



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

# **Budownictwo ziemne Geosyntetyki**

**Michał Kowalski**

**Nazwa wydziału: Górnictwa i Geoinżynierii**

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

## Idea gruntu zbrojonego

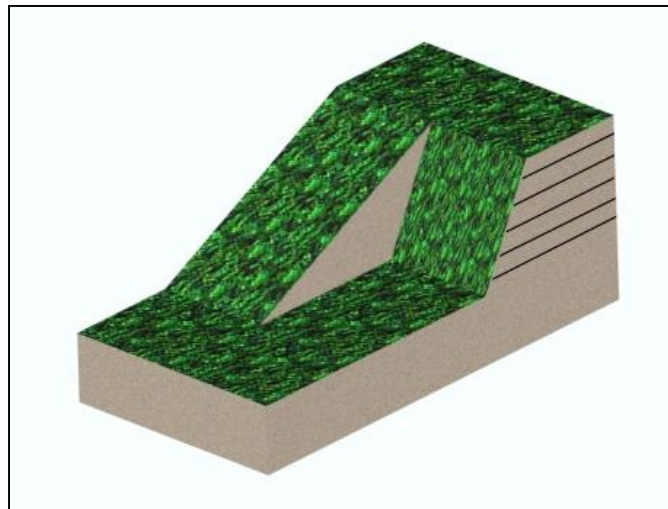
**Grunt jest szeroko dostępnym i relatywnie tanim materiałem, który podobnie jak beton posiada wysoką wytrzymałość na ściskanie w porównaniu z wytrzymałością na rozciąganie.**

**Aby pozbyć się tej niedogodności grunty, podobnie jak beton, można zbroić. Typowe materiały używane do zbrojenia gruntu są z reguły lekkie, giętkie i posiadają wysoką wytrzymałość na rozciąganie. Przykładem takich materiałów są cienkie taśmy stalowe bądź aluminiowe, a zwłaszcza geosyntetyki (tj. geotkaniny i geosiatki).**

**Grunt w połączeniu ze zbrojeniem tworzy materiał kompozytowy posiadający wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie.**

## Idea gruntu zbrojonego

**Grunt zbrojony bardzo dobrze sprawdza się w konstrukcjach nasypów posadowionych na słabych gruntach, na terenach szkód górniczych oraz na terenach narażonych na zjawiska dynamiczne. W wielu takich przypadkach geotekstylia i geosiatki mogą znacząco zwiększyć wskaźnik stateczności, zmniejszyć przemieszczenia oraz ograniczyć koszty w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań. Pozwalają także na budowę nasypów o bardzo stromych skarpach.**





AGH

## Idea gruntu zbrojonego

**Trzęsienie ziemi w Kobe (1995). Zdjęcie sprzed zajścia oraz po:**

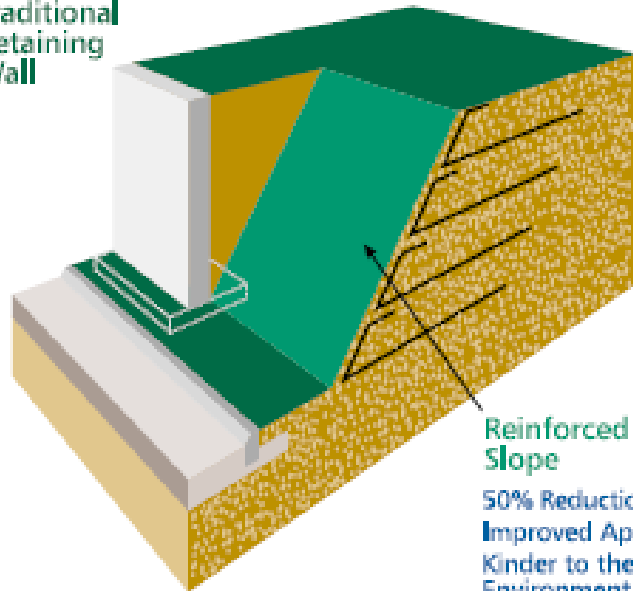




AGH

# Idea gruntu zbrojonego

Traditional Retaining Wall



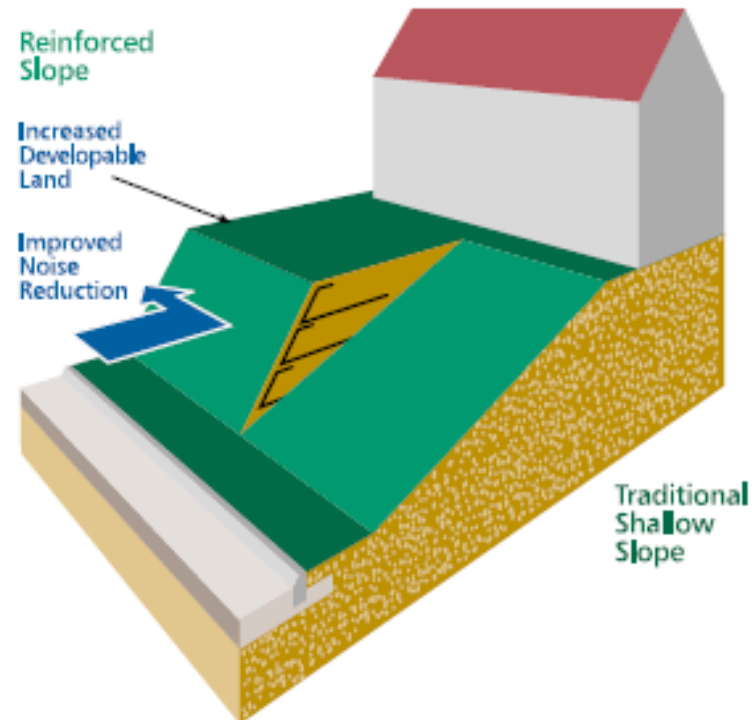
Reinforced Soil Slope

- 50% Reduction in Cost
- Improved Appearance
- Kinder to the Environment

Reinforced Slope

Increased Developable Land

Improved Noise Reduction



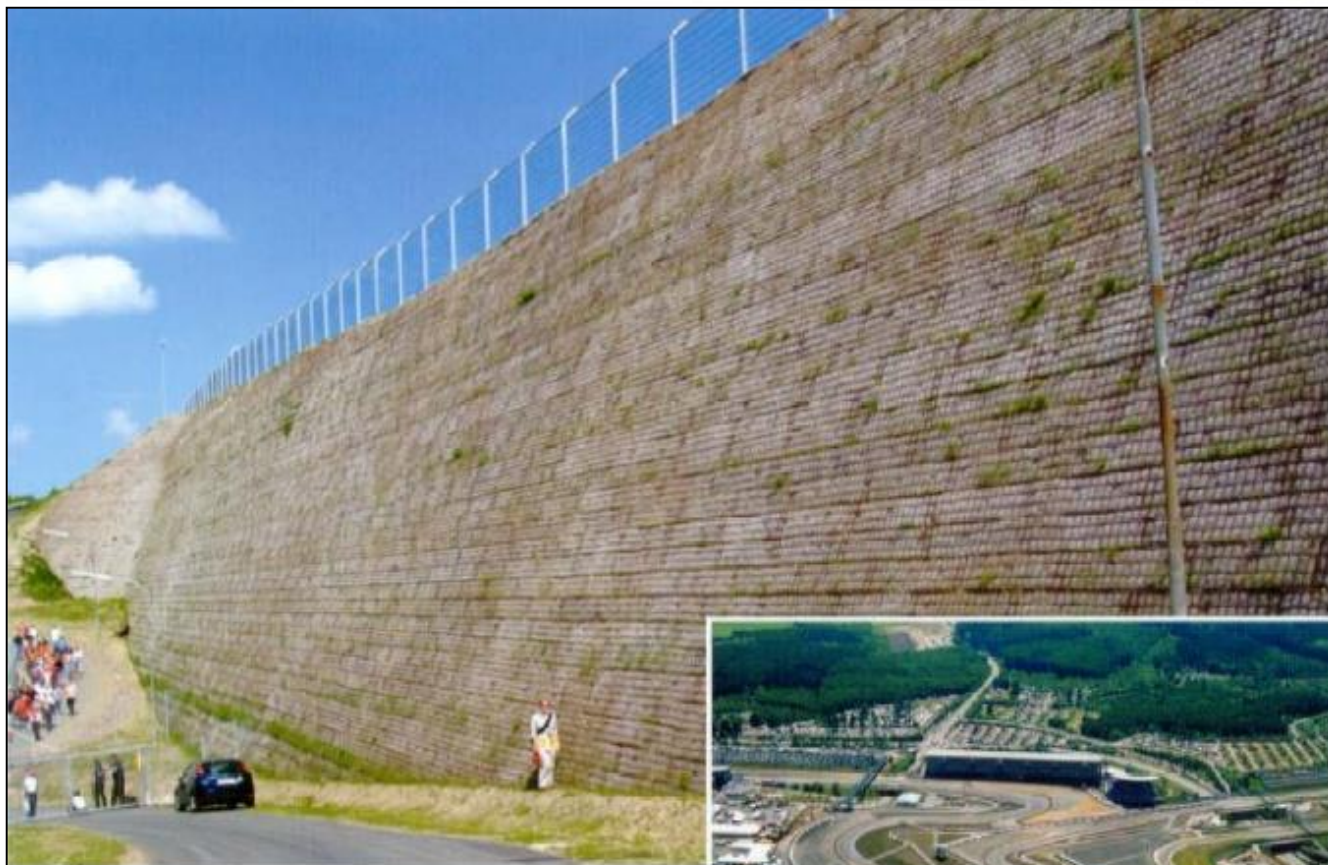
Traditional Shallow Slope





AGH

## Przykłady konstrukcji z gruntu zbrojonego



Nurburgring





AGH

## Przykłady konstrukcji z gruntu zbrojonego





## Przykłady konstrukcji z gruntu zbrojonego

### Testowy nasyp zbudowany w Japonii

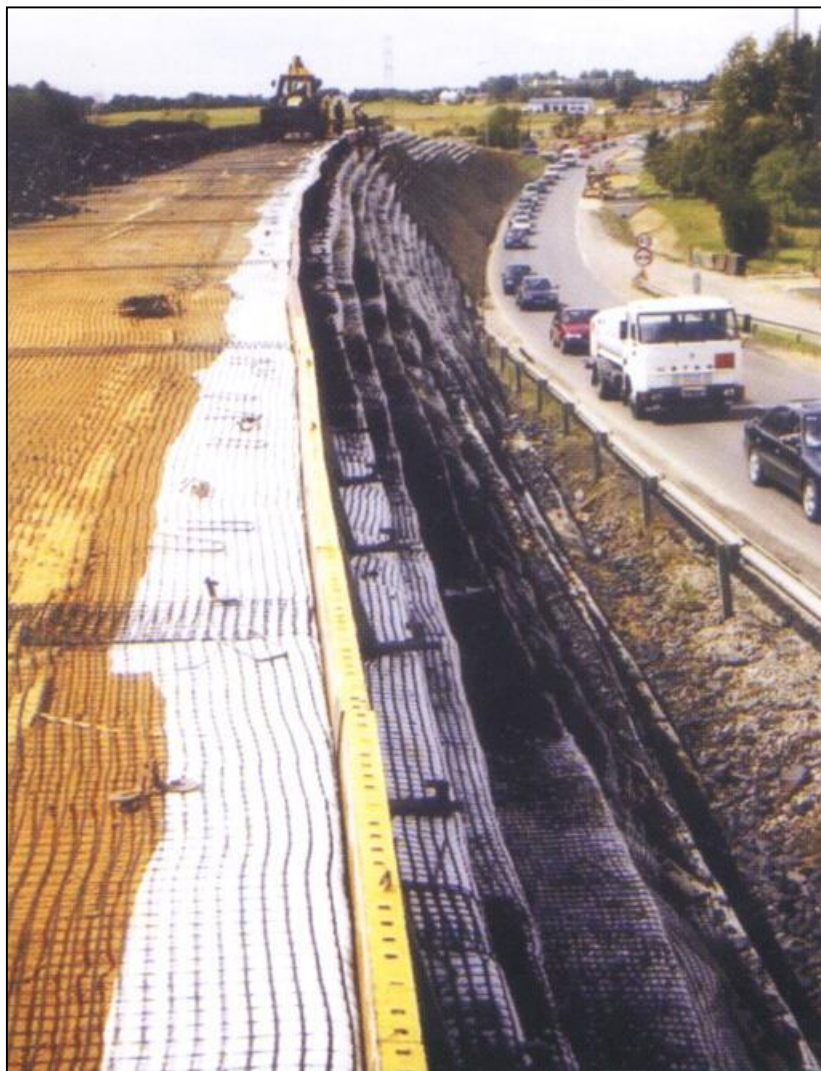






**AGH**

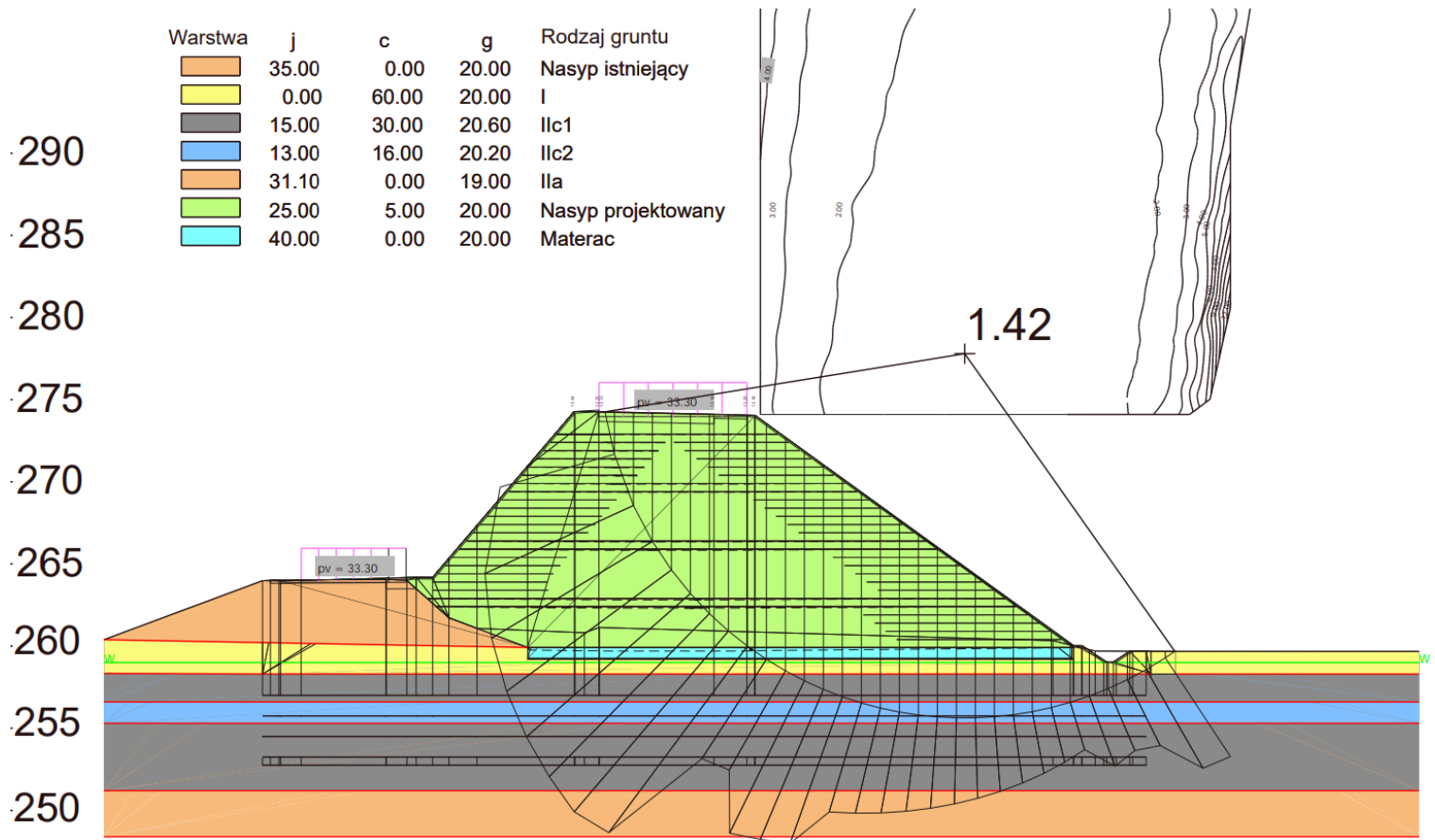
## **Przykłady konstrukcji z gruntu zbrojonego**



**Wiadukt w Jastrzębiu Zdroju**

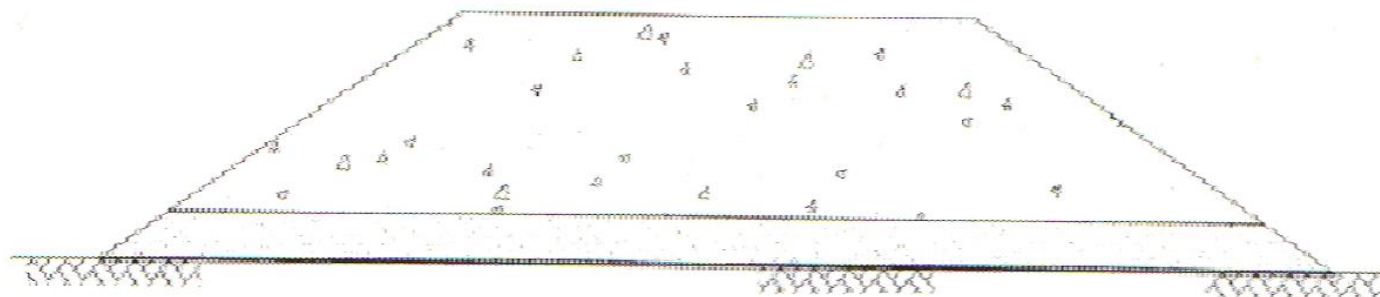
# Przykłady konstrukcji z gruntu zbrojonego

## Wiadukt w Jastrzębiu Zdroju



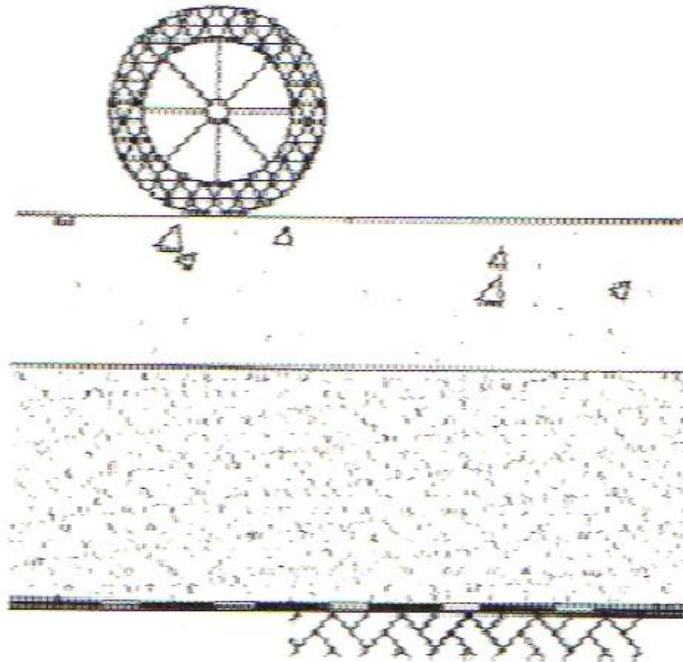
## Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

### Nasypy na gruntach słabonośnych *Embankments on soft soils*



# Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

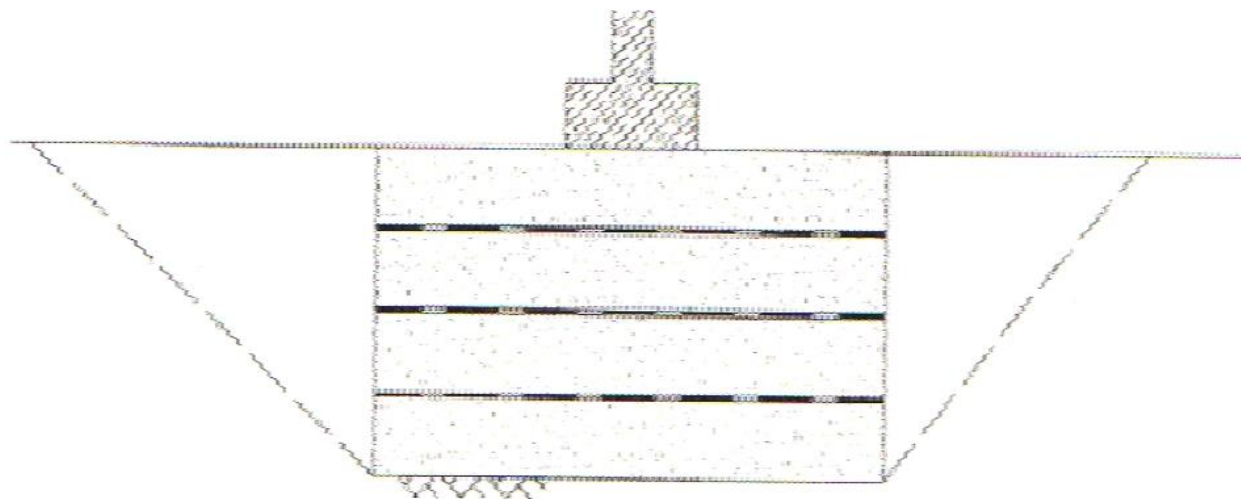
## Konstrukcje nawierzchni *Transport routes*





## Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

### **Wzmocnienie gruntu pod fundamentami** *Reinforced foundation pads*

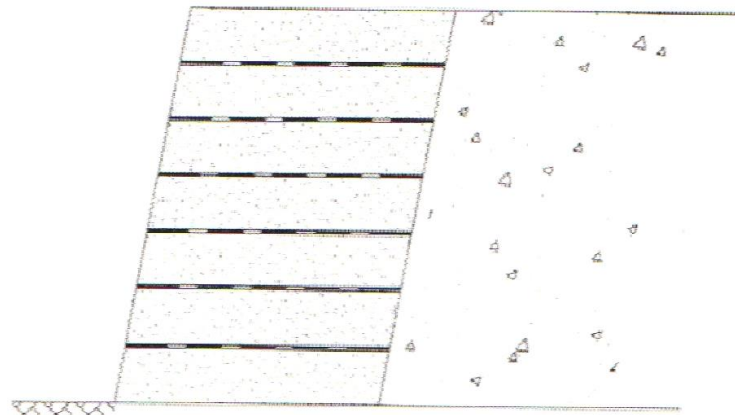




AGH

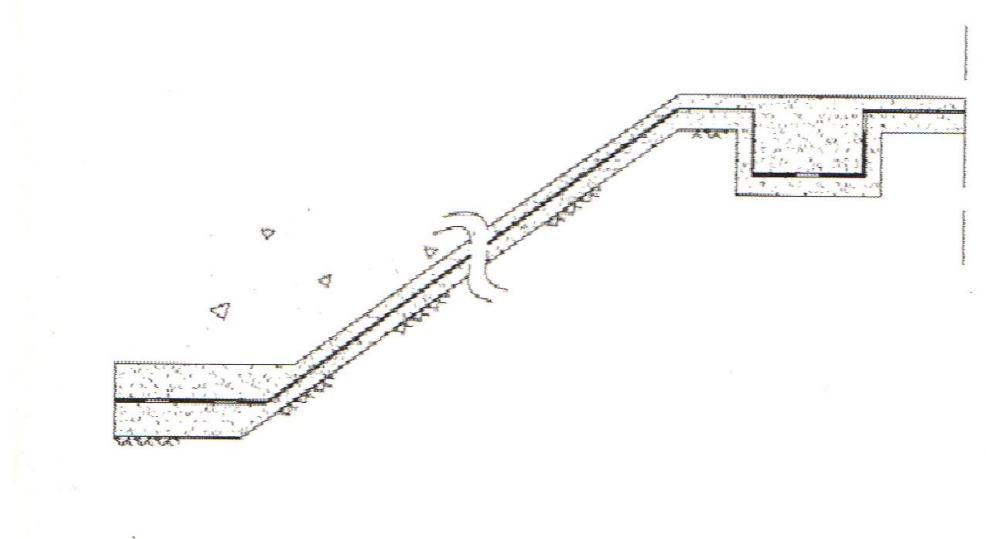
# Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

## **Konstrukcje oporowe** *Retaining structures*



## Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

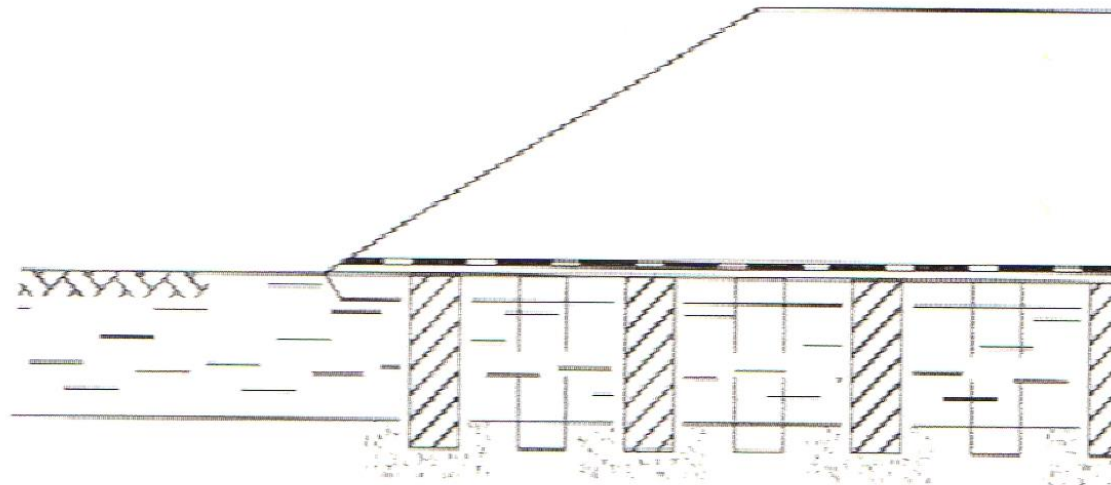
### Składowiska odpadów *Landfill engineering*



## Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

**Zbrojone konstrukcje ziemne nad punktowymi lub liniowymi elementami nośnymi**

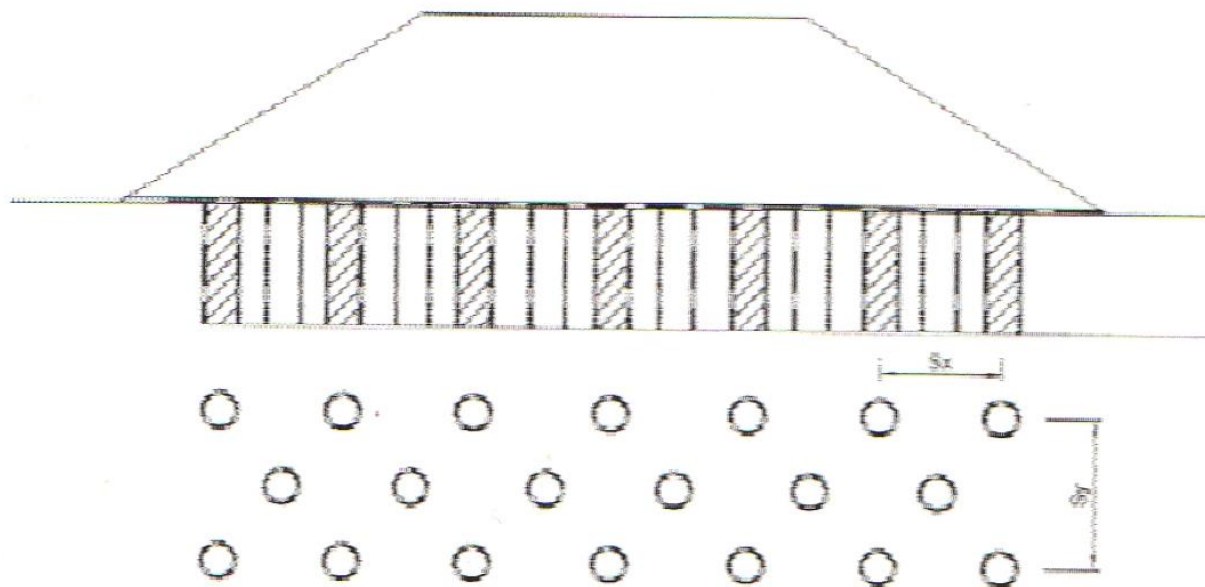
*Reinforced earth structures over point or linear bearing elements*





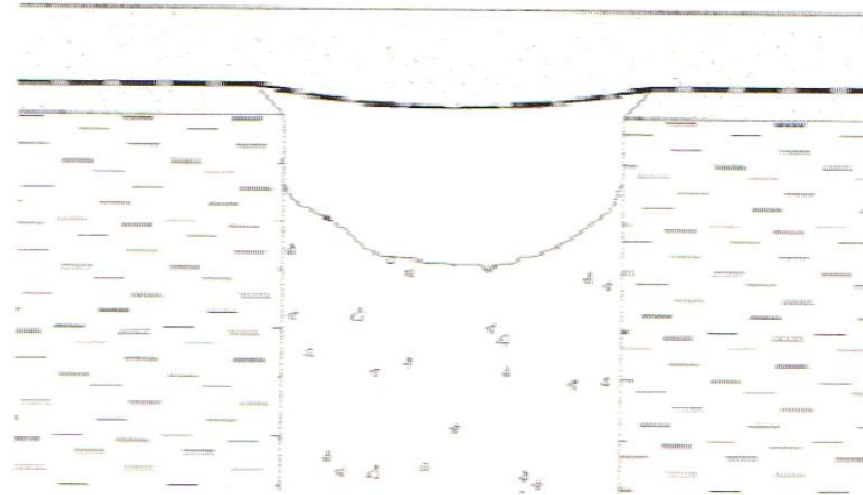
## Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

### **Kolumny w osłonie geosyntetycznej** *Geosynthetic-encased columns*



## Przykłady zbrojonych konstrukcji ziemnych

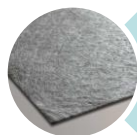
**Zabezpieczenia powierzchni na terenach zapadliskowych**  
*Overbridging systems in areas prone to subsidence*



## Podział geosyntetyków



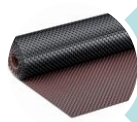
**Geotkaniny (woven and knitted geotextiles)**



**Geowłókniny, włókniny (nonwoven geotextiles)**



**Geosiatki (geogrids)**



**Geomembrany (geomembranes)**



**Geopianki (geofoam)**

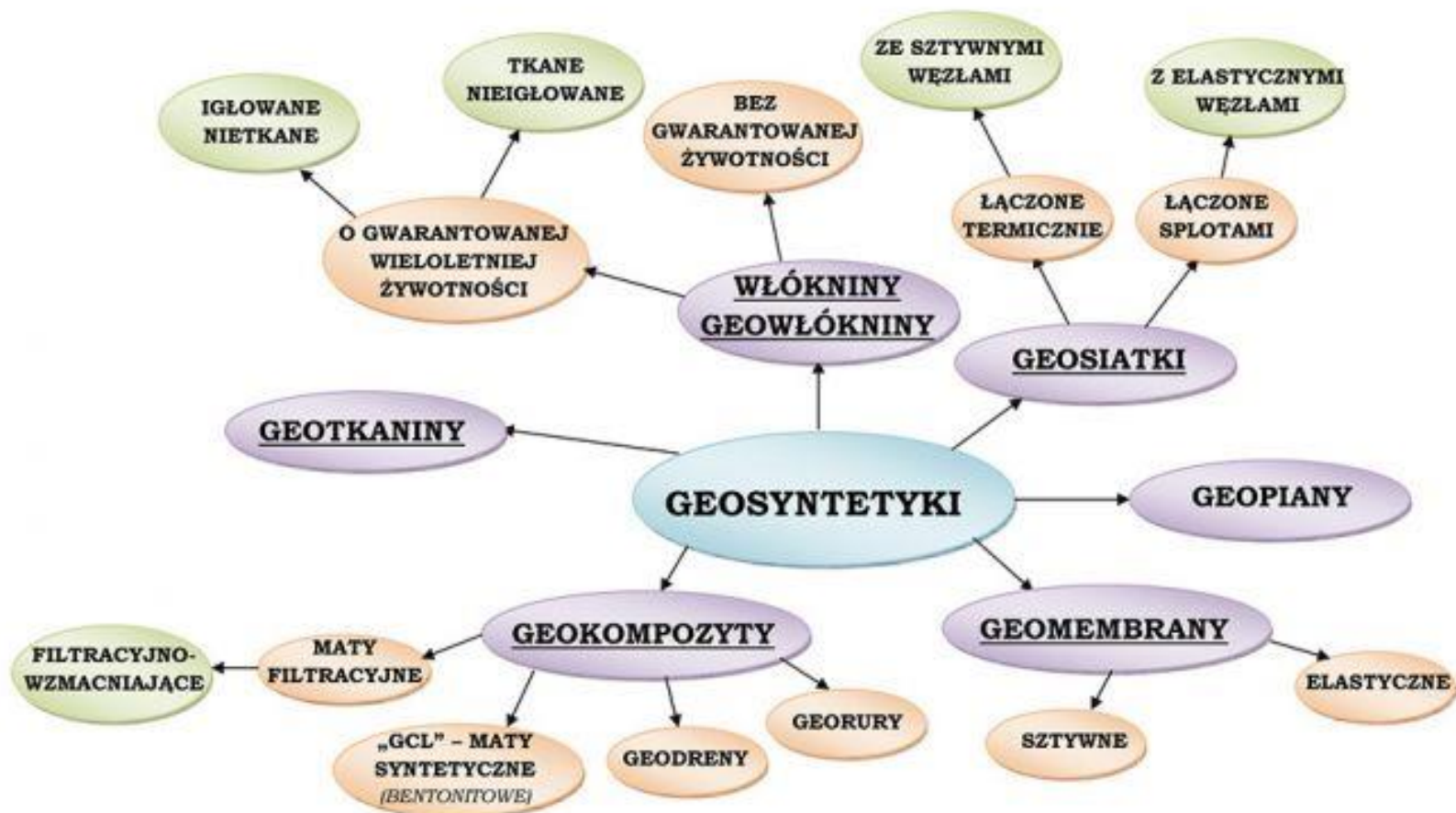


**Geokompozyty (geocomposites)**



AGH

## Podział geosyntetyków





## Geotkaniny

**Geotkaniny są typowym przykładem geotekstyliów tkanych, zbudowanych najczęściej z dwóch układów krzyżujących się włókien. Cechują się dużym zakresem wytrzymałości na rozciąganie od ok. 40 kN/m do 1600 kN/m. Prawie wszystkie geotkaniny wytwarzane są z poliestru lub z polipropylenu.**



**AGH**

## **Geotkaniny – zastosowania**



**Stabilizacja i budowa podłoża konstrukcyjnych (podbudowy placów, ulic, parkingów, wiaduktów i nasypów) w trudnych warunkach gruntowo-wodnych**



**Wzmacnianie słabego podłoża nasypów komunikacyjnych**



**Budowa zbrojonych konstrukcji oporowych**

## Geotkaniny – zastosowania



Zbrojenie podstawy nasypów opartych na palach wzmacniających słabe podłoże



Zazielenianie skarp, nasypów – system INORGREENING oraz stabilizacja osuwisk



Odciążenie przyczółków mostowych

## Geotkaniny – zastosowania



**Rozbudowa i  
rekultywacja  
składowisk  
odpadów**



**Konstrukcja  
nasyków i  
skarp**



**Ograniczenie  
destrukcyjnego  
oddziaływania  
szkód  
górnictw na  
konstrukcje**

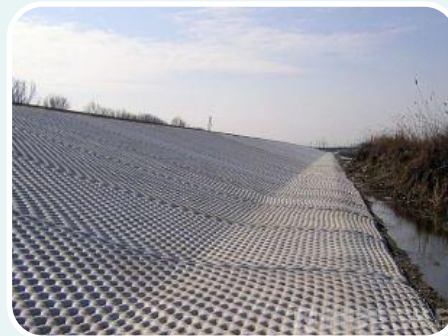


**AGH**

## **Geotkaniny – zastosowania**



**Wzmacnianie  
warstw  
bitumicznych**



**Konstrukcja i  
zabezpieczenie  
wałów  
przeciwpowodz  
iowych**



**Posadowienie  
konstrukcji hal  
przemysłowych  
i obiektów  
kubaturowych**





**AGH**

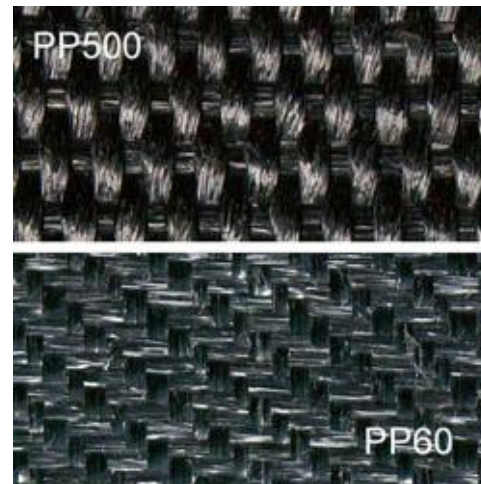
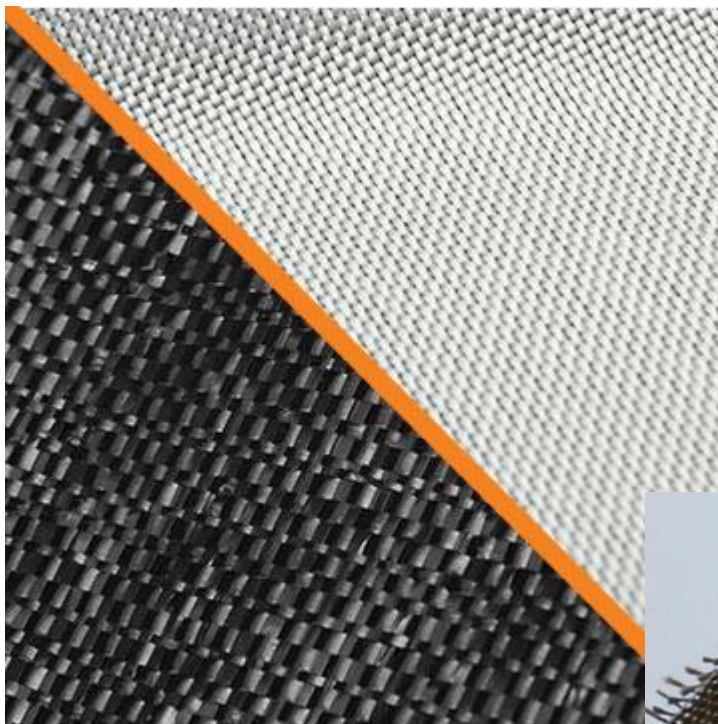
## **Geotkaniny – zastosowania**



**Budowa i  
wzmacnianie  
podbudowy  
torowisk  
kolejowych i  
tramwajowych**



# Geotkaniny



## **Geowłókniny**

**Geowłókniny są to płaskie materiały geosyntetyczne wykonane głównie z włókien PP (polipropylenowych) lub PES (poliestrowych), połączone mechanicznie w procesie igłowania, przeszywania lub zgrzewane termicznie. Przy czym pierwsza metoda sprawia, że stają się one mocniejsze i odporne na rozwarstwienia.**

**Są szczególnie przydatne przy wykonaniu każdego typu drenaży: poziomych i pionowych, ze względu na zdolność przepuszczania wody i powietrza. Pełnią funkcję jako warstwa chroniąca folię lub membranę przed przebiciem. Wykorzystywane również dla zwiększenia nośności lub poprawy trwałości drogi, czy też uszczelnienia jej podłoża.**

## **Geowłókniny**

**Geowłókniny przeznaczone są do wzmocniania górnej warstwy podłoża gruntowego nawierzchni drogowych i kolejowych oraz dolnych warstw nośnych podbudowy, w celu zmniejszenia zakresu wymiany gruntów oraz zużycia materiałów kamiennych, a także wydłużenia okresu eksploatacji nawierzchni.**

**Służą również do:**

- **wykonywania warstw odcinających i rozdzielających między gruntem drobnoziarnistym a warstwami konstrukcyjnymi nawierzchni;**
- **tworzenia warstw podkładowych i przekładkowych, utrzymujących grunt pod geosiatką lub wewnątrz geosiatek przy budowie wzmocnionych skarp i nasypów;**
- **zbrojenia pod powierzchnie parkingowe.**

## Geowłókniny – zastosowania



Odwodnienie placów, boisk sportowych, parkingów oraz dróg dojazdowych, pasów startowych; składowisk odpadów



Stabilizacja podłoża pod kostkę brukową – place, chodniki, ścieżki rowerowe



Odwodnienia liniowe budowli wodnych np. odpowietrzne drenaże zapór i wałów przeciwpowodziowych





AGH

# Geowłókniny



## Geosiatki

**Geosiatki to płaskie polimerowe struktury wykonane z polipropylenu (PP), polietylenu o wysokiej gęstości (PEHD), poliamidu (PA), poliestru (PET, PES), alkoholu poliwinylowego (PVA) oraz Aramidu (A). Polimery te różnią się między sobą sztywnością, wydłużeniem przy zerwaniu, odpornością na czynniki chemiczne, podatnością na płynięcie oraz ceną. Zastosowanie odpowiedniego z nich jest uwarunkowane konkretnym projektem oraz rachunkiem ekonomicznym.**

**Geosiatki mogą być wytwarzane poprzez tłoczenie na gorąco z płyt z tworzyw sztucznych, poprzez zgrzewanie pasm tworzyw sztucznych, bądź jako przeplatane pasma z włókien chemicznych.**

**Geosiatki – podobnie jak geotkaniny – cechują się dużym zakresem wytrzymałości na rozciąganie, od ok. 20 kN/m do 1400 kN/m.**



## Geosiatki – zastosowania



Zbrojenie  
skarp i zboczy



Zbrojenie  
podstawy  
nasypów  
opartych na  
palach  
wzmacniających  
słabe podłoże



Wzmacnianie  
nawierzchni  
bitumicznych



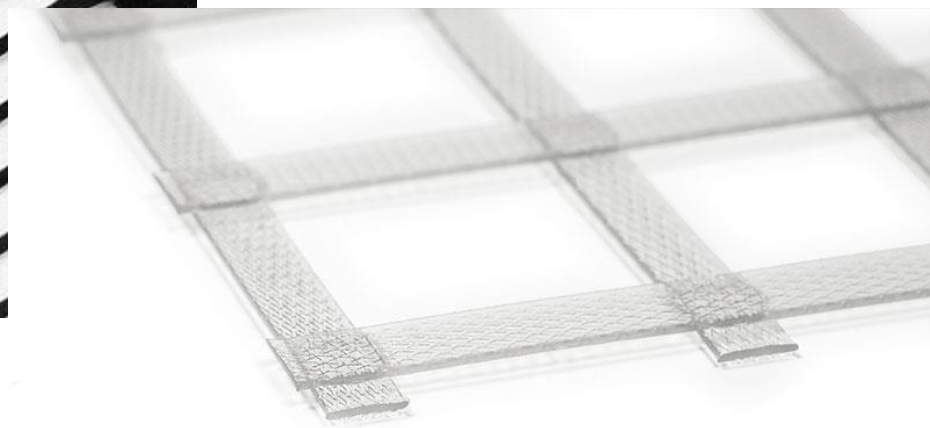
AGH

# Geosiatki





# Geosiatki



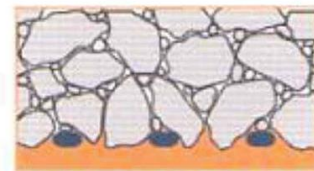
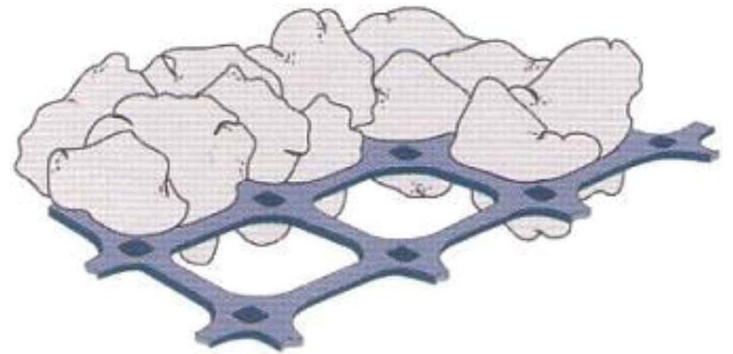


AGH

Geosiatki



**VS**



## Geomembrany

**Geomembrana jest to cienki, giętki i ciągły, nieprzezroczysty i zasadniczo nieprzepuszczalny dla substancji płynnych i gazów produkt syntetyczny lub bitumiczny w postaci wstęg lub arkuszy, złożony z jednej lub kilku warstw o łącznej grubości powyżej 1 mm.**

**Ze względu na sposób wykończenia wyróżniamy geomembrany o powierzchni:**

- **obustronnie gładkiej,**
- **obustronnie chropowatej,**
- **przeziernie gładkiej i chropowatej,**
- **przeziernie profilowanej (moletowanej) i gładkiej lub chropowatej**

## **Geomembrany**

**Geomembrana – stosowane przy izolacji obiektów budowlanych i hydrotechnicznych, odporne na większość środków chemicznych występujących w przyrodzie (np. produkty ropopochodne), nie ulegają degradacji biologicznej i charakteryzują się dobrymi parametrami mechanicznymi, niską wodochłonnością, nieprześlakliwością oraz różnorodnością zastosowań.**

**Wykonane są głównie z takich materiałów jak PEHD (polietylen wysokiej gęstości) oraz PCV (polichlorek winylu). Powierzchnia geomembrany może być gładka lub posiadać strukturę. Produkowane są w różnych grubościach w zależności od ich przeznaczenia.**





**AGH**

## **Geomembrany - zastosowanie**



**Uszczelnianie  
składowisk  
odpadów  
komunalnych**



**Uszczelnienia w  
obrzebie  
obiektów  
magazynowania  
i dystrybucji  
paliw płynnych**



**Wykonanie  
uszczelnień  
oczyszczalni  
ścieków**



AGH

# Geomembrany





AGH

**Geopianki**







**AGH**

# Geopianki





AGH

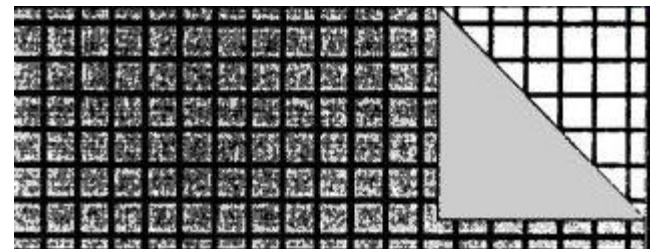
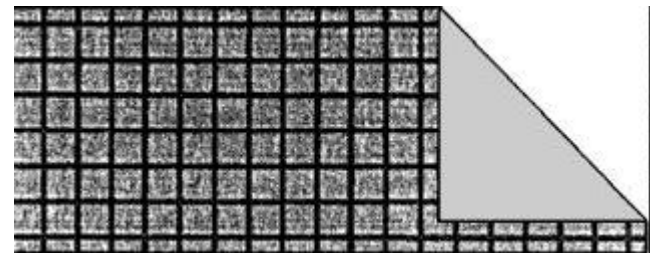
# Geopianki





## Geokompozyty

**Geomembrany wielowarstwowe, otrzymywane są w wyniku kalandrowania dwojącego, polegającego na łączeniu kilku pasm lub arkuszy z materiałów wysokopolimerycznych. Przez szczelinę między walcami kalandra jednokrotnie przepuszcza się (równocześnie) dwa lub trzy pasma produktów geosyntetycznych, które wskutek ogrzania i nacisku walców zostają połączone w pasmo lub arkusz o większej grubości.**







**AGH**

## **Funkcje geosyntetyków**

Rodzaj geosyntetyku	Separacja	Zbrojenie	Filtracja	Drenaż	Izolacja
geotekstyli	✓	✓	✓	✓	
geosiatki		✓			
geomembrany					✓
GCL					✓
georury				✓	
geopianki	✓				
geokompozyty	✓	✓	✓	✓	✓

## Polimery

**Do wykonania zbrojenia, stosowanego w robotach ziemnych i fundamentowych w konstrukcjach oporowych, stosuje się następujące surowce:**

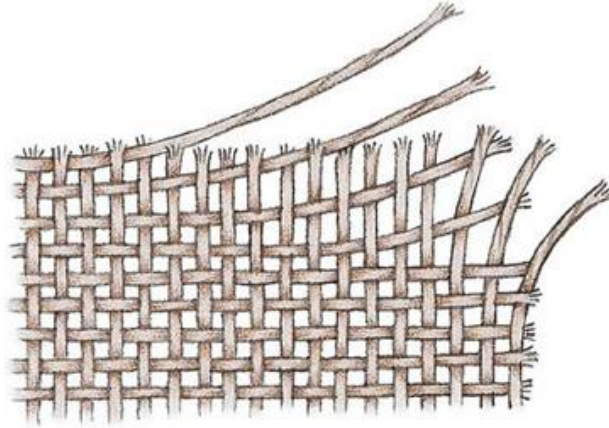
- **Polipropylen (PP)**
- **Polietylen (PE, PEHD)**
- **Poliester (PET, PES)**
- **Alkohol poliwinylowy (PVA)**
- **Poliamid (PA)**
- **Aramid (AR)**

**W celu zapewnienia odpowiednich właściwości wyrobom, używa się do ich wykonania rozmaite dodatki (np. stabilizatory)**

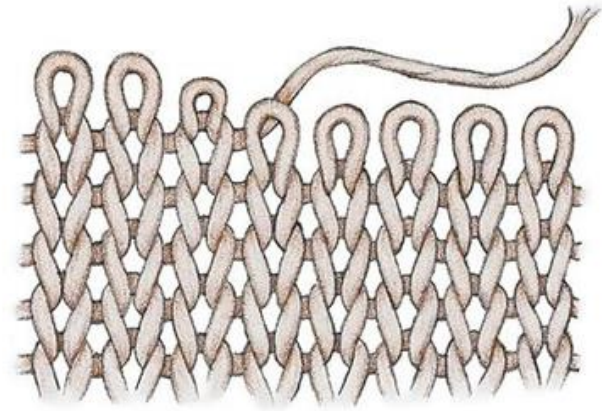
## Typowe wartości wytrzymałości krótkoterminowej geosyntetyków

Materiał	Produkt	Typowa wytrzymałość krótkoterminowa [kN/m]			Typowe wydłużenie [%]	
		od	do	max	od	do
AR	Goesiatki tkane i dziane ( <i>Woven and knitted</i> )	40	1 200	2 200	2	4
	Geotkaniny	100	1 400	2 400	2	4

## Woven vs knitted



woven material



knit material

Woven is...

- Thinner
- Doesn't snag as easily
- Lighter
- Wind resistant

Knit is...

