

# Separacja warstw podtorza geowłókniną

Marek Krużyński, Dorota Pająk, Grzegorz Zima

*Powszechne stosowanie odkształcalnej warstwy geowłókniny separacyjno-drenującej pod warstwą ochronną w torach kolejowych nie jest uwzględniane przy wymiarowaniu odkształcalności torowiska. Z reguły przy obliczaniu miąższości warstwy ochronnej uwzględnia się tylko cechy fizyczne materiału, z którego zostanie wykonana i odkształcalność jej podłoża, reprezentowaną przez moduł odkształcenia wtórnego E2. W celu określenia wpływu tej dodatkowej warstwy wykonanej z geowłókniny na wynikową odkształcalność torowiska wykonano serię badań laboratoryjnych i na podstawie analizy ich wyników zwrócono uwagę na potrzebę modyfikacji sposobu wymiarowania miąższości warstwy ochronnej w przypadku układania jej na geowłókninie.*

*artykuł jest zmodyfikowaną wersją referatu wygłoszonego na V. Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy modernizacji i budowy podtorza kolejowego” Wrocław - Szklarska Poręba, 14-15 października 2010 r.*



1. Aparatura do oznaczenia modułu odkształcenia

Od wielu już lat sieć kolejowa PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. poddawana jest zabiegom modernizacyjnym i renowacyjnym, dotyczącym między innymi podtorza. Powszechnie przy modernizacji górnej jego warstwy stosuje się w budowywanie nowej warstwy ochronnej odseparowanej od gruntu nasympowego lub rodzimego warstwą geowłókniny separacyjno-drenującej. Ma to na celu uniemożliwienie mieszania się ze sobą gruntów, z których wykonano warstwę ochronną, z gruntami jej podłoża. Warunkiem prawidłowego rozwiązania tego elementu podtorza jest uzyskanie na powierzchni torowiska wymaganej sztywności określonej za pomocą modułu odkształcenia wtórnego E2. Wielkość ta jest określona w warunkach technicznych Id-3 [1] i służy do wymiarowania grubości warstwy ochronnej.

W najbardziej rozpowszechnionej metodzie projektowania konstrukcji górnej części podtorza opartej na nomogramie DORNII, jako dane wyjściowe przyjmuje się: moduł odkształcenia wtórnego gruntu podłoża warstwy ochronnej  $E_g$ , moduł odkształcenia wtórnego materiału, z którego warstwa

ochronna zostanie wykonana  $E_0$  i wartości wymaganego, minimalnego modułu odkształcenia wtórnego torowiska tak zwanego modułu ekwiwalentnego  $E_e$ , który

musi być uzyskany po wbudowaniu i zagęszczeniu warstwy ochronnej. Parametr ten, charakteryzujący sztywność podłoża nawierzchni kolejowej jest bardzo istotny



2. Przygotowanie stanowiska badawczego geowłóknina + niesort

dla późniejszej trwałości całej konstrukcji drogi kolejowej podczas eksploatacji. Warstwę geowłókniny separacyjno-drenującej dodaje się już po zakończeniu wymiarowania, traktując to jako zabieg „kosmetyczny”, nie mający wpływu na sztywność torowiska. Takie podejście do projektowania sprawia, że pomija się w ocenie potrzebnej grubości warstwy ochronnej, jedną z odształcalnych warstw wbudowywanych w górnej strefie podtorza na głębokości od 0,15 m do 0,5 m poniżej torowiska. Ze względu na niewielką grubość warstwy geowłókniny może się wydawać, że nie uwzględnienie jej w wymiarowaniu pozostaje bez wpływu na sztywność torowiska. Praktyka jednak przeczy takiemu podejściu i są liczne przykłady niezyskiwania wymaganej wartości modułu odształcalności wtórnego na torowisku po wbudowaniu nowej prawidłowo zwymiarowanej warstwy ochronnej na warstwie geowłókniny. Zjawisko to występuje najczęściej przy cienkich warstwach ochronnych, których miąższość zawiera się w granicach 0,15 – 0,25 m.

