



## WYKORZYSTANIE KERAMZYTU GEOTECHNICZNEGO DO NAPRAWY NASYPÓW DROGOWYCH

STANISŁAW MAJER, *majer@zut.edu.pl*

GRZEGORZ SZMECHEL

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorskie Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zastosowanie keramzytu geotechnicznego podczas budowy obwodnicy m. Gościno w ciągu drogi wojewódzkiej nr 162 oraz propozycje naprawy uszkodzonej konstrukcji nawierzchni drogi wojewódzkiej nr 106 w km 34 + 060 do 34 + 180. Powodem przerwania prac na obwodnicy Gościna jak i deformacji nawierzchni drogi wojewódzkiej nr 106 koło miejscowości Ogorzele były grunty organiczne, znajdujące się w podstawie nasypów. W obydwu przypadkach zaproponowano z uwagi na ponad 100 letni okres użytkowania nasypów, zastosowanie odciążenia gruntów słabych. Jako materiał lekki zastosowano keramzyt geotechniczny, charakteryzujący się gęstością po zagęszczeniu ok. 400 kg/m<sup>3</sup>. Tak wykonana przebudowa nasypu daje taki sam rezultat jak czasowe przeciążenie organicznego podłoża, pod względem redukcji długotrwałych osiadań. W drugim analizowanym przypadku dodatkowo należało uwzględnić konieczność utrzymania przejeźdźności drogi podczas przebudowy.

**Słowa kluczowe:** keramzyt geotechniczny, awaria nasypu, osiadania nasypów, grunty organiczne.

### 1. Wprowadzenie

Zachodniopomorskie pod względem fizycznogeograficznym znajduje się w obrębie Pobrzeży Południowobałtyckich i Pojezierzy Południowobałtyckich [1]. Rzeźba i grunty przypowierzchniowe powstały przede wszystkim w plejstocenie podczas ostatniego zlodowacenia i holocenu. Charakterystyczne dla rzeźby młodoglacjalnej jest występowanie równin i wzniesień moreny dennej, wałów moren czołowych, pradolin, rynien subglacjalnych i wytopisk. W zagłębieniach po martwym lodzie, wytopiskach, dolinach wód roztopowych, przy jeziorach występują dość często grunty genezy organogenicznej reprezentowane przede wszystkim przez torfy w mniejszym stopniu gytie i namuły.

Przy budowie tras komunikacyjnych z uwagi na liniowy charakter, istnieje duże ryzyko natrafienia na słabe grunty w podłożu. W przypadku tras komunikacyjnych budowanych w XIX wieku bardzo trudno niejednokrotnie stwierdzić jakie metody zastosowano podczas posadowienia nasypów lub konstrukcji nawierzchni dróg i torowisk na gruntach słabych. Najczęściej była to budowa nasypów metodą czołową, aż do momentu wyparcia gruntu z podstawy nasypu lub ustabilizowania osiadań.

### 2. Opis analizowanych przypadków

Obwodnica Gościna o długość 2,8 km w ciągu drogi wojewódzkiej nr 162, oddana do użytku została pod koniec 2014 r. Zaprojektowano ją wzdłuż zachodniej strony miasta, wykorzystując trasę i nasypy kolejki wąskotorowej (rys. 1). Do budowy obwodnicy przystąpiono w 2011 r., podczas prowadzenia prac stwierdzono występowanie torfów pod nasypami w rejonie równi stacyjnej. Zlecono wykonanie badań geotechnicznych i projektu wzmocnienia podłoża. Do prac w rejonie występowania słabych gruntów przystąpiono ponownie w roku

2013, z uwagi na upadłość wykonawcy obwodnica została dokończona w 2014 r. W rozpoznaniu geotechnicznym wykonanym w ramach dokumentacji projektowej obszar ten nie został objęty badaniami. Najbliższy odwiert zlokalizowano 20 m od miejsca występowania torfów. W pierwszym etapie uzupełniono rozpoznanie geotechniczne w tym rejonie stwierdzając występowanie torfów średnio- i słabo rozłożonych. Warstwy tej nie przewiercono i nie wykonano także badań laboratoryjnych.



