



Zakład Górnictwa

Zamawiający:

Zamek Książ w Wałbrzychu Sp. z o. o.
z siedzibą 58-306 Wałbrzych,
ul. Piastów Śląskich 1

Zamówienie: *U/0180/203/2017*

Ocena dopuszczalności wykonania dwóch
szybów z poziomu Tarasu Północnego Zamku Książ
do poziomu podziemi tzw. Geofizyki oraz
określenie wpływu tych robót na otoczenie

Słowa kluczowe: stateczność skarp, MES, skały złożowe, obszar Książ

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. Witold Pytel

Dr inż. Bogumiła Pałac-Walko

Bogumiła Pałac-Walko

Tech. Lesław Bagiński

PRODZIEKAN
[Signature]
dr hab. inż. Radosław Zimroz, prof. PWr.
(1)



SPIS TREŚCI:

PODSTAWA OPRACOWANIA.....	2
1. CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA I PETROGRAFICZNA – FORMACJA ZLEPIENICA Z KSIĄŻA.....	3
2. OZNACZENIE PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH MATERIAŁU SKALNEGO.....	5
3. OKREŚLENIE PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH I ODKSZTAŁCENIOWYCH ZLEPIENICA GNEJSOWEGO DLA WARUNKÓW IN-SITU.....	8
4. SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI SKARPY PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ METODAMI RÓWNOWAGI GRANICZNEJ.....	11
5. OKREŚLENIE EFEKTU DEFORMACYJNEGO WYKONANEJ INWESTYCJI NA STATECZNOŚĆ I MOŻLIWE USZKODZENIA ZAMKU KSIĄŻ.....	16
6. WNIOSKI.....	18
LITERATURA.....	19
ZAŁĄCZNIK 1.....	20
ZAŁĄCZNIK 2.....	29



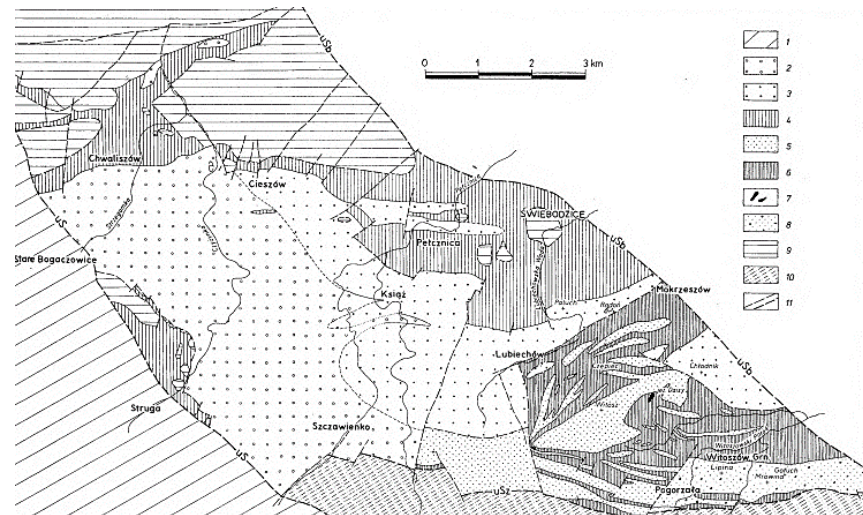
PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania jest umowa nr U/0180/203/2017 zawarta pomiędzy Wydziałem Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wroclawskiej z siedzibą 50-370 Wrocław, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27 a Zamkiem Książ w Wałbrzychu Sp. z o.o. z siedzibą 58-306 Wałbrzych, ul. Piastów Śląskich 1, dotycząca oceny dopuszczalności wykonania dwóch szybów z poziomu Tarasu Północnego Zamku Książ do poziomu podziemi tzw. Geofizyki (-50,0 m) oraz określenia wpływu tych robót na otaczające miejsce planowanych robót.



1. CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA I PETROGRAFICZNA – FORMACJA ZLEPIEŃCA Z KSIĄŻA

Nazwa formacji zlepieńca z Książa (fm), nazywana także kulem z Książa lub kulem z Księzną, pochodzi od zamku Książ usytuowanego na skałach zlepieńcowych Doliny Pelcznicy (rys. 1).



Rysunek 1. Depresja Świebodzic – szkieł geologiczny bez utworów czwartorzędowych wg H. Teisseyre'a (Porębski, 1981)
 1 – dolny karbon niecki śródsudeckiej; 2-8 – górny dewon i dolny karbon depresji Świebodzic: 2 – formacja zlepieńca z Chwaliszowa (zlepieńce polimikryczne, piaskowce), 3 – formacja zlepieńca z Książa (zlepieńce gnejsowe, piaskowce), 4 – formacja z Pelcznicy (mulowce, pyłowce, piaskowce); 5-8 – formacja z Pogorzały: 5 – zlepieńce polimikryczne, piaskowce, 6 – mulowce, pyłowce, piaskowce, 7 – wapień, 8 – ogniwo zlepieńca z Lipiny (zlepieńce polimikryczne, piaskowce); 9 – metamorfik kaczawski (nie rozdzielony), 10 – blok gnejsowy Gór Sowich, 11 – uskoki i nasunięcia: uSB – uskoksudecki brzeżny, uSz – uskoczek Szczawienka, uS – uskoczek Strugi

W niemieckiej literaturze fachowej zlepieńce, których szkielet ziarnowy składał się głównie z otoczków gnejsowych wschodniej i środkowej depresji Świebodzic nazywano jako Gneiskonglomerate lub Fürstensteiner Kulm oznaczanych na mapach geologicznych odpowiednio „cgg” lub „togg”. Informacje ogólne na temat formacji z Książa przedstawiono w tabeli 1.

Cechą charakterystyczną formacji z Książa jest obecność zlepieńców i szarogłazów o dużej miąższości (od 2000 do 3000 m). Gruboklastyczne osady występujące w depresji Świebodzic stanowią zlepieńce górnodewońskie i dolnokarbońskie (Stupnicka, 2007). Złożone są one głównie z otoczków gnejsowych. Same zlepieńce dosyć dobrze rozwinięte są w rejonie zamku Książ. Liczne odkrytki w tym rejonie potwierdzają obecność nie tylko gnejsów ale także otoczków wapieni z wyraźną fauną dewońską, na podstawie której określono wiek otoczków szacowany przez niektórych geologów jako górny dewon. W przypadku otoczków gnejsów powszechnie przyjęto, iż pochodzą z obszaru Gór Sowich. W pracach H. Teisseyre'a (1956a, 1956b) poświęconych Sudetom Środkowym, w tym i depresji Świebodzic można wywnioskować, że formacja z Książa stanowi osad pochodzenia rzecznoego. Głównym składnikiem osadu jest materiał gnejsowy pochodzący z przedsudeckiego fragmentu bloku sowiogórskiego (zwanego także krą sowiogórską), będącego jednostką geologiczną Sudetów i bloku przedsudeckiego,

która od północnego zachodu graniczy z depresją Świebodzic. Zarówno osady górnego dewonu pochodzące z kry sowiogórskiej, jak i materiał kaledoński niesiony przez potoki od północy z obszaru Gór Kaczawskich mieszały się, dlatego też pod względem stratygraficznym ogniwom należącym do niższych partii formacji z Książa przypisuje się górny dewon, zaś wyższym – dolny karbon (Gunia, 1966).

Tabela 1. Formacja zlepieńca z Książa - informacje ogólne wg Porębski (1981)

Nazwa	Nazwa pochodzi od zamku Książ
Obszar typowy	Przełom Pelcznicy w rejonie zamku
Hipostratotypy	Sztuczne odsłonięcia w dolinie Lubiechowskiej Wody w Lubiechowie
Miaższość	min. 2000 m do 3000 m
Litologia	Zlepieńce gruboławicowe i grubooczkakowe, piaskowce zlepieńcowate, grubo- i średnioziarniste piaskowce, które pod względem petrograficznym i teksturalnym są to głównie niedojrzałe arenity lityczne w składzie zawierające 80% okruszowego materiału gnajkowego. Przeważają tutaj przede wszystkim zlepieńce silniecementowane, charakteryzujące się słabo obtoczonymi blokami gnejsów oraz migmatytów, których średnica może dochodzić do 2 m. Biorąc pod uwagę skład petrograficzny dominują tutaj gnejsy, granitognejsy oraz jasnoszare granity. Dolna część formacji często przeławicona jest piaskowcami zlepieńcowatymi oraz zlepieńcami z domieszką 70% klastrow wapiennych. Odnotowano także nieliczne wkładki żwirowców ilastych oraz niewielkie przewarstwienia mułowców.
Granice	Przejście litologiczne od mułowców i piaskowców formacji z Pelcznicy (okolice Cieszowa). Dolna granica została ustalona arbitralnie w spągu piaskowca gruboziarnistego zawierającego klasty mułowcowe. Formacja z Książa pokrywa mułowce i piaskowce formacji z Pogorzały (w osi bloku Pogorzały), zaś sama formacja przykryta jesy utworami czwartorzędu.
Skamieniałości i wiek	Wg H. Teisseyre'a formacja zlepieńca z Książa datowana jest na dolny turnej, a lokalnie na najwyższy dewon. Gunia (1968) przypisuje początek sedimentacji na późny fam.

