



BEATA GAJEWSKA

Instytut Badawczy Dróg  
i Mostów  
bgajewska@ibdim.edu.pl



KRZYSZTOF  
GRZEGORZEWICZ

Instytut Badawczy Dróg  
i Mostów  
kgrzegorzewicz@ibdim.  
edu.pl



BOLESŁAW KŁOSIŃSKI

Instytut Badawczy Dróg  
i Mostów  
bklosinski@ibdim.edu.pl

## Wzmacnianie podłoża gruntowego z zastosowaniem lekkich wypełnień

Budowa nasypów drogowych na słabym i bardzo ściśliwym podłożu wymaga specjalnych zabiegów i zabezpieczeń [1], [5]. Najczęściej stosowane jest wzmocnienie podłoża za pomocą kolumn, zbrojenia geosyntetykami itp. Korzystną i atrakcyjną kosztowo alternatywą są lekkie wypełnienia, stosowane w nasypach i zasypkach w celu zmniejszenia obciążeń podłoża i parcia gruntu na ściany oporowe oraz ograniczenia długotrwałych osiadań i deformacji budowli. Jest to wskazane:

- w przypadku budowy, podwyższania lub poszerzania nasypów na bardzo ściśliwym podłożu (np. na bagnach), gdy nasyp z materiału ziemnego wywołałby nadmierne i długotrwałe osiadania lub, w skrajnych przypadkach, mógłby zatonać albo utracić stateczność,

- do wymiany gruntu w celu naprawy długotrwałe osiadających nasypów na bardzo ściśliwym podłożu, zwłaszcza w przypadkach, gdy kolejne wyrównywanie niwelety drogi nakładkami asfaltowymi docięża podłoże i po-

woduje dalszy przyrost osiadań,

- jako zasypka do zabezpieczania lub naprawy ścian oporowych i przyczółków mostów, doznających przemieszczeń poziomych spowodowanych bocznymarciem słabego gruntu, wywołanym przez obciążenie pionowe nasypem.

Wypełnienia z materiałów nasiąkających lub wrażliwych na wodę (np. popiołów lotnych, pianobetonu) powinny być zabezpieczone przed jej działaniem, w szczególności nie można ich wbudowywać w budowlę ziemną poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. W przypadku okresowego przyboru wody omywającej budowlę (np. przybory w rzekach) konieczne jest sprawdzenie warunku stateczności z uwzględnieniem sił wyporu.

Lekkie wypełnienia mają mały współczynnik przewodności cieplnej. Ta cecha może być pożyteczna przy tworzeniu warstw chroniących podłoże przed przemarzaniem, lecz także sprzyja oblodzeniu nawierzchni.

### Opis metody

Do wypełnień lżejszych od gruntu należą m.in.:

- popioły lotne,
- lekkie kruszywa keramzytowe,
- pianobeton,
- bloki ze spienionego polistyrenu – styropianu.

**Popioły lotne** stanowią odpad przemysłowy, który może być wykorzystany jako materiał budowlany. Zaletą popiołów jest mały ciężar objętościowy ( $9 \div 12 \text{ kN/m}^3$ ). Dysponenci popiołów mają zorganizowany system ich składowania i dystrybucji, często dostarczają je własnym transportem w miejsce wbudowania, niekiedy oferują wzbogacenie popiołów materiałami wiążącymi. Barię stosowania popiołów do budowy nasypów są koszty transportu w przypadku dużych odległości dowozu. Trudność stanowi też pylenie suchych popiołów w czasie robót.

Popioły prawidłowo wbudowane są traktowane jako materiał nieszkodliwy dla środowiska. Zgodnie z opinią Głównego Inspektoratu Dozoru Jądrowego z dnia 22.05.1991 r., pyły i żużle z energetycznego spalania węgla, z punktu widzenia ochrony radiologicznej, mogą być wykorzystywane do budowy nasypów drogowych i kolejowych, izolacji i rekultywacji składowisk odpadów bez obowiązku wykonywania pomiarów radiometrycznych. Każdorazowo trzeba rozważyć sprawę ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem wysiękami związków chemicznych.

Zasady budowy nasypów z popiołów podane są np. w wytycznych IBDiM [9]. Nasypy z popiołów należy osłonić okładem z gruntu naturalnego, który w górnej części jest podłożem nawierzchni, zaś na skarpach – podłożem okrywy roślinnej. Popioły stosowane do budowy nasypów zaleca się układać na podłożu z gruntów przepuszczalnych, na warstwie odcinającej od wody gruntowej. Ma to duże znaczenie szczególnie przy stosowaniu popiołów drobnoziarnistych, które wykazują właściwości kapilarne i nie są mrozoodporne. Nasypy z popiołów lotnych są wykonywane warstwami poziomymi grubości  $15 \div 30 \text{ cm}$ , a górną powierzchnię nasypu zabezpiecza się przed przenikaniem wody, np. przez zastosowanie stabilizacji spoiwami hydraulicznymi.

