

MATY PODTŁUCZNIOWE I SPRĘŻYSTE PODPORY PODKŁADÓW – ANALIZA PRZEPISÓW I DOŚWIADCZEŃ EUROPEJSKICH ORAZ PROPOZYCJA DLA KOLEI POLSKICH

Juliusz Sołkowski

dr hab. inż., Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel.: (012) 628 2390, e-mail: jsolkow@pk.edu.pl

Streszczenie. *W artykule przedstawiono przegląd przepisów europejskich oraz badań normatywnych dotyczących sprężystych elementów takich jak Sprężyste Podpory Podkładów (SPP) oraz Maty Podtłuczniowe (MP) w nawierzchniach kolejowych. Są to powszechnie stosowane elementy przez zarządy wiodących kolei w Europie: niemieckie, austriackie, szwajcarskie czy francuskie, a także japońskie (które nie są omawiane w artykule). Istnieją także dobrze opracowane procedury badawcze tych elementów oraz metody oceny efektywności ich w budowaniu. Doświadczenia europejskie sięgają prawie 30 lat. Na podstawie wykonanego przeglądu Autor sporządził propozycję dla kolei polskich z uwzględnieniem specyfiki podziału na kategorie linii na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. oraz innych elementów. Zadaniem autora należy zapoczątkować racjonalizację wykorzystania tych elementów na naszej kolei.*

Słowa kluczowe: *nawierzchnie podsypkowe, maty podtłuczniowe, wibroizolacja, sprężyste podpory podkładów, sztywność nawierzchni*

1. Wstęp – cel pracy

Jak pokazują doświadczenia europejskie, elementy sprężyste są wykorzystywane w nawierzchniach podsypkowych przez wszystkie wiodące koleje: DB [1,2,3,4], ÖBB [12], SNCF [10,11]. Rekomendacje odnośnie zastosowania tych elementów oraz ich badania zostały zebrane w karcie UIC 719-1R [10] oraz w raporcie [11].

Pewnym problemem w naszym kraju jest brak konkretnych przepisów w instrukcjach PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. odnośnie parametrów tych elementów sprężystych oraz miejsca i sposobu ich zastosowania w nawierzchni. Do tej pory stosuje się je na podstawie aprobat technicznych uzyskanych przez dostawców. Zarządca polskiej infrastruktury nie wypowiedział się jeszcze w tej sprawie w postaci przepisów. Brakuje konkretnych odniesień, a nawet definicji elementów sprężystych w instrukcjach [18,19,20,21].

Zdaniem autora istnieje pilna potrzeba sformułowania odpowiednich wymagań technicznych z punktu widzenia:

- efektywności wibroizolacji,
- efektywności funkcji konstrukcyjnych elementów sprężystych,

- nośności i trwałości toru (ugięcia statyczne i dynamiczne szyny, osiadania toru).

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie doświadczeń europejskich odnośnie badań elementów sprężystych oraz ich zastosowania w nawierzchniach kolejowych podsypkowych. W części końcowej artykułu przedstawiono propozycję wprowadzenia elementów sprężystych do przepisów dla polskiej sieci kolejowej.

Generalnie, zgodnie z podziałem funkcjonalnym elementów sprężystych występujących w Europie, należy rozróżnić:

- funkcję wibroizolacji,
- funkcję konstrukcyjną (ochronną, sterowanie sztywnością toru).

W wielu przypadkach powyższe funkcje elementów sprężystych są ze sobą sprzeczne, dlatego tak ważne jest posiadanie precyzyjnych przepisów odnośnie ich stosowania.

2. Przykłady zastosowania i przepisy odnośnie elementów sprężystych

2.1. *Maty podtłuczniowe (MP) – zastosowania i przepisy*

Zgodnie z kartą UIC 719-1 R [10] zastosowanie mat podtłuczniowych ma następujące cele:

- organicznie propagacji drgań (w konstrukcji i w gruncie) oraz ograniczenie hałasu,
- zmiana sztywności konstrukcji toru, której efektem jest wydłużenie okresów pomiędzy zabiegami utrzymania,
- zmiana sztywności konstrukcji toru w strefie przejściowej,
- zmniejszenie grubości warstwy podsypki,
- ochrona konstrukcji obiektu inżynierskiego,
- ochrona podsypki.

Maty podtłuczniowe stosowane są na głównych liniach kolejowych zarówno o zwykłej prędkości jak i dużej prędkości, także na odcinkach przebiegających przez strefy zurbanizowane, ponadto w kolei lekkiej i w metrze.

Koleje niemieckie (DB) stosują maty w następujących przypadkach [1,2]:

1) w celu ograniczenia propagacji drgań w obszarach zamieszkałych:

- w tunelach,
- na obiektach mostowych,
- na stacjach w wyżej położonych torach,
- w konstrukcji przejść podziemnych,
- w korytach balastowych w przekopie.

2) w przypadkach zmniejszenia grubości warstwy podsypki:

- w tunelach,
- jeśli grubość warstwy posypki jest mniejsza niż 20 cm.

- 3) także w celu:
- ochrony podsypki,
 - zmniejszenia liczby zabiegów utrzymania na obiektach mostowych,
- 4) w celu zmniejszenia oddziaływań dynamicznych pociągów w strefach przejściowych.

Koleje austriackie (ÖBB) stosują maty w następujących przypadkach:

- w tunelach: różne maty w celu dostosowania sztywności toru,
- w przekopach i na nasypach – wyjątkowo – dotyczy obszarów zurbanizowanych,
- w obszarach gęsto zaludnionych na liniach głównych,
- w celu zmniejszenia grubości warstwy podsypki na mostach i w tunelach,
- w celu ochrony podsypki na mostach, w tunelach i na nasypach,
- w celu zmniejszenia hałasu na obiektach mostowych i na rozjazdach,
- w strefach przejściowych pomiędzy nawierzchniami podsypkowymi i bezpodsypkowymi,
- w celu zmniejszenia kosztów utrzymania toru w tunelach, na obiektach mostowych i na nasypach.

