

MOŻLIWOŚCI WZMACNIANIA PODTORZA W WARUNKACH INTEROPERACYJNOŚCI KOLEI

Krzysztof Gradkowski

Dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów, Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, e-mail: k.gradkowski@il.pw.edu.pl, tel. 601 306 899

Streszczenie. *Unifikacja techniczna interoperacyjności dróg szynowych oraz przystosowania podstawowych linii kolejowych do standardowo większych prędkości pociągów zawarte w aktualnie obowiązujących przepisach wymaga analiz możliwych rozwiązań technicznych w zakresie konstrukcji podtorza. Szczegółowe ustalenia zawarte w aktualnie obowiązujących warunkach technicznych budowy podtorza, w tym górnych warstw podtorza dla przedziałów prędkości pociągów $80 < v_{max} \leq 250$ odpowiadającym poszczególnym typom linii i natężenia przewozów mogą być uzupełnione w celu uzyskania odpowiednich zastosowań praktycznych. Możliwości zastosowania różnych rodzajów materiałów geosyntetycznych kreują warianty układów wielowarstwowych w podłożach ruszty torowego i re-profilowanych budowlach ziemnych. W artykule zawarte są wyniki dotychczasowych analiz odnośnie rodzajów materiałów geosyntetycznych, ilości oraz ich sposobów lokowania w przekrojach gruntowych warstw nośnych. Wnioski artykułu obejmują wskazania budowy struktur wielowarstwowych układów górnych warstw podtorza, które mogą być przydatne projektantom budowy oraz modernizacji poszczególnych linii kolejowych.*

Słowa kluczowe: *grunt zbrojony, geosyntetyki, podtorze*

1. Wprowadzenie

Przygotowanie do międzynarodowej operacyjności kolei krajowych wymaga unifikacji technicznej kilku elementów systemu z pozostałymi sieciami europejskiego transportu kolejowego. Sprostanie wymaganiom przystosowania podstawowych linii kolejowych do większych prędkości pociągów jest jednym z elementów ujętych w standardach interoperacyjności tak pojętej unifikacji. W pewnej części odnosi się to także do podstawowych wymagań wytrzymałości i trwałości podtorza rozumianego jako budowla ziemna. Aktualnie obowiązujące zasady konstrukcji i budowy podtorza dróg szynowych w kraju zawarte są w instrukcji PKP PLK SA jako warunki techniczne utrzymania Id-3 [6]. Ze względu na zakres obowiązywania jest to akt normy powszechnej, którą należy stosować przy projektowaniu budowy nowych i modernizacji istniejących linii kolejowych.

Instrukcja [6] obejmuje szczegółowe ustalenia odnośnie warunków technicznych budowy podtorza, w tym górnych warstw podtorza dla przedziałów prędkości pociągów $80 < v_{max} \leq 250$ km/godz. odpowiadającym poszczególnym typom linii i natężenia przewozów. Opracowano również w Instytucie Kolejnictwa aktu-

alne wymagania dla podtorza zawarte w standardach technicznych interoperacyjności [5]. W niniejszym opracowaniu przyjęto pierwszą ich wersję jako podstawę do dalszej analizy.

Opracowane standardy interoperacyjności jako szczegółowe warunki techniczne modernizacji lub budowy nowych linii kolejowych, odpowiadające TSI wskazanym przez dyrektywy Unii Europejskiej [5], uwzględniają również wymagania co do konstrukcji podtorza. W krajowej sieci linii kolejowych, aktualnie istnieje zaledwie kilka odcinków linii dróg szynowych spełniających wszystkie warunki techniczne technicznych standardów interoperacyjności.

W ogólnych zasadach budowy i konstrukcji linii kolejowej należy zwrócić uwagę na pewne znane już od wielu lat różnice w terminologii i określeniach poszczególnych części przekroju drogi szynowej stosowane na kolejach Unii Europejskiej. Najbardziej zbliżoną do krajowej terminologię w ostatnim czasie stosują koleje austriackie [2]. Fakt ten, powoduje również określone podejście w formułowaniu wymagań konstrukcyjnych poszczególnych części drogi szynowej ujętych w opracowanych standardach [5] i w relacji obowiązujących przepisów Id-3 [6], gdzie zagadnienia gruntowe podtorza są całkowicie oddzielone od zagadnień nawierzchni i innych elementów infrastrukturalnych dróg szynowych. Dla pełniejszego określenia możliwości wypełnienia wymagań opracowanych standardów w zakresie interoperacyjności podtorza można przytoczyć ich podstawowe punkty jako cytaty:

10.4. Wytrzymałość, trwałość i jednorodność podłoża

1. *Podtorze należy projektować przy założeniu trwałości równej 100 lat, przy czym jeśli podtorze ma spełniać funkcje wymagające trwałości większej, np. funkcje hydrotechniczne, to należy to uwzględnić.*
2. *Współczynniki pewności F dotyczący stateczności podtorza i jego elementów określone na podstawie właściwości gruntów powinny wynosić co najmniej:*
 - a) 2,0 - dla podtorza nowobudowanego i dobudowywanego,
 - b) 1,5 - w eksploatacji.
3. *Prognoza osiadań budowanego lub dobudowywanego podtorza powinna obejmować wartości osiadań w eksploatacji oraz ocenę możliwości usuwania skutków tych osiadań poprzez regulację położenia toru (ocena wg PN-03020:1981 {x}).
Jeśli nie określono innych wymagań, dopuszczalne różnice osiadań torowiska należy przyjmować równe 4 mm/rok na długości 30 m lub 10 mm/rok na długości 200 m. Jeśli przyjęte wymagania nie mogą być spełnione, należy zastosować odpowiednie wzmocnienie podtorza lub podłoża.*
4. *Moduły odkształceń podtorza nie powinny być mniejsze niż:*
 - a) 45 MPa - w przypadku gruntów spoistych,
 - b) 60 MPa - w przypadku gruntów piaszczystych i żwirowych.
5. *Zagęszczenie gruntów podtorza powinno spełniać wymagania podane w warunkach technicznych {x}.*
6. *W celu zmniejszenia różnic osiadań torowiska i zapewnienia stopniowej zmiany sztywności podtorza, przy obiektach inżynierskich należy stosować odcinki przejściowe; wymaganie to dotyczy:*
 - a) podtorza nowobudowanego dla prędkości większych od 120 km/h,

- b) podtorza modernizowanego, dostosowywanego do prędkości większych od 160 km/h.

