

Mgr Zuzanna Zelek
Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

PROJEKTOWANIE WARSTW OCHRONNYCH I PODŁOŻY KOLEJOWYCH BUDOWLI ZIEMNYCH WZMOCNIONYCH GEOTEKSTYLAMI

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie
2. Konstrukcje wzmocnione
3. Wymagania dotyczące materiałów
4. Projektowanie wzmocnień torowiska geotekstyliami
5. Podsumowanie

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia metody projektowania warstw ochronnych i podłoży dróg kolejowych wzmocnionych geotekstyliami. Charakteryzuje rolę geotekstyliów we wzmocnieniu konstrukcji oraz zwiększeniu trwałości i niezawodności drogi kolejowej, dzięki odpowiedniemu rozłożeniu naprężeń od taboru i zapewnieniu właściwej filtracji wód opadowych. Przytacza podstawowe wymagania, którym powinny odpowiadać geotekstyliami oraz metody projektowania wykorzystujące moduł odkształcenia gruntów jako kryterium nośności. Podaje przykłady nomogramów, ułatwiających prace projektowe. W podsumowaniu podkreśla potrzeby odpowiedniego projektowania wzmocnionych podłoży w zależności od rodzaju gruntów, materiałów i warunków eksploatacyjnych.

1. WPROWADZENIE

Geotekstylia są materiałami powszechnie stosowanymi do wzmocnień podłoży gruntowych przy budowie i modernizacji dróg kolejowych i urządzeń odwadniających. Podłoża gruntowe nawierzchni wzmocnione geotekstyliami zwiększają trwałość i niezawodność eksploatacyjną dróg kolejowych. Należą do technologii nowoczesnych, prostych, ekologicznych, ekonomicznych i skutecznych w działaniu.

Geotekstylia są to płaskie, niewielkiej grubości, rozwijalne wyroby wytwarzane z włókien syntetycznych takich, jak: polipropylen (PP), poliester (PES), polietylen (PE), polietylen o dużej gęstości (PE-HD), poliamid (PA), aramid (A) i poliwinylchloryt (PCV). Ze względu na sposób wytwarzania wyróżnia się następujące materiały geotekstylnie [13]:

- **geowłóknina** – produkowana w postaci runa, wytwarzana mechanicznie metodą igłowania,
- **geotkanina** – wytwarzana techniką tkacką z włókien przeplatanych prostopadle,
- **geosiatka** – wyrób, który po rozwinięciu ma postać siatki dwuosiowej o oczkach kwadratowych lub siatki jednoosiowej o oczkach wydłużonych (prostokątnych). W zależności od technologii, wyróżnia się geosiatki z węzłami przeplatanyymi, sztywnymi i zgrzewanymi,
- **geomata** – wyrób o dużej porowatości, płaski lub trójwymiarowy, wytwarzany mechanicznie z odpowiednio dobranych włókien,
- **geokompozyt** – wyrób będący kombinacją różnych geotekstyliów, najczęściej jest dwuwarstwowy; składa się z warstwy geowłókniny i geotkaniny lub geowłókniny i geosiatki.

Powszechnie stosowanymi materiałami geotekstylnymi w podtorzu kolejowym są geowłókniny i geosiatki, ale w zależności od potrzeb jest możliwe zastosowanie również geotkanin, geokompozytów lub geomat [10].

Ze względu na właściwości i funkcję, jaką spełniają w środowisku gruntowym oraz warunki pracy w podbudowach komunikacyjno-gruntowych, geotekstylia stosuje się do:

- zapewnienia stabilności mechanicznej na styku warstw o strukturze ziarnistej, tzn. zapobiegania mieszanii się ze sobą gruntów różnych warstw wskutek oddziaływań dynamicznych (rozdzielanie warstw gruntu o różnym uziarnieniu),
- zapewnienia stabilności filtracji, tzn. kontrolowanego filtrowania i szybkiego odprowadzania wód infiltracyjnych z warstw ochronno-nośnych poza pas torowiska, w celu zapobieżenia kolmatacji lub erozji kontaktowej,
- równomiernego rozłożenia naprężeń w ośrodku gruntowym i ograniczenia odkształceń podłoża w celu podwyższenia nośności podłoża (zbrojenie gruntu).

W gruntowych (ziemnych) budowlach komunikacyjnych, geotekstyli mają zastosowanie głównie do wzmocnienia górnych warstw podłoża gruntowych (torowisk) [10], jako:

- elementy oddzielająco-filtracyjne lub oddzielające, np. geowłókniny,
- nośne (zbrojące), np. geotkaniny, geosiatki, georuszty,
- drenujące i zabezpieczające.

W każdym wypadku stosowania geotekstyliów do wzmocnienia podtorza kolejowego, jest konieczny projekt materiałowo-konstrukcyjny uwzględniający wszystkie czynniki wpływające na konstrukcję, a przede wszystkim: miejscowe warunki geotechniczne i eksploatacyjne, rodzaj kruszywa stosowanego na warstwy ochronne, jak również zasady wymiarowania.

