



Wydział Inżynierii Lądowej
i Gospodarki Zasobami

Problematyka drażenia tuneli drogowych w warunkach fliszu karpackiego

prof. dr hab. inż. Marek Cała,
prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś,
dr inż. Agnieszka Stopkowicz,
AGH Kraków

V MIĘDZYNARODOWE FORUM TUNELOWE

Warszawa, 6-8 lutego 2023



Warunki geologiczno - inżynierskie

Geological Strength Index (GSI)		Surface conditions				
From the description of structure and surface conditions of the rock mass, pick an appropriate box in this chart. Estimate the average value of GSI from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI = 38.		Decreasing surface quality				
Structure		Very good Very rough and fresh unweathered surfaces	Good Rough, maybe slightly weathered or iron stained surfaces	Fair Smooth and/or moderately weathered and altered surfaces	Poor Slickensided or highly weathered surfaces or compact coatings with fillings of angular fragments	Very poor Slickensided and highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
 Intact/Massive – intact rock specimens or massive in-situ rock masses with very few widely spaced discontinuities		90			N/A	N/A
 Blocky – very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets		80				
 Very Blocky – interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets		70				
 Blocky/Disturbed – folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets		60	50	40		
 Disintegrated – poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces				30	20	10

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH

Chart modified and extended by V. Marinos from the P. Marinos & E. Hoek (2001) original one

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. **The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass.** Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION



TYPE I. Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless



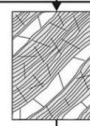
TYPE II. Undisturbed massive siltstone (stratification planes are imperceptible) with sporadic thin interlayers of sandstones



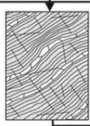
TYPE III. Moderately disturbed sandstones with thin films of interlayers of siltstone



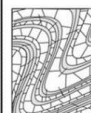
TYPE IV. Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts



TYPE V. Moderately disturbed siltstones with sandstone interlayers



TYPE VI. Moderately disturbed siltstones with sparse sandstone interlayers



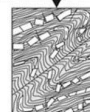
TYPE VII. Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extend



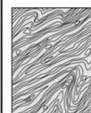
TYPE VIII. Strongly disturbed, folded rockmass, with siltstones and sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong



TYPE IX. Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces



TYPE X. Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure



TYPE XI. Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil

SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)		DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES				
VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered or oxydised surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments	VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings		
80	70	I	II	N/A	N/A	
60	50	III	IV	V	VI	N/A
N/A	N/A	N/A	VII	VIII	IX	X
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	XI

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

→ Means deformation after tectonic disturbance

Typy masywu fliszowego



Warstwy piaskowcowo - łupkowe,
średnio naruszone – Typ V



Sfałdowany uwarstwiony łupek, lokalnie z łupkiem
laminowanym i piaskowcem – Typ VI

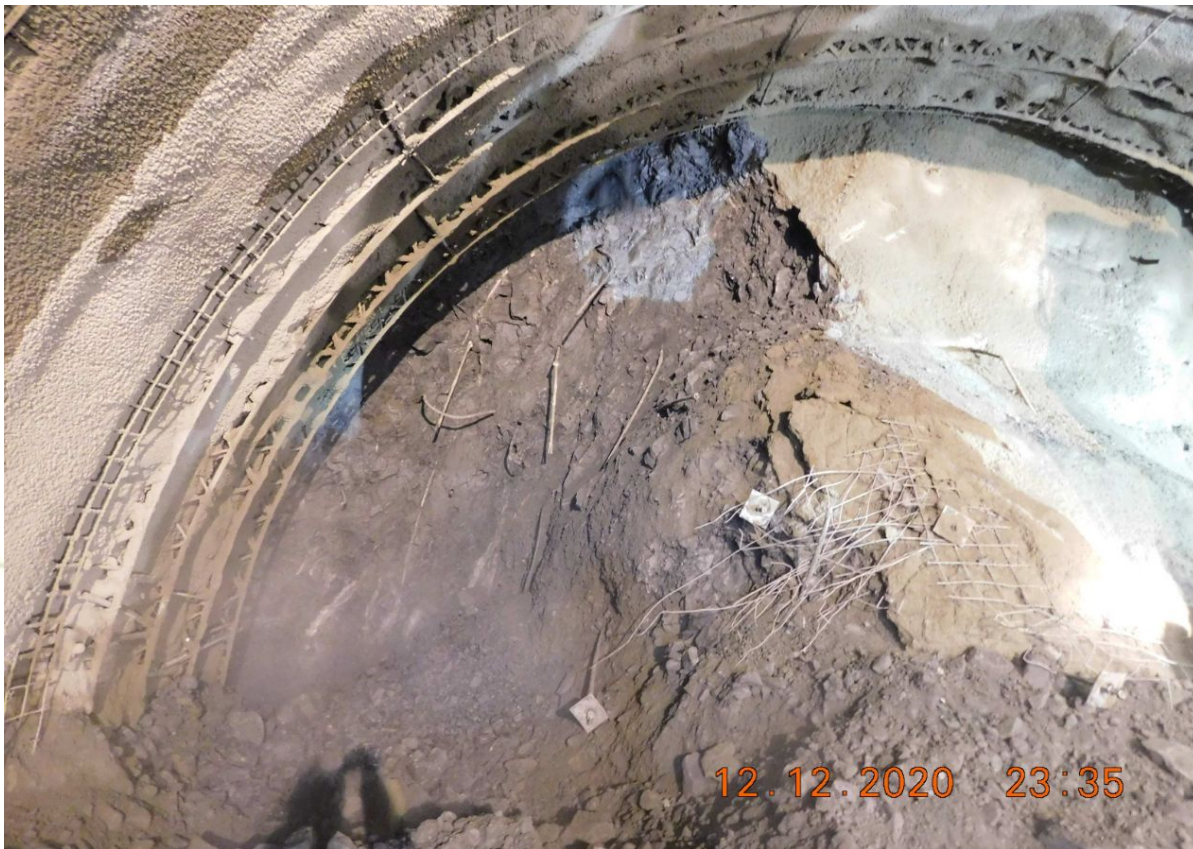


Sfałdowane rozdzielające się warstwy
łupkowe i piaskowcowe – TYP VIII



Intensywnie naruszony i skruszony łupek z
lokalnymi przewarstwieniami piaskowca – TYP X