Problem ten poruszany był już wcześniej, [2] lecz nie doczekał się zadowalającego rozwiązania. W praktyce zjawisko jest znane, lecz uważane za nieistotne i pomijalne – traktowane jako problem Wykonawcy, który powinien wiedzieć, że nie można stosować grubych geowłóknin pod cienkimi warstwami ochronnymi, ponieważ grozi to trudnościami w uzyskaniu parametrów wymaganych dla torowisk. Takie podejście do problemu jest pewnego rodzaju „prowizorką”, której usunięcie z procesu projektowania jest możliwe, wymaga tylko bardziej wnikliwego przeanalizowania. W celu dokonania takiej analizy przeprowadzona została seria badań eksperymentalnych i podstawowych przeliczeń dla udowodnienia, że wpływ odształcalności warstwy geowłókniny znajdującej się w układzie między odształcalną warstwą ochronną, a odształcalnym podłożem może i powinien być uwzględniony w wymiarowaniu warstwy ochronnej.

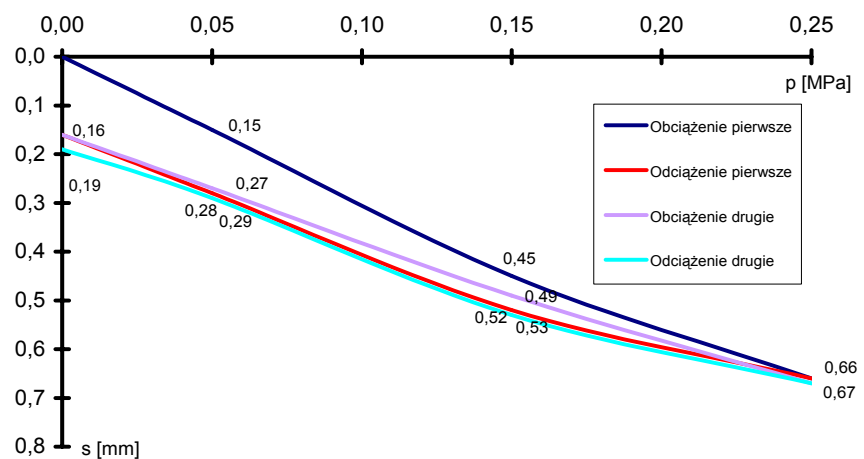
## Badania eksperymentalne

Badanie polegało na pomiarze przemieszczeń pionowych badanej warstwy podłoża pod wpływem nacisku statycznego wywieranego za pomocą stalowej okrągłej płyty o średnicy  $D = 300$  mm. Stanowisko badawcze wykonano w formie pojemnika z tworzyw sztucznych PEHD o średnicy wewnętrznej  $\varnothing = 50$  cm i wysokości  $h = 35$  cm ustawionego na sztywnej płycie stalowej (Rys. 1).

Wykonanie oznaczenia:

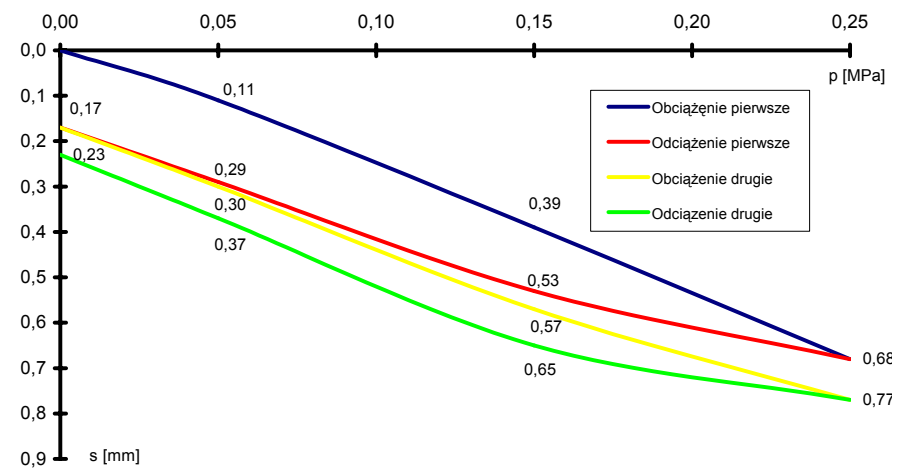
- Zagęszczenie badanego kruszywa (melfir) o wilgotności zbliżonej do optymalnej (mieszanka kruszyw łamanych 0-31,5 mm) do stałej wartości wskaźnika odształcalności wynoszącej  $I_0 = 1,15 \pm 0,10$ ;
- Przygotowanie aparatu do wykonania