Rys. 1. Obwodnica Gościna i lokalizacja występowania gruntów organicznych [ZZDW Koszalin]

Drugi z analizowanych przypadków jest klasycznym przypadkiem likwidacji deformacji nawierzchni poprzez remonty warstwy ścieralnej. Ten „typowy” odcinek znajduje się na drodze wojewódzkiej nr 106 pomiędzy Kamieniem Pomorskim a Nowogardem a dokładnie pomiędzy miejscowościami Karsk – Ogorzele, w km 34 + 060 do 34 + 180 rys. 2. Po ostatnim doraźnym remoncie nawierzchni i ponownym wystąpieniu deformacji nawierzchni w czasie zaledwie niecałego roku, Zachodniopomorski Zarząd Dróg Wojewódzkich podjął decyzję o przebudowie drogi.



Rys. 2. Orientacyjny plan lokalizacji uszkodzonego odcinka [www.geoportal.pl]



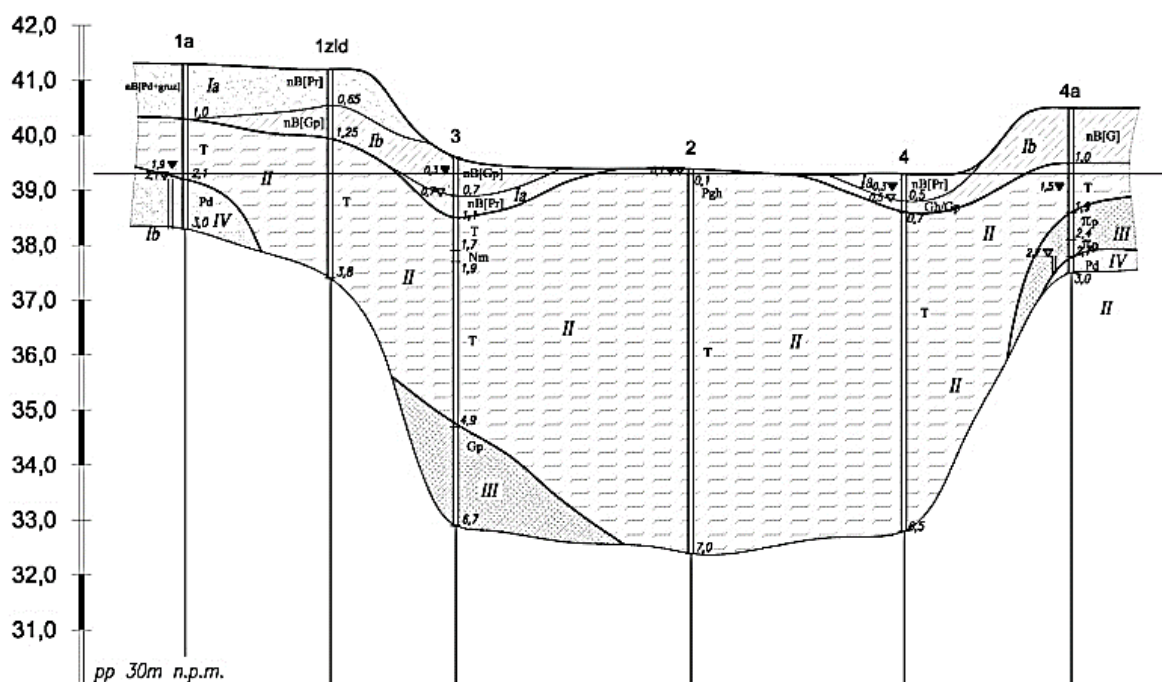
Rys. 3. Pęknięcie i deformacja nawierzchni [zdjęcie ZZDW Koszalin]

### 3. Warunki gruntowo-wodne

Geomorfologicznie przedmiotowe tereny są bardzo do siebie podobne leżą w obrębie falistej wysoczyzny morenowej utworzonej z glin zwałowych w Równinie Nowogardzkiej

i Gryfickiej. W obniżeniach terenu zdeponowane są osady młodsze rzeczno-rozlewiskowe i bagienne.

