



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Zbrojenie gruntów

ZBROJENIE GRUNTÓW

Zbrojenie prętowe:

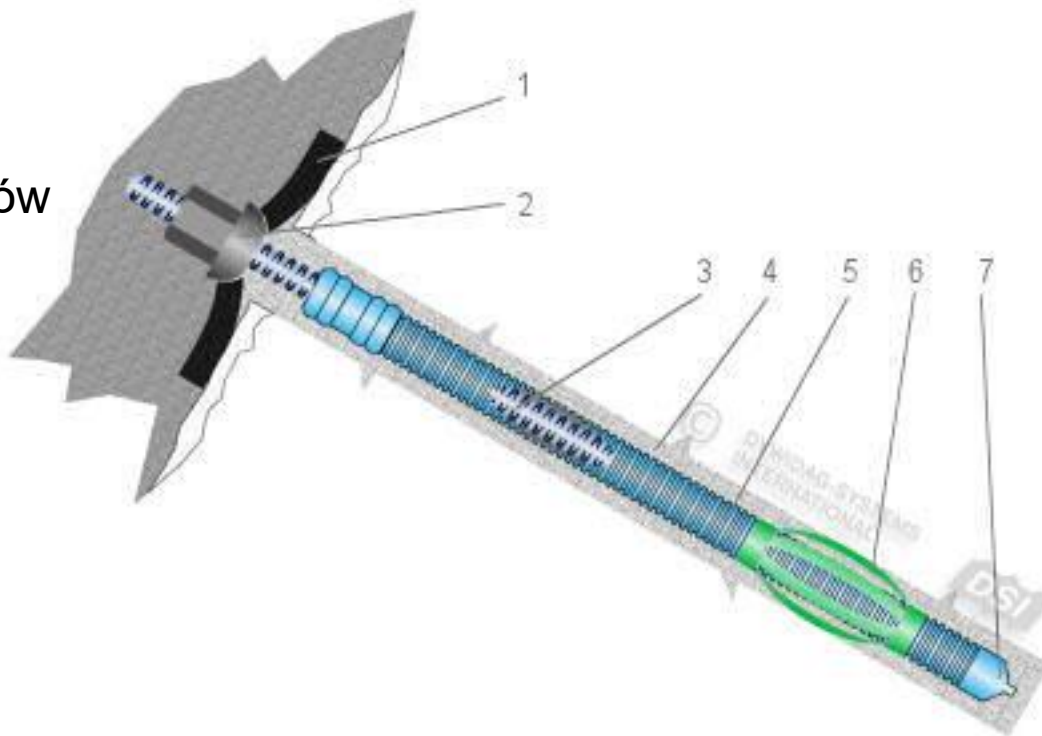
- Gwoździe - **NAILS**
- Kotwy – **ANCHORS**

Zbrojenie geosyntetykami

ZBROJENIE PRĘTOWE – Gwoździe-**NAILS**

GWOŹDZIOWANIE

Rozwiązanie polegające na wprowadzaniu do gruntu prętów stalowych tzw. gwoździ.

