



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Tunelowanie we fliszu karpackim

Antoni Tajduś



Plan wystąpienia

1. Przyszłość budownictwa tunelowego w Polsce
2. Wiadomości podstawowe z budowy tuneli
3. Drażnienie tuneli we fliszu karpackim
4. Drażnienie tunelu w Naprawie na drodze Kraków – Zakopane, wiadomości ogólne i problemy związane z drażnieniem



Wykorzystanie tuneli w transporcie na świecie

Na świecie buduje się rocznie setki km tuneli drogowych i kolejowych. Dlaczego? **Bo budowa tuneli się opłaca.** Nauczyliśmy się budować tunele w różnych warunkach naturalnych: w górach, pod wodą, w gruncie i w bardzo mocnej skale. Nadchodzi czas, w którym w Polsce na znacznie większą skalę będzie się rozwijać się budownictwo tunelowe zwłaszcza na terenach górskich.



Szwajcaria – wlot tunelu Mont Russelin

Amsterdam, tunel Noord



Przyszłość budownictwa tunelowego w Polsce (podziemna metoda drążenia)

Do niedawna w Polsce wydrążono 25 tuneli, głównie kolejowych i praktycznie wszystkie przed II wojną światową. W ostatnich latach powoli sytuacja ulega zmianie. Zaczęto budować tunele: w Świnnej Porębie, w Lalikach, I i II linia metra w Warszawie, tunel pod „Martwą Wisłą”.

Dlaczego nie budowano tuneli:

- Był brak specjalistów od projektowania i budowy tuneli,
- Niechęć inwestorów wynikającą z wysokich kosztów,
- Jest brak „dobrych” polskich przepisów i rozporządzeń np. wymiary tuneli, wentylacja tuneli (podłużna, poprzeczna), wymogi przetargowe,
- Brak doświadczeń z drążeniem we Fliszu Karpackim, którego budowa i własności są ciągle słabo rozpoznane.



Tunel Emilia w Lalikach k. Zwardonia drogowy oddany do użytku 5.03.2010r

Kształt tunelu owalny o max wysokości 6.55m i szerokości 11.2m. Długość tunelu 678m. Tunel dwukierunkowy, o dwóch pasach ruchu w każdym kierunku. Wykonany: część metodą NATM, część metodą odkrywkową. Klasa drogi S.



Projektowane 2 tunele drogowe na drodze S3 Legnica – Lubawka

Dwa tunele o dł. 2 km na drodze S3 dwunitkowe.

Wymiary tuneli w wymiarze wynoszą:

- wysokość 11,15 m

- szerokość 13,9 m

- powierzchnia przekroju 123 m².

Dwie nitki tuneli będą połączone łącznikami.

Aktualnie rozstrzygnięto przetarg: GDDKiA

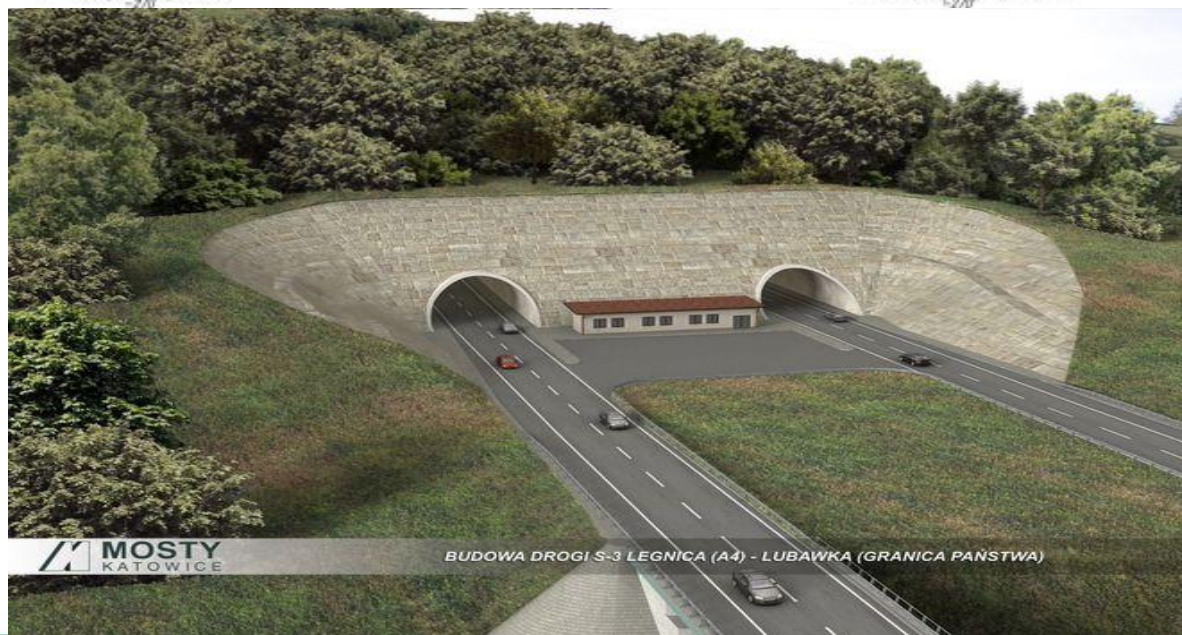
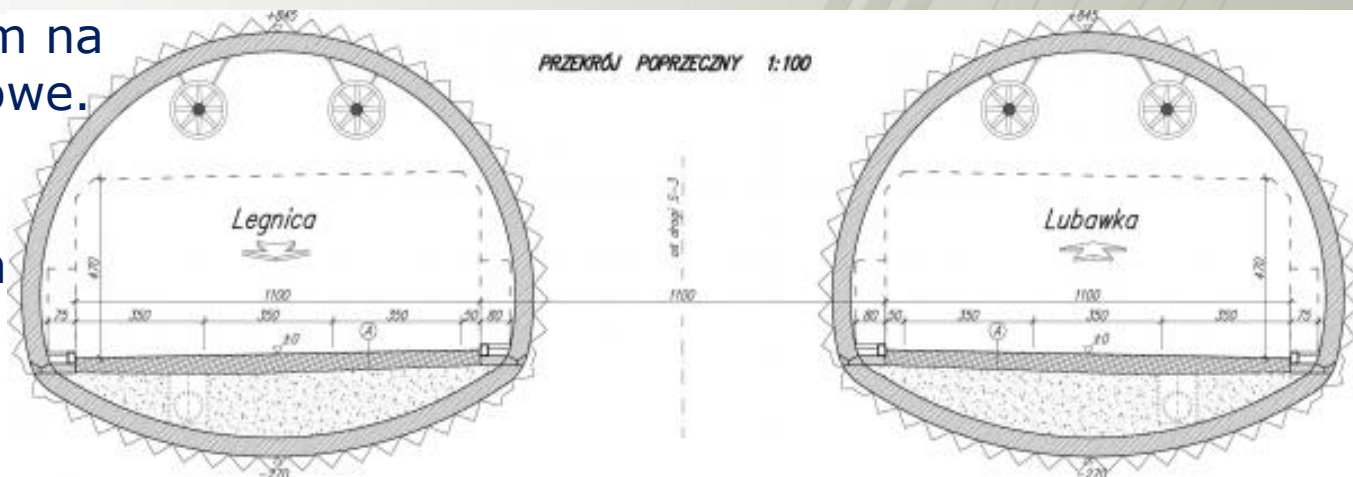
planowało wydać ok.

2 140 mln zł brutto. Do

przetargu przystąpiło 12 firm wygrało Astaldi

S.p.A z kwotą 1 057 mln

zł która stanowi połowę planowanej.



Projektowane tunele w rejonie Krynicy

W rejonie Krynicy trwają przygotowania do budowy drogi omijającej jej centrum 2 tunelami. Pierwszy tunel wlot do tunelu przed Krzyżówką a wylot w Słotwinach (ok. 4km). Drugi tunel wlot w Słotwinach a wylot byłby u podnóża góry Jaworzyna (2.7km).



Planowane tunele na trasie Kraków – Piekiełko lub Szczyrzyc

Budowa linii kolejowej na trasie Kraków – Podłęże - Piekiełko (k. Tymbarku) lub Szczyrzyc o długości ok. 50km. Skróci to przejazd:

- Do Nowego Sącza (przejazd ok. 1 godz.) i Krynicy – Zdroju.
- Do Rabki i Zakopanego (przejazd ok.1.5 godz.)
- Docelowo to połączenie skróciłoby przejazd w kierunku Słowacji i Węgier.

We wstępnym studium szacuje się wybudowanie na tej trasie kolejowej 9 tuneli.

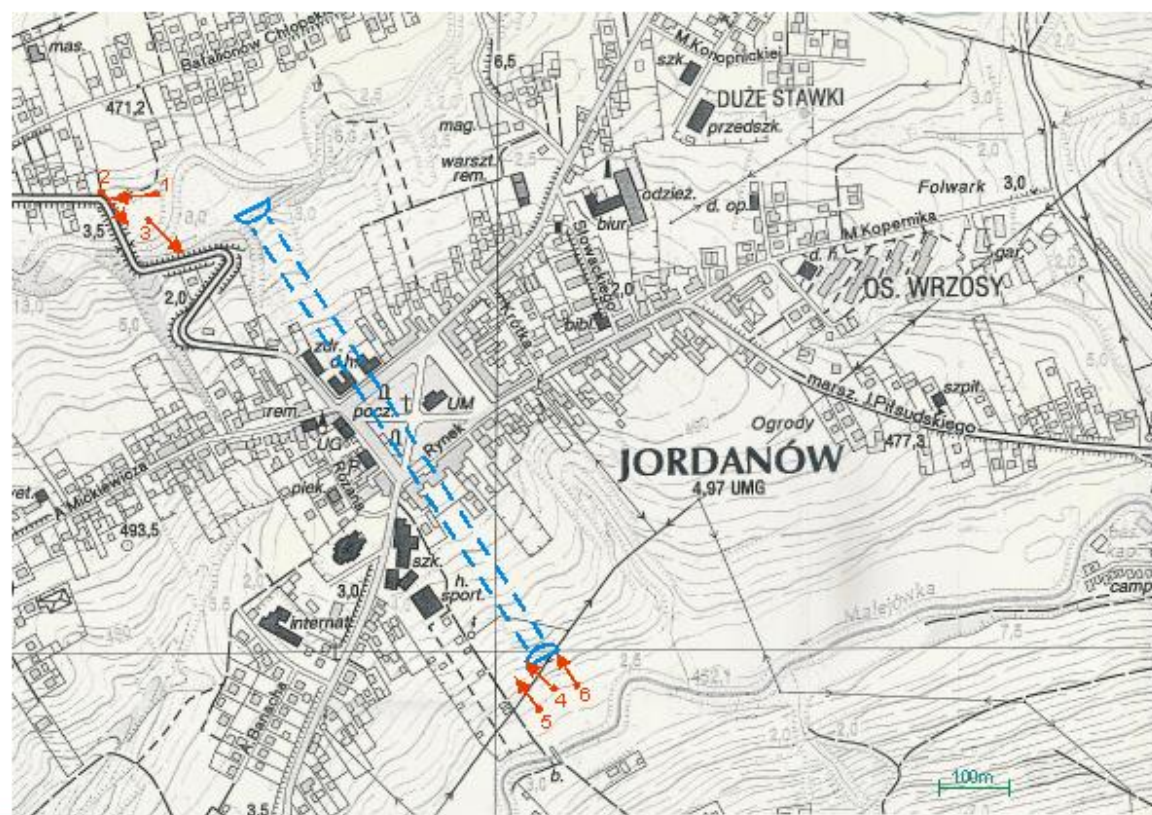




AGH

Planowany tunel w Jordanowie

Wykonaliśmy wstępne studium budowy tunelu w Jordanowie na Drodze Krajowej nr 28 biegnącej przez centrum miasta. Tunel będzie miał: długość 680m, głębokość 30÷40m, nachylenie - ok. 4°.



Ze względu na dużą różnicę wysokości terenu u wylotu tunelu, niniejsza koncepcja przewiduje wykonanie dodatkowo wiaduktu o konstrukcji stalowej na palach żelbetowych.

Tunele na drodze Rzeszów - Barwinek

Na drodze ekspresowej S19 o długości 85.2km mają być wybudowane 4 tunele:

- Pierwszy o długości 1.3km na odcinku Rzeszów Południe – Babica,
- oraz 3 tunele o długości 1.75 km, 1.6 km i 1.2 km są na odcinku Babica - Domaradz.

Aktualnie trwa postępowanie przetargowe na wykonanie koncepcji programowej z pełnym rozpoznaniem geologicznej budowy drogi, która ma być ukończona do sierpnia 2018 r. Cały odcinek drogi ma być wykonany do 2023r w systemie "projektuj i buduj". Droga ma mieć 2x2pasy ruchu o szerokości 3.5m każdy oraz pas awaryjny 2.5m.

Tunel na drodze S7 – Lubień – Rabka.

Aktualnie drażony we fliszu karpackim

Wykonawca: „Astaldi S.G.S”.

Dwa tunele drażone są w Naprawie, metodą NATM z połączoną z metodą A.DE.CO.-R.S (Analysis of Controlled Deformations in Rocks i Soils) czyli metodą kontroli przemieszczeń i odkształceń w skałach i gruncie. Tunele mają dł. 2,1 km, każdy o jednym kierunku jazdy, 2 pasach ruchu, 1 pasie awaryjnym

i 1 pasem

ewakuacyjnym.

Szerokość tunelu

w wyłomie ma

17.31-18.31m!.

