

1. WPROWADZENIE

Niniejszy „Zeszyt Techniczny IGKM” zwany dalej „Zeszytem” jest pierwszym opracowaniem, które dotyczy hamulców - jednego z najbardziej złożonych systemów w tramwaju. Mając to na uwadze, Autorzy „Zeszytu” sięgnęli z jednej strony po dokumenty normatywne szeroko opisujące to zagadnienie, a z drugiej stanowczo ograniczyli ściśle normatywny charakter dokumentu.

Niniejsze wydanie „Zeszytu” będzie zatem sprawowało funkcję inicjatywną dla adaptowania europejskich aktów normatywnych do realiów komunikacji tramwajowej w Polsce. Charakter tego opracowania zaakcentowany jest w szczególności w rozdziale 8 niniejszego „Zeszytu”.

2. ZAKRES STOSOWANIA

Zawarte w niniejszym „Zeszycie” wytyczne dotyczące tramwajów eksploatowanych na liniach/w sieciach tramwajowych, odnoszą się do:

- tramwajów (wg. ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym - tekst jednolity Dz.U z 2017 r. nr 60 poz. 1260 z dnia 1 listopada 2017 r. z późniejszymi zmianami, dalej „PRD”, art. 2 pkt 82): tramwaj - pojazd przeznaczony do przewozu osób lub rzeczy zasilany energią elektryczną, poruszający się po szynach na drogach publicznych),
- innych pojazdów szynowych eksploatowanych na sieciach tramwajowych a nie będących tramwajami (wg. „PRD” - pojazd szynowy nie jest zdefiniowany, ani też nie są dla niego określone żadne wymagania techniczne nawet, jeżeli uczestniczy w ruchu drogowym) i mają zastosowanie do:
 - wszystkich nowo projektowanych pojazdów;
 - wszelkich istotnych napraw, jeżeli włączone w nie były zarówno przebudowy jak i modyfikacje systemów hamowania;
 - wszelkich nowych wykonań istniejących konstrukcji pojazdów.

UWAGA!:

Zawarte w niniejszym „Zeszycie” wytyczne nie dotyczą pojazdów szynowych specjalnego przeznaczenia i pojazdów samochodowych poruszających się na wózkach do jazdy po torach.

Z tak zdefiniowanego zakresu stosowania wynika, że wytyczne przytoczone w niniejszym „Zeszycie” nie mogą być w pełni stosowane do starszych wagonów tramwajowych, w szczególności **wyprodukowanych przed 1 stycznia 2005 roku**. W odniesieniu do takich wagonów należy stosować wymagania wynikające z rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.

UWAGA!:

Niniejszy „Zeszyt” opiera się na stanie prawnym aktualnym na 30 listopada 2017 roku. Dotyczy to w szczególności rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, zwanego dalej „Rozporządzeniem”.

Zapisy „Zeszytu” nie są sprzeczne z zapisami zawartymi w „Rozporządzeniu”.

3. WYKORZYSTANE AKTY NORMATYWNE I LITERATUROWE

Na potrzeby opracowania „Zeszytu” wykorzystano następujące akty normatywne i literaturowe:

- 1) PN-EN 13452-1:2003 – Kolejnictwo - Hamowanie - Systemy hamowania w transporcie publicznym - Część 1: Wymagania eksploatacyjne;
- 2) USTAWA z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym – tekst jednolity Dz.U.2017.60.1260 z dnia 2017.01.11 z późniejszymi zmianami;
- 3) ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia - Dz.U.2011.65.344 z dnia 2011.03.29;
- 4) ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY z dnia 28 stycznia 2011 r. w sprawie zakresu, warunków, terminów i sposobu przeprowadzania badań technicznych tramwajów i trolejbusów oraz jednostek wykonujących te badania - Dz.U.2011.65.343 z dnia 20-11.03.29 z późniejszymi zmianami (Dz.U.2016.1073 z dnia 2016.07.21);
- 5) Regulacje techniczne dotyczące tramwajów. Wymiarowanie i kontrola hamulców pojazdów (TRStrab Br) Wydanie: 1 grudnia 2008 r. w brzmieniu z 6 marca 2015 r.
- 6) Tadeusz Piechowiak, „Obliczenia hamulca wózka tramwajowego – mechanika”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Zeszyt 14. Rok 109.

4. DEFINICJE I WYMAGANIA wg „Rozporządzenia”

UWAGA!:

Stan prawny aktualny na 30 listopada 2017 r. Proszę zwracać uwagę na aktualizację „Rozporządzenia”.

4.1. Definicje:

- ☞ **hamulec roboczy (§ 16., Ust.1, pkt 1 Rozporządzenia)** - służący do zmniejszania prędkości tramwaju i zatrzymania go w sposób niezawodny, szybki i skuteczny, niezależnie od prędkości i obciążenia oraz od kąta wzniesienia lub spadku torów (drogi), z możliwością regulacji intensywności hamowania;
- ☞ **hamulec awaryjny (§ 16., Ust.1, pkt 2 Rozporządzenia)** - służący do zatrzymania tramwaju w razie awarii hamulca roboczego; hamulec ten powinien wykorzystywać hamowanie niezależne od przyczepności między kołem i szyną;
- ☞ **hamulec postojowy mechaniczny (§ 16., Ust.1, pkt 3 Rozporządzenia)** - służący do unieruchamiania tramwaju podczas postoju; dopuszcza się zastąpienie tego hamulca innym urządzeniem pozwalającym na trwałe i niezawodne unieruchomienie tramwaju po jego zatrzymaniu; hamulec ten powinien być tak skonstruowany, aby niemożliwe było jego samoczynne zwolnienie, oraz mieć wyraźne oznakowanie kierunku uruchamiania w przypadku napędu ręcznego;
- ☞ **hamulec bezpieczeństwa (§ 16., Ust.1, pkt 4 Rozporządzenia)** - służący do zatrzymywania tramwaju przez pasażera w razie zagrożenia bezpieczeństwa;
- ☞ **hamulec nagły (§ 16., Ust.1, pkt 5 Rozporządzenia)** - służący do zatrzymywania tramwaju z największym możliwym do uzyskania opóźnieniem hamowania w sytuacji wystąpienia zagrożenia;
- ☞ **czuwak (§ 12., Ust.1, pkt 7 Rozporządzenia)** - Kabina stanowiska motorniczego powinna być wyposażona w: 7) urządzenie zatrzymujące tramwaj (czuwak).

