

Podtorze na liniach kolejowych dużych prędkości

Eugeniusz SKRZYŃSKI¹

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano podtorze gruntowe i jego przydatność na liniach kolejowych dużych prędkości. Przedstawiono podstawowe wymagania dla takiego podtorza, a także zalecenia dotyczące projektowania, budowy i utrzymania podtorza. Omówiono również warunki ochrony środowiska na kolejach dużych prędkości oraz odcinki przejściowe przy obiektach inżynierskich.

Słowa kluczowe: koleje, duże prędkości, podtorze, wymagania, ochrona środowiska

1. Charakterystyka linii dużych prędkości

Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności (*TSI – Technical Specification of Interoperability*), dotycząca specyfikacji technicznej infrastruktury transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości [2], dzieli linie kolejowe ze względu na czas budowy i możliwości eksploatacyjne na następujące kategorie:

1. Specjalnie zbudowane linie dużych prędkości, wyposażone do prędkości równej lub większej niż 250 km/h.
2. Linie zmodernizowane specjalnie do dużych prędkości, wyposażone do prędkości rzędu 200 km/h.
3. Linie zmodernizowane specjalnie do dużych prędkości, mające jednak cechy szczególne wynikające z ograniczeń topograficznych, rzeźby terenu lub ograniczeń urbanistycznych, na których prędkość musi być dostosowana do istniejącej w danym przypadku sytuacji.

Taki podział jest uzasadniony między innymi ze względu na przydatność podtorza budowanego w różnych okresach oraz stan obiektów inżynierskich. Specyfikacja techniczna TSI nie zalicza jednak podtorza do elementów interoperacyjności; nie określa więc przekrojów poprzecznych podtorza, szerokości torowisk i ław torowisk. Oznacza to, że podtorze może być projektowane, budowane i eksploatowane zgodnie z przepisami krajowymi, jednak przepisy te powinny uwzględniać elementy interoperacyjności związane z podtorzem, takie jak wytrzyma-

¹ Doktor inżynier, Instytut Kolejnictwa, e-mail: eskrzynski@ikolej.pl.

małość mechaniczna toru, sztywność toru, hałas i drgania, zasady utrzymania. Muszą być również zapewnione minimalne odległości między osiami torów (tabl. 1).

Tablica 1

Minimalne odległości między osiami torów [2]

Maksymalna prędkość pociągów V [km/h]	Minimalna odległość między osiami torów [m]
$V \leq 230$	Jeżeli $< 4,00$, określa się na podstawie kinematycznego zarysu odniesienia
$230 < V \leq 250$	4,00
$250 < V \leq 300$	4,20
$V > 300$	4,50

W budowie i przystosowywaniu linii do dużych prędkości wyraźnie ujawniają się dwa trendy, polegające na:

- przystosowywaniu linii już istniejących do prędkości w granicach 160–250 km/h, na których oprócz szybkich pociągów pasażerskich kursują tradycyjne składy oraz pociągi towarowe, powodujące szybszą degradację podtorza,
- budowie linii przeznaczonych wyłącznie dla bardzo szybkich pociągów pasażerskich.

Większość zbudowanych już linii dużych prędkości ma nawierzchnię na podsypcie (Francja, Belgia, Hiszpania, Włochy, Niemcy), natomiast nawierzchnie bezpodsypkowe są stosowane w Niemczech i Holandii. Nawierzchnie takie początkowo tylko budowano w lokalizacjach szczególnych (na obiektach, w tunelach). Pierwszą linią kolejową w Europie, na której zabudowano nawierzchnię bezpodsypkową na dłuższej części trasy była linia Berlin – Hanower (nawierzchnia typu Rheda i Züblin). Na linii Kolonia – Frankfurt nad Menem (2002) i Norymberga – Ingolstadt (2006) nawierzchnię bezpodsypkową zastosowano już na całej długości.

Nawierzchnie bezpodsypkowe powodują zwiększenie ogólnych kosztów budowy o około 30%, jednak koszty późniejszego utrzymania są znacznie mniejsze. Podłoże betonowe, oprócz około trzykrotnie wyższej ceny niż podłoże podsypkowego, powoduje też szybsze zużywanie się taboru oraz generowanie znacznie większego hałasu. Z tego względu szyny muszą być gładziej niż na liniach z nawierzchnią podsypkową i poddawane wstępnemu „szlifowaniu akustycznemu”, zapobiegającemu również rozwojowi mikropeknięć na ich powierzchniach toczych.

Można przypuszczać, że w polskich warunkach, ze względu na mniejsze koszty budowy i dotychczasowe doświadczenia w budowie i utrzymaniu nawierzchni konwencjonalnych, będą preferowane linie z nawierzchnią na podsypcie. Parametry niektórych linii dużych prędkości przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Parametry niektórych linii dużych prędkości [20]

Parametr	Linia						
	Tokaido	Osaka – Okayama (San-yo)	Okayama – Hakata (San-yo)	Rzym – Florencja	Paryż – Lyon	Rzym – Neapol	Zawiercie – Radzice (CMK)
V_{max} [km/h]	210	250 (max 260)	250 (max 260)	200 (max 250)	300	300	160 (max 250)
Nacisk osi [t]	16	16	16	16	16	16	20
Rozstaw torów [m]	4,2	4,3	4,3	4,0	4,2	5,0	4,5
Szerokość torowiska [m]	10,7 ^{*)}	11,6 ^{**)}	11,5 ^{*)}	11,0	14,0	13,6	10,9

^{*)} szerokość ławy torowiska 0,5 lub 1,0 m

^{**)} szerokość ławy torowiska 0,5 lub 1,2 m

2. Cechy szczególne podtorza na liniach dużych prędkości

Klasyczne podtorze gruntowe w postaci nasypów i przekopów jest sprawdzonym w ciągu wielu lat podparciem nawierzchni na kolejach konwencjonalnych, eksploatowanych ze stosunkowo małymi prędkościami pociągów. Na liniach dużych prędkości obowiązują jednak większe, niż w przypadku pozostałych linii wymagania dotyczące stabilności położenia toru w eksploatacji. Najważniejszym parametrem na takich liniach jest osiadanie toru i nierównomierność osiadań podczas eksploatacji.

Spełnienie tych wymagań w przypadku podtorza w postaci budowli ziemnej jest utrudnione ze względu na duży wpływ zmiennych warunków geologicznych, hydrologicznych i klimatycznych. Z tych powodów podtorze gruntowe na liniach dużych prędkości buduje się wtedy, gdy nasypy są niezbyt wysokie, a podłoże dostatecznie wytrzymałe. Zaleca się by różnice rzędnych torowiska i terenu nie przekraczały:

- 25–30 m – w przypadku nasypów,
- 30–35 m – w przypadku przekopów,
- 10–12 m – w przypadku przyczółków wiaduktów.

W praktyce, z uwagi na zajętość terenu, duże roboty ziemne i osiadania, wysokość nasypów często ogranicza się do 15–20 m, głębokość przekopów zaś do 20–25 m. Większe ograniczenia wysokości nasypów stosuje się w przypadku nawierzchni bezpodsypkowych.

Konstrukcja podtorza gruntowego nie różni się zasadniczo od konstrukcji stosowanej na innych liniach. Jednak, w celu zwiększenia jego stateczności i trwałości, stosuje się mniejsze nachylenia skarp i dba o właściwe wykonawstwo robót z wykorzystaniem specjalnie dobieranych i kontrolowanych materiałów. Ponadto, ze względu na zwiększone obciążenia dynamiczne gruntów podtorza i odmienny rozkład naprężeń eksploatacyjnych w podłożu podkładów, większe wymagania stawia się najwyżej znajdującym się warstwom budowli, na których spoczywa nawierzchnia. Konieczna jest również dostatecznie gruba warstwa podsypki odpowiedniej jakości i strefy przejściowe przy obiektach umożliwiające stopniową zmianę sztywności toru.

Jeśli różnice rzędnych torowiska i terenu są zbyt duże lub podłoże nie jest dostatecznie wytrzymałe, zamiast podtorza gruntowego buduje się obiekty inżynierijne, takie jak wiadukty i tunele (tabl. 3). Obiekty te są znacznie droższe, ale nie mają większości negatywnych cech podtorza gruntowego, gdyż obciążenia eksploatacyjne są przenoszone na głębiej położone, stabilne warstwy gruntu. Podparcie nawierzchni jest wtedy znacznie sztywniejsze niż w przypadku budowli ziemnej, co powoduje większy hałas i szybsze zużywanie się elementów nawierzchni. Konieczne jest więc stosowanie elementów amortyzujących i częstsze szlifowanie szyn.

Tablica 3

Rodzaje podtorza na niektórych liniach dużych prędkości [20]

Linia	Długość [km]	Rodzaj podtorza [%]			
		Podtorze gruntowe	Tunele	Mosty, wiadukty	Betonowe wykopy
Tokio – Osaka (Tokaido)	515	54	13	33	–
Osaka – Hakata (Tokaido)	565	16	49	35	–
Osaka – Okayama (San-yo)	165	7	35	58	–
Okayama – Hakata (San-yo)	400	20	55	25	–
Rzym – Florencja (część nowo bud.)	260	56	31	13	–
Hannover – Würzburg	327	62	37	1	–
Bruksela – Rotterdam (HSL Zuid)	100	25	17	25	33
Rzym – Neapol (część nowo bud.)	186	58	21	21	–

Częstym powodem decyzji o umieszczeniu nowo budowanej linii kolejowej w tunelu lub na wiadukcie są również względy ochrony środowiska. Na przykład, linia HSL Zuid (holenderski fragment linii Bruksela – Amsterdam – Rotterdam,

stanowiący część połączenia Amsterdam – Bruksela – Paryż, przewidzianego w planach europejskiej sieci dużych prędkości), na odcinku długości 100 km od granicy belgijskiej do Schiphol jest prowadzona tak, aby jak najmniej ingerować w środowisko naturalne, z tego względu w Europie, jest linią dużej prędkości chyba najbardziej bogatą w obiekty inżynierskie. Mimo płaskiego terenu, tylko 25% długości linii znajduje się na poziomie terenu, a 32,5 km linii przebiega w betonowych wykopach. Budowa objęła 170 obiektów inżynierskich, takich jak mosty, tunele, wiadukty. Między innymi, z tego względu koszt budowy tej linii był większy o około 30% od kosztów budowy podobnych linii w innych państwach Europy.

Północny fragment linii Breda – Rotterdam znajduje się poniżej poziomu morza (depresja Hollandische Diep) na miękkim gruncie i z tego względu zbudowano ją na betonowych płytach podpartych betonowymi palami. Natomiast na południowym fragmencie tego odcinka, gdzie linia przebiega na poziomie morza, tory ułożono na betonowych płytach bez pali. Drugi odcinek od Rotterdamu prowadzi do tunelu Rotterdam Noordrand o długości 4 km pod portem lotniczym. Dalej koło Bergschenhoek linia biegnie na długości 3 km w betonowym wykopie, a następnie z Zoetemeer do Bleiswijk wiedzie po najdłuższym w Europie wiadukcie kolejowym (17,5 km). Aby nie ingerować w środowisko naturalne żuław i pól torfowych, czyli w tzw. Zielone Serce Holandii, linię poprowadzono w tunelu Groene Hart o długości 8,5 km.

Nawierzchnia linii HSL-Zuid, typu Rheda 2000 NL (typ Rheda 2000 dostosowany do warunków holenderskich) w 75% jest bezpodsypana. Składa się ona z wylewanej na miejscu żelbetowej płyty i osadzonych w niej prefabrykowanych podkładów betonowych. Podobnie linia Perpignan – Figueras, łącząca sieć kolejową dużych prędkości Francji z siecią hiszpańską, o długości zaledwie 44,4 km, przystosowana do ruchu z prędkością 350 km/h, przebiega na długości 8,2 km w tunelach i na długości 3,1 km na wiaduktach. Zbudowano na niej 25 mostów kolejowych i drogowych.

Na terenach zabudowanych i w aglomeracjach miejskich występują liczne ograniczenia wynikające z braku miejsca i zwiększonego poziomu generowanego hałasu i drgań gruntu – zagadnienia dotyczące oddziaływań wibroakustycznych omówiono m.in. w [22, 23]. Na dojazdach do miast i w miastach, podtorze buduje się wtedy z pionowymi lub prawie pionowymi skarpami, natomiast hałas i drgania ogranicza się przez zmniejszanie prędkości pociągów, stosowanie osłon akustycznych, mat wibroizolacyjnych pod nawierzchnią lub wykopów wypełnionych materiałem tłumiącym drgania. Często jednak te środki nie wystarczają, aby przekonać mieszkańców domów sąsiadujących z linią kolejową lub nie ma miejsca na ich zastosowanie; wówczas jest konieczne umieszczenie linii kolejowej w tunelu.