**Lekkie kruszywa keramzytowe** [8], [10] są przydatne do wykonywania nasypów „pływających” na bardzo słabych podłożach oraz do zasypek lub obsypok rozmaitych konstrukcji zagłębionych w gruncie z uwagi na gęstość trzykrotnie mniejszą od gruntu, przy dużej wytrzymałości mechanicznej. Keramzyt jest materiałem ceramicznym, produkowa-

nym w procesie wypalania glin i ilów w temperaturze 1000 do 1200°C. Nie wykazuje on promieniotwórczości i spełnia wymagania ochrony środowiska. W kraju produkowane są różne rodzaje kruszyw keramzytowych. Jako lekkie wypełnienie zaleca się stosować frakcje kruszywa od 8 do 20 mm, które w stanie suchym po utrzęsieniu mają gęstość objętościową 300 do 350 kg/m<sup>3</sup>. Ziarna kruszywa mają nasiąkliwość około 20%, a porowatość około 40%. W stanie trwale zawilgocnym gęstość objętościowa wynosi 450–550 kg/m<sup>3</sup>, do obliczeń przyjmuje się zwykle do 600 kg/m<sup>3</sup>.

Kruszywo keramzytowe nie wymaga intensywnego zagęszczania, a dzięki dużemu tarcu ziarna dobrze się klinuje. Nasypy z kruszyw keramzytowych należy układać na przygotowanym podłożu, warstwami o grubości do 1 m, stosując urządzenia transportowe i zagęszczające o nacisku do 30 kN/m<sup>2</sup>. Skarpy wykonuje się z pochyleniem do 1 : 1,5. Przy podstawie skarpy nasypu wskazane jest uformowanie trapezowego wału z kruszywa mineralnego o wysokości około 0,4 grubości nasypu z lekkiego kruszywa.

Zasyпки konstrukcji oporowych należy układać warstwami grubości do 0,6 m i zagęszczać np. ruchem środków transportowych o nacisku do 5 kN/m<sup>2</sup>. Nie stosuje się typowego zagęszczania mechanicznego! Zagęszczone warstwy należy chronić przed zniszczeniem przez ruch ciężkich pojazdów.

Warstwę lekkiego kruszywa zaleca się osłonić geowłókniną i odseparować od podłoża. Budowla ziemna z lekkiego kruszywa powinna zostać przykryta warstwą gruntu lub kruszywa grubości co najmniej 0,6 m, mieszanki stabilizowanej mechanicznie lub mieszanki stabilizowanej spoiwem o  $R_m = 2,5$  MPa.

Wymagania i sposób badania kruszywa keramzytowego określają np. aprobaty techniczne IBDiM.

Wykonanie nasypów i zasypek należy sprawdzać i oceniać zgodnie z wymaganiami normy PN-S-02205:1998 i OST D-02.00.00:1998.

W analogiczny sposób mogą być wykorzystane lekkie kruszywa sztuczne z popiołów, przeznaczone do wykonywania mieszanek betonowych i dolnych warstw nawierzchni dróg. Materiały te mają większą wytrzymałość, ale też znacznie większy ciężar objętościowy (800–1000 kg/m<sup>3</sup>) i są droższe od kruszyw keramzytowych.

**Pianobeton** [10] nadaje się doskonale do lekkich wypełnień, zwłaszcza przestrzeni trudno dostępnych. Jest on tworzywem obojętnym dla środowiska. Do jego produkcji stosuje się cement, wodę, środek pianotwórczy oraz wypełniacze, np. drobny piasek, popioły lotne lub pyły. Pianobeton wytwarza się na placu budowy i transportuje w miejsce wbudowania rurociągiem. Duża ilość pęcherzyków gazu, zawartych w mieszance, zwiększa jej płynność do tego stopnia, że łatwo wypełnia wszelkie nierówności, a powierzchnia sama się poziomuje. Gęstość pianobetonu może być łatwo regulowana od najniższej, praktycznie stosowanej 400 kg/m<sup>3</sup> do około 1400 kg/m<sup>3</sup>. Właściwości mechaniczne w zależności od gęstości podano w tabeli 1.

