

Mgr inż. Jacek Ajdukiewicz
członek



*International
geosynthetic
society*

Dr hab. inż. Kazimierz Kłosek
Profesor Politechniki Śląskiej
w Gliwicach

KRYTERIA DOBORU ORAZ WERYFIKACJA SKUTECZNOŚCI STOSOWANIA GEOSYNTETYKÓW W PODTORZU KOLEJOWYM

Wybrane doświadczenia i elementy normalizacyjne zachodnioeuropejskich kolei – wskazówki dla krajowych prac projektowych

Streszczenie:

W treści opracowania przedstawiono generalne zasady, przyjęte ze strony kolei szwajcarskich (SBB) w zakresie doboru geotekstyliów dla potrzeb podtorzy linii kolejowych. Określone zostały również zasady przyjęte przez koleje francuskie (SNCF) dla linii dużych prędkości (TGV) oraz przykłady niektórych, praktycznie dopiero wchodzących w życie, zasad ujętych w niemieckim normatywie, EBGEO 1997 „Zalecenia dla zbrojenia geosyntetykami”. Na bazie tych zasad i normatywów przedstawiono charakterystyki techniczne niektórych geosyntetyków, preferowanych przez Autorów do stosowania w polskim kolejnictwie z racji posiadanych- wysokich parametrów technicznych (podano tabele parametrów) i długoletniej ich trwałości po zabudowaniu w konstrukcjach gruntowych. Omówiono również niektóre aspekty doboru podtorza, posiadające wydatny wpływ na skuteczność i efektywność zastosowanych przez projektanta geosyntetyków.

Sanierung und Aufbau von Eisenbahnstrecken nach Erfahrungen in der Schweiz und nach „Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau und Straßenbau”, EBGEO 1997.

It has been described general rules admitted by Swiss railroad (SBB) in the range of geotextile choice for a subgrade of railroads. It has also been determined principles admitted by French Railroads (SNCF) for high speed railroads (TGV) as well as it has been presented examples of some of the newest rules included in German „Recommendation for reinforcement with geosynthetics”, EBGEO 1997.

Spis treści

<i>Wprowadzenie</i>	3
<i>Stosowane produkty geosyntetyczne</i>	3
<i>Definicje pojęć (według nomenklatury szwajcarskiej)</i>	4
<i>Zastosowania (według danych i norm szwajcarskich)</i>	5
<i>Parametry charakterystyczne geotekstyliów</i>	6
<i>Kryteria obliczania geosyntetyków</i>	7
<i>Wytyczne do metod obliczenia według SNCF</i>	
<i>- (na bazie przepisów dla kolei francuskich)</i>	11
<i>Przykłady możliwych rodzajów podtorza</i>	12
<i>Przekroje kolei szwajcarskich (jednotorowych)</i>	14
<i>Możliwości zastosowań geotekstyliów</i>	15
<i>Technologia wbudowania i składowania geotekstyliów</i>	17
<i>Przykłady obliczania i doboru geosyntetyków</i>	
<i>A. według zasad przyjętych w Szwajcarii</i>	18
<i>B. według zasad określonych w „Zaleceniach dla zbrojenia geosyntetykami” –EBGEO 1997</i>	
<i> w Niemczech</i>	22
<i>Zestawienia danych charakterystycznych geosyntetyków, stosowanych na zagranicznych liniach kolejowych</i>	
<i> Zestawienie 1 – geotekstyli niekane, igłowane Fibertex® typu F</i>	27
<i> Zestawienie 2 – geotkaniny typu HaTe®</i>	29
<i> Zestawienie 3 – geotkaniny typu HaTe®</i>	30
<i> Zestawienie 4 – geotkaniny typu Stablenka®</i>	31
<i> Zestawienie 5 – geokompozyty (geosiatka + geowłóknina) – typu Comtrac®</i>	32
<i> Zestawienie 6 – geosiatki Fornit®</i>	33
<i> Zestawienie 7- geosiatki Fortrac® xx/yy-zz, Fortrac® R xx/yy-zz</i>	34
<i> Zestawienie 8 - geosiatki Fortrac® xx/yy-zz T, Fortrac® R xx/yy-zz T</i>	35
<i> Zestawienie 9 - geosiatki Fortrac® R xx/yy-zz M</i>	38
<i> Zestawienie 10. - geosiatki Fortrac® xx/yy-zz MP</i>	43
<i>Wykaz literatury</i>	45

Wprowadzenie

W kolejnictwie powstałe w czasie przejazdów taboru obciążenia dynamiczne przenoszone są przez szyny i podkłady na podłoże, wobec czego projektanci budowli kolejowych muszą ustalić i rozróżnić następujące zagadnienia:

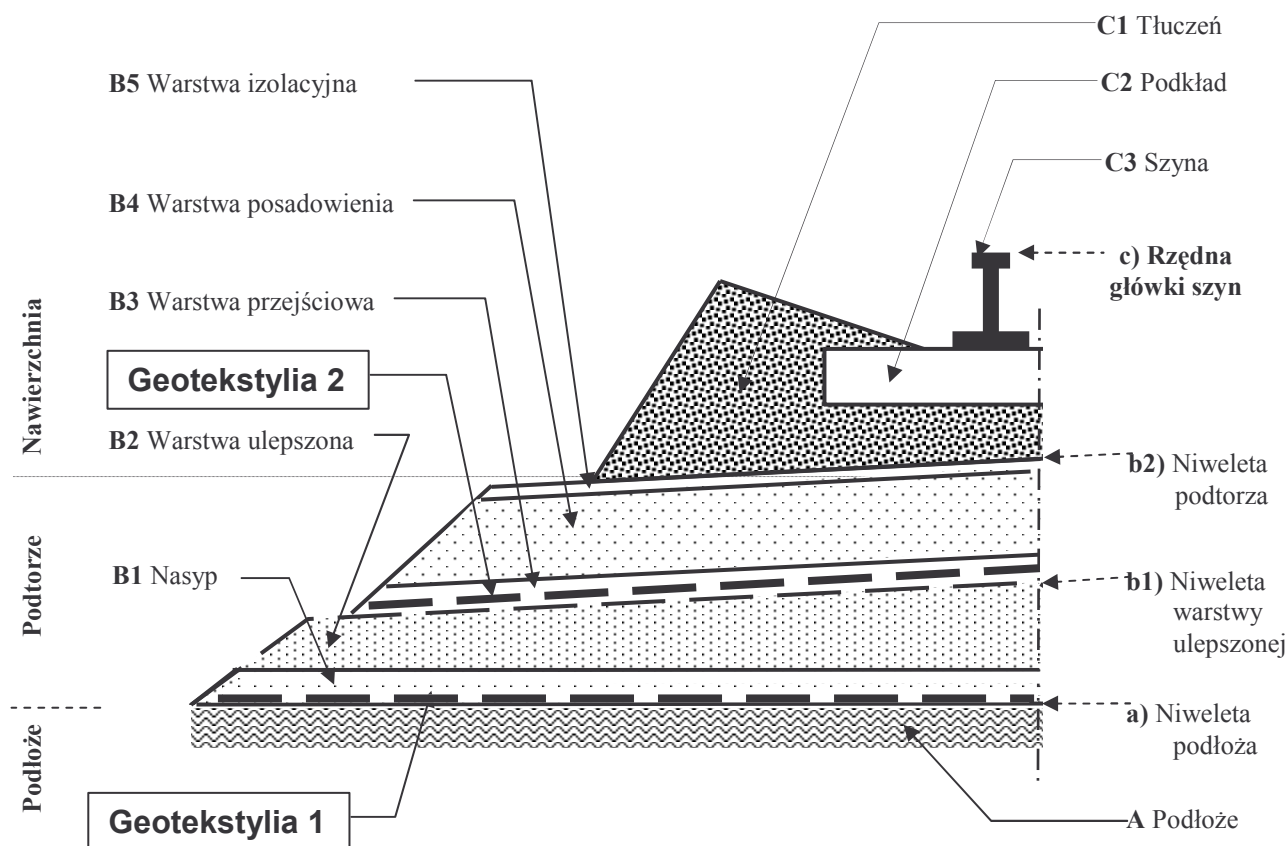
- określić nośność podtorza;
- zaproponować odwodnienie korpusu nasypu i otoczenia przekroju;
- przewidzieć zabezpieczenie przed oddziaływaniem mrozów;
- zapewnić niski stopień erozji (wyflukiwania drobnych cząsteczek z gruntu);
- ocenić trwałość i zachowanie się budowli podtorza w czasie przebudowy i po jej dokonaniu.

Z uwagi na wspomniane obciążenia dynamiczne istotne znaczenie ma więc prawidłowe obliczenie i ustalenie parametrów technicznych filtracji. Do spełniania podstawowych, funkcji w zakresie zbrojenia, separacji, filtracji i drenowania przystosowane są stosowane odpowiednie geosyntetyki.

Tablica 1. Produkty geosyntetyczne stosowane powszechnie przez koleje zachodnioeuropejskie: (szczegółowe właściwości – vide charakterystyka wyrobów, zamieszczono w końcowej części tekstu)

Dla funkcji :	Rodzaj produktu	Symbol produktu
• oddzielania	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 320
• wzmacniania	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 500
	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 45M
	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 600
	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 650M
	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 800M
	HaTe [®] - geotkanina	50.145
	Stabilenka [®] - geotkanina	400/50
	Comtrac [®] - geokompozyt	30/30 - B20
	Comtrac [®] - geokompozyt	55/30 - B30
	Comtrac [®] - geokompozyt	110/35 - B20
	Fornit [®] - geosiatka	
	Fortrac [®] i Fortrac: R, T, RT, RM, MP -geosiatka	
• drenowania	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	G – 100
	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 32M
	Fibertex [®] - geowłóknina nietkana, igłowana	F – 320
	HaTe [®] - geotkanina	D 00.006
	HaTe [®] - geotkanina	C 00.520
	HaTe [®] - geotkanina	43.144
	HaTe [®] - geotkanina	50.145
	HaTe [®] - geotkanina	80.557
	HaTe [®] - geotkanina	D 00.530

Definicje pojęć (według nomenklatury szwajcarskiej) [1]



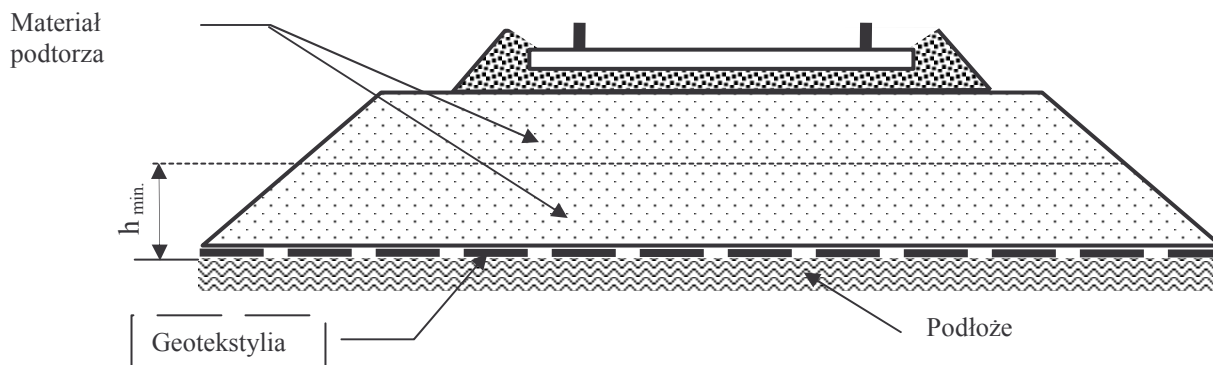
Rysunek 1. Fragment przekroju normalnego - technicznego linii kolejowej

Tablica 2. Klasyfikacja i nomenklatura elementów torowiska nazw kolei szwajcarskich

	Warstwy	Powierzchnie	Używane materiały, np.
C Nawierzchnia		c) Płaszczyzna jazdy	
	C3 Szyna		Stal
	C2 Podkład		Drewno, stal lub żelbeton
	C1 Tłuczeń	b2) Niweleta podtorza	Twardy kamień łamany
B Podtorze	B5 Warstwa izolująca		Powłoka bitumiczna Materiały mineralne
	B4 Warstwa posadowienia		Pospółka I,II 100,120 Pospółka SBB
	B3 Warstwa Przejściowa	b1) Niweleta warstwy ulepszonej	Piasek Geotekstylija
	B2 Warstwa Ulepszona		Zagęszczone podłoże Materiał zastępczy Stabilizatory
	B1 Nasyp		
A Podłoże	A Podłoże	a) Niweleta podłoża	Grunt rodzimy

Zastosowania (według danych i norm szwajcarskich) [4]

Podstawową funkcją zastosowania geotekstyliów w budownictwie kolejowym jest separacja warstw podtorza od ziarnistego podłoża rodzimego. Rozstrzygającym jest tu techniczne określenie parametrów materiału podłoża. Obliczenia i wymogi jakościowe muszą spełniać kryteria uwarunkowań normy SN 640 552.



Rysunek 2. Wyciąg z normy SN 640 552

Materiały mineralne stosowane do budowy: (vide także wykres na stronie 6)

A: pospółka o zaokrąglonym ziarnie $\varnothing \leq 150$ mm

B: pospółka łamana $\varnothing \leq 150$ mm

C: inne materiały o ziarnie zaokrąglonym lub łamane, jak:
skała kruszona, tłuczeń, kruszywa z recydingu, itd.

h_{min} : minimalna wysokość usypywanej warstwy, dopuszczająca jazdę po niej bez uszkodzenia geotekstyliów.

Tablica 3. Klasy podłoża wg. nomenklatury kolei szwajcarskich

Nośność	Klasa nośności	CBR (%)	M_{E1} (MN/m ²)	k (MN·m ²)	U (ca)	E_{v1} (MN·m ²)	C_u (kN/m ²)
Bardzo niska	(S0)	(1–3)	3–6	(5–15) 15–	2,6–3	1–5	15–90
Niska	S1	3–6	6–15	30	2,6–1,8	4–12	90–180
Średnia	S2	6–12	15–30	30–60 60–	1,8–0,7	12–24	180–360
Wysoka	S3	12–25	30–60	100	0,7–0,4	24–47	360–750
Bardzo wysoka	S4	> 25	> 60	> 100	> 0,4	> 47	> 750

Użyte oznaczenia umowne, stosowane w procesach badań jakości podłoża :

- CBR** - California Bearing Ration wg badania na polu doświadczalnym zgodnie z SNV 670 316 lub badań laboratoryjnych zgodnie z SNV 670 320 ;
- C_u** - jest nie drenowaną wytrzymałością gruntu na ścinanie mierzona obrotowym przyrządem skrzydełkowym, czasem, w przybliżeniu, określana jako "kohezja";
- M_{E1}** - moduł wytrzymałości na wgniatanie przy badaniu naciskiem płytami VSS według SNV 670 317, odpowiadający stosowanemu w Niemczech E_{V1} { modułowi odkształcenia pierwotnego badania naciskiem płyt ; $E_{V1} = 0,79 M_{E1}$) ;
- M_{E2}** - moduł wytrzymałości na wgniatanie przy badaniu wtórnym naciskiem płyt odpowiadający stosowanemu w Niemczech wtórnemu modułowi E_{V2} ($E_{V2} = 0,79 M_{E2}$) ;
- k** - jest modulem reakcyjnym badania naciskiem płyty VSS, wyrażony w stopniach Westergaard'a i ustalany zgodnie z SNV 670 317;

Tablica 4. Zależność pomiędzy podstawowymi systemami, określającymi parametry nośności podtorza kolejowego

0	0,5	1	2	3	4	5	CBR (%)			
0	15	30	60	90	120	150	Cu (kN/m ²)			
	4,5	4	3			2	U (ca)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E _{V1} (MN/m ²)

Parametry charakterystyczne geotekstyliów

- r** - wytrzymałość na rozrywanie (kN/m)
- ε_r** - relacja: siła zerwania / wydłużenie (%)
- O_d** - odporność na przebicie
- O_w** - efektywna wielkość porów (mm)
- k_v** - wodoprzepuszczalność geotekstyliów prostopadle do ich powierzchni (m/s)
(przy naprężeniu normalnym 20 kN/m²)

Warstwa przejściowa

Dla uniknięcia wymieszania się (na skutek spowodowanych przejazdami obciążeń dynamicznych) materiałów warstw nasypowych z podłożem w granicznych płaszczyznach należy zachować należyte kryteria filtracji. Wymaga to często wbudowania warstwy pośredniej. Warstwa oddzielająca w wielu przypadkach składa się z geotekstyliów wymiarowanych i dobieranych według normy SN 670 125 oraz SN 640 552.

