

Nasyp kolejowy na terenie Huty Miedzi Głogów, wykonany z innowacyjnego kruszywa pochodzenia pomiedziowego

Development of railway embankment in Glogow Copper Smelter by use of innovative copper slag aggregate



Mgr inż. Maciej Machowski)*



Mgr inż. Andrzej Łopatka)*



Inż. Marek Tondera)*



*Dr inż. Paweł Gambal**)*



*Mgr inż. Renata Kordiumow**)*



*Mgr Edyta Koziel**)*

Treść: Obecnie, z uwagi na znaczne zurbanizowanie, rozbudowa istniejących zakładów przemysłowych wiąże się z wykorzystaniem tych terenów, które do tej pory traktowano jako nieprzydatne pod inwestycje. Są to miejsca o małej nośności podłoża lub silnie zdegradowane w wyniku działalności przemysłowej. Artykuł dotyczy problemów związanych z budową nasypu kolejowego na słabonośnym podłożu o złożonej budowie z uwagi na wykształcenie litologiczne oraz przeobrażenia antropogeniczne. Wybór konsolidacji statycznej, w celu redukcji osiadań eksploatacyjnych, wiązał się z koniecznością wzmocnienia korpusu nasypu kolejowego. Dodatkowe zastosowanie w tym celu mieszanki piasku i innowacyjnego kruszywa pomiedziowego w połączeniu z geosyntetycznymi konstrukcjami zbrojącymi wymagało od Projektanta niestandardowego podejścia projektowego. Z uwagi na trudne warunki pracy zbrojenia, kwestia prawidłowego doboru materiału geosyntetycznego nabrała szczególnej wagi.

Abstract: Nowadays, due to large-scale urbanization, expansion of the existing industrial plants is associated with exploitation of the areas which have been regarded as unsuitable for investment so far. These are places of low soil bearing capacity or heavily degraded by human industrial activity (uncontrolled embankment). This paper brings up the issues related to the implementation stage of the project "The modernization of pyrometallurgy in Copperworks Glogow I" which includes foundation soil of complex structure – either because of its natural lithology or the existing uncontrolled embankments of anthropogenic origin – used for construction of railway embankments. Choosing the static consolidation in order to reduce exploitation settlement was connected with the need of strengthening the embankment. Due to the difficult operating conditions of the reinforcements, a new design approach and selection of the proper geosynthetic materials has become a very important issue to the designer.

*) Przedsiębiorstwo Realizacyjne INORA sp. z o.o., Gliwice ***) KGHM Metraco S.A., Legnica

Słowa kluczowe:

kruszywo pomiedziowe, żużel odpadowy, konsolidacja statyczna, geosyntetyki

Key words:

copper slag aggregate, waste slag, static consolidation, geosynthetics

1. Wprowadzenie

W procesie „szybowym” produkcji miedzi przez KGHM Polska Miedź S.A. wytwarzany jest żużel z pieca szybowego. Następnie dzięki technologii wylewania na hałdy zostaje on zagospodarowywany przez KGHM Metraco S.A. (dawniej KGHM Ecoren) jako wysokiej jakości ekologiczne kruszywo do zastosowań budowlano-drogowych. KGHM Metraco S.A. produkuje grysy do produkcji asfaltobetonów, mieszanki na podbudowy, kruszywo do podbudów z chudego betonu, na warstwy mrozo odporne, odsączające i jako składnik odziarniający, na podbudowy pomocnicze nawierzchni sztywnych i półsztywnych, na warstwy nasypów w strefie przemarzania itp.