Koleje szwajcarskie (SBB) stosują maty w następujących przypadkach:

- w tunelach,
- na podniesionych stacjach,
- w obrębie przejść podziemnych,
- w przekopach i na nasypach,
- w rozjazdach i na stacjach,
- w celu ochrony obiektu mostowego jeżeli grubość warstwy podsypki jest mniejsza niż 20 cm,
- w celu zmniejszenia hałasu strukturalnego.

Zastosowania mat podtłuczniowych przez **koleje francuskie (SNCF)** są podobne do kolei niemieckich, oraz ponadto:

- w przekopach i na nasypach bez zmniejszenia grubości podsypki,
- w tunelach i na obiektach mostowych przy zmniejszeniu grubości podsypki o 50 mm,
- przy przejściach podziemnych i zmniejszeniu podsypki o 50 mm,
- w strefach przejściowych pomiędzy nawierzchniami podsypkowymi i bezpodsypkowymi.

Karta UIC [10] przedstawia zestawienie dotyczące zastosowania mat podtłuczniowych na kolejach europejskich (tab. 1).

Tabela 1. Wymagania dla mat podtłuczniowych w Europie (uwaga: sztywności mat wyznaczone są wg metod, które mogą się różnić w poszczególnych krajach) {10}

Koleje	Prędkość maksymalna	Obciążenie osi	Statyczny moduł maty
Niemieckie		>160kN	$C_{stat} \geq 0.03 \text{ N/mm}^3$
			$C_{stat} \geq 0.06 \text{ N/mm}^3$
			$C_{stat} \geq 0.10 \text{ N/mm}^3$
Austriackie	$\leq 120 \text{ km/h}$	Linie główne	$C_{stat} \geq 0.025 \text{ N/mm}^3$
	$120 < v \leq 200 \text{ km/h}$		$C_{stat} \geq 0.06 \text{ N/mm}^3$
	$v > 200 \text{ km/h}$		$C_{stat} \geq 0.10 \text{ N/mm}^3$
Szwajcarskie		Linie główne	$C_{stat} \geq 0.03 \text{ N/mm}^3$
			$C_{stat} \geq 0.06 \text{ N/mm}^3$
			$C_{stat} \geq 0.10 \text{ N/mm}^3$
Francuskie	$\leq 120 \text{ km/h}$	Linie główne	$C_{stat} = 0.025 - 0.045 \text{ N/mm}^3$
	$v > 120 \text{ km/h}$		$C_{stat} = 0.045 - 0.06 \text{ N/mm}^3$
	Strefy przejściowe		$C_{stat} = 0.08 - 0.12 \text{ N/mm}^3$

W niemieckich przepisach brane są pod uwagę:

- czy jest to linia istniejąca, czy modernizowana, względnie nowa,
- czy jest to tor na obiekcie inżynierskim, czy poza nim,
- prędkość pociągu na linii.

Przepisy DB NetzeRichtlinie 820 [2] podają następujące wymagania dla mat podtłuczniowych:

Tabela 2. Wymagania dla mat podtłuczniowych z uwagi na ochronę podsypki {2}

Obciążenie dzienne	Prędkość maksymalna	Obciążenie osi	priorytet	Statyczny moduł podłoża (zakres badania 0.02-0.10 N/mm ³)	Zastosowanie
>10000 t	>160km/h	$\leq 22.5 \text{ t}$	1	$c_{stat} = 0.12 \text{ N/mm}^3$ (+/-0.02)	TORY NOWE: mosty i inne obiekty z betonowym lub stalowym podłożem dla nawierzchni

Przepisy dotyczące stref przejściowych DB Richtlinie “Übergänge zwischen Erd- und Kunstbauwerken” [4] podają następujące wymagania:

Tabela 3. Wymagania dla mat podtłuczniowych w konstrukcji stref przejściowych [4]

Obciążenie roczne	Prędkość maksymalna	Obciążenie osi	Priorytet	Statyczny moduł podłoża (zakres badania 0.02-0.10 N/mm ²)	Zastosowanie
-	>160km/h	≤22.5t	-	$c_{stat} = 0.12 \text{ N/mm}^3$ (+/-0.02)	Nowe oraz modernizowane tory na obiektach mostowych

Przepisy DB Netze TM 2010 [3] podają następujące wymagania dla mat podtłuczniowych:

Tabela 4. Wymagania dla mat podtłuczniowych na liniach [3]

Prędkość maksymalna	Obciążenie osi	Statyczny moduł podłoża
$v \leq 120 \text{ km/h}$	>16t ≤22.5t	$C_{stat} = 0.03 \text{ N/mm}^3$
$120 < v \leq 200 \text{ km/h}$	>16t ≤22.5t	$C_{stat} = 0.06 \text{ N/mm}^3$

Przepisy ÖBB Richtlinie B50-1, §14.10 [12] podają następujące wymagania:

Tabela 5. Wymagania dla mat podtłuczniowych w Austrii [12]

Prędkość maksymalna	Typ linii	Statyczny moduł podłoża (zakres badania 0.02-0.10 N/mm ²)
≤120km/h	Linie główne	$C_{stat} \geq 0.025 \text{ N/mm}^3$
$120 < v \leq 200 \text{ km/h}$		$C_{stat} \geq 0.06 \text{ N/mm}^3$
$v > 200 \text{ km/h}$		$C_{stat} \geq 0.10 \text{ N/mm}^3$

2.2. Maty podtłuczniowe – wymagane badania laboratoryjne

Badania mat podtłuczniowych odbywają się według następujących normatywów:

- DIN 45673-5 [6], który zawiera wymagania co do ogólnej metodologii badania,
- DB 918 071-01 [1], który jest oparty na powyższej normie DIN (oraz jej poprzedniczce), a także na innych normach DIN, ponadto podaje dodatkowe wymagania dotyczące zabudowy mat w torze,

- Karta UIC [10] wymienia w/w metody badań jako obowiązujące.