4.2. Wymagania odnośnie parametrów hamowania

Tryb hamowania	Droga hamowania [m]	Opóźnienie hamowania [m/s^2]
Nagle	11,5	3,0
Robocze lub awaryjne	24,8	1,4
Bezpieczeństwa	19,3	1,8

Tabela 1 Poziomy opóźnień wymaganych przepisami państwowymi dla tramwajów wyprodukowanych po 1 stycznia 2005 r.

UWAGA!

Zawartość punktów 4.1 i 4.2 nie wyczerpuje wszystkich wymagań Rozporządzenia.

5. NORMA PN-EN 13452-1:2003 Kolejnictwo - Hamowanie - Systemy hamowania w transporcie publicznym - Część 1: Wymagania eksploatacyjne

5.1. Struktura i charakter normy 13452-1:2003 zwanej dalej „normą”

Norma PN-EN 13452-1:2003 obejmuje znaczny obszar techniki pojazdów szynowych, jakim jest transport publiczny. Zawiera informacje i odniesienia normatywne liczniejsze i szersze niż kompleks normatywny dotyczący tramwajów w Polsce, w tym pakiet „Zeszytów”.

Kompleksowość i staranny charakter opracowania tej rodziny norm czyni z niej jednak materiał bardzo przydatny dla wielu przedsięwzięć, wewnętrznych dokumentów normatywnych, szkoleń, instruktażu, itp. realizowanych przez operatorów komunikacji tramwajowej. Dlatego też zasadnicza treść normy PN-EN 13452-1:2003 została zawarta w kolejnych punktach i załącznikach do niniejszego „Zeszytu”.

5.2. Definicje i pojęcia

Spis treści Normy PN-EN 13452-1:2003 stanowi Załącznik nr 1 do niniejszego „Zeszytu”. Lektura tego spisu potwierdza kompleksowość i szerokość ujęcia zagadnienia w tych normach. Mając na uwadze otwarty charakter „Zeszytów” zdecydowano, że w zeszycie niniejszym, jako początkowym dla tematyki hamulcowej, omówione zostaną te pojęcia i zależności, które są bliskie definicjom i parametrom stosowanym w Rozporządzeniu.

Pojęcia te ułożone zostały tabelarycznie w Załączniku nr 2 do niniejszego „Zeszytu”. Dalsze punkty, zawierają omówienie tych pojęć, jak też niezbędne komentarze zamieszczone w rozumieniu celu tego „Zeszytu”, jakim jest podniesienie jakości systemowej tramwajów i świadczonych przez nie usług.

5.3. Efektywność funkcji hamowania

Treść w Załączniku nr 2 oraz dalszych punktach niniejszego tekstu służyć będzie w szczególności specjalistom techniki tramwajowej w kompetentnym kształtowaniu wymagań jakościowych dla doboru wyposażenia hamulcowego tramwajów nowych i eksploatowanych.

Oprócz definicji i pojęć, następne punkty nawiązują do głównych aspektów funkcjonowania i parametryzowania skuteczności hamulca tramwaju.

6. TRYBY (REŻIMY) HAMOWANIA

6.1. Wymagania ogólne

Układ (system) hamulcowy służy do:

- wytracania prędkości lub zatrzymania poruszającego się pojazdu;
- zabezpieczenia pojazdu w stanie spoczynku;
- kontrolowania prędkości pojazdu na spadku terenu (jeżeli stosowane).

Układ (system) hamulcowy powinien być skonstruowany tak aby:

- pojazd mógł być zatrzymany bez ryzyka dla pasażerów i osób postronnych, przy akceptowalnych poziomach szarpnięć (hamowanie robocze);
- nie były wymagane nadmierne lub nierealne poziomy przyczepności;
- oszacowanie systemu hamowania było zgodne z występującymi nachyleniami i specyficznymi warunkami ruchowymi.

Przy spełnieniu powyższych założeń, spełnione powinny być również opisane poniżej funkcje. Sposoby ich uzyskania będą zgodne z wymaganiami przygotowanymi dla danego typu pojazdu.

UWAGA!

Przedstawione niżej tryby hamowania opierają się na założeniu opisanym w obowiązujących w Polsce aktach normatywnych.

6.2. Hamowanie robocze (służbowe)

Hamowanie robocze to hamowanie inicjowane przez motorniczego lub/i przez automatyczne sterowanie jazdą i hamowaniem, aż do uzyskania pożądanej prędkości lub do zatrzymania się pojazdu bez narażania pasażerów na niebezpieczeństwo. Tryb użycia hamowania roboczego dostępny jest w każdym momencie prowadzenia pojazdu (z wyłączeniem przypadków awarii/usterki) i musi spełniać wymagania określone w przepisach.