Na zlecenie KGHM Polska Miedź S.A., KGHM Metraco S.A. wraz z KGHM ZANAM Sp. z o.o. realizuje obecnie zadanie „Zabudowa miejsca wylewania i urabiania żużla z pieca elektrycznego wraz z infrastrukturą oraz torów kolejowych normalnych”. Projekt ten jest realizowany w ramach Głównego Projektu prowadzonego przez KGHM Polska Miedź S.A. pt. „Modernizacja Pirometalurgii w Hucie Miedzi Głogów I”. Po jego zakończeniu KGHM Polska Miedź S.A. będzie producentem miedzi w technologii pieca „zawieszynowego”. Żużel odpadowy, który będzie podstawowym materiałem wyjściowym do produkcji kruszywa będzie żużlem z pieca elektrycznego. KGHM Metraco S.A. przetwarza m.in. odpady przemysłowe, zmniejszając obciążenie środowiska, działając na rzecz zrównoważonego rozwoju, chroniąc zasoby naturalne. Kruszywo Metraco jest wysokiej jakości odpowiednikiem bazaltu i gabra, które są uznawane za najszlachetniejszy materiał naturalny jaki można używać do budowy dróg i nasypów. Mając na uwadze planowaną zmianę technologii, dbałość o dobro środowiska naturalnego, jak również chcąc kontynuować dotychczasową produkcję wysokiej jakości kruszyw już w 2007 roku KGHM Metraco S.A. wraz z Hutą Miedzi Głogów i pracownikami Instytutu Metali Nieżelaznych rozpoczęła badania nad opracowaniem technologii zagospodarowania żużla z pieca elektrycznego jako kruszywa. W 2010 roku została opracowana technologia wylewania żużla do dołów żużlowych, pozwalająca na większe (niż jest to obecnie) kontrolowanie procesu stygnięcia żużla i otrzymywanie z niego kruszyw o zbliżonych lub lepszych parametrach fizyko-mechanicznych niż oferowane obecnie przez KGHM Metraco S.A.

W związku z tym, iż cała budowa jest prowadzona na terenie działającej Huty Miedzi Głogów, a nowy kompleks dołów żużlowych powstaje w miejscu istniejących i stale eksploatowanych hałd (obecne fronty wylewowe), w celu zapewnienia ciągłości pracy huty, koniecznością okazało się wybudowanie tymczasowego frontu wylewowego. Z uwagi na złożone warunki gruntowe oraz specyficzny sposób użytkowania nasypu stanowiło to unikatowe przedsięwzięcie inżynierskie, którego opis jest przedmiotem artykułu.

2. Charakterystyka techniczna inwestycji

Inwestycja zakładała wzniesienie budowli ziemnej o szerokości korony 8,0 m na długości 560 m, stanowiącej konstrukcję wsporczą pod linię kolejową oraz drogę serwi-

sową. Wysokość nowo wybudowanego nasypu to około 8,0 m na odcinku 400 m. W strefie wjazdu na dystansie ~90 m i strefie zjazdu na długości ~70 m wysokość nasypu zmienia się od 0 do 8,0 m. Nachylenie skarp nasypu nie przekracza 1:1,5 (~34°). Użytkowanie konstrukcji podzielono na dwa etapy. Początkowo nasyp będzie służyć jako tymczasowy tor wyładunkowy do wylewania i urabiania żużla, a następnie przejmie funkcję toru rezerwowego. Do wykonania nasypu użyto mieszanki żużla pomiedziowego 0/31,5 mm z Huty Miedzi „Głogów” i pospółki w proporcjach 1:1.

3. Morfologia, hydrografia i budowa geologiczna terenu przeznaczonego pod inwestycję

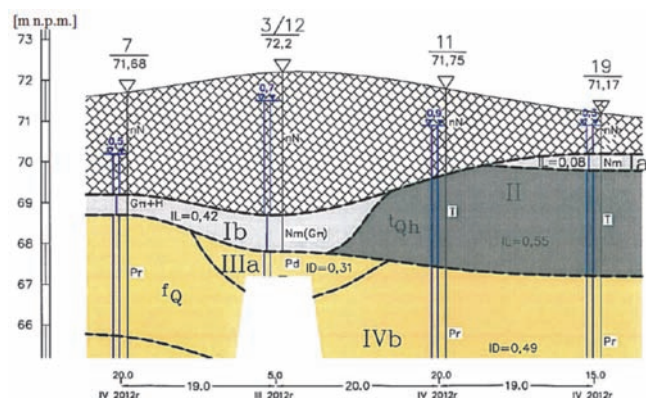
Teren zrealizowanej inwestycji położony jest w obrębie Pradoliny Głogowskiej, rozciągającej się wzdłuż rzeki Odry na rzędnej ok. 90 m n.p.m. Pradolina Głogowska jest podjednostką Obniżenia Milicko-Głogowskiego i stanowi teren o odmiennym charakterze od pozostałych mezoregionów. Cechuje się dużą krętością oraz występowaniem licznych starorzeczy. Teren inwestycji położony jest w dolinie Odry, w odległości ok. 800 m od koryta rzeki. Wykazuje lekkie pofalowanie, które jest wynikiem przeobrażeń antropogenicznych – formowania nasypów z odpadów przemysłowych o miąższości 1,0 – 3,4 m.