- Thicker
- Stretchier
- Heavier
- Softer

## Typowe wartości wytrzymałości krótkoterminowej geosyntetyków

Materiał	Produkt	Typowa wytrzymałość krótkoterminowa [kN/m]			Typowe wydłużenie [%]	
		od	do	max	od	do
PE	Goesiatki tkane i dziane	20	150	300	15	20
	Geosiatki ekstrudowane	40	150	200	10	15
	Geotkaniny	30	200	400	15	20



## Typowe wartości wytrzymałości krótkoterminowej geosyntetyków

Materiał	Produkt	Typowa wytrzymałość krótkoterminowa [kN/m]			Typowe wydłużenie [%]	
		od	do	max	od	do
PET	Goesiatki tkane i dziane	20	800	1 200	8	15
	Geosiatki zgrzewane	20	400	500	6	10
	Geotkaniny	100	1 000	1600	8	15

## Typowe wartości wytrzymałości krótkoterminowej geosyntetyków

Materiał	Produkt	Typowa wytrzymałość krótkoterminowa [kN/m]			Typowe wydłużenie [%]	
		od	do	max	od	do
PP	Goesiatki tkane i dziane	20	200	500	8	15
	Geosiatki zgrzewane	20	200	400	8	15
	Geosiatki ekstrudowane	20	50		8	20
	Geotkaniny	20	200	600	8	20

## Typowe wartości wytrzymałości krótkoterminowej geosyntetyków

Materiał	Produkt	Typowa wytrzymałość krótkoterminowa [kN/m]			Typowe wydłużenie [%]	
		od	do	max	od	do
PVA	Goesiatki tkane i dziane	30	1 000	1 600	4	5
	Geotkaniny	30	900	1 800	4	5

**Dobór polimeru, z którego ma być wykonane zbrojenie, musi uwzględniać:**

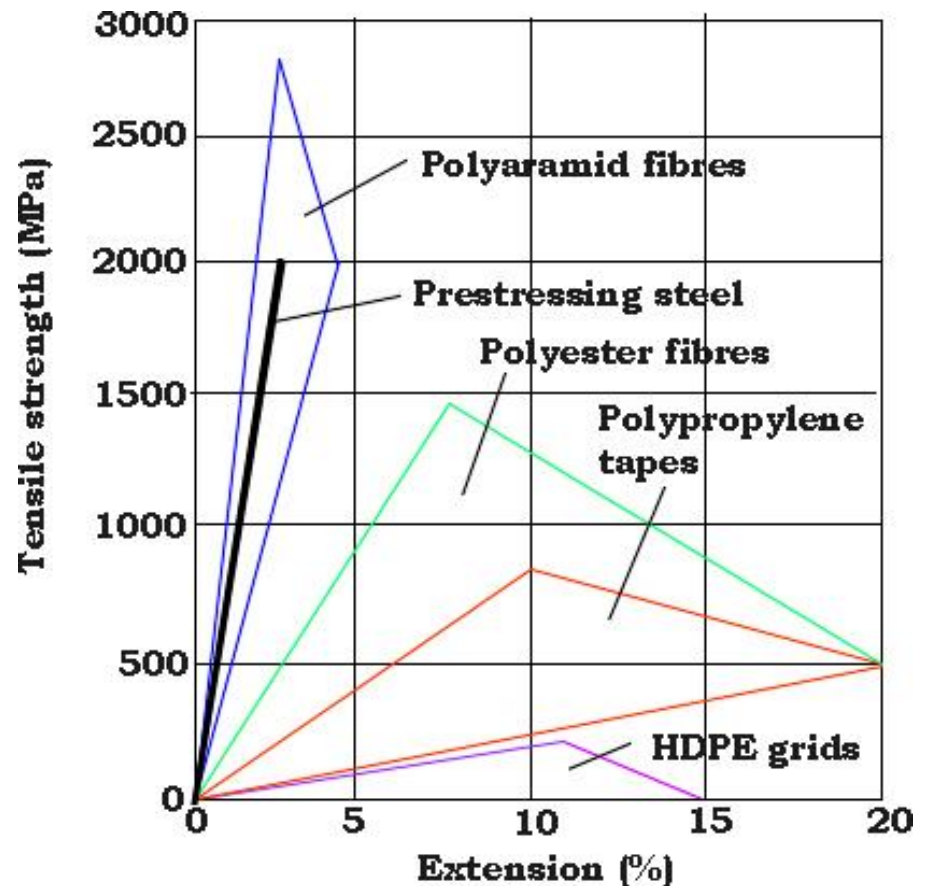
- **chemizm ośrodka gruntowego,**
- **czas użytkowania budowli,**
- **stopień obciążenia zbrojenia,**
- **dopuszczalne odkształcenia budowli lub dopuszczalne wydłużenia zbrojenia.**



AGH

## Wytrzymałość na rozciąganie

Charakterystyki wytrzymałości na rozciąganie do wydłużenie względnego dla polyamidu, poliestru, polipropylenu i HDPE oraz dla stali.

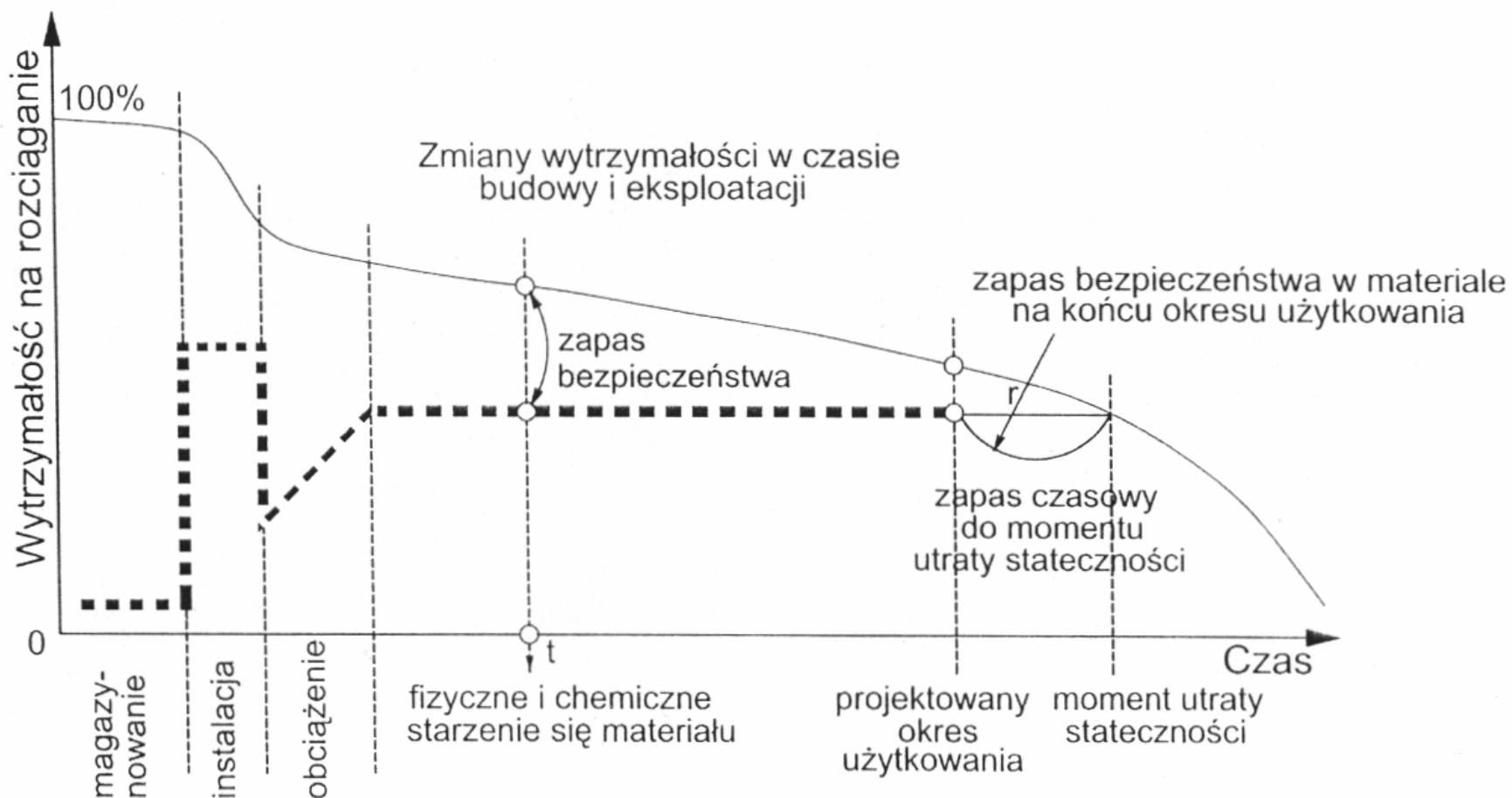






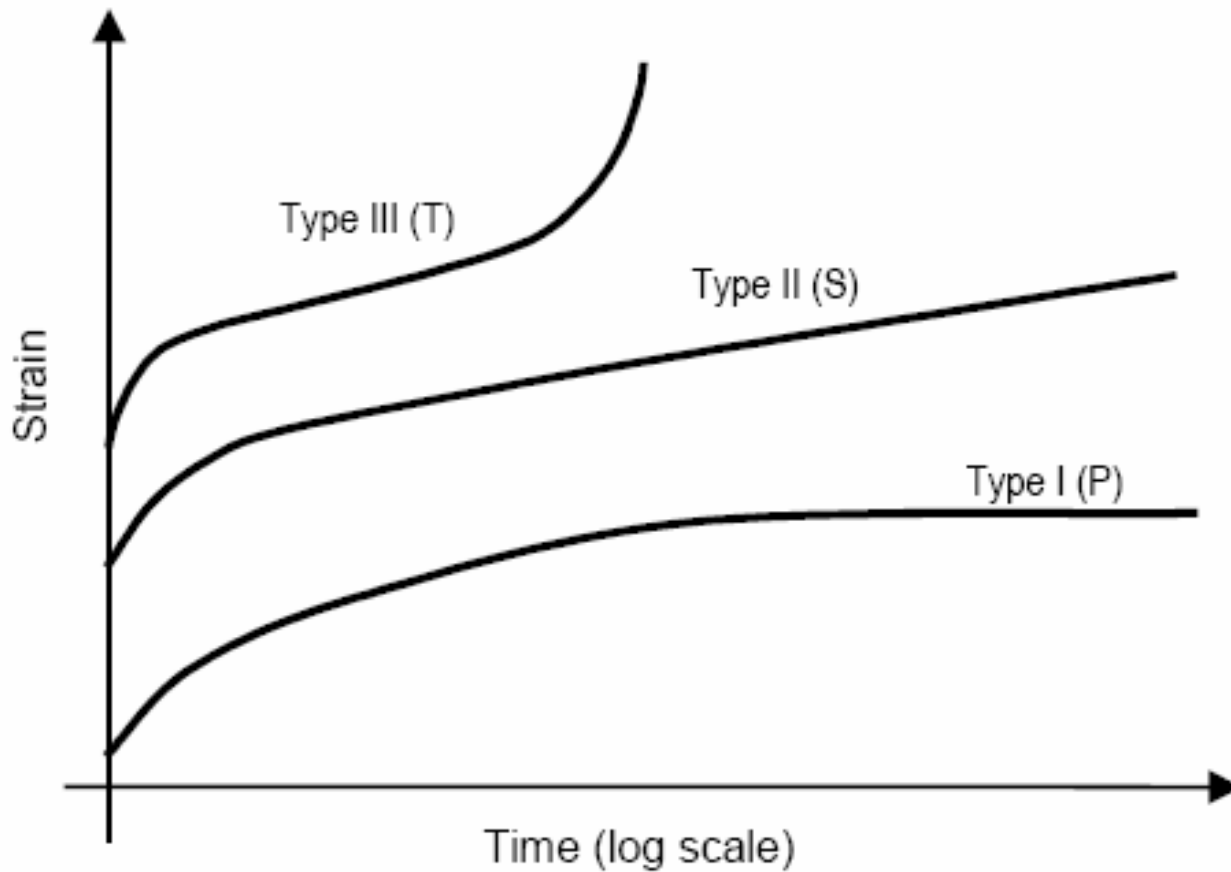
AGH

## Idea gruntu zbrojonego



**Zmiany wymaganej i istniejącej wytrzymałości na rozciąganie materiału geosyntezy z uwagi na funkcjonalność i czas użytkowania (ISO/TR 13434:1998)**

## Rodzaje pełzania



## Mechanizmy degradacji geosyntetyków

- **światło ultrafioletowe (UV)**
- **oksydacja (PP)**
- **hydroliza (PET)**
- **rysy od naprężeń środowiskowych (HDPE)**
- **temperatura**
- **warunki biologiczne**

## Wpływ temperatury

	10°	20°	30°	40°
TT 201	19.1	16.4	13.2	11.9
TT 301	27.6	23.5	18.9	17.0
TT 401	34.0	30.6	24.5	22.0
TT 601	42.0	38.1	30.6	27.5
TT 701	46.7	42.0	33.7	30.2

**Tabela zależności wytrzymałości długoterminowej od temperatury dla przykładowych geosiatek firmy Tenax**

## Przewidywany okres użytkowania

**Podział konstrukcji z gruntu zbrojonego z uwagi na przewidywany okres użytkowania:**

<b>Rodzaje obiektów</b>	<b>Czas użytkowania</b>	<b>Przykłady</b>
<b>Doraźne</b>	<b>2 lata</b>	<b>podpory tymczasowe, zabezpieczenia elementów konstrukcji na czas budowy</b>
<b>Tymczasowe</b>	<b>5 lat</b>	<b>drogi dojazdowe, konstrukcje zabezpieczające na czas budowy</b>
<b>Trwałe</b>	<b>25 lat</b>	<b>wały przeciwpowodziowe, nasypy dróg lokalnych, osłony akustyczne</b>
	<b>50 lat</b>	<b>nasypy autostrad, standardowe budowle hydrotechniczne, ściany oporowe i zbocza w strefie oddziaływań budowli trwałych</b>
<b>Długotrwałe</b>	<b>50 ÷ 120 lat</b>	<b>ściany oporowe autostrad lub budowli monumentalnych, podpory mostów</b>



## Wartość charakterystyczna wytrzymałości krótkotrwałej zbrojenia

Wartość charakterystyczną wytrzymałości krótkotrwałej określa się na podstawie wytrzymałości na rozciąganie deklarowanej przez producenta.

Jeżeli producent określa tę wytrzymałość zgodnie z normą PN-EN 13251:2002, poprzez wartość charakterystyczną  $\bar{F}_o$  i odchyłkę  $\Delta$ , wartość charakterystyczną ustala się z zależności

$$F_{o,k} = \bar{F}_o - \Delta$$

Jeżeli producent deklaruje wytrzymałość na rozciąganie jedną wartością, wartość charakterystyczną przyjmuje się równą wartości deklarowanej

$$F_{o,k} = F_o$$



AGH

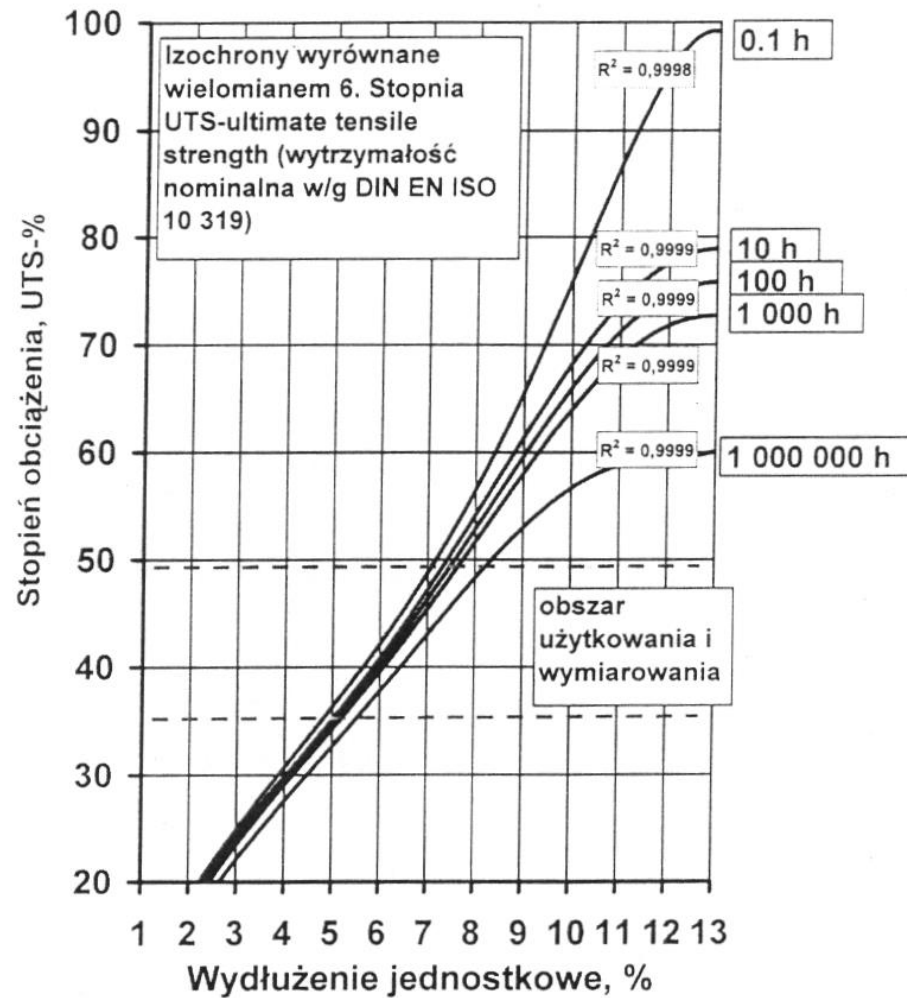
## Geotextile tensile strength





AGH

# Geotextile tensile strength



## Wytrzymałość długotrwała zbrojenia

Wartość charakterystyczną wytrzymałości długotrwałej wyznacza się z zależności:

$$F_k = \frac{F_{o,k}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}$$

gdzie:

- $A_1$  – współczynnik uwzględniający spadek wytrzymałości na skutek pełzania w projektowym okresie użytkowania konstrukcji,**
- $A_2$  – współczynnik uwzględniający spadek wytrzymałości zbrojenia na skutek uszkodzeń w transporcie i przy wbudowaniu,**
- $A_3$  – współczynnik uwzględniający spadek wytrzymałości zbrojenia na skutek połączeń,**
- $A_4$  – współczynnik uwzględniający spadek wytrzymałości zbrojenia na skutek działania czynników środowiskowych.**

## Wytrzymałość długotrwała zbrojenia

**Wartość współczynników powinna być deklarowana przez producenta. W przypadku konstrukcji kategorii II i III deklarowane wartości powinny być potwierdzone wynikami odpowiednich badań lub atestami wydanymi przez państwowe instytuty badawcze. Dla konstrukcji kategorii I i mniej odpowiedzialnych konstrukcji kategorii II, przy braku badań, wartości współczynników  $A_1 \div A_4$  mogą być określane wg następujących zaleceń:**

<b>Surowiec wyjściowy zbrojenia</b>	$A_1$
PE, PP	5.0
PA, PET, AR	2.5

## Wytrzymałość długotrwała zbrojenia

Materiał	Typowe wartości współczynnika $A_1$		Minimalna wartość współczynnika $A_1$ gdy brak badań
	od	do	
AR	1.5	2.0	3.5
PA	1.5	2.0	3.5
PE	2.0	3.5	6.0
PET	1.5	2.5	3.5
PP	2.5	4.0	6.0
PVA	1.5	2.5	3.5



## Wytrzymałość długotrwała zbrojenia

**Wpływ uszkodzenia podczas transportu, przy zabudowywaniu i przy zagęszczaniu.**

**Dla zbrojenia w gruntach o okrągłych ziarnach, ewentualnie z domieszką kruszywa łamanego:**

<b>Rodzaj materiału gruntowego</b>	$A_2$
Drobnoziarnisty	1.4
Gruboziarnisty	1.7
Drobnoziarnisty z domieszką kruszywa łamanego	2.0

**W przypadku kruszywa łamanego i braku zabezpieczeń zbrojenia, należy wartość współczynnika ustalać doświadczalnie (na poletku), porównując wytrzymałość siatki po zagęszczeniu z wytrzymałością przed zagęszczeniem.**

## Wytrzymałość długotrwała zbrojenia

**Wpływ połączeń zbrojenia i przyłączy do innych elementów budowlanych – na podstawie badań przez porównanie z wytrzymałością krótkotrwałą na rozciąganie,**

**- przy braku połączeń  $A_3 = 1.0$ ;**

**Wpływ środowiska:**

**- dla zwykłych warunków  $A_4 = 1.0$ .**

## Współczynniki materiałowe przykładowej geosiatki (Fortrac M - PVA)

Projektowany okres eksploatacji						
	1 rok	2 lata	5 lat	10 lat	60 lat	120 lat
$A_1$ [-]	1.40	1.42	1.44	1.46	1.51	1.53

Grupa gruntu:	$A_2$			
	65/65-30MP	80/25-30MP	110/25-30MP	200/30-30MP
Drobnoziarniste $D_{90} < 2$ mm	1.02	1.02	1.02	1.02
Piaski, pospółki $D_{90} < 32$ mm	1.15	1.15	1.10	1.05
Żwir, tłuczeń $D_{90} < 63$ mm	1.30	1.30	1.10	1.08

Wartość pH gruntu	pH = 2.0 ÷ 4.0 Kwaśny	pH = 4.1 ÷ 12.0 Neutralny	pH = 12.1 ÷ 13.0 Zasadowy
$A_4$ [-]	1.05	1.00	1.20

## Przyczepność gruntu do zbrojenia

**Przyczepność zbrojenia do gruntu określać można na podstawie badań w aparacie bezpośredniego ścinania z użyciem przewidzianego zbrojenia i materiału gruntowego.**

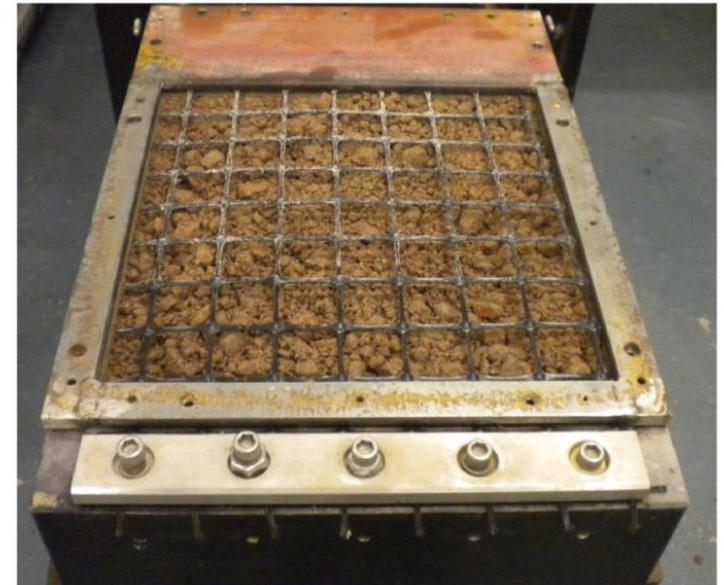
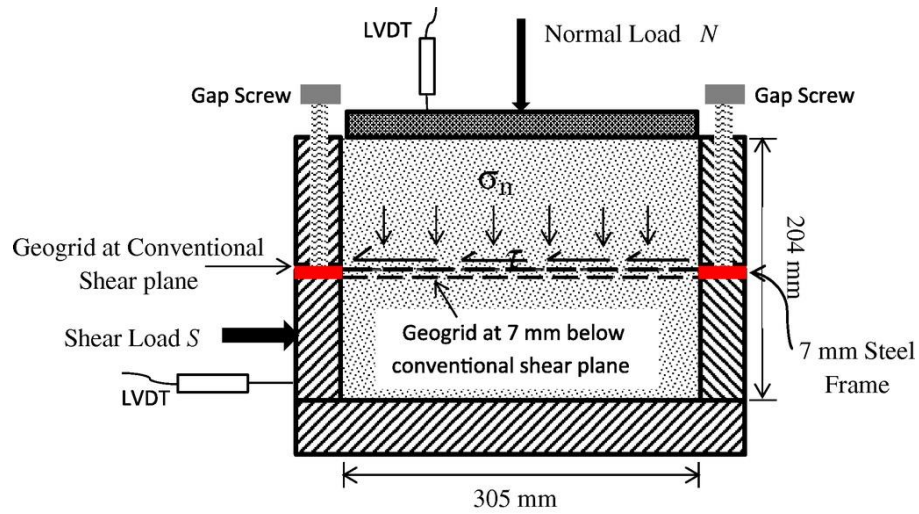
**W przypadku braku wyników badań do obliczeń można przyjmować następujące minimalne wartości współczynnika tarcia:**

- geosyntetyk – grunt**  $\mu_k = 0,50 \operatorname{tg} \varphi'_k$
- geosyntetyk – geosyntetyk**  $\mu_k = 0,2$