Układ (system) hamulca powinien być zaprojektowany w sposób umożliwiający częste użycie go przez motorniczego podczas prowadzenia pojazdu. Parametry hamowania powinny być ustawione w taki sposób, aby użycie hamulca nie wpływało na poziom komfortu pasażerów. Intensywność hamowania (opóźnienie) powinno być możliwe do wyregulowania przez motorniczego.

Ze względu na częstotliwość użycia, środki zastosowane przy systemie hamowania roboczego powinny minimalizować niekorzystny wpływ na warunki środowiskowe (np. hałas, kurz itp.). Wskazane jest stosowanie hamulców dynamicznych (Załącznik nr 2, tabela 1 poz. 8 i 9). Opcjonalnie dopuszczalne jest wspomaganie procesu hamowania przez hamulce cierne.

6.3. Hamowanie awaryjne

Hamowanie awaryjne, w rozumieniu przepisów prawa, to użycie hamulca służącego do zatrzymania tramwaju w razie awarii hamulca roboczego. W normie nie występuje ścisły odpowiednik dla tego trybu. Funkcjonalnie najbardziej zbliżone do tego trybu hamowania jest hamowanie awaryjne poziom 1, jednakże norma stawia znacznie niższe, w porównaniu z wymogami przepisów prawa wymagania co do opóźnienia.

W trakcie jazdy kierujący powinien mieć zapewnioną możliwość użycia trybu hamowania

awaryjnego, które powinno spełniać dodatkowo określone poziomy wydajności, a także powinno charakteryzować się wysokim poziomem integralności. Ten tryb hamowania może być uruchamiany przez motorniczego, ale w razie wykrycia awarii lub usterki, albo nieprawidłowego działania układu hamowania roboczego powinien być uruchamiany automatycznie.

UWAGA!

W świetle przepisów prawa w hamowaniu tym powinno uczestniczyć hamowanie niezależne od przyczepności między kołem i szyną.

Nadrzędnym zadaniem hamowania awaryjnego jest zapewnienie maksymalnego bezpieczeństwa pasażerów, obsługi i osób postronnych, a także umożliwienie zatrzymania pojazdu przy danej zależności prędkości i dystansu na określonych poziomach opóźnień i odpowiednich wartościach szarpnięcia.

Norma wyróżnia ponadto inne poziomy hamowania awaryjnego zobacz tabela 2.

Poziomy hamowania awaryjnego	Główny sposób załączania
Hamowanie awaryjne – poziom 1	Uruchamianie przez prowadzącego lub ATO (<i>Automatic Train Operation - Automatyczne prowadzenie pociągu</i>).
Hamowanie awaryjne – poziom 2	Uruchamianie przez pasażera.
Hamowanie awaryjne – poziom 3	Uruchamianie przez prowadzącego przez użycie wyraźnie zaznaczonej pozycji zadajnika hamowania lub ATP (<i>Automatic Train Protection - Automatyczna kontrola pociągu</i>).
Hamowanie awaryjne – poziom 4	Uruchamianie przez osobę autoryzowaną za pomocą odrębnego zadajnika hamowania.

Tabela 2. - Poziomy hamowania awaryjnego¹.

6.4. Hamowanie czuwakiem

Norma PN-EN 13452-1:2003 (ust. 5.4.3) stanowi, że pojazdy sterowane manualnie powinny być wyposażone w system czuwaka, który w przypadku zastąpienia maszynisty, zainicjuje automatycznie działanie hamulca. Wydajność tego systemu powinna być ściśle określona przez Organ regulujący transport. Obowiązujące w Polsce akty prawne nie precyzują żadnych wymagań dla tego trybu hamowania.

UWAGA!

Dopuszcza się 0-3[s] zwłoki w reakcji na zwolnienie dźwigni/pedału czuwaka.

6.5. Hamowanie bezpieczeństwa

Hamowanie bezpieczeństwa, w rozumieniu normy, nie jest wymagane przez obowiązujące w Polsce akty prawne. Podstawowym założeniem tego trybu hamowania jest uzyskanie wyższego stopnia sprawności (dostępności) niż hamowanie robocze, hamowanie awaryjne uruchamiane przez pasażerów i hamowanie nagłe, lecz niekoniecznie wysokiego poziomu wydajności.

¹ za PN-EN 13452-1

Hamowanie bezpieczeństwa może zostać wywołane np. przyciskiem bezpieczeństwa motorniczego (nazywanym również AHP – Awaryjne Hamowanie Pociągu) i polega ono na sterowaniu hamulcem ciernym zgodnie z zasadą przerwania ciągłości obwodu prądowego i uzyskaniu docisku elementów ciernych do tarcz/bębnow hamulcowych pod wpływem działania sprężyny.

UWAGA!

Zalecanym jest przyjęcie dla tego trybu hamowania wymagań zgodnie z normą.

6.6. Hamowanie bezpieczeństwa przez pasażerów

Obowiązujące w Polsce akty prawne w odniesieniu do tego trybu hamowania używają określenia „hamulec bezpieczeństwa”. Funkcjonalnie odpowiada to hamowaniu awaryjnemu poziom 2, zdefiniowanemu w normie. Trzeba przy tym zauważyć, że wymagania przepisów państwowych i ww. normy, co do opóźnień przy hamowaniu, znacząco się różnią.