10.5. Górna część podtorza

1. Górna część podtorza, na której jest ułożona nawierzchnia, należy projektować przy założeniu jej trwałości równej 20 - 50 lat, zależnie od parametrów eksploatacyjnych linii.
2. Górna część podtorza powinna spełniać następujące wymagania:
 - a) minimalne moduły odkształceń podtorza E_0 mierzone na torowisku nie powinny być mniejsze od podanych (przypis wł.) od 80(40) do 120 (80) MPa w zależności od typu linii P250, P200, M200, P160, M160, P120, M120, T120, P80, M80, T80, T40, prędkości i natężenia przewozów {Tg/rok}. Dostosowując podtorza do prędkości nie przekraczających 160 km/h przyjmuje się wartości modułów jak dla podtorza nowo budowanego i traktuje się je jako projektowe (obliczeniowe). Wartości modułów w nawiasach są wartościami wymaganymi dla podtorza linii eksploatowanych; wartości te należy stosować przy ocenie potrzeby wzmocnienia torowisk oraz projektowaniu ich napraw.
 - b) w górnych warstwach podtorza nie mogą wystąpić naprężenia większe od dopuszczalnych dla znajdujących się tam gruntów i innych materiałów - wymaganie to należy sprawdzać, gdy:
 - 1) występują złe lub skomplikowane warunki wodno-gruntowe,
 - 2) ponad 5% przewozów dokonywanych jest z naciskami osi taboru większymi od 221 kN (22,5 t).Jeśli dopuszczalne naprężenia dla gruntów są przekroczone, to przyjmuje się pośrednie grubości pokryć ochronnych torowisk; nie większe od określonych na podstawie naprężeń i nie mniejsze od wynikających z modułów odkształceń.
 - c) grunty górnych warstw podtorza powinny być:
 - 1) łatwo zagęszczalne i odporne na rozgęszczanie w eksploatacji ... (przypis wł.) wskaźnik różnoziarnistości U od 1 do 5, a wskaźnik wygięcia krzywej uziarnienia gruntu C powinien zawierać się od 1 do ≥ 7 .

Zatem w pewnym ogólnym przybliżeniu można przyjąć, że podstawowym wymaganiem jakości podtorza jest stan jego górnych warstw, a podstawowym kryterium jakości jest odpowiednia wartość modułu odkształcenia mierzonego na powierzchni tej warstwy. Występuje niemal całkowita zbieżność z ustaleniami zawartymi zarówno w standardach [5] jak i w instrukcji [6] w obu normatywach z niewielkimi różnicami dotyczącymi stopnia szczegółowości regulacji technicznych i np. zakładanej trwałości podtorza 50 lat i 100 lat oraz trwałości górnych części podłoża.

Warunki techniczne wymienione w omówionych standardach warunków technicznych interoperacyjności dla podtorza nie mogą być wykonane bez pełnego uwzględnienia postanowień Id-3. Szybka weryfikacja praktyczna ustaleń zawartych w instrukcji jak i w standardach jest bardzo trudna lub wręcz nieosiągalna, zwłaszcza dla parametrów zmiennych i rozłożonych w czasie, np. żywotność. Nie

istnieją też sposoby analitycznego określania tych parametrów. Dlatego też, dla zapewnienia stabilizacji w czasie ustanowionych współczynników pewności i trwałości konstrukcji podtorza należy stosować i wykorzystywać możliwości współczesnych wyników badań i doświadczeń w zakresie mechaniki gruntów i pokrewnych dziedzinach techniki.

3. Wzmocnienia podtorza geosyntetykami

Ważne sposoby zastosowania geosyntetyków w znaczeniu geotekstylii i geosiatek były wielokrotnie referowane w wielu opracowaniach. Geotekstylii są rekomendowane między innymi w pracach [1, 3, 4], a ich pełne zastosowanie techniczne w różnych konstrukcjach budowy gruntowych jest praktykowane od kilkudziesięciu lat. Specyfikacje opracowanych przykładów w [4] umożliwiają projektowanie bardzo wielu budowli z zastosowaniem geosyntetyków za wyjątkiem podłoży dróg lądowych. Separacyjne i filtracyjne właściwości materiałów geosyntetycznych o dobieranych parametrach jakości, zastosowanych w budowlach ziemnych nie ulegają wątpliwości. Ogólny stan wiedzy w zakresie aplikacji materiałów geosyntetycznych pozwala zwrócić uwagę na niezwykle istotną funkcję geosyntetyków w strukturze ośrodka gruntowego jako zbrojenia i wzmocnienia gruntów w poziomych płaszczyznach (planarnych) układów warstwowych. Mniejsze osiadania uwarstwionej geosyntetykiem warstwy gruntu i mniejsza podatność przy tym samym nacisku jest podstawowym argumentem stosowania geotekstylii jako warstwy zbrojącej.

Podstawowymi uwagami odnoszącymi się do zasad wzmocniania i zbrojenia warstw gruntowych są następujące zasady;

1. Wzmocnienie i zbrojenie warstwą geotekstylii obejmuje warstwę gruntów tylko o pewnej grubości, której wymiar wynosi nie więcej niż 15 cm i zależy od gramatury [masa jednostkowa w g/m^2].
2. Efekt zbrojenia i wzmocnienia warstwy gruntowej jest bardziej znaczący przy zbrojeniu płaskim (planarnym) oraz przy dwóch lub trzech warstwach geotekstylii.
3. Istotnym czynnikiem wpływającym na wzmocnienie zbrojonej warstwy gruntu mają siły „szczepności” w warstwie gruntu, na które składają się między innymi kontaktowe siły tarcia. Podwyższona nośność warstw gruntowych wyposażonych we wkładki geosyntetyków jest wynikiem oporu tarcia gruntu i geotekstyliów według zależności:

$$T_h = 2f\sigma_v l = 2tg\mu \cdot \sigma_v \cdot l \quad (1)$$

gdzie:

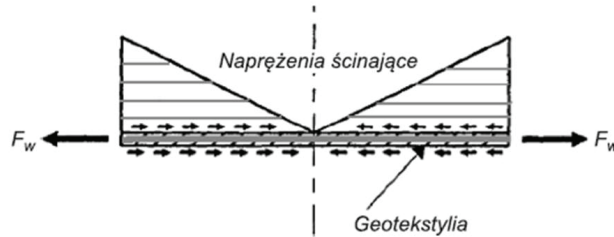
T_h – pozioma siła oporu tarcia geotekstyliów [kN/m],

$f = tg\mu$ – współczynnik tarcia,

μ – kąt tarcia pomiędzy gruntem a geotekstyliami,

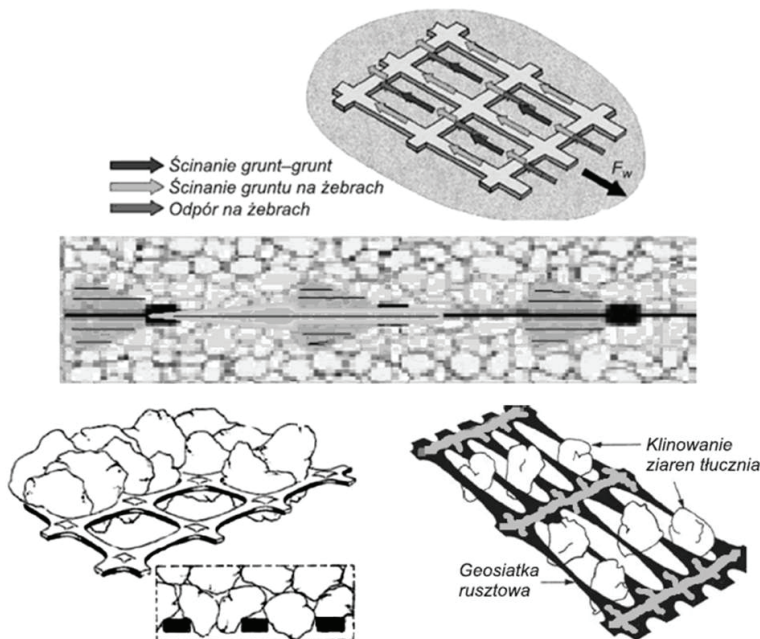
σ_v – naprężenie pionowe na poziomie wkładki geotekstylnej [kN/m²],
 l – długość obciążenia wkładki geotekstyliów [m].

4. Kontaktowe siły tarcia geotekstyliów i ośrodka gruntowego, w miejscach zwiększonych nacisków pionowych mogą stanowić również strefę zakotwienia warstwy geotekstylnej w gruncie. W pewnym granicznym przypadku nacisku siłą skupioną lub przybliżoną do skupionej uzyskujemy dwustronną mobilizację sił tarcia przy czynnych siłach F_w , (rys. 1).



Rys. 1. Zarys zmobilizowanych sił tarcia przy „wyciąganiu” warstwy geotekstylnej

5. W przypadku geotekstylii stanowiących siatki, siły tarcia powiększone są o opór ścinania gruntu oraz międzyoczkowego „klinowania się” ziaren gruntu (rys. 2). Opór ścinania jest tym większy, im różnoziarnistość gruntu U jest wyższa. Największe siły oporu na przemieszczenie występują w tłuczniu podspypkowym przy odpowiednio dobranych geosiatkach.

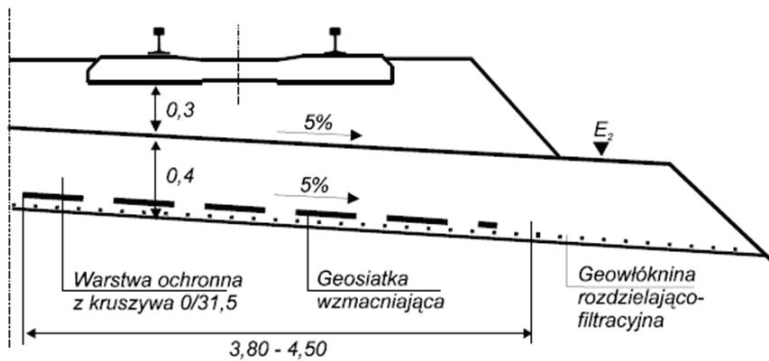


Rys. 2. Opór zakotwienia geosiatek w gruncie i mechanizm klinowania się ziaren tłucznia

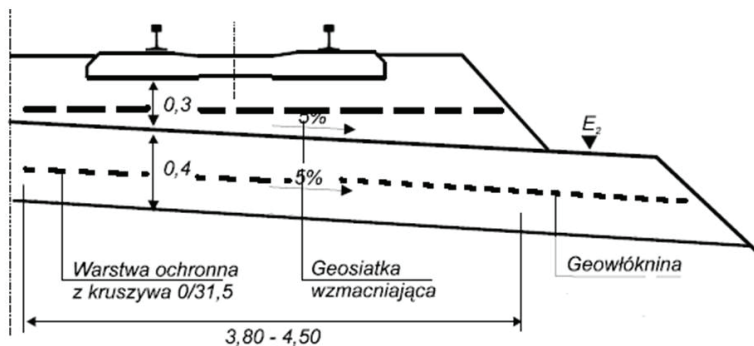
Należy oczekiwać, że przy zastosowaniu geosyntetyków do wzmocnienia i zbrojenia gruntów uzyskać można jednocześnie wypełnienia wszystkich wymagań standardów jakości i trwałości nie tylko górnych warstw podtorza, ale również całego systemu budowy, szerzej rozumianego podłoża podkładów. Miarodajne sprawdzenie tej tezy można określić głównie doświadczalnie w skali technicznej.

Postulat modyfikacji ułożenia geotekstylii wewnątrz warstwy ochronnej można uzupełnić o propozycję zastosowania recyklingowych geofibrów. Zakres stosowania i określenie właściwości fibrogruntów tego rodzaju geofibrów jako formy „doziarnienia” gruntu zawarte są w pracy [3]. Zastosowanie geofibrów do ulepszenia gruntów warstwy ochronnej może w zdecydowany sposób wpłynąć na uzyskanie wymaganych standardami interoperacyjności poziomów uziarnienia U i C oraz pewnej redukcji kosztu budowy warstwy ochronnej.