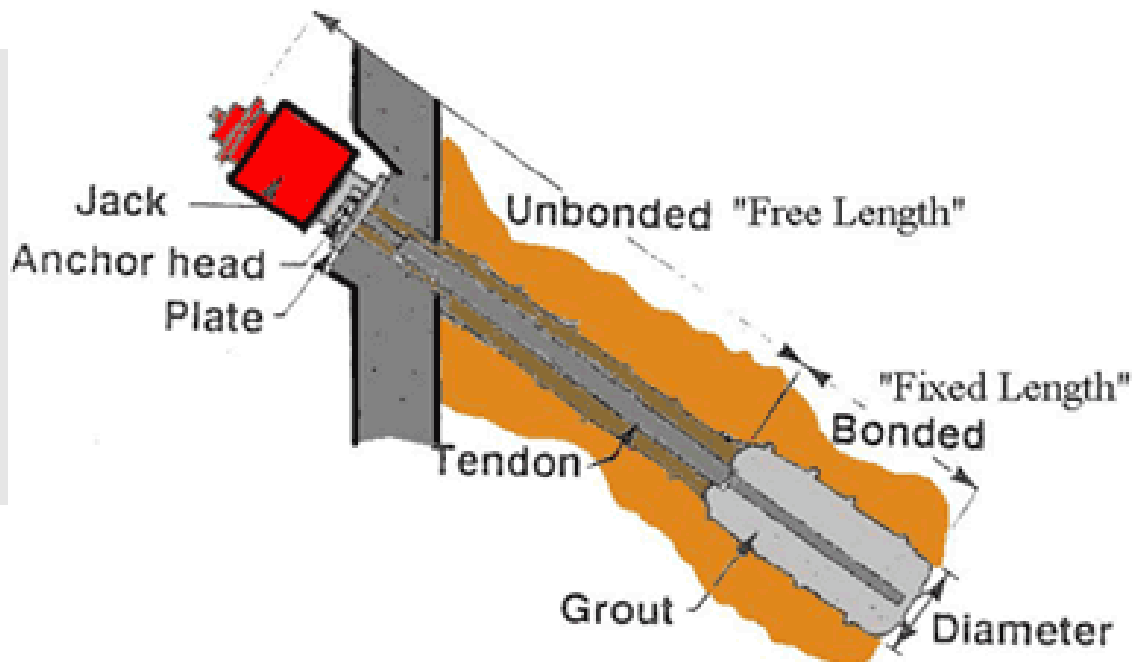


Gwoździe zespala się z gruntem iniektem cementowym, co stanowi także zabezpieczenie antykorozyjne.

ZBROJENIE PRĘTOWE – Kotwy-**Anchors**

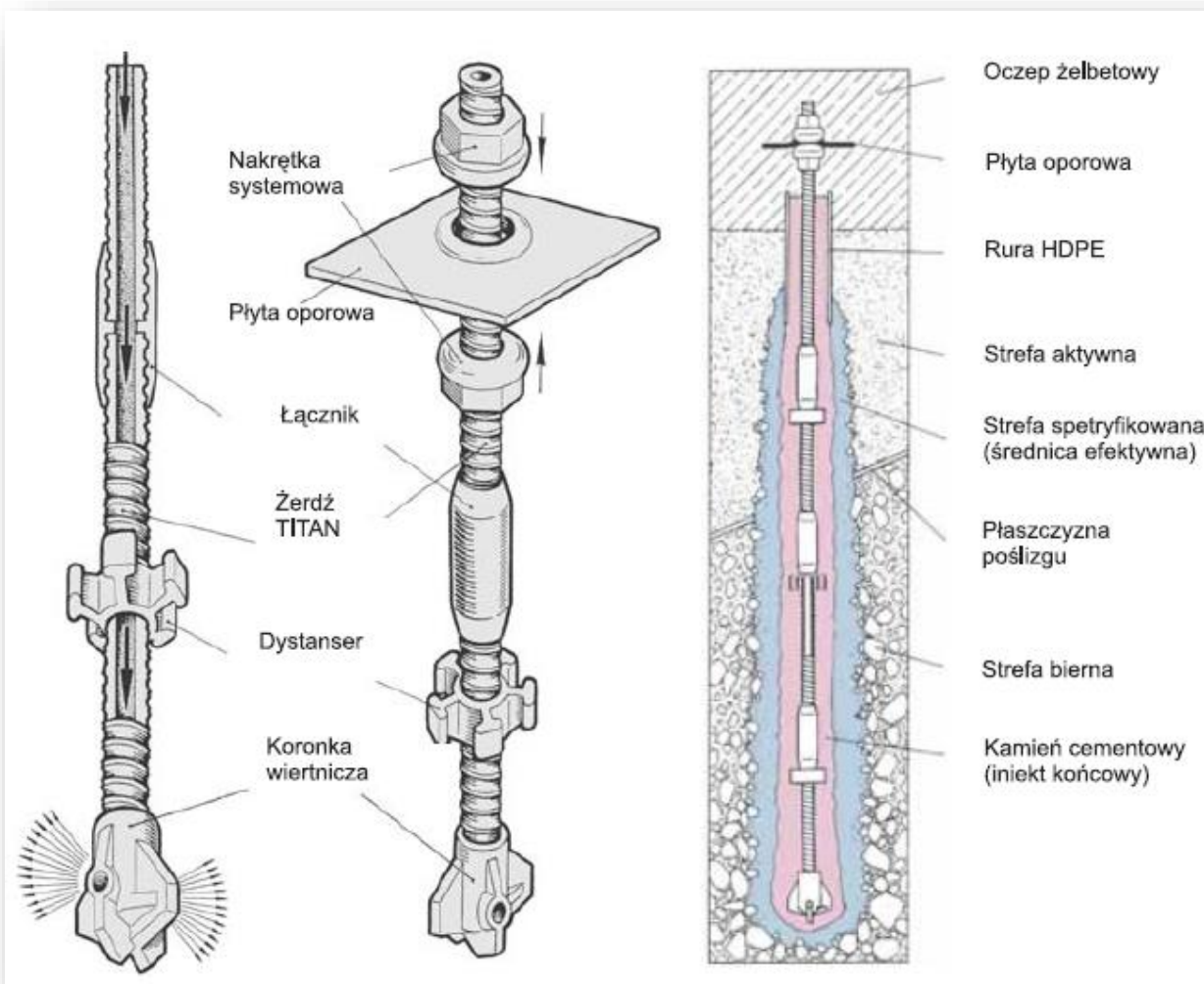
Na wartość oporu na
pobocznicę buławy wpływają:

- Wymiary buławy
- Cechy mechaniczne gruntu
- Skuteczność zespolenia



Nośność kotwi wynika z wytrzymałości żerdzi kotwy i tarcia na kontakcie buławy i gruntu.

Samo-wierzące mikropale iniekcyjne



ZBROJENIE PRĘTOWE – Przykłady



ZBROJENIE PRĘTOWE - PROJEKTOWANIE

Elementy projektowania:

- Nośność wewnętrzna,
- Nośność zewnętrzna,
- Zabezpieczenie przed wyboczeniem,
- Uwzględnienie klina odłamu (mikropale kotwiące),
- Stan graniczny użytkowości,
- Trwałość (zabezpieczenie antykorozyjne).

ZBROJENIE PRĘTOWE - PROJEKTOWANIE

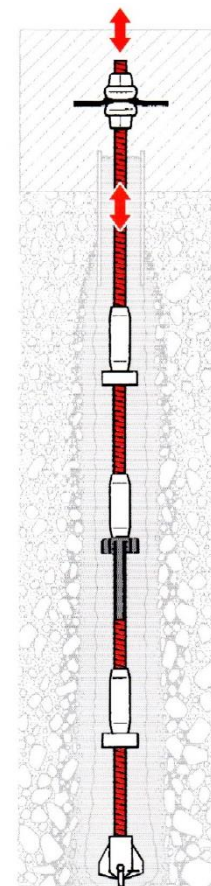
Nośność wewnętrzna:

Dla spełnienia warunku nośności wewnętrznej obciążenie obliczeniowe działające na mikropal E_d nie może przekroczyć wartości wytrzymałości obliczeniowej żerdzi $R_{M,d}$.

Częściowe współczynniki do obliczenia nośności wewnętrznej dobiera się wg PN-EN 1992-1-1:2008 jak dla pręta stali zbrojeniowej w trwałej sytuacji obliczeniowej $\gamma_M = 1,15$ ($R_{M,d} = R_{M,k} / \gamma_M$).

Warunek: $E_d < R_{M,d}$

Parametr	Jed- nostka	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/56	TITAN 73/53	TITAN 73/45	TITAN 73/35	TITAN 103/78	TITAN 103/51	TITAN 127/103
Średnica zewnętrzna	mm	30	30	40	40	52	73	73	73	73	103	103	127
Średnica wewnętrzna	mm	16	11	20	16	26	56	53	45	35	78	51	103
Siła na granicy plastyczności $F_{0,2,k}$	kN	190	260	425	525	730	830	970	1270	1430	1800	2670	2030
Nośność charakterystyczna $R_{M,k}$ ¹⁾	kN	155	225	372	465	620	695	860	1218	1386	1550	2325	1800

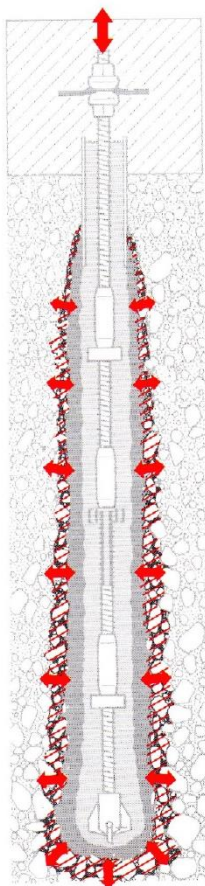


Odniesienia normowe
 PN-EN 1997-1
 PN-EN 1992-1-1

ZBROJENIE PRĘTOWE - PROJEKTOWANIE

Nośność zewnętrzna:

Odniesienia normowe
 PN-EN 14199
 PN-EN 14490
 PN-EN 1997-1



Mikropale przenoszą obciążenie przez tarcie wytwarzające się na powierzchni pobocznic z otaczającym gruntem. Nośność podstawy mikropala jest zwykle pomijana (z wyjątkiem mikropali w skałach). Podczas obciążania pala aktywuje się opór wzdłuż pobocznic (nośność zewnętrzna), aż osiągną i utrzymywana jest wartość graniczna jednostkowego oporu q_{sk} .

