



Ryc. 1. Droga ekspresowa S3

Aspekty konstrukcyjne oraz użytkowe konstrukcji Freyssisol w oparciu o różne systemy gruntu zbrojonego

■ mgr inż. Arkadiusz Franków, Freyssinet Polska Sp. z o.o.

W ciągu ostatnich dwóch lat paleta systemów oraz dostawców konstrukcji z gruntu zbrojonego uległa znacznemu powiększeniu. Technologia Freyssisol, wprowadzona i rozpropagowana na polskim rynku blisko 12 lat temu przez Freyssinet Polska Sp. z o.o., znajduje dziś wielu zwolenników i naśladowców.

Sam pomysł zastosowania gruntu zbrojonego w konstrukcjach inżynierskich należy do Henri Vidala, który w latach 60. ubiegłego stulecia założył firmę Terre Armee International i zapoczątkował rozwój tej technologii. W ciągu kilkudziesięciu lat grupa Terre Armee przeprowadziła dziesiątki badań nad zachowaniem się różnych materiałów w ośrodku gruntowym. Cechy materiałowe w większości przypadków rozczarowały naukowców, a zbyt krótka trwałość i zmienność w czasie zdecydowała o braku przydatności danego materiału do zbrojenia gruntu. Najlepsze cechy materiałowe wykazały pasy stalowe, żebrowane, zabezpieczone warstwą cynku oraz w ostatnich latach – przez modyfikację systemu połączenia z panelami osłonowymi – pasy poliestrowe w powłoce z polietylenu.

1. Charakterystyka konstrukcji z gruntu

Chociaż rynek dysponuje wieloma systemami, które noszą nazwę „konstrukcja z gruntu zbrojonego”, nie każdy system odpowiada lokalnym warunkom użytkowania. Skala deformacji elementów okładzinowych podczas budowy oraz po jej zakończeniu definiowana jest w zależności od ich kształtu oraz typu, zależnie czy to są panele segmentowe, panele pełnej wysokości, bloczki drobnogabarytowe bądź siatki stalowe. Dlatego przy wyborze konkretnego rozwiązania należy zwrócić szczególną



Ryc. 2. Trasa mostu Północnego w Warszawie



Ryc. 3. Konstrukcja podatna

uwagę na poziom przewidywanych odkształceń. Sama konstrukcja Freyssisol posiada kilka odmian, które charakteryzują się różną skalą przenoszenia deformacji (ryc. 1, 2).

1.1. Różnice osiadań między zasypką a okładziną

Każdy system gruntu zbrojonego charakteryzuje się ściślnością, która dotyczy etapu budowy, jak i okresu użytkowania. Taki stan znajduje odzwierciedlenie w różnicy osiadań między masywem gruntu zbrojonego a okładziną. Kiedy zbrojenie gruntu jest połączone strukturalnie z elementem osłonowym i połączenie nie przenosi obrotu, to w takim przypadku dodatkowe obciążenie musi przenieść zbrojenie, co może doprowadzić do nadmiernych deformacji.



Ryc. 4. Konstrukcja półpodatna

Rozróżniamy trzy zasadnicze typy konstrukcji z gruntu zbrojonego:

- podatne, gdzie elastyczne elementy osłonowe deformują się w płaszczyźnie pionowej w miarę dogęszczania się zasypki bloku zbrojonego (ryc. 3). W tym typie konstrukcji należy spodziewać się znacznych ruchów i widocznych odkształceń;
- półpodatne, w tej grupie znajdują się m.in. segmentowe panele okładzinowe, które dzięki ściślim łóżyskom kauczukowym znajdującym się między panelami są w stanie przenosić umiarkowane ruchy pionowe (ryc. 4);



Ryc. 5. Konstrukcja sztywne

- sztywne, reprezentowane przez panele pełnej wysokości bądź ściany z bloczków betonowych, które nie tolerują ruchów na połączeniu zbrojenia i elementów osłonowych (ryc. 5). W takim rozwiązaniu dodatkowe obciążenia, które są przyłożone na zbrojenie gruntu, muszą być niwelowane sztywnością podłoża gruntowego oraz wyborem materiału i sposobu zagęszczania zasypki.

