

**DOLNOŚLĄSKA OKRĘGOWA IZBA
INŻYNIERÓW BUDOWNICTWA**

50-114 Wrocław, ul Odrzańska 22

**Projektowanie konstrukcji budowlanych,
nasypów, murów oporowych
oraz stromych skarp z zasadami doboru
geosyntetyków.**

**Opracował : Piotr Jerمولowicz
tel/fax 91 4607140
tel. kom. 501 293 746
e-mail : p.jermolowicz@wp.pl**

Wrocław, 26 stycznia 2011 r.

Część I

**Projektowanie konstrukcji budowlanych,
nasypów, murów oporowych
oraz stromych skarp
z zastosowaniem geosyntetyków.**

Wstęp

Projektowanie konstrukcji budowlanych, nasypów, murów oporowych oraz stromych skarp posadowianych na słabonośnych podłożach wiąże się z modyfikacją właściwości tych gruntów. W dzisiejszych warunkach intensywnej urbanizacji i z tym związanej ograniczonej lokalizacji, często projektanci stają przed trudnym zadaniem posadowienia obiektu inżynierskiego na podłożu zbudowanym z utworów czwartorzędowych wieku holoceniowego reprezentowanych w stropowych partiach przez torfy, pod którymi mogą występować dodatkowo jeszcze namuły, kredy i gytie. Szczególnie wyraźnie występuje to zjawisko przy budowie tras komunikacyjnych, które z racji swego optymalnego zarysu często prowadzą przez organogeniczne tereny.

Grunty organiczne charakteryzują się stosunkowo niską nośnością i dużą odkształcalnością. Posiadają dużą wilgotność $200 \div 1200 \%$, małą wytrzymałość na ścinanie ($\phi = 2 \div 10^\circ$ i $c = 4 \div 25 \text{ kPa}$) oraz niskie wartości modułów ($M_o = 200 \div 2000 \text{ kPa}$). Z punktu widzenia praktyki budowlanej, szczególnie mając już dość duże doświadczenia poszczególnych środowisk projektantów i wykonawców, określanie nośności podłoża gruntowego w danych warunkach obciążenia ułatwiają obecnie dostępne na rynku specjalistyczne programy komputerowe. Znalazły one szerokie zastosowanie w budownictwie między innymi w drogownictwie i kolejnictwie. Umożliwiają projektowanie prostych i złożonych nasypów posadowianych np. na gruntach słabonośnych, wysokich skarp, zabezpieczeń skarp „płynących” o małej stateczności oraz zagospodarowanie osuwisk. W sposób istotny pomagają rozwiązać problemy związane między innymi z określaniem poszczególnych stanów granicznych nośności i użytkowania, określaniem wielkości deformacji w fazie sprężystej wraz z osiadaniem i konsolidacją podłoża, określaniem stateczności lokalnej i ogólnej konstrukcji nasypu lub skarpy i przede wszystkim sposobu wzmocnienia podłoża o złożonych warunkach gruntowo - wodnych.

1. Sposoby modelowania układów i ich współoddziaływanie: konstrukcja – ośrodek gruntowy.

W większości przypadków mamy do czynienia z procedurami opartymi na MES z elementami membranowymi (geotkaniny, geosiatki i geomembrany) oraz modelami sztywno -plastycznymi i sprężysto - plastycznymi ośrodków gruntowych.

Przy określaniu nośności granicznej zgodnie z normą posadowień bezpośrednich, używa się modelu sztywno - plastycznego z powierzchnią $C - M \rightarrow f(c, \phi)$ lub sprężysto - plastycznego z powierzchnią $D - P \rightarrow f(E, \nu)$. Przedstawione w nawiasach właściwości fizyko -mechaniczne gruntów są przedmiotem normalizacji. Przy określaniu deformacji podłoża gruntowego zbudowanego szczególnie z gruntów słabonośnych, stosuje się modele ze wzmocnieniem.

W każdym przypadku, podejmując decyzję o wykorzystaniu programów komputerowych projektant jest zobligowany do zapoznania się z algorytmem modelowania numerycznego i poprawności doboru stosowanych modeli do rozpatrywanego problemu geotechnicznego. W większości przypadków, analizując dotychczasowe znane zaprojektowane i zrealizowane obiekty liniowe na gruntach organicznych ze wzmocnieniem geosyntetykami i drenażem pionowym, należy się liczyć z koniecznością przeprowadzania dodatkowych badań polowych i laboratoryjnych. Dokładne określenie parametrów fizyko - mechanicznych gruntów podłoża, szczególnie na próbkach NNS, wykonanych z pełną świadomością celu okazuje się nieodzowne w momencie przystępowania do modelowania i określania

poszczególnych stanów granicznych nośności i użytkowania (osiadania, konsolidacji). Dla gruntów organicznych, gdy dochodzi dodatkowo reologia i konsolidacja (przyspieszenie drenażem pionowym), należy wykonać badania:

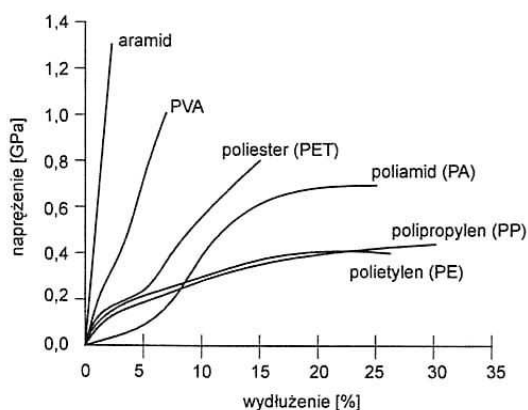
- kąta tarcia wewnętrznego i kohezji,
- wilgotności naturalnej,
- modułów odkształcenia,
- współczynników konsolidacji C_v i C_h ,
- parametrów ciśnienia wody porowej i
- współczynników Ψ , v

2. Geosyntetyki i ich funkcje w konstrukcjach inżynierskich.

Do wykonania zbrojenia, stosowanego w robotach ziemnych, fundamentowych i w konstrukcjach oporowych stosuje się geosyntetyki na bazie następujących polimerów:

- polietylen (PE),
- polipropylen (PP),
- poliamid (PA),
- poliester (PTE $\rightarrow$ PES),
- aramid (AR),
- polivinyloalkohol (PVA)

Jako warstwy ochronne włókien lub taśm stosuje się również polichlorek winylu (PCV). W celu zapewnienia odpowiednich właściwości wyrobom dodaje się również do ich wykonania rozmaite stabilizatory.



Rys. 1 Wykres wytrzymałości poszczególnych rodzajów włókien polimerowych w układzie ich wydłużenia.[10]

Geosyntetyki stosowane w konstrukcjach inżynierskich można podzielić na :

- przepuszczalne:
geotkaniny, geowłókniny, geosiatki, geokraty, georuszty, geokomórki i geokompozyty,
- nieprzepuszczalne:
geomembrany, bentomaty i geomembrany bentonitowe.

W większości przypadków spełniają one cztery podstawowe funkcje:

- separacyjną – jako warstwy odcinające lub separujące grunt podłoża od nasypu hamując tym samym mieszanie się tych gruntów jak również likwidując podciąganie wód kapilarnych i uniemożliwianie poprzez to powstawania przełomów wiosennych w nawierzchniach bitumicznych,
- wzmacniającą – jako warstwy poprawiające nośność słabego podłoża pod nasypami lub polepszające wytrzymałość nawierzchni na rozciąganie,
- filtracyjną – jako filtry chroniące materiał przepuszczalny przed kolmatacją i zmianą właściwości filtracyjnych,
- drenującą – jako dreny odprowadzające wodę w płaszczyźnie geosyntetyków.

Geosyntetyki mogą i najczęściej pełnią jednocześnie więcej niż jedną z wymienionych wyżej funkcji.



Rys 2. Podstawowe funkcje geosyntetyków

W trakcie projektowania obiektów inżynierskich najistotniejsze są następujące parametry geosyntetyków:

- wytrzymałość na rozciąganie,
- wydłużalność,
- wodoprzepuszczalność.
- otwartość porów.

Podstawowym czynnikiem decydującym o wyborze geosyntetyków do danej konstrukcji jest możliwość jej wzmocnienia i zapewnienia długotrwałej stateczności oraz obniżenia kosztów inwestycji.

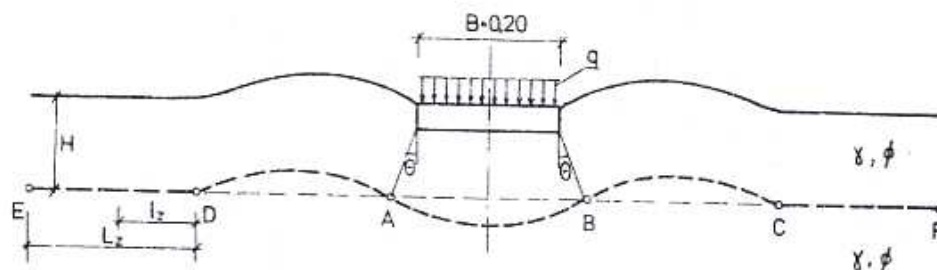
Połączenie wiedzy o właściwościach fizyko - mechanicznych geosyntetyków, kryteriach ich doboru do danych warunków gruntowo - wodnych jak i pełnionych funkcjach oraz umiejętność dokonywania obliczeń złożonych układów gruntowo - geosyntetycznych z doświadczeniem inżynierskim w tej dziedzinie daje dopiero pożądane efekty.

3. Współoddziaływanie grunt - geosyntetyk

Dodanie geosyntetyków przy wzmacnianiu słabych podłoży odgrywa rolę membrany i powoduje przede wszystkim opóźnianie zniszczeń, hamowanie względnie przeciwstawianie się płynięciu plastycznemu. Geosyntetyki nie wykazują jednak wytrzymałości na ścinanie, lecz przejmują te siły poprzez rozciąganie w swojej płaszczyźnie. Siły rozciągające są przejmowane na bokach przez siły tarcia oraz zakotwienie geosyntetyków.

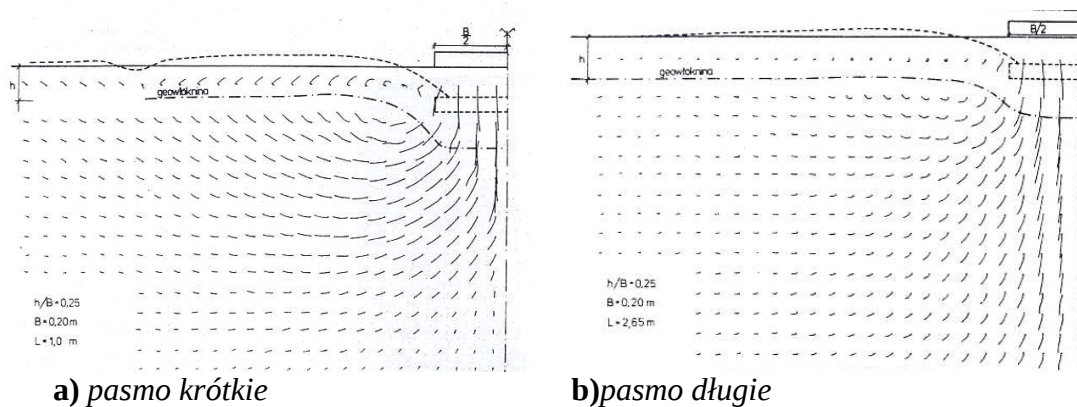
Schemat działania geosyntetyków przedstawia rysunek 3. Ze schematu tego można wyznaczyć dwa rodzaje pracy geosyntetyków :

- geosyntetyk pracuje jako napięta membrana
 - wzdłuż AB zachodzi płynięcie plastyczne gruntu górnego (przykrycia) pod obciążeniem,
 - wzdłuż BC (AD) zachodzi płynięcie plastyczne gruntu dolnego (podłoża) wywołane zagłębianiem powierzchni obciążonej;
- geosyntetyk pracuje jako zakotwienie wzdłuż DE (CF).



Rys. 3. Schemat działania geosyntetyku [12]

Badania dotyczące stateczności naturalnego podłoża ze wzmocnieniem obciążonego w warunkach płaskiego stanu odkształcenia wykazały znaczącą rolę m.in. długości odcinków traktowanych jako zakotwienie.



Rys 4. Trajektorie przemieszczeń w fazie plastycznego płynięcia dla różnych długości pasma geosyntetyku [12]

Z zarysu stref dużych przemieszczeń oraz trajektorii przemieszczeń punktów charakterystycznych podłoża gruntowego pokazanych na rysunku 4a) wynika , że przy zbyt małej długości pasma geosyntetyku w przekroju poprzecznym występuje poślizg na jego końcach – geosyntetyk wciągany jest do środka.

Efektu tego nie zauważa się w przypadku dłuższego pasma – rys.4b)

Z porównania stref plastycznych na rys. 4a) i b) wynika wyraźna różnica pracy podłoża gruntowego :

- na rys. 4a) strefa uplastycznienia gruntu jest zwężona na skutek istnienia poślizgu w zakotwieniu geosyntetyku,

- na rys. 4b) ze względu na zakotwienie geosyntetyku zasięg strefy uplastycznienia jest znacznie rozszerzony i obejmuje do współpracy większą strefę gruntu wynikającą z jego oddziaływania.

Z tego wynika, że bardzo ważną czynnością jest obliczenie bezpiecznej długości zakotwienia. Zakotwienie to jest w konsekwencji zakotwieniem grawitacyjnym dla którego rozciąganie jest przejmowane przez tarcie dla gruntów niespoistych oraz przez przyczepność (adhezję) dla gruntów spoistych. Na poniższym rysunku przedstawiono schemat działania sił w zakotwionym elemencie ds. geosyntetyku.

Równowaga tego elementu pozwala napisać :

$$dT = (\sigma_z \cdot \operatorname{tg} \phi + \psi) ds$$

gdzie $\sigma_z = \gamma \cdot H$

W wyniku całkowania otrzymuje się wzór :

$$T = (\gamma \cdot H \cdot \operatorname{tg} \phi + \psi) \cdot l_z$$

gdzie l_z – długość zakotwienia w czasie równowagi elementu

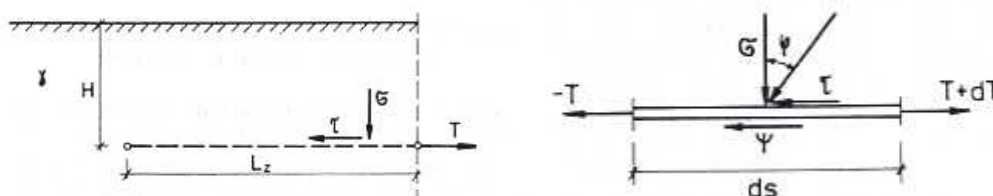
γ – ciężar objętościowy gruntu nad geosyntetykiem

H – wysokość nasypu

ϕ - kąt tarcia grunt – geosyntetyk

ψ - przyczepność gruntu spoistego do geosyntetyku

T – maksymalna siła rozciągająca przejmowana przez zakotwienie



Rys.5. Zestawienie sił w elemencie zakotwienia w stanie granicznej równowagi [9]

Zgodnie z przedstawionymi schematami w układzie płaskim kryterium zakotwienia określają dwa warunki :

- $l_z \leq L_z$ - poślizg na końcach geosyntetyku nie występuje
- $l_z > L_z$ -końce geosyntetyku ślizgają się, następuje zniszczenie zakotwienia

l_z – obliczeniowa długość zakotwienia

L_z - dysponowana długość zakotwienia

4. Właściwości związane z trwałością geosyntetyków.

Tradycyjne badania geosyntetyków koncentrują się nad zagadnieniami zachowania się tych materiałów w krótkim czasie po wyprodukowaniu.