Pianobeton może być układany w nasypach ziemnych powyżej poziomu wody gruntowej jako lekkie wypełnienie. Należy go dzielić na bloki, które ułatwią dostosowywanie się bez pęknięć i uskoków do odkształceń podłoża i samej budowli ziemnej. Pianobeton należy układać warstwami

o grubości do około 30 cm i przedzielać je tak, aby każda warstwa była odseparowana od poprzedniej np. cienką warstwą piasku. Układanie kolejnej warstwy może nastąpić dopiero po kilku godzinach od zakończenia formowania poprzedniej. W każdej warstwie należy wykonać nacięcia pianobetonu w miejscach, w których oczekuje się pojawienia spękań warstwy. W kolejnych warstwach nacięcia powinny być wzajemnie przesunięte. Podział na warstwy i miejsca ich nacięcia powinny być określone w projekcie wypełnienia nasypu, w nawiązaniu do funkcji budowli, przyczyn, które zadecydowały o zastosowaniu lekkiego wypełnienia, warunków posadowienia nasypu i spodziewanych odkształceń budowli.

Tabela 1. Typowe właściwości pianobetonu

Rodzaj pianobetonu	Gęstość objętościowa (kg/m <sup>3</sup> )	Wytrzymałość na ściskanie (MPa)	Moduł sprężystości po 56 dniach (MPa)	
			statyczny	dynamiczny
TM 400	400	0,5	–	–
TM 600	600	0,8	930	270
TM 800	800	2,0	2020	900
TM 1000	1000	4,0	–	–
TM 1200	1200	6,0	4360	1940
TM 1400	1400	8,3	6200	3060

Pianobeton może być stosowany przy naprawach uszkodzonych przyczółków mostowych i ścian oporowych. Nadaje się do wykonania lekkiego wypełnienia przestrzeni za przyczółkiem, szczególnie, gdy jego elementy uległy spękaniu i trzeba je umonolitycznić. Pianobetonu nie należy stosować do wypełniania budowli ziemnych poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej.

Badania kontrolne obejmują: sprawdzenie wymiarów wykonanych bloków, gęstości objętościowej w stanie suchym oraz średniej wytrzymałości na ściskanie pianobetonu. Badania przeprowadza się na próbkach wyciętych z uformowanego elementu; metoda badań wg opisu w p. 5.1 i p. 5.5 normy PN-89/B-06258.

## Nasypy z wkładem styropianowym

W celu radykalnego zmniejszenia nacisku na podłoże, w budowlach ziemnych część objętości wypełnia się wkładami z bloków styropianowych (EPS) – materiału stukrotnie lżejszego od gruntu. Sposób ten jest stosowany od 40 lat np. we Francji, Holandii, Norwegii i w innych krajach skandynawskich, a od 15 lat w Polsce. Zebrane doświadczenia potwierdziły jego przydatność i trwałość, np. [6]. W Niemczech wydano wytyczne stosowania bloków EPS w budowlach drogowych [7].

Podstawowym elementem konstrukcyjnym, używanym w drogownictwie, jest blok o wymiarach 4,0 × 1,0 × 0,5 m. Do utworzenia odpowiedniej konstrukcji przestrzennej używa się, jako uzupełniające, bloki o innych wymiarach: 3,0 × 1,0 × 0,5 m i o mniejszej długości. Bloki styropianu powinny być układane ściśle obok siebie, konstrukcja jest warstwowa, z zachowaniem zasady przykrywania styków bloków niż-

szej warstwy blokami wyższej warstwy (analogia do przewiązywania muru ceglanego).

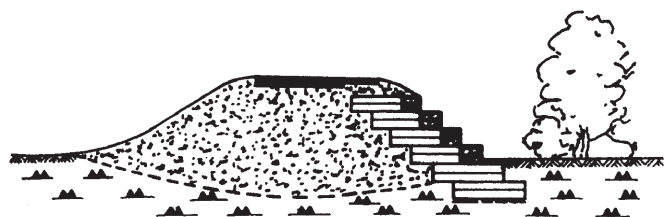
Bloki są wytwarzane ze styropianu samogasnącego. Typowe właściwości styropianu zawiera tabela 2. Dopuszcza się stosowanie odmiany 20, ale zaleca odmianę 30, wyjątkowo 40. Liczba 30 oznacza, że gęstość objętościowa tego materiału jest nie mniejsza niż 30 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 2. Typowe właściwości styropianu

Lp.	Właściwości	Jednostki	Odmiana		
			20	30	40
1	gęstość objętościowa	kg/m <sup>3</sup>	≥ 20	≥ 30	≥ 40
2	obciążenia wywołujące odkształcenie 10%	kN/m <sup>2</sup>	–	110 ÷ 160	200 ÷ 250
3	obciążenia wywołujące trwałe odkształcenie 2%	kN/m <sup>2</sup>	–	40 ÷ 50	70 ÷ 90
4	moduł sprężystości E	MN/m <sup>2</sup>	3,4 ÷ 7	7,7 ÷ 11,3	–
5	nasiąkliwość (przy zanurzeniu)	% objętości	≤ 7	≤ 7	≤ 7