Wyróżnia się pięć metod projektowych wzmocnienia podłoża gruntowych:

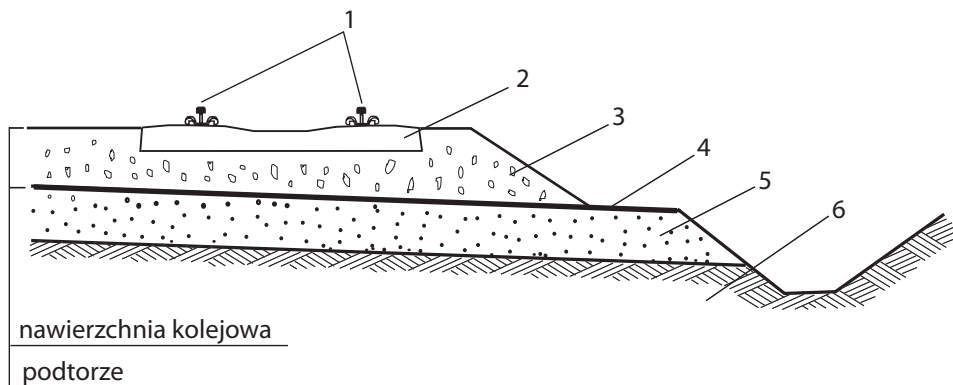
1. **CBR** (amerykańska metoda empiryczna); kryterium projektowe – kryterium dopuszczalnej koleiny (h_{\min}) dla ruchu typu drogowego. Możliwość projektowania wzmocnienia nawierzchni drogowej w układzie jednowarstwowym.
2. **Wtórnych modułów odkształceń** (metoda niemiecka); kryterium projektowe – kryterium nośności podłoża określanego za pomocą wtórnego modułu odkształcenia E . Metoda nomogramowa z możliwością projektowania w układzie jednowarstwowym,
3. **AASHTO** (metoda amerykańska); podłoże określone za pomocą modułu odkształcenia E , kryterium projektowe – liczba osi standardowych w okresie eksploatacji, jaką może przenieść nawierzchnia drogowa. Możliwość projektowania układu wielowarstwowego z różnymi rodzajami warstw i kruszyw.
4. **CROW** (metoda holenderska); kryterium projektowe – kryterium nośności określone za pomocą wskaźnika nośności CBR. Metoda nomogramowa, możliwość określania grubości warstwy nośnej dla różnych geotekstyliów.
5. **Mechaniczna** (metoda niemiecka); podłoże określone za pomocą modułu odkształcenia E i współczynnika Poissona ν . Kryterium projektowe – kryterium nośności wzmocnienia. Możliwość projektowania układów wielowarstwowch z zastosowaniem różnych rodzajów kruszyw o odpowiednim uziarnieniu.

W dalszych rozważaniach posłużono się najczęściej stosowaną metodą wtórnych modułów odkształcenia.

2. KONSTRUKCJE WZMOCNIONE

W skład konstrukcji drogi kolejowej wchodzi następujące części składowe (rys. 1): nawierzchnia kolejowa składająca się z szyn, podkładów, przytwierdzeń, podsypki oraz podtorza, w skład którego wchodzi: torowisko, warstwa ochronna z kruszywa natural-

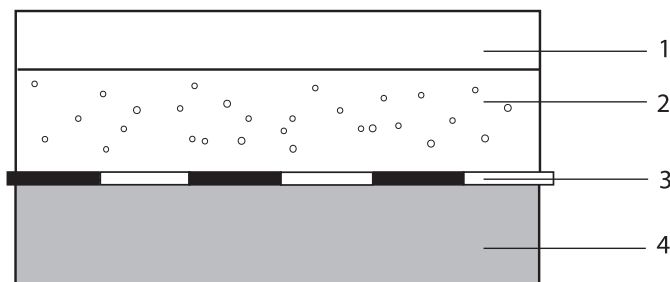
nego (np. pospółki) lub łamanego (np. kliniec), będąca warstwą nośną, filtracyjną i mrozoodporną i podłoże gruntowe. Elementy te stanowią górne warstwy podtorza.



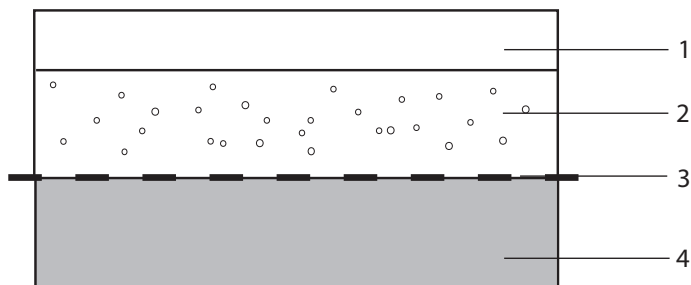
Rys. 1. Części składowe drogi kolejowej: 1) szyny, 2) podkład, 3) podsypka czyli warstwa tłucznia o wymiarach ziaren 31,5/50 mm lub 31/63 mm, 4) torowisko, 5) warstwa ochronna torowiska, 6) podłoże gruntowe

Wzmacnianie takiego wielowarstwowego układu polega przede wszystkim na układaniu geotekstyliów na styku podłoża gruntowego i warstwy ochronnej [4].