Między tunelami

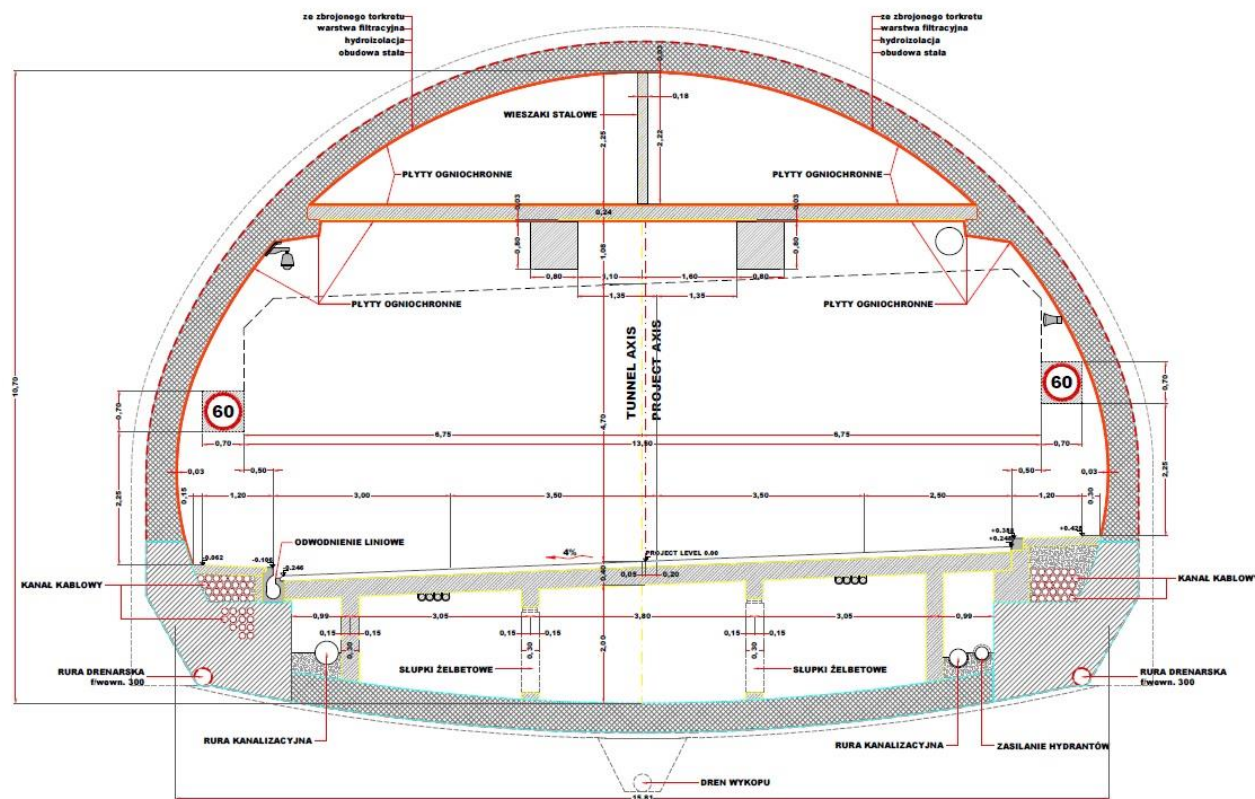
jest filar o

szerokości 14m.

Tunele połączone

będą przewiązka-

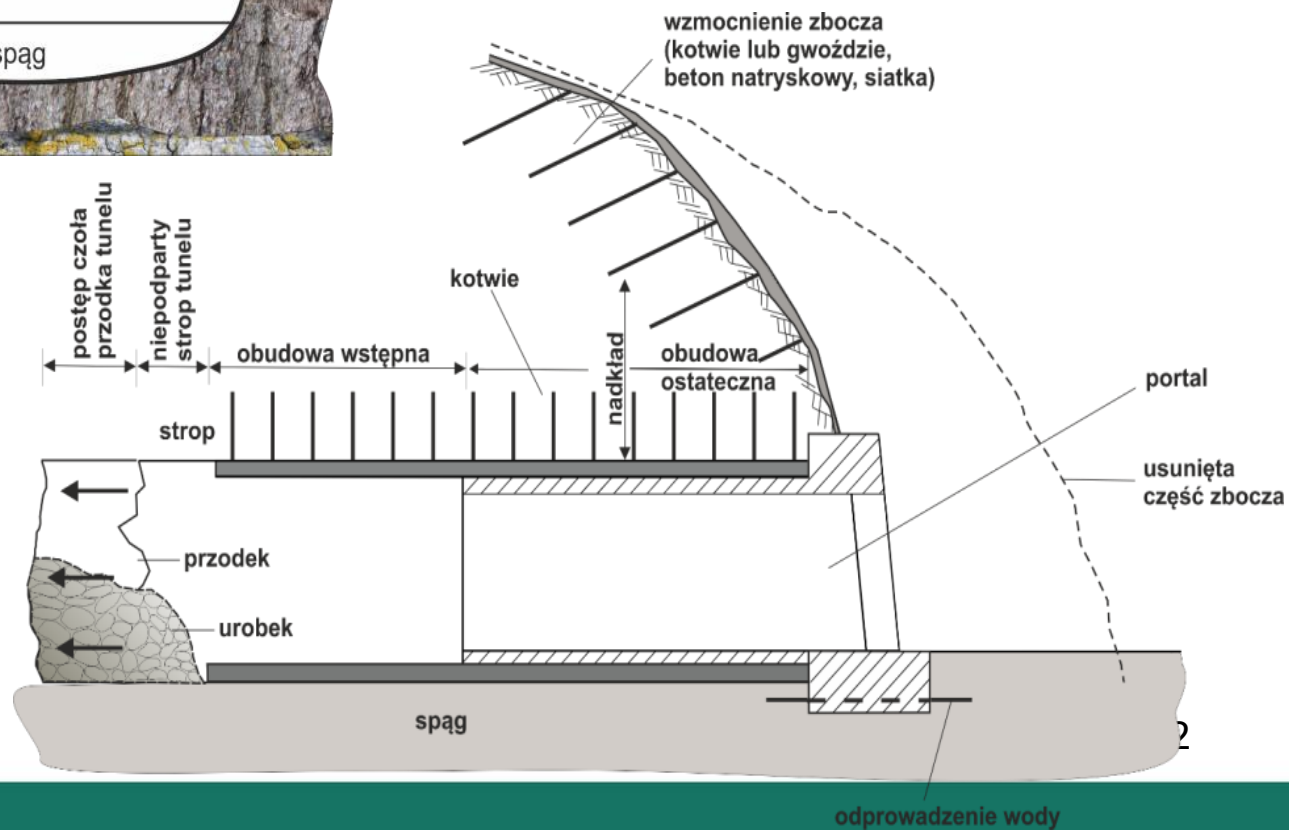
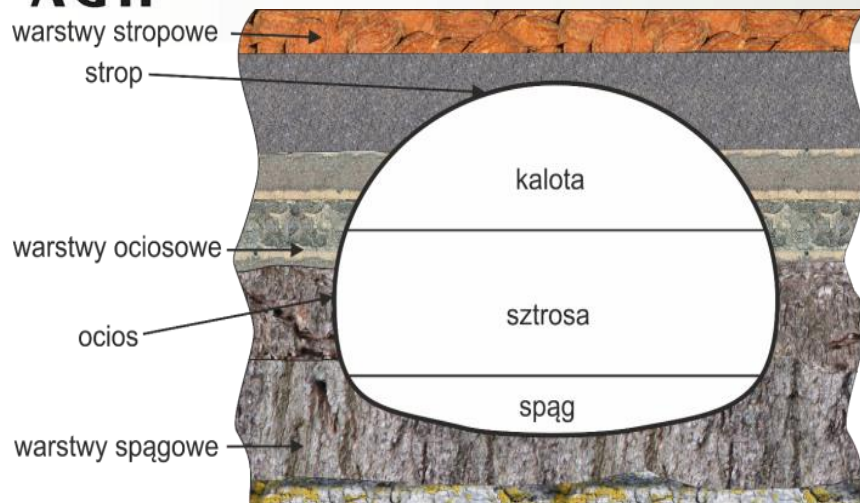
mi co 172.5m





AGH

Tunele - wiadomości podstawowe



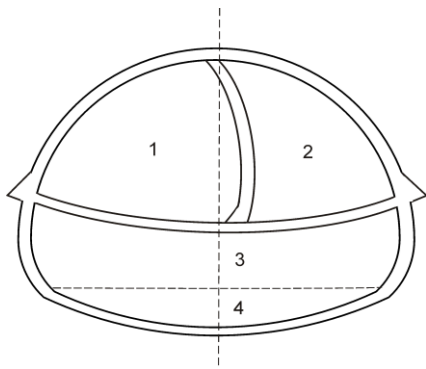
Tunele – wiadomości podstawowe

Metody drążenia tuneli

Drażenie tuneli można wykonywać trzema metodami:

- ✓ **Górnica** (metody: belgijska, niemiecka, angielska)
- ✓ **Wykorzystując techniki górnicze** (NAMT, NMT)
- ✓ **Pełnoprzekrojową** z wykorzystaniem maszyn do tunelowania (*Tunneling Machines – TM*).

Nowa Austriacka Metoda Budowy Tuneli



Maszyny do tunelowania





AGH

Tunele – wiadomości podstawowe

Maszyny do tunelowania

Maszyny do tunelowania (*TM*) dzielą się na:

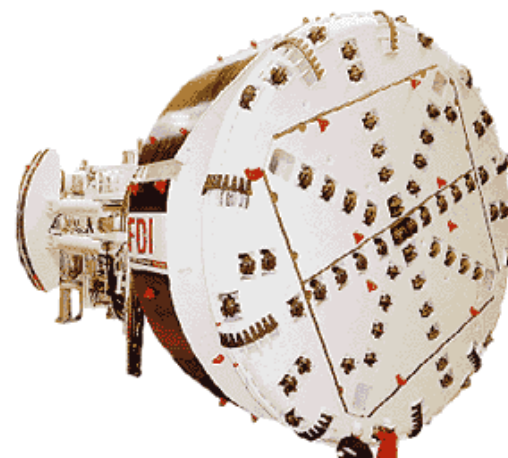
- ✓ **maszyny tarczowe** z wykorzystaniem do osłony tarcz z: częściową lub pełną mechanizacją operacji (*Shield Machines- SM*),
- ✓ **maszyny wiercące** (*Tunnel Boring Machine – TBM*).

Drażenie za pomocą tarczy różni się od drażenia TBM. Tarcza jest to stalowa rura wciskana w skałę, która następnie jest urabiana. TBM posiada obrotową głowicę, która urabia na całym przekroju poprzecznym tunelu. Ostatnio pojawiły się maszyny TBM z tarczami, nazywane są w skrócie *TBMS* (*Tunnel Boring Machines with shield*), czyli nastąpiło połączenie „tarczy” i „TBM”.

Maszyna
tarczowa



Maszyna
wiercąca



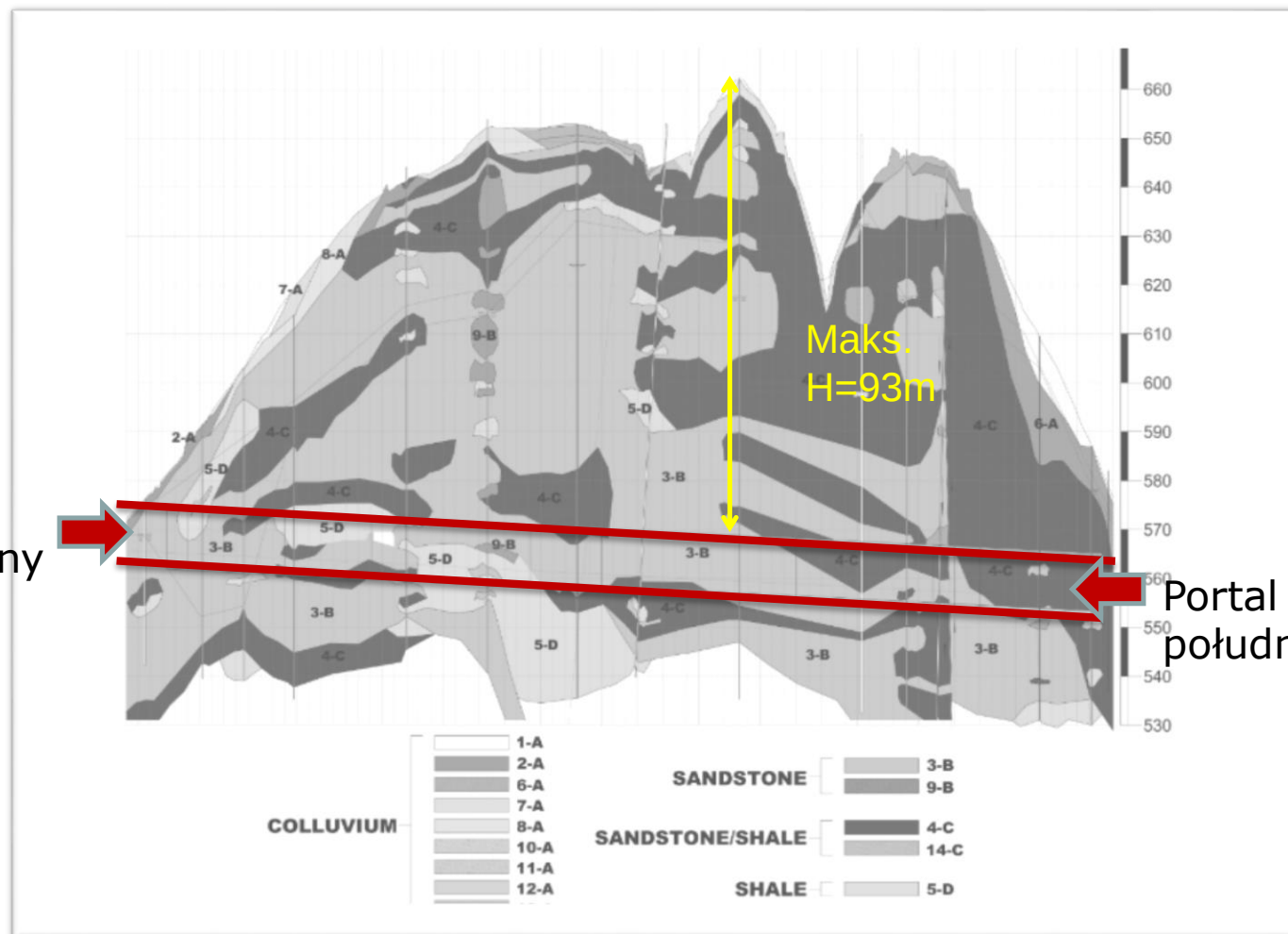
Poglądowa mapa geologiczna polskich Karpat (wg Książkiewicza i in., 1965)