Podany w instrukcji Id-3 przykład wzmocnienia torowiska, cytowany na rysunku 3 prezentuje nieco ograniczony sposób wzmocnienia warstwy gruntów torowiska. Układanie geosyntetyków na „granicy” warstw stwarza jedynie warunki oddzielenia materiału gruntowego o różnych własnościach i odpowiedniego przepływu infiltrującej wody. Pełne wykorzystanie właściwości materiałów geosyntetycznych uzyskamy poprzez zmiany lokalizacji ułożenia tych samych warstw geotekstylii w przekroju drogi szynowej według przykładu podanego na rysunku 4.

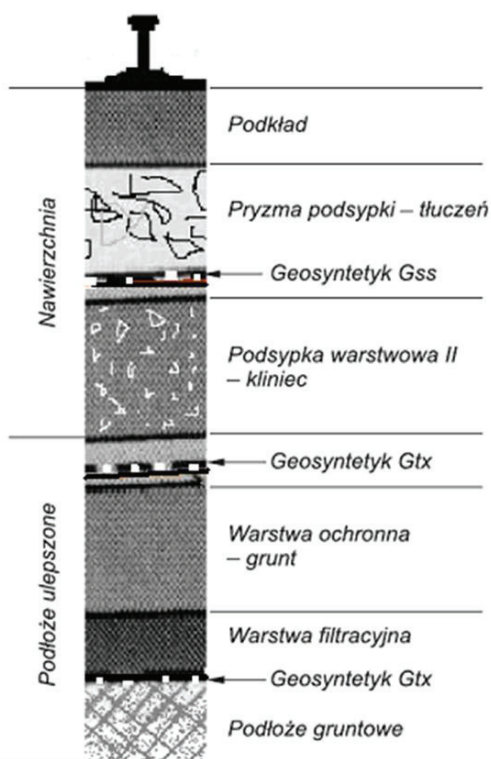


Rys. 3. Wzmocnienie torowiska z użyciem materiałów geotekstylnych – przykład według [6]



Rys. 4. Propozycja przykładowa wzmocnienia układu podłoża podkładów z użyciem materiałów geotekstylnych

Proponowany układ lokalizacji poszczególnych warstw geotekstylnych według rysunku 4 w znacznym stopniu przybliża do sprawdzonych i eksploatowanych systemów konstrukcji podłoża podkładów stosowanych na kolejach szwajcarskich i niemieckich (rys. 5), które podawane są także w pracy [1]. Wielowarstwowy układ podłoża podkładów jest sprawdzonym systemem konstrukcyjnym dla typów linii kolejowych wyższych prędkości i może korespondować z wymaganiami zawartymi w technicznych standardach interoperacyjności [5].



Rys. 5. Układ podłoża podkładów dróg szynowych kolei europejskich dużych prędkości

Opracowane standardy interoperacyjności technicznej [5] w dziale dotyczącym przyzmy podsypki, nie przewidują warstwy geosiatki ani nie przewidują podsypki wielowarstwowych tak, jak to ma miejsce na rysunku 5 i określają jedynie stałą grubość warstw podsypki od 25 do 35 cm. Nie ulega wątpliwości, że sposób uwarstwienia podsypki w istotny sposób zawiera korzystniejszą redystrybucję sił wewnętrznych w podłożu podkładów, a co za tym idzie także w gruntowej warstwie ochronnej podtorza. Zastosowanie warstwy geosiatki w przyzmy podsypki w pewnym stopniu „odciąża” gruntową warstwę ochronną podtorza. Korzystniej mogą też wyglądać zakresy osiadań toru i równomierności (różnice) tych osiadań. Ponadto takie przewarstwienie tłucznia wpływa na znacznie lepszą wibroizolacyjność przyzmy podsypki.

4. Wnioski

Ustalenie kompatybilnych warunków technicznych budowy podtorza kolejowego dla wyższych prędkości pociągów wymaga także wskazania możliwości uzyskania odpowiedniej wytrzymałości i trwałości, również w odniesieniu górnych warstw podtorza. Przedłożone propozycje ułożenia warstw geotekstylnych nie zmieniają literalnie wymagań zawartych w instrukcji Id-3 i sprowadzają się do ogólnych zaleceń, które mogą i powinny być stosowane przez projektantów budowy lub modernizacji poszczególnych odcinków linii kolejowych. Ogólnie zalecenia te sprowadzają się do następujących stwierdzeń;

- Przewidywane obecnie przepisami Id-3 systemy konstrukcji warstwy ochronnej powinny być wzbogacone o wskazania możliwości zastosowania geosyntetyków do wzmocnienia i zbrojenia tej warstwy gruntów.
- Dopuszczane i zalecane aktualnie sposoby zastosowania geosyntetyków różnych rodzajów nie stanowią sposobów wzmocnienia warstw gruntów podtorza, a w znacznej mierze sprawują jedynie funkcje separacyjne (ochronne) i filtracyjne powierzchni torowiska.
- Należy rozważyć, w jaki sposób projektować i budować nowe podtorza, których odkształcalność mierzona odpowiednim modułem E_0 nie jest znana przed realizacją i może być jedynie zakładana (projektowana).

Obecnie stosowna instrukcja Id-3 przewiduje skuteczne projektowanie odpowiedniej grubości warstwy ochronnej na podstawie pomierzonych modułów odkształceń dla torowisk istniejących i jest szczególnie przydatna w warunkach tzw. re-profilacji budowli ziemnej stanowiącej podtorze. Powyższe wskazania stosowalności materiałów geosyntetycznych nie zmieniają obowiązujących przepisów Id-3.

Bibliografia

- [1] Ajdukiewicz J., Kłosek K., Kryteria doboru oraz weryfikacja skuteczności stosowania geosyntetyków w podtorzu. Materiały konferencji Drogi Kolejowe 2001, Wrocław, listopad 2001, www.fibetex.pl/Pub/0031.pdf.
- [2] Begriffsbestimmungen. Dinstbehelf. DB 740 Teil 0. ÖBB Infrastruktur, Ausgabe 2011.
- [3] Gradkowski K., Badania gruntowych podłoży nawierzchni zbrojonych geosyntetykami. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, z. 156, Warszawa 2013.
- [4] Recommendations for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements - EBGEO. Wydawnictwo Ernst & Sohn, 2011.
- [5] Standardy Techniczne. Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego)/ 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem). Tom I. Droga szynowa. Wersja 1.1.PKP PLK SA. W-wa 2010.
- [6] Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3, PKP PLK SA, 2009.