Dokumentacja geologiczno-inżynierska, wykonana w marcu 2012 roku, wykazała lekkie pofalowanie powierzchni dokumentowanego terenu, wynikające z działalności przemysłowej huty. Grubość warstwy nasypowej wahającej się w tym miejscu od 1,0 do 3,4 m wskazuje, że w przeszłości teren ten miał nieco inne ukształtowanie. Ponadto, w górnej warstwie podłoża rodzimego zaobserwowano występowanie organicznych osadów holocenijskich, zastoiskowych i torfowych. Poziom zwierciadła wód gruntowych o charakterze swobodnym jest ściśle uzależniony od stanu wody w korycie rzeki Odry i zmienia się w granicach głębokości od 0,2 do 1,1 m p.p.t. z możliwością wystąpienia lokalnych podtopień. Informacje te pozwoliły zakwalifikować budowę geologiczną terenu, pod projektowaną inwestycję, do złożonych warunków gruntowych. Przyjęto II kategorię geotechniczną, jednak biorąc pod uwagę przemysłową historię niniejszego terenu, zlecono rozszerzenie badań geologicznych. Dokumentacja geotechniczna uszczegóławiająca rozpoznanie podłoża [7] przewidywała wykonanie sondowań statycznych CPT w celu wyznaczenia parametrów mechanicznych i wytrzymałościowych gruntów organicznych, oraz dodatkowych odwiertów geologicznych dla sprecyzowania zasięgu zalegania warstw słabych. Przykładowy przekrój geologiczny przedstawiono na rys. 1.

Na podstawie przeprowadzonych badań dla warstw gruntów podłoża zalegających bezpośrednio pod nasypami niebudowlanymi o zróżnicowanej miąższości od 0,5 m do 5,5 m, przyjęto na podstawie sondowań CPT parametry geotechniczne zestawione w tabeli 1.

4. Metodyka obliczeń oraz definicja problemu

Analizę inżynierską przeprowadzono na podstawie obowiązującej normy PN-EN-1997-1 Eurokod 7 [1],



nN – nasyp niekontrolowany; Ia, Ib – namuły zastoiskowe; II – torfy; IIIa, IVb – piaski rzeczne

Rys.1. Przykładowy przekrój geologiczno-inżynierski w miejscu projektowanej inwestycji, km 0+300,00 [7]

Fig. 1. Example of geological cross-section at the site of the designed investment, km 0+300,00 [7]

sprawdzając każdorazowo dla projektowanej konstrukcji dwa stany graniczne. W pierwszej fazie projektowania przeanalizowano możliwość posadowienia bezpośredniego, bez ulepszenia podłoża oraz bez wzmocnienia korpusu nasypu. Do budowy nasypu wykorzystano mieszankę z żużla pomiedziowego pochodzącego z Huty Miedzi „Głogów”. Charakterystykę mieszanki 0-31,5 mm przedstawiono w tabeli 2.

Kruszywo to charakteryzuje się dobrą zagęszczalnością i wysoką wartością kąta tarcia wewnętrznego, który dla mieszanki o uziarnieniu 0/31,5 mm przekracza 39° . Pomimo wysokiej jakości kruszywa, które korzystnie wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa konstrukcji, to jednak wykonane analizy stateczności wykazały znaczne przekroczenie obydwu stanów granicznych. W analizie uzyskano między innymi wskaźnik wykorzystania nośności podłoża na poziomie $\eta=1,28$ (rys. 2), co zgodnie z warunkiem pierwszego stanu granicznego (1) (dla cząstkowych współczynników bezpieczeństwa) nie gwarantowało stateczności projektowanego nasypu [1][2]

Tabela 1. Parametry geotechniczne gruntów podłoża, kilometr 0+300,00 [7]

Table 1. Soil geotechnical parameters in kilometer 0+300,00 [7]

Symbol	Opis	Spójność c_u , kPa	Kąt tarcia wew. ϕ_u [°]	Wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu S_{u2} , kPa	Moduł ściśliwości pierwotnej M_0 , kPa
Ia	Namuły zastoiskowe	20,0	17,0	120	12 000
Ib		8,0	10,0	70	3 500
II	Torfy	5,0	8,0	50	2 000
IIIa	Piaski	0	29,5	-	43 200
IVb	Piaski	0	36,5	-	156 000