Skład petrograficzny formacji zlepieńca z Książa przedstawiono w tabeli 2 poniżej:

Tabela 2. Skład petrograficzny, % - na podstawie Porębskiego (1981)

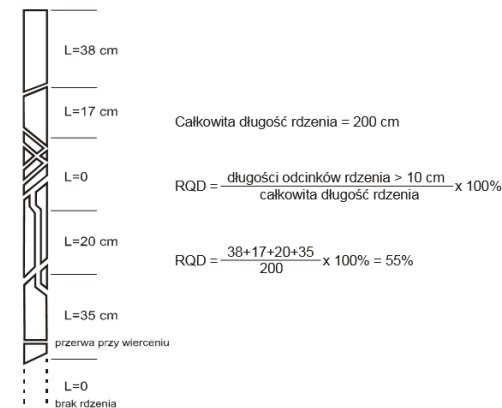
Formacja	Formacja zlepieńca z Książa	
	Frakcja, mm	
	16 – 64	65 – 256
Składniki	zakres	średnia
Kwarcyty, łupki kwarcytowe	2,5 – 14,0	6,5
Spility, diabazy	0,0 – 2,8	0,2
Zieleńce, łupki chlorytowe	0,0 – 5,0	0,3
Ryodacyty, dacyty, trachity	0,0 – 2,0	0,3
Łupki łuszczkowe	0,0 – 8,7	2,0
Lidyty	0,0 – 3,0	0,4
Kwarc żyłowy	2,8 – 11,1	5,4
Gnejs	34 – 85,0	54,6
Jasnoszare granity, pegmatyty, aplity	9,0 – 36,0	22,0
Wapienie	0,0 – 83,0	1,3
Mułowce, pyłowce	0,0 – 13,9	2,2
Piaskowce	0,0 – 8,0	2,6
Zlepieńce	0,0 – 2,8	0,1

Hornfelsy	-	-
Gabro	0,0 – 8,4	1,4
Amfibolity	0,0 – 4,0	0,2
Różowe granity	-	-
Katakazyty, brekcje, marmury i inne	-	-

2. OZNACZENIE PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH MATERIAŁU SKALNEGO

Oznaczenie wskaźnika jakości górotworu RQD

Przed przystąpieniem do badań wytrzymałościowych dokonano oceny jakości rdzenia wiertniczego (wskaźnik jakości RQD – Rock Quality Designation Index, nazywany także podzielnością rdzenia wiertniczego). Został on opracowany w roku 1963 przez Deere'a, a jego celem była wizualna ocena jakości materiału skalnego dostarczanego w postaci rdzeni wiertniczych. Wskaźnik RQD definiowany jest jako procentowy udział kawałków rdzenia l_i o długości $\geq 10,0$ cm do całkowitej długości rdzenia L i średnicy nie mniejszej niż 54,17 mm (Pytel, 2012). Przykładowy schemat obliczeń przedstawia rysunek 2:



Rysunek 2. Sposób pomiaru wskaźnika RQD wg Deere'a (1963)

W tabeli nr 3 zestawiono procentowe przedziały zmienności wskaźnika RQD oraz odpowiadająca temu jakość górotworu:

Tabela 3. Przedziały zmienności wskaźnika RQD a jakość górotworu

Stopień skali	Przedział zmienności wskaźnika RQD, %	Jakość górotworu
I	0 – 25	Bardzo słaby
II	26 – 50	Słaby
III	51 – 75	Średni
IV	76 – 90	Dobry
V	91 - 100	Bardzo dobry

Na potrzeby niniejszej pracy do Laboratorium Mechaniki Górotworu PWr dostarczono 6,20 m rdzenia wiertniczego o średnicy 117,7 mm. Otrzymane wartości przedstawia tabela 4:

Tabela 4. Oznaczenie wskaźnika RQD, %

Nr odcinka	Długość, cm	Wskaźnik RQD, %
I	30	67%
II	68	
III	20	
IV	60	
V	64	
VI	45	
VII	18	
VIII	95	
IX	35	
X	27	
XI	25	
XII	12	

Wykonanie próbek laboratoryjnych na potrzeby badań wytrzymałościowych

Z otrzymanych rdzeni wiertniczych (fot. 1) wykonano 20 próbek laboratoryjnych (fot. 2) o średnicy $d=50$ mm i wysokości $h=100$ mm ($h/d=2$).



Fot. 1. Rdzenie wiertnicze



Fot. 2. Próbkę laboratoryjne o smukłości $s=2$ (po lewej) oraz zniszczona próbka po badaniu (po prawej)

Badania laboratoryjne

Wytrzymałość mechaniczną na jednoosiowe ściskanie nazywamy maksymalny opór laboratoryjnej próbki skalnej, stawiany siłom działającym w momencie zniszczenia struktury skały, przeliczony na jednostkę powierzchni przekroju poprzecznego próbki (Kidybiński, 1982). Wytrzymałość oznaczana w jednoosiowym stanie naprężenia stanowi najpopularniejsze badanie realizowane w większości laboratoriów mechaniki skał, a oznaczenie przeprowadza się dla różnych próbek: foremnych, półforemnych i nieforemnych. Niniejsze badania zostały zrealizowane wg obowiązującej normy PN-G-04303 pt. *Skały Zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie z użyciem próbek foremnych*. Wymiary próbek laboratoryjnych odpowiadają ww. normie oraz są zgodne z wytycznymi ISRM – *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006*. Wytrzymałość R_c oznaczono dla 15 próbek laboratoryjnych.

Moduł sprężystości Younga E_s oraz moduł odkształcenia E_o oznaczono na 5 próbkach wykonując charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe w stanie przedzniszczeniowym (test obciążenie-odciążenie-obciążenie do zniszczenia próbki).

Do wszystkich badań wytrzymałościowych wykorzystano maszynę wytrzymałościową MTS 816.03. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabelach 5 i 6.

Tabela 5. Oznaczenie wytrzymałości w jednoosiowym stanie naprężenia

l.p.	Oznaczenie próbki	Masa	średnica	wysokość	V	ρ	v	Pkr	ϵ_{kr}	R_c
		g	mm	mm	cm ³	g/cm ³	kN/s	kN	%	MPa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	II/1	504,96	49,40	99,60	190,80	2,65	1,0	250,44	9,34	130,7
2	II/2	502,06	49,40	99,40	190,42	2,64	1,0	273,97	9,31	142,9
3	II/4	507,34	49,40	99,90	191,34	2,65	1,0	308,70	8,42	161,0
4	IV/2	512,14	49,40	99,80	191,18	2,68	1,0	64,55	4,22	33,7
5	IV/3	511,74	49,40	100,00	191,57	2,67	1,0	81,04	5,03	42,3
6	IV/4	505,50	49,40	99,50	190,61	2,65	1,0	137,03	5,45	71,5
7	VI/1	508,69	49,40	99,50	190,61	2,67	1,0	194,79	6,59	101,6

8	VI/3	508,35	49,40	99,8	191,18	2,66	1,0	301,05	10,75	157,0
9	VIII/1	509,03	49,40	99,70	190,99	2,66	1,0	111,58	5,93	58,2
10	VIII/2	512,95	49,40	99,60	190,80	2,67	1,0	105,54	4,54	55,0
11	XI/1	505,69	49,40	99,90	191,38	2,64	1,0	28,93	1,96	15,1
12	XI/2	509,08	49,40	99,70	190,99	2,66	1,0	122,93	4,81	64,10
13	XI/4	501,17	49,40	100,10	191,76	2,61	1,0	153,51	5,50	80,1
14	XII/1	517,26	49,40	100,10	191,76	2,70	1,0	64,21	4,31	33,50
15	XIV/1	513,74	49,40	99,60	190,80	2,69	1,0	134,91	6,61	70,4

Na podstawie otrzymanych wyników badań laboratoryjnych, wartość średnia jednoosiowej wytrzymałości na ściskanie badanego materiału przyjęto jako $R_{c,śr} = 80,1 \text{ MPa}$.

Tabela 6. Parametry odkształceniowe badanego materiału skalnego

l.p.	Nr próbki	masa	średnica	wysokość	V	ρ	v	ϵ	E_s	E_o
		g	mm	mm	cm ³	g/cm ³	kN/s	%	GPa	GPa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	II/3	502,64	49,40	99,30	190,23	2,64	0,5	10,43	28,25	22,86
2	IV/1	511,58	49,40	99,80	191,18	2,67	0,5	5,95	18,17	15,24
3	VI/2	507,40	49,40	99,60	190,80	2,66	0,5	6,71	23,47	17,26
4	XI/3	496,95	49,40	99,60	190,80	2,60	0,5	6,98	19,69	16,97
5	XII/2	514,68	49,40	99,80	191,18	2,69	0,5	4,88	15,04	12,13

Wartość średnia modułu odkształcenia badanego materiału przyjęto jako $E_{o,śr} = 16,9 \text{ GPa}$.

3. OKREŚLENIE PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH I ODKSZTAŁCENIOWYCH ZLEPIENIA GNEJSOWEGO DLA WARUNKÓW IN-SITU.