Następujące badania laboratoryjne zgodnie ze wspomnianymi normami są obowiązkowe:

- wyznaczenie statycznego modułu maty,
- wyznaczenie dynamicznego modułu maty,
- sztywność w płaszczyźnie poziomej,
- test zmęczeniowy,
- odporność na wodę,
- odporność na zamarzanie i odmarzanie,
- odporność na starzenie,
- łatwopalność.

Przykładowo, statyczne i dynamiczne moduły maty wyrażone w jednostkach [N/mm^3] są mierzone z wykorzystaniem próbek o wymiarach: od 200 mm x 200 mm do 500 mm x 500 mm. Temperatura pomiaru wynosi $20^\circ C$ ($23^\circ C \pm 3^\circ C$). Pozostałe wymagania są następujące:

- a) sztywność statyczna definiowana jest jako syczny moduł podłoża w zakresie obciążenia $0.02 N/mm^2$ (tzw. obciążenie wstępne) a $0.10 N/mm^2$ (obciążenie maksymalne),
- b) sztywność w zakresie niskich częstotliwości do 40 Hz, przy obciążeniu wstępnym $0.02 N/mm^2$ i obciążeniu maksymalnym $0.10 N/mm^2$, próbka 200 mm x 200 mm, częstotliwości 1,5,10,20,30 Hz (sinusoidalny przebieg obciążenia), moduł dynamiczny jest określony jako stosunek amplitudy obciążenia do amplitudy przemieszczenia, współczynnik usztywnienia dynamicznego definiowany jest jako stosunek modułu dynamicznego do statycznego,
- c) sztywność zastępcza maty podtłuczniowej przypadająca na jedną podporę (przytwierdzenie) – tzw. sztywność sprężyny (*Federziffer*) jest określona dla częstotliwości 20 Hz jako [1]:

$$k_{UEM} [N/mm] = C_{20Hz} [N/mm^3] \cdot 450 \quad (1)$$

- d) wartość reakcji przypadająca na jedna podporę zależy od sztywności maty podtłuczniowej i jest określona jako [1]:

$$R = Q \cdot k_R \cdot 1.3 \quad (2)$$

gdzie:

Q jest obciążeniem koła ze współczynnikiem dynamicznym 1.3, natomiast k_R jest liniowym parametrem sztywności,

- e) poziom prędkości drgań L_v [dBv] [10] jest definiowany jako

$$L_v = 20 \log_{10} \left(\frac{v_{RMS}}{v_{ref}} \right) [dBv] \quad (3)$$

gdzie:

- v_{RMS} - prędkość skuteczna drgań, jednakże w przypadku wzbudzenia harmonicznego (sinusoidalnego) w warunkach laboratoryjnych, w liczniku pojawia się po prostu prędkość drgań, tzn. v ,
- v_{ref} - wartość referencyjna (poziom tła) prędkości drgań, przyjęta jako $v_{ref} = 5 \cdot 10^{-5}$ mm/s

Wartość poziomu prędkości drgań jest istotna, gdyż na tej podstawie można oszacować odpowiadającą drganiom amplitudę jako „drogę” przebytą przez drgającą cząstkę przy znanej częstotliwości drgań, z której można wyznaczyć jeden okres drgań (czyli czas potrzebny na przebycie jednej „drogi”) przy uśrednieniu prędkości.

W normie DIN 45673-5:2010 do badań laboratoryjnych stosuje się wzbudzenie harmoniczne o poziomie prędkości drgań $L_v = 100$ dBv, co oznacza, że prędkość cząstki wynosi $v = 7$ mm/s. W związku z tym amplitudy drgań są następujące (tab. 5a):

Tabela 5a. Oszacowanie amplitud drgań na podstawie poziomu prędkości drgań $L_v = 100$ dBv

Częstotliwość	8 Hz	30 Hz	200 Hz
Amplituda drgań	0.88 mm	0.23 mm	0.04 mm

Zgodnie z Kartą UIC [10], badania dynamiczne modułu maty przy wysokich częstotliwościach muszą być wykonywane w zakresie do 100 Hz, wielkość próbki wynosi 200x200 mm, obciążenie wstępne wynosi 0.01, 0.03, 0.06, 0.1 N/mm². Amplitudy wymuszenia kinematycznego jak pokazano maleją wraz z częstotliwością. Wg normy DIN 45673-5:2010, częstotliwość wymuszenia sięga 200 Hz.

2.3. Sprężyste podpory podkładów (SPP) – zastosowania i przepisy

Analogicznie do mat podtłuczniowych, także w przypadku sprężystych podpór podkładów (SPP) “zelówek” - sztywność toru jest punktem otwartym wg TSI. Natomiast zarządca infrastruktury kolejowej może zażądać przeprowadzenia obliczeń wytrzymałości toru w celu określenia wpływu tych warstw sprężystych na jego pracę. Zakres zastosowania sprężystych podpór podkładów przez koleje europejskie w ujęciu syntetycznym jest podany poniżej.

