



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Budownictwo ziemne Kotwy gruntowe Siatki stalowe

Michał Kowalski

Nazwa wydziału: Górnictwa i Geoinżynierii

**Nazwa katedry: Geomechaniki, Budownictwa
i Geotechniki**

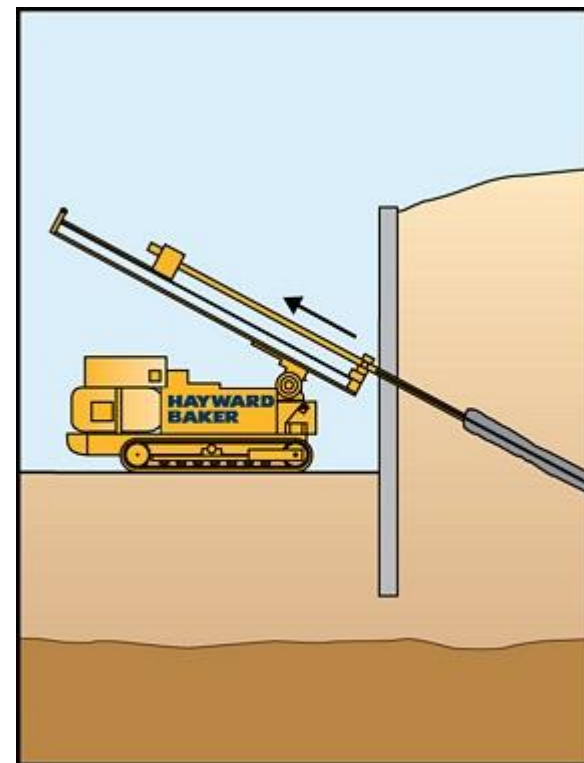
Kotwy gruntowe

Kotwy gruntowe stosowane są od kilkudziesięciu lat. Można je podzielić według kilku kryteriów.

Biorąc pod uwagę czas użytkowania, kotwy dzieli się na:

- stałe,
- tymczasowe.

Różnią je wymagania dotyczące trwałości i sposobu zabezpieczenia przed korozją. Kotwy tymczasowe projektuje się zwykle na dwa lata.



Kotwy gruntowe

Ze względu na materiał cięzna można wyróżnić:

- kotwy linowe (splotowe):
- kotwy prętowe:



Kotwy mogą być iniektowane wielokrotnie lub z iniekcją pojedynczą.

Wyróżnia się kotwy do gruntów ziarnistych (gliny, ropy, piaski) oraz kotwy skalne.

Etapy wykonywania kotwienia

Pierwszą czynnością jest zawsze otworu w gruncie na wymaganą głębokość, zwykle jest to otwór o średnicy kilkunastu centymetrów.

Następnie wykonuje się wlewkę z zaczynu cementowego, wypełniając otwór od jego dna. Ma to na celu usunięcie z otworu ewentualnych zanieczyszczeń i całkowite jego wypełnienie.

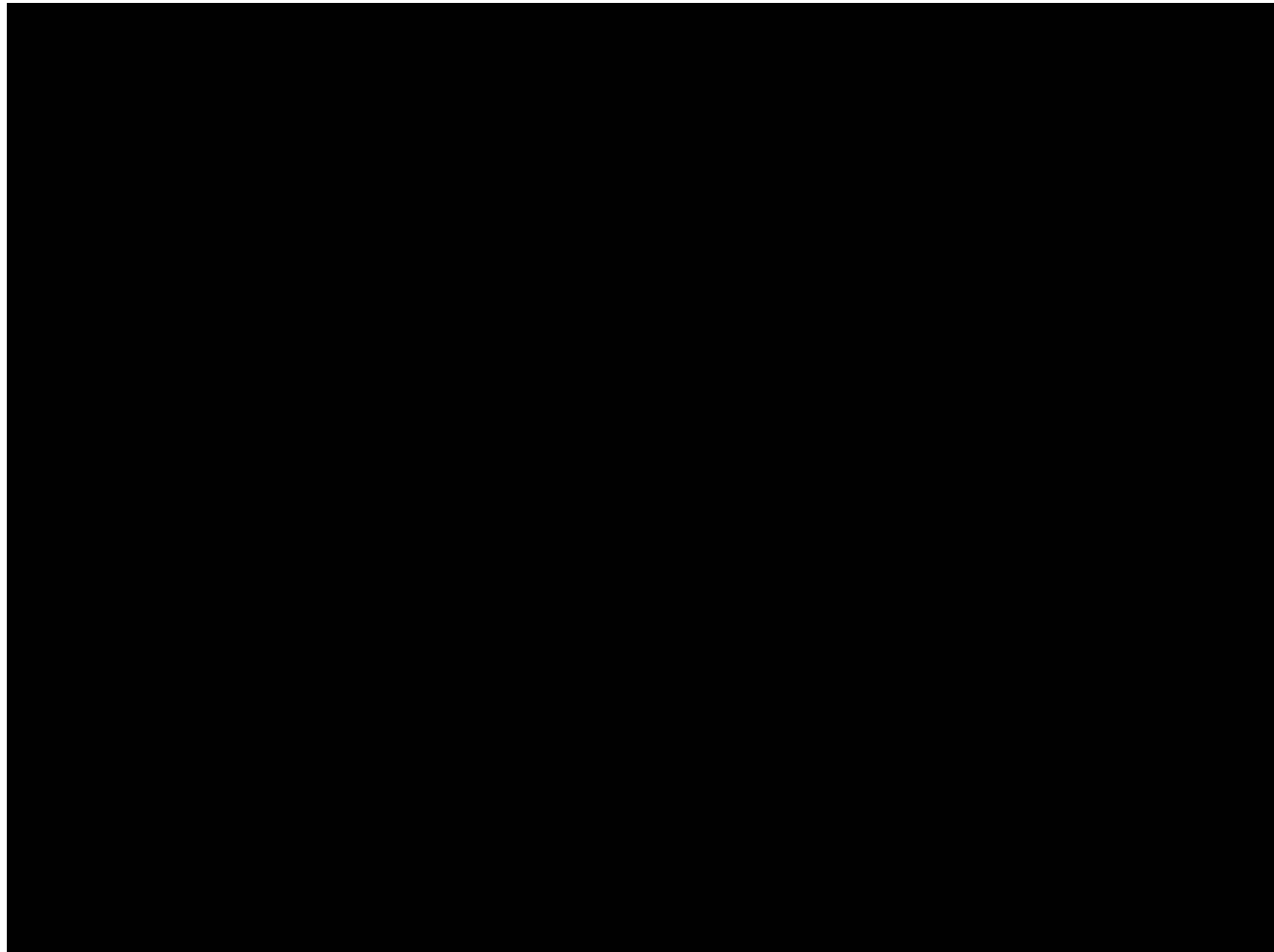
Następnie wkłada się do otworu cięgna kotwy oraz usuwa ewentualne rury, uzupełniając jednocześnie zaczyn cementowy.

Po kilku/kilkunastu godzinach formuje się buławę kotwy za pomocą iniekcji.



AGH

Etapy wykonywania kotwienia



Nachylenie kotew

Ze względu na orientację kotwy w gruncie możemy podzielić na:

- **poziome,**
- **ukośne.**

Na pochylenie kotew ma wpływ charakter obciążenia.

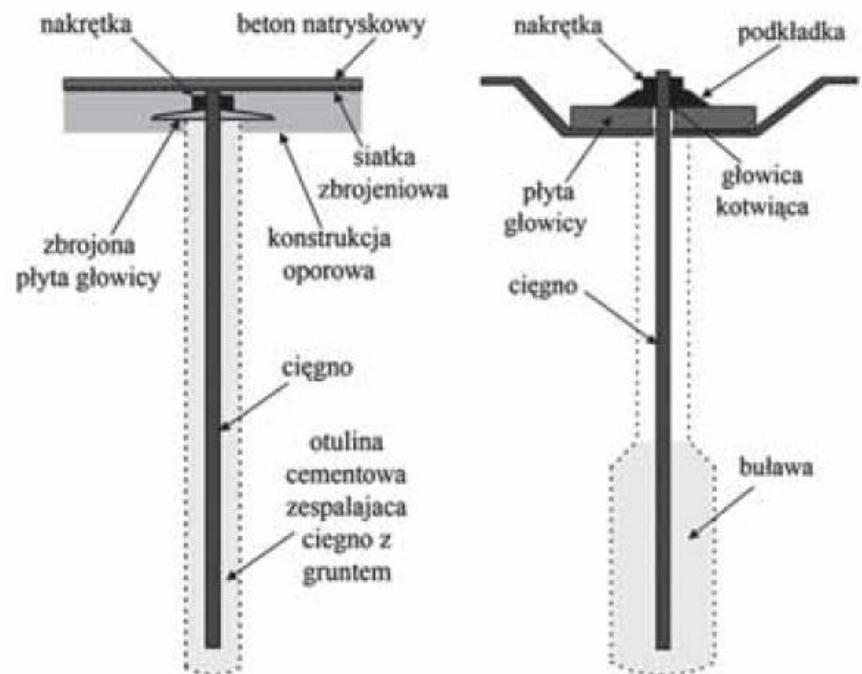
Kotwy ukośne skuteczniej zabezpieczają stateczność masywu gruntowego, a jednocześnie łatwiej je rozmieścić, zwłaszcza w pobliżu obiektów podziemnych. Kotwy nachylone wypadają krótsze, ale w większej liczbie niż poziome.

Z praktyki wynika, że najkorzystniejsze jest pochylenie kotew pod kątem $20\div 30^\circ$ do poziomu, sporadycznie spotyka się kotwy o pochyleniu nawet ponad 45°

Podział kotew

Ze względu na charakter pracy kotwy można podzielić na:

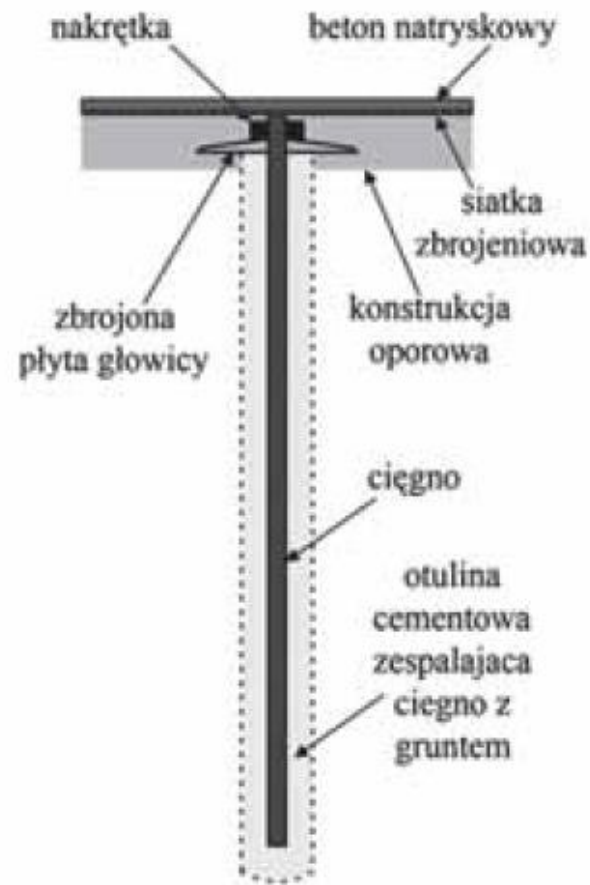
- bierne (gwoździe gruntowe),
- czynne.



Kotwy bierne

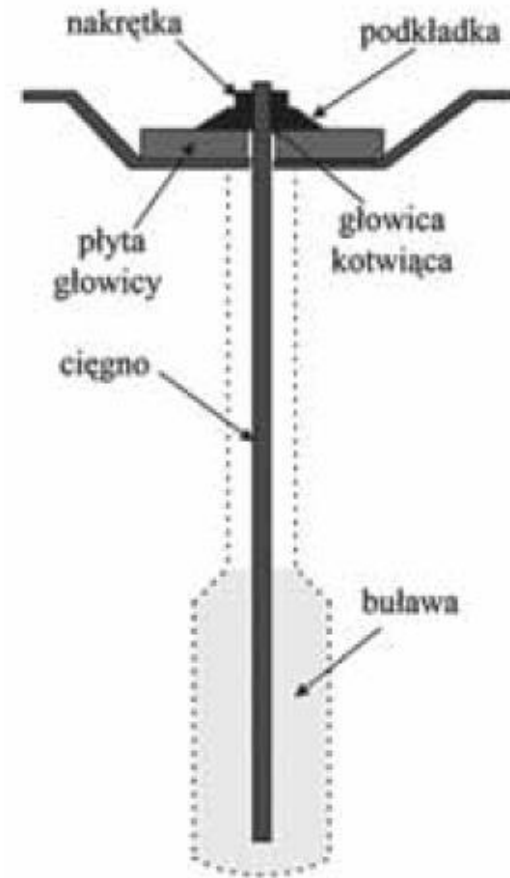
Kotwy bierne, bez wstępnego naprężania, są zespolone na całej długości. Kotwy tego typu nazywane są gwoździami gruntowymi lub też śrubami skalnymi.

Kotwy bierne – gwoździe nadają ośrodkowi gruntowemu zdolność przenoszenia znacznych sił rozciągających i ścinających.



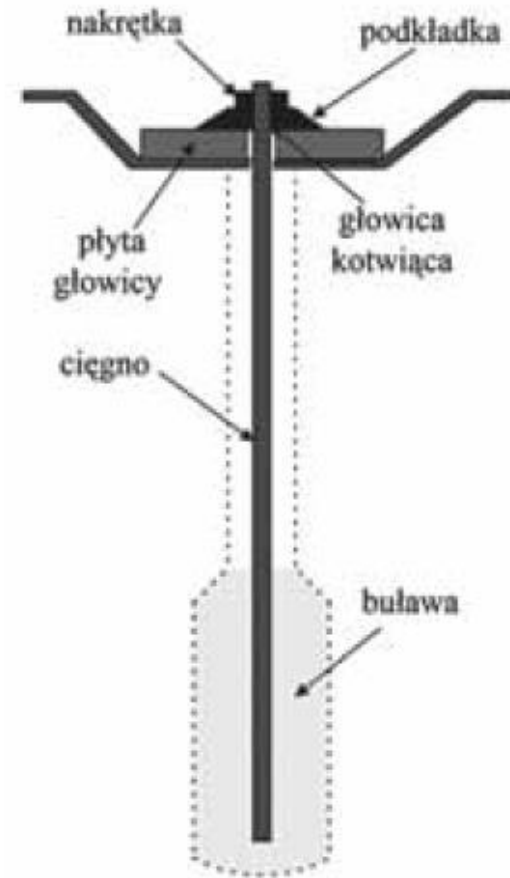
Kotwy czynne

Kotwy czynne – wstępnie naprężane, które zaczyn uszczelniający zespala z gruntem tylko na odcinku końcowym, nazywanym buławą. Kotwa gruntowa wstępnie naprężana (tzw. kotwa) jest osadzonym w gruncie elementem rozciągany, przekazującym obciążenia działające na jej głowicę przez odcinek naprężony, do buławy zespolonej ze stabilnym gruntem – poza bryłą odłamu. Dlatego kotwy tego typu osiągają znaczne długości oraz duże uciążi. Celem wstępnego naprężenia kotwy jest eliminacja początkowych deformacji kotwionej konstrukcji oporowej i przez to całkowite (lub prawie całkowite) jej unieruchomienie.



Kotwy czynne

Kotwy te są wykorzystywane wszędzie tam, gdzie muszą być przeniesione duże siły skierowane na zewnątrz masywu gruntowego, powodowane parciem ziemi i wyporem wody. Do najistotniejszych zalet kotew wstępnie naprężanych zaliczyć można możliwość skontrolowania zakotwienia przez pomiar siły naprężającej i przemieszczeń kotwy oraz przewidywalność zachowania się kotwy.



Nośność kotwy

Nośność kotwy zależy od oporu na pobocznicę buławy. Wartość tego oporu wynika z wartości pola powierzchni pobocznic, cech mechanicznych gruntu, w których jest uformowana, oraz skuteczności zespolenia z gruntem, zależnej od technologii formowania buławy. Największe uciążki kotew uzyskuje się, gdy buławy są formowane w gruntach niespoistych, zagęszczonych i stosowane są duże wartości ciśnień iniekcji.

	Grunty spoiste plastyczne	Grunty spoiste twardoplastyczne i zwarte	Piaski drobne, średnie i grube średnio zagęszczone	Piaski drobne, średnie i grube zagęszczone	Piaski drobne, średnie i grube bardzo zagęszczone	Żwiry średnie i grube średnio zagęszczone, pospółki
q_{sk}	60	100	150	175	200	250

Nośność kotwy

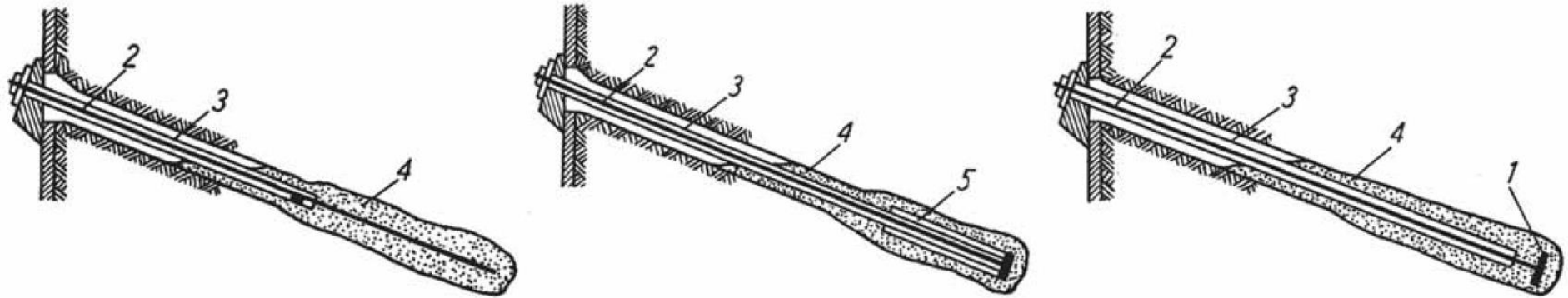
Ze względu na rodzaj siły w buławie wyróżnia się:

- kotwy z buławami rozciągany, w których ciągnie przyczepność do stwardniałego zaczynu wzdłuż buławy. Pod wpływem naprężeń rozciągających stwardniały zaczyn ulega poprzecznym spękanom. Takie samo zjawisko występuje w kotwie biernej (gwoździu gruntowym), której ciągnie, będąc na całej długości zespolone ze związanym zaczynem, powoduje jego rozciąganie.
- kotwy z buławami ściskanymi posiadają ciągnie zakończone stalową płytą lub rurą. Siła z ciągnie przekazywana jest przez płytę na buławę od jej końca. Stwardniały zaczyn tworzący buławę kotwy jest ściskany, a zatem niebezpieczeństw spękań nie występuje.