- 1- trzon krystaliczny tatr z pokrywą osadową i płaszczowinami wierchowymi,
 2- płaszczowiny reglowe, 3- flisz podhalański, 4- pieniński pas skałkowy, 5- płaszczowina magurska, 6- płaszczowina grybowska, 7- płaszczowina dukielska, 8- łuski przedmagurskie,
 9- płaszczowina śląska, 10- płaszczowina podśląska, 11- płaszczowina skolska, 12- skałki andrychowskie, 13- płaszczowina stebnicka, 14- fałdy Wieliczki i Bochni, 15- osady badenu i sarmatu słabo zaburzone, leżące na fliszu, 16- miocen autochtoniczny,
 17- skały wulkaniczne i żyłowe późnoalpejskie, 18- nasunięcia w obrębie płaszczowin, 19- ważniejsze uskoki; I - zatoka rzeszowska, II - zatoka pilzneńska, III - zatoka gdowska

Przekrój poprzeczny przez tunel (wg materiałów Astaldi –S.G.S)

Portal
północny



Portal
południowy

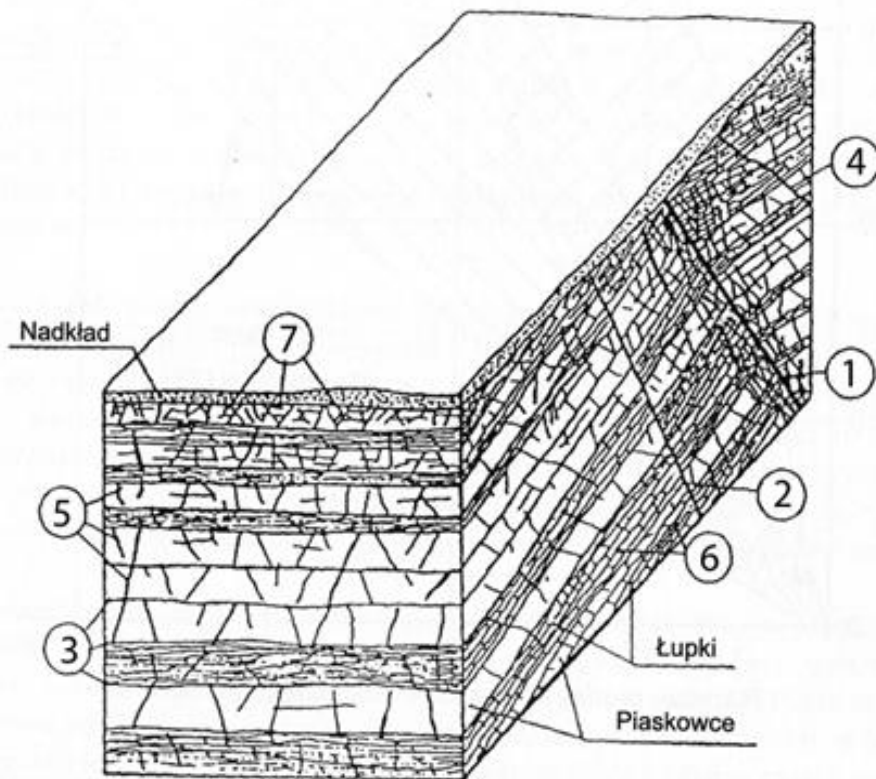
Problemy z budową tuneli w polskich górach

Flisz Karpacki budują naprzemianległe warstwy skał drobno i gruboziarniste. Głównymi skałami budującymi flisz Karpacki są *piaskowce* i *zlepieńce* oraz *łupki* i *mułowce* o różnorodnej strukturze, teksturze, składzie petrograficznym co powoduje istotne zróżnicowanie ich parametrów fizyko-mechanicznych i anizotropię.



Problemy z budową tuneli w polskich górach

Flisz karpacki jest silnie spękany. Występuje pięć podstawowych rodzajów spękań: spękania uwarstwienia, spękania ciosowe, spękania złupkowacenia, spękania strefy przypowierzchniowej i uskoki (Thiel 1995).



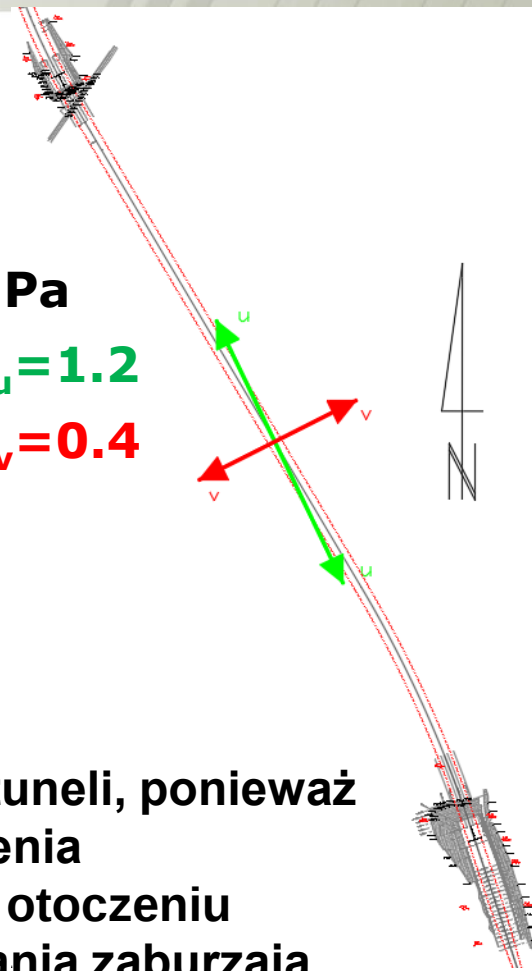
Parametry ważne dla oceny masywu skalnego

Parametr	Rodzaj badania
Wskaźniki właściwości skał	Gęstość Porowatość Wilgotność Rozmywalność Wskaźnik pęcznienia Twardość Ścieralność
Wytrzymałość skał	Jednoosiowa i trójosiowa wytrzymałość na ściskanie Wytrzymałość na rozciąganie Wytrzymałość spękań na ścinanie
Odkształcalność skał	Moduł Younga Współczynnik Poissona
Wpływ czasu	Próba pełzania
Przepuszczalność	Współczynnik przepuszczalności
Ocena spękań	Wskaźnik spękania RQD, odległość spękań, ich charakterystyka i orientacja wzgl. tunelu
Zawodnienie	Stopień zawodnienia
Pierwotny stan naprężenia	Badania in-situ np. za pomocą sondy płaskiej, hydroszczelinowania,

Pierwotny stan naprężenia



$$\begin{aligned}
 p_z &= 2.0 \text{ MPa} \\
 p_u &= 2.4 \text{ MPa} \quad \lambda_u = 1.2 \\
 p_v &= 0.8 \text{ MPa} \quad \lambda_v = 0.4
 \end{aligned}$$



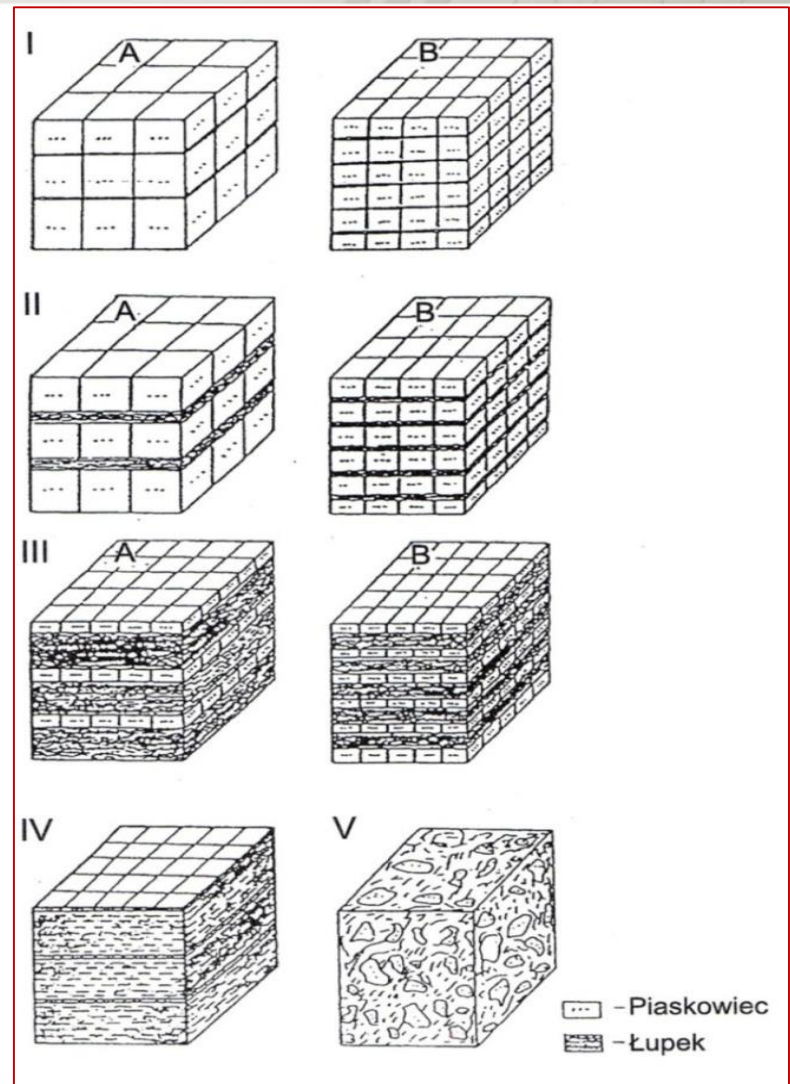
Pierwotny stan naprężenia korzystny dla drążenia tuneli, ponieważ drążymy w kierunku większego poziomego naprężenia pierwotnego co powoduje bardzo dobre warunki w otoczeniu czoła przodka tunelu. Jedynie uwarstwienie i spękania zaburzają ten stan.

Modele strukturalne fliszu karpackiego ze względu na udział piaskowca i łupku (wg. Thiela, 1995)

Model		Rodzaj kompleksu	Zawartość piaskowców w [%]
I.	A B	Piaskowcowy	> 85
II.	A B	Piaskowcowo- łupkowy	85-50
III.	A B	łupkowo- piaskowcowy	50-15
IV.		łupkowy	< 15
V.		łupkowy zaburzony tektonicznie	

W modelach I, II, III zależnie od grubości warstw skalnych rozróżnia się podtypy A > 0.3m i B < 0.3m

Thiel K. (red.): Właściwości fizyko-mechaniczne i modele masywów skalnych polskich Karpat fliszowych, IBW PAN, Hydrotechnika nr. 19, 2005



Zastosowane klasyfikacje do oceny fliszowego masywu skalnego

I. Klasyfikacja Bieniawskiego RMR oparta o 6 parametrów: R_c , RQD, rozstaw nieciągłości, stan nieciągłości, warunki występowania wód gruntowych, orientacja nieciągłości. W oparciu o tę klasyfikację określa się głównie parametry odkształceniowe masywu skalnego.

II. Klasyfikacja Hoeka i Browna GSI oparta o 5 parametrów klasyfikacji RMR bez orientacji nieciągłości.

a) $RMR_{89} \geq 23$, $GSI = RMR_{89} - 5$

b) $RMR_{89} < 23$, $GSI = 9 \ln Q' + 44$ ($Q' = [RQD/J_n][J_r/J_a]$,

J_n - liczba systemów spękań, J_r - chropowatość powierzchni spękań, J_a - przeobrażenie płaszczyzn spękań).

W oparciu o tę klasyfikację określa się głównie parametry wytrzymałościowe masywu skalnego.

III. Klasyfikacja Bartona, Liena, Lunde

$Q = [RQD/J_n][J_r/J_a][J_w/SRF]$, Q - określane z pomiarów in-situ lub przez pomiar prędkości podłużnych fal sejsmicznych $Q = \left(\frac{100}{R_c}\right) \cdot 10^{[V_p - 3500]/1000}$

Geologiczny wskaźniki jakości dla fliszu (GSI)

Struktura

Jakość powierzchni spękania

Bardzo dobre
Bardzo chropowaty,
o nie zwietrzałej powierzchni

Dobre
Chropowaty, o nieznacznie
zwietrzałej powierzchni, rdzawo
barwionej powierzchni

Średnie
Gładki, miernie zwietrzały
lub przeobrażony.

Słaby
Wyglądzone, powierzchnia
bardzo zwietrzała wypełniona
kanciastymi fragmentami skał.

Bardzo słaby
Wyglądzone, o silnie zwietrzałej
powierzchni z powłoką ilastą
lub wypełnieniem.

Spadek jakości powierzchni

Spadek zblokowania kawałków skały

70					
60					
50					
40					
30					
20					
10					
N/A	N/A				

→ : Oznacza deformacje powstałe po ruchach tektonicznych

A- Cienko uwarstwiony, blokowy piaskowiec. Efekt powłok gliniastych w płaszczyznach uwarstwienia została zminimalizowana przez ograniczenia masywu skalnego.

B- piaskowiec z cienkimi przewarstwieniami piaskowca drobnoziarnistego.

C- piaskowiec i piaskowiec drobnoziarnistych w podobnych proporcjach

D- piaskowiec drobnoziarnisty lub łupek ilasty z warstwami piaskowca

E- słaby piaskowiec drobnoziarnisty lub łupek gliniasty z warstwami piaskowca

F- tektonicznie zdeformowany, intensywnie pofałdowany i pocięty uskoki. Łupki gliniaste lub piaskowiec drobnoziarnisty z połamanymi i zdeformowanymi warstwami piaskowca formującymi się chaotycznie.

G- niezaburzony łupek ilasty lub gliniasty bez lub z kilkoma bardzo cienkimi warstwami piaskowca.