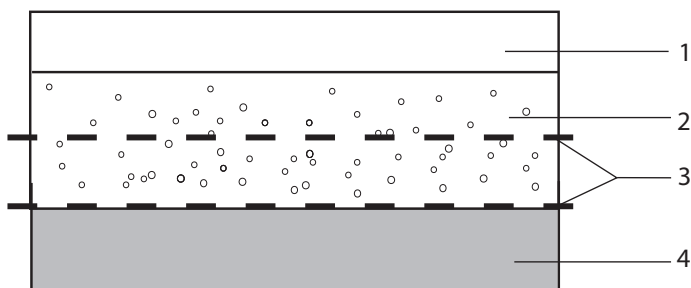
Przykładowe schematy konstrukcji rusztu torowego z zastosowaniem materiałów geotekstylnych przedstawiono na rysunkach 2–5. Grubość warstwy ochronnej projektuje się w zależności od wielkości obciążeń eksploatacyjnych linii, rodzaju kruszywa i jakości podłoża gruntowego. Ze względów konstrukcyjno-technologicznych stosuje się mieszanki kruszyw łamanych o grubościach 15, 20 i 25 cm.



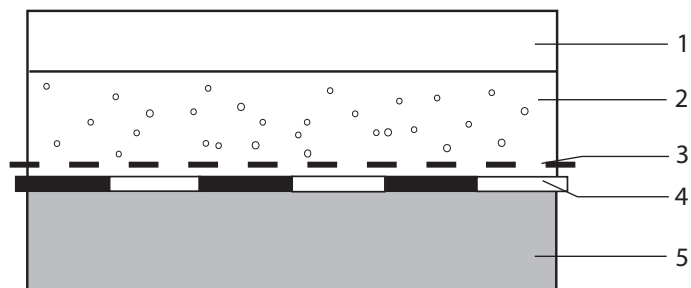
Rys. 2. Geowłóknina jako element oddzielający i filtrujący: 1) warstwa podsypki tłuczniowej, 2) warstwa ochronna, 3) geowłóknina, 4) podłoże gruntowe



Rys. 3. Wzmocnienie mało nośnego podłoża – zbrojenie jednowarstwowe: 1) warstwa podsypki tłuczniowej, 2) warstwa ochronna, 3) geosiatka, 4) podłoże gruntowe



Rys. 4. Wzmocnienie mało nośnego podłoża – zbrojenie dwuwarstwowe: 1) warstwa podsypki tłuczniowej, 2) warstwa ochronna, 3) geosiatka, 4) podłoże gruntowe



Rys. 5. Wzmocnienie mało nośnego podłoża z zastosowaniem geowłókniny jako elementu oddzielająco-filtrującego i geosiatki zbrojącej: 1) warstwa podsypki tłuczniowej, 2) warstwa ochronna, 3) geosiatka, 4) geowłóknina, 5) podłoże gruntowe

3. WYMAGANIA DOTYCZĄCE MATERIAŁÓW

Dobór odpowiedniego materiału do zastosowania w podtorzu kolejowym nie jest dowolny i powinien podlegać odpowiednim badaniom i obliczeniom projektowym, które zapewnią odpowiednie jego użycie, zgodnie ze stawianymi wymaganiami i założeniami konstrukcyjnymi. Wymagania materiałowe dotyczą zarówno materiału geotekstylnego, jak i kruszyw stosowanych na warstwy ochronne podtorza kolejowego.

W wypadku geotekstyliów, minimalne wymagania dla najczęściej stosowanych materiałów podano w tablicach 1 i 2, przy czym jeśli materiał geotekstylny ma kilka zastosowań, powinien spełniać wszystkie wymagania przewidziane dla każdego z tych zastosowań [10]. Wymagania dla materiału warstw ochronnych określa się ze składu granulometrycznego kruszywa i jego krzywej uziarnienia, co przedstawiono w tablicy 3 i na rysunku 6 [14].

Tablica 1
Wymagania dla geotekstyliów stosowanych jako elementy oddzielająco-filtrujące

Właściwości	Wymaganie
Rodzaj materiału	geowłóknina, geokompozyt
Masa powierzchniowa (gramatura)	$\geq 250 \text{ g/m}^2$
Wytrzymałość na rozciąganie	$\geq 16 \text{ kN/m}$
Wydłużenie przy zerwaniu	50–100%
Wytrzymałość na przebicie statyczne	$\geq 2 \text{ kN}$
Wytrzymałość na przebicie dynamiczne	$\leq 20 \text{ mm}$
Wodoprzepuszczalność prostopadła do powierzchni wyrobu	$\geq 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}^{1)}$ $\geq 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}^{2)}$
Zdolność przepływu w płaszczyźnie wyrobu	$\geq 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}^{2)}$
Wielkość porów O_{90}	0,06–0,20 mm ³⁾
Grubość	$\geq 15 \times O_{90} \text{ mm}$

1) dotyczy materiału oddzielającego,

2) dotyczy materiału oddzielającego i filtrującego,

3) ze względu na kolmatację zaleca się stosować materiały o wielkościach porów: 0,06–0,12 mm w gruntach spoiwych; 0,09–0,20 mm w gruntach niespoistych