Modernizacje podtorza (najczęściej realizowane w ramach remontów)

Przepisy SBB do modernizacji podstawowych warstw istniejących linii kolejowych dopuszczają różne powszechnie stosowane rozwiązania jak:

- a) warstwy ochronne z pospółki SBB
- b) warstwy ochronne z pospółki SBB + geowłókniny
- c) warstwy drenażowe z dobrze przepuszczającej wodę pospółki + geotekstyliów
- d) warstwy drenażowe + nieprzepuszczające wody warstwy uszczelniające
- e) lekkie kruszywa owinięte geotekstyliami + pospółka

Ad. b) Warstwy ochronne z pospółki SBB + geowłókniny.

Takie rozwiązanie jest stosowane, jeżeli zawartość najdrobniejszych cząstek (< 0,06mm) w podłożu wynosi więcej niż 85 %.

Ad. c) Warstwy drenażowe z dobrze przepuszczającej wodę pospółki + geotekstyliów.

Przy wysokim poziomie lustra wód gruntowych i ryzyku spiętrzenia wód warstwa posadowienia nie może być wykonana z pospółki SBB, gdyż naprężenia spowodowane ciśnieniem wód porowych na skutek obciążeń dynamicznych mogą doprowadzić do załamania się tej warstwy oraz koncentrowania się najdrobniejszych cząstek gruntu. W takim przypadku dobrze jest stosować przepuszczalną pospółkę ($k > 10^{-5}$ m/s), np. pospółkę I według normy SN 670 120. Dla zapewnienia właściwej filtracji należy wbudować geowłókninę lub gęstą geotkaninę. Pod geotkaninami należy przewidzieć warstwę ochronną z piasku o grubości co najmniej 50 mm, pod jakościowymi geowłókninami może występować pospółka (tłuczeń, kruszywo itp.).

Ad. d) Warstwy drenażowe + nieprzepuszczające wody warstwy uszczelnienia (dawniej stosowano folię, obecnie geomembrany).

Dla zabezpieczenia podtorza przed ciekami powierzchniowych wód gruntowych konieczne jest wbudowanie nieprzepuszczającej wody szczelnej warstwy (geomembrany). Zakłada się przy tym, że nośność podtorza w tym przypadku jest wystarczająca i nie należy go wymieniać względnie w inny sposób wzmacniać. Grubość geomembrany powinna wynosić co najmniej 1,5 mm. Geomembranę należy obustronnie zabezpieczyć od dołu góry geowłókninami nietkanymi, igłowanymi zaliczanymi do 4-tej klasy CBR oraz wbudować taki cały zestaw pomiędzy dwoma warstwami materiału ziarnistego o grubości 50 do 100 mm. Górna warstwa tego materiału ma także spełniać funkcję bocznego odwadniania, a więc musi posiadać przepuszczalność wody co najmniej $k \geq 10^{-5}$ m/s. Należy zatem użyć do jej budowy czystej lub prawie czystej pospółki.

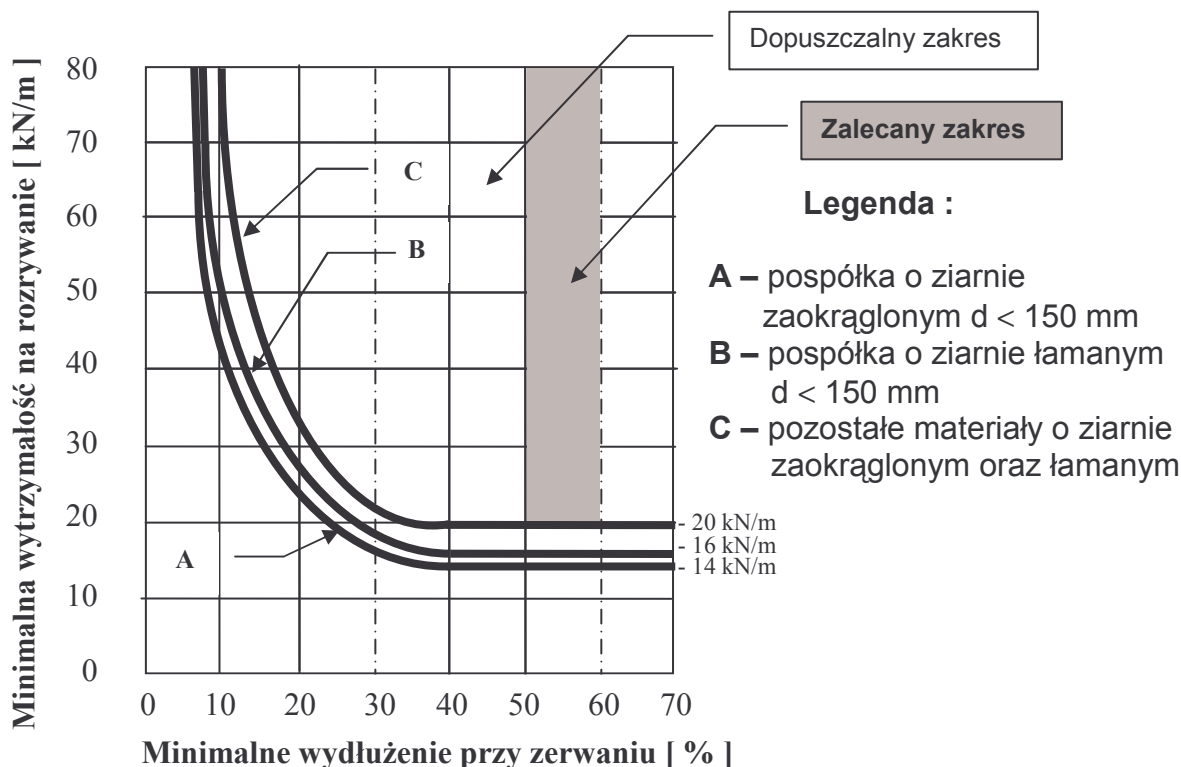
Ad. e) Lekkie kruszywa owinięte geotekstyliami + pospółka.

Podatne na osiadanie grunty, zawierające znaczne ilości torfu lub miękkiej gliny, wymagają lekkiej, rozkładającej naprężenia warstwy pośredniej. Do tego celu są dobrze przystosowane lekkie materiały budowlane, jak pumeks lub keramzyt, które owijane są geotekstyliami w formie materacy są odpowiednio wbudowywane i zasypywane warstwą ochronną z pospółki.

Kryteria obliczania geosyntetyków

Minimalna wytrzymałość na rozrywanie i wydłużenie przy zerwaniu

Minimalne wymogi techniczne wobec geotekstyliów, zabudowanych w nasypach kolejowych na głębokości od 0 do -2 m od dolnej krawędzi tłucznia (podsypki) pod niweletą podtorza, spełniających funkcję oddzielania, określa norma SN 640 552, prezentuje poniższy wykres.



Wykres 1. Minimalne parametry wytrzymałościowe geotekstyliów dopuszczonych do stosowania na kolejach szwajcarskich i zależności ich doboru od parametrów współpracujących materiałów mineralnych

Według tego wykresu dla wyżej określonych głębokości zastosowań wymagana minimalna wytrzymałość geotekstyliów na rozrywanie wynosi odpowiednio 14, 16, względnie 20 kN/m, ale przy wydłużeniu w czasie zerwania poniżej 40% wielkości te znacznie wzrastają, skąd najkorzystniejsze jest stosowanie geosyntetyków igłowanych, nietkanych, o stopniu wydłużenia przy zerwaniu na poziomie 50 ÷ 60 %, jako bezpiecznym zakresie dla praktycznie wszystkich stosowanych w podtorzach kolejowych materiałów mineralnych. Dla geotekstyliów wbudowanych głębiej, niż to powyżej określono, obowiązują ogólne wymagania ustalone dla głębokich budowli.

Minimalna odporność na przebicie

Dla wszystkich materiałów sypkich - A B i C - minimalna odporność na przebicie wynosi $O_d < 20$ mm.

Współczynnik filtracji „k” wg zasad obowiązujących w rozpatrywanych krajach

Przepuszczalność gruntu stanowi podstawę do obliczania właściwości hydraulicznych geotekstyliów i szacowana jest następująco:

a) według Sichart'a $k = 0,006 d_{50}^2$ [m/s] (dla d_{50} , w mm, tylko dla piasków)

b) według Hazen'a $k = 0,0116 d_{10}^2$ [m/s] (dla d_{10} , w mm)

c) w warunkach szwajcarskich – podstawowe charakterystyczne wskaźniki dla określonych rodzajów gruntu z normy SNV 670 010

Tablica 5. Charakterystyka techniczna i nomenklatura materiałów mineralnych, dopuszczonych do stosowania przez koleje szwajcarskie

Symbol gruntu	Określenie geotechniczne	Zawartość [%]				Przepuszczalność wody k [w m/s]
		Gliny	Namułu	Piasku	Pospółki	
1	2	3	4	5	6	7
GW	Czysty żwir	0	2	26	72	$10^{-1} - 10^{-4}$
GP	Czysty żwir	0	2	26	72	$10^{-1} - 10^{-4}$
GM	Żwir z mułem ¹⁾	2	8	30	60	$10^{-3} - 10^{-8}$
GC	Żwir z gliną ¹⁾	3	9	23	65	$10^{-8} - 10^{-10}$
GM-ML	Żwir z mułem ²⁾	4	20	33	43	$10^{-5} - 10^{-8}$
GM-GC	Żwir z mułem i gliną	6	22	30	42	$10^{-8} - 10^{-10}$
GC-CL	Żwir z gliną ²⁾	8	23	28	41	$10^{-8} - 10^{-10}$
GC-CH	Żwir z gliną ³⁾	10	23	29	38	$10^{-8} - 10^{-10}$
SW	Czysty piasek odsiany	0	2	76	22	$10^{-2} - 10^{-5}$
SP	Czysty piasek źle odsiany	0	2	76	22	$10^{-2} - 10^{-5}$
SM	Piasek z mułem ¹⁾	2	9	75	14	$10^{-5} - 10^{-8}$
S.C.	Piasek z gliną ¹⁾	5	7	76	12	$10^{-8} - 10^{-10}$
SM-ML	Piasek z mułem ²⁾	4	28	60	8	$10^{-5} - 10^{-8}$
SM-S.C.	Piasek z mułem i gliną	9	32	45	14	$10^{-8} - 10^{-10}$
S.C.-CL	Piasek z gliną ²⁾	9	30	43	18	$10^{-8} - 10^{-10}$
S.C.-CH	Piasek z gliną ³⁾	12	31	54	3	$10^{-8} - 10^{-10}$
ML	Namuł	6	64	29	1	$10^{-5} - 10^{-8}$
CL-ML	Namuł z małą zawartością gliny	12	58	26	4	$10^{-7} - 10^{-10}$
CL	Namuł gliniasty	20	61	16	3	$10^{-8} - 10^{-10}$
CH	Glina	22	59	18	1	$10^{-8} - 10^{-10}$
OL	Namuł gliniasty ⁴⁾	8	70	21	1	$10^{-6} - 10^{-8}$
OH	Glina ⁴⁾	12	70	17	1	$10^{-8} - 10^{-10}$
MH	Namuły specjalistyczne , np. kreda jeziorna	10	65	25	0	$10^{-6} - 10^{-8}$

¹⁾ – mały udział bardzo drobnego ziarna

²⁾ – duży udział bardzo drobnego ziarna

³⁾ – bardzo drobne ziarna o dużej plastyczności

⁴⁾ – z domieszką elementów organicznych

Wartości oznaczone jako „1” są wielkościami parametrów pod obciążeniem o wielkości 20 kPa.

d) w warunkach polskich grunty budowlane według normy PN 86/B 02480

Określenia, symbole, podział i opisy gruntów wg obowiązujących w Polsce przepisów:

Tablica 6. Charakterystyka techniczna i nomenklatura materiałów mineralnych PN-86/B-02480

• grunty gruboziarniste :

Symbol gruntu	Nazwa gruntu	Zredukowana Zawartość frakcji ilastej	Zawartość frakcji żwirowej i kamiennej	Filtracja k (m/s)
Ż	Żwir	≤ 2 %	> 50 %	$10^{-1} \div 10^{-2}$
Żg	Żwir gliniasty	> 2 %		$10^{-2} \div 10^{-3}$
Po	Pospółka	≤ 2 %	10 % ÷ 50 %	$2 \cdot 10^{-3} \div 10^{-3}$
Pog	Pospółka gliniasta	> 2 %		$10^{-3} \div 0,5 \cdot 10^{-3}$

• grunty drobnoziarniste, niespoiste :

Symbol gruntu	Nazwa gruntu	Uziarnienie	Filtracja k (m/s)
Pr	Piasek gruby	Zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm Wynosi więcej niż 50 %	$10^{-3} \div 10^{-4}$
Ps	Piasek średni	Zawartość ziaren o średnicy większej niż 0,5 mm Wynosi nie więcej niż 50 %, lecz zawartość ziaren większej niż 0,25 mm wynosi więcej niż 50 %	$10^{-3} \div 10^{-4}$
Pd	Piasek drobny	Zawartość ziaren o średnicy mniejszej niż 0,25 mm wynosi więcej niż 50 %	$10^{-4} \div 10^{-5}$
P π	Piasek pylasty	Zredukowana zawartość frakcji : <ul style="list-style-type: none"> • ilastej 0 ÷ 2 % • pylastej 10 ÷ 30 % • piaskowej 60 ÷ 98 % 	$2 \cdot 10^{-5} \div 10^{-6}$

• grunty drobnoziarniste, spoiste :

Symbol gruntu	Nazwa gruntu	Zredukowane zawartości frakcji (%)				Filtracja k (m/s)
		Iłu	Pyłu	Piasku	Żwiru	
Pg	Piasek gliniasty	2 ÷ 10	0 ÷ 30	60 ÷ 98	0	$2 \cdot 10^{-5} \div 10^{-6}$
IIp	Pył piaszczysty	0 ÷ 10	30 ÷ 70	30 ÷ 70	0	$10^{-6} \div 10^{-7}$
II	Pył	0 ÷ 10	60 ÷ 100	0 ÷ 30	0	$10^{-8} \div 10^{-5}$
Gp	Gлина piaszczysta	10 ÷ 20	0 ÷ 30	50 ÷ 90	0	$10^{-6} \div 10^{-7}$
G	Gлина	10 ÷ 20	30 ÷ 60	30 ÷ 60	0	$10^{-8} \div 10^{-10}$
G π	Gлина pylasta	10 ÷ 20	30 ÷ 60	0 ÷ 30	0	$10^{-8} \div 10^{-10}$
Gpz	Gлина piaszczysta zwięzła	20 ÷ 30	0 ÷ 30	50 ÷ 80	0	$10^{-8} \div 10^{-10}$
Gz	Gлина zwięzła	20 ÷ 30	20 ÷ 50	20 ÷ 50	0	$10^{-9} \div 10^{-11}$
Gz π	Gлина pylasta zwięzła	20 ÷ 30	50 ÷ 80	0 ÷ 30	0	$10^{-9} \div 10^{-11}$
Ip	II piaszczysty	30 ÷ 50	0 ÷ 20	50 ÷ 70	0	$10^{-9} \div 10^{-11}$
I	II	30 ÷ 100	0 ÷ 50	0 ÷ 50	0	$10^{-10} \div 10^{-12}$
I π	II pylasty	30 ÷ 50	50 ÷ 70	0 ÷ 20	0	$10^{-10} \div 10^{-12}$

(koniec danych polskich)

Przepuszczalność gruntu należy ustalić możliwie w drodze badań (np. filtracji), ponieważ powyższe formuły bazujące na wielkości uziarnienia i opisie materiału bądź klasach USCS lub PN są zawsze tylko z grubsza przybliżone. Dla gruntów sypkich o $d_{85} < 0,05\text{mm}$ najczęściej konieczne jest stosowanie warstw technicznej filtracji. Aby zapewnić wystarczającą wytrzymałość mechaniczną drenażu przy zabudowaniu i w okresie użytkowania obiektu należy dobrać właściwą wytrzymałość na rozrywanie geotekstyliów do poszczególnych przypadków zastosowań oraz nośności gruntu (vide wymagania minimalne).