1.2. Różnice osiadań na długości ściany

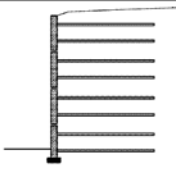
Często na długości ścian oporowych w podłożu zmieniają się warunki gruntowo-wodne. Wysokość ścian oporowych generuje zmienne obciążenia dodatkowe, co prowadzi do nierównomiernych osiadań.

Konstrukcje półpodatne i podatne wykazują duże i bardzo duże tolerancje w zakresie różnicy osiadań. Podatność konstrukcji z gruntu zbrojonego w kierunku podłużnym zależy od kształtu prefabrykatów betonowych i liczby przegubów między poszczególnymi panelami. Prefabrykaty osłonowe układane na zakład lepiej tolerują nierównomierne osiadania niż panele prostokątne układane w rzędach pionowych i poziomych.

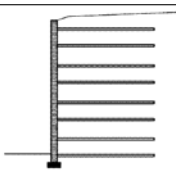
Konstrukcje sztywne, jak np. bloczki betonowe, układane są bez przerw dylatacyjnych i bez łożysk absorbujących ruch. Odporność tego typu konstrukcji na nierównomierne osiadania jest bardzo ograniczona. Małogabarytowy bloczek dopuszcza jedynie odkształcenia w swojej płaszczyźnie, bez możliwości współpracy z sąsiednimi elementami.

1.3. Przegląd wybranych systemów konstrukcji z gruntu według PN-EN 14475 (oryginał)

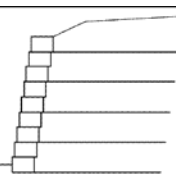
Tab. 1. Panele segmentowe

			
REINFORCEMENT		MAIN APPLICATIONS	
Most commonly used with steel or polymeric strips, or steel welded wire mesh. Also with steel ladder strips, rods, or geogrids.		Most commonly used for vertical walls, straight or curved, possibly tiered, and bridge abutments. Slightly battered walls can be built, provided the wall is more or less straight.	
TECHNOLOGY	LONGITUDINAL FLEXIBILITY	TRANSVERSAL FLEXIBILITY	FILL MATERIAL
Usually built in vertical rows and a staggered arrangement, which makes propping unnecessary. Compressible bearing devices are applied to all horizontal joints.	Panel aspect ratio, combined with compressible bearing devices gives good system articulation. Hence, significant tolerance to longitudinal differential settlement, especially when panel aspect ratio is near unity.	The compressible bearing devices make the systems semi-flexible	Most commonly used with granular fill material. Intermediate fills can also be used for some applications (see Annex A for guidance).
TOLERANCES	OTHER COMMENTS		
Alignment ± 25 mm	Differential settlement ~ 1% with panel aspect ratio = 1 to ~ 0,5% with larger ratios.	Compressibility ~ 1%	

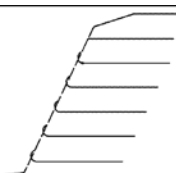
Tab. 2. Panele pełnej wysokości

			
REINFORCEMENT		MAIN APPLICATIONS	
Mostly used with geogrids, steel strips, or welded wire mesh. Polymeric strips, steel ladder strips or rods can also be used.		Most commonly used for vertical walls a few metres high, straight or curved, and minor bridge abutments. Slightly battered walls can be built, provided the wall is straight.	
TECHNOLOGY	LONGITUDINAL FLEXIBILITY	TRANSVERSAL FLEXIBILITY	FILL MATERIAL
Propping is needed during construction.	High vertical panel aspect ratio gives low tolerance to longitudinal differential settlement.	Rigid facing system (unless allowance is made for potential differential movement between the reinforced fill mass and the facing, by means of moving or sliding connections).	Well compacted granular fill material (unless moving connections are used and the system becomes semi flexible).
TOLERANCES	OTHER COMMENTS		
Alignment ± 25 mm	Differential settlement ≤ 0,5%	Compressibility ~ 0 % (unless moving connections are used)	Panels with horizontal "fracture lines" having a controlled degree of fragility, are meant to provide some transversal flexibility which eases the mobilisation of the soil/reinforcement interaction.

