KOLEJE WYKŁAD

Technologia robót

1. Technologia budowy toru
2. Kontrola geometrii toru
3. Prace utrzymaniowe na torze
4. Tłumienie drgań w nawierzchni i w podtorzu

dr inż. Jarosław Zwolski

Elementy toru klasycznego



Szyny

- Rodzaje szyn:
  S60, S49, tramwajowa Ri-60N, UIC60, UIC54 (kraje europejskie).
- Stal zlewna o podwyższonej zawartości węgla (do ok. 0,6-0,7%) i manganu (do ok. 2%), czasem dodatkowo termicznie ulepszona, o granicy plastyczności R_e=700 MPa i twardości ponad 300 HB:
  - St90 (wytrzymałość R_m=880 MPa)
  - St110 (wytrzymałość R_m=1100 MPa)
- Długości handlowe: 25 m (S60) oraz 30 m (S49)



S60


S49


Ri60N


LK-1

Rodzaje przymocowań

- Bezpośrednie (wycofywane),
- Klasyczne, typu K (stopniowo wycofywane),
- Sprężyste (SB-3, Skl, Nabla, Pandroll-Fastclip, i in.)











Rodzaje podkładów

W zależności od materiału:

- drewniane,
- betonowe,
- betonowo- stalowe,
- stalowe
- plastikowe/gumowe

Rodzaje podkładów betonowych w zależności od rodzaju zbrojenia:

- żelbetowe,
- sprężone.

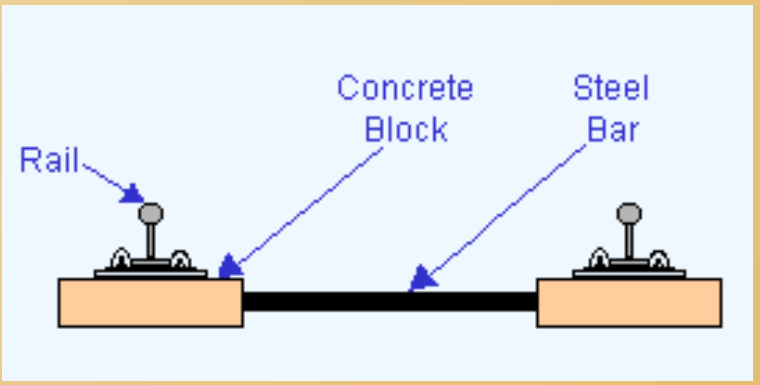
W zależności od kształtu:

- belkowe,
- blokowe,
- płytowe.

Rodzaje podkładów











Klasy torów

klasy torów	dopuszczalna prędkość pociągów [km/h]	dopuszczalny nacisk osi lokomotywy [kN]	dopuszczalny nacisk osi wagonów [kN]	natężenie przewozów [Tg/rok]
0	200	221	140	do 25
1	100 120 140 160	221 210 210 205	221 205 190 140	nie normowane
2	80 100 120	221 210 205	221 205 190	16-25
3	70 80	221 210	221 205	9-15
4	60 70	221 210	221 205	4-8
5	30 40	221 210	221 205	do 3

Przykład standardu konstrukcyjnego

wariant	szyny	typ podkładów	rozstaw podkładów [m]	typ przytwierdzenia szyn	grubość warstwy podsypki [m]
0.1	UIC60 nowe dla v>200 km/h	PS-93, PS-94	0,60	SB	0,35

Budowa toru (1)



Roboty ziemne – kształtowanie i zagęszczanie



Profilowanie skarp (Górny rów skarpowy)



Zabezpieczanie powierzchniowe skarpy



Przygotowane podłoże



Układanie geowłókniny



Układanie izolacji przy gruntach rozmakających

źródło: www.transportszynowy.pl

Budowa toru (2)



Wzmocnienie podtorza (ew.)



Pospółka na geokracie



Pospółka na warstwę ochronną na geowłókninie



Równiarka do profilowania warstwy ochronnej



Zagęszczanie warstwy ochronnej



Przygotowane torowisko

źródło: www.transportszynowy.pl

Budowa toru (3)



Przygotowanie tłucznia



Układanie tłucznia



Zagęszczanie tłucznia



Rozłożenie szyn dla suwnic portalowych



Transport podkładów (suwnice portalowe)



Transport i rozkładanie podkładów suwnicami

Budowa toru (4)



Układanie szyn



Ułożone szyny



Montaż rozjazdów



Spawanie szyn



Szlifowanie styków szyn



Montaż łapek sprężystych

źródło: www.transportszynowy.pl

Budowa toru (5)



Obsypanie tłuczniem



Podbicie toru



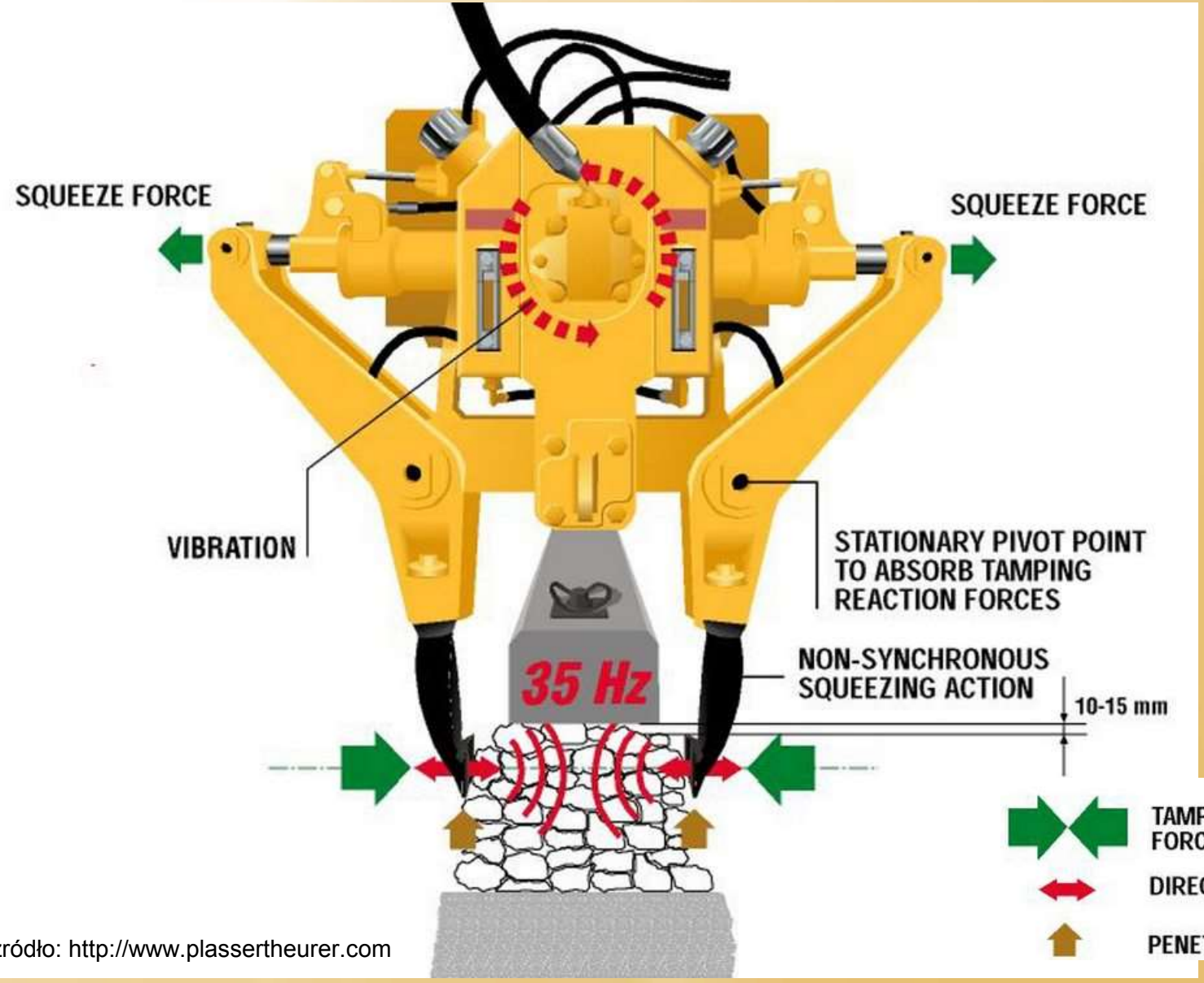
Profilowanie kształtu tłucznia



Gotowy tor

źródło: www.transportszynowy.pl

Podbijanie toru-zasada



źródło: http://www.plassertheurer.com

Podbijanie toru



Uniesienie toru

Mechanizm hydrauliczny
z łopatkami



Kontrola geometrii



FILM

źródło: www.transportszynowy.pl



Podbijarka PR 07

Podbijarki



Podbijarka PT 09 32



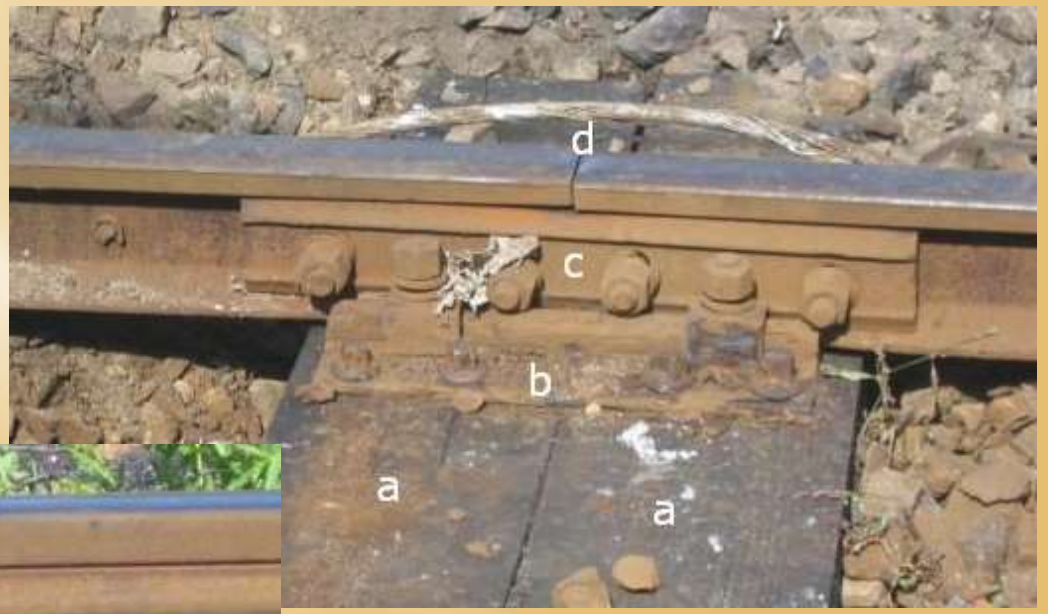
Uniwersalna podbijarka torowa Unimat firmy Plasser & Theurer



Podbijarka MD 07

Połączenia szyn

Styk podparty
a – podkłady drewniane,
b – podwójna podkładka stalowa,
c – 4-otworowe łubki,
d – odstęp między szynami





Styk niepodparty
1 – 6-otworowe łubki,
2 – śruby i nakrętki,
3 – odstęp między szynami,
4 – pojedyncze podkładki stalowe.