Pozostaje nadal otwartą kwestia ich zachowania w warunkach eksploatacyjnych, czyli ich trwałość.

Duża ilość zastosowań oraz brak niejednokrotnie odpowiedzi na szereg pytań i normalizacji procesów projektowych i obliczeniowych spowodowały podjęcie badań w zakresach wcześniej niewyeksplorowanych.

Badania i analizy dotyczą :

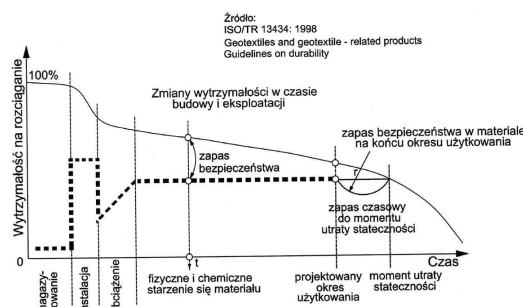
- uszkodzeń w trakcie instalacji,
- zjawiska pełzania (wydłużenie geosyntetyków pod stałym obciążeniem),
- relaksacji naprężeń (stałego odkształcenia),
- ścieralności,
- przepływu cieczy w długim okresie czasu,
- degradacji pod wpływem UV, temperatury, utlenienia, hydrolizy, chemizmu i czynników biologicznych

Informacje o właściwościach geosyntetyków są bardzo ważne, ponieważ każda metoda projektowania daje w wyniku liczby, które można porównać z rzeczywistymi właściwościami geosyntetyków planowanych do danego konkretnego zastosowania.

Szybko zmieniający się rynek i jego wymogi sprawiają, że w niedługim czasie większość producentów geosyntetyków będzie oferować dla swoich wyrobów poza podstawowymi parametrami również dane liczbowe dotyczące trwałości długoterminowej.

5. Reologia i dopuszczalna wartość odkształceń zbrojenia.

Dobór polimeru, z którego ma być wykonane zbrojenie, musi uwzględniać poza chemizmem ośrodka gruntowego: czas użytkowania budowli, stopień obciążenia zbrojenia, dopuszczalne odkształcenia budowli lub dopuszczalne wydłużenia zbrojenia. Schematycznie przedstawiono stan obciążenia i zapas bezpieczeństwa w elemencie zbrojenia na rys. 6 pokazując właściwe dla polimerów wpływy: uszkodzenia mechaniczne, pełzanie i starzenie się.



Rys. 6. Zmiany wytrzymałości geosyntetyku na rozciąganie ze względu na czas użytkowania [27]

Należy stwierdzić, że w budowlach z gruntu zbrojonych wraz z upływem czasu zmniejsza się zapas bezpieczeństwa. Zasadą jest tu wykazanie wystarczającej stateczności dla charakterystycznych faz: stanu budowlanego, stanu użytkowego i ewentualnie dla stanu nadzwyczajnego. Z rys. 6 wynika, że budowla czy też dana wkładka zbrojeniowa ma dłuższy niż projektowany okres żywotności, ponieważ nawet w ostatniej chwili pozostaje

jeszcze wymagany przepisami zapas bezpieczeństwa. Zapas w samym końcu projektowanego okresu użytkowania jest definiowany globalnym współczynnikiem bezpieczeństwa lub tzw. stopniem wykorzystania materiału (w metodzie stanów granicznych).

Dla ścian oporowych (nachylenie $\geq 70^0$) z gruntu zbrojonego bez okładzin (tzw. ścian zielonych) tradycyjnie ogranicza się dopuszczalne przemieszczenie poziome do wielkości wynoszącej $0,02 \times H$ gdzie (H - wysokość ściany). W przypadku ścian z licem ciągłym projektant powinien ustalić indywidualnie dopuszczalne deformacje w oparciu o normy do projektowania: konstrukcji żelbetowych (lico ciągłe żelbetowe), konstrukcji stalowych (lico z blachy falistej) lub konstrukcji z drewna (lico z desek lub bali). Dla prefabrykowanych blozków dopuszczalne przemieszczenie lub wygięcie się ściany musi odpowiadać danym, zalecanym przez ich producentów.

Poza ograniczeniem deformacji powierzchni lica, stawia się warunki na dopuszczalne wydłużenie zbrojenia. I tak, dla ścian oporowych i przyczółków zaleca się (w oparciu o normę brytyjską BS 8006 [1]) przyjmować dopuszczalny do końca eksploatacji ($60 \div 120$ lat) przyrost wydłużenia z tytułu pełzania nie większy niż 0,5 %, niezależnie od warunków odkształcenia wykładziny.

Dopuszczalne całkowite wydłużenie zbrojenia w zboczach (skarpy o nachyleniu $< 70^0$) z gruntu zbrojonego i zbrojenia w podstawie nasypów bezpośrednio posadowionych na gruntach słabych powinno być ograniczone w myśl BS 8006 [1] do 5 %. Podane wartości odnoszą się do okresu użytkowania budowli, a więc do okresu $60 \div 120$ lat.

Rodzaj konstrukcji	ε_{gr} [%]
Ściany oporowe ze sztywną konstrukcją osłonową, poza strefą oddziaływań innych obiektów	6
Nasypy i ściany oporowe stanowiące podparcie dróg publicznych	5
Nasypy i ściany oporowe stanowiące podparcie torów	2
Przyczółki mostów i podpory ($\Delta\varepsilon$ w fazie eksploatacji)	2 (0,5)

Tab.1. Dopuszczalne wartości odkształceń zbrojenia ze względu na II stan graniczny[10]

Lp.	Rodzaj obiektu	Max czas użytkowania	Przykłady
1	Obiekty doraźne	2 lata	podpory, zabezpieczenia elementów konstrukcji na czas budowy
2	Tymczasowe	5 lat	drogi dojazdowe, konstrukcje zabezpieczające na czas budowy
3	Trwałe	25 lat	waly przeciwpowodziowe, nasypy dróg lokalnych, osłony akustyczne
		50 lat	nasypy autostrad, standardowe budowle hydrotechniczne, ściany oporowe i zbocza w strefie oddziaływań budowli trwałych
5	Długotrwałe - specjalne	120 lat	ściany oporowe autostrad lub budowli monumentalnych, podpory mostów

Tab.2. Podział konstrukcji z gruntu zbrojonego z uwagi na przewidywany okres użytkowania [18]

Dla tych zastosowań najlepiej nadają się produkty z: poliestru, aramidu (aromatyczny poliamid) oraz PVA (poliwinyloalkohol), które to materiały wykazują dostatecznie wysoką sztywność na rozciąganie i bardzo małe pełzanie. W przypadku zastosowania polipropylenu (PP), polietylenu (PE) lub (PEHD) należy, z uwagi na ograniczenie pełzania, obniżyć stopień obciążenia tzn. obniżyć efektywność wykorzystania materiału zbrojącego poprzez odpowiednie współczynniki redukcyjne.

Area	Range of Reduction Factors		
	Installation Damage	Creep ⁽¹⁾	Chemical/Biological Degradation ⁽²⁾
Separation	1.1 to 2.5	1.5 to 2.5	1.0 to 1.5
Cushioning	1.1 to 2.0	1.2 to 1.5	1.0 to 2.0
Unpaved roads	1.1 to 2.0	1.5 to 2.5	1.0 to 1.5
Walls	1.1 to 2.0	2.0 to 4.0	1.0 to 1.5
Embankments	1.1 to 2.0	2.0 to 3.5	1.0 to 1.5
Bearing and foundations	1.1 to 2.0	2.0 to 4.0	1.0 to 1.5
Slope stabilization	1.1 to 1.5	2.0 to 3.0	1.0 to 1.5
Pavement overlays	1.1 to 1.5	1.0 to 2.0	1.0 to 1.5
Railroads (filter/sep.)	1.5 to 3.0	1.0 to 1.5	1.5 to 2.0
Flexible forms	1.1 to 1.5	1.5 to 3.0	1.0 to 1.5
Silt fences	1.1 to 1.5	1.5 to 2.5	1.0 to 1.5

Tab.3. Zalecane współczynniki redukcyjne wytrzymałości geosyntetyków [16]

Application	Range of Reduction Factors				
	Soil Clogging and Blinding ⁽¹⁾	Creep Reduction of Voids	Intrusion into Voids	Chemical Clogging ⁽²⁾	Biological Clogging
Retaining wall filters	2.0–4.0	1.5–2.0	1.0–1.2	1.0–1.2	1.0–1.3
Underdrain filters	2.0–10	1.0–1.5	1.0–1.2	1.2–1.5	2.0–4.0 ⁽³⁾
Erosion control filters	2.0–10	1.0–1.5	1.0–1.2	1.0–1.2	2.0–4.0
Landfill filters	2.0–10	1.5–2.0	1.0–1.2	1.2–1.5	2.0–5.0 ⁽³⁾
Gravity drainage	2.0–4.0	2.0–3.0	1.0–1.2	1.2–1.5	1.2–1.5
Pressure drainage	2.0–3.0	2.0–3.0	1.0–1.2	1.1–1.3	1.1–1.3

Tab.4. Zalecane współczynniki redukcji właściwości hydraulicznych geosyntetyków [16]

6. Właściwości chemiczne i biologiczne

Zasadnicze znaczenie ma tutaj wartość pH. W warunkach normalnych przy

$$4 < \text{pH} < 9$$

grunty i wody gruntowe mogą być uznane za nieszkodliwe wobec geosyntetyków.

Poza tymi przedziałami wartości, odczyn pH musi być brany pod uwagę przy ocenie trwałości materiałów.

Przyczyną nadmiernego odczynu zasadowego gruntów ($\text{pH} \geq 9$) mogą być zabiegi stabilizacyjne (cement, wapno) lub bezpośredni kontakt z mieszanką betonową, a z kolei nadmiernego odczynu kwasowego ($\text{pH} \leq 4$) – stabilizacja podłoża nieodsiańczonymi popiołami.

Sprawdzeniu pH powinny podlegać również grunty antropogeniczne, organiczne lub rodzime skażone. Przy braku unormowań krajowych w tym względzie, zakres badań powinien być określony przez specjalistę w celu określenia ich wpływu na trwałość zbrojenia.

W wielu opracowaniach pojawia się też czynnik degradacji biologicznej z odpowiednimi współczynnikami redukcyjnymi.

Jednak ze względu na brak dowodów na taką degradację polimerów, ten czynnik nie jest brany pod uwagę.

Przy obecnym stanie wiedzy i dysponując szeregiem programów obliczeniowych można projektować i wykonywać budowle inżynierskie oparte na zbrojeniu geosyntetycznym w sposób profesjonalny w oparciu o normy budowlane (np. BS 8006 [1]) lub zalecenia i wytyczne.

W ramach UE następuje przechodzenie od metody globalnego współczynnika bezpieczeństwa do metody stanów granicznych.

Przytoczona wyżej norma budowlana BS 8006 [1] wydana w Wielkiej Brytanii w 1995 r. ujmuje całościowo zasady wymiarowania oparte na metodzie stanów granicznych.

I jak to często bywa, autorzy tej normy nie ustrzegli się od niedoskonałości. W wielu ustaleniach odbiega ona znacząco od EUROKODE7 i projektów norm z wielu krajów w przyjmowaniu np. stanów obciążenia, wartości współczynników cząstkowych oraz w ustalaniu wartości obliczeniowych parametrów geotechnicznych.

W metodzie stanów granicznych zasady wymiarowania zbrojonych konstrukcji gruntowych nie odbiegają znacznie od zasad wymiarowania budowli żelbetowych czy też stalowych, tzn. należy wykazać, że:

- pierwszy stan graniczny - wymagana stateczność dla tego stanu granicznego, z uwagi na nośność, jest zachowana;
- drugi stan graniczny - dopuszczalne deformacje lub przemieszczenia będą zachowane dla stanu użytkowania.

W odróżnieniu jednak od konstrukcji stalowych czy też żelbetonowych, zbrojenie geosyntetyczne ma wyższą podatność na pęcznienie. W niektórych warunkach dochodzi dodatkowo wpływ takich czynników jak: podwyższonego chemizmu wody gruntowej lub gruntu użytego do budowy, podwyższonej temperatury otoczenia, obniżenia wytrzymałości konstrukcji ze względu na dynamiczny charakter obciążenia. Wpływ promieniowania UV zostaje zazwyczaj pominięty, ponieważ materiały geosyntetyczne muszą być, po ich ułożeniu i w ściśle zdefiniowanym okresie czasu, osłonięte, jeżeli mają spełniać długoterminowo wyznaczone dla nich funkcje. Stosowane dodatki stabilizujące lub dodatkowe powleczenia ochronne spełniają jedynie funkcję zabezpieczenia na czas budowy - nie gwarantują jednak długoterminowej ochrony przed degradacją surowca zasadniczego ze strony promieniowania UV. A więc przykrycia tego typu konstrukcji materiałem ziemnym lub dostatecznie gęstą pokrywą roślinną są nieodzowne i powinny być bezwzględnie wymagane. W ramach pierwszego stanu granicznego sprawdza się stateczność zewnętrzną i wewnętrzną konstrukcji dla:

- stanu budowlanego tzn. w chwili wznoszenia wraz ze wszystkimi obciążeniami montażowymi i dla założonego czasu realizacji obiektu.
- stanu użytkowania, tzn. dla obciążeń użytkowych i dla założonego czasu użytkowania (przeważnie dla okresu 60 ÷ 120 lat).

Dla stanu budowlanego ustala się wytrzymałość podłoża, która jest definiowana poprzez wytrzymałość na ścinanie bez odpływu wody, c_u .

Dla stanu końcowego (stan użytkowania) w obliczeniach stateczności stosuje się parametry efektywne gruntu: c' , ϕ' (spójność i kąt tarcia wewnętrznego).

W ramach drugiego stanu granicznego sprawdza się osiadania, a dla ważniejszych konstrukcji - przemieszczenia poziome. W odniesieniu do zbrojenia, sprawdza się czy określone przepisami dopuszczalne wydłużenia natychmiastowe, pęcznienie lub wydłużenia całkowite nie zostaną przekroczone.

W przypadku podłoży piaszczystych i żwirowych rezygnuje się ze sprawdzenia osiadań i przemieszczeń poziomych konstrukcji ziemnych, ograniczając kontrolę do sprawdzenia wydłużenia zbrojenia.

Dla podłoży słabych i podatnych, a w szczególności dla złożonych warunków obciążenia i dla trudnych warunków gruntowych, sporządza się analizę stateczności i deformacji przy pomocy programów numerycznych, np. Plaxis v.7 [22] opartych na MES.

7. Podstawowe właściwości niezbędne do projektowania.

Dodatkowymi właściwościami niezbędnymi do projektowania są:

- wartość charakterystyczna wytrzymałości krótkotrwałej zbrojenia na rozciąganie F_0 deklarowana przez producenta,
- wartość charakterystyczna wytrzymałości długotrwałej zbrojenia na rozciąganie F_K ,
- przyczepność zbrojenia do gruntu,
- wartość maksymalnej siły przy dopuszczalnym odkształceniu w projektowym okresie użytkowania.

7.1. Wartość charakterystyczna wytrzymałości długotrwałej zbrojenia F_K .

Wartość charakterystyczną wytrzymałości długotrwałej wyznacza się z zależności [1] :

$$F_K = \frac{F_0}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}$$

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.

