

NOWE WYMAGANIA DLA PODSYPKI KOLEJOWEJ

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Porównanie norm PN-B-11114:1996 oraz PN-EN 13450:2004
3. Założenia do warunków technicznych
4. Określenie sprawdzanych właściwości i wymagań technicznych
5. Warunki stosowania podsypki
6. Podsumowanie

STRESZCZENIE

W artykule porównano normy dotyczące podsypki kolejowej: dotychczas obowiązującą normę PN-B-11114:1996 z nową normą PN-EN 13450:2004. Scharakteryzowano tymczasowe warunki techniczne dla podsypki tłuczniowej naturalnej i otrzymanej z recyklingu, uwzględniające wymagania nowej normy. Podano aktualne akty normatywne, dotyczące podsypki.

1. WSTĘP

W 2002 r. Europejski Komitet Normalizacyjny CEN ustanowił normę EN 13450:2002 *Aggregates for railway ballast*. Podstawą do ustaleń zawartych w tej normie były między innymi wyniki prac Komitetu D182 ORE pt. *Ujednolicone kryteria jakości podsypki oraz metody oceny jej stanu w torze* [34].

W 2004 r. Komitet Techniczny nr 108 ds. Kruszywy i Kamienia Budowlanego PKN ustanowił polską normę PN-EN 13450:2004 [32] i unieważnił dotychczas obowiązującą normę PN-B-11114:1996 [15].

W niniejszym opracowaniu porównano obie normy i scharakteryzowano tymczasowe warunki techniczne dla podsypki tłuczniowej naturalnej i otrzymanej z recyklingu, uwzględniające wymagania PN-EN 13450:2004 [43].

2. PORÓWNANIE NORM PN-B-11114:1996 ORAZ PN-EN 13450:2004

2.1. Przedmiot i zakres

Przedmiotem unieważnionej polskiej normy PN-B-11114:1996 były: ocena jakości surowca skalnego oraz wymagania techniczne dla kruszyw łamanych, stosowanych w nawierzchni kolejowej.

Zakres normy obejmował: kruszywa łamane ze skał magmowych, skał przeobrażonych (z wyjątkiem wapieni krystalicznych i łupków) oraz ze skał osadowych o lepszemu krzemionkowym, w tym również kliniec, wykorzystywany do podbudów i wypełnień na stacjach. Parametry tych materiałów były określane metodami podanymi w normie, a następnie sprawdzano, czy wartości parametrów mieszczą się w odpowiednich granicach. Ocenie podlegała zarówno jakość surowca skalnego (klasy kruszywa), jak i jego przetworzenie (gatunki kruszywa).

Przedmiotem nowej normy PN-EN 13450:2004 są metody oceny właściwości gotowych kruszyw i zgodności tej oceny z normą. Zakres normy ogranicza się do tłucznia, który jednak może być wytwarzany z materiałów naturalnych i sztucznych pochodzenia mineralnego oraz otrzymywany przez uzdatnianie materiałów już wykorzystywanych (z recyklingu).

Podobnie jak większość norm europejskich, nowa norma nie zawiera żadnych wymagań technicznych, określających przydatność wyrobów do konkretnych zastosowań. Nie podaje też wymagań dla surowca. Ujednolica jedynie metody badań gotowego wyrobu, przy czym metody te przedstawia najczęściej warunkowo lub wariantowo. Znajduje to wyraz w następujących stwierdzeniach:

- badanie i deklarowanie wszystkich właściwości podsypki należy ograniczyć odpowiednio do charakteru końcowego zastosowania lub pochodzenia kruszywa,
- wymagania odnoszące się do pewnych właściwości nie mają zastosowania w krajach członkowskich Unii, w których nie ma unormowanych wymagań technicznych, dotyczących tych właściwości w określonych zastosowaniach wyrobu,
- wymagane bezpieczeństwo, od którego zależy system oceny zgodności wyrobu, powinno być ustalone przez państwa członkowskie w ich prawodawstwie, przepisach i administracyjnych postanowieniach,
- wskazówki dotyczące doboru kategorii, odpowiednich dla poszczególnych zastosowań kruszywa, można znaleźć w krajowych wymaganiach technicznych, odnoszących się do konkretnych miejsc użycia podsypki kolejowej.

2.2. Wymagania dotyczące kształtu kruszywa

Wymiar kruszywa oraz jego uziarnienie

Norma PN-B-11114:1996 zawiera dwa gatunki tłucznia 31,5/50 mm, natomiast w normie PN-EN 13450:2004 są 3 kategorie uziarnienia tłucznia 31,5/50 oraz 3 kategorie uziarnienia tłucznia 31,5/63.

Zawartość cząstek drobnych

Norma PN-B-11114:1996 ogranicza zawartość cząstek mniejszych od 2,0 mm, natomiast norma PN-EN 13450:2004 wyróżnia dwie kategorie zawartości cząstek mniejszych od 0,5 mm.

Zawartość pyłów

Norma PN-B-11114:1996 uwzględnia jeden gatunek kruszywa o kontrolowanej zawartości pyłów, tj. cząstek mniejszych od 0,063 mm; natomiast w normie PN-EN 13450:2004 są trzy kategorie zawartości pyłów.

Kształt ziarna

W normie PN-B-11114:1996 dopuszczalna zawartość ziaren nieforemnych zależy od gatunku materiału, natomiast norma PN-EN 13450:2004 zawiera trzy kategorie wskaźnika płaskości, według EN 933-3, oraz 4 kategorie wskaźnika kształtu – według EN 933-4. Parametrem porównawczym (odniesienia) jest wskaźnik płaskości.

Zawartość ziaren długich

W wycofanej normie zawartość ziaren dłuższych od 100 mm była związana z gatunkiem materiału, natomiast norma PN-EN 13450:2004 wyróżnia cztery kategorie zawartości takich ziaren.

2.3. Wymagania fizyczne

Rodzaj surowca skalnego i wytrzymałość na ściskanie

W wycofanej polskiej normie był określony rodzaj surowca skalnego i jego wymagana wytrzymałość na ściskanie; natomiast w normie PN-EN 13450:2004 podano, że jest celowa ocena jakości surowca skalnego, jednak bez określania jego wytrzymałości.

Odporność na rozdrabianie

W wycofanej normie nie była określona odporność kruszywa na rozdrabianie.

W normie PN-EN 13450:2004 za badanie podstawowe uznano badanie metodą *Los Angeles*, według normy EN 1097-2:1998 w zmodyfikowanych warunkach (6 kategorii właściwości). Zastępcze badanie może polegać na rozbijaniu kruszywa w cylindrze (zgodnie z normą EN 1097-2:1998, AIV – *Aggregate Impact Value*), jednak w zmodyfikowanych warunkach (5 kategorii).

Odporność na ścieranie

Zgodnie z dotychczas obowiązującą normą ścieralność kruszywa określano, przyjmując średni wynik z badań metodą *Devala* na sucho i na mokro.

Według normy PN-EN 13450:2004 miarą ścieralności może być współczynnik *mikro-Devala*, określany zgodnie z normą EN 1097-1, z odpowiednim dostosowaniem warunków badań. Norma zawiera sześć kategorii ścieralności.

Trwałość – odporność na zamrażanie i odmrażanie

Zasady oceny odporności na zamrażanie i odmrażanie kruszywa według norm PN-B-11114:1996 oraz PN-EN 13450:2004 są podobne, jednak nieco różnią się warunki wykonywania poszczególnych badań.