Trudne jest wykorzystanie tras kolei konwencjonalnych. Istniejące podtorze gruntowe – w zależności od jego stanu – może być przystosowywane do ruchu pasażerskiego lub mieszanego z prędkościami zawierającymi się w granicach 160–250 km/h. W przypadku przystosowywania takiego podtorza konieczne jest bowiem:

- przeprowadzenie pełnej oceny jego stanu,
- budowa wzmocnień nasypów i podłoża w przypadku występowania słabych gruntów,
- wyeliminowanie lub zmniejszenie ruchu towarowego, powodującego szybszą degradację podtorza.

Istotnym utrudnieniem jest dostępność dodatkowego pasa terenu, potrzebnego między innymi na zwiększenie szerokości międzytorza:

- 4,00 m na linii Rzym – Florencja (1992),
- 4,20 m na linii Tokaido (1964), TGV Sud-Est (1981) i TGV Atlantique (1989),
- 4,50 m na linii TGV Nord (1993),
- 4,70 m na linii Madryt – Saragossa – Lerida (2003),
- 4,80 m na linii TGV Méditerranée (2001),
- 5,00 m na linii Rzym – Neapol (2005) i Bolonia – Mediolan.

Istniejące torowiska są najczęściej zbyt wąskie z powodu stopniowego osiadania nasypów oraz dostosowywania budowli do większych obciążeń i prędkości jazdy (zwiększanie grubości warstwy podsypki, szerokości obsypki od czół podkładów i przechyłki toru na łukach, zmniejszanie nachylenia skarp przymy podsypki, wydłużanie krzywych przejściowych, zwiększanie odległości pomiędzy torami). Wymagane poszerzenia podtorza są trudne do wykonania z powodu:

- niejednorodności podtorza oraz konieczności szczegółowych badań budowli w celu dobrania odpowiednich materiałów do dobudowy,
- konieczności zapewnienia trwałego połączenia dobudowywanej części podtorza z częścią istniejącą,
- ograniczonych możliwości dobrego zagęszczenia gruntu części dobudowywanej, zwłaszcza przy niewielkich poszerzeniach,
- konieczności wydłużania istniejących przepustów i innych obiektów.

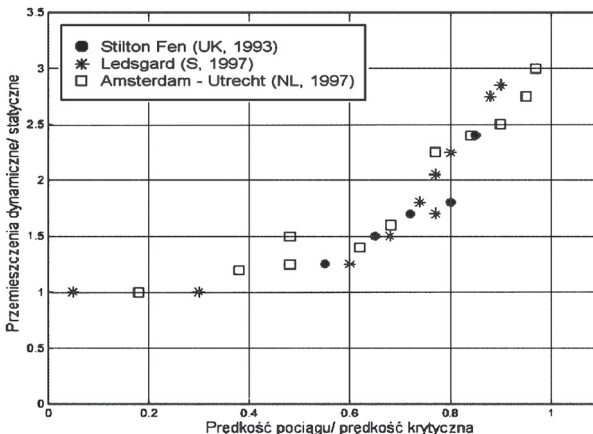
W takich przypadkach konieczne są zawsze bardziej szczegółowe analizy, umożliwiające między innymi odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy pożądanego skrócenia czasu przejazdu nie da się uzyskać innymi sposobami, np. przez poprawę organizacji ruchu lub wprowadzenie składów pociągów z wychylnymi pudłami?
2. Czy linia może być zlokalizowana na istniejącym pasie terenu kolejowego? (Pozwoliłoby to wprowadzić linię do centrum miasta, zmniejszyłoby koszty

- skrzyżowań z drogami, ochrony przed hałasem, wykupu terenów pod inwestycje itp.).
3. Czy linia powinna być linią nową, umożliwiającą odseparowanie szybkiego ruchu pasażerskiego od ruchu towarowego, czy też linią zmodernizowaną z ruchem mieszanym, na której podtorze będzie poddawane większym obciążeniom?
 4. Jeśli linia ma być linią nową, to jaka powinna być konstrukcja podtorza; dostosowana do nawierzchni konwencjonalnej, czy też innej?
 5. Jeśli linia ma być linią modernizowaną z ruchem mieszanym, to:
 - Czy modernizacja istniejącego podtorza jest opłacalna?
 - Czy nie należy od razu przystosować podtorza do prędkości większej? (Pozwoliłoby to zmniejszyć koszty kolejnych przebudów).
 - Jak ograniczyć ruch towarowy, powodujący szybszą degradację podtorza?

3. Wpływ warunków wodno-gruntowych na maksymalne prędkości pociągów

Z badań modelowych i pomiarów na liniach eksploatowanych wynika, że maksymalne prędkości pociągów nie mogą przekraczać tzw. prędkości krytycznej, przy której drgania podtorza i toru znacznie zwiększają się i lawinowo narastają trwałe odkształcenia toru [9]. Pod wpływem tych drgań ziarna gruntu poruszają się po torach zbliżonych do elips, grunt zaś ulega silnemu rozluźnieniu. Zjawisko takie obserwowano już wielokrotnie na różnych kolejach, niekiedy przy prędkościach pociągów niewiele większych od 100 km/h. Charakterystyczną cechą tego zjawiska są duże pionowe przemieszczenia toru w eksploatacji, niekiedy kilkakrotnie większe od przemieszczeń statycznych (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ stosunku prędkości pociągu do prędkości krytycznej na stosunek przemieszczeń dynamicznych do przemieszczeń statycznych toru (wyniki badań przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii, Szwecji i Holandii) [9, 27]

Prędkość krytyczna zależy przede wszystkim od prędkości rozchodzących się w podtorzu najwolniejszych powierzchniowych fal Rayleigh'a, nazywanych również falami R . Prędkość rozprzestrzeniania się tych fal V_r zależy od ich częstotliwości i jest najmniejsza dla fal długich. Przykładowo, w słabonośnych piaskach wynosi ona 90–130 m/s, w słabych gruntach występujących w Holandii 29–47 m/s. Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że:

- 1) słabe grunty, takie jak namuły, uplastycznione pyły i gliny, mogą znacznie utrudnić budowę lub przystosowanie podtorza do większych prędkości; dopuszczalne prędkości pociągów w zależności od gruntów podtorza ilustruje tablica 4; na przykład, dla maksymalnej prędkości pociągów równej $V = 160$ km/h minimalny moduł Younga powinien wynosić 10 MPa, a moduł przy ścinaniu 4 MPa,
- 2) zwiększone odkształcenia toru występują już przy prędkościach pociągów większych od 50% prędkości krytycznej, natomiast odkształcenia duże – przy prędkościach większych od 70% prędkości krytycznej,
- 3) zwiększenie grubości warstwy podsypki powoduje jedynie niewielki wzrost prędkości krytycznej (takie rozwiązanie może być stosowane przy prędkościach pociągów równych 50–70% prędkości krytycznej),
- 4) przy prędkościach pociągów większych od 70% prędkości krytycznej jest konieczne wzmocnienie podłoża lub podtorza albo jego całkowita przebudowa.

Tablica 4

Dopuszczalne prędkości pociągów [9]

Grunty podtorza	Moduły sprężystości Younga E [MPa]	Moduły sprężystości przy ścinaniu G [MPa]	Prędkości krytyczne (równe prędkościom fal Rayleigh'a) [m/s]	Dopuszczalne prędkości pociągów	
				[m/s]	[km/h]
Słabe	10–20	4–8	52–73	33	121
Przeciętne	50	20	115	74	269
Dobre	80–100	32–40	146–258	95	341
Zalecane	>35	14	96	62	226

Tablica 5

Porównanie skuteczności konstrukcji wzmacniających podłoże nasypów [27]

Rodzaj wzmocnienia	Prędkość krytyczna V_{kr} [km/h]
Bez wzmocnienia	206
Pale andydrytowo-cementowe	440
Ścianki betonowe	500
Pale geotekstylny-piaskowe	360

W przypadku występowania słabych gruntów są konieczne kosztowne wzmocnienia podłoża. Porównanie skuteczności niektórych wzmocnień podłoża dla jednej linii dużej prędkości przeprowadzono w Holandii i stwierdzono, że najszybsze są wzmocniające ścianki (tabl. 5). W innych badaniach potwierdzono korzystny wpływ wzmocnień samych torowisk (np. wykorzystanie geosiatek).

4. Wymagania dla podtorza

Podtorze projektuje się przy założeniu trwałości równej 100–120 lat, przy czym jeśli podtorze ma spełniać funkcje wymagające większej trwałości, jak np. funkcje hydrotechniczne, należy to uwzględnić. Górną część podtorza, na której jest ułożona nawierzchnia, projektuje się przy założeniu trwałości równej co najmniej 50 lat w przypadku nawierzchni konwencjonalnej i równej co najmniej trwałości nawierzchni niekonwencjonalnej. Współczynniki pewności F , określające stateczność nowo budowanego lub zmodernizowanego podtorza, określone na podstawie warunków wodno-gruntowych przy przeciętnym rozpoznaniu geotechnicznym, nie mogą być mniejsze niż:

- 1,5 – dla podtorza z nawierzchnią konwencjonalną na liniach przeznaczonych do ruchu z prędkościami $V \leq 250$ km/h,
- 1,6 – dla podtorza na liniach z nawierzchnią konwencjonalną na liniach przeznaczonych do ruchu z prędkościami $V > 250$ km/h,
- 1,7 (zaleca się $F \geq 2,0$) – dla podtorza na liniach z nawierzchnią niekonwencjonalną (bezpodsypkową) przeznaczonych do ruchu z prędkościami $V > 250$ km/h.

Krytycznym parametrem decydującym często o możliwości zastosowania podtorza gruntowego są osiadania torowiska występujące od zabudowy nawierzchni do końca przewidywanego jej użytkowania oraz nierównomierność tych osiadań. Osiadania te powinny być mniejsze od osiadań dopuszczalnych ze względu na konstrukcję nawierzchni i możliwości regulacji położenia toru w eksploatacji.

Najczęściej, dopuszczalne wartości całkowitych osiadań torowisk występujących od zabudowy nawierzchni do końca przewidywanego jej użytkowania przyjmuje się równe 30 mm w przypadku nawierzchni konwencjonalnych oraz 15 mm w przypadku nawierzchni bezpodsypkowych (przy założeniu możliwej korekty wysokościowego położenia toru w eksploatacji do 20 mm). Jeśli nie określono innych wymagań, dopuszczalne różnice osiadań torowisk przyjmuje się:

- dla całkowitych osiadań występujących od zabudowy nawierzchni do końca cyklu życiowego projektu równe 30 mm na długości 30 m oraz 10 mm na długości 10 m,

- dla osiadań występujących podczas eksploatacji równe 10 mm na rok na długości 200 m oraz 4 mm na rok na długości 30 m.

Na przykład na kolejach niemieckich, w przypadku zbrojeń gruntu podtorza nad zapadliskami na liniach przeznaczonych do ruchu z prędkościami do 200 km/h, dopuszcza się całkowite maksymalne zagłębienia na poziomie spodów podkładów spełniające następujące warunki [21]:

$$h/D \leq 0,002, \quad (1)$$

$$h \leq 10 \text{ mm}, \quad (2)$$

gdzie:

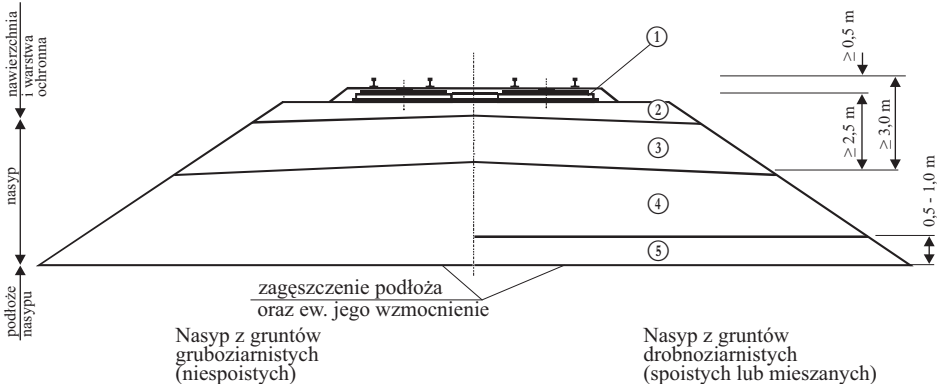
h – zagłębienie,

D – długość zagłębienia (niecki).