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 odpowiednich badań współczynników $A_1 \div A_4$ mogą być określane według następujących zaleceń [10] :

- A_1 (wpływ pełzania) :
 - dla PE, PP - 5,0
 - dla PA, PES, AR - 2,5
- A_2 (wpływ uszkodzenia podczas transportu, przy zabudowywaniu i przy zagęszczaniu):
 - grunt drobnoziarnisty 1,4
 - grunt gruboziarnisty 1,7
 - grunt drobnoziarnisty z domieszką kruszywa łamanego 2,0
- A_3 (wpływ połączeń zbrojenia i przyłączy do innych elementów budowlanych) :
 - na podstawie badań przez porównanie z wytrzymałością krótkotrwałą na rozciąganie,

- przy braku połączeń $A_3 = 1,0$
- A_4 (wpływ środowiska)
 - dla zwykłych warunków $A_4 = 1,0$

7.2. Przyczepność zbrojenia do gruntu.

W przypadku braku wyników badań do obliczeń można przyjmować następujące wartości współczynnika tarcia [9] :

- geosyntetyk – grunt wartość minimalna $\mu_k = \tan \phi$,
dla gruntów mineralnych można przyjmować $0,7 - 0,8 \phi$
- geosyntetyk – geosyntetyk $\mu_k = 0,35$

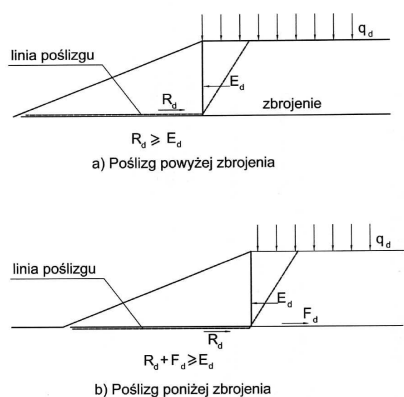
8. Zasady wymiarowania nasypów ze zbrojeniem w podstawie

Dla tego typu konstrukcji i rodzajów zbrojenia, w ramach pierwszego stanu granicznego, sprawdza się stateczność zewnętrzną i wewnętrzną konstrukcji dla stanu budowlanego i dla stanu końcowego (tzn. stanu po zakończeniu konsolidacji).

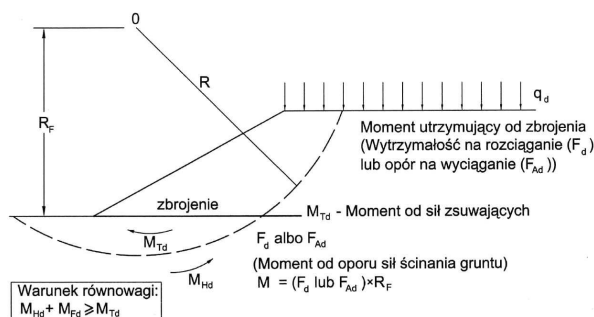
Dla stanu budowlanego wytrzymałość podłoża definiowana jest poprzez wytrzymałość na ścinanie bez odpływu wody, c_u .

Dla stanu końcowego (eksploatacji) w obliczeniach stateczności stosuje się parametry efektywne gruntu: c' , ϕ' . Celem obliczeń statycznych jest wyznaczenie wymaganej obliczeniowej wytrzymałości zbrojenia (F_k), lub też sprawdzenie stateczności budowli dla założonego schematu zbrojenia. Dla nasypów lub wałów, ze zbrojeniem w podstawie, sprawdza się następujące mechanizmy zniszczenia:

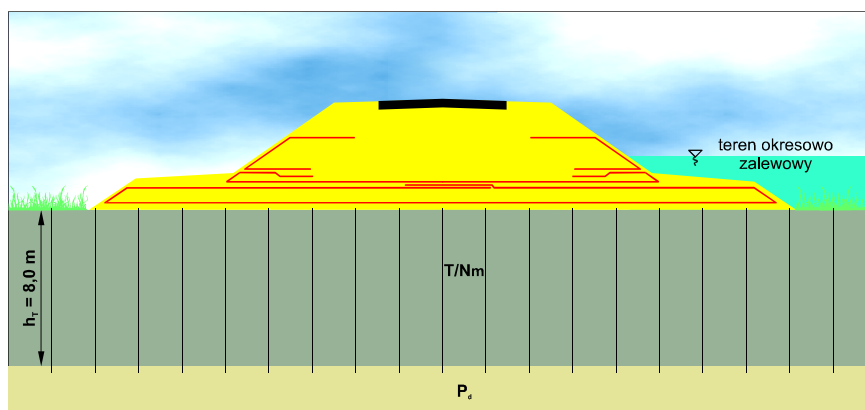
- poślizg ponad zbrojeniem, bez przecięcia zbrojenia (rys. 7);
- poślizg poniżej zbrojenia, z przecięciem zbrojenia (rys.7);
- poślizg po walcowej powierzchni poślizgu (rys. 8);
- boczne wyparcie gruntu (rys.9).



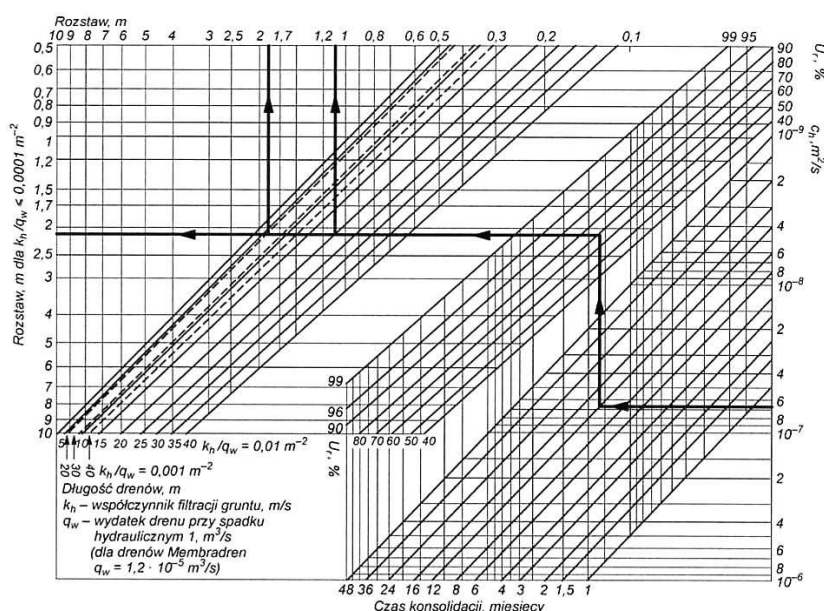
Rys. 7. [1]



Rys. 8. [1]



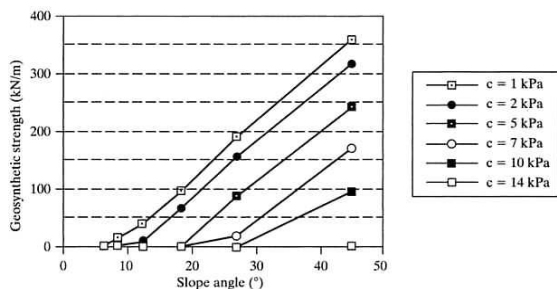
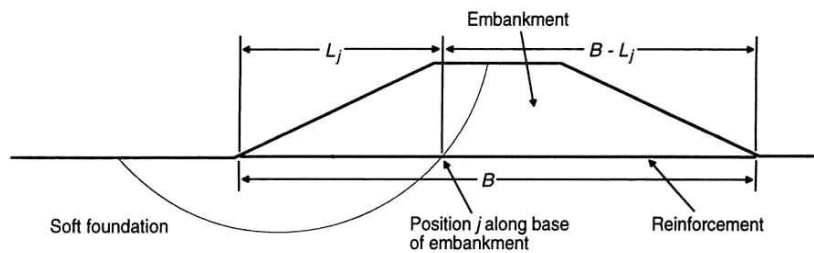
Rys.12. Przykład posadowienia nasypu drogowego z kontrbankietami i drenażem pionowym na obojętności m. Ognicy



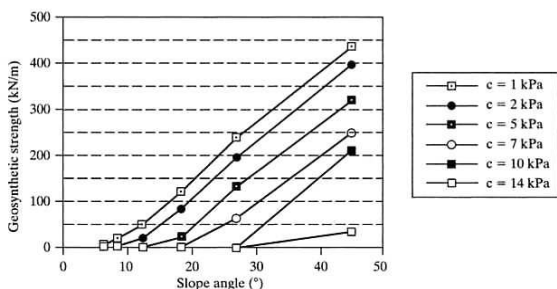
Rys.13 Nomogram do przyjmowania rozstawu syntetycznych drenów pionowych

Pozwala to na znaczne przyspieszenie osiadania terenów bagiennych i tym samym daje możliwości szybszego wykorzystania ich pod przyszłe inwestycje. Gwarantuje również równomierną konsolidację na obszarze poddanym uzdatnianiu bez jego niekontrolowanych odkształceń (wypiętrzeń, przerwania ciągłości warstwy uzdatnianej, itd.). Zaletą drenażu pionowego jest szybkie odprowadzenie wody drenami syntetycznymi poprzez zmianę kierunku odpływu z pionowego na poziomy. Tym samym o tempie konsolidacji decyduje, w największym stopniu rozstaw drenów. Zastosowanie takiego drenażu skraca czas uzdatnienia gruntu do około 1 roku, przy metodach tradycyjnych czas konsolidacji wynosi około 6 lat. Przystępując do projektowania zamieniamy często wcześniej przyjętą technologię wymiany gruntu na taśmowy drenaż pionowy w połączeniu z konstrukcją zamkniętej „poduszki” z wysokowytrzymałej geotkaniny pod nasypem wraz z dwustronnymi kontrbankietami (ławami dociskowymi). Jak wcześniej zapisano, poszerzenie nasypu o kontrbankiety eliminuje efekty wypierania podłoża na boki podnosząc jego nośność. Podstawowym warunkiem do spełnienia przez projektantów powinna być zawsze optymalizacja organizacyjno – finansowa przedsięwzięcia inwestycyjnego.

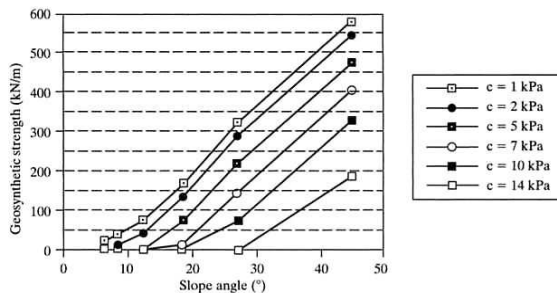
Przykład liczbowy [16] :



(a) Required geosynthetic strength based on FS = 1.3. Chart reflects soil surcharge height of 4 m.



(b) Required geosynthetic strength based on FS = 1.3. Chart reflects soil surcharge height of 4 m plus 13 kPa dozer on embankment.



(c) Required geosynthetic strength based on FS = 1.3. Chart reflects soil surcharge height of 4 m plus 42 kPa wick drain installation equipment on embankment.

Nasyp o wys. 4m posadowiony na słabym podłożu o wytrzymałości na ścinanie 2 kPa. Skarpy o pochyleniu 1:3. Należy dobrać wzmocnienie podstawy nasypu.

- wymagana wytrzymałość geosyntetyku :

$$F = 66 \text{ kN/m}$$

$$F_s = \frac{F_K}{F}$$

$$1,3 = \frac{F_K}{66} \Rightarrow F_K = 86 \text{ kN/m}$$

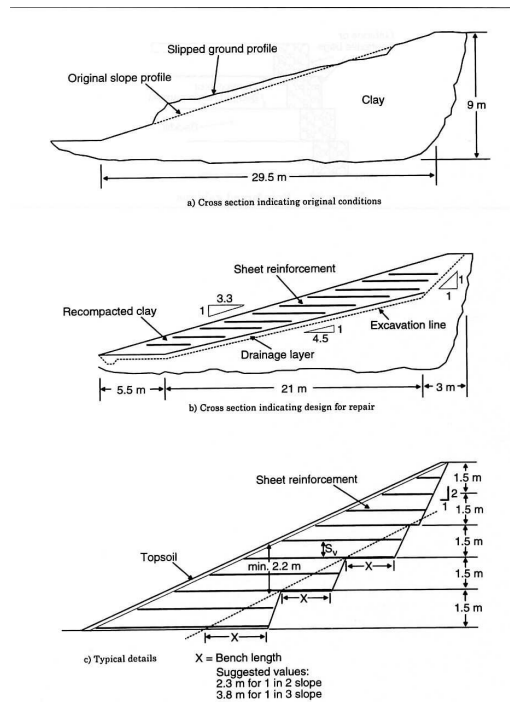
$$F_K = F_0 \cdot \left(\frac{1}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \right)$$

$$86 = F_0 \cdot \left(\frac{1}{1,2 \cdot 2,0 \cdot 1,2} \right)$$

$$F_0 = 86 \cdot (2.88) = 250 \text{ kN/n}$$

W przypadku konieczności odbudowy lub poszerzeń skarp nasypów w trakcie projektowania obowiązuje każdorazowo sprawdzenie współczynnika bezpieczeństwa stateczności ($F_{s \min} = 1,5$) tych skarp przy uwzględnieniu następujących warunków (zgodnie z [24], [25]) :

- dla wysokości skarp $H > 6,0 \text{ m}$,
- bez względu na H, dla skarp o pochyleniu większym niż 1 : 1,5.



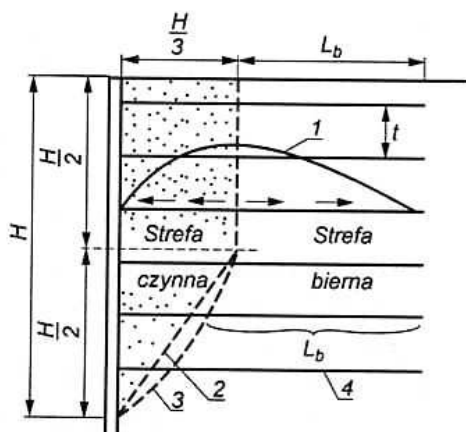
Rys. 14. Schematy odbudowy lub poszerzenia skarpy nasypów lub zbocza. [1]

Na rynku znajdują się inżynierskie programy obliczeniowe, w których projektanci mają wolny wybór w zadawaniu wartości liczbowych wytrzymałości na rozciąganie i wielkości zakotwienia wkładek zbrojących lub wielkości te wyznaczane są w drodze obliczeń numerycznych z jednoczesnym określeniem warunków I i II stanu granicznego. Programy ReSlope, MSEW, ReSSA i Slope W dodatkowo wyznaczają wytrzymałość długotrwałą geosyntetyków na podstawie założonych współczynników redukcyjnych.