AGH

Buława



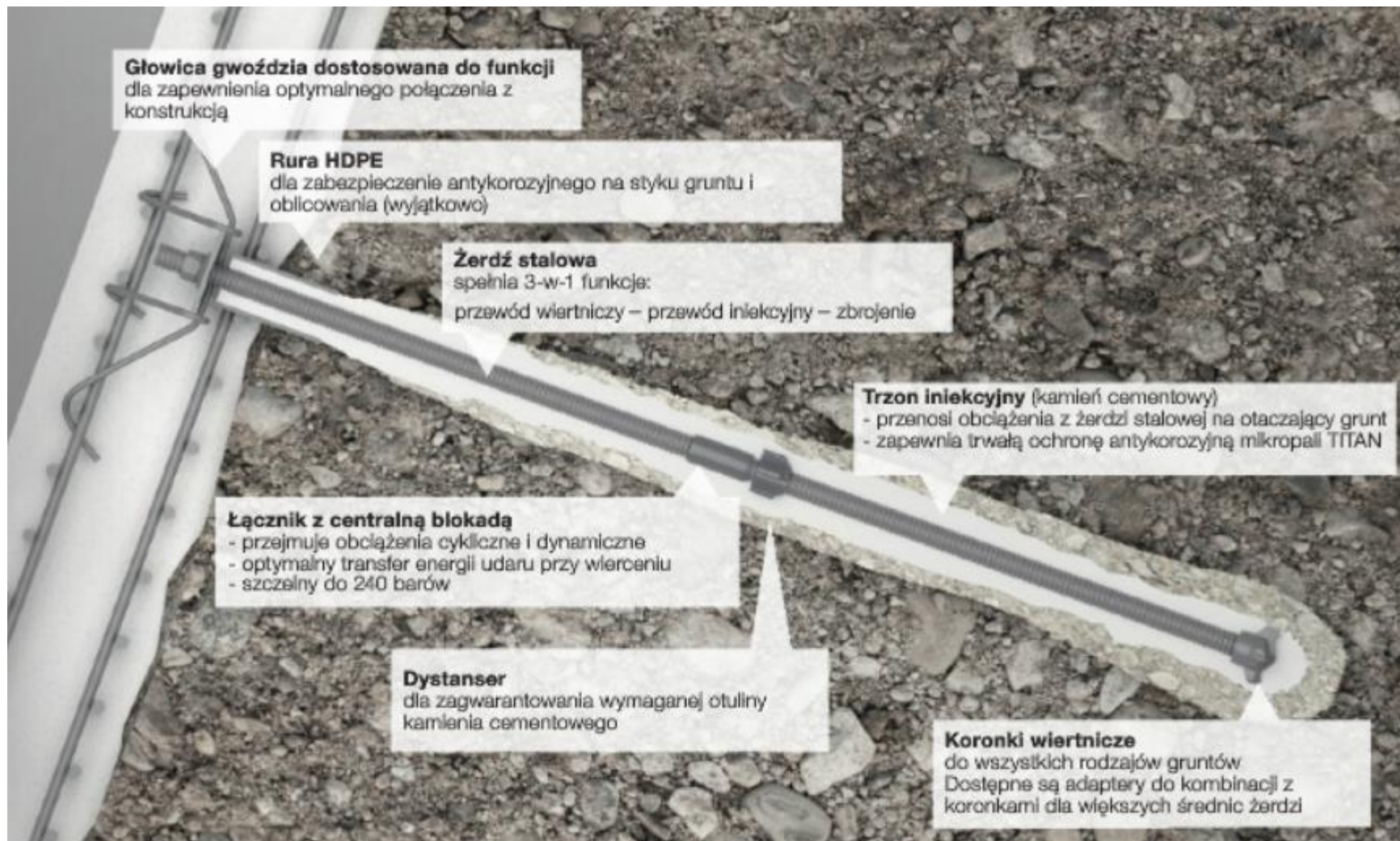
Rodzaje kotew:

a) kotew o buławie rozciąganej,

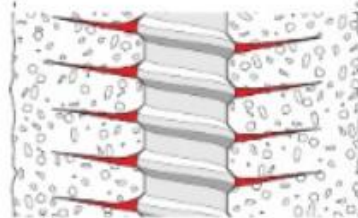
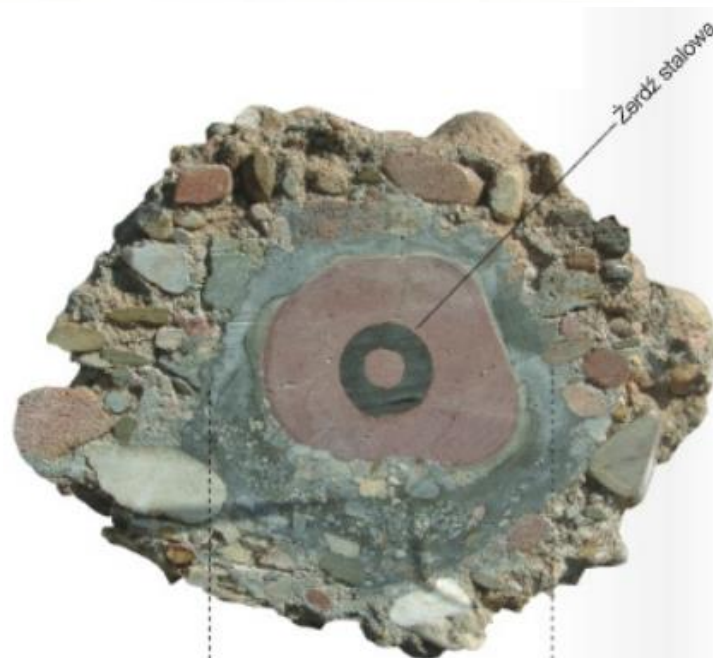
b i c) kotew o buławie ściskanej.

1. płyta połączona z ciągnem, 2. ciągnio, 3. rura osłaniająca ciągnio przed działaniem zaczynu, 4. zaczyn iniekcyjny, 5. rura kotwiąca

Elementy systemu samowiercącego (na przykładzie gwoździ gruntowych TITAN)



Elementy systemu samowierącego (na przykładzie gwoździ gruntowych TITAN)

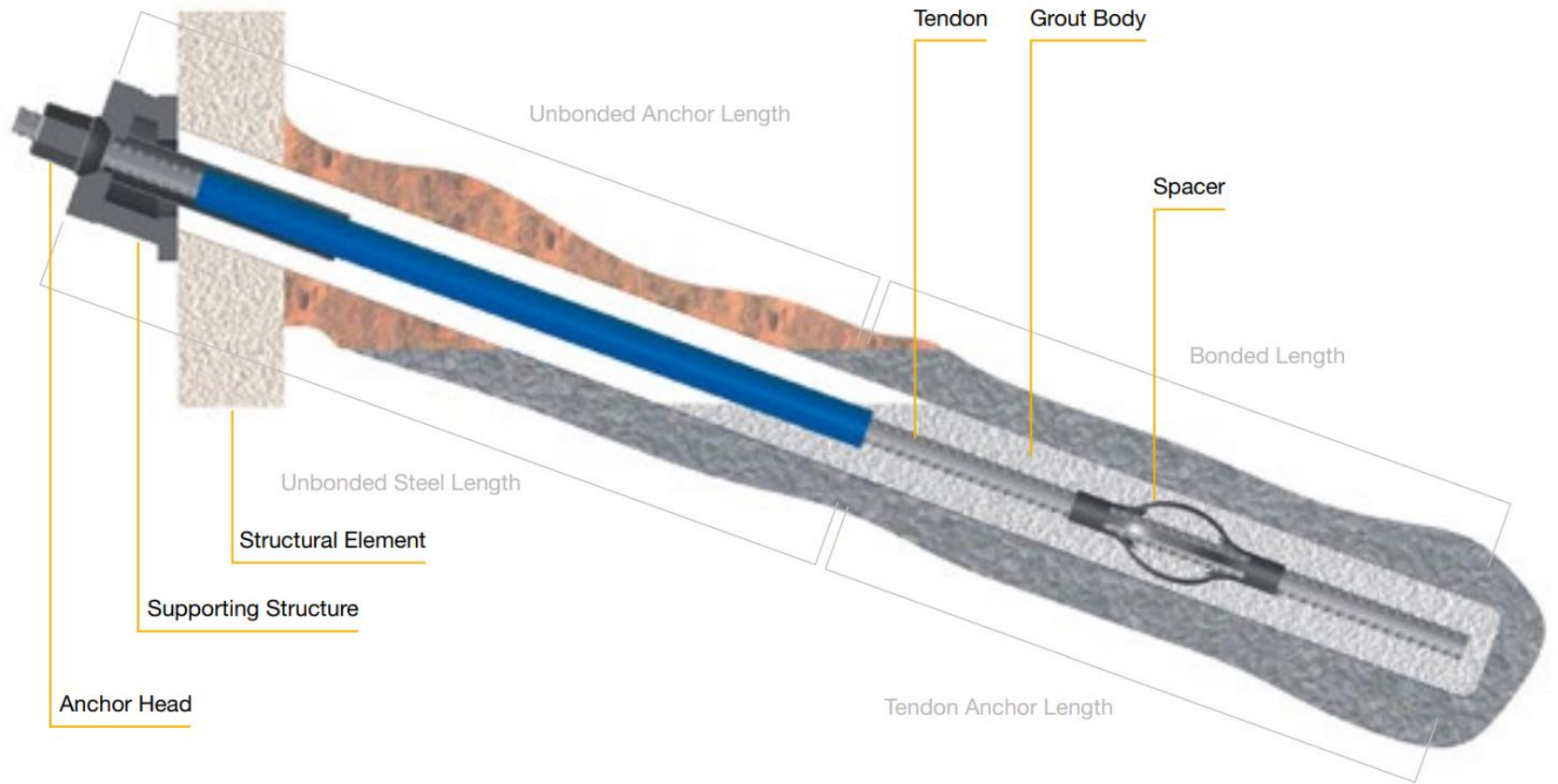


Kontrolowana szerokość rys $s < 0.1$ mm podczas maksymalnego wyężenia żerdzi stalowej



AGH

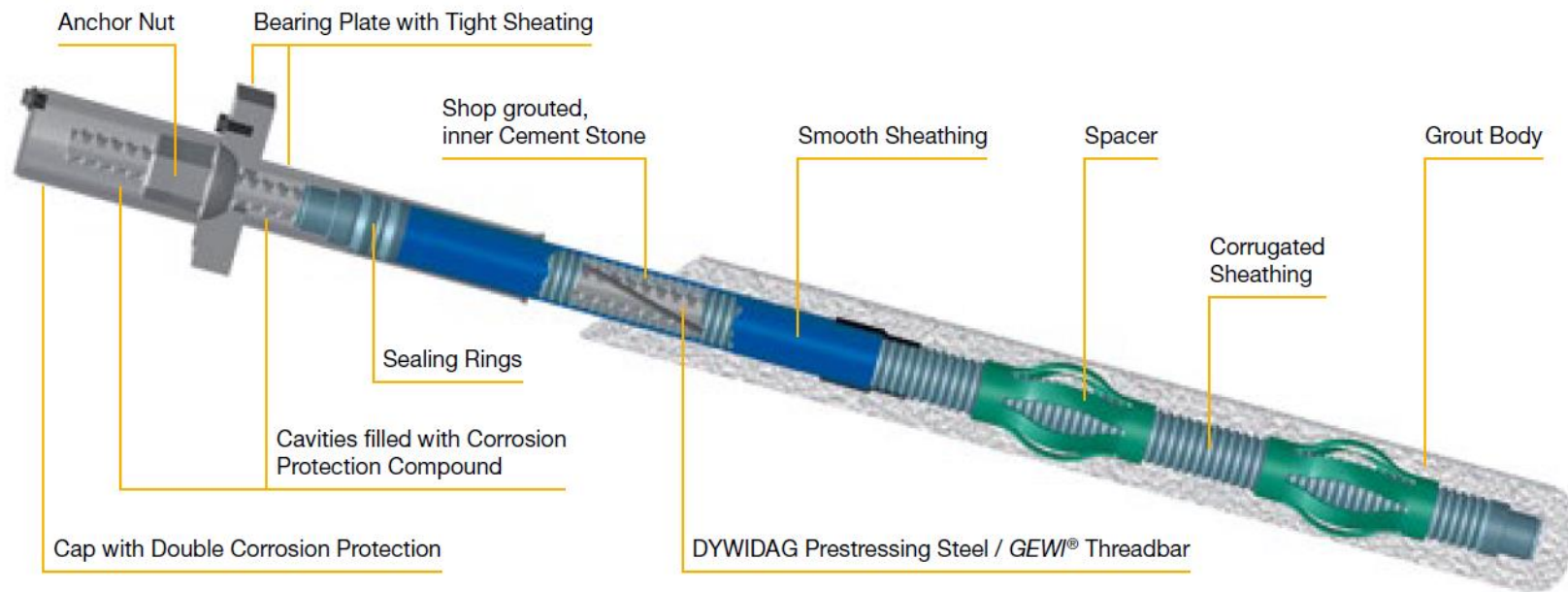
Elementy systemu Dywidag



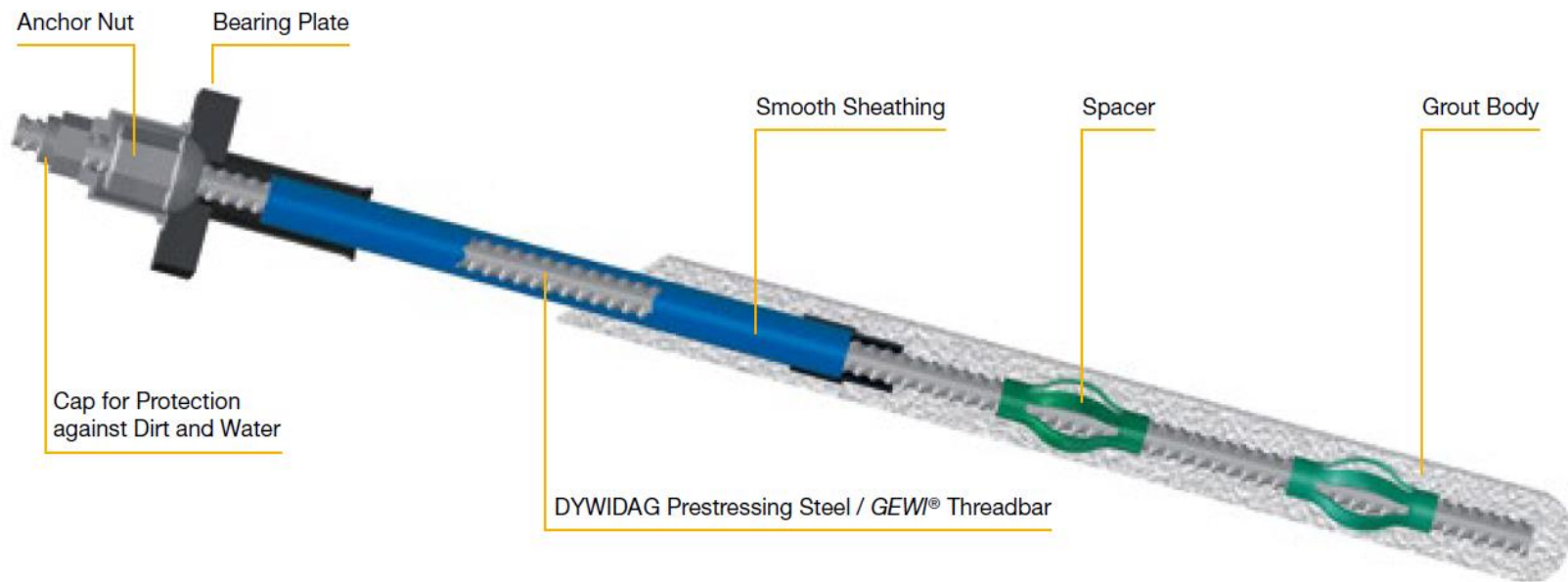


AGH

Elementy systemu Dywidag (kotwy stałe)



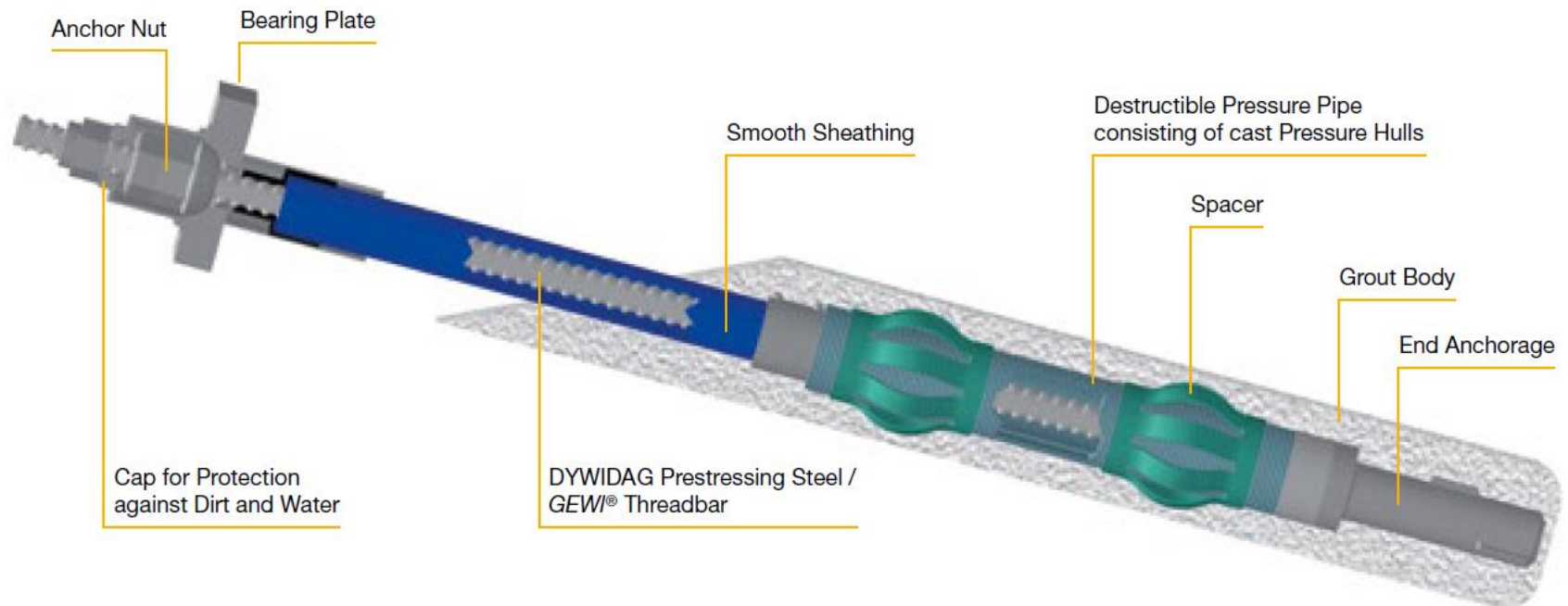
Elementy systemu Dywidag (kotwy tymczasowe)



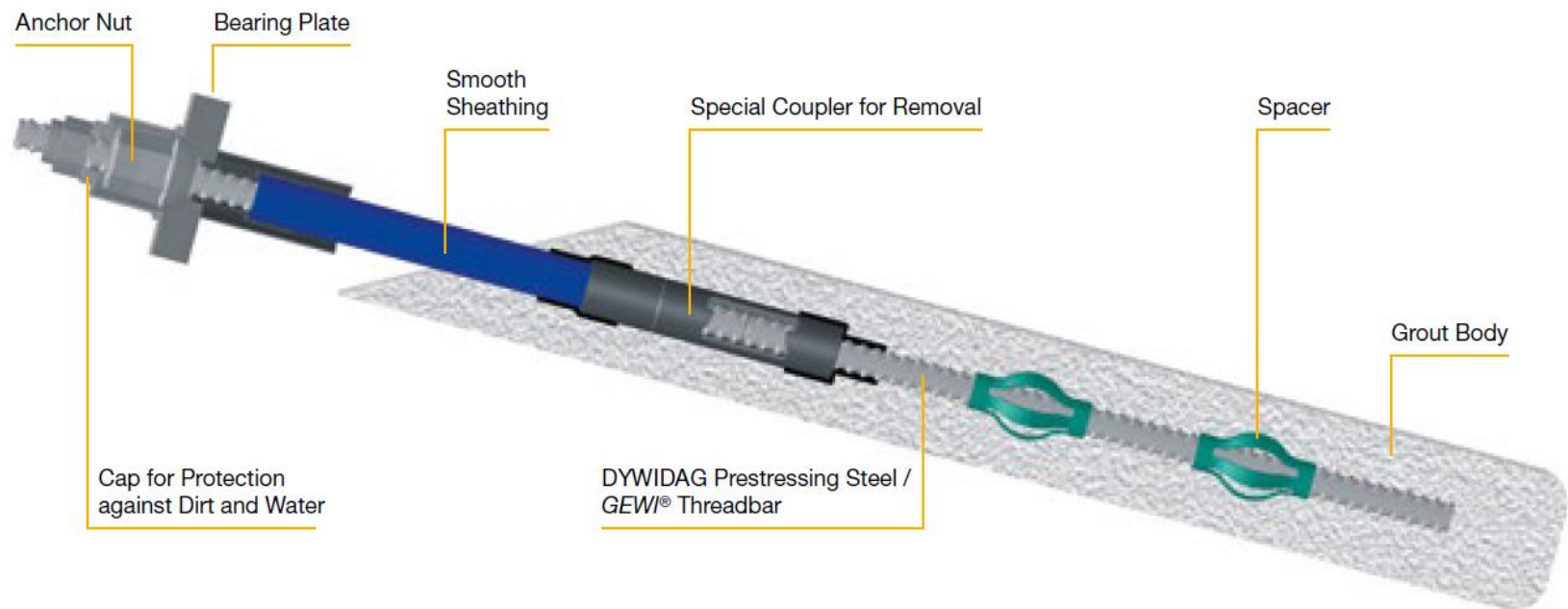


AGH

Elementy systemu Dywidag (kotwy usuwalne)