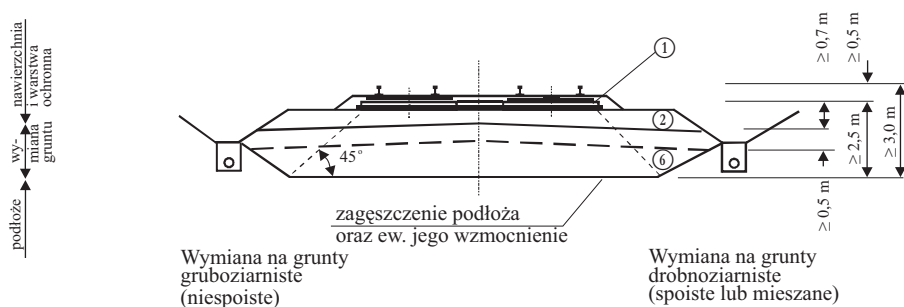
W przypadku nawierzchni bezpodsypkowych wymaga się praktycznie niezmiennego położenia torowiska po zabudowie nawierzchni. Z tego względu:

- ogranicza się wysokości nasypów budowanych w niezbyt korzystnych warunkach wodno-gruntowych do 5 m,
- zapewnia się dobrą jakość gruntów do głębokości co najmniej 2,5 m mierzonej od torowiska, a w górnych częściach nasypów stosuje jedynie grunty klasy QS3 i QS2 według karty UIC 719R (rys. 2),
- przykrywa przepusty i inne obiekty warstwą gruntu o grubości co najmniej 2,5 m, a w przypadku konieczności mniejszego przykrycia stosuje odpowiednie strefy przejściowe,
- kontroluje się osiadania nowo wybudowanych nasypów przez okres co najmniej 6 miesięcy i rozpoczyna budowę nawierzchni dopiero wtedy, gdy obliczenia wykażą, że nasyp osiadł już w co najmniej 90%,
- zapewnia się dobre zabezpieczenie budowli ziemnej przed wodami podziemnymi, powierzchniowymi i infiltracyjnymi.

a)



b)



Rys. 2. Konstrukcja podtorza na linii z nawierzchnią bezpodsypkową: a) nasyp, b) przekop

Oznaczenia: 1) podbudowa (np. kruszywo stabilizowane spoiwem hydraulicznym na warstwie kruszywa zagęszczonego do $I_s \geq 1,03$ albo asfaltobeton), 2) warstwa ochronna przeciwmrozowa, 3) górna część nasypu, 4) dolna część nasypu, 5) warstwa zapobiegająca podsiąkaniu (jeśli konieczna), 6) wymiana gruntu w przekopie (jeśli konieczna)

Jeśli wymagania dotyczące osiadań nie mogą być spełnione, należy rozważyć zastosowanie odpowiedniego wzmocnienia podtorza lub podłoża, budowę nawierzchni konwencjonalnej lub obiektu inżynierskiego. W przypadku słabych gruntów mogą być stosowane między innymi następujące środki:

- wzmocnienie gruntu (metoda zalecana w przypadku niewielkiej miąższości warstwy słabego gruntu),
- wymiana gruntu (metoda zalecana przy miąższości warstwy gruntu do 4 m),
- drenaż pionowy wraz ewentualnym dociążeniem wstępnym (metoda zalecana w przypadku potrzeby konsolidacji gruntów do głębokości większych niż 10 m),
- wzmocnienie podtorza kolumnami z pospółki lub żwiru stabilizowanego cementem i popiołami,
- nawierzchnia kolejowa na płycie żelbetowej spoczywającej na palach.

Jest też istotne zapewnienie dużej jednorodności podtorza decydującej o spokojności jazdy pociągów; z tego względu:

- przy wszystkich obiektach inżynierskich stosuje się odcinki przejściowe zapewniające płynną zmianę sztywności podparcia nawierzchni,
- na liniach z nawierzchnią konwencjonalną, budowle i urządzenia, które muszą znajdować się na głębokości mniejszej niż 1,5 m od główki szyny, powinny być przykryte co najmniej warstwą ochronną torowiska,
- na liniach z nawierzchnią niekonwencjonalną (bepodsypkową) pomiędzy nawierzchnią i obiektem w podtorzu powinna znajdować się warstwa gruntu o grubości równej co najmniej 2,5 m.

Podtorze powinno być dobrze odwodnione i zabezpieczone przed wodami podziemnymi, powierzchniowymi i opadowymi. Między innymi poziom wód

trzystuletnich przy wlotach i wylotach przepustów oraz mostów nie może sięgać spodu warstwy ochronnej torowiska, skarpy podtorza zaś muszą być umocnione roślinnością lub obudowane.

W celu ułatwienia prac utrzymaniowych, budowle i urządzenia podziemne, z wyjątkiem urządzeń przeznaczonych do bezpośredniego współdziałania z torem, nie mogą wchodzić:

- w obrys skrajni budowli, która jest ograniczona liniami pionowymi w odległościach po 2,2 m od osi toru w obie strony i linią poziomą na głębokości 1,5 m poniżej główki szyny,
- pod płyty nawierzchni niekonwencjonalnej.

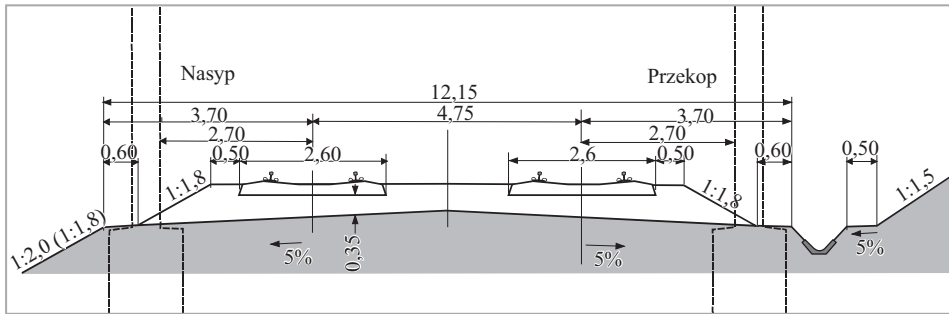
Przekroje poprzeczne podtorza powinny uwzględniać:

- wymaganą stateczność podtorza,
- szerokości torowisk i ich ław, wynikające z wymaganych odległości pomiędzy osiami torów i skrajni, rodzajów stosowanych nawierzchni i możliwości zabudowy wymaganych urządzeń,
- korekty międzytorzy na łukach poziomych,
- zmiany przekroju poprzecznego wynikające z miejscowych warunków wodno-gruntowych.

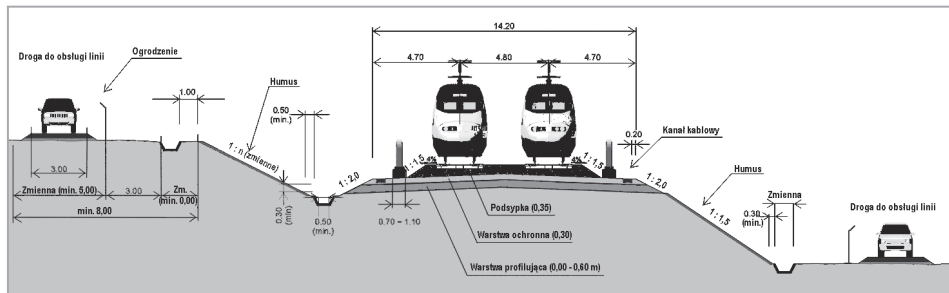
Zalecane szerokości torowisk na liniach z nawierzchnią konwencjonalną wynoszą 14,20 m dla linii dwutorowej oraz 8,00 m dla linii jednotorowej, a szerokość torowisk uzależnia się od konstrukcji nawierzchni. Według polskich przepisów, minimalne szerokości ław torowisk nie mogą być mniejsze niż 0,6 m [16], jednak na liniach dużych prędkości, ze względu na stateczność budowli ziemnej i rozmieszczenie elementów takich jak słupy trakcyjne, korytka kablowe i ekrany chroniące przed hałasem, zaleca się stosowanie ław o szerokości do 1,0–1,6 m.

Nachylenia skarp nasypów i przekopów powinny zapewnić wymaganą stateczność podtorza. Typowe nachylenia skarp nasypów zaleca się przyjmować 1:2,0, a stateczność skarp o nachyleniach mniejszych powinna być sprawdzona przez odpowiednie obliczenia. Na skarpach nasypów nie zaleca się stosowania ław – w razie konieczności stosowania ław zaleca się, aby ich szerokość umożliwiała pracę maszyn.

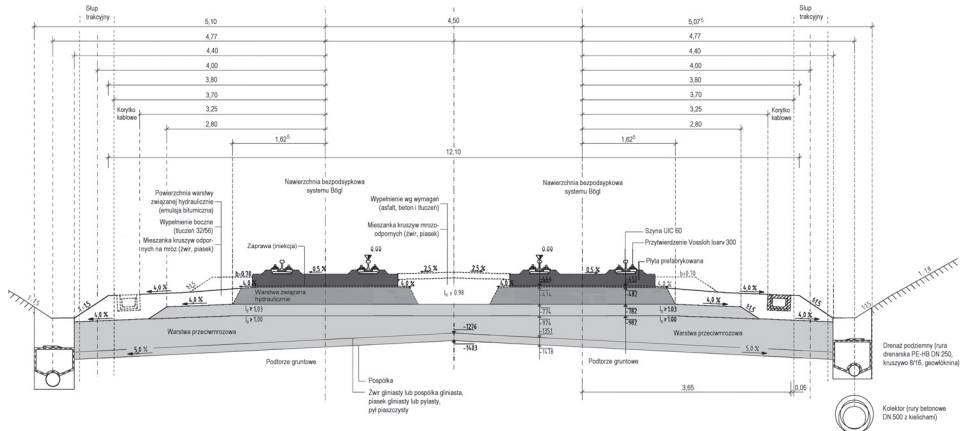
Ze względów krajobrazowych, warunki rozwoju roślin oraz migrację zwierząt, zaleca się stosowanie skarp przekopów o pochyleniu łagodniejszym niż 1:1,5 oraz zaokrąglanie górnych krawędzi skarp lub zmniejszanie ich pochyłeń przy górnych krawędziach, np. do 1:2 na wysokości 1 m. Rowy boczne w przekopach powinny być budowane z odsadzką od strony skarpy o szerokości minimum 0,2 m, przy czym zaleca się odsadzki o szerokości większej, równej co najmniej 2,5 m, umożliwiające wjazd i pracę sprzętu utrzymaniowego. Przykładowe przekroje poprzeczne podtorza na liniach dużych prędkości pokazano na rysunkach 3, 4 i 5.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny podtorza na linii z nawierzchnią konwencjonalną, dostosowanej do prędkości pociągów $V=350$ km/h – projekt Instytutu Kolejnictwa (uwaga: na rysunku nie pokazano dróg serwisowych oraz ogrodzeń) [1]



Rys. 4. Przekrój poprzeczny podtorza na linii z nawierzchnią konwencjonalną dostosowanej do prędkości pociągów $V=350$ km/h – linia Figueras (Hiszpania) – Perpignan (Francja) [1]



Rys. 5. Przekrój poprzeczny podtorza na linii z nawierzchnią bezpodsypkową typu Bögl FFB, z płyt prefabrykowanymi na hydraulicznie związanej warstwie nośnej (Niemcy) [1]

5. Budowa podtorza

Projektowanie i budowa lub przystosowanie podtorza do dużych prędkości powinny być poprzedzone wczesnym, szczegółowym rozpoznaniem warunków geologiczno-inżynierskich. Pozwala to uniknąć opóźnień i problemów, jak:

- w Polsce w trakcie modernizacji linii E20 ujawniono torfy zalegające bezpośrednio pod podsypką,
- na jednym z odcinków nowo zbudowanej linii Madryt – Barcelona, w krótkim czasie po przekazaniu go do eksploatacji wykryto 123 odcinki z niestabilnymi nasypami, a w okolicach Saragossy stwierdzono osiadania podtorza spowodowane intensywnymi opadami deszczu.

Zakres rozpoznania powinien być uzależniony od kategorii geotechnicznej projektu według PN-EN 1997-1 [13, 14], zależnej między innymi od wysokości projektowanych nasypów i głębokości przekopów, warunków wodno-gruntowych i możliwości odwodnienia podtorza i być korygowany stosownie do miejscowych warunków przez doświadczonych geologów i geotechników. Rozpoznanie powinno umożliwić określenie:

- lokalizacji, miąższości warstw, rodzajów i stanów wszystkich gruntów,
- przydatności miejscowych gruntów,
- miejscowych stosunków hydrogeologicznych i warunków odwodnienia podtorza,
- możliwości posadowienia nawierzchni kolejowej,
- prognozowanych pionowych przemieszczeń (osiadań i pęcznienia) podtorza i podłoża w czasie budowy podtorza i późniejszej eksploatacji,
- istniejącej zabudowy i historii rozbudowy na danym terenie.