W pierwszym z analizowanych przypadków pod warstwą nasypów kolejki wąskotorowej zbudowanej w 1895 r. [2] stwierdzono występowanie gruntów organicznych. Przy podstawie nasypu kolejki (pobocze projektowanej obwodnicy) stwierdzono występowanie świeżych torfów o zawartości części organicznych od 50 do 80% oraz wilgotności od 400 do 600%, gęstością od 1,03 do 1,05 g/cm<sup>3</sup>, podścielonych glinami zwałowymi. Bezpośrednio pod nasypem (zbudowanym ze średnio zagęszczonych piasków średnich i grubych) grunty te charakteryzowały się lepszymi parametrami wilgotnością zbliżoną do 300% i gęstością w zakresie 1,165–1,175 g/cm<sup>3</sup>. Moduły edometryczne dla torfu świeżego wynosiły  $M_0 = 216$ –295 kPa  $M = 775$ –1165 kPa, natomiast dla torfu spod nasypu  $M_0 = 500$  kPa i  $M = 1680$  kPa. Wodę gruntową podczas badań nawiercono na rzędnej 39,3 m n.p.m. tj. ponad 2,0 m poniżej projektowanej niwelety obwodnicy.

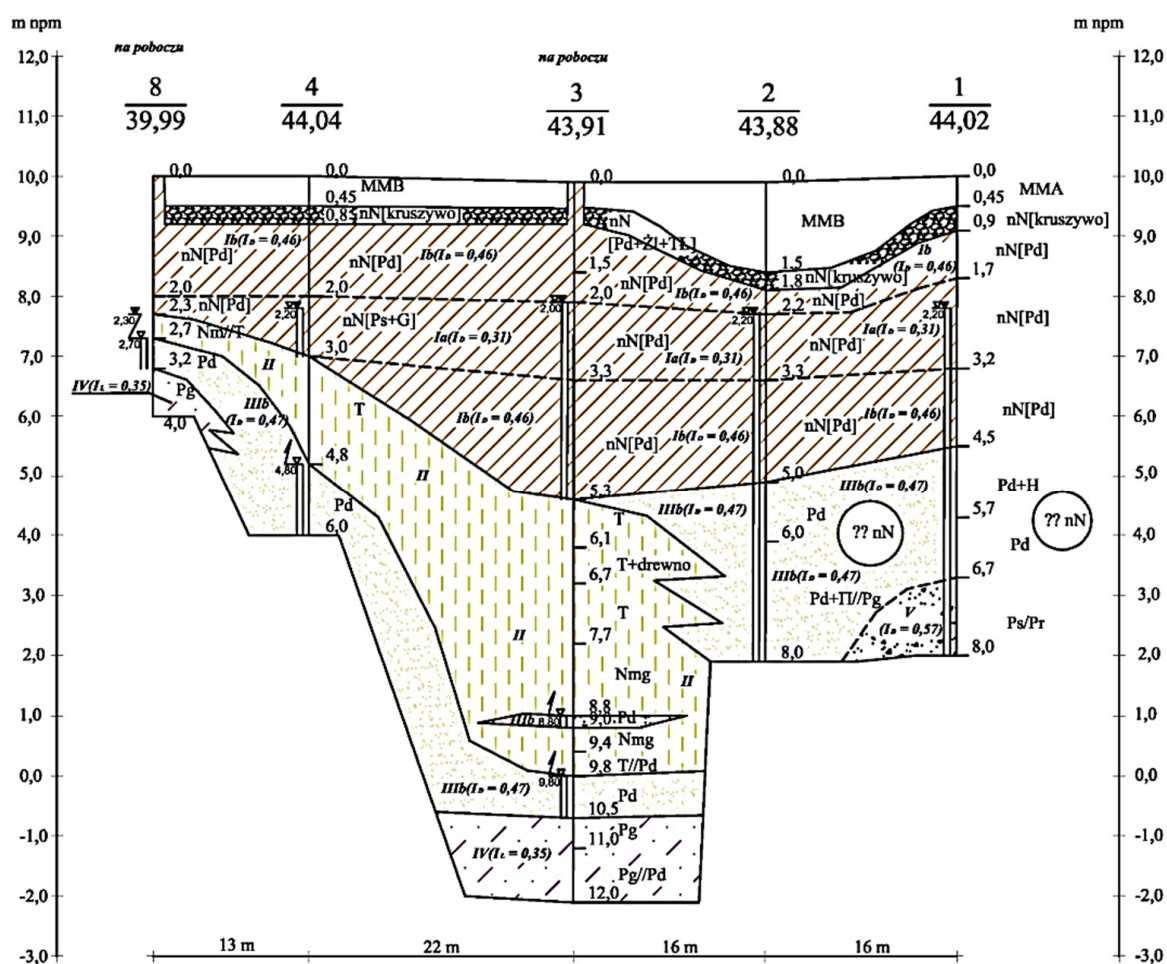


Rys. 4. Przekrój geotechniczny przy podstawie nasypu kolejki

W drugim z analizowanych przypadków rzędne terenu w rejonie obniżenia wynoszą ca. 42 m n.p.m. a nawierzchni drogi (w nasypie) 44 m. n.p.m. Z uwagi na fakt, iż podczas badań zaobserwowano wypiętrzenie się podłoża przy podstawie nasypu, podłoże rozpoznano maksymalnie do głębokości 12,0 m i obejmowało nasyp oraz grunt przy podstawie nasypu. Na podstawie wykonanych badań terenowych na odcinku drogi 106 od km 34 + 060 do 34 + 180 warstwa nasypu osiąga miąższość od 5,3 m do 2,3 m a grubość warstw bitumicznych w skrajnym przypadku osiąga miąższość 1,5 m. Nasypy zbudowane są z piasków drobnych a lokalnie, z piasków średnich z domieszką gliny. Podłoże rodzime (poniżej nasypów) zbudowane jest z osadów pochodzenia organicznego (torfy oraz podrzędnie namuły). Zasięg występowania i miąższość tych