Ocena według normy PN-EN 13450:2004 może polegać na:

- zamrażaniu i odmrażaniu – według normy EN 1367-1:1999,
- badaniu w siarczanie magnezu – według normy EN 1367-2:10098,
- określaniu absorpcji wody – według normy EN 1097-6:2000,
- stwierdzeniu (według normy EN 932-3:1996) obecności cząstek o dużej absorpcji wody, podatnych na uszkodzenia podczas zamrażania i rozmrażania.

Trwałość – gęstość ziarna

Norma PN-B-11114:1996 nie zawierała określania gęstości ziarna, natomiast według normy europejskiej parametr ten można określać zgodnie z normą EN 1097-6:2000.

Trwałość – zgorzel słoneczna

W normie PN-B-11114:1996 nie przewidywano badań rozpadu bazaltu oraz skał spokrewnionych z bazaltem wskutek zgorzeli słonecznej; natomiast według normy PN-EN 13450:2004 badania ilościowe wykonuje się zgodnie z normą EN 1367-3:2001.

2.4. Pobieranie próbek podsypki

Norma PN-B-11114:1996 dopuszcza pobieranie próbek podsypki tylko u producenta. W normie PN-EN 13450:2004 są podane również sposoby pobierania próbek: na miejscu robót – z wagonu kolejowego, z toru – z okienek pomiędzy podkładami, a także z toru z użyciem specjalnej ramki.

2.5. Ocena zgodności i procedury atestacji zgodności kruszyw

Ocena zgodności wyrobu z normą PN-B-11114:1996 obejmowała:

- wykonywanie badań niepełnych dla każdej partii kruszywa,
- wykonywanie co najmniej raz w roku badań pełnych,
- dołączanie przez producenta do każdej ilości kruszywa deklaracji o zgodności.

Ocena zgodności wyrobu z wymaganiami normy PN-EN 13450:2004 obejmuje:

- wstępne badania typu,
- zakładową kontrolę produkcji (forma kontroli konkretnego kruszywa zależy od jego przewidywanego zastosowania i krajowych przepisów związanych z tym zastosowaniem),
- atestację zgodności kruszyw (system atestacji 2+ w zastosowaniach wymagających wysokiego poziomu bezpieczeństwa, gdy w certyfikacji zakładowego systemu kontroli produkcji jest wymagany udział trzeciej strony albo system atestacji 4 dla zastosowań niewymagających wysokiego poziomu bezpieczeństwa),
- przygotowanie deklaracji zgodności WE, uprawniającej producenta do umieszczenia oznaczenia CE.

2.6. Wnioski wynikające z porównania norm

1. Norma europejska PN-EN 13450:2004 dotyczy tylko tłuczni na podsypkę kolejową (nie obejmuje kłińca). Tłuczeń może być naturalny, sztuczny (np. termicznie modyfikowany) lub odzyskany (z recyklingu).
2. Metody badań kruszyw według normy PN-EN 13450:2004 różnią się od metod dotychczasowych i są podane wariantowo, tzn. do wyboru, przy czym cechą charakterystyczną jest uniezależnienie od siebie kategorii poszczególnych właściwości.
3. Norma PN-EN 13450:2004 nie zawiera żadnych wymagań dla podsypki stosowanej w poszczególnych torach (przywoływanie normy PN-EN 13450:2004, np. „podsypka

zgodna z PN-EN 13450:2004”, ma więc sens tylko wówczas, gdy kolej ma opracowane własne wymagania, zgodne z tą normą).

3. ZAŁOŻENIA DO WARUNKÓW TECHNICZNYCH

Przyjęto, że wymagania techniczne dla podsypki stosowanej na liniach zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. powinny [46]:

- a) spełniać wymagania normy PN-EN 13450:2004 w zakresie metod badań, kategorii poszczególnych właściwości i oceny zgodności,
- b) jak najmniej różnić się od wymagań obowiązujących dotychczas (tzn. uwzględniać podział na klasy i gatunki, ułatwiający określanie przydatności materiału),
- c) uwzględniać tłuczeń otrzymany z recyklingu (wymagania dla takiego tłucznia nie powinny zasadniczo różnić się od wymagań dla podsypki naturalnej),
- d) obejmować większą niż zawartą w normie PN-B-11114:1996 liczbę gatunków materiału,
- e) uwzględniać doświadczenia kolei europejskich.

Po przeanalizowaniu właściwości materiałów stosowanych przez koleje europejskie Komitet D182 ERRI zalecił następujące minimalne wymagania dla tłucznia klasy 1, przeznaczonego dla linii, na których odbywa się jazda z prędkościami większymi od 160 km/h i z naciskami osi taboru powyżej 225 kN [34]:

1. Uziarnienie:
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 63 mm – 100%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 31,5 mm – ≤ 20%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 22,4 mm – ≤ 3% (u producenta),
– ≤ 5% (w torze),
 - masa ziaren zatrzymywanych na sicie o wymiarach oczek 50 mm – ≤ 30%,
 - masa ziaren niekształtnych – ≤ 30%,
 - masa ziaren o długości większej niż 100 mm – ≤ 5%,
 - masa ziaren mniejszych od 0,5 mm – ≤ 1,0%.
2. Zawartość pyłów (cząstek mniejszych od 0,063 mm) w kruszywie specjalnym, stosowanym na przykład w tunelach – ≤ 0,3 – 0,5%.
3. Nasiąkliwość – ≤ 0,5%.
4. Mrozoodporność (zmniejszenie masy); proponuje się ocenę w trzech etapach różnymi metodami – ≤ 1,0%.
5. Rozkruszalność (ubytek masy w badaniu metodą *Los Angeles*) – ≤ 12 – 15%.
6. Zawartość zanieczyszczeń:
 - szkodliwych dla zdrowia lub środowiska (np. azbest) – brak,
 - innych (np. metale, plastik, zanieczyszczenia organiczne) – ≤ 0,1 – 0,2%.

W 2005 r. koleje BR wprowadziły przepisy zawierające wymagania techniczne dla podsypki, w których uwzględniono pięć parametrów z normy europejskiej [48]:

1. Uziarnienie (kategorii A):
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 63 mm – 100%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 50 mm – 70 – 100%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 40 mm – 30 – 65%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 31,5 mm – 0 – 25%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 22,4 mm – 0 – 3%,
 - zawartość ziaren o wymiarach 32 – 50 mm – $\geq 50\%$.
2. Rozkruszalność (ubytek masy w badaniu metodą *Los Angeles*) – $\leq 20\%$.
3. Ścieralność (ubytek masy w badaniu metodą *mikro-Devala*) – $\leq 7\%$.
4. Masa ziaren niekształtnych (wskaźnik płaskości FI) – $\leq 35\%$.
5. Masa ziaren o długości większej niż 100 mm – $\leq 4\%$.