## Badanie odształcalności geowłókniny 200g/m<sup>2</sup>



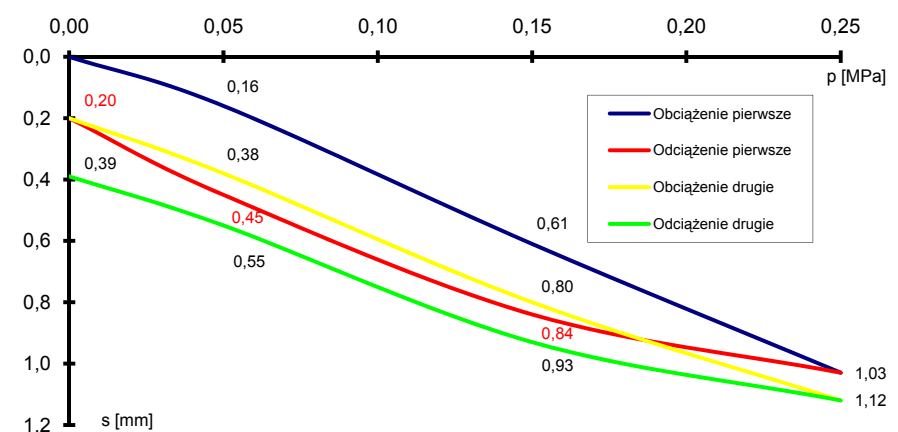
3. Zależność przemieszczenia „s” warstwy geowłókniny od obciążenia „p”

## Badanie odształcalności warstwy niesortu o grubości 15cm (mieszanka kruszywa 0-31,50mm)



4. Zależność przemieszczenia „s” warstwy kruszywa od obciążenia „p”

## Badanie odształcalności układu warstw: geowłóknina + niesort gr 15cm



5. Zależność przemieszczenia „s” warstwy kruszywa na geowłókninie od obciążenia „p”

oznaczenia – aparat z płytą sztywną  $\varnothing=0,3$  m i jednym czujnikiem przemieszczeń ustawionym centralnie (Rys. 1);

- Statyw – jedna belka na trzech regulowanych podporach stanowiąca bazę pomiarową;
- Oznaczenie modułu odkształcenia;
- Po ustawieniu aparatury wprowadzono wstępne obciążenie 0,02 MPa;
- Czujnik zegarowy ustawiono w pozycji 0,00 mm;
- Ciśnienie na badaną warstwę doprowadzono do 0,05 MPa i utrzymywano stałe ciśnienie, regulując je dźwignią pompy;
- Wskazania czujników odczytywano co 2 min. Jeżeli różnica dwóch kolejnych odczytów w odstępie 2 min. na czujnikach była mniejsza od 0,05 MPa przechodzono na następny stopień obciążenia jednostkowego większy od poprzedniego o 0,05 MPa;
- Końcowe obciążenie doprowadzono do 0,25 MPa;
- Po uzyskaniu wymaganego końcowego obciążenia jednostkowego, odciążano stopniowo po 0,1 MPa do 0,02 MPa z równoczesnym zapisywaniem kolejnych wskazań czujników co 2 min. i z odczekaniem 5 min. przed ostatnim odczytem.

Obliczenie wyników:

Wartości modułów odkształcenia  $E_1$  i  $E_2$  obliczano według wzoru:

$$E_n = 0,75 * D * \frac{\Delta p}{\Delta s} \quad \text{przyjmując, że:}$$

$\Delta p = p_2 - p_1$  - przyrost obciążenia jednostkowego w zakresie od 0,05 MPa do 0,15 MPa;  
 $\Delta s = p_{0,15} - p_{0,05}$  - przyrost przemieszczenia odpowiadający przyjętemu zakresowi obciążeń jednostkowych  $\Delta p$  w milimetrach,  
 $D$  - średnica płyty, w milimetrach.