6.7. Hamowanie przy rozerwaniu składu

Hamowanie przy rozerwaniu to hamowanie w przypadku niezamierzonego rozłączenia pojazdu. Obowiązujące w Polsce akty prawne wymagają, aby „w przypadku odłączenia się tramwaju doczepnego od zespołu tramwajowego hamulec powinien uruchamiać się w nim samoczynnie przynajmniej hamulec postojowy”. Nie precyzują przy tym wymagań, co do opóźnienia. Norma stanowi, że wszystkie części pociągu będą automatycznie wyhamowane (do zatrzymania) przy wydajności nie mniejszej niż wymaganej dla hamowania bezpieczeństwa.

UWAGA!

Zalecanym jest przyjęcie dla tego trybu hamowania wymagań zgodnie z PN-EN 13452-1: 2003 jak dla hamowania bezpieczeństwa.

6.8. Hamowanie nagłe (pełne, maksymalne)

Hamowanie nagłe to hamowanie, które jest inicjowane w razie dostrzeżenia niebezpieczeństwa przez motorniczego, z wykorzystaniem maksymalnego dostępnego poziomu (siły/mocy) hamowania. Przy hamowaniu tym występują zwiększone opóźnienia i wzmożone szarpnięcia. Możliwe przy tym narażenie pasażerów i personelu na niebezpieczeństwo jest częścią zagrożenia całkowitego.

Nastawnik wartości zadanej (dźwignia hamulcowa, pedał, itp.) powinien zaskakiwać w pozycji „Hamowanie nagłe”. Pojazd nie musi przy tym zostać koniecznie zahamowany aż do zatrzymania się, ponieważ w razie ustania niebezpieczeństwa podczas hamowania można zakończyć użycie hamulców bez zatrzymywania pojazdu.

Norma określa ten tryb hamowania, jako hamowanie awaryjne poziom 3.

Celem osiągnięcia skuteczności wymaganej przy hamowaniu nagłym, należy zapewnić poprawienie przyczepności za pomocą piaskowania lub podobnych środków. Systemy poprawy przyczepności powinny być zaprojektowane tak, aby działały niezawodnie, również przy wyjątkowo niesprzyjających warunkach atmosferycznych. Przy piaskowaniu, jakość i rodzaj użytego materiału należy dobrać za pomocą testów lub wcześniejszego doświadczenia tak, żeby uzyskać znaczącą poprawę przyczepności.

6.9. Hamowanie wspomagające (niezależne od przyczepności)

Zarówno obowiązujące w Polsce akty prawne, jak i norma zaledwie wspominają o hamowa-

niu niezależnym od przyczepności, nie precyzując prawie żadnych wymagań dla tego rodzaju hamowania. Norma wymaga tylko by „jeden hamulec był niezależny od przyczepności pomiędzy kołem i szyną oraz niezależny od ewentualnych awarii zasilania trakcji”. Obowiązujące w Polsce akty prawne wymagają, by przy hamowaniu awaryjnym wykorzystywać hamowanie niezależne od przyczepności między kołem i szyną.

W chwili obecnej, w technice tramwajowej, do tego rodzaju hamowania praktycznie stosowane są wyłącznie hamulce szynowe. Pewne minimum wymagań dla tego trybu hamowania podają „Regulacje techniczne dotyczące tramwajów. Wymiarowanie i kontrola hamulców pojazdów (TRStrab Br)”. Przy tym wymagania co do opóźnień, zawarte w tych regulacjach, wydają się zbyt niskie w porównaniu z aktualnymi możliwościami takich hamulców.

Z uwagi na praktyczne używanie takich hamulców w połączeniu z równoczesnym użyciem innych hamulców, w różnych trybach hamowania, dla uproszczenia nazewnictwa wprowadzono pojęcie „**hamowanie wspomagające**”.

Zalecanym jest przyjęcie wymagań dla tego trybu hamowania wg tabeli 5.

6.10. Hamowanie unieruchamiające

Hamowanie unieruchamiające to hamowanie, którego celem jest uniemożliwienie ruchu pociągu znajdującego się w stanie spoczynku. Wyróżnia się tu hamowanie utrzymujące i hamowanie postojowe. Zasadnicza różnica pomiędzy tymi trybami hamowania sprowadza się do źródła siły hamującej i czasu trwania.

6.10.1. Hamowanie utrzymujące (ang. holding brake)

Hamowanie utrzymujące to hamowanie, które utrzymuje w bezruchu w pociąg ze zdefiniowanym obciążeniem, na torowisku o określonym pochyleniu przez określony czas. Obowiązujące w Polsce akty prawne w odniesieniu do tego trybu hamowania używają pojęcia „**hamulec postojowy**”. W praktyce ten tryb hamowania musi być w stanie utrzymać w pełni załadowany (z maksymalną liczbą pasażerów i przy uwzględnieniu ich bagażu) pojazd na największym pochyleniu występującym na danej sieci tramwajowej przez określony czas.

Ten tryb hamowania może wymagać dostarczenia energii dla uzyskania siły hamującej. Określany jest też, jako hamulec postojowy aktywny. Norma dopuszcza stosowanie w tym trybie hamowania hamulca magnetycznego (szynowego) tylko w przypadku zastosowania magnesów stałych.

6.10.2. Hamowanie postojowe (ang. parking brake)

Hamowanie postojowe używane jest w momencie względnie stałego unieruchomienia (zaparkowania) pociągu. Ten tryb hamowania pozwala utrzymać pociąg z określonym poziomem załadunku na danym pochyleniu przez nieokreślony okres czasu. **W praktyce poziom załadunku powinien odpowiadać poziomowi EL E wg normy (pociąg w pełni wyposażony do działania, z motorniczym, lecz bez pasażerów na pokładzie) na pochyleniu do 4%.**

Hamowanie to powinno działać w oparciu o siłę hamującą pochodzącą od sprężyny lub innych podobnych środków, a siła hamowania powinna być zapewniona i przeniesiona wyłącznie drogą mechaniczną. Ten rodzaj hamowania określa się również jako hamulec postojowy pasywny. Hamowanie postojowe powinno zapewniać automatyczne zabezpieczenie pociągu w przypadku utraty hamulca awaryjnego lub roboczego.