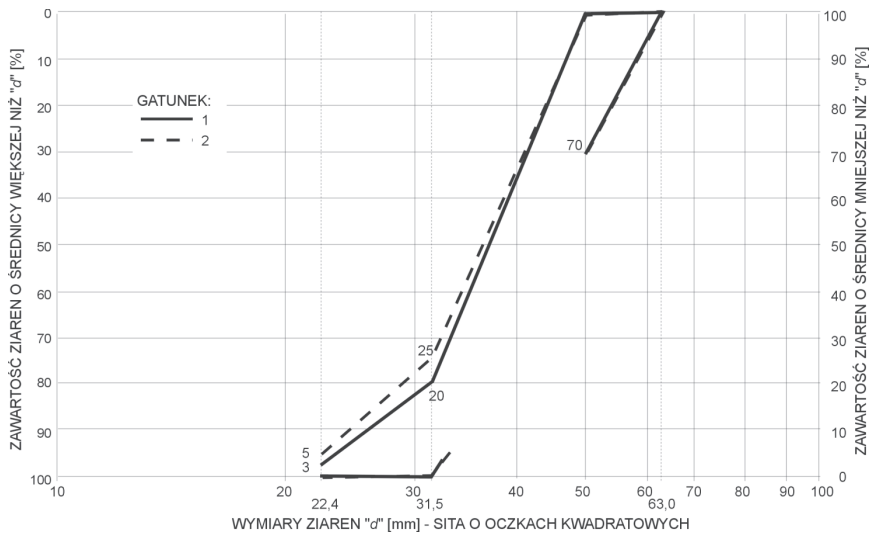
Koleje DB AG wprowadziły następujące wymagania techniczne z normy europejskiej [4]:

1. Uziarnienie (kategorii D):
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 63 mm – 97 – 100%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 50 mm – 65 – 100%,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 22,4 mm – $\leq 3\%$ ($\leq 5\%$ w torze),
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 0,5 mm – $\leq 1\%$,
 - masa ziaren przechodzących przez sito o wymiarach oczek 0,063 mm – $\leq 1\%$ ($\leq 0,5\%$, w tunelach)
2. Rozkruszalność
 - ubytek masy w badaniu metodą *Los Angeles* ≤ 14 (dla $v > 230$ km/h ≤ 12)
lub/oraz (odpowiednio dla $v \leq 230$ km/h i $v > 230$ km/h)
 - ubytek masy w badaniu udarowym – $SZ_{RB} 18$ (dla $v > 230$ km/h – $SZ_{RB} 14$).
3. Masa ziaren niekształtnych (wskaźnik płaskości FI_i dla frakcji 31,5/40 mm i 40/50 mm) – $\leq 35\%$.
4. Masa ziaren o długości większej niż 100 mm – $\leq 6\%$.
5. Odporność na działanie czynników atmosferycznych:
 - nasiąkliwość – $\leq 0,5\%$,
 - ubytek masy ziaren $< 22,5$ mm po badaniu w siarczanie magnezu $MgSO_4$ – $\leq 3\%$.
6. Odporność na zgorzel słoneczną (różnica ubytku masy w badaniu udarowym SZ_{RB} przed i po gotowaniu kruszywa) – $\leq 5\%$.

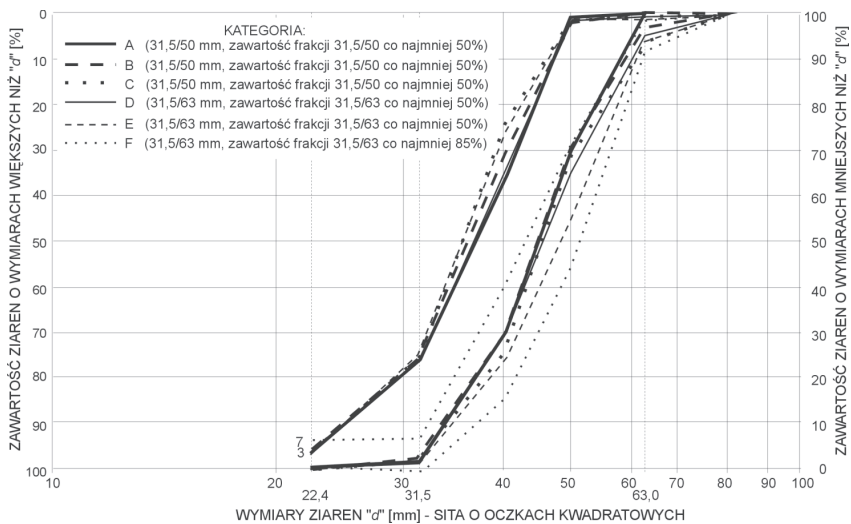
4. OKREŚLENIE SPRAWDZANYCH WŁAŚCIWOŚCI I WYMAGAŃ TECHNICZNYCH

4.1. Wymiar i uziarnienie

Uziarnienie podsypki według normy PN-B-11114:1996, opracowanej na podstawie zaleceń Komitetu D182 ERRI, pokazano na rysunku 1, natomiast uziarnienie według PN-EN 13450:2004 – na rysunku 2 i w tabelcy 1.



Rys. 1. Uziarnienie podsypki według normy PN-B-11114:1996



Rys. 2. Kategoria uziarnienia podsypki według normy PN-EN 13450:2004

**Orientacyjne parametry uziarnienia podsypki poszczególnych kategorii
według PN-EN 13450:2004**

Parametry uziarnienia	Podsypka 31,5/50			Podsypka 31,5/63		
	A	B	C	D	E	F
Zawartość ziaren o wymiarach $d > 63$ mm [%]	0	3	5	3	5	7
d_{10} [mm]	29,5	29,5	29,5	29,5	30,0	36,0
d_{30} [mm]	37,0	37,0	37,5	37,0	37,0	40,0
d_{60} [mm]	43,5	43,0	42,0	43,0	43,0	50,0
U	1,47	1,45	1,42	1,43	1,42	1,38
C	1,07	1,10	1,13	1,08	1,06	0,89

Objaśnienia:

d_x – wymiar cząstek lub ziaren, których wraz z mniejszymi jest x% masy; na przykład $d_{60} = 3$ mm oznacza, że 60% masy stanowią ziarna i cząstki o wymiarze równym lub mniejszym niż 3 mm (wymiar d_x odczytuje się z krzywej uziarnienia),

U – wskaźnik różnoziarnistości; miara nachylenia krzywej uziarnienia, określająca możliwość zagęszczenia materiału i jego odporność na drgania:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

C – wskaźnik wygięcia krzywej uziarnienia; miara wygięcia krzywej uziarnienia, określająca możliwość zagęszczenia materiału i jego odporność na drgania:

$$C = \frac{(d_{30})^2}{d_{10}d_{60}}$$

Z porównania rysunków 1 i 2 wynika, że kruszywa kategorii A, B i C – według normy PN-EN 13450:2004 – mają uziarnienie najbardziej zbliżone do stosowanego obecnie na PKP, przy czym norma PN-EN 13450:2004 określa je bardziej precyzyjnie niż norma PN-B-11114:1996.

Natomiast z tablicy 1 wynika, że wskaźniki różnoziarnistości U podsypki, które wpływają na stabilność materiału, w kategoriach A, B i C oraz D, E i F stopniowo zmniejszają się i są nieco większe dla kategorii A, B i C, przy czym w materiałach kategorii B, C, D, E i F, zgodnie z normą PN-EN 13450:2004, dopuszcza się ziarna o wymiarach większych od 63 mm, co może uniemożliwić dokładne regulowanie położenia toru.

Z tych powodów za najlepsze uziarnienie uznano uziarnienie kategorii A. Uziarnienie takie niewiele różni się od dotychczas obowiązującego na PKP i jest najczęściej stosowane na kolejach europejskich.

