Zeszyty Naukowe
Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu
Nr 6(38)/2013

Andrzej Surowiecki
Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk
Lądowych we Wrocławiu

Andrzej Bujak
Wyższa Szkoła Bankowa
we Wrocławiu

Przypadki stosowania warstw pośrednich w podłożu toru kolejowego w aspekcie budowania nowoczesnego systemu transportowo-logistycznego

Streszczenie. W artykule przedstawiono cel stosowania warstw pośrednich w podłożu toru kolejowego, zasadę działania i konstruowanie. Zaprezentowano warstwy pośrednie z uwzględnieniem dwóch podstawowych kierunków przeznaczenia: jako sposób likwidacji efektu progowego w strefach przejściowych z toru kolejowego na obiekty inżynierskie oraz oraz warstwy pośrednie stanowiące wzmocnienie słabonośnego podłoża toru. Podano przykłady praktyczne montażu warstw pośrednich z uwzględnieniem recyklingu materiałów odpadowych. Zwrócono uwagę na pozytywne efekty wbudowania warstw pośrednich w podłoże toru w strefie torowiska. Problemy lokalizacji i warunków eksploatacji toru kolejowego stanowią wyzwanie dla projektantów i inwestorów, w zakresie innowacyjności rozwiązań. Podejmowany w referacie temat ma znaczenie praktyczne wobec aktualnie prowadzonej na szeroką skalę modernizacji infrastruktury transportu szynowego w Polsce.

Słowa kluczowe: tor kolejowy, warstwy pośrednie, konstrukcja, przykłady stosowania

1. Warstwy pośrednie jako sposób likwidacji efektu progowego w strefach przejściowych toru kolejowego – obiekty inżynierskie

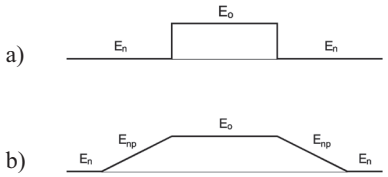
1.1. Sformułowanie problemu

Odcinki dróg kolejowych w bezpośrednim otoczeniu obiektów mostowych wymagają szczególnej uwagi, ponieważ często mogą być narażone na pionowe deformacje, prowadzące do uszkodzeń nawierzchni w postaci zagłębień[1]. Przyczyną

[1] M. Drusa, M. Moravčik, *Foundation Structures*, University of Žilina, Žilina 2008; M. Drusa, N. Giang, *Some Questions in Designing of the Reinforced Soils Walls Using Tensar Geogrids*,

tego zjawiska są różnice osiadania podłoża nawierzchni (nasypu) i przyczółków mostu, a także większa dynamika oddziaływania obciążeń ruchomych, wynikające z nagłej zmiany sztywności nawierzchni toru na styku mostu z nasypem. Różnice między odkształceniami nawierzchni toru nad obiektem mostowym i na przyległym nasypie wpływają w znacznym stopniu na dynamikę jazdy, powodując niekorzystne efekty. Omawiany „efekt progowy" stanowi obszar zjawisk związanych z dynamiką konstrukcji na sprężystym podłożu i jest dość złożony. Postępujący proces destrukcji trwałości nawierzchni, wynikający ze skokowo zmiennej sztywności podłoża, prowadzi do wystąpienia trwałych odkształceń konstrukcji toru i w konsekwencji do ograniczeń prędkości jazdy, uciążliwych dla pasażerów.

Jak wiadomo, działania zapobiegawcze przeciw temu zjawisku zmierzają do zapewnienia ciągłości zmiany sztywności podłoża toru przy dojeździe do mostu (rysunek 1)[2]. Tradycyjnie problem ten likwidowany jest przy użyciu betonowej (najczęściej z betonu zbrojonego) płyty przejściowej[3] opartej z jednej strony na końcu mostu, z drugiej zagłębionej w ośrodku gruntowym nasypu.



Rysunek 1. Sztywność podbudowy drogi kolejowej w strefie przejściowej: nasyp – most

a) – efekt progowy, b) – zalecany przebieg zmian sztywności, E_n [MPa] – moduł sztywności podłoża toru w nasypie, E_{np} [MPa] – moduł sztywności liniowo zmienny, E_0 [MPa] – moduł sztywności podbudowy toru na moście

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 94.

Długość takiej płyty zależy m.in. od przewidywanej wielkości osiadań gruntu nasypu i natężenia ruchu. Nachylenie 1 : *n* płyty (w kierunku od mostu) nie

„Studies of University of Transport and Communication in Žilina. Civil Engineering Series" 2002, vol. 25, s. 59-69; A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012; A. Surowiecki, W. Kozłowski, *Rola badań doświadczalnych w projektowaniu wzmocnień podłoża modernizowanych dróg szynowych*, „Problemy Kolejnictwa" 2011, z. 153, s. 177-192; A. Surowiecki, *Laboruntersuchungen von mechanischen Eigenschaften bewehrter lockerer Bodenschichten*, „Bautechnik" 1994, R. LXXI, z. 11, s. 707-711; idem, *Sposoby likwidacji efektu progowego w strefach przejściowych z dróg na obiekty mostowe*, mat. IV Kraj. Konf. Nauk.-Techn. „Problemy projektowania, budowy i utrzymania mostów małych", Politechnika Wrocławska, GDDP, ODZMRP, Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław 1999; idem, *Designing of Intermediate Zones from the Local Roads to Engineery Objects*, „Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Geodezja i Urządzenia Rolne" 2000, R. XVI, nr 379, s. 131-141; idem, *Badania modelowe współpracy składników kompozytowych*, „Inżynieria i Budownictwo" 2004, nr 10, s. 527-530.

