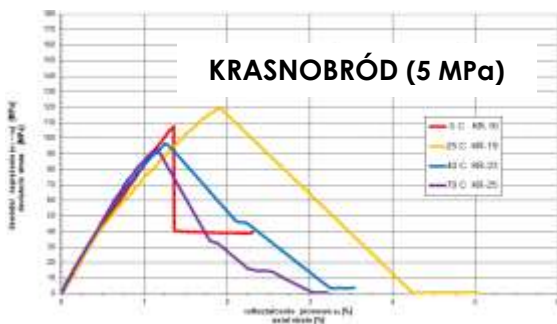


JÓZEFÓW 2 (15 MPa)



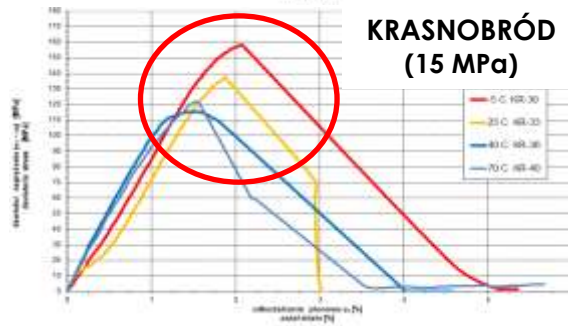
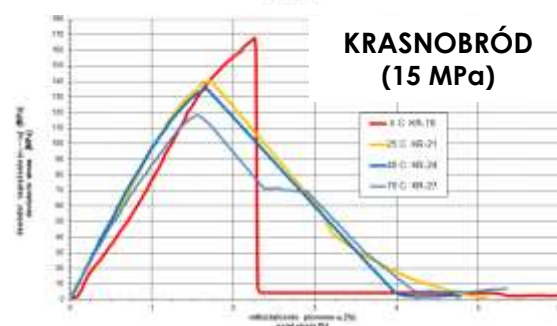
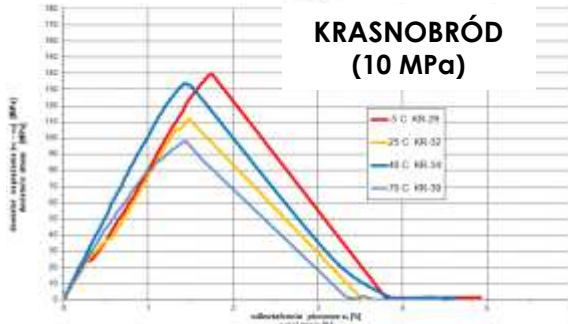
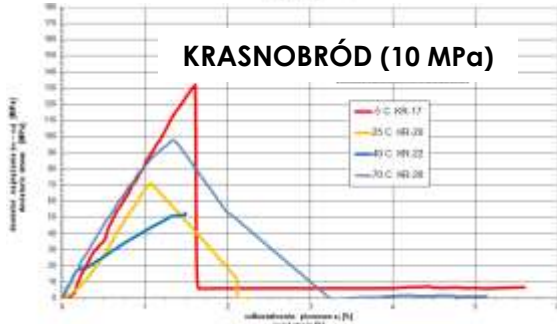
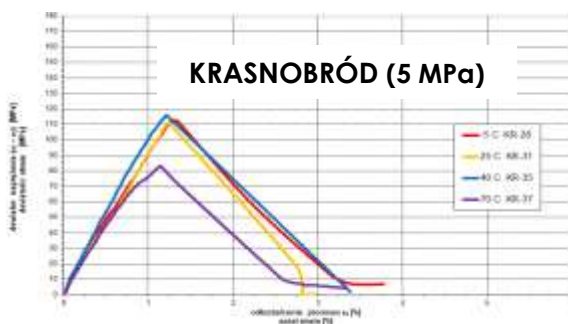
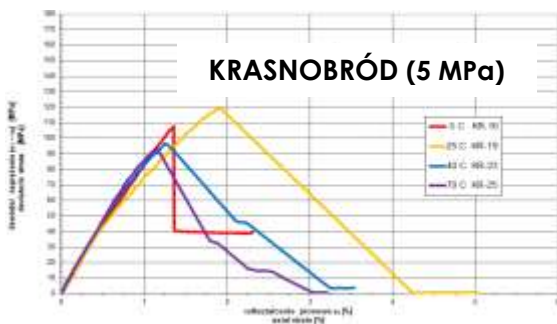
Wyniki badań wytrzymałości - ANALIZA (JÓZEFÓW 1&2)