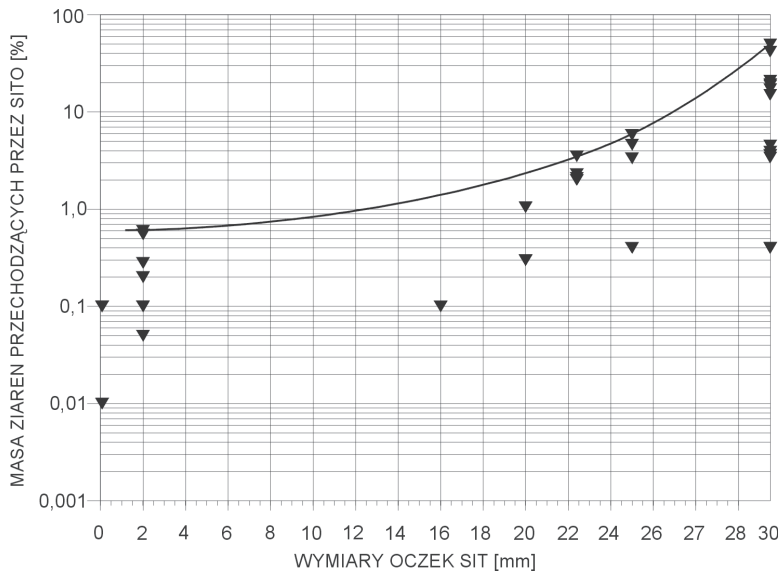
4.2. Zawartość ziaren drobnych i pyłów

Komitet Techniczny D182 ERRI uznał, że:

- w typowych zastosowaniach zawartość ziaren o wymiarach mniejszych od 0,5 mm nie powinna przekraczać 1,0% (alternatywnym rozwiązaniem była zawartość ziaren mniejszych od 2 mm),
- w szczególnych przypadkach, np. z powodu pylenia się w tunelach, może być wprowadzone dodatkowe wymaganie, polegające na ograniczeniu zawartości cząstek mniejszych od 0,063 mm do 0,3 lub 0,5%.

Zalecenia te były już uwzględnione w nieważnionej polskiej normie PN-B-11114:1996, a wieloletnie doświadczenia PKP wykazały, że dostarczane materiały są odpowiednie (rys. 3).

Dlatego też w opracowywanych warunkach technicznych za podstawowy parametr uznano zawartość ziaren mniejszych od 0,5 mm.



Rys. 3. Zawartość drobnego ziarna w nowym tłuczniu
(wykres opracowano na podstawie opinii o kruszywie wydanych przez CNTK)

4.3. Odporność podsypki na kruszenie i ścieranie

Znane są dwie grupy metod określania zużycia podsypki.

Większość zarządów kolei europejskich uważa, że podsypka powinna być odporna na rozdrabianie, które jest określane *metodą bębna kulowego Los Angeles*. Wyniki tych badań dobrze korelują z wytrzymałością surowca skalnego i kruszeniem się podsypki w trakcie prac utrzymaniowych. Również Komitet Techniczny ERRI D182 uznał za podstawowe badanie podsypki zmodyfikowaną metodą *Los Angeles* [34]. Metoda ta jest stosowana przez większość kolei europejskich, koleje amerykańskie oraz w polskim drogownictwie. Z wymagań technicznych europejskich zarządów kolejowych wynika, że tłuczeń dla linii szybkiego ruchu powinien charakteryzować się, zarówno w badaniach metodą *Los Angeles*, jak i w badaniach odporności na uderzenie (*Impact Resistance*) zużyciem równym 12 – 15%; parametrowi temu odpowiada orientacyjna ścieralność kruszywa otrzymana w badaniach metodą *Devala* „na mokro”, nie przekraczająca 3,5% – 4,0%. Natomiast największe zużycie „dobrej podsypki” w badaniach metodą *Los Angeles* nie powinno przekraczać 20.

Podczas eksploatacji podsypki występuje także ścieranie, określane najczęściej metodą *Devala* (na sucho lub na mokro). Na kolejach SNCF stosuje się w tym celu metodę określania ścieralności na mokro *mikro-Devala*. Metoda ta została opracowana we Francji i wprowadzona ostatnio w normach europejskich. W Kanadzie metoda ta została zmodyfikowana przez Ministerstwo Transportu, a następnie adaptowana w amerykańskich normach ASTM. Uważa się, że metoda ta dobrze odzwierciedla zużycie kruszywa w zmiennych warunkach atmosferycznych, podczas gdy metoda *Los Angeles* charakteryzuje jedynie odporność suchego kruszywa na rozdrabianie. Koleje SNCF stwierdziły na przykład dużą zgodność wyników z badań metodą *Devala* z wynikami badań modelowych na opisanym dalej stanowisku *Vibrogrir*. Natomiast na kolejach amerykańskich niekiedy stosuje się tzw. *mill test*, badanie podobne do badania metodą *Devala*.

Wiele innych doświadczeń wskazuje jednak na to, że sama metoda *Devala* lub *mikro-Devala* nie zapewnia wiarygodnej oceny trwałości kruszywa w eksploatacji. Przykładowo, w badaniach porównawczych, przeprowadzonych przez ERRI i koleje BR metodą *Devala* na mokro, ścieralność kruszyw wapiennych wyniosła tylko około 6%, podczas gdy ścieralność kruszyw z twardych skał wylewnych, takich jak granit, była 2 – 3 razy większa. Dlatego ścieralność kruszywa często określa się jako średnią z badań wykonywanych na sucho i na mokro. Jednak nawet takie postępowanie nie zapewnia prawidłowej oceny jakości materiału, gdyż z badań eksploatacyjnych wynika, że utrzymanie toru – w przypadku podsypki granitowej – powoduje powstawanie zanieczyszczeń stosunkowo grubych, a nie pyłów [48].

Także z licznych badań porównawczych przeprowadzonych w drogownictwie wynika, że oceny jakości kruszywa z wykorzystaniem tylko metody *mikro-Devala* są dyskusyjne, gdyż [5]:

- występuje duże zróżnicowanie ocen „dobrych kruszyw” z poszczególnych złóż oraz brak związku z ocenami przeprowadzonymi z wykorzystaniem dotychczasowych metod,
- stosowanie metody *mikro-Devala* wymaga uwzględnienia wielu innych parametrów (m.in. pochodzenia kruszywa, rodzaju skały, jej wytrzymałości),
- nie ma dostatecznie silnej korelacji pomiędzy zużyciem kruszywa badanego metodami *mikro-Devala* i *Los Angeles*.

Z tych względów badania metodą *mikro-Devala* są wykonywane w drogownictwie przez producentów najczęściej tylko w celu lepszego scharakteryzowania materiału.

Istotnym problemem jest więc brak zależności pomiędzy zużywaniem się podsypki wskutek kruszenia się i ścierania (rys. 4). Dlatego niektóre zarządy kolei uważają, że wiarygodna ocena jakości podsypki dla linii szybkiego ruchu oraz linii znacznie obciążonych wymaga określenia

- a) 1,7 kg – wskutek nanoszenia zanieczyszczeń przez wiatr,
- b) 0,0 – 7,6 kg – wskutek usypów z wagonów,
- c) 0,16 kg – wskutek eksploatacji.