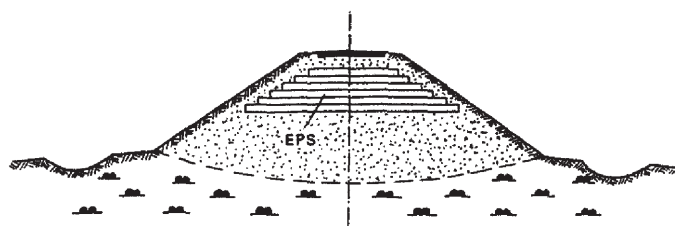
Styropian jest stosowany:

- do budowy nasypów zamiast materiału ziemnego na podłożu bardzo ściśliwym,
- przy poszerzaniu nasypów na ściśliwym podłożu (rys. 1); jeśli dobudowane poszerzenie z materiału ziemnego może doprowadzić do przesunięcia poprzecznego, przechylenia lub utraty stateczności budowli; poszerzenie wypełnione lekkim materiałem zmniejsza te zagrożenia,



Rys. 1. Wbudowanie bloków styropianu w poszerzany nasyp [10]

- do likwidacji skutków osiadania przeciążonego podłoża (rys. 2); jeśli osiadanie jest znaczne i wymagane jest podwyższenie nasypu, to użycie ciężkich materiałów spowoduje dalszy wzrost osiadania budowli, najwłaściwsze jest zastąpienie części tego nasypu blokami ze styropianu,
- przy odciążeniu czynnego osuwiska: zasadą jest, by w górnej części zsuwającej się masy zastąpić grunt wkładkami



Rys. 2. Wbudowanie bloków styropianu w celu odciążenia podwyższonego nasypu [10]

- z bloków styropianowych, przesuwając wykopany grunt do podstawy tego osuwiska, z wyprzedzającym wykonaniem odprowadzenia wód opadowych i skutecznego drenażu,
- w połączeniu nasypu drogowego z mostem: często posadowiony na palach przyczółek ulega poziomemu przesunięciu w wyniku wywieranego na pale nacisku bocznego przez słaby grunt, spowodowanego przez pionowy nacisk nasypu; odciążenie podłoża zmniejsza boczne parcie na pale, zaś bryła z wbudowanego styropianu przejmuje parcie poziome nasypu i odciąża przyczółek.

Odporność styropianu na działanie substancji chemicznych jest na ogół duża. Nawet długotrwałe działanie roztworu soli kuchennej, mydła, środków powierzchniowo czynnych, rozcieńczonych kwasów, ługu sodowego i potasowego, wody amoniakalnej, oleju sylikonowego nie powoduje uszkodzenia materiału. Olej parafinowy, wazelina, alkohole działające przez długi czas mogą zniszczyć tylko powierzchnię bloku. Niszczą go natomiast: aceton, octan etylenu, benzen, ksylen, rozpuszczalniki do lakierów, trójchloroetylen, nasycone alifatyczne węglowodory, benzyna apteczna, benzyna lakowa, olej napędowy, paliwa gaźnikowe (benzyna we wszystkich odmianach). Dlatego wymaga on osłony zabezpieczającej przed incydentalnym wpływem rozpuszczalników organicznych.

Styropian nie powoduje zanieczyszczenia wód gruntowych. Środowisko wodne nie powoduje procesów gnilnych ani butwienia. Styropian nie stanowi pożywienia dla owadów i kręgowców. Okrywa ziemna bloków zabezpiecza je przed mechanicznym niszczeniem przez wandalii oraz przed ogniem. Styropian jest materiałem samogasnącym, tzn. nie ma zdolności podtrzymywania płomienia, gdy nie ma obcego, czynnego źródła ognia.

Bloki styropianowe układa się na naturalnym podłożu, wyrównanym i przykrytym kilkunastocentymetrową warstwą dobrze zagęszczającego się gruntu, pospółki lub wysiewek z produkcji kruszywa łamanego. Wskazane jest ułożenie w podstawie zbrojenia z geosyntetyków, zapobiegającego rozpełzaniu się bardzo słabego podłoża.

Odstępy między blokami powinny być nie większe od 10 mm, o ile nie określono inaczej w projekcie. Bloki układanych warstw powinny być łączone między sobą łącznikami metalowymi, zapobiegającymi wzajemnemu ich przemieszczaniu. Służą do tego specjalne kształtki z blachy lub odcinków prętów zbrojeniowych. Zaleca się przyjmować co najmniej 3 szt./4 m<sup>2</sup> warstwy, lecz nie mniej niż 2 szt. na blok. Wysokość konstrukcji ze styropianu zależy od potrzeb; na ogół jest to kilka warstw grubości po 0,5 m. W celu ochrony styropianu przed ewentualnym przesiąkaniem przez grunt skarpy szkodliwie działających substancji chemicznych (głównie ropopochodnych) zalecane jest okrywanie krawędzi bloków pasmami folii.