Typ XI masywu fliszowego

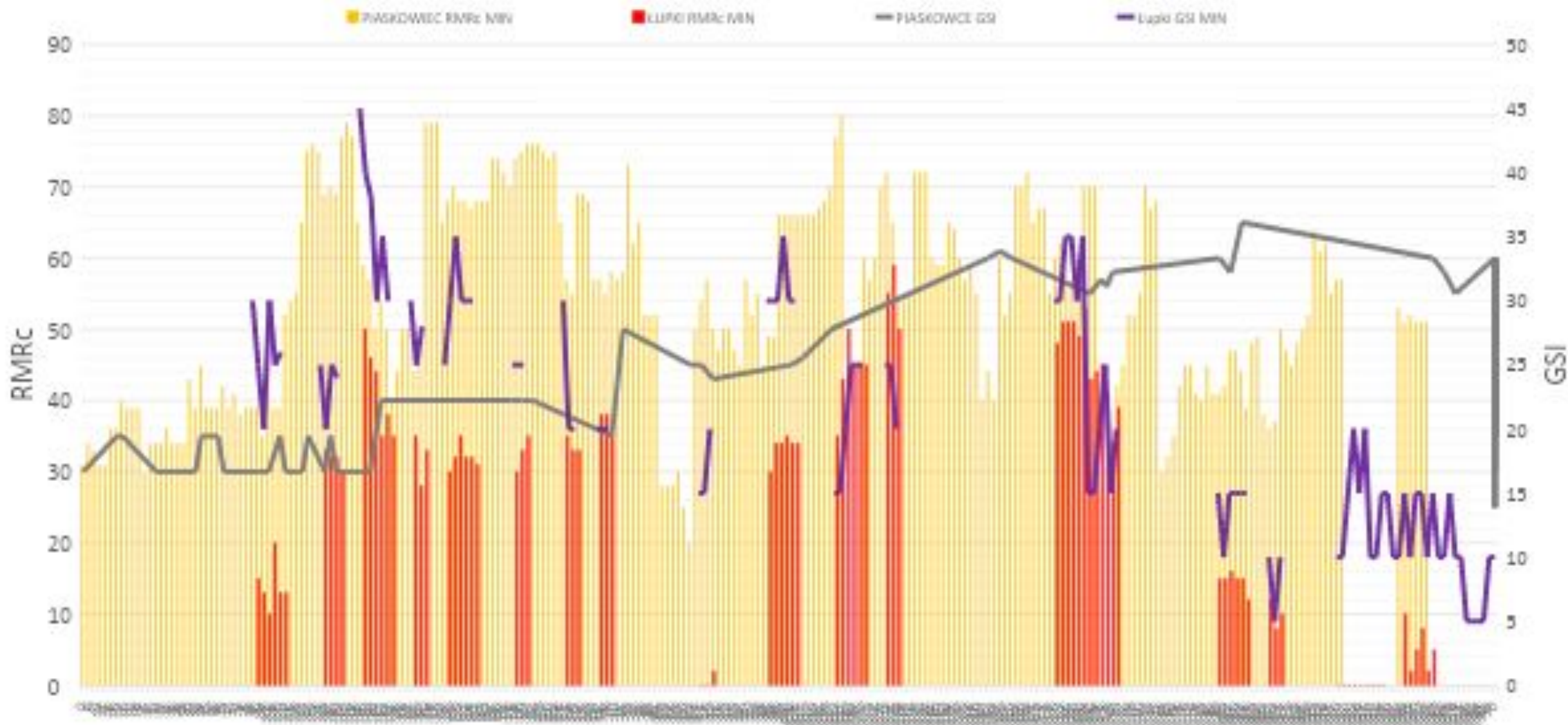


Typ XI – Łupki zwietrzałe/łupki naruszone tektonicznie/ośrodek gruntowy



WILiGZ

Warunki geologiczno - inżynierskie





WILiGZ

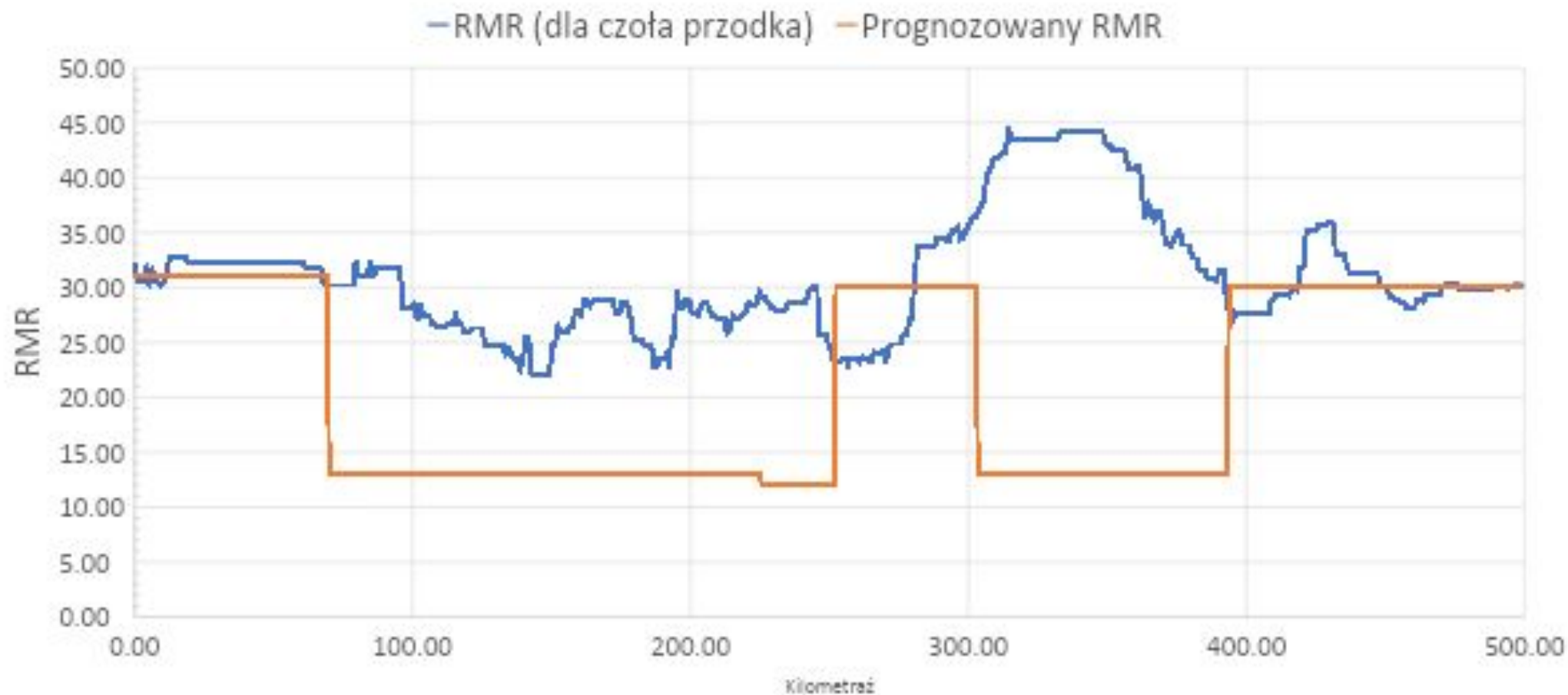
Warunki geologiczno - inżynierskie





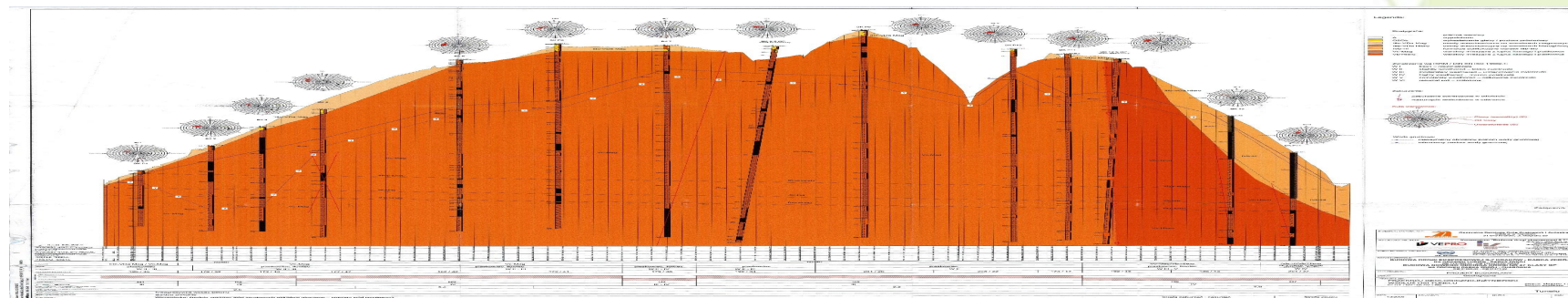
WILiGZ

Warunki geologiczno - inżynierskie

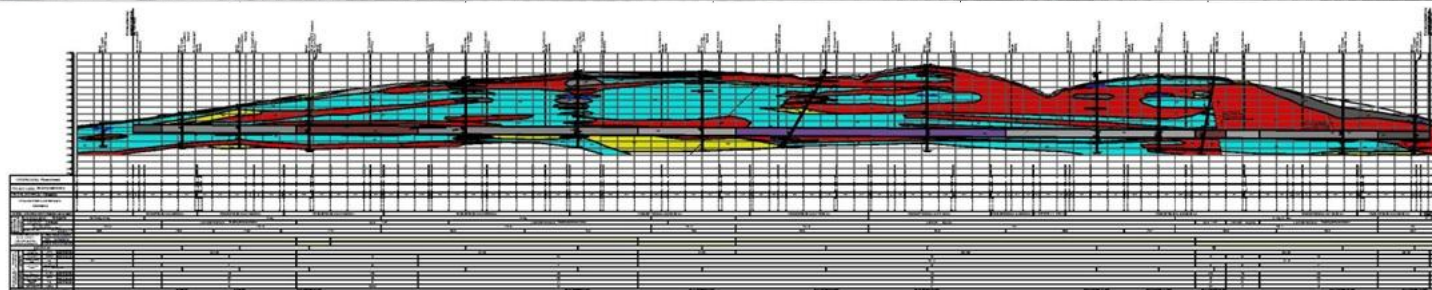


Charakterystyka masywu skalnego przed i po wykonaniu budowli podziemnej

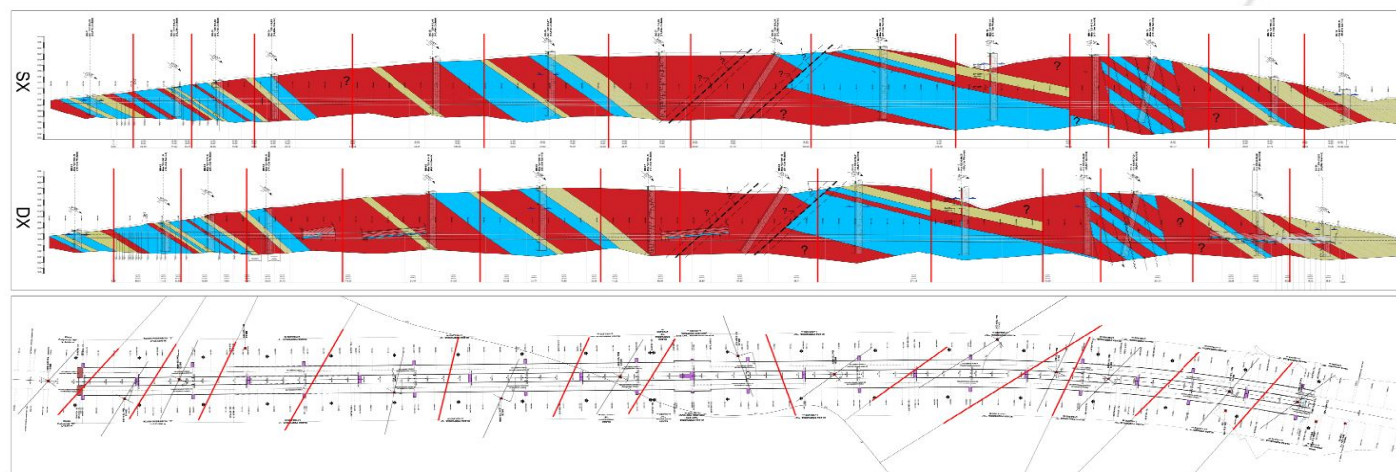
DGI



PW



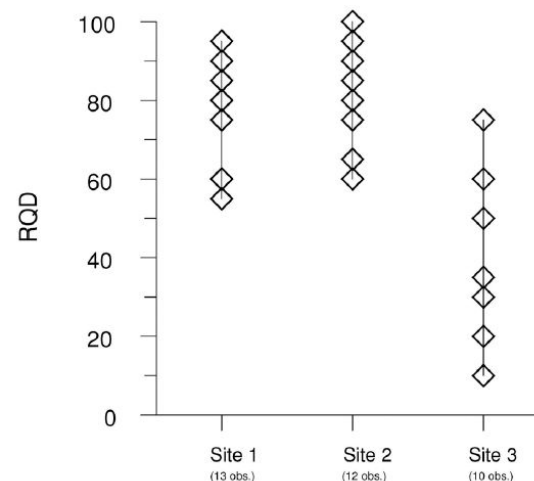
Reality



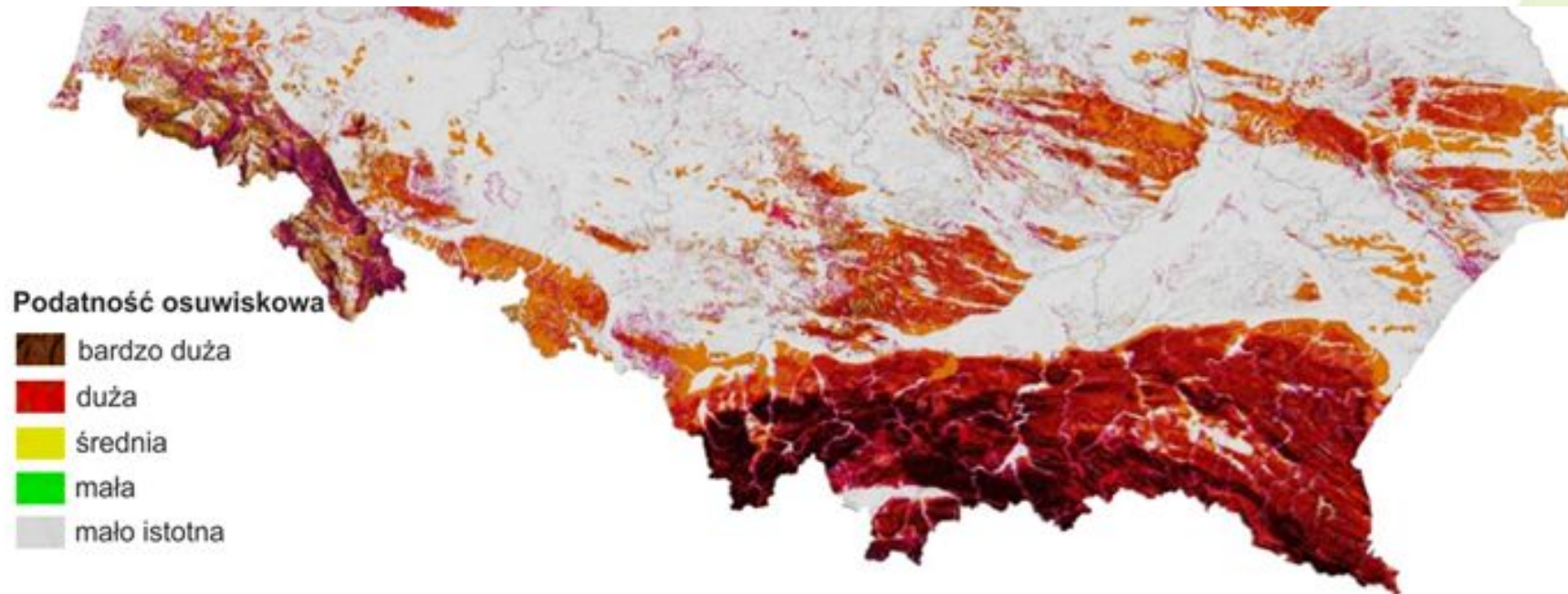
Skała czy grunt?

VIII	VIIIa	KR(L), KW(L) z domieszkami i przewarstwieniami
	VIIIb	KR(Pc), KW(Pc) z domieszkami i przewarstwieniami
	VIIIc	KR(L+Pc), KW(L+Pc) z domieszkami i przewarstwieniami

Gęstość objętościowa	Stan gruntu		Spójność			Efektywny kąt tarcia wewnętrznego na podstawie CPTU / Kąt tarcia wewnętrznego na podstawie badań laboratorium			Edometryczny moduł ścisłości			Moduł ścisłości w warunkach in situ			Wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu			Wytrzymałość na ścinanie jednoosiowe w stanie powietrzno-suchym
ρ [Mg/m ³]	Charakterystyczny (średni) stopień zagęszczenia ID	Charakterystyczny (średni) stopień plastyczności IL	cu [kPa]			ϕ' / ϕ_u [°]			Mo [MPa]			M _{CPTU}			S _u [kPa]			[MPa]
	Sondowania CPTU ^[1] / Sondowania dynamiczne ^[1]	Sondowania CPTU ^[2] / Badania laboratoryjne ^[2]	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.	min	max	śred.	
			Badania laboratoryjne			Sondowania CPTU ^[1] / Badania laboratoryjne ^[2]			Badania laboratoryjne			Sondowania CPTU			Sondowania CPTU			Badania laboratoryjne
2,22-2,47	0,81 ^[1]	-	-	-	14,4	-	-	30,7 ^[2]	-	-	-	38,5	172,0	108,9	-	-	-	8,2-18,2
grunty rodzime wykształcone w postaci zwietrzelin i rumoszu łupka z domieszkami i przewarstwieniami, okruchy ostrokrawędziste, ~1 - 6 cm.																		
2,28-2,70	0,70 ^[1]	0,18 ^[2] dla spoiwa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,9	146,3	95,5	-	-	-	39,4-114,8
grunty rodzime wykształcone w postaci zwietrzelin i rumoszu piaskowca z domieszkami i przewarstwieniami, okruchy ostrokrawędziste, ~1 - 5 cm.																		
2,53-2,64	0,68 ^[1]	0,02 ^[2] dla spoiwa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	101,7	211,1	156,4	-	-	-	20,0-21,3
grunty rodzime wykształcone w postaci zwietrzelin i rumoszu piaskowca i łupka z domieszkami i przewarstwieniami, okruchy ostrokrawędziste i obtoczone, ~1 -8 cm																		