źródło: www.transportszynowy.pl

Spawanie termitowe

Termit - mieszanina złożona ze sproszkowanego glinu i tlenku żelaza.
W reakcji termitowej glin gwałtownie redukuje tlenki metali, czemu towarzyszy jedna z najwyższych temperatur uzyskiwanych w procesach przemysłowych (ok. 3000 °C, a w obecności materiałów zwiększających temperaturę nawet 3800 °C) i intensywne świecenie. Produktem reakcji jest tlenek glinu oraz płynne żelazo. Jeśli termit został zrobiony z tlenku żelaza, dla maksymalnej efektywności powinien zawierać masowo 25,3% aluminium i 74,7% tlenku żelaza. Reakcja spalania takiej mieszaniny wygląda tak:

$$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe; \quad \Delta H = -851{,}5\ kJ/mol$$

natomiast gdy termit jest sporządzony z użyciem tlenku żelazowo-żelazawego ($FeO \cdot Fe_2O_3$), optymalne proporcje wynoszą 23,7% aluminium oraz 76,3% tlenku. Reakcja przebiega według wzoru:

$$3Fe_3O_4 + 8Al \rightarrow 4Al_2O_3 + 9Fe; \quad \Delta H = -3347{,}6\ kJ/mol$$

Spawanie termitowe



Przygotowane szyny



Założona forma





Podgrzewanie szyn



Zapalenie tygla



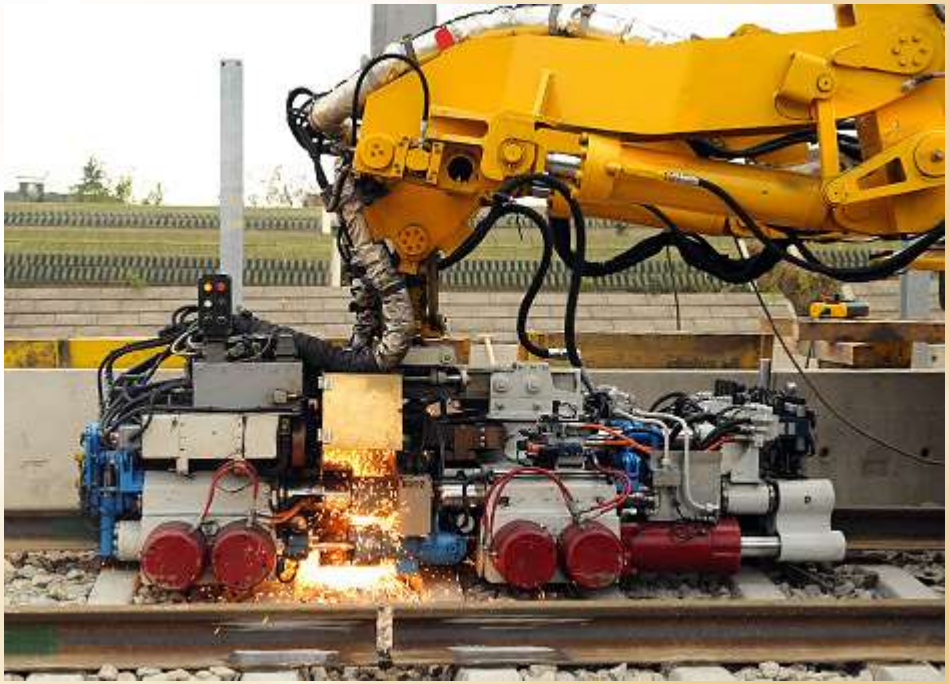
Topienie spoiwa

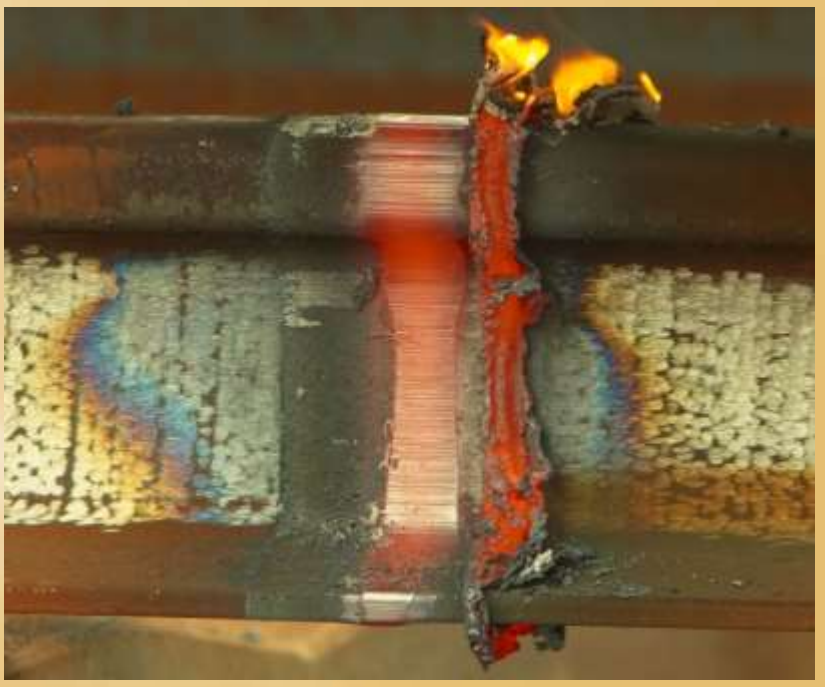


Szlifowanie styku

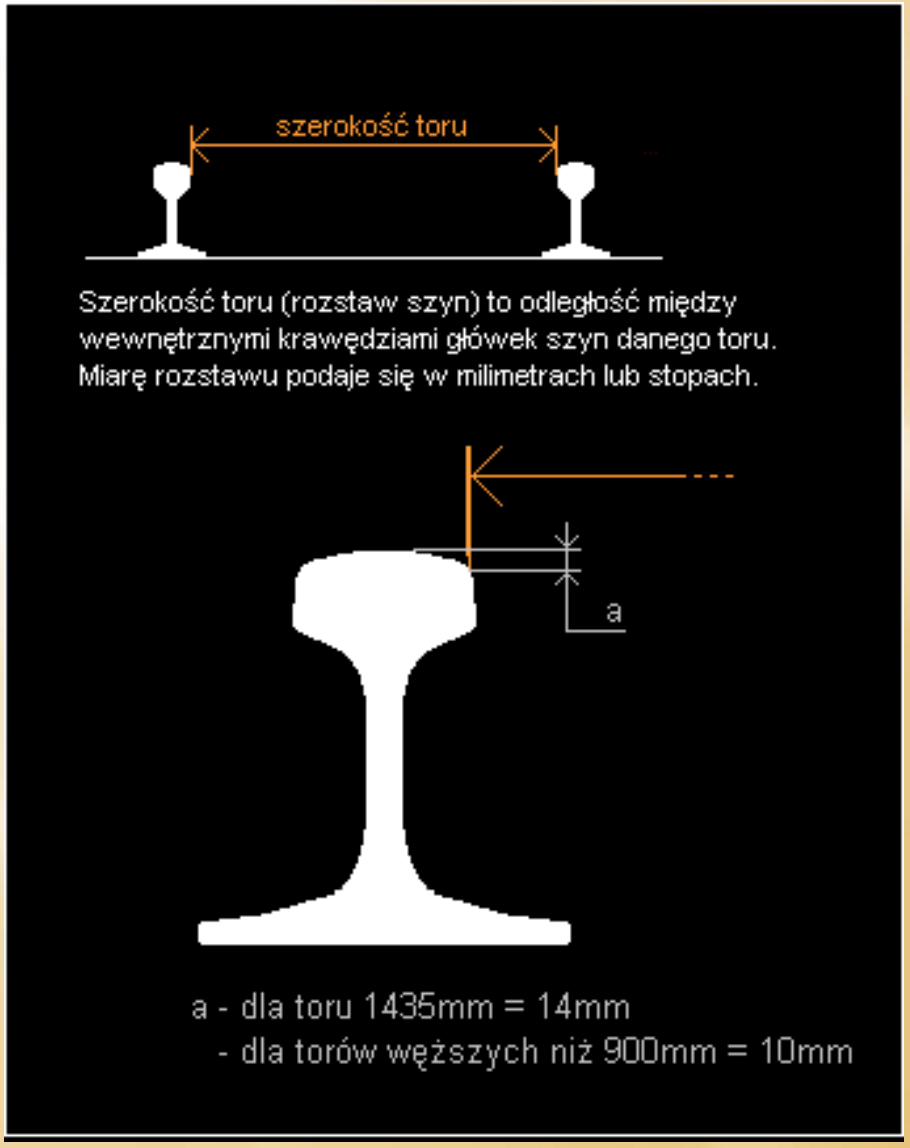
źródło: www.transportszynowy.pl

Spawanie elektrooporowe





Szerokość toru – rozstaw szyn



Dopuszczalne odchylenia w torze szerokości normalnej na odcinkach prostych nie mogą przekraczać + 10mm i - 3mm.

źródło: www.transportszynowy.pl

Pomiar geometrii toru



Toromierz z laserowym urządzeniem pomiarowym i automatyczną rejestracją danych.



Prowadzenie pomiaru

Pojazdy pomiarowe





Drezyna DP-523.10 do ultradźwiękowego wykrywania uszkodzeń szyn

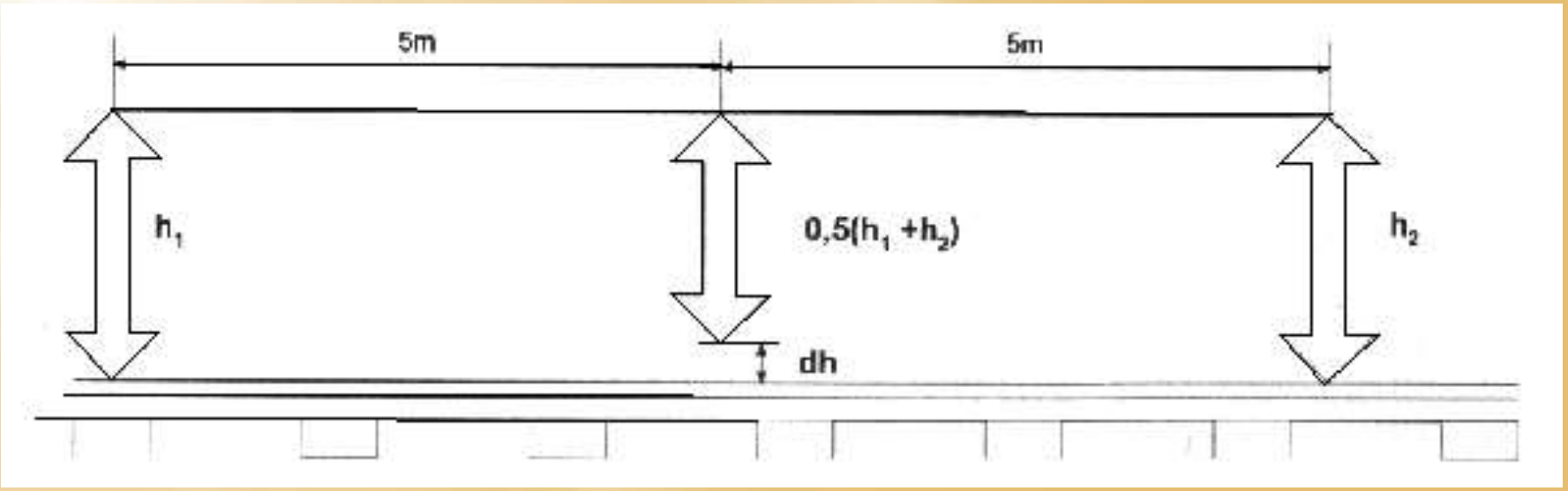


Drezyna EM 120 do pomiaru wielkości geometrycznych toru:

- ❑ nierówności pionowych,
- ❑ nierówności poziomych (strzałki),
- ❑ przechyłki,
- ❑ wichrowatości,
- ❑ szerokości toru.