Tablica 2

Wymagania dotyczące geotekstyliów stosowanych jako elementy zbrojenia

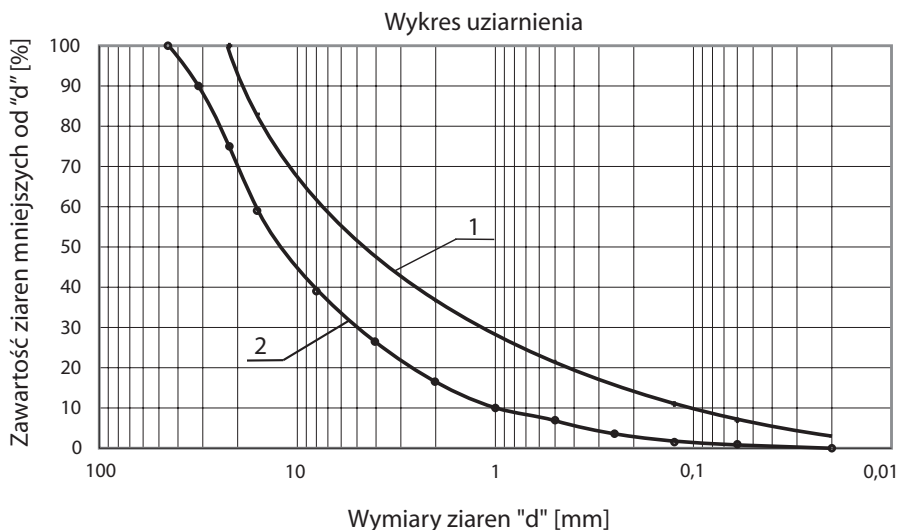
Właściwości	Wymaganie
Rodzaj materiału	geosiatka dwuosiowa
Wytrzymałość na rozciąganie	$R \geq 20 \text{ kN/m}^1$
Wydłużenie przy rozciąganiu wszerz	$\varepsilon_{\text{CMD}} \leq 20\%$
Anizotropia wytrzymałości na rozciąganie	1 : 1,25
Moduł przy wydłużeniu materiału 2%, 3% lub 5%	według projektu ²⁾ , kN/m
Wielkość oczek	według projektu ³⁾ , mm
Wytrzymałość węzła sztywnego	$\geq 30\%$ wytrzymałość pojedynczego żebra

1) orientacyjne wytrzymałości zależne od modułów odkształcenia podłoża E_g wynoszą:

- $E_g < 10 \text{ MPa}$, $R \geq 40 \text{ kN/m}$,
- $E_g = 10\text{--}20 \text{ MPa}$, $R \geq 30 \text{ kN/m}$,
- $E_g > 20 \text{ MPa}$, $R \geq 15 \text{ kN/m}$,

2) jeżeli moduł nie jest znany, można przyjąć w przybliżeniu $2 \times R/\varepsilon_{\text{max}}$

3) przyjmuje się $\geq 1,7 d_{80}$ kruszywa; wielkość oczek powinna zawierać się w przedziale 20–70 mm



Rys. 6. Krzywe graniczne uziarnienia dla kruszyw zalecanych do budowy warstw ochronnych:
1, 2 – krzywe graniczne

Tablica 3

Wymagania dotyczące materiałów warstwy ochronnej

Właściwości	Wymaganie
Rodzaj materiału	pospółka, kliniec, mieszanka ¹⁾
Zawartość skał węglanowych	< 20%
Zawartość ziaren i cząstek < 0,1 mm	≤ 20%
Zawartość ziaren < 0,075 mm	< 10%
Zawartość ziaren < 0,02 mm	≤ 3%
Uziarnienie: – wskaźnik różnoziarnistości, – wskaźnik wygięcia krzywej uziarnienia	$U = d_{60}/d_{10}^{2)}$ $C = d_{30}^2/d_{10} \times d_{60}^{2)}$

1) zalecane jest doziarnianie kruszywa grubszego drobniejszym, przy czym ilość materiału doziarniającego powinna stanowić najmniej 30% materiału doziarnianego,

2) określa się z krzywej uziarnienia [5], na liniach o prędkościach:

- 200–250 km/h: nowobudowanych i modernizowanych $U \geq 7$;
 $C = 1-3$, eksploatowanych $U \geq 6$; $C = 0,7-4$,
- 160–200 km/h: nowobudowanych i modernizowanych $U \geq 6$;
 $C = 1-3$, eksploatowanych $U \geq 5$; C – nie określa się,
- ≤ 160 km/h: $U \geq 5$; C – nie określa się.

4. PROJEKTOWANIE WZMOCNIEŃ TOROWISKA GEOTEKSTYLIAMI

4.1. Zasady stosowania wzmocnień torowisk

Projektowanie nośnych konstrukcji podtorza wymaga spełnienia obowiązujących przepisów dotyczących:

- wymaganej grubości warstwy ochronnej, mrozoodpornej i warstwy podsypki tłuczniowej [10],
- wymaganej wartości modułu odkształcenia podtorza E_0 określanego na poziomie projektowanego torowiska. Minimalne wartości modułów odkształceń podtorza w zależności od warunków eksploatacyjnych przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4

Minimalne wartości modułów odkształceń podtorza określane na torowisku E_0 [MPa], [10]

Prędkość V_{\max} [km/h]	Natężenie przewozów T [Tg/rok]			
	$T \geq 25$	$10 \leq T < 25$	$3 \leq T < 10$	$T < 3$
$200 < V_{\max} \leq 250$	120 (80)	120 (80)	120 (80)	110 (70)
$160 < V_{\max} \leq 200$	120 (80)	120 (70)	110 (60)	100 (55)
$120 < V_{\max} \leq 160$	120 (70)	110 (60)	100 (50)	90 (45)
$80 < V_{\max} \leq 120$	110 (60)	100 (55)	90 (45)	80 (40)

Objaśnienia:

- wartości modułów podtorza nowo budowanego i dobudowywanego, jak również podtorza modernizowanego na liniach do prędkości $V > 160$ km/h; wartości w nawiasach – podtorza istniejącego,
- przy dostosowywaniu podtorza do prędkości nie przekraczających 160 km/h należy przyjmować wartości modułów jak dla podtorza nowo budowanego i traktować je jako projektowe (obliczeniowe), a nie wymagane (jako wartości wymagane przyjmuje się w takich wypadkach moduły nie mniejsze niż dla linii eksploatowanych, uwzględniając możliwości uzyskania tych modułów w warunkach wodno-gruntowych występujących na danej linii).