KONCEPCJA SYSTEMU OCENY STANU TECHNICZNEGO PRZEJAZDÓW TRAMWAJOWYCH¹

Sławomir Grulkowski

Dr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego; ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; tel.: 58 348 60 89, e-mail: slawi@pg.gda.pl

Jerzy Zariczny

Mgr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego; ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; tel.: 58 348 60 89, e-mail: jerzarcic@pg.gda.pl

Streszczenie. Przejazdy tramwajowe stanowią kluczowy element infrastruktury transportu miejskiego. Ich stan techniczny wpływa zarówno na bezpieczeństwo użytkowników linii tramwajowych jak i dróg kołowych. W artykule przedstawiono koncepcję oceny stanu technicznego przejazdów bazującą na doświadczeniach z gdańskiej sieci tramwajowej. Podano jej kryteria, zestawiono występujące wady i uszkodzenia oraz dokonano takiej oceny wraz z analizą przyczynowo – skutkową.

Słowa kluczowe: nawierzchnia tramwajowa, diagnostyka toru tramwajowego, przejazdy tramwajowe

1. Wstęp

W 2012 roku zinwentaryzowano wszystkie przejazdy na gdańskiej sieci tramwajowej. W celu oceny ich stanu technicznego przyjęto jednolite kryteria kwalifikacji dla poszczególnych typów przejazdów. Umożliwiło to sklasyfikowanie wykrytych wad i uszkodzeń. Z uwagi na dużą liczbę analizowanych przypadków podjęto próbę ustalenia przyczyn ich powstawania oraz zaproponowano rozwiązania mające na celu zapobieganie im. W oparciu o te elementy opracowano koncepcję systemu oceny stanu technicznego przejazdów tramwajowych.

Gdańska sieć tramwajowa ma długość 52,2 km, przy czym sumaryczna długość toru pojedynczego wynosi 100,2 km. Jest ona podzielona na 28 węzłów torowych oraz 34 odcinki międzywęzłowe. Tory tramwajowe w ponad 85% są wydzielone z jezdni. Wyjątek stanowią linie w dzielnicach Nowy Port, Przeróbka i Stogi oraz na ulicy Mickiewicza, fragmencie Alei Hallera między węzłami torowymi Opera Bałtycka i Hallera Kliniczna oraz w ciągu ulicy Pomorskiej pod wiaduktem kolejowym. Wszystkie trasy tramwajowe poza pętlami ulicznymi w dzielnicach Brzeźno i Nowy Port są dwutorowe.

¹ Wkład autorów w publikację: Grulkowski S. 50%, Zariczny J. 50%

Wyłączając odcinki specjalne (np. obiekty inżynierskie) konstrukcję toru stanowi nawierzchnia podsypkowa, składająca się z szyn rowkowych typu 60R1 (Ri60) lub 180S albo szyn kolejowych typu 49E1 (S49) przytwierdzonych przytwierdzeniami typu K, Skl – 12 lub SB do podkładów drewnianych, betonowych lub stru-nobetonowych.

Stosunkowo duży odsetek linii wydzielonych z jezdni przekłada się na dużą liczbę przejazdów tramwajowych. Pomijając przejścia dla pieszych i rowerzystów na gdańskiej sieci tramwajowej zlokalizowane są 223 przejazdy o całkowitej długości 2942,97 m. Są one wykonane w czterech podstawowych technologiach nawierzchni (tab. 1.):

- z wulkanizowanych mieszanek gumowych (STRAIL),
- bitumicznej z asfaltu lanego (ASF),
- z prefabrykowanych płyt żelbetowych (EPT),
- z kostki wibroprasowanej (BRUK).

Tabela 1. Zestawienie ilościowe i procentowe przejazdów tramwajowych

Lp.	Technologia nawierzchni	Ilość [szt.]	Sumaryczna długość [m]	Udział procentowy w całkowitej długości [%]
1	STRAIL	114	1403,05	47,67
2	ASF	79	1223,14	41,56
3	EPT	13	141,41	4,81
4	BRUK	17	175,37	5,96
Razem		223	2942,97	100,00

2. Kryteria oceny stanu technicznego

Dla każdego z czterech podstawowych typów przejazdów tramwajowych przyjęto skalę ocen od 1 do 5 (tab. 2). Ocena 1 oznacza bardzo zły stan techniczny, który z uwagi na zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkowników powinien skutkować natychmiastową naprawą główną lub zabudową nowego przejazdu. Natomiast ocenę 5 przyznano przejazdom o bardzo dobrym stanie technicznym. Należy przy tym pamiętać, że każdy typ przejazdu ma indywidualne kryteria kwalifikacji, które wpływają w odmienny sposób na ocenę jego stanu technicznego.

Tabela 2. Kryteria oceny stanu technicznego przejazdów tramwajowych

Ocena	Kryteria kwalifikacji
<i>Przejazd z wulkanizowanych mieszanek gumowych (STRAIL)</i>	
5	Brak uszkodzeń. Dopuszczalne płytkie rysy na powierzchni płyt. Drobne zanieczyszczenia.
4	Zapadnięcia płyt w nowowybudowanym przejeździe. Rozsunięcia płyt do 15 mm. Zapiaszczenie i duże zanieczyszczenie.
3	Niewielkie wykruszenia na powierzchni płyt. Rozsunięcia płyt ponad 15 mm.
2	Pojedyncze wypiętrzenia i zapadnięcia płyt. Klawiszowanie płyt. Rozsunięcia płyt znacznie ponad 15 mm.
1	Liczne wypiętrzenia i zapadnięcia płyt. Deformacje płyt. Duże wykruszenia i głębokie rysy na powierzchni płyt.