[2] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych*.., op. cit.; idem, *Sposoby likwidacji efektu progowego*..., op. cit.; idem, *Designing of Intermediate Zones*..., op. cit., s. 131-141.

[3] Ibidem.

powinno przekraczać 1 : 200, a w przypadkach wysokiej kategorii ciągów komunikacyjnych 1 : 300, wobec czego osiadanie „s" nasypu, które wynosi np. s = 0,05 m, wymagałoby płyty o długości L = 10-15 m. Długość płyt przejściowych powinna wynosić w przeciętnych warunkach minimum 2,5-3,0 m, natomiast przy wysokich nasypach na magistralach kolejowych (lub drogach samochodowych szybkiego ruchu) do 10,0 m.

Intensywność omawianego „efektu progowego" jest zależna od wielu czynników, m.in. od[4]:

– rodzaju konstrukcji i rozmiarów obiektu inżynierskiego (konstrukcja stalowa, zespolona, betonowa, beton zbrojony itd.; most mały, jedno- lub wieloprzęsłowy, przepust),

– rodzaju nawierzchni na moście (np. nawierzchnia kolejowa na podsypce, na mostownicach albo bezpośrednie przytwierdzenie szyn do konstrukcji mostu),

– stanu technicznego nawierzchni na moście (charakteryzowanego np. nierównościami geometrycznymi),

– rodzaju i stanu technicznego konstrukcji nawierzchni w otoczeniu obiektu mostowego,

– rodzaju i stanu technicznego pojazdów oraz ich prędkości i sposobu jazdy (np. hamowanie, przyspieszanie),

– rodzaju i stanu zagęszczenia materiału podłoża gruntowego w nasypie otaczającym most.

Należy zauważyć, że „sztywne" płyty przejściowe mogą być źródłem powstawania tzw. fal stojących (odbitych), a w dalszej konsekwencji niepożądanych zjawisk rezonansowych. Wobec tego korzystne jest dążenie do wykreowania zmiany sztywności podłoża poprzez nieprzedzielanie warstw ośrodka gruntowego elementami sztywnymi.

1.2. Wybrane przykłady konstrukcji doraźnej zabudowy stref przejściowych: tor kolejowy – obiekty inżynierskie

W tej części opracowania przedstawiono, według Andrzeja Surowieckiego[5], wybrane przykłady konstrukcji doraźnej zabudowy stref przejściowych wkładkami „usztywniającymi", o szczególnym znaczeniu w warunkach, w których o powodzeniu operacji decyduje szybkość montażu, np. w procesie odbudowy zniszczonego przez powódź dojazdu do mostu. Przykłady ograniczono do dróg kolejowych (dla dróg kołowych obowiązują analogiczne):

1) wkładki wykonywane z materiału kamiennego,

[4] Ibidem.
[5] Ibidem.

2) wkładki z materiałów odpadowych (np. zużyte podkłady kolejowe),

3) wkładki tworzące system gruntu zbrojonego (elementy pojedyncze lub zespolone nazywane materacami).

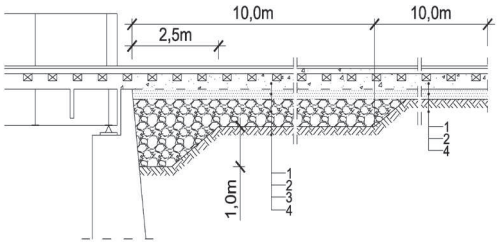
Przedmiotowa technologia jest ekonomiczna, co oznacza, że jest tańsza niż montaż tradycyjnych płyt żelbetowych, nie wymaga specjalistycznego sprzętu (elementy są dość lekkie) ani wykwalifikowanego personelu i cechuje się stosunkowo krótkim czasem montażu.

Na rysunku 2 pokazano widok podłużny wkładki usztywniającej nawierzchnię, zaprojektowanej z materiału kamiennego o konstrukcji makadamowej i zlokalizowanej bezpośrednio pod podsypką[6]. Wkładka ma na długości zmienną grubość:

– na długości 10,0 m przylegającej do przyczółka wkładka jest wykonana z kamienia łamanego o grubości warstwy 0,60 m i od góry jest „zamykana" warstwą o grubości 0,15 m klińca,

– bezpośrednio przy przyczółku warstwa kamienia łamanego jest powiększona do 1,60 m,

– drugi (skrajny) odcinek o długości 10,0 m stanowi warstwa o grubości 0,15 m klińca.



Rysunek 2. Przekrój podłużny (schemat) warstwy usztywniającej w strefie przejściowej: nasyp – obiekt mostowy, wykonanej z materiału kamiennego

1 – podsypka tłuczniowa, 2 – kliniec 0,15 m (warstwa zamykająca), 3 – narzut z kamienia łamanego 0,60 m, 4 – grunt nasypu (podtorze)

Źródło: A. *Surowiecki, Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 97.

Materiałami odpadowymi mogą być zużyte podkłady kolejowe drewniane lub strunobetonowe, zużyte opony samochodowe i inne. Rysunek 3 przedstawia schematycznie dwa przykłady warstwy usztywniającej (przekrój podłużny przez tor kolejowy)[7]:

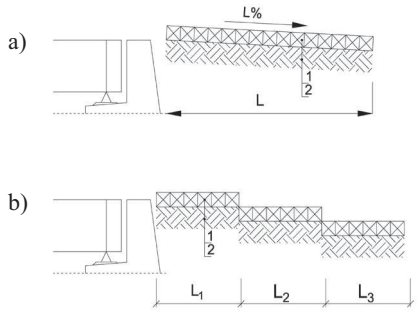
---

[6] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych...*, op. cit.