Obliczenie wartości wskaźnika zagęszczenia: Wartość wskaźnika odkształcenia  $I_0$  obliczano wg wzoru:

$$I_0 = \frac{E_2}{E_1} \quad \text{gdzie:}$$

$I_0$  - wskaźnik odkształcenia liczba mianowna;

$E_2$  - wtórny moduł odkształcenia;

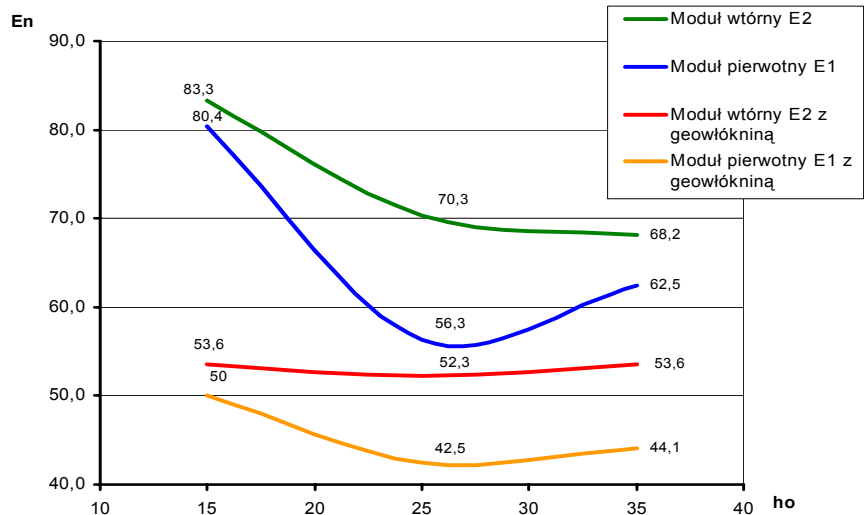
$E_1$  - pierwotny moduł odkształcenia;

Wynik podano z dokładnością do dwóch cyfr znaczących po przecinku.

## Wyniki badań laboratoryjnych

Wyniki przedstawiono w formie wykresów (Rys. 3, Rys. 4, Rys. 5). W pierwszej fazie badań oznaczono odkształcalność warstwy geowłókniny o masie powierzchniowej wynoszącej 200 g/m<sup>2</sup>. Przyrost przemieszczenia przy wzroście obciążenia od 0,05 MPa do 0,15 MPa wyniósł  $\Delta s = 0,49$  mm – 0,27 mm = 0,22 mm (Rys. 3). Przyrosty przemieszczeń maleją wraz ze wzrostem obciążenia, ale w przedziale ciśnień przyjętych do obli-

## Zależność modułu od grubości warstwy ochronnej bez geowłókniny i na warstwie geowłókniny 600 g/m<sup>2</sup>



7. Porównanie wartości modułów „ $E_n$ ” dla różnych grubości „ $h_0$ ” warstwy ochronnej i różnej grubości warstw geowłókniny

czeń, zależność odkształceń od ciśnień jest w przybliżeniu liniowa.

Kolejnym badaniem było oznaczenie odkształcalności warstwy niesortu o miąższości 0,15 m ułożonej na sztywnym podłożu. Wynik pokazano na rys. 4, na którym wykreślone przedstawiono zależność przemieszczeń „ $s$ ” od ciśnienia „ $p$ ”. W zakresie ciśnień 0,05–0,15 MPa otrzymano zależność również zbliżoną do liniowej, a moduł odkształcenia wtórnego wyniósł  $E_o = 111$  MPa.

Następnie powtórzono badanie dla układu warstw: 0,15 m niesortu ułożonego na geowłókninie o masie powierzchniowej 200

g/m<sup>2</sup> i otrzymano zależność odkształceń od ciśnień przedstawioną na rys. 5. Tu również można przyjąć, że zależność w przedziale ciśnień 0,05–0,15 MPa jest liniowa i określić moduł odkształcenia wtórnego, który wyniósł  $E_o = 71,4$  MPa, czyli zdecydowanie mniej niż dla samego niesortu.

Analogiczne badania porównawcze wykonano również dla:

- warstw ochronnych o grubościach 25 i 35 cm,
- geowłóknin o masie powierzchniowej 400 i 600 g/m<sup>2</sup> i wszystkich kombinacji parametrów w układzie.