Rozpoznanie geologiczno-inżynierskie, geotechniczne i inne przeprowadza się zazwyczaj w trzech etapach:

1. Rozpoznanie wstępne, polegające na zebraniu maksymalnej ilości danych bez wykonywania badań (analiza map, istniejącej dokumentacji, wizja lokalna na projektowanej trasie w celu weryfikacji danych dotyczących zagospodarowania terenu, kolizji z infrastrukturą, warunków odwodnienia powierzchniowego itp.).
2. Badania wstępne, polegające na wierceniach o głębokości 1,5–2,0 m w odstępach co 500 m lub gęściej w przypadku zmiany warunków wodno-gruntowych.
3. Badania lokalizacyjne, polegające na wierceniach co 200–300 m lub gęściej, do głębokości zależnych od warunków wodno-gruntowych oraz wysokości nasypów i głębokości przekopów (z wyjątkiem odcinków o jednakowych warunkach wodno-gruntowych) z pobieraniem próbek gruntów z każdej warstwy, nie rzadziej jednak niż co 1,5 m.

Na liniach z nawierzchnią bezpodsytkową badania lokalizacyjne powinny być przeprowadzone:

- w odstępach nie większych niż 50 m, do głębokości co najmniej 5 m po obu stronach projektowanej trasy (gdy grunt jest jednorodny, odstępy między wierceniami można zwiększyć do 100 m),
- co najmniej w trzech miejscach każdego przekopu, nasypu lub sekcji toru z nawierzchnią bezpodsytkową.

Przed rozpoczęciem budowy należy:

- wykonać szczegółowe prognozy osiadań podłoża i nasypów oraz nierównomierności tych osiadań,
- wyeliminować kolizje z ciekami wodnymi i elementami istniejącej infrastruktury,
- ustalić miejsca poboru gruntów oraz trasy dowozu i odwozu materiałów,
- wykonać docelowe (nie tymczasowe) urządzenia odwadniające teren oraz tymczasowe i docelowe drogi,
- określić i zabezpieczyć miejsca placów budów oraz składowania materiałów,
- określić i zabezpieczyć miejsca składowania odpadów oraz sposoby dalszego postępowania z odpadami,
- opracować i wprowadzić system kontroli jakości robót, obejmujący wszystkie działania wpływające na jakość prowadzonych prac.

Wskazana jest również jak najwcześniejsza budowa docelowego (a nie tymczasowego) odwodnienia terenu oraz dróg dojazdowych.

Jak już wspomniano, konstrukcja podtorza na liniach dużych prędkości (jak również liniach, na których porusza się ciężki tabor) nie różni się zasadniczo od konstrukcji podtorza na pozostałych liniach. W trakcie projektowania podtorza należy jednak uwzględnić:

- większą wytrzymałość i trwałość podtorza oraz właściwe zabezpieczenie gruntów górnych warstw przed zwiększonymi drganiami,
- wymaganą sztywność podłoża (zazwyczaj $E_0 \geq 45$ MPa w przypadku gruntów spoiстых i $E_0 \geq 60$ MPa w przypadku gruntów niespoistych),
- prędkości krytyczne pociągów na odcinkach, na których występują słabe grunty,
- odcinki przejściowe przy obiektach inżynieryjnych,
- dopuszczalne różnice osiadań toru w eksploatacji.

Dostateczna wytrzymałość podtorza może być uzyskana przez odpowiedni kształt budowli oraz użycie do budowy odpowiednich gruntów i dobre ich zagęszczenie. Nachylenia skarp podtorza powinny wynikać z analiz ich stateczności. Stosowane nachylenia wynoszą od 1:1,8 do 1:3,0. W przypadku nasypów o wysokości do 6 m i najczęściej spotykanych gruntów dostateczną stateczność za-

pewniają skarpy o nachyleniu 1:2. Według karty UIC 719R [8] do budowy poszczególnych części podtorza są przydatne grunty następujących klas jakości:

QS3	<ul style="list-style-type: none"> – warstwy ochronne torowisk, – warstwy profilujące na liniach z nawierzchnią konwencjonalną, – warstwy zapobiegające podsączaniu wód w nasypy, – zasyпки przy murach, mostach i innych obiektach inżynieryjnych,
QS3, QS2	<ul style="list-style-type: none"> – nasypy na liniach z nawierzchnią konwencjonalną, – górne części podtorza na liniach z nawierzchnią bezpodsyPKową,
QS3, QS2, QS1	<ul style="list-style-type: none"> – dolne części nasypów na liniach z nawierzchnią bezpodsyPKową, – wymiana gruntów w przekopach na liniach z nawierzchnią bezpodsyPKową.

Przykładowe wymagania dotyczące poszczególnych warstw podtorza gruntowego na liniach z nawierzchnią konwencjonalną oraz bezpodsyPKową podano w tablicach 6 i 7.

Tablica 6

Wymagane moduły odkształceń i wskaźniki zagęszczenia gruntów podtorza na liniach z nawierzchnią konwencjonalną [1]

Wyszczególnienie	Moduły odkształceń E_{v2} na powierzchni warstwy* [MPa]	Wskaźniki zagęszczenia $I_s^{**})$	
		Podtorze z gruntów gruboziarnistych (niespoistych)	Podtorze z gruntów drobnoziarnistych (spoiстых i mieszanych)
Warstwa ochronna torowiska	120	$I_s=1,03$ Grunty klasy QS3 spełniające wymagania dla warstw ochronnych torowisk	
Warstwa profilująca (warstwa wyrównawcza, górna część podtorza pod warstwą ochronną torowiska)	80	$I_s=1,00$ Grunty niespoiste klasy QS3 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 5% (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd)	
Nasyp pod warstwą profilującą	60	$I_s=0,98$ Grunty niespoiste klasy QS3 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 5% (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd)	$I_s=1,00$ Grunty spoiste klasy QS2 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 15% (np. Żg, Pog, Pg, P π) $I_s=0,97$ Grunty spoiste klasy QS1 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 40% (np. Żg, Pog, Pg, P π , Пp, П, G)
Warstwa zapobiegająca podsiąkaniu wody w nasyp (jeśli potrzebna)	–	–	$I_s=0,98$ Grunty niespoiste klasy QS3 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 5% (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd)

Tablica 6 cd.

Podłoże nasypu do głębokości $\geq 0,5$ m	45	–	$I_s = 0,97$
Podtorze w przekopie pod warstwą profilującą do głębokości $\geq 0,5$ m	60	$I_s = 0,98$	$I_s = 0,97$

* Moduły odkształceń traktuje się jako projektowe (obliczeniowe) – podstawowym parametrem decydującym o jakości robót jest zagęszczenie gruntu.

** Wskaźniki zagęszczenia określa się w badaniach Proctora metodą normalną

Tablica 7

Wymagane moduły odkształceń i wskaźniki zagęszczenia gruntów podtorza na liniach z nawierzchnią bezpodsypkową [1]

Wyszczególnienie	Moduły odkształceń E_{v2} na powierzchni warstwy* [MPa]	Wskaźniki zagęszczenia I_s^{**}	
		Podtorze z gruntów gruboziarnistych (niespoistych)	Podtorze z gruntów drobnoziarnistych (spoiстых i mieszanych)
Warstwa ochronna przeciwmrozowa	120	$I_s = 1,00$ Grunty klasy QS3 spełniające wymagania dla warstw ochronnych torowisk	
Górna część nasypu do głębokości $\geq 2,5$ m mierzonej od torowiska	60	$I_s = 1,00$ Grunty niespoiste klasy QS3 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 5% (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd)	$I_s = 1,00$ Grunty spoiaste klasy QS2 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 15% (np. Żg, Pog, Pg, P π)
Dolna część nasypu	45	$I_s = 0,98$ Grunty niespoiste klasy QS3 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 5% (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd)	$I_s = 1,00$ Grunty spoiaste klasy QS2 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 15% (np. Żg, Pog, Pg, P π) $I_s = 0,97$ Grunty spoiaste klasy QS1 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 40% (np. Żg, Pog, Pg, P π , Pp, P, G)
Warstwa zapobiegająca podsiąkaniu wody w nasyp (jeśli potrzebna)	–	–	$I_s = 0,98$ Grunty niespoiste klasy QS3 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 5% (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd)
Podłoże nasypu do głębokości $\geq 0,5$ m	45	–	$I_s = 0,97$
Grunt w przekopie wymieniany do głębokości $\geq 2,5$ m mierzonej od torowiska	60	$I_s = 0,98$ do głęb. $\geq 0,5$ m $I_s = 0,95$ poniżej Grunty niespoiste klasy QS3 o zawartości cząstek $\leq 0,06$ mm do 5% (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd)	$I_s = 0,97$ do głęb. $\geq 0,5$ m $I_s = 0,95$ poniżej Grunty klasy QS3, QS2 i QS1 (np. Po, Ż, Pr, Ps, Pd, Żg, Pog, Pg, Pp, P, Gz)

* Moduły odkształceń traktuje się jako projektowe (obliczeniowe) – podstawowym parametrem decydującym o jakości robót jest zagęszczenie gruntu.

** Wskaźniki zagęszczenia określa się w badaniach Proctora metodą normalną.

Grubości górnych warstw podtorza (warstw profilujących i warstw ochronnych torowisk) na liniach z nawierzchnią konwencjonalną określa się według karty UIC 719R [8], przy założeniu klasy nośności podtorza P3. W praktyce jednak często przyjmuje się typową grubość warstwy profilującej równą około 1 m, z następującymi wyjątkami:

- 1) skały, dobrze uziarnione żwiry, pospółki i piaski oraz grunty spełniające wymagania dla gruntów warstw ochronnych torowisk – nie wymagają przykrycia,
- 2) jednorodne żwiry, pospółki i piaski, zapyłone lub zaglinione żwiry i pospółki – wymagają przykrycia warstwą o grubości co najmniej 0,45 m,
- 3) żwiry i pospółki gliniaste, piaski pylaste i gliniaste – wymagają przykrycia warstwą o grubości co najmniej 0,60 m,
- 4) pyły i gliny o granicy płynności $I_L < 50$, ły, grunty organiczne, skały bardzo wrażliwe na wietrzenie – wymagają przykrycia warstwą o grubości nie mniejszej niż 1,0 m.

Na takim podtorzu układa się warstwę ochronną torowiska ze specjalnie dobranego materiału o grubości:

- 0,30 m – w przypadku nacisków osi taboru 225–250 kN,
- 0,45 m – w przypadku nacisków większych od 250 kN.

Do budowy warstw ochronnych torowisk powinien być stosowany grunt klasy QS3 według karty UIC 719R, w którym 100% ziaren większych od 4 mm można uznać za przekruszone i łamane, charakteryzujący się następującymi właściwościami:

- ciągłym uziarnieniu 0–30 (40) mm,
- dobrze zagęszczający się i nie ulegający rozgęszczeniu pod wpływem drgań (zaleca się materiały o wskaźniku różnoziarnistości $U \geq 14$ i wskaźniku wygięcia krzywej uziarnienia gruntu $C = 1 \div 3$),
- dostatecznie odporny na rozdrabnianie,
- dostatecznie odporny na mróz i niewysadzinowy,
- stabilny na styku z podsypką i gruntem podtorza – spełnienia tego warunku nie wymaga się dla styków z materiałami o strukturze trwałej, które nie ulegają sufozji,
- odpowiednio wodoprzepuszczalny,
- uniemożliwiający migrację cząstek gruntów z podtorza w podsypkę,
- dostatecznie trwałe, tzn. nie zawierający substancji rozpuszczalnych i chemikaliów powodujących rozpad ziaren,
- pozbawiony części organicznych i innych zanieczyszczeń.

Podbudowy nawierzchni niekonwencjonalnej (bezpodsypkowej) projektuje się z uwzględnieniem wymagań i zaleceń producenta stosowanej nawierzchni. Przy

wymiarowaniu przyjmuje się obciążenie określone w TSI: układ sił pionowych 250 kN oraz obciążenie rozłożone 80 kN/m [22]. Pionowe siły statyczne od koła pojazdu zwiększa się, przyjmując współczynnik bezpieczeństwa równy 1,5, a dla sił bocznych 1,2. Sprężystość podparcia szyny ogranicza się, aby nie dopuścić do przekroczenia naprężeń ściskających i rozciągających w szynach, przy założeniu, że ugięcie szyny nie może przekroczyć 1,5 mm pod działaniem nacisku osi równego 200 kN. Sztywność konstrukcji powinna wynosić 64 ± 5 kN/mm. W procesie wymiarowania nie narzuca się sposobu podparcia szyny, jednak w przypadku układania szyn na podkładach, te ostatnie umieszcza się na warstwie betonu, warstwie stabilizowanej asfaltem lub warstwie asfaltobetonu, co ułatwia transport materiałów do budowy nawierzchni i zapewnia stabilność nawierzchni podczas jej eksploatacji.