AGH

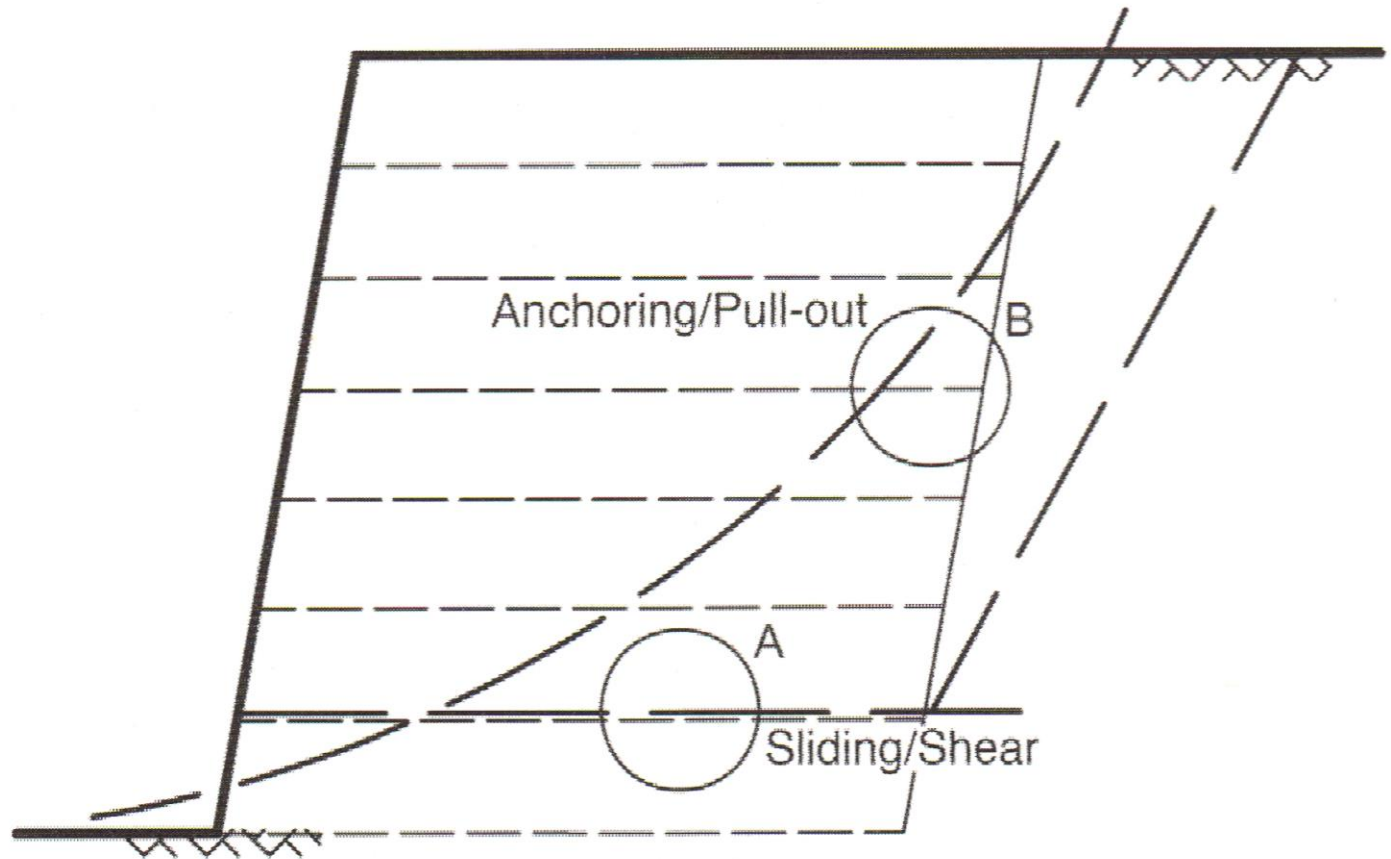
# Direct shear test





AGH

## Mechanizm pracy zbrojenia

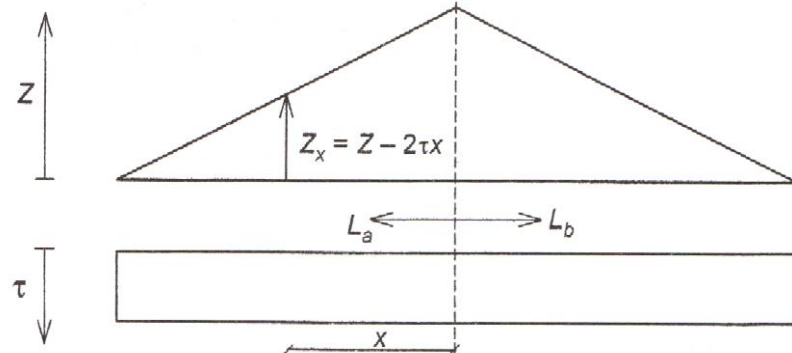
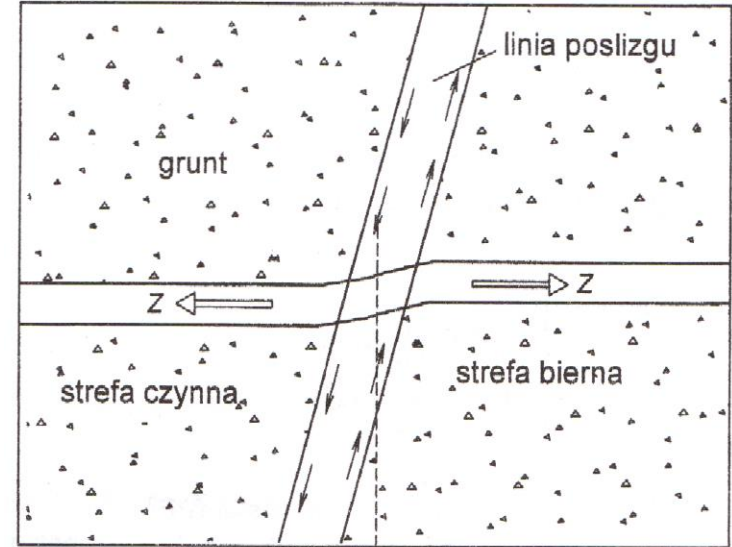
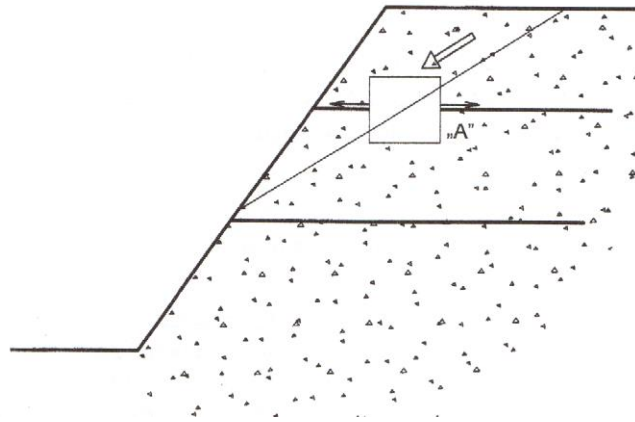






AGH

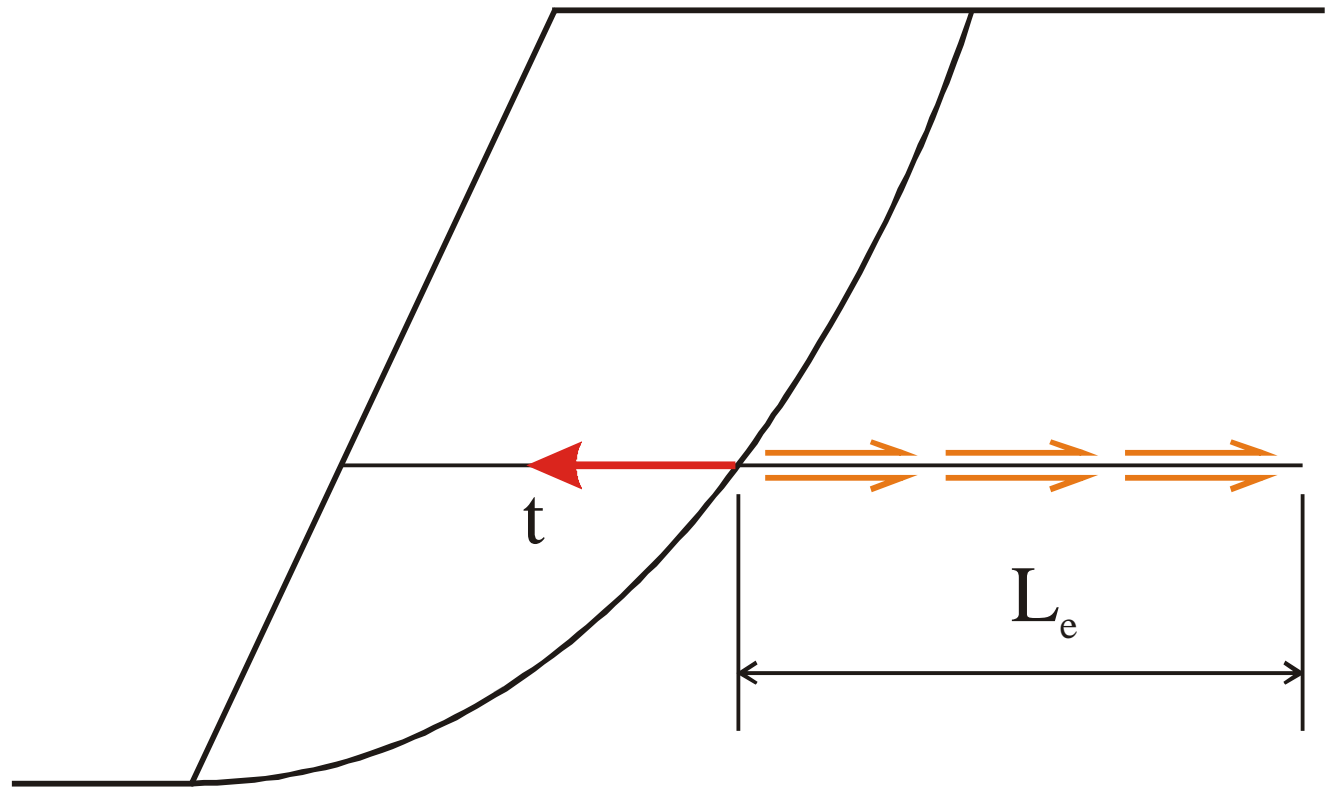
# Ilustracja funkcji zbrojenia w gruncie



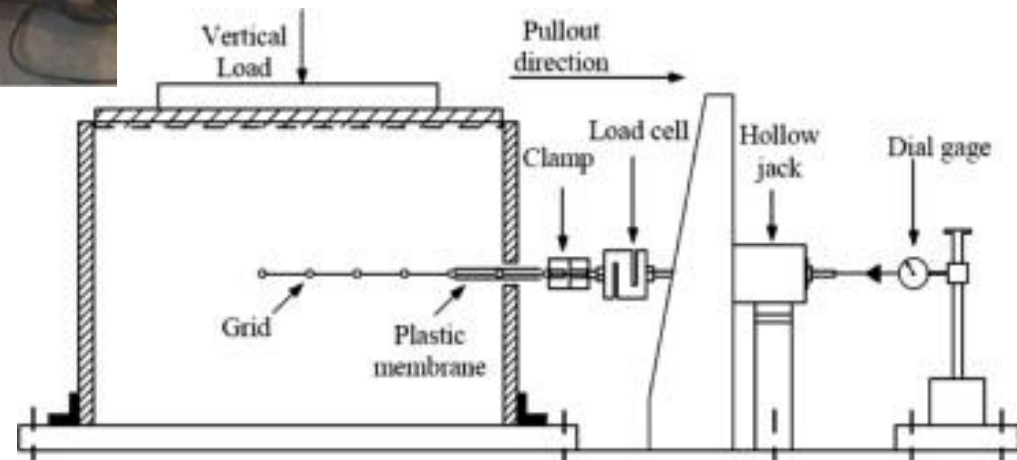


AGH

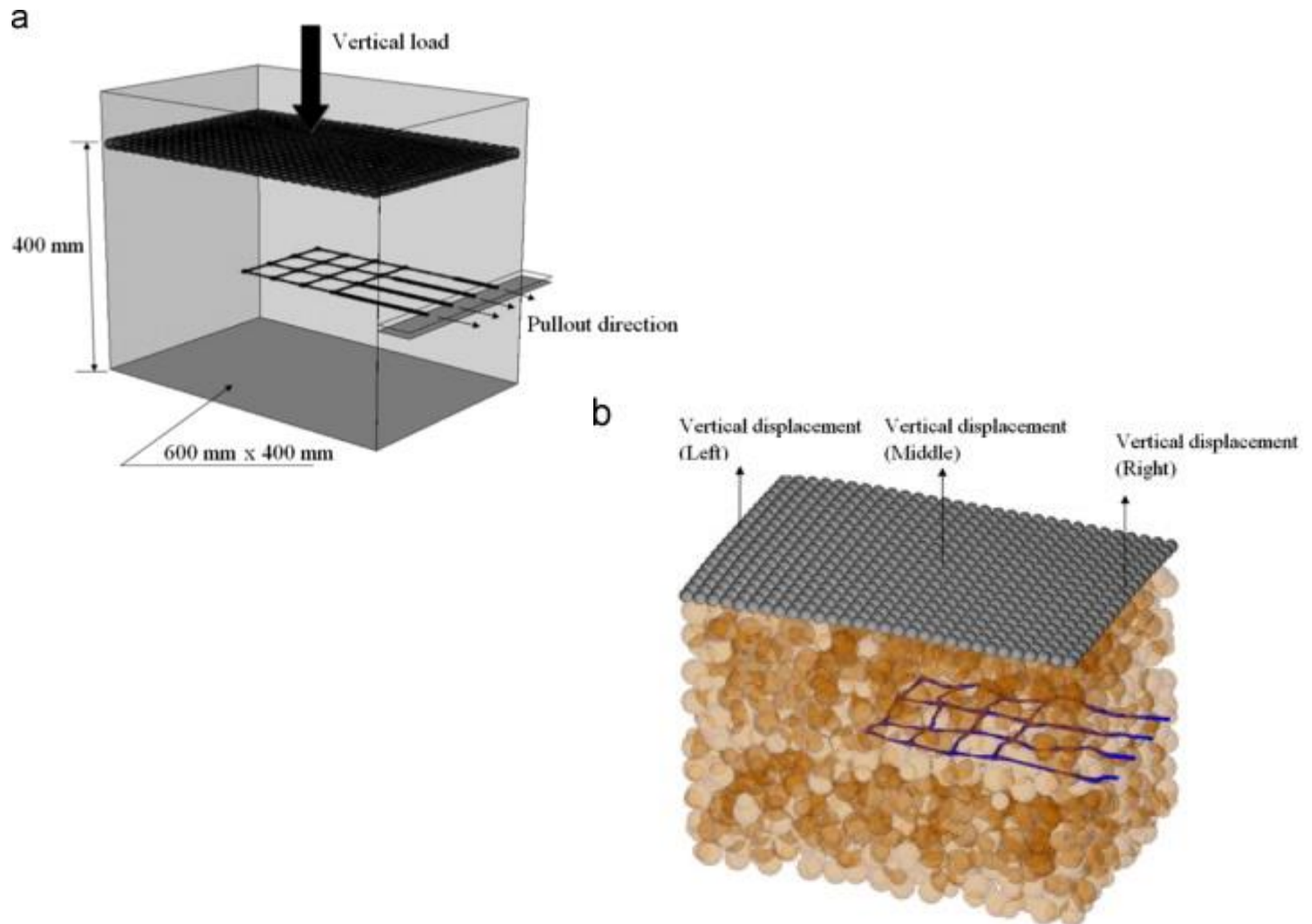
## Długość zakotwienia



# Large box pull-out test set-up (Cheng Chen et al. 2014)



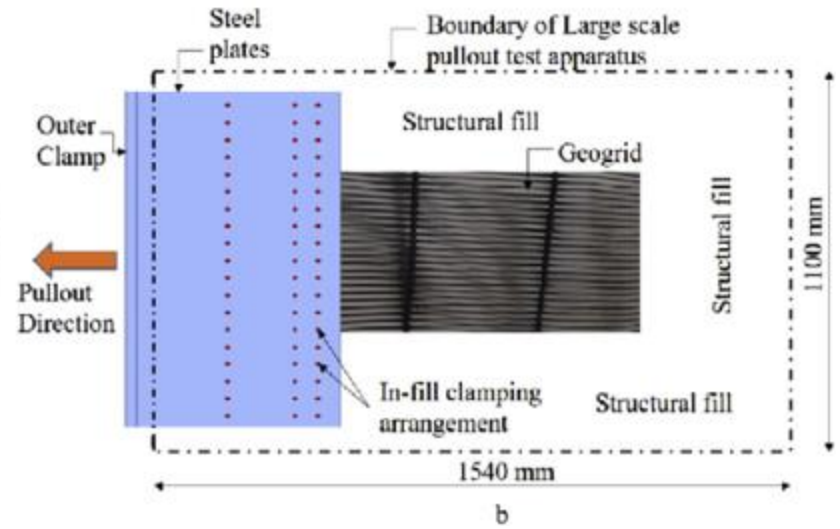
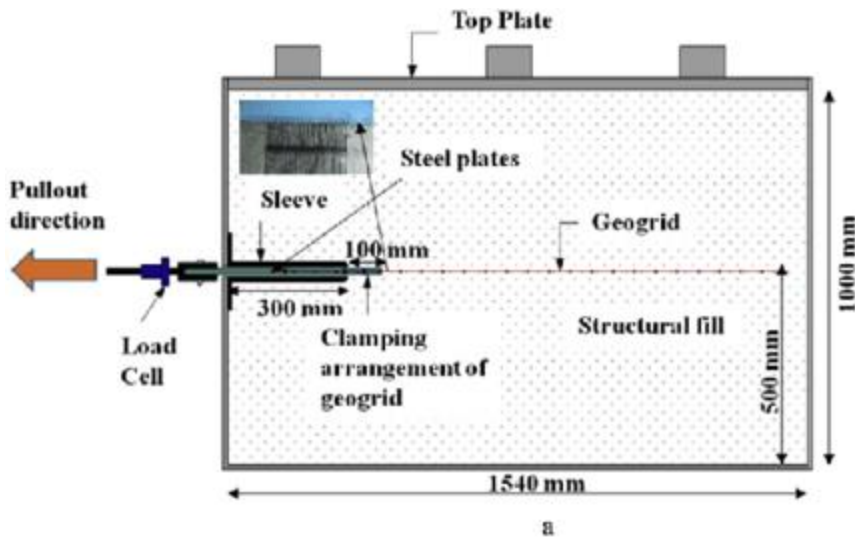
# Large box pull-out test set-up (Cheng Chen et al. 2014)



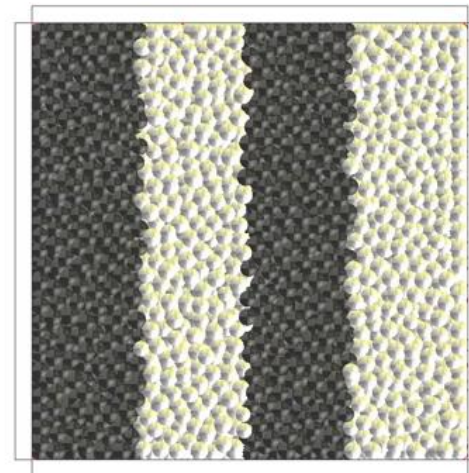
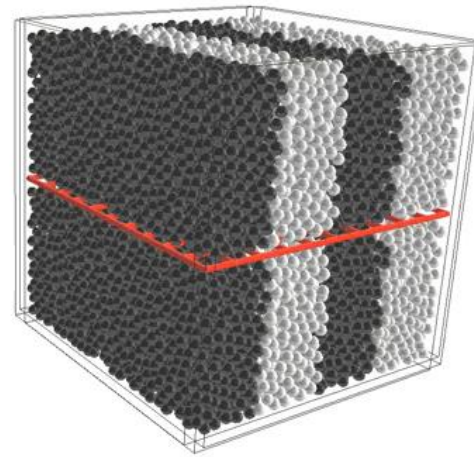


AGH

# Pullout test

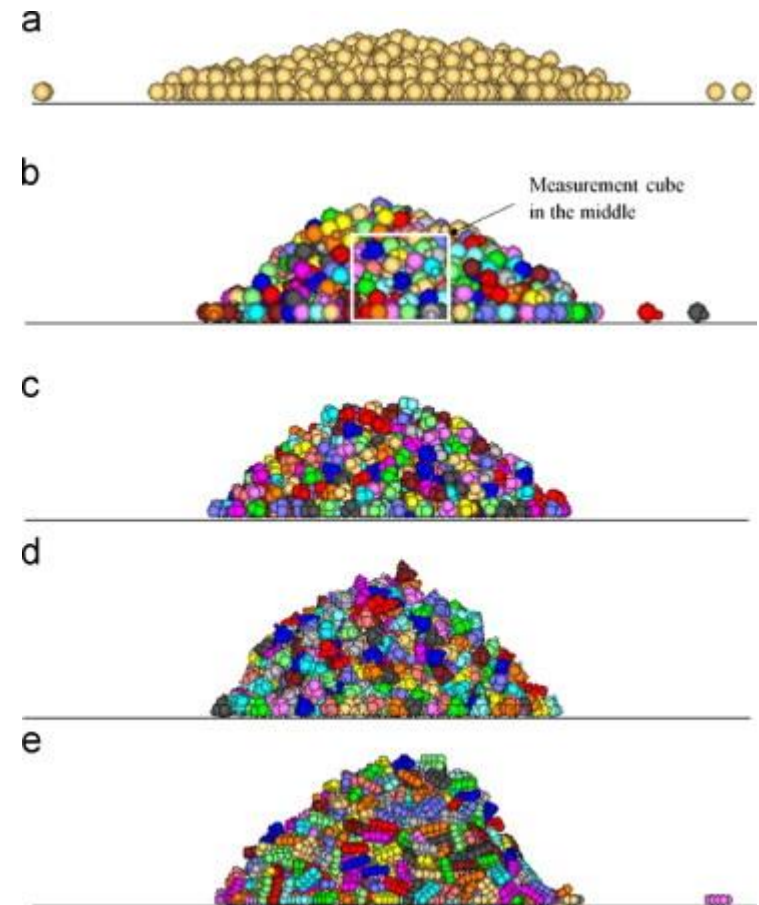
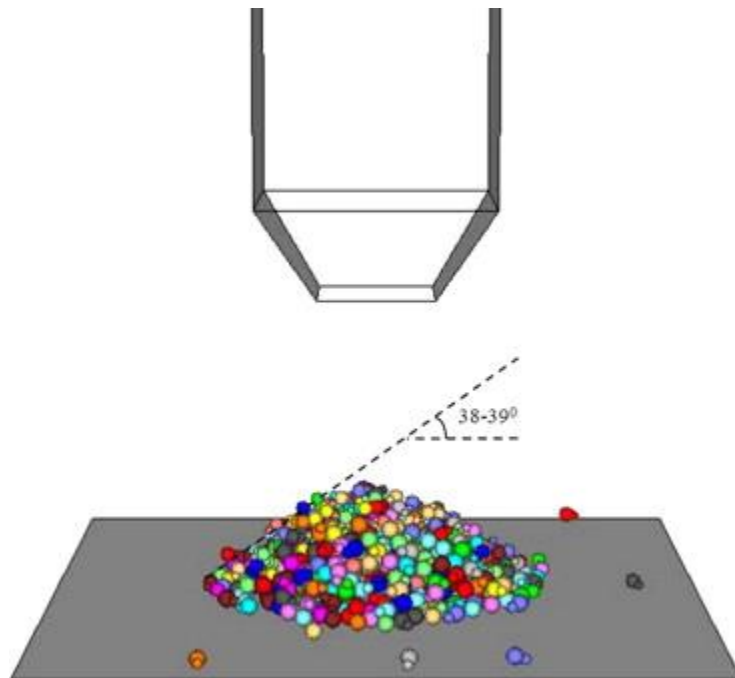


# Simulation of a pull-out test of a geogrid with the open-source code YADE





# Large box pull-out test set-up (Cheng Chen et al. 2014)





**AGH**

**Huesker**

## Zbrojenie

**Rozstaw zbrojenia musi zapewniać:**

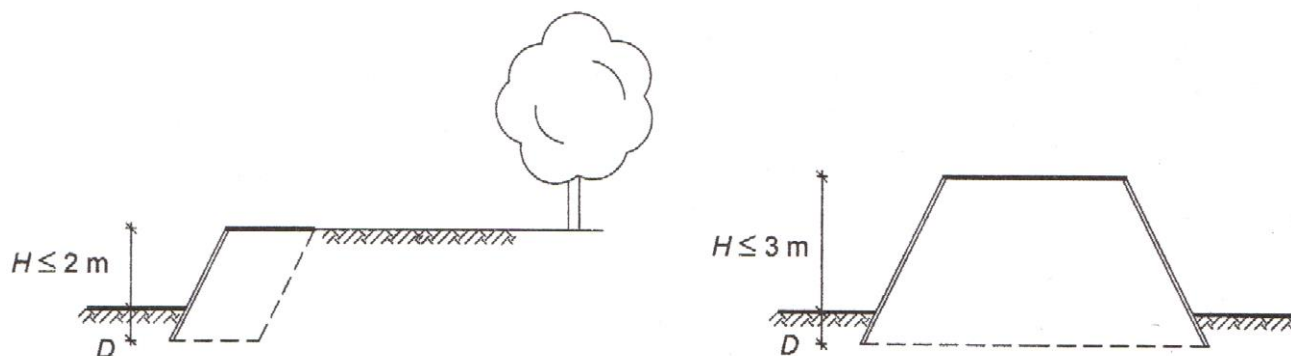
- dostateczną stateczność konstrukcji,
- stateczność zasypki pomiędzy zbrojeniem w strefie brzegowej czoła skarpy,
- dostosowanie do optymalnej grubości zasypki przykrywającej zbrojenie.

**Maksymalny rozstaw zbrojenia nie powinien przekraczać:**

- 1.0 m w przypadku konstrukcji osłonowych sztywnych,
- 0.7 m w pozostałych przypadkach,
- $H/4$ , gdzie  $H$  jest wysokością konstrukcji.