Tab. 3. Bloczki betonowe

			
REINFORCEMENT		MAIN APPLICATIONS	
Mostly used with geogrids, steel ladder strips or steel grid reinforcement. Other types of reinforcement (steel or polymeric strips) can also be considered.		Most commonly used for vertical, tiered or battered walls and minor bridge abutments.	
TECHNOLOGY	LONGITUDINAL FLEXIBILITY	TRANSVERSAL FLEXIBILITY	FILL MATERIAL
Segmental blocks are installed in horizontal courses and brickwork arrangement, usually without compressible packing material on horizontal joints. Fill reinforcement is usually either held between block courses, or attached to connecting devices at their interface.	The resistance of segmental block systems to longitudinal differential settlement is limited, since it can only result from the small size of the units and their movements relative to each other.	The lack of allowance for differential movement between the facing and the reinforcement makes the system rigid.	Good quality granular fill is recommended to mitigate the consequences of potential differential settlement between facing and reinforcement.
TOLERANCES	OTHER COMMENTS		
Alignment ± 50 mm	Differential settlement ~ 0,5 %	Compressibility ~ 0 %	

Tab. 4. Siatki stalowe

			
REINFORCEMENT		MAIN APPLICATIONS	
Mostly used with polymeric geogrids, steel strip, ladder or grid fill reinforcement.		Vertical, battered or inclined, possibly tiered, earth retaining structures. Inclined faces are usually seeded to give vegetation cover. Vertical or battered faces are usually backed with geotextile (particularly for temporary applications) or with a layer of stone or crushed rock.	
TECHNOLOGY	LONGITUDINAL FLEXIBILITY	TRANSVERSAL FLEXIBILITY	FILL MATERIAL
Open backed steel grid or steel mesh sections, either flat or pre-bent to required slope angle.	Generally high resistance to longitudinal differential settlement.	Semi-flexible system : low bending stiffness and vertical compressibility allow the facing to deform vertically and to accompany moderate settlement of the retained fill.	Most commonly used with granular fill material. Intermediate fills can also be used for some applications (see Annex A for guidance).
TOLERANCES	OTHER COMMENTS		
Alignment ± 100 mm	Differential settlement ~ 2 %	Compressibility ~ 5 %	A filter may be required between fill and crushed rock, if used at the face.

2. Trwałość konstrukcji Freyssisol w aspekcie wytrzymałości zbrojenia

2.1. Obliczenie nośności zbrojenia gruntu według NF P94-270: Pasy stalowe

$$R_{td} = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} * \frac{R_{tk}}{\gamma_{mt}}$$

(należy uwzględnić nośność zbrojenia na długości pasa i w połączeniu)

gdzie:

ρ_{end} – uszkodzenia zbrojenia w czasie budowy (1 dla pasów stalowych)

ρ_{flu} – zmiana cech fizycznych wskutek pełzania (1 dla pasów stalowych)

ρ_{deg} – korozja środowiskowa.

Obliczenia wytrzymałości długoterminowej pasów należy sprawdzić w dwóch wariantach (ryc. 6):

- przewidywana korozja zbrojenia jest niewielka i nie zmniejsza cech wydłużalności;
- przewidywana korozja zbrojenia jest na tyle duża, że redukuje możliwość wydłużenia.

Ad. a)

$$R_{td,y} = \rho_{deg,y} * \frac{S_o * f_y}{\gamma_{mo}}$$

gdzie:

S_o – początkowy przekrój zbrojenia

f_y – wytrzymałość charakterystyczna

γ_{mo} – współczynnik materiałowy

$\rho_{deg,y}$ – współczynnik zmniejszający, odpowiadający średniemu ubytkowi przekroju pasa DS/S_o dla przewidywanego okresu użytkowania.

$$\rho_{deg,y} = 1 - \gamma_y * \frac{\Delta S}{S_o}$$

gdzie:

γ_y – współczynnik bezpieczeństwa dla średniego ubytku ΔS .



Ryc. 6. Średni i miejscowy ubytek przekroju na długości pasa stalowego

Ad. b)

$$R_{td,r} = \rho_{deg,r} * \frac{S_o * f_r}{\gamma_{m2}}$$

gdzie:

S_o – początkowy przekrój zbrojenia

f_r – wytrzymałość na rozciąganie

γ_{m2} – współczynnik materiałowy
 $\rho_{deg,r}$ – współczynnik zmniejszający, odpowiadający maksymalnemu ubytkowi przekroju pasa KDS/S_o dla przewidywanego okresu użytkowania.

$$\rho_{deg,r} = 1 - \gamma_r * \frac{K \Delta S}{S_o}$$

gdzie:

γ_r – współczynnik bezpieczeństwa dla maksymalnego ubytku ΔS
 K – współczynnik niejednorodności korozji.