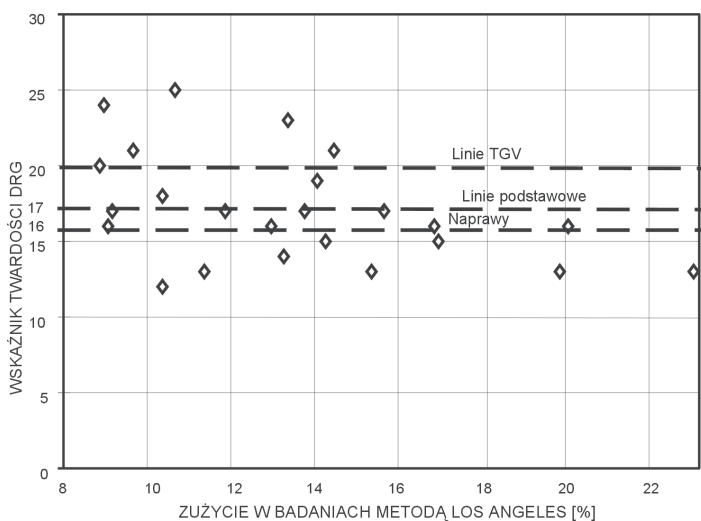
Każde podbicie podkładów powoduje zwiększenie masy ziaren mniejszych od 14 mm o 3,5 kg na podkład oraz wytworzenie nowych punktów styków ziaren podsypki. Przyczynia się to do zwiększenia naprężeń na stykach przemieszczonych ziaren i dalszego ich niszczenia (z tego powodu pierwsze podbicie pokładów znacznie zmniejsza wytrzymałość podsypki na ścinanie, niekiedy nawet o 50%).

Jeśli więc przyjmie się, że nie ma zanieczyszczeń podsypki spoza toru, a przeciętna liczba podbić podkładów jest równa $0,0844 \text{ Tg}^{-1}$, tj. 1,43 podbicia/rok (dane z Centralnej Magistrali Kolejowej), to okaże się, że:

- 96,9% zanieczyszczeń jest wynikiem kruszenia się podsypki w trakcie prac utrzymaniowych (podbijania podkładów, regulacji położenia toru),
- tylko 3,1% zanieczyszczeń powstaje wskutek niszczenia podsypki (kruszenia się i ścierania) w czasie eksploatacji.

W przypadku materiałów o „dobrej jakości” wpływ ścierania się ziaren na ich ogólne zanieczyszczenie jest więc znikomy. Równie mały jest wpływ ścierania na wodoprzepuszczalność podsypki. Wykazano bowiem, że nawet przy bardzo dużej zawartości ziaren mniejszych od 4,75 i 0,075 mm, wskaźnik wodoprzepuszczalności podsypki wynosi 2,5 – 5,0 m/s. Odływ wód z podsypki mógłby być więc utrudniony tylko w przypadku zanieczyszczenia jej gliniastymi gruntami z podtorza. Biorąc to pod uwagę, w nowych warunkach technicznych przyjęto zalecane przez Komitet Techniczny ERRI D182 badanie odporności na kruszenie zmodyfikowaną metodą *Los Angeles*.

Dopuszczalne wartości współczynnika *Los Angeles LA* przyjęto, uwzględniając propozycje Komitetu Technicznego ERRI D182 oraz orientacyjną zależność zużycia podsypki w badaniach metodą *Los Angeles* i badaniach modelowych na stanowisku *Vibrogir*, wykorzystywanym m.in. w badaniach podsypki przeznaczonej na linii TGV (rys. 6). Podsypka na tym stanowisku jest obciążana poprzez jeden podkład blokowy siłą statyczną 45 kN oraz sinusoidalnie zmienną $\pm 45 \text{ kN}$ o częstotliwości 50 Hz. Badanie trwa 50 h, co odpowiada obciążeniu toru równemu



Rys. 6. Orientacyjne zużycie podsypki w badaniach metodą *Los Angeles* i badaniach modelowych na *Vibrogirze*

180 Tg. Wynikiem badań jest tzw. wskaźnik twardości materiału DRG, zależny od końcowego zanieczyszczenia podsypki ziarnami mniejszymi od 1,6 mm. Wartość tego wskaźnika wynosi ok. 12 dla tłucznia wapiennego i ok. 25 – dla podsypki ze skał twardych.

W warunkach technicznych uwzględniono także możliwości uzyskania materiałów z polskich złóż; z doświadczeń *Instytutu Badawczego Dróg i Mostów* wynika, że:

- 1) przeciętne zużycie w badaniach metodą *Los Angeles*, według dotychczas obowiązujących polskich norm, wynosi 25%, co odpowiada zużyciu według norm europejskich 15 – 20% (różnica ta wynika ze stosowania w Polsce sita o wymiarze oczek 2,0 mm, a nie 1,6 mm);
- 2) niektóre kruszywa bazaltowe wykazują w badaniach metodą *Los Angeles* niewielkie zużycie, równe około 10%, co odpowiada (według norm europejskich) zużyciu wynoszącemu około 7%;
- 3) niektóre granity wykazują w badaniach metodą *Los Angeles* zużycie nawet 40%, co odpowiada (według norm europejskich) zużyciu około 30%.

Należy tu wspomnieć, że badanie klasyczną metodą *Los Angeles* było już wymaganiem normy BN-74/6774-02 [2]. Dopuszczalne zużycie tłucznia poszczególnych klas wynosiło wówczas 25, 35 i 50% (po 1/5 liczbie obrotów bębna odpowiednio: 25, 30 i 35% ubytku całkowitego). Ostatecznie, w opracowywanych warunkach technicznych przyjęto graniczne zużycia podsypki poszczególnych klas w badaniu zmodyfikowaną metodą *Los Angeles* równe 16, 24 i 32%.

Jednocześnie w nowych warunkach technicznych:

- zaostrożono wymagania dotyczące rodzaju surowca skalnego według normy PN-B-11114:1996,
- usunięto wymaganie dotyczące wytrzymałości na ściskanie surowca skalnego według normy PN-B-11114:1996 i pominięto badanie gęstości ziarna według normy PN-EN 13450:2004 (uznano, że właściwą jakość podsypki zagwarantuje odpowiedni rodzaj surowca skalnego oraz badanie odporności na rozdrabianie metodą *Los Angeles*),
- zalecono dodatkowe badanie ścieralności metodą *mikro-Devala* dla materiałów przewidzianych do stosowania na liniach przeznaczonych do prędkości pociągów $v > 160$ km/h.

4.4. Kształt ziaren

Ograniczenie zawartości w podsypce ziaren płaskich wynika z kruszenia się takich ziaren. Zawartość ziaren płaskich określa się jednym z dwóch parametrów:

- wskaźnikiem kształtu (według normy PN-EN 933-4:2001),
- wskaźnikiem płaskości (według normy PN-EN 933-3:2001).

Pierwszy z nich określa zawartość ziaren o stosunku wymiarów większym niż 3:1. Oznaczanie tego wskaźnika jest prostsze niż wskaźnika płaskości, jednak musi być wykonywane ręcznie (np. z użyciem elektronicznych suwmiarek). Stosują go koleje NS, DB, SNCB, SBB, PKP.

Drugi wskaźnik określa zawartość ziaren o stosunku wymiarów 1,6:1 do 2,0:1. Wyznaczanie tego wskaźnika jest szybsze i może być zmechanizowane. Ponadto ten parametr jest często częścią analizy granulometrycznej. Stosują go, między innymi, koleje SNCF i BR.

Badania przeprowadzone przez koleje SNCF i BR wykazały, że dla frakcji 25/31,5, 31,5/40 i 40/50 mm pomiędzy omawianymi wskaźnikami istnieje korelacja:

$$Sl = 1,40 + 1,28 Fl, \quad (r = 0,81),$$

natomiast dla wszystkich frakcji:

$$Sl = 0,18 + 1,31 Fl, \quad (r = 0,94),$$

gdzie:

Sl – wskaźnik kształtu,

Fl – wskaźnik płaskości.

Komitet Techniczny ERR1 D182 uznał przydatność obu wskaźników, ale wskazał, że większe zalety ma pierwszy z nich. Natomiast w normie PN-EN 13450:2004 za referencyjny uznano wskaźnik płaskości Fl . Z tego względu w warunkach technicznych przyjęto wskaźnik płaskości Fl . Graniczne wartości wskaźnika przyjęto równe: 15, 20 i 35%.