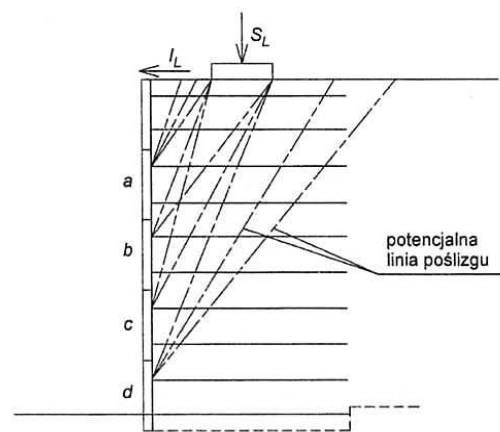
9. Zbrojone mury oporowe

W przypadku ścian oporowych pionowych lub zbliżonych do pionowych zbrojonych poziomymi warstwami geosyntetyków projekt powinien obejmować następujące etapy :

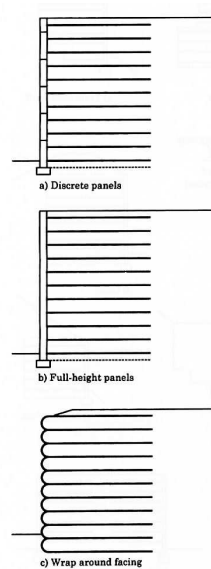
- obliczenia stateczności wewnętrznej dla ustalenia rozmieszczenia geosyntetyków ich długości i szczelności zakładów,
- obliczenia stateczności zewnętrznej,
- sprawdzenie równowagi klinów odłamu,
- licowanie ściany i drenaż zewnętrzny,



Rys.15. Schemat do obliczania długości zbrojenia [21]

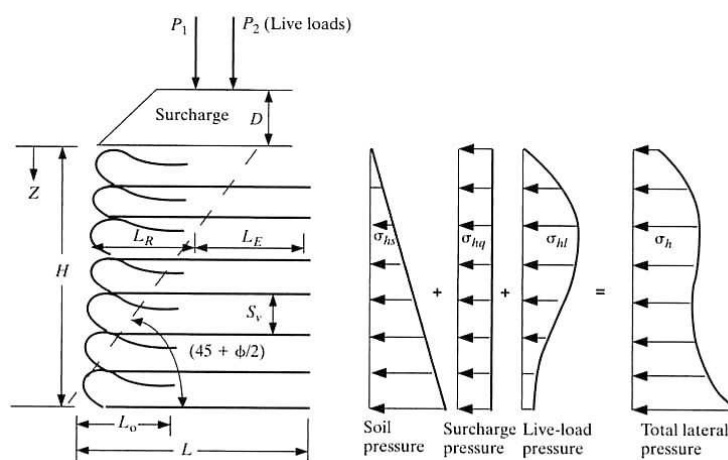


Rys.16. Metoda równowagi klina odłamu [10]



Rys.17. Podstawowe typy obliczania zbrojonych murów oporowych [1]

Przykład obliczeniowy [16] :



$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) =$ współczynnik parcia czynnego

$$\sigma_{hs} = K_a \cdot \gamma \cdot z$$

$$\sigma_{hq} = K_a \cdot q$$

$$L = L_E + L_R$$

$$L_E = \frac{S_v \cdot \sigma_h \cdot F_s}{2(c_a + \gamma \cdot z \cdot \tan \delta)}$$

$$L_R = (H - z) \tan(45 - \phi/2)$$

$$L_0 = 1/2 L_E$$

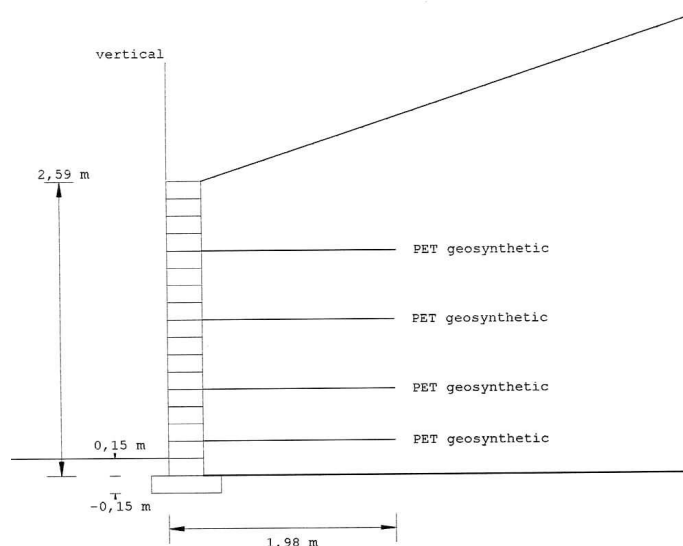
$$F_K = \sigma_h \cdot S_v \cdot F_s$$

$\sigma_h = K_a \cdot \gamma \cdot z + K_a \cdot q$ - całkowite parcie gruntu na ścianę

Współczynniki redukcyjne = 4,0

$$F_o = F_K \cdot 4$$

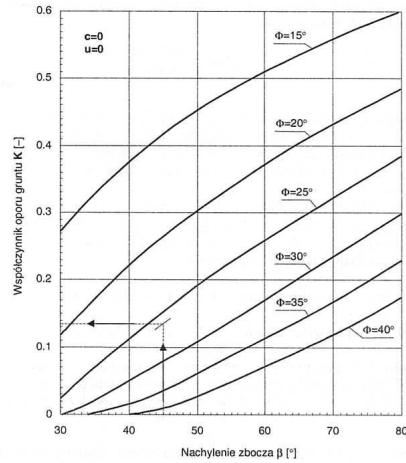
W przypadku obliczania ściany czołowej blokami betonowymi obliczeniu podlegają wkładki geosyntetyczne jako ciągną utrzymujące pionową konstrukcję ściany. Rozmieszczenie pionowe wkładek zbrojących powinno uwzględnić moduł wysokości blozka oraz możliwości zagęszczenia grubości warstw gruntu. Ilość wkładek w przekroju poprzecznym wynika z przyjętej wytrzymałości na zerwanie poszczególnych geosyntetyków.



Rys. 18. Konstrukcja segmentowego muru oporowego [22]

10. Konstruowanie stromych skarp.

Stabilizacja stromych skarp ($\beta \leq 70^\circ$) odbywa się bardzo często z udziałem zarówno geotkanin i geokrat dwukierunkowych lub jednokierunkowych. Wybór materiału geosyntetycznego na etapie projektu powinien uwzględniać optymalizację kosztową inwestycji.



Rys.21. Wartość współczynnika oporu gruntu K [28]

Współczynnik oporu gruntu $K \rightarrow f(\phi = 23^\circ \text{ i } \beta = 45^\circ)$

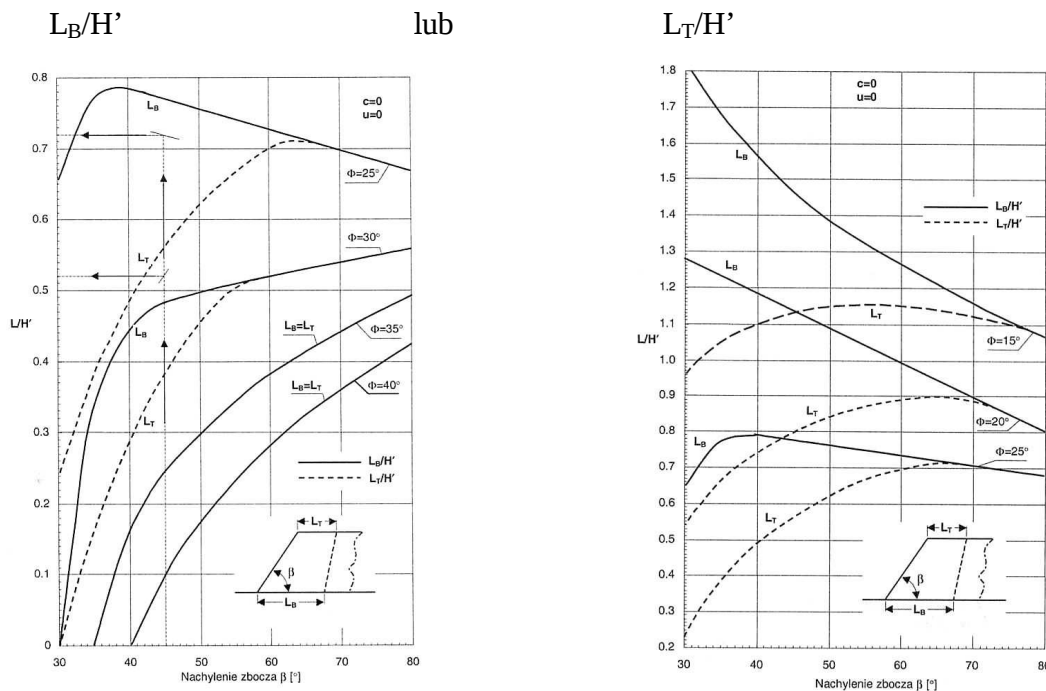
$$K = 0,17$$

Całkowita siła reakcji T_0 w geosyntetyku :

$$T_0 = 0,5 \cdot K \cdot \gamma \cdot (H')^2 = 208 \text{ kN/m}$$

Rozstaw zbrojenia w pionie można przyjmować min. $0,5 \div 1,0 \text{ m}$

Długość pasm geosyntetyków można obliczyć lub określić korzystając z nomogramów



Rys.22. Nomogramy do wyznaczania długości pasm zbrojenia geosyntetycznego w stromych skarpach [28]

11. Analiza istniejących metod obliczeniowych

W zagadnieniach określania granicznego oporu podłoża wzmocnionego geosyntetykami istnieje duża różnorodność w sposobach podejścia projektantów. Płaszczyznowo ułożone materiały wywołują nie tylko bezpośredni wzrost nośności, wywołany wytrzymałością na rozciąganie geotkanin, lecz spełniają również funkcję separującą dla różnych warstw gruntu. Efektem wtórnym (membranowym), uwarunkowanym zachowaniem pierwotnej wysokości warstwy nośnej jest wzrost nośności granicznej podłoża poprzez zmianę charakteru zniszczenia. W terminologii Terzagiego wygląda to tak, że geotkanina wymusza raczej ogólne zniszczenie niż lokalne polegające na przebiciu warstwy słabej. Poprzeczne zakotwienie kruszywem przyczynia się do szerszego rozkładu składowych naprężeń działających na podłożu, wywołanych obciążeniem powierzchni (efekt płytowy). Efekt ten nieprecyzyjnie omówiono w metodzie Stewarda oraz Giroud i Noiray'a. Efekt membranowy natomiast włączony jest do czterech z siedmiu szeroko znanych metod projektowania. Jego znaczenie uwidacznia się badając wpływ głębokości kolejiny i modułu geotkaniny.

Z całego przeglądu metod projektowych na uwagę zasługuje metoda Giroud i Noiray. Jest ona, jak się wydaje „najzgrabniejsza” z całej grupy. Metoda ta bierze pod uwagę nośność podłoża i moduł geotkaniny dla ustalenia wymaganej grubości warstwy nasypu dla danej liczby przejazdów umownych.

Różnorodność rodzajów gruntu i występujących kombinacji warstw, a przede wszystkim złożoność wpływów warunkujących pracę podłoża wzmocnianego geosyntetykami powodują, że w pełnym ujęciu zagadnienia te są rozwiązywane jedynie poprzez modelowanie numeryczne wykorzystując dostępne programy użytkowe. Według teorii z mechaniki gruntów i fundamentowania pod nasypem, po wystąpieniu stanu granicznego formuje się z reguły sztywny klin a w następnej kolejności strefy plastycznego płynięcia z wyporem gruntu na powierzchni. Zadaniem zbrojenia jest hamowanie rozwoju stref plastycznych, możliwych poślizgów, klinów odłamu oraz stawianie oporu na wyciąganie. Poznanie mechanizmów zniszczenia działających w masywie konsolidowanego gruntu oraz współoddziaływania gruntu - geosyntetyków pozwala na swobodę w wyborze sposobu zbrojenia budowli. Współczynniki tarcia i zakotwienia oraz zasięg stref wyporu gruntów słabych poddanych obciążeniu nasypem umożliwiają określenie:

- tempa konsolidacji (parametry fizyko - mechaniczne gruntów),
- rozstawu drenów dla drenażu pionowego,
- szerokości kontrbankietów i ich wysokości,
- wysokości nadnasypów przeciążających i
- wielkości osiadań podłoża.

12. Efekty ekonomiczne wynikające ze stosowania geosyntetyków w różnych konstrukcjach inżynierskich

Rodzaj konstrukcji	Technologie tradycyjne	Proponowane rozwiązania	Efekty	
			Ekonomiczne	Użytkowe
Mur oporowy	• żelbet	• geosyntetyki	do 40 %	1. Bez-awaryjność konstrukcji 2. Eliminacja remontów i napraw bieżących 3. Skrócenie cyklu inwestycji
Place manewrowe, Parkingi	• nasypy ziemne • wymiana gruntu	• geosyntetyki	do 50 %	
Uzdatnianie terenów bagiennych	• wymiana gruntu • kolumny cem.-wap. • kolumny żwir.-kam.	• drenaż pionowy z syntetycznych wkładek	do 80 %	
Drogi, linie kolejowe, wały ppow.	• nasypy ziemne • wymiana gruntu	• geosyntetyki • geotuby • geokontenery	do 40 %	
Rekultywacja terenów zdegradowanych	• przykrycie grubymi warstwami gruntu	• geomembrany • bentomaty • biowłókniny	do 40 %	
Remonty nawierzchni bitumicznych	• nowe warstwy bitumiczne	• geosiatki • geowłókniny PES	do 25 %	

13. Podsumowanie.

Przedstawione zagadnienia pokazują szerokie możliwości zastosowania geosyntetyków w budownictwie m.in. przy budowie i zabezpieczaniu wałów ppow., grobli, zapór, tam, nabrzeży, brzegów rzek, wybrzeży morskich, wysokich skarp, nasypów, murów oporowych, przy umacnianiu koryt rzecznych i skarp budowli hydrotechnicznych, przy budowie dróg dojazdowych, ulepszonych i tymczasowych posadawianych niejednokrotnie na gruntach słabych. Pomimo swojej różnorodności materiały i technologie opisane wyżej charakteryzują się kilkoma wspólnymi cechami do których zaliczyć można :

- łatwość i szybkość wykonania,
- trwałość i bezawaryjność eksploatacji konstrukcji,
- brak konieczności tworzenia wielkich placów budów

przy założeniu jednak, że geosyntetyki zostaną prawidłowo zwymiarowane i będą odpowiednio dobrane do istniejących, czy też prognozowanych warunków obciążenia i długotrwałej eksploatacji.

Przedstawione w opracowaniu zagadnienia mogą wspomóc pracę projektantów w budownictwie ziemnym zwłaszcza drogowym i kolejowym, wykorzystujących różnego rodzaju materiały syntetyczne celem zwiększania wytrzymałości gruntów. Problematyka wzmacniania obiektów inżynierskich wymaga stosowania bardzo dobrych jakościowo materiałów geotekstylnych jak również przygotowania merytorycznego projektantów i wykonawców robót.