Wymagania hydrauliczne przepuszczalności wody i wielkości porów

Tego rodzaju uwarunkowania w stosunku do geotekstyliów stosowanych do budowy kolejowych korpusów ziemnych określa norma SN 640 552, a prezentuje je następująca tabelka:

Tablica 7. Kryteria doboru geotekstyliów

Rodzaj oraz uziarnienie gruntu	Przepuszczalność wodna geotekstyliów	Skuteczna wielkość porów O_w w [mm]
Gliny i namuły $d_{50} \leq 0,06 \text{ mm}$	$k_v > 10 \cdot k$	Ogólnie: $O_w \leq d_{85}$, zawsze jednak $O_w \geq 0,05 \text{ mm}$
Piaski i pospółki $d_{50} \geq 0,06 \text{ mm}$	$k_v > 10 \cdot k$, albo pewniej $k_v \geq 100 \cdot k$	Ogólnie: najmniejsza wartość z $O_w \leq 5 d_{10} \cdot \sqrt{Cu}$; ($Cu = d_{60} / d_{10}$); $O_w \leq d_{85}$, zawsze jednak: $O_w > 0,05 \text{ mm}$
Gliniasta pospółka o dużej przepuszczalności wody		$O_w \geq 4 d_{15}$

Jest ważnym, aby zastosowany w podtorzu materiał geosyntetyczny, celem którego jest zapewnienie dobrej filtracji, jak też dobrego i sprawnego wyprowadzenia wody (tak dopływającej od strony podtorza jak i spod spodu, z podłoża gruntowego) był wyprowadzony poza obszar torowiska.

W odniesieniu do spełniających te funkcje geowłóknin (geotekstyliów nietkanych, igłowanych) wymaga się aby ich wodoprzewodność w płaszczyźnie poziomej była większa od przewodności w kierunku prostopadłym do wyrobu geosyntetycznego i aby zależność pomiędzy tymi wodoprzepuszczalnościami w powiązaniu z dopuszczalnymi zmianami grubości samego wyrobu geosyntetycznego pod obciążeniem przedstawiała to jak poniżej.

Idealne sprawowanie się geotekstyliów w odwodnieniach i drenażach jest wynikiem wykorzystania inżynierii materiałowej do konstrukcji geotekstyliu. Woda w geotekstyliach porusza się ogromną ilością porów lecz ze znikomo małą prędkością. Pory nie są prostopadłe, tylko wykonane są w układzie labiryntowym.

$[1,80 \div 1,33]; 1,00; [0,40 \div 0,25]$ – wodoprzewodność pozioma wzdłuż płaszczyzny geotekstyliu pod obciążeniem 20 kPa przy minimalnej wodoprzepuszczalności $k_H = 15 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

Wytyczne do metod obliczania według SNCF

(na bazie przepisów dla kolei francuskich)

Z badań francuskich kolei państwowych przeprowadzonych przy budowie TGV ustalono z powodzeniem stosowaną szeroko w skali europejskiej następującą formułę obliczania minimalnej grubości warstw nośnych, od krawędzi dolnej podkładów do niwelety podtorza:

$$e = E - a + b \cdot c + d \quad [m]$$

- parametry podłoża E

Tablica 8. Nomenklatura – klasyfikacja podtorza przez niektóre zalecenia wg. zasad przyjętych przez koleje francuskie

Klasyfikacja linii	Podtorze		Materiał podłoża	E [m]	Zastosowanie geotekstyliów
	Materiał	Grubość [m]			
P1	QS1	-	słaby grunt QS1	0,70	stosować
P2	QS0	0,30		0,55	stosować
P2	QS2	0,55		0,55	stosować
P2	QS3	0,40		0,55	nie stosować
P3	QS3	0,60		0,45	nie stosować
P2	QS2	-	średni grunt	0,55	stosować
P3	QS3	0,40	QS2	0,45	nie stosować
P3	QS3	-	dobry grunt QS3	0,45	nie stosować

Wskaźniki kierunkowe do oszacowania :

E = 0,45 – duża ilość przejazdów, dobry grunt

E = 0,55 – średnia ilość przejazdów, słaby lub średni grunt

E = 0,70 – mała ilość przejazdów, słaby grunt, brak podtorza

• współczynnik prędkości jazdy „a”

Prędkość [km/h]	Współczynnik a [m]
> 200	0,00
140 – 200	0,05
< 140	0,10
tylko mało przejazdów towarowych	0,15

• współczynnik rodzaju podkładów „b”

Rodzaj podkładów	Współczynnik b [m]
Drewniane	0,00
Betonowe	2,50 – L

gdzie: (L= długość podkładów); wynik może też być negatywny

• współczynnik częstotliwości przejazdów „c”

Częstotliwość przejazdów	Współczynnik c [m]
Normalna	0,00
Bardzo mało przejazdów	0,05 – 0,10

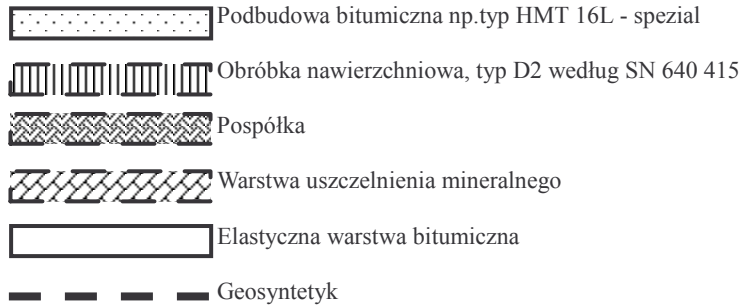
• współczynnik obciążenia na oś „d”

Obciążenie na oś [kN]	Współczynnik d [m]
200	0,00
225	0,05
250	0,12
300	0,35

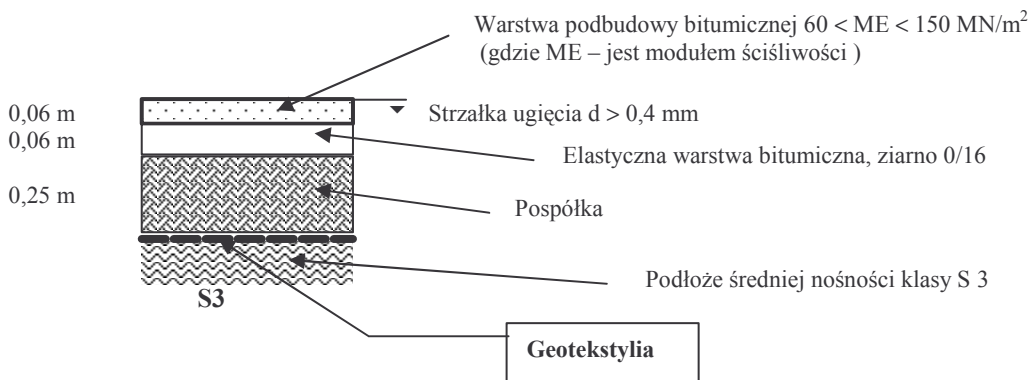
Przykłady możliwych rodzajów podtorza

(według szwajcarskich kolei SBB ; przepisy R 211.1)

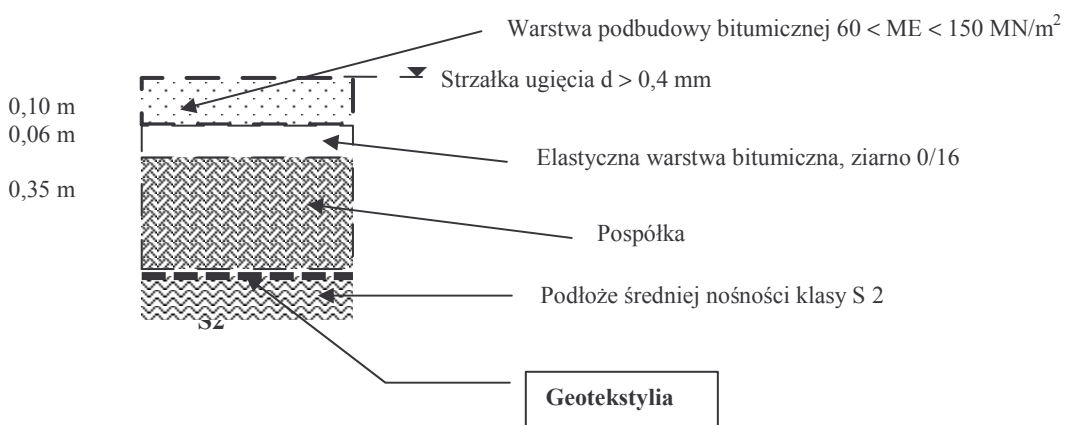
Legenda :



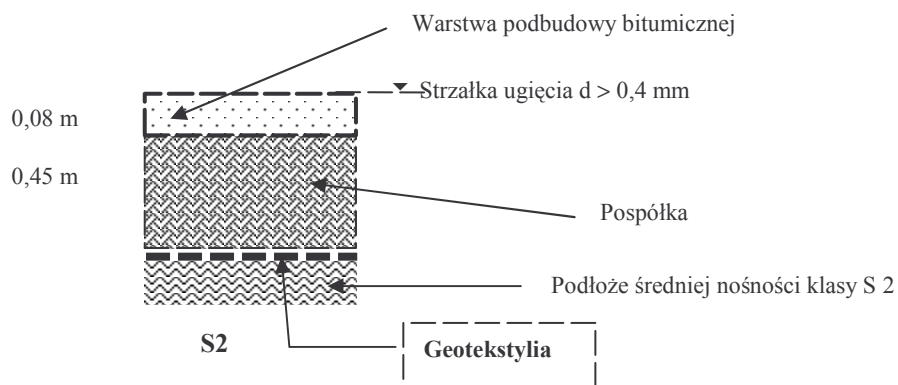
Tory grupy 1 (HG1, HG2, NG1)



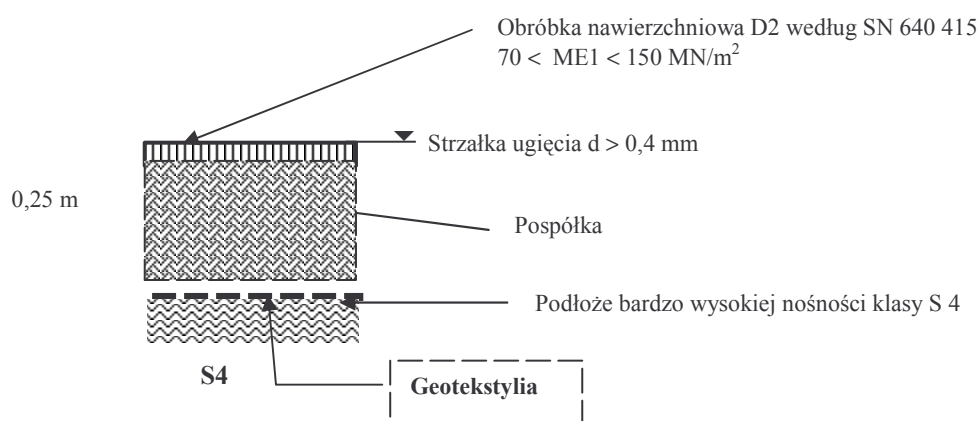
Rysunek 3.1 Schemat podtorza torów grupy 1



Rysunek 3.2 Schemat podtorza torów grupy 1



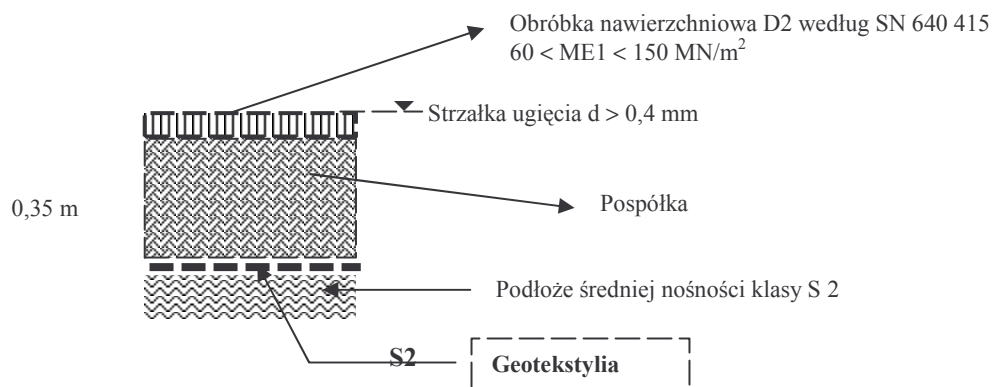
Rysunek 3.3 Schemat podtorza torów grupy 1



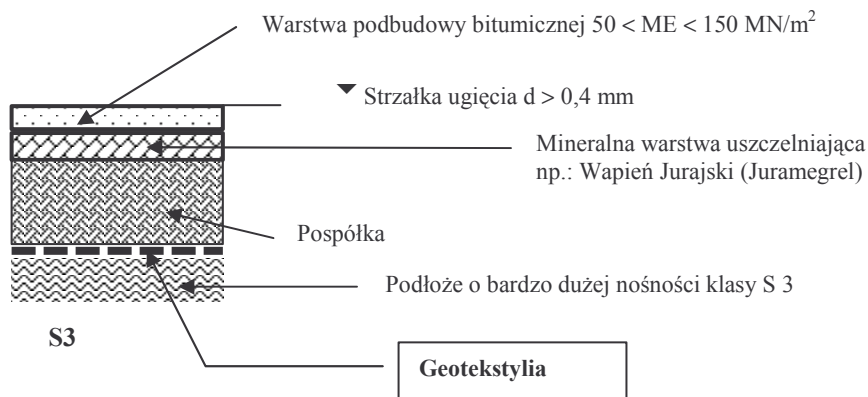
Rysunek 3.4*) Schemat podtorza torów grupy 1

*) – Obróbka nawierzchniowa lub mineralna warstwa uszczelniająca - jedynie w przypadkach, gdy niemożliwe będzie wbudowanie bitumicznej warstwy uszczelniającej.