Geotekstylia stosuje się do wzmocnień torowisk gdy:

- jest potrzeba globalnego zwiększenia nośności górnych warstw podtorza wynikająca z założeń projektowych, np. zwiększenia obciążeń, odwodnienia torowiska lub zmniejszenia grubości warstwy nośnej (ochronnej),
- w górnych warstwach podtorza występują grunty słabe, mało nośne, np. grunty [8]:
 - spoiste gliniasto-ilaste o zawartości frakcji ilastej $f_i > 10\%$,
 - organiczne, próchniczne i makroporowate (lessy),
 - niejednorodne, bardzo przewarstwione lub nawodnione.

Według [3] efektywność wzmocnienia materiałem geotekstylnym jest największa, gdy nośność istniejącego podłoża określana modułem odkształcenia wynosi $E_g < 30$ Mpa.

4.2. Założenia do projektowania wzmocnień

Podstawą wymiarowania konstrukcji inżynierskich budowli komunikacyjnych powinien być projekt materiałowo-konstrukcyjny uwzględniający, m.in.:

- zewnętrzne obciążenia komunikacyjne (obciążeniem taborem i ciężarem własnym),
- warunki gruntowo-wodne, w tym:

- rodzaj i parametry geotechniczne gruntu podłoża niezbędne do obliczenia jego nośności,
 - rodzaj i właściwości geotechniczne wbudowywanego kruszywa warstwy ochronno-nośnej,
 - poziom wód gruntowych,
- rodzaj stosowanego do wzmocnienia materiału geotekstylnego i jego właściwości techniczne,
- zasady wymiarowania.

4.3. Zasady wymiarowania konstrukcji z warstwą nośną z kruszywa

Metody projektowe, najczęściej stosowane do obliczania i wymiarowania konstrukcji nośnych w inżynierskich budowlach komunikacyjnych, wykorzystują teorię wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej. Podstawowe metody obliczeniowe odnoszą się do kryterium nośności określanego metodą modułów odkształcenia [11]. W tej metodzie istotne znaczenie mają wartości wtórnych modułów odkształcenia: gruntu podłoża E_g i materiału (kruszywa) warstwy ochronnej E . Moduł odkształcenia zależy od składu ziarnowego gruntu i zagęszczenia, a w wypadku gruntów spoistych również od stopnia jego plastyczności i konsystencji. Wskazane jest, aby wartość modułu odkształcenia E_g była zawsze określana przez bezpośrednie badania płytowe (płyta VSS) [2]. Przybliżone wartości modułu odkształcenia E_g dla każdego rodzaju gruntu spoistego można przyjmować z tablicy 5 [12].

Tablica 5

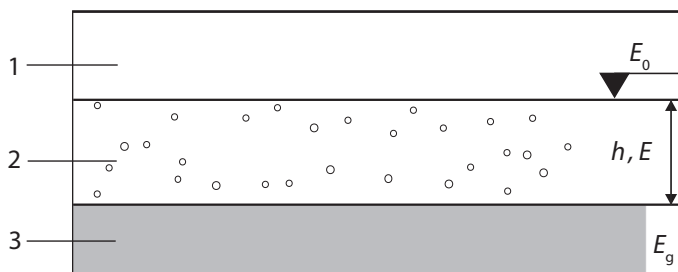
Wartości modułu odkształcenia E_g [MPa] w zależności od parametrów gruntu [12]

Wskaźnik plastyczności I_p	Granica płynności w_L	Stan gruntu, wskaźnik konsystencji I_c :			
		stan plastyczny $I_c = 0,5-0,75$	stan twardoplastyczny $I_c = 0,75-1,0$	stan półzwały $I_c > 1,0$	stan zwálny $I_c > 1,0$
≥ 7	> 50	5	10	15	20
≥ 7	35-50	5	15	15	20
≥ 7	≤ 35	5	10	20	25
≥ 4	35-50	5	10	15	20
≥ 4	≤ 35	10	15	15	25

Wymiarowanie konstrukcji nośnych polega na obliczeniu grubości warstwy ochronnej podbudowy, na podstawie znanych modułów odkształcenia gruntu podłoża E_g , warstwy ochronnej E i uogólnionego modułu odkształcenia dla całej podbudowy E_o (rys. 7). Zgodnie z załącznikiem 7 Id-3 [10], na PKP można stosować trzy metody wymiarowania warstw ochronnych torowisk. W najczęściej stosowanej metodzie na pod-

stawie ekwiwalentnego modułu odkształcenia wymaganego dla podtorza, określa się grubość warstwy ochronnej, według następującej kolejności:

- na podstawie wzorów stosowanych przy badaniu nośności podłoża płytą VSS, określa się wartość modułu odkształcenia podłoża gruntowego E_g ,
- ustala się grubość warstwy ochronnej (nośnej) h z materiału (kruszywa) o module E ,
- dobiera się odpowiednią wartość modułu odkształcenia E kruszywa warstwy ochronnej, aż do uzyskania wymaganej wartości modułu ekwiwalentnego E_0 dla całego podtorza.