<i>Przejazd bitumiczny z asfaltu lanego (ASF)</i>	
5	Brak uszkodzeń. Dopuszczalne niewielkie, punktowe wypływy mas uszczelniających. Drobne zanieczyszczenia.
4	Wypiętrzenia nawierzchni i mas uszczelniających do 2 cm powyżej główki szyny. Płytkie zapadnięcia nawierzchni. Zapiaszczenie i duże zanieczyszczenie.
3	Pojedyncze zapadnięcia nawierzchni wraz z ubytkami. Rozproszona siatka spękań nawierzchni.
2	Liczne ubytki i spękania nawierzchni. Głębokie zapadnięcia nawierzchni. Wypiętrzenia nawierzchni i mas uszczelniających ponad 2 cm powyżej główki szyny.
1	Duże ubytki nawierzchni. Gęsta siatka spękań nawierzchni. Bardzo głębokie zapadnięcia nawierzchni. Wypiętrzenia nawierzchni znacznie ponad 2 cm powyżej główki szyny. Brak mas uszczelniających. Pęknięte szyny wraz z wychłapami.
<i>Przejazd z prefabrykowanych płyt żelbetowych (EPT)</i>	
5	Brak uszkodzeń. Drobne zanieczyszczenia.
4	Niewielkie wykruszenia na powierzchni płyt. Zapiaszczenie i duże zanieczyszczenie.
3	Liczne wykruszenia na powierzchni pojedynczych płyt. Odsłonięte zbrojenie płyt na długości do 15 cm.
2	Duże wykruszenia na powierzchni większości płyt. Odsłonięte zbrojenie płyt na długości do 15 cm.
1	Bardzo duże wykruszenia na powierzchni płyt. Odsłonięte zbrojenie płyt na długości ponad 15 cm.
<i>Przejazd z kostki wibroprasowanej (BRUK)</i>	
5	Brak uszkodzeń. Drobne zanieczyszczenia.
4	Niewielkie zarysowania kostki kołami taboru tramwajowego. Zapiaszczenie i duże zanieczyszczenie.
3	Duże zarysowania kostki kołami taboru tramwajowego. Pojedyncze zapadnięcia kostki. Pojedyncze ubytki kostki.
2	Bardzo duże zarysowania kostki kołami taboru tramwajowego. Liczne zapadnięcia kostki do 10 cm poniżej główki szyny.
1	Liczne ubytki kostki. Liczne zapadnięcia kostki ponad 10 cm poniżej główki szyny.

3. Klasyfikacja wad i uszkodzeń

Poza kryteriami kwalifikacji do oceny stanu technicznego przejazdów tramwajowych jako dodatkowe przyjęto jednakowe dla wszystkich typów przejazdów kryterium strefy występowania wady lub uszkodzenia. W tym celu nawierzchnię przejazdu podzielono na cztery strefy [2]:

- a) międzytorze – z wyłączeniem strefy przyszynowej,
- b) przyszynowa – fragment nawierzchni przejazdu w bezpośrednim sąsiedztwie główki szyny,
- c) międzypodkole – z wyłączeniem strefy przyszynowej,
- d) zewnętrzna – zewnętrzne płyty przejazdowe z wyłączeniem strefy przyszynowej, dotyczy przejazdów z wulkanizowanych mieszanek gumowych (STRAIL) i prefabrykowanych płyt żelbetowych (EPT).

Część wykrytych wad i uszkodzeń okazała się wspólna dla wszystkich typów przejazdów. Należą do nich:

- a) zachwaszczenie,
- b) zapiaszczenie,
- c) brak prawidłowego odwodnienia (fot. 1.).



Fot. 1. Zastoisko wody opadowej na przejeździe nr 93 al. Grunwaldzka – Opata Jacka Rybińskiego

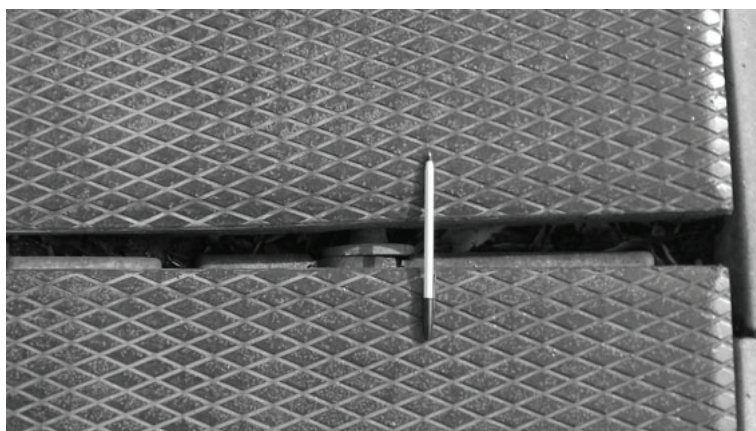
Natomiast większość zaobserwowanych defektów jest charakterystyczna dla poszczególnych typów przejazdów (tab. 3.).

Tabela 3. Typowe wady i uszkodzenia przejazdów tramwajowych

STRAIL	ASF
<ul style="list-style-type: none"> • Wypiętrzenia płyt, • Zapadnięcia płyt, • Deformacje płyt (fot. 2.), • Klawiszowanie płyt, • Rozsunięcia płyt (fot. 3.), • Wykruszenia na powierzchni płyt, • Zarysowania na powierzchni płyt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubytki nawierzchni (fot. 4.), • Spękania nawierzchni, • Zapadnięcia nawierzchni, • Wypiętrzenia nawierzchni (fot. 5.), • Wypływ mas uszczelniających.
EPT	BRUK
<ul style="list-style-type: none"> • Odslonięte zbrojenie płyt, • Wykruszenia na powierzchni płyt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubytki kostki, • Zapadnięcia kostki (fot. 6.), • Zarysowania kostki kołami taboru tramwajowego.



Fot. 2. Deformacje płyt na przejazdach nr 2 i 3 Okopowa – al. Armii Krajowej



Fot. 3. Rozsumięcia płyt na przejeździe nr 117 Chłopska – Piastowska



Fot. 4. Ubytki nawierzchni na przejeździe nr 167 Gdańska – Emilii Plater



Fot. 5. Wypiętrzenia nawierzchni na przejeździe nr 19 Hucisko – 3 Maja



Fot. 6. Zapadnięcia kostki na przejeździe nr 54 Nowotna – Wyjazd z lasu nr 5

4. Ocena stanu technicznego

Z przeprowadzonej oceny wynika, że przejazdy na gdańskiej sieci tramwajowej są w stanie technicznym ogólnym dobrym (tab. 4). Decydujący wpływ na nią miały nowowytbudowane przejazdy z wulkanizowanych mieszanek gumowych (STRAIL). Przy ocenie stanu technicznego pominięto cztery przebudowywane przejazdy bitumiczne z asfaltu lanego (ASF) i dwa tymczasowe przejazdy z prefabrykowanych płyt żelbetowych (EPT) zlokalizowane w dzielnicy Brzeźno.