[7] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych...*, op. cit.; idem, *Sposoby likwidacji efektu progowego...*, op. cit.; idem, *Designing of Intermediate Zones...*, op. cit, s. 131-141.

– wykonanej z podkładów pojedynczych, ułożonych poprzecznie do toru, zlokalizowanej ze spadkiem podłużnym jednostajnym na długości całkowitej 10,0 m,

– wykonanej z pojedynczych podkładów jak poprzednio, lecz ułożonych w systemie „trzech progów".



Rysnek 3. Przykłady warstwy usztywniającej wykonanej z podkładów kolejowych zużytych

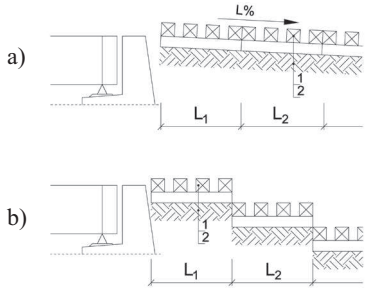
a) warstwa zlokalizowana z podłużnym spadkiem jednostajnym, b) warstwa wykonana w systemie „trzech progów", 1 – przekrój podłużny przez tor, 2 – grunt podłoża

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 97.

Rysunek 4 ilustruje wkładkę wykonaną ze zużytych podkładów kolejowych, skonstruowaną w formie rusztu[8]:

– ze spadkiem podłużnym jednostajnie na długości całkowitej 10,0 m,

– posadowionego w systemie kilku progów.



Rysunek 4. Warstwa usztywniająca z podkładów kolejowych zużytych ukształtowana w formie rusztu

a) ruszt posadowiony ze spadkiem podłużnym jednostajnym, b) ruszt posadowiony sposobem progów, 1 – podkłady kolejowe, 2 – grunt podtorza

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 97.

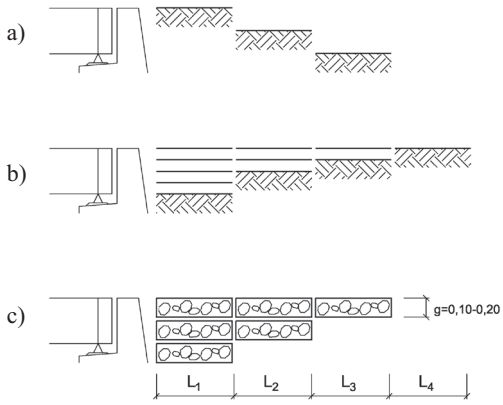
[8] Ibidem.

Istnieją różne możliwości konstruowania wkładek zwiększających sztywność ośrodka gruntowego, wykonanych na gruncie zbrojonym. Na rysunku 5 przedstawiono przykłady konstrukcji:

a) pojedyncze wkładki wzmacniające w formie siatek (siatki stalowe albo siatki z tworzyw sztucznych o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie) lub krat, tworzące system progów,

b) odosobnione wkładki w układzie wielowarstwowym,

c) „materace" wykonane z geosiatek wypełnionych materiałem kamiennym.



Rysunek 5. Rozmieszczenie wkładek usztywniających podłoże toru kolejowego (w przekroju podłużnym) w otoczeniu obiektu mostowego

a) pojedyncze wkładki zbrojenia w formie siatek (siatki stalowe albo geosiatki) lub krat, b) odosobnione wkładki w układzie wielowarstwowym, c) system materacy wykonanych z siatek stalowych lub geosiatek wypełnionych materiałem kamiennym

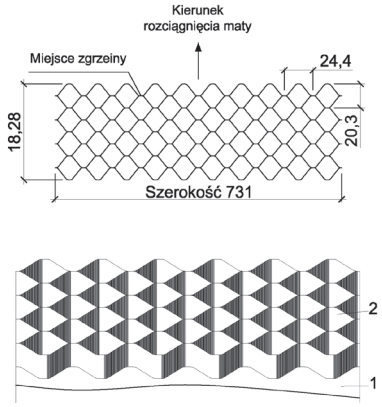
Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 99.

Rysunek 6 prezentuje maty komórkowe GEOWEB[9], wykonane z połączonych zgrzeinami pasków geosyntetyku. Są dostarczane w zwartych pakietach i na budowie rozciągane do postaci wielokomórkowego „plastra" o wysokości 0,10-0,20 m. Mata komórkowa nie jest układana na podłożu lecz na rozścielonej uprzednio geowłókninie. Komórki są wypełnione materiałem ziarnistym, który działa rozpierająco na poszczególne ścianki plastra. Jest to jedna z najnowszych metod wzmacniania podłoży gruntowych[10]. Istota tego systemu polega na

[9] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych...*, op. cit.

[10] Folder Dolnośląskiego Przedsiębiorstwa Napraw Infrastruktury Komunikacyjnej DOLKOM Spółka z o.o. we Wrocławiu, Wrocław 2002, www.dolkom.pl [11.09.2012]; A. Surowiecki, *Laboratory Tests of Road Subsoil Model with Complex Reinforcement*, Proc. 10. Int. Scientific Conf. „Solution of Crises Situations in Specific Environment", University of Žilina, Faculty of Special Engineering, Žilina 2005; idem, *Interactions between Reinforced Soil Com-*

ograniczeniu swobody poprzecznych przemieszczeń ziaren ośrodka gruntowego zamkniętych w przestrzennych komórkach plastra, czyli sekcji GEOWEBU. Mała odkształcalność podłużna materiału (polietylen o znacznej gęstości) oraz jego elastyczność sprawiają, że po rozłożeniu plastra na macie geotekstylnej i wypełnieniu komórek dobrze zagęszczalnym materiałem sypkim uzyskuje się przestrzenną strukturę wzmocnienia o cechach poziomego „materaca".