Koleje niemieckie (DB) stosują SPP od 1996, kiedy to zostały zastosowane na linii Mannheim-Karlsruhe. Obecnie są one stosowane w czterech obszarach:

- jako alternatywa dla mat podtłuczniowych na obiektach inżynieryjnych na liniach dużych prędkości,
- jako kompensacja dla lokalnie zróżnicowanych sztywności toru,
- na lub w obrębie obiektów inżynieryjnych jako kompensacja dla zmniejszonej grubości warstwy podsypki,

- jako kompensacja dla przytwierdzeń sprężystych, które posiadają stosunkowo sztywne przekładki podszynowe.

Cele szczegółowe zastosowania:

- a) zmniejszenie naprężeń w torze (szczególnie w podsypce) i naprężeń na podtorze,
- b) zmniejszenie zużycia falistego w łukach o małym promieniu i na dużych pochyleniach podłużnych toru,
- c) na konstrukcjach inżynierskich w celu zmniejszenia naprężeń oraz zmniejszenia deformacji (głównie osiadań):
 - o w rozjazdach,
 - o w strefach przejściowych – długość toru poza odcinkiem wyposażonym w SPP musi być wystarczająco duża,
- d) zmniejszenie propagacji drgań do nawierzchni i podłoża oraz zmniejszenie hałasu.

W Niemczech główne korzyści z zastosowania SPP to zmniejszenie nakładów na utrzymanie oraz ogólne zmniejszenie kosztów linii, szczególnie w łukach o małym promieniu. SPP postrzegane są jako zamiennik dla mat podtłuczniowych w odniesieniu do korzyści w nakładach na utrzymanie.

Koleje austriackie (ÖBB) stosują SPP od 1989 roku. Główne obszary zastosowań to:

- na łukach o małym promieniu w celu zmniejszenia zużycia falistego, (nie zaobserwowano znaczącego wpływu SPP na zmiany szynowości poprzecznej toru),
- jako alternatywa dla mat podtłuczniowych w celu ograniczenia drgań przenoszonych przez tor: znacząca redukcja drgań występuje w zakresie częstotliwości 40 – 50Hz,
- w celu zmniejszenia częstotliwości utrzymania toru – zaobserwowano wydłużenie okresów eksploatacji toru bez konieczności podbijania,
- w celu zmniejszenia grubości warstwy podsypki (lokalnie),
- w celu znaczącego zmniejszenia naprężeń pod podkładem w wyniku zwiększonej powierzchni oparcia podkładu,
- w celu obniżenia emisji hałasu – zaobserwowano redukcje o 1 dB,
- w strefach przejściowych,
- w rozjazdach – jakość toru w rozjazdach i w skrzyżowaniach torów jest znacznie wyższa niż w standardowych rozwiązaniach bez SPP.

Obecnym standardowym produktem SPP jest podpora o symbolu 3007G o statycznym module sztywności $\geq 0.3 \text{ N/mm}^3$. Do czerwca 2016 roku był on określany zgodnie DIN 45673-6: 2010, w zakresie obciążeń 0.01-0.20 N/mm^2 (przy dużym zagęszczeniu podsypki).

Koleje szwajcarskie (SBB) stosują SPP w następujących obszarach:

- w rozjazdach,
- w strefach przejściowych pomiędzy nawierzchniami podsypkowymi i bezpodsypkowymi,

- na krótkich obiektach mostowych i w ich obrębie,
- dla poprawy geometrii toru,
- w przypadku lokalnego obniżenia grubości podsypki,
- w celu zmniejszenia naprężeń pomiędzy podkładem a podsypką, dzięki zwiększeniu powierzchni oparcia podkładu,
- w celu obniżenia poziomu drgań i hałasu,
- w celu poprawy ogólnej jakości nawierzchni.

Główne korzyści z zastosowania SPP to zmniejszenia nakładów na utrzymanie i ogólnych kosztów nawierzchni.

Koleje francuskie (SNCF) stosują SPP w następujących przypadkach:

- pod podpory betonowe pod rozjazdami,
- pod podpory betonowe pod środkową częścią skrzyżowania torów, aby zmniejszyć tempo degradacji podsypki,
- pod podkłady betonowe pod przyrządy wyrównawcze na końcach długich obiektów mostowych na liniach KDP i w innych specjalnych miejscach,
- w celu poprawy geometrii toru,
- w celu zmniejszenia grubości warstwy podsypki,
- w celu znaczącego zmniejszenia naprężeń pomiędzy podkładem a podsypką, dzięki zwiększeniu powierzchni oparcia podkładu,
- na krótkich obiektach mostowych i w ich obrębie,
- na liniach KDP w celu zmniejszenia grubości podsypki.

W przypadku **kolei hiszpańskich (ADIF)** SPP są instalowane na liniach KDP w strefach przejściowych pomiędzy obiektami inżynierskimi o zróżnicowanej sztywności. SPP są instalowane przed obiektami inżynierskimi za wyjątkiem takich obiektów, które są wyposażone w przyrządy wyrównawcze. SPP są w szczególności stosowane:

- w strefach przejściowych pomiędzy nawierzchniami podsypkowymi i bezpodsypkowymi,
- na krótkich obiektach mostowych i w ich obrębie,
- w celu poprawy stabilności toru w trakcie eksploatacji,
- dla ogólnej poprawy jakości toru,
- w celu lokalnego obniżenia grubości warstwy podsypki,
- w celu znaczącego zmniejszenia naprężeń pomiędzy podkładem a podsypką, dzięki zwiększeniu powierzchni oparcia podkładu,
- w celu ograniczenia propagacji drgań.

Inne koleje europejskie takie jak w Holandii, Norwegii, Szwecji, Czechach i na Węgrzech posiadają małe doświadczenie w wykorzystaniu SPP lub ich w ogóle nie stosowano. Poniżej podano szczegółowe przykłady z omówionych przepisów europejskich.