Dla określenia parametrów mechanicznych badanego zlepienia gnejsowego w masie skalnej (in-situ) wykorzystano empiryczną hipotezę zniszczenia ośrodka skalnego opracowaną przez Hoeka-Browna (2002). Jest to hipoteza, która jak wykazało wielopłaszczyznowe doświadczenie, dostarcza najbardziej niezawodnych parametrów do analizy deformacji i wyężenia materiału skalnego, zwłaszcza w silnie spękanym masywie.

Aby zastosować kryterium Hoeka-Browna w celu określenia wytrzymałości i odkształcalności skały, konieczne jest wyznaczenie następujących trzech wielkości charakteryzujących masę skalną:

- wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie nienaruszonych próbek skalnych – (R_c),
- wartość stałej Hoeka-Browna m_i dla tych próbek (patrz tab. 5.3 w: Pytel, 2012), oraz
- wartość „Geologicznego Wskaźnika Wytrzymałości” GSI (ang. Geological Strength Index) materiału skalnego (patrz rys. 3).

Wskaźniki GSI dla wybranych rodzajów skał można w miarę dokładnie określić na podstawie tabel opracowanych przez (Marinosa i Hoeka (2000). Uniwersalny podkład graficzny dotyczący gnejsów, uzyskany na podstawie wspomnianych tabel, przedstawiono na rys 3.

Zakładając, że badany materiał skalny stanowi gnejs o strukturze blokowej/spękanej z lokalnymi wtrąceniami piaskowca, a także przyjmując, że warunki na powierzchniach nieciągłości są dostateczne (powierzchnia szorstka, umiarkowanie zwietrzała lub zdegradowana), na podstawie rysunku 3 oszacowano wartość geologicznego wskaźnika wytrzymałości jako:

$$GSI = 40$$

Z kolei na podstawie tab. 7 zaczerpniętej z Hoek (2002) oszacowano wartość stałej Hoeka-Browna m_i dla zlepienia gnejsowego jako:



Rys.3 Typowe wartości GSI dla gnejsów

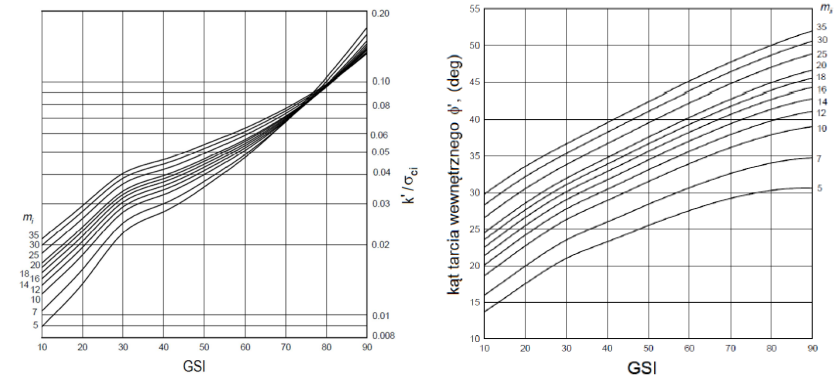
Tabela 7. Wartości stałej m_i dla różnych grup skal nienaruszonych (wartości w nawiasach są tylko szacunkami) (Hoek, 2002)

Rodzaj skały	Klasa	Grupa	Tekstura			
			gruba	średnia	drobna	bardzo drobna
Osadowe	Klastyczne		konglomeraty (21±3)	piaskowiec 17±4	pyłowiec 7±2	iłowiec 4±2
			brekcje (20±2)		szarogłaz (18±3)	łupki (6±2) margle (7±2)
	Nie-klastyczne	Organiczne				kreda 7±2
		Węglanowe	wapień skryształizowany (12±3)	wapień kalcytowy (10±5)	wapień mikrytowy (8±3)	dolomit (9±3)
	Chemiczne Ewaporaty		gips (10±2)	anhydryt (12±2)		
Metamorficzne	Nie uwarstwione		marmur 9±3	Hornfels (19±4) meta-piaskowiec (19±3)	kwarcyt 20±3	
			migmatyt (29±3)	amfibolit 26±6		
	Uwarstwione*		gnejsy 28±5	łupek ilasto-mikowy (10±3)	fyllit (7±3)	łupki 7±4
Magmowe	Plutoniczne	Jasne	granit 32±3	dioryt 25±5	granodioryt (29±3)	
		Ciemne	gabro 27±3 noryt 20±5	doleryt (16±5)		
	Hipoabisalne		porfiry (20±5)		diabazy (15±5)	perydotyt (25±5)
	Wylewne Wulkaniczne	lawo		riolit (25±5) andezyt (25±5)	dacyt (25±3) bazalt (25±5)	obsydian (19±3)
		piroklastyczne	aglomeraty (19±3)	brekcja (19±5)	tuf (13±5)	

* - Wartości parametru dla skal uwarstwionych były określane dla próbek ściskanych prostopadle do powierzchni uwarstwienia.

$$m_{i,zg} = \frac{m_{i,z} + m_{i,g}}{2} = \frac{18 + 23}{2} = 20,5$$

gdzie: $m_{i,z}$ – stała dla zlepieńców, $m_{i,g}$ – stała dla gnejsów.



Rys.4 Wykresy wartości stosunku spójności i wytrzymałości lab. na ścisnienie oraz kąta tarcia wewnętrznego dla różnych wartości GSI (Marinos i Hoek, 2000)

Następnie dla $GSI = 40$, $m_i = 20$, $\sigma_{ci} = R_c = 80,1$ MPa, otrzymano z rys. 4 następujące wartości parametrów wytrzymałościowych zlepieńców gnejsowych:

- spójność: $c = 3,2$ MPa
- kąt tarcia wewnętrznego: $\phi = 35^\circ$.

Ponadto dokonano redukcji wartości laboratoryjnej modułu odkształcenia do jego wartości in-situ, w masie skalnej:

$$E_m = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}} = 5,0 \text{ GPa.}$$

Współczynnik Poissona zlepieńca gnejsowego oszacowano na CIVILBLOG.ORG (2017) jako: $\nu = 0,09$.

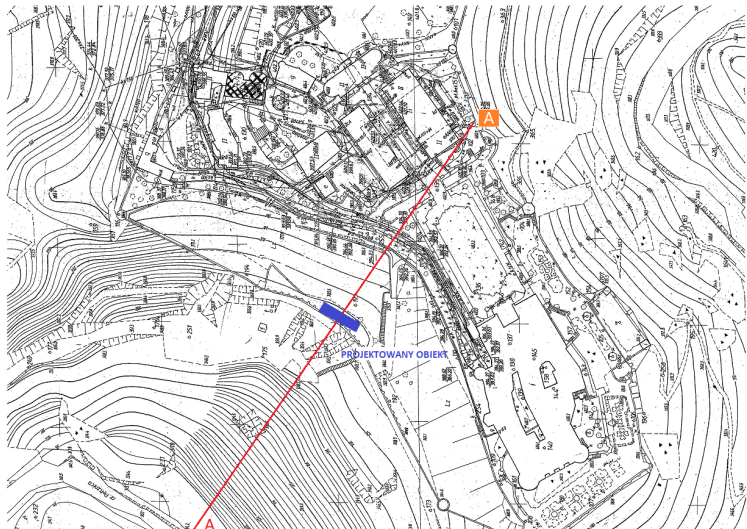
4. SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI SKARPY PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ METODAMI RÓWNOWAGI GRANICZNEJ

Zagrożenie zjawiskiem niestateczności skarpy N-W, w której planuje się wykonanie szybków kłatek schodowych i łącznika sprawdzono wykorzystując wybrane metody równowagi granicznej (metoda Morgensterna-Price'a, metoda Janbu) w odniesieniu do przekroju A-A obiektu pokazanego na rys. 5 i 6. Obliczenia przeprowadzono i wizualizację zapewniono wykorzystując możliwości programu

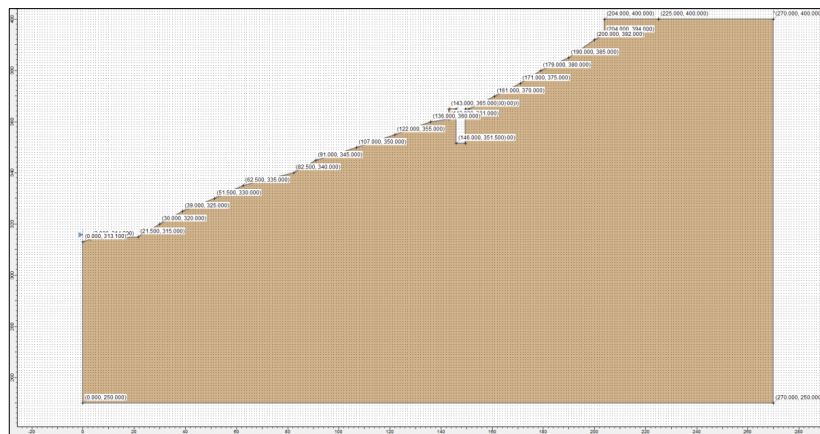
komputerowego SLIDE 5.0 (rys. 7-9). Przyjęto przy tym, że zarówno skarpa jak i jej podłoże zbudowane są z materiału scharakteryzowanego w rozdziale 3.