4.5. Właściwości podsypki otrzymywanej z recyklingu

Polskie Koleje Państwowe, podobnie jak większość kolei, nie mają specjalnych uregulowań prawnych i technicznych, dotyczących powtórnego wykorzystania tłucznia z eksploatacyjnych torów; obowiązują tu ogólne wymagania dotyczące ochrony środowiska. W praktyce istniejący tłuczeń najczęściej jest oczyszczany, a jego warstwa uzupełniana do wymaganej grubości nowym materiałem.

W przypadku modernizacji nawierzchni i dobrej jakości istniejącego tłucznia jest on oczyszczany, usuwany z toru i powtórnie wykorzystywany na liniach mniejszego znaczenia. Materiał gorszej jakości jest niekiedy kruszony i dodawany do materiału warstwy ochronnej torowiska. Wykorzystuje się go również jako element podbudowy na drogach samochodowych oraz do budowy nasypów.

Inne wykorzystanie istniejącej podsypki jest często niemożliwe ze względu na złą jakość materiału skalnego, produkowanego według różnych norm, zbyt grube uziarnienie, zanieczyszczenie gruntem, olejami i związkami chemicznymi. Z tych powodów materiał ten przetwarzają obecnie tylko niektóre koleje.

Na kolejach francuskich oczyszczony tłuczeń ze skał twardych jest ponownie przekruszany i wykorzystywany na podrzędnych liniach.

Na kolejach niemieckich tłuczeń gorszej jakości najczęściej się rozdrabia i wykorzystuje jako kruszywo w budownictwie. W ostatnich latach powstają jednak firmy zajmujące się odzyskiem tłucznia dla potrzeb kolei DB AG, np. *Vereinigte Schotterwerke GmbH*. Recykling dokonywany przez tę firmę obejmuje:

- 1) odsianie mialu i kłińca, tj. frakcji 0/10 lub 0/20 mm (wymiar sita o większych oczkach zależy od zanieczyszczenia surowca, jego zawilgocenia i pogody);
- 2) wydzielenie podstawowej frakcji 10/70 lub 20/70 mm (odsianie nadziarna);
- 3) usunięcie stalowych elementów za pomocą elektromagnesów;
- 4) kruszenie ziaren podstawowej frakcji 10/70 lub 20/70 mm;
- 5) odsianie z przekruszonego materiału frakcji 0/10 i 10/25 lub 10/32 mm (odsiane materiały są wykorzystywane do budowy podtorza lub produkcji mieszanek stosowanych jako materiał warstw ochronnych torowisk, natomiast materiał pozostały na sitach 25 lub 32 mm – jako podsypka kolejowa 22,4/63 mm);
- 6) ewentualne płukanie tłucznia.

Dotychczasowe doświadczenia firmy wykazują, że ze starej podsypki uzyskuje się około: 50% tłucznia, 25% kłińca, 10% mialu oraz 15% odpadów.

Kontrola wewnętrzna u producenta obejmuje codzienne badania uziarnienia i czystości uzdatnionego tłucznia oraz badania kształtu ziaren (zazwyczaj dla partii o masie 1000 t). Kontrola zewnętrzna jest przeprowadzana co kwartał przez akredytowane laboratorium. Uzdatniony tłuczeń wykorzystuje się bez ograniczeń na liniach z prędkościami pociągów do

120 km/h, natomiast na liniach z prędkościami do 160 km/h tylko w dolnych warstwach pryzmy. W 2003 r. koleje DB AG wprowadziły normę *Altschotterrichtlinie 880.4010*, określającą właściwości, zastosowania, metody pobierania próbek, badania i dokumentację tłucznia z recyklingu.

Koszt odzyskania tłucznia wynosi 42% kosztów zakupu nowego materiału. Dodatkowo, w wyniku recyklingu, uzyskuje się inne materiały.

Stanowisko do neutralizacji podsypki zawierającej szkodliwe substancje chemiczne mają koleje holenderskie.

W każdym przypadku powtórne wykorzystanie istniejącej podsypki wymaga szczegółowej oceny jej jakości i – w przypadku stwierdzenia możliwości wykorzystania – odpowiedniego jej przetworzenia. Ocena jakości jest konieczna ze względu na zróżnicowane właściwości podsypki w torach, wynikające ze stosowania dawnych norm [1, 2, 3] i wielokrotnego jej uzupełniania różnymi materiałami (rys. 7).



Rys. 7. Bardzo grubo tłuczeń z różnych skał (linia Warszawa – Lublin, odcinek Otwock – Piława)

Problemem, występującym przy ocenie starego tłucznia, jest również brak prostej metody określania stopnia jego zużycia, m.in. zaokrąglenia ziaren, powodującego zmniejszenie wytrzymałości pryzmy podsypki na ścinanie. Znane metody badań polegają bowiem na pomiarach oporów przepływu cieczy i są przydatne tylko w przypadku kruszyw o drobnych ziarnach. Należy tu jednak zauważyć, że krawędzie ziaren tłucznia ze skał twardych rzadko ścierają się, natomiast najczęściej wykuszają się.

W opracowanych warunkach technicznych przyjęto makroskopową metodę oceny zużycia ziaren, umożliwiającą ocenę łącznej zawartości ziaren obłych (startych w eksploatacji i niecałkowicie przekruszonych) oraz ziaren słabych i zwietrzałych.

Wykorzystanie starego tłucznia powinno być zgodne z europejskimi i polskimi aktami prawnymi, dotyczącymi odpadów i substancji niebezpiecznych, w tym z:

- Dyrektywą Rady 75/442/EEC w sprawie odpadów (zmienioną Dyrektywą Rady 91/156/EEC), określającą ramy prawne dla gospodarowania odpadami w Unii Europejskiej,
- Decyzją Komisji 94/3/EEC, w której umieszczono Europejski Katalog Odpadów i wskazano zasady postępowania,
- Dyrektywą Rady 91/689/EEC określającą działania, które muszą być podjęte wówczas, gdy mamy do czynienia z niebezpiecznymi odpadami (listę niebezpiecznych odpadów,

- zwaną Wykazem Odpadów Niebezpiecznych, zawiera Decyzja Rady 94/904/EEC),
- Dyrektywą Rady 67/548/EEC określającą klasyfikację, pakowanie i znakowanie substancji niebezpiecznych (ze zmianami i uzupełnieniami),
 - Dyrektywą Rady 76/769/EEC ograniczającą obrót i stosowanie substancji niebezpiecznych,
 - Dyrektywą 2004/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zaradzania szkodom wyrządzonym środowisku naturalnemu (dyrektywa zaleca stosowanie zasady „zanieczyszczający płaci”),
 - Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 lipca 2004 r. w sprawie ograniczeń, zakazów lub warunków produkcji, obrotu lub stosowania substancji niebezpiecznych i preparatów niebezpiecznych oraz zawierających je produktów (Dz. U. nr 168, poz. 1762).