Zestawienie trybów hamowania i metod hamowania

Zestawienie trybów hamowania i metod hamowania prezentuje tabela nr 3.

ZESZYTY TECHNICZNE IGKM

Tom 1 - Tabor tramwajowy
Zeszyt 17 – Hamulce w tramwaju

Metoda hamowania Tryb hamowania	Hamowanie dynamiczne	Hamowanie cierne	Zapobieganie poślizgowi kół	Kontrola obciążenia	Poprawa przyczepności	Hamulec szynowy (magnetyczny)
Robocze	TAK	OPCJA	TAK	OPCJA	OPCJA	NIE
-Awaryjne - poziom 1 -Czuwakiem wg Rozporządzenia MI -Hamulec awaryjny	TAK	OPCJA	TAK	OPCJA	OPCJA	OPCJA
-Awaryjne - poziom 2 wg Rozporządzenia MI -Hamulec bezpieczeństwa	OPCJA	TAK	OPCJA	OPCJA	OPCJA	OPCJA
-Awaryjne - poziom 3 wg Rozporządzenia MI -Hamulec nagły	TAK	TAK	OPCJA	OPCJA	TAK	TAK
Awaryjne - poziom 4	TAK	TAK	OPCJA	OPCJA	TAK	TAK
Bezpieczeństwa	NIE	TAK	OPCJA	OPCJA	OPCJA	OPCJA
-Utrzymujące (holding brake) wg Rozporządzenia MI -Hamulec postojowy (określany też jako hamulec postojowy aktywny)	NIE	TAK*	NIE	OPCJA	NIE	OPCJA**
Postojowe (parking brake) (określany też jako hamulec postojowy pasywny)	NIE	TAK*	NIE	OPCJA	NIE	OPCJA**
Wspomagające	NIE	NIE	NIE	OPCJA	NIE	TAK
* – jeżeli używane są hamulce szynowe z magnesem trwałym, norma dopuszcza rezygnację z używania hamulca cierne w tym trybie hamowania						
** – tylko w przypadku stosowania hamulców szynowych z magnesem trwałym						

Tabela 3. Metody hamowania dla poszczególnych trybów hamowania².

Legenda do tabeli 3:

- A - automatycznie,
- BZw - bezzwłocznie,
- O - opcjonalnie,
- R - regulowane,
- T - TAK,
- Z - z zatraskiem położenia,
- Zw - ze zwłoką 0-3 [s],
- a - wymagania wynikające z normy,
- b - wynika z wymagań przepisów państwowych, w szczególności co do poziomu opóźnienia.

² W oparciu o normę PN-EN 13452-1: 2003

Tabela 4. Zestawienie trybów i metod hamowania, oraz sposobów uruchamiania.

I.p.	Tryb hamowania			Sposób uruchomienia										Metoda hamowania					
	Wg rozporządzenia	Wg normy	Funkcjonalność	Zadajnik hamowania	Przycisk bezpieczeństwa motorniczego (AHP)	„Przycisk ucieczki” motorniczego	Przycisk szynowych	Czuwak ręczny	Czuwak nożny	Pulpit manewrowy - zadajnik lub przycisk	Pulpit manewrowy - czuwak	Dzwignie/przyciski pasażera Hamulec bezpieczeństwa	Pętla bezpieczeństwa (rozerwanie, drzwi, itp.)	Elektrodynamiczne maksymalne	Elektrodynamiczne ograniczone	Niezależne od przyczepności kół (szynowe)	Cierne różne = elektryczny/hydrauliczny/inny)	Antypoślizg	Piasecznice
1.	Hamulec roboczy	Hamowanie robocze	Robocze	TAK						TAK				R		NIE	O + A przy zatrzym.	A	O, A
2.			Robocze wspomagane	TAK			TAK							R		TAK	O + A przy zatrzym.	A	O, A
3.	Hamulec awaryjny	Hamowanie awaryjne – 1	Awaryjne	TAK-A						O				TAK		O	O + A przy zatrzym.	A	A
4.			Czuwakiem					O, T, Zw	O, T, Zw		T, BZW			TAK		O	O + A przy zatrzym	A	
5.	Hamulec bezpieczeństwa	Hamowanie awaryjne – 2	Hamulec bezpieczeństwa pasażera									TAK	TAK		O ^a	O ^a TAK ^b	TAK.	O	O
6.	Hamulec nagły	Hamowanie awaryjne – 3	Nagłe, Ucieczkowe	TAK + Z		TAK				RAZEM				TAK		TAK	TAK	O	TAK
7.		Hamowanie awaryjne - 4												TAK		TAK	TAK	O	TAK
8.		Bezpieczeństwa	Bez komputerów		TAK									NIE		O	TAK	O	O
9.	Hamulec postojowy	Hamowanie utrzymujące		TAK		TAK										O	TAK	NIE	NIE
10.		Hamowanie postojowe		TAK												O	TAK	NIE	NIE

7. SKUTECZNOŚĆ HAMOWANIA

Norma określa minimalne wartości opóźnień i maksymalnych poziomów szarpnięć w celu osiągnięcia wymaganej skuteczności hamulców. Równocześnie pozostawia ona swobodę doprecyzowania poszczególnych kryteriów hamowania organom regulującym zasady funkcjonowania komunikacji tramwajowej.

