

Ryszard PORĘBSKI<sup>1</sup>, Łucjan SIEWCZYŃSKI<sup>1</sup>, Jerzy ZALEWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Poznańska

<sup>2</sup>„Koltach”, Warszawa

## OCENA SKUTECZNOŚCI WZMOCNIENIA PODTORZA WARSTWĄ OCHRONNĄ

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono wyniki badań odkształcalności zmodernizowanego podtorza. Badania przeprowadzono na odcinku linii E-20, gdzie podtorze było przebudowywane z użyciem dwóch technologii robót oraz z zastosowaniem różnych materiałów na warstwy ochronne podtorza. Analizie poddano wyniki trzech serii pomiarów modułów odkształcenia podtorza przeprowadzonych w pierwszym roku eksploatacji toru.

## THE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE SUBGRADE REINFORCEMENT WITH PROTECTIVE LAYER

**Summary.** The paper presents the results of the investigation of the deformability of a modernized subgrade. The investigations have been carried out on the section of E-20line where the subgrade was reconstructed using two methods of track works and various materials for protective layers. Three series of measurements of deformation modules were taken in the first year of operating the line and the results analyzed.

### 1. Wstęp

Naprawy górnej strefy podtorza gruntowego przeprowadzane są w celu usunięcia jego miejscowych uszkodzeń spowodowanych eksploatacją drogi kolejowej i czynnikami przyrodniczymi albo też w ramach rekonstrukcji lub modernizacji drogi kolejowej. Obecnie w PKP trwa proces dostosowywania stanu dróg magistralnych do wymagań kolei zachodnioeuropejskich, co stanowi jeden z wymogów integracji. Dostosowywanie podtorza, a szczególnie jego górnej części pod torowiskiem do dużych prędkości pociągów i zwiększonych przewozów, odbywa się z uwzględnieniem podstawowych kryteriów jego stateczności i trwałości, zgodnych z wymaganiami kolei europejskich; pozwalają one osiągnąć odpowiednią współpracę podtorza z nawierzchnią kolejową [1, 7]. Podstawą rekonstrukcji lub modernizacji podtorza powinny być wyniki badań geotechnicznych [2, 3], przeprowadzonych w celu wyjaśnienia warunków gruntowo-wodnych, z określeniem rodzajów gruntów oraz ich podstawowych właściwości fizycznych i mechanicznych, metodami polowymi i laboratoryjnymi [1, 8], z uwzględnieniem próbnych obciążeń torowiska płytą VSS [7].

Realizowana obecnie modernizacja wschodniego odcinka linii kolejowej E-20 w zakresie przebudowy podtorza obejmuje kompleksową modernizację górnych warstw podtorza i odwodnienia z dostosowaniem ich parametrów do obowiązujących w tym zakresie wymagań normowych [1, 6, 9].

Analizując dotychczas przeprowadzone prace modernizacyjne podtorza na całej sieci PKP można stwierdzić, że oprócz wykonywania badań kontrolnych odkształcalności warstwy ochronnej na podtorzu w celu oceny wymaganej jakości przebudowy, nie przeprowadzono badań sprawdzających trwałość stanu odkształcalności podczas zwykłej eksploatacji drogi kolejowej po jej modernizacji, to jest w funkcji czasu, zrealizowanych przewozów i w reżimie oddziaływań czynników klimatycznych. Badania takie przeprowadzone zostały jedynie wyrywkowo po modernizacji podtorza linii E-20 (st. Kupienino) i linii E-30 (szlak Łosiów-Brzeg). Pozytywny wyjątek stanowią tu specjalne badania trwałości stanu odkształcalności podtorza wzmocnionego warstwą ochronną, które przeprowadzono po zakończeniu modernizacji odcinka linii kolejowej E-20 na szlaku Mińsk Mazowiecki-Mienia podczas normalnego jej użytkowania, których opis wraz z analizą zawarty jest w niniejszym referacie. W szczególności przedstawiono charakterystykę miejsca (obiektu) badań, zastosowanej techniki pomiarów, uzyskane wyniki, zastosowane sposoby ich analizy oraz wnioski opracowane na tej podstawie.