Tabela 2. Charakterystyka mieszanki z żużla pomiedziowego 0-31,5 mm

Table 2. Cooper slag characteristics, 0-31,5 mm

Badana cecha	Sposób badania	Wynik badania	Ocena – kategorie		
			PN-EN12620	PN-EN13043	PN-EN 13242
Skład ziarnowy Wymiar oczka # sita kontrolnego w mm	PN-EN 933-1:2012	100	-	-	-
		100			
		87,8			
		64,4			
		47,4			
		36,1			
		26,3			
		19,6			
		12,2			
		7,7			
		5,3			
		3,8			
		2,6			
1,9					
Wymiar ziarn d/D	PN-EN 933-1:2012	0/31,5	-	-	-
Uziarnienie,% przechodzącej masy przez: 2D 1,4D D	PN-EN 933-1:2012	100 100 100	$G_A 90$	$G_A 90$	$G_A 90$
Zawartość pyłów, f %	PN-EN 933-1:2012	1,9	f_3	f_3	f_3
Wskaźnik płaskości, FI	PN-EN 933-3:2012	8,4	FI_{10}	FI_{10}	FI_{20}
Wskaźnik kształtu, SI	PN-EN 933-4:2008	14,7	SI_{15}	SI_{15}	SI_{20}
Wskaźnik przepływu, E_{cs} , sek.	PN-EN 933-6:2004	19	-	-	-
Odporność na rozdrabnianie, LA	PN-EN 1097-2:2010	17	LA_{20}	LA_{20}	LA_{20}
Odporność na ścieranie, M_{DE}	PN-EN 1097-1:2011	4	$M_{DE 10}$	$M_{DE 10}$	$M_{DE 10}$

$$E_d \leq R_d \quad (1)$$

gdzie:

- E_d – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań,
- R_d – wartość obliczeniowa oporu przeciw oddziaływaniamu,
- $\mu = E_d/R_d$ – stąd wymagany warunek $\mu \leq 1$ - zgodnie z [2] nie został spełniony.

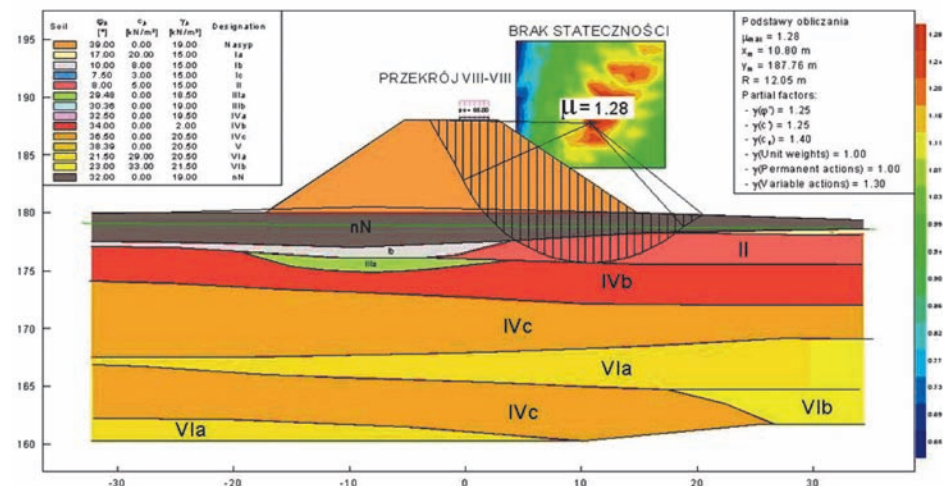
Zgodnie z PN-81/B-03020 [3] oszacowano jednocześnie minimalne (0,015 m) i maksymalne (0,19 m) osiadania eksploatacyjne podłoża pod projektowaną konstrukcją. Prognoza różnic osiadań na odcinku 200 m zakładała w okresie pierwszego roku użytkowania różnicę na poziomie 0,07 m, która w kolejnych latach pogłębiała się do wartości odpowiednio do 0,12 m i 0,14 m uzyskując po około 7 latach eksploatacji wartość maksymalną 0,175 m. W związku z powyższym, w myśl warunku (2) również II stan graniczny należało uznać za niespełniony [1]