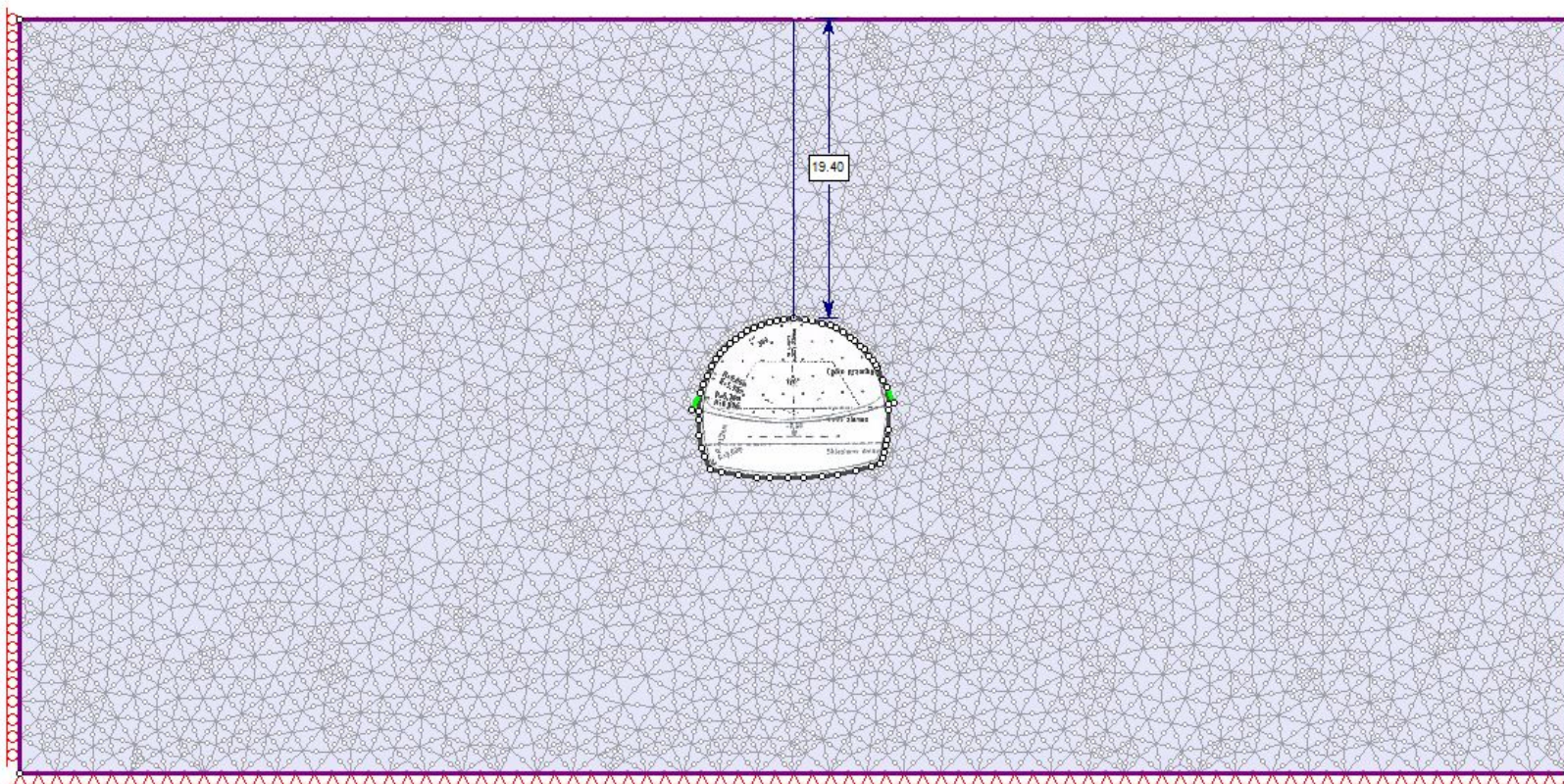
Warunki geologiczne

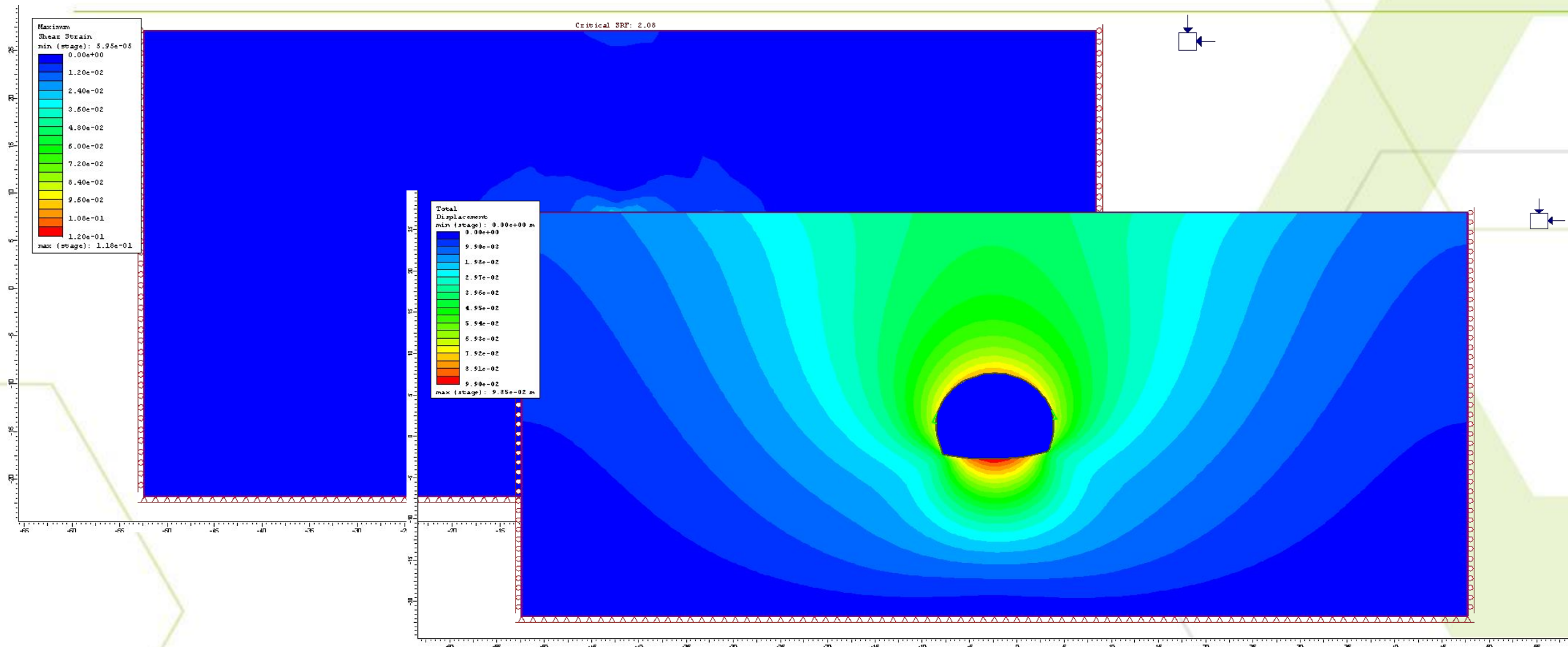


Wojciechowski i in., 2015

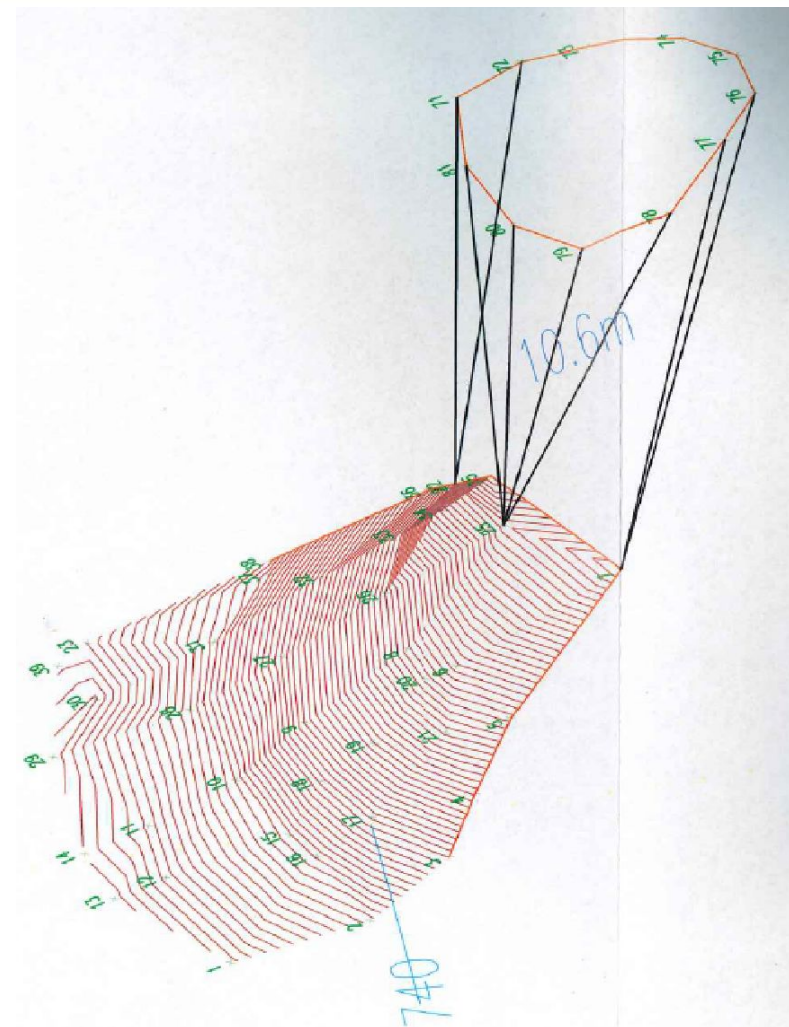
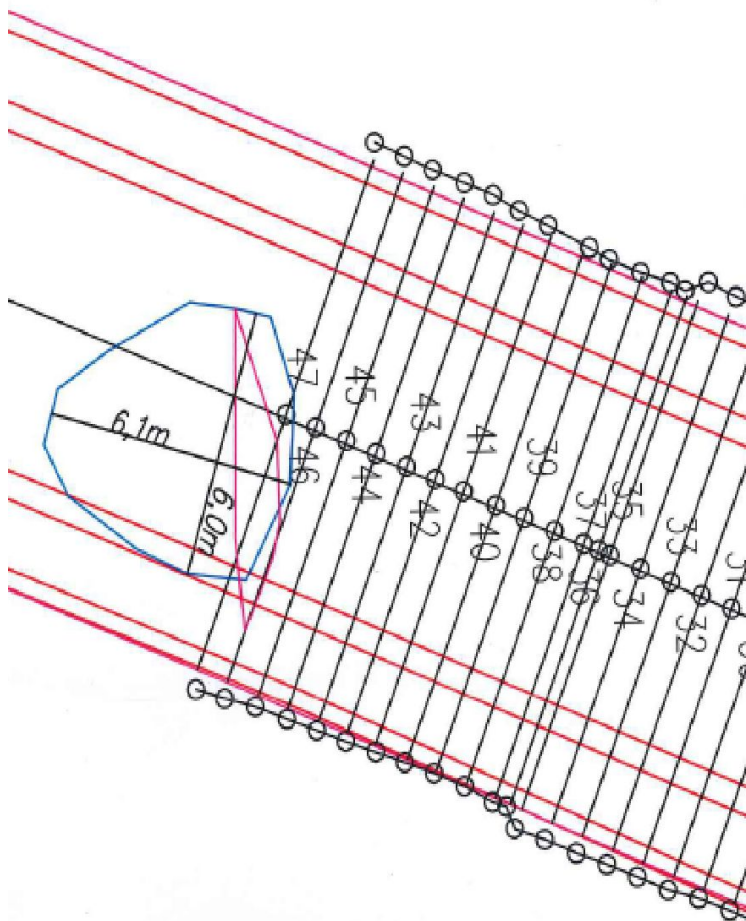
<https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/sopo-aktualnosci/sopo-aktualnosci/9855-osuwiska-ciagle-zagrozenie.html>