## 2. Krótki opis eksperymentu

Badania odkształcalności zmodernizowanego podtorza przeprowadzono w terenie w okresie od 30.09.2003 r. do 02.11.2004 r. na odcinku zmodernizowanej dwutorowej linii kolejowej E-20 od km 41,900 do km 56,400; odbiory robót modernizacyjnych na poszczególnych częściach tego odcinka i podjęcie ruchu pociągów postępowały w okresie od 14.12.2002 r. do 18.09.2003 r. Odbiorów robót dokonywano na podstawie pozytywnych wyników badań modułów wtórnego odkształcenia warstwy ochronnej na podtorzu, przy zastosowaniu płyt VSS, co oznacza spełnienie wymaganego warunku nośności (1).

$$E_e \geq E_{\min} = E_{\text{proj}}, \quad (1)$$

$$E_{\min} = E_{\text{proj}} = k \cdot E_{\text{tab}}, \quad (2)$$

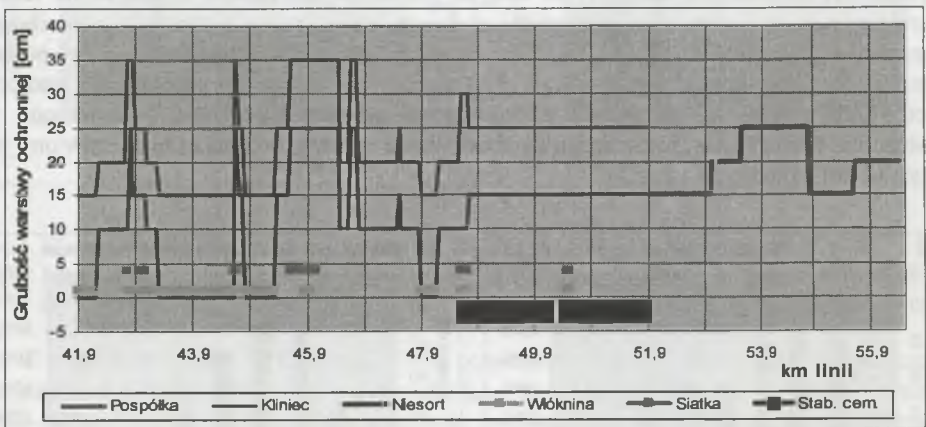
gdzie:

- $E_e$  - moduł ekwiwalentny,
- $E_{\text{proj}}$  - moduł projektowany,
- $E_{\text{tab}}$  - wartości modułów stabelaryzowane w przepisach, np. dla linii magistralnych 120 MPa,
- $k$  - współczynnik redukcyjny związany z warunkami gruntowo-wodnymi w górnej strefie podtorza ( $k = 1,0; 0,9; 0,8$ ).

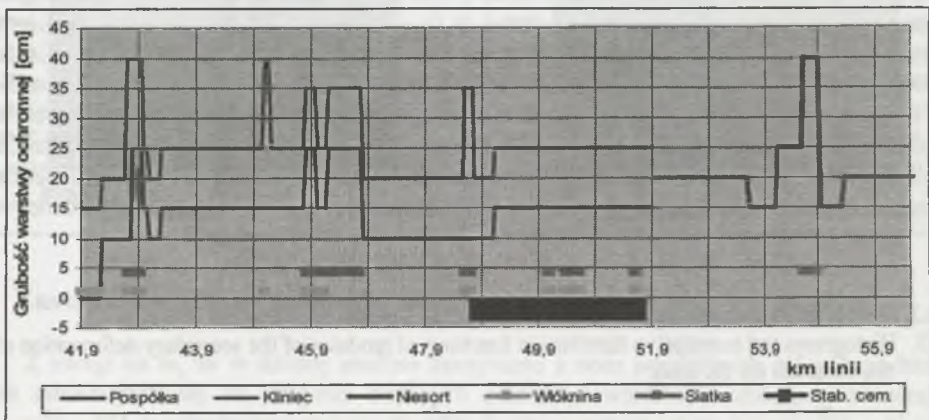
Wyniki badań podczas odbioru robót stanowią podstawę analiz porównawczych stanów odkształcalności eksploatowanego podtorza, opisanego wynikami kolejnych dwóch serii pomiarów wartości modułów wtórnego odkształcenia, mierzonych na nowym torowisku, czyli na górnej powierzchni warstwy ochronnej [4, 5]. W przeprowadzaniu kolejnych serii badań jako zasadę przyjęto, że między następnymi badaniami na poszczególnych częściach obserwowanego odcinka linii powinien upłynąć czas około 6 miesięcy. Ze względu na warunki klimatyczne konieczne były pewne odstępstwa od tej zasady.