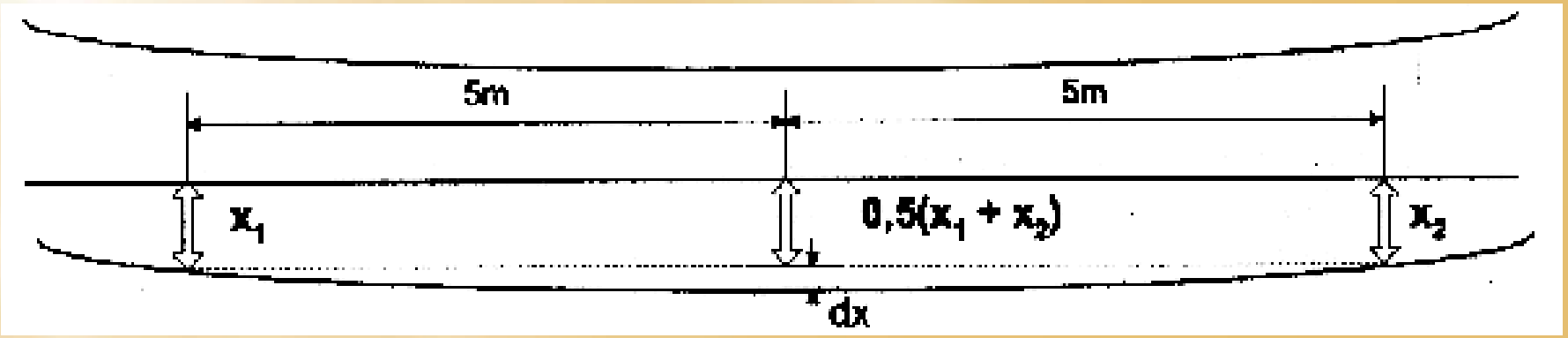
Pomiar nierówności pionowych

1) Przechyłka - różnica wysokości toków szynowych w jednym przekroju toru w płaszczyźnie pionowej.
2) Wichrowatość toru – różnica przechyłek toków szynowych na długości przyjętej bazy pomiarowej (5.0 m).
3) Nierówności toku szynowego w płaszczyźnie pionowej (dołek) – odchylenie pionowe szyny od linii odniesienia, którą jest cięciwa pomiędzy punktami styczności kół skrajnych z szyną na bazie pomiarowej 10.0 m, mierzone na powierzchni tocznej osobno dla toku szynowego lewego i prawego.

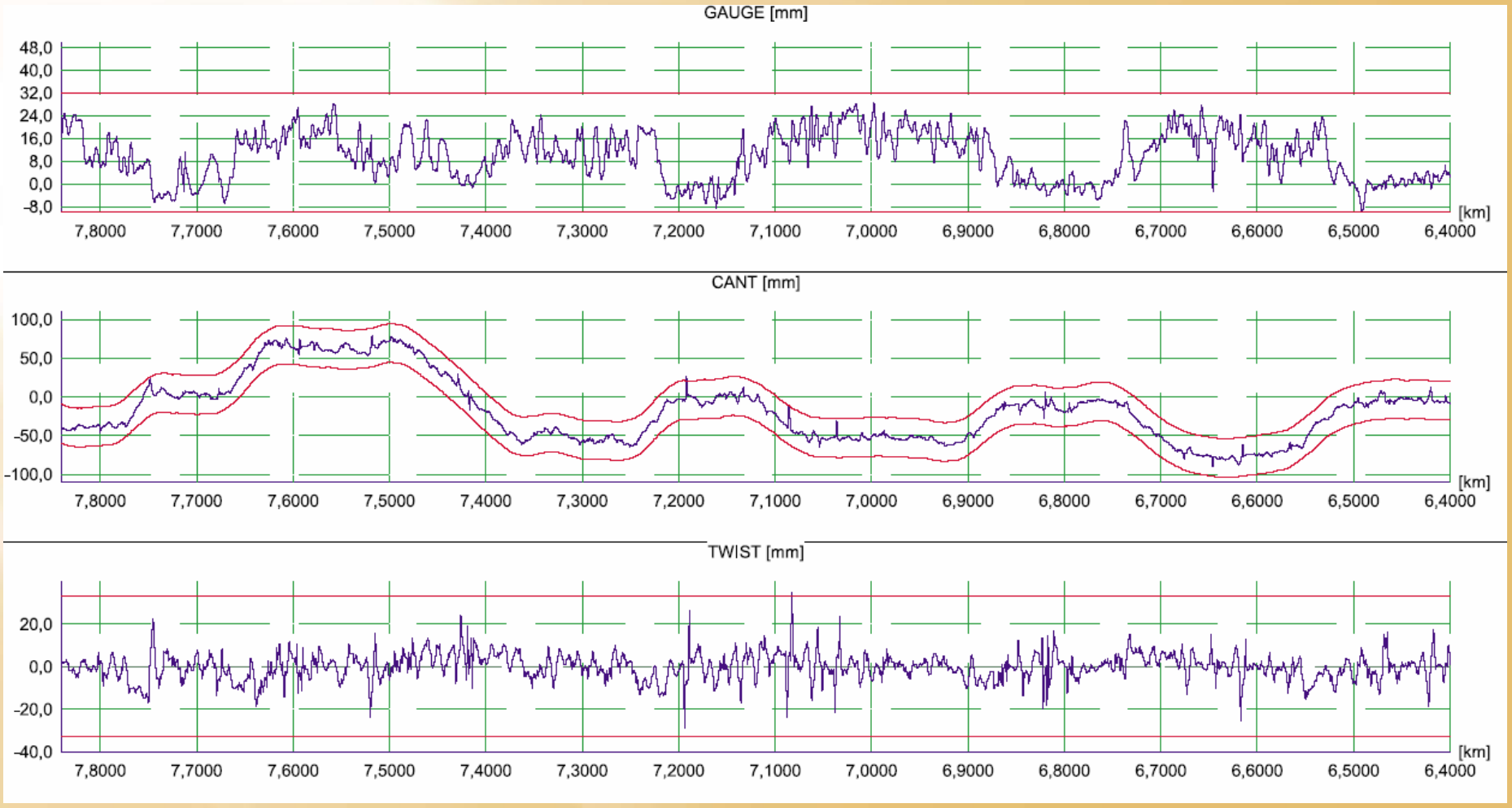


Pomiar nierówności poziomych

1) Szerokość toru – odległość między wewnętrznymi powierzchniami szyn mierzona 14 mm poniżej ich powierzchni tocznej.
2) Gradient szerokości toru – przyrost szerokości na bazie pomiarowej 1.0 m (jest to dodatkowy, wtórny parametr toru kolejowego).
3) Nierówności toków szynowych w płaszczyźnie poziomej są określane przez pomiar strzałki odchylenia poziomego toru na bazie 10 m dla każdego toku szynowego oddzielnie. Strzałka jest wyznaczana w stosunku do cięciwy o długości 10 m opartej o skrajne punkty pomiarowe.

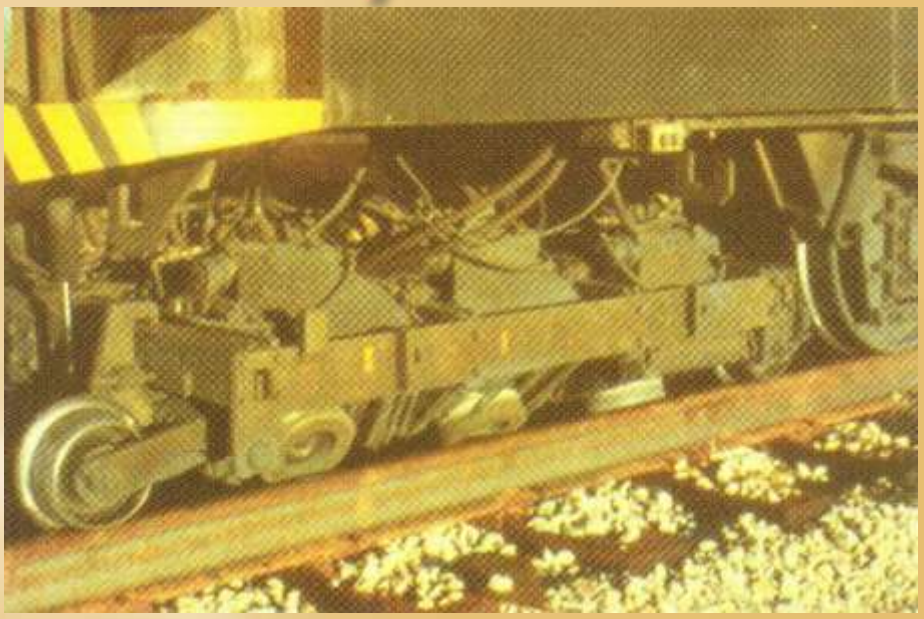


Przykładowy wynik pomiaru



Szlifowanie szyn









Odśnieżanie toru



Pług odśnieżny 411S-38



Pług odśnieżny rotacyjny KSF



Pług odśnieżny wirnikowy Henschel



Pług odśnieżny z Kanady

Pojazdy dwusystemowe UNIMOG



UNIMOG Mower



UNIMOG Rescue Car

Prace letnie:

- Zamiatarka
- Kosiarka (usuwanie roślinności)
- Myjka
- Pojazd ratunkowy
- Pojazdy transportowe i inne

Prace zimowe:

- Pług odśnieżny
- Wyrzutnia śniegu
- Solarka

Film1

Film2

Pociąg/pojazd sieciowy





Film1

Film2

Drgania i hałas

Drgania i hałas wywołane ruchem kolejowym pochodzą od:

- nierówności (uszkodzenia) szyn,
- złącz szynowych (łubkowych),
- defektów podparcia i zamocowania szyn na podkładach,
- efektów progowych przy nagłej zmianie sztywności podtorza,
- nierówności kół taboru,
- defektów zawieszenia pudła taboru,
- wężykowania taboru,

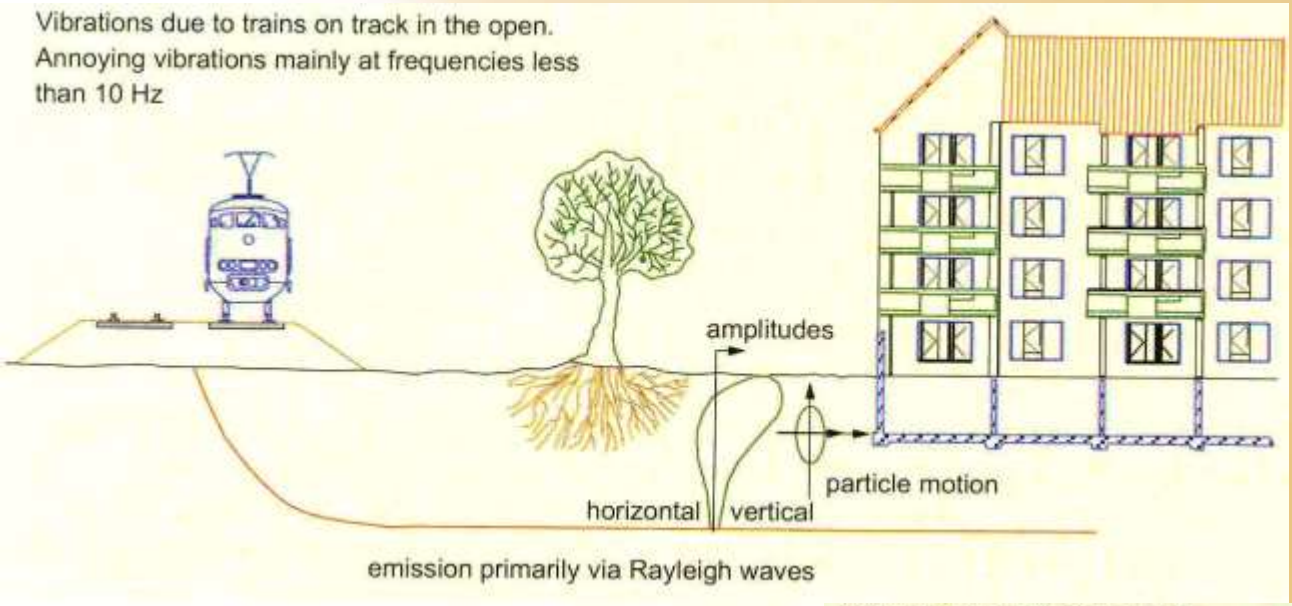
a także od pracy silników, aerodynamiki, hamowania taboru, oporów toczenia się na łukach i wielu innych czynników.