7.1. Wymagane opóźnienia

Minimalne parametry hamowania tramwajów wyprodukowanych po 1 stycznia 2005 r. dla hamowania wagonu próżnego z prędkości 30 km/h wynikające z Załącznika nr 3 do warunków technicznych tramwajów przedstawiono w punkcie 4.2.

Minimalne wartości opóźnień wynikające z normy przedstawiono poniżej w tabeli 5.

Parametr Tryb hamowania	Robocze	Awaryjne – poziom 1/ Czuwak	Awaryjne – poziom 2/ Hamulec bezpieczeństwa	Awaryjne – poziom 3/ Hamulec nagły	Awaryjne – poziom 4	Bezpieczeństwa	Wspomagające (niezależnie od przyczepności)
Minimalne opóźnienie równoważne a_e w [m/s ²]	regulowane 0,0 do 1,2	1,2	1,2	2,8	2,8	1,0	0,8*
Opóźnienie wymagane w przepisach państwowych	1,4	1,4	1,8	3,0	x	x	x
Maksymalny równoważny czas reakcji t_e w [s]	1,5	1,5	2,0	0,85	0,85	2,0	0,85*
* - parametru tego nie określają ani obowiązujące w Polsce akty prawne, ani norma PN-EN 13452-1: 20-2003; - Stosowane w Niemczech „Regulacje techniczne dotyczące tramwajów. Wymiarowanie i kontrola hamulców pojazdów (TRStrab Br)” stosowane w Niemczech określają go na poziomie poniżej 0,4 [m/s ²]; - podana tu wartość wynika z aktualnych możliwości takich hamulców.							

Tabela 5. Wymagane opóźnienie równoważne³.

7.2. Wymagania dotyczące komfortu

Opóźnienia chwilowe występują przy zatrzymaniu. Dopuszczalne poziomy szarpnięć przedstawione w tabeli 6 są wartościami średnimi skalkulowanymi na podstawie zmierzonego czasu narastania (Załącznik nr 2, tabela 1, poz. 49 i rys. 1).

³ W oparciu o normę PN-EN 13452-1: 2003

Tryb hamowania Parametr	Robocze	Awaryjne – poziom 1/ Czuwak	Awaryjne – poziom 2/ Hamulec bezpieczeństwa	Awaryjne – poziom 3/ Hamulec nagły	Awaryjne – poziom 4	Bezpieczeństwa	Wspomagające (niezależne od przyczepno- ści)
Maksymalne opóźnienie chwilowe w $[m/s^2]^*$	2,0	2,5	2,5	5,0	4,0	4,0	4,0
Maksymalne średnie szarpnięcie w $[m/s^3]$	1,5	4,0	4,0	8,0	8,0	4,0	8,0
* - Opóźnienie chwilowe zdefiniowano w Załączniku nr 2, tabela 1, poz. 56							
UWAGA! Wartości podane w tabeli mogą zostać przekroczone w takich chwilach jak zatrzymanie pojazdu							

Tabela 6. Opóźnienia chwilowe i poziomy szarpnięć

8. PROPONOWANE KIERUNKI INICJATYW W OBSZARZE PRZEPISÓW O HAMOWANIU TRAMWAJÓW

Proces wieloletniej eksploatacji tramwajów wskazuje na potrzebę dokonania pewnych uzupełnień w regulacjach dotyczących techniki hamowania tramwaju. Jak wskazano na wstępie przeniesienie rodziny norm PN EN 13452 do obligatoryjnych przepisów (np. Rozporządzenia) nie jest ani konieczne, ani potrzebne. Okoliczność podporządkowania warunków technicznych tramwaju przepisom PRD sprzyja elastycznemu podejściu do każdej regulacji dotyczącej tramwaju. Rodzina norm PN-EN 13452, jak to już podkreślono, jest całkowicie wystarczającym i w pełni kompetentnym materiałem dla uzupełnienia wymogów dotyczących hamulca w Rozporządzeniu.

8.1. Propozycje kierunków zmian i uzupełnień w zapisach obowiązujących w Polsce aktów prawnych:

- 1) Należy określić poziomy obciążenia dla badań hamulca w ramach badań typu tramwaju.
- 2) Należy wprowadzić kryterium komfortu i określić dopuszczalne poziomy szarpnięcie.
- 3) Należy pozostawić pojęcie „hamowanie nagłe” wyznaczające najniższą i najwyższą wartość opóźnienia przypisanego do tego trybu.
- 4) Należy dookreślić tryb „hamowanie bezpieczeństwa” np. wg wskazań niniejszego „Zeszytu”, bazując na zapisach rodziny norm PN-EN 13452.

UWAGA!

Wymagania obowiązujących aktów prawnych w odniesieniu do poziomu opóźnienia dla trybu hamowania bezpieczeństwa nie znajdują żadnego uzasadnienia w teorii i praktyce eksploatacyjnej, co wynika w szczególności z tego, że rozsądne wartości hamowania wynikają z zainicjowania tego trybu hamowania przez nieprzeszkolone osoby (pasażerów). W związku z tym przy ustalaniu intensywności hamowania powinny być stosowane kryteria jak dla hamowania robocznego⁴.