Przepisy *DB NetzeRichtlinie 820* [2] podają następujące wymagania dla SPP:

Tabela 6. Wymagania dla zastosowań SPP [2]

Obciążenie dziennie	Prędkość maksymalna	Nacisk statyczny osi	Priorytet	Moduł statyczny (zakres badania 0.01-0.10 N/mm ²)	Zastosowanie
>10000 t	≤120km/h	≤22.5t	1	$C_{stat} = 0.25 \text{ N/mm}^2$ (+/-0.03)	Nowe tory: dla zmniejszenia zużycia falistego na łukach
	≤160km/h				Nowe tory: dla zmniejszenia grubości podsypki na mostach i w tunelach – oraz 25 podkładów w obrębie obiektu po obu stronach
	>160km/h				Nowe tory: na obiektach oraz przy odcinkach torów z matami – oraz 25 podkładów w obrębie obiektu lub odcinka z matami po obu stronach

Przepisy *ÖBB Richtlinie B50-1* [12] podają następujące wymagania:

Tabela 7. Wymagania dla SPP na kolejach austriackich [12]

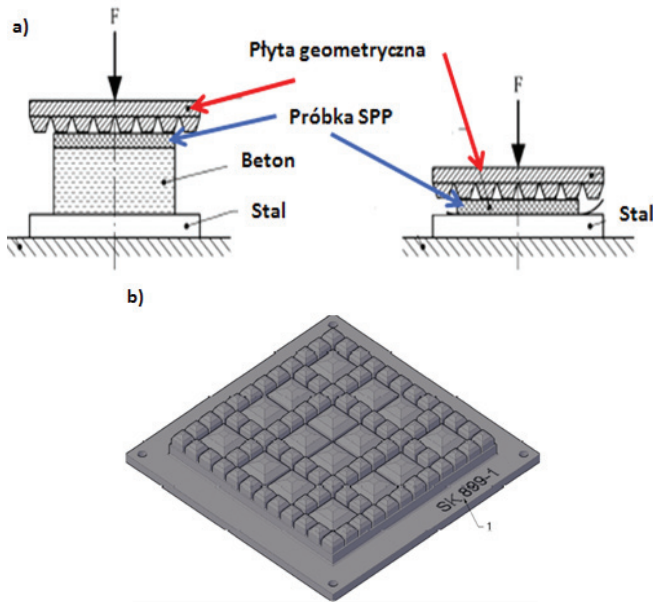
Obciążenie linii	Prędkość maksymalna	Promień	Moduł statyczny (zakres badania 0.02-0.16 N/mm ²)
>30000 t/ dzień	v>160km/h	<600m	$C_{stat} \geq 0.30 \text{ N/mm}^2$

2.4. Sprężyste podpory podkładów (SPP) – wymagane badania laboratoryjne

Badania SPP do czerwca 2016 r. odbywały się zgodnie z normatywem DIN 45673-6 (2010), jednakże dokładnie wtedy zaczęła obowiązywać norma EN 16730 [9], która zmienia przede wszystkim tzw. płytę balastową do obciążeń SPP i wprowadza płytę geometryczną – (rys. 1). Badane są następujące elementy:

- statyczny moduł ścierny,
- dynamiczny moduł (dla niższej częstotliwości < 30Hz, dla wyższej częstotliwości < 160Hz),
- współczynnik usztywnienia dla niższej częstotliwości,
- współczynnik usztywnienia dla wyższej częstotliwości,
- efektywność tłumienia („lossfactor”),
- wytrzymałość zmęczeniowa,
- siła przylegania do podkładów – badanie poprzez odrywanie,
- wytrzymałość na ścinanie,
- odporność na zamarzanie/odmarzanie,
- odporność na niskie temperatury,
- odporność na zmiany pogodowe,
- odporność na starzenie.

Do badań podsypka musi być przygotowana zgodnie ze standardem DBS 918 061 *Technische Lieferbedingungen – Gleisschotter*” (jest to powołanie w w/w normie DIN, do czerwca 2016).



Rys.1. Badania SPP z wykorzystaniem nowej płyty geometrycznej wg EN 16730 [9],
a) schemat badania, b) widok płyty

3. Propozycja dla polskiej sieci kolejowej (PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.)

Biorąc pod uwagę:

- istniejące przepisy europejskie oraz dobrze ugruntowana praktykę stosowania mat podtłuczniowych ,
- otwartość TSI ze względu na materiały antywibracyjne [15],
- ogólne wymaganie TSI, aby uczynić nawierzchnie kolejowe interpretacyjnymi,
- ogólne wskazania przepisów polskich w zakresie systemów antywibracyjnych i przeciwhałasowych [13,14,16,17],
- wymagania przepisów “Rozporządzenie...” (Dz. U. 151) wraz z „małą nowelizacją” (Dz. U. poz. 867, 5.06.2014), dla konstrukcji stref przejściowych (30% różnica sztywności w strefie przejściowej), które zostały zastąpione wymaganiem konstruowania stref przejściowych w taki sposób aby ograniczać osiadania [16], oraz przepisy Id-3 [20], a także “Rozporządzenie ...” (Dz. U. 151, 1998) – § 13.1 odnośnie podziału linii na kategorie wraz z nowelizacją z 5.06.2014 r., maty podtłuczniowe muszą spełnić następujące wymagania:

- w celu kontroli drgań propagowanych przez konstrukcję – funkcja wibroizolacji (tab. 8, tab. 10),
- w celu ochrony konstrukcji toru – funkcja konstrukcyjna (tab. 9, tab. 11).