$$E_d \leq C_d \quad (2)$$

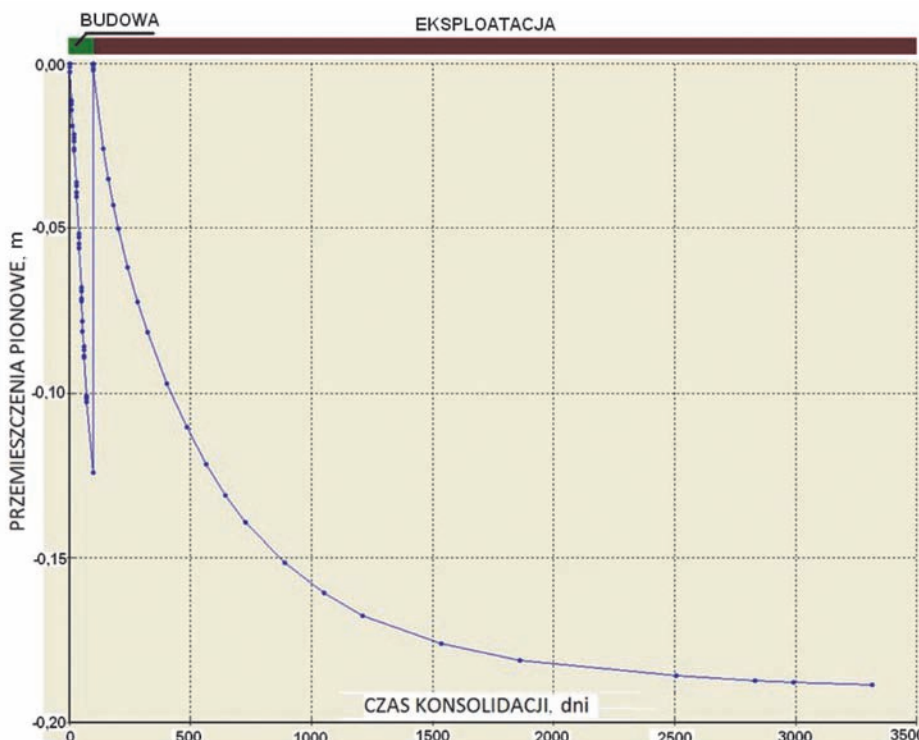
gdzie:

- C_d – graniczna obliczeniowa wartość efektu oddziaływań, wynosząca odpowiednio:
 - 0,01 m/rok na długości 200,0 m dla torowiska zgodnie z [6] – w omawianym przypadku $E_d = 0,07$ m/rok,
 - 0,1 m dla konstrukcji drogowych zgodnie z [4] – w omawianym przypadku dla drogi serwisowej $E_d = 0,19$ m.

Analizę przeprowadzono w analogiczny sposób dla 6 charakterystycznych przekrojów, co pozwoliło wyznaczyć łączny zakres 360 m długości konstrukcji, dla której realizacja budowy w tradycyjny sposób nie była możliwa. Bezpieczne posadowienie nasypu na tym odcinku wymagało wykorzystania metod geoinżynierii.



Rys. 2. Analiza stateczności projektowanego nasypu (SG I)
Fig. 2. Stability analysis of the designed embankment (ULS)