H- tektonicznie zaburzony łupek ilasty lub gliniasty formujący się w chaotyczne struktury z wkładkami gliny. Cienkie warstwy piaskowca zostały zmienione w małe kawałki skalne.

Uwaga: C,D,E,G mogą być bardziej lub mniej pofałdowane niż to jest pokazane na rysunkach. Nie zmienia to jednak ich wytrzymałości. Tektoniczne deformacje, uskoki i utraty ciągłości przenoszą te grupy do kategorii F i H.

**Flisz
karpacki
głównie
obejmuje
struktury:
C, D, E, F, G**

Struktura fliszu karpackiego ze względu na udział piaskowca i łupku w rejonie drążonego tunelu w Lubniu

Przemieszczając się od portalu północnego w kierunku portalu południowego napotkamy kolejno:

- kompleksy piaskowcowe i piaskowcowo-łupkowe na dł. 850m ok. 44% długości tunelu, klasa III wg RMR,
- kompleksy łupkowo-piaskowcowe na dł. 730m ok. 38% dł. tunelu, klasa IV wg RMR
- kompleksy łupkowe na dł. 340m ok. 18% dł. tunelu, klasa V wg RMR.

Niezależnie od tego na trasie tunelu występować będą strefy zaburzone tektonicznie z istotną przewagą łupku. Strefy te łącznie z kompleksami łupkowymi również należy zaliczyć do klasy V (dolne wartości).



Flisz karpacki – problemy z drażeniem

W czole przodka
głównie
piaskowiec.
Zawartość
piaskowca
>85%

Klasa średnia
wg RMR:

IIIa RMR 51-60

IIIb RMR 40-51

Dla tych klas
jest dobrana
obudowa 1a i
1b wstępna i
ostateczna.



Flisz karpacki – problemy z drażeniem

W czole
przodka
piaskowiec z
łupkiem.
Zawartość
piaskowca
od 50 do 85%.
Klasa wg RMR
IV słaba. Dla
tej klasy jest
dobrana
obudowa 2
wstępna i
ostateczna.



Flisz karpacki – problemy z drażeniem

Łupek ilasty z
piaskowcem.

a) Zawartość
piaskowca 15% - 50%,

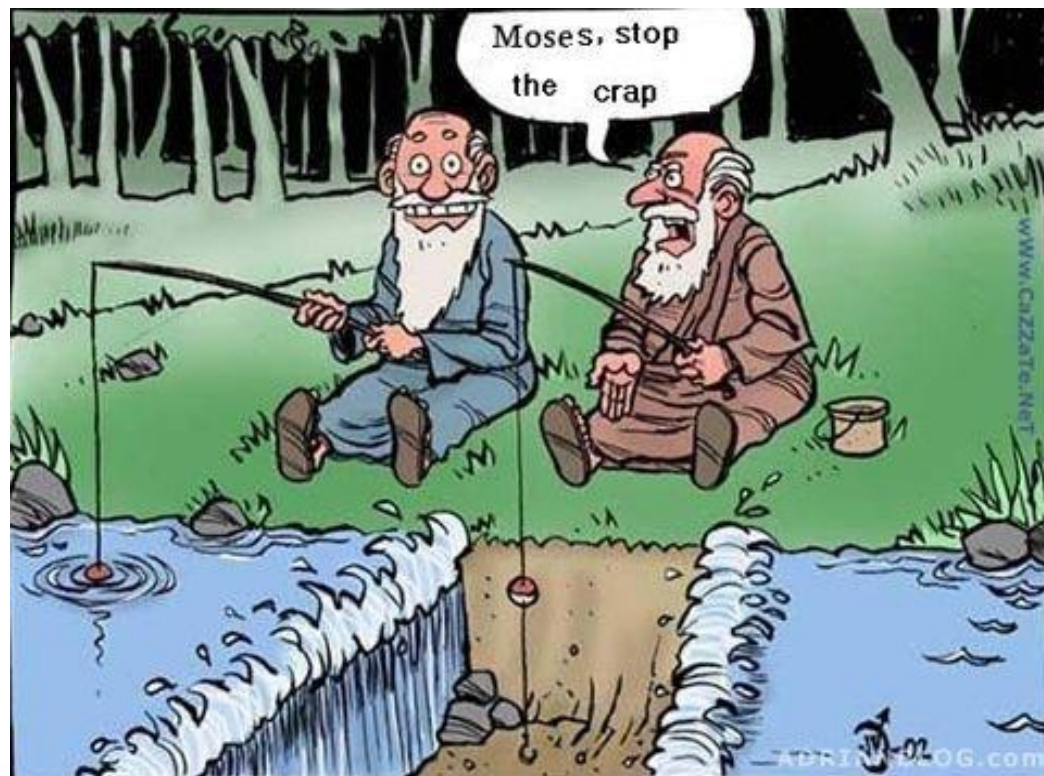
b) Zawartość
piaskowca poniżej
15%, ponad 85% łupek

Klasa wg RMR
V bardzo słaba. Dla tej
klasy jest dobrana
obudowa 3 wstępna i
ostateczna. Uważam,
że klasa ta powinna
być podzielona na
klasy Va i Vb.



Flisz karpacki a zawodnienie

Flisz karpacki bardzo różnie się zachowuje pod wpływem działania wody. Dla przykładu piaskowiec ma wysoką odporność na rozmywanie co powoduje, że pod wpływem wody jego wytrzymałość na ściskanie spada tylko o około 10%, natomiast łupek ilasty ma bardzo niską odporność na rozmywanie i jego wytrzymałość pod wpływem wody praktycznie spada do zera. W rejonie portalu Południowego występuje przewaga łupku, który jest silnie zawodniony. Z tego powodu będą występować duże problemy podczas drażenia. Stąd moja propozycja klasy Vb.

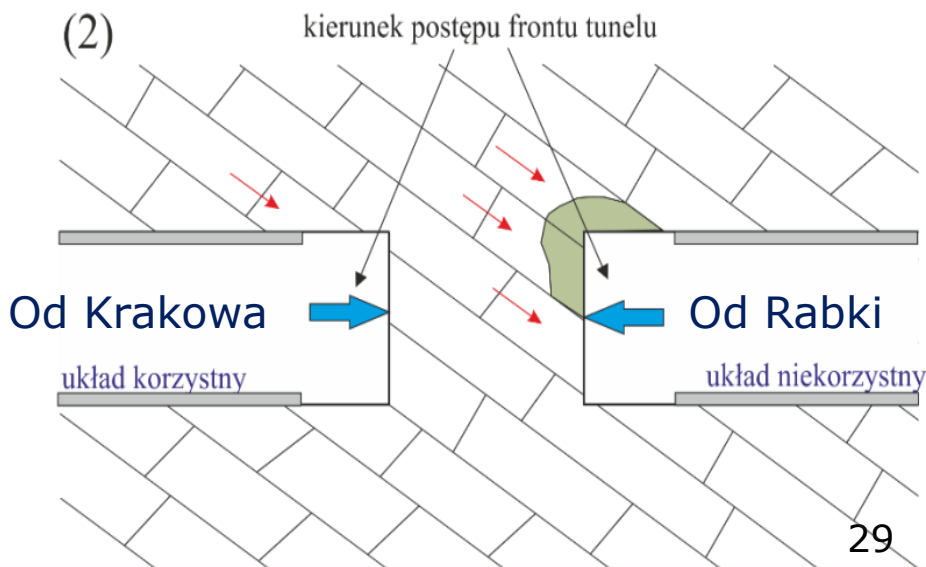
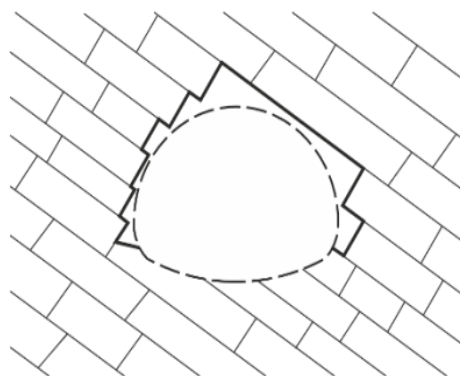




AGH

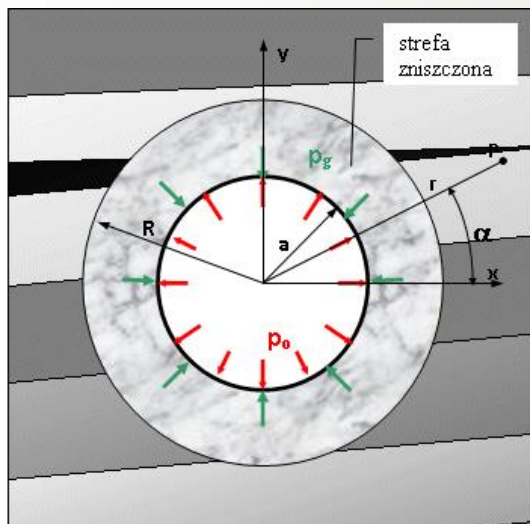
Flisz karpacki – problemy z drażeniem

Układ warstw będzie miał duży wpływ na zachowanie się masywu skalnego podczas drażenia 4 przodków. W pł. czoła przodka warstwy skalne są nachylone pod kątem od 25 do 60%. W stosunku do kierunku drażenia warstwy te zapadają z północy w kierunku południowym. (1)



Zdjęcie materiały
Astaldi S.G.S.

Flisz karpacki – problem z projektowaniem



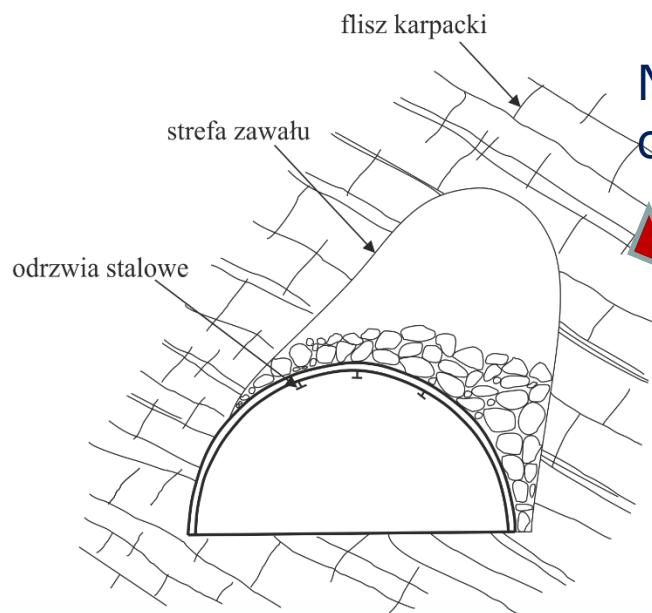
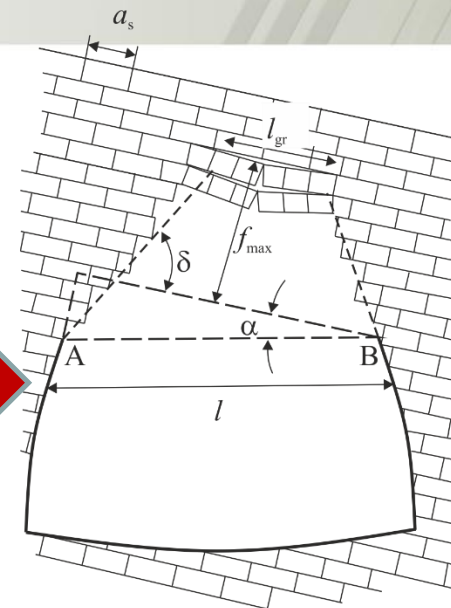
Projektuje się