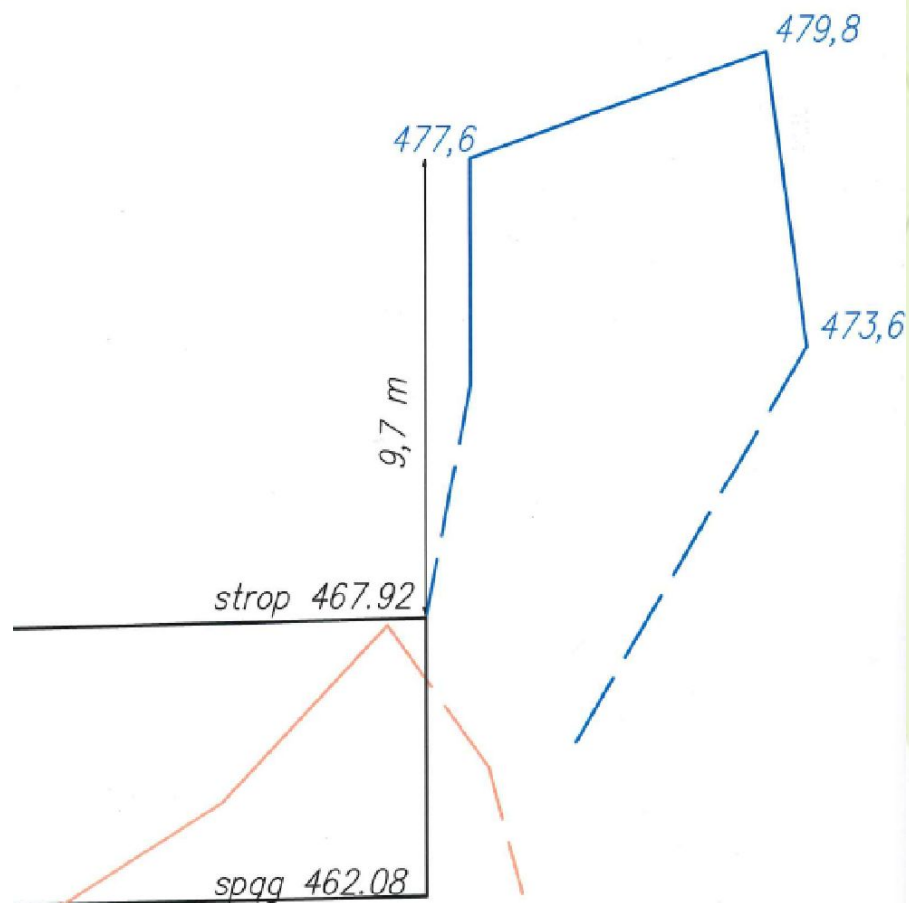
Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m³)	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Use Residual Young's Modulus	Failure Criterion	Material Type	Peak Tensile Strength (kPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (kPa)	Residual Tensile Strength (kPa)	Residual Friction Angle (degrees)	Residual Cohesion (kPa)	Dilation Angle (degrees)	Material Behaviour	Porosity Value	Static Water Mode
Masyw skalny		Field Stress and Body Force	23	Isotropic	0.3	60000	No	Mohr-Coulomb	Plastic	0	21.06	268	0	21.06	268	0	Drained	0.5	Dry





Obwał w dniu 15.01.2021





Zawał w dniu 25 maja 2021 (Roof fall with support failure)

Nadkład – 22.5 m

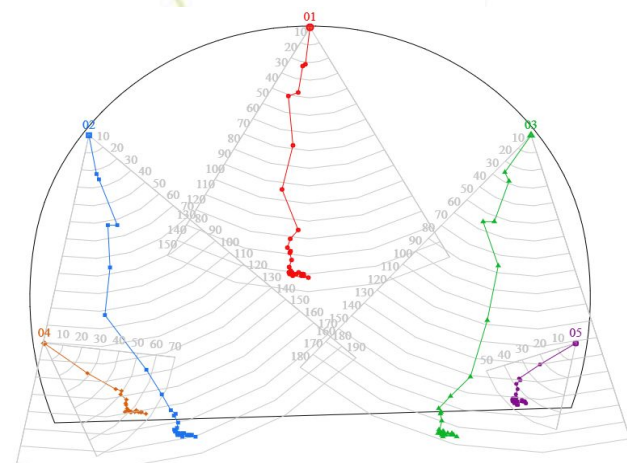
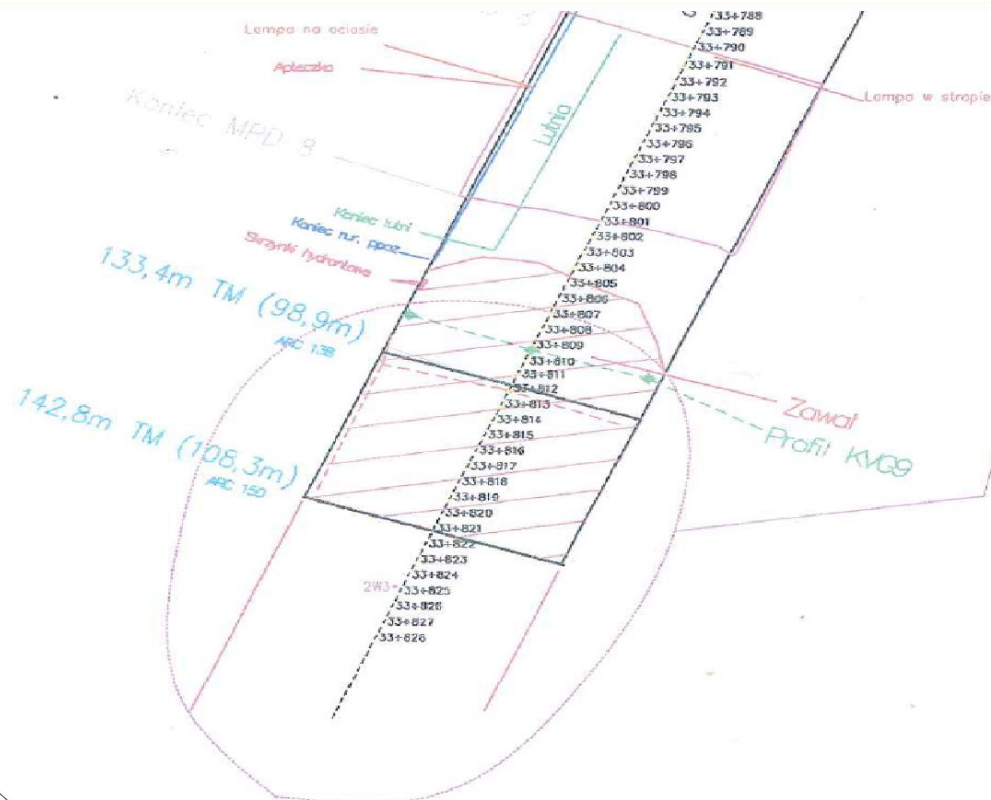
Powierzchnia:

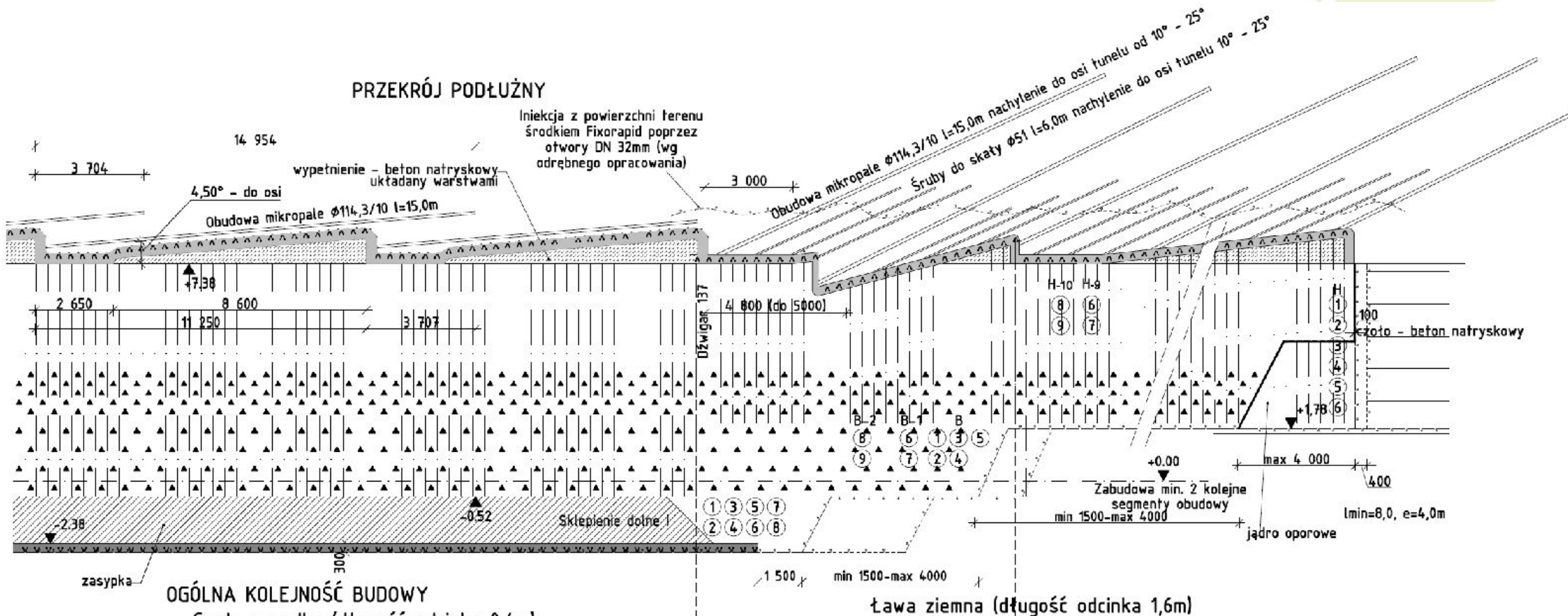
19.5 m x 36 m

Dźwigary: 138-150

około 11 m x 16 m

(ok. 10 m zniszczonej
obudowy)





Portale

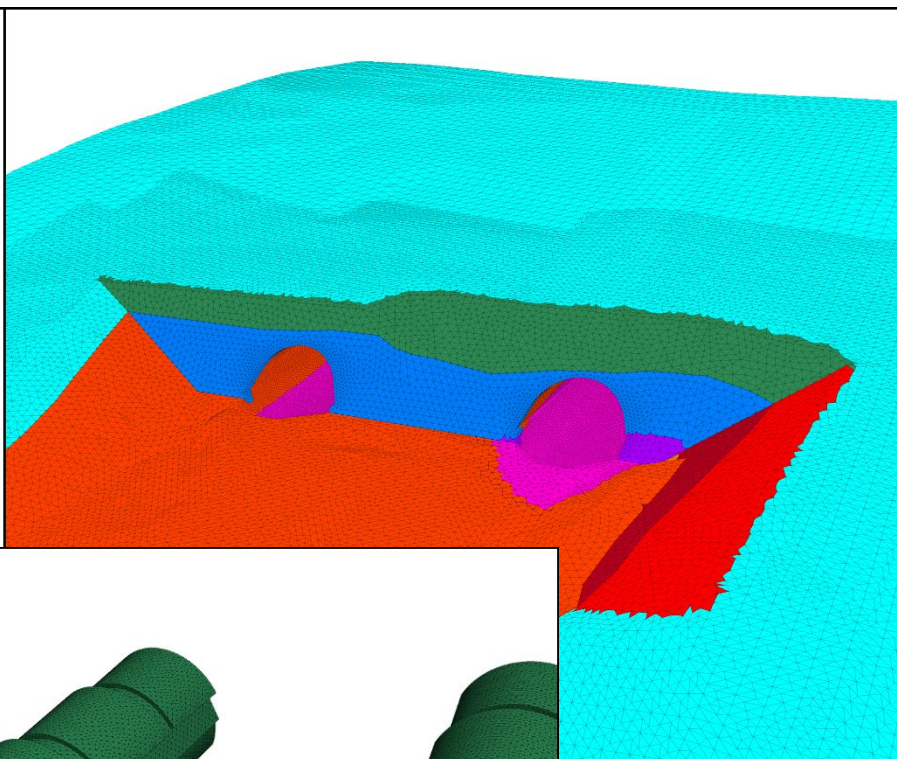
FLAC3D 7.00

©2021 Itasca Consulting Group, Inc.