- materiał bardzo niejednorodny i bardzo porowaty
- wytrzymałość nie wykazuje wyraźnej korelacji ze zmianą temperatury
- materiał porowaty, badania prowadzono w stanie powietrzno suchym, konieczne dalsze badania w stanie nasyconym



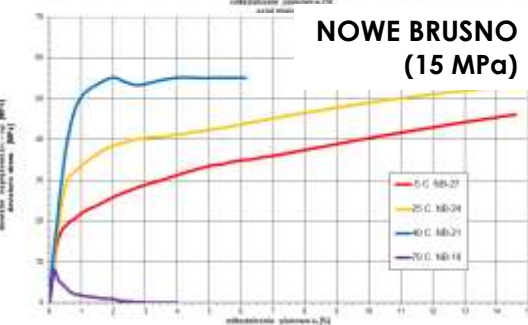
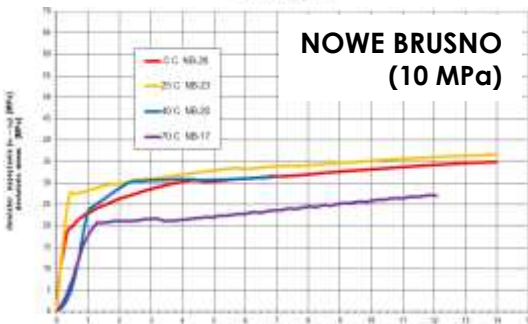
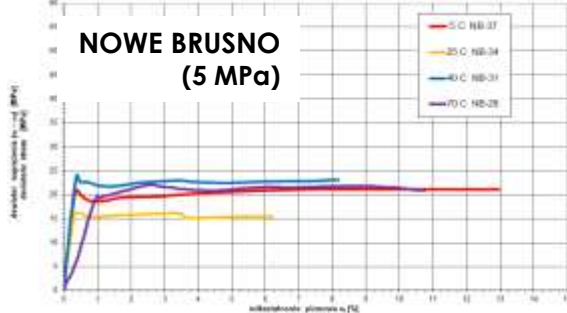
Wyniki badań wytrzymałości - ANALIZA (KRASNOBRÓD)

- materiał stosunkowo jednorodny, 5 x sztywniejszy niż Józefów 1&2
- najwyższą wytrzymałość dla próbek badanych w najniższej temperaturze (-5 °C)
- badania prowadzono w stanie powietrzno suchym, konieczne dalsze badania w stanie nasyconym