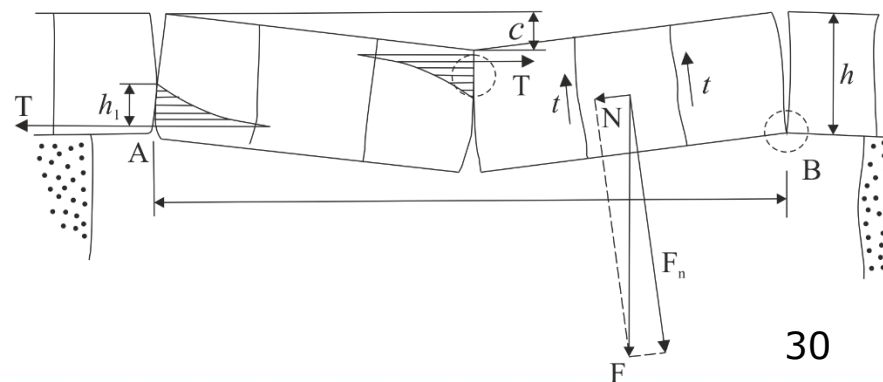
tak

A powinno

być **tak**

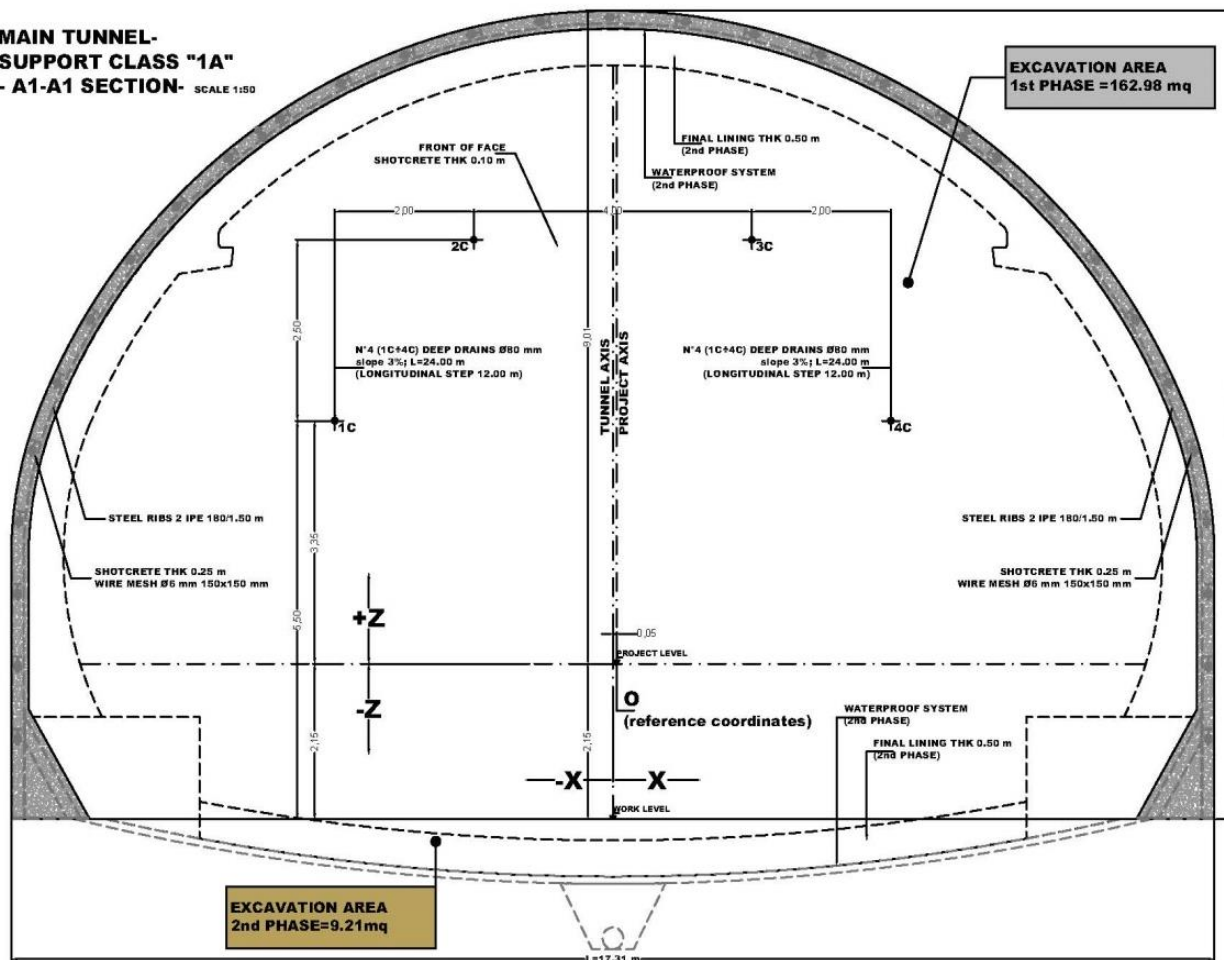


Niesymetryczny
obwał stropu



Masyw skalny klasy IIIa średni – obudowa wstępna i ostateczna - 1a (wg. materiałów Astaldi S.G.S.)

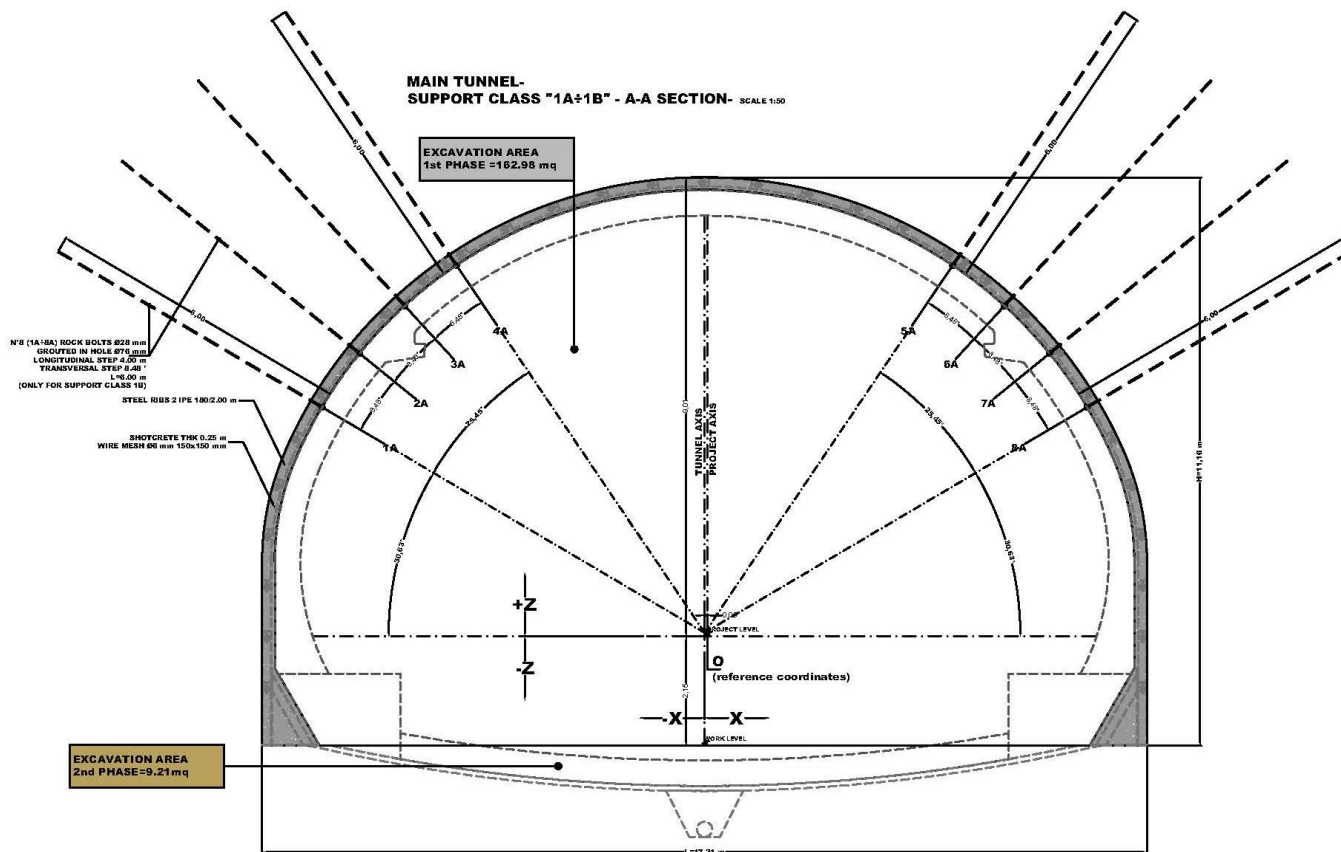
MAIN TUNNEL-
SUPPORT CLASS "1A"
- A1-A1 SECTION- SCALE 1:50



Obudowa wstępna składa się z podwójnych łuków stalowych IPE180 zakładanych co 2m oraz z betonu natryskowego gr. 25cm z siatką stalową.

Obudowa ostateczna o gr. 50 cm, jednakowa na całym przekroju. Obudowa ostateczna jest całkowicie wodoszczelna.

Masyw skalny klasy IIb średni – obudowa wstępna i ostateczna – 1b (wg. materiałów Astaldi S.G.S.)



Obudowa wstępna
 Podwójne łuki
 stalowe IPE180 co
 2m, beton
 natryskowy o gr. 25
 cm zbrojony siatką
 stalową, 6-8 kotwi
 stalowych śr. 28 mm i
 dł. 6m, ustawione w
 "wachlarzu" co 2m.

Obudowa ostateczna
 Na całym konturze
 beton o gr. 50cm.
 Obudowa
 wodoszczelna.

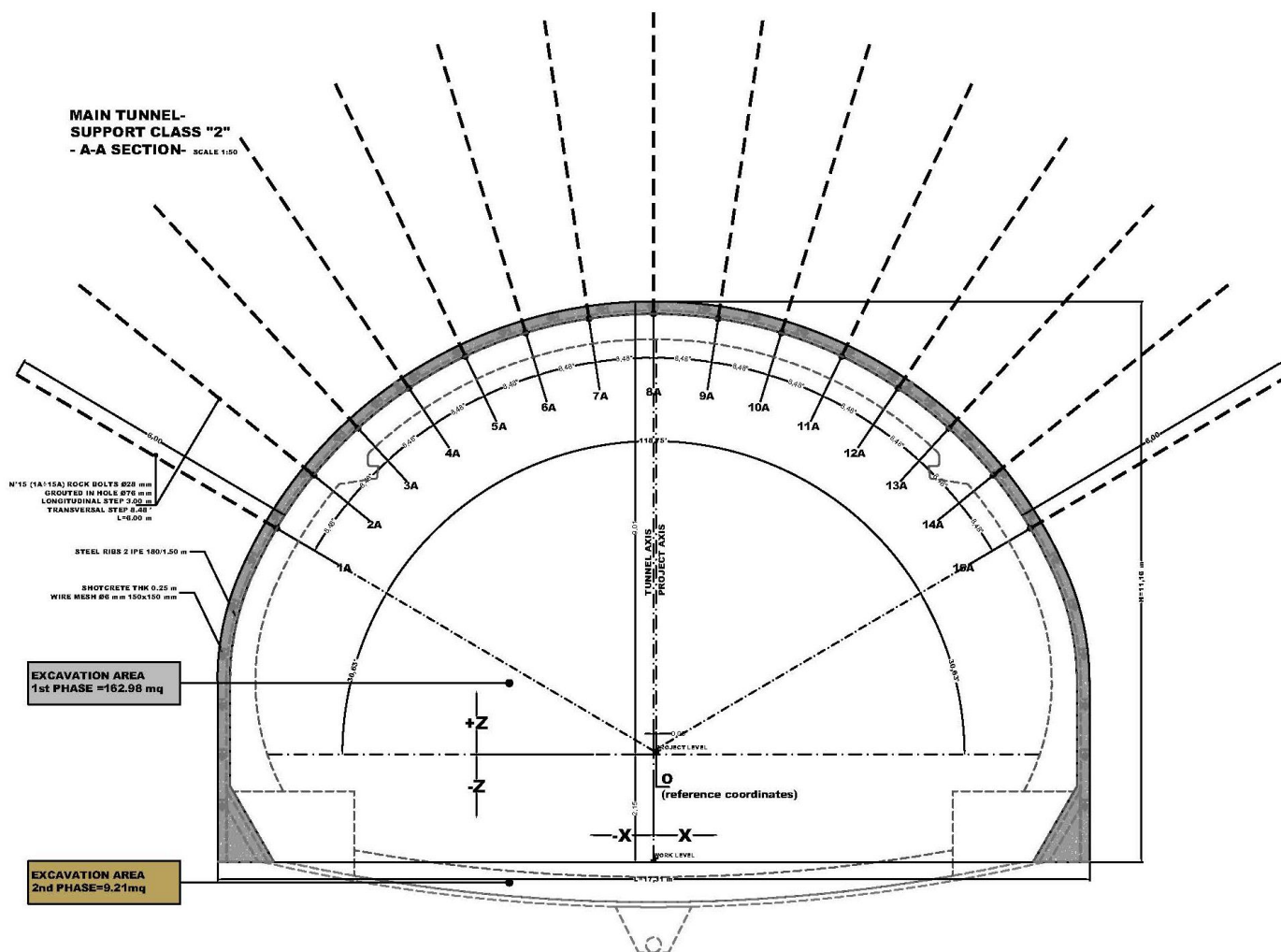
Masyw skalny klasy IV słaby – obudowa wstępna i ostateczna – 2 (wg. materiałów Astaldi S.G.S.)

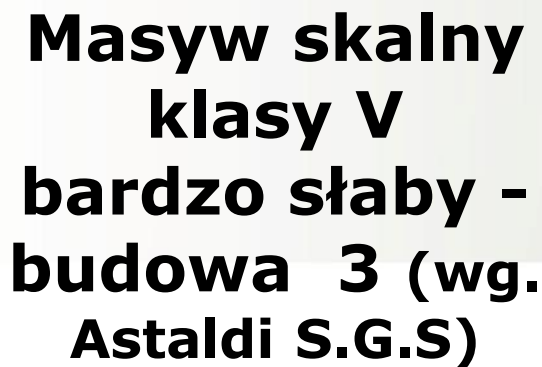
Obudowa wstępna

Podwójne łuki stalowe IPE180 co 1,5m, beton natryskowy o gr. 25 cm zbrojony siatką stalową, 15 kotwi stalowych śr. 28 mm i dł. 6m, ustawione w "wachlarzu" co 1,5m.

Obudowa ostateczna

Na całym konturze beton o gr. 50cm. Obudowa wodoszczelna.



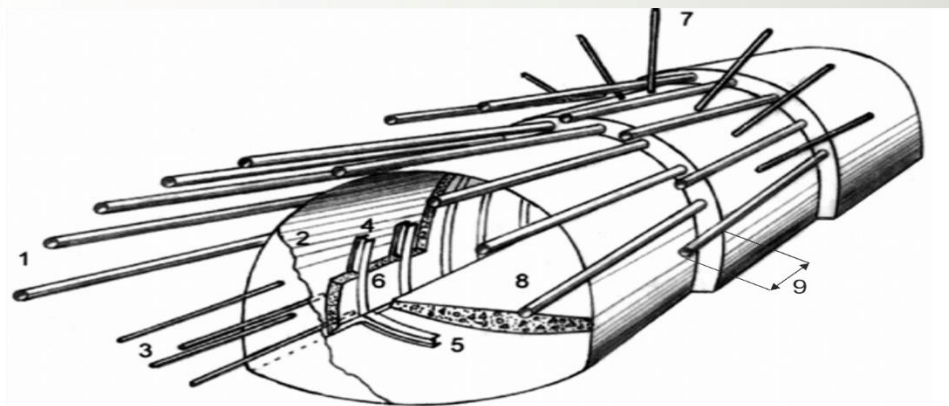


Obudowa wstępna Podwójne łuki stalowe
IPE180 co 1m, beton natryskowy o gr. 25 cm

Obudowa ostateczna
Obudowa betonowa
w kalocie o zmiennej
gr. od 0.5 do 1m, w
spągu gr. 0.5m.
Drażnienie młotkami,
z krokiem 1m i
natychmiastowym
zakładaniem
obudowy łukowej.
Betonowanie spągu
w max odl. 17,3m od
przodka, stropu
między 29,3m a
41.3m.