Rys. 7. Dane do wymiarowania podtorza [10]: 1) podsypka tłuczniowa, 2) warstwa ochronna, 3) grunt podłoża; E_0 – uogólniony moduł odkształcenia podtorza; h – grubość warstwy ochronnej; E – moduł odkształcenia materiału warstwy ochronnej; E_g – moduł odkształcenia gruntu podłoża

4.4. Wskazówki do obliczeń wytrzymałości zbrojenia – kolejność postępowania

Rodzaj zbrojenia i konstrukcję określa projektant. Obliczenia prowadzają się głównie do określenia wymaganej wytrzymałości na rozciąganie zbrojenia (materiału geosyntetycznego) przy znanym obciążeniu zewnętrznym, grubości warstwy z kruszywa i właściwościach gruntu istniejącego. Danymi wyjściowymi do projektowania wzmocnień jest nośność podłoża, którą uważa się za wystarczającą, gdy spełniony jest warunek obciążenia (stanu) granicznego, czyli:

$$q_{\text{dop}} \leq q_{\text{prop}}$$

dopuszczalne obciążenie gruntu q_{dop} nie powinno przekraczać granicy proporcjonalności q_{prop} , która jest dwa razy mniejsza niż obciążenie graniczne q_{kr} [11].

W projektowaniu przyjmuje się $q_{\text{obl}} \leq q_{\text{prop}}$ w którym uwzględnia się:

- obciążenia zewnętrzne q ,
- ciężar własny gruntu podłoża q_g według wzoru [9]:

$$q_g = \gamma h,$$

stąd:

$$q_{obl} = (q + \gamma h) \gamma_f \gamma_k,$$

gdzie: q_{obl} – wielkość obciążenia na poziomie projektowanego wzmocnienia (torowiska) [kN/m²],

γ – ciężar objętościowy gruntu warstwy [kN/m³],

h – grubość warstwy,

γ_k – współczynnik korekcyjny przyjmowany do obliczeń [7].

Następnie sprawdza się nośność podłoża gruntowego przez porównanie sił obciążających podłoże q_{obc} i sił przytrzymujących, czyli odporu gruntu podłoża q_{odp} , według następujących wzorów:

– dla sił obciążających:

$$q_{obc} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \left(\frac{\gamma h^2}{2} + q_{obl} h \right),$$

– dla sił przytrzymujących:

$$q_{odp} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_g}{2} \right),$$

gdzie: φ – kąt tarcia wewnętrznego gruntu warstwy nośnej,

γ – ciężar objętościowy warstwy,

h – grubość warstwy,

ϕ_g – kąt tarcia wewnętrznego gruntu podłoża.

Na podstawie tych wzorów można wyznaczyć wielkość siły rozciągającej F_{gs} , którą musi przenieść zbrojenie (geosyntetyk):

$$F_{gs} = q_{obc} \gamma_f - c_g B - q_{odp}$$

gdzie: F_{gs} – siła rozciągająca geosyntetyku [kN/m],

γ_f – współczynnik obciążenia według [6],

c_g – spójność gruntu podłoża [kN/m³],

B – według [6], przy czym dla dróg kolejowych można przyjąć równy szerokości torowiska.

Zadaniem projektanta jest dobranie rodzaju materiału zbrojącego oraz takiej liczby warstw zbrojenia, aby ich łączna wytrzymałość na rozciąganie spełniała następujący warunek:

$$\Sigma R_r \geq F_{gs} \gamma_m,$$

gdzie: R_r – wytrzymałość na rozciąganie zbrojenia deklarowana przez producenta [kN/m],

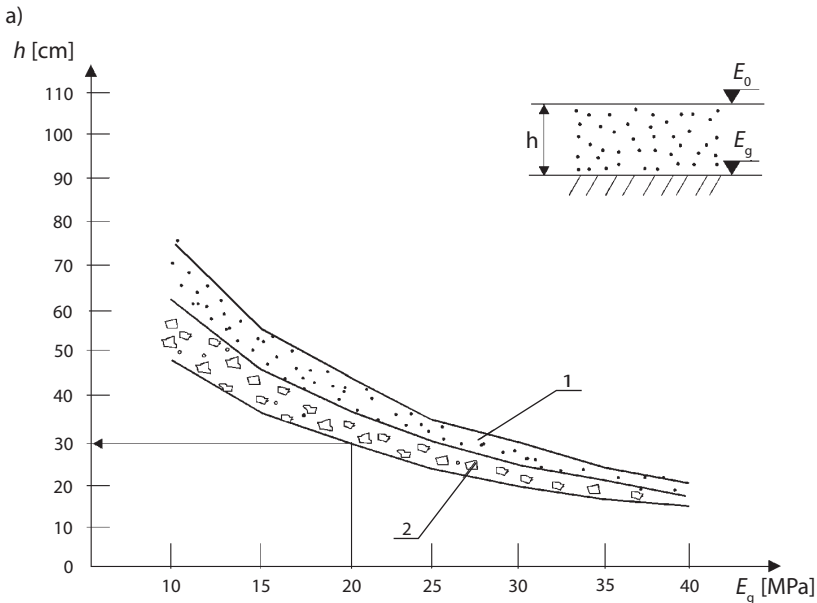
γ_m – materiałowy współczynnik pewności [3].

