

Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski



EC 7 pomimo że określa zasady projektowania geotechnicznego, nie zajmuje się bezpośrednio gruntem zbrojonym. Zasad projektowania w tym zakresie należy się „doczytać” lub ustalić poprzez analogię do innych zastosowań. W wielu krajach UE zostały albo będą wydane odpowiednie załączniki do EC 7, w których uściślone będą zasady projektowania konstrukcji z gruntu zbrojonego.

Ogólne zasady wymiarowania konstrukcji z gruntu zbrojonego w myśl EC 7

W Polsce można się w tym zakresie posługiwać Instrukcją ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007), którą można traktować jako projekt Załącznika Krajowego do EC 7 w zakresie projektowania nasypów, zboczy, ścian oporowych i przyczółków mostowych z gruntu zbrojonego. Idąc za EC 7 autorzy tej Instrukcji proponują stosować w 1. stanie granicznym trzecią kombinację współczynników częściowych bezpieczeństwa: Oddziaływania (A2) + Materiał (M2) + Opory (R3).

W tym zakresie Instrukcja ITB 429/2007 podaje jedynie wartości współczynników częściowych dla stanu podstawowego obciążenia. Autor tego artykułu proponuje uzupełnić w tym miejscu Instrukcję ITB (Wysokiński i Kotlicki, 2007) o dane zawarte w tablicy 1.

Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

Rodzaj oddziaływania	Oznaczenie współ. bezpiecz.	Stan obciążenia		
		podstawowy	budowlany	wyjątkowy
Obciążenia stałe w tym ciężar własny gruntu, G	γ_G	1,00	1,00	1,00
Obciążenia zmienne, Q	γ_Q	1,30	1,20	1,10
Opór gruntu na ścinanie	γ_{cu}	1,40	1,30	1,20
-niezdrenowana wytrzymałość na szybkie ścinanie, c_u				
-zdrenowana wytrzymałość na ścinanie φ', c'	$\gamma_{\varphi'} / \gamma_{c'}$	1,25	1,15	1,10
Wytrzymałość zbrojenia na rozciąganie, F_d	γ_F	1,40	1,30	1,20

W ramach obliczeń dla 1. stanu granicznego Projektant tak długo dobiera obliczeniowe wartości wytrzymałości zbrojenia (F_d), aż spełnione będą następujące warunki równowagi:

$$(\Sigma R_d + \Sigma F_d) \geq \Sigma E_d \quad (1)$$

$$\Sigma(R_d \cdot r_R) + \Sigma(F_d \cdot r_F) \geq \Sigma(E_d \cdot r_E) \quad (2)$$

Przy czym za R_d należy rozumieć odpowiednie wartości obliczeniowe oporów, a za E_d oddziaływań. Wartości r_R , r_F i r_E oznaczają ramię działania danej siły. Powyższe ogólnie zapisane warunki równowagi oznaczają między innymi: sprawdzenie stateczności wewnętrznej (poślizg po zbrojeniu lub poślizg tnący wkładki) i stateczności zewnętrznej: wyparcie gruntu spod konstrukcji, poślizg poziomy w podstawie, obrót konstrukcji czy też stateczność ogólna dla głębszej powierzchni poślizgu. Powyższe warunki dotyczą sumy sił lub momentów stanowiących opory (R_d) i sumy oddziaływań stanowiących obciążenia (E_d). Wartości (F_d), które spełniają ten warunek należy umieścić w specyfikacji technicznej, jako obliczeniowe wartości wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie. W przypadku gdy $T_d < F_d$ we wzorach (1,2) należy dla danych wkładek podstawić odpowiednie wartości T_d . W myśl Instrukcji ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007) nośność zakotwienia wyznacza się następująco:

$$T_d = 2 \cdot \sigma_{k,sr} \cdot L_B \cdot \frac{\mu_k}{\gamma_{\varphi}} \quad (3)$$

gdzie:

$\sigma_{k,sr}$ – wartość charakterystyczna naprężenia normalnego do zbrojenia

Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

L_B – długość kotwiąca wkładki

μ_k – wartość charakterystyczna współczynnika tarcia grunt-zbrojenie

$$\mu_k = a_{\varphi'} \cdot \tan(\varphi'_k) \quad (4)$$

$a_{\varphi'}$ – wskaźnik zazębienia się gruntu ze zbrojeniem dla wyciągania (pull-out)