W czasie budowy warstwy ochronnej miejsca badań odbiorczych przyjmowane były w osiach obu torów, co 50 m wzdłuż szlaku. Podczas opisywanych badań miejsca pomiarów

modułów wtórnego odkształcenia przyjęto w odległościach co 100 m. Badania prowadzono przy końcach podkładów obu torów od strony ław torowiska na powierzchni sprawdzanej warstwy ochronnej, po usunięciu warstwy tłucznia. Podtorze obserwowanego odcinka linii kolejowej zmodernizowane zostało przy zastosowaniu dwóch technologii wbudowywania warstwy ochronnej – metodą robót ziemnych, a więc przy użyciu zwykłych maszyn stosowanych do takich robót (od km 41,900 do km 51,900) oraz przy zastosowaniu pociągu do napraw podtorza z maszyną AHM (od km 51,900 do km 56,550). W technologii robót ziemnych wbudowywano warstwę ochronną pojedynczą (z kłińca) lub podwójną (spodnia subwarstwa z pospółki i wierzchnia subwarstwa z kłińca) z zastosowaniem geosiatki i geowłókniny według potrzeb; maszyną AHM wbudowywano tylko warstwę pojedynczą z niesortu kamiennego, bez stosowania geowłókniny, a tylko lokalnie stosowano geosiatkę. Zaprojektowane i wykonane warstwy ochronne wraz z pozostałymi wzmocnieniami przedstawiono na rys. 1. (tor 1) i rys. 2. (tor 2).



Rys. 1. Grubość i materiał warstwy ochronnej w torze 1 na odcinku Mińsk Mazowiecki - Mrozy  
Fig. 1. Building material and thickness of the protective layer for track 1 on the section Mińsk Mazowiecki – Mrozy



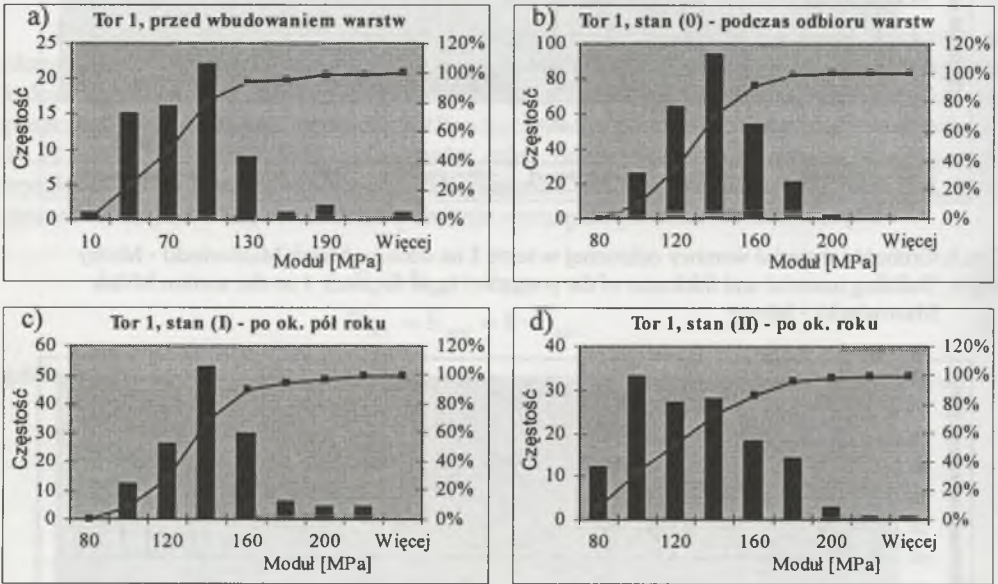
Rys. 2. Grubość i materiał warstwy ochronnej w torze 2 na odcinku Mińsk Mazowiecki - Mrozy  
Fig. 2. Building material and thickness of the protective layer for track 2 on the section Mińsk Mazowiecki – Mrozy