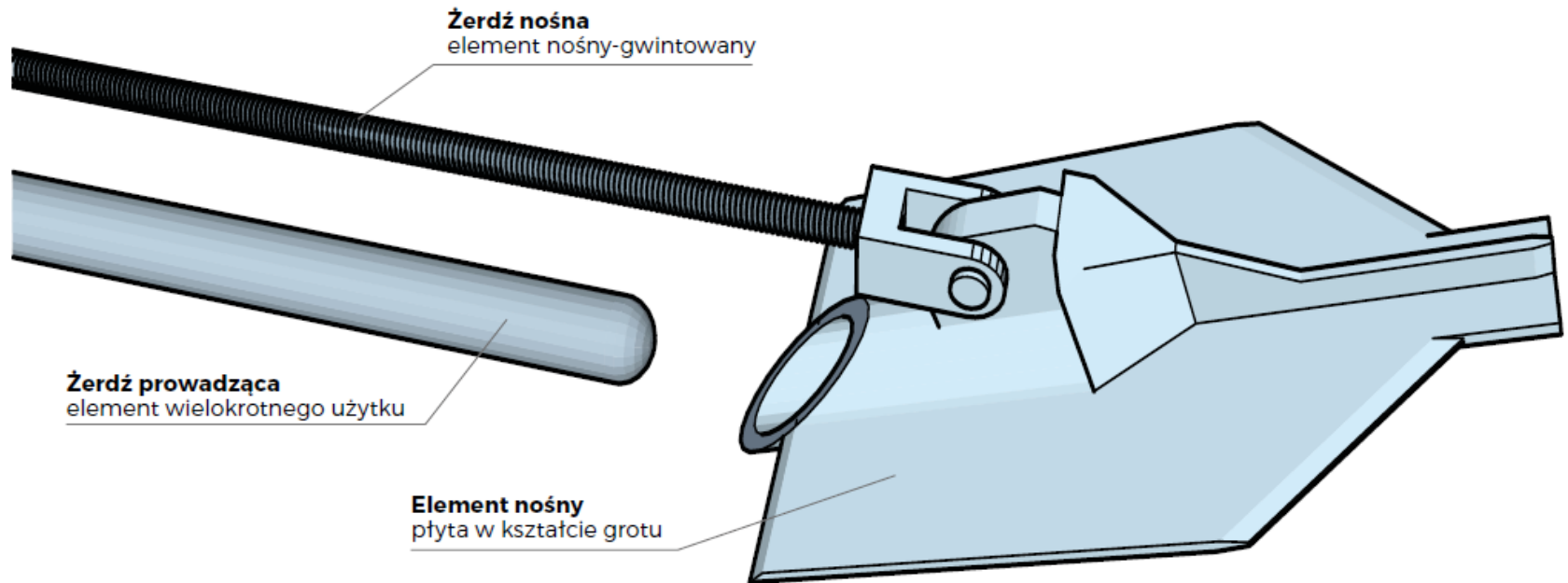
Elementy systemu Dywidag (kotwy z usuwalną częścią wolną)





AGH

Kotwy wbijane (Pietrucha)





AGH

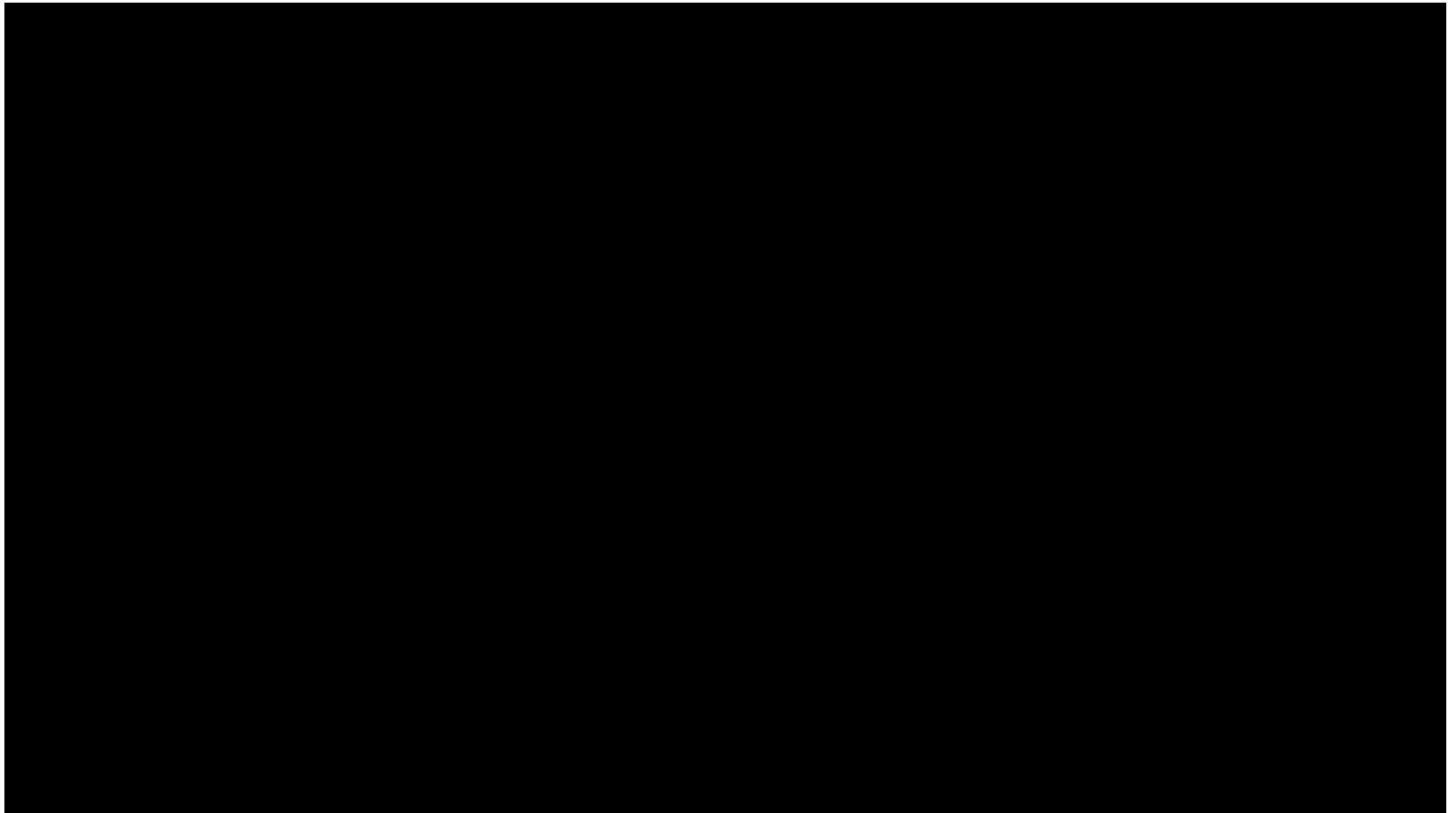
Kotwy wbijane (Pietrucha)





AGH

Kotwy wbijane





AGH

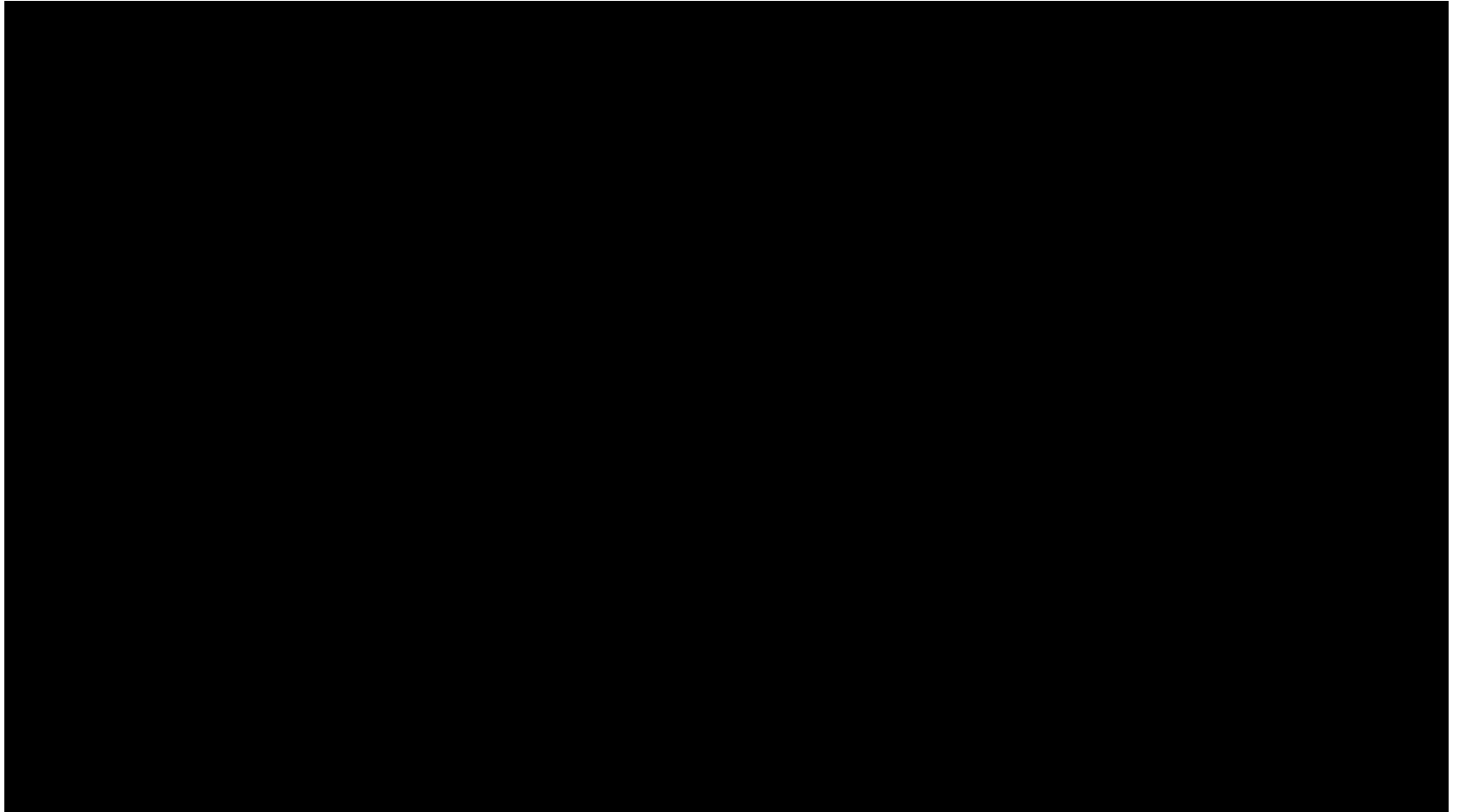
Kotwy wkręcane (Chance[®])





AGH

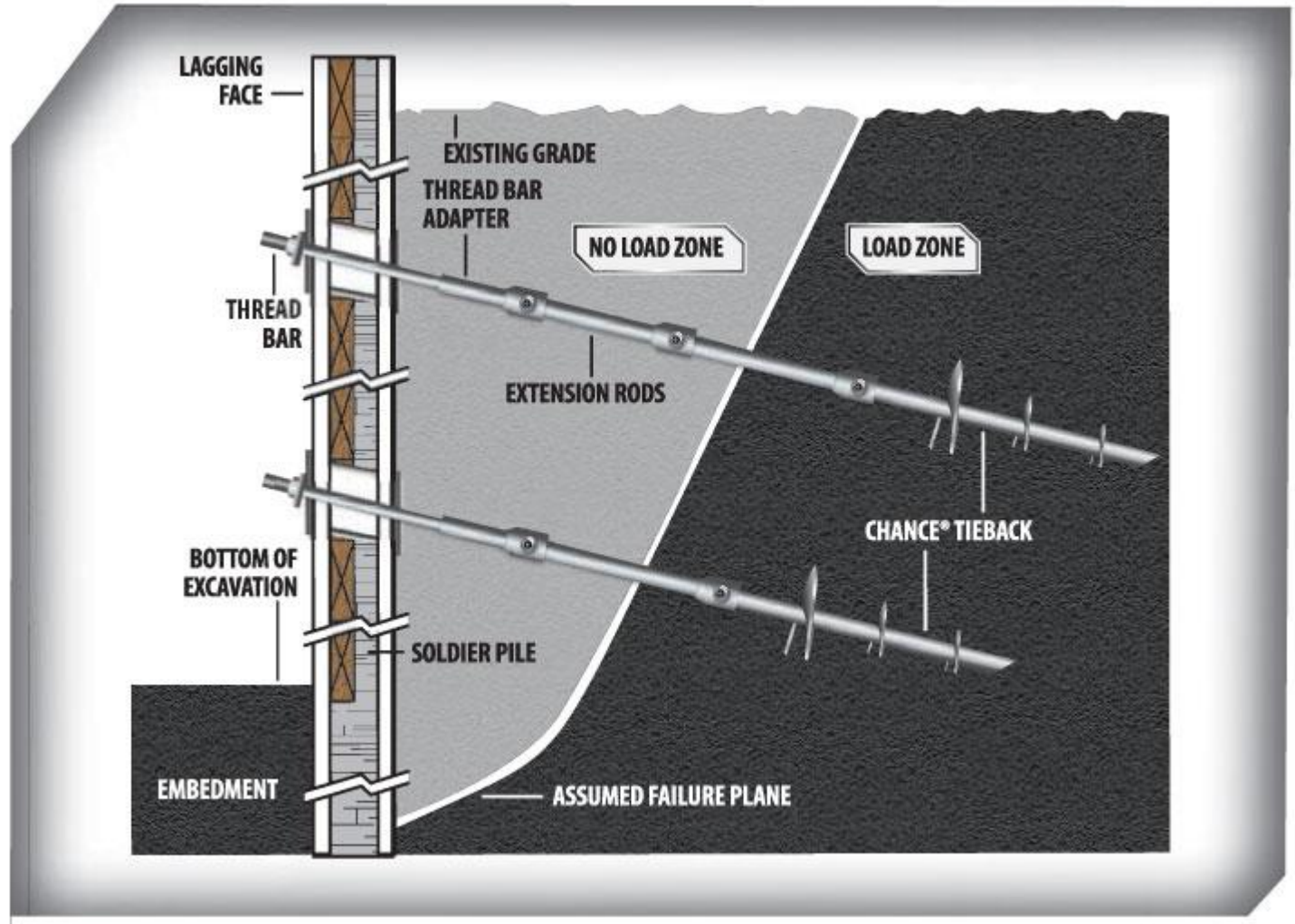
Kotwy wkręcane (Chance®)





AGH

Kotwy wkęcane (Chance[®])



Wyróżnia się trzy typy oblicowania:

- **oblicowanie sztywne,**
- **oblicowanie elastyczne,**
- **oblicowanie lekkie.**

Oblicowanie

Oblicowanie sztywne – połączone sztywno z gwoździami gruntowymi i w takim układzie stabilizuje skarpy wykopu. Najczęściej wykonywane jest z betonu (torkret, elementy betonowe monolityczne lub prefabrykaty)



Oblicowanie

Oblicowanie elastyczne – stabilizuje powierzchniowo grunt między elementami zbrojenia oraz zapobiega erozji. Najczęściej wykonuje się je z siatek stalowych lub siatek z tworzyw sztucznych.



Oblicowanie

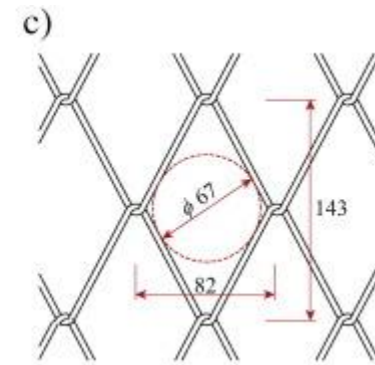
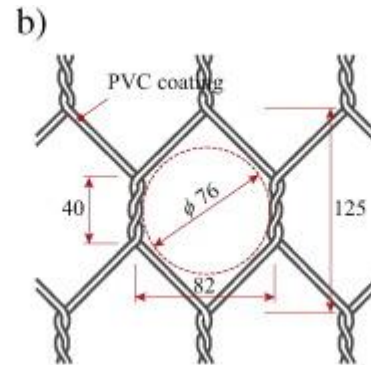
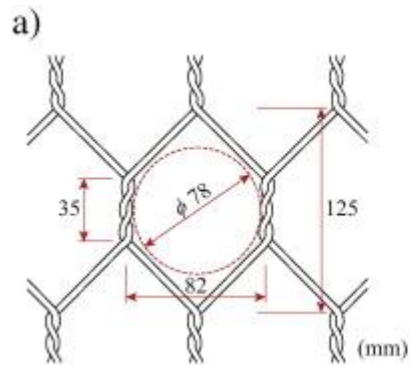
Oblicowanie lekkie – służy głównie do zapewnienia ochrony przed erozją oraz uszkodzeniami powierzchni. Gwoździe w takim przypadku mocują jedynie oblicowanie, które nie wpływa dodatkowo na stateczność nasypu.