Rysunek 6. Widok z góry na warstwę maty komórkowej GEOWEB oraz widok na pierwszą warstwę maty po wypełnieniu gruntem

1 – mata geotekstylna, 2 – mata GEOWEB

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 99.

Problem właściwego połączenia obiektów inżynierskich z korpusem drogowym lub kolejowym jest najczęściej rozpatrywany w zakresie mostów. Takie podejście wynika z konstrukcji obiektów mostowych. Ustrój nośny mostu może znajdować się w bezpośrednim lub częściowo bezpośrednim kontakcie z nawierzchnią drogową albo kolejową (na przykład nawierzchnią kolejową typu otwartego jest tor na mostownicach, nawierzchnią typu zamkniętego – tor na podkładach i podsypce). W przypadku przepustów skala omawianego problemu jest zależna od konstrukcji i wielkości otworu przepustu oraz od wysokości nasypu, w którym linia kolejowa jest usytuowana. Przepusty żelbetowe ramowe

ponents, „Studia Geotechnica et Mechanica" 1998, R. XXI, nr 1-2, 1998, s. 4-16; A. Surowiecki, A. Balawejder, W. Kozłowski, *Badanie możliwości wzmacniania nasypów kolejowych przy zastosowaniu zbrojenia gruntu, lekkich konstrukcji oporowych i maty komórkowej*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2006; A. Surowiecki, W. Kozłowski, *Doświadczalna analiza stanu naprężeń i odkształceń podłoża dróg ze wzmocnieniem*, „Zeszyty Naukowe WSM w Legnicy" 2010, seria „Monografie i Prace Naukowe": *Współczesne problemy transportu*", z. 1, s. 131-150; A. Surowiecki, W. Kozłowski, *Modelling of Load-capacity Characteristics of Communication Structures with Strengthening*, mat. konf. XX Polish-Russian-Slovak Seminar „Theoretical Foundation of Civil Engineering", Žilina – Warszawa – Wrocław 2011, s. 549-556.

o poziomej rozpiętości w świetle kształtującej się na poziomie $l_0 > 3{,}0$ m niekoniecznie wymagają nadsypki gruntowej z uwagi na wysoką wartość nośności konstrukcji i mogą być traktowane jak małe mosty. Przy przepustach, nad którymi znajduje się minimalna grubość nadsypki lub jej brak, celowe jest zainstalowanie typowych płyt przejściowych stosowanych przy mostach. Dojazd do przepustu należy skonstruować, wytwarzając stopniowe (płynne) usztywnienie nawierzchni toru z podbudową, w sposób rosnący, rozpoczynając od określonego granicznego przekroju i kończąc na przekroju nad przepustem. Ponadto na odcinkach toru bezpośrednio przylegających do obiektu (o długości około 10,0 m) należy wyeliminować styki szyn, ponieważ wskutek uderzeń kół pojazdów może wystąpić rozluźnienie medium gruntowego w nasypie.

2. Warstwy pośrednie jako wzmocnienie podłoża toru

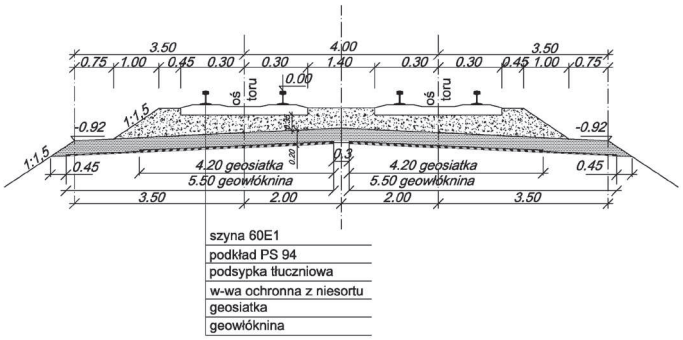
Problem wzmacniania podtorza jest od wielu lat aktualny na kolejach polskich, w związku z koniecznością przystosowywania magistral do postępującego powiększania obciążeń i prędkości jazdy oraz jako konsekwencja złego stanu podtorza, w którym na skutek wieloletnich zaniedbań utrzymaniowych (głównie niedostateczne dofinansowywanie napraw, remontów bieżących i kapitalnych oraz robót modernizacyjnych) wystąpiły nieodwracalne zmiany, powodujące osłabienie nośności podłoża i stateczności budowli ziemnych.