Literatura :

1. BS 8006:1995 Code of practise for strengthned/reinforced soil and oter fills
2. PN-EN 13251:2000 Geotekstyli i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane przy stosowaniu w robotach ziemnych, fundamentowych i konstrukcjach oporowych
3. PN-ES-02205:1998Drogi samochodowe.Roboty ziemne.Wymagania i badania
4. PN-81/B-03020 Posadowienia bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie
5. PN-83/B-03010 Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
6. Colbond Workshop: Design Concepts of Reinforced Walls, Slopes and Embankments. W-wa 2007
7. Dembicki E., Jermołowicz P., Niemunis A. : Bearing capacity of strip foundation on soil reinforced by geotextile. In 3 rd Int. Conf.on Geotextiles, Vienna 1986

8. Dembicki E., Jermołowicz P.: Model tests of bearing capacity of a weak subsoil reinforced by geotextiles. In 1 rd Indian Geotextiles Conf. on Reinforced Soil and Geotextiles. Bombay 1988
9. Dembicki E., Jermołowicz P.: Soil – Geotextile Interaction. Geotextiles and Geomembranes 1991, nr 10, s. 249-268
10. ITB. Instrukcje, wytyczne, poradniki Nr 429/2007
11. Jermołowicz P.: Zastosowanie geowłóknin w aspekcie zagadnień melioracyjnych. Materiały Konf. P.S. 1982
12. Jermołowicz P.: Zastosowanie geowłóknin do wzmacniania słabych podłoży gruntowych. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 26, Szczecin 1987, s. 111 – 128
13. Jermołowicz P., Sołowczuk A.: Praktyczne zastosowania geowłókniny. Materiały XLII Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Kraków - Krynica 1996, s. 61 - 68
14. Jermołowicz P.: Geosyntetyki w drogownictwie. BTE 1997, nr 2. s. 20 – 21
15. Jermołowicz P. : Geotuba – nowoczesna technologia w budownictwie hydrotechnicznym. Materiały Budowlane 2004, nr 8
16. Koerner R.M. Designing with geosynthetics, (Fifth edition) Prentice Hall 2005
17. Materiały z XVI z Konferencji: Warsztat pracy projektanta konstrukcji. Ustroń 2001
18. Materiały z konferencji Naukowo-Technicznej: Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynierskim. Częstochowa 2006
19. Materiały z Seminarium IBDiM i PZWFS ; Wzmacnianie podłoża gruntowego i fundamentów budowli. W-wa 2007
20. Materiały z Seminarium IGS: Geosyntetyki podstawą współczesnej geoinżynierii W-wa 2007
21. Pisarczyk S.: Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego P.W. 2005
22. Podręczniki do projektowania dla programów SRWalls, Reslope, ReSSa, Plaxis v.7,0, Slope W, MSEW
23. Rolla S.: Geotekstylia w budownictwie drogowym WKŁ 1988
24. Rozporządzenie Min.Transp.i Gosp. Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 43/1999)
25. Rozporządzenie MSWiA w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. Nr 126/1998)
26. Sawicki A., Leśniewska D.: Grunt zbrojony-teoria i zastosowanie. PWN W-wa 1993
27. Sobolewski J., Ajdukiewicz J.: Zasady wymiarowania zbrojenia geosyntetycznego w nasypach i konstrukcjach oporowych linii kolejowych. Materiały z seminarium ITB W-wa 2001
28. Wesolowski A. [i in.]: Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Wyd. SGGW. W-wa 2000
29. Wiłun Z.: Zarys Geotechniki. WKŁ 1982
30. Wysokiński L.: Funkcje i zasady układania geosyntetyków. Materiały Budowlane 2001, nr 7
31. Wysokiński L. : Skuteczność stosowania geosyntetyków. Materiały Budowlane 2001, nr 7
32. Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. IBDiM, W-wa 2002

Część II

**Kryteria i zasady doboru geosyntetyków
w zależności od rodzaju projektowanej
konstrukcji.**

1. Kryteria doboru właściwości filtracyjnych, separacyjnych i mechanicznych.

Właściwości	Wymagania dotyczące				
	drenażu	filtracji	separacji	wzmocnienia	ochrony
Wymiary geometryczne: długość, szerokość, grubość przy nacisku 2 kPa $\pm$ 0,01 kPa, w przypadku drenażu również przy nacisku 20 i 200 kPa	wg deklaracji producenta	wg deklaracji producenta $\pm$ 1%	wg deklaracji producenta	wg deklaracji producenta	wg deklaracji producenta
Masa powierzchniowa [g/cm ²]	wg deklaracji producenta	wg deklaracji producenta	wg deklaracji producenta	wg deklaracji producenta	wg deklaracji producenta
Wytrzymałość na rozciąganie – w obu kierunkach nie mniej niż [kN/m]	3	3	3	20	10
Wydłużenie przy zerwaniu – w obu kierunkach nie mniej niż [%]	35	35	50	nie więcej niż 10	35
Wytrzymałość na przebicie statyczne, siła nacisku trzpienia (badanie CBR) [N]	500	500	1000	2500	1500
Wytrzymałość na przebicie dynamiczne, średnica otworu nie większa niż [mm]	50	50	30	15	20
Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do płaszczyzny, nie mniej niż [m/s]	1×10^{-4}	1×10^{-5}	$k_v \geq 10^{-5}$ $k_v \geq 100 \times k_{gruntu}$	1×10^{-5}	1×10^{-5} $k_v \geq 100 \times k_{gruntu}$
Wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie (przy nacisku 2, 20 i 200 kPa) nie mniej niż [m/s]	1×10^{-3}				
Charakterystyczna wielkość porów O_{90} [mm]	$0,03 \leq O_{90} \leq 0,2$	$0,06 \leq O_{90} \leq 0,2$	$0,06 \leq O_{90} \leq 0,2$		$0,06 \leq O_{90} \leq 0,2$
Wytrzymałość na rozdzielanie w obu kierunkach, nie mniej niż [N]				250	
Wytrzymałość trwała (dopuszczalne wydłużenie dla przewidzianego okresu użytkowania)				wg wymagań wykonawcy obiektu	
Współczynnik tarcia geowłóknina – grunt [°]				jw.	
Odporność na czynniki atmosferyczne					duża

Tab.1 Minimalne kryteria doboru geosyntetyków .

W zależności od zastosowania – materiały geosyntetyczne muszą spełniać odpowiednie kryteria dotyczące właściwości hydraulicznych i mechanicznych- ich minimalne wartości zestawiono w tablicy 1. Kryterium dotyczące właściwości hydraulicznych gwarantuje, że geosyntetyki będą pełniły funkcje drenażowe lub filtracyjne w trakcie projektowanego okresu eksploatacji.

Są to kryteria :

- zatrzymywania cząstek gruntu,
- przepuszczalności i odporności na kolmatację.

Kryterium dotyczące właściwości mechanicznych gwarantuje zachowanie struktury geosyntetyków zarówno podczas instalacji jak i w całym projektowanym okresie eksploatacji.

Kryterium to obejmuje :

- wytrzymałość mechaniczną z uwagi na rozciąganie i przebicie.

1.1. Kryterium zatrzymywania cząstek gruntu.

Zasada nieprzenikania cząstek gruntu polega na zatrzymywaniu dostatecznej ich ilości , a więc stworzenia stałego progu zapobiegającego migracji cząstek przy zachowaniu projektowanej sprawności filtra.

Już w 1985 r. przedstawiono koncepcję pracy filtra, według której pewna ilość cząstek gruntu może przenikać przez geosyntetyki. Ma to na celu zminimalizowanie zatykania się filtra.

W tablicy 2 przedstawiono różne kryteria przyjmowane dla geosyntetyków w przypadku przepływu laminarnego. Odrębnym tematem są przepływy burzliwe w kanałach otwartych.

Podstawową wadą wszystkich proponowanych kryteriów jest to, że odnoszą się do charakterystycznej wielkości porów danego produktu, a nie całkowitej struktury. Zatem za niepoprawne należy uznać przyjmowanie wyłącznie kryterium zatrzymywania cząstek i kryterium przepuszczalności jako wystarczających wymagań projektowych. Przed przyjęciem danego sposobu określania zatrzymywania projektant powinien sprawdzić założenia i podstawy mechanizmu zatrzymywania oraz zgodność ze specyfikacją warunków późniejszej pracy. Nadal aktualnym problemem pozostaje określenie charakterystycznej wielkości porów.

W projektowaniu często przyjmuje się, że geosyntetyki powinny mieć przepuszczalność dziesięciokrotnie większą od przepuszczalności gruntu ze względu na stosunkowo małą ich grubość w porównaniu z filtrowanym gruntem.

Źródło	Kryterium	Uwagi
Calhoun (1972)	$O_{95}/d_{95} < 1$ $O_{95} < 0,2 \text{ mm}$	tkaniny $> 50\%$ ziaren przechodzi przez sito nr 200 uS (0,075 mm); tkaniny, grunty spoiste
Zitscher (1975) (Rankilor, 1981)	$O_{50}/d_{50} < 1,7-2,7$ $O_{50}/d_{50} < 25-37$	tkaniny $U < 2$, $d_{50} = 0,1+0,2 \text{ mm}$ włókniny, grunty spoiste
Ogink (1975)	$O_{90}/d_{90} < 1$ $O_{90}/d_{90} < 1,8$	tkaniny włókniny
Sweetland (1977)	$O_{15}/d_{85} < 1$ $O_{15}/d_{15} < 1$	włókniny $U = 1,5$ włókniny $U = 4$
ICI Fibers (1978) (Rankilor, 1981)	$O_{50}/d_{85} < 1$ $O_{15}/d_{15} > 1$	włókniny $0,02 < d_{85} < 0,25 \text{ mm}$ włókniny $d_{85} > 0,25 \text{ mm}$
Schober i Teindl (1979) bez współ. bezpieczeństwa	$O_{90}/d_{50} < 2,5-4,5$ $O_{90}/d_{50} < 4,5-7,5$	tkaniny, cienkie włókniny, zależne od U grube włókniny, zależnie od U ; pył i piasek
Millar Ho i Turnbull (1980)	$O_{50}/d_{85} < 1$	tkaniny i włókniny
Giroud (1982)	$O_{95}/d_{50} < (9-18)U$	zależnie od U i zagęszczenia
Carroll (1983)	$O_{95}/d_{85} < 2-3$	tkaniny i włókniny
Christopher i Holtz (1985)	$O_{95}/d_{85} < 1-2$ $O_{95}/d_{15} < 1$ lub $O_{50}/d_{85} < 0,5$	zależnie od rodzaju gruntu i U przepływ dynamiczny, pulsacyjny i cykliczny
Francuski Komitet Geowłóknin i Geomembran (1986)	$O_{50}/d_{85} < 0,38-1,25$	zależnie od rodzaju gruntu, zagęszczenia i warunków hydraulicznych
Fischer, Christopher i Holtz (1990)	$O_{50}/d_{85} < 0,8$ $O_{50}/d_{15} < 1,8-7,0$ $O_{50}/d_{50} < 0,8-2,0$	oparte na podziale wielkości porów w geotekstyliach, zależne od U
O_{95} , d_{95} – średnice miarodajne odpowiednio dla geofiltra i gruntu U – wskaźnik różnoziarnistości UWAGA: Literatura w [11]		

Tab.2. Kryteria retencyjności-zatrzymywania cząstek gruntu dla geosyntetyków (jednokierunkowy przepływ).[8]

1.2. Kryterium przepuszczalności.

Źródło	Kryterium	Uwagi
Calhoun (1972), Schober i Treindl (1979), Wates (1980), Carrol (1983), Haliburton (1982), Christopher i Holtz (1985)	$k_f > k_s$	przepływ laminarny, dla niekrytycznych zastosowań i nieskomplikowanych warunków gruntowych
Carroll (1983), Christopher i Holtz (1985)	$k_f > 10k_s$	krytyczne zastosowania i skomplikowane warunki gruntowe
Giroud (1982)	$k_f > 0,1k_s$	brak współczynników bezpieczeństwa
k_f – współczynnik filtra, k_s – współczynnik gruntu.		

Tab.3 Kryteria przepuszczalności dla geosyntetyków. [8].

Najczęściej stosowane kryteria przepuszczalności przedstawiono w tablicy 3.

Przyjmuje się w nich, że geosyntetyki muszą mieć odpowiednią przepuszczalność w celu zabezpieczenia przed nadmiernym wzrostem ciśnienia wody w porach i do utrzymania odpowiedniego przepływu.

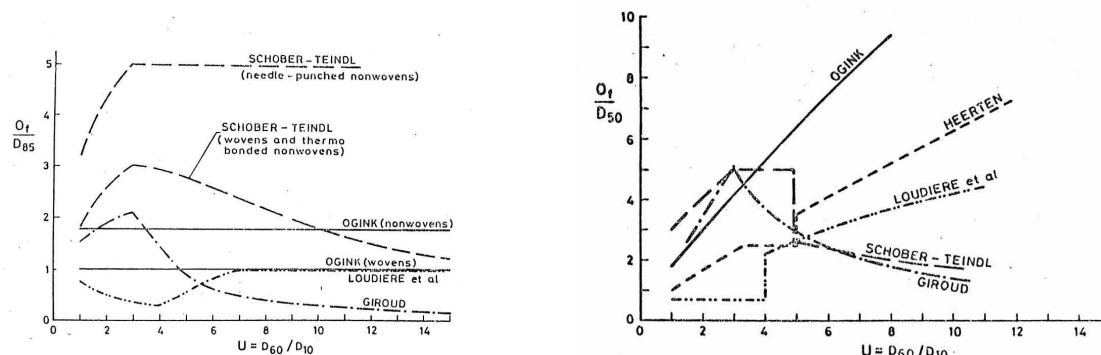
1.3. Kryterium odporności na kolmatację.

Kolmatacja występuje, gdy drobne cząstki gruntu penetrując w głąb geosyntetyków, powodują spadek ich przepuszczalności. Kolmatacja zależy od relacji między ziarnami i cząstkami w gruncie i ich zdolności blokowania porów w geosyntetykach. Wypełnienie większości porów cząstkami gruntu spowoduje znaczną redukcję przepuszczalności i objętości przepływu, a tym samym możemy uzyskać niejednokrotnie efekt quasi geomembrany (folii – materiał nieprzepuszczalny).

Geosyntetyki nawet o małej porowatości będą bardziej przepuszczalne niż grunt, szczególnie drobnoziarnisty.

A: Wartości krytyczne – dla trudnych warunków zastosowań.
Przeprowadzenie badania grunt – geotekstyli (wg Calhoun, 1972; Haliburton i inni, 1982; Giroud 1982; Carrol 1983; Christopher i Holtz 1985; Koerner 1990).
B: Mniej krytyczne i łatwiejsze warunki.
1. Badanie filtracji grunt – geotekstyli
2. Zakresy minimalnych wymaganych charakterystycznych wielkości porów dla gruntów zawierających cząstki drobne: $O_{95} > 3d_{15}$ dla $U > 3$ (Christopher i Holtz 1985, 1989), $O_{15}/d_{15} > (0,8 \div 1,2)$; $O_{50}/d_{50} > (0,2 \div 1,0)$ (Fischer i inni 1990).
3. Dla $U < 3$ geotekstyli z maksymalnymi wielkościami porów należy określić według kryteriów zatrzymywania.
4. Wartości przestrzeni wolnych. Tkane geotekstyli więcej niż (4÷6)% wolnych przestrzeni (Calhoun 1972, Koerner 1990) Nietkane geotekstyli (włókniny) więcej niż (30÷40)% wolnych przestrzeni (Christopher i Holtz 1985, Koerner 1990)

Tab.4. Kryteria odporności na kolmatację. [8]



Rys.1. Kryteria retencyjności według różnych autorów dla materiałów tkanych i igłowanych. [4]

W tablicy 4 przedstawiono istniejące zalecenia dotyczące oceny podatności geofiltrów na kolmatację.

W trudnych warunkach gruntowo-wodnych należy wykonać odpowiednie badania filtracji na próbkach gruntu pobranych w miejscu wbudowania.

2. Klasyfikacja geosyntetyków dla warstw separacyjnych i filtrów.

W analizowanym systemie klasyfikacji BS 8006 [1], klasy wytrzymałości określa się na podstawie wymaganej wytrzymałości na rozciąganie przy określonym odkształceniu materiału (tab.5).