Jeśli łączna grubość gruntu i konstrukcji nawierzchni drogowej, przykrywającej wkład styropianowy, jest większa od 1,5 m, to nie wymaga się specjalnego przykrycia najwyższej warstwy bloków. W przeciwnym przypadku należy okryć najwyższą warstwę styropianu płytą betonową o grubości co najmniej 12 cm, zbrojoną osiowo siatką # 15 cm z prętów Ø 8 mm.

Badania i kontrola wbudowania bloków styropianu obejmuje:



- sprawdzenie właściwości materiału (odmiany, ciężaru objętościowego, modułu sprężystości),
- poprawności ułożenia i połączenia bloków (odstępów między blokami, położenia i liczby łączników),
- osłonięcia folią lub płytą żelbetową.

Wymagania i sposób badania bloków styropianowych określają np. aprobaty techniczne IBDiM.

## Dane do projektowania

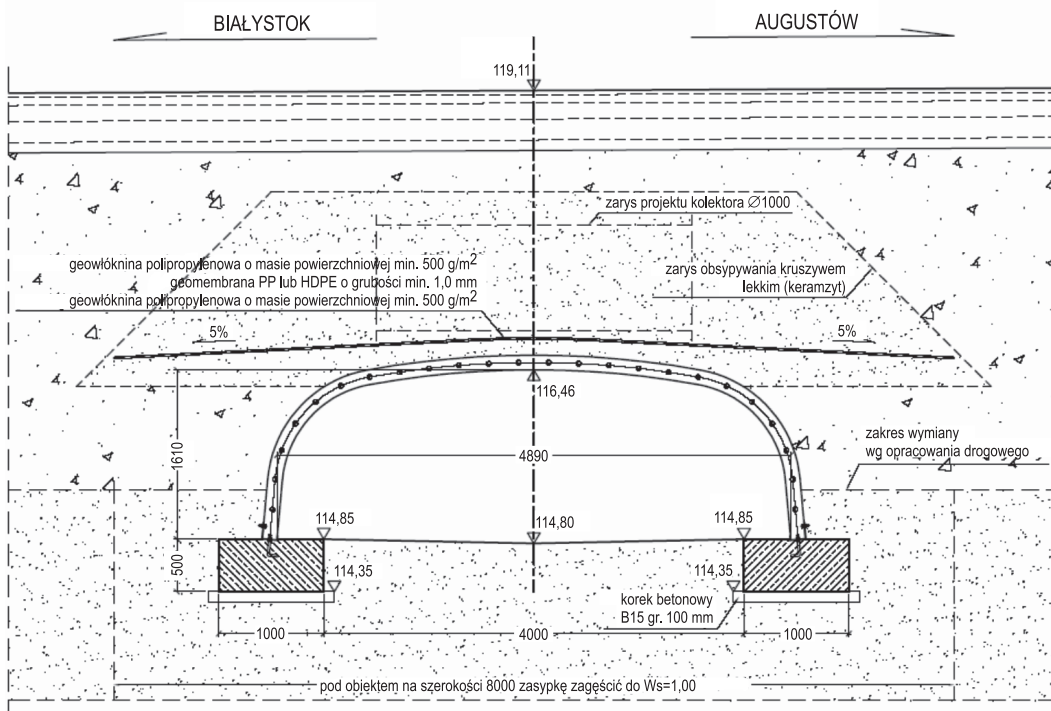
Podstawowe dane to grubość i skład słabych warstw, ocena ich właściwości geotechnicznych, poziomy występowania wód powierzchniowych i gruntowych oraz poziom stropu podłoża nośnego.

W badaniach gruntów organicznych celowe jest oznaczenie: uziarnienia i granic konsystencji wg PN-88/B-04481, zawartości części organicznych, stopnia rozkładu torfu wg skali von Posta, gęstości objętościowej i właściwej oraz wilgotności naturalnej. Właściwości mechaniczne określa się z badań trójosiowych (kąta tarcia wewnętrznego, spójność, odkształcalność) oraz edometrycznych, w zakresie przewidywanych obciążeń słabego podłoża. W badaniach terenowych wyznacza się wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu  $\tau_f$  (sondą obrotową), w razie potrzeby moduł odkształcalności  $E_0$  (np. świdrem talerzowym). Do szybkiego głębokiego rozpoznania zalecana jest sonda wciskana (CPT), która pozwala oszacować wytrzymałość i ściśliwość gruntu.