Zone Group Surfaces

Group Slot: Any

- Default=II
- Default=II,st1=mainface
- Default=II,st1=rightface
- Default=III
- Default=III,st1=mainface
- Default=III,st1=rightface
- Default=IV
- Default=IV,st1=mainface
- Default=IV,st1=rightface

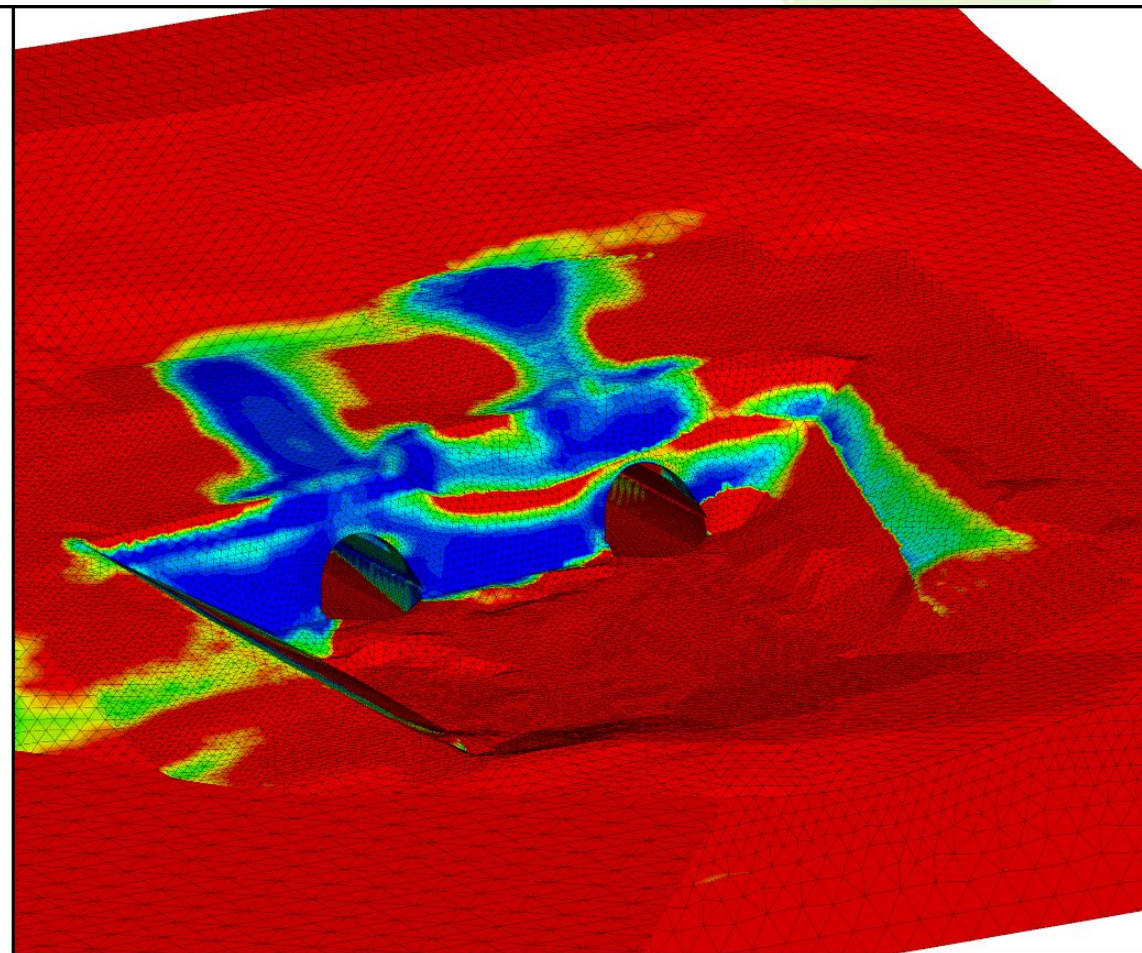


FLAC3D 7.00

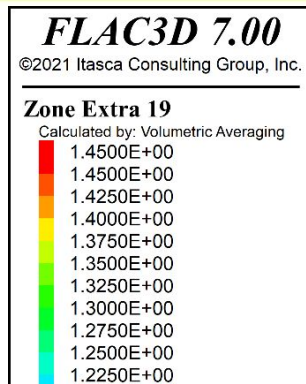
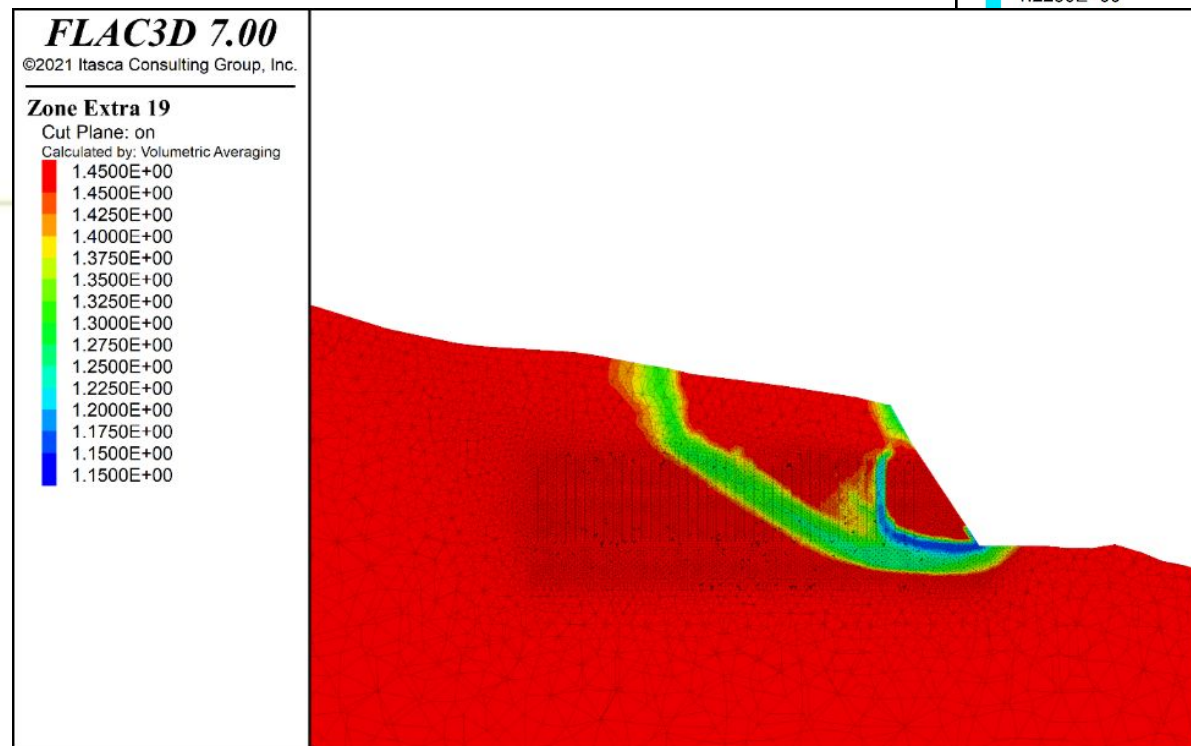
©2021 Itasca Consulting Group, Inc.

Shell Group of Element

- Default=Shell 1000
- Default=Shell 2000



Portale



FLAC3D 7.00

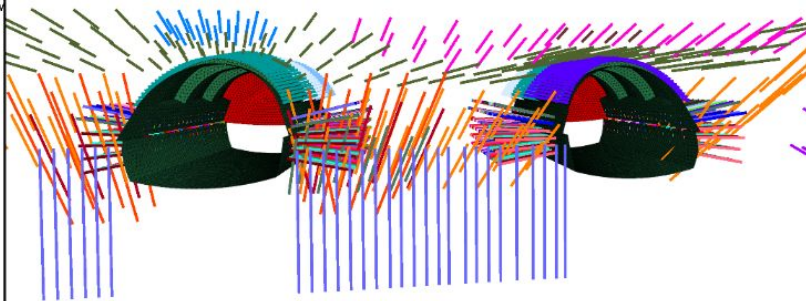
©2021 Itasca Consulting Group, Inc.

Shell Group of Element

Default=Shell 1000
Default=Shell 2000

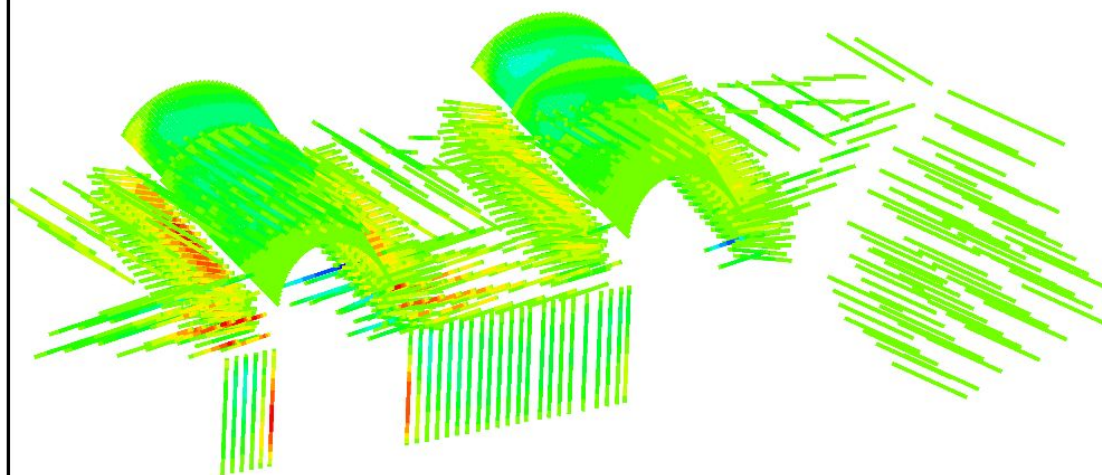
Pile Group of Element

Layer=0, Geometry=blekitna_gw
Layer=0, Geometry=bokzbrojenie
Layer=0, Geometry=brazowa_nowa_gw
Layer=0, Geometry=czerwona_gw
Layer=0, Geometry=kotwy_face21_8
Layer=0, Geometry=kotwy_face22_8
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_1
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_2
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_3
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_4
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_5
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_6
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_7
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_8
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_9
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_10
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_11
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_12
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_13
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_14
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_15
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_16
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_17
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_18
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_19
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_20
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_21
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_22
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_23
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_24
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_25
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_26
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_27
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_28
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_29
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_30
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_31
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_32
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_33



7.00

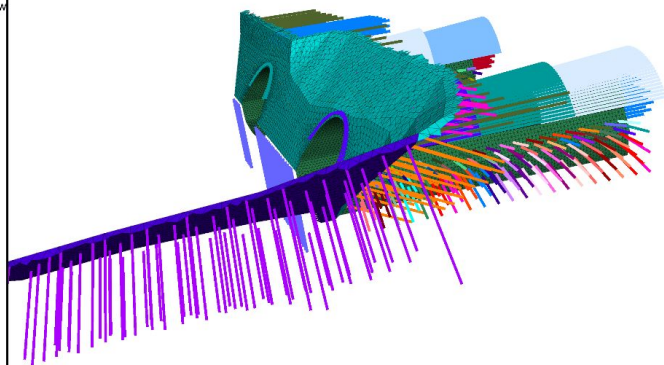
Group, Inc.