$\gamma_{\varphi'}$ – cząstkowy współczynnik bezpieczeństwa dla tarcia wewnętrznego gruntu

Powyższe wzory odnoszą się do gruntów niespoistych, bo nie ma w nich członu dla adhezji i do wyciągania zbrojenia z gruntu, ponieważ widoczna jest liczba 2 oznaczająca ilość powierzchni poślizgu, jakie stawiają opór w trakcie wyciągania wkładki. W przypadku poślizgu gruntu po zbrojeniu mamy do czynienia z jedną powierzchnią poślizgu, dlatego we wzorze (3) zamiast 2 należy podstawić 1. W Instrukcji ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007) nie operuje się w zasadzie wskaźnikami zazębienia się gruntu o zbrojenie, definiując jedynie współczynnik tarcia dla kontaktu grunt-zbrojenie (μ_k). Zdaniem autora bardziej praktycznym podejściem jest wprowadzenie wskaźników zazębienia, które należy wymagać w specyfikacjach technicznych.

W praktyce wskaźniki zazębienia się z typowymi rodzajami gruntów są podawane przez producentów. Ogólnie można oczekiwać w piaskach, pospółkach i żwirach wskaźnika zazębienia się geosiatki z gruntem na poziomie 0,80-0,95, a dla geotkanin 0,65-0,75. W przypadku gruntów spoistych komplikuje się nieco wzór (3) ponieważ należy uwzględnić dodatkowo opór adhezji pomiędzy gruntem a zbrojeniem. Dla wyznaczenia wartości obliczeniowej oporu na wyciąganie zbrojenia z gruntu spoistego można posłużyć się następującą zależnością:

$$T_d = 2 \cdot L_B \cdot \left[\frac{a_{\varphi'} \cdot \tan(\varphi'_k)}{\gamma_{\varphi'}} + \frac{a_{c'} \cdot c'_k}{\gamma_{c'}} \right] \quad (5)$$

gdzie: $a_{\varphi'}$ i $a_{c'}$ wskaźniki zazębienia się geosyntetyku z gruntem z tytułu tarcia i adhezji.

W przypadku, gdy wkładka znajduje się pomiędzy dwoma różnymi warstwami gruntu wzór (5) należy odpowiednio rozwinąć uwzględniając dwa zestawy parametrów gruntu i odpowiadające im wskaźniki zazębienia się ze zbrojeniem. Na dużych obiektach i przy zastosowaniu materiałów nietypowych, jak łupki pokopalniane, popioły, żużle i inne materiały odpadowe, wskaźniki zazębienia powinny być wyznaczone bezpośrednio poprzez odpowiednie badania.

W odniesieniu do 2. stanu granicznego stawia się oprócz konwencjonalnych warunków na osiadanie dopuszczalne, na dopuszczalną przechyłkę lub inne warunki

Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

deformacji, warunek dopuszczalnego wydłużenia się zbrojenia. Ustalane na drodze doświadczeń wartości dopuszczalne wydłużeń zbrojenia mają chronić dany obiekt przed nadmiernymi deformacjami.

W zależności od tradycji i stopnia doświadczenia wartości dopuszczalnych wydłużeń nieco inaczej są definiowane w różnych krajach. W Instrukcji ITB 429/2007 Instytut Techniki Budowlanej oparł się głównie na zaleceniach brytyjskich, ponieważ większość postulowanych tam wartości jest zgodna z BS 8006:1995. W tabelicy 2 podano dopuszczalne wartości wydłużeń dla zbrojeń geosyntetycznych, jakie zawarte są w omawianej instrukcji. Należy pamiętać, że pod pojęciem ściany oporowej rozumie się konstrukcje z nachyleniem lica powyżej 70°. Stąd widać, że dla stromych zboczy nie zostały postawione wymagania na wydłużenie. Zdaniem autora nie powinno się przyjmować dla zboczy wartości większych niż 5%, o ile stanowią one podparcia dróg publicznych. Z zestawienia w tabelicy 2 widoczne jest, że na ogół mamy do sprawdzenia jeden warunek na wydłużenia i to wydłużenia całkowite. Tylko w przypadku przyczółków lub podpór mostowych należy dodatkowo sprawdzić, czy przyrost wydłużenia $\Delta\epsilon$ od momentu zakończenia budowy do końca okresu eksploatacji nie przekroczy wartości 0,5%.