osadów jest bardzo zróżnicowany. Analizując wykonane przekroje geotechniczne oraz wyniki wierceń stwierdzono, iż nie na całej długość rozpatrywanego odcinka występują grunty organiczne. Poniżej nasypu drogowego począwszy od punktu nr 8 (początek opracowania) poprzez 4 do otworu nr 3 miąższość torfów rośnie od 0,4 m do 4,5 m. W kolejnych analizowanych odwiertach (wykonanych dalej w kierunku Nowogardu) do głębokości 8,0 m nie

udokumentowano gruntów organicznych. Biorąc pod uwagę bardzo duże osiadania nawierzchni na tym odcinku, nie można było wykluczyć, że warstwa torfu została przerwana i wyparta z podłoża a piaski nawiercone poniżej głębokości 4,5–5,0 m to grunty nasypowe. W otworach wykonywanych u podnóża nasypu miąższość gruntów organicznych wynosi 3,5–6,3 m. Wyjątek stanowi punkt nr 6, gdzie nie stwierdzono torfów, nie można wykluczyć, że również w tym rejonie grunty organiczne zostały wyparte poza obręb nasypu drogowego. Poniżej serii organicznej podłoże budują piaski drobne i lokalnie piaski średnie na pograniczu grubych. W otworach nr 3 i 8 na głębokości odpowiednio 10,5 m i 3,2 m nawiercono piaski gliniaste.

W trakcie prac polowych w otworach zlokalizowanych na nasypie drogowym wodę gruntową o zwierciadle swobodnym nawiercono na głębokości 2,0–2,2 m (tj. 41,68–41,91 m n.p.m.) i lokalnie napiętym na 2,7 m, która stabilizowała się na 41,51 m n.p.m. W otworach wykonywanych poniżej nasypu woda gruntowa utrzymywała się na 0,1–0,3 m (tj. 41,70–42,05 m n.p.m.). Torfy zalegające poniżej nasypów są częściowo skonsolidowane poprzez nadkład nasypu. Wytrzymałość na ścinanie tych gruntów mierzona sondą krzyżkową wynosi  $\tau_{fmax} = 143$  kPa. Torfy występujące poza zakresem oddziaływania nasypów to grunty nieskonsolidowane o znacznie niższej wytrzymałości na ścinanie  $\tau_{fmax} = 27$  kPa.