3.1. Maty podtłuczniowe (MP)

Uwagi wstępne:

1. Maty podtłuczniowe oraz sprężyste podpory podkładów nie mogą być stosowane równocześnie w tym samym przekroju poprzecznym toru.
2. Minimalna długość strefy przejściowej przed i za obiektem mostowym lub odcinkiem toru, na którym zastosowano maty podtłuczniowe wynosi 20 m – statyczny moduł podłoża (konstrukcji ziemnej wraz z wszystkimi elementami sprężystymi) musi być zbliżony do tego na obiekcie lub wspomnianym odcinku toru (różnice dopuszczalne 30%).
3. Poniższe wymagania odnoszą się do wszystkich odcinków toru, na których przewiduje się zastosowanie rozwiązań antywibracyjnych lub do ochrony podsypki. Takie odcinki są wytypowane przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. na podstawie stosownych analiz.

Tabela 8. Wymagania dla Mat Podtłuczniowych (MP) stosowanych jako ochrona antywibracyjna na nowych i modernizowanych liniach kolejowych – propozycja własna

Lp.	Kategoria linii	Obciążenie roczne T [Tg/rok]	Prędkość maksymalna v_{max} [km/h]	Stacyjny moduł maty (**) C_{stat} [N/mm ³]	Dynamiczny moduł maty (***) - standardowe tłumienie C_{dyn} [N/mm ³]	Dynamiczny moduł maty (***) - wysokie tłumienie C_{dyn} [N/mm ³]
1	Magistralne (0)	$T \geq 25$	$v_{max} > 200$ (*)	$C_{stat} \geq 0.10$	$C_{dyn} \leq 0.16$	$C_{dyn} \leq 0.12$
			$120 < v_{max} \leq 200$	$C_{stat} \geq 0.06$	$C_{dyn} \leq 0.11$	$C_{dyn} \leq 0.06$
2	Pierwszorzędne (1)	$10 \leq T < 25$	$80 < v_{max} \leq 120$	$C_{stat} \geq 0.03$	$C_{dyn} \leq 0.07$	$C_{dyn} \leq 0.04$
3	Drugorzędne (2)	$3 \leq T < 10$	$60 < v_{max} \leq 80$			
4	Znaczenia miejscowego (3)	$T < 3$	$v_{max} \leq 60$			

(*) – w przypadku zwiększenia prędkości na liniach modernizowanych lub nowych;

(**) – badanie pomiędzy dwoma płaskimi płytami, moduł ścieżny w zakresie 0.02 – 0.10 N/mm² według DIN 45673-5:2010;

(***) – badanie pomiędzy dwoma płaskimi płytami, obciążenie wstępne 0.10 N/mm², poziom prędkości $L_v = 100$ dBv, przy częstotliwości 30 Hz według DIN 45673-5:2010;

Uwaga: Wszystkie podane wartości są nominalne, dla których należy przyjąć tolerancję produkcyjną zgodnie z aprobatami technicznymi (np. IK).

Powyższe wymagania odnoszą się do wszystkich klas torów w danej kategorii linii, zgodnie z Rozporządzeniem oraz jego nowelizacją [16], a także zgodnie

z przepisami PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. [18]. Przyjęto minimalną grubość mat 17 mm.

Tabela 9. Wymagania dla Mat Podtłuczniowych (MP) stosowanych jako ochrona toru i obiektu na nowych i modernizowanych liniach kolejowych – propozycja własna

Lp.	Kategoria linii (*)	Obciążenie roczne T [Tg/rok]	Prędkość maksymalna v_{max} [km/h]	Statyczny moduł maty (**) C_{stat} [N/mm ³]
1	Magistralne (0) Pierwszorzędne (1) Drugorzędne (2)	$T \geq 3$	$v_{max} > 120$	$0.10 \leq C_{stat} \leq 0.14$

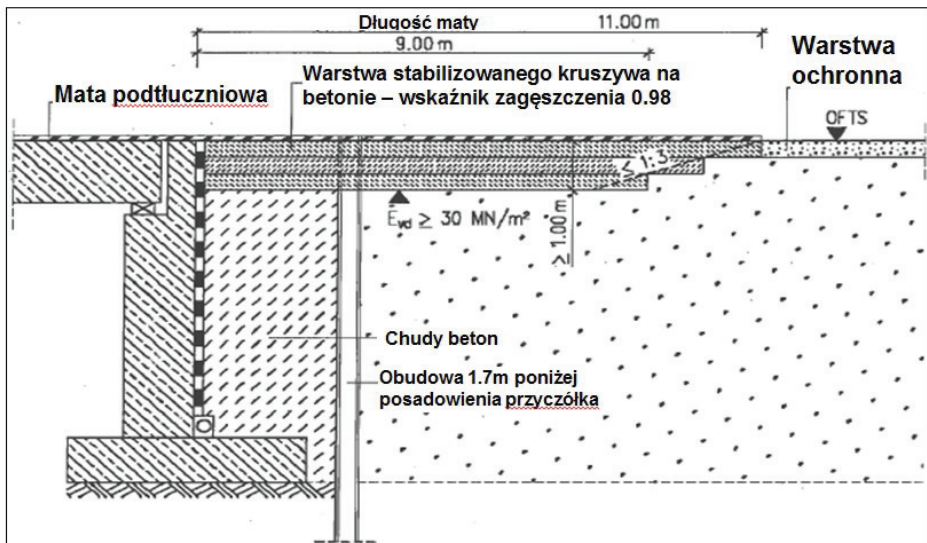
(*) – O zastosowaniu maty decyduje jeden z parametrów: prędkość lub obciążenie roczne;