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

Niestety bardzo rzadko pojawiają się w polskich specyfikacjach technicznych warunki stawiane wydłużeniom, co oznacza, że dany projekt nie został przemyślany do końca i nie zawiera sprawdzenia warunku na wydłużenie zbrojenia. W praktyce w ramach 2. stanu granicznego wykonuje się tak długo obliczenia, aż ustali się potrzebne wartości charakterystycznej wytrzymałości zbrojenia na rozciąganie ($F_{k,\epsilon}$) dla warunków:

$$(R_k + F_{k,\epsilon}) \geq E_k \quad (6)$$

$$\Sigma(R_{k,\epsilon} \cdot r_R) + \Sigma(F_{k,\epsilon} \cdot r_F) \geq \Sigma(E_k \cdot r_E) \quad (7)$$

O ile $T_k < F_{k,\epsilon}$ dla danej wkładki zbrojeniowej, we wzorach (6, 7) należy podstawić odpowiednie wartości T_k , które wyznacza się wzorem:

Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

$$T_k = 2 \cdot L_B \cdot [a_\varphi \cdot \tan(\varphi'_k + a_{c'} \cdot c'_k)] \quad (8)$$

Oznacza to, że w ramach 2. stanu granicznego wszystkie współczynniki cząstkowe bezpieczeństwa są równe 1,00, zatem obliczenia wykonuje się jedynie dla wartości charakterystycznych zarówno obciążeń, jak i parametrów wytrzymałościowych gruntu i zbrojeń. Wartości $F_{k,\epsilon}$ spełniające warunki (6) i (7) zamieszcza projektant w specyfikacji technicznej podając jednocześnie warunek na wydłużenie i czas eksploatacji. W przypadku przyczółków i podpór mostowych projektant żąda w specyfikacji, ażeby wytrzymałość $F_{\Delta k,\epsilon}$ nie była mniejsza od wartości $F_{k,\epsilon}$.

Obliczeniowa wytrzymałość geosyntetyków na rozciąganie - 1. stan graniczny

W metodzie stanów granicznych wartość obliczeniową geosyntetyków na rozciąganie dla 1. stanu granicznego wyznacza się wg (EBGEO 1997) wzorem (9). $A_1 \dots A_5$ - są to współczynniki materiałowe, uwzględniające poszczególne wpływy: A_1 - pełzanie, A_2 - uszkodzenia mechaniczne powstałe w procesie wbudowywania, A_3 - utratę wytrzymałości na połączeniach (ponieważ na ogół unika się połączeń na głównym kierunku nośnym, zostanie pominięte zagadnienie ustalania wytrzymałości na połączeniach), A_4 - wpływ środowiska wodno-gruntowego i A_5 - wpływ obciążeń cyklicznych lub dynamicznych na zmęczenie materiałowe. Współczynniki te stanowią charakterystyki materiałowe, a więc ich wielkości są w zasadzie niezależne od metody wymiarowania:

$$F_d = \frac{F_{o,k}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_F} \quad (9)$$

$F_{o,k}$ - wartość charakterystyczna (krótkoterminowa, UTS - ultimate tensile strength) wytrzymałość na rozciąganie według EN ISO PL 10 319 na taśmach o szerokości 20 cm rozciąganych ze standardową prędkością 20%/min. Jest to wartość deklarowana dla poziomu ufności 95%;

γ_F - współczynnik bezpieczeństwa materiałowego, wg tablicy 1.

Współczynniki materiałowe $A_1 \dots A_4$ ustalane są w oparciu o badania laboratoryjne, a nawet i polowe (A_2), a ich wartości powinny być ustalone lub potwierdzone przez niezależne instytuty akredytowane przy UE. W Polsce jednostką taką, która ma do tego uprawnienia UE w odniesieniu do geosyntetyków jest właśnie ITB w Warszawie. Właściwości reologiczne polimerów czy też produktów polimerowych ustala się poprzez badanie pełzania przy stałym obciążeniu w stałej temperaturze wg DIN EN ISO 13 431 lub metodą SIM (Stepped Isothermal Method - metodą jednakowych skoków termicznych (Lothspeich i Thorton, 2000)). Wg DIN EN ISO 13 431 badanie na pełzanie należy przeprowadzić dla co najmniej 10.000 h. Wyniki badania nanosi się w formie, jak to pokazano na rys. 1, oś pozioma $\log(t)$ - czas obciążenia, oś pionowa, skala naturalna, stopień obciążenia β_d w odniesieniu do wytrzymałości