Dla wyznaczenia długości roboczej mikropala l_b (długość mikropala w warstwie nośnej) miarodajna jest nośność zewnętrzna, którą z kolei określa graniczne tarcie na pobocznic q_{sk} , powierzchnia pobocznic mikropala oraz współczynniki częściowe i korelacyjne do nośności wg PN-EN 1997-1.

O ile w przeprowadzonych wcześniej badaniach przydatności lub badaniach odbiorczych w porównywalnych gruntach nie stwierdzono wyższych wartości granicznego tarcia na pobocznic pala, to do obliczeń należy przyjmować wartości q_{sk} przy wyciąganiu i przy wciskaniu wg tabeli TITAN. Wartości te są zgodne z wytycznymi EA-Phäle. Opór podstawy w przypadku mikropali jest pomijalne mały.

Należy zauważyć, że pełna wartość oporu q_{sk} aktywuje się dopiero od głębokości 2-4m p.p.t., co powinno zostać uwzględnione w obliczeniach.

Dla ustalenia wymaganej średnicy trzonu iniekcynego D istotne jest dobór odpowiedniej koronki wiertniczej (patrz: strona 28 oraz broszura „Dane techniczne”).

Wybór koronki wiertniczej uzależniony jest od:

- dominującego rodzaju gruntu
- wymaganej otuliny kamienia cementowego.

W zależności od rodzaju gruntu i metody instalacji średnica efektywna (obliczeniowa) trzonu iniekcynego D jest zwiększona w stosunku do średnicy koronki wiertniczej d o poszerzenie a.

$$D = a \times d$$

$$D = 2.0 \times d \text{ (pospółki i żwir)}$$

$$D = 1.5 \times d \text{ (piaski)}$$

$$D = 1.3 \times d \text{ (grunty spoiste)}$$

$$D = 1.0 \times d \text{ (grunty skaliste)}$$

Powyższe wartości mają charakter empiryczny, oparte zostały na pomiarach mikropali TITAN wykonanych na budowach jako pale próbne (tracone).

ZBROJENIE PRĘTOWE - PROJEKTOWANIE

Nośność zewnętrzna:

Warunek: $E_d < R_d$

Obliczeniowa nośność mikropali wciskanych:

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_s = R_{c,cal} / (\gamma_s \cdot \xi) = \pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k} / (\gamma_s \cdot \xi) \quad [kN]$$

Obliczeniowa nośność mikropali wyciąganych:

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s,t} = R_{s,cal} / (\gamma_{s,t} \cdot \xi) = \pi \cdot D \cdot l_b \cdot q_{s,k} / (\gamma_{s,t} \cdot \xi) \quad [kN]$$

gdzie:

γ_s - częściowy współczynnik do nośności pobocznic (przy wciskaniu)

$\gamma_{s,t}$ - częściowy współczynnik do nośności pobocznic (przy wyciąganiu)

ξ - współczynniki korelacyjne do wyznaczania nośności charakterystycznej na podstawie próbnych obciążeń statycznych (ξ_1, ξ_2) lub na podstawie wyników badań podłoża (ξ_3, ξ_4)

Zalecane wartości - PN-EN 1997-1 załącznik A.

Zalecane do obliczeń mikropali TITAN wartości oporu granicznego podane w tabeli poniżej. Zestawienie nośności zewnętrznej uzyskiwanej z jednostkowej długości trzonu iniekcyjnego dla różnych gruntów i średnic mikropali przedstawiono na s. 10.

Wg zaleceń EA-Pfähle (Koła Roboczego „Pale” Niemieckiego Stowarzyszenia Geotechnicznego) można także przyjmować wartości oporu granicznego pobocznic podane w tabelach 5.29 i 5.30. Ich wartości uzależniono od wyników sondowania statycznego wg DIN 4094-1 (Sondowania CPT). Podano tam zakresy wartości charakterystycznych parametrów tarcia $q_{s,k}$ uzyskanych w praktyce dla pali iniekcyjnych ($D_s \leq 0,30$ m).