## Kategorie geotechniczne

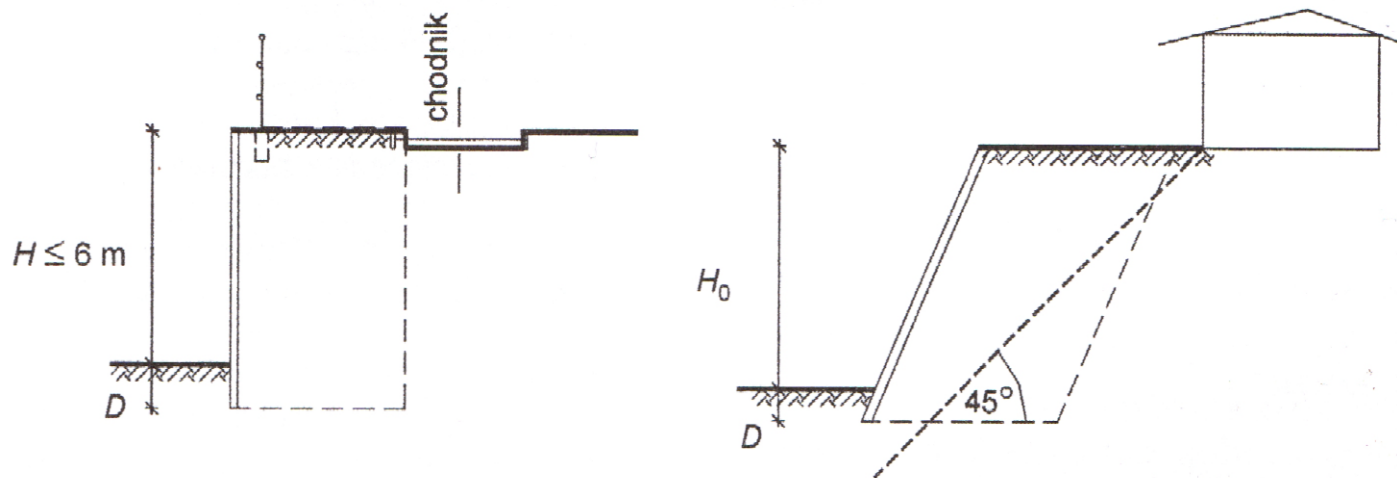
**Kat. I – konstrukcje o nieznacznej wysokości: ściany oporowe do 2.0 m oraz skarpy i nasypy do 3.0 m, w odniesieniu do których nie stawia się określonych wymagań dotyczących przemieszczeń i odkształceń konstrukcji.**



Przykłady konstrukcji dla I kategorii geotechnicznej

## Kategorie geotechniczne

**Kat. II – konstrukcje o wysokości  $H \leq 6$  m, nie znajdujące się w strefie oddziaływania innych obiektów oraz konstrukcje usytuowane częściowo w strefie oddziaływania innych obiektów, w stosunku do których stawia się określone wymagania co do ich odkształceń lub przemieszczeń.**



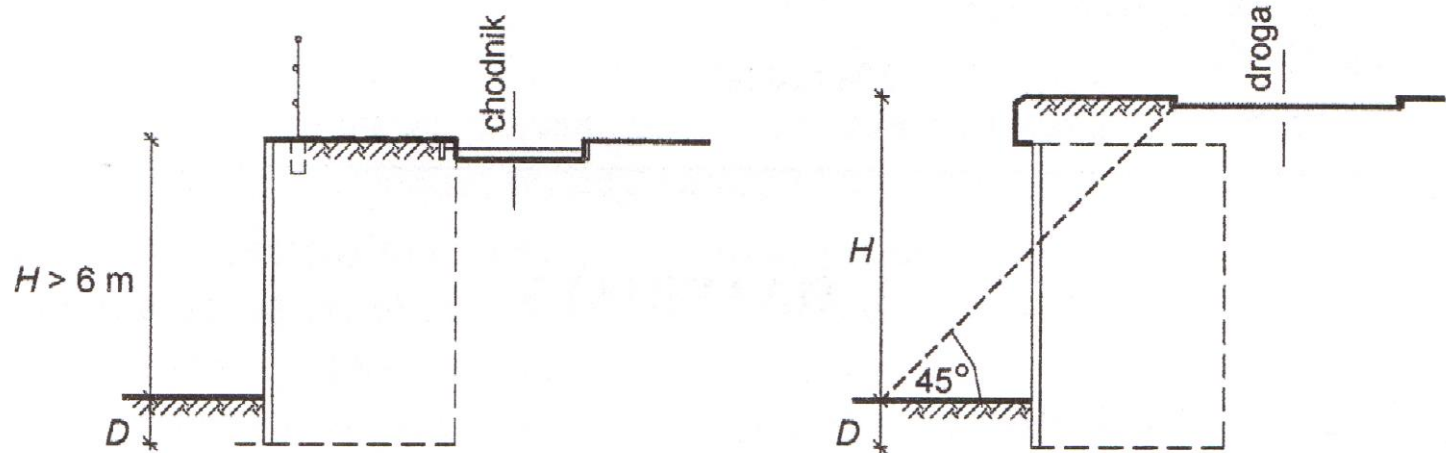
Przykłady konstrukcji dla II kategorii geotechnicznej



AGH

## Kategorie geotechniczne

**Kat. III – konstrukcje o wysokości  $H > 6$  m oraz konstrukcje usytuowane w całości w strefie bezpośrednich oddziaływań innych obiektów.**



Przykłady konstrukcji dla I kategorii geotechnicznej

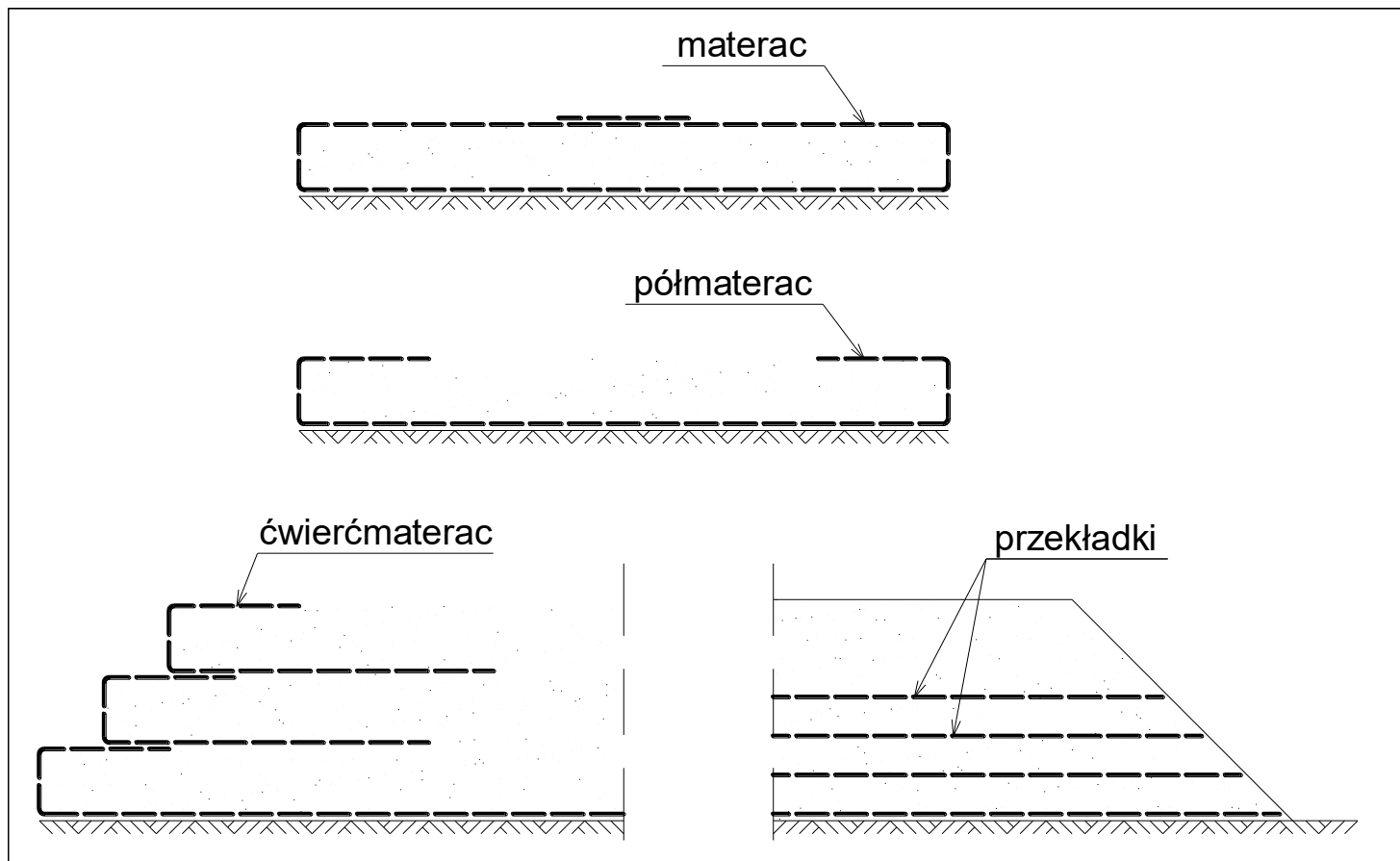


## Właściwości wytrzymałościowe materiału gruntowego

**W przypadku konstrukcji kategorii I i mniej odpowiedzialnych konstrukcji kategorii II wartości kąta tarcia wewnętrznego można przyjmować z tabeli:**

Typ grupy gruntu	$\varphi_k$	
	$I_s=0.94$	$I_s=1.00$
Bardzo gruboziarniste (max $d > 63$ mm)	40	45
Gruboziarniste (żwiry, pospółki, piaski grube i średnie, żwiry i pospółki gliniaste)	32	40
Drobnoziarniste niespoiste (piaski drobne i pylaste piaski gliniaste)	28	32
Drobnoziarniste mało spoiste	25	30

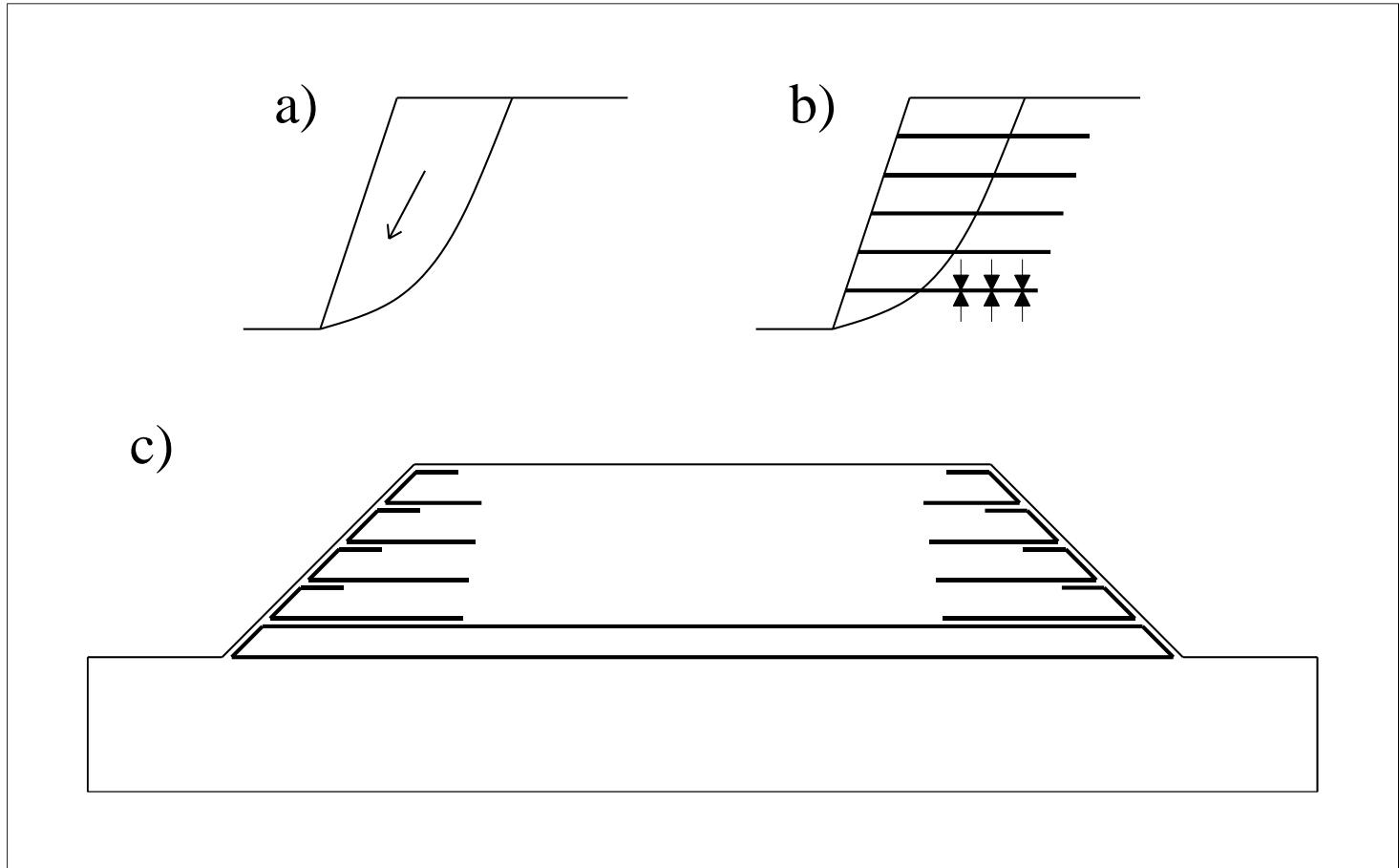
# Nomenklatura





AGH

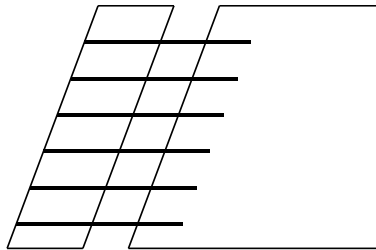
## Zasada działania



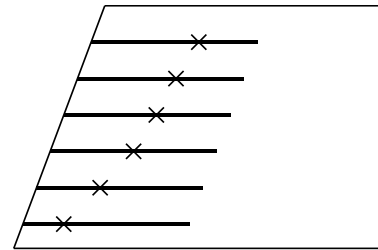


AGH

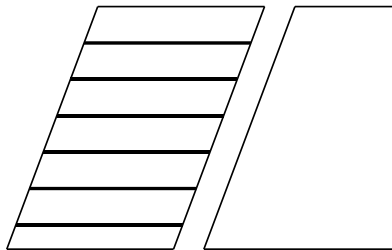
## Awarie zbrojenia



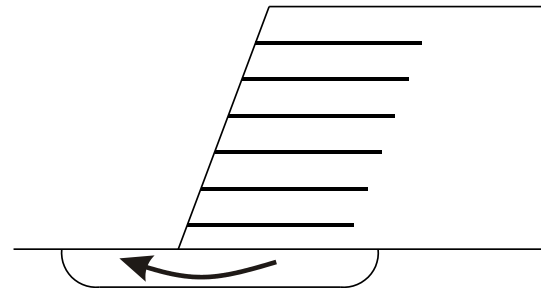
a) wyrwanie zbrojenia



b) zerwanie zbrojenia

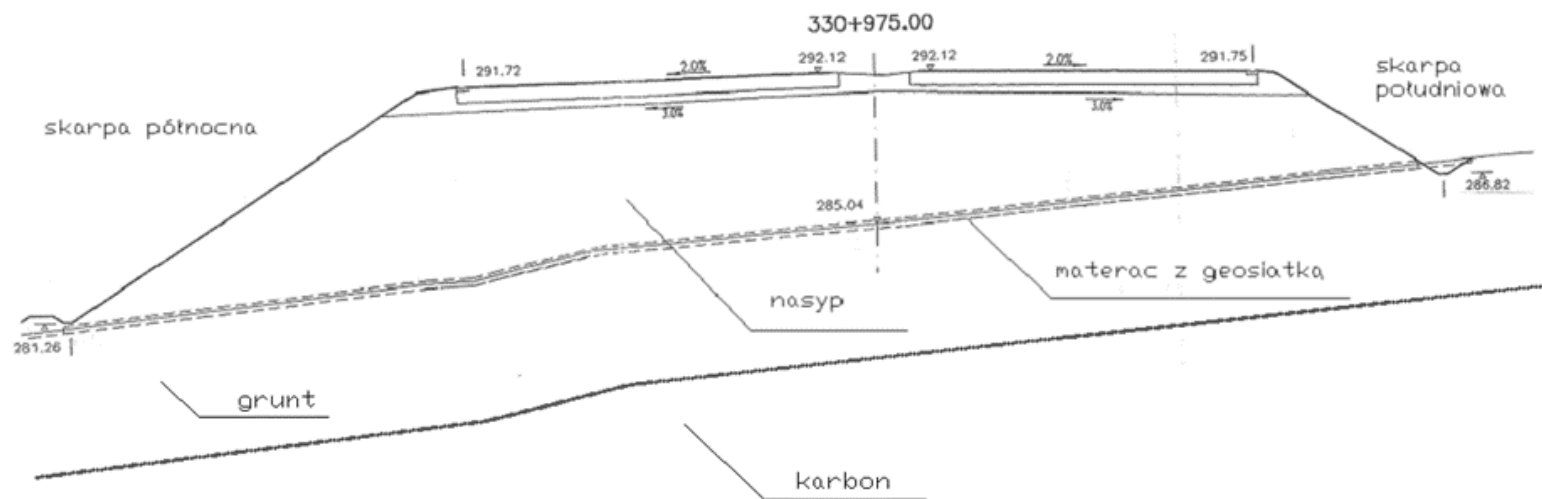


c) poślizg podstawy

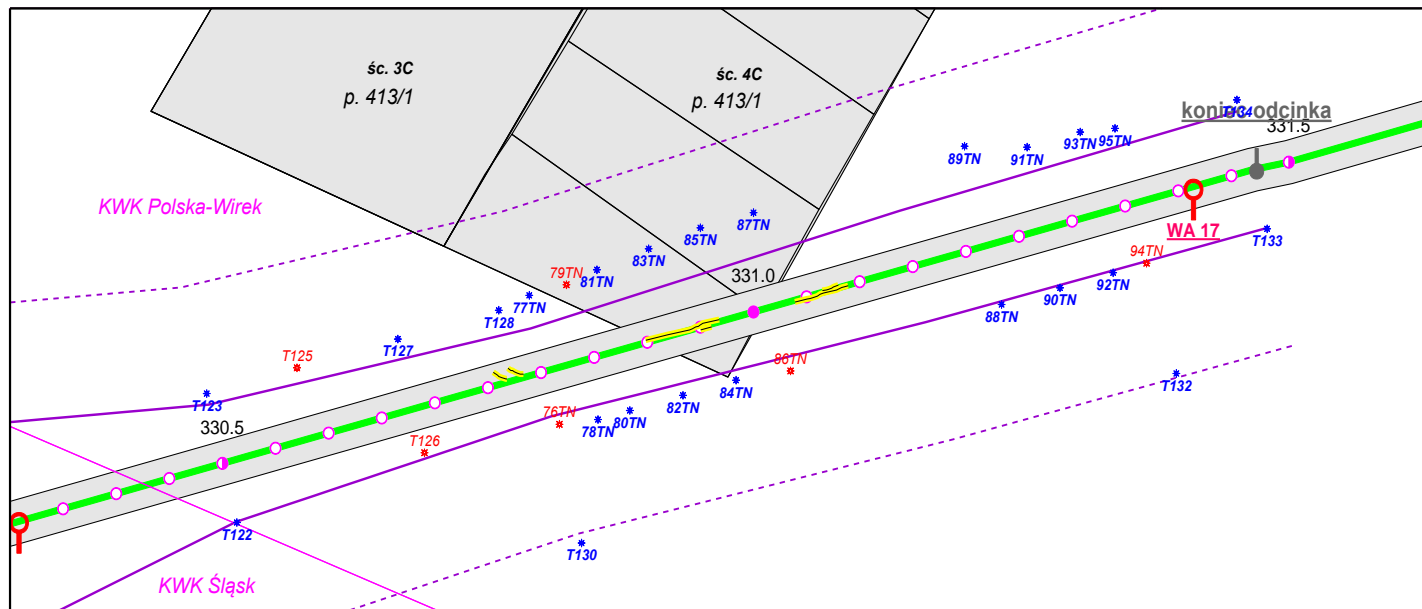


d) wyparcie podłoża

## Przykładowe konstrukcje z gruntu zbrojonego Nasyp autostradowy na terenach górniczych

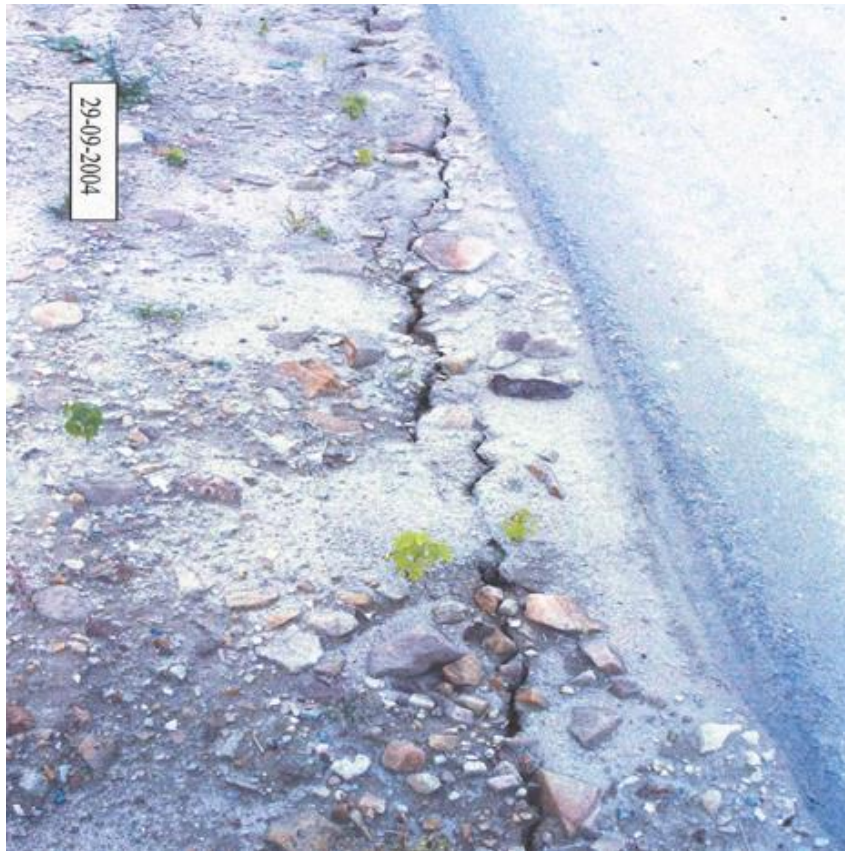


# Nasyt autostradowy na terenach górniczych Wzajemne usytuowanie obiektów

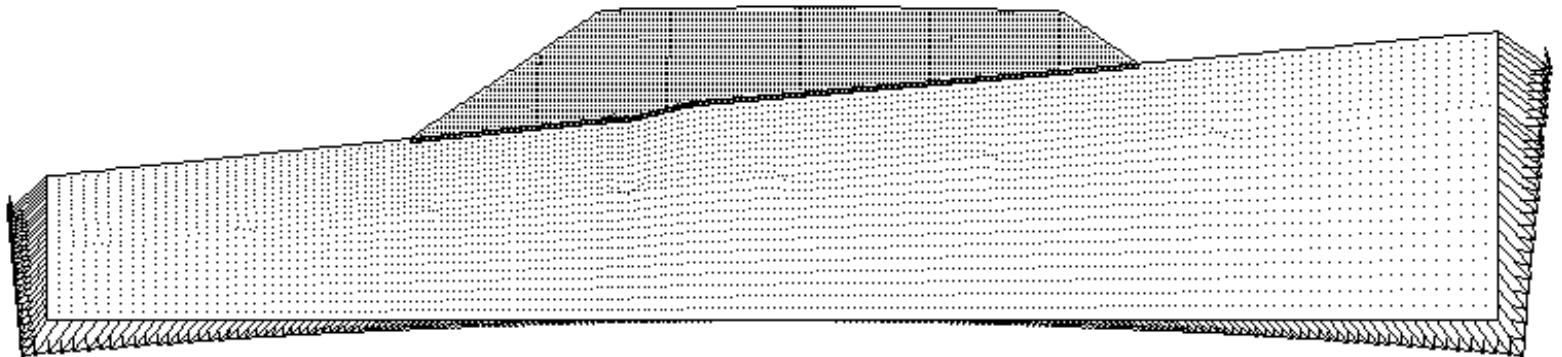
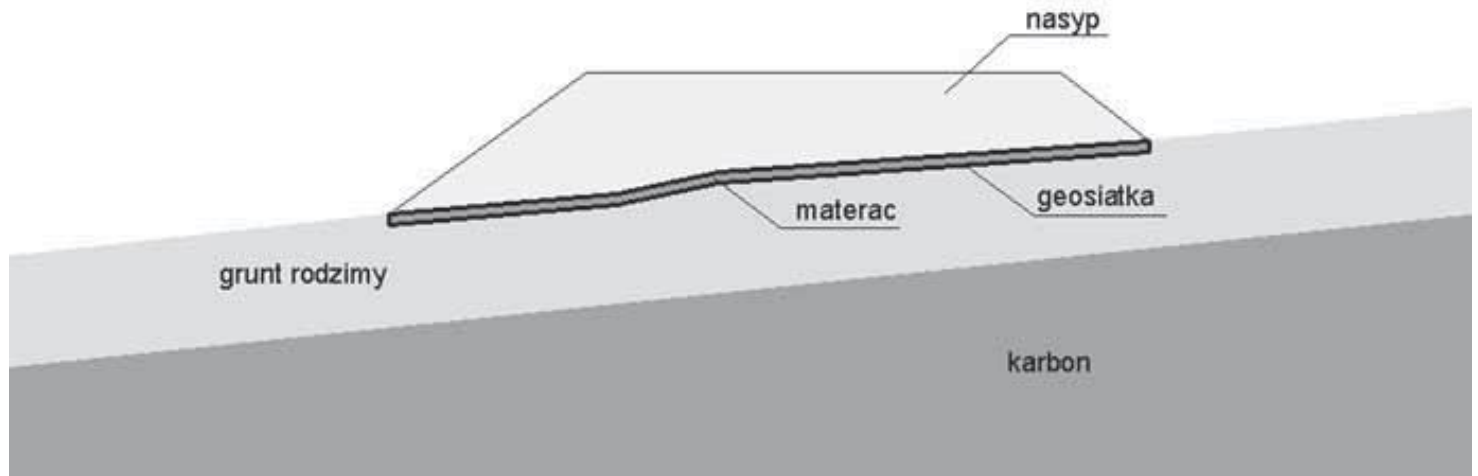