Default=Shell 1
Default=Shell 1000
Default=Shell 2000

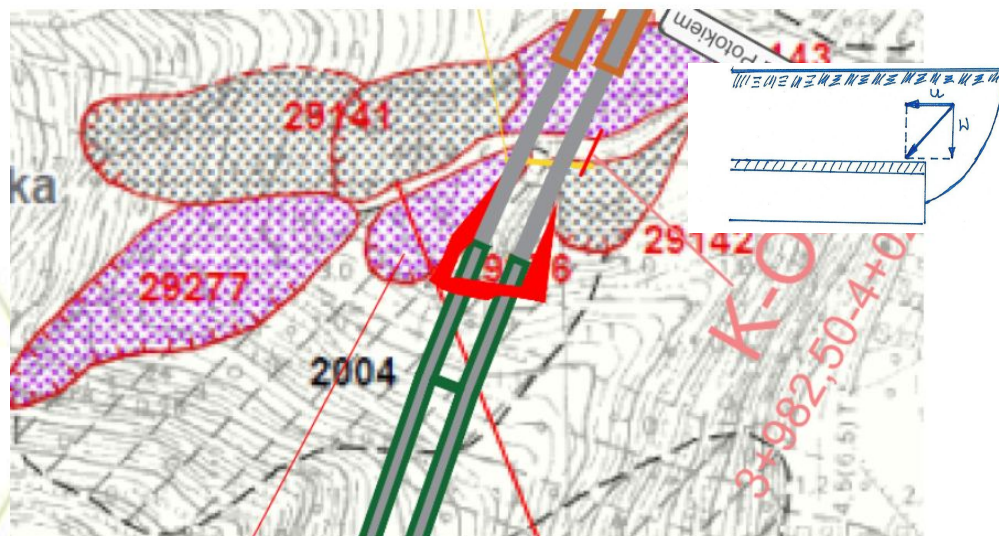
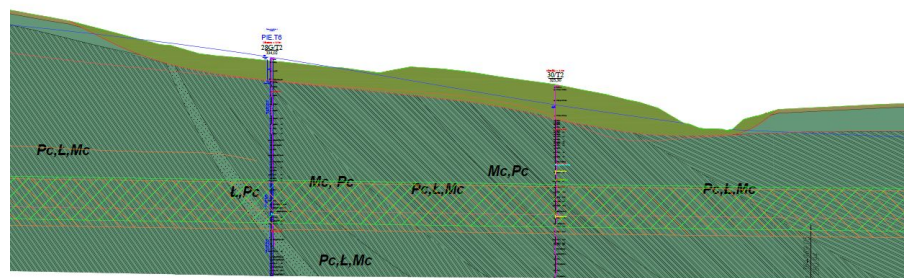
Pile Group of Element

Layer=0, Geometry=blekitna_gw
Layer=0, Geometry=bokzbrojenie
Layer=0, Geometry=brazowa_nowa_gw
Layer=0, Geometry=czerwona_gw
Layer=0, Geometry=kotwy_face21_8
Layer=0, Geometry=kotwy_face22_8
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_1
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_2
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_3
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_4
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_5
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_6
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_7
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_8
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_9
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_10
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_11
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_12
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_13
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_14
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_15
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_16
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_17
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_18
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_19
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_20
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_21
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_22
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_23
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_24
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_25
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_26
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_27
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_28
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_29
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_30
Layer=0, Geometry=kotwy_kal_21_31



Propozycja uzupełnienia klasyfikacji GSI

Osuwisko



A- cienko warstwisty, słaby piaskowiec.
Efekt powłok gliniastych w płaszczyszach
warstwienia został zmniejszony
przez ograniczenia masywa skalnego.

B- piaskowce z cieniaki
przewarstwieniem piaskowca
drobnziarnistego

C- piaskowiec i piaskowiec
drobnziarnisty w podobnych
proporcjach

D- piaskowiec drobnziarnisty
lub łupek ilasty z warstwiami
piaskowca

E- słaby piaskowiec drobnziarnisty
lub łupek gliniany z warstwiami
piaskowca

F- tektonicznie zdeformowany, intensywnie pofalowany
i pocięty uskokiemi. Łupki gliniane lub piaskowce
drobnziarniste z polami myli i zdeformowanymi
warstwiami piaskowca formującymi się chaotycznie.

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

H-tektonicznie zaburzony łupek ilasty lub gliniany
formujący się w chaotycznej strukturze z wkładkami gliny;
cienkie warstwy piaskowca zostały zmienione w małe
kawalki skalne.

Geologiczny wskaźniki jakości dla fliszu (GSI)

Struktura		Jakość powierzchni spiekania						
		Bardzo dobre (bardzo chropowate, nie zwietrzały powierzchnie)	Dobre (Chropowate, o nieznacznej szerokości powierzchni, adwano korozji powierzchni)	Średnie (Gładkie, mniej zwietrzały lub przedzielone)	Słaby (Wypłaskane powierzchnie bardzo zwietrzałe wypchno koncentrycznymi fragmentami skał)	Bardzo słaby (Wypłaskane powierzchnie powierzchni z powłoką lśniącą lub wypiętymi)		
Spadek jakości powierzchni →		70	60	50	40	30	20	10
↓ Spadek zbliżeniowy kawałków skały ↓		N/A	N/A					1

→ : Oznacza deformację powstałą po ruchach tektonicznych

a)

Prognozowane wskaźniki GSI dla struktury F₁

Struktura F_1

Drażenie w strefie aktywnego osuwiska



Strefa zdeintegrowana składająca się z mieszaniny łupków ilastych oraz głęboko zwietrzałych (w_5 , w_4) bloków i okruszków skał: mułowców i piaskowców rozłożonych chaotycznie

Szczeliny powstałe na skutek przemieszczania się materiału skalnego

Powierzchnia (powierzchnia odkucia)	poślizgu
--	----------

b)



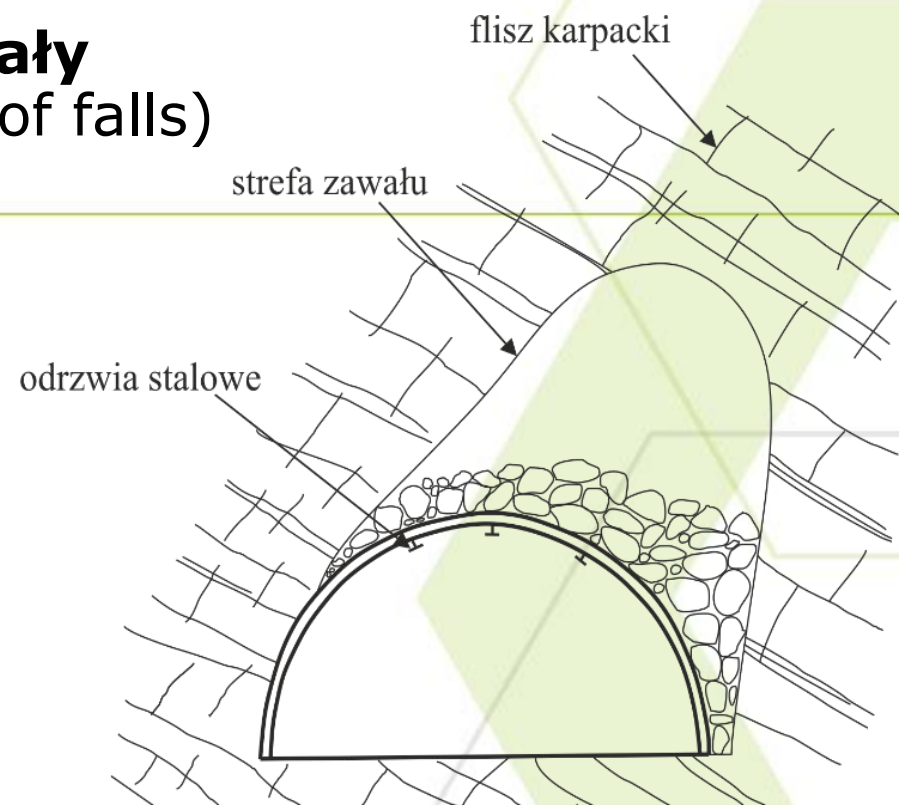
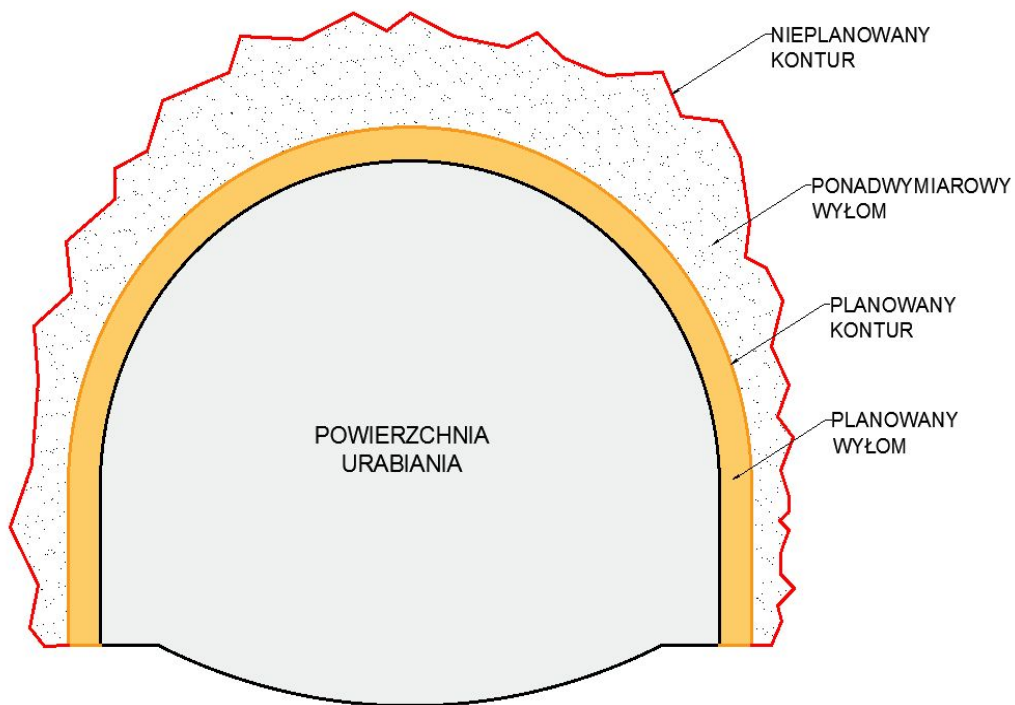
Nadwyłomy (Overexcavations)



Nadwyłom, czy też strefa nadwyłomu jest to wielkość która **reprezentuje strefę poza minimalnym konturem projektowanego tunelu w której elementy skały w postaci bloków lub płyt skalnych odrywają się od skały macierzystej.**

Jest to miara różnicy między „zaprojektowanym kształtem tunelu” a „wykonanym kształtem tunelu” (Verma i in., 2016).

Nadwyłomy i Obwały (Overexcavations and roof falls)

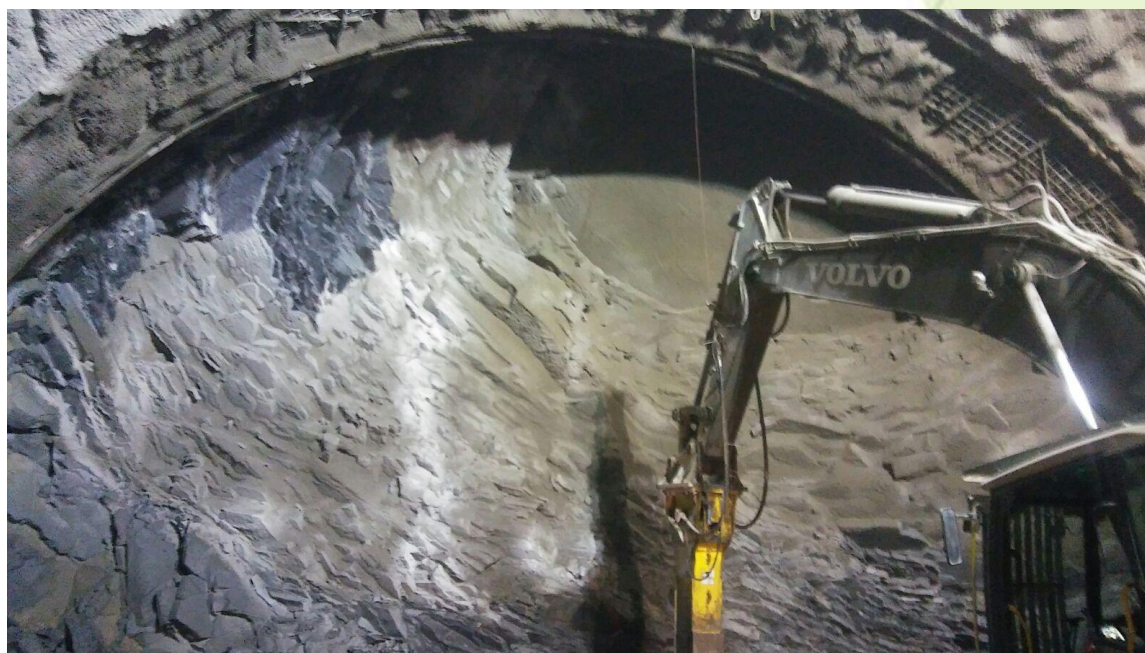


Obwał stropu: Sztolnia w Świnnej Porębie

Podczas drążenia kaloty o szerokości 8.5m w wyłomie wystąpił niesymetryczny obwał stropu prostopadle do nachylenia warstw o wysokości około 7 m (90 % łupki ilasty).