⁴ Za - „Regulacje techniczne dotyczące tramwajów. Wymiarowanie i kontrola hamulców pojazdów (TRStrab Br)”

- 5) Należy zaproponować kompetentne uzupełnienie wymogów dla reżimu określanego w rozporządzeniu jako „hamulec postojowy”.
- 6) Należy zmienić definicję czuwaka oraz określić jego wymaganą funkcjonalność.
- 7) Należy zdefiniować minimalne wymagane opóźnienie dla hamowania niezależnego od przyczepności.

8.2. Propozycje wymagań proponowanych jako dobre praktyki, przy tworzeniu zapisów wymogów w specyfikacjach technicznych, poza wynikającymi z obowiązujących w Polsce aktów prawnych:

- 1) Dopuszcza się możliwość manualnego „luzowania” hamulców realizujących tryb hamowania postojowego.

Wymaga się, by w przypadku manualnego zluzowania możliwe było przywrócenie funkcji hamowania postojowego bez użycia zewnętrznych, względem stosownego urządzenia hamulcowego, źródeł energii.

- 2) Niezależnie od wymagań opisanych w 6.8, wskazane jest stosowanie odrębnego przycisku dla motorniczego – tzw. „przycisku ucieczki” umożliwiającego załączenie trybu hamowania nagłego.

UWAGA!

Nie należy mylić tego przycisku z przyciskiem hamowania bezpieczeństwa (AHP), o którym mowa w ustępie 6.5.

- 3) Wymaga się stosowania rezerwowego obwodu zasilania dla hamowania wspomagającego, niezależnego od przyczepności kół (hamulec szynowy) działającego niezależnie w razie awarii lub wyłączenia obwodu podstawowego.

9. PODSUMOWANIE

Niniejszy „Zeszyt” porządkuje definicje dotyczące szeroko rozumianego zagadnienia hamulców i systemu hamowania tramwajów. Uwzględnione w nim zostały pojęcia występujące w obowiązujących w Polsce aktach prawnych i normach PN-EN 13452-1: 2003, oraz PN-EN 13452-2: 2003. „Zeszyt” zawiera również minimalne wymagania dotyczące skuteczności hamulców tramwajów.

Problematyka dotycząca hamulców i hamowania tramwajów powinna być kontynuowana w następujących obszarach:

- mechanika hamowania,
- konstrukcja systemów hamulcowych,
- próby typu i wyrobu, oraz ich dokumentowanie.

ZAŁĄCZNIK NR 1

Struktura Normy PN EN 13452 -1: 2003 Część 1 Wymagania eksploatacyjne.

1. Zakres stosowania
2. Powiązania normatywne
3. Pojęcia
 - 3.1. Podstawy
 - 3.2. Rodzaje hamowania
 - 3.3. Odmiany budowy hamulców
 - 3.4. Sterowanie w zależności od obciążenia
 - 3.5. Mechanika hamulców
 - 3.6. Dynamika hamulców
 - 3.7. Opóźnienia
4. Symbole, jednostki i skróty
5. Podstawy konstrukcji
 - 5.1. Systemy hamulcowe
 - 5.2. Kryteria obciążenia
 - 5.3. Podstawy techniczne hamowania
 - 5.4. Wymagania ruchowe
 - 5.5. Wymagania dla skuteczności hamulca
 - 5.6. Skutki zawodności
 - 5.7. Ruch sterowany automatycznie
 - 5.8. Budowa systemu hamulcowego
6. Wymagania dla tramwajów i kolei miejskiej
 - 6.1. Cechy charakterystyczne systemów tramwajowych i lekkiej kolei miejskiej
 - 6.2. Wartości skuteczności hamowania
 - 6.3. Założenia obciążenia
 - 6.4. Zastosowanie
7. Wymagania dla pojazdów kolei podziemnej z kołami stalowymi
8. Wymagania dla pojazdów kolei poziomej z kołami ogumionymi
9. Wymagania dla pojazdów kolei miejskich/regionalnych

ZESZYTY TECHNICZNE IGKM

Tom 1 - Tabor tramwajowy
Zeszyt 17 – Hamulce w tramwaju

L.p.	DEFINICJE		Odniesienia do obowiązujących aktów prawnych	Uwagi
	Określenie	Opis funkcjonalny		
I	OGÓLNE			
1.	Pociąg tramwajowy (dalej pociąg)	Pojedynczy wagon tramwajowy (tramwaj), jedno- albo wielo-członowy lub zespół wagonów tramwajowych, działających na liniach/sieciach tramwajowych.		
2.	Motorniczy (motorowy, kierujący)	Osoba manualnie sterująca ruchem pociągu tramwajowego.		
3.	Opóźnienie	Wynik działania siły powstrzymującej ruch pojazdu.		
4.	Siła opóźniająca	Suma wszystkich sił wywołujących hamowanie pociągu, włączając opory własne pociągu.		
5.	Hamowanie	Proces, w którym wytworzona zostaje siła przeciwstawiająca się ruchowi pociągu będącego w ruchu, lub zapobiegająca ruchowi pociągu znajdującego się w spoczynku.		
6.	Hamulec	Sprzęt, którego nadrzędną funkcją jest zahamowanie pojazdu.		
7.	Układ (system) hamulcowy	Kombinacja środków (sprzętu i oprogramowania) w celu osiągnięcia, zgodnie z wybranym poziomem bezpieczeństwa, wymogów hamowania pociągu. Układ hamulcowy obejmuje urządzenia sterujące, uruchamiające i rozpraszające energię.		
II	HAMULCE			
8.	Hamulec elektrodynamiczny	Hamowanie dynamiczne z wykorzystaniem silników trakcyjnych jako generatorów.		
9.	Hamulec hydrodynamiczny	Hamowanie dynamiczne, gdzie energia kinetyczna pojazdu jest zamieniana na ciepło przy pomocy urządzenia hydraulicznego.		
10.	Hamulec pneumatyczny	Siłę hamowania ciernego oraz regulację hamowania uzyskuje się na drodze pneumatycznej.		
11.	Hamulec elektropneumatyczny	Siła hamowania ciernego dostarczana jest przez sprężone powietrze a regulacją jest elektryczna.		
12.	Hamulec elektromechaniczny	Siła hamowania ciernego oraz regulacja hamowania zapewniane są drogą elektryczną.		
13.	Hamulec powietrznohydrauliczny	Siła hamowania ciernego zapewniana jest hydraulicznie, a regulacja za pomocą sprężonego powietrza.		
14.	Hamulec elektrohdrauliczny	Siła hamowania ciernego zapewniana jest hydraulicznie, a regulacja sprawowana jest elektrycznie		