Tabela 4. Stan techniczny przejazdów w skali gdańskiej sieci tramwajowej

Ocena	Typ przejazdu [szt.]			
	STRAIL	ASF	EPT	BRUK
5,0	52	11	0	4
4,5	35	13	2	6
4,0	16	8	2	1
3,5	4	12	4	1
3,0	2	6	2	2
2,5	2	7	1	0
2,0	1	3	0	2
1,5	2	11	0	1
1,0	0	4	0	0
Średnia ocena	4,49	3,33	3,59	3,88
Średnia ocena dla wszystkich typów przejazdów: 3,996				

Należy przy tym zauważyć, że stan techniczny przejazdów jest zróżnicowany. Pomimo intensywnych prac modernizacyjnych, dzięki którym 30,9% przejazdów jest w stanie technicznym bardzo dobrym, nadal 15,7% przejazdów pozostaje w stanie technicznym złym lub bardzo złym. W związku z tym dokonano również oceny stanu technicznego przejazdów na poszczególnych odcinkach międzywęzłowych (tab. 5). Pominięto w niej trzy odcinki międzywęzłowe, na których nie są

zlokalizowane żadne przejazdy. Na tej podstawie opracowano mapę stanu technicznego przejazdów tramwajowych w Gdańsku (rys. 1).

Tab.5. Stan techniczny przejazdów tramwajowych w skali odcinków międzywęzłowych

Lp.	Odcinek międzywęzłowy	Dzielnica Gdańska	Średnia ocena
1	01 – 02 Węzeł Unii Europejskiej – Hucisko	Śródmieście	3,42
2	01 – 05 Węzeł Unii Europejskiej – Pętla Przeróbka	Śródmieście	2,35
3	02 – 03 Hucisko – 3 Maja Nowe Ogrody	Śródmieście	2,83
4	02 – 08 Hucisko – Węzeł Piastowski	Śródmieście	3,90
5	03 – 04 3 Maja Nowe Ogrody – Pętla Siedlce	Siedlce	4,60
6	03 – 09 3 Maja Nowe Ogrody – Brama Oliwska	Śródmieście	4,50
7	05 – 06 Pętla Przeróbka – Pętla Pasanil	Przeróbka	3,44
8	06 – 07 Pętla Pasanil – Pętla Stogi	Stogi	2,50
9	08 – 09 Węzeł Piastowski – Brama Oliwska	Śródmieście	4,00
10	08 – 19 Węzeł Piastowski – Pętla Kliniczna	Młyniska	4,56
11	09 – 10 Brama Oliwska – Opera	Aniołki	4,25
12	10 – 11 Opera – Grunwaldzka Bocznicza Kolejowa	Wrzeszcz	4,44
13	11 – 12 Grunwaldzka Bocznicza Kolejowa – Pętla Ogrodowa	Strzyża	3,88
14	12 – 13 Pętla Ogrodowa – Pętla Oliwa	Oliwa	4,45
15	13 – 14 Pętla Oliwa – Pomorska Chłopska	Żabianka	3,75
16	14 – 15 Pomorska Chłopska – Pętla Jelitkowo	Jelitkowo	5,00
17	14 – 16 Pomorska Chłopska – Pętla Zaspą	Przymorze	4,13
18	16 – 17 Pętla Zaspą – Hallera Mickiewicza	Zaspą	4,00
19	17 – 18 Hallera Mickiewicza – Hallera Kliniczna	Wrzeszcz	4,63
20	17 – 20 Hallera Mickiewicza – Hallera Gdańska	Wrzeszcz	4,44
21	18 – 19 Hallera Kliniczna – Pętla Kliniczna	Wrzeszcz	5,00
22	19 – 26 Pętla Kliniczna – Marynarki Polskiej Wyzwolenia	Letnica	4,13
23	20 – 21 Hallera Gdańska – Pętla Brzeźno Plaża	Brzeźno	5,00
24	20 – 22 Hallera Gdańska – Pętla Brzeźno	Brzeźno	3,21
25	21 – 22 Pętla Brzeźno Plaża – Pętla Brzeźno	Brzeźno	4,50
26	22 – 23 Pętla Brzeźno – Oliwska Rybołowców	Nowy Port	3,50
27	23 – 25 Oliwska Rybołowców – Plac Wolności	Nowy Port	5,00
28	24 – 25 Zajezdnia Nowy Port – Plac Wolności	Nowy Port	2,60
29	25 – 26 Plac Wolności – Marynarki Polskiej Wyzwolenia	Nowy Port	3,33
30	26 – 27 Węzeł Carla Groddecka – Pętla Witosa	Chelm	3,82
31	27 – 28 Pętla Witosa – Pętla Świętokrzyska	Ujeścisko	4,75

Wynika z niej, że w najgorszym stanie technicznym są przejazdy zlokalizowane w dzielnicach Śródmieście, Przeróbka, Stogi, Brzeźno i Nowy Port. Szczególną uwagę należy zwrócić na fragment sieci tramwajowej między węzłami torowymi Węzeł Unii Europejskiej i Pętla Stogi, gdzie większość przejazdów została wykonana w technologii nawierzchni bitumicznej z asfaltu lanego (ASF) i nie była remontowana od dziesięcioleci. Obecnie na wskutek wieloletniej, intensywnej eksploatacji w ich obrębie pękają szyny i występują wychłapy (fot. 7.).