W Polsce, zgodnie z Rozporządzeniem [36], posiadaczem odpadów jest każdy, kto faktycznie nimi włada, tzn. wytwórca odpadów, osoba fizyczna, osoba prawna lub jednostka organizacyjna. Zakłada się przy tym, że podmiot władający gruntem jest posiadaczem odpadów znajdujących się na jego nieruchomości. Od podmiotu takiego wymaga się m.in.:

- 1) uzyskania pozwolenia na wytwarzanie odpadów, decyzji zatwierdzającej program gospodarki odpadami albo przedłożenia informacji o wytwarzanych odpadach oraz o sposobach ich zagospodarowywania (od tej zasady są wyjątki);
- 2) prowadzenia bieżącej ewidencji odpadów (obowiązek ten nie dotyczy osób fizycznych i jednostek organizacyjnych niebędących przedsiębiorcami, które wykorzystują odpady na własne potrzeby).

Posiadacz odpadów może realizować obowiązki w zakresie gospodarowania odpadami samodzielnie albo zlecić ich wykonywanie innemu posiadaczowi odpadów. Każdy przedsiębiorca może przekazywać odpady będące w jego dyspozycji wyłącznie podmiotom, które mają zezwolenie na prowadzenie działalności w zakresie zbierania, transportu, odzysku lub unieszkodliwiania odpadów. Jeżeli odpad zostanie przekazany podmiotowi, który nie ma wymaganego zezwolenia, to:

- przekazujący ponosi nadal odpowiedzialność za przekazane odpady i za działania podmiotu, który przejął odpady,
- przekazujący jest traktowany jako podmiot korzystający ze środowiska i jest obowiązany do opłat za korzystanie ze środowiska, które przy działaniu zgodnym z przepisami nie są wymagane.

W opracowanych warunkach technicznych przyjęto, że tłuczeń otrzymywany z recyklingu może być wykorzystywany bez ograniczeń na liniach z prędkościami pociągów $v \leq 120$ km/h oraz w dolnych warstwach – na liniach z prędkościami $120 < v \leq 160$ km/h pod warunkiem:

- spełnienia wymagań stosowanych dla tłuczni nowego, z wyjątkiem wymagania dotyczącego jednorodności surowca skalnego, tj. pochodzenia kruszywa z jednego złoża oraz odporności na zgorzel słoneczną,
- spełnienia dodatkowych wymagań dotyczących zużycia ziaren materiału i jego zanieczyszczenia (właściwości te powinny być określane z uwzględnieniem dotychczasowego miejsca użytkowania podsypki).

Należy tu zauważyć, że określenie zagrożenia wynikającego z zanieczyszczenia podsypki nie jest najczęściej możliwe z powodu:

- dużej różnorodności możliwych zanieczyszczeń (oleje, węgiel, sole, herbicydy, siarka, stal, tworzywa itd.),
- braku precyzyjnych wymagań w aktach normatywnych, dotyczących odpadów i ochrony środowiska (istniejące wymagania określają zanieczyszczenie wypuszczanych wód i gazów, a nie zawartość substancji niebezpiecznych w odpadach).

Z drugiej strony, określanie zawartości zanieczyszczeń w podsypce istniejącej i podsypce otrzymanej z recyklingu nie jest konieczne, gdyż:

- niebezpieczne substancje występują niezwykle rzadko,
- najczęściej podsypka po recyklingu jest zanieczyszczona mniej niż surowiec użyty do jej wytworzenia, tzn. podsypka w torze,
- zastosowanie uzdatnionej podsypki nie zmienia się (znajdzie się ona ponownie w torach),
- po użyciu podsypki z recyklingu zawartość rozpuszczalnych zanieczyszczeń będzie stopniowo zmniejszała się wskutek działania wód opadowych.

Jednakże w przypadku odpadów uzyskanych z recyklingu powinny być stosowane szczególne środki ostrożności.

5. WARUNKI STOSOWANIA PODSYPKI

Dotychczas przydatność kruszyw poszczególnych rodzajów, klas i gatunków określały „Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1” [45] oraz „Wytoczne doboru kruszyw”, zawarte w piśmie Naczelnego Zarządu Utrzymania Kolei DG PKP nr KD4-517-08/1/96 J.W. z dnia 23 stycznia 1996 r. [47].

W opracowanych warunkach technicznych wprowadzono zmiany i uzupełnienia wynikające z wprowadzenia podsypki otrzymanej z recyklingu i zwiększenia liczby gatunków materiału (tabl. 2). Zalecono, by w przypadku braku materiału wskazanego w tablicy, stosować materiał lepszy (wyższej klasy lub gatunku).

Tablica 2

Zasady doboru podsypki

Kategorie linii według warunków technicznych Id-1 (D-1)	Podsypka według nowych warunków	
	Klasa	Gatunek
Magistralna (0) ^{1) 2) 3)}	I	1
Pierwszorzędna (1) ^{2) 3)}	I	1 lub 2
Drugorzędna (2)	II	1 lub 2
Znaczenia miejscowego (3)	II lub III	2 lub 3
Pozostałe tory (4) ⁴⁾	III	2 lub 3

¹⁾ Przy $v > 200$ km/h zaleca się uwzględnienie wymagania dotyczącego ścieralności określanej metodą *mikro-Devala*.

²⁾ Zawartość pyłów w podsypce stosowanej na liniach z prędkościami jazdy pociągów $v \geq 160$ km/h oraz w tunelach nie powinna przekraczać 0,3%.

³⁾ Podsypkę z recyklingu (R) dopuszcza się bez ograniczeń przy prędkościach $v \leq 120$ km/h, przy prędkościach $120 < v \leq 160$ km/h można ją stosować w najniższej warstwie pryzmy.

⁴⁾ Z wyjątkiem zautomatyzowanych stacji rozrządowych, na których należy stosować podsypkę naturalną (N) lub z recyklingu (R) klasy I lub II, gatunku 1 lub 2.

6. PODSUMOWANIE

1. Na podstawie wyników pracy [44] Biuro Dróg Kolejowych Centrali PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. wprowadziło do stosowania od 1 czerwca 2007 r. „Tymczasowe warunki techniczne wykonania i odbioru podsypki tłuczniowej naturalnej i z recyklingu stosowanej w nawierzchni kolejowej (ILK3b-5100/10/07)” [48]. Warunki te wprowadzono jako tymczasowe ze względu na duże zmiany wymagań, brak doświadczeń ze stosowania niektórych metod badań oraz przewidywaną weryfikację normy EN 13450:2002.
2. Najważniejsze zmiany ujęte w warunkach technicznych są następujące:
 - 1) wprowadzenie metod badań kruszyw zgodnych z normą PN-EN 13450:2004 (w tym zastąpienie metody *Devala* metodą *Los Angeles*, wprowadzenie badań ścieralności metodą *mikro-Devala*, zastąpienie wskaźnika kształtu ziaren wskaźnikiem płaskości, wprowadzenie oceny odporności kruszywa na zgorzel słoneczną);
 - 2) zaostrożenie wymagań dotyczących płaskości ziaren;
 - 3) wprowadzenie kategorii właściwości kruszyw zgodnych z normą PN-EN 13450:2004;
 - 4) wprowadzenie oceny zgodności wyrobów według normy PN-EN 13450:2004;
 - 5) zwiększenie liczby gatunków podsypki z dwóch do trzech;
 - 6) określenie wymagań dla podsypki otrzymanej z recyklingu;
 - 7) nowelizacja zasad stosowania podsypki podanych w dotychczas obowiązujących wytycznych doboru kruszyw [47].
3. Wdrożenie nowych warunków technicznych powinno polegać na:
 - wprowadzeniu w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. [40] zapisu „warunki techniczne dla podsypki i zasady jej stosowania określa zarząd kolei”,
 - wprowadzeniu w „Warunkach technicznych utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1)” [45] zapisu: „warunki techniczne w zakresie podsypki określają właściwe WTWiO przyjęte przez zarząd kolei”,
 - udostępnieniu warunków technicznych producentom i dostawcom podsypki kolejowej, jednostkom wykorzystującym podsypkę oraz jednostkom wydających certyfikaty zgodności.