Zestawienie współczynników częściowych przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności GEO (wg. PN-EN 1997-1:2008/NA:2011 tab. NA.2)

			symbol	wartość
do oddziaływań	stałe	niekorzystne	γ_G	1.35
		korzystne	γ_Q	1.0
	zmienne	niekorzystne	γ_G	1.5
		podstawa	γ_D	1.1
do oporu gruntu	pale	pobocznic	γ_s	1.1
		całkowity opór	γ_t	1.1
		wyciąganie	$\gamma_{s,t}$	1.15
		tymczasowe	$\gamma_{a,ULS}$	1.1
	kotwy	trwale	$\gamma_{a,ULS}$	1.1

Wartość granicznego oporu na pobocznicę $q_{s,k}$, kN/m² - wartości uzyskane z badań Ischebeck TITAN

Grunty spoiste plastyczne	Grunty spoiste twardo plastyczne i zwarte	Piaski drobne, średnie i grube średnio zagęszczone	Piaski drobne, średnie i grube bardzo zagęszczone	Piaski drobne, średnie i grube bardzo zagęszczone
60	100	150	175	200

Żwiry średnie i grube średnio zagęszczone, pospółki	Łupki, zwietrzelnia	Skąły słabo zwietrzałe	Skąły miękkie, piaskowce, wapienie	Skąły twarde, granity, gnejsy
250	350	750	1000	1400

EA-Pfähle Tabela 5.29 w gruntach niespoistych

Średni opór zagłębiania stożka q_c MN/m ²	Graniczny opór pobocznic $q_{s,k}$ kN/m ²
7,5	135-175
15	215-280
≥ 25	255-315

Wartości pośrednie można uzyskać drogą interpolacji liniowej

EA-Pfähle Tabela 5.30 w gruntach spoistych

Wytrzymałość na ścinanie bez odpyły $c_{u,k}$ kN/m ²	Graniczny opór pobocznic $q_{s,k}$ kN/m ²
60	55-65
150	95-105
≥ 250	115-125

Wartości pośrednie można uzyskać drogą interpolacji liniowej

ZBROJENIE PRĘTOWE - PROJEKTOWANIE

Nośność zewnętrzna (gwoździe):

Gwoździe gruntowe mogą być projektowane na dwa sposoby. Pierwszy polega na projektowaniu gwoździ podobnie jak kotew gruntowych. Każdy gwoździe jest wtedy traktowany jako samodzielna konstrukcja, pracująca na ścinanie i wyciąganie.

Metoda druga polega na potraktowaniu układu grunt-gwoździe jako jednolitego ciała o znacznie wyższych parametrach wytrzymałościowych. Zwiększa się bowiem pierwotną spójność gruntu tworzącego zbocze (ścianę wykopu) o spójność wynikającą z wprowadzenia gwoździ:

$$c_z = c_{\text{pierw}} + c_{\text{gwozdz}} \text{ gdzie:}$$

c_z - spójność zastępcza gruntu

c_{pierw} - spójność pierwotna gruntu, określona pierwotnie w wyniku badań geologicznych

c_{gwozdz} - "spójność" gwoździ

W oparciu o obliczoną wartość c_z prowadzi się dalsze obliczenia stateczności, zastępując w danych przyjmowanych do obliczeń, naturalną kohezję gruntu, "spójnością" zastępczą.

Np. dla gruntu spoistego $c_{\text{pierw}} = 39 \text{ kPa}$, $c_{\text{gwozdz}} = 22 \text{ kPa}$
 $\Rightarrow c_z = 61 \text{ kPa}$

taką wartość spójności gruntu przyjmuje się do obliczania (modelowania) stateczności.

Spójność gwoździ oblicza się wg wzoru:

$$c_{\text{gwozdz}} = \frac{1 + \sin \phi \cdot P}{2 \cos \phi}$$

Gdzie:

ϕ - kąt tarcia wewnętrznego

P - gęstość gwoździ, obliczana ze wzoru:

$$P = \frac{F}{a \cdot b}$$

Gdzie:

a, b - rozstaw pionowy i poziomy gwoździ [m]

F - nośność gwoździ, oblicza się tak jak dla kotew i mikropali na podstawie danych z p. 2.1.2. Jako długość trzonu należy przyjąć długość gwoździ znajdującą się poza płaszczyzną poślizgu.