Rys. 1. Mapa stanu technicznego przejazdów tramwajowych w Gdańsku



Fot. 7. Pęknięta szyna wraz z wycłapami na przejeździe nr 13 Siennicka – Stary Dwór

5. Przyczyny powstawania wad i uszkodzeń

Wśród przyczyn powstawania wad i uszkodzeń zidentyfikowano takie, które są wspólne dla wszystkich typów przejazdów tramwajowych oraz te, które są charakterystyczne dla poszczególnych z nich. Do pierwszej grupy zakwalifikowano:

- a) nieprawidłowe odwonienie przejazdu – źle zaprojektowane lub wykonane spadki poprzeczne nawierzchni przejazdu albo jej zapadanie się lub ubytki powstałe w wyniku wieloletniej, intensywnej eksploatacji, powodują tworzenie się zastoisk wody opadowej; gromadząca się woda opadowa prowadzi do korozji elementów stalowych nawierzchni tramwajowej, a penetrując w jej głąb obniża nośność podtorza; w połączeniu z zapiaszczeniem skutkuje zachwaszczeniem;
- b) nierównomierne zagęszczenie podtorza – brak równomiernego podparcia powoduje klawiszowanie płyt przejazdowych, zapadanie się kostki wibroprasowanej, a w przypadku przejazdu bitumicznego z asfaltu laneo (ASF) uginanie się rusztu torowego pod ciężarem przejeżdżającego taboru tramwajowego; klawiszowanie płyt przejazdowych prowadzi do ich wypiętrzania, zapadania, deformowania lub kruszenia się betonu skutkującego odsłonięciem zbrojenia płyt; uginanie się rusztu torowego prowadzi do wypiętrzania się nawierzchni przejazdu i wypływu mas uszczelniających;
- c) zbytne zużycie elementów konstrukcyjnych przejazdu – wyeksploatowany element konstrukcyjny przejazdu będzie powodował stopniową degradację pozostałych, dotychczas sprawnych części; zalecana jest jego natychmiastowa naprawa lub wymiana;
- d) niska jakość prac projektowych i robót torowych – skutek przyjmowania wyłącznie kryterium najniższej ceny w przetargach; przejawia się np. nieprawidłowym odwodnieniem przejazdu lub nierównomiernym zagęszczeniem podtorza; zalecane jest przyjmowanie dodatkowych kryteriów gwarantujących wybór wykonawcy świadczącego wysoką jakość usług.

W przypadku przejazdu z wulkanizowanych mieszanek gumowych (STRAIL) przyczyną powstawania wad i uszkodzeń jest również błędny dobór podtypu przejazdu STRAIL w stosunku do wielkości natężenia ruchu drogowego i nacisków osiowych pochodzących od pojazdów drogowych. Wątpliwości budzi także deklarowana przez producenta wytrzymałość na nie. Powoduje to wypiętrzanie się, zapadanie się i deformowanie się płyt skutkujące ich klawiszowaniem. Małą wytrzymałość na duże natężenie ruchu drogowego i naciski osiowe pochodzące od pojazdów drogowych ma również przejazd z kostki wibroprasowanej (BRUK). Kolejnym istotnym czynnikiem jest kąt skrzyżowania osi jezdni z osią toru tramwajowego. Im ten kąt jest bardziej ostry lub jezdnia jest położona w łuku poziomym, tym większe jest prawdopodobieństwo rozsuwania się płyt. Wynika to z działania siły odśrodkowej w łukach poziomych i siły tarcia podczas hamowania pochodzących

od pojazdów drogowych. Jeżeli następnie szczelina między dwoma rozsuniętymi płytami ulegnie zanieczyszczeniu, to nie mogą one wrócić do pierwotnego położenia. Wątpliwości budzi deklarowana przez producenta wytrzymałość na rozsuwanie się płyt. W tego typu lokalizacjach należy wykonywać przejazdy bitumiczne z asfaltu lanego (ASF) lub przejazdy z prefabrykowanych płyt żelbetowych (EPT). Przejazdy z wulkanizowanych mieszanek gumowych (STRAIL) są także podatne na uszkodzenia mechaniczne np. zarysowanie powierzchni płyty elementem związającym z taboru tramwajowego.

Przyczyną powstawania wad i uszkodzeń charakterystyczną dla przejazdu bitumicznego z asfaltu lanego (ASF) i przejazdu z kostki wibroprasowanej (BRUK) jest nieszczelność strefy przyszynowej. Wpływ mas uszczelniających umożliwia wodzie opadowej penetrowanie w jej głąb powodując obniżenie nośności podtorza. Prowadzi to do pękania, zapadania się i powstawania ubytków w nawierzchni przejazdu. Zalecane jest bieżące uzupełnianie mas uszczelniających [3].

6. Wnioski

1. Dobór typu przejazdu tramwajowego nie może być przypadkowy. Przede wszystkim należy uwzględnić wielkość natężenia ruchu drogowego i nacisków osiowych pochodzących od pojazdów drogowych. Nie bez znaczenia pozostaje również kąt skrzyżowania osi jezdni z osią toru tramwajowego.
2. Zasadniczy wpływ na trwałość przejazdu tramwajowego ma jego prawidłowe odwodnienie i równomierne zagęszczenie podtorza.
3. Należy odejść od kryterium najniższej ceny w przetargach. Przy wyborze wykonawcy priorytetem powinna być wysoka jakość prac projektowych i robót torowych. Wykonawca składający ofertę poniżej wartości kosztorysu inwestorskiego, przeważnie nie jest w stanie zapewnić należytej jakości świadczonych usług.
4. Zaproponowana koncepcja systemu oceny stanu technicznego przejazdów tramwajowych po uszczegółowieniu może stanowić element kompleksowego systemu diagnostyki toru tramwajowego, który wymaga pilnego opracowania [1].

Bibliografia

- [1] Grulkowski S., Jasina M., Propozycja rehabilitacji torowiska tramwajowego znajdującego się na Placu Wolności w sąsiedztwie budynku kościoła p.w. Zesłania Ducha Świętego w Łodzi. W: Sustainable development and renewal of urban structures: international workshop: September 29-30, 2005, Gdańsk, Poland / ed. Andrzej Baranowski; Gdańsk University of

Technology. - Gdańsk : CURE (Centr. Urban Constr. a. Rehab.), Fac. Civil. a. Environm. Eng. Gdańsk Univ. Technol., 2005. - S. 109-114.

- [2] Makuch J., Nowe metody w diagnostyce torowisk tramwajowych. Materiały seminaryjne Szóstego Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Szynowych, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2004, 211-217.
- [3] Ogólne Specyfikacje Techniczne „D-10.04.01- Nawierzchnie na przejazdach kolejowych i tramwajowych”, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 1998.