Tory grupy 2 (HG3, NG2 oraz NG3) o obciążeniu > 5000 osi obl. / dzień

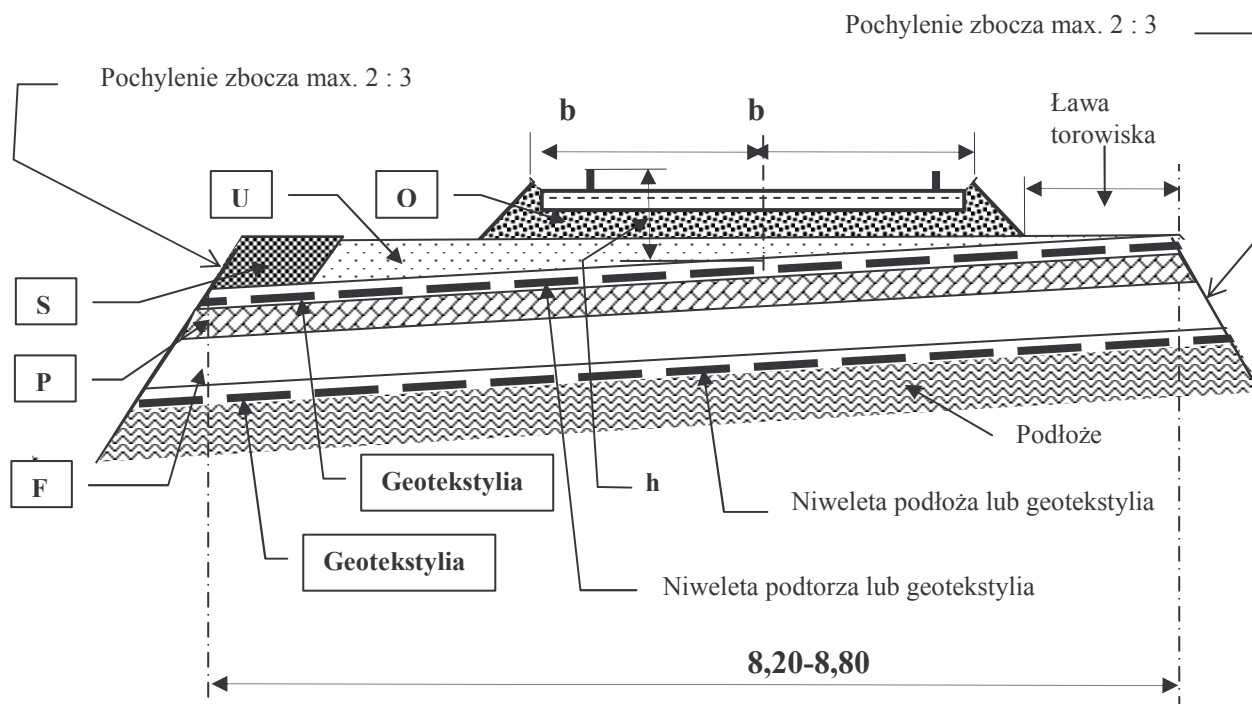


Rysunek 4.1 Schemat podtorza torów grupy 2



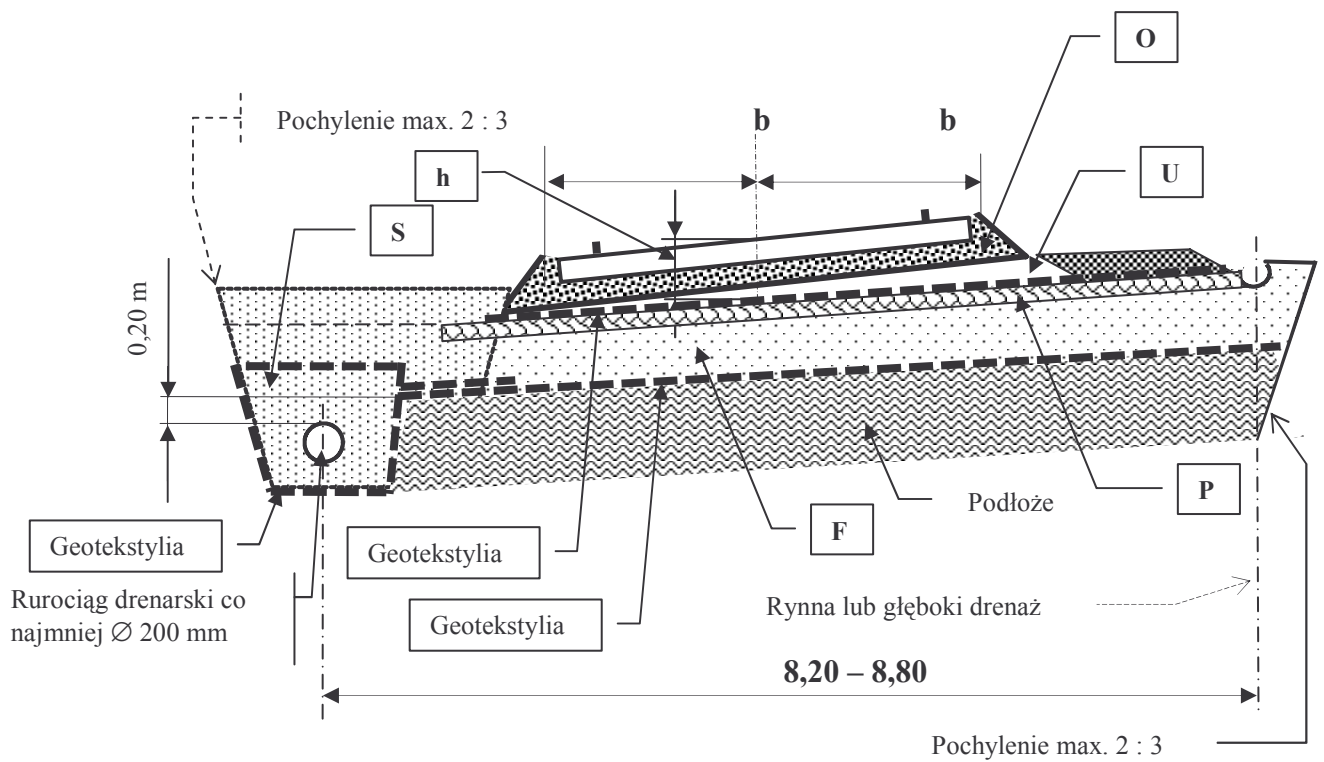
Rysunek 4.2 Schemat podtorza torów grupy 2

Przekroje normalne kolei szwajcarskich (jednotorowych)



Rysunek 5

Przekrój normalny wg kolei szwajcarskich dla prostych odcinków trasy



Rysunek 6

Przekrój normalny wg kolei szwajcarskich dla łuków poziomych trasy

Legenda :

- b** - normalnie 1,45 m, wersja wzmocniona 1,65 m
- h** - 0,80 m = rzędna wysokość, jako wytyczna do projektowania

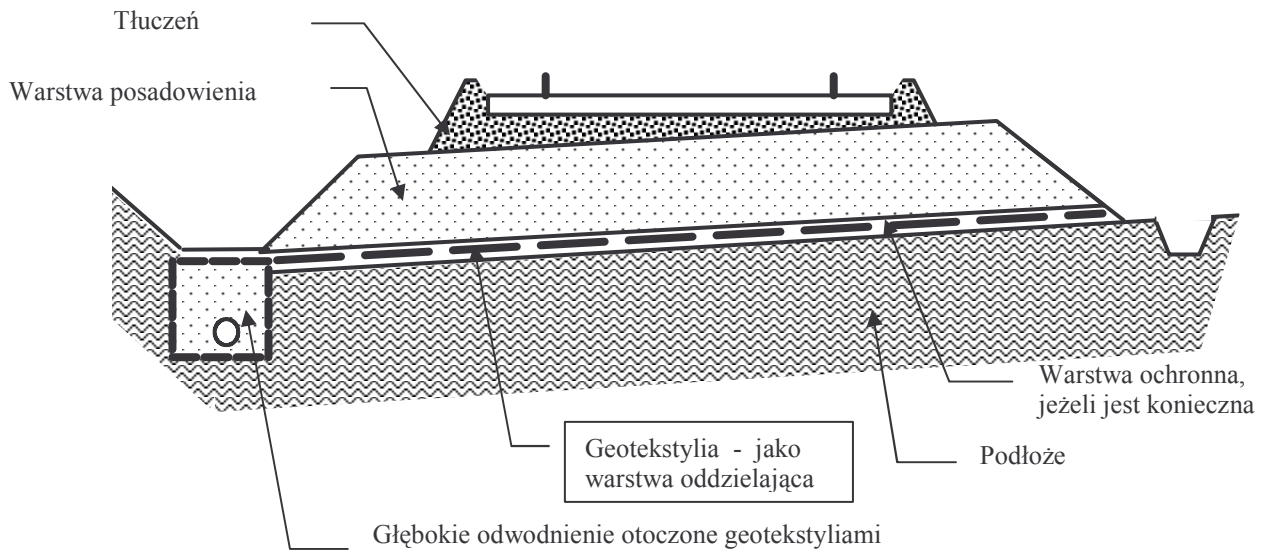
Spadki :

- niwelety podłoża \geq min. 5 %
- niwelety podtorza \geq min 5 % (3 % dla bitumicznych warstw uszczelniających)

- | | | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|
| O | - górna warstwa z tłucznia łamanego | P | - warstwa uszczelniająca |
| U | - dolna warstwa z tłucznia łamanego | F | - warstwa posadowienia |
| S | - warstwa o bardzo dobrej przepuszczalności wody (z tłucznia łamanego) | | |

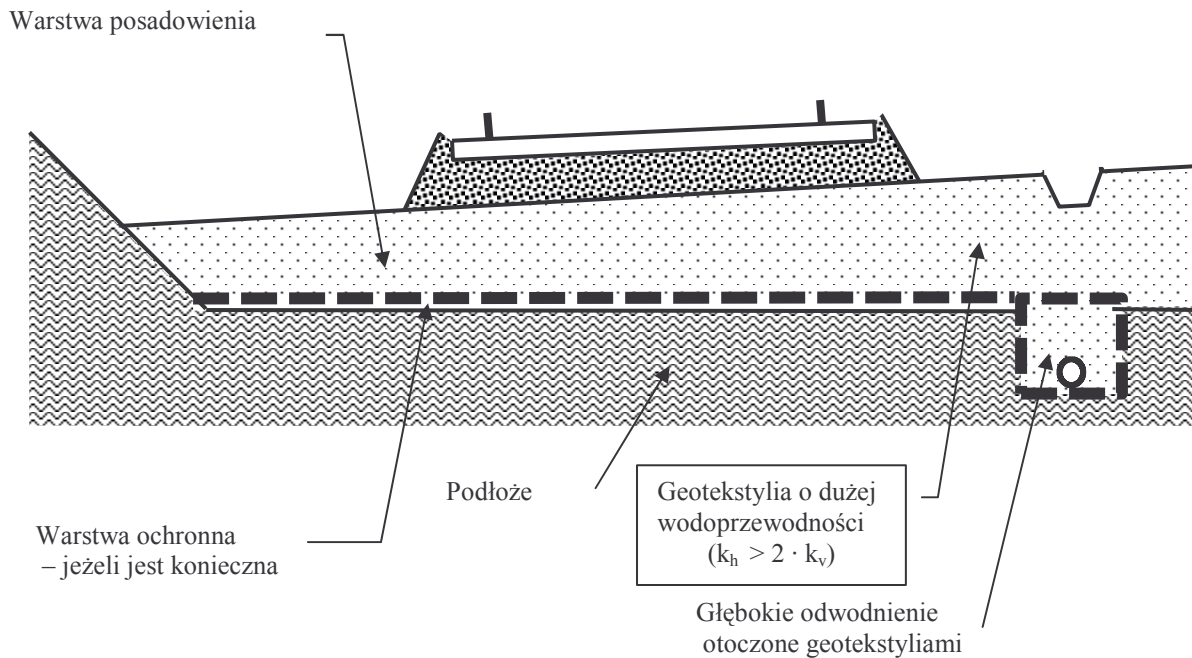
Możliwości zastosowań geotekstyliów

Drobnoziarniste podłoże przy głębokim zwierciadle wód gruntowych



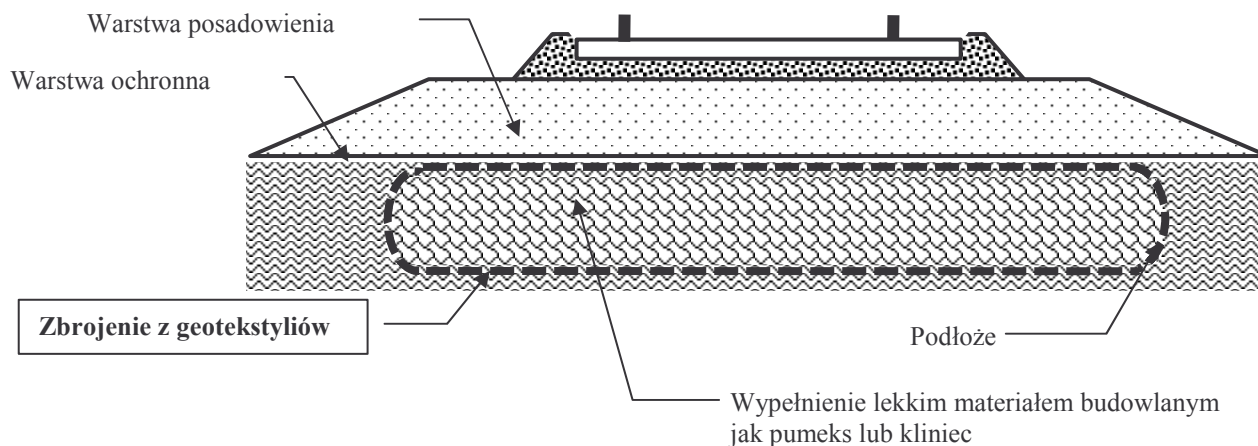
Rysunek 7 Geotekstylia jako warstwa oddzielająca

Drobnoziarniste podłoże przy głębokim zwierciadle wód gruntowych



Rysunek 8 Geotekstylia jako warstwa drenażowa

Podtorze zbrojone geotekstyliami



Rysunek 9 Geotekstylia jako element zbrojący dla lepszego rozłożenia obciążeń powstałych na skutek przejazdów taboru kolejowego

Technologia wbudowania i składowania geotekstyliów

Magazynowanie

Dla krótkotrwałego składowania geotekstyliów w oficjalnych dokumentach nie są stawiane żadne wymagania. Zaleca się jednak ich stałe ochranianie przed promieniami UV oraz przed namoknięciem. Należy natomiast stosować się do zaleceń producentów geosyntetyków, którzy są zobowiązani do dostarczenia kupującym te wyroby miarodajnych wytycznych w zakresie składowania.