Tab.1. Wpływ geowłókniny na sztywność torowiska – geowłóknina 200 g/m<sup>2</sup>

Grubość h warstwy ochronnej [m]	Moduł wtórny odkształcenia torowiska E2 [MPa]		Różnica modułów $\Delta E2 = E2i - E2j$ [MPa]	Różnica $\Delta E2$ wyrażona w procentach [%]
	Bez geowłókniny E2i	Geowłóknina 200 g/m <sup>2</sup> E2j		
h=0,15m	83,3	71,4	11,9	14,3
h=0,25m	70,3	64,3	6	8,5
h=0,35m	68,2	63,3	4,9	7,2

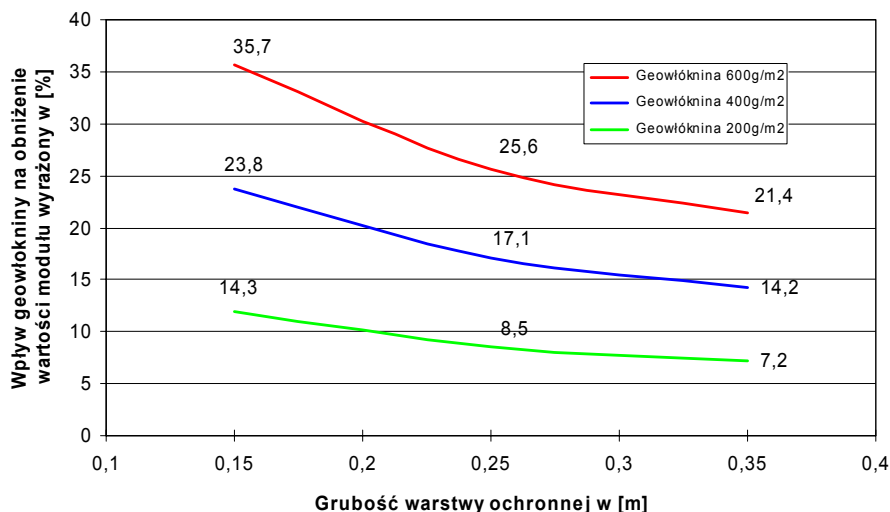
Tab.2. Wpływ geowłókniny na sztywność torowiska - geowłóknina 400 g/m<sup>2</sup>

Grubość h warstwy ochronnej [m]	Moduł wtórny odkształcenia torowiska E2 [MPa]		Różnica modułów $\Delta E2 = E2i - E2j$ [MPa]	Różnica $\Delta E2$ wyrażona w procentach [%]
	Bez geowłókniny E2i	Geowłóknina 400 g/m <sup>2</sup> E2j		
h=0,15m	83,3	63,5	19,8	23,8
h=0,25m	70,3	58,3	12	17,1
h=0,35m	68,2	63,5	9,7	14,2

Tab.3. Wpływ geowłókniny na sztywność torowiska - geowłóknina 600 g/m<sup>2</sup>

Grubość h warstwy ochronnej [m]	Moduł wtórny odkształcenia torowiska E2 [MPa]		Różnica modułów $\Delta E2 = E2i - E2j$ [MPa]	Różnica $\Delta E2$ wyrażona w procentach [%]
	Bez geowłókniny E2i	Geowłóknina 600 g/m <sup>2</sup> E2j		
h=0,15m	83,3	53,6	29,7	35,7
h=0,25m	70,3	52,3	18	25,6
h=0,35m	68,2	53,6	14,6	21,4

Wpływ geowłókniny na sztywność torowiska



8. Procentowy wpływ geowłókniny na sztywność torowiska

### Analiza wyników badań odkształcalności torowiska

W pierwszej fazie badań oznaczono odkształcalność samej geowłókniny, aby było możliwe ocenianie lub wyodrębnienie jej wpływu na odkształcalność układu warstw. Oznaczono również odkształcalność samego kruszywa, co potraktowano w dalszym ciągu, jako poziom porównawczy. Następnie przystąpiono do badań układu warstw, czyli warstwy kruszywa na warstwie geowłókniny. Przykład porównania wyników takich badań przedstawiono na rysunku nr 6.

Z wykresów przedstawionych na rysunku nr 6 wyraźnie widać, że wpływ geowłókniny może być bardzo istotny i znaczący, szczególnie przy geowłókninie o znacznej miąższości reprezentowanej przez masę powierzchniową

W drugiej fazie badań oznaczono moduły odkształcenia wtórnego dla warstw ochronnych o grubościach 15, 25, 35 cm na geowłókninach o różnej masie powierzchniowej: 200; 400 i 600 g/m<sup>2</sup>. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 7.