Rys. 3. Przebieg konsolidacji podłoża
Fig. 3. Subsoil consolidation process

5. Sposób rozwiązania problemu badawczego

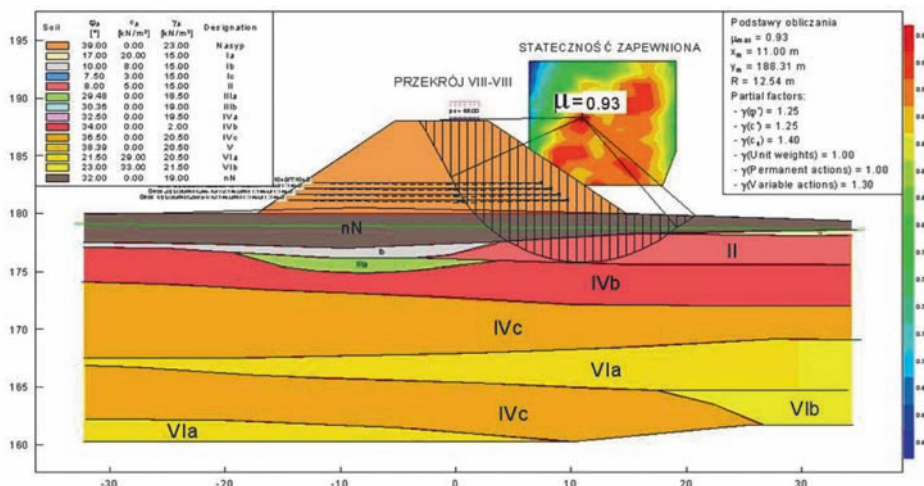
We wstępnym etapie projektu zaproponowano Inwestorowi trzy metody wzmocnienia podłoża pod projektowaną inwestycję. Koncepcje obejmowały tradycyjną wymianę gruntów słabych, wymianę dynamiczną (kolumny kamienne) oraz konsolidację statyczną. Z uwagi na aspekt ekonomiczny w pierwszej fazie odrzucono tradycyjną wymianę gruntów. W tym przypadku dla Inwestora równie istotnym czynnikiem w wyborze metody wzmocnienia okazał się czas realizacji przedsięwzięcia. Czynniki te okazały się na tyle istotne, że z uwagi na czas mobilizacji sprzętu odrzucono również metodę wymiany dynamicznej. Kwestia szybkiego terminu rozpoczęcia prac budowlanych wpływała także na ostatnią z zaproponowanych metod, uniemożliwiając wykorzystanie drenów pionowych przy konsolidacji statycznej. W tej sytuacji, z uwagi na specyfikę użytkowania nasypu, zaproponowano Inwestorowi ustalenie specjalnych warunków dla II stanu granicznego. Określono mapę osiadań podłoża niewzmocnionego, a uzyskane wyniki przyrównano do maksymalnych wartości akceptowalnych zarówno przez Projektanta torowiska, jak i Inwestora. Zabieg ten umożliwił ograniczenie czasu konsolidacji statycznej podłoża do czasu realizacji budowy (rys. 3). Okoliczność ta pozwoliła przyjąć metodę konsolidacji statycznej, jako metodę najbardziej odpowiednią do zaistniałych warunków zarówno ze względu na czas, jak i względy ekonomiczne.

Proces konsolidacji statycznej polega na dyssypacji nadwyżki ciśnienia wody w porach gruntu z równoczesnym zmniejszaniem się zawartości wody i objętości porów w gruncie, zwiększając tym samym jego wytrzymałość na ścinanie. Nadwyżka ciśnienia wody porowej powstaje w wyniku przyrostu naprężeń spowodowanego przyrostem obciążenia. Proces konsolidacji może zachodzić pod wpływem

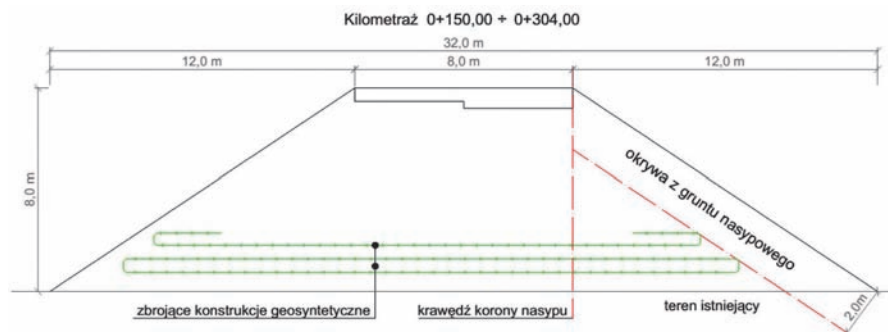
ciężaru własnego konstrukcji albo pod wpływem obciążenia wstępnego nasypem obciążającym (odzworowującym obciążenie użytkowe), albo też nasypem przeciążającym. Podczas konsolidacji należy zapewnić stateczność projektowanej konstrukcji, również w przypadku wystąpienia ewentualnych obciążeń dodatkowych. W przeciwnym wypadku może nastąpić zniszczenie w wyniku wyparcia gruntu słabego spod nasypu, zarówno w trakcie budowy lub w czasie późniejszej eksploatacji. Bezpieczeństwo konstrukcji może w takim przypadku zostać zwiększone poprzez zastosowanie odpowiednich konstrukcji zbrojących, np. geosyntetycznych wkładek i/lub materacy dodatkowo wpływających korzystnie na ujednoczenie osiadań nasypu. Przedstawiony w rozdziale 4 przypadek wymagał zarówno zapewnienia stateczności ogólnej, jak i ujednoczenia nierównomiernych osiadań. Ponowna analiza inżynierska, tym razem nasypów zbrojonych z odpowiednio dobranych geosyntetyków, pozwoliła zaprojektować trzy konstrukcje wzmocniające oraz wyznaczyć dla materiałów długoterminowe wytrzymałości na rozciąganie, jak i dopuszczalne graniczne wydłużenia, gwarantujące stateczność i poprawną pracę projektowanej konstrukcji.