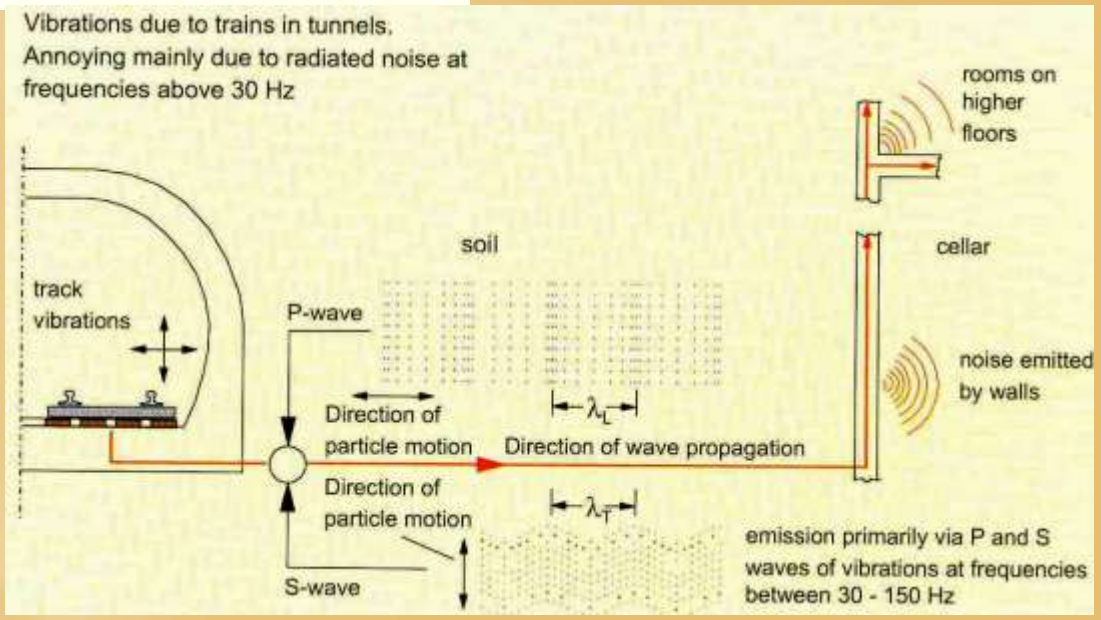


Mechanizmy propagacji drgań



Propagacja drgań od toru podziemnego

Propagacja drgań od toru naziemnego

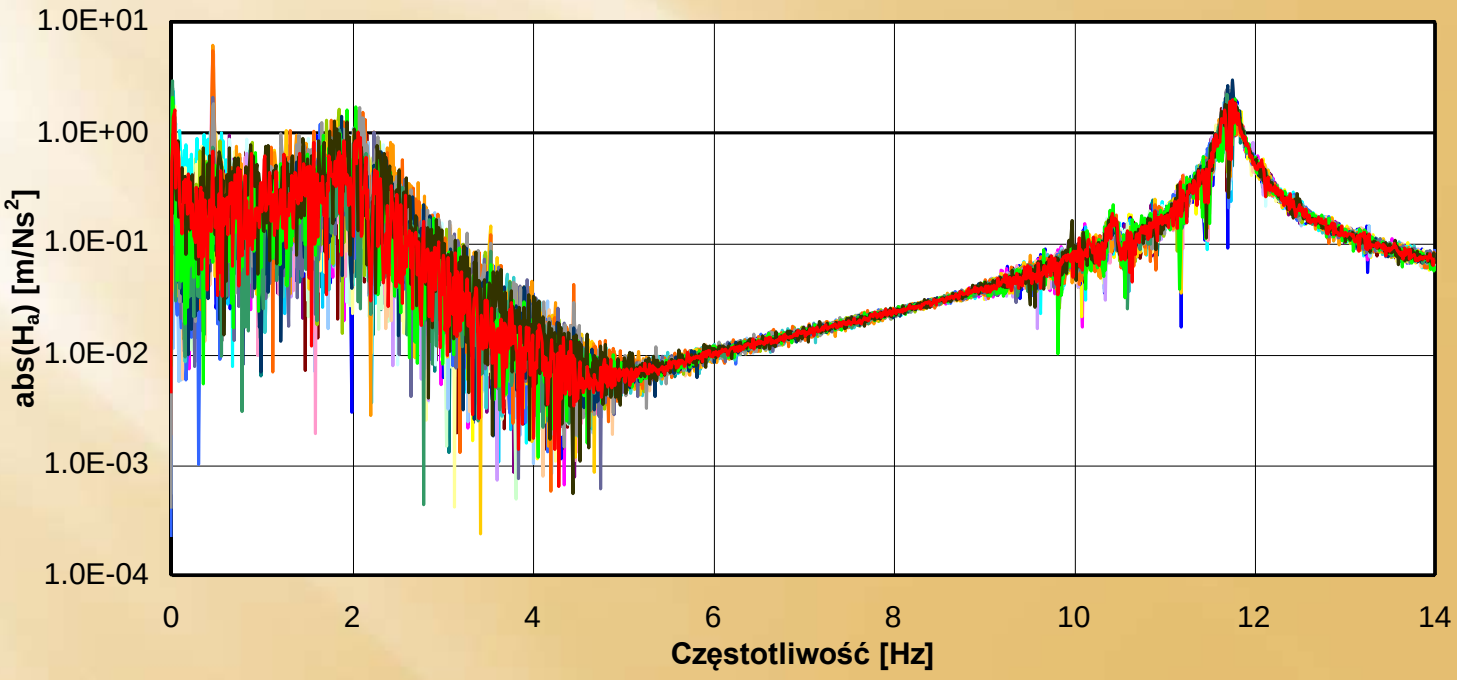


źródło: Modern Track, C. Esveld

Zależność od prędkości przejazdu

Siły wymuszające drgania zależne od prędkości przejazdu pociągu:

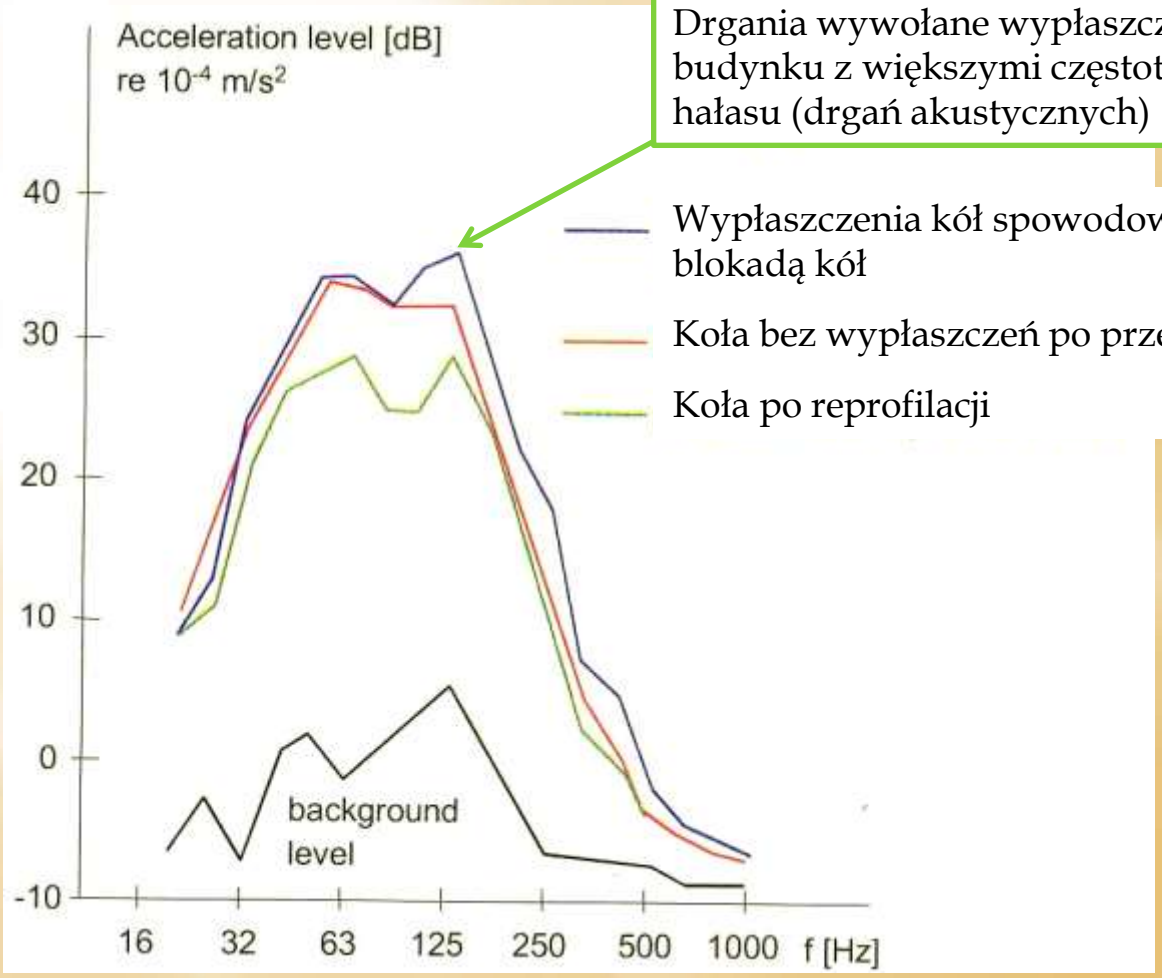
- różnice w rozkładzie obciążenia osiowego taboru,
- zależności między własnościami modalnymi układu tor/pociąg a rozstawem podkładów i prędkością przejazdu pociągu,
- częstotliwość występowania nierówności geometrycznych toru.