Fakt przystąpienia Polski do Unii Europejskiej skutkuje realizacją licznych projektów środowiskowych, wśród których szczególnie wyróżniają się jako najbardziej spektakularne te, które zmierzają do modernizacji infrastruktury transportowej. W odniesieniu do sieci kolejowej kontynuowane są intensywne prace na ciągach magistral (linie kategorii 0): E20 (Kunowice – Poznań – Warszawa), E30 (Görlitz – Legnica – Wrocław – Kraków – Przemyśl), E65 (Katowice – Warszawa – Gdańsk), nr 131 (Bydgoszcz – Tczew), nr 9 (Tczew – Gdańsk – Gdynia), E59 (Świnoujście – Szczecin – Poznań – Wrocław – Chałupki) oraz niektórych linii kategorii 1. Zadania te realizowane są kompleksowo, czyli zakres robót obejmuje m.in. [11]: przebudowę nawierzchni, podtorza (ze wzmocnieniem) i odwodnienia; przebudowę istniejących i budowę nowych obiektów inżynieryjnych (mosty, wiadukty, przepusty); modernizację sieci trakcyjnej, modernizację i rozbudowę układu zasilania elektroenergetycznego; modernizację systemu sterownia ruchem i łączności, urządzeń sygnalizacji przejazdowej i diagnostyki stanów awaryjnych taboru; przebudowę i budowę peronów, bezkolizyjnych przejść dla pieszych oraz systemu informacji dla podróżnych; budowę obiektów i urządzeń dla ochrony środowiska. Efektami modernizacji będą: poprawa komfortu i bezpieczeństwa

[11] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych*..., op. cit.

podróży, skrócenie czasu podróży (jako rezultat zwiększenia prędkości jazdy) i minimalizacja destrukcyjnego oddziaływania na środowisko naturalne.

Aktualnie standardem modernizacyjnym jest wielowarstwowy układ konstrukcji drogi kolejowej, w którym poszczególne warstwy pośrednie mogą spełniać różne zadania. Istnieje wiele propozycji projektowania podłoża toru w strefie torowiska, różniących się szczegółami, jednak zmierzających do osiągnięcia dwóch celów: nośności i odwodnienia.



Rysunek 7. Przekrój poprzeczny przez kolejową linię dwutorową. Propozycja (opracowana w Dolnośląskim Przedsiębiorstwie Napraw Infrastruktury Komunikacyjnej DOLKOM Spółka z o.o. we Wrocławiu) dotycząca zabudowy geowłókniny i geosiatki przez maszynę AHM-800R w torowisko modernizowanej magistrali E59 na odcinku Wrocław – Poznań

Źródło: Folder Dolnośląskiego Przedsiębiorstwa Napraw Infrastruktury Komunikacyjnej DOLKOM Spółka z o.o. we Wrocławiu, 2002. www.dolkom.pl [data dostępu]; A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 105.

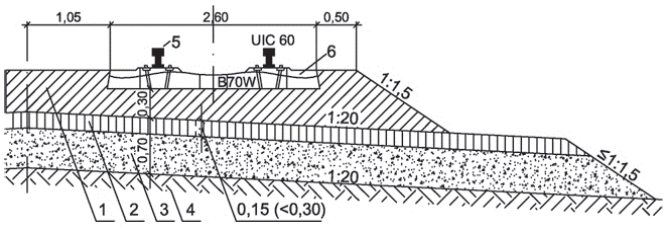
Na rysunku 7 pokazano konstrukcję toru linii dwutorowej E59 na odcinku Wrocław – Poznań z zabudowaną w torowisku geowłókniną i geosiatką przez maszynę AHM-800R. Projekt ten opracowano w Przedsiębiorstwie Napraw Infrastruktury Komunikacyjnej we Wrocławiu[12].

Rysunek 8 ilustruje fragment przekroju poprzecznego toru o nawierzchni klasycznej, stosowanej na nowych i zmodernizowanych liniach kolei dużych prędkości w Niemczech (DB). Konstrukcja jest układem wielowarstwowym, zawierającym oprócz podsypki pod podkładami warstwy wzmacniające (ochronne), filtracyjne albo separacyjne[13].

W Dolnośląskiej Dyrekcji Okręgowej Kolei Państwowych, w ramach modernizacji linii kolejowej Wrocław – Międzylesie (w celu przystosowania do zwiększonych przewozów i podwyższonej prędkości jazdy do 120 km/h) oraz odcinka Wrocław – Poznań magistrali E59, wdrożono w kilku lokalizacjach

[12] Folder Dolnośląskiego Przedsiębiorstwa Napraw Infrastruktury Komunikacyjnej…, op. cit.
[13] A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych...*, op. cit.

wzmocnienie podłoża toru przy zastosowaniu tzw. materaca według projektu[14]. Materac wzmacniający składał się z następujących elementów:



Rysunek 8. Fragment przekroju poprzecznego toru o nawierzchni klasycznej stosowanej na nowych i zmodernizowanych liniach kolei dużych prędkości w Niemczech (DB)

1 – warstwa podsypki tłuczniowej, 2 – warstwa odsączająca (materiał ziarnisty przepuszczalny), 3 – warstwa ochronna (wzmacniająca), 4 – podtorze, 5 – szyna, 6 – podkład z betonu zbrojonego

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 105.

1) materiału wypełniającego przestrzeń materaca, charakteryzującego się znaczną wartością kąta tarcia wewnętrznego w odniesieniu do kąta tarcia ośrodka gruntowego podtorza (przyjęto tłuczeń bazaltowy),

2) powłoki otaczającej wypełnienie materaca, traktowanej jako materiał zbrojeniowy i wykonanej z siatki (stalowej lub z tworzyw sztucznych – tzw. geosiatki) o odpowiednim splocie prętów i wymiarze oczek dostosowanym do wielkości ziaren kruszywa (w przedmiotowym przypadku jest nim tłuczeń), zastosowanej w celu zapewnienia oporu przesuwu ziaren tłucznia w płaszczyźnie powłoki; oczekiwany jest efekt tzw. klinowania się ziaren tłucznia.