BIBLIOGRAFIA

1. BN-66/6774-02 Kruszywo łamane do nawierzchni drogowych i kolejowych.
2. BN-74/6774-02 Kruszywo kamienne łamane do nawierzchni drogowych i kolejowych.
3. BN-84/6774-05: Kruszywo mineralne. Kruszywo do nawierzchni kolejowych.
4. BN 918061:2005 Gleisschotter.
5. *Cooley L. A., Huner M. S., James R. H.*: Micro-Deval testing of aggregates in the Southeast. Auburn University – NCAT Report 02-09, Alabama, Auburn 2002.
6. *Dahlberg T.*: Railway track settlements - a literature review. Report for the EU project SUPERTRACK. Division of Solid Mechanics, IKP. Linköping University. Linköping, Sweden 2003.
7. Decyzja Komisji 94/3/EEC z 20 grudnia 1994 r. uzupełniająca Dyrektywę 75/442/EEC o wykaz opadów.
8. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2004/35/CE z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zarażania szkodom wyrządzonym środowisku naturalnemu.

9. Dyrektywa Rady 67/548/EEC w sprawie dostosowania aktów prawnych, rozporządzeń i postanowień administracyjnych dotyczących klasyfikacji, opakowań i oznakowań niebezpiecznych substancji (ze zmianami i uzupełnieniami, m.in. podanymi w Dyrektywie Rady 79/831/EEC).
10. Dyrektywa Rady 75/442/EEC z dnia 15 lipca 1975 r. dotycząca odpadów.
11. Dyrektywa Rady 91/156/ z 18 marca 1991 r. nowelizująca Dyrektywę 75/442/EEC dotyczącą odpadów.
12. Dyrektywa Rady 91/689/EEC z 12 grudnia 1991 r. dotycząca odpadów niebezpiecznych, zastępująca Dyrektywę 78/319/EEC dotyczącą odpadów toksycznych i niebezpiecznych.
13. Dyrektywa Rady 94/904/EEC z 22 grudnia 1994 r. uzupełniająca Dyrektywę 91/689/EEC o listę odpadów niebezpiecznych.
14. PN-B-11114:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni kolejowych (wycofana).
15. PN-EN 932-1:1999 Badania podstawowych właściwości kruszyw – Część 1: Metody pobierania próbek (EN 932-1:1996).
16. PN-EN 932-2:2001 Badania podstawowych właściwości kruszyw – Część 2: Metody pomniejszania próbek laboratoryjnych (EN 932-2:1999).
17. PN-EN 932-3:1999 Badania podstawowych właściwości kruszyw – Część 3: Procedura i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego (EN 932-3:1996), ze zmianą PN-EN 932-3:1999/A1:2004.
18. PN-EN 932-5:2001 Badania podstawowych właściwości kruszyw – Część 5: Wyposażenie podstawowe i wzorcowanie (EN 932-5:1999).
19. PN-EN 933-1:2000 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczanie składu ziarnowego. Metoda przesiewania (EN 933-1:1997), ze zmianą PN-EN 933-1:2000/A1:2006.
20. PN-EN 933-3:1999 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 3: Oznaczanie kształtu ziaren za pomocą wskaźnika płaskości (EN 933-3:1999), ze zmianą PN-EN 933-3:1999/A1:2004.
21. PN-EN 933-4:2001 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 4: Oznaczanie kształtu ziaren – wskaźnik kształtu (EN 933-4:1999).
22. PN-EN 933-5:2000 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 5: Oznaczanie procentowej zawartości ziaren o powierzchniach powstałych w wyniku przekruszenia lub łamania kruszyw grubych (EN 933-5:1998), ze zmianą PN-EN 933-5:2000/A1:2005.
23. PN-EN1097-1:2000 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczanie odporności na ścieranie (mikro-Deval) (EN 1097-1:1996), ze zmianą PN-EN 1097-1:2000/A1:2004.
24. PN-EN1097-2:2000 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabianie (EN 1097-2:1998).
25. PN-EN 1097-6:2002 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 6: Oznaczanie gęstości ziaren i nasiąkliwości (EN 1097-6:2000).
26. PN-EN 1367-1:2001 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 1: Oznaczanie mrozoodporności (EN 1367-1:1999), z poprawką PN-EN 1367-1:2001/Ap:2004.
27. PN-EN 1367-2:2000 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 2: Badanie w siarczenie magnezu (EN 1367-2:1998).
28. PN-EN 1367-3:2002 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na dzia-

- lanie czynników atmosferycznych – Część 3: Badania bazaltowej zgorzeli słonecznej metodą gotowania (EN 1367-3:2001), ze zmianą PN-EN 1367-3:2002/AC:2004.
29. PN-EN 1744-1:2000 Badania chemicznych właściwości kruszyw – Część 1: Analiza chemiczna (EN 1744-1:1998).
 30. PN-EN 1926:2001 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie (EN 1926:1999).
 31. PN-EN 13450:2004 Kruszywa na podsypkę kolejową (EN 13450:2002), ze zmianą PN-EN 13450:2004/AC:2004.
 32. PN-EN 45014:2000 Ogólne kryteria deklaracji zgodności składanej przez dostawcę (EN 45014:1989).
 33. Prace Komitetu D182 ORE pt. Ujednolicone kryteria jakości podsypki oraz metody oceny jej stanu w torze. Utrecht 1989–1994.
 34. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 lipca 2004 r. w sprawie ograniczeń, zakazów lub warunków produkcji, obrotu lub stosowania substancji niebezpiecznych i preparatów niebezpiecznych oraz zawierających je produktów. D.U. 2004.168.1762.
 35. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym. D.U. 2004.198.2041.
 36. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach. D.U. 2001.62.628.
 37. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. D.U. 2001.112.1206.
 38. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 grudnia 2001 r. w sprawie wzorów dokumentów stosowanych na potrzeby ewidencji odpadów. D.U. 2001.152.1736.
 39. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. D.U. 2004.168.1763.
 40. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. D.U. 1998.151.987, D.U. 2000.100.1082.
 41. Rozporządzenie 93/259/EEC dotyczące przesyłu odpadów.
 42. *Skrzyński E.*: Normy na podsypkę kolejową. Referat na Konferencję Naukowo-Techniczną „Drogi Kolejowe 2003”. Gdańsk, 15–17 października 2003.
 43. *Skrzyński E.*: Podsypka i jej jakość. *Problemy Kolejnictwa*, 1993, nr 115.
 44. Warunki techniczne dla podsypki w aspekcie wdrożenia normy europejskiej PN-EN 13450:2004 Kruszywa na podsypkę kolejową. Praca CNTK nr 4204/1. Warszawa 2006.
 45. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1). Zarządzenie nr 14 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 18 maja 2005 r.
 46. *Wee Loon Lim*: Mechanics of railway ballast behaviour. The University of Nottingham 2004 (doctor thesis).
 47. Wytyczne doboru kruszyw (pismo Naczelnego Zarządu Utrzymania Kolei DG PKP nr KD4-517-08/1/96 J.W. z dnia 23 stycznia 1996 r.).
 48. Tymczasowe warunki techniczne wykonania i odbioru podsypki tłuczniowej naturalnej i z recyklingu stosowanej w nawierzchni kolejowej (ILK3b-5100/10/07). Biuro Dróg Kolejowych Centrali PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.