Parametry zlepnięcia gnejsowego zastosowane w analizie stateczności zbocza NW wzgórza Zamku Książ podane są poniżej:

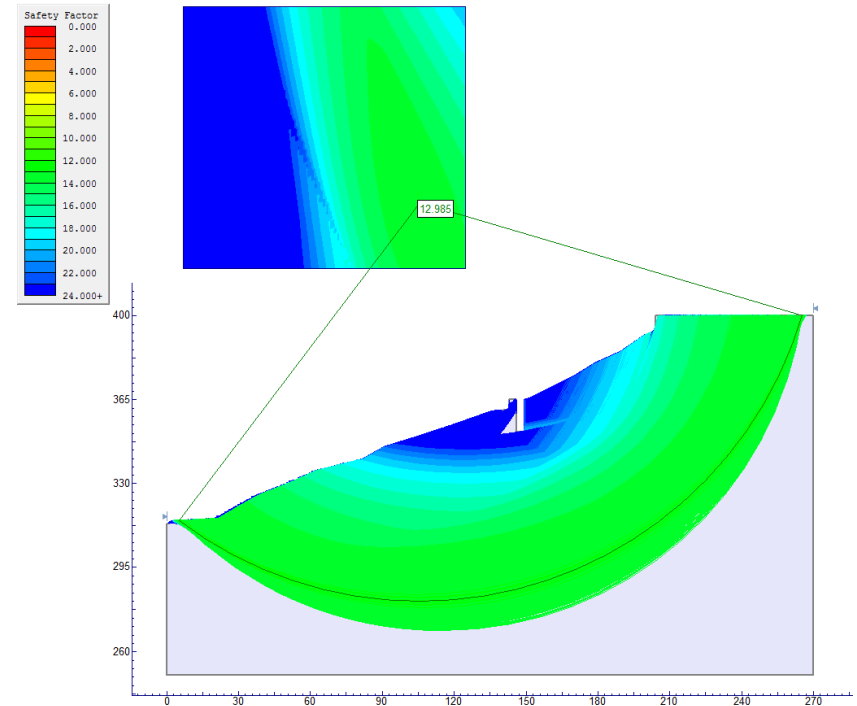
- Spójność (kohezja): $c=3,2 \text{ MPa} = 3\,200 \text{ kPa}$
- Kąt tarcia wewnętrzznego $\phi = 35^\circ$
- Ciężar objętościowy $25,94 \text{ kN/m}^3$



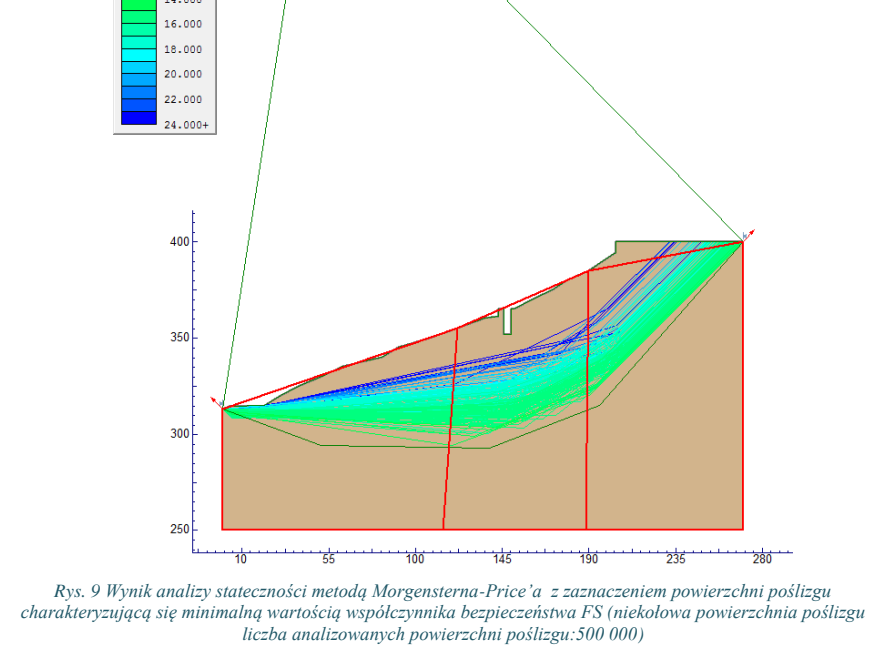
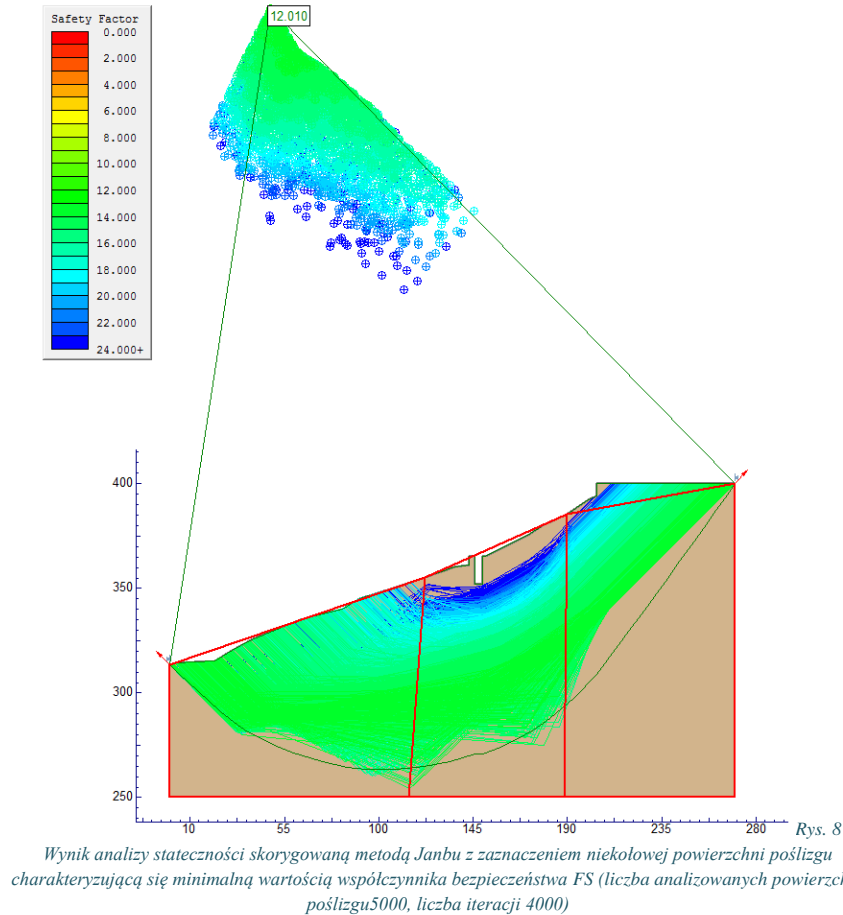
Rys. 5 Przekrój skarpy NW na tle mapy wysokościowej wzgórza Zamku Książ



Rys. 6 Geometria modelu skarpy (przekrój A-A) uzyskana na podstawie mapy wysokościowej (rys. 5)



Rys. 7 Wyniki analizy stateczności metodą Morgensterna-Price'a (kołowa linia poślizgu) z zaznaczeniem powierzchni poślizgu charakteryzującą się minimalną wartością współczynnika bezpieczeństwa FS (liczba analizowanych powierzchni poślizgu: 112211)



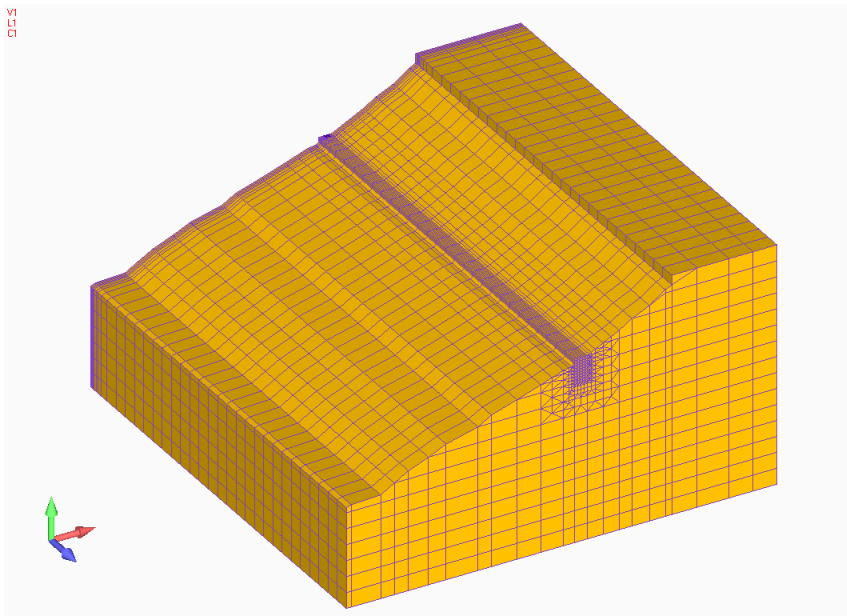
Analiza wskaźnika stateczności skarpy NW Wzgórza Zamku Książ dla warunków geotechnicznych po wykonaniu planowanej inwestycji wskazuje na znaczny zapas bezpieczeństwa reprezentowany przez minimalną wartość wskaźnika stateczności $F = 12,0$ związanego z krytyczną linią poślizgu zlokalizowaną głęboko poniżej powierzchni zewnętrznej skarpy. Zauważyć można, że w obrębie planowanej inwestycji wartości wskaźnika stateczności są na tyle wysokie, że niestateczność może przyjąć jedynie formę osuwiska nie będące w stanie wpływać na zagrożenie samej skarpy, a tym bardziej poza nią, w pobliżu istniejących obiektów budowlanych.