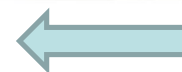


Masyw skalny klasy V, od 1 do 3 fazy drażenia tunelu (wg. materiałów Astaldi S.G.S.)



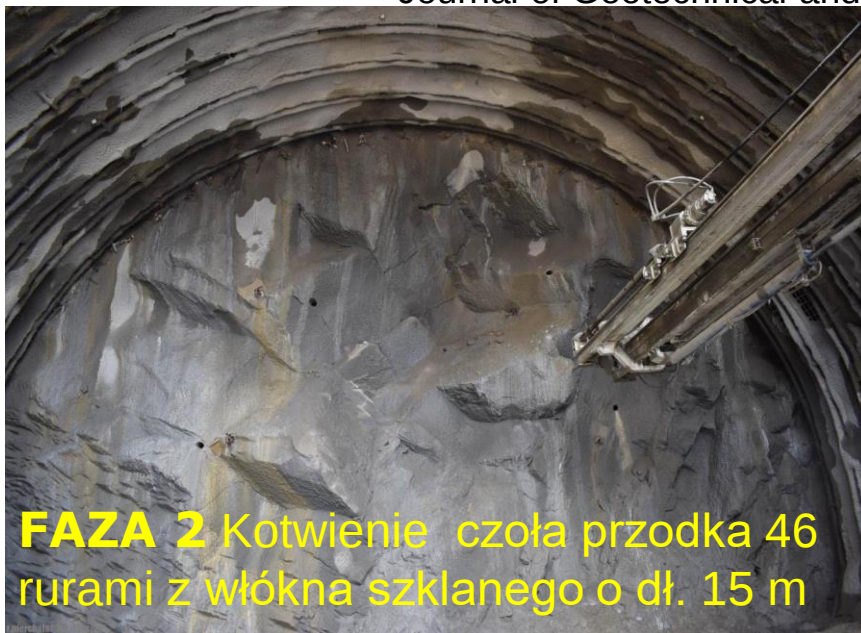
postęp drażenia ↗

Hoek E.: Big Tunnels in Bad Rocks, (The Thirty-Sixth Karl Terzaghi Lecture), Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, September, 2001.



FAZA 1

Wzmocnienie stropu tunelu przed czołem przodka za pomocą 45 rur o dł. 15 m



FAZA 2 Kotwienie czoła przodka 46 rurami z włókna szklanego o dł. 15 m



FAZA 3 Drażenie czoła przodka mechanicznie lub za pomocą MW

Masyw skalny klasy V, faza 4 i 5 drażenia tunelu (wg. materiałów Astaldi S.G.S.)



Masyw skalny klasy V, faza 6 i 7 drażenia tunelu (wg. materiałów Astaldi S.G.S.)



FAZA 6

Po urobieniu odcinka spągu pokrywa się go cienką warstwą „chudego” betonu, następnie nakłada się geowłókninę, folię, geowłókninę, wykonuje się zbrojenie a w pobliżu „kolana” mocuje się rury drenażowe. W kalocie i sztroście na obudowę wstępną też nakłada się geowłókninę, folię, geowłókninę,



FAZA 7

Masyw skalny klasy V, faza 8 drażenia tunelu (wg. materiałów Astaldi S.G.S.)



FAZA 7 Instalowanie wodoszczelnej membrany w sztrocie i kalocie.



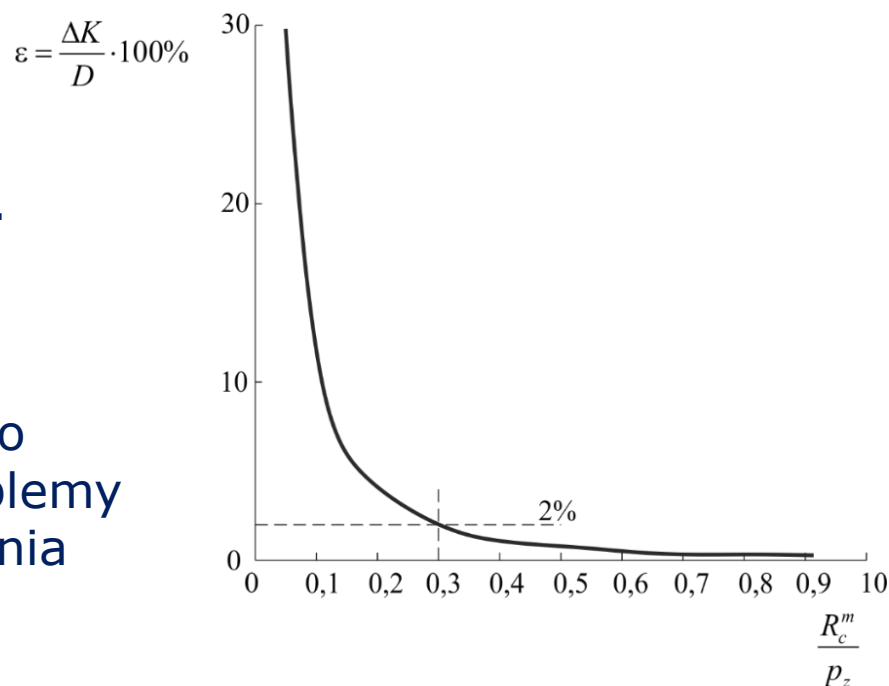
FAZA 8 Zakładanie obudowy ostatecznej w sztrocie i kalocie – układanie mieszanki betonowej.

Przy drażeniu tuneli stosowana jest metoda obserwacyjna A.DE.CO.-R.S.

W 1999r do NATM wprowadzono **metodę obserwacyjną** Pecka, który powiedział: „**Ucz się wraz z postępem drażenia**”. Aby stosować tę metodę należy ustalić **dopuszczalne wartości przemieszczeń, odkształceń i naprężeń** w obudowie i podczas drażenia tak dobierać obudowę, by nie przekroczyć wartości dopuszczalnych. Metoda obserwacyjna w ostatnich latach była rozwijana przez Hoeka (1999), Cherna (1998), Kovariego i Lunardiego (2000). Na bazie tych prac Lunardii (2006) opracował metodę obserwacyjną A.DE.CO.-R.S. (metodę kontroli przemieszczeń i odkształceń w skałach i gruncie). Np. wg Hoeka (1999r) dopuszczalna wartość odkształcenia wynosi 2%, po przekroczeniu której występują problemy ze statecznością tunelu. Odkształcenia wylicza się z wzoru:

$$\varepsilon = \frac{\Delta K}{D} \cdot 100\%.$$

(D – średnica, ΔK – konwergencja)



Krytyczne odkształcenia masywu skalnego w pobliżu konturu tunelu

Niedawno po wydrążeniu 30 tuneli okazało się, że dopuszczalna wartość odkształcenia nie zawsze wynosi 2%, ale jest zależna od klasy masywu skalnego, jego wytrzymałości i odkształcalności. Odkształcenia dopuszczalne można obliczyć z wzoru:

$$\varepsilon_{dop} = \frac{5.84(R_c)^{0.88}}{Q^{0.12}(E_s)^{0.63}} \cdot 100\% \geq \frac{R_c}{E_s} 100\%$$
$$\varepsilon_{dop} \geq \frac{2u_s}{D} \cdot 100\%$$

Dla fliszu karpackiego na podstawie własnych doświadczeń oraz badań literaturowych ustaliłem 3 stopnie bezpieczeństwa:

- **odkształcenia dopuszczalne wskazujące na zagrożenie** ε_{dop}
- **odkształcenia ostrzegawcze** $1.2\varepsilon_{dop}$
- **odkształcenia krytyczne** $1.4\varepsilon_{dop}$

Dla tuneli drażonych we fliszu karpackim ustalono 3 wartości graniczne: wartość dopuszczalną, ostrzegawczą, krytyczną.

Wartości te ustalono na bazie dotychczasowych doświadczeń z
drażeniem tuneli we fliszu karpackim

Pomiary	Wartość dopuszczalna	Wartość ostrzegawcza	Wartość krytyczna
Przemieszczenia stropu tunelu	0.28% 25mm	0.34% 30mm	0.45% 40mm
Odkształcenia czoła przodka*	0.3%	0.5%	0.8%
Konwergencja obudowy wstępnej	30mm	40mm	50mm
Napężenia w łukach obudowy stalowej	$0.6 R_{pl}^{**}$	$0.7 R_{pl}$	$0.8 R_{pl}$
Obudowa ostateczna - zbrojenie stalowe	$0.6 R_{pl}$	$0.7 R_{pl}$	$0.8 R_{pl}$
Obudowa ostateczna - beton	$0.3 R_{cb}$	$0.4 R_{cb}$	$0.5 R_{cb}$

* pomiar tylko dla skał klas: „słabych” i „bardzo słabych” wg. RMR.

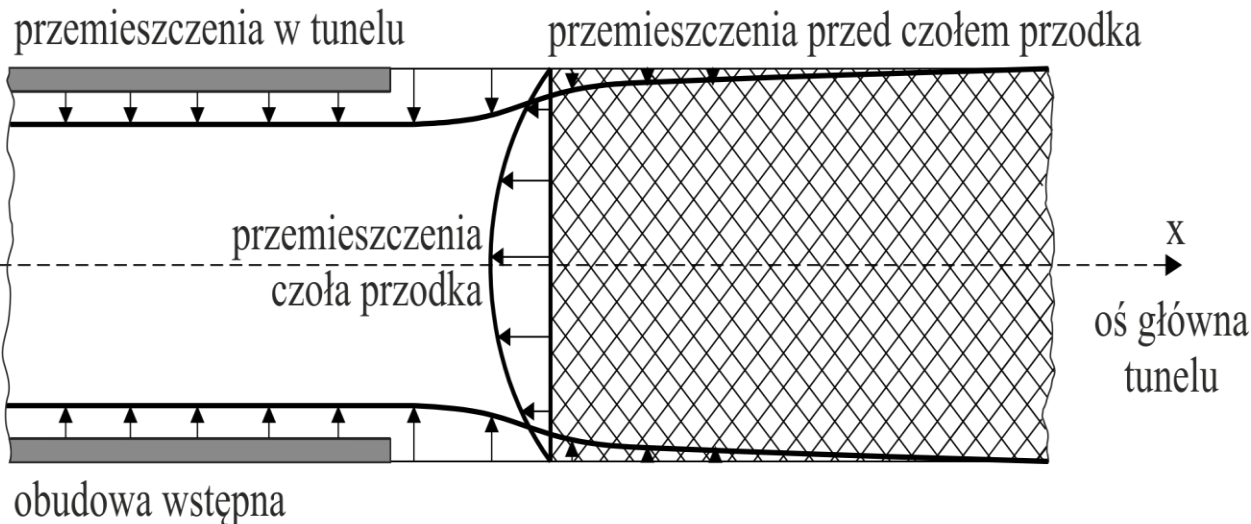
** R_{pl} – granica plastyczności dla stali.

*** R_{cb} – jednoosiowa wytrzymałość betonu na ściskanie.

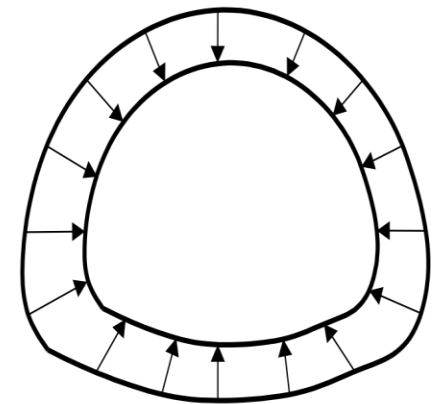
Pomiary wykonywane podczas drażenia tuneli dla metody obserwacyjnej A.DE.CO.-R.S

Metoda obserwacyjna jest oparta na pomiarach i pozwala na:

- **dobór sposobu drażenia w tym wzmocnienia masywu skalnego przed czołem przodka,**
- **bieżący dobór obudowy wstępnej i ostatecznej** dostosowany do zmieniających się warunków górniczo-geologicznych,



Przekrój przez tunel

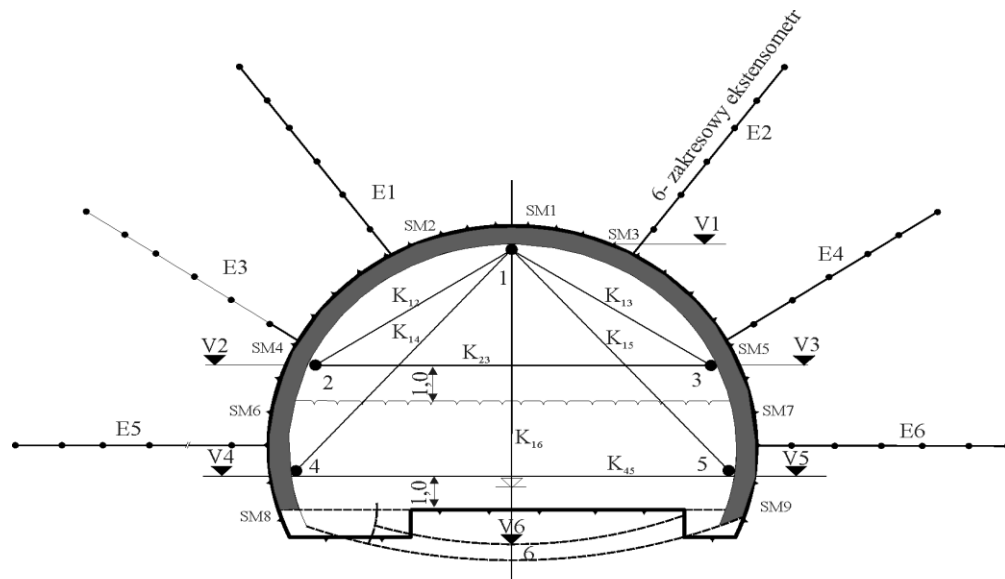




Pomiary wykonywane podczas drażenia tuneli

AGH

1. przemieszczeń wybranych punktów konturu tunelu w różnych odległościach od czoła przodka .
2. przemieszczeń czoła przodka i badania zmian budowy geologicznej zachodzących w przodku z postępem drażenia
3. konwergencji pionowej, poziomej, diagonalnej pomiędzy wybranymi punktami obudowy wstępnej.
4. zasięgu strefy spękań w stropie i ociosie tunelu
5. drgań sejsmicznych masywu skalnego i obudowy (od MW, lub młotków mechanicznych)