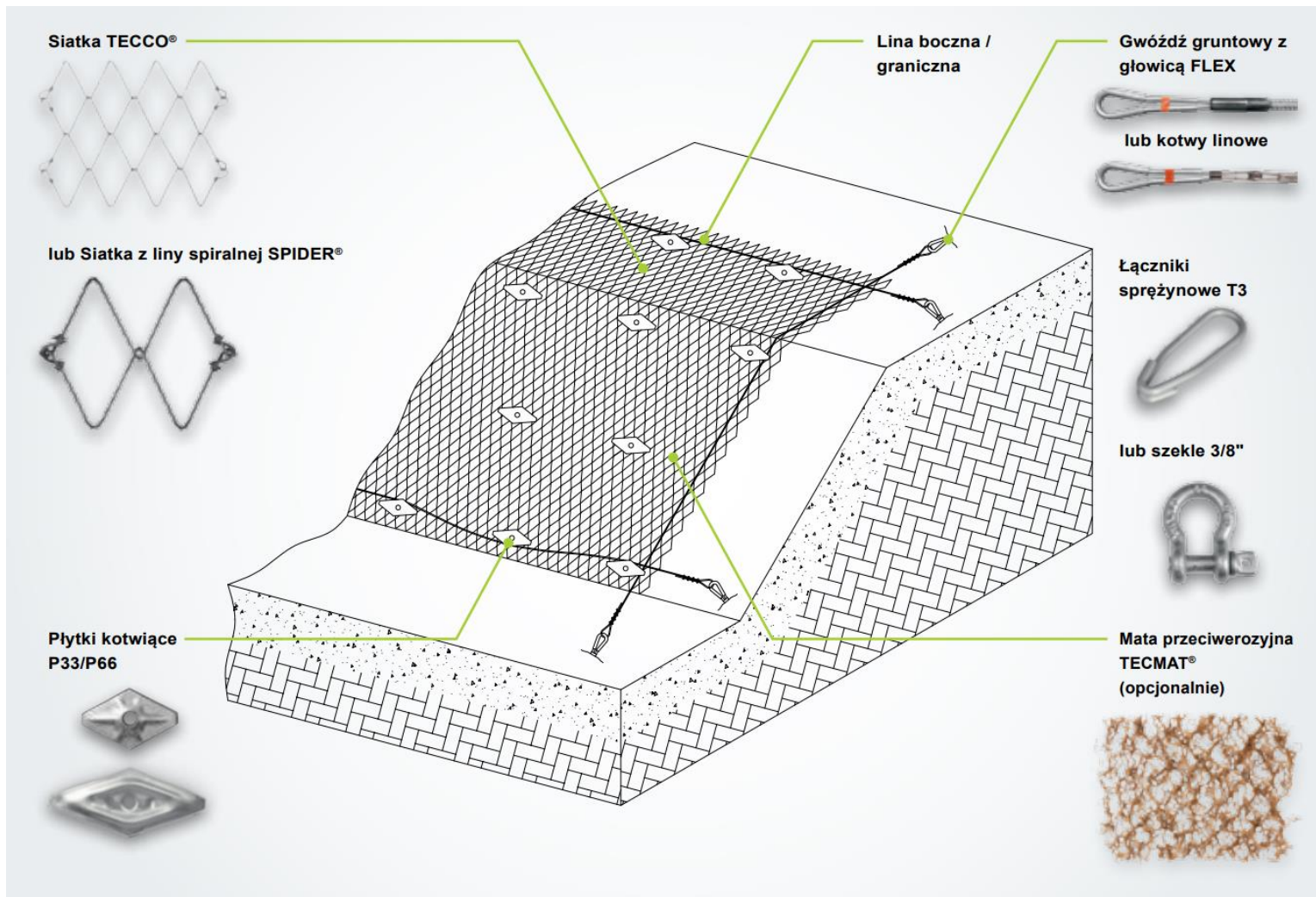


AGH

Siatki stalowe



Siatka TECCO®





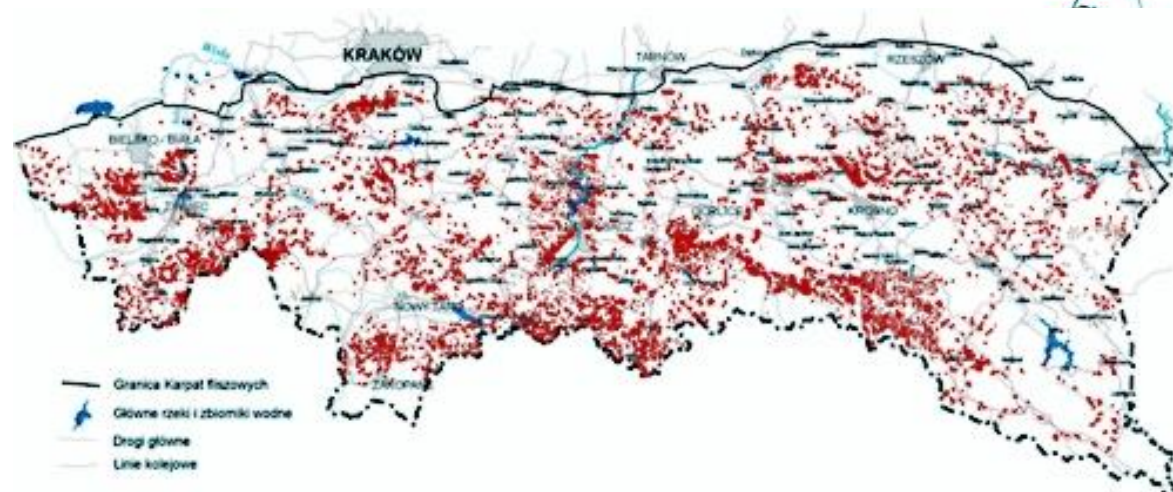
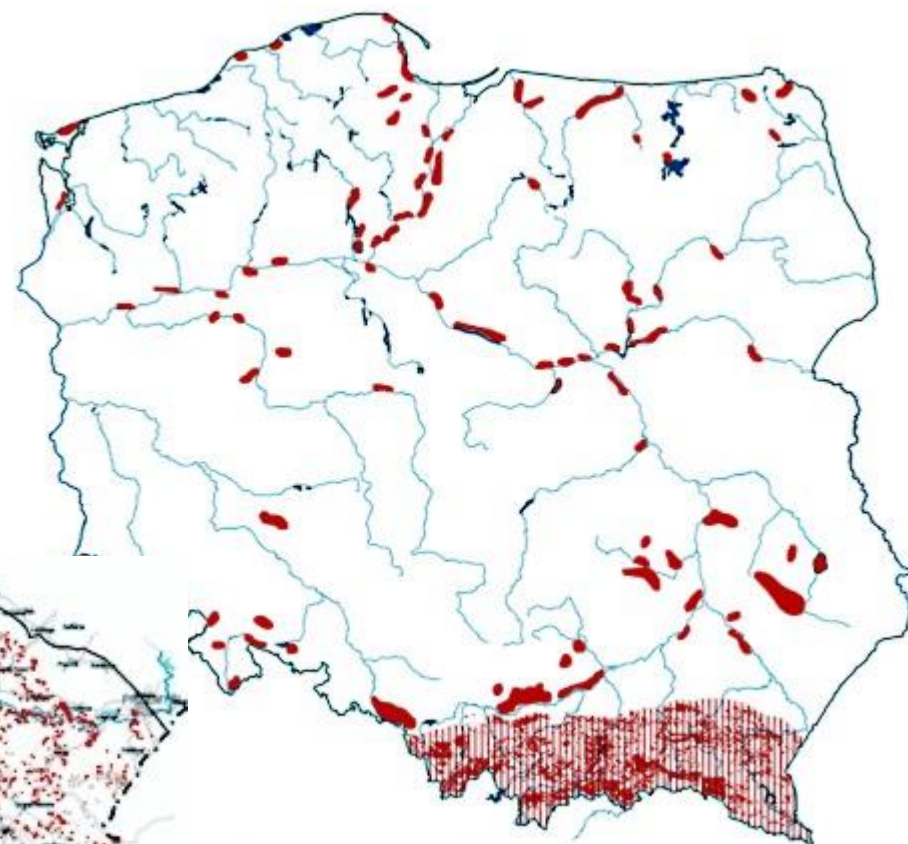
AGH

Osuwiska...

W Karpatach udokumentowano ponad 20000 osuwisk.

Zagrożonych jest 50-60 % budynków na zboczach.

Setki tysięcy budynków i 1 milion ludzi.





AGH

Osuwiska...



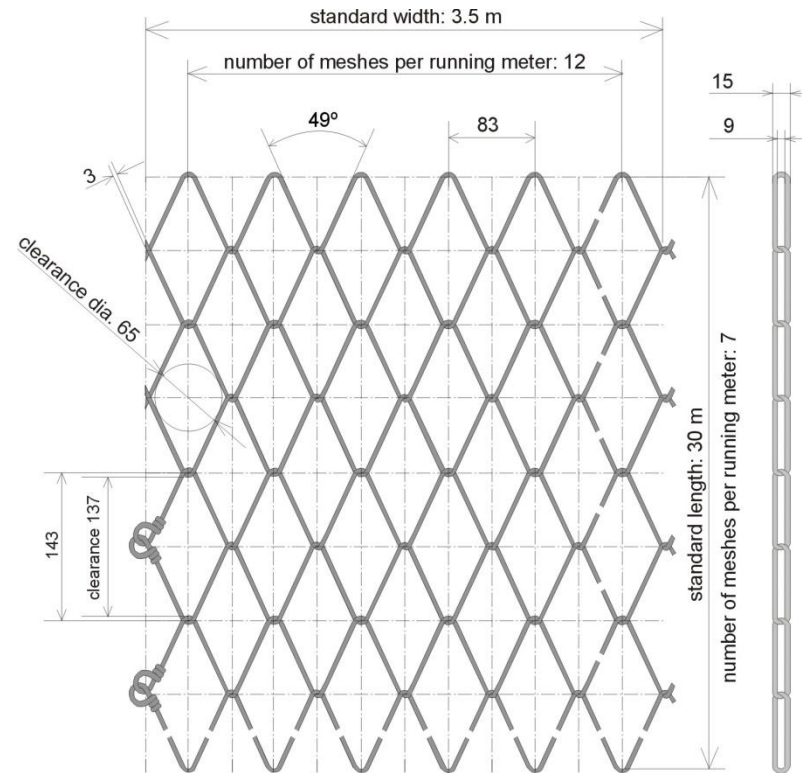


AGH

Siatka TECCO®

Siatka TECCO® G65/3

Wymiary oczka:	143 x 83 [mm]
Średnica drutu:	3 [mm]
Wytrz. stali na rozcz.:	1770 MPa
Ciężar jednostkowy:	1.65 [kg/m²]
Wytrz. wzdłużna:	150 [kN/mb]
Wytrz. na przebicie ukł. płytka – siatka:	180 [kN]



Pytanie...i...pomysł!

Pytanie:

Czy system Tecco wpływa na globalną stateczność skarpy ?
...czy jest to tylko zbrojenie powierzchniowe ?

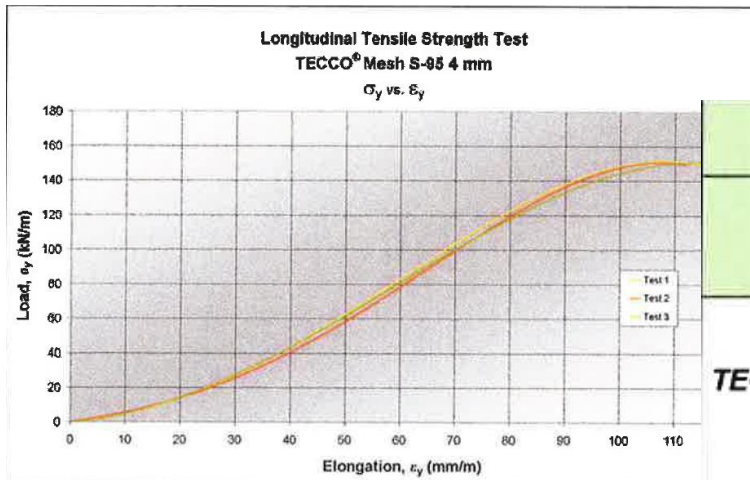
Pomysł:

Obserwacje całego szeregu instalacji siatki Tecco w Szwajcarii i na całym świecie podsunęły myśl, że takie silne **wzmocnienie lica skarpy**, w połączeniu z gwoździowaniem, powinno być rozpatrywane także jako **element wzmacniający** (zbrojący) **skarpe** (a nie tylko lico skarpy).

Badania stanowiskowe siatki TECCO® S95/3 i S95/4 wykonane na University of Cantabria, Santander, Hiszpania



UNIVERSITY OF CANTABRIA
E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
Laboratory of Structures

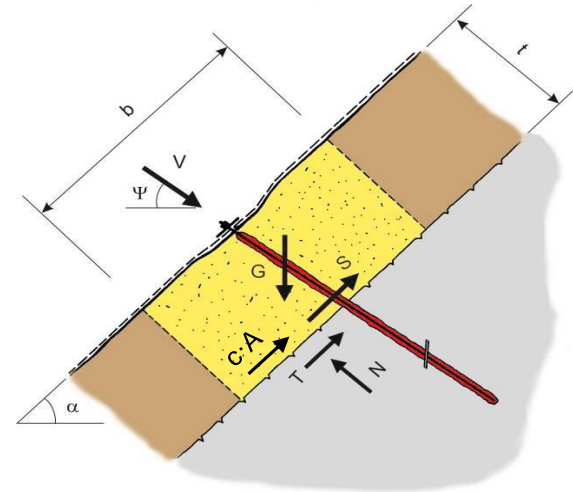
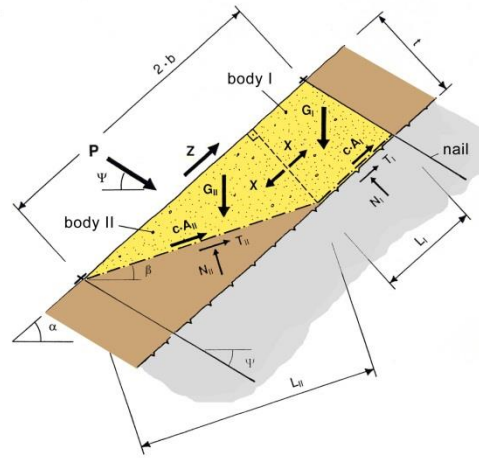
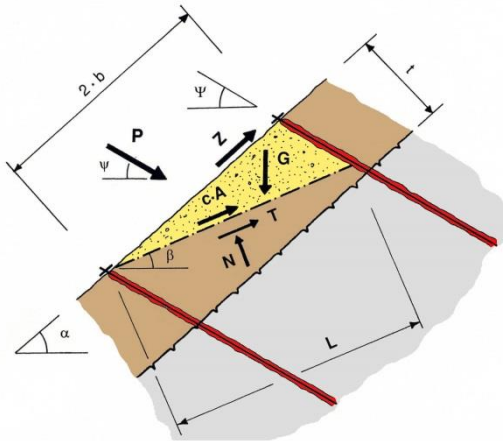
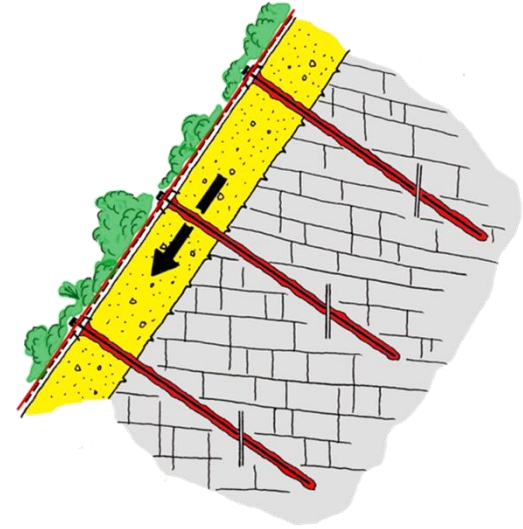
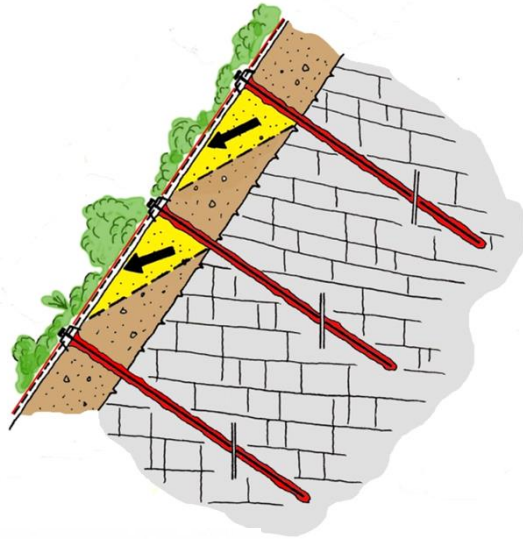


LONGITUDINAL TENSILE STRENGTH TEST			
	Sample N°	Unitary Elongation ϵ_y (mm/m)	Breaking load σ_y (kN/m)
TECCO® Mesh S-95 $\phi = 3,0$ mm	1	97,9	82,9
	2	104,9	86,9
	3	83,4	72,5
	Average value	95,4	80,8
TECCO® Mesh S-95 $\phi = 4,0$ mm	1	115,3	155,7
	2	112,1	153,4
	3	116,2	154,3
	Average value	114,5	154,5



AGH

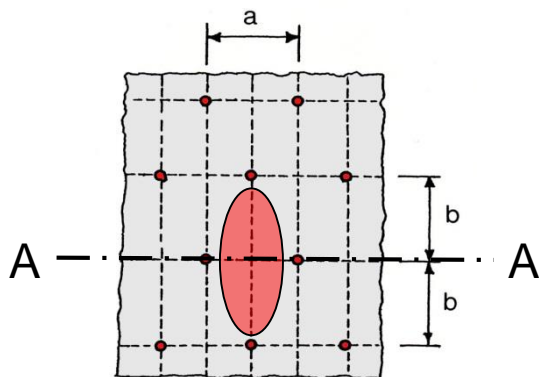
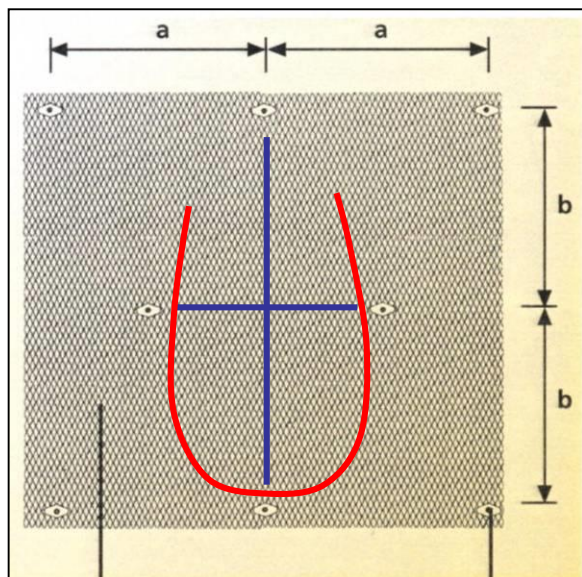
Konceptcja uwzględniania siatki





AGH

Konceptcja uwzględniania siatki



RUVOLUM® 7.0 **GEOBRUGG**

The dimensioning program for stabilization of soil and superficially strongly loosened, weathered rock slopes with the TECCO® system.

The dimensioning takes into account earthquake and streaming pressure.

Falzer AG
Geobrugg Protection Systems
CH - 8590 Romanshorn, Switzerland

Rüeegger Systems Ltd
Solutions in Geotechnical Engineering
CH - 9000 St. Gallen, Switzerland

August 2006

English Italiano Portugues
 Deutsch Español Portugues (BR)
 Français Rumani Polski

International Units
 American Units

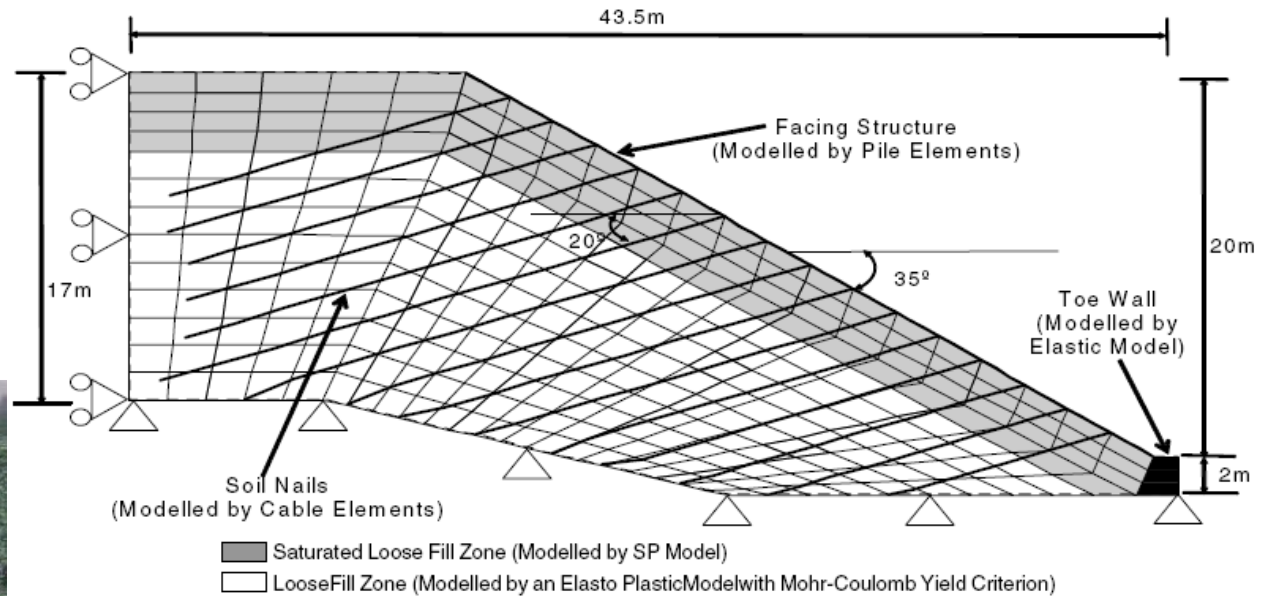
Start
Exit



AGH

Literatura...

C.Y. Cheuk, C.W.W. Ng, H.W. Sun. 2005. *Numerical experiments of soil nails in loose fill slopes subjected to rainfall infiltration effects.* Computers and Geotechnics.