6. Wyniki obliczeń i ich analiza

Obliczenia stateczności przeprowadzono na podstawie analizy warunków równowagi bryły osuwającej się wzdłuż powierzchni poślizgu. Przyjęto kołowo-cylindryczne powierzchnie poślizgu, sprawdzając równowagę momentów (metoda Bishop'a – rys. 4) oraz powierzchnie niecylindryczne, analizując równowagę sił (metoda Janbu). Na tej podstawie wewnątrz korpusu nasypu rozmieszczono zbrojące konstrukcje geosyntetyczne.



Rys. 4. Analiza stateczności globalnej nasypu zbrojonego (SG I)
Fig. 4. Global stability analysis of the reinforced embankment (ULS)



Rys. 5. Przykład rozmieszczenia konstrukcji zbrojących w przekroju nasypu
Fig. 5. Example of distributed reinforcements in embankment cross-section

Najbardziej zagrożonym, newralgicznym punktem konstrukcji, okazał się rejon $\sim 0+420,00$, gdzie pod 3,0 m warstwą nasypów niekontrolowanych zalegały grunty organiczne o miąższości 5,5 m. Zastosowany sposób rozmieszczenia konstrukcji zbrojących przedstawiono na rys. 5.

Przy rozmieszczaniu konstrukcji zbrojących uwzględniono specyfikę użytkowania nasypu. Na jego północnej stronie - przeznaczonej do wylewania i urabiania żużla pomiedziowego - zaprojektowano okrywę z gruntu nasypowego (rys. 5). Okrywa, wykonana z tego samego materiału co pozostała część korpusu, pozwoliła zredukować niekorzystny wpływ wysokiej temperatury zrzucanego żużla na pracę materiałów geosyntetycznych. Należy pamiętać, że zgodnie z [2] praca materiałów geosyntetycznych w temperaturach powyżej 25° określana jest jako „przypadek trudny” zagrażający ich trwałości. Kwestia prawidłowego doboru charakterystycznej wytrzymałości krótkotrwałej ($F_{o,k}$ wytrzymałość doraźna) zbrojenia tutaj szczególnie znaczenia.

Zgodnie z [2][5] wytrzymałość doraźną należy wyznaczyć ze wzoru (3)

$$F_{o,k} = F_d \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_F, \text{ kN/m}$$

gdzie:

F_d – wytrzymałość obliczeniowa zbrojenia na rozciąganie wyznaczona na podstawie analizy statycznej, jako minimalna wymagana wytrzymałość geosyntetyku potrzebna do zapewnienia stateczności projektowanej konstrukcji,

A_1, A_2, A_3, A_4 – współczynniki materiałowe uwzględniające spadek wytrzymałości zbrojenia na skutek:

A_1 – pełzania w projektowanym okresie użytkowania konstrukcji,

A_2 – uszkodzeń w transporcie i przy zabudowaniu,

A_3 – połączeń,

A_4 – działania czynników środowiskowych,

γ_F – współczynnik bezpieczeństwa.

W omawianym przypadku przyjęcie współczynników materiałowych A_1, A_2 oraz A_3 nie odbiegało niczym od tradycyjnego sposobu projektowania. Szczególną uwagę należało poświęcić współczynnikowi A_4 , uwzględniającemu spadek wytrzymałości zbrojenia na skutek działania czynników środowiskowych. Współczynnik ten zgodnie z [2] dla „typowych warunków” można przyjąć na poziomie $A_4 = 1,0$, w przeciwnym razie wartość należy ustalić indywidualnie na podstawie badań dodatkowych. Instrukcja [2] uzależnia „trudne warunki” od temperatury i odczynu pH środowiska pracy geosyntetyku. W omawianym projekcie oprócz problemu temperatury pojawiła się kwestia wysokiego pH materiału nasypowego. W seriach badań żużla pomiedziowego ustalono wartość pH na poziomie $\sim 10,0$. Przypadek odczynnika pH gruntu współpracującego z geosyntetykiem, wykraczający poza przedział $<4\div 9>$ (materiały antropogeniczne, grunty rodzime skażone chemicznie), również należy zaliczyć do „trudnych warunków” [2]. Najczęściej stosowane materiały geosyntetyczne (wykonane z takich polimerów jak PP, PET) nie znajdują zastosowania w takich warunkach. Projektant w tym przypadku zdecydował się na zastosowanie materiałów geosyntetycznych wykonanych z poliwinylalkoholu (PVA). Materiały takie charakteryzują się pełną odpornością chemiczną w przedziale do pH 12.