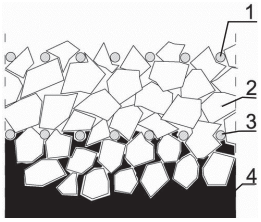
Grubość warstwy materiału wypełniającego materac przyjęto w zakresie h_m = 0,15-0,2 m. Wartość tę oszacowano na podstawie stosownej analizy teoretyczno-doświadczalnej, uwzględniając m.in. wartość i charakter obciążenia eksploatacyjnego (dynamika), parametry techniczne nawierzchni i nośność podtorza w strefie torowiska. Zwiększenie wymiaru h_m ponad 0,2 m nie zagwarantuje poprawy sytuacji funkcjonowania materaca (jako obiektu zespolonego), lecz może ograniczyć lub całkowicie zlikwidować współpracę powłoki dolnej z górną, która jest realizowana za pośrednictwem warstwy tłucznia stanowiącego matrycę.

Materac zbrojeniowy jako sprężysta warstwa nośna powinien być naprężony wstępnie, do czego prowadzi napinanie powłoki i zagęszczanie tłucznia wypełniającego. Materac należy posadawiać na warstwie podkładowej kruszywa grubego (np. tłucznia) rozścielonej bezpośrednio na powierzchni torowiska. Jest to warstwa przejściowa, zapewniająca utrzymanie kontaktu z materacem na zasadzie tarcia w płaszczyźnie dolnej powłoki materaca.

[14] Ibidem.

Zadania spełniane przez materac:

– redukcja tzw. rozporu bocznego w podłożu toru i zmniejszenie przemieszczeń pionowych,



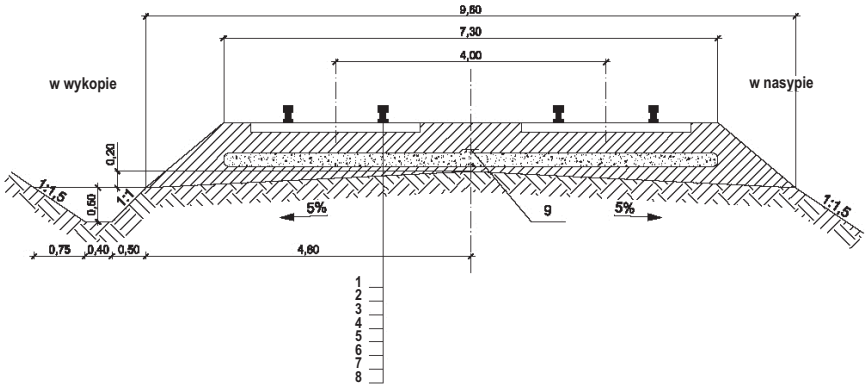
Rysunek 9. Materac zbrojeniowy jako zabezpieczenie przed penetracją upłynnionego materiału gruntowego podtorza w kierunku podsypki

1 – pręty górnej płaszczyzny materaca, 2 – tłuczeń wypełniający przestrzeń materaca, 3 – pręty dolnej płaszczyzny materaca, 4 – upłynniony materiał podtorza

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 109.

– przekazywanie na podłoże w sposób równomierny obciążeń eksploatacyjnych, eliminując zagrożenie mechanicznej destrukcji powierzchni torowiska oraz zapobieganie zmianom reologicznym w ośrodku gruntowym podtorza,

– zabezpieczenie przed penetracją upłynnionego materiału gruntowego podtorza w kierunku podsypki, pod wpływem działania dynamiki ruchu pojazdów, w okresach nadmiernego zawilgocenia podtorza (rysunek 9). Ziarna kruszywa wypełniającego materac powinny być odpowiednio zakotwione w oczkach siatki

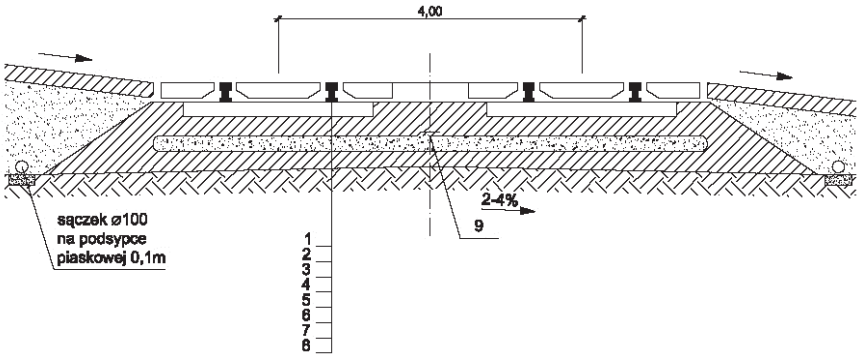


Rysunek 10. Schemat zabudowy materaca zbrojeniowego obejmującego oba tory linii dwutorowej

1 – szyna, 2 – podkład, 3 – podsypka, 4 – siatka górna powłoki materaca, 5 – tłuczeń wypełniający materac, 6 – siatka dolna powłoki materaca, 7 – warstwa podkładowa tłucznia o grubości 0,1 m, uwałowana, 8 – podtorze, 9 – spinacze łączące powłokę siatkową

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 110.