### 3. Pomierzone wartości modułów wtórnego odkształcenia

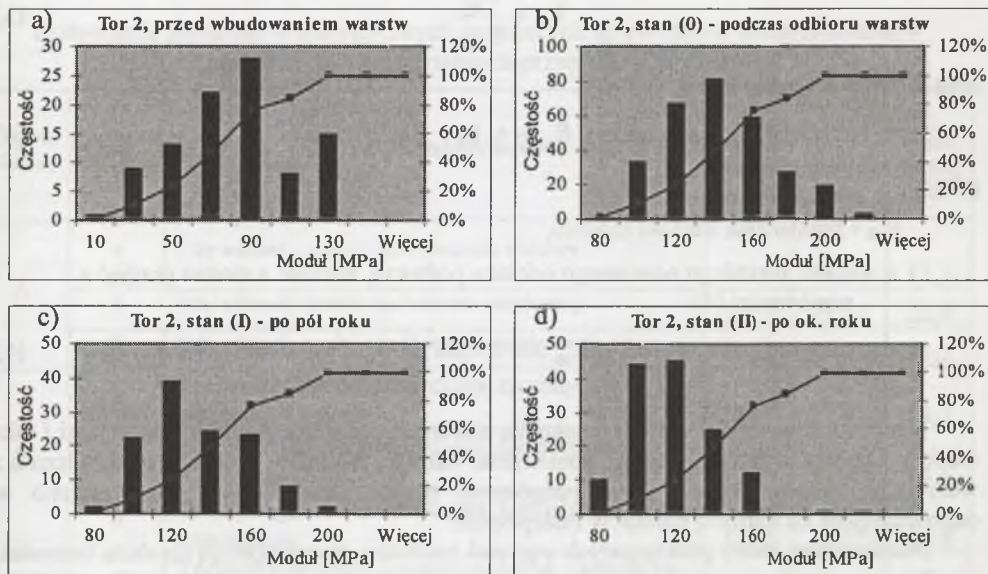
Stan początkowy (0) odkształcalności warstwy ochronnej i podtorza rejestrowany był pomiarami modułów przeprowadzonymi na kolejnych częściach odcinka linii w różnych porach roku, co wynikało z harmonogramu robót modernizacyjnych. Skutkiem zróżnicowanego kalendarza odbiorów robót były zróżnicowane terminy pomiarów modułów odkształcenia po kolejnych okresach eksploatacji podtorza dla poszczególnych części odcinka [4, 5] oraz wynikające stąd różne wpływy czynników klimatycznych, głównie temperatury podczas zimy. Z tych względów wyniki eksperymentu mają ograniczoną przydatność dla określenia wpływu czasu użytkowania i realizowanych w tym czasie przewozów na stan odkształcalności podtorza.

Wyniki pomiarów tworzą trzy główne zbiory wartości modułów wtórnego odkształcenia podtorza z warstwą ochronną: stan początkowy (0), stan (I) po pierwszym okresie (ok. półrocznym) użytkowania, stan (II) po drugim (ok. rocznym) okresie użytkowania torów. Charakteryzują one stany odkształcalności podtorza, które można porównywać ze stanem wymaganym określonym przez  $E_{proj}$  (2). Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci histogramów, oddzielnie dla toru 1 (rys.3) i toru 2 (rys.4). Stan odkształcalności podtorza przed modernizacją, to jest przed wbudowaniem warstw ochronnych, pomierzony na powierzchni podtorza przygotowanego do zbudowania warstwy ochronnej przedstawiony jest na rys.3a (tor 1) i na rys.4a (tor 2).