## Przykłady zastosowania lekkich wypełnień

### Przykład odciążenia przepustu powłokowego

Przepust z blachy falistej 7 mm o rozpiętości 4,90 m i długości około 90 m przebiega prostopadłe do trzech jezdni drogi



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przepustu z blachy falistej osypany warstwą odciążającą z keramzytu [wg projektu Transprojekt-Gdańsk]

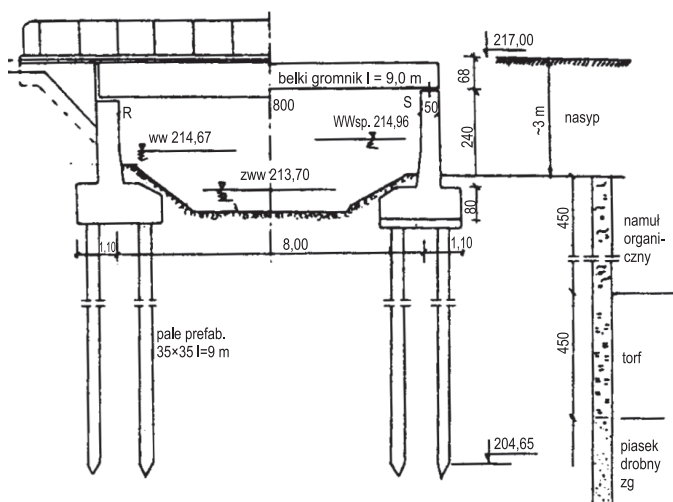
DK8 Białystok-Augustów [projekt Transprojekt- Gdańsk]. Z powodu zbyt niskiego nadkładu gruntowego nad powłoką przepustu, w celu zmniejszenia obciążenia jego sklepienia, w pokrywający go nasyp wbudowano warstwę lekkiego kruszywa (keramzytu) o grubości od 1 do 1,8 m (rys. 3). W warstwie tej umieszczono ze spadkiem 5% powłokę uszczelniającą z folii 1 mm, osłoniętą obustronnie geowłókniną.

### Przykład lekkiej zasyпки przyczółka

W wiadukcie w ciągu autostrady A2 nad linią kolejową E20 zastosowano przyczółki żelbetowe wysokości do 10 m, posadowione na ławach szerokości 4,0 m. Ściana czołowa przyczółka grubości 60 cm jest połączona od strony nasypu z przyporami słupowymi o przekroju prostokątnym. W celu ograniczenia obciążenia parciem nasypu, jego czołową część za korpusami przyczółków wykonano z gruntu zbrojonego georusztem. Przestrzeń w kształcie wąskiego klina (40 cm u dołu, 1–1,5 m u góry) pomiędzy czołem gruntu zbrojonego a ścianą przyczółka, w miarę układania warstw gruntu zbrojonego wypełniano keramzytem o ciężarze objętościowym do 600 kg/m<sup>3</sup>. Uzyskano w ten sposób radykalne zmniejszenie parcia na przyczółek, a także doskonałą warstwę odwadniającą.

### Przykład naprawy przyczółków mostu przez rzekę Huczwę

Zbudowany w latach 1988–1989 most długości 9,0 m (szerokość 7,0 + 2 × 1,25) jest wykonany z belek typu „Gromnik” (rys. 4). Przyczółki żelbetowe o wysokości 2,4 m, z zawieszonymi skrzydłami o wysięgu 2,5 m, oparto na dwóch rzędach po 9 pali prefabrykowanych 30 × 30 cm, długości 9,0 m. Dolina rzeki jest uformowana z gruntów organicznych; do głębokości 4,5 m zalegają namuły, głębiej torfy, dopiero na głębokości 9 m występują zagęszczone piaski. Zagłębienie pali



Rys. 4. Konstrukcja mostu przez Huczwę [2]



Fot. 1. Układanie bloków styropianu za przyczółkiem (Fot. K. Grzegorzewicz)

w piaski nie przekracza 2 m. Nasyp dojazdów, posadowiony bezpośrednio na podłożu z namulów podścielonych torfami, ma wysokość 3 m.

Osiadanie podłoża nasypu dało o sobie znać na tyle szybko, że nie wykonywano nawierzchni asfaltowej, długo oczekując na stabilizację budowli. Mimo tego, w dwa lata po wykonaniu nawierzchni, jej osiadanie na styku z przyczółkiem osiągnęło 15 cm. Uskok likwidowano nakładkami asfaltowymi. Zaobserwowano zarysowania przyczółka w miejscu utwierdzenia skrzydełek. Okazało się, że przyczółki przemieściły się ku przeszkodzie, a belki przęsła stały się ich górną rozporą. Przyczółki przesunęły się bardziej dołem niż górą (ruch był tam ograniczony przęsłem), odkształcenie pali były nadmierne. Przyczyną odkształceń jest duże parcie poziome namulów i torfu, które przemieszczają się pod obciążeniem nasypem w kierunku rzeki i powodują przesunięcie pali słabo utwierdzonych w nośnym podłożu.