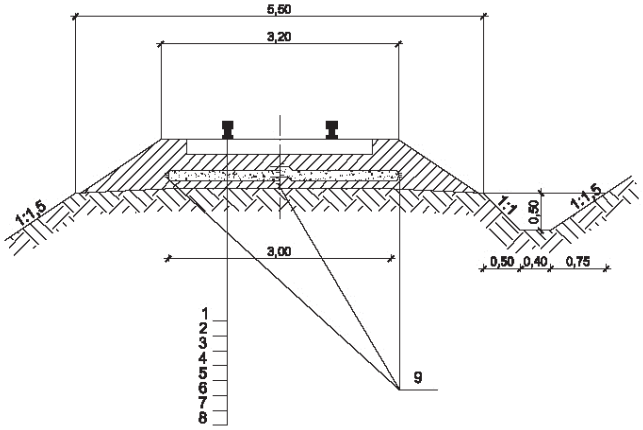
będącej powłoką materaca i względem siebie wstępnie „sprężone” na zasadzie wygenerowanego stanu napięcia. W ten sposób skonstruowany materac stanowić może aktywną warstwę separacyjną, czyli skuteczną zaporę przeciw penetracji nawodnionego ośrodka gruntowego do wnętrza podsypki.



Rysunek 11. Przekrój poprzeczny przez tory na przejeździe kolejowo-drogowym z wbudowanym w podłożu materacem obejmującym oba tory linii dwutorowej (oznaczenia jak na rysnku 10)

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 110.

Oto kilka form konstrukcyjnych materaca wzmacniającego, zastosowanych na szlaku Boreczek – Strzelin linii kolejowej Wrocław – Międzylesie[15]:



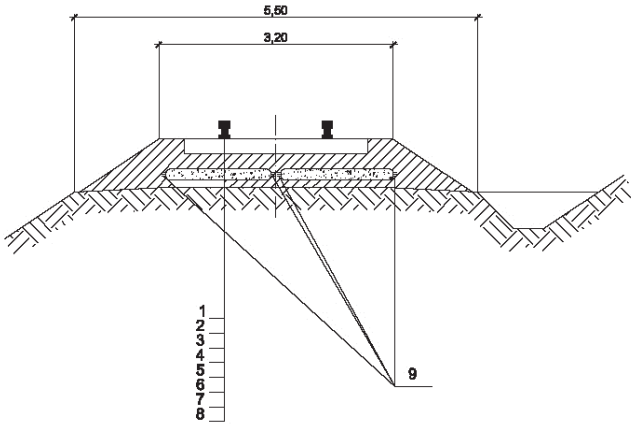
Rysunek 12. Przekrój poprzeczny przez tor linii jednotorowej z materacem zbrojeniowym założonym w strefie pod podkładem (oznaczenia jak na rysunku 10)

Źródło: A. Surowiecki, Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 111.

[15] Ibidem.

– materac wzmacniający jako element wspólny dla podbudowy obu torów linii dwutorowej na szlaku w nasypie lub w przekopie (rysunek 10),

– materac wzmacniający jako element wspólny dla podbudowy obu torów linii dwutorowej na przejeździe kolejowo-drogowym (rysunek 11),



Rysunek 13. Przekrój poprzeczny przez tor linii jednotorowej z materacami założonymi indywidualnie w strefach pod szynami (oznaczenia jak na rysunku 10)

Źródło: A. Surowiecki, *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL, Wrocław 2012, s. 111.

– materac wzmacniający podbudowę toru linii jednotorowej (rysunek 12),

– materac zbrojeniowy założony w podbudowie toru indywidualnie w strefach pod szynami (rysunek 13).

3. Wybrane przykłady stosowania materaca wzmacniającego w praktyce

1. Przejazd kolejowo-drogowy w km 28,640 linii PKP Wrocław – Międzylesie, na szlaku Boreczek – Strzelin[16]. W dniu 27 września 1986 r. założono w podbudowie obu torów warstwę wzmacniającą w formie materaca o grubości h_m = 0,2 m.

2. Rozjazd zwyczajny w torze głównym zasadniczym stacji PKP Boreczek na linii PKP Wrocław – Międzylesie[17]. W dniu 2 listopada 1987 r. zainstalowano w podbudowie rozjazdu warstwę wzmacniającą skonstruowaną identycznie jak w przypadku przejazdu kolejowo-drogowego wspomnianego powyżej. W obu tych obiektach wykonywano przez okres 12-15 miesięcy od daty zabudowy materaca geodezyjne pomiary przemieszczeń pionowych punktów pomiarowych

[16] Ibidem.
[17] Ibidem.

na główce szyny. Stwierdzono, że tor z warstwą wzmacniającą pod nawierzchnią wykazuje osiadania znacznie zredukowane i równomierne.

3. Odcinek linii PKP Międzylesie – granica państwa. System wzmacniający podtorze w nasypie i konstrukcję materaca wykonany z plastikowych geosiatek o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie. Geowłókninę, której głównym celem jest w tym przypadku zabezpieczenie korony torowiska przed infiltracją wody opadowej, należy ułożyć na całej szerokości torowiska. Zaproponowano jeden z dwóch rodzajów materiału: Terratex 400 produkcji czeskiej lub WD-EB produkcji polskiej. Warstwę ochronną o grubości $h_0 = 0{,}3$ m w torze poza materacem i $h_0 = 0{,}1$ m pod materacem należy wykonać z tzw. odsiewek uzyskiwanych w procesie oczyszczania podsypki, będących materiałem odpadowym. W przypadku gdy jakość odsiewek nie będzie odpowiadać normie, zalecono zmieszanie ich podczas układania z innym kruszywem, np. klińcem lub grysem. Materac o grubości $h_m = 0{,}2$ m wzmacniający podtorze należy wykonać z tłucznia podsypkowego otoczonego geosiatkami (tworzącymi obudowę materaca) umożliwiającymi dodatkowy efekt klinowania się materiału kamiennego, wskutek czego można wyeliminować zjawisko poślizgu. Zalecono geosiatki typu ARMAPAL-5030 lub 6030 skonstruowane ze splecionych wysokowytrzymałych włókien poliestrowych albo ARMAPAL-G z włókna szklanego.