Warty podkreślenia jest fakt, że wyniki obliczeń reprezentują stan bezpieczeństwa obiektu w sensie wartości parametrów wytrzymałościowych materiału skarpy, uwzględniających możliwe negatywne efekty spowodowane spękaniem skał i wpływem skali rozpatrywanego problemu technicznego (skala laboratoryjna vs. warunki in-situ).

5. OKREŚLENIE EFEKTU DEFORMACYJNEGO WYKONANEJ INWESTYCJI NA STATECZNOŚĆ I MOŻLIWE USZKODZENIA ZAMKU KSIĄŻ

Do analizy dotyczącej geomechanicznych aspektów wykonania szybików klatek schodowych na ich otoczenie wykorzystano przestrzenny model obliczeniowy oparty na zasadzie metody elementów skończonych (rys. 10). W ramach pracy zamodelowano dwie podstawowe sytuacje górnicze w rozpatrywanym rejonie, różniące się stopniem zaawansowania budowy szybików klatek schodowych:

- model 1 – sytuacja przed rozpoczęciem prac, oraz
- model 2 – sytuacja po wykonaniu klatek schodowych.

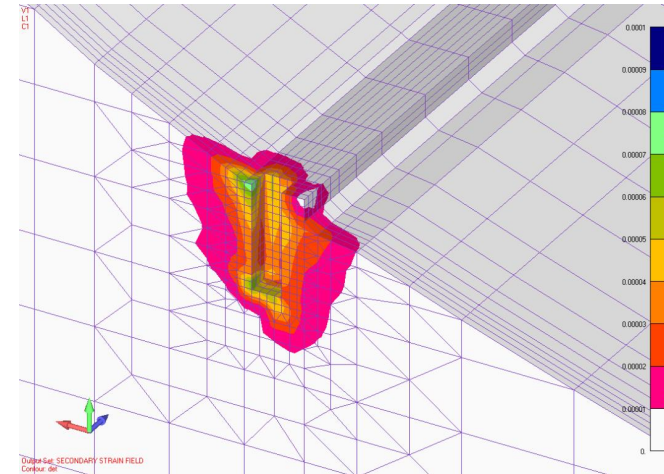


Rys. 10 Model numeryczny skarpy NW sformułowany za pomocą elementów skończonych

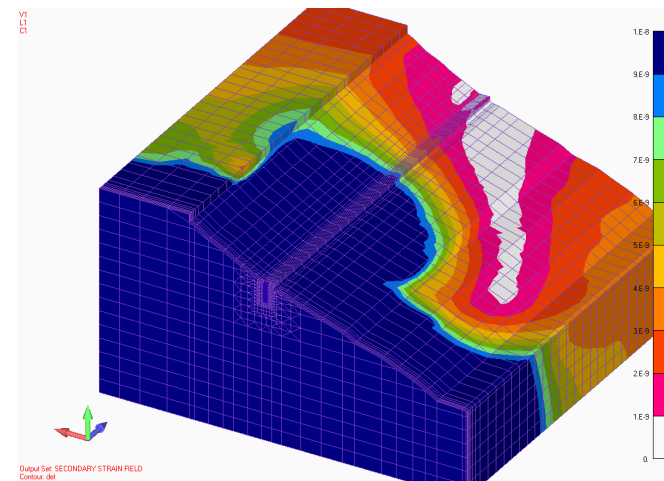
Zadania geomechaniczne rozwiązano i obliczenia oraz wizualizację wyników przeprowadzono za pomocą pakietu NEi/NASTRAN wykorzystującego przestrzennie sformułowaną metodę elementów skończonych. Założono, że wszystkie elementy modelu (270 x 278 x 150 m), w liczbie około 21000, zbudowane są z jednorodnego materiału (zlepieniec gnejsowy) scharakteryzowanego w rozdziale 3. Celem przeprowadzonej analizy numerycznej było obliczenie wpływu wykonania projektowanych prac budowlanych na Taras Północny i bryłę Zamku w kategorii możliwych odkształceń mogących zagrażać stateczności górotworu i bliskich obiektów zabytkowych. W tym celu obliczono przyrosty wartości odkształceń całkowitych $\Delta\varepsilon_t$ jakie mogą się pojawić w konsekwencji wykonania szybików w ich otoczeniu:

$$\Delta\varepsilon_t = \sqrt{\Delta\varepsilon_1^2 + \Delta\varepsilon_2^2 + \Delta\varepsilon_3^2}$$

gdzie: $\Delta\varepsilon_1$, $\Delta\varepsilon_2$, $\Delta\varepsilon_3$ – przyrosty wartości odkształceń głównych w dowolnych lokalizacjach górotworu (patrz rys. 11-12).



Rys. 11 Przyrosty odkształceń całkowitych w pobliżu wykonanych klatek schodowych



Rys. 12 Przyrosty odkształceń całkowitych w dalszym otoczeniu wykonanych klatek schodowych



Na podstawie uzyskanych wyników modelowania numerycznego wykonania klatek schodowych na terenie skarpy NW, stwierdzić można, że:

- a) spodziewane wartości odkształceń całkowitych w bezpośrednim otoczeniu szybków po ich wykonaniu mogą sięgać wartości $\varepsilon_t = 0,0001 = 0,1 \text{ ‰}$,
- b) Taras Północny a także struktura Zamku oraz inne obiekty budowlane w jego otoczeniu mogą zostać poddane odkształceniom całkowitym o wartościach od 0 do $1E^{-8}$, a więc bardzo małym i w związku z tym pomijalnym.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzona analiza stateczności oraz modelowanie numeryczne skarpy NW wzgórza Zamku Książ pozwalają wyciągnąć następujące wnioski w zakresie wpływu prac związanych z wykonaniem szybków klatek schodowych na ich otoczenie:

- a) analiza stateczności skarpy NW wskazuje na bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa z punktu widzenia możliwości rozwoju osuwiska obiektu, niezależnie od tego czy chodzi o stan pierwotny czy też o stan po przeprowadzeniu prac górniczo-budowlanych, tj. projektowane roboty nie wpłyną na stateczność znajdujących się w obrębie wzgórza zamkowego budynków i budowli;
- b) należy bezwzględnie wykluczyć technikę strzałową jako metodę prowadzenia prac górniczych. Należy rozważyć zmechanizowane lub inne nie dynamiczne sposoby urabiania materiału jako właściwe dla konkretnych warunków geologiczno-górniczych rozpatrywanej skarpy;
- c) zaleca się wykonywanie szybków etapami obejmującymi stopniowe urabianie skały i wykonywanie niezwłocznie obudowy żelbetowej w wykonanym odcinku włomu lub zastosowanie w trakcie robót obudowy stalowej szybu, demontowanej w trakcie betonowania ścian szybu i elementów komunikacji klatek schodowych;
- d) projektowane prace nie będą także zagrażać konstrukcji budowli istniejącym w otoczeniu w aspekcie dodatkowych deformacji górniczych, gdyż ich spodziewane wartości będą znajdować się znacznie poniżej poziomu odczuwalnego.



Literatura

CIVILBLOG.ORG 2017 <http://civilblog.org/2015/02/13/what-are-the-values-of-modulus-of-elasticity-poissons-ratio-for-different-rocks/>

GUNIA T., 1966, Fauna i wiek otoczków wapieni z kulmu Książa. Geologia Sudetica vol. II, s. 297 – 338.

GUNIA T., 1968, Fauna, stratygrafia i warunki sedymentacji górnego dewonu depresji Świebodzic. On the Fauna, Stratigraphy and Conditions of Sedimentation of the Upper Devonian in the Świebodzice Depression (Middle Sudetes). Geologia Sudetica, 4, s. 115 – 220.

HOEK E., 2002, A brief history of the Hoek - Brown criterion, Program: ROCKLAB, <http://www.rockscience.com>

KIDYBIŃSKI A., 1982, Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.

MARINOS P., Hoek E., 2000, GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. <http://www.rockscience.com/hoek/references/>

PORĘBSKI Sz. J., 1981, Sedymentacja utworów górnego dewonu i dolnego karbonu depresji Świebodzic (Sudety Zachodnie). Geologia Sudetica, vol. XVI, nr 1, s. 101 – 224.