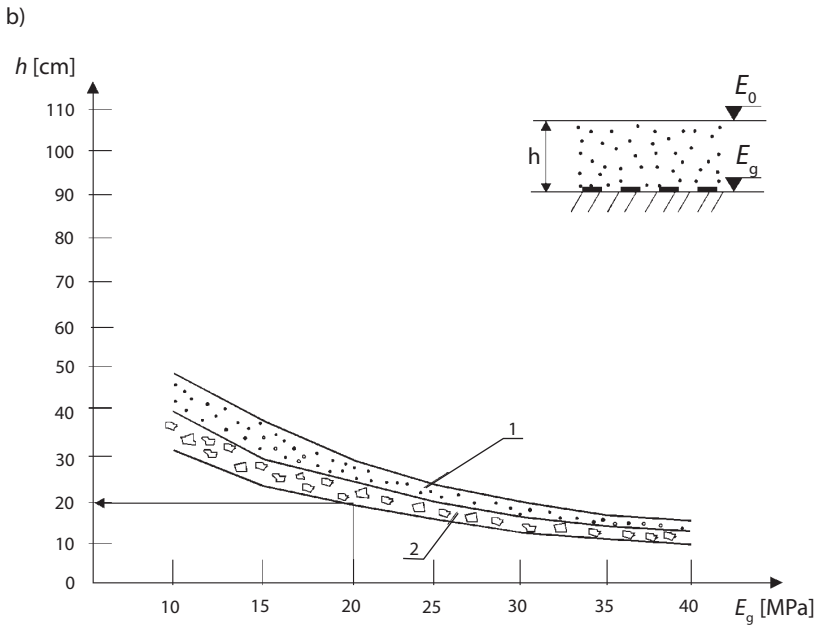
4.5. Nomogramy do projektowania konstrukcji wzmocnianych geosiatkami

Projektowanie konstrukcji zbrojonej geotekstyliami upraszczają wykresy (nomogramy), które do tego celu zostały opracowane. Przy ich konstruowaniu uwzględnia się różne czynniki, jak np. rodzaj wzmocnienia (zbrojenia), parametry geotechniczne podłoża. W Instytucie w Hanowerze opracowano nomogramy projektowe do wyznaczania grubości warstw niezbrojonych i zbrojonych geosiatkami, przy założeniu, że znane są parametry geotechniczne [1]:

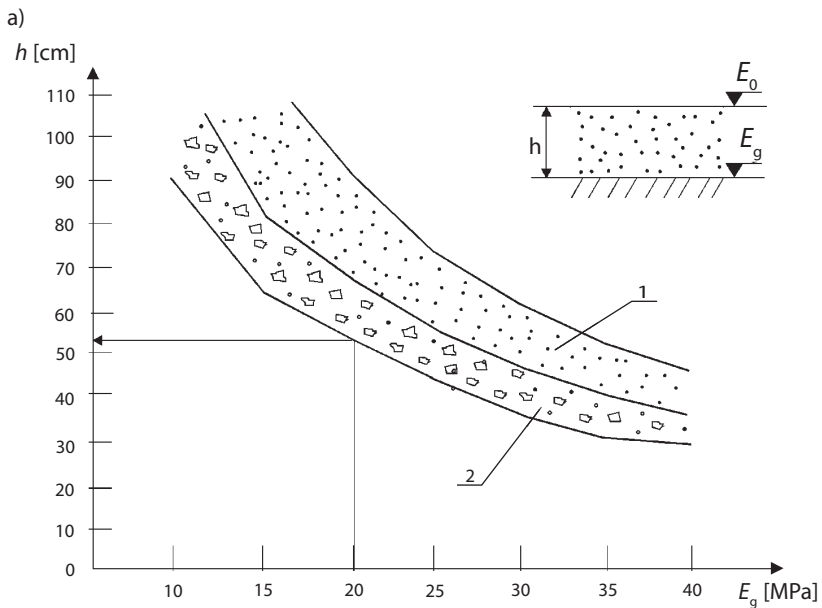
- wtórny moduł odkształcenia podłoża E_g ,
- moduł odkształcenia kruszywa warstwy ochronno-nośnej E ,
- wymagana wartość uogólnionego modułu odkształcenia dla całego układu wielowarstwowego E_o .