4. Odcinek szlaku Oborniki Śl. – Osola na magistrali PKP E59 Wrocław – Poznań. Projektowany system wzmocnienia torowiska w nasypie polega na rozścieleniu warstwy izolacyjno-odsączającej w postaci geowłókniny wyprodukowanej metodą igłowania z włókien polipropylenowych na podkładce z tkaniny foliowej polipropylenowej o wytrzymałości na przebijanie $R > 1{,}1$ kN w warunkach badania CBR.

5. Przejazd kolejowo-drogowy w miejscowości Żarów (Dolny Śląsk) w km 42,117 linii PKP Wrocław – Jelenia Góra. Zainstalowano matę geotekstylną (o wytrzymałości na rozerwanie $R_r \geq 2{,}9$ kN) pod warstwą podsypki tłuczniowej na całej powierzchni warstwy ochronnej (szczelnej – wykonanej z niesortu granitowego), rozścielonej na warstwie odsączającej (piasek gruboziarnisty) separującej nawierzchnię kolejową od torowiska.

6. Odcinek szlaku Grabowno Wlk. – Twardogóra linii PKP Wrocław – Ostrów Wlkp. Tor znajduje się w łuku poziomym w nasypie z projektowanym systemem wzmocnienia podtorza.

Literatura

Drusa M., Moravčik M., *Foundation Structures*, University of Žilina, Žilina 2008.

Drusa M., Giang N., *Some Questions in Designing of the Reinforced Soils Walls Using Tensar Geogrids*, „Studies of University of Transport and Communication in Žilina. Civil Engineering Series" 2002, vol. 25, s. 59-69.

Folder Dolnośląskiego Przedsiębiorstwa Napraw Infrastruktury Komunikacyjnej DOLKOM Spółka z o.o. we Wrocławiu, Wrocław 2002, www.dolkom.pl [11.09.2012].
Surowiecki A., *Laboratory Tests of Road Subsoil Model with Complex Reinforcement*, Proc. 10. Int. Scientific Conf. „Solution of Crises Situations in Specific Environment", University of Žilina, Faculty of Special Engineering, Žilina 2005.
Surowiecki A., *Interactions between Reinforced Soil Components*, „Studia Geotechnica et Mechanica" 1998, R. XXI, nr 1-2, s. 4-16.
Surowiecki A., Balawejder A., Kozłowski W., *Badanie możliwości wzmacniania nasypów kolejowych przy zastosowaniu zbrojenia gruntu, lekkich konstrukcji oporowych i maty komórkowej*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2006.
Surowiecki A., Kozłowski W., *Doświadczalna analiza stanu naprężeń i odkształceń podłoża dróg ze wzmocnieniem*, „Zeszyty Naukowe WSM w Legnicy" 2010, seria „Monografie i Prace Naukowe": *Współczesne problemy transport*", z. 1, s. 131-150.
Surowiecki A., Kozłowski W., *Modelling of Load-capacity Characteristics of Communication Structures with Strengthening*, mat. konf. XX Polish-Russian-Slovak Seminar „Theoretical Foundation of Civil Engineering", Žilina – Warszawa – Wrocław 2011, s. 549-556.
Surowiecki A., *Modernizacja konstrukcji dróg szynowych. Badania modelowe i eksploatacyjne*, Wyd. WSOWL we Wrocławiu, Wrocław 2012.
Surowiecki A., Kozłowski W., *Rola badań doświadczalnych w projektowaniu wzmocnień podłoża modernizowanych dróg szynowych*, „Problemy Kolejnictwa" 2011, z. 153, s. 177-192.
Surowiecki A., *Laboruntersuchungen von mechanischen Eigenschaften bewehrter lockerer Bodenschichten*, „Bautechnik" 1994, R. LXXI, z. 11, s. 707-711.
Surowiecki A., *Sposoby likwidacji efektu progowego w strefach przejściowych z dróg na obiekty mostowe*, mat. IV Kraj. Konf. Nauk.-Techn. „Problemy projektowania, budowy i utrzymania mostów małych", Politechnika Wrocławska, GDDP, ODZMRP, Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław 1999.
Surowiecki A., *Designing of Intermediate Zones from the Local Roads to Engineery Objects*, „Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Geodezja i Urządzenia Rolne" 2000, R. XVI, nr 379, s. 131-141.
Surowiecki A., *Badania modelowe współpracy składników kompozytowych*, „Inżynieria i Budownictwo" 2004, nr 10, s. 527-530.

Instances of intermediate layers use in the railway track base in terms of building a modern transport and logistics system

Summary. The article presents the aim of intermediate layers use in the railway track base, its working principle and constructing. Intermediate layers are presented from two directions: as a way of elimination of the threshold effect in the transition zones from the railway track to engineering structures, as well as intermediate layers as reinforcement of low-bearing track base. Examples of practical installation of intermediate layers with regard to recycling waste materials are given. Attention is paid to the positive effects of building intermediate layers into the track base within the trackway. Problems of location and conditions of rail track operation present a challenge for designers and investors in terms of innovativeness of solutions. The above subject discussed in the paper has a practical significance regarding a large-scale modernisation of rail transport infrastructure in Poland.

Key words: railway track, intermediate layers, construction, instances of use