Rys.3. Histogramy i dystrybuanty pomierzonych w torze 1 modułów wtórnych podtorza

Fig.3. Histograms and cumulative distribution functions of modules of the secondary deformation of the subgrade for the track 1



Rys.4. Histogramy i dystrybuanty pomierzonych w torze 2 modułów wtórnych podtorza

Fig.4. Histograms and cumulative distribution functions of modules of the secondary deformation of the subgrade for the track 2

Z wykresów tych wynika, że ok. 70% pomierzonych na podtorzu modułów wykazało wartości mniejsze od wartości wymaganych ( $E_{proj}$ ) w przypadku toru 1, a w przypadku toru 2 – ok. 80%. Wyniki te uzasadniają celowość zastosowanej modernizacji dla powiększenia nośności podtorza.

Średni moduł wtórnego odkształcenia podtorza z pomiarów na nowym torowisku po zakończeniu przebudowy w torze 1 i 2 był większy od  $E_{proj}$  o ok. 20% (rys. 3b i 4b), a wartość odchylenia standardowego stanowiła ok. 15% wartości średniej modułu. Z postępującą eksploatacją (w zależności od przewozów, rodzaju gruntów w podtorzu, wpływu czynników atmosferycznych, odwodnienia) stan odkształcalności przebudowanego podtorza zmieniał się. Po drugim okresie eksploatacji nastąpiło zwiększenie odkształcalności podtorza w każdym z torów. W torze 1 (rys. 3d) średnia wartość modułu była większa o 12% od wartości wymaganej ( $E_{proj}$ ), a w torze 2 była mniejsza o 0,4% od  $E_{proj}$ . Zwiększeniu się odkształcalności towarzyszył wzrost wartości odchylenia standardowego pomierzonych wartości modułów, co można scharakteryzować współczynnikiem zmienności, który dla toru 1 wyniósł 32% a dla toru 2 – 21%. Oznacza to, że zwiększyła się niejednorodność podtorza.

#### 4. Zastępcze wartości modułów wtórnego odkształcenia i ich analiza

Z uwagi na to, że w dalszej analizie korzystano z ocen względnych, których podstawą była zmieniająca się na długości badanych odcinków wartość modułu projektowanego  $E_{proj} = E_{min}(2)$ , w celu uniezależnienia się od tych zmian przyjęto postępowanie [8], w którym dla poszczególnych wyników pomiarów oblicza się współczynniki  $k_E$  modułów:

$$k_E = \frac{E_{gz}}{E_{proj}} \quad (3)$$

oraz moduły zastępcze  $E_{gz}$  :

$$E_{gz} = a \cdot k_E, \quad (4)$$

gdzie:

$E_{gz}$  - pomierzona wartość modułu,

$a = \text{const}$  dla całego ocenianego odcinka podtorza; wartość  $a$  można przyjąć z nierówności (5):

$$E_{tab} \geq a \geq 0,8E_{tab} \quad (5)$$

Dla przypadku  $a=100$  wartość ta określa zależność procentową między modułami i taką wartość przyjęto w dalszej analizie. Pomierzone wartości modułów wtórnego odkształcenia z wszystkich etapów badań, z poszczególnych miejsc pomiarowych, przetworzono w odpowiadające im wartości modułów zastępczych.

Analizowane zbiory pomierzonych wartości modułów charakteryzują się dużą liczebnością wyników pomiarów i z tego względu dla ich rozpoznania, w celu opracowania wniosków uwzględniających właściwości fizyczne i technologiczne obiektu badań z uwzględnieniem warunków w podtorzu przed budową warstwy, w analizie zastosowano metody statystyczne, badając pełne zbiory główne i osobno wydzielone z nich podzbiory ściślej charakteryzujące badane właściwości obiektu. W ten sposób w odniesieniu do podtorza toru 1 oraz dla podtorza toru 2 analizowano osobno wartości modułów odkształcenia:

- **A** – całego odcinka dla stanu po zakończeniu przebudowy,
- **B** – części odcinka, na której warstwa ochronna budowana była maszynami do robót ziemnych,
- **C** – części odcinka, na której warstwa ochronna budowana była maszyną AHM,
- **D** – części odcinka, na których warstwa ochronna budowana była maszynami do robót ziemnych na podtorzu w dobrych warunkach gruntowo-wodnych (współczynnik redukcyjny (2)  $k = 0,8$ , a więc  $E=96$  MPa),
- **E** – części odcinka, na których warstwa ochronna budowana była maszynami do robót ziemnych na podtorzu w trudnych warunkach gruntowo-wodnych (współczynnik redukcyjny (2)  $k = 1,0$ , a więc  $E=120$  MPa).