(**) – badanie pomiędzy dwoma płaskimi płytami, moduł ściśnycy w zakresie 0.02 – 0.10 N/mm² według DIN 45673-5:2010;

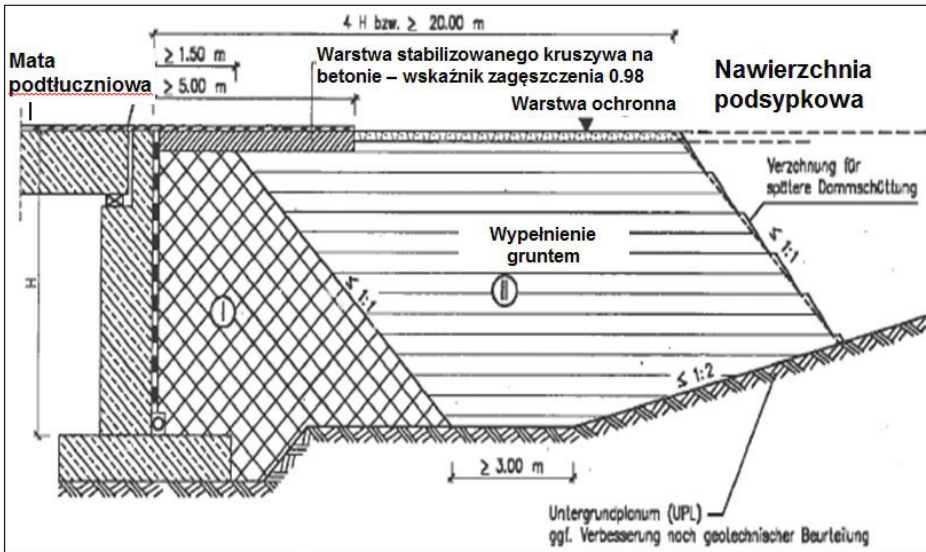
Uwaga: Wszystkie podane wartości są nominalne, dla których należy przyjąć tolerancję produkcyjną zgodnie z aprobatami technicznymi (np. IK).

Powyższe wymagania odnoszą się do wszystkich klas torów w danej kategorii linii, zgodnie z Rozporządzeniem oraz jego nowelizacją [16], a także zgodnie z przepisami PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. [18].

Poniżej podane są przykłady zastosowania mat podtłuczniowych na obiektach mostowych zgodnie z przepisami DB [4] - długości podano na poniższych rysunkach. Grubość warstwy podsypki wynosi $d_{min} = 35$ cm zgodnie z Id-I „Warunki techniczne utrzymania nawierzchni kolejowych” PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2010.



Rys. 2. Rekomendowana konstrukcja strefy przejściowej dla linii modernizowanych – nawierzchnie podsypkowe [4]



Rys. 3. Rekomendowana konstrukcja strefy przejściowej dla linii nowych – nawierzchnie podsypkowe
Oznaczenia:

- I – klin ze wzmocnionego gruntu (wg odrębnych przepisów),
II – wypełnienie gruntem zagęszczone warstwami co 30 cm, wskaźnik zagęszczenia ≥ 1.0 {4}

3.2. Sprężyste Podpory Podkładów (SPP)

Uwagi wstępne:

1. Sprężyste Podpory Podkładów (SPP) oraz Maty Podtluczniowe (MP) nie mogą być stosowane równocześnie w tym samym przekroju poprzecznym toru.
2. Minimalna długość strefy przejściowej przed i za obiektem mostowym lub odcinkiem toru, na którym zastosowano SPP wynosi 20 m – współczynnik podłoża (z uwzględnieniem wszystkich warstw konstrukcyjnych) musi być zbliżony do tego na obiekcie lub wspomnianym odcinku toru ($0.30 \leq c_{stat} \leq 0.35 \text{ N/mm}^3$).
3. Poniższe wymagania odnoszą się do wszystkich odcinków toru, na których przewiduje się zastosowanie rozwiązań antywibracyjnych lub do ochrony podsypki. Takie odcinki są wytypowane przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. na podstawie stosownych analiz.

Tabela 10. Wymagania dla Sprężystych Podpór Podkładów (SPP) stosowanych jako ochrona antywi-bracyjna na nowych i modernizowanych liniach kolejowych – propozycja własna

Lp.	Kategoria linii	Obciążenie roczne T [Tg/rok]	Prędkość maksymalna v_{max} [km/h]	Statyczny moduł SPP (**)	Dynamiczny moduł SPP (***)
				C_{stat} [N/mm ²]	C_{dyn} [N/mm ²]
1	Magistralne (0)	$T \geq 25$	$v_{max} > 200$ (*)	$C_{stat} \geq 0.13$	$C_{dyn} \leq 0.28$
			$120 < v_{max} \leq 200$		
2	Pierwszorzędne (1)	$10 \leq T < 25$	$80 < v_{max} \leq 120$		
3	Drugorzędne (2)	$3 \leq T < 10$	$60 < v_{max} \leq 80$		
4	Znaczenia miejscowego (3)	$T < 3$	$v_{max} \leq 60$		

(*) – w przypadku zwiększenia prędkości na liniach modernizowanych lub nowych;

(**) – badanie z wykorzystaniem normowej płyty na podsypce, moduł sieczny w zakresie 0.02–0.16 N/mm² według DIN 45673-6:2010 {23};

(***) – badanie z wykorzystaniem normowej płyty na podsypce, obciążenie wstępne 0.12 N/mm², poziom prędkości $L_v = 100$ dBv przy częstotliwości 20 Hz wg DIN 45673-6:2010;

Uwaga: Wszystkie podane wartości są nominalne, dla których należy przyjąć tolerancję produkcyjną zgodnie z aprobatami technicznymi (np. IK).