Wbudowywanie

Zależnie od wielkości budowy geotekstylia rozkładane są ręcznie, lub przy pomocy specjalistycznego sprzętu. Powierzchnia pod geotekstylia musi być względnie wyrównana, a w czasie ich układania bezwzględnie należy unikać tworzenia się pofałdowań. Przy słonecznej pogodzie geotekstylia należy możliwie natychmiast przykryć warstwą gruntu, celem uniknięcia ich dłuższego naświetlania promieniami UV. Przykrywający je grunt bezwzględnie należy nanosić metodą „przed siebie”, unikając całkowicie bezpośredniego najeżdżania urządzeń budowlanych zanim nanoszona warstwa nie osiągnie wymaganej wysokości (co najmniej 0,20 m). Zależnie od wielkości i kształtu uziarnienia gruntu, jaki będzie się bezpośrednio stykał z geotekstyliami, warstwa ochraniająca je jest konieczna, albo też czasem można zaniechać jej stosowania.

Łączenie geotekstyliów

Z uwagi na ograniczone wymiary długości, a przede wszystkim szerokości, poszczególne pasma geotekstyliów łączone są praktycznie najczęściej na zakładkę o szerokości co najmniej 0,50 m, bez ich zszywania lub trwałego łączenia innymi elementami. Trwałe złącza wytrzymałościowe każdorazowo muszą być przeliczane na skuteczność przenoszenia sił oraz praktycznie badane - z tego też względu stosowane są bardzo sporadycznie.

Wnioski ogólne

Stosowanie geotekstyliów w budownictwie kolejowym jest celowe, jeżeli jest to związane z możliwością uzyskania następujących celów :

- zwiększenie trwałości korpusu ziemnego poprzez poprawę jego jakości;
- obniżkę kosztów budowy bądź modernizacji poprzez zmniejszenie zużycia materiałów mineralnych i robocizny;
- poprawę nośności obiektu na podłożach o niskiej nośności.

Geotekstylia są stosowane przede wszystkim w przypadkach występowania drobnoziarnistych podłoży (CL, ML) oraz podłoży mieszanych z dużym udziałem drobnego uziarnienia (SM, SM – ML, GM –ML). Specjalnej ostrożności wymagają piaski drobnoziarniste (SP) wobec ekstremalnego niebezpieczeństwa wystąpienia wypierania gruntu.

Przykłady obliczania i doboru geosyntetyków:

A. Według zasad zalecanych w Szwajcarii [1]

A.1. Linia kolejowa na gruncie o niskiej nośności

A.1.1 Przykład podwyższania nośności poprzez zbrojenie i odwodnienie z zastosowaniem geosyntetyku

A.1.1.1 Zadanie

Zbudować linię kolejową przyjmując następujące lokalne uwarunkowania :

Dane wyjściowe :

Podłoże :

- osady morskie, pyły lekko gliniaste o dużej zawartości piasków USCS; ML w stanie półstałym
- uziarnienie według prezentowanego poniżej wykresu 2
- ścisłość $ME = 8,0 \text{ MN/m}^2$
- klasa nośności S 1, małej nośności

Warstwa drenażowa :

- grubość 0,10 – 0,15 m
- pospółka I, uziarnienie 0 do 60 mm

Warstwa posadowienia :

- grubość 0,30 m
- kruszywo SBB, uziarnienie 0 do 30 mm typu A / B

Uwagi

badania geologiczne

szacunkowo

tablica

wybrana

grubość minimalna

wybrana

strona 4 i wykres str. 6

Dane charakterystyczne do obliczania geotekstyliów :

Podłoże – uziarnienie

$$d_{85} = 0,24 \text{ mm}$$

z krzywej uziarnienia

$$d_{60} = 0,032 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 0,003 \text{ mm}$$

– moduł ścisłości

$$ME_1 = 8,0 \text{ MN/m}^2$$

szacunkowo

– klasa nośności S 1 małej nośności

tabela str. 4

– przepuszczalność wody :

a) według Sichart'a $k = 0,006 \cdot d_{50}^2$; $d_{50} = 0,022$ mm
 $k = 0,006 \cdot 0,022^2 = 3 \cdot 10^{-6}$ m/s

b) według Hazen'a $k = 0,0116 \cdot d_{10}^2 = 0,0116 \cdot 0,003^2 =$
 $= 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s

c) według tabeli charakterystycznych wskaźników gruntów SNV 670 010

ML : $k = 3^{-5} \div 10^{-8}$ m/s

Wybrano : $k = 10^{-5}$ m/s

Warstwa drenażowa : uziarnienie ; $d_{85} \geq 30$ mm, $d_{10} < 150$ mm

vide

kruszywo typu A / B

wykres str. 6

Geosyntetyk :

– wytrzymałość na rozrywanie

$r \geq 16$ kN/m

z wykresu str.6

– wydłużenie względne przy zerwaniu $\epsilon \geq 40$ %

wybrane

– siła przebicia

$O_d \leq 20$ mm

vide str. 6

– przepuszczalność wody

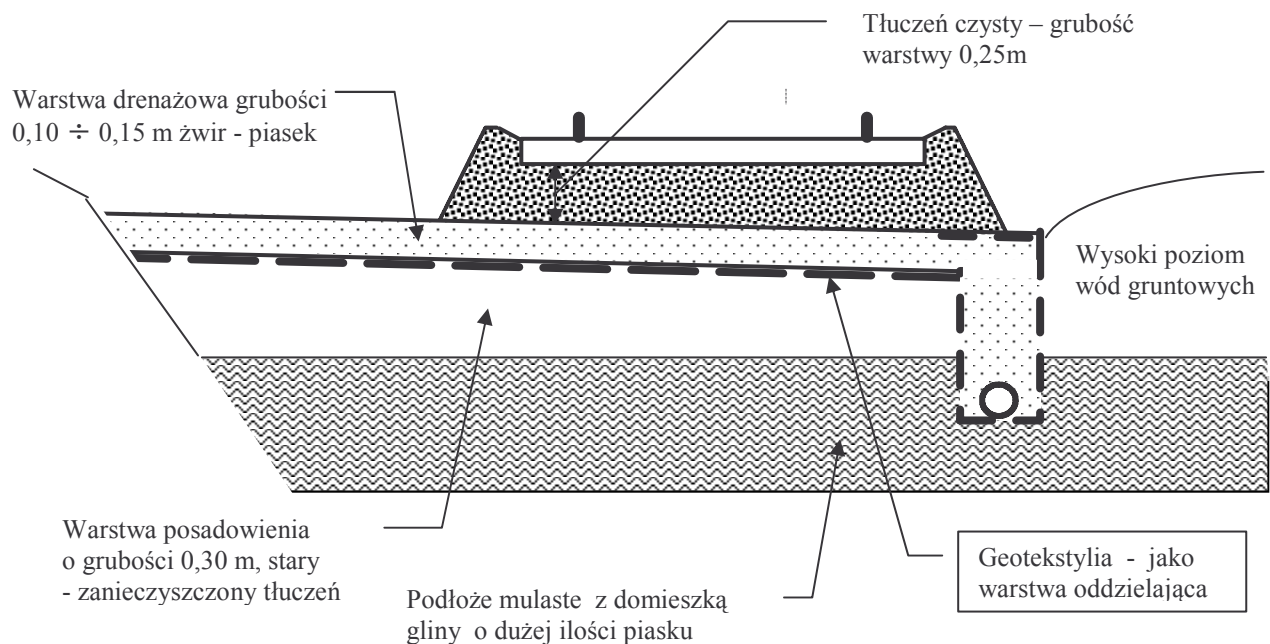
$k_v \geq 10 - 100 \cdot k$; $k_v = 10^{-3} \div 10^{-4}$ m/s

– skuteczna wielkość porów dla dynamicznego obciążenia filtra

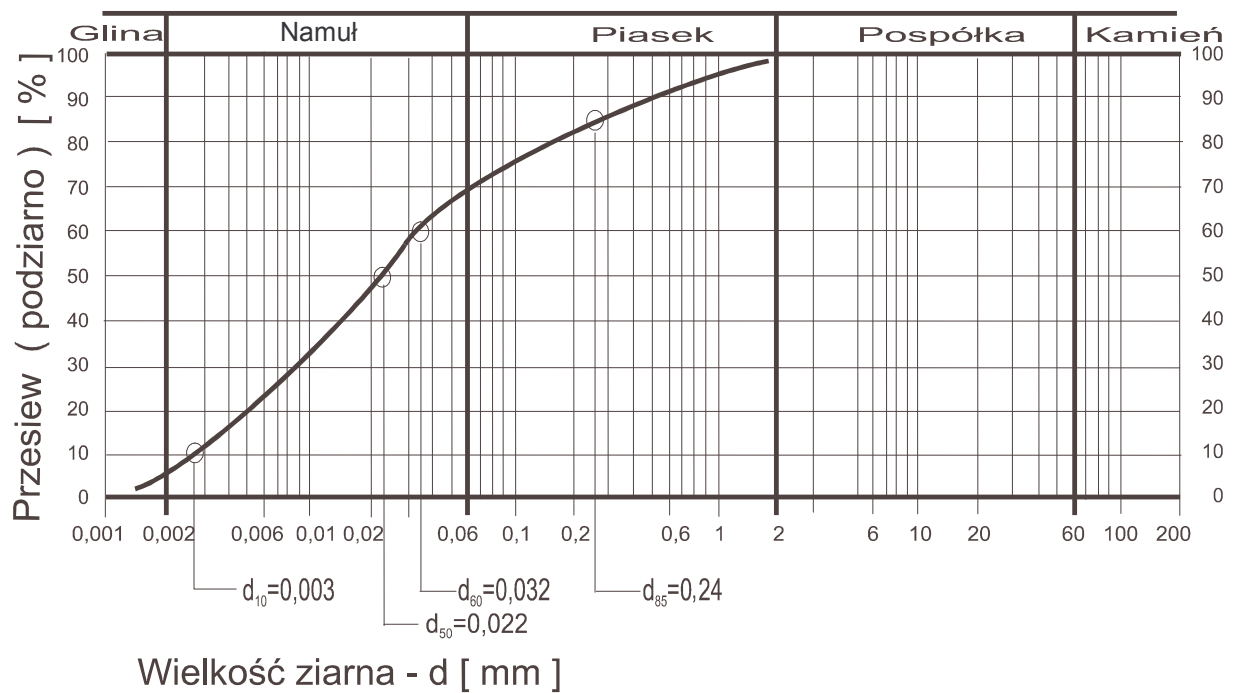
kryterium 1

$O_w \leq d_{85} = 0,24$ mm

vide str. 6



Rysunek 10. Typowy przekrój poprzeczny dla przykładu A.1.1.1



Wykres 2. Dopuszczalna krzywa uziarnienia podłoża wg wymagań kolei szwajcarskich dla namułu z małą zawartością gliny i dużą ilością piasku; symbol ML

Wybrane geotekstylia : – geowłóknina **FIBERTEX**; symbol **F - 330**

– wytrzymałość na rozrywanie	$r = 16 \text{ kN/m}$	($\geq 16 \text{ kN/m}$)
– wydłużenie względne przy zerwaniu	$\epsilon = 52 \%$	($\geq 40 \%$)
– siła przebicia	$O_d = 20 \text{ mm}$	($\leq 20 \text{ mm}$)
– przepuszczalność wody	$k_n = 19 \cdot 10^{-4}$	($> 10^{-4}$)
– skuteczna wielkość porów	$O_w = 0,1 \text{ mm}$	($\leq 0,24 \text{ mm}$)
– odporna na promienie UV oraz czynniki chemiczne i biologiczne.		

Wytyczne dla grubości korpusu nasypu od górnej krawędzi podłoża według SNCV :

$$e = E - a + b - c + d$$

$$e = 0,7 - 0,1 + 0 - 0 + 0 = 0,6 \text{ m}$$

$E = 0,7 \text{ m}$
 $a = 0,1 \text{ m}$
 $b = 0$
 $c = 0$
 $d = 0$

Wybrane : (według przekroju poprzecznego) $e = 0,25 + 0,10 + 0,30 = \mathbf{0,65 \text{ m}}$

A.2. Linia kolejowa na podłożu – torfowisku z warstwą podbudowy bitumicznej grubości 8 cm oraz warstwą z pospółki grubości 0,45 m i z geotekstyliami jako warstwą oddzielającą, - według przykładu Nr 3 możliwych typów podbudowy wg przepisów SBB znak R 211.1

A.2.1 Przykład podwyższania nośności poprzez zbrojenie z zastosowaniem geosyntetyku

A.2.1.1 Zadanie

Zbudować linię kolejową przyjmując następujące trudne uwarunkowania lokalne:

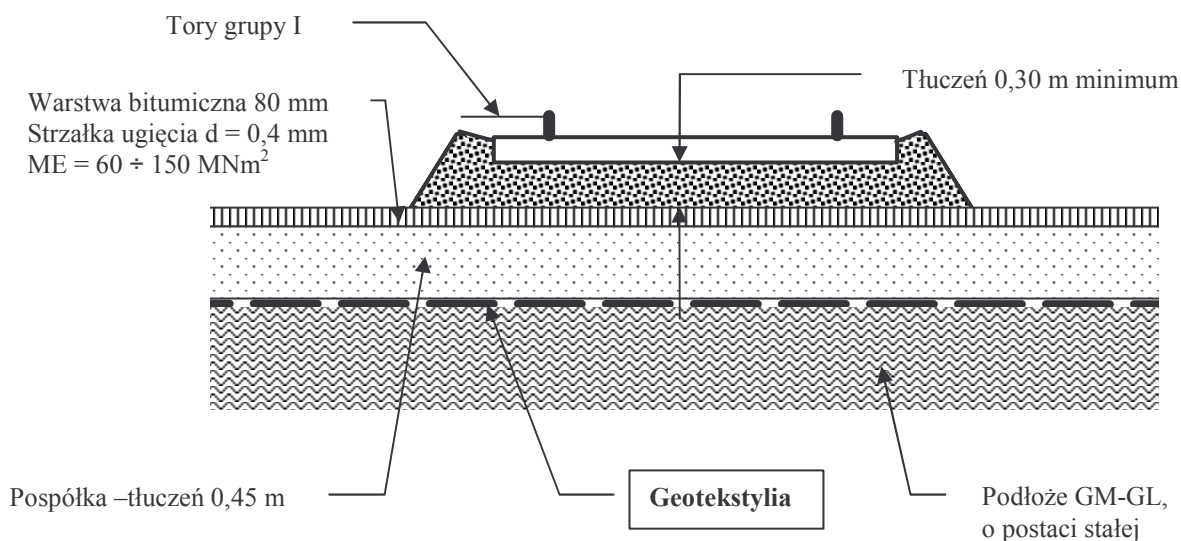
Dane wyjściowe :

- **Tory** grupy 1 (HG!, HG2, NG1)
- **Podłoże :** torfowisko: grunt gliniasty – (mulasty) *orzeczenie*
USCS: GM – ML, postaci stałej *geologiczne*
uziarnienie według niżej prezentowanego wykresu
ściśliwość: $ME_1 = 20 \text{ MN/m}^2$
klasa nośności: S2; średniej nośności *tablica*
- **Podbudowa :** żwir piaszczysty o ziarnie do 150 mm *wybrano*
grubość warstwy pod torowiskiem $h = 0,45 \text{ m}$ *według typu Nr 3*
z powłoką bitumiczną $d = 8 \text{ cm}$