Przedstawiony powyżej sposób projektowania zabezpieczenia ściany (zbocza) przy pomocy gwoździ gruntowych, jest znacznie dokładniejszy, wierniej odwzorowuje zachowanie gwoździowanej ściany (zbocza) i umożliwia oszczędniejsze zaprojektowanie gwoździ. Upowszechnienie tej metody umożliwił rozwój programów komputerowych służących do modelowania i obliczeń stateczności ścian i zboczy. Podejście do gwoździ gruntowych jako wzmocnienia gruntu umożliwia jednak obliczanie stateczności gwoździowanej ściany w sposób analityczny, korzystając np. z dowolnej metody pasków.

Wyroby geosyntetyczne

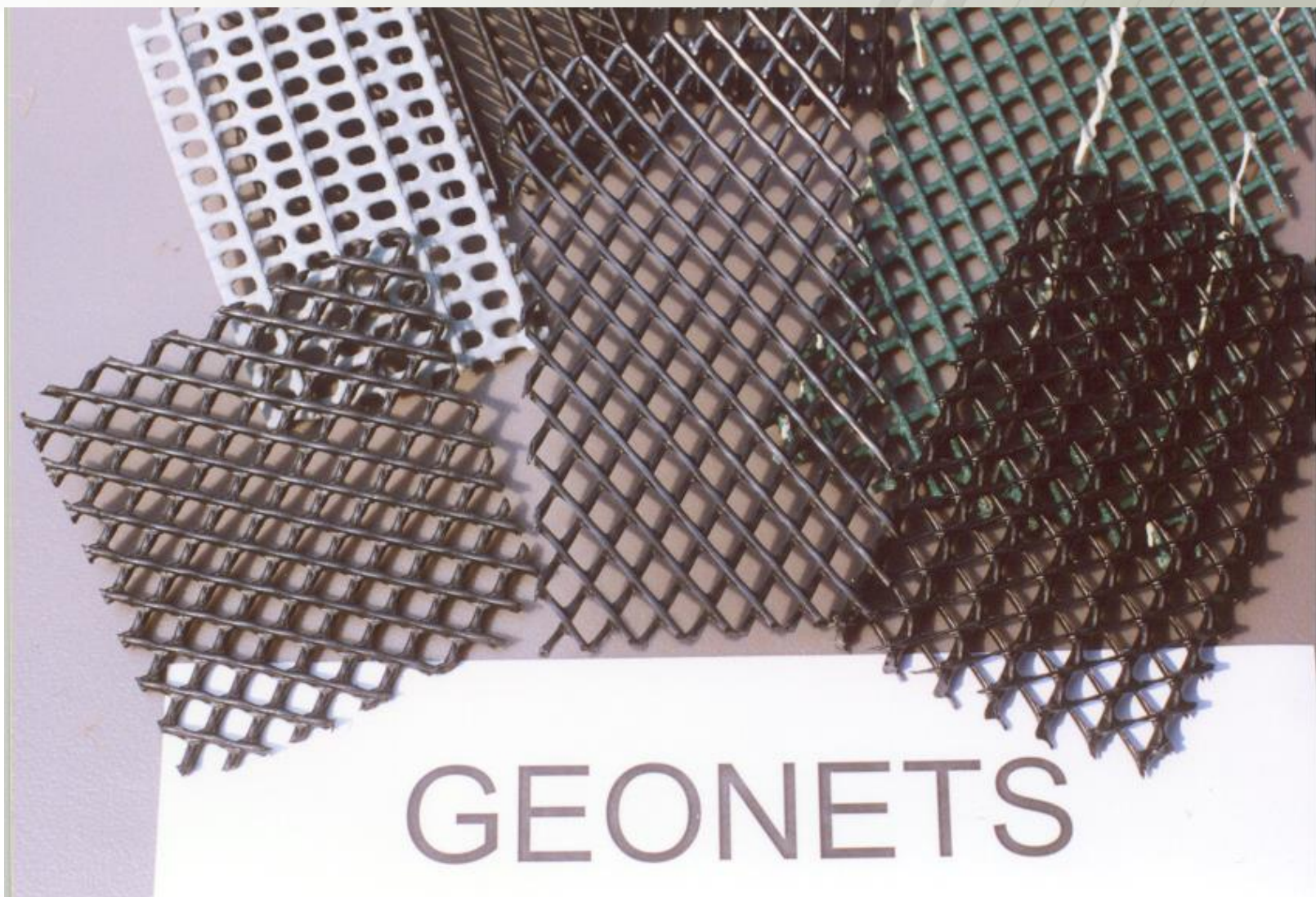
Do wyrobów geosyntetycznych zaliczamy:

- Geotekstylia
 - Geotkaniny
 - Geowłókniny
 - Geosiatki tkane
 - Geodzianiny
- Georuszty
- Geosieci
- Geokompozyty
- Wyroby geotekstylne pokrewne



Georuszty (geosiatki)



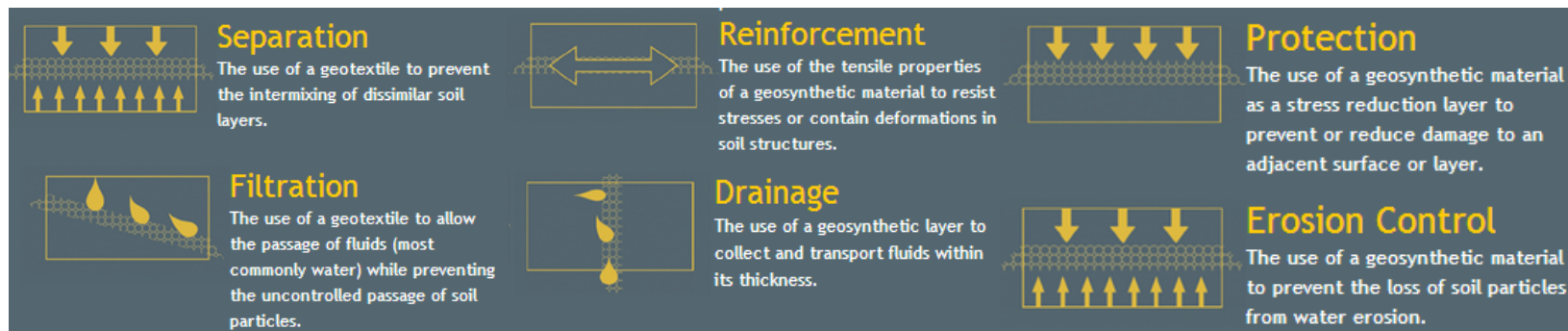


Geomembrany



Funkcja – typy geosyntetyków

Type of Geosynthetic	Separation	Reinforcement	Filtration	Drainage	Containment
geotextile	√	√	√	√	
geogrid		√			
geonet				√	
geomembrane					√
geocomposite	√	√	√	√	√



Parametry geotekstyliów

Głównymi parametrami materiału jest jego **wytrzymałość na rozciąganie** oraz **siła** [kN/m] przy której materiał uzyska określone wydłużenia (zwykle 2% lub 3%, 5% i 10%)

Ogólnie kąt tarcia gruntu po geosyntetyku F_g jest mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego gruntu. Większy kąt tarcia F_g , bliski kątowi tarcia gruntu, obserwuje się w przypadku geosiatek.

Tarcie po gruncie (pryczepność)

Współczynnik tarcia między gruntem zasypki a materiałem geosyntetycznym jest zwykle w granicach:

- po geowłókninach i geotkaninach $f = (0,6-0,7) \operatorname{tg} \varphi_z$
- po geosiatkach (georusztach) $f = (0,8-1,0) \operatorname{tg} \varphi_z$
gdzie φ_z kąt tarcia wewnętrznego materiału zasypki.
W gruntach spoistych można uwzględnić też wpływ przyczepności (adhezji).

W przypadku braku danych doświadczalnych zaleca się przyjmować minimalną wartość tarcia geosyntetyku po gruncie $f_{\min} = 0,5 \operatorname{tg} \varphi_z$, a po geosyntetyku $f_{\min} = 0,2$.

Zbrojenie – Slope/W

Wzmocnienie gruntów w programie Slope/W jest tak naprawdę przyłożoną **siłą skupioną** uwzględnioną w równaniach równowagi granicznej. Siła ta oddziałuje na ciało wolne jakim w tym wypadku jest potencjalna bryła osuwiskowa i dlatego musi być uwzględniona w równaniach momentów i sił w równaniach równowagi granicznej.

Dziękuję za uwagę