Klasyfikacja właściwości mechanicznych	Wymagana wytrzymałość na rozciąganie ¹ [kN/m]	
	przy odkształceniu geotekstyliów ² $\leq 30\%$	przy odkształceniu geotekstyliów ² $\geq 30\%$
Klasa 1	≥ 10	≥ 2
Klasa 2	≥ 15	≥ 4
Klasa 3	≥ 20	≥ 6
Klasa 4	≥ 30	≥ 10
Klasa 5	≥ 50	≥ 15
Klasa 6	N.A.	N.A.
Klasa 7	≥ 70	N.A.
Uwaga ! ¹ Wytrzymałość na rozciąganie jest to minimalna wartość mierzona zgodnie z [5] w kierunku niższej wytrzymałości geotekstyliów. ² Odkształcenie geotekstyliów jest to minimalna wartość mierzona zgodnie z [5] w kierunku mniejszego odkształcenia geotekstyliów N.A. – nie stosuje się		

Tab. 5 . Klasyfikacja warstw separacyjnych i filtracyjnych z geosyntetyków ze względu na ich właściwości mechaniczne. [1]

Klasyfikacja właściwości hydraulicznych	Charakterystyczna wielkość porów ¹ O_{90} [μm]	Prędkość przepływu wody ² $L/(m^2 \cdot s)$ przy spadzie 100 mm
Klasa 0	≤ 500	≥ 5
Klasa 1	$250 < O_{90} \leq 400$	≥ 100
Klasa 2	$150 < O_{90} \leq 250$	≥ 100
Klasa 3	$100 < O_{90} \leq 150$	≥ 75
Klasa 4	$75 < O_{90} \leq 100$	≥ 50
Klasa 5	≤ 75	≥ 30

Tab.6. Klasyfikacja warstw separacyjnych i filtracyjnych z geosyntetyków ze względu na ich właściwości hydrauliczne [1]

Inną propozycję przyporządkowania klas wytrzymałości geosyntetyków zawarto w „Wytycznych ...”[18]. Klasy wytrzymałości określa się na podstawie rodzaju materiału, masy powierzchniowej oraz maksymalnej siły rozciągającej dla materiałów o wyższej wytrzymałości na rozciąganie (tkaniny, dzianiny) lub siły ścinającej z badania CBR dla materiałów o dużej odkształcalności. Klasyfikację tę przedstawiono w tablicy 7 .

Wyroby	Geowłókniny		Geotkaniny z tasiemek		Geotkaniny z wiązek wielowłóknowych	
Klasa wytrzymałości GRK	siła przebijania (badanie CBR) (x^*-s) [kN]	masa powierzchniowa [g/m ²]	wytrzymałość na rozciąganie ^{x)} (x^*-s) [kN/m]	masa powierzchniowa [g/m ²]	wytrzymałość na rozciąganie ^{x)} (x^*-s) [kN/m]	masa powierzchniowa [g/m ²]
GRK 1	$\geq 0,5$	≥ 80	≥ 20	≥ 100	≥ 60	≥ 230
GRK 2	$\geq 1,0$	≥ 100	≥ 30	≥ 160	≥ 90	≥ 280
GRK 3	$\geq 1,5$	≥ 150	≥ 35	≥ 180	≥ 150	≥ 320
GRK 4	$\geq 2,5$	≥ 250	≥ 45	≥ 220	≥ 180	≥ 400
GRK 5	$\geq 3,5$	≥ 300	≥ 50	≥ 250	≥ 250	≥ 550

Tab.7. Kryteria podziału klas wytrzymałości GRK geosyntetyków. [18]

Stopień obciążenia	Rodzaje zastosowań	
	materiał o ziarnach obtoczonych (kruszywo naturalne)	materiał o ostrych krawędziach ziaren (kruszywo łamane)
AS 1	zastosowania, w których naprężenia wywoływane przez materiał nasypowy nie mają wpływu na wybór geotekstyliów	
AS 2	geotekstylia pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruntami gruboziarnistymi i mieszanymi wg DIN 18196	–
AS 3	geotekstylia pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruntami gruboziarnistymi i mieszanymi (do 40% frakcji kamienistej)	geotekstylia pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruntami gruboziarnistymi i mieszanymi wg DIN 18196
AS 4	geotekstylia pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruntami gruboziarnistymi i mieszanymi (ponad 40% frakcji kamienistej)	geotekstylia pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruntami gruboziarnistymi i mieszanymi (do 40% frakcji kamienistej)
AS 5	–	geotekstylia pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruntami gruboziarnistymi i mieszanymi (ponad 40% frakcji kamienistej)

Tab.8. Stopnie obciążenia AS geosyntetyków w zależności od rodzaju nasypu. [18]

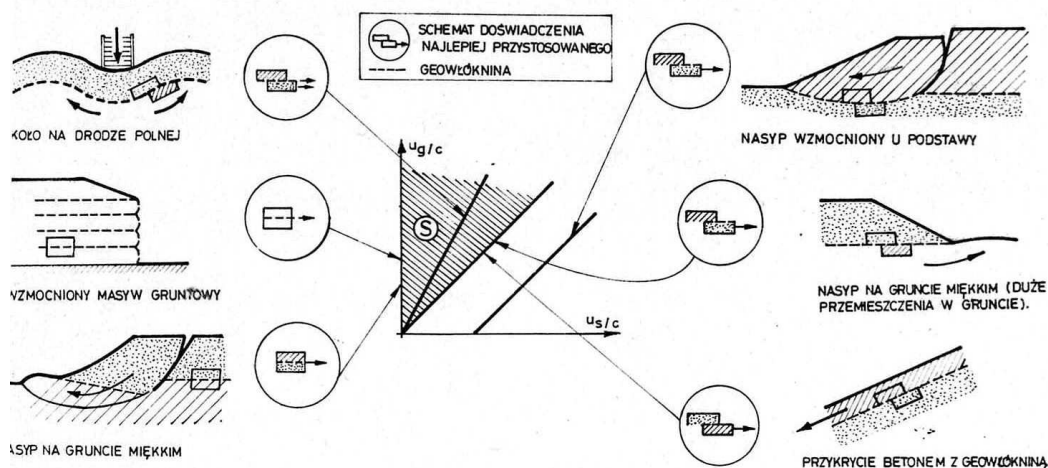
Rodzaje obciążeń	Wbudowanie materiału nasypowego	Sposób zagęszczania	Obciążenie ruchem budowlanym
AB 1	ręczne	bez wpływu	brak ruchu budowlanego
AB 2	maszynowe	maszynowe	małe (koleiny < 5 cm)
AB 3	maszynowe	maszynowe	duże (koleiny 5 do 15 cm)
AB 4	maszynowe	maszynowe	bardzo duże (koleiny ponad 15 cm)

Tab.9. Rodzaje obciążeń geosyntetyków w trakcie montażu i użytkowania. [18]

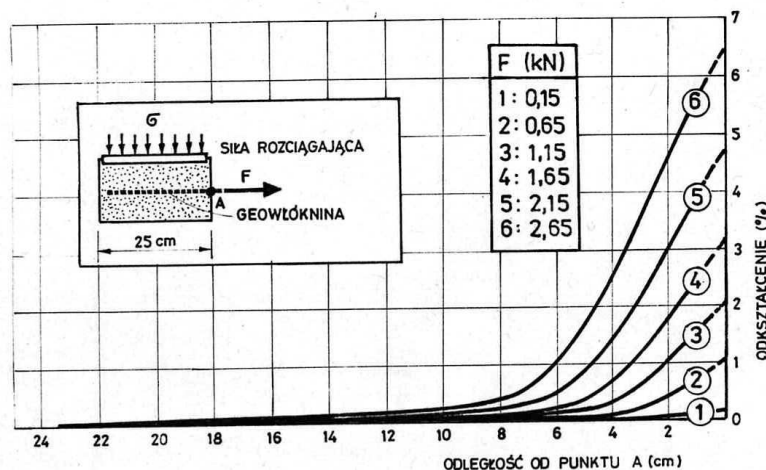
Stopień obciążenia	Rodzaj obciążenia przy wbudowaniu i ruchem budowlanym			
	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4
AS 1	GRK 1	–	–	–
AS 2	GRK 2	GRK 2	GRK 3	GRK 4
AS 3	GRK 3	GRK 3	GRK 4	GRK 5
AS 4	GRK 4	GRK 4	GRK 5	(I)
AS 5	GRK 5	GRK 5	(I)	(I)

Tab.10. Ustalenie klasy wytrzymałości GRK geosyntetyku ze względu na stopień i rodzaj obciążenia [18]

Klasyfikacja ta jest uproszczona i nie oddaje w pełni różnych zalet wyrobów, zwłaszcza wyższych klas, lecz jest użyteczna do wstępnego wyboru w typowych przypadkach zastosowań.



Rys. 2. Względne przemieszczenia gruntu i geosyntetyku w kilku typowych sytuacjach in situ i odpowiadające im badania laboratoryjne. [16]



Rys.3. Przykładowy rozkład odkształceń w geowłókninie igłowanej w czasie badania wyciągania pasma w otoczeniu gruntu, w funkcji przyłożonej siły. [16]

W przypadku kompozytów warstwowych :

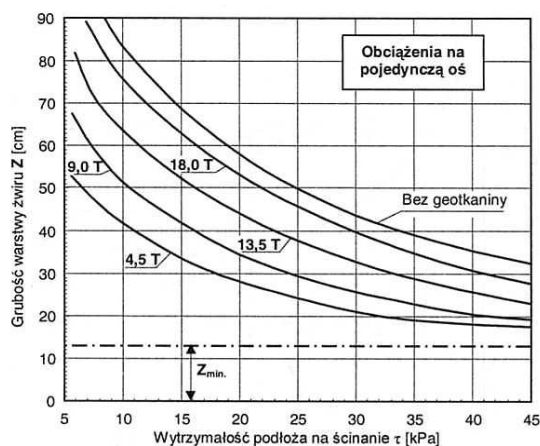
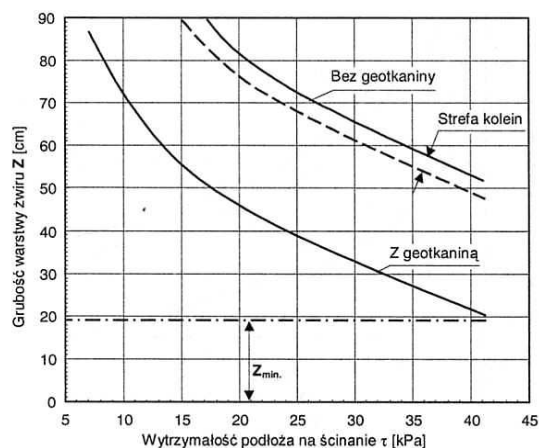
- geosiatek lub georusztów połączonych z włókniną (pełniących funkcję rozdzielającą i filtracyjną) klasę wytrzymałości można powiększyć o jeden, jeżeli wytrzymałość na rozciąganie geosiatki lub georusztu wynosi co najmniej 25 kN/m;
- tkanin lub dzianin połączonych z włókniną – klasę wytrzymałości można powiększyć o jeden, za podstawę przyjmuje się wytrzymałość na rozciąganie tkaniny lub dzianiny po ułożeniu warstwy ochronnej,
- w przypadku użycia wyrobu kompozytowego jako drenu powierzchniowego miarodajna jest tylko klasa wytrzymałości samego filtru.

3. Wybór materiałów geosyntetycznych.

Wyboru rodzaju i gatunku materiału należy dokonywać w zależności od jego przeznaczenia (rodzaju zastosowania) oraz od wymaganych właściwości mechanicznych, odporności na uszkodzenia podczas wbudowania, tarcia po gruncie, odporności na czynniki klimatyczne (atmosferyczne), chemiczne, parametrów hydraulicznych itp.

Wyboru materiałów do typowych zastosowań w budowlach drogowych z funkcją rozdzielania i filtrowania dokonuje się na podstawie klas wytrzymałości i ewentualnie dodatkowych współczynników bezpieczeństwa. W specjalnych przypadkach konieczne jest wymiarowanie materiału na podstawie szczegółowych obliczeń.

Wielu producentów zaleca swoje własne empiryczne metody projektowe, bazując na wykresach (rys. 4) uzależniających dobór grubości warstw konstrukcyjnych nawierzchni w funkcji wytrzymałości na ścinanie podłoża drogowego. Korzystanie z tych wykresów jest jednak bardzo wątpliwym podejściem z uwagi na brak możliwości oceny ich przydatności do konkretnych zastosowań.



Rys. 4. Krzywe projektowe dla geotkaniny ...

Określenie wymaganej klasy wytrzymałości.

Zgodnie z przepisami, wymagana klasa GRK zależy od stopnia obciążenia, wynikającego z właściwości materiału nasypowego oraz warunków wbudowania i obciążenia eksploatacyjnego.

Sposób postępowania jest następujący :

- na podstawie tablicy 8 ustala się stopień obciążenia AS,
- na podstawie tablicy 9 ustala się rodzaj obciążenia AB,
- z tablicy 10 wyznacza się potrzebną klasę wytrzymałości wyrobu geosyntetycznego w funkcji stopnia i rodzaju obciążenia.

4. Zastosowanie schematu klasyfikacyjnego.

Przy doborze materiału na warstwy separacyjne konieczne jest powiązanie klasyfikacji właściwości mechanicznych geosyntetyków w warunkach „in situ”. Klasy podziału geosyntetyków można powiązać z wytrzymałością podłoża (badanie CBR) oraz maksymalną miarodajną średnicą kruszywa układanego na geosynterykach (tab.10) .

Przy określaniu skuteczności warstw separacyjnych z geosyntetyków, przedstawione w tablicy 11 numery wyższych klas odzwierciedlają kruszywa o większej średnicy na separatorze z geosyntetyków oraz mniejszą wytrzymałość podłoża. Przyjęto tu, że zawsze przed rozpoczęciem zagęszczania istnieje odpowiednie przykrycie separatora z geosyntetyków kruszywem, dlatego obciążenie ruchem pojazdów nie wpływa dodatkowo na parametry eksploatacyjne. Format struktury klas z tablicy 11 jest podobny do stosowanych klas w USA, Niemczech i Skandynawii.

$d_{\max}$ [mm]		klasy 6 i/lub 7	klasa 5
200	klasa 7	klasa 5	klasa 4
175			
150		klasa 4	klasa 3
125			
100	klasa 5	klasa 3	klasa 2
75			
50		klasa 2	
25			
CBR podłoża [%]			
10 30			
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu τ_u [kN/m ²]			

Tab.11. Wyznaczanie klasy geosyntetyków w zależności od wytrzymałości podłoża i maksymalnej miarodajnej średnicy kruszywa pozostającej na sicie. [1]

Według zaleceń niemieckich wybór klasy wytrzymałości uzależnia się od warunków zastosowania (między innymi rodzaju gruntu) i obciążeń w trakcie wbudowywania warstw filtracyjnych i separacyjnych.

Warunki zastosowania *	Obciążenia podczas wbudowywania materiału *			
	AB1	AB2	AB3	AB4
AS1	Klasa 1			
AS2	Klasa 2	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4
AS3	Klasa 3	Klasa 3	Klasa 4	Klasa 5
AS4	Klasa 4	Klasa 4	Klasa 5	(1)
AS5	Klasa 5	Klasa 5	(1)	(1)

Tab.12. Klasa wytrzymałości geosyntetyku dla danego rodzaju podłoża oraz obciążeń (wg danych niemieckich).