Konstrukcje z betonową warstwą nośną mogą być wykonywane na miejscu albo z zastosowaniem płyt lub ram prefabrykowanych. Warstwa wykonywana na miejscu jest zbrojona i betonowana na całej długości. Może mieć przekrój prostokątny lub w formie koryta. Przy ciągłym podparciu, ruszt toru jest integralną częścią betonowej lub bitumicznej warstwy nośnej. Dzięki zakotwieniu podkładów możliwe jest przenoszenie oddziaływań bocznych. Ostatnio opracowano również rozwiązanie z betonową warstwą nośną przy zmniejszonym odstępnie podparcia szyny, lecz z wyeliminowaniem podkładów. Grubość warstwy nośnej, hydraulicznie stabilizowanej określa się na podstawie wymiarowania całej konstrukcji. Z reguły oddziela się niezwiązaną górną warstwę podtorza ziemnego od warstwy nośnej (betonowej lub stabilizowanej bitumem), która ma zapobiegać przekroczeniu nośności podtorza pod oddziaływaniem obciążeń eksploatacyjnych.

W każdym przypadku na poziomie płyt nawierzchni kolejowej przewiduje się izolację zabezpieczającą podtorze przed infiltracją wód opadowych (nawierzchnię bitumiczną, wypełnienie betonem lub zagęszczonym tłuczniem pokrytym warstwą mieszanki bitumicznej). Taka izolacja powinna być wykonana również na międzytorzu, sięgać co najmniej 0,40 m poza płyty podbudowy oraz chronić odsłonięte boczne powierzchnie warstwy nośnej. Wszystkie prace dotyczące podtorza na liniach dużych prędkości powinny być kontrolowane zgodnie z przyjętym systemem kontroli jakości robót, uwzględniającym działania wpływające na jakość tych robót.

6. Odcinki przejściowe

Podstawowym warunkiem zapewniającym spokojność jazdy pociągów w rejonach obiektów inżynierskich jest jednakowa sprężystość toru. Pewien pogląd na możliwości spełnienia tego wymagania daje porównanie ugięć toru na róż-

nych podłożach, bez uwzględniania ugięć przęseł samych obiektów [19]. Z tego porównania wynika, że (tabl. 8):

- dla podtorza gruntowego o przeciętnej jakości ugięcia toru na podkładach betonowych, są prawie takie same jak toru na drewnianych mostownicach,
- dla podtorza dobrego, dużą zgodność ugięć można uzyskać w przypadku toru na podkładach betonowych i toru na obiekcie na podsypce (większą zgodność można uzyskać po ułożeniu pod podsypką na obiekcie odpowiedniej maty tłumiąco-amortyzującej).

Tablica 8

Wyniki obliczeń ugięć toru na różnych podłożach [19]
(szyny 60 E1, podsypka 0,35 m, siła osiowa 215 kN, $V = 160$ km/h)

Charakterystyka podłoża		Współczynnik podłoża podkładów C [daN/cm ³]	Ugięcie toru [mm]
Podtorze gruntowe, podkłady betonowe	Stan podtorza zły ($E_o = 20$ MPa)	77	3,05
	Stan podtorza przeciętny ($E_o = 60$ MPa)	143	1,93
	Stan podtorza dobry ($E_o = 120$ MPa)	202	1,49
Obiekt inżynierski $E_o = 800$ MPa	Tor na mostownicach drewnianych	195	2,01
	Tor na podsypce, podkłady betonowe	291	1,13
	Tor na podsypce, podkłady drewniane	158	2,35

Jednak w większości przypadków jednakowa sztywność toru nie wystarcza, gdyż podczas eksploatacji, budowla ziemna ulega trwałym odkształceniom, a przęsła długich obiektów uginają się powodując zwiększenie oddziaływań taboru. Zwiększone odkształcenia podtorza przy obiektach mogą również występować na skutek przemieszczeń i drgań podpór obiektów lub deformacji obiektów ramowych. Skutkom tych zjawisk można zapobiegać stosując konstrukcje zapewniające płynną zmianę sztywności podłoża toru i zmniejszające skutki zwiększonych oddziaływań taboru. W Polsce odcinki przejściowe przy obiektach inżynierskich są wymagane w przypadku podtorza [10]:

- 1) nowo budowanego dla prędkości większych od 120 km/h,
- 2) dostosowywanego (modernizowanego) do prędkości większych od 160 km/h,
- 3) eksploatowanego, w którym występują nadmierne efekty progowe.

Obecnie nie ma jednak wymagań dotyczących konstrukcji takich odcinków. Pewne zalecenia i przykłady konstrukcji odcinków przejściowych zawiera karta UIC 717R [8] oraz „Warunki techniczne Id-3” [10]. Wskazuje się w nich, że konstrukcje odcinków przejściowych powinny uwzględniać:

- 1) rodzaj obiektu inżynierskiego (otwarty, zamknięty, wiszący, na palach itp.),
- 2) możliwości wykonawcze (m.in. możliwość wykonania robót na linii istniejącej, możliwość odpowiedniego zagęszczenia materiału przy obiekcie),
- 3) prędkość pociągów,
- 4) wysokość nasypu,
- 5) dopuszczalne w eksploatacji różnice osiadań obiektu i podtorza przy obiekcie,
- 6) odwodnienie przy obiekcie.

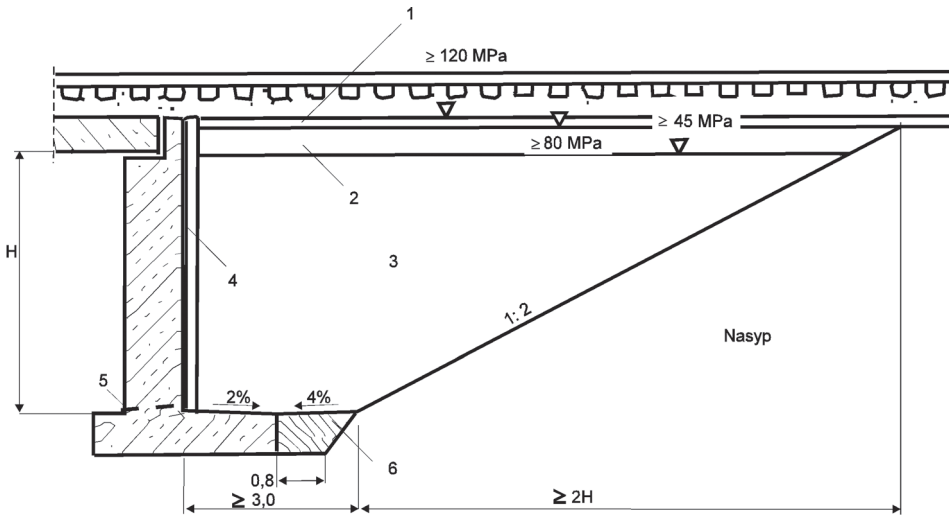
Zasadniczo odcinek przejściowy przy obiekcie powinien składać się z dwóch stref: sztywniejszej przy obiekcie zbudowanej z kruszywa lub gruntu stabilizowanego cementem oraz mniej sztywnej, zbudowanej z gruntu dobrej jakości. Materiał przy obiekcie musi być odporny na osiadanie, łatwo zagęszczać się i być przydatny do ulepszania cementem. Wymiary największych ziaren układanego materiału należy uzależniać od stosowanego sprzętu do rozścielania i zagęszczania; w przypadku sprzętu typowego, wymiary ziaren materiału nie powinny przekraczać połowy grubości układanej warstwy oraz 0,10 m. Materiał powinien być układany cienkimi warstwami, np. 0,10–0,15 m i zagęszczany małymi zagęszczarkami, tak aby uniknąć uszkodzeń obiektu.

W rozporządzeniu [16] podane są następujące wymagania:

- 1) *W przypadku gdy konstrukcja obiektu inżynierskiego wymaga stosowania nawierzchni bez podsypki (mostownice, bezpośrednie przymocowanie szyn do konstrukcji), różnica sprężystości toru na i poza obiektem nie może być większa niż 30%. Jeżeli różnica sprężystości jest większa niż 30%, należy ograniczyć prędkość pojazdów kolejowych do wartości określonej na podstawie szczegółowej analizy dynamicznej.*
- 2) *Sprężystość toru na obiekcie inżynierskim oraz w jego sąsiedztwie powinny być zbliżone, a zmiana sprężystości toru na dojazdach do tego obiektu powinna następować płynnie przed i za – na długości 20 m.*
- 3) *Jeżeli tor kolejowy jest układany na podsypce, konstrukcja toru na obiektach inżynierskich powinna być taka sama jak poza obiektem.*

W praktyce, ze względu na ograniczone możliwości zmiany konstrukcji podtorza, na liniach modernizowanych stosuje się usztywnienia nawierzchni i wzmocnienia jego górnych części. Usztywnienia nawierzchni mogą polegać na wydłużeniu istniejących odbojnic, ułożeniu dodatkowych szyn usztywniających, zastosowaniu wydłużonych podkładów przy obiekcie. Natomiast wzmocnienia górnych warstw podtorza mogą polegać na zabudowie jedno- lub wielowarstwowo-

wego pokrycia ochronnego torowiska, płyt przejściowych umożliwiających zmniejszenie nacisków na grunty podtorza lub zastosowaniu kolumn kamiennych (tj. otworów o średnicy około 0,3 m i głębokości około 2,0 m wypełnionych dobrze zagęszczonym kruszywem, wzmacniających słabe grunty podtorza i poprawiających jego odwodnienie). Znacznie rzadziej wykonuje się całkowitą przebudowę podtorza przy obiekcie, na przykład według rysunku 6.

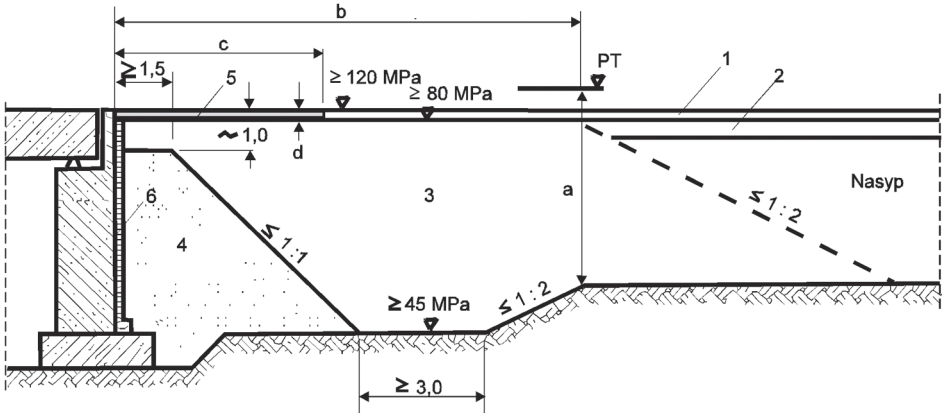


Rys. 6. Odcinek przejściowy na linii eksploatowanej (koleje węgierskie)

- Oznaczenia: 1) warstwa ochronna torowiska grubości 0,2 m, 2) podbudowa 0,5 m, 3) grunt dobrze uziarniony ($U \geq 5$) zagęszczany warstwami o grubości 0,15–0,30 m, 4) izolacja i warstwa filtracyjna, 5) odwodnienie, 6) beton

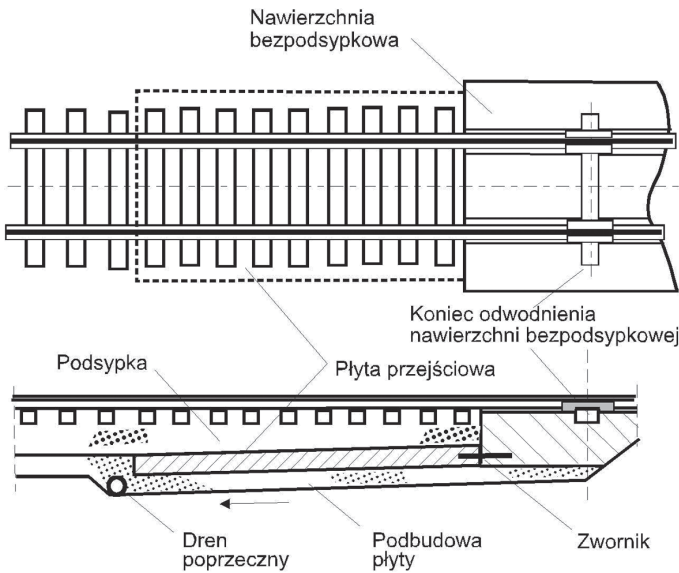
W przypadku nowo budowanych linii dużych prędkości, odpowiednią spokojność jazdy pociągów można uzyskać przez przykrycie przepustów grubą warstwą gruntu, natomiast przy innych obiektach mogą być stosowane bardziej skomplikowane konstrukcje odcinków przejściowych, takie na przykład jak pokazano na rysunku 7, a także strefy przejściowe pomiędzy nawierzchnią konwencjonalną i bezpodsypkową (rys. 8). W każdym przypadku odcinki przejściowe zaleca się budować w podtorzu tak, aby wszystkie prace utrzymaniowe, np. oczyszczanie podsypki i regulacje położenia toru, mogły być wykonywane na całej długości toru.