A. Da Costa, C. Sagaseta. 2002. Analysis of soil slopes with nailed steel wire „meshes”, NMGE, 2002.

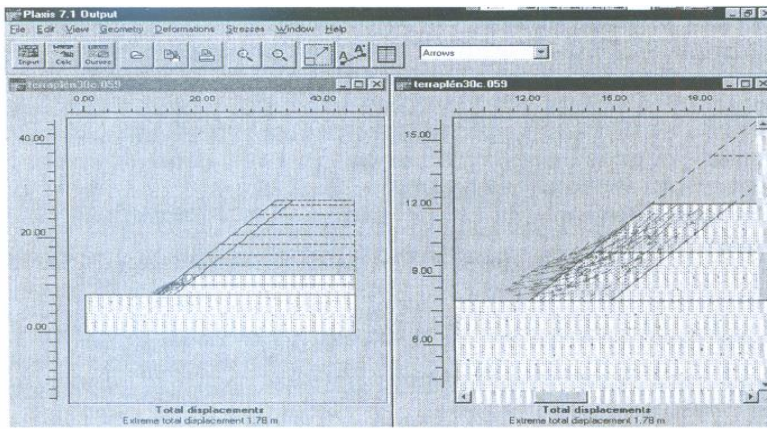


Figure 9. Embankment failure without reinforcement

4 m

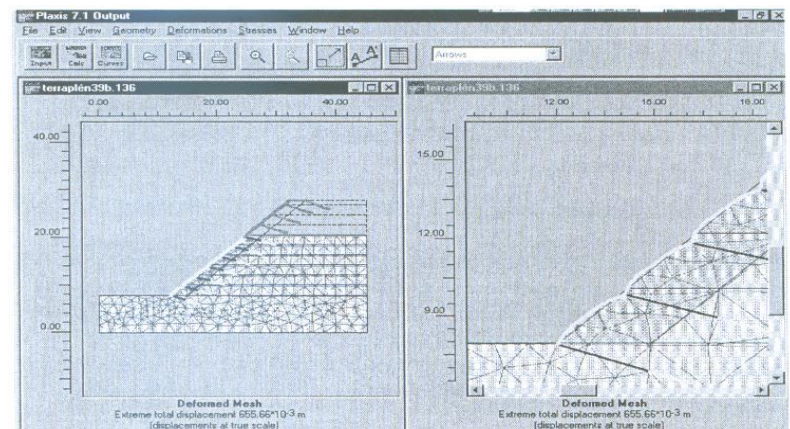


Figure 10. Embankment with reinforcement

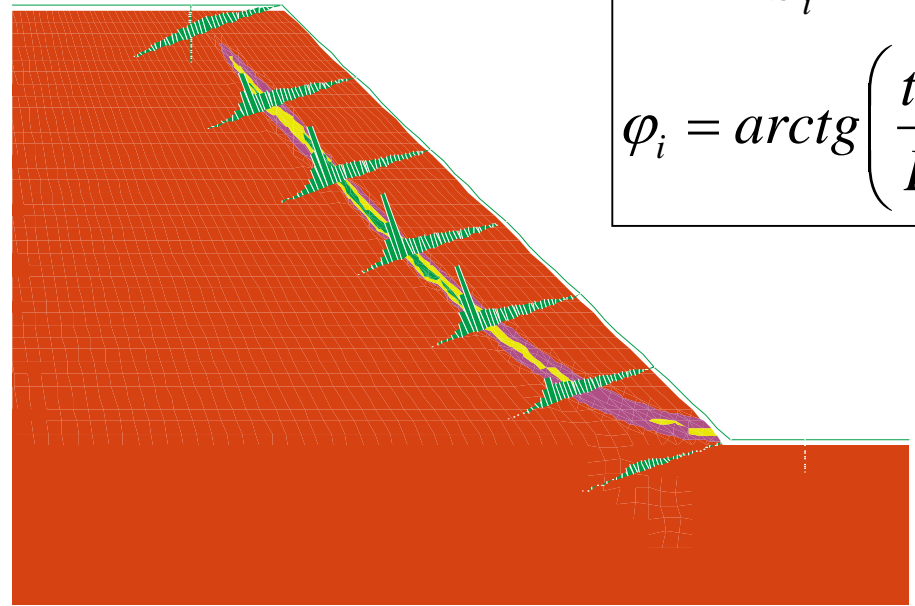
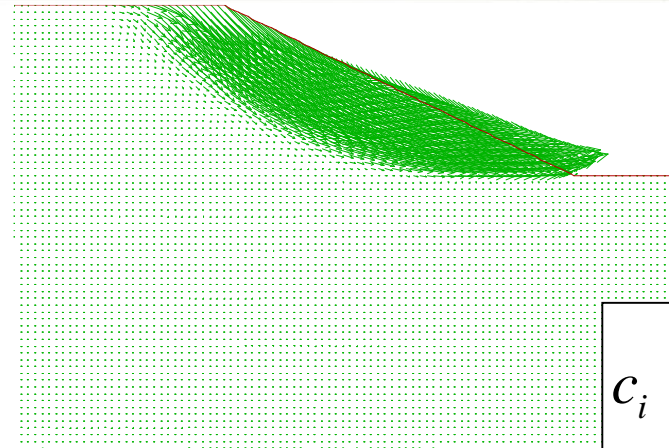
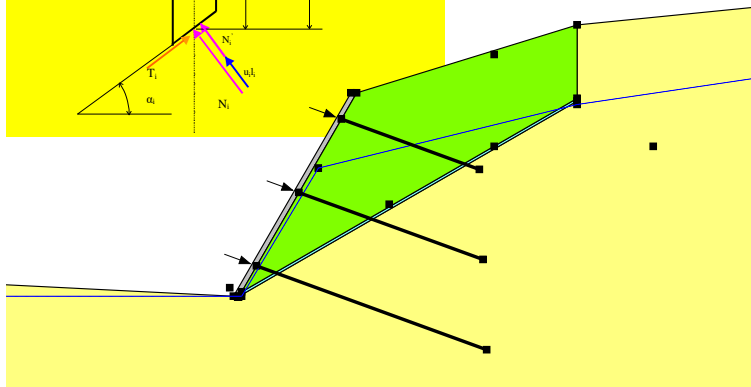
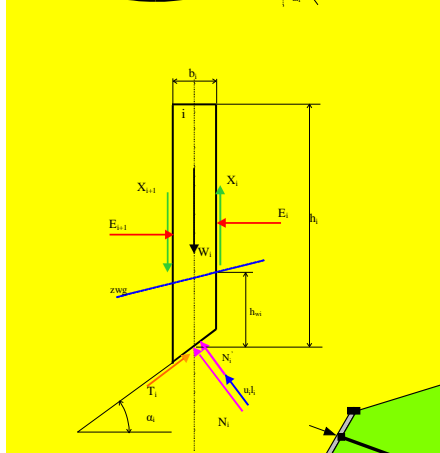
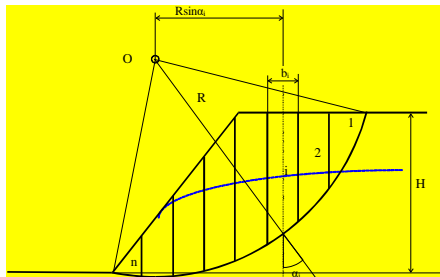
11 m

The „mesh” develops some curvature under deformation and it is supporting a tension state. The tension in the mesh and the anchoring forces increase with the embankment height. In this case mesh exerts a normal pressure to the slope surface, hence the shallow failure occurring in the case without reinforcement does not take place.



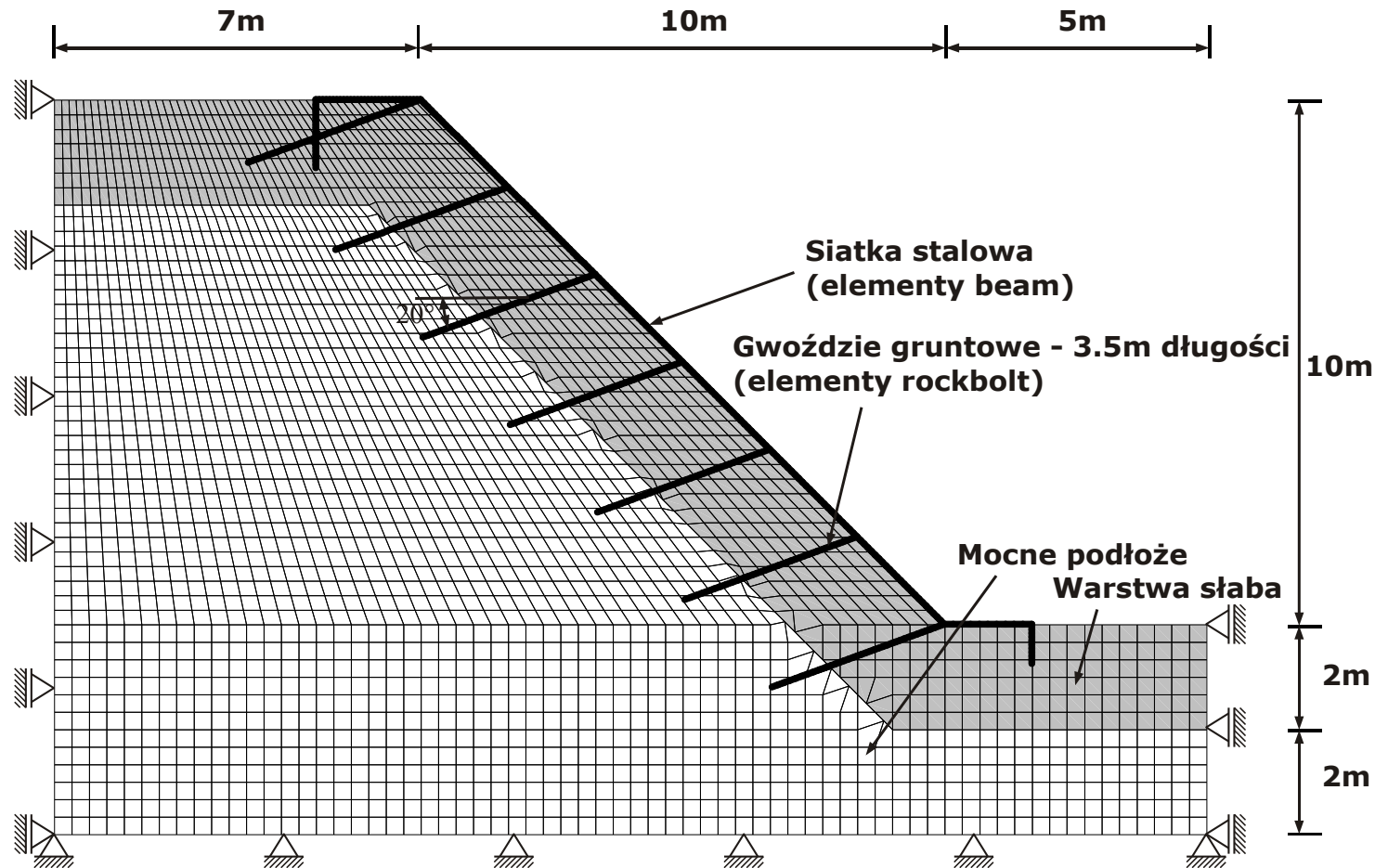
AGH

Analiza stateczności skarp zbrojonych

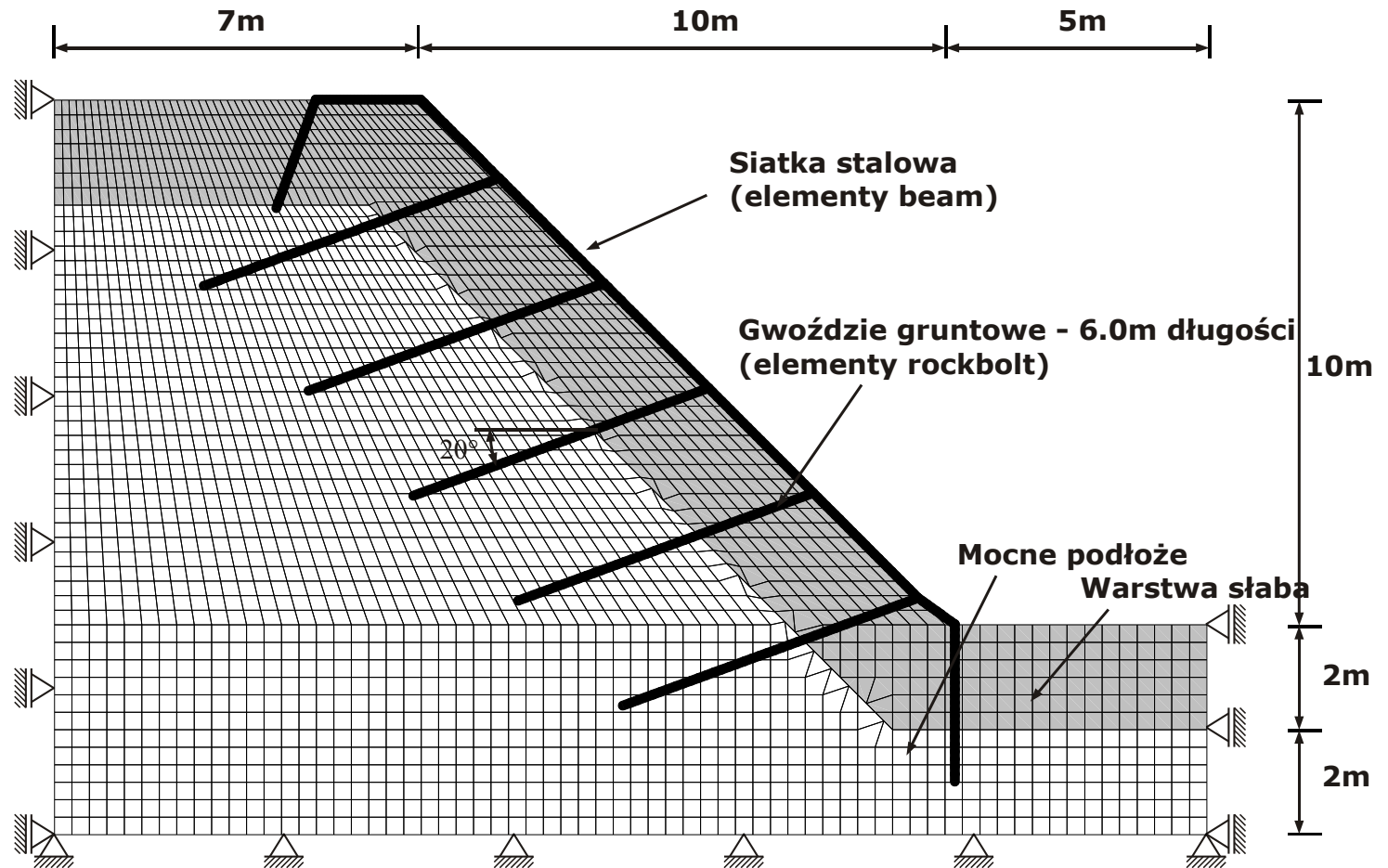


$$c_i = \frac{1}{FS_i} c$$
$$\varphi_i = \arctg \left(\frac{\text{tg} \varphi}{FS_i} \right)$$

Geometria skarpy wraz z pierwszym schematem gwoździowania



Geometria skarpy wraz z drugim schematem gwoździowania



Parametry obliczeniowe modelu

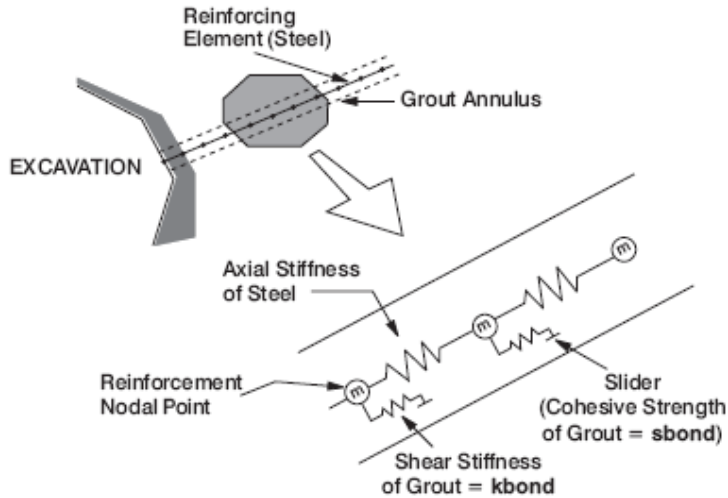
Parametry gruntu dla modelu Mohr-Coulomb (ośrodek gruntowy zachowuje się zgodnie z niestowarzyszonym prawem plastycznego płynięcia)

Parametr	warstwa słaba	mocne podłoże
Ciężar objętościowy, ρ	21 kN/m³	24 kN/m³
Moduł Younga, E	10 MPa	100 MPa
Współczynnik Poissona, ν	0.25	0.30
Kohezja, c	15 kPa	80 kPa
Kąt tarcia wewnętrznego, φ	18°	26°



AGH

Parametry modelu gwoździ



Gwoździe gruntowe modelowano jako elementy strukturalne typu rockbolt. Założono, że gwoździe stanowią pręty stalowe o średnicy 30 mm instalowane w otworach o średnicy 55 mm wypełnionych spoiwem na bazie zaprawy cementowej.

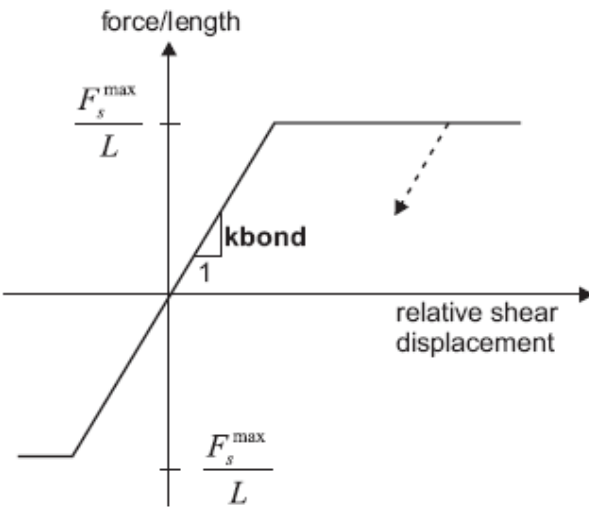
Parametr	Wartość
Promień, r	0.015 m
Krok, k	2.0 m
Moduł Younga, E_n	200 GPa
Moment uplastyczniający	487 Nm
Nośność, Y_n	125 kN
Krytyczne odkształcenie plastyczne	0.01



AGH

Parametry kontaktu gwoździe - grunt

Dla każdej warstwy założono inne parametry współpracy gwoździ z gruntem wynikające z właściwości ośrodka.

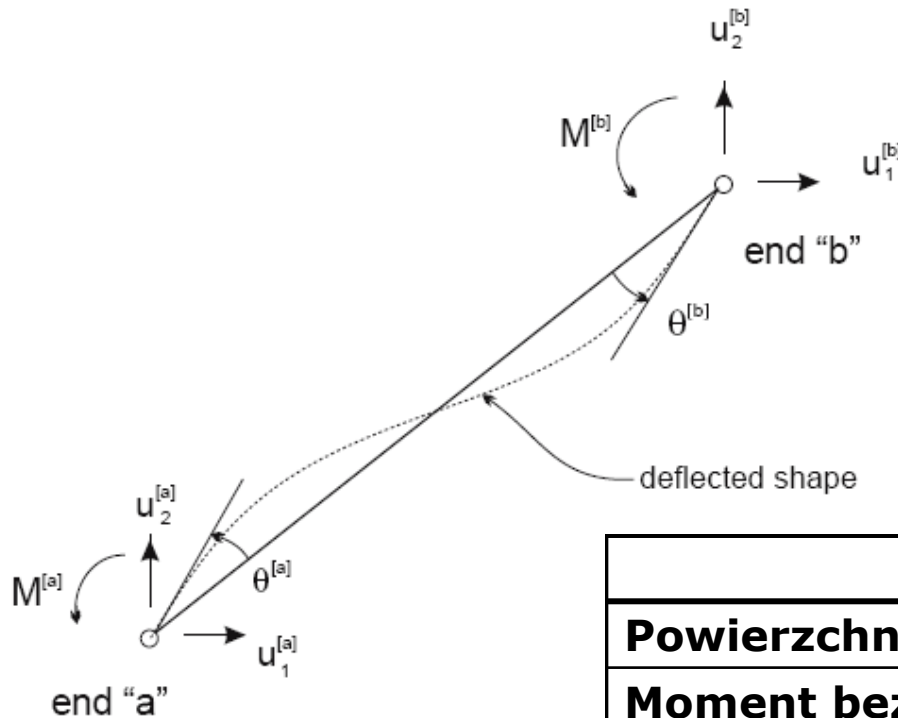


Parametr	warstwa słaba	mocne podłoże
Sztywność w kierunku normalnym, K_{nn}	500 MN/m/m	2000 MN/m/m
Kohezja w kierunku normalnym	10 kN/m	30 kN/m
Kąt tarcia w kierunku normalnym	0°	0°
Sztywność w kierunku stycznym, K_{sn}	100 MN/m/m	500 MN/m/m
Kohezja w kierunku stycznym	30 kN/m	90 kN/m
Kąt tarcia w kierunku stycznym	0°	0°



AGH

Parametry modelu siatki TECCO®



Siatka stalowa TECCO® modelowano jako element belkowy (beam) z założeniem kontaktu pomiędzy gruntem a siatką.