Wniosek:

Zmniejszanie prędkości przejazdu nie zawsze prowadzi do zmniejszenia drgań.

Spektrum drgań



Drgania wywołane wypłaszczeniami kół są transmitowane do budynku z większymi częstotliwościami i objawiają się w postaci hałasu (drgań akustycznych)

Wypłaszczenia kół spowodowane hamowaniem z blokadą kół

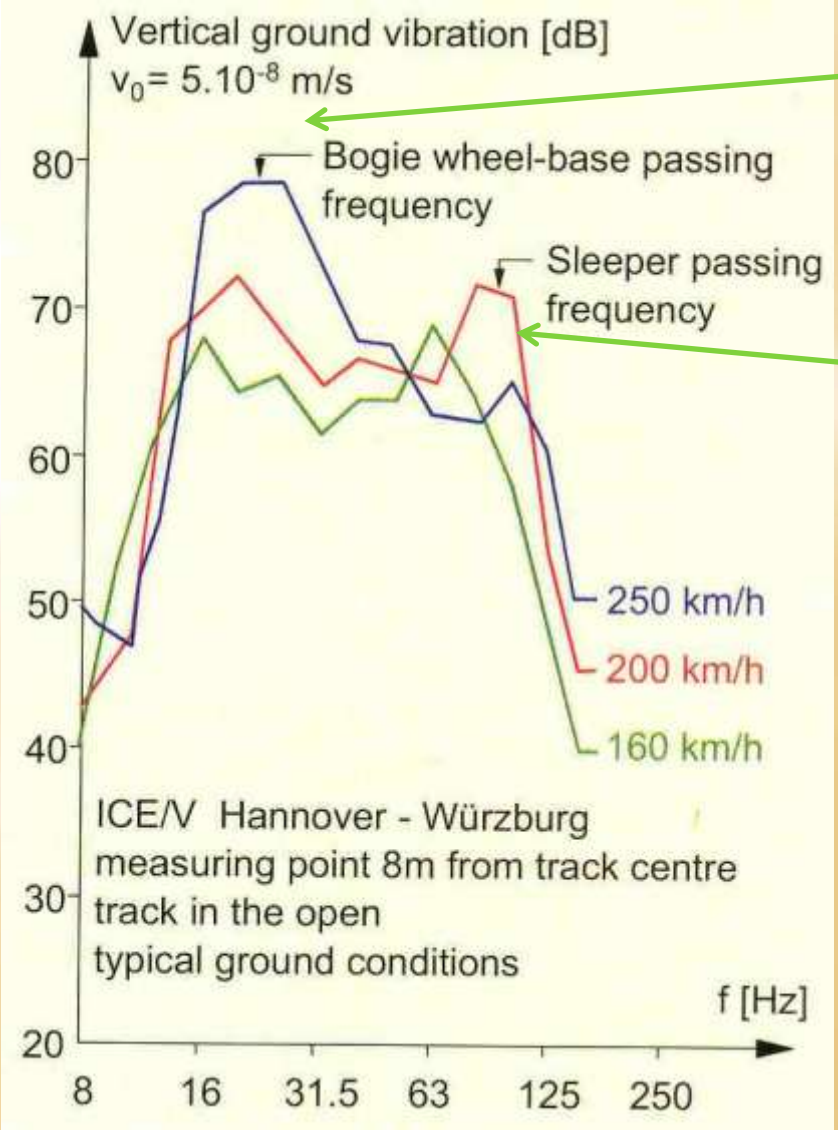
Koła bez wypłaszczeń po przejechaniu 150 000 km

Koła po reprofilacji

Przyspieszenia zmierzone na pierwszym piętrze budynku w pobliżu metra podczas przejazdu pociągu z prędkością 60 km/h

źródło: Modern Track, C. Esveld

Spektrum drgań



Lokalne wzmocnienie drgań dla częstotliwości odpowiadającej częstotliwości rezonansowej pociągu (rozstaw osi wagonów)

Lokalne wzmocnienie drgań dla częstotliwości odpowiadającej częstotliwości rezonansowej toru (rozstaw podkładów)

Przyspieszenia zmierzone w odległości 8 m od osi toru naziemnej linii kolejowej na typowych warunkach gruntowych

źródło: Modern Track, C. Esveld

Sposoby tłumienia drgań

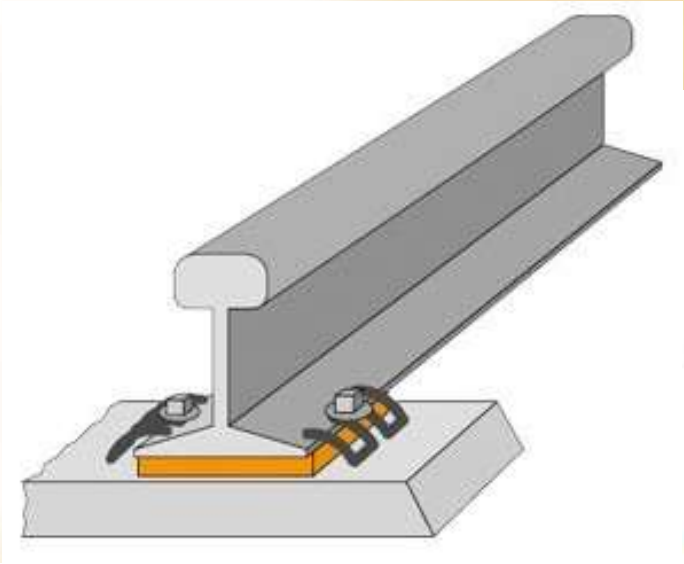
W torze podsypkowym można zredukować drgania stosując:

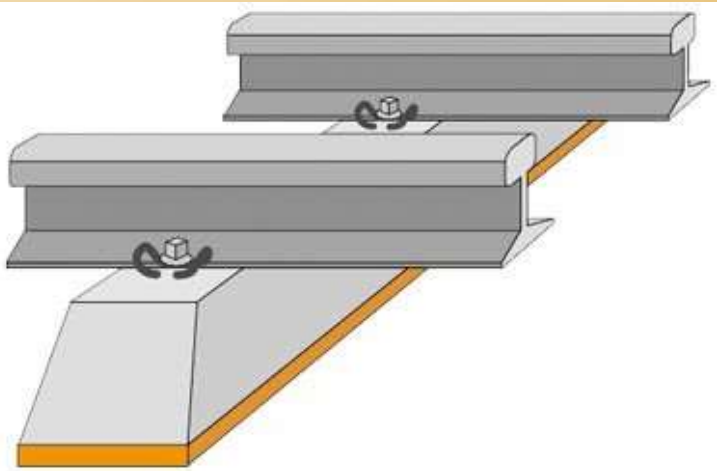
a) zwiększoną grubość podsypki;
   Pogrubiając podsypkę o 30 do 75 cm można zredukować drgania o 6 dB w przedziale częstotliwości poniżej 10 Hz. Nie jest to zbyt atrakcyjne rozwiązanie ze względu na koszt materiału, dodatkową masę i wzrost wysokości toru;
b) instalację mat wyciszających pod warstwą podsypki;
c) instalację podkładek między podkładami a tłuczniem;
d) instalację specjalistycznych systemów punktowego zamocowania szyny lub z wykorzystaniem specjalnych podkładek podszynowych.

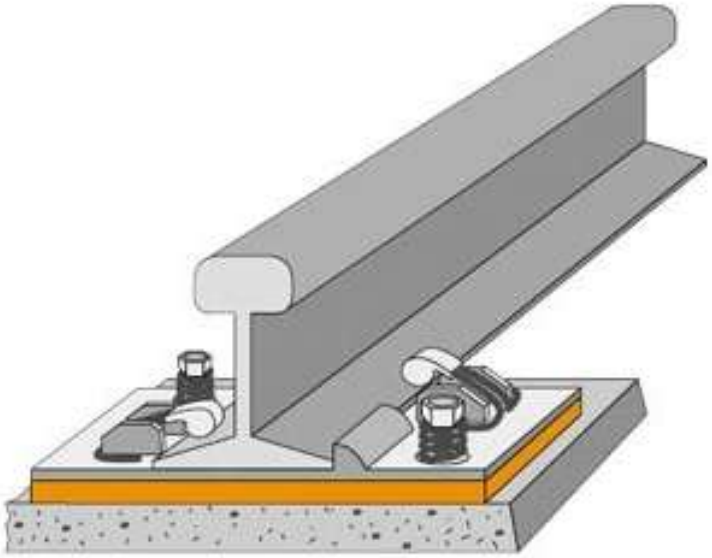
W torze bezpodsypkowym można zredukować drgania stosując:

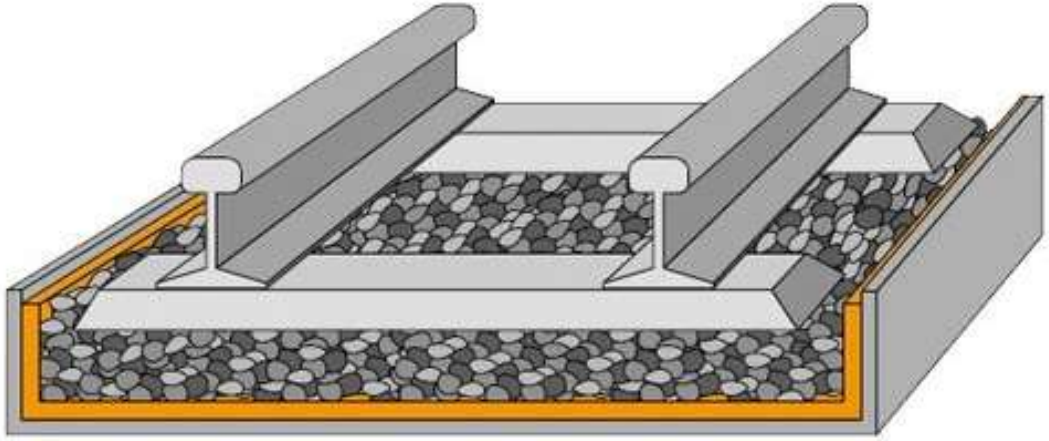
a) instalację toru jako „pływającej płyty”;
b) zabudowanie szyny (szczególnie szyjki);
c) ciągłe zamocowanie szyny w masie zalewowej;
d) instalację specjalistycznych systemów punktowego zamocowania szyny lub z wykorzystaniem specjalnych podkładek podszynowych.