W celu rozpoznania zmian odkształcalności podtorza w torze 1 i 2 podczas eksploatacji (w tym przypadku kolejne stany 0, I, II) obliczono i zestawiono w tabeli 1 i 2 podstawowe charakterystyki tych zbiorów w postaci wartości średnich, odchyłeń standardowych oraz współczynników zmienności, oddzielnie dla głównego zbioru wartości modułów zastępczych całego odcinka (**A**) oraz dla opisywanych poprzednio podzbiorów **B**, **C**, **D** i **E**.



Tabela 1

Zestawienie parametrów statystycznych opisujących sprowadzone wartości modułów podtorza dla rozpatrywanych przypadków w torze 1

Nazwa zbioru	Stan	Opis analizowanego wariantu	Parametr		
			wartość średnia modułu	odchyl. standardowe	współ. zmienności
A	0	Cały odcinek, moduły po wykonaniu warstwy	119,3	17,96	15,1
	I	Cały odcinek, moduły po I okresie eksploatacji	122,6	27,74	22,6
	II	Cały odcinek, moduły po II okresie eksploatacji	112,0	36,02	32,2
B	0	Technologia robót tradycyjna, moduły po wykonaniu warstwy	119,7	17,61	14,7
	I	Technologia robót tradycyjna, moduły po 10 miesiącach	128,0	31,37	24,5
	II	Technologia robót tradycyjna, moduły po 17 miesiącach	119,5	37,97	31,8
C	0	Technologia robót – maszyna AHM, moduły po wykonaniu warstwy	118,2	19,03	16,1
	I	Technologia robót - maszyna AHM, moduły po 7 miesiącach	110,8	9,87	8,9
	II	Technologia robót - maszyna AHM, moduły po 14 miesiącach	96,3	25,43	26,4
D	0	Technologia robót tradycyjna, moduły po wykonaniu warstwy, podłoże dobre ( $E_{proi}=96\text{MPa}$ )	124,1	18,84	15,2
	I	Technologia robót tradycyjna, moduły po 10 miesiącach, podłoże dobre ( $E_{proi}=96\text{MPa}$ )	137,2	34,42	25,1
	II	Technologia robót tradycyjna, moduły po 17 miesiącach, podłoże dobre ( $E_{proi}=96\text{MPa}$ )	133,1	35,70	26,8
E	0	Technologia robót tradycyjna, moduły po wykonaniu warstwy, podłoże słabe ( $E_{proi}=120\text{MPa}$ )	104,7	7,97	7,6
	I	Technologia robót tradycyjna, moduły po 10 miesiącach, podłoże słabe ( $E_{proi}=120\text{MPa}$ )	113,4	18,27	16,1
	II	Technologia robót tradycyjna, moduły po 17 miesiącach, podłoże słabe ( $E_{proi}=120\text{MPa}$ )	97,8	31,07	31,8

Tabela 2

Zestawienie parametrów statystycznych opisujących sprowadzone wartości modułów podtorza dla rozpatrywanych przypadków w torze 2