	a	b	c	d
$v \geq 250$ km/h	$\geq 3,0$	≥ 20	≥ 10	$\geq 0,50$
$200 \leq v < 250$ km/h	$\geq 2,5$	≥ 15	≥ 5	$\geq 0,40$
$160 \leq v < 200$ km/h	$\geq 2,5$	≥ 10	≥ 3	$\geq 0,30$



Rys. 7. Odcinek przejściowy w nasypie na linii nowobudowanej (koleje niemieckie)

- Oznaczenia: 1) warstwa ochronna torowiska, 2) podbudowa, 3) grunt dobrze uziarniony ($U \geq 5$) zagęszczony do $I_s \geq 1,0$, 4) grunt stabilizowany 3% dodatkiem cementu i zagęszczony do $I_s \geq 0,95$, 5) warstwa nieprzepuszczalna, 6) izolacja i warstwa filtracyjna



Rys. 8. Płyta przejściowa pomiędzy nawierzchnią konwencjonalną i bezpodsypkową (koleje niemieckie) [19]

7. Ochrona środowiska

7.1. Zasady ogólne

Ochrona środowiska [10, 24, 25, 26] polega przede wszystkim na:

- 1) zapobieganiu niszczeniu terenów rolnych i leśnych oraz terenów użytkowanych w inny sposób,
- 2) możliwie małym ingerowaniu w warunki życia ludzi, zwierząt, roślin,
- 3) zapobieganiu zanieczyszczeniom wód powierzchniowych i gruntowych,
- 4) stosowaniu stref ochronnych w pobliżu miejsc czerpania wody pitnej, terenów zdrojowych, rezerwatów itp.,
- 5) zapobieganiu naruszeniu istniejących stosunków wodnych.

Ochrona środowiska powinna być uwzględniana na wszystkich etapach projektowania, budowy i utrzymania podtorza [6, 7]:

1. Na etapie projektowania i budowy przez:

- zagwarantowanie nienaruszalności stosunków wodnych w strefach wrażliwych ze względu na wrażliwość lokalnie występujących gatunków i siedlisk,
- budowę tuneli lub wiaduktów na terenach „wrażliwych”,
- stosowanie nocnego oznakowania mostów kolejowych nad ciekami wodnymi będącymi korytarzami ekologicznymi oraz znaków ostrzegawczych dla ptaków na budowanych ekranach,
- rezygnację z prac ingerujących w koryta rzek poza okresem czerwiec – sierpień z uwagi na tarło ryb,
- zagwarantowanie nienaruszalności cennych siedlisk przyrodniczych podczas organizacji placu budowy,
- budowę wyłącznie „z torowiska” (tylko przy modernizacji), bez tymczasowych dróg dojazdowych i umacniania dróg leśnych,
- rekultywację i renaturyzację terenu po zakończeniu budowy (przywracanie pierwotnego stanu).

2. Dostosowywanie konstrukcji drogi kolejowej przez:

- budowę przejść podtorowych dla ludzi i zwierząt oraz modyfikację istniejących przepustów,
- budowę przejść nad torami dla zwierząt typu „zielone mosty”,
- przebudowę mostów kolejowych z wytworzeniem „suchych prześleń”,
- oddzielanie ciągów odwadniających podtorze od sieci kanalizacyjnych,
- stosowanie urządzeń podczyszczających wody opadowe i podziemne spływające z sieci odwadniających podtorze,

- zmiany konstrukcji rowów bocznych obudowanych głębokimi korytkami,
- stosowanie zabezpieczeń zapobiegających wchodzeniu zwierząt (ogrodzeń dla zwierząt dużych oraz ścianek o wysokości 0,45 m w przypadku płazów),
- stosowanie odstraszaczy zwierząt.

3. Ochronę przed hałasem i drganiami przez:

- ograniczanie emisji hałasu przez szlifowanie szyn i osłony wózków taboru,
- zapobieganie rozprzestrzenianiu się hałasu przez stosowanie ekranów naturalnych (zieleń, jary) i sztucznych (nasadzenia drzew, ekrany) [15],
- stosowanie mat wibroizolacyjnych, wibroizolatorów i rowów tłumiących, zapobiegających rozprzestrzenianiu się drgań;

4. Racjonalne wykorzystywanie materiałów odpadowych takich, jak stare podkłady betonowe, stara podsypka i odsiewki, żużle i popioły.

7.2. Ochrona przed hałasem i drganiami

W pojazdach kolejowych hałas jest generowany głównie na wysokości nie przekraczającej 1 m przez styk koło – szyna oraz hamulce, a skuteczność środków ograniczających hałas jest różna:

- regularne szlifowanie kół – 10 dB,
- wstępne (do głębokości 0,3 mm) i później regularne szlifowanie szyn – 10 dB,
- kompozytowe klocki hamulcowe – 8 dB,
- dynamiczny tłumik drgań koła – 5 dB,
- dynamiczny tłumik drgań szyny – 5 dB,
- optymalizacja podkładek pod szynę – 5 dB,
- ekrany przytorowe niskie – 3 dB,
- ekrany akustyczne niskie, wysokie – od 5 do 15 dB (tylko lokalnie),
- zmiana izolacyjności fasad budynków i wymiana okien – od 7 do 10 dB (tylko wewnątrz pomieszczeń),
- zmiana taboru na nowoczesny (z odpowiednimi atestami) – od 9 do 11 dB.

Dotychczas nie ma norm odnoszących się wyłącznie do ekranów akustycznych stosowanych na kolei – większość badań dotyczy ekranów drogowych, dlatego na kolejach są najczęściej stosowane ekrany standardowe o wysokości 3–5 m. Niższe ekrany można stosować w przypadku wałów ziemnych lub linii kolejowej na nasypie. Natomiast ekrany wyższe, ze względu na obciążenia boczne, muszą mieć specjalne konstrukcje wsporcze.

Stosowane są zarówno ekrany sztuczne: odbijające (reflekcyjne) wykonane z różnych materiałów, rozpraszająco-pochłaniające, pochłaniające (absorpcyjne), jak i ekrany naturalne wykorzystujące ukształtowanie terenu.

Skuteczność ekranu zależy od wzajemnego usytuowania źródła hałasu i punktu obserwacji, wysokości i długości ekranu, jego kształtu, grubości i właściwości powierzchni, charakteru źródła i widma częstotliwości emitowanego przez nie hałasu, kształtu górnej powierzchni ekranu. Z tych względów potrzeba stosowania ekranu oraz jego skuteczność może być zweryfikowana ostatecznie dopiero w eksploatacji. W miejscach o szczególnych walorach krajobrazowych i kulturowych, stanowiących osie widokowe i kompozycyjne, a także ze względu na ochronę krajobrazu, względy estetyczne i pozbycie się uczucia monotonii podczas jazdy, zaleca się stosowanie ekranów przezroczystych.

W celu zapobieżenia rozprzestrzenianiu się drgań, najczęściej stosuje się podtorowe maty wibroizolacyjne, które zmniejszają [18]:

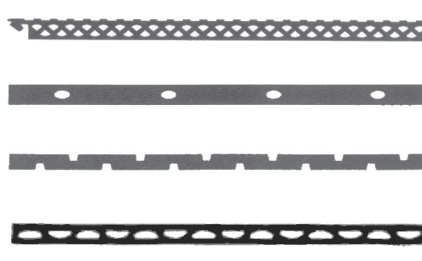
- wibracje powodowane przez pojazdy szynowe,
- oddziaływania dynamiczne na podsypkę w nawierzchniach podsypkowych przez zwiększenie sprężystości jej podłoża.

Maty podtorowe powinny być dobierane stosownie do konstrukcji podtorza i nawierzchni oraz warunków eksploatacji toru. Efektywność mat jest największa w przypadku drgań o częstotliwościach:

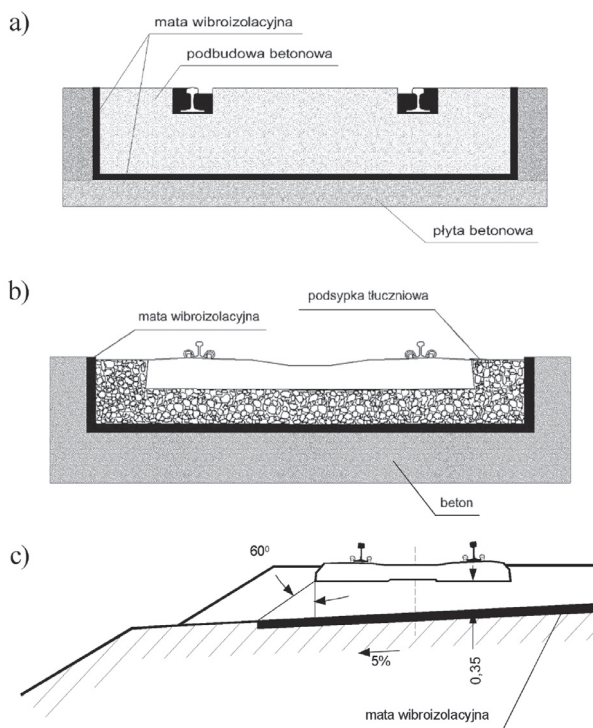
- ≥ 63 Hz – w podsypkowych konstrukcjach nawierzchni torowych,
- ≥ 30 Hz – w bezpodsypkowych konstrukcjach nawierzchni torowych.

Maty są produkowane w postaci arkuszy lub gotowych koryt ze specjalnie dobranych tworzyw sztucznych lub gumy i mają grubości oraz profile zapewniające uzyskanie odpowiednich sztywności (rys. 9). Rozróżnia się następujące rodzaje mat (rys. 10):

- maty podtłuczniowe (*SBM – Sub Ballast Mats, USM – Unterschottermatte*),
- maty układane pod płytami betonowymi (*STM – Slab Track Mats, LMFS – Leichte Masse Feder Systeme*).



Rys. 9. Profile mat podtorowych (przykłady) [20]



Rys. 10. Zabudowa mat podtorzowych: a) w nawierzchni bezpodsypkowej, b) w nawierzchni podsypkowej na sztywnym podłożu, c) na podatnym podłożu gruntowym [20]

Maty podtłuczniowe są przystosowane do obciążeń skoncentrowanych na niewielkich powierzchniach kontaktów z ziarnami tłucznia. Są to warunki mniej korzystne niż w wypadku mat układanych pod płytą betonową, gdzie obciążenia rozkładają się równomiernie na całą powierzchnię maty. Z tego względu maty SBM mogą być stosowane zamiennie z matami STM, tzn. również pod płytami podbudów betonowych. Stosowane maty powinny charakteryzować się odpowiednimi właściwościami, takimi jak:

- sztywność statyczna C_{stat} i dynamiczna C_{dyn} ,
- współczynnik usztywnienia dynamicznego, tzn. stosunek sztywności dynamicznej do sztywności statycznej C_{dyn} / C_{stat} ,
- wytrzymałość zmęczeniowa.

Podstawowym parametrem określającym przydatność danej maty jest jej sztywność statyczna C_{stat} , nazywana również statycznym modułem podłoża. W zależności od warunków eksploatacyjnych, charakteryzowanych przez prędkość maksymalną i nacisk osi, zaleca się maty o sztywności statycznej według tablicy 9.

Tablica 9

Zalecane sztywności statyczne mat [20]

Maksymalne obciążenie osi taboru P [kN]	Maksymalna prędkość pociągu V_{max} [km/h]	Zalecana sztywność statyczna mat C_{stat} [N/mm ³]	
		układanych pod podsypką tłuczniową	układanych pod płytami betonowymi
$P \leq 160$	$V_{max} \leq 100$	0,01–0,02**	
$P \leq 160$	$V_{max} \leq 120$	0,02*	0,01–0,02**
$P > 160$	$V_{max} \leq 120$	0,03*	
$P \leq 160$	$120 < V_{max} \leq 200$	0,06*	
$P > 160$	$V_{max} > 200$	0,10–0,15*	

* Sztywność statyczną C_{stat} określa się dla przedziału obciążeń 0,02–0,10 N/mm².