PYTEL W., 2012, Geomechaniczne problemy doboru obudowy kotwowej dla wyrobisk górniczych. KGHM CUPRUM sp. z o. o. – Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław.

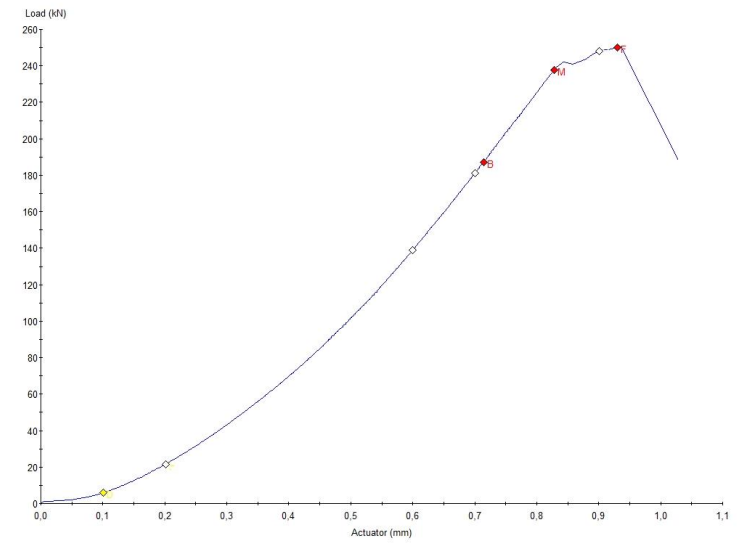
STUPNICKA E., 2007, Geologia regionalna Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, wyd. III zmienione, Warszawa.

TEISSEYRE H., 1956a, Depresja Świebodzic jako jednostka geologiczna. Świebodzice depression as geological unit. Biul. Inst. Geol., nr 106.

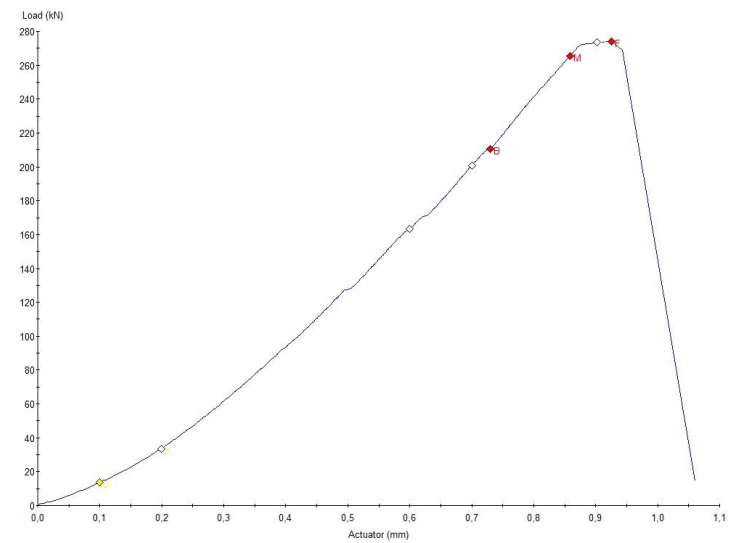
TEISSEYRE H., 1956b, Sedymentacja górnego dewonu Pogorzały i Witoszowa (Sudety Środkowe). Upper devonian sedimentation in Pogorzała and Witoszów (Middle Sudeten, Poland). Acta geol. Pol. V. 6, nr 3.