W przypadku filtrów przy określaniu klasy wytrzymałości materiału zawsze bierze się pod uwagę podwyższone obciążenia AB3

Warunki zastosowania (AS):

AS1 – obciążenie gruntem oraz obciążenia w trakcie instalacji są pomijane i nie wpływają na wybór materiału,

AS2 – geosyntetyki między piaskiem drobnoziarnistym i gruboziarnistym lub w podłożu różnoziarnistym,

AS3 – geosyntetyki między piaskiem drobnoziarnistym, gruboziarnistym lub w podłożu różnoziarnistym z zawartością kamieni do 40 %,

AS4 – geosyntetyki między piaskiem drobnoziarnistym, gruboziarnistym lub w podłożu różnoziarnistym z zawartością kamieni lub łucznia powyżej 40 %,

AS3 – geosyntetyki między piaskiem drobnoziarnistym, gruboziarnistym lub w podłożu różnoziarnistym z zawartością łucznia i ostrokrawędzistych bloków skalnych powyżej 40 %,

Obciążenia podczas instalacji (AB):

AB1 – ręczne zagęszczanie gruntu nad powierzchnią geosyntetyków, bez znacznego obciążenia,

AB2 – montaż materiału i zagęszczanie gruntu nad powierzchnią geosyntetyków za pomocą maszyn, bez istotnego obciążenia od zagęszczarek (walców),

AB3 – instalacja materiału i zagęszczanie gruntu nad powierzchnią geosyntetyków za pomocą maszyn, podwyższone obciążenie od zagęszczarek (walców) przy dopuszczalnej głębokości śladów od 5 do 15 cm,

AB4 – instalacja materiału i zagęszczenie gruntu nad powierzchnią geosyntetyków za pomocą maszyn, wyjątkowe obciążenie od zagęszczarek (walców) przy dopuszczalnej głębokości śladów powyżej 15 cm.

Przy korzystaniu ze schematów klasyfikacyjnych dla warstw separacyjnych z geosyntetyków wymagane jest uwzględnienie ich rodzaju zastosowania. W tablicy 13 przedstawiono schemat, podobny do zaprezentowanego przez Lawsona, w którym właściwości hydrauliczne powiązano z pełnioną funkcją i rodzajem warstw drenażowych.

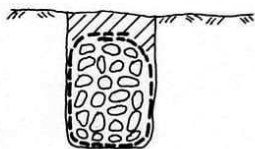
Funkcje geotekstyliów	Klasy geotekstyliów
1. Gdy stosowany jest separator z geotekstyliów i wymagany jest nieznaczny drenaż	klasa 0
2. Gdy stosowany jest separator z geotekstyliów i wymagana jest filtracja wody gruntowej: a) gdy warstwą drenażową jest piasek [4] b) gdy warstwą drenażową jest il [4] c) gdy warstwą drenażową jest glina lub grunt organiczny [4]	numer klasy dostosowany do $d_{15} \leq O_{90} \leq d_{85}$ klasy 3 lub 4 klasy 3,4 lub 5
3. Gdy separator z geotekstyliów używany jest przy pompowaniu wody z podłoża	klasa 5
Uwaga! d_{15} i d_{85} odnoszą się do odpowiednich frakcji kruszywa, a O_{90} odnosi się do charakterystycznej wielkości porów w separatorze geotekstylnym	

Tab.13. Zależność właściwości hydraulicznych geosyntetyków z funkcją i rodzajem warstw drenażowych. [1]

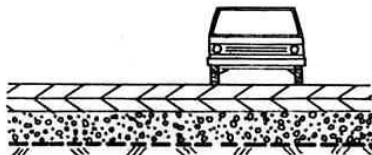
W celu zagwarantowania odpowiedniej sprawności filtrów z geosyntetyków należy powiązać klasy właściwości mechanicznych i hydraulicznych z warunkami „in situ”. W tablicy 14 przedstawiono schemat, w którym klasy właściwości mechanicznych filtra odniesiono do rodzaju drenażu wglębnego. Klasy te uwzględniają zarówno naprężenia mechaniczne powstałe w trakcie instalacji, jak i w okresie eksploatacji.

Rodzaj zastosowania	Numer klasy geotekstyliów
1. Dreny korytkowe o głębokości: a) ≤ 1 m b) ≤ 2 m c) > 2 m	klasa 1 klasa 3 klasa 5
2. Poziome warstwy drenażowe	klasy wg klasyfikacji separatorów geotekstylnych ze względu na ich właściwości mechaniczne
3. Pochyłe warstwy drenażowe	klasa 3
4. Pionowe warstwy drenażowe	klasa 3

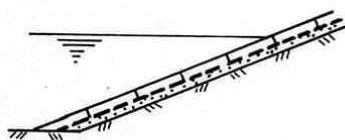
Tab.14. Klasy geosyntetyków w zależności od rodzaju drenażu wglębnego [1]



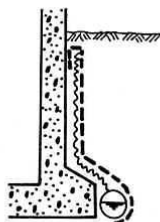
Rys. 5. Drenaż objętościowy (korytkowy)



Rys.6 Poziome warstwy drenażowe.



Rys.7. Pochyłe warstwy drenażowe.



Rys. 8. Pionowe warstwy drenażowe.



Klasy właściwości hydraulicznych powiązano z rodzajem drenowanego gruntu w sposób przedstawiony w tablicy 15.

Rodzaj gruntu	Numer klasy geotekstyliów
1. Grunty piaszczyste [4]	numer klasy dostosowany do $d_{15} \leq O_{90} \leq d_{85}$
2. Przeważające grunty drobne [4]	numer klasy dostosowany do
a) o wskaźniku plastyczności < 10%	$d_{15} \leq O_{90} \leq d_{85}$
b) o wskaźniku plastyczności $\geq 10\%$	$0,05 \leq O_{90} \leq 0,20$
Uwaga! d_{15} i d_{85} odnoszą się do odpowiednich frakcji kruszywa drenażowego gruntu	

Tab.15. Klasy właściwości hydraulicznych geosyntetyków w zależności od rodzaju gruntu. [1]

Inny sposób projektowania systemów drenażowych i filtrów geosyntetycznych stosuje się w Niemczech. Według zaleceń przy projektowaniu filtrów geosyntetycznych należy sklasyfikować podłoże w następujący sposób :

- drobnoziarniste $d_{60} < 0,06 \text{ mm}$,
- grubo – i różnoziarniste $d_{60} > 0,06 \text{ mm}$.

W przypadku podłoży wątpliwych :

- drobnoziarniste o wskaźniku plastyczności $I_p < 0,15$ i/ lub stosunek części ilastych do pylistych $< 0,5$,

- grubo – i różnoziarniste o zawartości frakcji pyłastej (średnica ziaren $< 0,06$ mm)

$U = d_{60}/d_{10} \leq 15$ i/lub zawartość ziaren frakcji $(0,02-0,1)\text{mm} > 50\%$.

Przy projektowaniu filtrów uwzględnia się takie parametry jak ;

1. działanie mechaniczne filtra (zatrzymywanie cząstek gruntu)

- grunt drobnoziarnisty $0_{90} \leq 10 d_{50}$

- grunty trudniejsze $0_{90} \leq d_{50}$

- grunt grubo- i różnoziarnisty $0_{90} < 5 d_{50} \cdot \sqrt{U}$ i $0_{90} \leq d_{50}$

2. odporność na kolmatację

Kryterium odporności na kolmatację $0_{50} > (0,2 - 1) \cdot d_{50}$

3. hydrauliczne działanie filtra (wodoprzepuszczalność).

W celu zapewnienia prawidłowej pracy filtra należy przy jego wymiarowaniu uwzględnić współczynnik zmniejszający η , który zależy od podłoża i rodzaju filtra.

Materiał filtracyjny powinien umożliwić filtrację nie mniejszą niż dla danego podłoża, dlatego :

$$\eta \cdot k_{vf} > k_{vp}$$

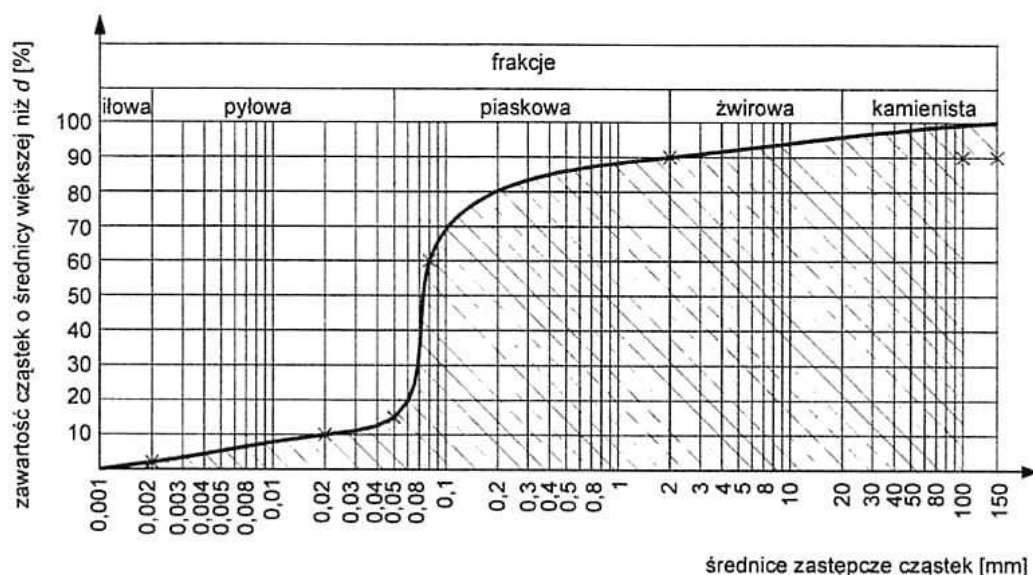
gdzie :

η – współczynnik zmniejszający zależny od typu filtra i parametrów podłoża,

k_{vf} – współczynnik filtracji dla materiału filtra określony w badaniu pod obciążeniem 2kPa,

k_{vp} – współczynnik filtracji dla podłoża.

Dla włókien o grubości powyżej 2 mm i tkanin w kontakcie z piaskiem i gliną stosuje się współczynniki zmniejszające η . Dla innych materiałów i podłoży współczynniki zmniejszające η należy określić na podstawie wyników badań filtracji wykonanych na pobranych próbkach gruntu.



Rys.9. Krzywa uziarnienia spełniająca warunki brzegowe składu granulometrycznego gruntu wypełniającego zasypki. [10]

5. Normalizacja procesów projektowych.

Tocząca się obecnie dyskusja dotycząca zasad projektowania warstw filtracyjnych i separacyjnych znajduje swoje odzwierciedlenie w opracowywanych obecnie normach europejskich, które stopniowo są wdrażane również w naszym kraju. Przedstawione w niniejszej pracy systemy pozwalają na dokonywanie odpowiednich ocen przydatności poszczególnych materiałów w konkretnych sytuacjach projektowych i z tego względu mogą stanowić bardzo dużą pomoc w projektowaniu. Przy projektowaniu warstw filtracyjnych i separacyjnych z materiałów geosyntetycznych należy opierać się na schematach klasyfikacyjnych, uwzględniających parametry mechaniczne geosyntetyków (wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na przebicie, odkształcalność i masa powierzchniowa) oraz ich właściwości hydrauliczne (wodoprzepuszczalność i charakterystyczna wielkość porów).

Klasy właściwości mechanicznych i hydraulicznych geosyntetyków powinny być potwierdzane przez badania kontrolne na próbkach pobranych z obiektów bezpośrednio po wbudowaniu materiału (w celu sprawdzenia czy w czasie instalacji nie uległy zmianie parametry materiału) oraz badania okresowe (ze względu na zmiany reologiczne i procesy starzenia materiału).

We wspomnianej serii norm europejskich określono charakterystyki geosyntetyków i wyrobów pokrewnych, wymagane przy ich stosowaniu w różnych dziedzinach budownictwa. Określono tam, jakie cechy wyrobów powinny być podawane przez producentów przy dopuszczeniu na rynek, jak również podano metody ich określania, sposób prowadzenia kontroli produkcji i oceny trwałości wyrobów geosyntetycznych. Normy te ustanawiają kryteria pozwalające jasno porównywać poszczególne wyroby.

Nr normy CEN	Tytuł normy	Data ustanowienia	Odpowiednik PN
EN 13361:2004	Bariery geosyntetyczne. Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy zbiorników i zapór	2004-08-18	PN-EN 13361:2005
EN 13362:2005	Bariery geosyntetyczne. Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy kanałów	2005-04-20	w opracowaniu prPN-EN 13362
EN 13491:2004	Bariery geosyntetyczne. Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych jako bariery nieprzepuszczalne dla płynów do budowy tunelów i budowli podziemnych	2004-08-18	PN-EN 13491:2005
EN 13492:2004	Bariery geosyntetyczne. Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy miejsc składowania odpadów płynnych, stacji przejściowych i zbiorników wtórnych	2004-09-01	PN-EN 13492:2005
EN 13493:2005	Bariery geosyntetyczne. Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy magazynów i składowisk odpadów stałych	2005-05-18	w opracowaniu prPN-EN 13493
prEN 15382	Bariery geosyntetyczne. Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych w infrastrukturze transportowej	w opracowaniu CEN/TC 189	

Tab.16. Wykaz europejskich norm „mandatowych” (EN) dotyczących zastosowań barier geosyntetycznych. [13]

Nr normy CEN	Tytuł normy	Data ustanowienia	Odpowiednik PN
EN 13249:2000	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy dróg i innych powierzchni obciążonych ruchem (wyłączając drogi kolejowe i nawierzchnie asfaltowe)	2000-12-13	PN-EN 13249:2002
EN 13250:2000	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy dróg kolejowych	2000-12-13	PN-EN 13250:2002
EN 13251:2000	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych w robotach ziemnych, fundamentowaniu i konstrukcjach oporowych	2000-12-13	PN-EN 13251:2002
EN 13252:2000	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych w systemach drenażowych	2000-12-13	PN-EN 13492:2005
EN 13253:2000	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych w zabezpieczeniach przeciwerozrywnych (ochrona i wzmacnianie brzegów)	2000-12-13	PN-EN 13253:2002
EN 13254:2000 EN 13254 /AC:2003	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy zbiorników wodnych i zapór	2000-12-13 2003-09-25	PN-EN 13254:2002 PN-EN 13254/AC:2004
EN 13255:2000 EN 13255 /AC:2003	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy kanałów	2000-12-13 2003-09-25	PN-EN 13255:2002 PN-EN 13255/AC:2004
EN 13256:2000 EN 13256 /AC:2003	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy tuneli i konstrukcji podziemnych	2000-12-13 2003-09-25	PN-EN 13256:2002 PN-EN 13256/AC:2004
EN 13257:2000 EN 13257 /AC:2003	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy składowisk odpadów stałych	2000-12-13 2003-09-24	PN-EN 13257:2002 PN-EN 13257/AC:2004
EN 13265:2000 EN 13265 /AC:2003	Geotekstylia i wyroby pokrewne Wymagania odnośnie do wyrobów stosowanych do budowy zbiorników odpadów ciekłych	2000-12-13 2003-09-24	PN-EN 13265:2002 PN-EN 12265/AC:2004

Tab.17. Wykaz europejskich norm „mandatowych” (EN) dotyczących zastosowań geosyntetyków. [13]

W niżej przedstawionych tablicach zestawiono podane w wymienionych wyżej normach badania geosyntetyków i materiałów pokrewnych, jakie należy przeprowadzić w zależności od ich przewidywanego zastosowania i funkcji. W tablicach tych przyjęto następujące oznaczenia :

- H - charakterystyka o znaczeniu zasadniczym,
- A – charakterystyka o znaczeniu ważnym we wszystkich warunkach stosowania,
- S – charakterystyka o znaczeniu ważnym w specyficznych warunkach stosowania,
- - charakterystyka nieistotna dla danej funkcji,
- a - badanie to może nie mieć zastosowania w przypadku niektórych wyrobów
np. georuszty ,
- b - kod „H” dla właściwości mechanicznych (wytrzymałość na rozciąganie i przebicie statyczne) oznacza, że producent powinien zapewnić dane z obu badań; w specyfikacji wyrobu wystarczy zamieścić tylko jeden z parametrów.