Tabela 11. Wymagania dla Sprężystych Podpór Podkładów (SPP) stosowanych jako ochrona przed oddziaływaniami dynamicznymi na nowych i modernizowanych liniach kolejowych – propozycja własna

Lp.	Kategoria linii	Obciążenie roczne T [Tg/rok]	Prędkość maksymalna v_{max} [km/h]	Statyczny moduł SPP (**)	Powierzchnia kontaktu (***)	Miejsce zastosowania
				C_{stat} [N/mm ²]		
1	Magistralne (0)	$T \geq 25$	$v_{max} > 200$ (*)	$0.30 \leq C_{stat} \leq 0.35$	$\geq 20\%$	1) Na mostach, w tunelach i innych obiektach oraz 25 podkładów przed i za obiektem (****)
			$120 < v_{max} \leq 200$			
2	Pierwszorzędne (1)	$10 \leq T < 25$	$80 < v_{max} \leq 120$			
3	Drugorzędne (2)	$3 \leq T < 10$	$60 < v_{max} \leq 80$			
4	Znaczenia miejscowego (3)	$T < 3$	$v_{max} \leq 60$	-	-	-

(*) – w przypadku zwiększenia prędkości na liniach modernizowanych lub nowych;

(**) – badanie przy pomocy normowej płyty na podsypce, moduł sieczny w zakresie 0.02 – 0.16 N/mm² wg DIN 45673-6:2010. Uwaga: nowe parametry należy podać zgodnie z EN 16730 {9};

(***) – badanie z wykorzystaniem normowej płyty na podsypce według EN 16730:2014;

(****) – na obiekcie tylko wtedy, kiedy nie stosuje się Mat Podtłuczniowych (MP);

Uwaga: Wszystkie podane wartości są nominalne, dla których należy przyjąć tolerancję produkcyjną zgodnie z aprobatami technicznymi (np. IK).

Powyższe wymagania odnoszą się do wszystkich klas torów w danej kategorii linii, zgodnie z Rozporządzeniem oraz jego nowelizacją [16], a także zgodnie z przepisami PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

4. Wnioski

Z uwagi na szeroki zakres zagadnienia, w artykule przedstawiono jedynie w skrócie przegląd przepisów, który – w intencji Autora – mógłby stać się podstawą dla wypracowania ostatecznej wersji przepisów. Autor w tym miejscu zgłasza swoją gotowość do współpracy z Biurem Dróg Kolejowych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. o ile będzie taka wola.

Ponadto należy wziąć pod uwagę, że konieczne jest wypracowanie dodatkowych parametrów nawierzchni kolejowej w połączeniu z podtorzem i obiektem mostowym [22], które powinny zostać zdefiniowane tak, aby zastosowanie elementów sprężystych odbywało się na zasadach racjonalnych oraz w warunkach czystej konkurencyjności polskiego rynku dostarczającego materiały dla sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Istotnym elementem jest także przyjęcie jednolitej metodologii prognozowania ich efektywności – np. przez analogię do [5], badania ich efektywności poprzez pomiary przytorowe – np. przez analogię do [7,8].

Szczegółowe wymagania odnośnie wykonywania takich prognoz w powiązaniu z pracą toru powinny być integralną częścią przepisów PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Bibliografia

- [1] DBS 918 071-01: Unterschottermatten zur Minderung der Schotterbeanspruchung, 2006.
- [2] DB Netze Richtlinie 820: Grundlagen des Oberbaues, 2013.
- [3] DB Netze Technische Mitteilung 2010.
- [4] DB Richtlinie 836.4106: Übergänge zwischen Erd- und Kunstbauwerken, 2014.
- [5] DIN V 45673-4 "Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Scheinfahrwegen – Teil 4", 2008.
- [6] DIN 45673-5 „Mechanical vibration – resilient elements used in railway tracks, Part 5: laboratory test procedures for under-ballast mats”, 2010.
- [7] DIN 45672-1 Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 1 Messverfahren, 2009.
- [8] DIN 45672-1 Schwingungsmessung in der Umgebung von Schienenverkehrswegen – Teil 2 Auswertverfahren, 1995.

- [9] EN 16730 Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers with under sleeper pads, June 2016.
- [10] Karta UIC 719-1R „Recommendations for the use of Under Ballast Mats”, 2011.
- [11] UIC Project Under Sleeper Pads –Summarizing Report, March 2009.
- [12] **ÖBB Richtlinie B50-1**, 2010.
- [13] Prawo Budowlane (1994), Dz. U. 243, 2010.
- [14] Standardy Techniczne PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2009.
- [15] TSI – Technical Specifications for the Interoperability of Railways – “Infrastructure subsystem” , (1299),2014.
- [16] Rozporządzenie MTiGM (1998, Dz. U. 151) wraz z nowelizacją 5.06.2014 (Dz. U. 867).
- [17] “Rozporządzenie ...” MTiGM, Dz. U. 33, 1996.
- [18] Id-1 „Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych” PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. 2010.
- [19] Id-2 „Warunki techniczne dla kolejowych obiektów inżynierskich” PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. 2005.
- [20] Id-3 „Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego ”PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. 2008.
- [21] Id-4 „Warunki techniczne utrzymania rozjazdów” PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. 2005.
- [22] Sołkowski J., Efektywność wibroizolacji nawierzchni kolejowej w ujęciu analitycznym, Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym, Zakopane 2-4 grudnia 2015, Zeszyty SITK, nr 3 (107), 2015
- [23] DIN 45673-6:2010 „Mechanical vibration – resilient elements used in railway tracks,. Part 6: laboratory test procedures for under sleeper pads”, 2010