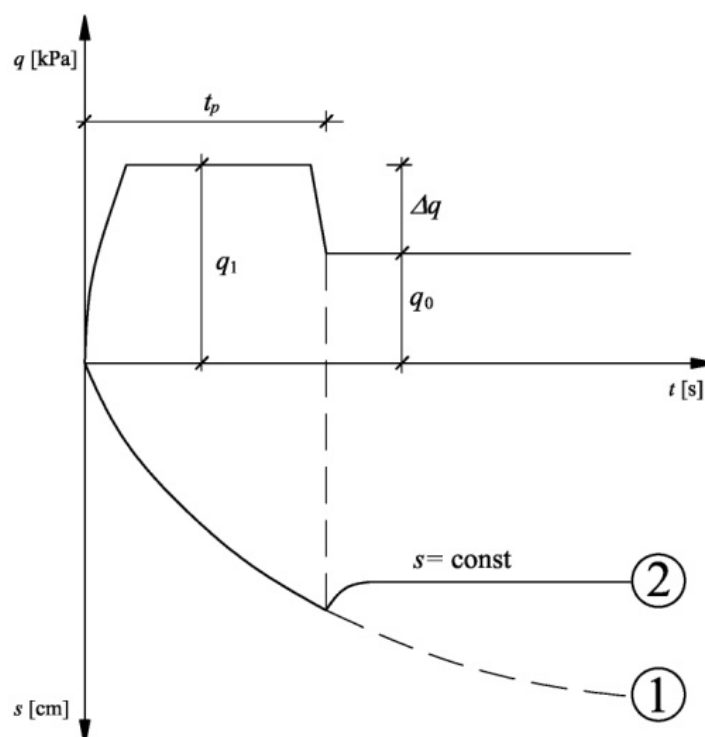


Rys. 5. przekrój geotechniczny I-I

#### 4. Koncepcja wzmocnienia

Spośród wielu metod wzmocniania podłoża [3] do stosunkowo prostych sposobów uzyskania efektu wzmocnienia i stabilizacji osiadań torfowego podłoża jest zastosowanie metody

czasowego przeciążenia lub odciążenia [4, 5]. Jako przeciążenie w budownictwie komunikacyjnym stosuje się wykonanie przewyższenia nasypu wywołującym dodatkowe obciążenie. Na rysunku 6 przedstawiono zależności pomiędzy osiadaniem a zmiennym obciążeniem występujące w gruntach organicznych. Obciążenie  $q_1$  powoduje długotrwały rozwój osiadań, przy zastosowaniu odciążenia o wartości  $\Delta q$  po czasie  $t_p$  można doprowadzić do sytuacji gdy następuje stabilizacja osiadań organicznego podłoża. Podobny efekt uzyskuje się w przypadku istniejących nasypów poprzez zmniejszenie ich ciężaru. Efekt odciążenia uzyskuje się poprzez zastawanie lekkich materiałów takich jak np. keramzyt, pianobeton, styropian.



Rys. 6. Schemat zależności osiadań  $s$  gruntów organicznych od zmiennego w czasie  $q$  [5]

Oba rozpatrywane odcinki dróg wojewódzkich obciążone są ruchem KR3. W przypadku Gościnną krawężnik projektowanej jezdni obwodnicy zlokalizowany był na krawędzi istniejącego nasypu. Analiza parametrów geotechnicznych gruntów organicznych wskazuje, że zostały one skonsolidowane nasypem kolejki wąskotorowej i charakteryzują się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi, o czym świadczy brak deformacji i osiadań istniejącego nasypu. W związku z tym problemem nie była nośność podłoża, lecz przyrost osiadań na skutek dociążenia ciężarem konstrukcji nawierzchni i częściowo nowego nasypu. Z uwagi na uwarunkowania technologiczne zdecydowano się na zastosowanie keramzytu geotechnicznego. Konstrukcje odciążającą i wzmacniającą odcinka obwodnicy m. Gościno zaprojektowano z keramzytu geotechnicznego 10/20 w materacu z geotkaniny PES o wytrzymałości na rozciąganie 120 kN/m i warstwy z kruszywa 0/63 o grubości 0,3 m zbrojonej siatką z poliestru PES o wytrzymałości na rozciąganie 65 kN/m. Z uwagi na stwierdzoną miąższość gruntów organicznych zaprojektowano następujący zakres zastosowania keramzytu:

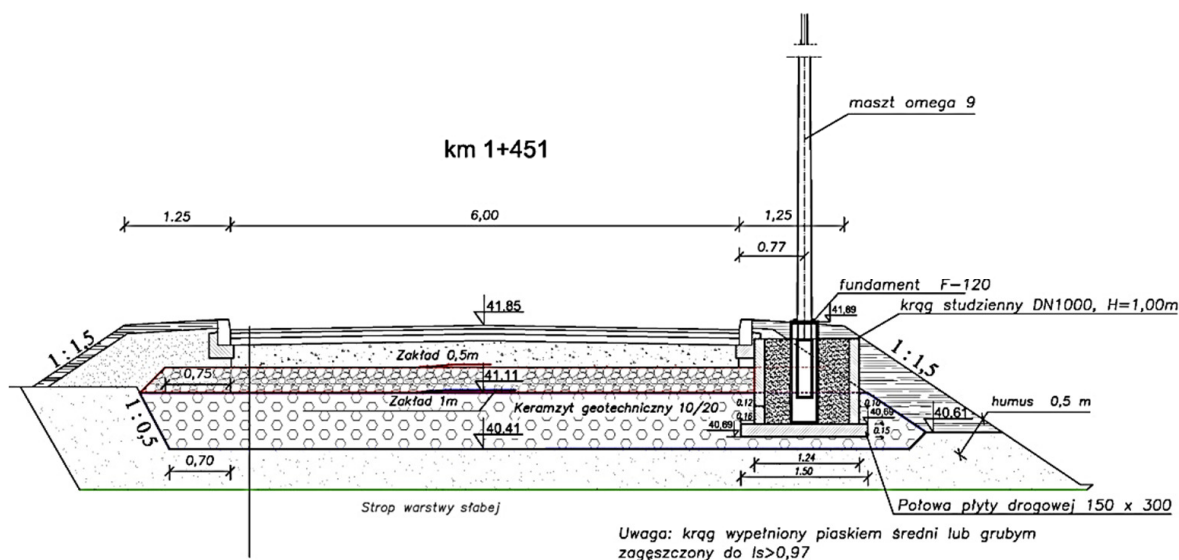
- od km 1 + 433 do km 1 + 455 warstwę keramzytu o grubości 0,70 m,
- od km 1 + 456 do km 1 + 510 warstwa keramzytu o grubości 1,40 m,
- od km 1 + 511 do km 1 + 522 warstwę keramzytu o grubości 0,70 m.

Skuteczność odciążenia organicznego podłoża wynosi:

- usunięty nasyp:  $1,6 \cdot 18,5 \text{ kN/m}^3 = 29,6 \text{ kPa}$ ,

- keramzyt:  $1,4 \cdot 4,0 \text{ kN/m}^3 = 5,6 \text{ kPa}$ ,
- warstwa wzmacniająca kruszywo 0/63:  $0,3 \cdot 22,1 \text{ kN/m}^3 = 6,63 \text{ kPa}$ ,
- projektowana konstrukcja:  $0,38 \cdot 23,0 \text{ kN/m}^3 = 8,74 \text{ kPa}$ ,
- projektowane obciążenie ( $\Delta q$ ) wyniesie: 8,63 kPa.

Z uwagi na uliczny przekrój obwodnicy na tym odcinku zaprojektowano specjalne posadowienie słupów oświetleniowych w kręgach betonowych w obrębie materaca z keramzytu – rys. 6.



Rys. 7. Przekrój wzmocnianego nasypu w miejscu słupa oświetleniowego

W przypadku drogi nr 106 zarządca drogi zastrzegł, że nie będzie możliwości zamknięcia całkowitego naprawianego odcinka i konieczne jest utrzymanie ruchu drogowego podczas prowadzonych robót. Dodatkowo szerokość pasa drogowego w tym miejscu wynosi 20 m a właściciele przyległego terenu nie wyrazili zgody na udostępnienie terenu pod drogę tymczasową. Uwarunkowania takie znacznie skomplikowały wykonanie projektu wzmocnienia. Nawierzchnia posiada pęknięcia podłużne i jest znacznie obniżona (szczególnie prawy, południowo-zachodni pas w rejonie punktu badawczego nr 2) oraz stwierdzono zawyżenie podłoża przy podstawie nasypu. Przyczyną tego są ciągłe naprawy nawierzchni (grubość warstw bitumicznych przekracza miejscowo 1,5 m), które powodują wzrost obciążenia przekazywanego na grunty słabonośne i wypieranie tych gruntów spod nasypu. Podobnie jak w poprzednim przypadku, jako metodę wzmocnienia podłoża, zaprojektowano odciążenie istniejącego nasypu poprzez zastosowanie nasypu lekkiego z keramzytu na długości 120 m. Zaprojektowano dodatkowe warstwy wzmacniające, które mają umożliwić pracę nasypu, jako całości i częściowo wyeliminować osiadania, części nasypu. Zaprojektowano następujący układ warstw wzmacniających:

- warstwa wzmacniająca pod materacem z keramzytu z geokraty o wysokości 15 cm wypełnionej kruszywem łamanym 0/31,5 – warstwa ta jednocześnie pełnić będzie rolę platformy roboczej,
- warstwa wzmacniająca z kruszywa 0/31,5 o grubości 20 cm nad materacem z keramzytu, zbrojoną geosiatką z PVA o wytrzymałości  $\geq 65 \text{ kN/m}$  oraz dodatkowej warstwy geosiatki w warstwie kruszywa łamanego w podbudowie z kruszywa łamanego 0/31,5.

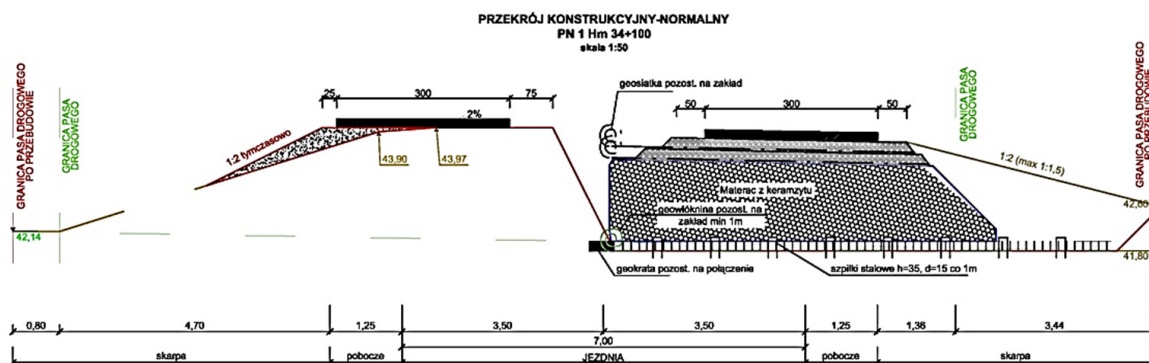
Grubość warstwy materaca z keramzytu dostosowano do niwelety i wynosi ona od 100 do 180 cm. Z uwagi na ukształtowanie niwelety i podłoża gruntowego przewidziano 2 poziomy

platformy roboczej różniące się między sobą o 50 cm. Projektuje się uzyskanie odciążenia organicznego podłoża poprzez, usunięcie nasypu ciężar (wartość uśredniona):  $2,3 \cdot 20,0 \text{ kN/m}^3 = 46,6 \text{ kPa}$ , i wykonanie:

- warstwy wzmacniającej z geokraty  $h = 15 \text{ cm}$  ciężar:  $0,15 \cdot 22,1 \text{ kN/m}^3 = 3,32 \text{ kPa}$ ,
- materacu z keramzytu ciężar:  $1,6 \cdot 4,0 \text{ kN/m}^3 = 6,4 \text{ kPa}$ ,
- warstwy wzmacniającej z kruszywa 0/31,5 ciężar:  $2 \cdot 0,2 \cdot 22,1 \text{ kN/m}^3 = 8,84 \text{ kPa}$ ,
- warstw MMA:  $0,18 \cdot 23,0 \text{ kN/m}^3 = 4,14 \text{ kPa}$ .

Uzyska się dzięki temu odciążenie warstw gruntów słabych równe  $\Delta q = 23,9 \text{ kPa}$ .

W celu utrzymania ruchu drogowego przewidziano etapowanie robót. Z uwagi na dużą grubość materaca z keramzytu i jego połówkowe wykonanie, zaprojektowano poszerzenie części materaca pierwszym etapie robót. Umożliwi to ułożenie płyt drogowych na warstwie wzmacniającej z kruszywa, odsuniętych od osi drogi. Ma to na celu umożliwienie zszycia geowłókniny i geotkaniny, co zapewni uciąglenie materaca wykonywanego etapowo. Na rysunku nr 8 przedstawiono proponowany etap IIa, podczas którego nastąpi przełożenia ruchu z części istniejącej na wzmocnioną. Ruch odbywać się będzie w tym czasie po nawierzchni z płyt drogowych.