Nazwa zbioru	Stan	Opis analizowanego wariantu	Parametr		
			wartość średnia modułu	odchyl. standardowe	współ. zmienności
A	0	Cały odcinek, moduły po wykonaniu warstwy	121,1	18,96	15,7
	I	Cały odcinek, moduły po I okresie eksploatacji	112,4	16,65	14,8
	II	Cały odcinek, moduły po II okresie eksploatacji	99,6	21,35	21,4
B	0	Technologia robót tradycyjna, moduły po wykonaniu warstwy	118,7	17,06	14,4
	I	Technologia robót tradycyjna, moduły po 6 miesiącach	110,4	17,01	15,4
	II	Technologia robót tradycyjna, moduły po 12 miesiącach	103,6	19,53	18,9
C	0	Technologia robót – maszyna AHM, moduły po wykonaniu warstwy	126,1	21,71	17,2
	I	Technologia robót – maszyna AHM, moduły po 8 miesiącach	116,2	15,46	13,3
	II	Technologia robót – maszyna AHM, moduły po 14 miesiącach	91,6	22,57	24,6
D	0	Technologia robót tradycyjna, moduły po wykonaniu warstwy, podłoże dobre ( $E_{proj}=96\text{MPa}$ )	118,7	15,26	12,9
	I	Technologia robót tradycyjna, moduły po 6 miesiącach, podłoże dobre ( $E_{proj}=96\text{MPa}$ )	108,2	13,47	12,4
	II	Technologia robót tradycyjna, moduły po 12 miesiącach, podłoże dobre ( $E_{proj}=96\text{MPa}$ )	107,7	15,98	14,8
E	0	Technologia robót tradycyjna, moduły po wykonaniu warstwy, podłoże słabe ( $E_{proj}=120\text{MPa}$ )	104,7	6,28	6,0
	I	Technologia robót tradycyjna, moduły po 6 miesiącach, podłoże słabe ( $E_{proj}=120\text{MPa}$ )	114,5	21,93	19,2
	II	Technologia robót tradycyjna, moduły po 12 miesiącach, podłoże słabe ( $E_{proj}=120\text{MPa}$ )	98,5	22,35	22,7

Analiza tych charakterystyk, opisujących rozpatrywane zbiory zastępczych wartości modułów, pozwala ilościowo scharakteryzować zaobserwowane zmiany stanów odkształcalności. Z pomiarów przeprowadzonych po zakończeniu budowy warstwy ochronnej na całym odcinku (A) oraz w wyodrębnionych podzbiórach B, C i D wartości średnie pomierzonych modułów były o ok. 20% większe od wartości wymaganych. Jedyne w przypadku podzbioru E można stwierdzić największe „dopasowanie” do wartości wymaganych, ponieważ średni moduł pomierzony był większy od wymaganej wartości tylko o 5%. Pozwala to sądzić, że na etapie projektowania nie uwzględniono tu żadnego zapasu nośności w stosunku do nośności wymaganej ( $E=120\text{ MPa}$ ).



Pod wpływem eksploatacji i czynników klimatycznych średni stan odkształcalności podtorza zmienił się niekorzystnie, jednak pozostał większy lub równy stanowi wymaganemu. Największe zmiany można zaobserwować na odcinkach toru o „słabym podtorzu” (podzbiór E), gdzie pod działaniem czynników eksploatacyjnych, po drugim okresie kontrolnym, średni moduł odkształcenia na torowisku obu torów zmniejszył się do 98% wartości wymaganej. Jeszcze mniej korzystnie zmieniały się stany odkształcalności podtorza z warstwą ochronną wbudowaną maszyną AHM (podzbiór C). Po zakończeniu budowy (stan 0) średnie wartości pomierzonych modułów były większe o 18% (tor 1) i o 26% (tor 2) od wartości wymaganej, a w ostatnim pomiarze wykazały odpowiednio 96% i 92% wartości wymaganej. Największą stałość wartości modułów wykazywało podtorze przebudowane sposobem tradycyjnym (podzbiór D), gdy podtorze przed modernizacją wykazywało cechy podtorza dobrego – pod torem 1 przyrost nośności (od 124% do 133% wymaganego modułu), a pod torem 2 jej zmniejszenie (z 118% do 108% wymaganego modułu).

Stwierdzona podczas drugiej serii pomiarów większa odkształcalność warstwy ochronnej z niesortu (wbudowanej maszyną AHM) w stosunku do odkształcalności warstwy ochronnej z pospółki i kłińca (wbudowanej metodą tradycyjną) spowodowana została głównie rodzajem użytego materiału, a nie różnymi rodzajami technologii robót. Bepośrednią przyczyną zaś tych różnic były najprawdopodobniej warunki pogodowe podczas badań modułów, gdyż były one prowadzone w czasie intensywnych opadów deszczu, co spowodowało duże zawilgocenie wodą opadową odkrytej warstwy niesortu. Można założyć, że niesort kamienny zawierający części pylaste jest „wrażliwy” na zawilgocenie w większym stopniu niż pozostałe materiały, czyli pospółka, żwir lub kliniec.