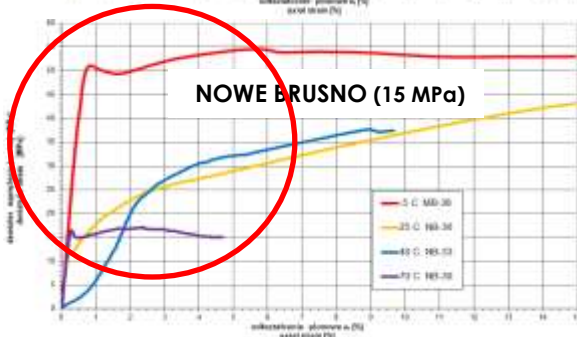
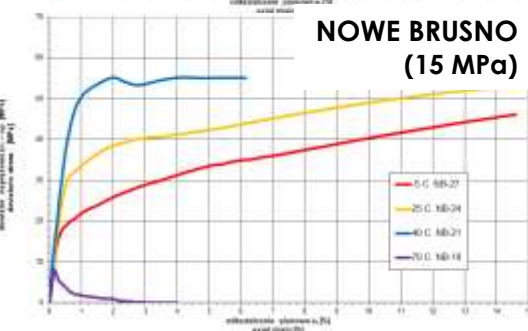
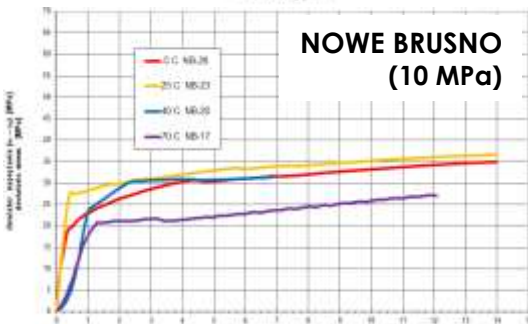
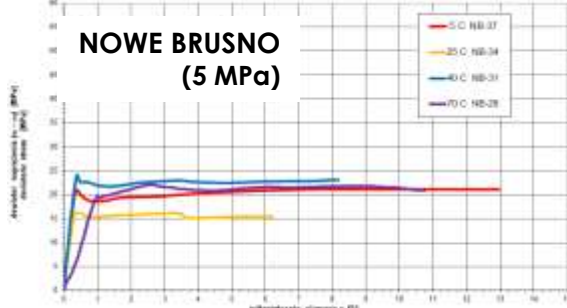
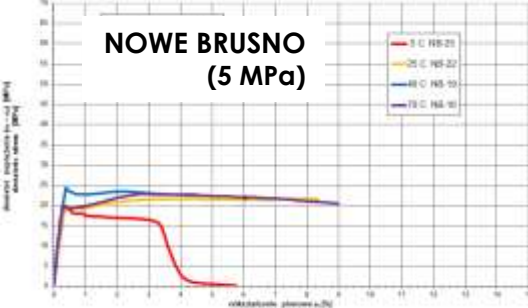
Wyniki badań wytrzymałości - ANALIZA (KRASNOBRÓD)

- materiał stosunkowo jednorodny, 5 x sztywniejszy niż Józefów 1&2
- najwyższą wytrzymałość dla próbek badanych w najniższej temperaturze (-5 °C)



Wyniki badań wytrzymałości - ANALIZA (NOWE BRUSNO)

- materiał porowaty, niejednorodny
- najwyższą wytrzymałość dla wybranych próbek badanych w najniższej temperaturze (-5 °C), 15 MPa
- badania prowadzono w stanie powietrzno suchym, konieczne dalsze badania w stanie nasyconym



Wyniki badań wytrzymałości - ANALIZA (NOWE BRUSNO)

- materiał porowaty, niejednorodny
- najwyższą wytrzymałość dla wybranych próbek badanych w najniższej temperaturze (-5 °C), 15 MPa
- badania prowadzono w stanie powietrzno suchym, konieczne dalsze badania w stanie nasyconym

Jakość próbek



Geometria próbki – walec o smukłości ~ 2 .

Trudności z uzyskaniem prostopadłych podstaw w stosunku do pobocznicy.

Pionowa siła mimośrodowa pod kątem.

Podsumowanie

1. Relatywnie duża zmienność i niepewność wyników.
2. Istotny wpływ struktury skały oraz geometrii próbki na wyniki.
3. Problem z przyjęciem kryterium do wyznaczenia wytrzymałości: 3,5%, 5% , 15 % odkształcenia osiowego???
4. Dezintegracja struktury – (deterioracja) skały podczas badania.
5. Do uzyskania oceny zmienności parametrów należy przeprowadzać kilkanaście badań wytrzymałościowych dla jednej serii próbek.
6. Walidacja aparatury GDS – MTS 815. Uzyskano zbieżność wyników.
7. Dalsze badania – model **THM** – próbki nasycane wodą.

Dziękuję za uwagę

7. WPGI 2021