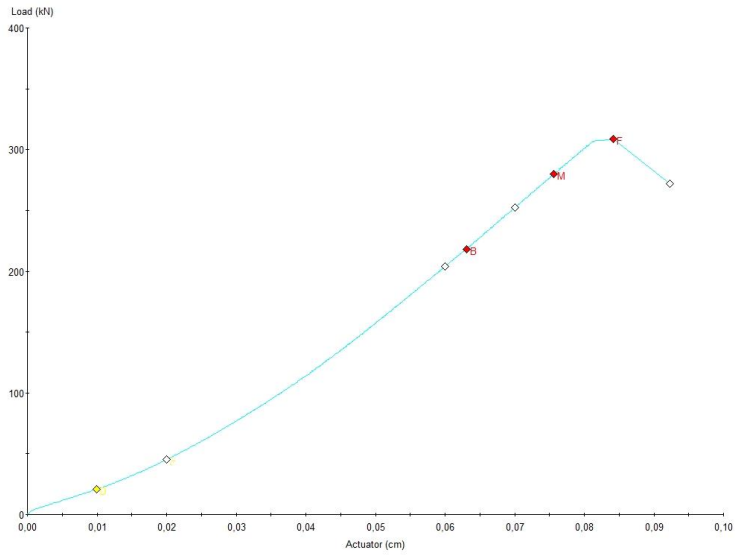
ZAŁĄCZNIK nr 1 – charakterystyki R_c



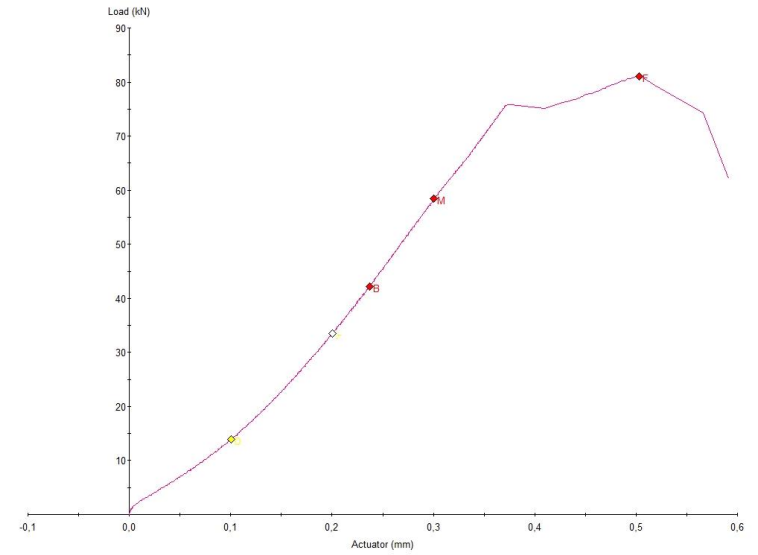
Próbka II/1



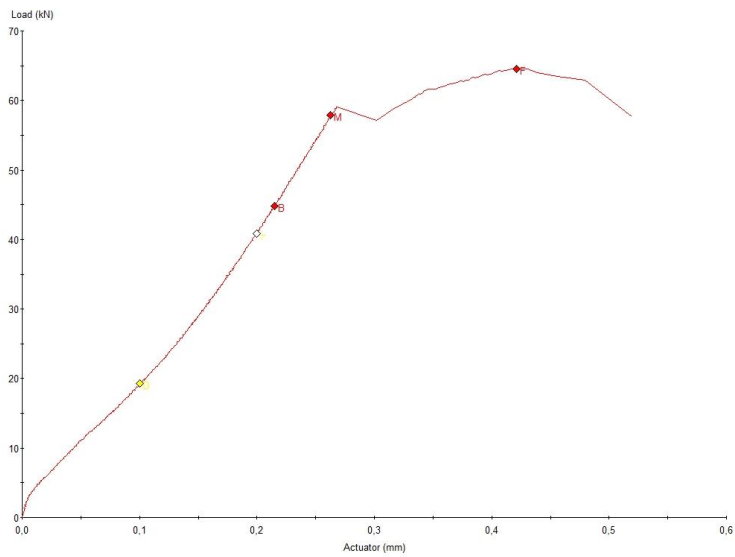
Próbka II/2



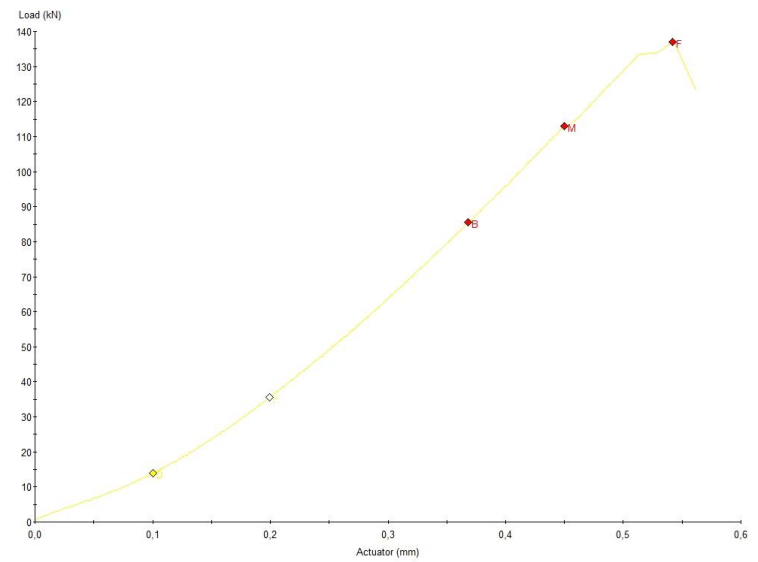
Próbka II/4



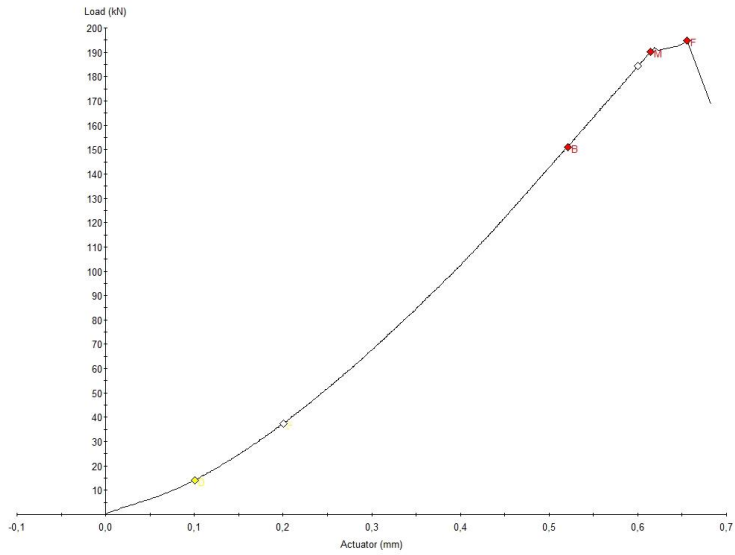
Próbka IV/3



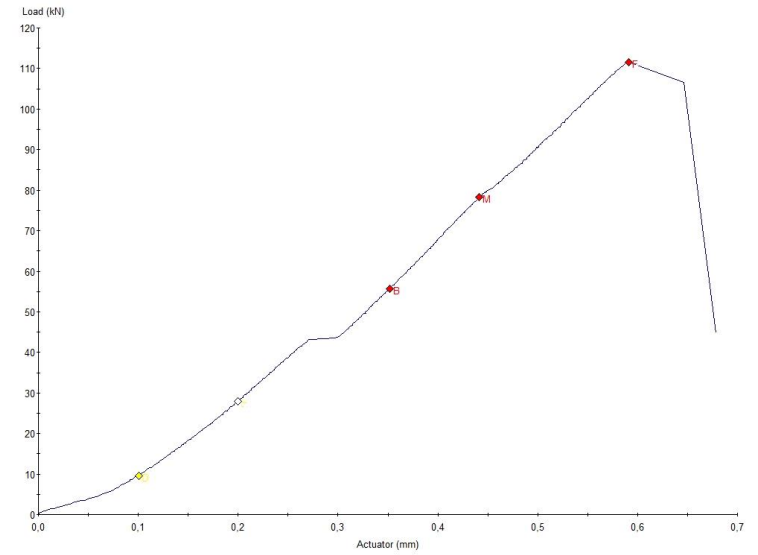
Próbka IV/2



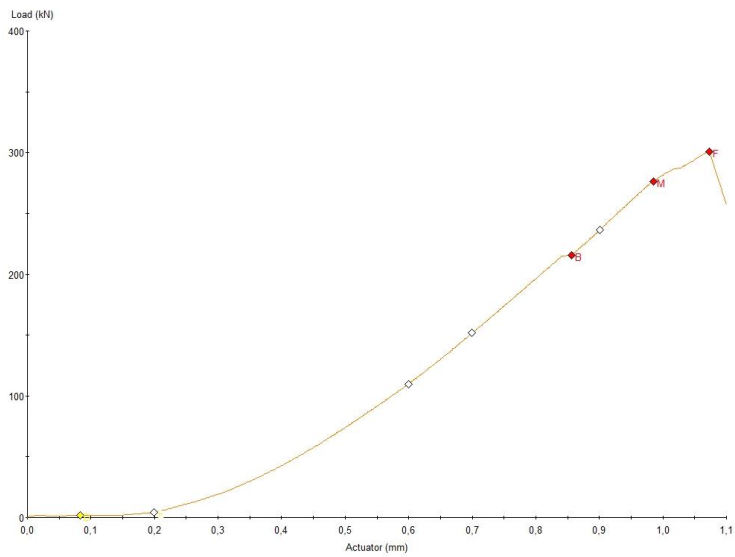
Próbka IV/4



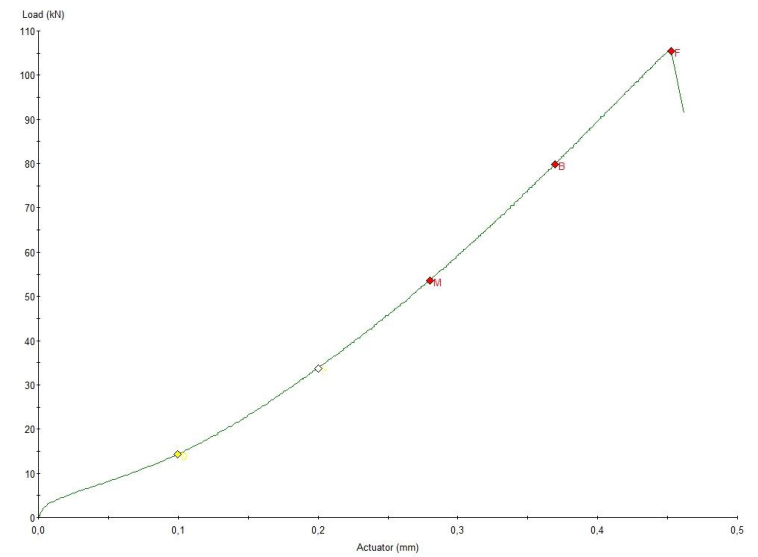
Próbka VI/1



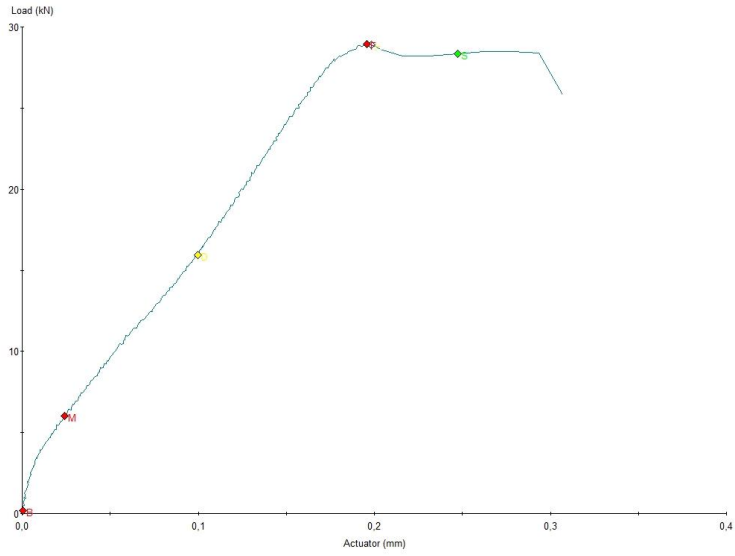
Próbka VIII/1



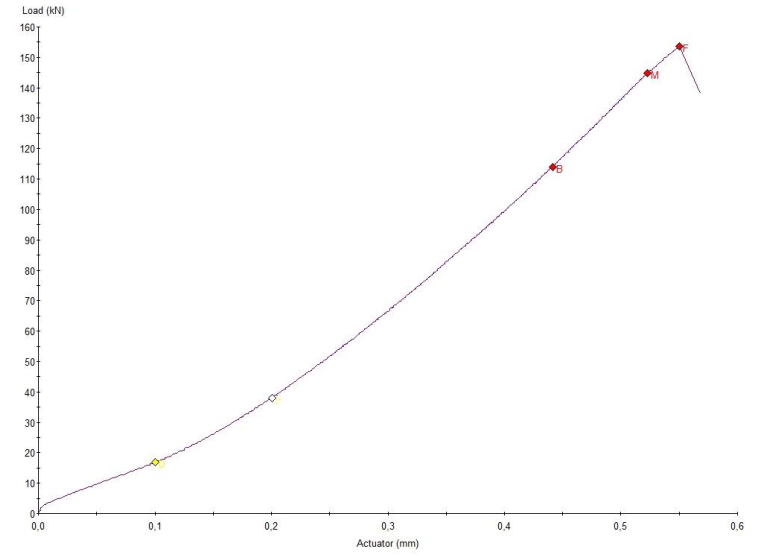