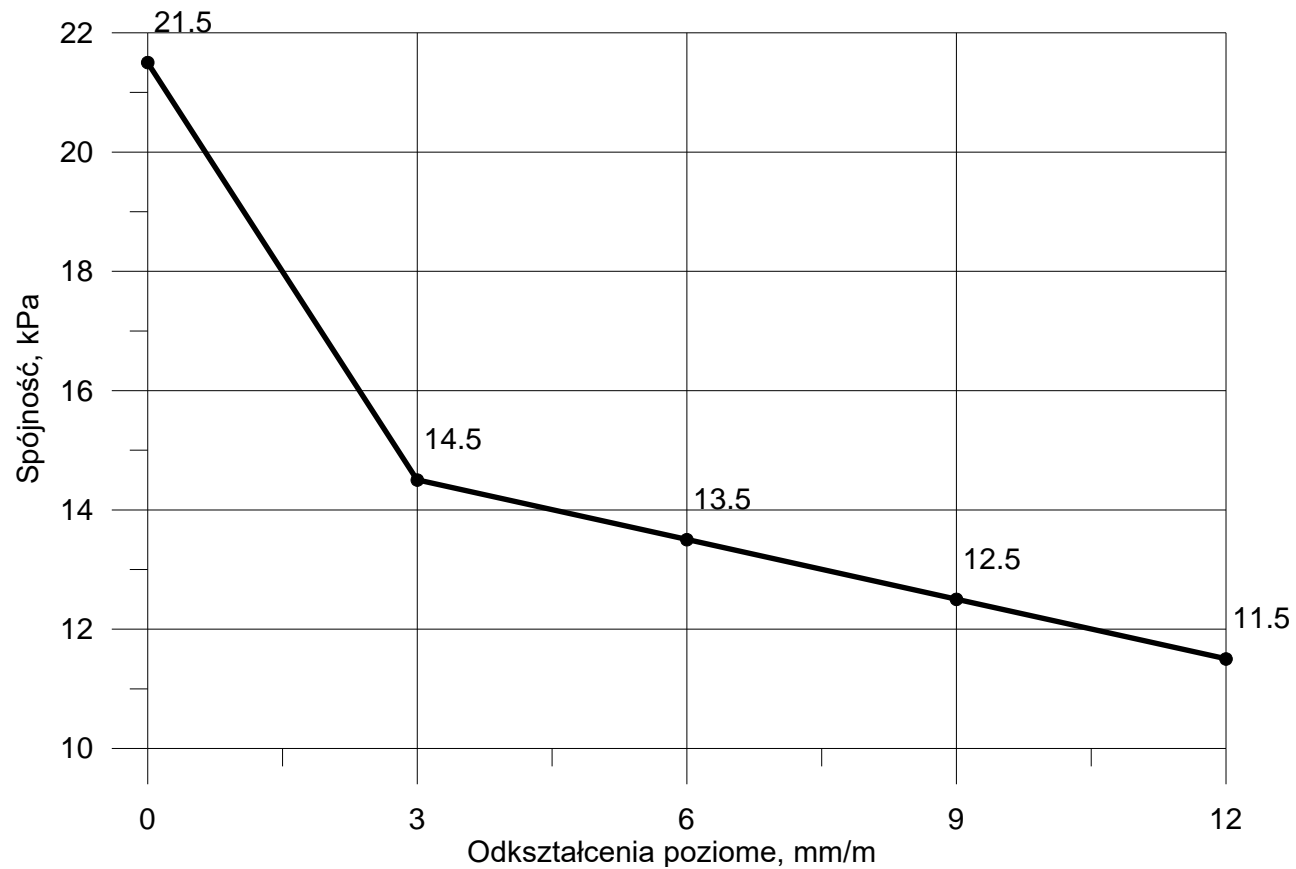
## Nasyp autostradowy na terenach górniczych Zniszczenia w korpusie nasypu i w nawierzchni



## Nasyp autostradowy na terenach górniczych Geometria modelu i warunki brzegowe



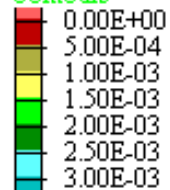
# Nasyp autostradowy na terenach górniczych Redukcja spójności dla gliny piaszczystej – Litwinowicz



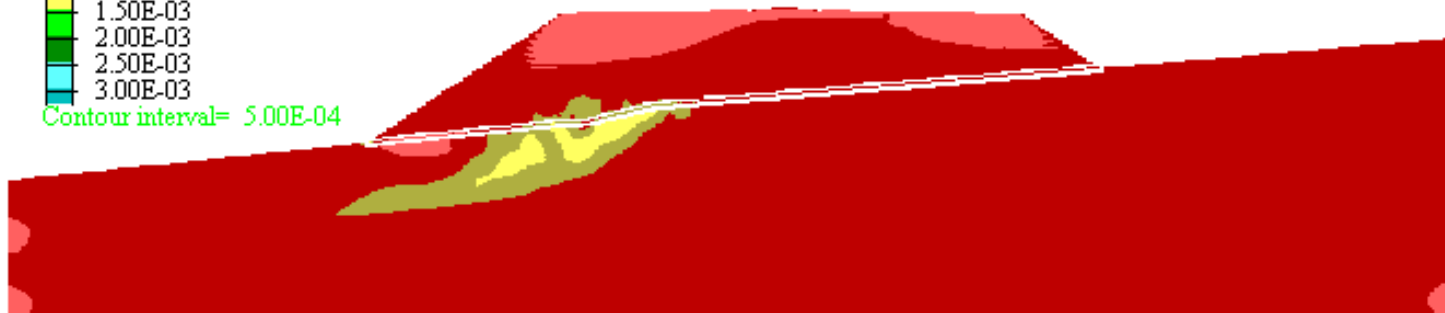
## Nasyp autostradowy na terenach górniczych Mapy odkształceń poziomych

Step:83626

Contours

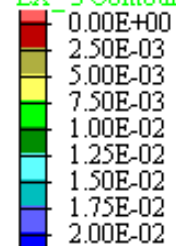


Contour interval= 5.00E-04

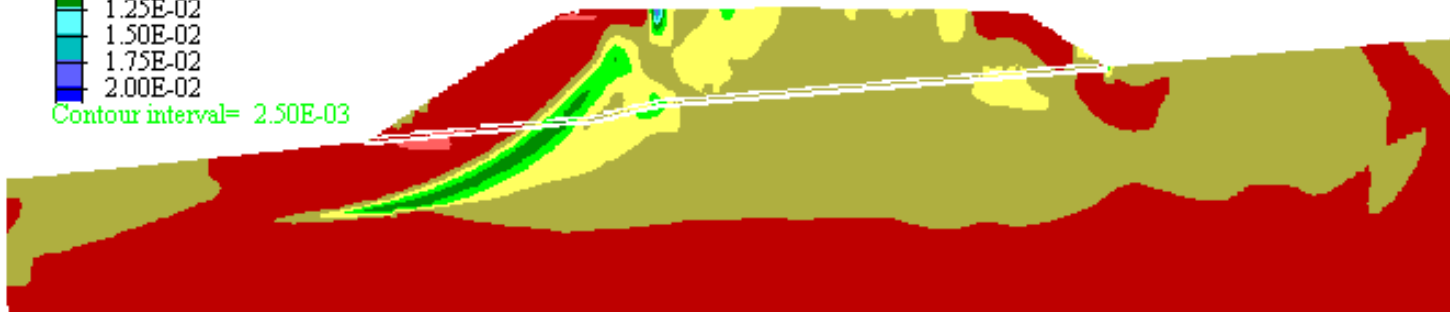


Step:153626

EX\_3 Contours

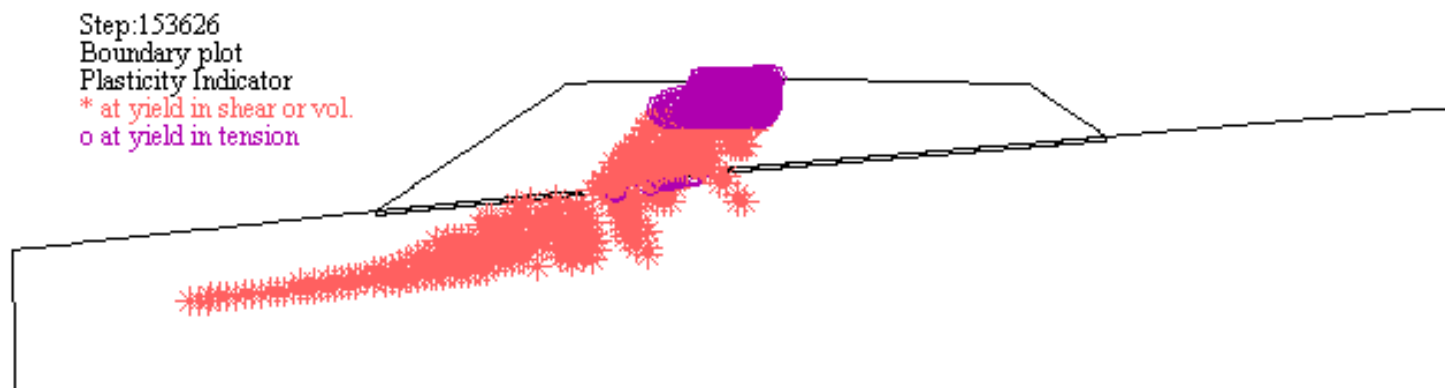
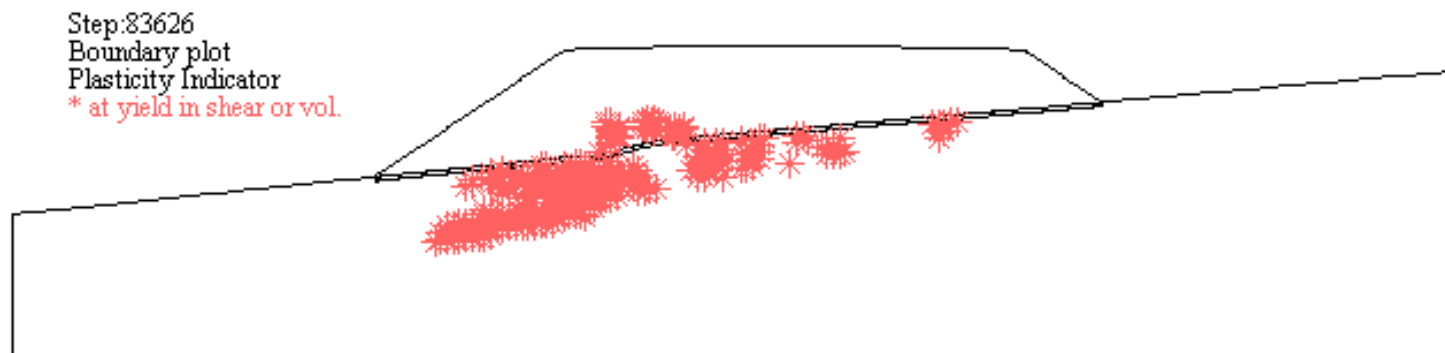


Contour interval= 2.50E-03



# Nasyp autostradowy na terenach górniczych

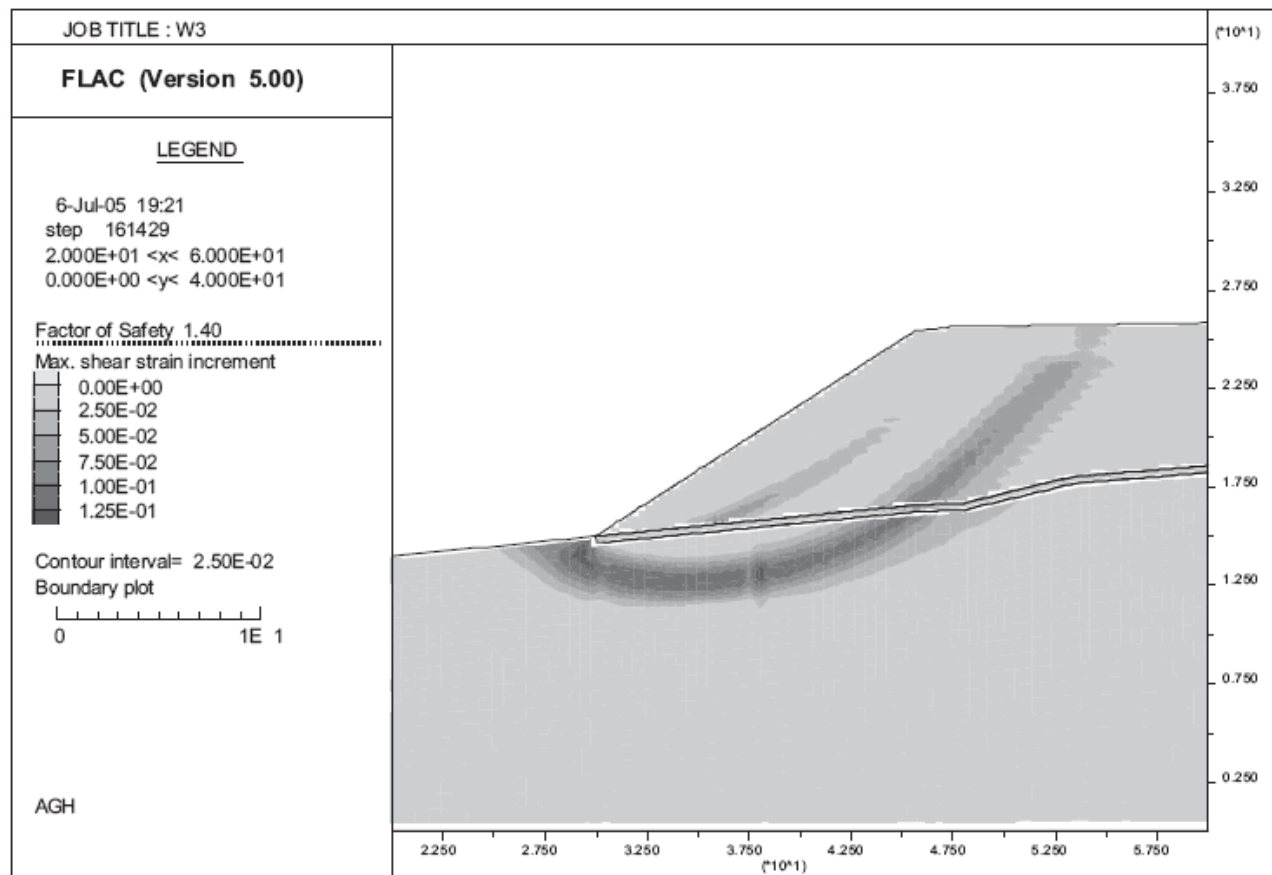
## Mapy stref uplastycznienia



# Nasyp autostradowy na terenach górniczych

## Wskaźnik stateczności

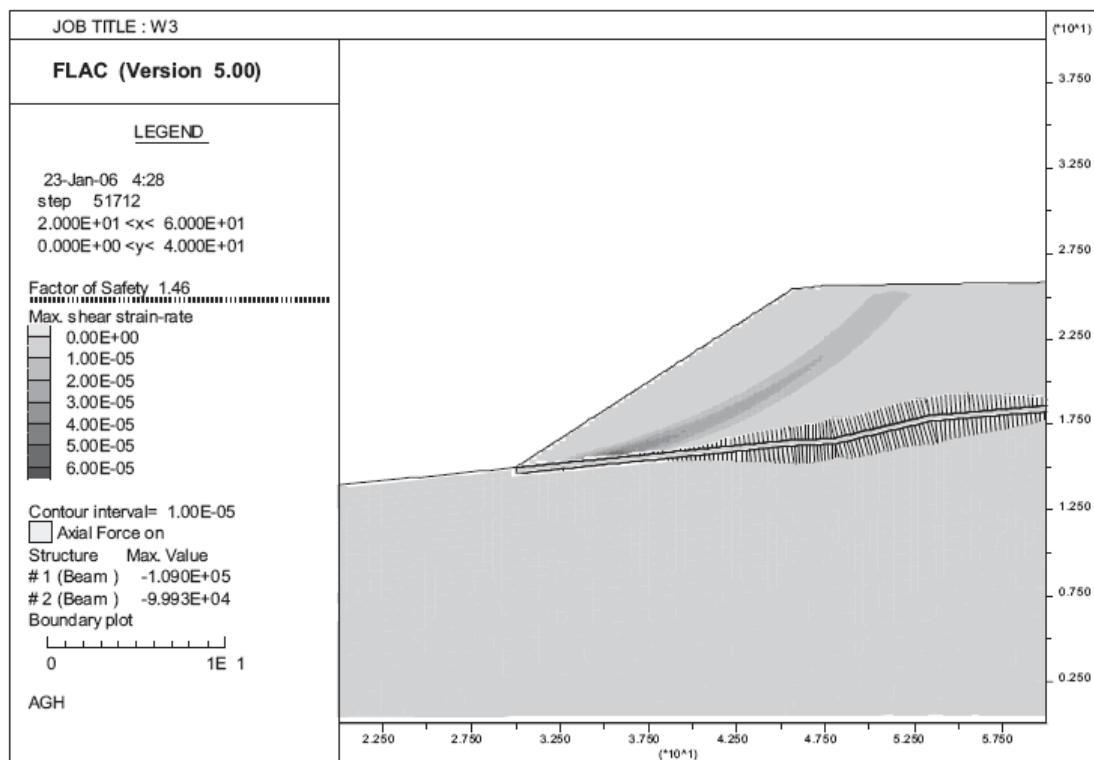
### Zbrojenie geosiatkami o wytrzymałości długoterminowej 7 i 14 kN/m



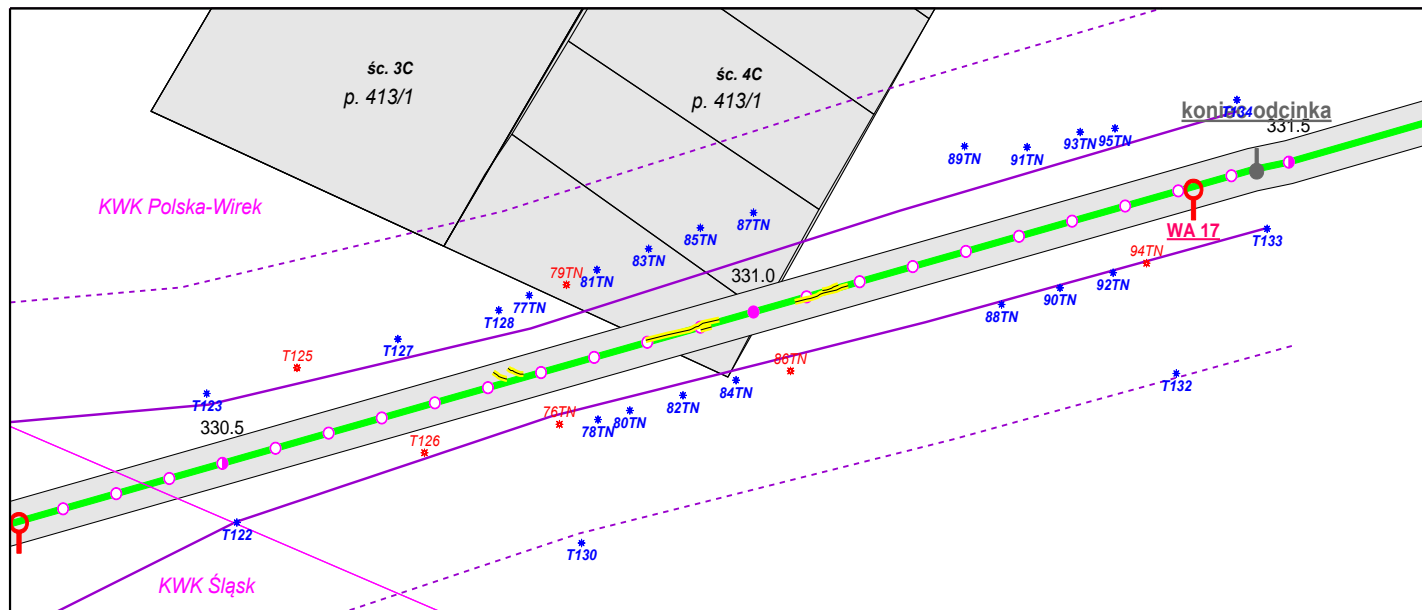


## Nasyp autostradowy na terenach górniczych Wskaźnik stateczności

**Zbrojenie geosiatkami o wytrzymałości długoterminowej 200 kN/m (Dalsze zwiększanie wytrzymałości geosyntetyku na rozciąganie nie powoduje wzrostu wskaźnika stateczności. Wymagane jest kompleksowe zbrojenie korpusu nasypu).**

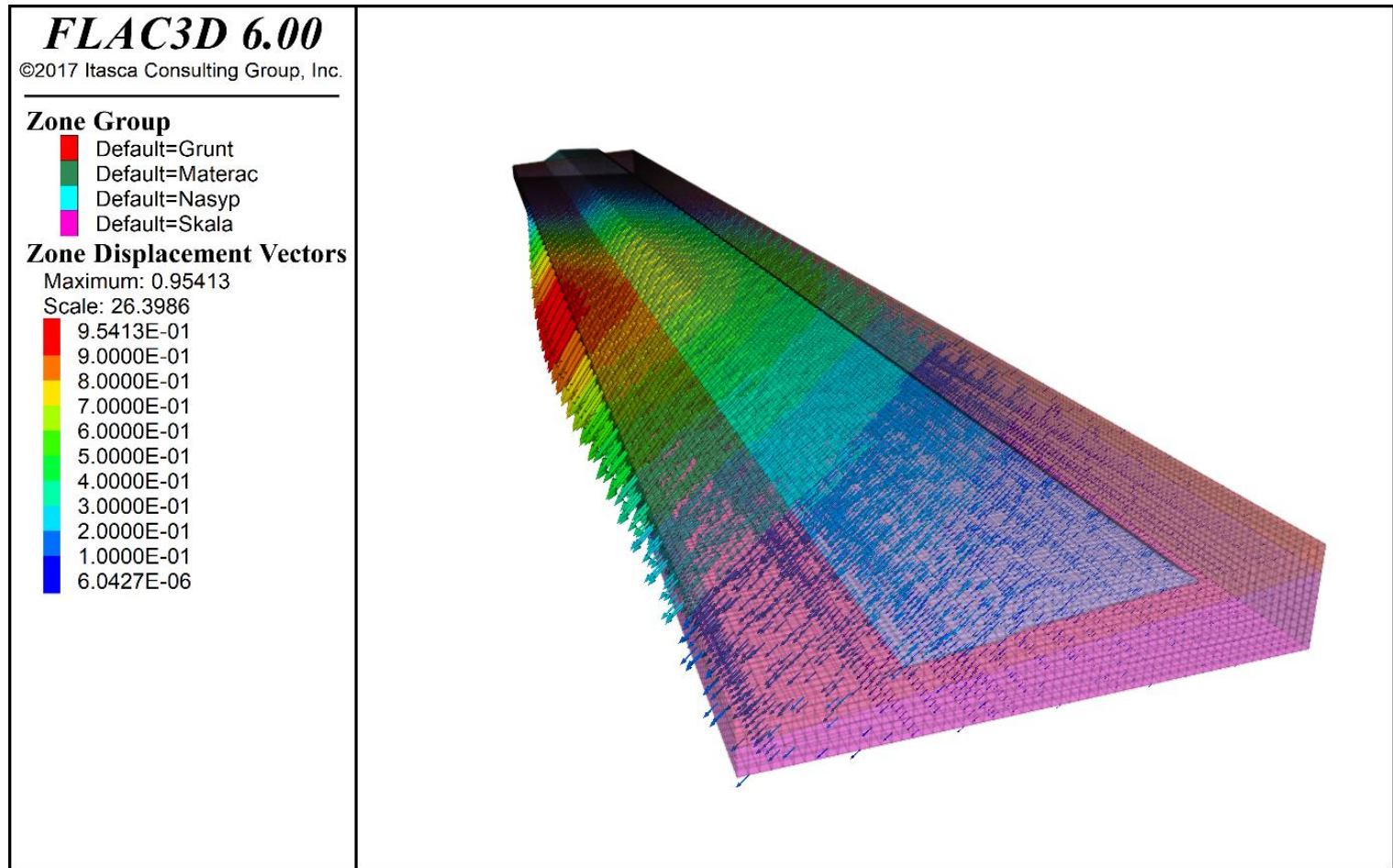


# Nasyt autostradowy na terenach górniczych Wzajemne usytuowanie obiektów



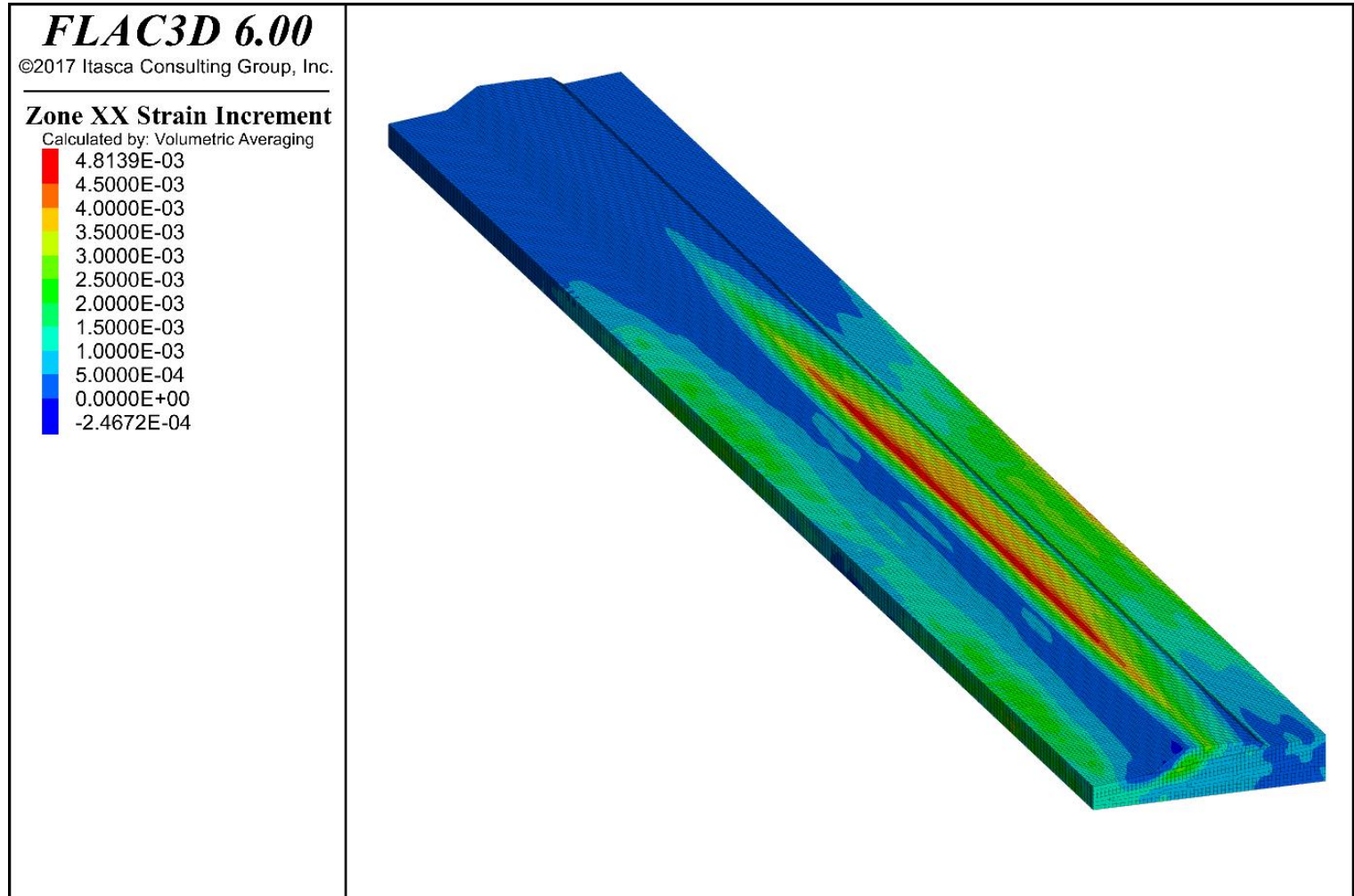
# Nasyp autostradowy na terenach górniczych