	1	2	3	4	5	6
1	Zastosowanie	Numer normy	Systemy drenażowe	Systemy antyerozyjne	Tunele i konstrukcje podziemne	Roboty ziemne, fundamenty i konstrukcje oporowe
2	Budownictwo drogowe	EN 13249	EN 13252	EN 13253	EN 13256	jeżeli $H < H_c$: EN 13249 jeżeli $H > H_c$: EN 13251
3	Budownictwo kolejowe	EN 13250				jeżeli $H < H_c$: EN 13250 jeżeli $H > H_c$: EN 13251
4	Zbiorniki wodne i zapory	EN 13254				EN 13251
5	Kanały	EN 13255				
6	Składowiska odpadów stałych	EN 13257				--
7	Składowiska odpadów ciekłych	EN 13265				
8	Tunele i konstrukcje podziemne	EN 13256				
9	Roboty ziemne, fundamenty i konstrukcje oporowe	EN 13251			--	--
H: wysokość konstrukcji H_c : – w przypadku budownictwa drogowego: wysokość, dla której obciążenie ruchem jest dominujące – w przypadku budownictwa kolejowego: różnica wysokości między spodem szyny a podłożem						

Tab. 18. Zestawienie norm w zależności od zakresu zastosowania geodyntetyków.

L.p.	Charakterystyka	Metoda badań	Funkcja		
			filtracja	separacja	zbrojenie
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	PN-EN ISO 10319	H	H	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISO 10319	A	A	H
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	PN-EN ISO 10321	S	S	S
4	Przebiecie statyczne (CBR) ^{a,b}	PN-EN ISO 12236	S	H	H
5	Przebiecie dynamiczne ^a	PN-EN 918	H	A	H
6	Tarcie	EN ISO 12957	S	S	A
7	Pelzanie przy rozciąganiu	PN-EN ISO 13431	--	--	S
8	Uszkodzenia w czasie instalacji	ENV ISO 10722-1	A	A	A
9	Charakterystyczna wielkość porów	PN-EN ISO 12956	H	A	--
10	Wodoprzepuszczalność w kierunku normalnym do powierzchni	EN ISO 11058	H	A	A
11	Trwałość	aneks B do EN 13249	H	H	H
11.1	Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych	EN 12224	A	A	A
11.2	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 13438, EN 12447	S	S	S
11.3	Odporność na degradację biologiczną	EN 12225	S	S	S

Tab.19. Wymagania dotyczące geosyntetyków stosowanych w budownictwie drogowym – EN 13249.

L.p.	Charakterystyka	Metoda badań	Funkcja		
			filtracja	separacja	zbrojenie
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	PN-EN ISO 10319	H	H	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISO 10319	A	A	H
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	PN-EN ISO 10321	S	S	S
4	Przebiecie statyczne (CBR) ^{a,b}	PN-EN ISO 12236	S	H	H
5	Przebiecie dynamiczne ^a	PN-EN 918	H	A	H
6	Abrazja	EN ISO 13427	S	S	S
7	Tarcie	EN ISO 12957	S	S	A
8	Pelzanie przy rozciąganiu	PN-EN ISO 13431	--	--	S
9	Uszkodzenia w czasie instalacji	ENV ISO 10722-1	A	A	A
10	Charakterystyczna wielkość porów	PN-EN ISO 12956	H	A	--
11	Wodoprzepuszczalność w kierunku normalnym do powierzchni	EN ISO 11058	H	A	A
12	Trwałość	aneks B do EN 13250	H	H	H
12.1	Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych	EN 12224	A	A	A
12.2	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 13438, EN 12447	S	S	S
12.3	Odporność na degradację biologiczną	EN 12225	S	S	S

Tab.20. Wymagania dotyczące geosyntetyków stosowanych w budownictwie kolejowym – EN 13250.

L.p.	Charakterystyka	Metoda badań	Funkcja		
			filtracja	separacja	zbrojenie
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	PN-EN ISO 10319	H	H	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISO 10319	A	A	H
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	PN-EN ISO 10321	S	S	S
4	Przebiecie statyczne (CBR) ^{a,b}	PN-EN ISO 12236	S	H	H
5	Przebiecie dynamiczne ^a	PN-EN 918	H	A	H
6	Tarcie	EN ISO 12957	S	S	A
7	Pełzanie przy rozciąganiu	PN-EN ISO 13431	–	–	A
8	Uszkodzenia w czasie instalacji	ENV ISO 10722-1	A	A	A
9	Charakterystyczna wielkość porów	PN-EN ISO 12956	H	A	–
10	Wodoprzepuszczalność w kierunku normalnym do powierzchni	EN ISO 11058	H	A	A
11	Trwałość	aneks B do EN 13251	H	H	H
11.1	Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych	EN 12224	A	A	A
11.2	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 13438, EN 12447	S	S	S
11.3	Odporność na degradację biologiczną	EN 12225	S	S	S

Tab. 21. Wymagania dotyczące geosyntetyków stosowanych w robotach ziemnych, fundamentach i konstrukcjach oporowych – EN 13251 oraz w zastosowaniach antyerozyjnych – EN 13253.

L.p.	Charakterystyka	Metoda badań	Funkcja		
			filtracja	separacja	drenaż
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	PN-EN ISO 10319	H	H	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISO 10319	A	A	A
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	PN-EN ISO 10321	S	S	S
4	Przebiecie statyczne (CBR) ^{a,b}	PN-EN ISO 12236	S	H	–
5	Przebiecie dynamiczne ^a	PN-EN 918	H	A	–
6	Tarcie	EN ISO 12957	S	S	S
7	Pełzanie przy rozciąganiu	PN-EN ISO 13431	–	–	A
8	Uszkodzenia w czasie instalacji	ENV ISO 10722-1	A	A	A
9	Charakterystyczna wielkość porów	PN-EN ISO 12956	H	A	–
10	Wodoprzepuszczalność w kierunku normalnym do powierzchni	EN ISO 11058	H	A	–
11	Zdolność przepływu wody w płaszczyźnie materiału	PN-EN ISO 12958	–	–	H
12	Trwałość	aneks B do EN 13252	H	H	H
12.1	Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych	EN 12224	A	A	A
12.2	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 13438, EN 12447	S	S	S
12.3	Odporność na degradację biologiczną	EN 12225	S	S	S

Tab. 22. Wymagania dotyczące geosyntetyków stosowanych w systemach drenażowych – EN 13252.

L.p.	Charakterystyka	Metoda badań	Funkcja
			zabezpieczenie
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	PN-EN ISO 10319	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISO 10319	H
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	PN-EN ISO 10321	S
4	Przebiecie statyczne (CBR) ^{a,b}	PN-EN ISO 12236	patrz „efektywność zabezpieczenia”
5	Przebiecie dynamiczne ^a	PN-EN 918	H
6	Tarcie	EN ISO 12957	S
7	Uszkodzenia w czasie instalacji	ENV ISO 10722-1	A
8	Pełzanie przy ściskaniu	EN 1897	S
9	Efektywność zabezpieczenia	prEN 13719	H
10	Trwałość	aneks B do EN 13256	H
10.1	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 13438, EN 12447	S
10.2	Odporność na degradację biologiczną	EN 12225	S

Tab.23. Wymagania dotyczące geosyntetyków stosowanych w tunelach i konstrukcjach podziemnych – EN 13256.

L.p.	Charakterystyka	Metoda badań	Funkcja			
			filtracja	separacja	zbrojenie	zabezpieczenie
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	PN-EN ISO 10319	H	H	H	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISO 10319	A	A	H	H
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	PN-EN ISO 10321	S	S	S	S
4	Przebiecie statyczne (CBR) ^{a,b}	PN-EN ISO 12236	S	H	H	patrz „efektywność zabezpieczenia”
5	Przebiecie dynamiczne ^a	PN-EN 918	H	A	H	H
6	Tarcie	EN ISO 12957	S	S	A	S
7	Pełzanie przy rozciąganiu	PN-EN ISO 13431	--	--	A	--
8	Uszkodzenia w czasie instalacji	ENV ISO 10722-1	A	A	A	A
9	Efektywność zabezpieczenia	prEN 13719	--	--	--	H
10	Charakterystyczna wielkość porów	PN-EN ISO 12956	H	A	--	--
11	Wodoprzepuszczalność w kierunku normalnym do powierzchni	EN ISO 11058	H	A	A	--
12	Trwałość	aneks B do EN 13254	H	H	H	H
12.1	Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych	EN 12224	A	A	A	A
12.2	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 13438, EN 12447	S	S	S	S
12.3	Odporność na degradację biologiczną	EN 12225	S	S	S	S

Tab. 24. Wymagania dotyczące geosyntetyków stosowanych w konstrukcjach zbiorników wodnych i zapór
- EN 13254, w konstrukcjach kanałów – EN 13255 oraz na składowiskach odpadów stałych
– EN 13257.

L.p.	Charakterystyka	Metoda badań	Funkcja		
			filtracja	zbrojenie	zabezpieczenie
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	PN-EN ISO 10319	H	H	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISO 10319	A	H	H
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	PN-EN ISO 10321	S	S	S
4	Przebiecie statyczne (CBR) ^{a,b}	PN-EN ISO 12236	S	H	patrz „efektywność zabezpieczenia”
5	Przebiecie dynamiczne ^a	PN-EN 918	H	H	H
6	Tarcie	EN ISO 12957	S	A	S
7	Pełzanie przy rozciąganiu	PN-EN ISO 13431	--	A	--
8	Uszkodzenia w czasie instalacji	ENV ISO 10722-1	A	A	A
9	Efektywność zabezpieczenia	prEN 13719	--	--	H
10	Charakterystyczna wielkość porów	PN-EN ISO 12956	H	--	--
11	Wodoprzepuszczalność w kierunku normalnym do powierzchni	EN ISO 11058	H	A	--
12	Trwałość	aneks B do EN 13265	H	H	H
12.1	Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych	EN 12224	A	A	A
12.2	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 13438, EN 12447	S	S	S
12.3	Odporność na degradację biologiczną	EN 12225	S	S	S

Tab. 25. Wymagania dotyczące geosyntetyków stosowanych na składowiskach odpadów ciekłych
– EN 13265

6. Analizy trwałości geosyntetyków.

Projekt konstrukcji z zastosowaniem geosyntetyków powinien zawierać następujące elementy :

- określenie funkcji geosyntetyków,
- wykonanie zestawienia obciążeń,
- określenie projektowanego okresu eksploatacji geosyntetyków,
- wyszczególnienie wymaganych właściwości geosyntetyków (np. wytrzymałość, przepuszczalność),
- określenie jakości i ilości potrzebnego materiału geosyntetycznego,
- analizę trwałości która obejmuje :
 - wyszczególnienie istotnych czynników środowiskowych,
 - określenie możliwych mechanizmów degradacji w odniesieniu do wybranego

- materiału i środowiska,
- oszacowanie właściwości osiąganych w funkcji czasu,
- dostarczenie projektantowi odpowiednich współczynników redukcyjnych lub właściwości osiągalnych pod koniec projektowanego okresu użytkowania.

Trwałość geosyntetyków zależy od podstawowego polimeru, z którego są one wytworzone, od wszystkich dodatków zmieszanych z nim, mikrostruktury polimeru, geometrii włókien i struktury wyrobu.

Przy zastosowaniu geosyntetyków jako warstw filtracyjnych, drenażowych, separacyjnych lub ochronnych na projektowany czas eksploatacji krótszy niż 5 lat nie potrzeba żadnych dodatkowych badań. Natomiast w przypadku funkcji zbrojenia wymagane mogą być dodatkowe badania w celu określenia spadku wytrzymałości w trakcie okresu użytkowania oraz cząstkowych współczynników redukcyjnych bezpieczeństwa.

Przyjmuje się, że geosyntetyki i wyroby pokrewne wytworzone z poliestru, polipropylenu, polietylenu lub połączenia tych materiałów nie zawierające jednak surowców wtórnych charakteryzują się dostateczną trwałością podczas 25 – letniego okresu użytkowania, pod warunkiem że stosuje się je w gruntach naturalnych pH w zakresie $4 \div 9$ i temperaturze poniżej 25°C oraz gdy wykazują odporność na czynniki chemiczne i nie są poddawane ekspozycji na promienie UV.

7. Podsumowanie

Wprowadzenie norm, wytycznych oraz nowych metod badawczych i projektowych dotyczących zastosowań geosyntetyków wymusza zrewidowanie wielu pojęć i procedur dotyczących obowiązujących.

Procedury badawcze wraz ze stosowanymi kryteriami doboru i obliczeniami odpowiednich materiałów powinny uwzględniać warunki w jakich geosyntetyki będą pracować.

Przedstawione w niniejszym opracowaniu kryteria i procedury pozwalają na dokonywanie ocen właściwości geosyntetyków ich trwałości i przydatności w konkretnych sytuacjach projektowych.

Literatura :

1. BS 8006:1995 Code of practise for strengthned/reinforced soil and oter fills
2. PN-EN 13251:2000 Geotekstylia i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane przy stosowaniu w robotach ziemnych, fundamentowych i konstrukcjach oporowych
3. PN-ES-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
4. Bertacchi P., Cazzuffi D.; The suitability of geotextiles as filters. DAMS, Montecarlo 1984
5. Caroll R.G.: Geotxtile Filter Criteria. TRR 1983
6. Colbond Workshop: Design Concepts of Reinforced Walls, Slopes and Embankments. W-wa 2007
7. Dembicki E., Jermołowicz P.: Soil – Geotextile Interaction. Geotextiles and Geomembranes 1991, nr 10, s. 249-268
8. Fischer G.R., Christopher B.R., Holtz R.D.: Filter criteria based on pore size distribution.. Proc. of 4 th Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. Hauge 1990
9. G.den Hoedt: Creep and relaxation of geotextile fabrics. Geotextiles and geomembranes vol.4, 1986
10. ITB. Instrukcje, wytyczne, poradniki Nr 429/2007
11. Jermołowicz P.: Współoddziaływanie grunt – geowłóknina . Prace naukowe P.S. Nr 31, Szczecin 1989
12. Koerner R.M. Designing with geosynthetics, (Fifth edition) Prentice Hall 2005
13. Materiały z konferencji Naukowo-Technicznej: Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynierskim. Częstochowa 2006
14. Materiały z Seminarium IBDiM i PZWFS ; Wzmacnianie podłoża gruntowego i fundamentów budowli. W-wa 2007
15. Materiały z Seminarium IGS: Geosyntetyki podstawą współczesnej geoinżynierii W-wa 2007
16. Schlosser F., Magnan J.P., Holtz R.D.: Geotechnical engineered Construction, Proc. of. 11 th IC SMFE, San Francisco, 1985
17. Wesolowski A. [i in.]: Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Wyd. SGGW. W-wa 2000
18. Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. IBDiM, W-wa 2002