Próbka VI/3



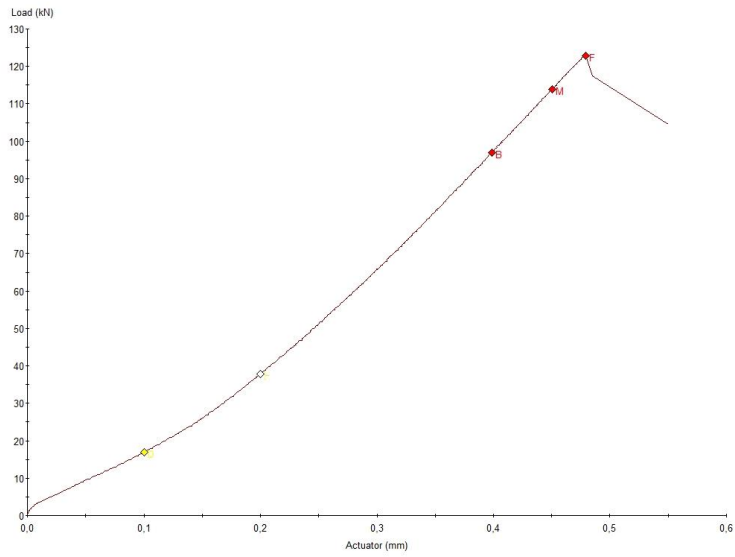
Próbka VIII/2



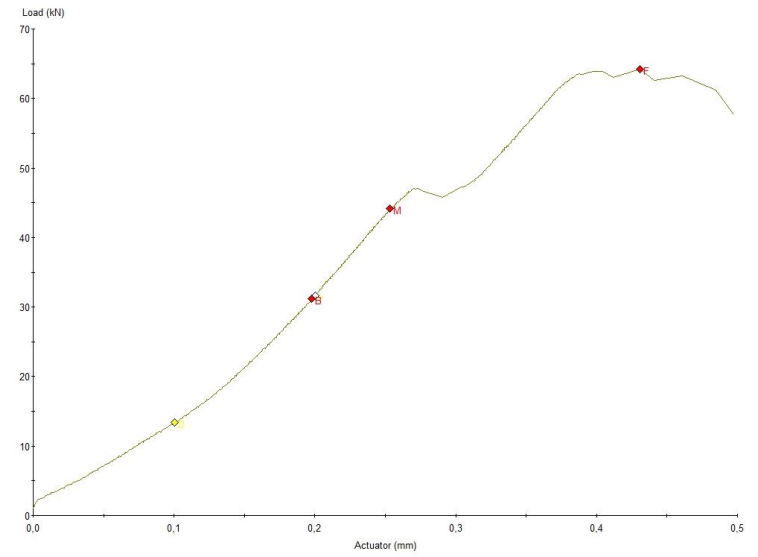
Próbka XI/1



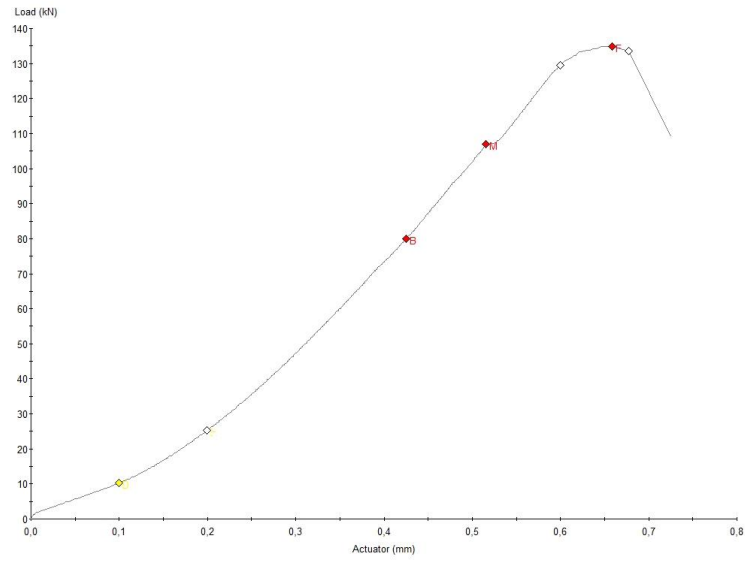
Próbka XI/4



Próbka XI/2



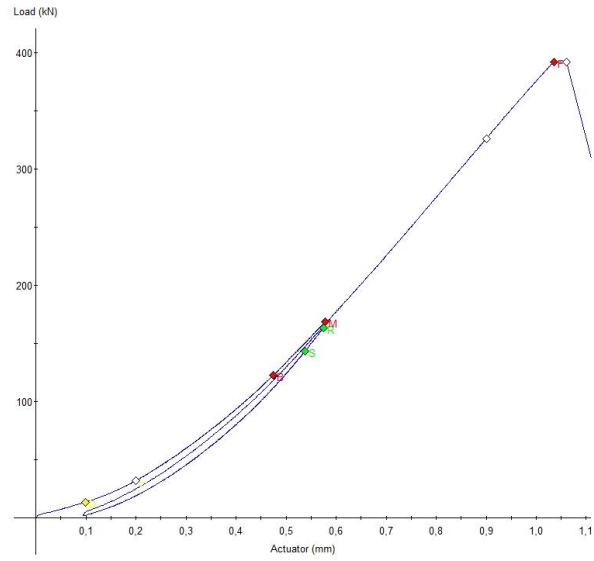
Próbka XII/1



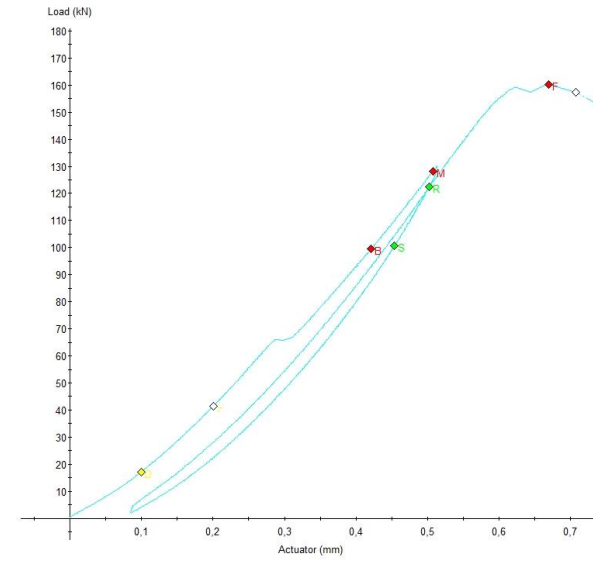
Próbka XII/2



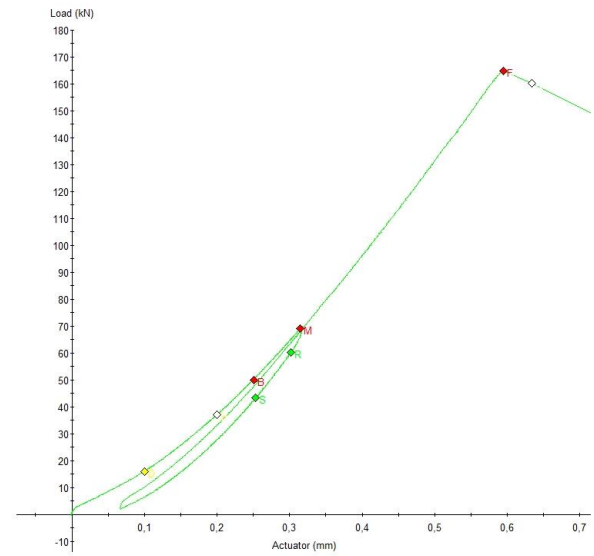
ZAŁĄCZNIK nr 2 – charakterystyki σ - ϵ



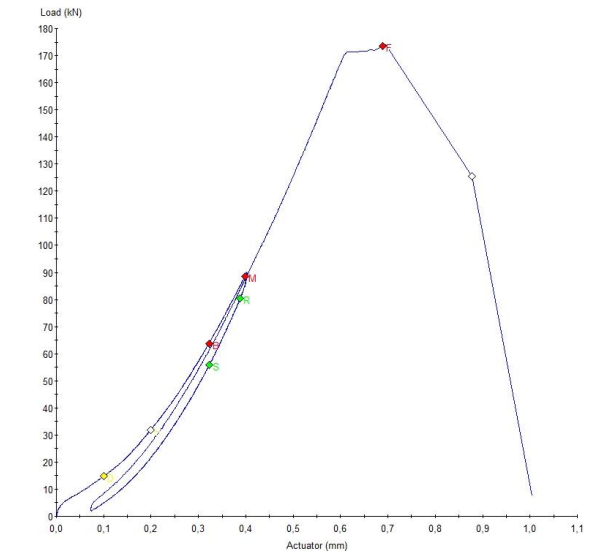
Próbka II/3



Próbka VI/2

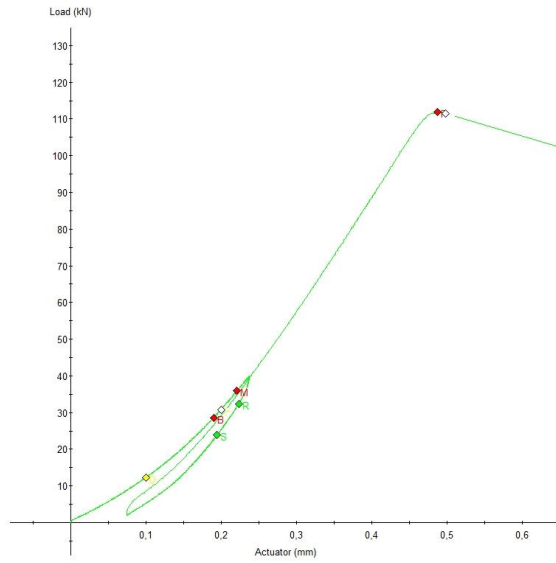


Próbka IV/1



Próbka XI/3





Próbka XII/2