Parametr	Wartość
Powierzchnia, A	1.69696E-4 m²
Moment bezwładności, I	1.0E-10 m⁴
Moduł Younga, E_w	16 279 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie, Y_w	984.8 MPa
Reszkowa wytrzymałość na rozciąganie, Y_{rw}	984.8 MPa
Moment uplastyczniający	0.1 Nm

Parametry kontaktu siatka - grunt

Kontakt pomiędzy siatką a gruntem przyjęto jako „unglued”.

Parametr	Wartość
Sztywność normalna, S_i	670 MPa/m
Sztywność styczna, K_i	670 MPa/m
Kohezja, c_i	0 Pa
Kąt tarcia wewnętrznego, φ_i	5°

Warianty obliczeń

Wszystkie analizy stateczności rozpatrywanych skarp zostały przeprowadzone w oparciu o metodę redukcji wytrzymałości na ścinanie (SSR). Obliczenia przeprowadzono w następujących etapach:

- 1. analiza stateczności zbocza z gruntu niezbrojonego – ten etap traktowano jako bazowy dla kolejnych przeliczeń uwzględniających różne sposoby poprawy stateczności skarpy,**
- 2. etap 1 + instalacja gwoździ bez naciągu,**
- 3. etap 1 + instalacja gwoździ z naciągiem,**
- 4. etap 2 + instalacja siatki TECCO[®],**
- 5. etap 3 + instalacja siatki TECCO[®].**

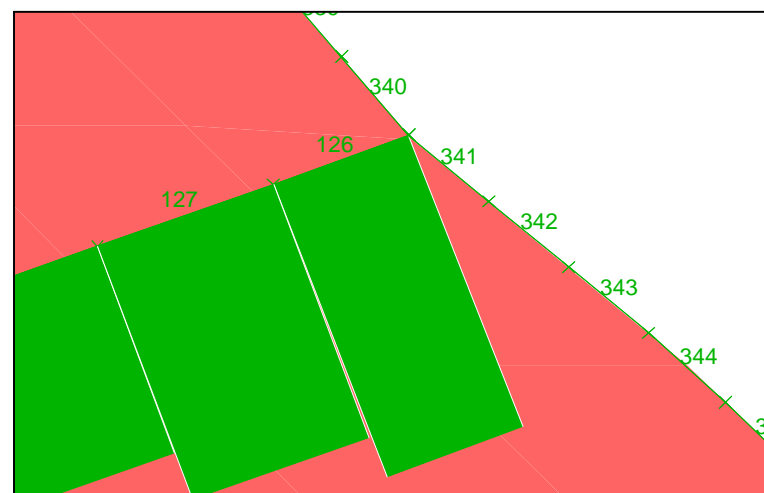
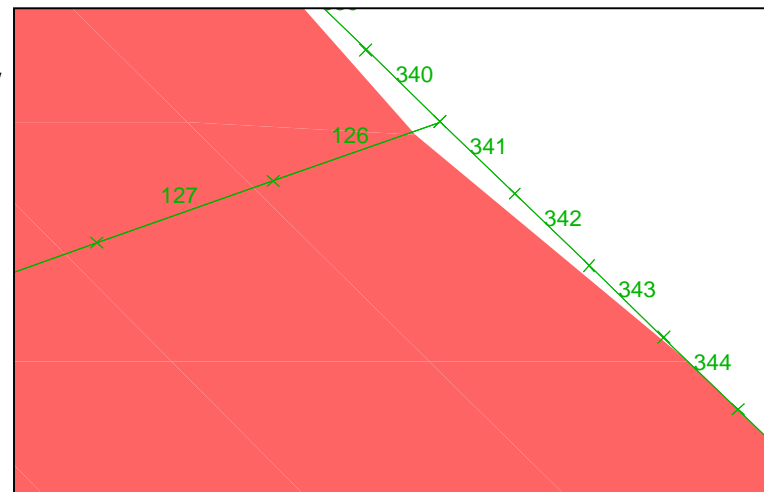
Wstępny naciąg elementów

Dla uzyskania naciągu elementów rockbolt napisano specjalną procedurę w wewnętrznym języku programowania FISH.

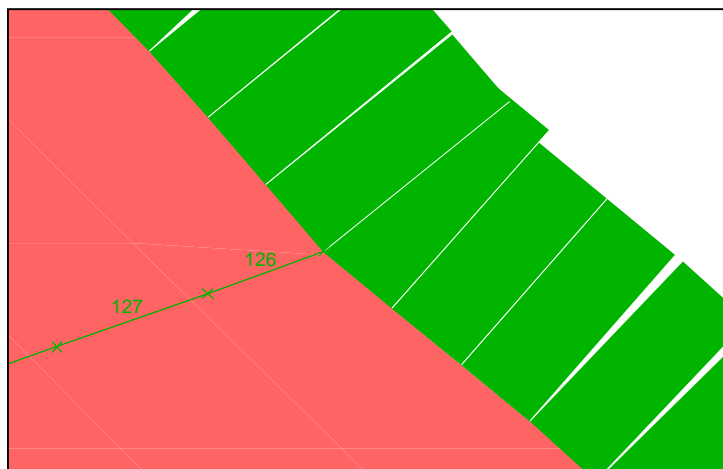
- **Przed przystąpieniem do naciągania gwoździ redukuje się moduł Younga pierwszego elementu gwoździ od powierzchni z wartości 200 GPa do wartości 2 GPa. Pozwala to na uzyskanie relatywnie dużych odkształceń w tym elemencie, co umożliwia dobre naciągnięcie siatki.**
- **Ustawiany jest tryb dużych odkształceń.**
- **Wstępny naciąg gwoździ zadawany jest iteracyjnie w krokach po 200.**
- **Po każdym kroku iteracyjnym wykonuje się określoną ilość kroków obliczeniowych, a po ostatnim cyklu obciążenia rozwiązuje się model komendą solve.**

Wstępny naciąg elementów (40 kN)

Wykonanie niewielkiego wgłębienia (ok. 3-5 cm) w celu uzyskania naciągu siatki.

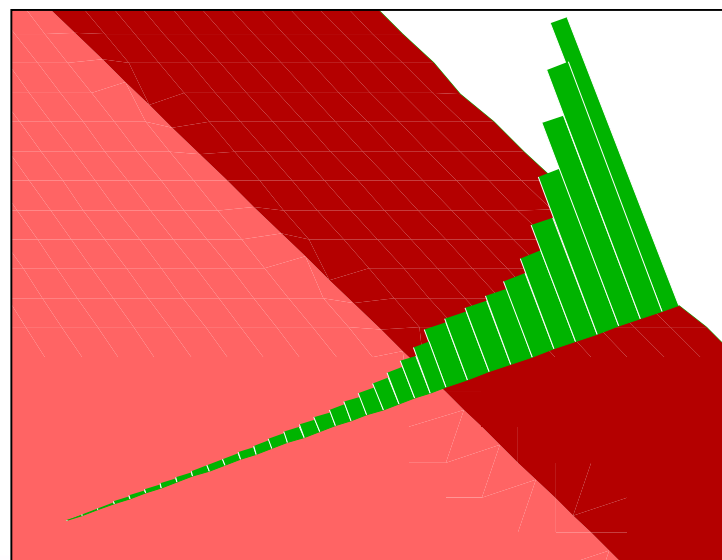


Wstępny naciąg elementów (40 kN)

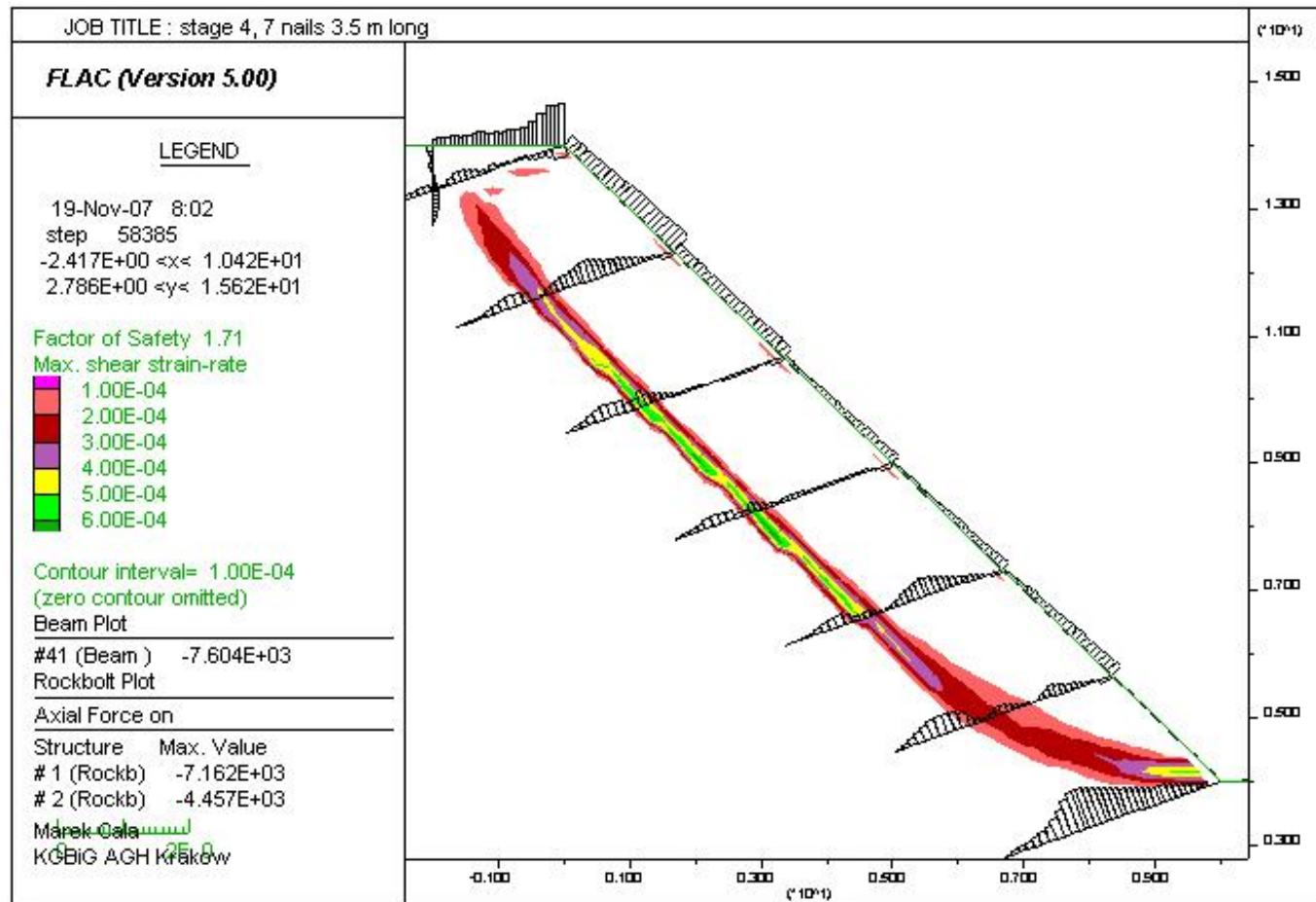


Maksymalna wartość sił osiowych w siatce (elementy beam): 5.029 kN

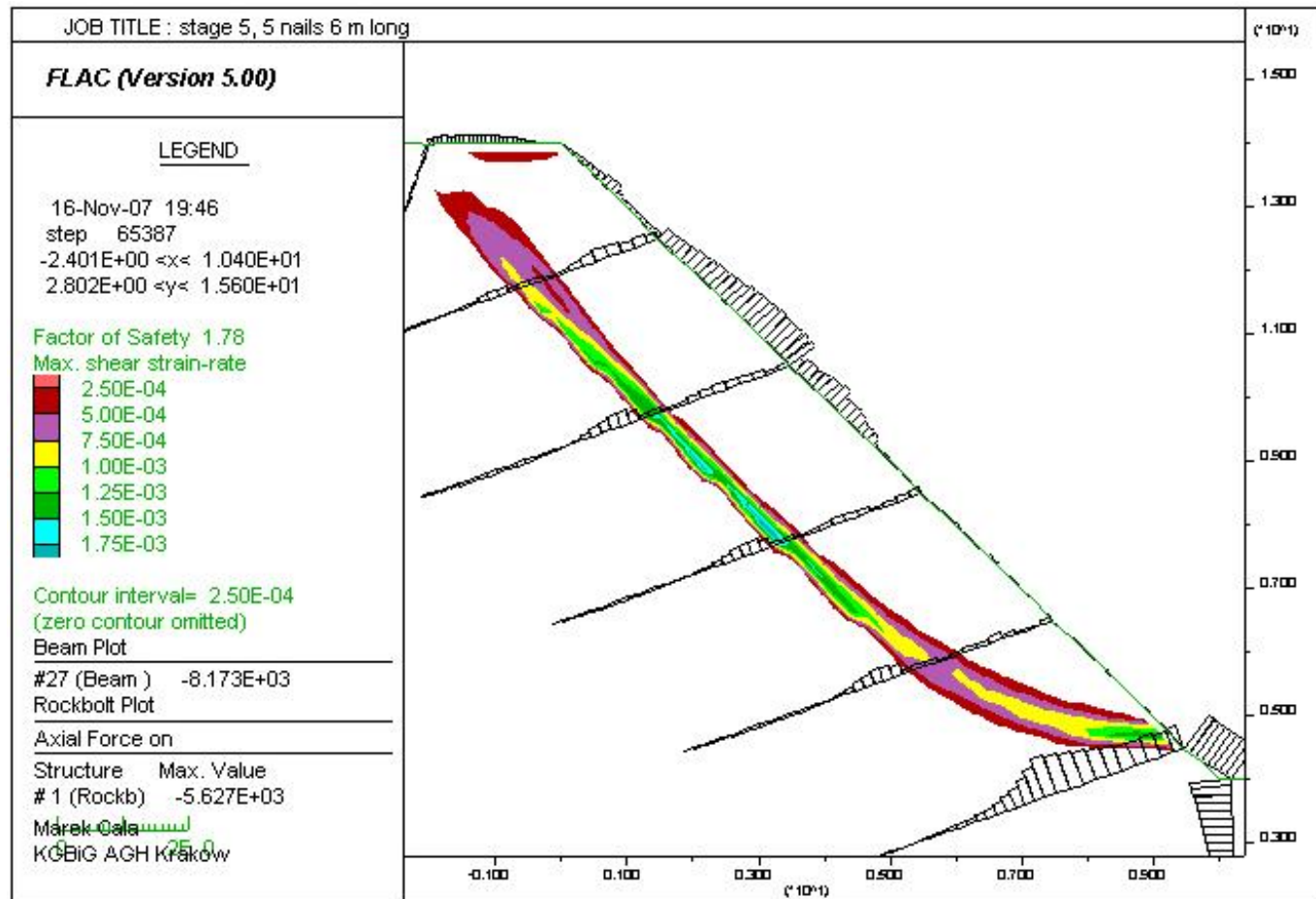
**Maksymalna wartość siły rozciągającej w gwoździu:
39.81 kN**



Siły osiowe w gwoździach (bez naciągu) i siatce stalowej dla etapu 4 (pierwszy schemat gwoździowania)



Siły osiowe w gwoździach (z naciąganiem) i siatce stalowej dla etapu 5 (drugi schemat gwoździowania)



Zestawienie wskaźników stateczności (FS) dla obu rozpatrywanych schematów

Skarpa	7 rzędów gwoździ (dł. 3.5 m)	5 rzędów gwoździ (dł. 6 m)
Bez zbrojenia	1.08	
Gwoździe bez naciągu	1.63	1.52
Gwoździe z naciągiem (40 kN)	1.74	1.61
Gwoździe bez naciągu + siatka TECCO®	1.71	1.69
Gwoździe z naciągiem (40 kN) + siatka TECCO®	1.82	1.78

Analiza stateczności skarpy w Milówce

Przedmiotowa skarpa jest zlokalizowana na drodze krajowej numer 69 w rejonie miejscowości Milówka. Powyżej górnej krawędzi skarpy przebiegała droga polna. Aby umożliwić wykonanie rowu oraz jednocześnie zachować istniejącą drogę polną, skarpe ponad przeprofilowano do nachylenia 1:1. Na rozpatrywanym odcinku skarpa miała maksymalną wysokość 4.5 m. Skarpa zbudowana jest z gliniasto-rumoszowej pokrywy zwietrzelinowej o zmiennej grubości wahającej się od 1.0 m do 1.5 m, zalegającej na podłożu fliszowym zbudowanym z silnie zwietrzałych łupków ilastych. Przeprofilowanie skarpy o takiej budowie geologicznej wymagało jej zabezpieczenia.

Analiza stateczności skarpy w Milówce

Przedmiotowa skarpa jest zlokalizowana na drodze krajowej numer 69 w rejonie miejscowości Milówka. Powyżej górnej krawędzi skarpy przebiegała droga polna. Aby umożliwić wykonanie rowu oraz jednocześnie zachować istniejącą drogę polną, skarpe ponad przeprofilowano do nachylenia 1:1. Na rozpatrywanym odcinku skarpa miała maksymalną wysokość 4.5 m. Skarpa zbudowana jest z gliniasto-rumoszowej pokrywy zwietrzelinowej o zmiennej grubości wahającej się od 1.0 m do 1.5 m, zalegającej na podłożu fliszowym zbudowanym z silnie zwietrzałych łupków ilastych. Przeprofilowanie skarpy o takiej budowie geologicznej wymagało jej zabezpieczenia.



AGH

Analiza stateczności skarpy w Milówce





AGH

Analiza stateczności skarpy w Milówce

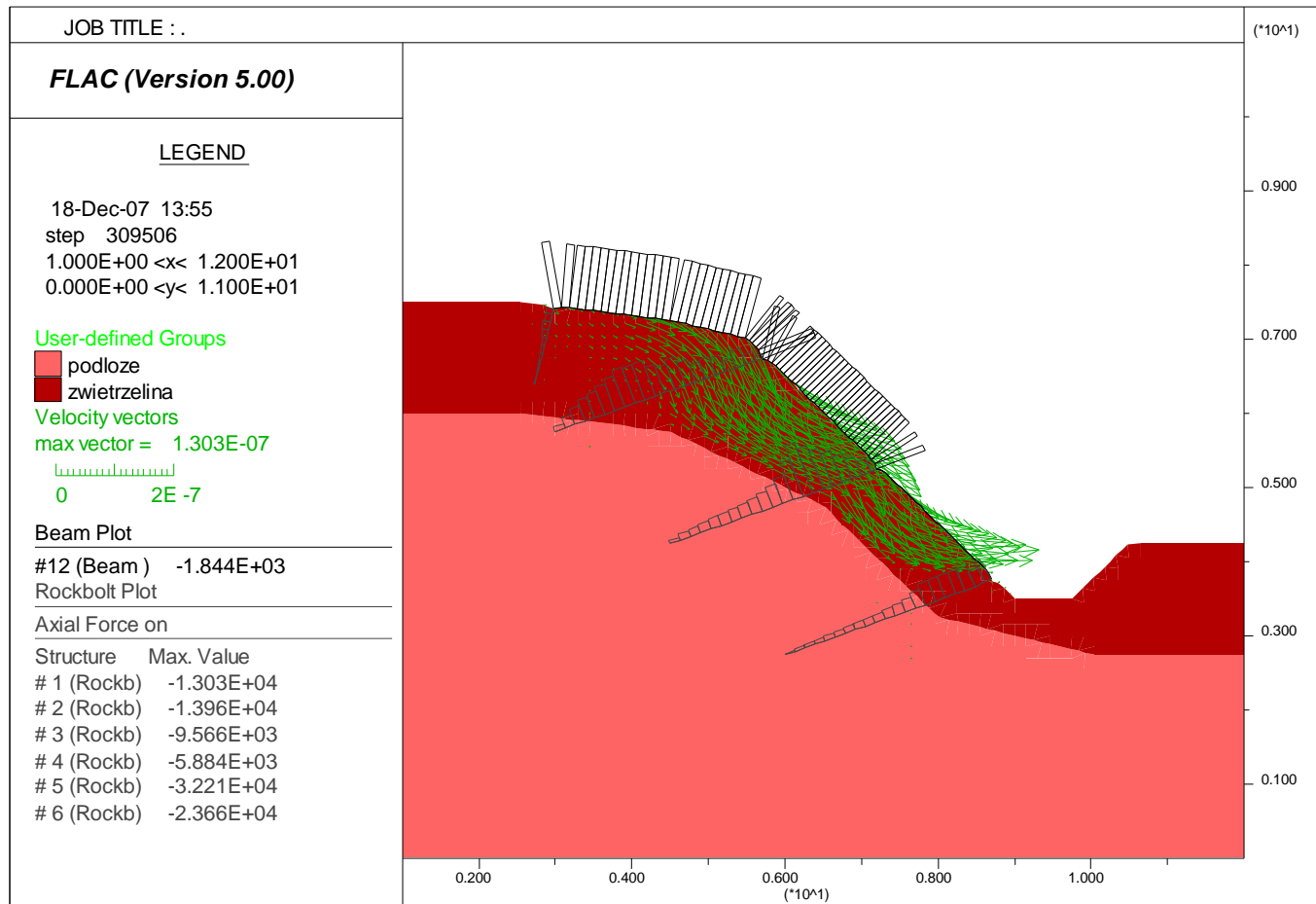


Parametry mechaniczne warstw dla skarpy w Milówce

Parametr	pokrywa zwietrzelinowa	podłoże fliszowe
Ciężar objętościowy, γ	2100 kg/m ³	2400 kg/m ³
Moduł Younga, E	90 MPa	90 MPa
Współczynnik Poissona, ν	0.3	0.3
Kohezja, c	15 kPa	80 kPa
Kąt tarcia wewnętrznego, φ	14°	26°

Dla zapewnienia stateczności skarpy zastosowano zbrojenie za pomocą gwoździ gruntowych typu TITAN 30/11 o długości 3 m połączonych z siatką stalową TECCO®. Do analiz stateczności przyjęto parametry gwoździ, siatki oraz kontaktu przedstawione w poprzednich przykładach.