Rys. 8. Projektowany etap budowy nasypu odciażającego drogi wojewódzkiej nr 106

#### 4. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono dwa przypadki wzmocnienia słabego podłoża z gruntów organicznych poprzez zastosowanie odciażenia nasypem z kruszyw lekkich. W pierwszym, w celu eliminacji osiadań słabego podłoża, które mogło wystąpić na skutek zwiększenia obciążenia od nowej nawierzchni i nasypu, zastąpiono część istniejącego nasypu po równi stacyjnej kolejki wąskotorowej lekkim wypełnieniem. W drugim, dzięki zastosowaniu kruszyw lekkich zlikwidowano długotrwałe osiadania nawierzchni spowodowane kolejnymi wyrównaniami nawierzchni. Obydwie sytuacje były podręcznikowymi przypadkami do zastosowania lekkich nasypów [4, 5]. Zarówno w pierwszym jak i drugim przypadku przewidziano zastosowanie keramzytu geotechnicznego. Materiał ten, dzięki swojej lekkości, i wytrzymałości, nie nastręcza większych problemów wykonawczych. W przypadku obwodnicy m. Gościno projekt wzmocnienia został zrealizowany w 2013 r. (rys. 9). W tym przypadku głównym powodem wystąpienia problemów podczas budowy było niedostateczne rozpoznanie geotechniczne na etapie projektu budowlanego.

Podczas projektowania przebudowy istniejących ciągów komunikacyjnych na szczególną uwagę projektantów powinny zwracać istniejące nasypy. Niejednokrotnie może się zdarzyć,

iż zostały one wykonane w lokalnych obniżeniach terenu wypełnionych gruntami organicznymi. Poprawne rozpoznanie geotechniczne wraz z analizą dostępnych materiałów archiwalnych, umożliwia już na etapie projektu przedsięwziąć odpowiednie środki, które zabezpieczą nową drogę przed osiadaniem gruntów organicznych zalegających w podłożu istniejących nasypów wykonanych niejednokrotnie ponad 100 lat temu.



Rys. 8. Wykonywanie materaca z keramzytu [zdjęcie ZZDW Koszalin]

### Literatura

1. Kondracki J. Geografia regionalna Polski. Warszawa: PWN, 2002.
2. Kolej na Pomorzu Zachodnim 1843–2013, Wydawnictwo INES, Szczecin 2014.
3. Gajewska B., Kłosiński B. Rozwój metod wzmocnienia podłoża gruntowego. Magazyn Autostrady, 3/2012.
4. Gajewska B., Grzegorzewicz K., Kłosiński B. Wzmocnienie podłoża gruntowego z zastosowaniem lekkich wypełnień. Drogownictwo. 1/2013.
5. Rzeźniczak J. Wzmocnienie słabych podłoży. Geoinżynieria drogi mosty tunele, 01/2007.
6. Majer S., Szmeczel G. Projekt wykonawczy. Budowa obejścia m. Gościno w ciągu drogi wojewódzkiej nr 162. Wzmocnienie podłoża gruntowego od km 1 + 415 do 1 + 550. FNRPS, wrzesień 2012.
7. Majer S., Szmeczel G. Projekt wzmocnienia podłoża [w] Przebudowa DW nr 106 k/m Ogorzele na odc. od km 34 + 060 do km 34 + 180. "BIURO" Anna Dębowska-Raczyńska, Szczecinek, czerwiec 2014.

### GRAVELITE USE FOR ROAD EMBANKMENT RECONSTRUCTION

**Abstract:** Paper presents two case studies of gravelite use for load compensation of road embankment. Both embankments were founded on soft soil and were similar in geotechnical problems. First case matters the bypass of Gościno, and second is the case of voivodship road No. 160 from 34 + 060 to 34 + 180 kilometers. Authors propose to use light geotechnical gravel to avoid large settlement of both embankments by load compensation, which was realized by using light gravel of density after compaction ca. 400 kg/m<sup>3</sup>. Both cases were similar in geotechnical way. In both roads soft soli under the embankment were present, and partially displaced. In Gościno the additional problem had to be solved: the transit during the works had to be hold.

**Keywords:** gravelite, soft soil embankment, embankment failure, geotechnical investigation, embankment settlement.