Analizując szczegółowo wyniki badań można zauważyć, że małe wartości modułów odkształcenia podczas kolejnych pomiarów stwierdzono w miejscach o największej grubości warstwy ochronnej, czyli na słabym podtorzu, co oznacza dużą odkształcalność układu warstwa ochronna – podtorze. Tak było zarówno w przypadku warstwy ochronnej z niesortu wykonanej maszyną AHM, jak i w przypadkach warstwy budowanej metodą klasyczną, z zastosowaniem stabilizacji gruntów podtorza i geokompozytów, w miejscach słabego podtorza, to jest w tych miejscach, gdzie warstwa posiadała znaczną grubość. Można przypuszczać, że w takich warunkach stwierdzone pogorszenie nośności podtorza po zawilgoceniu jest spowodowane: warunkami gruntowymi pod warstwą ochronną, przecenieniem wzmacniającej funkcji geokompozytów (przyjmuje się 40% redukcję grubości warstwy), wykonywaniem badań kontrolnych na ławie torowiska, gdzie geosiatka znajduje gorsze warunki współpracy z materiałem warstwy niż w części podszynowej konstrukcji warstwy oraz sposobem wbudowania geosiatki, która umieszczana jest tylko pod podsypką (pod tłuczniem) i nie sięga ławy torowiska.

## 5. Uwagi końcowe

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że stan odkształcalności podtorza zmienia się podczas eksploatacji drogi i zależy od właściwości gruntów podtorza (zmieniających się pod wpływem czynników atmosferycznych), od warunków gruntowowodnych przed modernizacją i od zastosowanej technologii robót przebudowy. Pomierzone wartości modułów potwierdzają stan odkształcalności wystarczający do zachowania warunków niezawodności podtorza i nawierzchni.

Największą stałość odkształcalności wykazało dobre podtorze z warstwą ochronną wbudowaną sposobem tradycyjnym – maszynami do robót ziemnych, ze względu na posiadany zapas nośności wynikający z warunków technologicznych budowy warstw. Podtorze ocenione przed modernizacją jako pozostające w trudnych warunkach gruntowo-

wodnych wykazało większe zmiany stanów odkształcalności, przy czym zaobserwowane zwiększenie odkształcalności spełniało jeszcze wartości wymagane.

Z analizy stwierdzonych stanów odkształcalności wynika istotne znaczenie zapasu nośności, jaki należałoby uwzględnić w projektowaniu grubości warstwy ochronnej na podtorzu w trudnych warunkach gruntowo-wodnych, jeśli badania przedprojektowe wykonane są bez studiowania możliwych zmian stanów gruntów w podtorzu.

## Literatura

1. Instrukcja o utrzymaniu podtorza kolejowego D-4. Dyrekcja Generalna PKP, Warszawa 1993
2. Porębski R.: Projektowanie wzmocnień podtorza z uwzględnieniem jego niejednorodności. Materiały IX Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Drogi Kolejowe”, Kraków 1997
3. Porębski R.: Wyznaczanie parametrów geotechnicznych gruntów dla przebudowy i wzmocniania podtorzy. Materiały IX Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Drogi Kolejowe”, Kraków 1997
4. Raporty z badań odbiorczych i badań kontrolnych podtorza linii E-20 na odcinku Mińsk Mazowiecki - Mienia (km 41,900 – 48,700). „DROGOWIEC”, Poznań 2002 – 2004
5. Raporty z badań odbiorczych i badań kontrolnych podtorza linii E-20 na odcinku Mienia – Mrozy (km 48,700 – 56,400). Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Laboratorium Geotechniki, Warszawa 2002 – 2004
6. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz. U. RP nr 151 z 15 grudnia 1998 r. poz. 987
7. Siewczyński Ł.: Analiza współpracy płyty VSS z podtorzem gruntowym. Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy modernizacji i naprawy podtorza kolejowego” Wrocław-Żmigród 2000r., str. 111-115
8. Siewczyński Ł.: Określenie modułów odkształcalności podtorza w procesie modernizacji. Materiały XI Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej “Drogi Kolejowe ‘01” Wrocław 21-23 listopada 2001
9. Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji linii kolejowej E-20 Kunowice-Poznań-Warszawa-Terespol. Dyrekcja Generalna PKP, Warszawa 1993