IBDiM [2] zalecił w ekspertyzie znaczące odciążenie podłoża nasypu w strefie przy przyczółkach, wykonanie płyt przejściowych w celu ograniczenia nacisków eksploatacyjnych nasypu w styku z mostem oraz naprawę uszkodzeń żelbetu przyczółków. W celu odciążenia podłoża zaproponowano wbudowanie bloków ze styropianu klasy 20. Aby odciążyć przyczółki wbudowano za nimi bloki styropianu o gęstości 28–32 kg/m<sup>3</sup>. Remont mostu w 1997 r., po naprawieniu skrzydełek, obejmował rozebranie nasypu za przyczółkami, ułożenie na podłożu warstwy separacyjnej i od-

wadniającej (20 cm wysiewek), okrycie tylnej powierzchni przyczółków folią izolującą lepiszczce asfaltowe izolacji od styropianu, zmontowanie według zaprojektowanego schematu (rys. 5) bloków styropianu (fot. 1), okrycie bocznych powierzchni styropianu folią chroniącą przed awaryjnym przesiąknięciem cieczy ropopochodnych, ułożenie na górnej powierzchni 15 cm płyty betonowej lekko zbrojonej oraz uformowanie nasypu ziemnego okrywającego z boku styropianu i wykonanie na płycie nawierzchni drogowej. Przebudowa nasypów trwała 3 tygodnie.

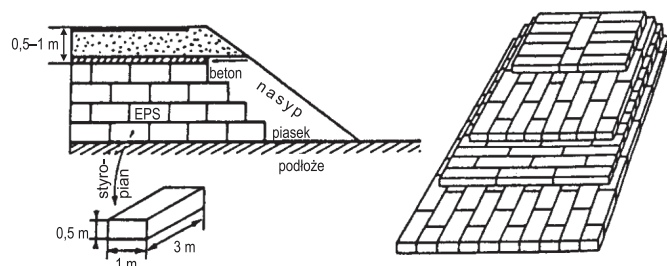
Po rozebraniu zasyпки przyczółków zaobserwowano zmniejszenie wygięcia pali. Po wznowieniu ruchu nie wystąpiły znaczące osiadania nawierzchni przy przyczółkach. Styropian właściwie wbudowany i osłonięty stanowi trwałe wypełnienie budowli ziemnej. Kilkuletnia konsolidacja podłoża przez nasyp spowodowała poprawę parametrów podłoża. Po przebudowie nasyp i obciążenie użytkowe są bezpieczne dla podłoża i podpory.

### Zabezpieczenie zdeformowanej ściany oporowej

Fragment drogi wojewódzkiej nr 328 w Marciszowie (koło Jeleniej Góry), biegnący wzdłuż rzeki Bóbr, zabezpieczono w 1999 r. na długości 72 m stalową ścianką szczelną z grodzic stalowych G62, którą zwierzchno żelbetowym ocepem. Projektowana wysokość odsoniętej ścianki wynosiła 2,7 m. W ścianie wykonano otwory i osadzono w nich przewody umożliwiające odpływ wody.

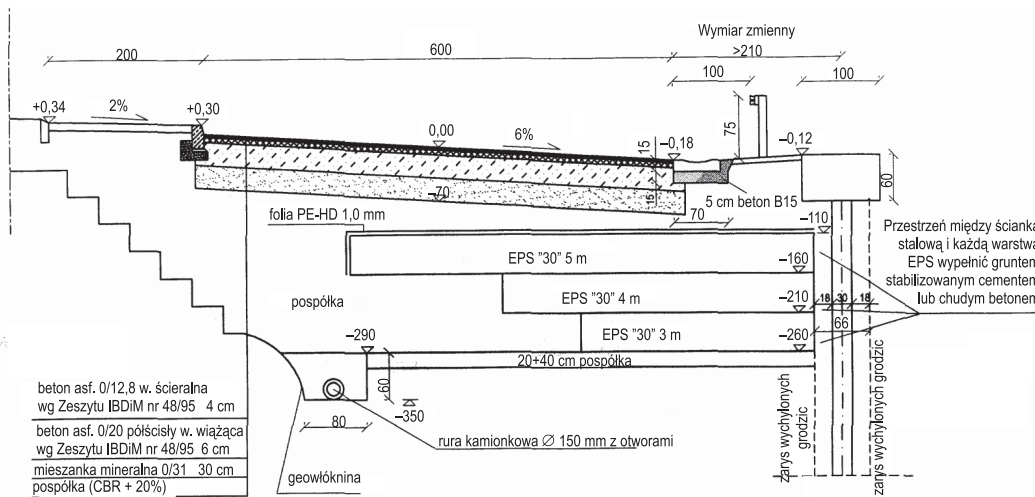
W 2001 r. wykonano wzdłuż ścianki przekop o głębokości 1,5 m do ułożenia nowego wodociągu. Wspornikowa wysokość ścianki zwiększyła się z 2,7 m do 4,2 m. Spowodowało to taki wzrost momentu zginającego, że ścianka została przeciążona i trwale się odkształciła; przemieszczenia wieńca osiągnęły ponad 20 cm. W efekcie odgięcia ścianki stalowej korpus drogi utracił swoje podparcie, spękał, a na nawierzchni powstały pęknięcia i uskoki o wysokości do 45 cm.