7. Realizacja konstrukcji nasypu

Konsolidacja statyczna wymaga odpowiedniego podejścia inżynierskiego, zarówno na etapie projektu, jak i realiza-

cji. Trudne warunki gruntowe wymuszają na wykonawcy zaostrożenie reżimu prowadzenia prac budowlanych, tak by założenia projektowe znalazły bezwzględne odzwierciedlenie w rzeczywistej pracy konstrukcji. Należy pamiętać, że materiały geosyntetyczne pełnią funkcję zbrojącą, a sposób ich zabudowy ma bezpośredni wpływ na jakość pracy kompozytu (analogicznie do konstrukcji żelbetowych). Aby zapewnić bezpieczeństwo wznoszonej konstrukcji, prace budowlane rozpoczęto od szkolenia ekip wykonawczych. Na bazie wieloletnich doświadczeń firmy P.R. INORA Sp. z o.o., objaśniono pracownikom metodę zabudowy geosyntetyków. Zaprezentowano prosty sposób wstępnej mobilizacji geosyntetyków do pracy w stanie naprężenia (rys. 6), tak by mogły współpracować z konstrukcją już od pierwszej fazy budowy nasypu.



Rys. 6. Formowanie konstrukcji zbrojących – wykorzystanie szalunków przestawnych oraz „rowka naciągowego”

Fig. 6. Installation of geosynthetic reinforcements – using formworks and tension slots

Komplet dokumentów potwierdzających laboratoryjne wyznaczenie wszystkich niezbędnych współczynników materiałowych ($A_1\div A_4$) pozwolił zastosować do realizacji konstrukcji zbrojących materiały z serii Fortrac M oraz Fibertex. Materiały geosyntetyczne zabudowywano z użyciem szalunków przestawnych (rys. 6), umożliwiającym prawidłowe zagęszczenie materiału nasypowego tuż przy krawędzi konstrukcji zbrojącej, jednocześnie usprawniając i przyspieszając proces wznoszenia nasypu.

8. Podsumowanie

W przedstawionym przypadku podczas procesu projektowania należało uwzględnić trudne warunki gruntowe, występujące na terenie przewidzianym pod inwestycję. Faktycznym wyzwaniem projektowym okazało się tutaj niestandardowe użytkowanie konstrukcji. Konsekwencje z tego wynikające miały bezpośredni wpływ na dobór materiałów geosyntetycznych oraz rozmieszczenie zbrojenia wewnątrz korpusu nasypu. Realizacja konstrukcji z gruntu zbrojonego, pomimo, iż część ekipy budowlanej po raz pierwszy brała bezpośredni udział przy instalacji materiałów geosyntetycznych, nie stanowiła problemu, a prace realizowane były zgodnie z harmonogramem. Prowadzony monitoring geodezyjny pozwolił na bieżącą kontrolę osiadań nasypu. Na całej długości konstrukcji, zarówno w czasie budowy, jak i użytkowania, nie zanotowano osiadań przekraczających wartości szacowanych na etapie projektu. Tymczasowy tor wylewowy (rys. 7) uruchomiono zgodnie z harmonogramem, co pozwoliło przystąpić do realizacji kolejnych etapów projektu głównego.



Rys. 7. Faza użytkowania toru rezerwowego
Fig. 7. Serviceability phase of rail embankment

Literatura

1. PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
2. Instytut Techniki Budowlanej; „Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami”; Instrukcje, Wytyczne, Poradniki; 429/2007; Warszawa 2007.
3. PN-81/B-03020 - Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
4. PN-S-02205 - Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
5. Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures Using Geosynthetic Reinforcements –EBGEO, Ernst & Sohn; DGGT 2011.
6. Id-3 Warunki Techniczne utrzymania podtorza kolejowego, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2009.
7. Dokumentacja geotechniczna uszczegółwiająca rozpoznanie podłoża geologicznego nasypu frontu rezerwowego na terenie Dołów Żużlowych Huty Miedzi Głogów 1; Pracownia Geologiczna s.c. Joanna i Robert Łukasiewicz, Głogów 2012.

***Zwiększajmy prenumeratę
najstarszego – czołowego miesięcznika
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa!***

Liczba zamawianych egzemplarzy określa zaangażowanie jednostki gospodarczej w procesie podnoszenia kwalifikacji swoich kadr!