Systemy dla toru klasycznego

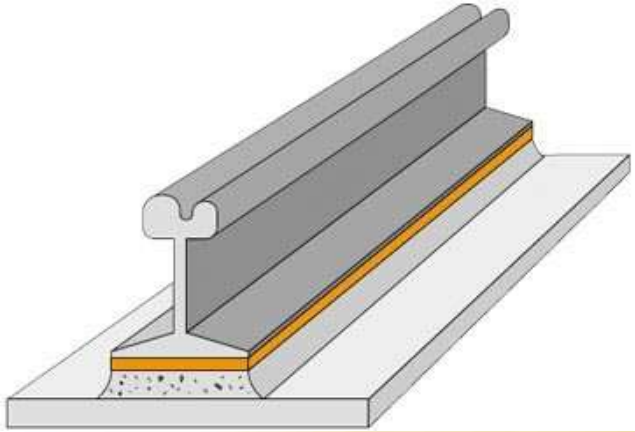


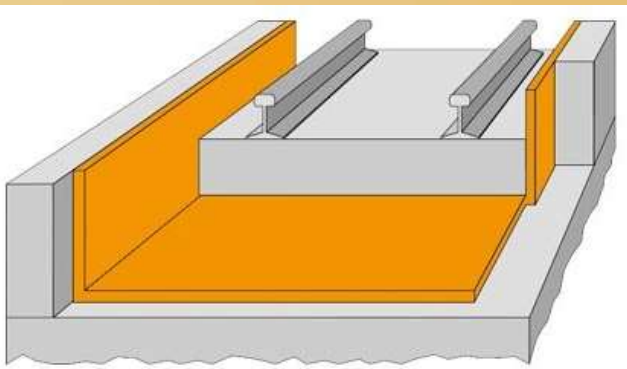


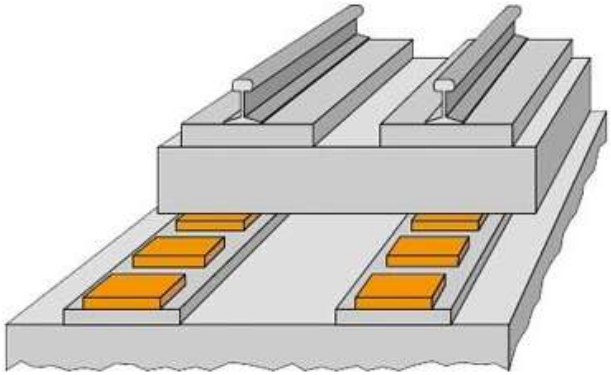


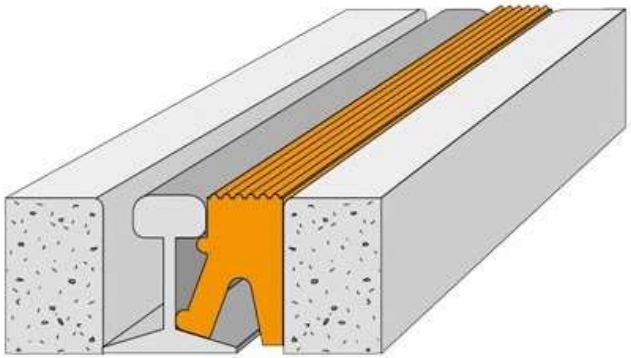


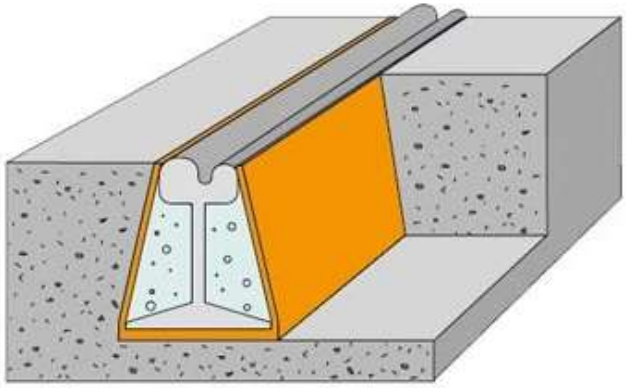
Systemy dla toru bezpodsypkowego

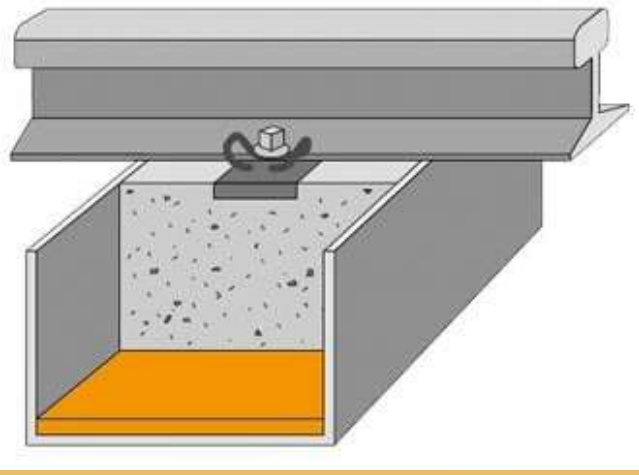










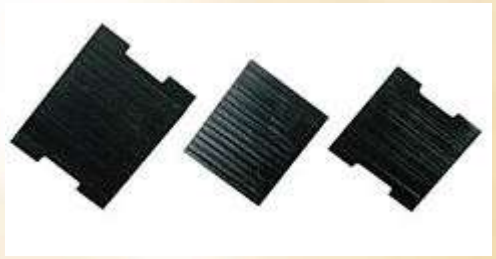


Przekładka podszynowa





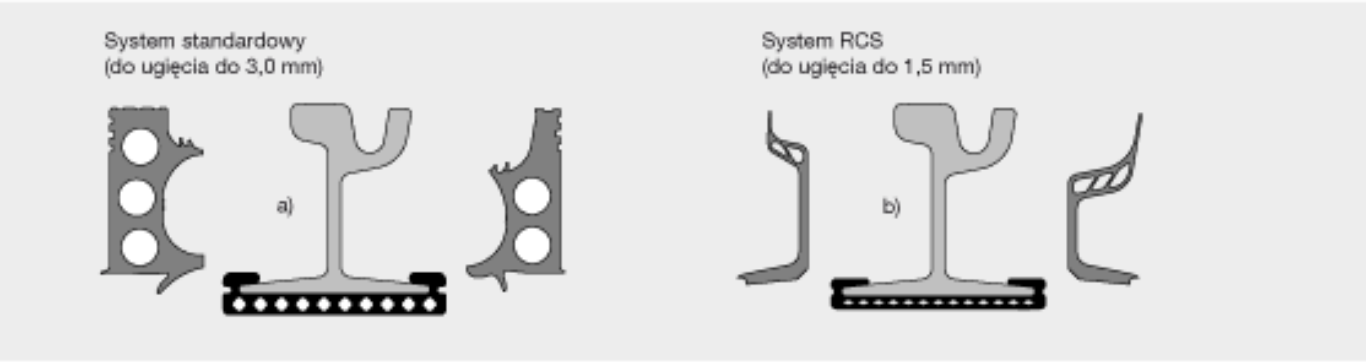




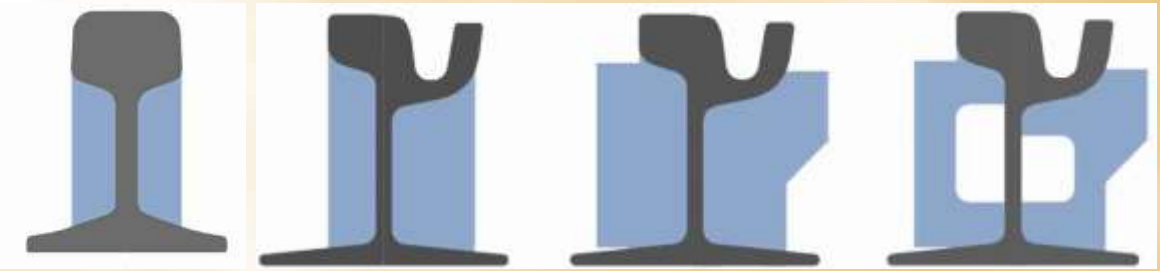


Przekładki podszynowe mogą być wykonane z gumy (naturalnej, sztucznej, kompozytów), elastomerów, tworzyw sztucznych: polietylen (HDPE), Ethylene Vinyl Acetate (EVA). Przed epoką tworzyw sztucznych była to przekładka z drewna topolowego.

Okładzina szyny



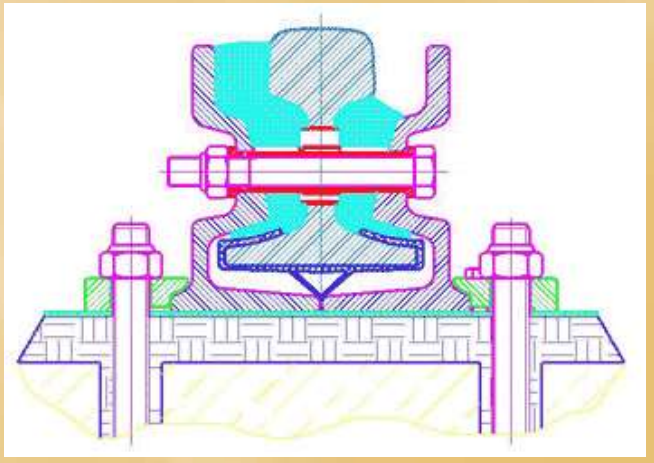
elastomer

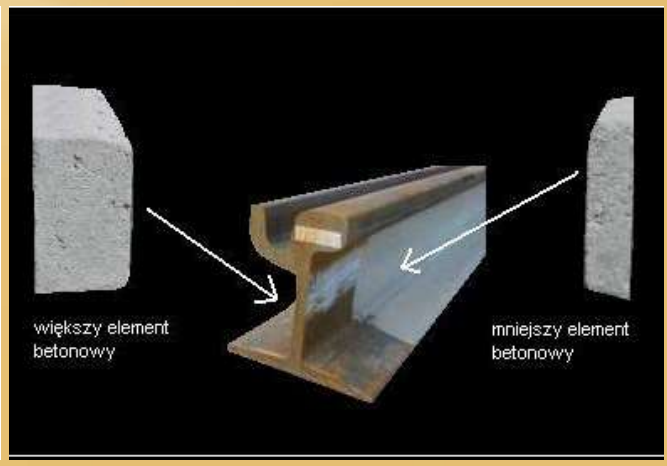


guma

beton

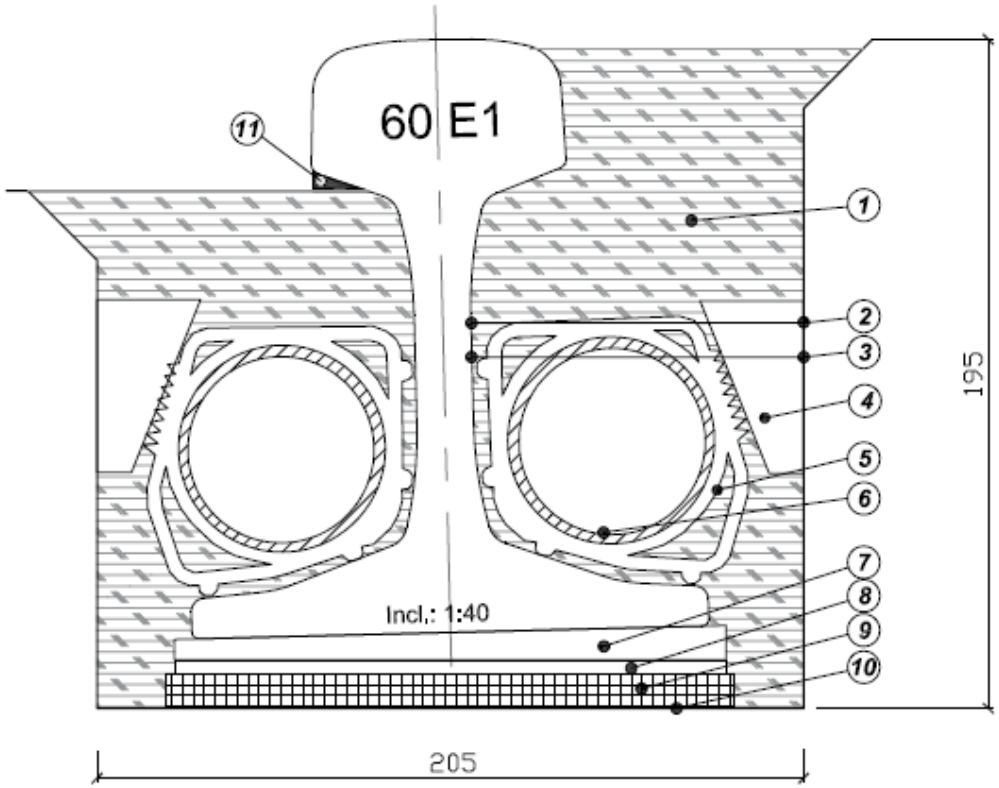






stal + guma

Liniowe zamocowanie szyny



Prefabrykowana bądź wylewana na mokro płyta żelbetowa z ukształtowanymi kanałami szynowymi lub konstrukcja podbudowy z wyodrębnionymi stalowymi kanałami szynowymi. Szyny mocowane są w kanałach szynowych za pomocą masy zalewowej na bazie żywicy poliuretanowej Edilon Corkelast®, a ciągłe podparcie szyny zapewnia przekładka podszynowa Edilon Resilient Strip umieszczona pod jej stopką.