Wyniki obliczeń

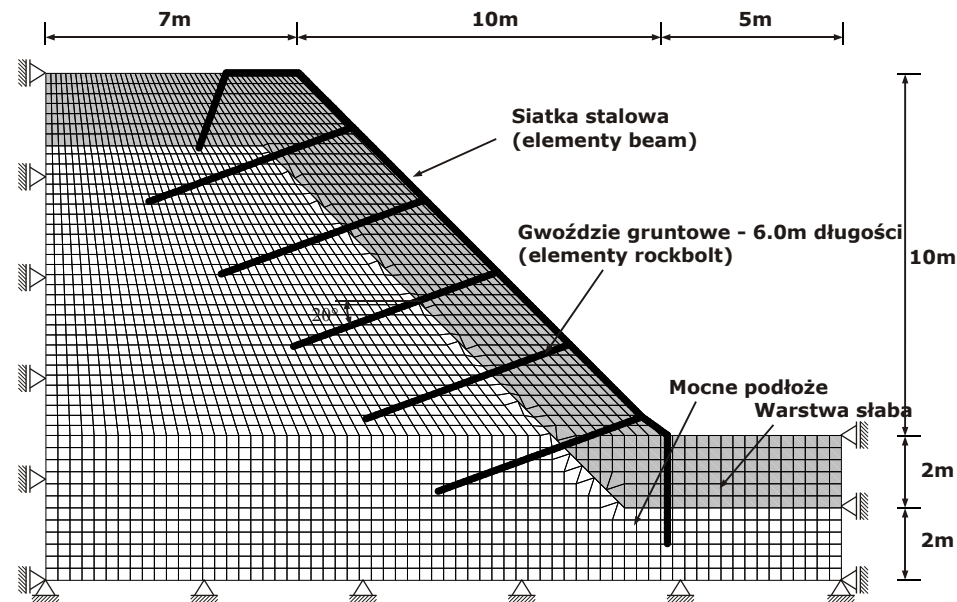


Zestawienie wskaźników stateczności (FS) dla skarpy Milówka

Skarpa	FS
Bez zbrojenia	2.08
Gwoździe bez naciągu	2.74
Gwoździe z naciągu (20 kN)	2.78
Gwoździe bez naciągu + siatka TECCO®	2.80
Gwoździe z naciągiem (20 kN) + siatka TECCO®	2.90

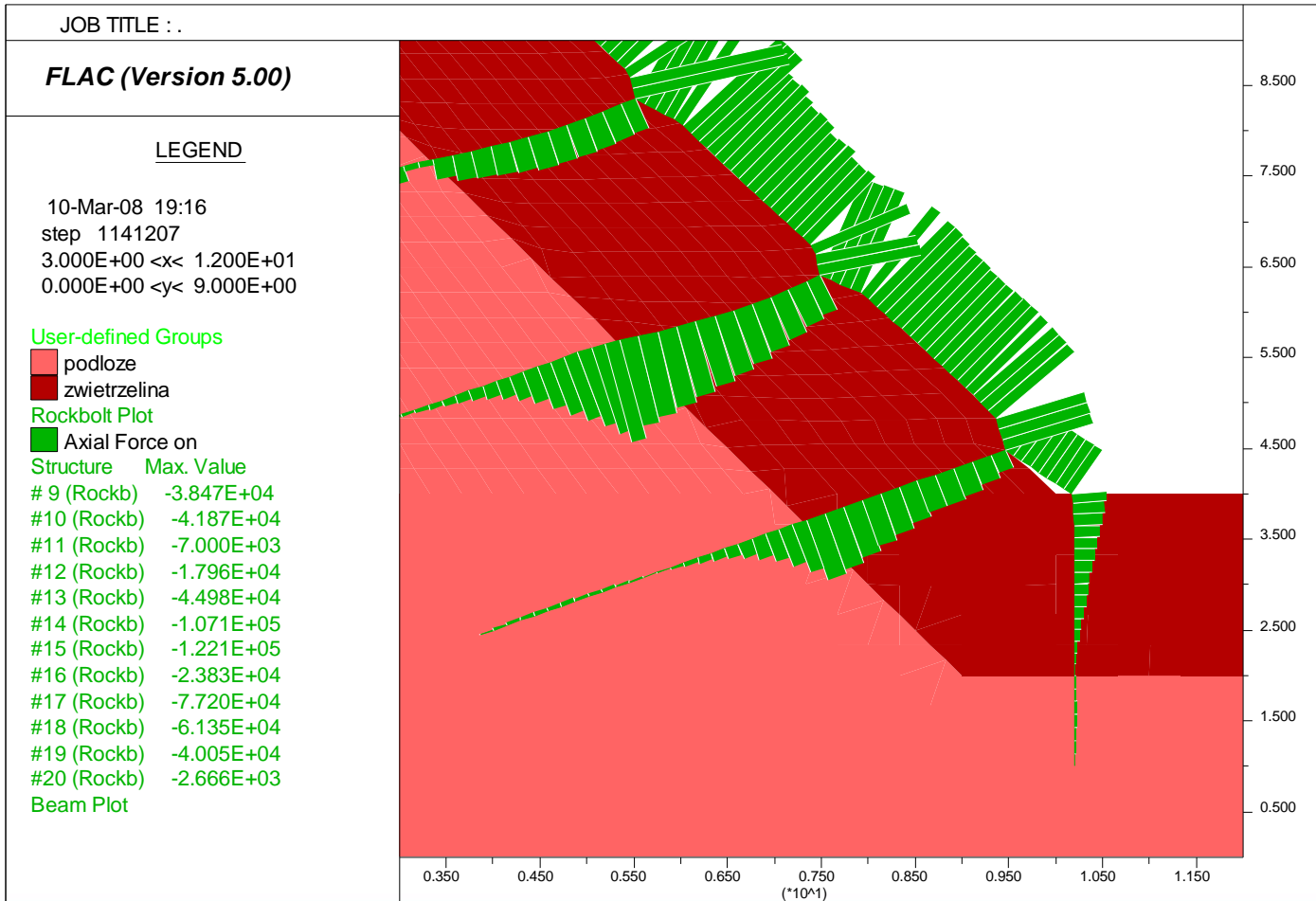
Co dalej ???

- Obliczenia w trybie large strain
- Model Duncana-Chunga
- Parametry kontaktowe siatka-grunt
- Większe wgłębienia w miejscach zakotwienia
- Automatyczny re-meshing (FLAC 6.0)
- ... Obliczenia w 3D ...



Co dalej ???

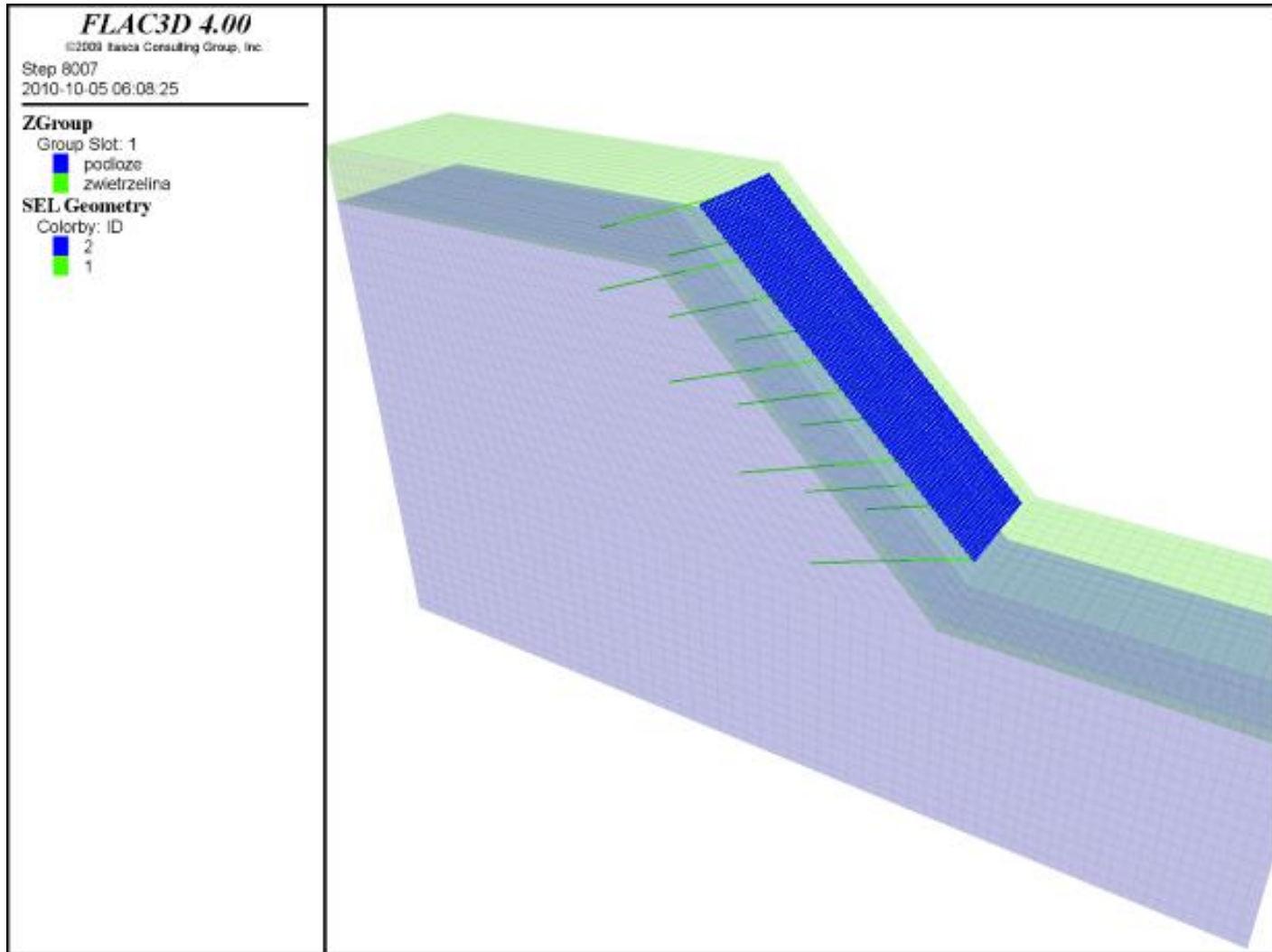
FS = 2.05, dla małych odkształceń FS = 1.78





AGH

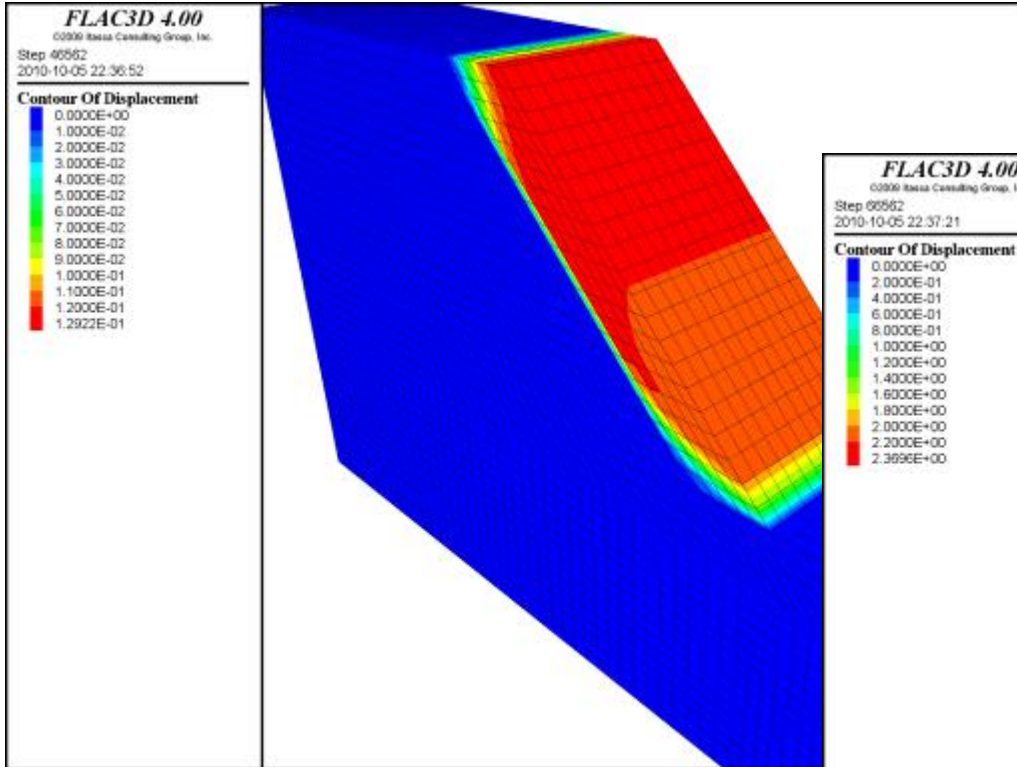
Geometria skarpy zbrojonej – analiza 3D





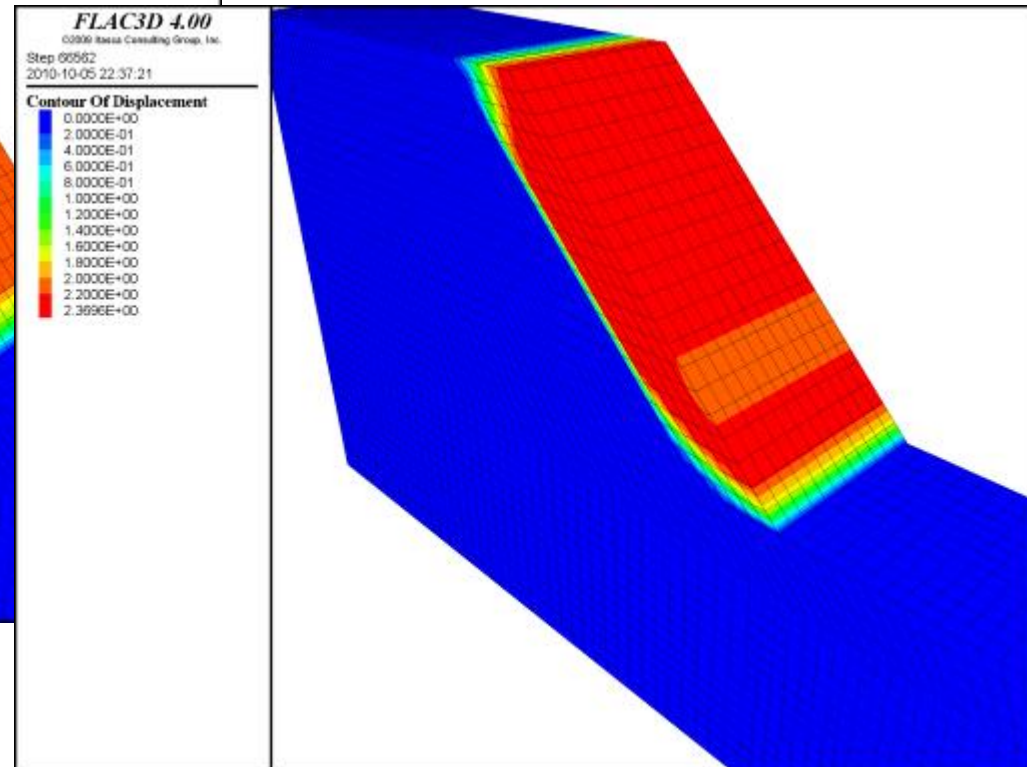
AGH

Wskaźnik stateczności skarpy niezbrojonej

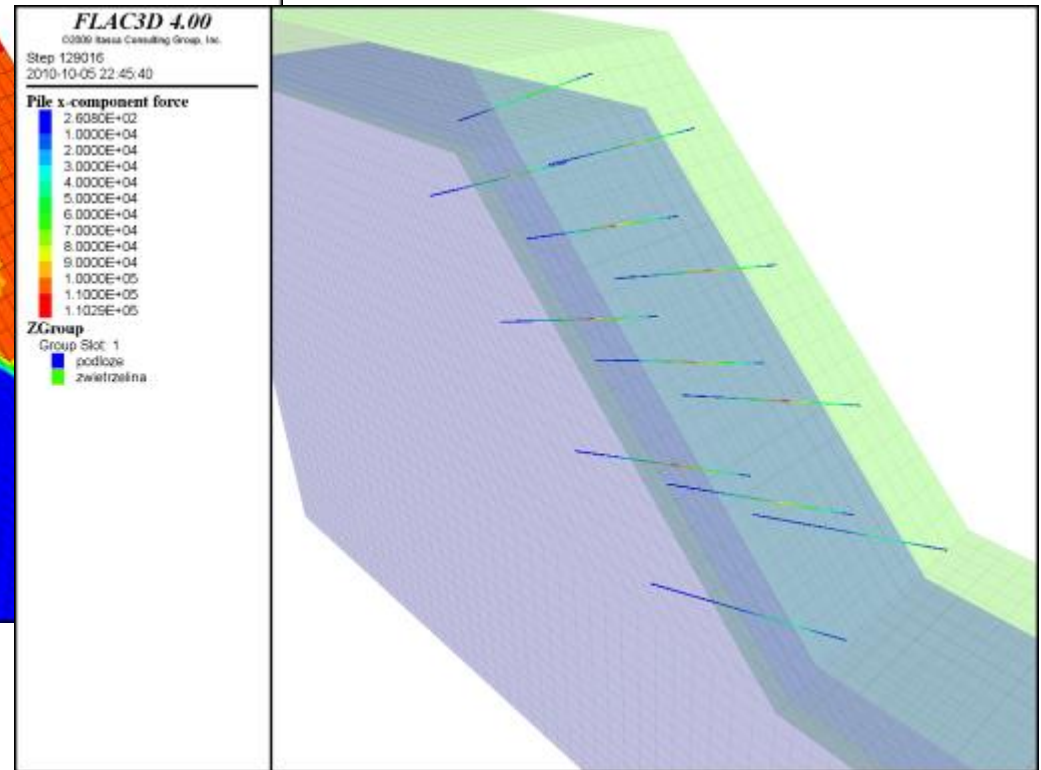
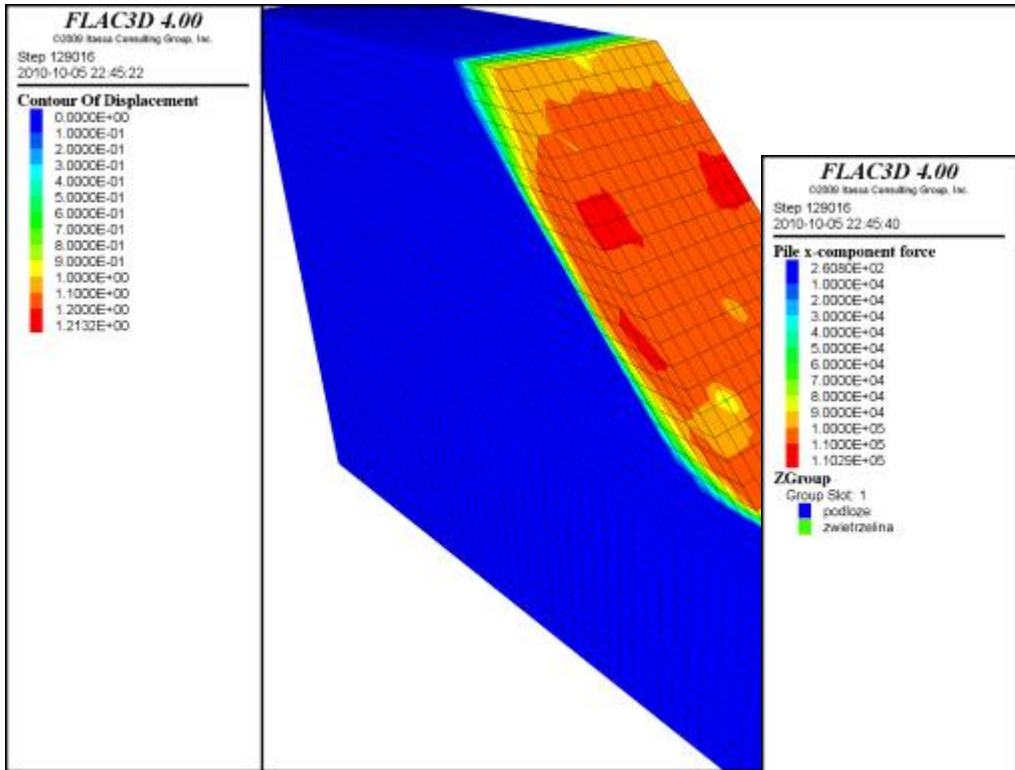