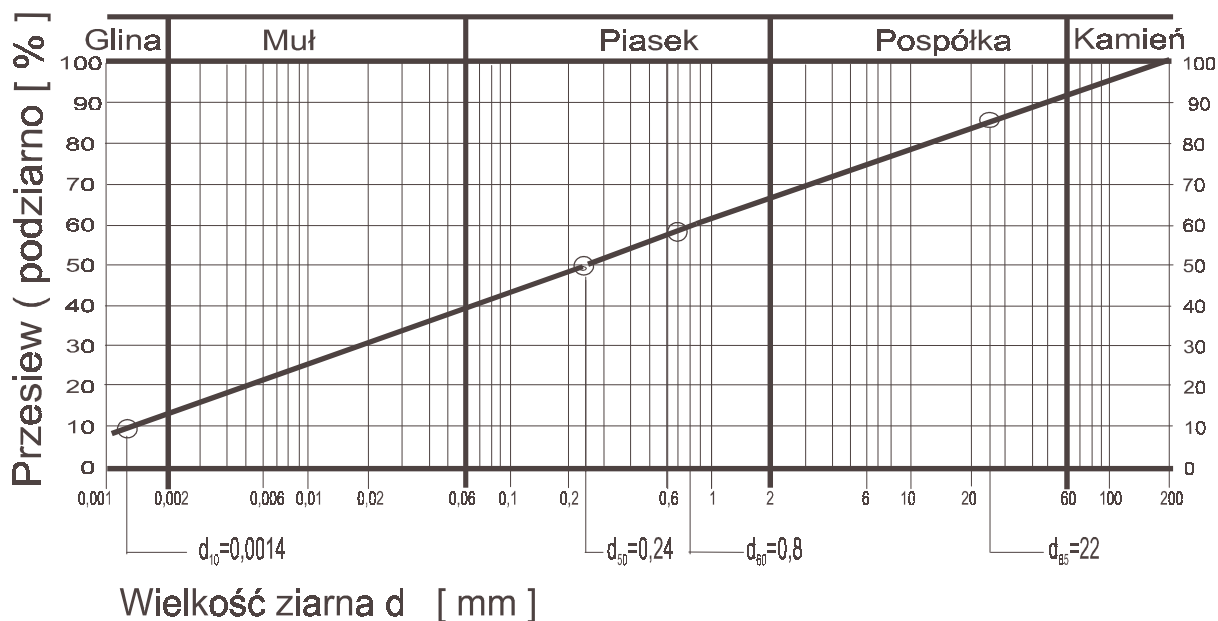
Uwagi

Dane charakterystyczne do obliczania geotekstyliów :

- Podłoże** – uziarnienie $d_{85} = 0,22 \text{ mm}$ *z krzywej uziarnienia*
 $d_{60} = 0,08 \text{ mm}$ *z krzywej uziarnienia*
 $d_{10} = 0,014 \text{ mm}$ *z krzywej uziarnienia*
- moduł ściśliwości $ME_1 = 8,0 \text{ MN/m}^2$ *szacunkowo*
 - klasa nośności S 2 średniej nośności *tablica*
 - przepuszczalność wody :
- a) według Sichart'a $k = 0,006 \cdot d_{50}^2$; $d_{50} = 0,24^2$;
 $k = 0,006 \cdot 0,24^2 = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ - niemożliwe
- b) według Hazen'a $k = 0,0116 \cdot d_{10}^2 = 0,0116 \cdot 0,0014^2 =$
 $= 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
- c) według tabeli charakterystycznych wskaźników gruntów SNV 670 010
 $k = 10^{-5} \div 10^{-8} \text{ m/s}$
- Wybrano :** $k = 10^{-5} \text{ m/s}$



Rysunek 11. Typowy przekrój poprzeczny dla przykładu A.2.1.1.



Wykres 3. Krzywa dopuszczalnego uziarnienia podłoża wg wymogów kolei szwajcarskich dla pospółki o bardzo dużej zawartości gliny i namułu: o symbolach GM – LM

Podbudowa : pospółka, o ziarnie zaokrąglonym do 150 mm;
 kruszywo typu A

vide str. 4
wykres str. 6

Geosyntetyk :

- wytrzymałość na rozrywanie $r \geq 14 \text{ kN/m}$
- wydłużenie względne przy zerwaniu $\epsilon \geq 40 \%$
- siła przebicia $O_d \leq 20 \text{ mm}$
- przepuszczalność wody $k_v \geq (10 \div 100) \cdot 10^{-5} \cdot k$
 $k_v = 10^{-3} \div 10^{-4} \text{ m/s}$
- skuteczna wielkość porów dla dynamicznego obciążenia filtra

z wykresu str.6
wybrane
vide str. 6

vide str. 6

kryterium 1 $O_w \leq d_{85} = 0,22 \text{ mm}$

kryterium 2 $O_w \leq 5 \cdot d_{10} \cdot \sqrt{C_u}$; $C_u = d_{60}/d_{10}$ *vide str. 6*

$O_w \leq 5 \cdot 0,0014 \cdot \sqrt{571} = 0,17$

kryterium 3 $O_w \geq 4 \cdot d_{15} = 4 \cdot 0,0022 = 0,01 \text{ mm}$ *vide str. 6*

Wybrane geotekstyliia :

- geowłóknina **FIBERTEX®**; symbol **F - 320**

- wytrzymałość na rozrywanie $r = 14,3 \text{ kN/m}$ ($\geq 14 \text{ kN/m}$)
- wydłużenie względne przy zerwaniu $\epsilon = 55 \%$ ($> 40 \%$)
- wytrzymałość na przebicie $O_d = 16 \text{ mm}$ ($\leq 20 \text{ mm}$)

- przepuszczalność wody $k_v = 20 \cdot 10^{-4}$ ($> 10^{-3} - 10^{-4}$)
- skuteczna wielkość porów $O_w = 0,1 \text{ mm}$ ($< 0,24 \text{ mm}$)
($> 0,05 \text{ mm}$)
- odporne na promienie UV oraz czynniki chemiczne i biologiczne.

Wytyczne dla grubości korpusu nasypu od górnej krawędzi podłoża według SNCV :

$$e = E - a + b - c + d$$

$$e = 0,55 - 0,1 + 0 - 0 + 0 = 0,45 \text{ m}$$

$$E = 0,045 - 0,55$$

$$a = 0,10$$

$$b = 0$$

$$c = 0$$

$$d = 0$$

Wynik obliczenia: (według przekroju poprzecznego) $e = 0,45 + 0,08 + 0,30 = 0,83 \text{ m}$

B. Według zasad określonych w „ZALECENIACH DLA ZBROJENIA GEOSYNTETYKAMI” EBGeo 1997 opracowanych i wydanych przez Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) w RFN [1]

B.1 Warstwy nośne linii kolejowych

B.1.1 Przykład podwyższania nośności poprzez zbrojenie geosyntetykiem

B.1.1.1 Zadanie

Istniejąca linia kolejowa, leżąca w III - ciej strefie oddziaływania mrozów, ma być przebudowana celem dostosowania jej do prędkości jazdy $V > 160 \text{ km/godz.}$

Terenowe badania przy użyciu płyt VSS wykazały, że w okresie roztopów moduł odkształceń podłoża może osiągać średnio $E_U = 20 \text{ MN/m}^2$.

B.1.1.2 Obliczenie na mrozoodporność

a) bez zbrojenia

Przy prędkości jazdy $V > 160 \text{ km/h}$ w III - ciej strefie oddziaływania mrozów bez zastosowania zbrojenia geosyntetykami (przypadek A) według tabeli 6.3-3 „Zaleceń EBGeo” wymagana grubość warstwy mrozo odpornej wynosi $h_{FSS} = 0,50 \text{ m}$.

Tablica 9. Z „Zaleceń EBGeo 1997”

Wymagane grubości warstw ochronnych od mrozów h_{FSS} (w cm) w zależności od stref oddziaływania mrozów i stosowania geosyntetyków; norma obowiązująca w Niemczech :

Prędkość jazdy	Niemiecka strefa oddziaływania mrozów i przypadki		
	I	II	III

	A	B	A	B	A	B
$V > 160 \text{ km/h}$	30	20	40	30	50	40
$V \leq 160 \text{ km/h}$	20	20	25	20	30	20

Przypadek A - dla linii kolejowych bez zbrojenia geosyntetykami.

Przypadek B - dla linii kolejowych zbrojonych geosyntetykami o własnościach oddzielania i filtracji.

b) przy zastosowaniu zbrojenia

Przy prędkości jazdy $V > 160 \text{ km/h}$ w III - ciej strefie oddziaływania mrozów, oraz zastosowaniu geosyntetyku z dodatkowymi własnościami oddzielania i filtracji (przypadek B) według tabeli 6.3-3 „Zaleceń EBGeo” wymagana grubość warstwy mrozoodpornej musi wynosić przynajmniej $h_{FSS} = 0,40 \text{ m}$.

B.1.1.3 Obliczenie na nośność

Dla remontów istniejących linii kolejowych zgodnie z tabelą 6.3-2 „Zaleceń EBGeo” dla prędkości $V > 160 \text{ km/h}$ wymagany jest moduł odkształcenia przy obciążeniu płytami na górnej powierzchni warstwy nośnej $E_0 = 80 \text{ MN/m}^2$.

Tablica 10. Z „Zaleceń EBGeo 1997”

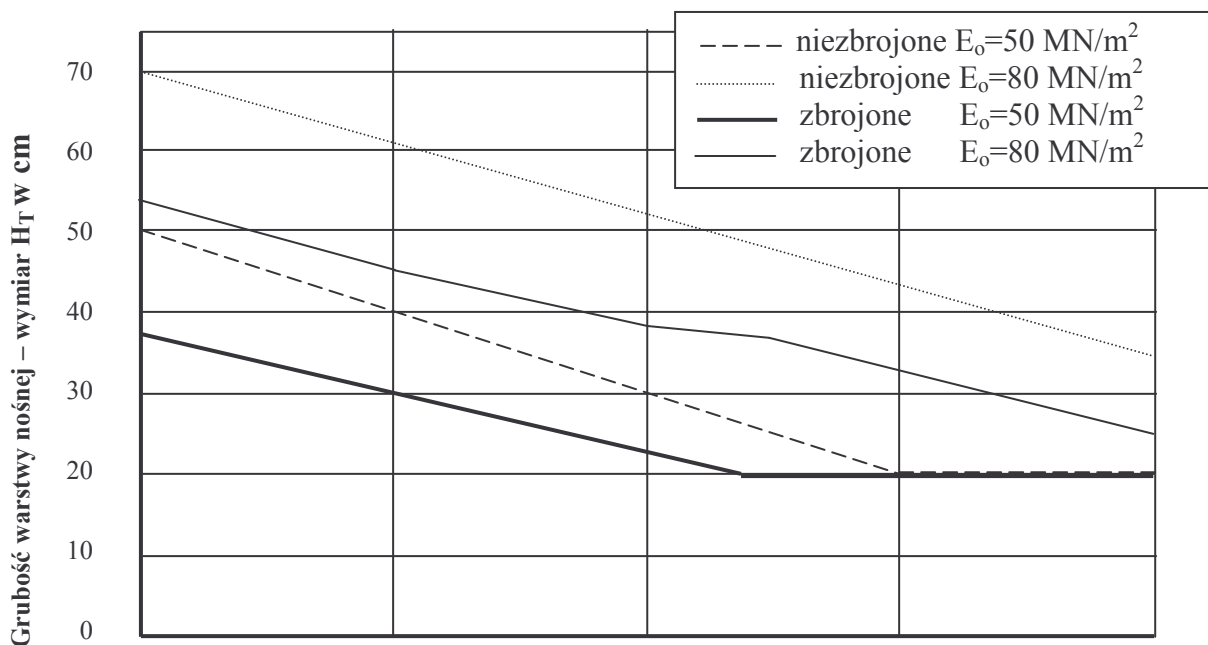
Moduły odkształceń E_0 oraz stopnie zagęszczenia D_{PT} dla remontów istniejących linii kolejowych.

Prędkość jazdy	Moduł odkształceń E_0 (MN/m^2)	Stopień zagęszczenia D_{PT} (-)
$V > 160 \text{ km/h}$	≥ 80	$\geq 0,97$
$V \leq 160 \text{ km/h}$	≥ 50	$\geq 0,95$

a) bez zbrojenia

Dla $V > 160 \text{ km/h}$, $E_U = 20 \text{ MN/m}^2$ oraz $E_0 = 80 \text{ MN/m}^2$ dobrać należy według wykresu 6.3-2 „Zaleceń EBGeo” wymaganą grubość niezbrojonej warstwy nośnej. Wynosi ona $h_T = 0,55 \text{ m}$,

Wykres 4. Z „Zaleceń EBGeo 1997” określający grubości warstw nośnych dla remontowanych i modernizowanych linii kolejowych



E_U – moduł odkształceń na górnej powierzchni podtorza,
 E_0 – moduł odkształceń na górnej powierzchni podbudowy

b) przy zastosowaniu zbrojenia

Dla $V > 160$ km/h, $E_U = 20$ MN/m² oraz $E_0 = 80$ MN/m² według wykresu 4 „Zaleceń EBGeo” wymagana grubość zbrojonej warstwy nośnej wynosi $h_T = 0,38$ **0,40 m**,

B.1.1.4 Wyniki obliczeń:

a) bez zbrojenia geosyntetykami:

Miarodajne jest obliczenie na nośność, ponieważ wymagane $h_T > h_{FSS}$. W przypadku niestosowania zbrojenia należy przewidzieć najmniejszą wymaganą grubość warstwy nośnej na poziomie 0,55 m.

b) przy stosowaniu zbrojenia geosyntetycznego:

Obliczenia na mrozoodporność i nośność prowadzą do jednakowych grubości warstw. $h_T = h_{FSS}$. W przypadku jednej warstwy zbrojenia o dodatkowych funkcjach (separacji i filtracji) należy przewidzieć najmniejszą grubość warstwy nośnej na poziomie 0,40 m. W wyniku zastosowania zbrojenia można zaoszczędzić na grubości warstwy nośnej (ilości tłucznia o długości i szerokości tego elementu podtorza) o grubości 0,15 m.

B.1.1.5 Wskazówki konstrukcyjne

Warstwę nośną należy budować jako pojedynczą. Pomiędzy podłożem a warstwą nośną (równej warstwie mrozoodpornej) wbudować geosyntetyk z dodatkowymi właściwościami oddzielania i filtracji, który musi spełniać wymagania określone w punkcie 6.3-5 „Zaleceń EBGeo”.

Punkt 6.3.5 „Zaleceń EBGeo” - ZBROJENIA Z GEOSYNTETYKÓW.

Do zbrojenia można używać geosyntetyków, które tak wzdłużnie, jak i poprzecznie wykazują wytrzymałość co najmniej 10 kN/m przy 3% wydłużeniu ustalonych na drodze badania wstęgowego. Stanowi to preferencję dla stosowania przede wszystkim geosiatek względnie geosiatek zbrojonych konstrukcyjnie z igłowanymi, nietkanymi geowłókninami.

Przykładem takich wyrobów są geokompozyt o nazwie handlowej „Comtrac[®]”.

Używając do zbrojenia geosiatek, konieczne jest skoordynowanie wielkości oczek z uziarnieniem materiału wypełniającego warstwę stabilizacyjną, dla uzyskania skutecznego połączenia geosiatki z otaczającym ją wypełnieniem.

Dla dotrzymania ww. warunków zalecane jest następujące kryterium: $0,6 L_w \geq d_{(80)}$, gdzie:

L_w - najmniejszy wymiar oczka geosiatki

$d_{(80)}$ - średnica ziaren przy 80% przesiania materiału z otoczenia siatki, przy czym miarodajny jest największy wymiar ziarna.