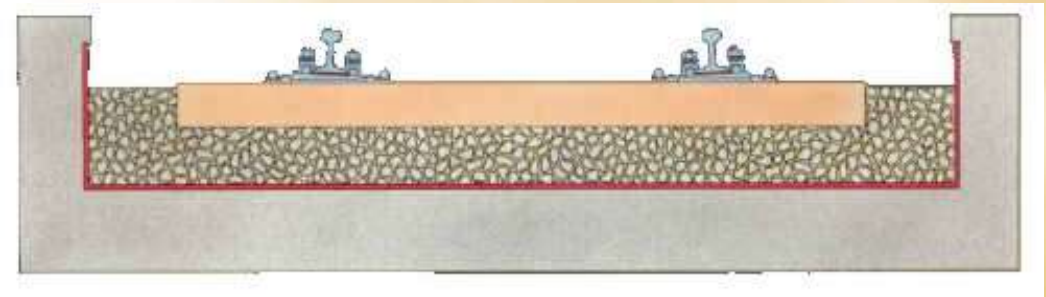
1. sprężysta otulina szyny – masa zalewowa Edilon Corkelast®, 2. powierzchnie zagruntowane materiałem Edilon Primer U90WB, 3. powierzchnie pokryte materiałem Edilon Primer 21 zwiększającym przyczepność masy zalewowej, 4. klin Edilon Wedge do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie poziomej, 5. element mocujący rurę PCV – Edilon Spacer, 6. rura PCV - zmniejszająca zużycie masy zalewowej, może służyć również do przeprowadzenia kabli teletechnicznych, 7. podkładka klinowa Edilon Inclination Shim zapewniająca pochylenie szyny (1:20 lub 1:40), 8. podkładki podszynowe Edilon Shim do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie pionowej, 9. ciągła, sprężysta przekładka podszynowa Edilon Resilient Strip, 10. klej Edilon Dex®-G do wklejenia przekładki podszynowej, 11. materiał uszczelniający Edilon Ediseal® VA-25

Mata wibroizolacyjna







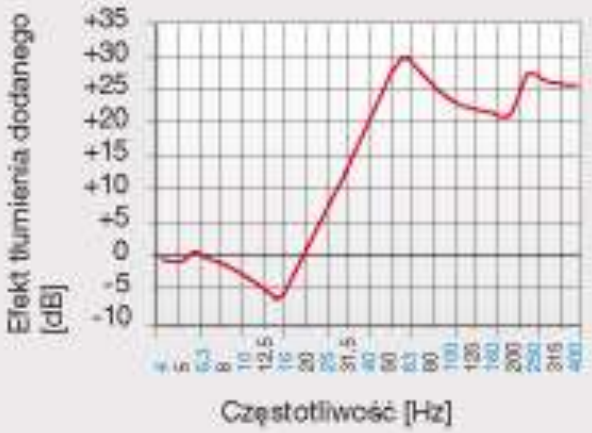


Maty podtłuczniowe można stosować zarówno na torze podsypkowym jak i w tunelu, czy na obiekcie mostowym.

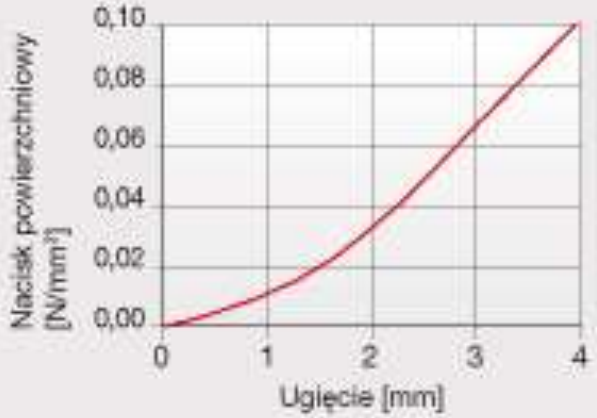
Maty wibroizolacyjne SEDRAPUR FSGR są wykonane z granulatu gumowego o grubości 11.5 mm, a maty TIFLEX KERNOW są wykonane z kauczuku komorowego z granulatem korkowym o grubościach z przedziału 10 ÷ 30 mm. Maty te są pokryte jedno- lub dwustronnie polipropylenową warstwą ochronną geowłókniny Geofelt, zabezpieczającą matę przed uszkodzeniami przez ziarna podsypki.

Mata wibroizolacyjna

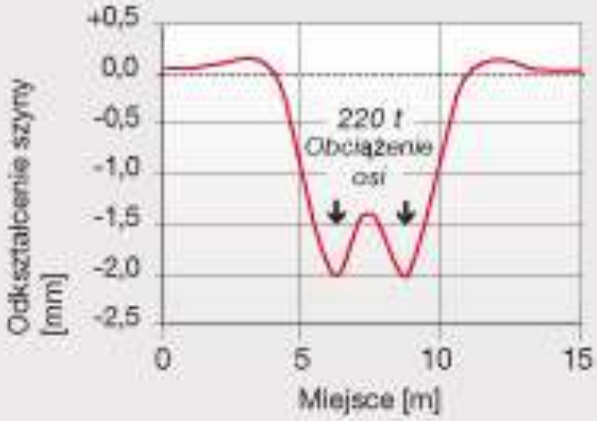
Efekt tłumienia dodanego



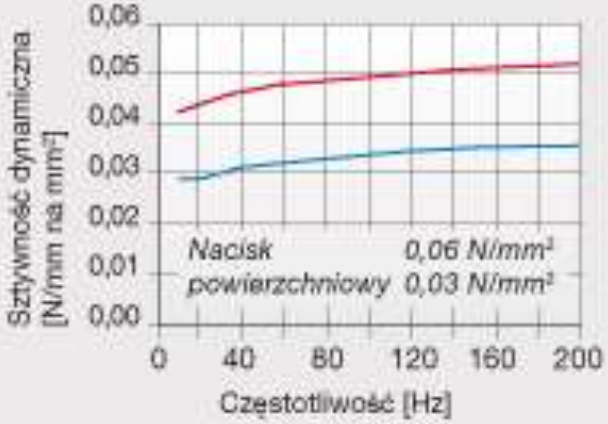
Statyczna charakterystyka elastyczności



Krzywa odkształcenia szyny



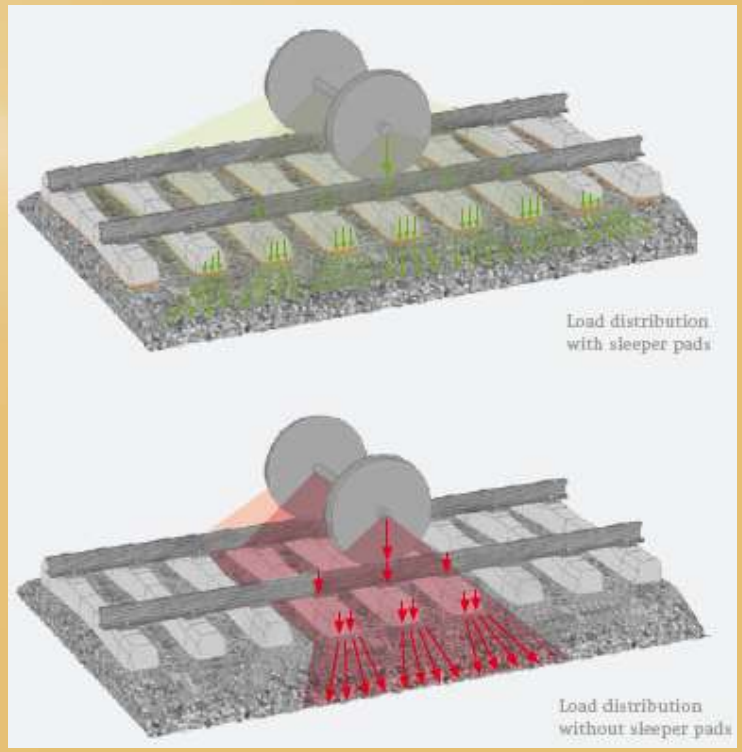
Dynamiczna charakterystyka elastyczności



Podkładki pod podkładami



Podkładka pod podkładem: 22 mm guma, korek z twardą powierzchnią.
Producent: Getzner Werkstoffe.
Rodzaje materiału (Sylomer i Sylodyn):
- sprężysto-plastyczny
- elastyczny z właściwościami tłumiącymi
- sprężysty bez właściwości tłumiących



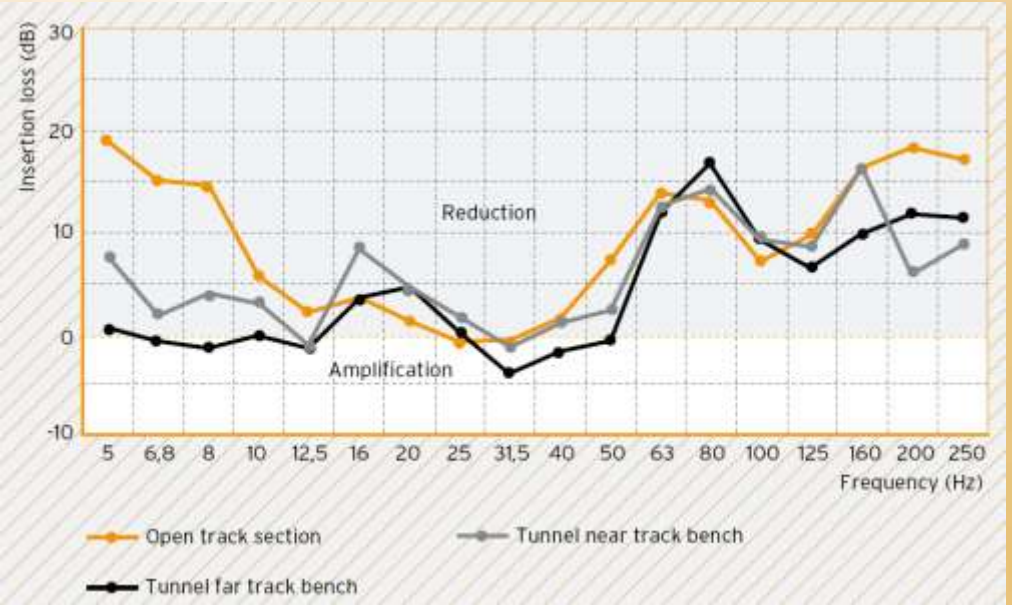
Skutki działania:
1. Zmniejszają zużycie szyn.
2. Zmniejszają częstotliwość prac utrzymaniowych (podbijania i rektyfikacji toru) 2 do 2.5 razy.
3. Są bardziej ekonomiczne od mat wibroizolacyjnych (mniej materiału).