** Sztywność statyczną C_{stat} określa się dla przedziału obciążeń 0,02–0,04 N/mm².

Sztywność statyczną C_{stat} i dynamiczną C_{dyn} określa się według normy DIN 45673 [3, 4, 5], przy czym jakość materiału charakteryzuje współczynnik usztywnienia dynamicznego C_{dyn} / C_{stat} (zaleca się stosowanie mat podtorowych, o jak najmniejszym współczynniku usztywnienia z przedziału wartości 1,3–2,2). Wytrzymałość zmęczeniową mat określa się poddając próbki obciążeniom dynamicznym symulującym oddziaływania od pojazdów. Zbadana ponownie sztywność statyczna nie powinna wykazywać nadmiernego przyrostu w porównaniu do wartości określonej przed badaniem.

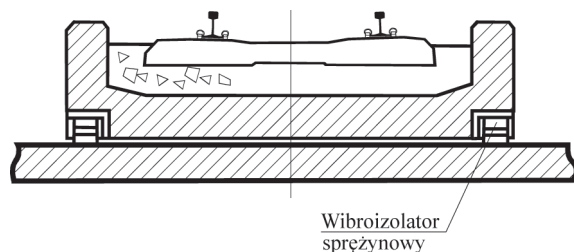
Dodatkowymi kryteriami doboru materiału, w tym jego sztywności statycznej, jest dopuszczalna wartość ugięcia szyny i częstotliwość drgań własnych nawierzchni, mająca szczególnie duże znaczenie w przypadku stosowania nawierzchni bezpodsypkowej. Grubość materiału dobiera się z zakresu 5–50 mm, uwzględniając konstrukcję i warunki budowy nawierzchni oraz warunki eksploatacyjne.

Warstwy podsypki na matach podtłuczniowych SBM układa się tak, aby nie dopuszczać do przemieszczeń poszczególnych arkuszy powodujących powstawanie pomiędzy nimi szczelin większych niż 5 mm. Szczeliny na stykach mat przykrywa się taśmą klejącą o szerokości co najmniej 100 mm. Jeśli maty układa się dwuwarstwowo, to przykrycie szczelin przez warstwę górną powinno wynosić około 150 mm. Krawędzie poszczególnych arkuszy mat na pionowych ściankach koryta podsypkowego mocuje się do podłoża odpowiednim klejem.

Maty STM zaleca się oddzielać od układanego na nich betonu podbudowy materiałem nieprzepuszczalnym (np. folią polietylenową), co chroni poszczególne arkusze maty przed rozsuwaniem się podczas wylewania masy betonowej, penetracją jej między styki tych arkuszy i powstawaniem zjawiska tzw. mostka akustycznego zmniejszającego skuteczność wibroizolacji.

W przypadku drgań zagrażających sąsiadującym budowlom stosuje się niekiedy specjalne wibroizolatory, np. sprężynowe z tłumikami (rys. 11). Takie ele-

menty pozwalają uzyskać bardzo niską częstotliwość drgań własnych toru (zazwyczaj 4–8 Hz). Pozwala to tłumić nie tylko drgania o dużych częstotliwościach powodujące hałas, lecz także drgania o częstotliwościach mniejszych, na przykład drgania powodujące rezonans ścian i stropów budynków (najczęściej 10–30 Hz).

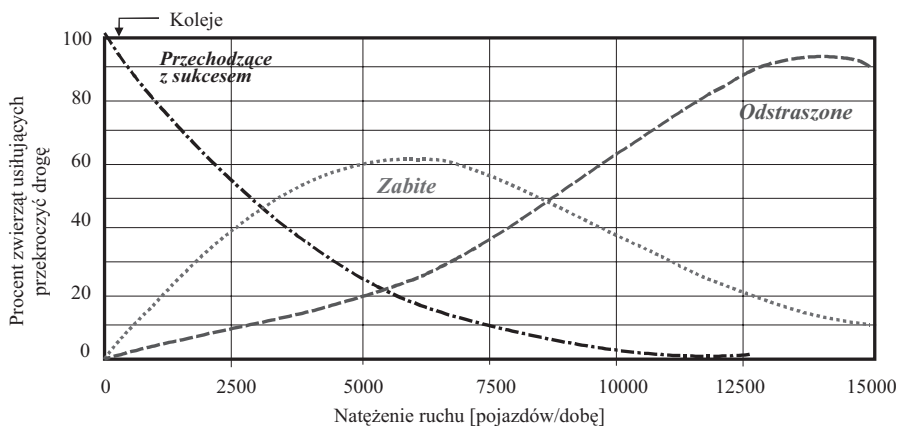


Rys. 11. Zabudowa wibroizolatorów [20]

Rzadko stosowanym rozwiązaniem zapobiegającym rozprzestrzenianiu się drgań w gruntach są wcinki wzdłuż torów wypełnione materiałem tłumiącym.

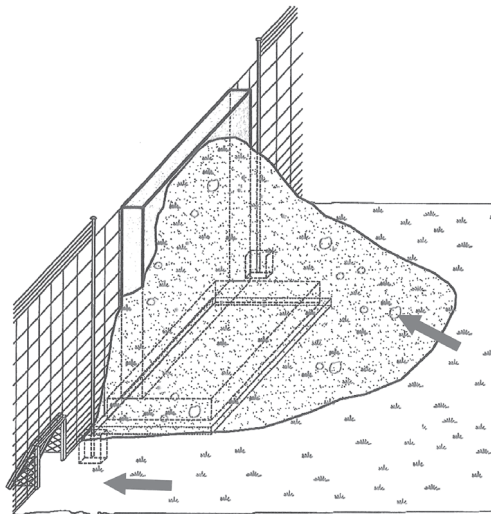
7.3. Ochrona zwierząt

Dotychczas na kolejach nie przeprowadzono kompleksowych badań dotyczących efektywności różnych metod ochrony zwierząt. Pewne wnioski można wysnuć jedynie na podstawie badań przeprowadzonych dla dróg samochodowych. Wynika z nich, że przy braku dodatkowych zabezpieczeń i stosunkowo małym natężeniu ruchu samochodów, szybko zwiększa się procent zabitych zwierząt (rys. 12). Można więc przypuszczać, że szybkie pociągi będą stwarzały jeszcze większe zagrożenie dla zwierząt usiłujących przekraczać tory kolejowe.



Rys. 12. Wpływ natężenia ruchu na skuteczność prób przekraczania dróg przez zwierzęta, według [11]

Populacje i siedliska zwierząt tego samego gatunku nie powinny być całkowicie rozdzielane. Dlatego ochrona zwierząt powinna polegać na ich odstraszeniu lub stwarzaniu im warunków do bezpiecznego przekraczania torów w wyznaczonych miejscach przez stosowanie odpowiednich ogrodzeń i przejść, a niekiedy również wyjść (rys. 13). Konkretnie działania powinny jednak być podejmowane dopiero po inwentaryzacji gatunków występujących zwierząt, ich siedlisk, miejsc rozrodu oraz tras wędrówek [18].



Rys. 13. Ogrodzenie z wyjściami umożliwiającymi ucieczkę zwierząt

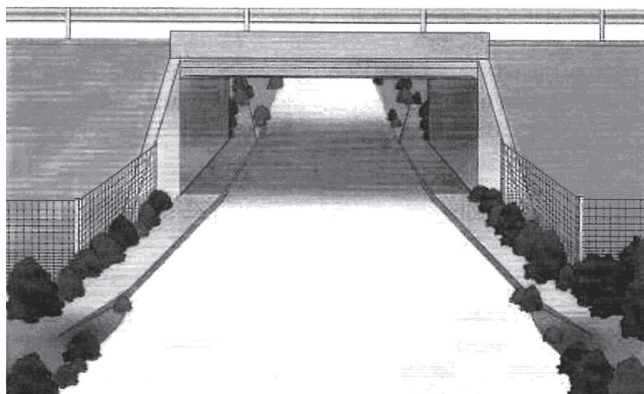
Zadaniem urządzeń do odstraszenia zwierząt jest przeciwdziałanie migracji zwierząt przez tory kolejowe w czasie przejazdu pociągu przy założonej prędkości [19]. Na przykład prototypowy odstraszacz typu UOZ-1 firmy NEEL Sp. z o.o. na około minutę przed przejazdem pociągu wydaje sekwencję naturalnych, alarmująco-informacyjnych sygnałów dźwiękowych opracowanych przez zoopsychologów: ostrzegawczy krzyk sójki, ujadanie psów w nagonce, rzenie konia, wzbogaconych o tzw. sekwencje śmierci: kniazienie zająca (głos, jaki wydaje, gdy jest przerażony lub ranny), głos zarzynanej świni. Sekwencja trwa od 50 do 180 sekund, jej długość jest automatycznie dopasowywana do zmieniającej się prędkości pociągu.

Z odstraszaczami UOZ-1 współpracuje specjalne oprogramowanie zainstalowane w kontenerach samoczynnej blokady liniowej typu SHL-12, której to sygnały powodują uruchomienie dźwięków. Z każdym kontenerem samoczynnej blokady liniowej może współpracować do 32 urządzeń. Odstraszacze montuje się co 70 m. Koszt instalacji jednego prototypowego urządzenia wynosi obecnie około 32 tys. zł, co oznacza że zamiast budowy jednego przejścia nadziemnego można

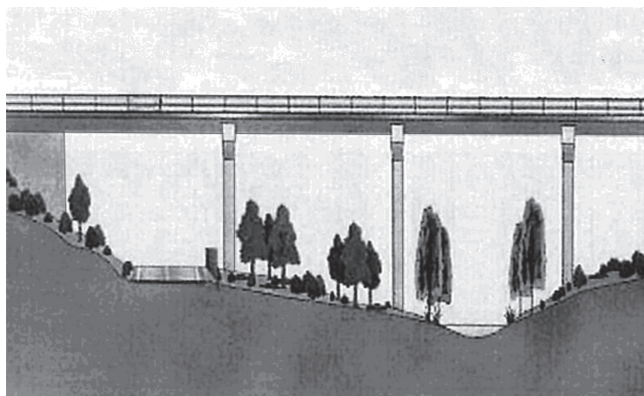
ochronić 200–400 km linii kolejowej. Odstraszacze UOZ-1 bada się od 2003 r. na modernizowanych liniach (m. in. na linii E-20). Dotychczas stwierdzono, że skuteczność tych urządzeń wynosi 60–77%.

Innym rodzajem prototypowego odstraszacza jest element odblaskowy Swa-reflex firmy APM, tzw. wilcze oczy, składający się z dwóch wzajemnie prostopadłych luster odbijających światła nadjeżdżającej lokomotywy w kierunku od toru. Elementy odblaskowe zmontowano doświadczalnie na linii Warszawa – Łódź, jednak ich skuteczność wydaje się wątpliwa, gdyż działają tylko w nocy.

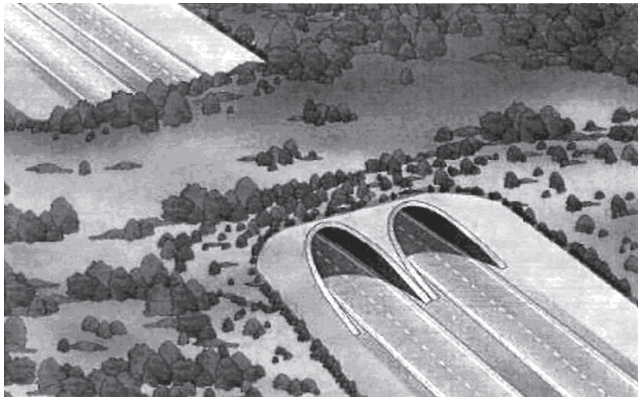
Powszechnie stosowanymi środkami ochrony zwierząt są ogrodzenia linii kolejowych i odpowiednie przejścia. Liczba przejść dla zwierząt powinna być uzależniona od rodzaju przecinanych siedlisk przyrodniczych oraz gatunków występujących zwierząt, a w przypadku przejść wielofunkcyjnych do grup zwierząt, przy czym do przechodzenia zwierząt należy w pierwszej kolejności przystosowywać wszystkie projektowane obiekty inżynieryjne, takie jak przepusty, mosty oraz przejścia i przejazdy pod torami (rys. 14, 15 i 16).



Rys. 14. Przepust dostosowany do przechodzenia zwierząt



Rys. 15. Przejście dolne pod wiaduktem na szlaku migracji zwierząt



Rys.16. Przejście górne dla zwierząt na drodze samochodowej (tzw. most krajobrazowy lub ekodukt)

Zalecane minimalne wymiary przejść dla zwierząt oraz gęstości ich rozmieszczenia podano w tablicach 10 i 11. Ze względu na wysokie koszty, przejścia górne są przeznaczone przede wszystkim dla zwierząt średnich i dużych i są tym bardziej skuteczne, im są szersze. Przejście górne powinno się rozszerzać w obie strony od najwęższego miejsca z zachowaniem kąta rozszerzenia w granicach od 30° do 45° . Dla regionalnej wymiany o dużych natężeniach zaleca się stosowanie przejść górnych bardzo szerokich, nazywanych mostami biologicznymi oraz mostami ekologicznymi – szerokości tego rodzaju przejść zależą od gatunków zwierząt, morfologii terenu i od środowiska, które należy odtworzyć.