Przekrój początkowy zbrojenia S_o na końcu okresu użytkowania powinien spełniać nierówność:

$$\frac{K \Delta S}{S_o} \leq 0,5 \cdot (\rho_{deg,r} \geq 1 - 0,5 \gamma_r)$$

Jako wartość obliczeniową należy przyjąć:

$$R_{td} = \min[R_{td,y}, R_{td,r}]$$

2.2. Obliczenie nośności zbrojenia gruntu według NF P94-270: Pasy poliestrowe

$$R_{td} = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} * \frac{R_{tk}}{\gamma_{mt}}$$

gdzie:

ρ_{end} – uszkodzenia zbrojenia w czasie budowy, powodowane głównie przez rodzaj zasyпки i energię zagęszczenia.

W przypadku braku innych danych obowiązuje tablica 5.

Tab. 5. Współczynniki ρ_{end}

Warunki zagęszczenia	Nie bardzo różnorodne	Umiarkowanie różnorodne	Różnorodne	Bardzo różnorodne
Współczynnik ρ_{end}	0,87	0,80	0,67	0,40

gdzie:

ρ_{flu} – zmiana cech fizycznych wskutek pełzania, zależy przede wszystkim od rodzaju polimeru, technologii wytwarzania temperatury otoczenia i poziomu obciążeń.

Zależnie od okresu użytkowania i temperatury otoczenia należy rozpatrzyć dwa kryteria definiujące współczynnik ρ_{flu} :

- $\rho_{flu,r}$ – odpowiadający uszkodzeniu zbrojenia na skutek pełzania;
- $\rho_{flu,a}$ – związany z wydłużeniem dopuszczalnym, które nie powinno być przekroczone w żadnym miejscu zbrojenia w okresie między instalacją a końcem terminu użytkowania.

$$\rho_{flu} = \min[\rho_{flu,r}, \rho_{flu,a}]$$

W przypadku braku innych danych obowiązuje tablica 6.

Tab. 6. Współczynniki ρ_{flu}

Polimer	PET, PA	HDPE	PP
Stale wartości r_{flu}	1/3	1/5	1/6

gdzie:

ρ_{deg} – korozja środowiskowa, zależna od właściwości chemicznych zasyпки, w której umieszczono zbrojenie.

W przypadku braku innych danych obowiązuje tablica 7.

Tab. 7. Współczynniki ρ_{deg}

pH	Okres użytkowy wg klasy	PET	HDPE/PP	PA
4 < pH ≤ 8	1 do 3	0,95	0,95	0,90
	4 lub 5	0,83	0,77	–
8 < pH ≤ 9	1 do 3	0,90	0,95	0,90
	4 lub 5	0,77	0,77	–

3. Wnioski

Poziom zaufania dla konstrukcji, gdzie zasyпка pozostaje w interakcji z elementem osłonowym oraz inkluzjami w postaci zbrojenia gruntu, musi odnosić się do konkretnego systemu i dlatego projektant, mając do dyspozycji różne rozwiązania, decyduje, czy dany system odpowiada lokalnym warunkom użytkowania. Zmiana systemu konstrukcji z gruntu zbrojonego na etapie budowy nie może podlegać dowolności, ale wiąże się przede wszystkim ze zmianą przepisów szczegółowych, takich jak projekt budowlany.

Dodatkowo należy mieć na uwadze fakt, że każdy element konstrukcji z gruntu zbrojonego, tj. kształt prefabrykatu osłonowego, rodzaj zbrojenia gruntu i schemat połączenia zbrojenia z elewacją, ma zasadniczy wpływ na spełnienie oczekiwanej funkcji w okresie użytkowania obiektu budowlanego.

Literatura

- [1] PN-EN 14475: Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Grunt zbrojony.
- [2] EUROKOD 7: Projektowanie geotechniczne. Załącznik NF 94-270: Geotechnical design, Retaining structures. Reinforced fill and soil nailing structures.

REFERAT WYGŁOSZONY PODCZAS WROCŁAWSKICH DNI MOSTOWYCH AKTUALNE REALIZACJE MOSTOWE, WROCŁAW, 24–25 LISTOPADA 2011 R.