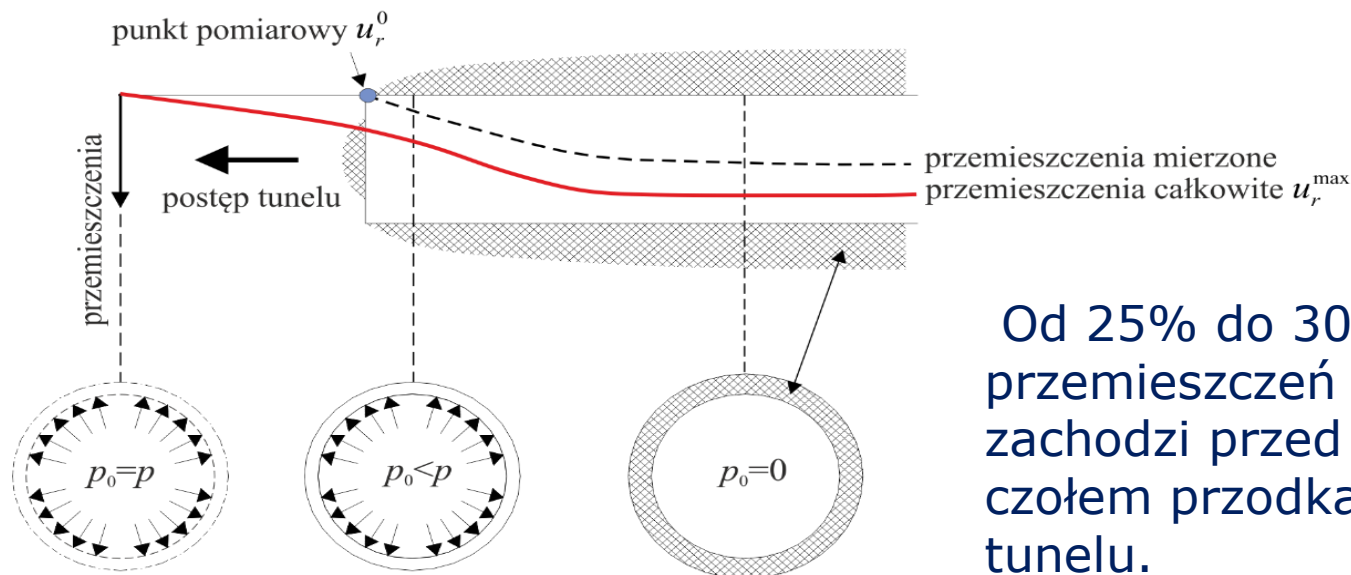


Przekrój wzdłuż wyrobiska



Pomiary wykonywane podczas drażenia tuneli **(rysunek wg. Hoek, 1999)**

6. przemieszczeń występujących przed czołem przodka tunelu.



Od 25% do 30% przemieszczeń zachodzi przed czołem przodka tunelu.

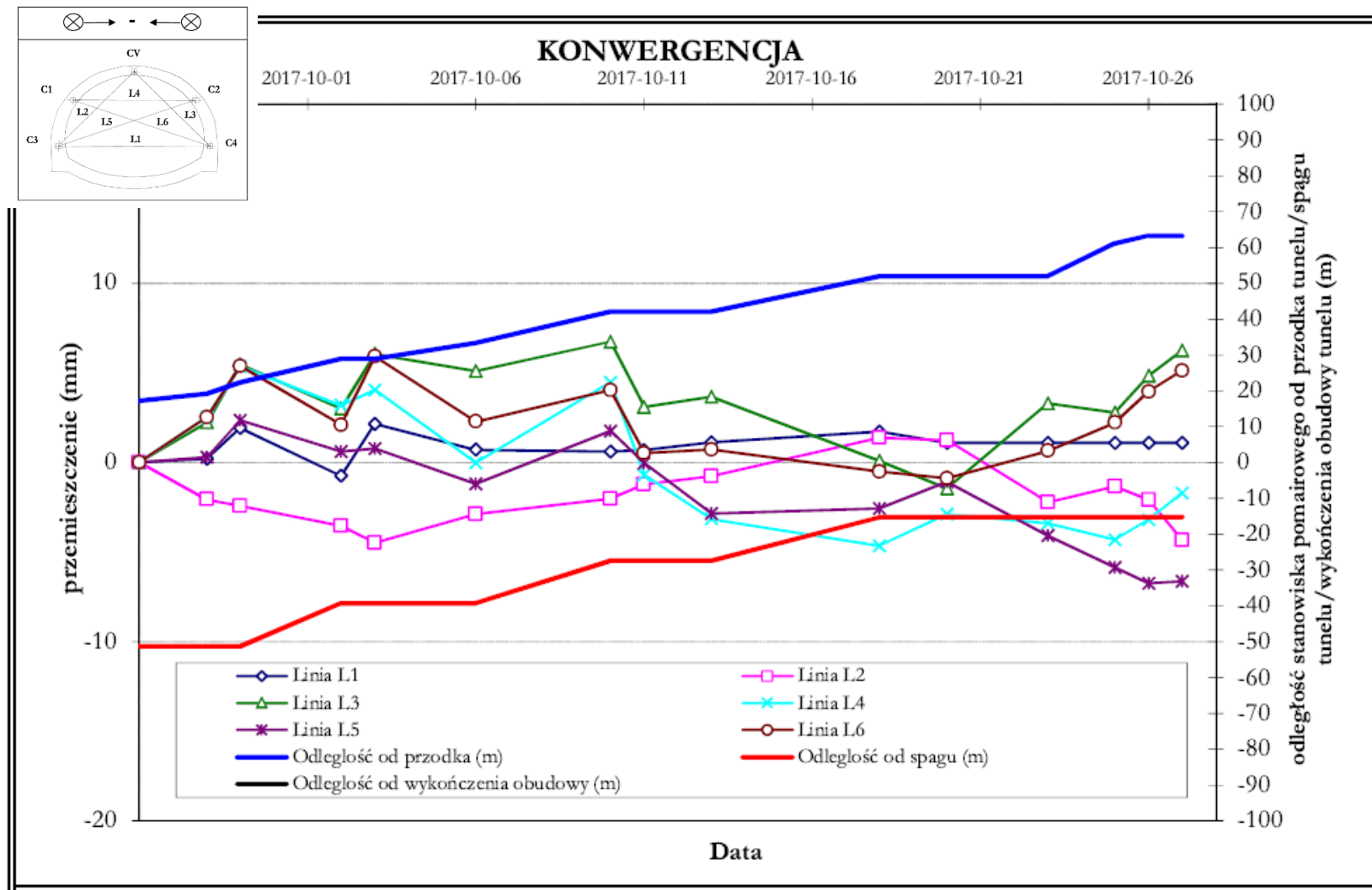
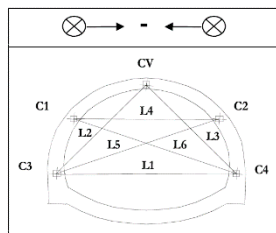
7. Naprężeń i sił w obudowie wstępnej, za pomocą tensometrów i ogni obciążnikowych (łuki stalowe) oraz naprężeń w obudowie ostatecznej.

8. Deformacje powierzchni terenu

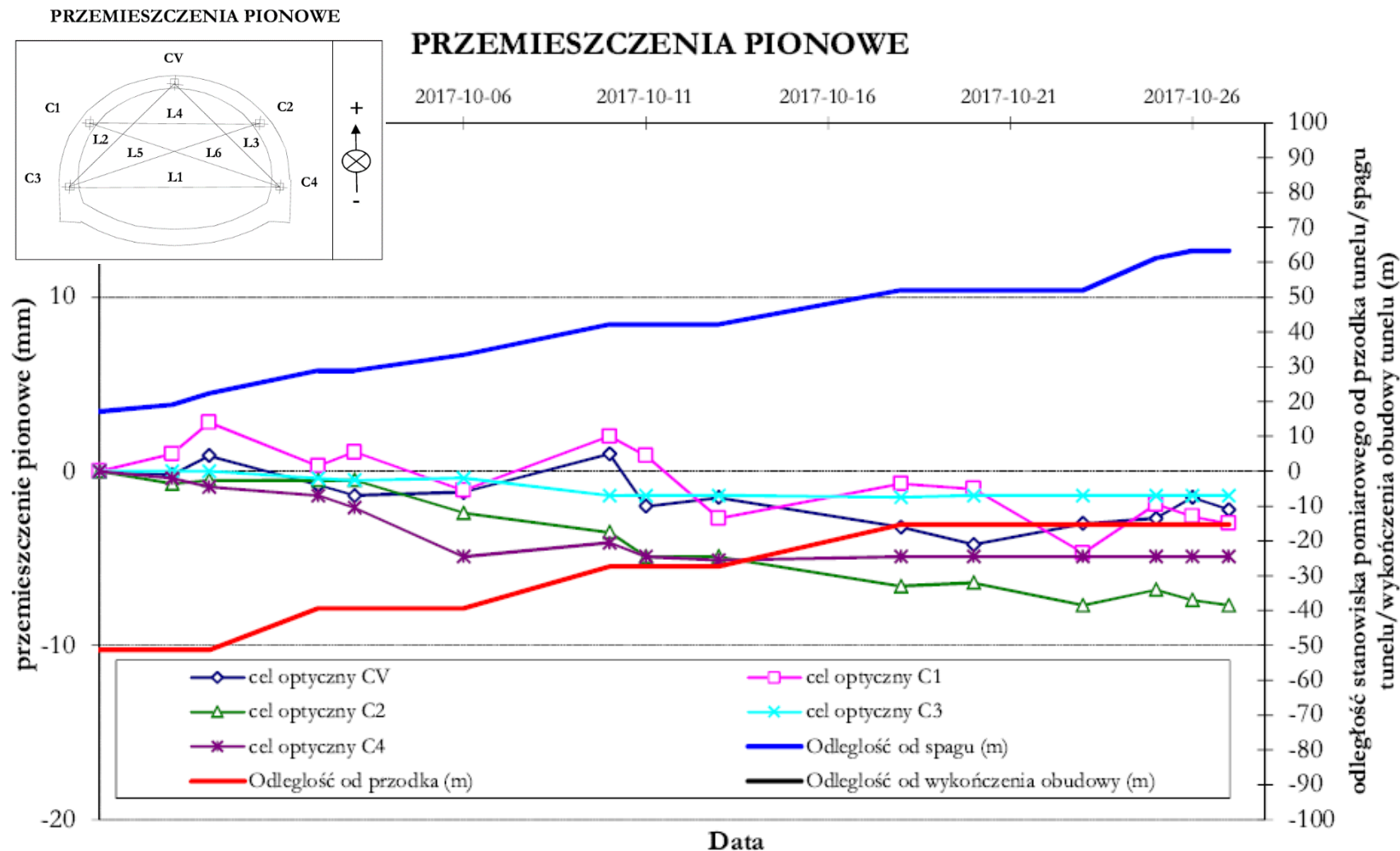
9. Ciśnienia wody na obudowę wstępną i/lub obudowę ostateczną za pomocą piezometrów.

Konwergencja obudowy wstępnej do 70m od czoła przodka - tunel prawy (wg. Astaldi – IMG monitoring)

KONWERGENCJA



Przemieszczenia pionowe obudowy wstępnej - tunel prawy (wg. Astaldi – IMG monitoring)

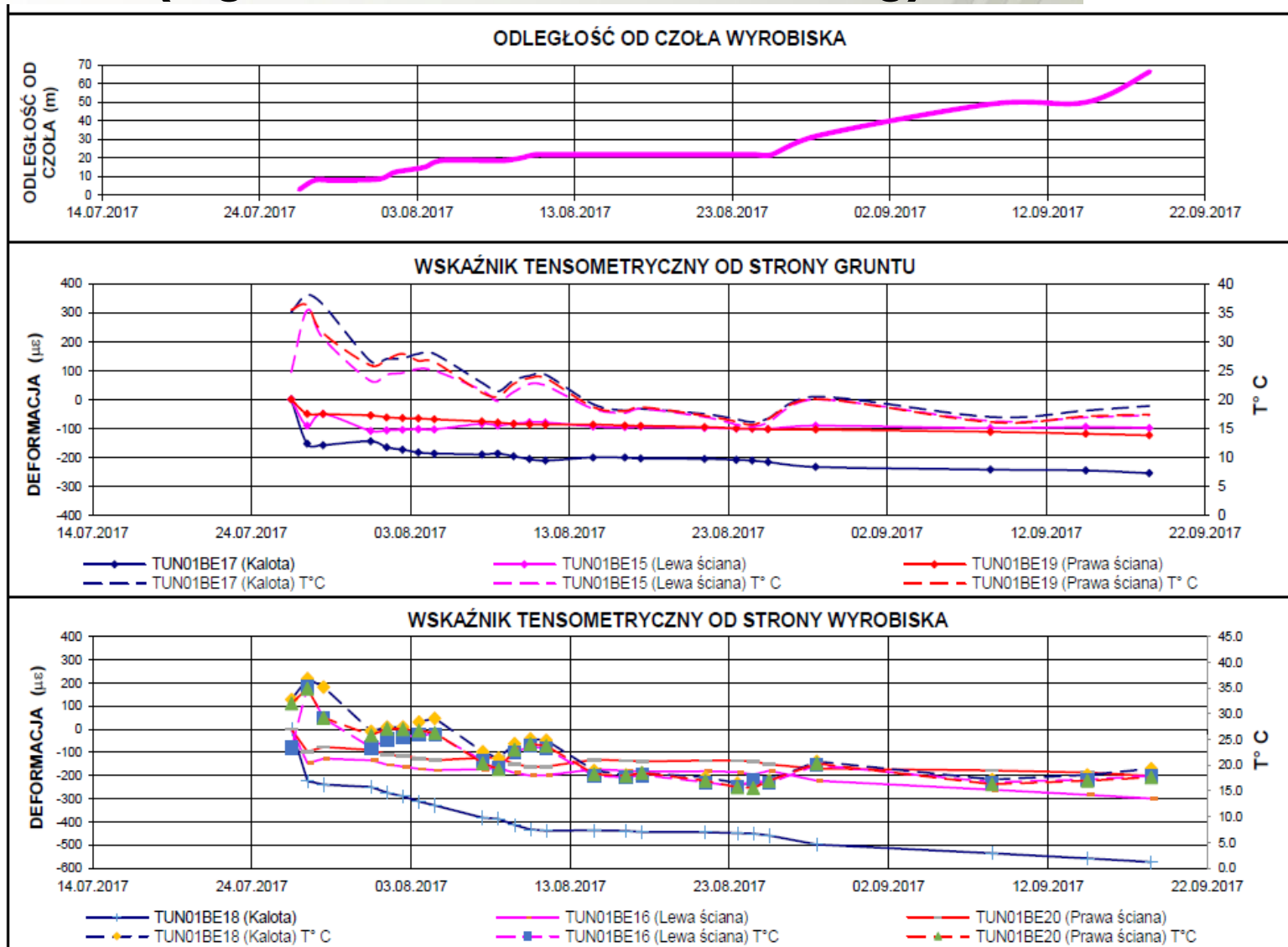


Analiza konwergencji i przemieszczeń w obudowie wstępnej tuneli

Z analizy wynika, że:

1. W tunelu prawym do wartości konwergencji wykazują się dużą zmiennością co wskazuje na nierównomierne zaciskanie wyrobiska. Wartości konwergencji nie przekraczały 6,3mm.
2. Wartości przemieszczeń pionowych poszczególnych punktów pomiarowych stopniowo stale wzrastają w miarę wzrostu głębokości tunelu. Maksymalne przemieszczenia pionowe wyniosły w prawym tunelu -7,7 mm, a w lewym -6,1 mm .
3. Przemieszczenia poziome poszczególnych punktów wykazują się dużą zmiennością, a największe wartości wyniosły -4,7 mm.
4. Przemieszczenia podłużne mają małe wartości .
5. **Dotychczas pomierzone: maksymalna konwergencja i przemieszczenia na wszystkich stanowiskach pomiarowych nie przekroczyły wartości dopuszczalnych (konwergencja 30mm, przemieszczenia 25mm).**

Wyniki pomiarów odkształceń w obudowie wstępnej – prawy tunel (wg. Astaldi – IMG monitoring)



Analiza wyników pomiarów obciążenia obudowy wstępnej

Z analizy wynikają następujące wnioski:

1. W tunelu prawym wartości sił rejestrowane na łukach stalowych (2 czujniki obciążenia) wynoszą 29,7kN na lewym ociosie i 5,1kN na prawym ociosie a w tunelu lewym odpowiednio 48,5kN na lewym ociosie i 102kN na prawym ociosie.
2. Z obliczeń analitycznych obudowy wynika, że graniczna wartość obciążenia obudowy wstępnej wynosi 200kN, czyli może ona przenieść bezpiecznie zarejestrowane obciążenia.
3. Odkształcenia obudowy wstępnej w tunelu prawym wahały się od 29,6 do $-324,9\mu\epsilon$. Przyjmując dla stali $E = 210\text{GPa}$ wartość naprężeń zawiera się w przedziale $6,22 \div -68,23\text{MPa}$.
4. W tunelu lewym odkształcenia wahały się od $-2,7$ do $-157,2\mu\epsilon$ czyli wartości naprężeń wynoszą od $-0,57$ do $-33,01\text{MPa}$ (max 50MPa).
5. **W żadnym stanowisku pomiarowym nie zostały przekroczone wartości dopuszczalne naprężeń, które dla obudowy wstępnej wynoszą 169MPa. Dla łuków stalowych obudowy wstępnej granica plastyczności 55MPa.**

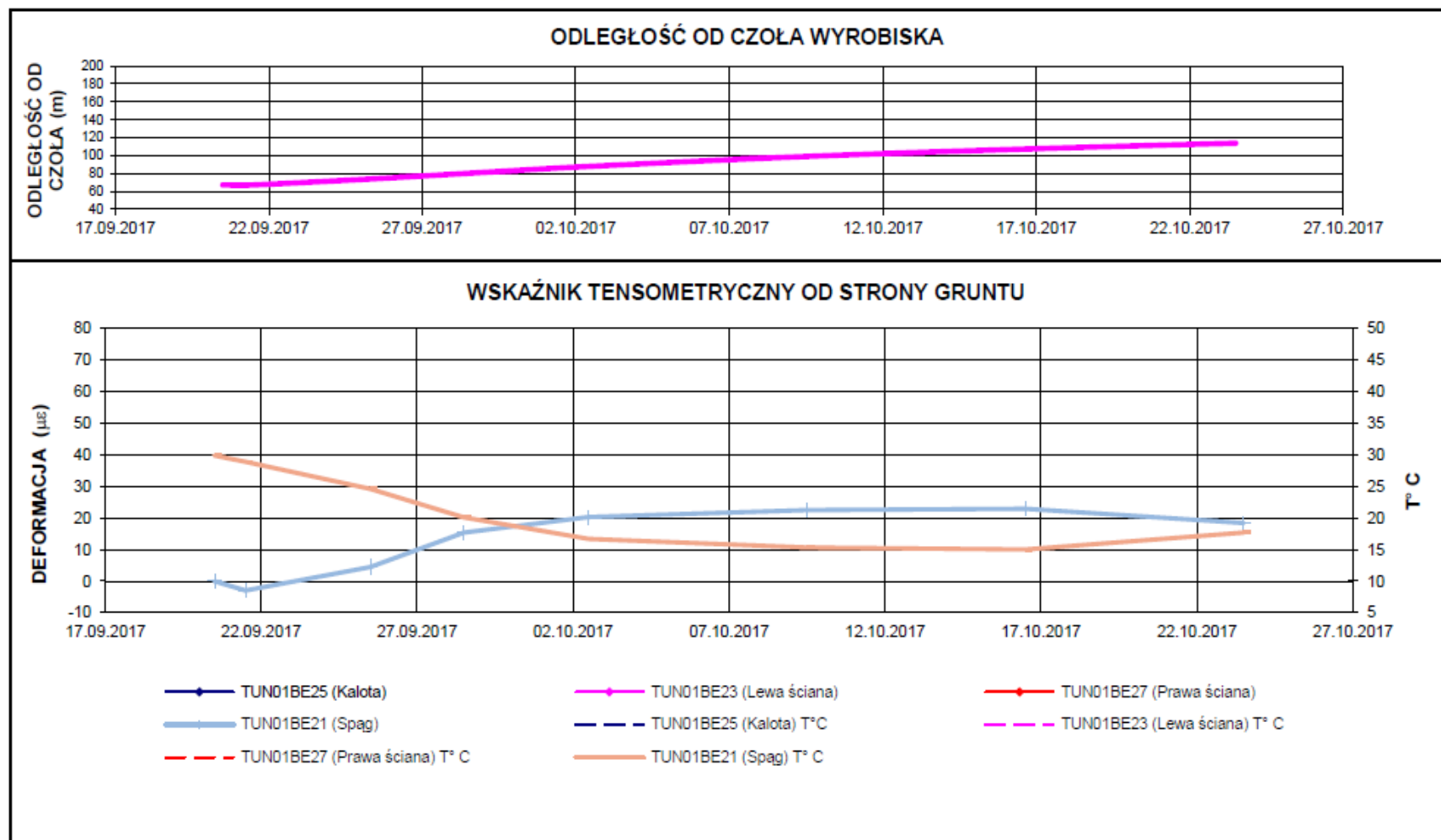


AGH

Wyniki pomiarów odkształceń obudowy ostatecznej – prawy tunel (wg. Astaldi – IMG monitoring)



WYDZIAŁ GÓRNICTWA
I GEOINŻYNIERII



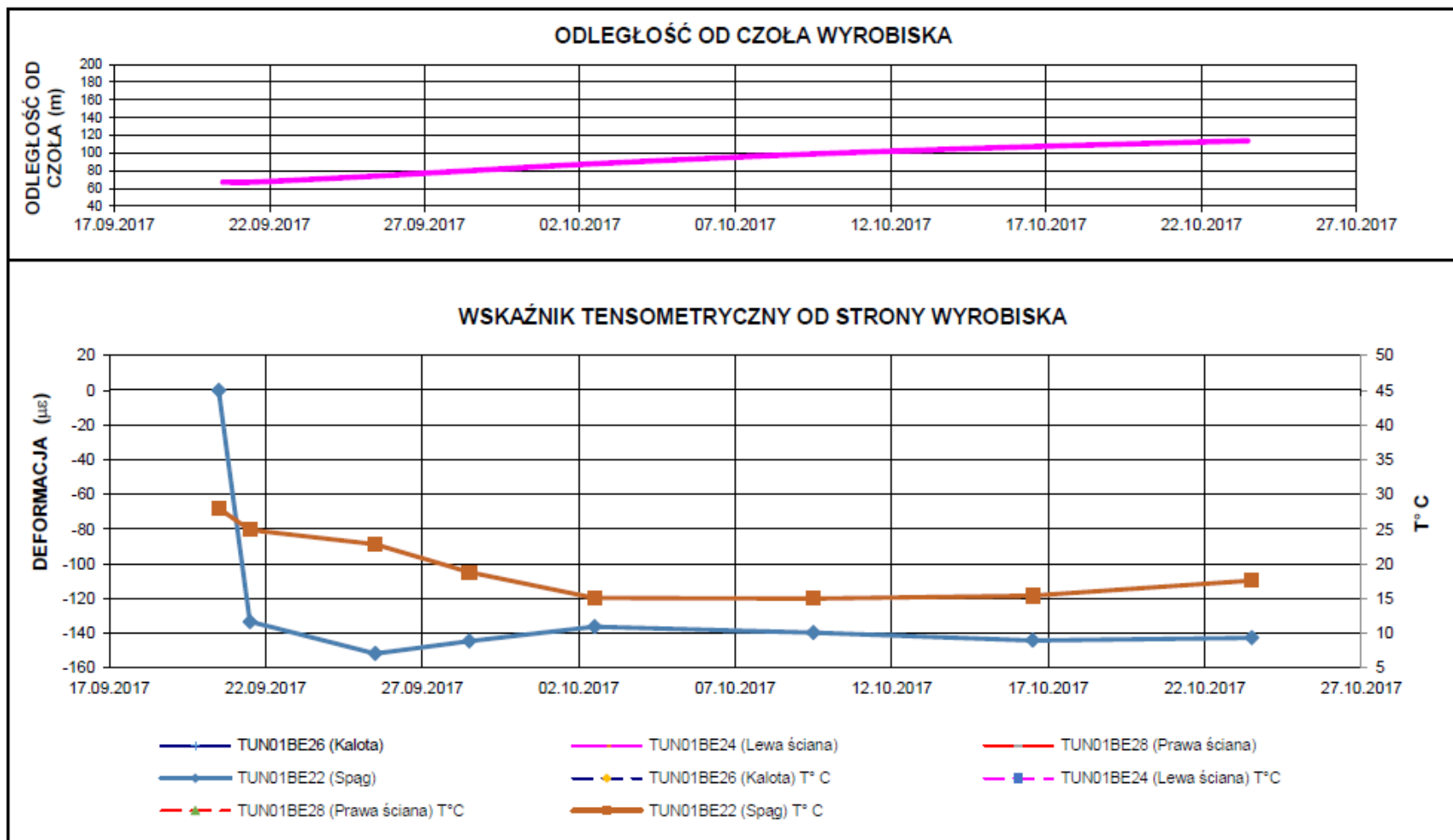


AGH

Wyniki pomiarów odkształceń obudowy ostatecznej – prawy tunel (wg. Astaldi – IMG monitoring)



WYDZIAŁ GÓRNICTWA
I GEOTECHNIKI



Analiza wyników pomiarów obciążenia obudowy ostatecznej

- 1. W tunelu prawym odkształcenia w obudowie ostatecznej wahały się w szerokich granicach od 0,7 aż do 30,0 $\mu\epsilon$ w zależności od miejsca założenia tensometrów. Przyjmując moduł Younga dla betonu równy 34,6 GPa, wartości naprężeń, zawierają się pomiędzy 0,03÷1,02 MPa. Pomimo, że są to naprężenia rozciągające, to jednak mogą być bezpiecznie przeniesione przez zastosowany beton.**
- 2. W tunelu lewym od strony tunelu prawego odkształcenia w betonie zawierały się pomiędzy 14,6÷41,20 $\mu\epsilon$, co daje odpowiednio naprężenia na poziomie -0,50÷1,40 MPa (wartości ujemne odnoszą się do naprężeń ściskających). Naprężenia te w bezpieczny sposób mogą zostać przeniesione przez zastosowany beton.**

Wziernikowanie długimi (15-20m) otworami badawczymi (wykonawca AMC).

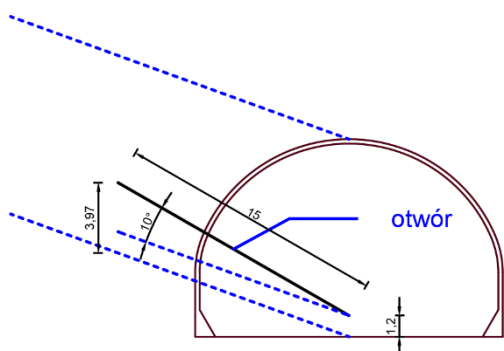


2m

14m

18m

Głębokość otworu



Bardzo trudno przejść z jednego typu obudowy na drugą przy zmianie war. geologicznych Rozpoznanie trasy tunelu wykonano tylko 14 otworami!. Dlatego niezbędne jest wykonanie długich 20m otworów z czoła przodka.

Dziękuję za uwagę