FS = 1.15
Max disp = 12.92 cm

FS = 1.16
Max disp = 236.96 cm



Wskaźnik stateczności skarpy zbrojonej gwoździami (FS ≈ 1.63)

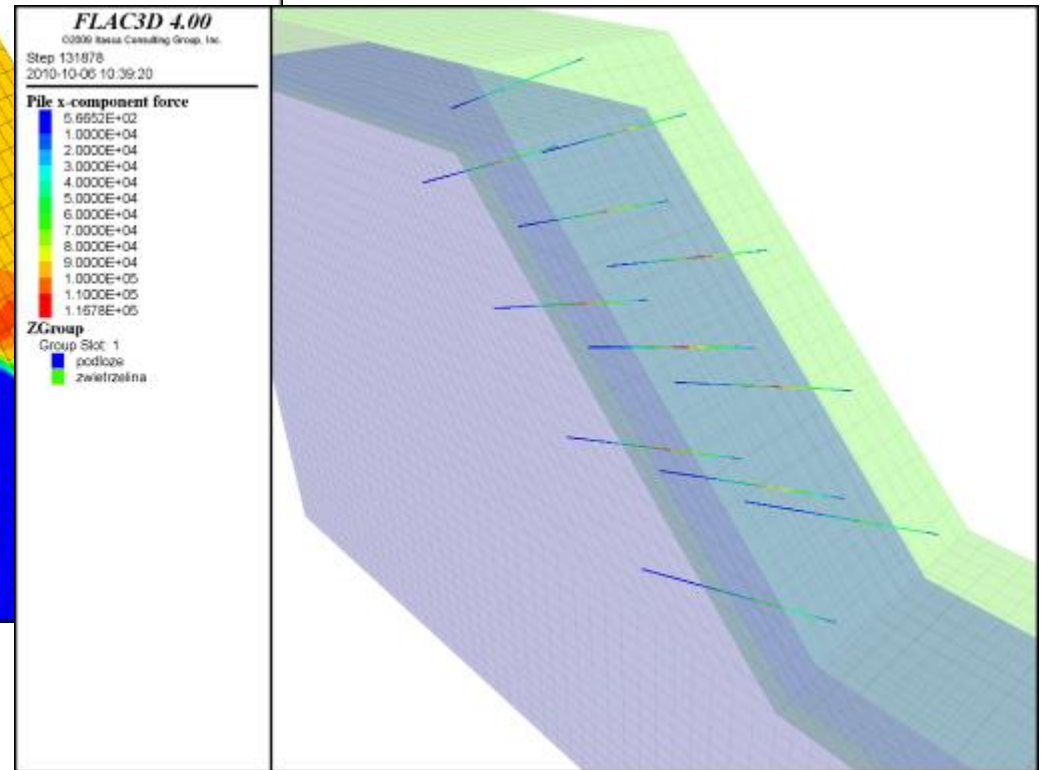
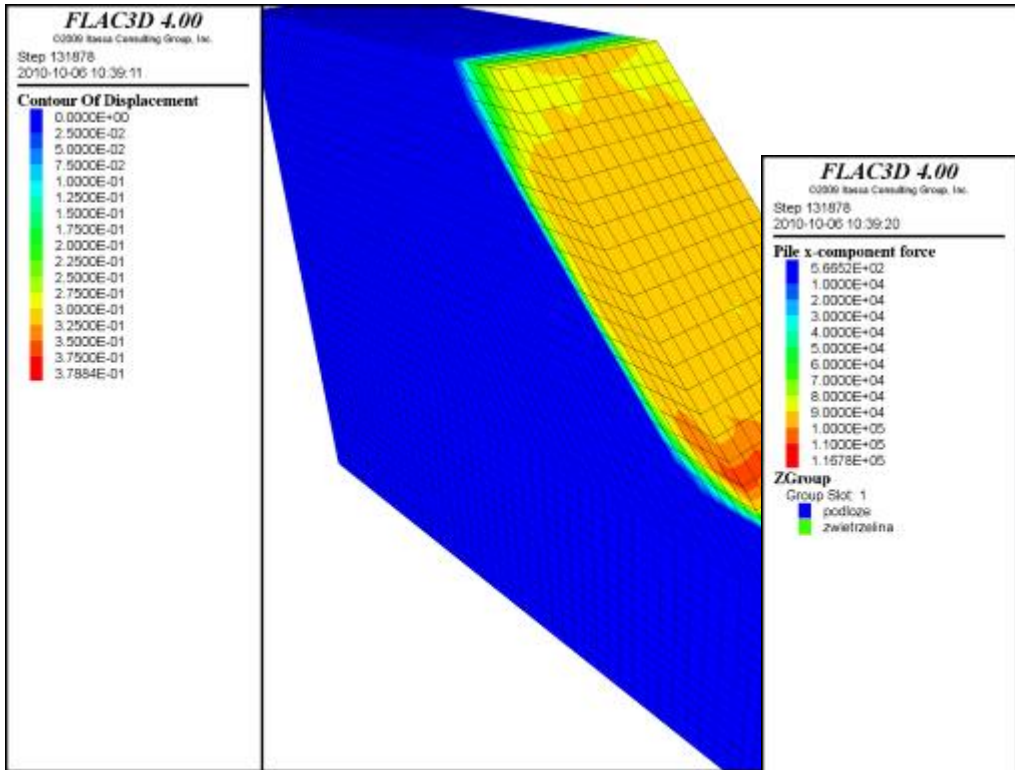


FS = 1.65

Max disp = 121.3 cm

Max force = 110.3 kN

Wskaźnik stateczności skarpy zbrojonej gwoździami + Tecco (FS ≈ 1.70)

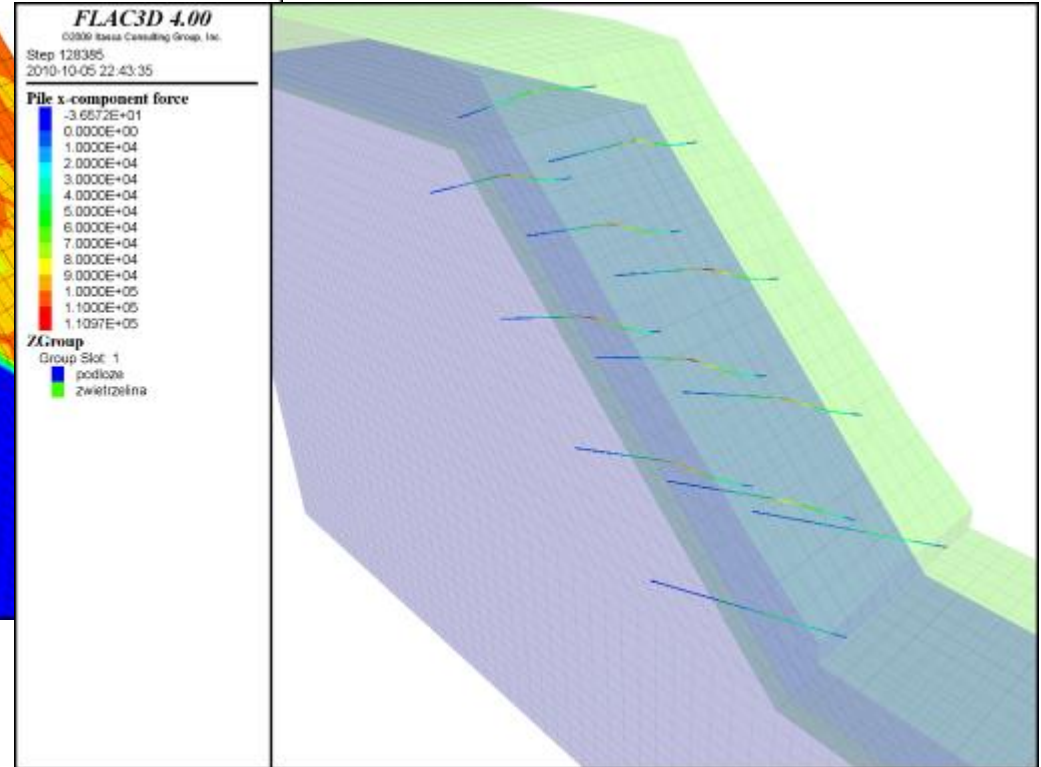
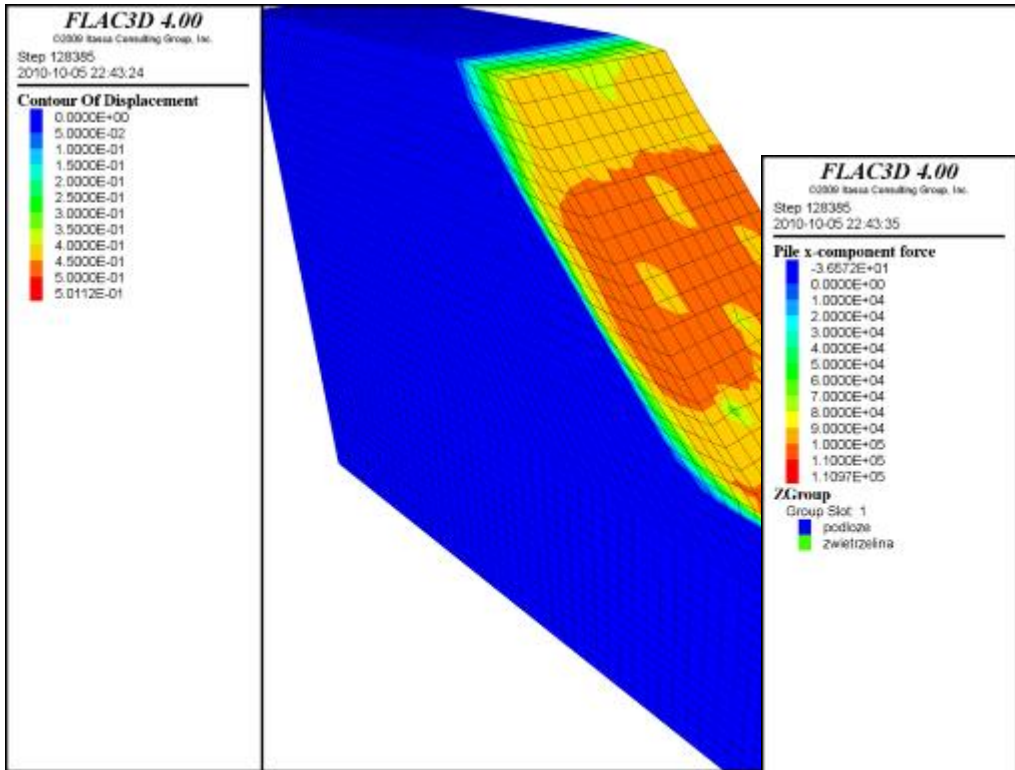


FS = 1.70

Max disp = 37.9 cm

Max force = 116.8 kN

Wskaźnik stateczności skarpy zbrojonej gwoździami ($FS \approx 1.75$)

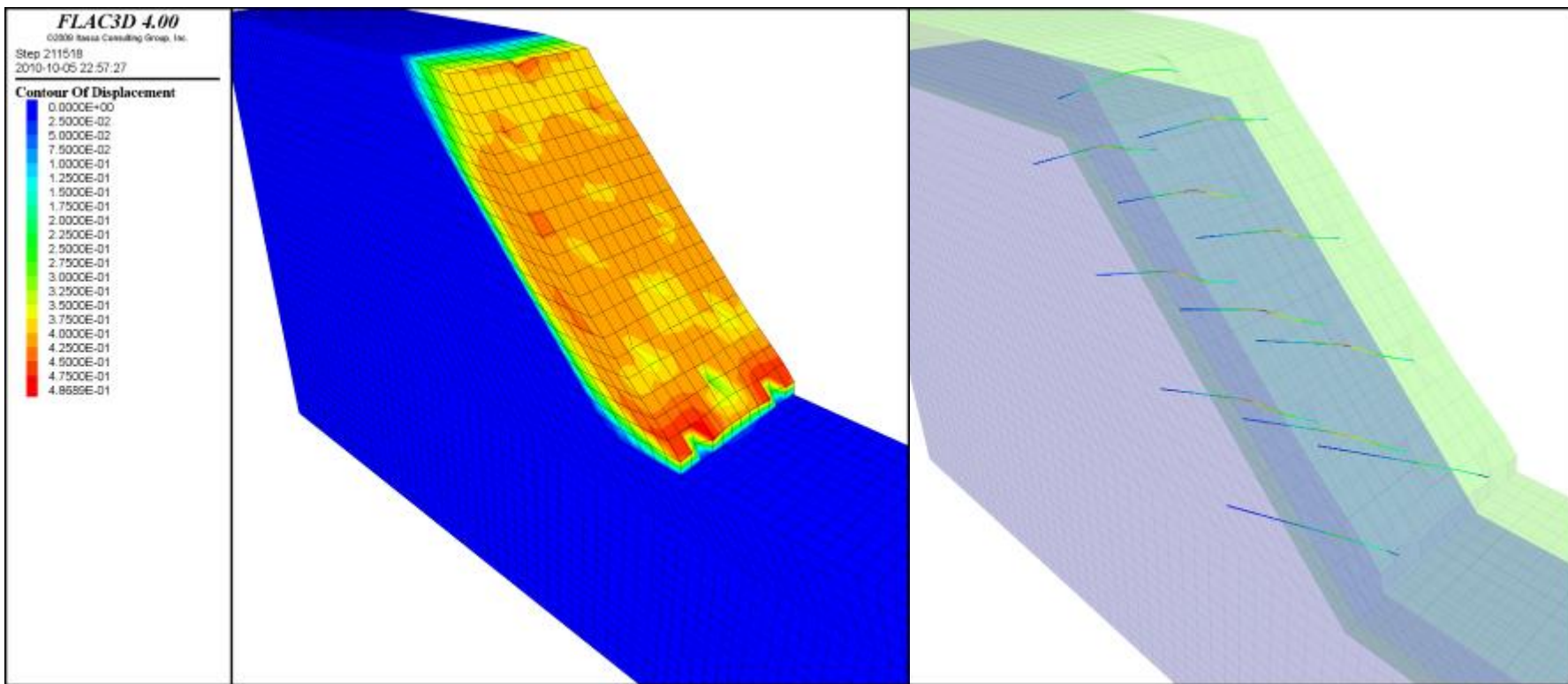


FS = 1.75

Max disp = 50.0 cm

Max force = 110.9 kN

Wskaźnik stateczności skarpy zbrojonej gwoździami + Tecco (FS ≈ 1.95)



FS = 1.95

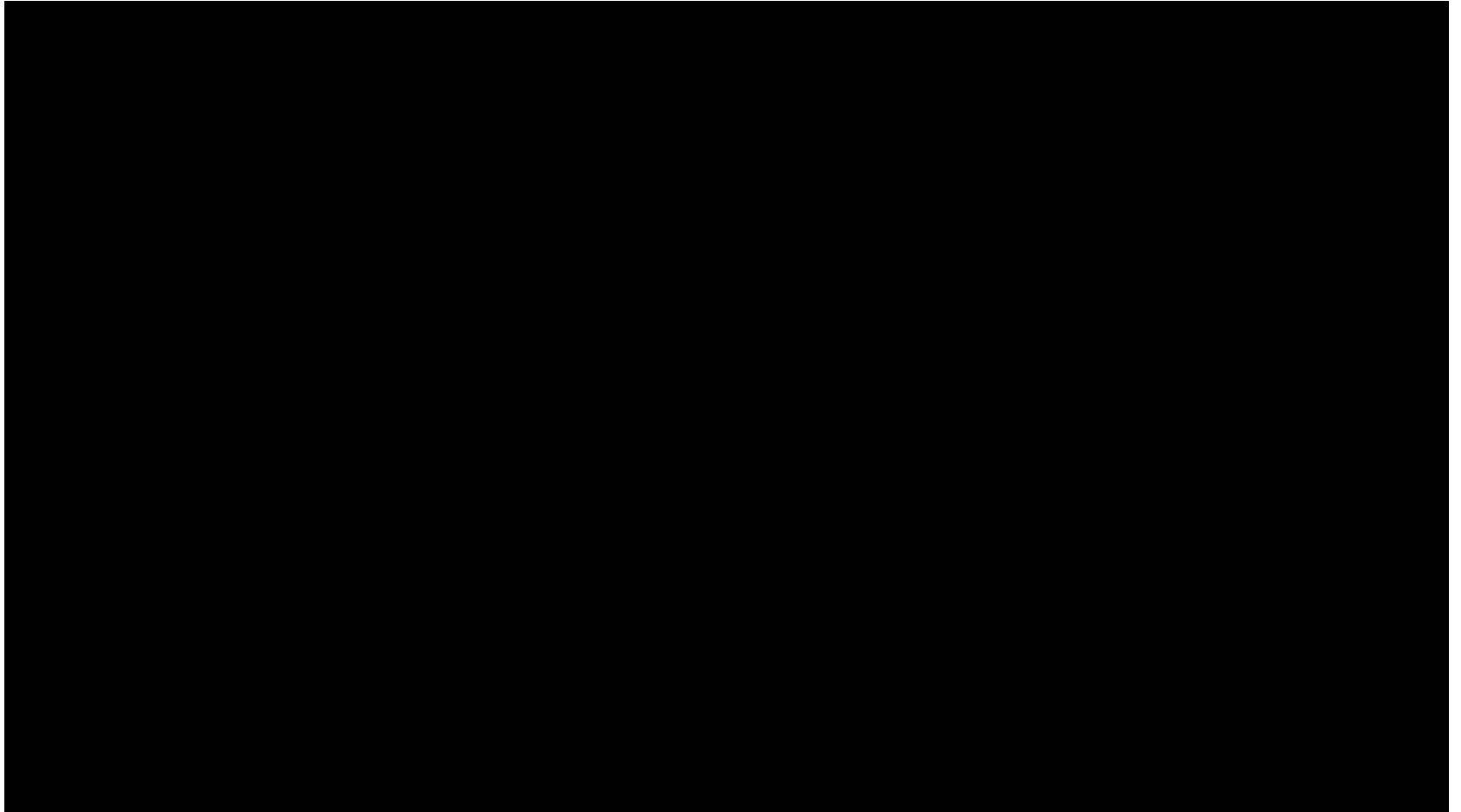
Max disp = 48.7 cm (50.0 cm – 1.75)

Max force = 137.0 kN (110.9 kN – 1.75)



AGH

Full scale test





AGH

Full scale test no. 2



Podsumowanie

Zastosowanie zbrojenia w postaci siatki Tecco powoduje wzrost wartości wskaźnika stateczności skarpy.

Wzrost ten zależy jest od geometrii skarpy, parametrów ośrodka gruntowego (lub skalnego), typu gwoździ i siatki, kąta nachylenia gwoździ oraz od naciągu gwoździ, który wywołuje także naciąg siatki.

Optymalizacja systemu gwoździowania.