Warunek ten zapewnia prawdopodobieństwo, że pojedyncze ziarna będą wciskane w oczka siatki.

Znane są z praktyki przykłady doboru niewłaściwych geosiatek, np. przypadek gdy znalazły zastosowanie produkty o bardzo niskiej jakości, na poziomie zaledwie 10%, samych połączeń w stosunku do doraźnej wytrzymałości na zrywanie (UTS) prostopadłych do siebie pasemek konstrukcyjnych geosiatek. W takim przypadku, co oczywiste, już pod wpływem niewielkiej ilości przejazdów kół pojazdów, oddziaływujących na wpasowany w oczko geosiatki element mineralny (kruszywo, tłuczeń, pospółka), jego napór na otaczające go pasemka geosiatki powoduje ich odspójnienie na węzłach. Bezpośrednim skutkiem zastosowania takiego geosyntetyku (geosiatki) będzie następująca w krótkim okresie czasu utrata nośności świeżo wybudowanego (wyremontowanego) podłoża, a w perspektywie groźba wystąpienia katastrofy.

Jest regułą, że zbrojenie umiejscawiane jest pomiędzy powierzchnią podłoża a warstwą nośną, a zalecane są tu geosyntetyki z preferowanymi własnościami: oddzielania i filtracji. Natomiast przy wymaganej grubości warstwy nośnej powyżej 40 cm zaleca się stosowanie warstwy dwuczęściowej, wewnątrz której układa się drugie zbrojenie, dając w tym przypadku priorytet stosowaniu geosiatek. Wymogi uprzednio stawiane wobec geosiatek i geowłóknin należy tu także zachowywać. W Niemczech w tym zakresie obowiązują przepisy DB AG TL 918039.

B.1.2 Przykład wyrównywania nośności poprzez zbrojenie geosyntetykiem

B.1.2.1 Zadanie

Istniejąca linia kolejowa przeznaczona dla prędkości przejazdów $V \leq 160$ km/h ma mieć podwyższone parametry eksploatacyjne. Cały odcinek tej linii znajduje się w II-giej strefie oddziaływania mrozów. Średnia nośność podłoża wynosi $E_U = 15$ kN/m², jednak niektóre krótkie odcinki wykazują niższy moduł odkształceń, wynoszący $E_U = 10$ kN/m². Tylko krótkie odcinki o nośności podłoża < 15 kN/m² będą zbrojone, pozostałe pozostaną nie zbrojone. Dla obliczania na nośność należy wprowadzać na stałe moduł odkształceń podłoża $E_U = 15$ kN/m².

B.1.2.2 Obliczenie na mrozoodporność

Przy prędkości $V \leq 160$ km/h oraz w II-giej strefie oddziaływania mrozów wymagana grubość warstwy mrozoodpornej bez zastosowania zbrojenia geosyntetykami (przypadek A) według tabeli 6.3-3 „Zaleceń EBGeo” wynosi $h_{FSS} = 0,25$ m.

B.1.2.3 Obliczenie na nośność

Zgodnie z tabelą 6.3-2 „Zaleceń EBGeo”, dla remontów istniejących linii kolejowych przy prędkościach jazdy $V \leq 160$ km/h, wymagany jest moduł odkształceń górnej powierzchni warstwy nośnej $E_0 = 50$ kN/m². Przy prędkości $V \leq 160$ km/h i $E_U = 15$ MN/m² wymagana grubość nie zbrojonej warstwy nośnej według wykresu 6.3-2 „Zaleceń EBGeo” wynosi $h_T = 0,40$ m.

B.1.2.4 Wyniki obliczeń:

Przewidywana jest równomierna warstwa ochronna grubości **0,40m**, która będzie stanowiła warstwę pojedynczą. Na krótkich odcinkach o podłożu z $E_U = 10 \text{ MN/m}^2$ pomiędzy podłożem a warstwę nośną wbudować należy zbrojenie z geosyntetyku o dodatkowych właściwościach oddzielania i filtracji. Zbrojenie to musi odpowiadać wymogom, określonym w punkcie 6.3.5 „Zaleceń EBGeo - 1997”.

Podsumowanie

Obliczenia stateczności nasypów z doбором rodzajów i funkcji geosyntetyków [3] dokonuje się przy pomocy specjalistycznych programów komputerowych. dysponuje takimi programami i dla potrzeb swoich P.T Partnerów może dokonywać odpowiednich obliczeń.

Ogólne metody obliczania prezentowane są w wydanych w RFN w *EBGeo 1997 „Zaleceniach dla Zbrojenia Geosyntetykami”*, bądź poprzez analogię można korzystać ze wzorów według przyjętej do stosowania w RFN „Instrukcji dla Stosowania Geotekstyliów i Geosiatek w Ziemnym Budownictwie Drogowym ”[4].

Dla umożliwienia polskim projektantom wykorzystania niniejszego opracowania podczas prac studialnych i projektowych, poniżej zamieszcza się niezbędne zestawy podstawowych parametrów: technicznych i zaopatrzeniowych dla trzech głównych rodzajów GEOSYNTETYKÓW, znajdujących zastosowanie w krajowym budownictwie kolejowym.

Autorzy mają nadzieję, że zawarte w tym opracowaniu dane i informacje przyczynią się do upowszechnienia geosyntetyków w krajowym kolejnictwie.

L.p.	Właściwości	Symbole geotekstyliów Fibertex®														
		G-100	F-2B	AM2	F-300	F-32M	F-320	F-33S	F-43S	F-4M	F-410	F-500	F-400M	F-45M	F-650M	F-800M
1	Wyttrzymałość na przebicie statyczne – badania CBR [N]	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	Wyttrzymałość na przebicie dynamiczne – średnica otworów [mm]	820	1340	1300	1740	1750	1910	2450	2800	3050	3120	3810	4000	5000	4950	7400
3	Wyttrzymałość na przebicie dynamiczne – - wzduż pasma [kN/m] - szerz pasma [kN/m]	40	25	35	24	17	22	18	16	10	14	15	5	5	0	0
4	Wyttrzymałość na rozciąganie: - wzduż pasma [%] - szerz pasma [%]	4,00 5,0	8,0 9,0	9 9	11,4 11,4	10,0 12,0	12,6 12,6	12,0 14,0	13,0 17,0	18,0 19,0	20,0 20,0	25,0 25,0	24,0 25,0	26,0 36,0	25,0 32,0	30,0 60,0
5	Wydłużenie wzgl. w chwili zerwania: - wzduż pasma [%] - szerz pasma [%]	40 60	50 60	50÷60 50÷60	50 50	60 80	52 52	45 55	60 60	65 80	52 52	55 55	70 80	75 75	80 80	90 60
6	Przepuszczalność wody przy obciążeniu 2 kPa: - prostopadle do powierzchni - równolegle „ „ [m/s·10 ⁻⁴]	9 17	14 21	- -	19 49	37 46	20 66	13 22	15 20	35 59	17 53	15 44	23 31	15 33	30 40	30 33
7	Umowna wielkość porów O ₉₀ [mm]	0,11	0,085	0,1	0,09	0,11	0,085	0,065	0,07	0,08	0,07	0,065	0,07	0,045	0,065	0,08
8	Masa powierzchniowa [g/m ²]	100	140	150	180	190	200	250	300	320	320	370	400	500	650	800
9	Wymiary typowe produktu: - grubość przy obciążeniu: - 2 kPa [mm] - 20 kPa [mm] - 200 kPa [mm] - szerokość [m] - długość [m] - średnica rolki [cm] - masa rolki o szer. 5m [kg]	0,6 0,4 0,3 5,0 100 28 55	1,1 0,8 0,6 5,0 100 35 75	1 - - 3,75/5 100 35 80	1,3 0,9 0,6 5,0 100 35 95	2,5 1,5 0,8 5,0 100 49 100	1,5 1,0 0,8 5,0 100 38 105	1,5 1,1 0,8 5,0 100 60 132	2,0 1,36 0,92 5,0 100 60 155	3,2 2,3 1,3 5,0 100 58 165	2,0 1,5 1,2 5,0 100 45 168	2,2 1,8 1,5 5,0 100 49 195	3,5 2,5 1,7 5,0 100 62 210	3,5 3,2 2,1 5,0 100 60 255	5,0 4,6 3,0 5,5 50 56 178	6,0 5,5 3,5 5,5 50 65 240
10	Surowiec	Polipropylen 100% (PP)														
10	Odporność na promienie UV	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak	tak

L.p.	Właściwości	Symbole geotekstyliów Fibertex®						
		F-330	F-400	F-600M	F-1000M	F-1200M		
1	2	3	4	5	6	7		
1	Wytrzymałość na przebicie statyczne – badania CBR [kN]	2,3	2,8	5,5	9,5	13,5		
2	Wytrzymałość na przebicie dynamiczne – średnica otworów [mm]	20	18	0	0	0		
3	Wytrzymałość na rozciąganie: - wzdłuż pasma [kN/m] - szerz pasma [kN/m]	16 16	16,5 17,5	30 41	32 75	40 110		
4	Wydłużenie wzgl. w chwili zerwania - wzdłuż pasma [%] - szerz pasma [%]	52 55	52 55	70 80	110 55	120 70		
5	Przepuszczalność wody przy obciążeniu 2 kPa: – prostopadle do powierzchni [m/s·10 ⁻⁴] – równoległe „ „	19 78	18 78	30 38	20 38	20 36		
6	Umowna wielkość porów O ₉₀ [mm]	0,08	0,075	0,07	0,07	0,06		
7	Masa powierzchniowa [g/m ²]	250	275	600	1000	1200		
8	Wymiary typowe produktu: - grubość przy obciążeniu: - 2 kPa [mm] - 20 kPa [mm] - 200 kPa [mm] - szerokość [m] - długość [m] - średnica rolki [cm] - masa rolki o szer. 5m [kg]	1,7 1,3 0,9 5,0 100 42 130	1,8 1,4 1,1 5,0 100 43 150	5,0 4,1 2,6 5,5 100 75 310	7,0 6,0 4,2 5,5 50 70 265	8,0 7,2 5,0 5,5 50 79 320		
9	Surowiec	Polipropylen 100 % (PP)						
10	Odporne na promienie UV	tak	tak	tak	tak	tak		

L.p.	Właściwości	Symbole geotkanin HaTe®							
		6G/135/SA	6G/110/SA	C 00.520	6G/185/SA	80.557	6G/240/SA	D 00.530	6G/625/SA
1	Wytrzymałość na rozciąganie: - wzdłużnie [kN] - poprzecznie [kN]	30	25	26	≥ 38	40	45	60	200
2	Wydłużenie względne w chwili zerwania: - wzdłużnie [%] - poprzecznie [%]	≤ 15	≤ 15	18	≤ 15	25	≤ 15	30	15
3	Rodzaj surowca	PP	PP	PE	PP	PE	PP	PE	PP
4	Wskaźnik przepuszczalności wody przy ciśnieniu 100 cm słupa wody [l/s·m ²]	10	< 10	>500	< 20	> 500	< 10	≥ 300	
5	Umowna wielkość porów O ₉₀ [mm]	0,20	0,10	0,69	0,30	1,0	0,15	0,46	0,24
6	Masa powierzchniowa [g/m ²]	≥ 135	≥ 110	150	185	200	240	220	625
7	Wymiary typowe produktu : - szerokość [m] - długość [m] - masa rolki o szerokości 5,0 m [kg]	5,2 200 ≥ 155	5,2 200 ≥ 145	1,7 / 2,0 / 5,1 100 ≥ 65	5,2 200 ≥ 200	5,0 100 ≥ 100	5,20 200 ≥ 265	3,8 / 5,0 100 ≥ 110	5,20 200 ≥ 670
8	Odporność na promienie UV	Odporne	Odporne	Odporne	Odporne	Odporne	Odporne	Odporne	Odporne

L.p.	Właściwości	Symbole geosiatek HaTe®									
		23.142 3	30.143 4	D 00.006 5	43.144 6	50.145 7	C 50.002 8	A 20.606SP 9	C 10.341 10	60.006SP 11	40.705SP 12
1	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłużnie [kN] - poprzecznie	15 14	20 20	25 30	30 30	35 32	45 55	55 55	70 70	80 80	200 40
2	Maksymalne wydłużenie względne w chwili zerwania: - wzdłużnie [%] - poprzecznie [%]	12 18	15 20	25 18	15 18	15 18	25 25	15 15	15 15	13 5	15 13
3	Rodzaj surowca	PES+PCW	PES+PCW	PE	PES+PCW	PES+PCW	PE / PP	PP	PES	PP	PP
4	Wskaźnik przepuszczalności wody przy ciśnieniu 100 mm słupa wody [l/m ² /s]	> 700	600	200	> 400	> 400	70	20	25	< 20	< 20
5	Umwowna wielkość porów O ₉₀ [mm]	3,5	10	0,66	1,5	1,2	0,25	0,20	0,06	0,20	0,23
6	Masa powierzchniowa [g/m ²]	140	180	150	220	225	210	280	230	370	630
7	Wymiary typowe produktu : - szerokość [m] - długość [m] - masa rolki [kg]	3,8 200 ≥ 120	3,8 200 ≥ 135	5,0 100 ≥ 90	3,7 100 1 ≥ 95	1,7 / 2,0 / 3,7 100 ≥ 95	5,0 100 ≥ 125	5,2 200 ≥ 200	≥ 5,0 200 ≥ 260	≥ 5,0 200 ≥ 390	5,05 / 6,0 200 ≥ 650
8	Odporność na promienie UV	Ochrona z PVC	Ochrona z PVC	Odporne	Ochrona z PVC	Ochrona z PVC	Odporne	Odporne	Odporne	Odporne	Odporne

L.p.	Właściwości	Symbole geotkanin Stabilenka®										
		120/120	150/45	150/150	200/45	300/45	400/50	400/100	600/50	600/100	800/100	1000/100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Wytężalność na rozciąganie: - wzdłużnie [kN/m] - poprzecznie [kN/m]	120 120	150 45	150 150	200 45	300 45	400 50	400 100	600 50	600 100	800 100	1000 100
2	Wydłużenie w chwili zerwania: - wzdłużnie [%] - poprzecznie [%]	< 12 < 12	10 20	< 15 < 15	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20
3	Rodzaj surowca	Poliester (PES) + poliamid (PA)										
4	Przepuszczalność wody przy ciśnieniu 50 mm sw. [mm/sek]		13		6,0	2,5	1,8		0,8		0,5	0,2
5	Umowna wielkość porów O ₉₀ [mm]	< 0,20	< 0,436	< 0,10	< 0,45	< 0,045	< 0,045	< 0,05	< 0,045	< 0,045	< 0,045	< 0,045
6	Masa powierzchniowa [g/m ²]	380	330	450	400	540	700	770	1050	1100	1400	1800
7	Wymiary typowe produktu: - szerokość [m] - długość [m] - masa rolki [kg]	5,0 300	5 300	5,0 200	5 300	5 300	5 200	5 200	5 100	5 200	5 100	5 100
8	Odporność na: - promienie UV - chemikalia - czynniki biologiczne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne

Lp.	Właściwości	Symbole geokompozytów Comtrac®									
		30/30 B20	50 / 50 – B25	55/30 B30	55/50 B30	100/150 D30	110/35 20 B20	150/100 B30	200/50 B20		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Wytrzymałość na rozciąganie: - wzdłużnie [kN/m] - poprzecznie [kN/m]	30 30	50 50	55 30	55 50	100 150	110 35	150 100	200 50		
2	Wydłużenie w chwili zerwania: - wzdłużnie [%] - poprzecznie [%]	≤ 13 ≤ 13	≤ 13 ≤ 13	≤ 13 ≤ 13	≤ 13 ≤ 13	≤ 13 ≤ 13	≤ 13 ≤ 13	≤ 13 ≤ 13	≤ 13 ≤ 13		
3	Rodzaj surowca	PES / PP									
4	Przepuszczalność wody przy ciśnieniu 2 kN/m ² [m/s]	≥ 2 x 10 ⁻³	≥ 2 x 10 ⁻³	≥ 2 x 10 ⁻³	2 x 10 ⁻³	2 x 10 ⁻³	≥ 2 x 10 ⁻³	≥ 2 x 10 ⁻³	≥ 2 x 10 ⁻³		
5	Umowna wielkość porów [mm]	0,14	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14		
6	Masa powierzchniowa [g/m ²]	300	440	500	560	800	480	800	680		
7	Wymiary typowe produktu: - szerokość [m] - długość [m] - masa rolki [kg]	5,20 200 312	5,20 200 458	5,20 100 260	5,20 100 291	5,20 100 416	5,20 100 250	5,20 100 416	5,20 100 354		
8	Odporność na - promienie UV - chemikalia - czynniki biologiczne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne	Odporne Odporne Odporne		

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek Fornit [®]						Metody badań według
		20/20	30/30	40/40	20	30	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	200	270	330	150	250	PN-EN 965:1999	
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 20 ≥ 20	≥ 30 ≥ 30	≥ 40 ≥ 40	≥ 15 ≥ 15	≥ 25 ≥ 25	PN-ISO 10319: 1996	
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 15 ≤ 15	≤ 15 ≤ 15		
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względny 2 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 8 ≥ 87	≥ 12 ≥ 12	≥ 16 ≥ 16	≥ 4,4 ≥ 6,5	≥ 5,5 ≥ 8,7		
5	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względny 5 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 18 ≥ 18	≥ 24 ≥ 24	≥ 32 ≥ 32	≥ 8 ≥ 13	≥ 11 ≥ 17		

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® xx/yy-zz stosowanych w budownictwie kolejowym [13; 18]

Zestawienie 7

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®										Metody badań według
		20/13-20	20/20-35	35/20-20	35/35-35	55/30-20	80/30-20	110/30-20	R 150/30-30	R 200/30-30		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.	Nominalne wymiary oczek geosiatki (w osiach żeber podłużnych i poprzecznych) [mm]	20 x 20	35 x 35	20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20	30 x 30	30 x 30	pkt. 5.4.2	
2.	Masa powierzchniowa [g/m ²]	170	250	220	330	340	450	500	650	800	DIN EN 965:1995	
3.	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	20 13	20 20	35 20	35 35	55 30	80 30	110 30	150 30	200 30	DIN EN ISO 10319: 1996	
4.	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	12,5 12,5	12,5 12,5	12,5 12,5	12,5 12,5	12,5 12,5	12,5 12,5	12,5 12,5	12,5 12,5	12,5 12,5		

Uwaga: Dopuszczalne odchylenia od podanych w tablicy 1 lp.1 wymaganych wartości nie mogą przekraczać (± 20) %, a w pozostałych podanych w lp. 2 do 4 nie mogą przekraczać (± 10) %

Zestawienie 8

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®							Metody badań według
		13/20 T R 13/20 T	20/13 T R 20/13 T	30/30 T R 30/30 T	35/20 T R 35/20 T	35/35 T R 35/35 T	40/40 T R 40/40 T		
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	130	150	200	260	290	300	PN-EN 965:1999	
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 13 ≥ 20	≥ 20 ≥ 13	≥ 30 ≥ 30	≥ 35 ≥ 20	≥ 35 ≥ 35	≥ 40 ≥ 40	PN-ISO 10319: 1996	
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10		
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 3 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 3 ≥ 5	≥ 5 ≥ 3	≥ 7 ≥ 7	≥ 8 ≥ 5	≥ 8 ≥ 8	≥ 10 ≥ 10		
5	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 5 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 7 ≥ 10	≥ 10 ≥ 7	≥ 15 ≥ 15	≥ 17 ≥ 10	≥ 17 ≥ 17	≥ 20 ≥ 20		

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® xx/yy-zz T, Fortrac® R xx/yy-zz T stosowanych w budownictwie kolejowym [14]

Zestawienie 8 c.d.

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®					Metody badań według
		55/30 T R 55/30 T	65/65 T R 65/65 T	80/30 T R 80/30 T	80/80 T R 80/80 T	110/30 T R 110/30 T	
<i>l</i>	2	20	21	22	23	24	25
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	300	430	380	450	420	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 55 ≥ 30	≥ 65 ≥ 65	≥ 80 ≥ 30	≥ 80 ≥ 80	≥ 110 ≥ 30	PN-ISO 10319: 1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 3 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 13 ≥ 7	≥ 19 ≥ 19	≥ 22 ≥ 7	≥ 22 ≥ 22	≥ 30 ≥ 7	
5	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 5 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 27 ≥ 15	≥ 33 ≥ 33	≥ 40 ≥ 15	≥ 40 ≥ 40	≥ 55 ≥ 15	

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® xx/yy-zz T, Fortrac® R xx/yy-zz T stosowanych w budownictwie kolejowym [14]

Zestawienie 8 c.d.

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®					Metody badań według
		R 110/110 T	R 150/30 T	R 150/150 T	R 200/30 T	R 250/30 T	
<i>l</i>	2	26	27	28	29	30	31
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	480	795	880	680	700	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 110 ≥ 110	≥ 150 ≥ 30	≥ 150 ≥ 150	≥ 200 ≥ 30	≥ 250 ≥ 30	PN-ISO 10319: 1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	≤ 10 ≤ 10	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 3 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 30 ≥ 30	≥ 37 ≥ 7	≥ 37 ≥ 37	≥ 50 ≥ 7	≥ 63 ≥ 7	
5	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 5 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 55 ≥ 55	≥ 75 ≥ 15	≥ 75 ≥ 75	≥ 100 ≥ 15	≥ 125 ≥ 15	

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® R.xx/yy-zz M stosowanych w budownictwie kolejowym [15; 20]
Zestawienie 9

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®						Metody badań według
		R 20/9 M	R 20/13 M	R 20/20 M	R 30/30 M	R 35/20 M	R 35/35 M	
1	2	32	33	34	35	36	37	38
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	130	160	180	200	220	300	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie							PN-ISO
	- wzdłuż pasma [kN/m]	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 30	≥ 35	≥ 35	10319:
	- wszerz pasma [kN/m]	≥ 9	≥ 13	≥ 20	≥ 30	≥ 20	≥ 35	1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu							
	- wzdłuż pasma [%]	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	
	- wszerz pasma [%]	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 3 %:							
	- wzdłuż pasma [kN/m]	≥ 13	≥ 13	≥ 13	≥ 18	≥ 20	≥ 22	
	- wszerz pasma [kN/m]	≥ 5	≥ 8	≥ 13	≥ 18	≥ 13	≥ 22	

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® R xx/yy-zz M stosowanych w budownictwie kolejowym [15; 20]

Zestawienie 9 c.d.

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®						Metody badań według
		R 40/40 M	R 50/30 M	R 50/50 M	R 55/30 M	R 55/55 M	R 60/30 M	
1	2	39	40	41	42	43	44	45
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	320	340	380	350	400	400	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie							
	- wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 40 ≥ 40	≥ 50 ≥ 30	≥ 50 ≥ 50	≥ 55 ≥ 30	≥ 55 ≥ 55	≥ 60 ≥ 30	PN-ISO 10319: 1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu							
	- wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 3 %:							
	- wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 26 ≥ 26	≥ 28 ≥ 18	≥ 28 ≥ 28	≥ 30 ≥ 18	≥ 30 ≥ 30	≥ 35 ≥ 18	

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® R xx/yy-zz M stosowanych w budownictwie kolejowym [15; 20]
Zestawienie 9 c.d.

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®						Metody badań według
		R 60/60 M	R 65/65 M	R 80/30 M	R 80/80 M	R 90/30 M	R 90/90 M	
1	2	46	47	48	49	50	51	52
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	420	450	450	500	480	620	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie							PN-ISO 10319: 1996
	- wzdłuż pasma [kN/m]	≥ 60	≥ 65	≥ 80	≥ 80	≥ 90	≥ 90	
	- wszerz pasma [kN/m]	≥ 60	≥ 65	≥ 30	≥ 80	≥ 30	≥ 90	
3	Wydłużenie przy zerwaniu							
	- wzdłuż pasma [%]	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	
	- wszerz pasma [%]	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 6	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względnym 3 %:							
	- wzdłuż pasma [kN/m]	≥ 35	≥ 42	≥ 55	≥ 55	≥ 60	≥ 60	
	- wszerz pasma [kN/m]	≥ 35	≥ 42	≥ 18	≥ 55	≥ 18	≥ 60	

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® R xx/yy-zz M stosowanych w budownictwie kolejowym [15; 20]
Zestawienie 9 c.d.

Lp.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®					Metody badań według
		R 110/30 M	R 150/30 M	R 150/150 M	R 200/30 M	R 200/200 M	
1	2	53	54	55	56	57	58
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	540	600	1100	720	1200	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 110 ≥ 30	≥ 150 ≥ 30	≥ 150 ≥ 150	≥ 200 ≥ 30	≥ 200 ≥ 200	PN-ISO 10319: 1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względny 3 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 75 ≥ 18	≥ 100 ≥ 18	≥ 100 ≥ 100	≥ 130 ≥ 18	≥ 130 ≥ 130	

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® R xx/yy-zz M stosowanych w budownictwie kolejowym [15; 20]

Zestawienie 9 c.d.

Lp.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®						Metody badań według
		R 250/30 M	R 300/50 M	R 400/50 M	R 200/200 M	R 500/50 M		
1	2	59	60	61	62	63	64	
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	800	950	1300	1550	1300		PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 250 ≥ 30	≥ 300 ≥ 50	≥ 400 ≥ 50	≥ 400 ≥ 200	≥ 500 ≥ 50		PN-ISO 10319: 1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6	≤ 6 ≤ 6		
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względny 3 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 150 ≥ 18	≥ 180 ≥ 28	≥ 250 ≥ 28	≥ 250 ≥ 130	≥ 300 ≥ 28		

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® xx/yy-zz MP stosowanych w budownictwie kolejowym [15; 20]
Zestawienie 9 c.d.

Lp.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®					Metody badań według
		20/9 MP	20/13 MP	35/20 MP	50/30 MP	55/30 MP	
1	2	65	66	67	68	69	70
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	130	160	220	330	340	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 20 ≥ 9	≥ 20 ≥ 13	≥ 35 ≥ 20	≥ 50 ≥ 30	≥ 55 ≥ 30	PN-ISO 10319: 1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - wszerz pasma [%]	≤ 6 ≤ 20	≤ 6 ≤ 20	≤ 6 ≤ 20	≤ 6 ≤ 20	≤ 6 ≤ 20	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względny 3 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - wszerz pasma [kN/m]	≥ 10 ≥ 1	≥ 10 ≥ 1,2	≥ 17 ≥ 2	≥ 25 ≥ 3	≥ 27 ≥ 3	

Charakterystyka techniczna geosiatek płaskich typu Fortrac® xx(yy)-zz MP stosowanych w budownictwie kolejowym [15; 20]
Zestawienie 9 c.d.

L.p.	Właściwości	Wymagania dla geosiatek FORTRAC®				Metody badań według
		60/30 MP	80/30 MP	90/30 MP	110/30 MP	
1	2	71	72	73	74	75
1	Masa powierzchniowa [g/m ²]	380	420	480	560	PN-EN 965:1999
2	Wytrzymałość na rozciąganie - wzdłuż pasma [kN/m] - w szerz pasma [kN/m]	≥ 60 ≥ 30	≥ 80 ≥ 30	≥ 90 ≥ 30	≥ 110 ≥ 30	PN-ISO 10319: 1996
3	Wydłużenie przy zerwaniu - wzdłuż pasma [%] - w szerz pasma [%]	≤ 6 ≤ 20	≤ 6 ≤ 20	≤ 6 ≤ 20	≤ 6 ≤ 20	
4	Siła rozciągająca przy wydłużeniu względny 3 %: - wzdłuż pasma [kN/m] - w szerz pasma [kN/m]	≥ 30 ≥ 3	≥ 40 ≥ 3	≥ 45 ≥ 3	≥ 75 ≥ 3	

Wykaz literatury:

1. **Das Geotextil – Handbuch** – SVG - Schweizer Verband der Geotextilfachleute; (1988)
2. **Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen** - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik DGGT (1997); EBGEO; Verlag; Ernst & Sohn – RFN.
3. **Geotextilien im Bahnbau** – Geotextilien zum Trennen, Filtern und Drainieren im Bahnkörper; LOCHER HAUSER GRUPPE.
4. **Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus** (1994) – Forschungsgesellschaft für Straßen - und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd - und Grundbau; RFN.
5. **Poradnik projektanta, inwestora i wykonawcy. Geotekstyli**. Jacek Ajdukiewicz; Przedsiębiorstwo Realizacyjne *INORA*; Gliwice, 1994.
6. **Designing with Geosynthetics**, Koerner R., Fourth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1997,
7. **Earth reinforcement and soil structures**, Jones C., Thomas Telford, 1996.
8. **Geosynthetic engineering**, Holtz R., Christopher B., Berg R., BiTech Publishers Ltd Richmond, British Columbia, Canada 1997.
9. **A Design Primer: Geotextiles and Related Materials**, Industrial Fabric Association International, USA 1992.
10. **Geosynthetics: Microstructure and Performance**, Ian D. Peggs, Philadelphia 1989,
11. **CENTRUM NAUKOWO-TECHNICZNE KOLEJNICTWA, WARSZAWA;**
Świadectwo Kwalifikacji Systemów i Wyrobów do Stosowania w Przedsiębiorstwie Państwowym PKP nr: **116/98**, Geotekstyli **Fibertex**[®] typu F.
12. **INSTYTUT BADAWCZY DRÓG i MOSTÓW, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT/99-04-0707**, Geotekstyli **Fibertex**[®] typu F.
13. **INSTYTUT BADAWCZY DRÓG i MOSTÓW, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT/97-03-0167**, Geosiatki **Fortrac**[®].
14. **INSTYTUT BADAWCZY DRÓG i MOSTÓW, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT/99-04-0679**, Geosiatki **Fortrac**[®] typu **R xx/yy-zz T**.
15. **INSTYTUT BADAWCZY DRÓG i MOSTÓW, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT/2000-04-0977**, Geosiatki **Fortrac**[®] typu **R xx/yy-zz M**.
16. **INSTYTUT BADAWCZY DRÓG i MOSTÓW, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT/2001-04-1048**, Geosiatki **Fornit**[®] typu **xx/yy,xx**.
17. **INSTYTUT BADAWCZY DRÓG i MOSTÓW, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT/97-03-0166**, Geotkaniny **Stabilenka**[®].
18. **INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT-15-3244/99**, Geosiatki **Fortrac**[®].
19. **INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT-15-3179/98**, Geotkaniny **Stabilenka**[®].
20. **INSTYTUT TECHNIKI BUDOWLANEJ, WARSZAWA;**
Aprobata Techniczna nr **AT-15-4885/2001**, Geosiatki **Fortrac**[®] M i **Fortrac**[®] MP.