Sposób naprawy drogi [3], [4] dostosowano do warunków miejscowych. Z uwagi na bliskość rzeki Bóbr oraz pobliskie zabudowania, pozostawiono ściankę stalową, ale korpus drogi tak przebudowano, aby istotnie ograniczyć jego parcie



Rys. 5. Układ i osłona gruntem bloków styropianu wbudowanych w nasyp [2]





Rys. 6. Przekrój poprzeczny drogi z konstrukcją ścianki i wbudowanym styropianem [4]

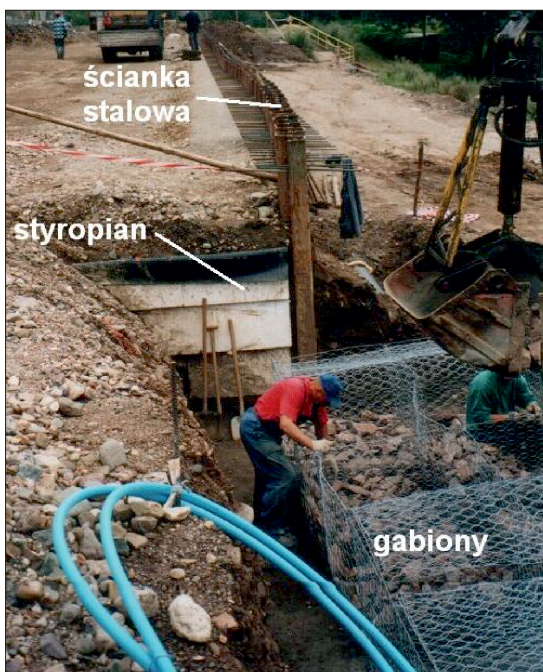
na ściankę. Ustalono, że w wyniku podkopania ścianki powstał w niej moment zginający pięciokrotnie większy od zakładanego w projekcie ścianki. Jako rozwiązanie naprawcze zastosowano odciążenie ścianki przez wbudowanie bloków styropianowych w miejsce usuniętego gruntu (rys. 6):

- obniżono niweletę drogi o około 0,7 m i usunięto wieniec ścianki szczelnej, po jej obcięciu ponownie wykonano wieniec żelbetowy, który umożliwił „zgubienie” krzywizn jakich doznała ścianka,
- ponieważ samo obniżenie drogi było niewystarczające, aby dostatecznie odciążyć ściankę stalową; znaczące jej odciążenie uzyskano przez usunięcie gruntu za ścianką i zastąpienie go blokami styropianu,
- ponieważ usunięcie gruntu spowodowało naruszenie systemu odwodnienia, konieczna była budowa nowego drenażu.

Zaletą takiego rozwiązania jest bardzo duże odciążenie podłoża ( $\gamma \approx 1 \text{ kN/m}^3$  zamiast  $18 \text{ kN/m}^3$ ) i praktycznie wyeliminowanie parcia bocznego w strefie wypełnionej styropianem. W miejsce usuniętego gruntu ułożono trzy półmetrowe warstwy (łącznie 1,5 m) bloków ze styropianu (fot. 2 i 3). Styropian został przykryty konstrukcją drogi o grubości 1 m.



Fot. 3. Bloki styropianowe układane pod drogą wzdłuż ścianki szczelnej (fot. K. Grzegorzewicz)



Fot. 2. Widok bloków styropianowych za ścianką szczelną oraz przedłużenia jej ścianą z gabionów (fot. K. Grzegorzewicz)

Ważnym składnikiem naprawy było wykonanie drenażu, który zawsze będzie działał niezawodnie.

## Podsumowanie

W warunkach występowania słabego podłoża gruntowego najczęściej stosuje się zabiegi jego wzmocnienia i ulepszenia. Interesującą alternatywą tego sposobu, potwierdzoną wieloletnimi doświadczeniami, jest użycie lekkich materiałów do budowy ziemnych lub zasypek konstrukcji oporowych. Lekkie materiały umożliwiają odciążenie konstrukcji i podłoża, pozwalając uniknąć często kosztownych robót wzmocniających. Korzystne jest wykorzystanie materiałów