Zastosowanie:
- tory obciążone dużym naciskiem osiowym,
- strefy rozjazdów,
- strefy przejściowe na granicy różnych sztywności nawierzchni lub podtorza.

Podkładki pod podkładami

Sposób działania:

1. Zwiększają aktywną powierzchnię kontaktu między ziarnami podsypki a podkładem (z 8% do 35% powierzchni spodu podkładu) zapewniając również większy opór na przesuniecie boczne i podłużne.
2. Przez zakleszczenie ziaren tłucznia w podkładce zapobiegają wypełzaniu tłucznia spod podkładów.
3. Rozkładają równomiernie obciążenie pod podkładem.
4. Rozkładają obciążenie na więcej podkładów niż 3 (zwiększenie długości uginającej sie pod obciążeniem szyny).
5. Tłumią drgania w zakresie 5-8 Hz o 15 dB i w zakresie 50-80 Hz o 10-15 dB.

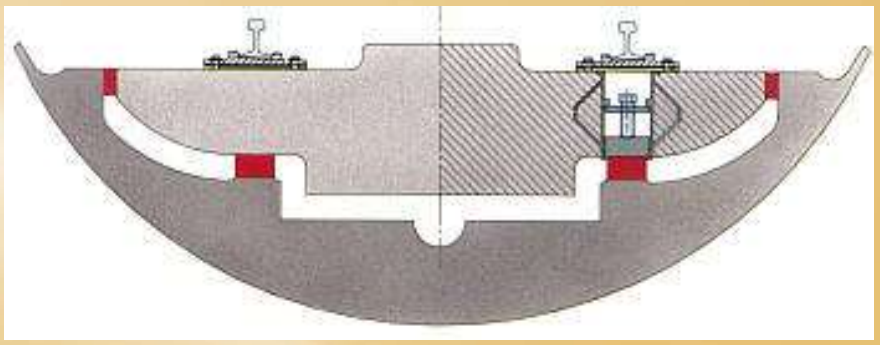




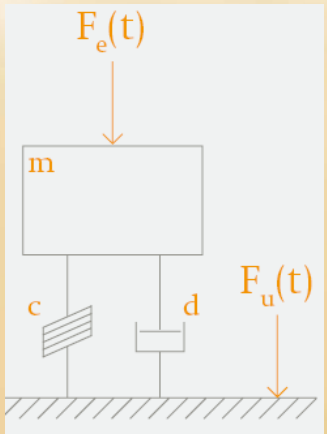
Pływająca płyta



ang. mass-spring system



Zasada działania:
należy rozdzielić konstrukcje generującą drgania i hałas od otoczenia przez wprowadzenia dodatkowego "usprężynowienia" za pomocą materiału sprężystego i przerwanie ścieżki transmisji drgań.



$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}}$$

d – współczynnik tłumienia
c – dynamiczny współczynnik sprężystości układu
m – masa płyty i nieusprężynowionej części pojazdu
f_o – częstotliwość drgań własnych

Pływająca płyta



Podparcie na całej powierzchni:
- łatwość montażu,
- bardzo dobre podparcie w kierunku poprzecznym i podłużnym (poziome),
- pozwala osiągnąć częstotliwość podparcia na poziomie 14-25 Hz oraz obniżyć poziom hałasu o 30 dB.



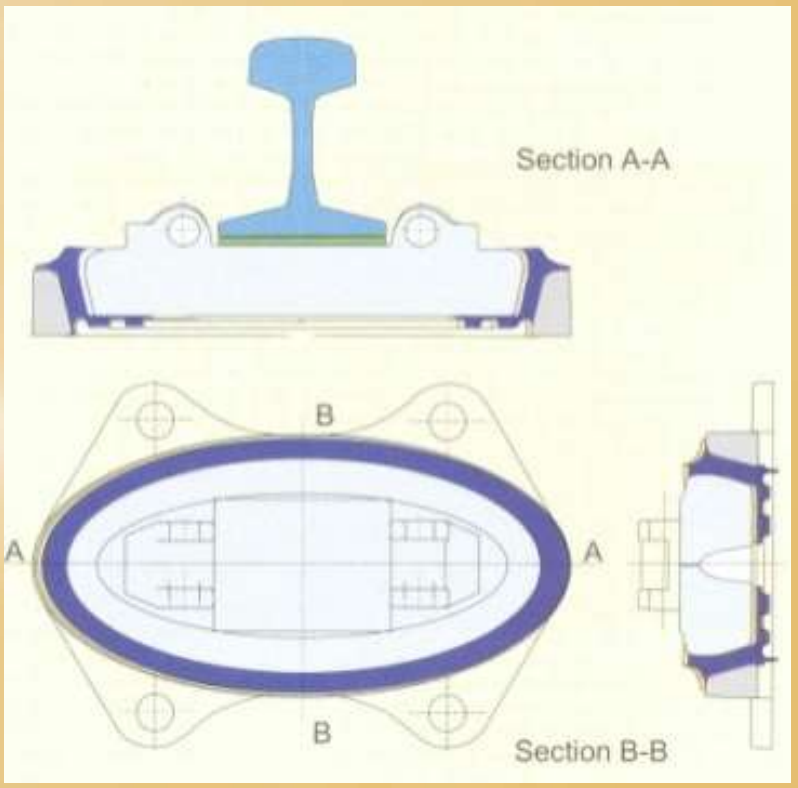
Podparcie liniowe:
- najczęściej stosowane w przypadku konstrukcji nawierzchni w postaci płyt prefabrykowanych,
- dobrze przenosi siły poziome pochodzące od hamowania i przyspieszania oraz poprzeczne (krzywizny łuków oraz błędy geometrii),
- tańsze rozwiązanie niż podparcie na całej powierzchni,
- pozwala osiągnąć częstotliwość podparcia na poziomie 8-15 Hz.



Podparcie punktowe:
- najczęściej stosowane w przypadku konstrukcji nawierzchni w postaci płyt wylewanych na budowie i wyposażanych w podpory po stwardnieniu,
- w celu przeniesienia sił poziomych należy dobrać współczynnik sprężystości na siły ścinające, odpowiednie pole powierzchni podpory oraz grubość warstwy,
- pozwala osiągnąć częstotliwość podparcia na poziomie 5-12 Hz oraz obniżyć poziom hałasu o ponad 30 dB (duża skuteczność).

Przytwierdzenie Cologne Egg





Zasada działania:

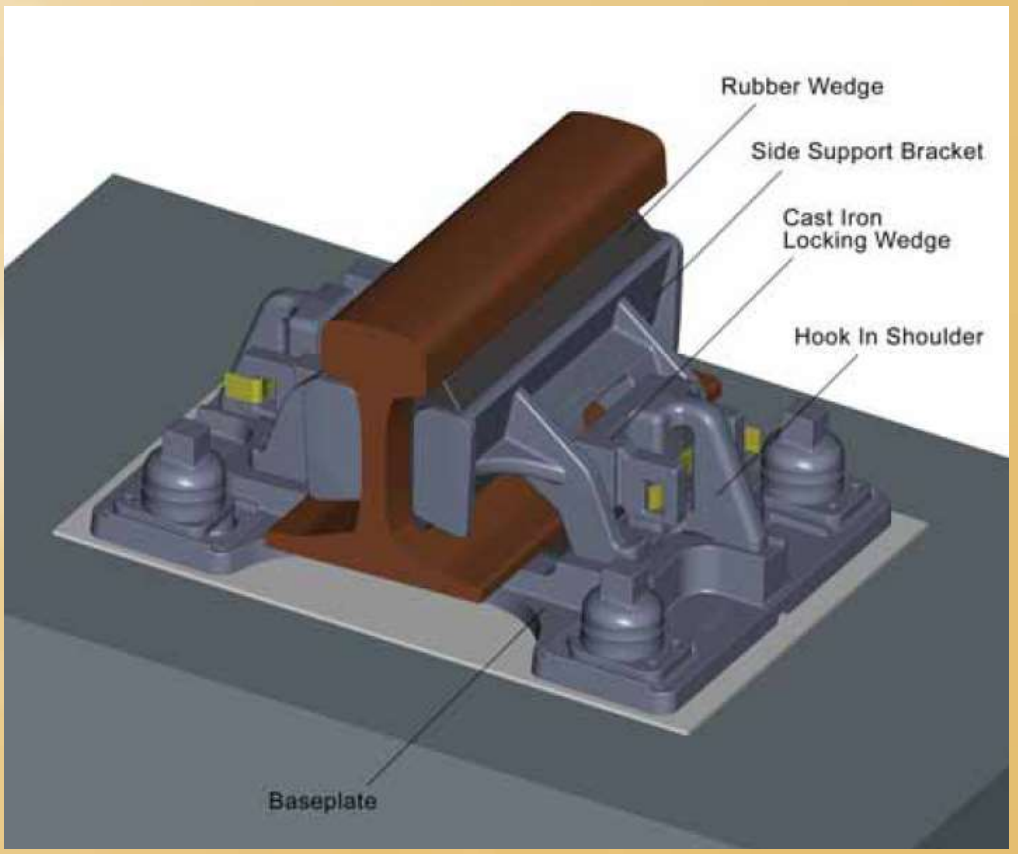
Przytwierdzenie szyny do owalnej płyty (przez przekładkę sprężystą) osadzonej w obudowie przez przekładkę sprężystą.

Tłumienie drgań o 7 dB w zakresie 31.5-45 Hz i 18 dB w zakresie 63-80 Hz.

Ze względu na małą nośność pionową zastosowanie tylko w lekkim metrze.

Przytwierdzenie Pandrol's Vanguard





Zasada działania:

Przytwierdzenie szyny za pomocą dwóch bocznych wsporników z żeliwa na sztywno zamocowanych w podkładzie. Szyna jest oparta za pośrednictwem wkładek gumowych za szyjkę, stopka jest niepodparta.

Ze względu na duży ruch pionowy szyny (około 3 mm pod obciążeniem 14 ton) przy dobrym podparciu bocznym tłumienie drgań rozpoczyna się już w zakresie od 20 Hz. Dopuszczalne obciążenie pionowe 30 kN.

Kolokwium zaliczeniowe

Studenci:	studia dzienne
Termin:	23.05.2011 r.
Miejsce:	sala 301, A1
Czas trwania:	7:45 – 8:00
Potrzebny sprzęt:	długopis
Forma:	test 1-krotnego wyboru
Liczba pytań:	7
Wyniki:	http://i14odt.iil.pwr.wroc.pl/zwolski/
Wpisy:	podczas konsultacji
II termin:	brak

Kolokwium zaliczeniowe

Studenci:	studia zaoczne
Termin:	18.06.2011 r.
Miejsce:	sala 301, A1
Czas trwania:	7:40 – 7:47
Potrzebny sprzęt:	długopis
Forma:	test 1-krotnego wyboru
Liczba pytań:	7
Wyniki:	http://i14odt.iil.pwr.wroc.pl/zwolski/
Wpisy:	18.06.2011 r., 13:00-15:00
II termin:	brak