## Wzajemne usytuowanie obiektów



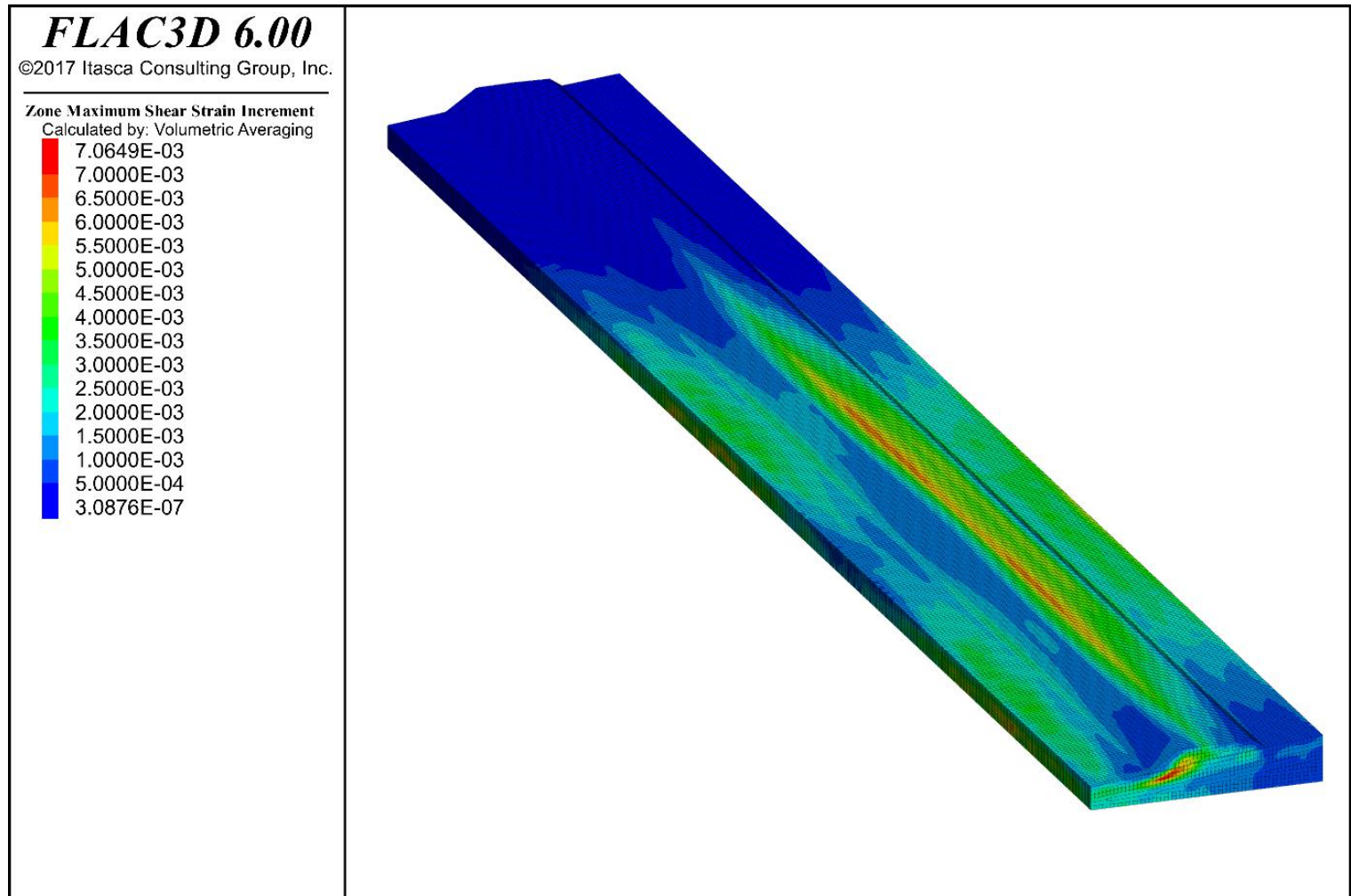
# Nasyp autostradowy na terenach górniczych

## Wzajemne usytuowanie obiektów



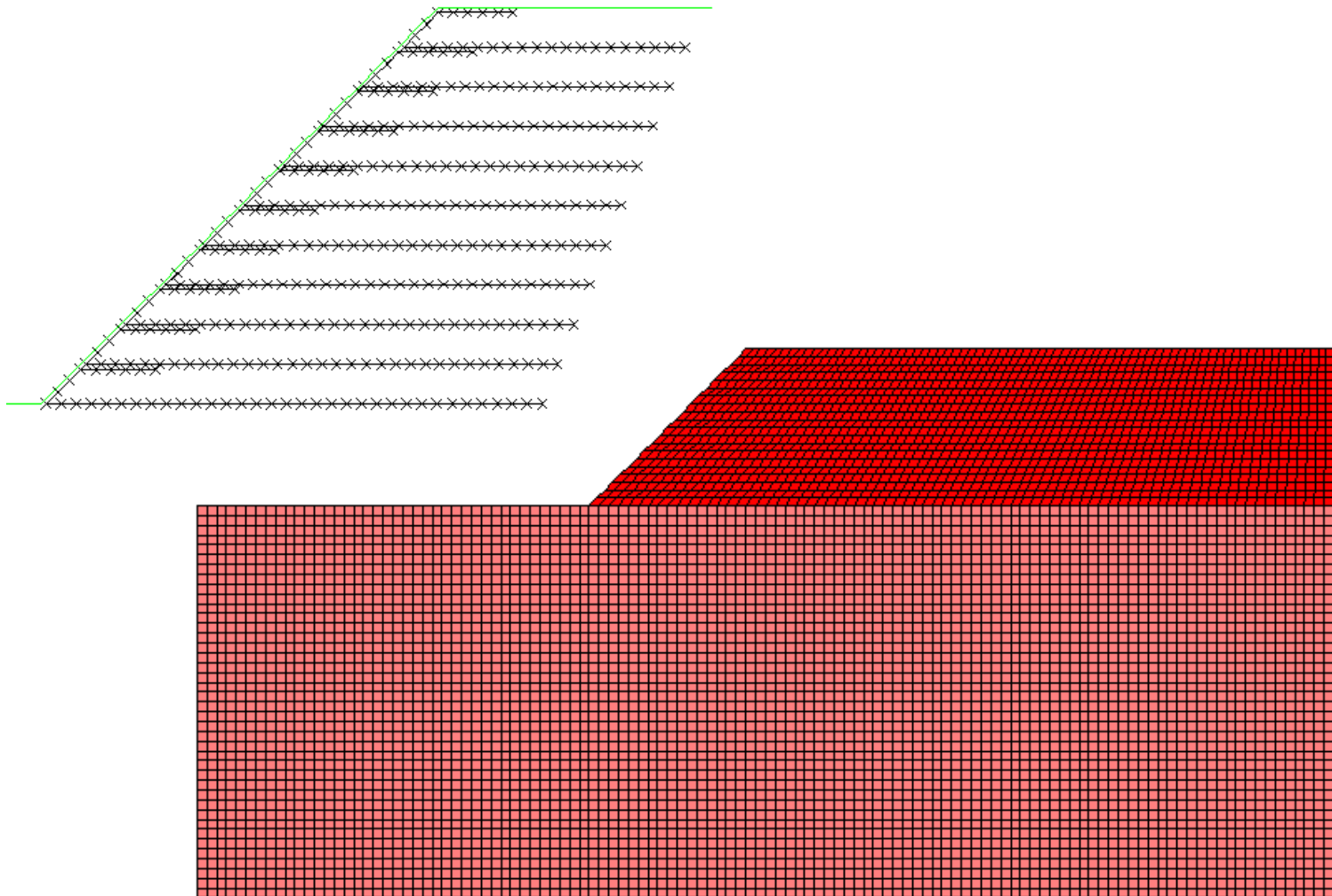
# Nasyp autostradowy na terenach górniczych

## Wzajemne usytuowanie obiektów





# Przykładowe konstrukcje z gruntu zbrojonego Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym



### Parametry gruntu (model Coulomba-Mohra)

Soil layer	soil density [kg/m <sup>3</sup> ]	friction angle [°]	cohesion [kPa]	Young modulus [MPa]	Poisson'a ratio [-]
Foundation	2200	18	20	100	0.25
Embankment	2000	35	7	60	0.25

**Dilation angle = 0°**

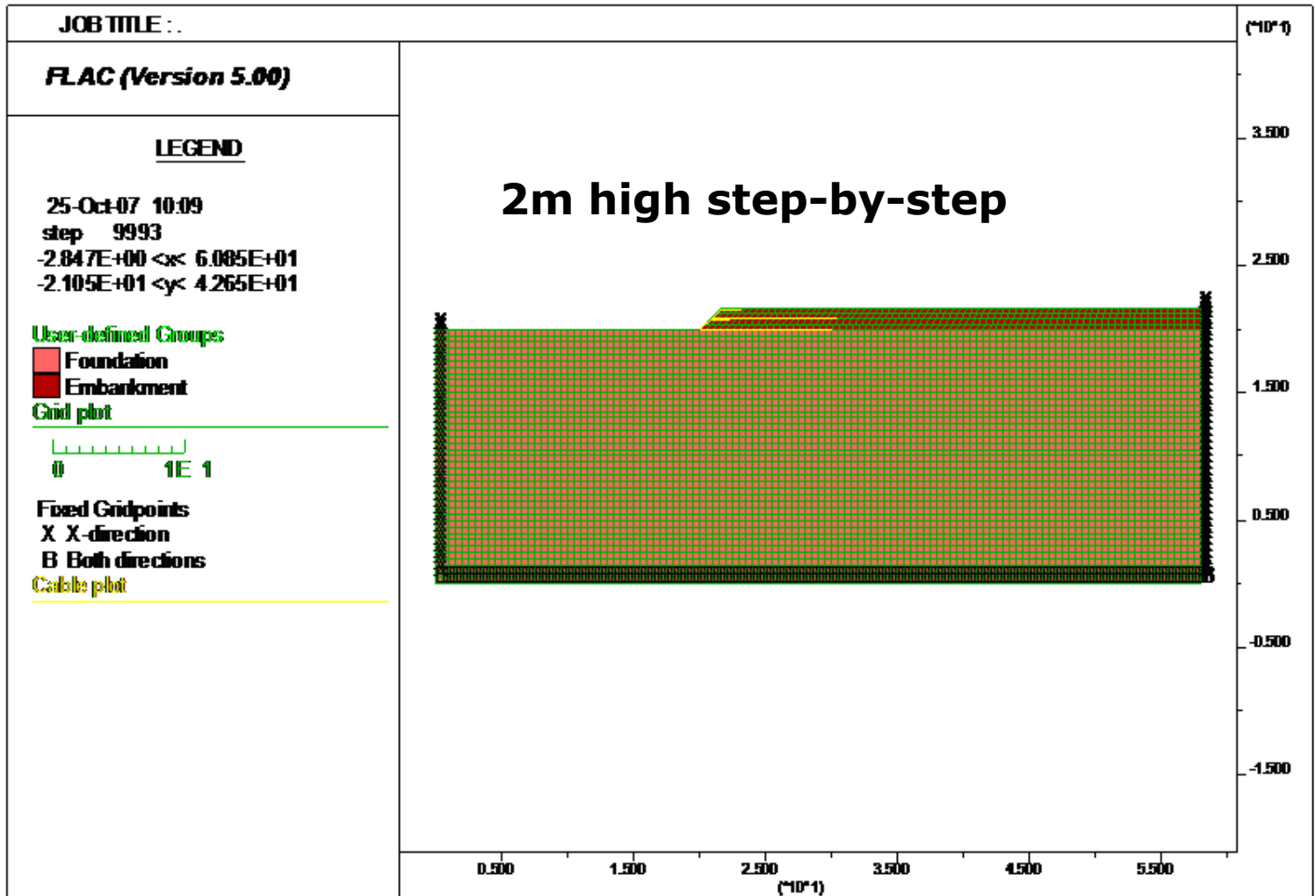
### Parametry geosyntetyku (model sprężysto-idealnie plastyczny)

Young Modulus [MPa]	Cross-sectional Area [m <sup>2</sup> ]	contact stiffness [MN/m/m]	bond friction [°]	yield [kN]	ycomp [kN]
667	0.002	23	29.3	100	1



# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

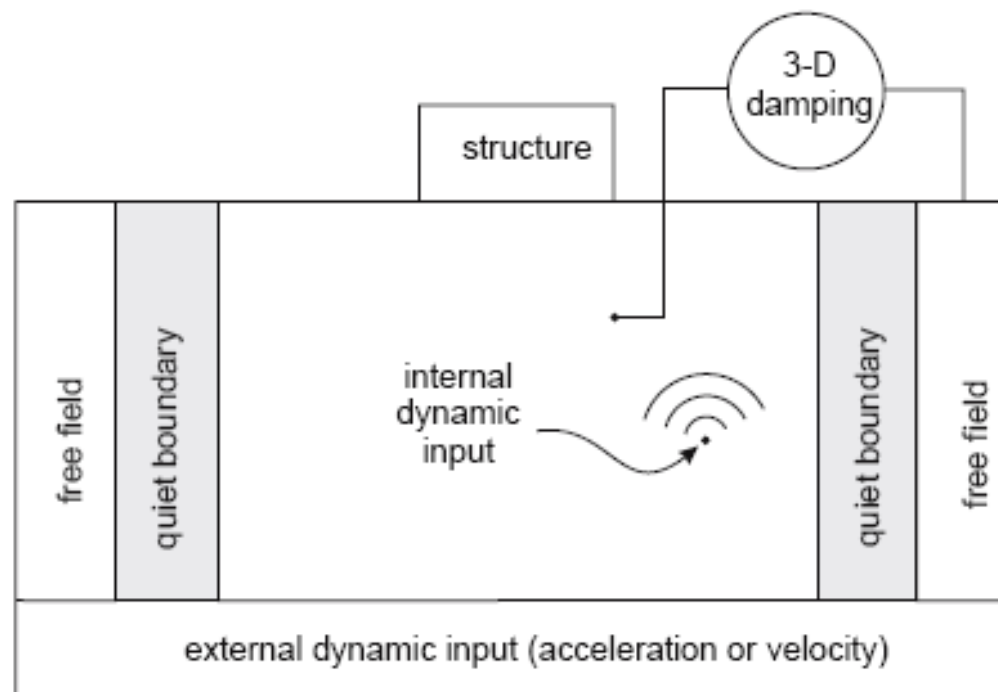
## Etapowanie prac



## Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym Tłumienie

Zastosowano tłumienie Rayleigh'a:

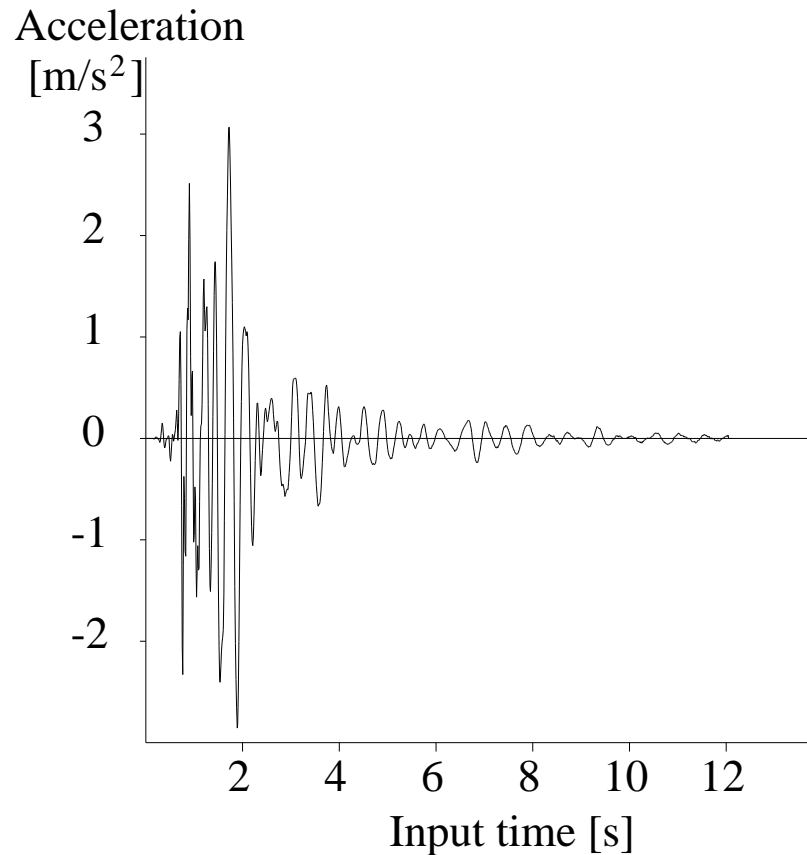
- center frequency:  $f_{min} = 0.8$  [Hz]
- fraction of critical damping:  $\xi_i = 0.01$



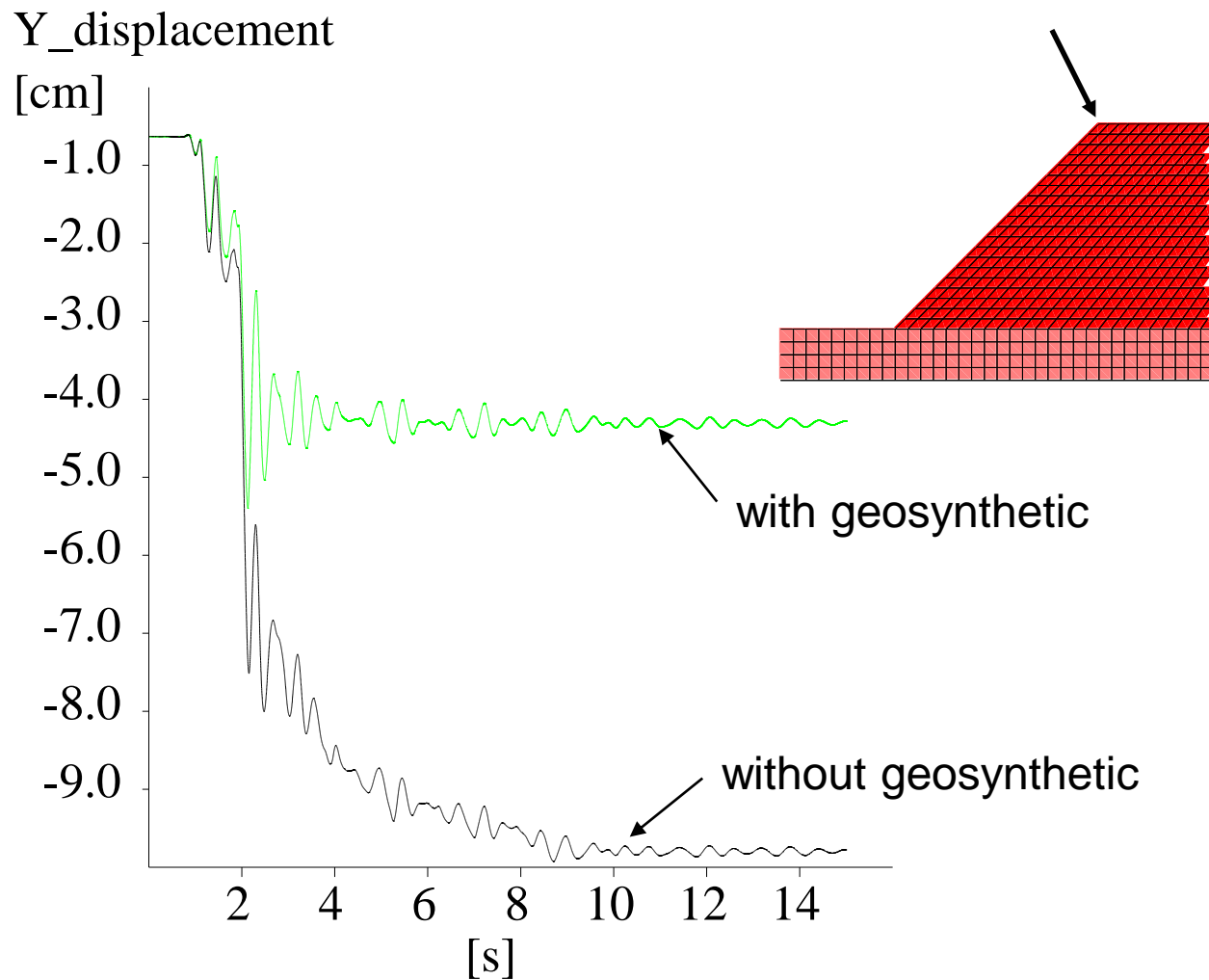
# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

## Wymuszenie dynamiczne

**Wymuszenie dynamiczne przyjęto w postaci historii przyspieszenia na dolnej krawędzi modelu**

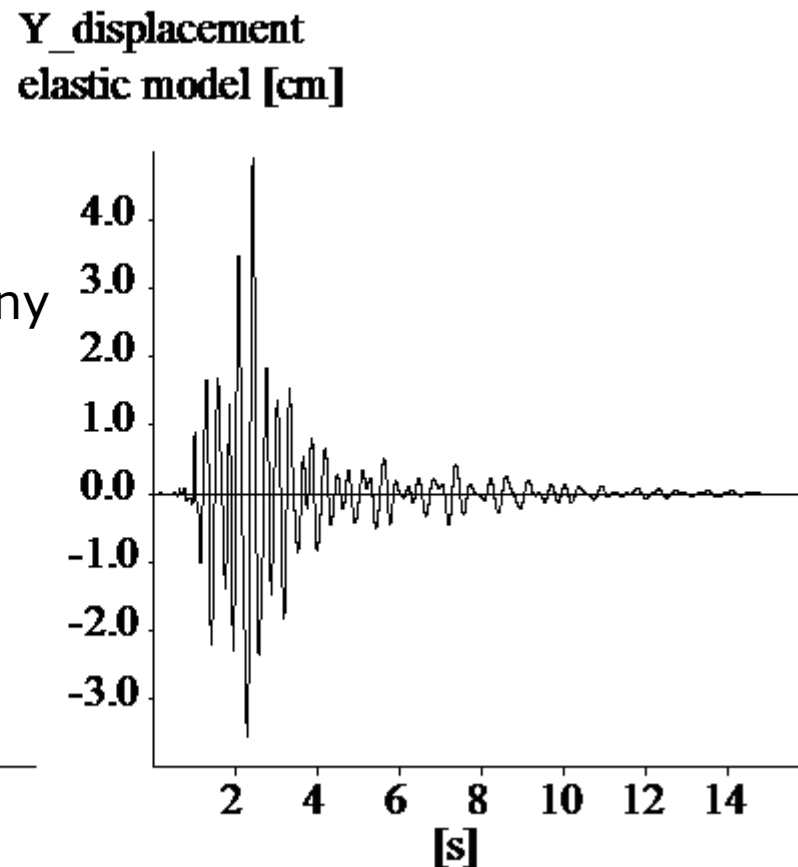
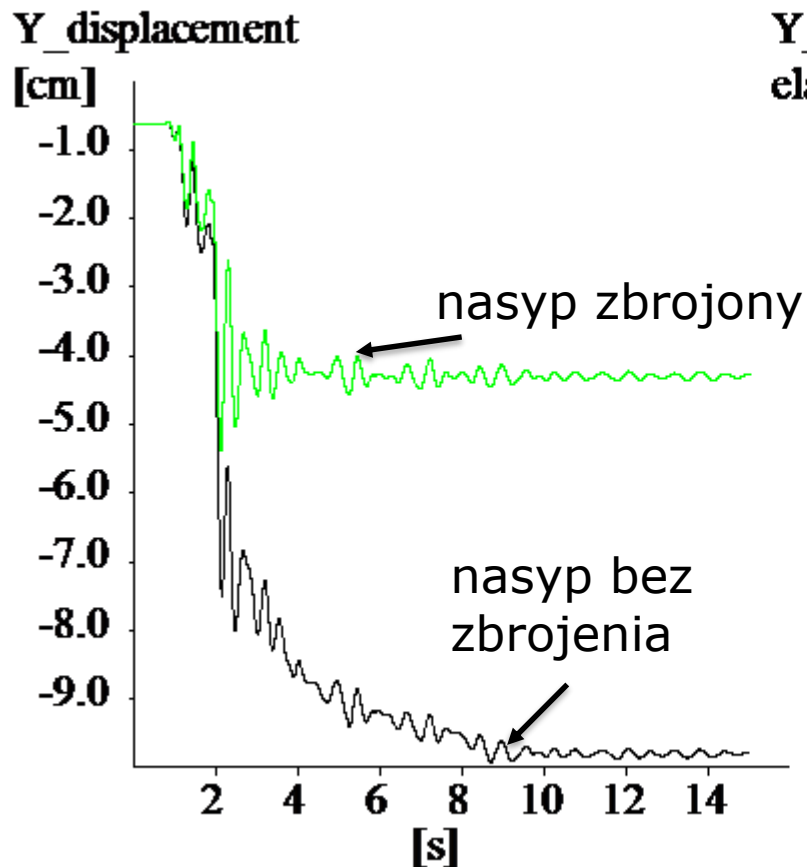


## Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym Przemieszczenia monitorowanego punktu



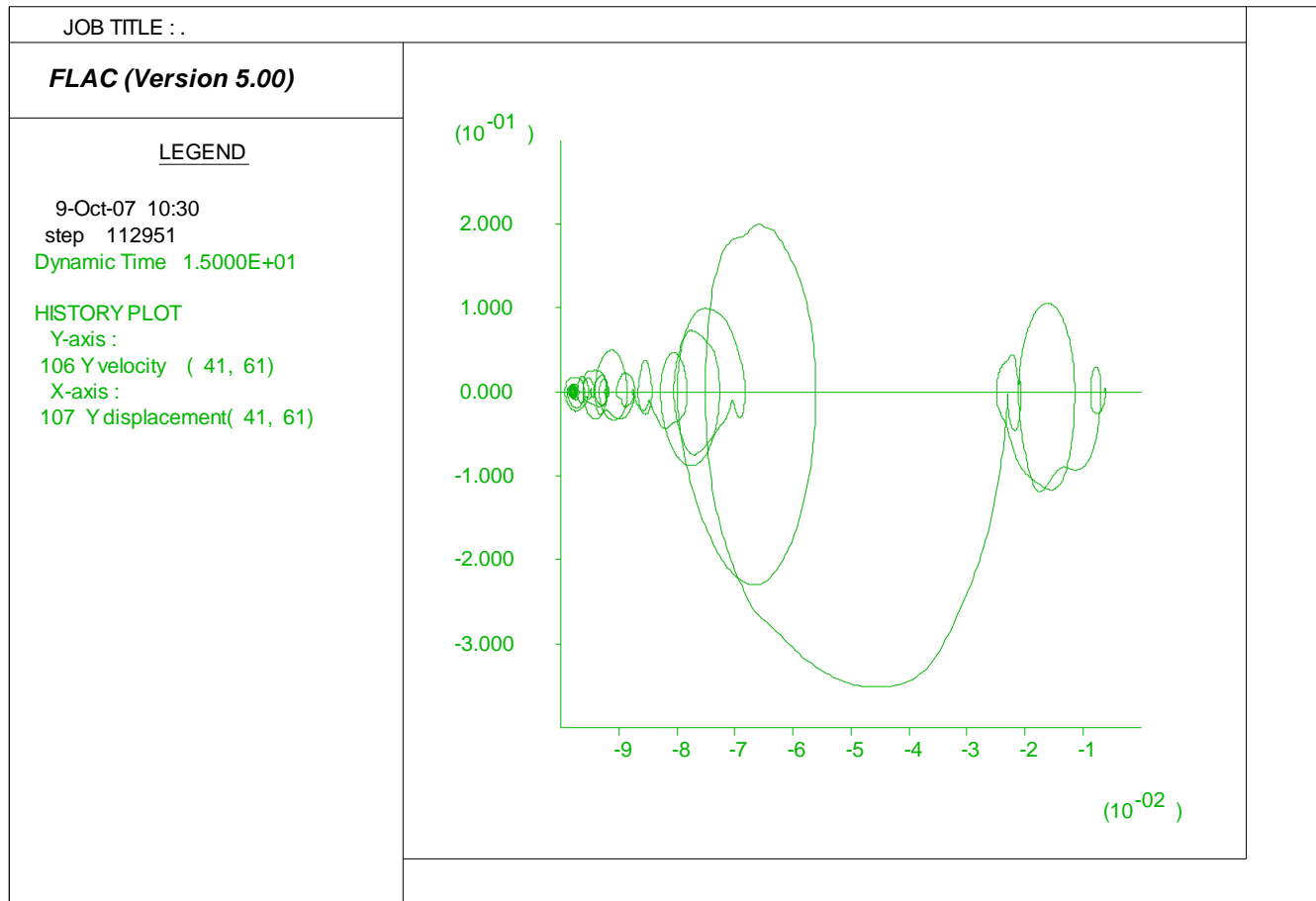
# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

## Przemieszczenia monitorowanego punktu



# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

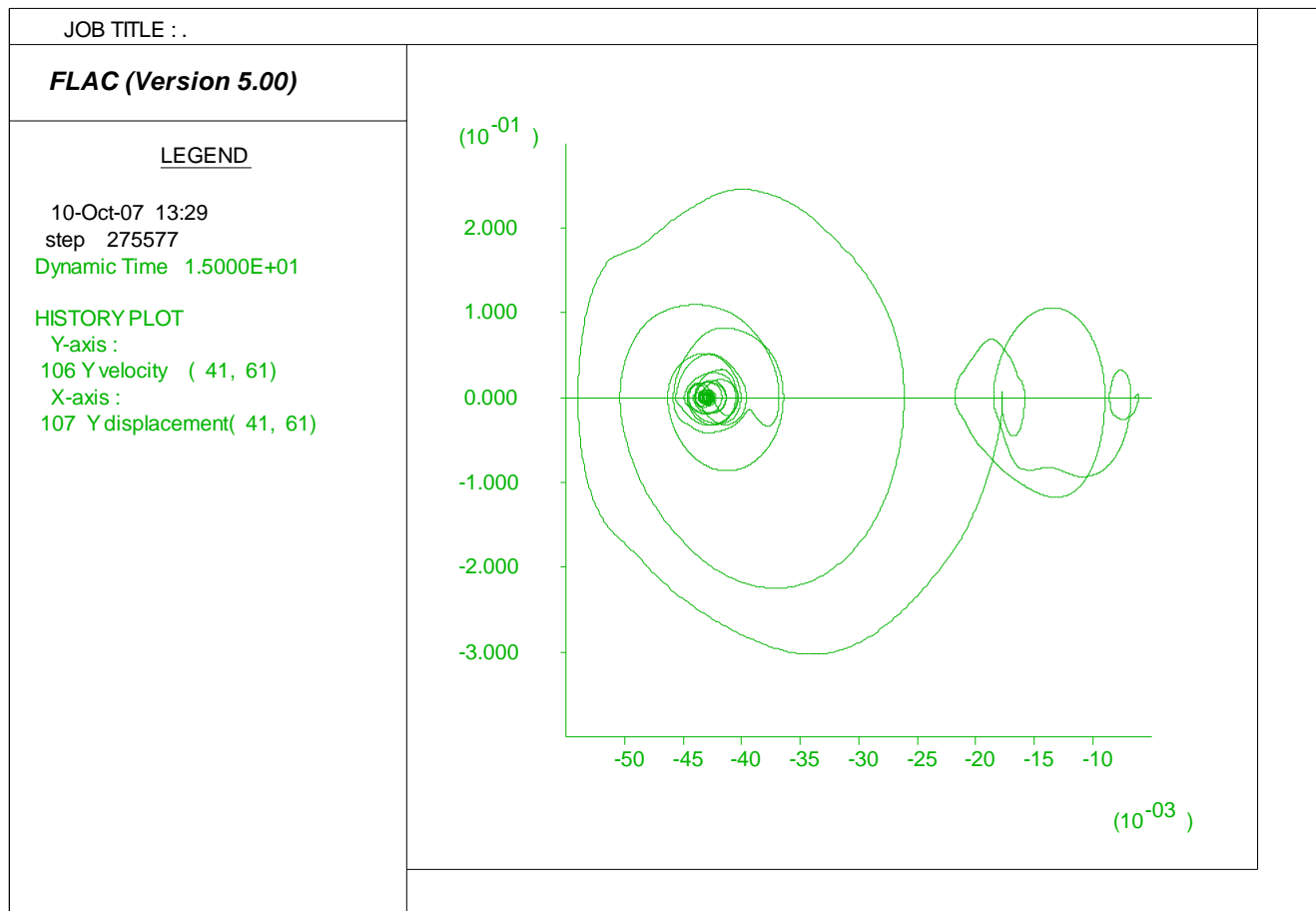
## Przemieszczenia monitorowanego punktu



**Przemieszczenie punktu na diagramie fazowym –  
wariant bez zbrojenia**

# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

## Przemieszczenia monitorowanego punktu

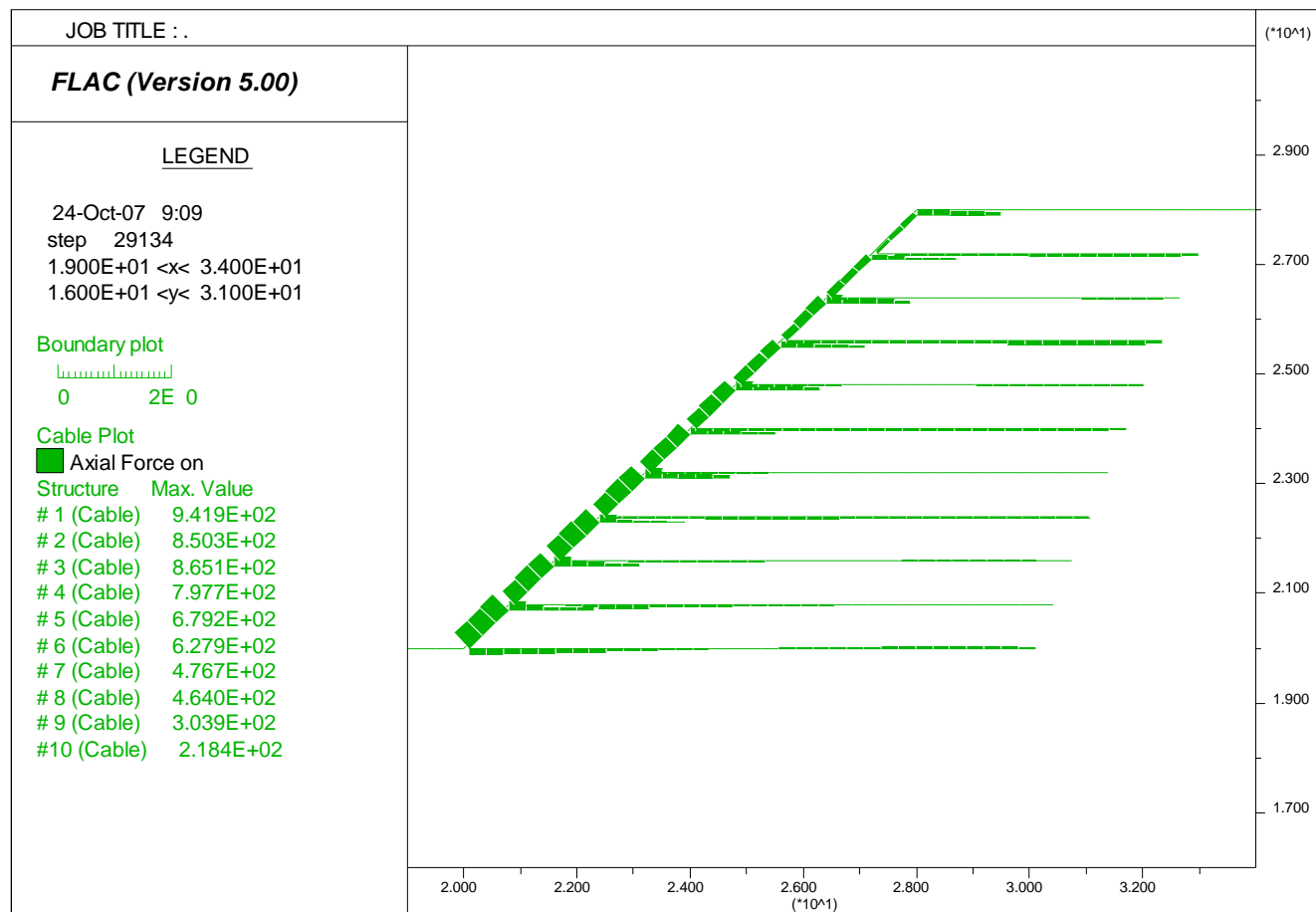


**Przemieszczenie punktu na diagramie fazowym –  
wariant ze zbrojeniem**



# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

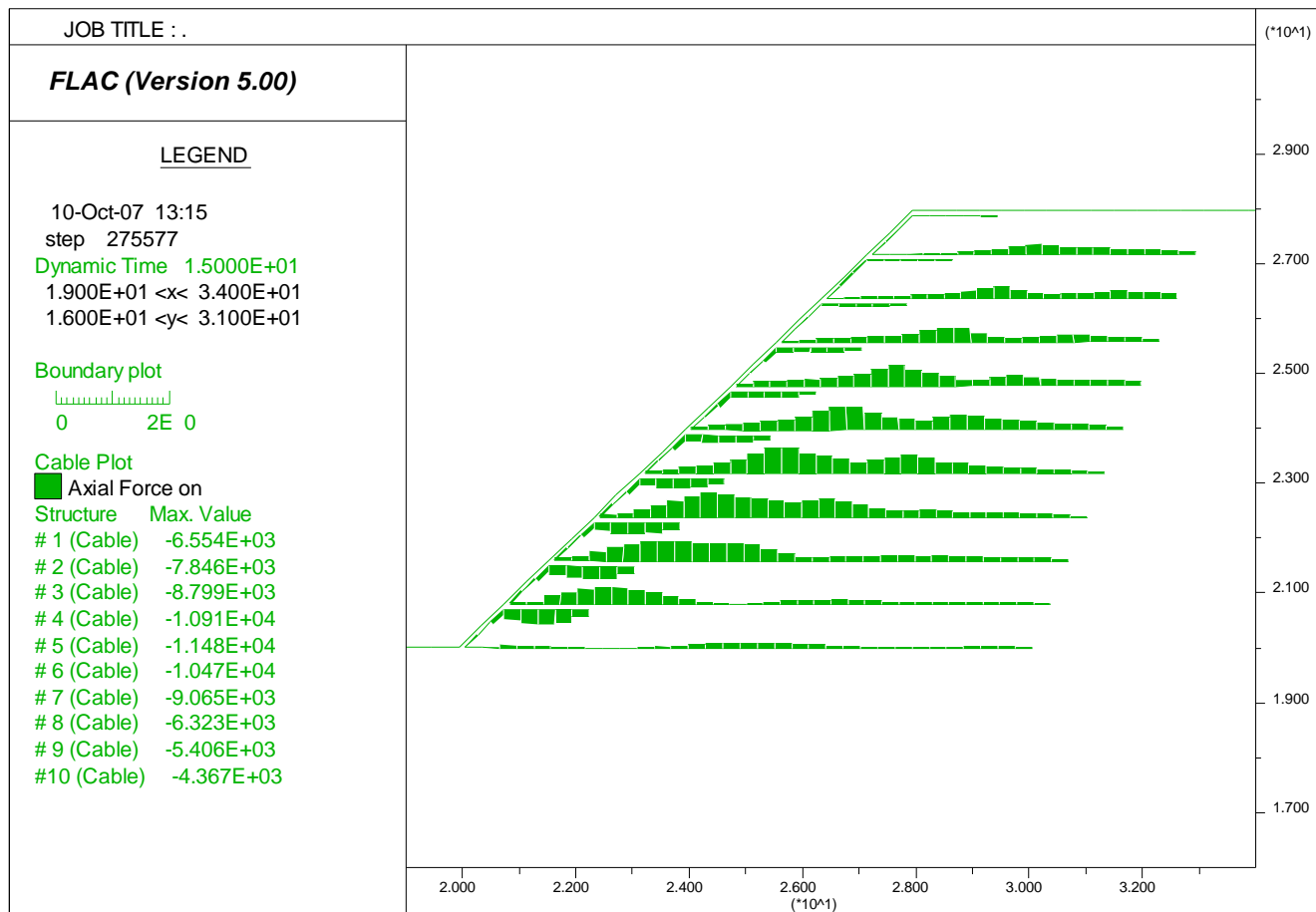
## Siły osiowe w geosyntetykach



**Siły osiowe w elementach strukturalnych – przed wymuszeniem dynamicznym**

# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

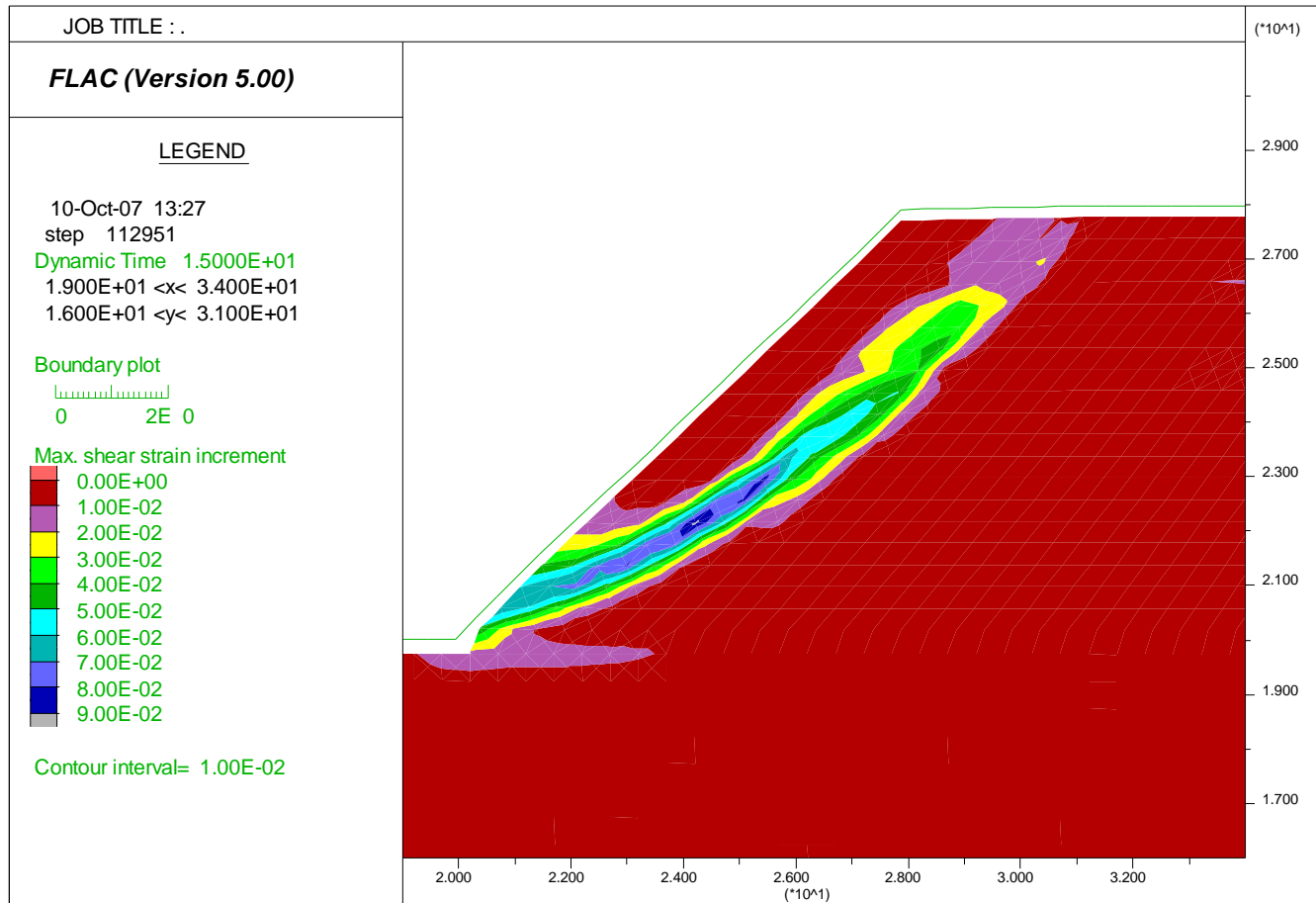
## Siły osiowe w geosyntetykach



**Siły osiowe w elementach strukturalnych – po wymuszeniu dynamicznym**

# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

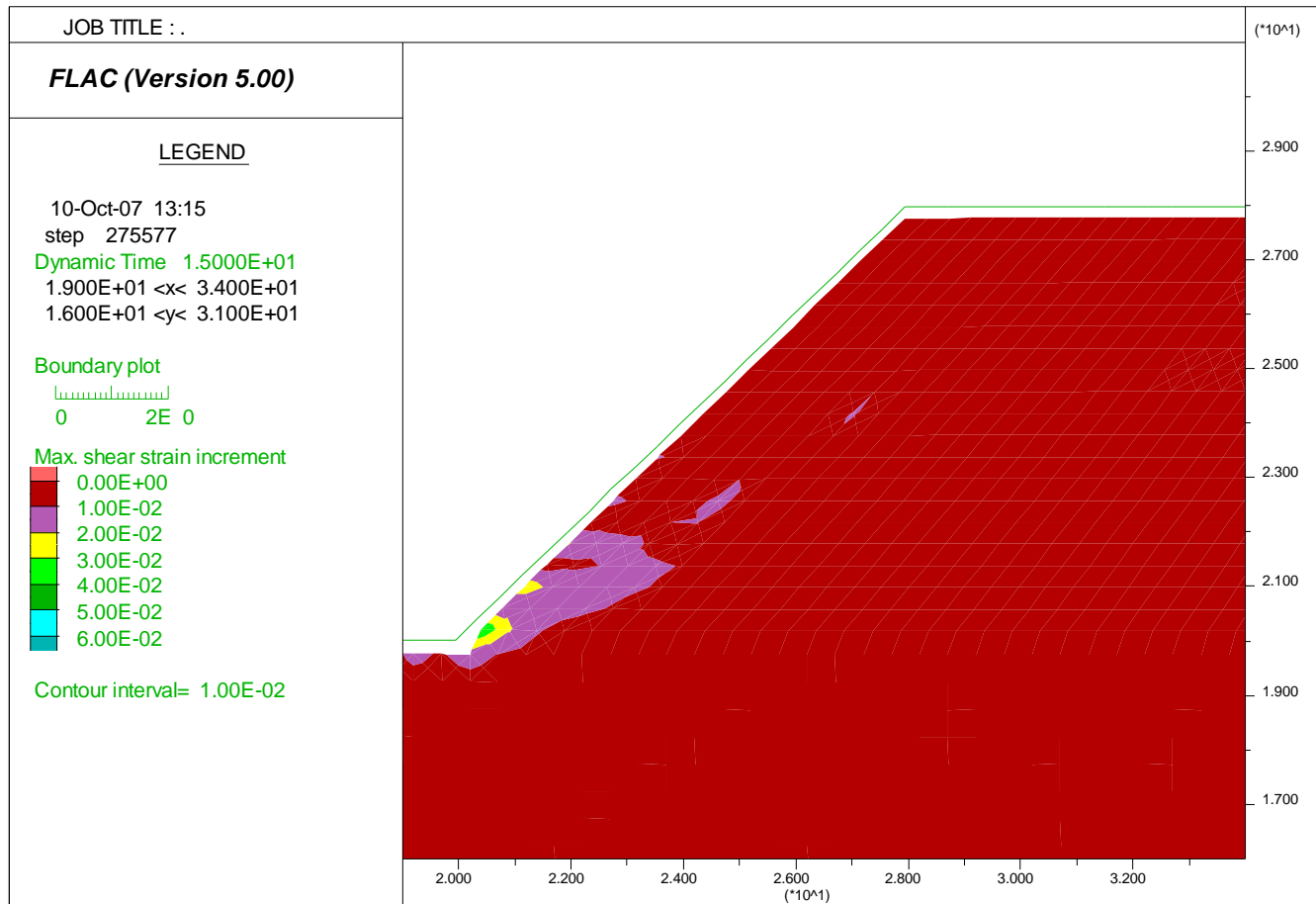
## Mapa odkształceń postaciowych



**Przyrosty odkształceń postaciowych – wariant bez zbrojenia**

# Konstrukcja poddana obciążeniom dynamicznym

## Mapa odkształceń postaciowych



**Przyrost odkształceń postaciowych – wariant ze zbrojeniem**