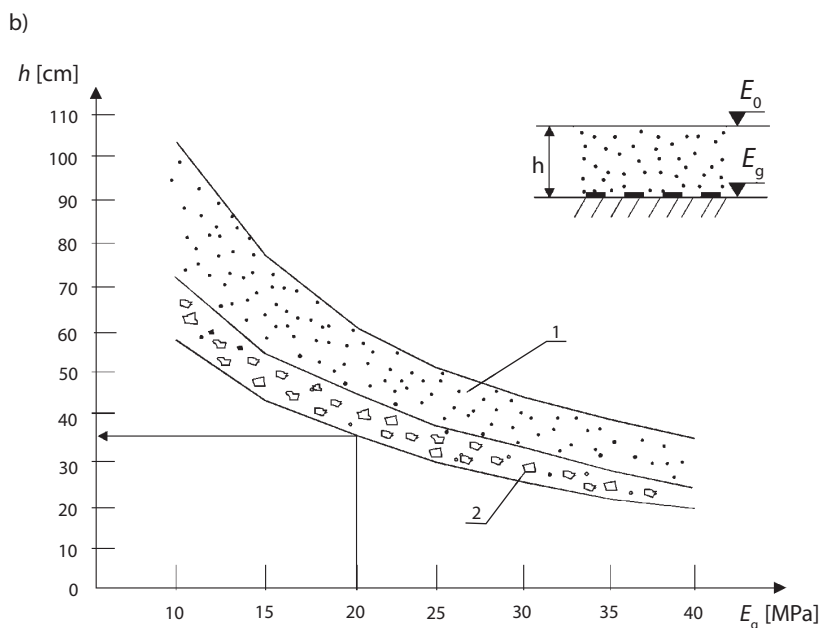
Przykładowe nomogramy zaprezentowano na rysunkach 8–9 [12]. Można z nich odczytać wymaganą grubość warstwy ochronno-nośnej z kruszywa i z zastosowaniem wzmocnienia geosiatką dla tych samych parametrów geotechnicznych podłoża. Na przykład dla gruntu podłoża o module odkształcenia $E_g = 20$ MPa i wymaganego uogólnionego modułu odkształcenia $E_o = 80$ MPa, grubość warstwy nośnej zbudowanej z kruszywa łamanego (mieszanka) powinna wynieść $h_{\min} = 30$ cm (rys. 8a). Dla tych samych warunków przy zastosowaniu zbrojenia geosiatką, grubość warstwy nośnej wyniesie $h_{\min} = 20$ cm (rys. 8b).





Rys. 8. Nomogram do wyznaczania grubości warstwy nośnej dla uogólnionego modułu odkształcenia $E_0 = 80$ MPa, w wypadku: a) podbudowy niezbrojonej, b) podbudowy zbrojonej geosiatką: 1) pospółka, 2) mieszanka kruszywa łamanego





Rys. 9. Nomogram do wyznaczania grubości warstwy nośnej dla uogólnionego modułu odkształcenia $E_0 = 120$ MPa, w wypadku: a) podbudowy niezbrojonej, b) podbudowy zbrojonej geosiatką: 1) pospółka, 2) mieszanka kruszywa łamanego

5. PODSUMOWANIE

Geotekstylia stosowane w konstrukcjach warstw ochronnych i podłoży dróg kolejowych zwiększają trwałość i niezawodność eksploatacyjną nawierzchni kolejowej. Przy doborze materiału geotekstylnego należy uwzględnić obowiązujące wymagania techniczne i założenia projektowe. Rodzaj zbrojenia gruntu powinien być określony na podstawie obliczeń projektowych uwzględniających rodzaje gruntów i zastosowanych materiałów geotekstylnych oraz warunków eksploatacyjnych drogi kolejowej.

BIBLIOGRAFIA

1. Beyer H.: *Bemessung ungebundener Schichten auf der Grundlage der Mehrschichten-theorie (MStH). Erweiterung der Diagramme (Anlagen 6.1, 6.2 und 6.3) aus dem Bericht von SIMONS + PARTNER „Anwendung von Tensar Geogittern in Straußenbau – Unterlagen zur Bemessung des ungebundenen Straußenaufbaus“ auf der Basis von rückgerechneten Eingensteifigkeiten nach RStO 86-Vorgaben*. Fachgebiet Konstruktiver Straußenbau im Institut für Verkehrswirtschaft, Straußenwesen und Städtebau der Universität Hannover, August, 1993.

2. BN-64/8931-02. *Drogi samochodowe. Oznaczanie modułu odkształcenia nawierzchni i podłoża przez obciążenie płytą.*
3. *Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen EB GEO.* Berlin, Ernst & Sohn, 1997.
4. *Geotekstyli. Poradnik stosowania.* Bielsko-Biała, Beskidzki Instytut Tekstylny, 1998.
5. PE-EN 933-1:2000/A1. *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania.*
6. PN-81/B-03020. *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowe.*
7. PN-82/B-02000. *Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.*
8. PN-86/B-02480. *Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.*
9. PN-88/B-02014. *Obciążenia budowli. Obciążenie gruntem.*
10. *Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3.* Warszawa, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2008.
11. Wiłun Z.: *Zarys geotechniki.* Warszawa, WKiŁ, 1976.
12. *Zastosowanie geosiatek „Tensar” w konstrukcjach nawierzchni drogowych.* Gdańsk, Biuro Inżynierii Drogowej DROTEST, 1998.
13. Zelek Z.: *Aktualizacja wymagań dla materiałów geosyntetycznych stosowanych w podtorzu kolejowym.* Temat 2050/22. CNTK, Zakład Dróg Kolejowych. Warszawa, czerwiec, 1998.
14. Zelek Z.: *Aktualizacja Katalogu na warstwy ochronne podtorza kolejowego.* Temat 2055/22. CNTK, Zakład Dróg Kolejowych. Warszawa, listopad, 1998.