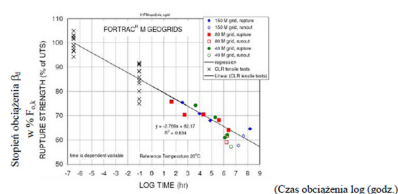
Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

krótkotrwałej $F_{0,k}$. A_1 – współczynnik materiałowy z tytułu pełzania dla danego czasu obciążenia t stanowi wartość odwrotną stopnia obciążenia w momencie zerwania się zbrojenia:

$$A_1 = \frac{1}{\beta_d} \quad (10)$$

A_1 można wyznaczać również metodą SIM o ile badanie na pełzanie dla dwóch pierwszych progów temperatury trwało co najmniej 1008 h a dla trzeciego co najmniej 4000 h (M Geok. E, 2005). Przykładowo na rys. 1 podane zostały wyniki badań SIM dla geosiatek z PVA. Takie właśnie dane graficzne (lub tabelaryczne) powinny być dołączane do dowodu wystarczającej wytrzymałości danego geosyntetyku dla 1. stanu granicznego składane przez oferenta i potwierdzone przez akredytowany przy UE instytut. O ile nie ma takich badań, wartości współczynnika A_1 przyjmuje się w Niemczech i we Francji jak następuje: PP i PEHD: $A_1 = 5,0$ a dla PA, PES, PVA, AR: $A_1 = 2,5$



A_2 – współczynnik materiałowy uwzględniający uszkodzenia mechaniczne przy wbudowaniu wg normy DIN EN ISO 10722-1 lub na podstawie badań polowych wg (TL Geok E-StB, 2005). W przypadku stosowania narzutów kamiennych można w celu obniżenia wartości A_2 zastosować przekładki z piasku lub żwiru, które nie zmniejszają znacznie zazębienia, ale skutecznie chronią geosyntetyk przed uszkodzeniem mechanicznym. O ile nie ma odpowiednich i wiarygodnych wyników badań wartości współczynnika A_2 należy w Niemczech przyjmować jak następuje (EBGEO, 1997):

- dla gruntów drobnoziarnistych i piaszczystych $A_2 = 1,50$
- dla gruntów żwirowych z ziarnem obtoczonym $A_2 = 2,00$
- dla kamienia łamanego A_2 należy ustalić lub potwierdzić w oparciu o badania polowe np. wg (TL Geok E-StB, 2005).

Podsumowując należy podkreślić, że trwałość i wytrzymałość długoterminowa w dużym stopniu zależy od tego na ile dany geosyntetyk został uszkodzony w trakcie wbudowania. Zatem należy starannie nadzorować tę część robót, pamiętając o tym, że zasypywany geosyntetyk ukrywa wszystkie wady czy uszkodzenia, które mogą być przyczyną późniejszej awarii.

Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

Współczynnik materiałowy A_3 uwzględnia utratę wytrzymałości na połączeniach i szwach. W zależności od lica ściany i typu połączeń należy ustalać poprzez badania faktyczną wytrzymałość na połączeniach. Szwów lub zakładów na kierunku głównym zbrojenia należy unikać.

Współczynnik materiałowy A_4 uwzględniający wpływ środowiska wodno-gruntowego wyznacza się w oparciu o badania wytrzymałości próbek poddanych normowemu oddziaływaniu różnych środowisk. Poniżej przytacza się zalecenia zawarte w M Geok E, 2005:

Okres użytkowania Dowód dostatecznej odporności wg
do 5 lat DIN EN 13249, Załącznik B 2
do 25 lat DIN EN 13249, Załącznik B 3
do 100 lat DIN EN 13249, Załącznik B 4,
(TL-Geok E-StB, 2005) i (M Geok E, 2005)

Bez przedłożenia wyników odpowiednich badań należy przyjmować wg (EBGEO, 1997) wartości A_4 dla okresu użytkowania do 100 lat jak następuje:
Poliamid (PA), aramid (A), Polipropylen (PP) i polietylen (PEHD) $A_4 = 3,3$
Poliwinyloalkohol (PVA) i poliester (PES) $A_4 = 2,0$.

Charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie - 2. stan graniczny

Dla sprawdzenia warunku 2. stanu granicznego należy posłużyć się izochronami i wyznaczyć wartość charakterystyczną wytrzymałości długoterminowej, $F_{k,\varepsilon}$. Stąd izochrony są integralną częścią każdej dokumentacji wykonawczej. Dla przykładu na rys. 2 pokazano izochrony dla geosiatki z PVA. Zgodnie z Instrukcją ITB 429/2007 (Wysokiński i Kotlicki, 2007) dla 2. stanu granicznego wyznaczać należy wartość charakterystyczną wytrzymałość na rozciąganie z warunku dopuszczalnego całkowitego wydłużenia następującym wzorem:

$$F_{k,\varepsilon} = \frac{F_{0,k} \cdot \beta_\varepsilon}{A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (11)$$

gdzie:

β_ε - dopuszczalny stopień obciążenia zbrojenia dla danego dopuszczalnego wydłużenia zbrojenia ε_{gr} i danego okresu użytkowania budowli (t). Wartość β_ε ustala się w oparciu o izochrony dla danego produktu, rys. 2.

W przypadku przyczółków lub podpór mostowych dodatkowo wyznacza się wartość charakterystyczną wytrzymałości zbrojenia dla warunku nie przekroczenia $\Delta\varepsilon$:

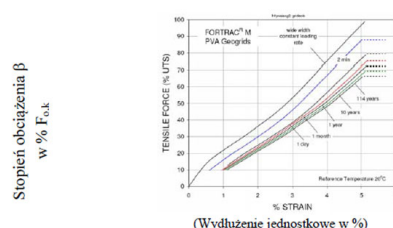
Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

$$F_{k,\Delta\varepsilon} = \frac{F_{o,k} \cdot \beta_{\Delta\varepsilon}}{A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (12)$$

gdzie:

$\beta_{\Delta\varepsilon}$ - dopuszczalny stopień obciążenia zbrojenia dla danego dopuszczalnego przyrostu wydłużenia zbrojenia $\Delta\varepsilon$ od czasu zakończenia budowy do końca eksploatacji obiektu (Δt).



Niestety bardzo rzadko pojawiają się w specyfikacjach technicznych warunki stawiane wydłużeniom co oznacza, że projekt nie zawiera sprawdzenia warunków 2. stanu granicznego. Należy pamiętać o tym, że skutków wydłużeń pobudowlanych nie da się już kompensować bez ponoszenia kosztów, a zatem poprawnie sporządzony projekt bezwzględnie powinien zawierać dowody stateczności dla 1.- i 2.- stanu granicznego. Poza tym brakuje w specyfikacjach technicznych wartości wskaźników zazębienia się gruntu ze zbrojeniem, co uniemożliwia poprawny dobór typu zbrojenia zapewniającego wymagane zakotwienie.

Wnioski

Projektowanie konstrukcji ziemnych z geosyntetykami napotyka w Polsce na brak norm, przepisów czy też zaleceń technicznych. Stąd też projekty wykonywane są z pominięciem wielu zasadniczych aspektów, a w szczególności cechuje się brakiem dowodu na spełnienie drugiego stanu granicznego. W specyfikacjach technicznych bardzo często nie podaje się warunku na dopuszczalne wydłużenie zbrojenia, co jest poważnym ich mankamentem.

Przedstawione zasady wymiarowania konstrukcji ziemnych pozwalają na poprawne wykonanie statyki i to zarówno dla pierwszego, jak i drugiego stanu granicznego oraz poprawne sporządzenie specyfikacji technicznej do dokumentacji przetargowej. Do czasu wydania Polskiego Załącznika do EC 7 w zakresie projektowania konstrukcji z gruntu zbrojonego autor referatu proponuje opierać się przy projektowaniu tych konstrukcji na Instrukcji ITB 429/2007. Wartości cząstkowych współczynników bezpieczeństwa proponuje ustalać w oparciu o tablice 2 zawartą w niniejszym materiale.

Janusz Sobolewski

Wymiarowanie zbrojeń geosyntetycznych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego w myśl przepisów EUROKODU 7 cz. II

Utworzono: czwartek, 17, grudzień 2009 08:38 Janusz Sobolewski

Huesker Synthetic GmbH, Niemcy

Materiał był prezentowany podczas Międzynarodowej Konferencji ENVIROAD 2009, 15-16 listopada 2009 r., Warszawa.

[Literatura](#)