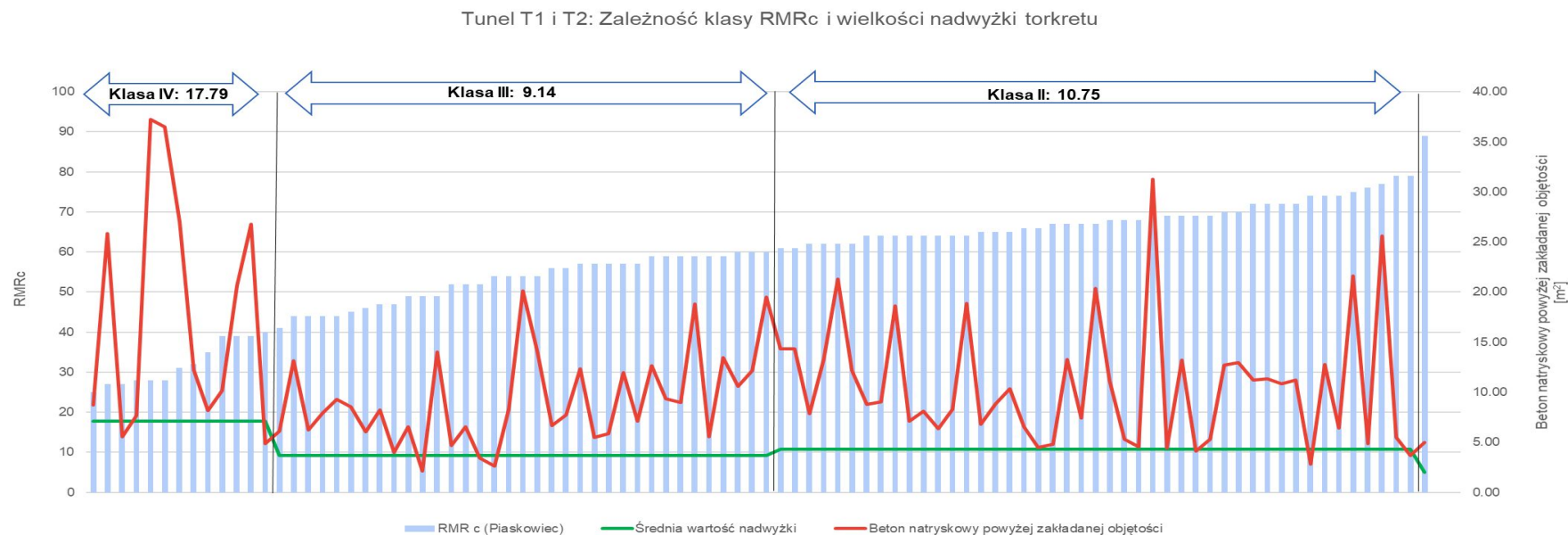
Nadwyłomy i Obwały



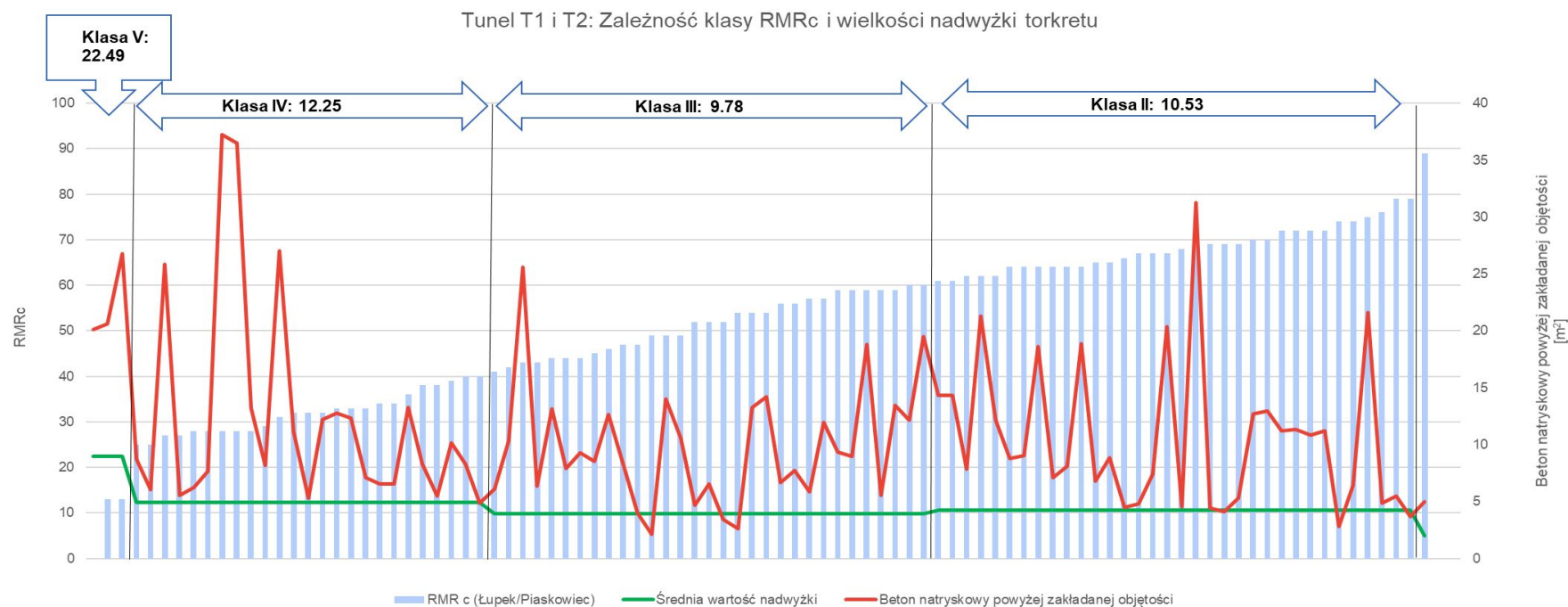




Warstwy piaskowcowo - łupkowe,
Średnio naruszone – Typ V

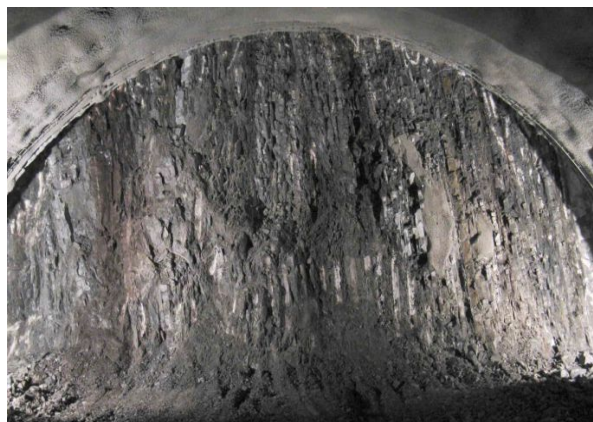
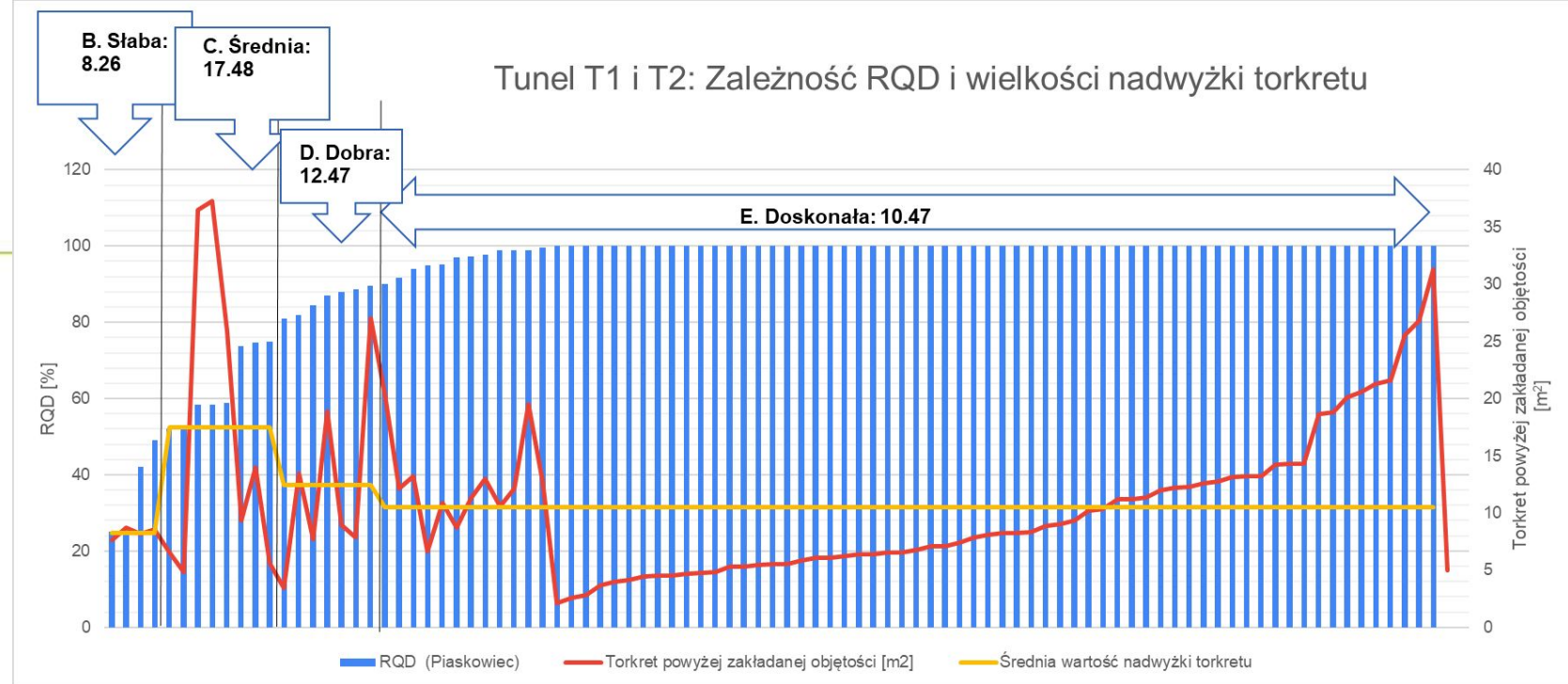


Intensywnie naruszony i
skruszony łupek z lokalnymi
przewarstwieniami piaskowca –
TYP X