Wyniki pomiarów zestawione w tabelach: 1, 2 i 3 przedstawiono ponownie na wykresach na rys. 8. Pokazano tu, w jakim stopniu na nośność torowiska wpływa geowłóknina. Uwzględniono też trzy różne geowłókniny i trzy różne grubości warstwy ochronnej. Na wykresach jest wyraźnie widoczne zwiększenie się wpływu badanych parametrów na wartości modułu mierzonego na torowisku wraz ze wzrostem grubości geowłókniny i zmienną grubością warstwy ochronnej.

### Podsumowanie i wnioski

Już wcześniej [4, 6] była sygnalizowana rozbieżność pomiędzy stanem projektowym a stanem realizacyjnym wzmocnienia

torowiska warstwą ochronną na geowłókninie separacyjnej. W obliczeniach projektowych nośności torowiska nie uwzględnia się odkształcalności warstwy geowłókniny, pomimo, że zaleca się jej stosowanie. Jak wynika z badań eksperymentalnych wpływ odkształcalności warstwy geowłókniny jest istotny i w znacznym stopniu może spowodować obniżenie nośności torowiska w stosunku do stanu obliczeniowego, w którym pominięto tę warstwę. W wykonawstwie i projektowaniu, po stwierdzeniu tego zjawiska wiadomo już, że stosowanie grubszych geowłóknin na warstwy separacyjne, szczególnie przy małych miąższościach warstwy ochronnej jest niewskazane. W efekcie przyjmuje się jak najcieńsze geowłókniny na tak zwane wycucie, bez właściwych procedur obliczeniowych. Ogólnie przyjmuje się, że przy warstwie ochronnej o miąższości 15 – 20 cm należy stosować możliwie jak najcieńsze geowłókniny, a minimalna wartość modułu odkształcenia wtórnego mierzonego na torowisku powinna być projektowana z pewnym zapasem. Przy warstwach ochronnych o większej miąższości można dopuścić stosowanie nieco grubszych i mocniejszych geowłóknin, pełniących równocześnie rolę drenującą. Do dziś brakuje jednak metody obliczeniowej, która pozwoliłaby na uwzględnienie odkształcalności warstwy geowłókniny w procedurze obliczania grubości warstwy ochronnej, niezbędnej dla uzyskania wymaganego minimalnego modułu odkształcenia. Przeprowadzone i zaprezentowane wyniki badań wstępnych dowodzą, że istnieje możliwość doświadczalnego opisu zjawiska i na tej podstawie opracowania korekty do procedury obliczeniowej pozwalającej na uwzględnienie go w procesie projektowania wzmocnień torowisk.

Wyniki przedstawionych badań eksperymentalnych dowiodły, że wpływ odkształcal-

nej warstwy geowłókniny, wbudowanej pod warstwę ochronną, na odkształcalność torowiska jest istotny i nie powinien być pomijany w procesie projektowania. Geowłóknina pod warstwą ochronną może powodować zmniejszenie wartości modułu mierzonego na torowisku od 7% w najkorzystniejszym przypadku (cienka geowłóknina pod grubą warstwą ochronną) do prawie 36% w przypadkach skrajnych (gruba geowłóknina pod cienką warstwą ochronną).

Dlatego przewiduje się kontynuację badań doświadczalnych i prac nad algorytmem pozwalającym na uwzględnienie odkształcalności warstwy geowłókniny w procesie projektowania konstrukcji górnej strefy podtorza. ◀

### Literatura

- [1] Id-3 (D-4) Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego. PKP PLK S.A., Warszawa 2004.
- [2] Krużyński M.: Wpływ geowłókniny na sztywność torowiska. W: Drogi kolejowe 2005.XIII Konferencja naukowo-techniczna. Wisła, 20-21 października 2005.
- [3] PN-91/B-06714/15 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie składu ziarnowego.
- [4] PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
- [5] PN-EN 13250:2000. Geotekstylii i wyroby pokrewne – Właściwości wymagane przy stosowaniu w budowie dróg kolejowych.
- [6] Krużyński M., Piotrowski A.: Badania nośności warstw ochronnych zabudowanych maszyną AHM800R, XI Konferencja Naukowo-Techniczna "Drogi Kolejowe 01", Materiały Konferencyjne, Wrocław 2001 r.

dr hab. inż. Marek Krużyński, prof. PWR  
mgr inż. Dorota Pająk  
mgr inż. Grzegorz Zima  
Politechnika Wrocławska