Tablica 10

Minimalne wymiary przejść dla zwierząt [18]

Rodzaj przejścia	Wielkość zwierząt	Średnica	Szerokość	Wysokość
Dolne	Małe (głównie płazy)	40 – 60 cm	40 cm	30 – 40 cm
	Średnie, chętnie korzystające z przejść podziemnych (np. lisy)	1,0 m	1,0 m	1,0 m
	Duże, unikające ciemności:	–	4,0 m	2,5 m
	<ul style="list-style-type: none"> • dzik • sarna • jeleń 			3,5 m 4,0 m
Górne	Średnie i duże: <ul style="list-style-type: none"> • dzik • sarna • jeleń 	–	7,0 m 10,0 m 12,0 m	–

Regionalne	Wszystkie	–	25,0 m	–
Mosty biologiczne			50,0 m	
Mosty ekologiczne			kilkaset metrów do wielu kilometrów	

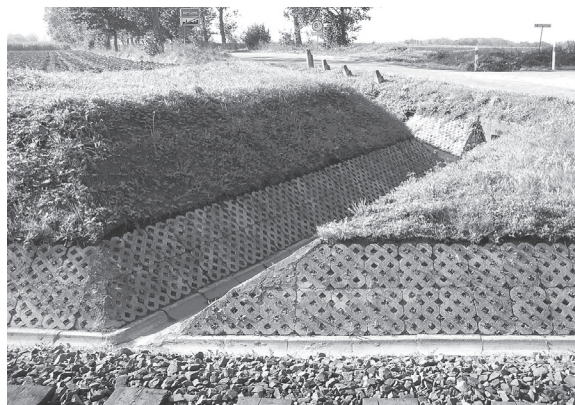
*Wskaźnik ciasnoty względnej dla zwierząt unikających środowiska podziemnego i ciemności powinien wynosić: (szerokość x wysokość) / długość $\geq 1,5$

Tablica 11

Minimalne gęstości rozmieszczenia przejść dla zwierząt [18]

Przecinane siedliska	Minimalna gęstość rozmieszczenia przejść dla:	
	dużych ssaków	małych kręgowców
Siedliska przyrodnicze i inne ważne dla ochrony spójności ekologicznej	1 przejście na 1 km	1 przejście na 500 m
Pozostałe siedliska (przekształcone antropogenicznie, w tym tereny rolnicze)	1 przejście na 3 km	1 przejście na 1 km

Obecnie szczególnym problemem na kolejach w Polsce są obudowane rowy boczne, stanowiące często pułapki dla drobnych zwierząt, takich jak żaby. Dlatego na terenach niezabudowanych na szlakach, należy w maksymalnym stopniu wykorzystywać naturalne możliwości odpływu wód z podtorza. W przypadku braku takich możliwości, nie należy stosować rowów umocnionych korytkami głębokimi. Zamiast nich należy stosować rowy ziemne, rowy umocnione korytkami płytkimi z ażurową betonową okładziną skarp lub drenáže podziemne (rys. 17). Odpowiednie w danych warunkach rozwiązania powinny zapewniać ochronę środowiska, być możliwie tanie i ułatwiać utrzymanie odwodnienia podczas eksploatacji linii kolejowej.



Rys. 17. Rów boczny obudowany płytkami korytkami i ażurowymi płytkami betonowymi

8. Utrzymanie podtorza na liniach dużych prędkości

Ze względu na groźniejsze skutki ewentualnych wypadków na liniach dużych prędkości, utrzymanie podtorza powinno być planowane bardziej zapobiegawczo niż na pozostałych liniach. Podczas eksploatacji nowego lub przystosowanego podtorza, konieczna jest kontrola jego stanu (zwłaszcza osiadań), a zarządca infrastruktury linii dużych prędkości powinien opracować i utrzymywać [2]:

- rejestr infrastruktury,
- plan utrzymania infrastruktury.

W obu dokumentach powinny być uwzględnione te parametry podtorza, które mogą wpływać na bezpieczeństwo i przydatność drogi kolejowej do eksploatacji.

Rejestr infrastruktury powinien obejmować główne cechy dziedziny infrastruktury lub jej przedmiotowej części i ich związki z cechami ustalonymi przez TSI „Tabor” dla kolei dużych prędkości. W TSI wskazano, które informacje dotyczące dziedziny infrastruktury należy zawrzeć w rejestrze infrastruktury, natomiast informacje, jakie należy zawrzeć w rejestrze infrastruktury dla innych podsystemów, podane są w odnośnych TSI.

Plan utrzymania dla podsystemu infrastruktury opracowuje się dla każdej linii dużych prędkości. Jednostka notyfikowana potwierdza, że taki plan istnieje i że zawiera co najmniej:

- zestaw wartości granicznych,
- informację o niezbędnych metodach i kompetencjach zawodowych personelu oraz koniecznym sprzęcie ochrony osobistej,
- przepisy stosowane w celu ochrony ludzi pracujących na torze lub w pobliżu toru,
- sposoby sprawdzania przestrzegania wymaganych wartości parametrów eksploatacyjnych,
- środki zaradcze stosowane w wypadku przekroczenia wymaganych wartości (ograniczenia prędkości, czas trwania naprawy itd.).

W planie utrzymania, zarządca infrastruktury powinien określić następujące progi:

- próg alarmu (*AL – Alert Limit*), odnoszący się do wartości, której przekroczenie wskazuje na konieczność przeanalizowania stanu toru i uwzględnienia go w planowych pracach związanych z utrzymaniem,
- próg interwencyjny (*IL – Intervention Limit*), odnoszący się do wartości, której przekroczenie wskazuje na konieczność wykonania korygujących prac związanych z utrzymaniem w celu niedopuszczenia do osiągnięcia progu natychmiastowego działania przed następną inspekcją;

- próg natychmiastowego działania (*IAL – Immediate Action Limit*), odnoszący się do wartości, której przekroczenie powoduje podjęcie przez zarządcę infrastruktury kroków zmierzających do zmniejszenia niebezpieczeństwa wykolejenia do dopuszczalnego poziomu (można tego dokonać zamykając linię lub zmniejszając prędkość albo poprawiając geometrię toru).

9. Podsumowanie

Na podstawie obserwacji dotychczasowego rozwoju sieci linii dużych prędkości można przyjąć, że:

1. Poszczególne koleje stosują podtorze gruntowe zarówno na liniach z nawierzchnią konwencjonalną (podsypkową), jak i niekonwencjonalną (bezpodsypkową), jednak większość linii istniejących posiada nawierzchnię na podsypce.
2. Następuje ciągły wzrost długości linii na obiektach inżynieryjnych (mostach, wiaduktach i estakadach) oraz w tunelach.
3. Podtorze gruntowe może być stosowane na liniach dużych prędkości pod warunkiem stwierdzenia stabilności podłoża oraz zapewnienia odpowiedniej stateczności i trwałości budowli.
4. Podtorze, na którym są układane nawierzchnie bezpodsypkowe wymaga spełnienia bardzo ostrych warunków technologicznych w wykonawstwie oraz w systemie nadzoru w eksploatacji.
5. Istniejące podtorze gruntowe – w zależności od jego stanu – może być przystosowywane do ruchu mieszanego z prędkościami pociągów zawierającymi się w granicach 160–220 km/h, a niekiedy do 250 km/h (linie dla większych prędkości wymagają w zasadzie budowy nowego podtorza),
6. W polskich warunkach, ze względu na mniejsze koszty i dotychczasowe doświadczenia z budowy i utrzymania nawierzchni, najprawdopodobniej będzie preferowane stopniowe zwiększanie prędkości na istniejących liniach oraz budowa linii dużych prędkości z nawierzchnią konwencjonalną.

Literatura

1. Analiza standardów technicznych dla kolei dużych prędkości w Polsce, opracowanie propozycji zmian w instrukcjach i legislacji krajowej. Etap III – Opracowanie leksykonu interoperacyjności oraz poprawek i uzupełnień do standardów. Tom I – Droga szynowa. Instytut Kolejnictwa (wersja 2). PKP PLK S.A. – Instytut Kolejnictwa. Praca IK nr 4522/12. Warszawa, 2012.
2. Decyzja Komisji Europejskiej 2008/217/WE dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu infrastruktura transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. Dz.U. L 77 z 19.3.2008 r.
3. DIN 45673-1:2000: *Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 1: Terms and definitions, classification, test procedures.*
4. DIN 45673-5:2008: *Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 5: Laboratory test procedures for under-ballast mats.*
5. DIN 45673-7:2008: *Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 7: Laboratory test procedures for resilient elements of mass-spring systems.*
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/147/WE z dnia 30 listopada 2009 r. w sprawie ochrony dzikiego ptactwa.
7. Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory.
8. *Earthworks and track bed for railway lines.* Code 719 R (3rd edition). International Union of Railways, 2008.
9. Hall L.: *Simulations and Analyses of Train-induced Ground Vibrations* (doctoral thesis). Department of Civil and Environmental Engineering. Royal Institute of Technology. Stockholm, 2000.
10. Id-3: *Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego.* Załącznik do Zarządzenia nr 9 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 4 maja, 2009 r.
11. Jędrzejewski W. i in.: *Zwierzęta a drogi. Metody ograniczania negatywnego wpływu dróg na populację dzikich zwierząt.* Zakład Badania Ssaków Polskiej Akademii Nauk. Białowieża, 2006 (wydanie II).
12. PN-EN 1990:2004/ Ap1:2004/ A1:2008/ AC:2010/ Ap2:2010/ NA:2010: Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.
13. PN-EN 1997-1:2008/ AC:2009/ Ap1:2010/ Ap2:2010: Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
14. PN-EN 1997-2:2009/AC:2010/Ap1:2010 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.

15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 sierpnia 2008 r. w sprawie wymagań w zakresie odległości i warunków dopuszczających usytuowanie drzew i krzewów, elementów ochrony akustycznej i wykonywania robót ziemnych w sąsiedztwie linii kolejowej, a także sposobu urządzania i utrzymywania zasłon odśnieżnych oraz pasów przeciwpożarowych (Dz.U. 2008.153.955 z późn. zm.).
16. 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. 1998.151.987).
17. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. (Dz.U. 2007.120.826).
18. Skrzyński E.: *Ochrona środowiska na drogach kolejowych*. Dzień Środowiska. Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Warszawa, 6 kwietnia 2011.
19. Skrzyński E.: *Odcinki przejściowe przy obiektach inżynierskich*. Referat na XV jubileuszową ogólnopolską konferencję naukowo-techniczną „Drogi Kolejowe 2009”. Warszawa, 7–9 października 2009.
20. Skrzyński E.: *Podtorze kolejowe*. Kolejowa Oficyna Wydawnicza. Warszawa, 2010.
21. Sobolewski J.: *Zbrojenie nad zapadliskami*. Międzynarodowe Seminarium Geotechniczne EBGEO. Ożarów Mazowiecki, 2012.
22. Towpik K.: *Koleje dużych prędkości. Infrastruktura drogi kolejowej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2012.
23. Towpik K.: *Oddziaływania wibroakustyczne transportu kolejowego na środowisko i sposoby ich ograniczania*. „Problemy Kolejnictwa”, 2000, z. 131.
24. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (tekst jednolity Dz.U. 2006.129.902 z późn. zm.).
25. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2004.92. 880 z późn. zm.).
26. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (tekst jednolity Dz.U. 2006.156.1118 z późn. zm.).
27. Woldringh R. F., New B. M.: *Embankment design for high speed trains on soft soils*. Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure. Rotterdam, 1999.

Subgrade on High-speed Lines

Summary

This paper characterizes the subgrade made of soils and its suitability for high speed railways. It gives the basic requirements for such subgrade and the recommendation for designing, building and maintenance of subgrade. It also presents the environment protection on high speed railways and transition sections between route and engineering structures.

Keywords: railways, high-speed, subgrade, requirements, environmental protection

Нижнее строение пути на скоростных железнодорожных линиях

Резюме

В статье дана характеристика земляного полотна железной дороги и обсуждена его применимость на скоростных железнодорожных линиях. Определены основные требования к такому основанию, а также даны рекомендации по проектированию, строительству и содержанию нижнего строения пути. Обсуждены также условия охраны окружающей среды на скоростных железных дорогах и участки с ограничением скорости движения возле инженерных сооружений.

Ключевые слова: железные дороги, высокие скорости, нижнее строение пути, требования, охрана окружающей среды