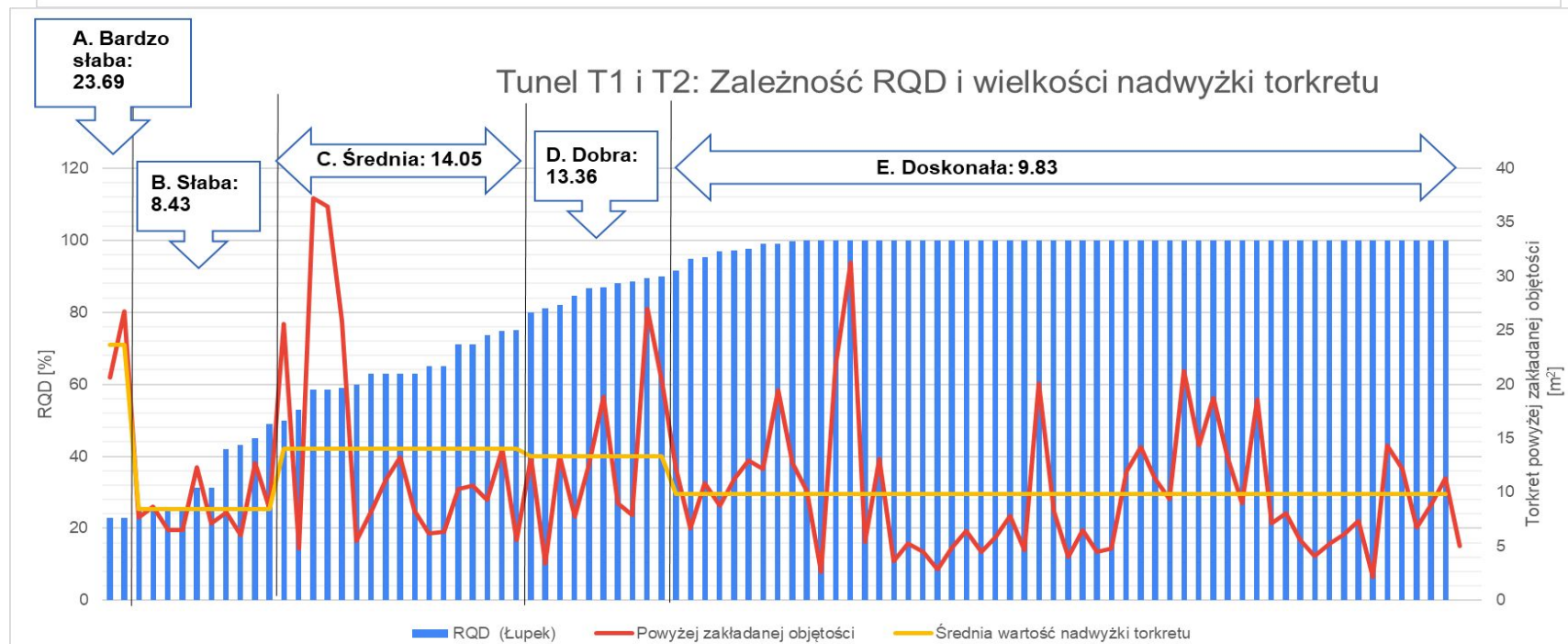




Warstwy piaskowcowo - łupkowe,
Średnio naruszone – Typ V

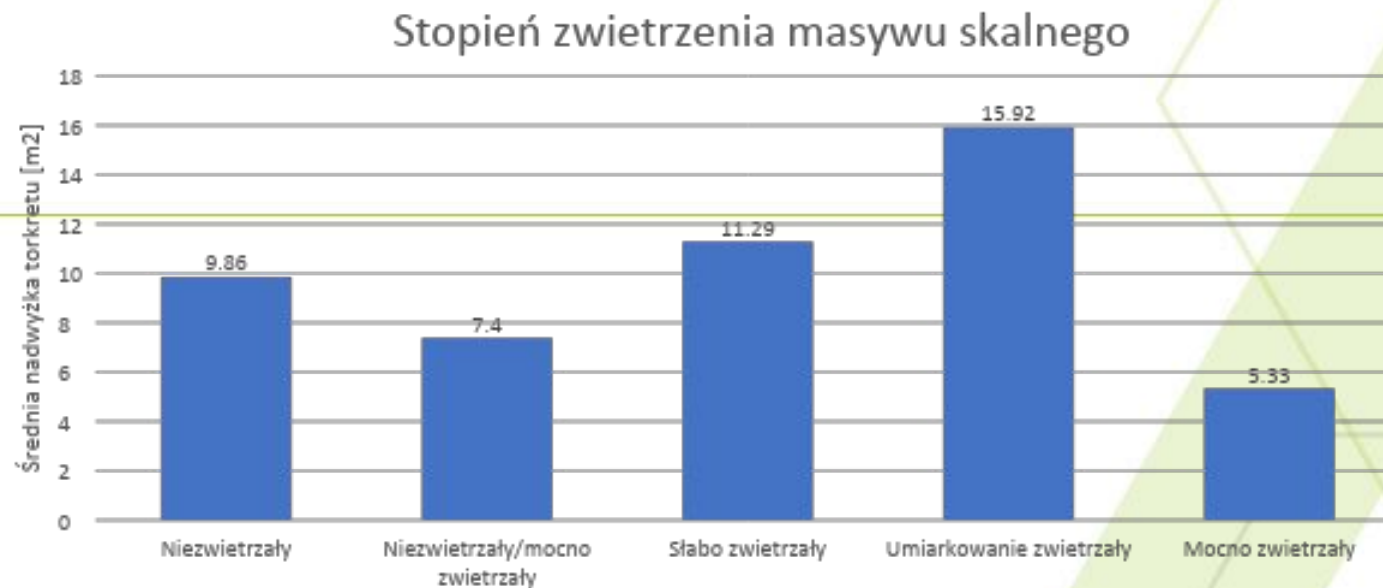


Intensywnie naruszony i
skruszony łupek z lokalnymi
przewarstwieniami piaskowca –
TYP X

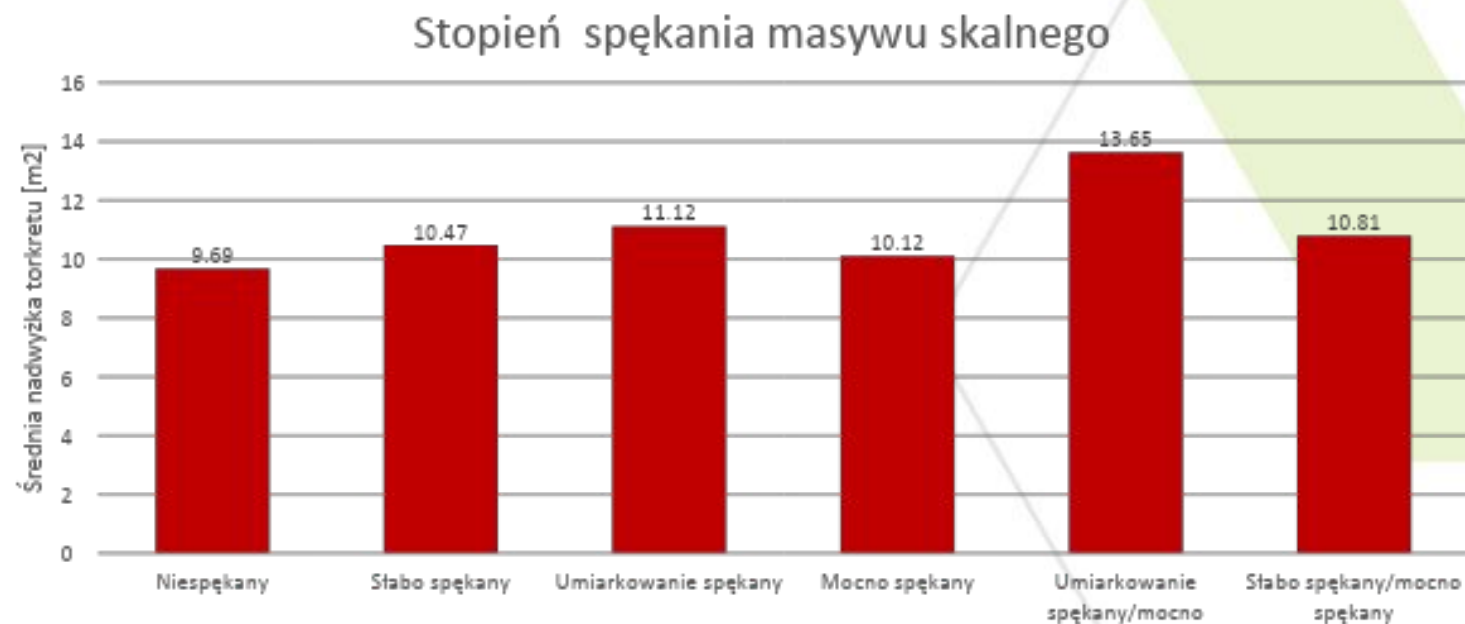




Warstwy piaskowcowo - łupkowe,
Średnio naruszone – Typ V



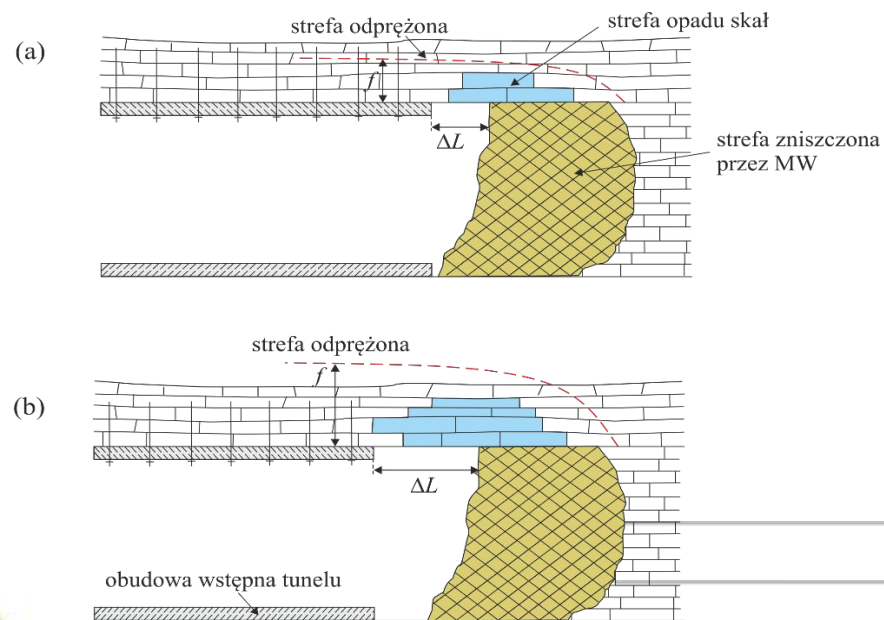
Intensywnie naruszony i
skruszony łupek z lokalnymi
przewarstwieniami piaskowca –
TYP X





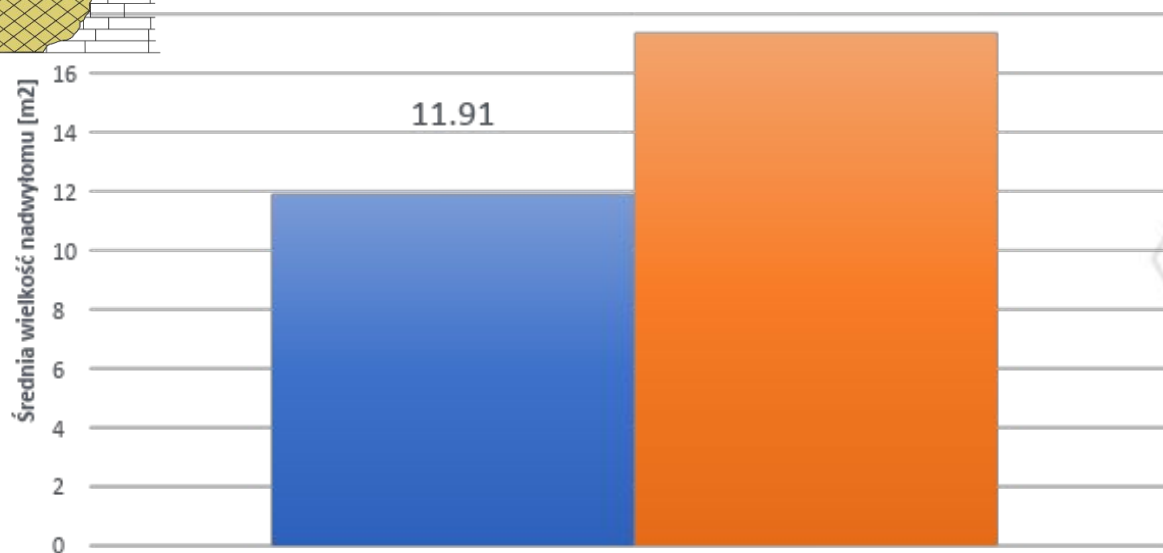
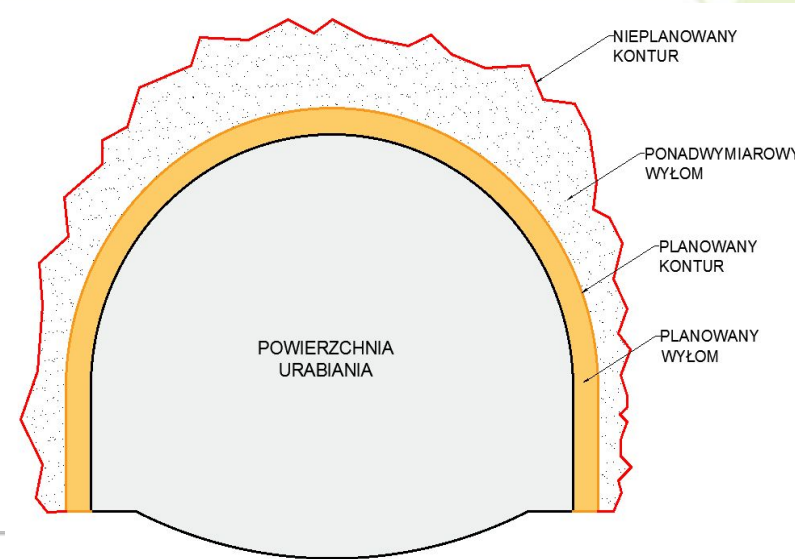
WILiGZ

Nadwyłomy (Overexcavations)



Strefy zniszczenia po strzelaniu materiałami wybuchowymi

Metoda urabiania



- Duża zmienność warunków geologiczno-inżynierskich
- Uwarunkowania hydrogeologiczne, zmienne, nieciągłe poziomy wodonośne
- Wpływ procesów osuwiskowych
- Podatność na powstawanie obwałów, zawałów
- Podatność na powstawanie nadwyłomów
- I inne...

Dziękuję za uwagę