ZESZYTY TECHNICZNE IGKM

Tom 1 - Tabor tramwajowy
Zeszyt 17 – Hamulce w tramwaju

15.	Hamulec szynowy (magnetyczny torowy)	Hamowanie odbywa się za pomocą tarcia pomiędzy okładzinami magnetycznymi i szynami.	x	3.3.3	Mogą wystąpić: elektromagnesy magnesy stałe w normie – metoda hamowania
16.	Hamulec wiroprowodowy	Hamulec wykorzystujący prądy wirowe dla uzyskania siły hamowania bez konieczności kontaktu elementów hamujących z tarczami hamulcowymi, kołami czy torami.	x	3.3.4	W normie - metoda hamowania
17.	Czuwak	Urządzenie kontrolujące czujność prowadzącego.	§ 12., ust.1, pkt 7 (urządzenie za-trzymujące tram-waj)	x	Może występować: pasywny aktywny
18.	Przycisk bezpieczeństwa motorniczego (AHP – Awaryjne Hamowanie Pociągu)	Urządzenie aktywujące hamowanie bezpieczeństwa w razie awarii/z pominięciem elektronicznych systemów sterowania	Odpowiada czę-ściowo § 17., ust.5	x	Zobacz rozdział 6.5
19.	„Przycisk ucieczki” motor-niczego	Urządzenie aktywujące hamowanie nagle niezależnie od innych elementów sterujących	x	x	Zobacz rozdział 6.8
20.	Pulpit manewrowy	Pulpit sterujący z tyłu pociągu jednokierunkowego	§ 4., ust.2	x	
21.	Dźwignia/przycisk bezpie-czeństwa (Hamulec bezpieczeń-stwa)	Urządzenie służące do zatrzymywania tramwaju przez pasażera w razie zagro-żenia bezpieczeństwa.	§ 4., ust.1, pkt 6) i § 16., ust.1, pkt 4)	x	Zobacz rozdz. IV tabeli poz. 28 – poziom 2
III	HAMOWANIE - metody	Metody (techniki) hamowania			
22.	Hamowanie dynamiczne	Metoda hamowani efektywna wyłączenie podczas ruchu pojazdu	x	3.3.1	Wykorzystuje hamulce z rozdz. II tabeli poz. 8 - 9
23.	Hamowanie cierne	Hamowanie uzyskane za pomocą zastosowania klocków hamulcowych doci-skanych do kół pojazdu lub bębnow hamulcowych lub też za pomocą klocków ciernych dociskanych do tarcz hamulcowych.	x	3.3.2	Wykorzystuje hamulce z rozdz. II tabeli poz. 10 - 14
24.	Hamowanie mieszane	Interakcja pomiędzy dwoma (lub więcej) sposobami hamowania celem uzy-skania odpowiedniego poziomu opóźnienia.	x	3.3.6	Głównie używane przy hamo-waniu roboczym przy współ-nym użyciu hamulców dyna-micznych i ciernych
25.	Zapobieganie poślizgowi kół	System stosowany dla zoptymalizowania hamowania oraz w celu zabezpie-czenia przed zniszczeniem zestawów kołowych przy hamowaniu w trudnych warunkach przyczepności koła/szyny.	x	3.3.5	Możliwe metody: regulacja poprawa przyczepności (piaskowanie)

ZESZYTY TECHNICZNE IGKM

Tom 1 - Tabor tramwajowy
Zeszyt 17 – Hamulce w tramwaju

IV	HAMOWANIE - tryby	Tryby (funkcje, reżimy) hamowania			
26.	Hamowanie robocze (służbowe)	Hamowanie używane normalnie pod kontrolą motorniczego pociągu i/lub automatycznego urządzenia sterującego jazdą, aby kontrolować prędkość pociągu.	§ 16., Ust.1, pkt 1) przypisano tu pojęcie hamulec roboczy	3.2.1	
27.	Hamowanie nagłe (pełne/maksymalne)	Maksymalny dostępny poziom (siła/moc) hamowania.	§ 16., Ust.1, pkt 5) przypisano tu pojęcie hamulec nagły	3.2.2	
28.	Hamowanie awaryjne (poziomy 1-4)	Hamowanie, którego nadrzędnym zadaniem jest zapewnienie maksymalnego bezpieczeństwa pasażerów, obsługi i osób postronnych, będące w stanie za-trzymać pociąg przy danej zależności prędkości i dystansu na określonych poziomach wytracania prędkości i odpowiadających wartościach szarpnięcia.	x	3.2.3	Poziomy różni się sposobem uruchomienia <i>UWAGA! Dopuszcza się inne sposoby uruchamiania niż wymienione niżej.</i>
	Poziom 1	Uruchamianie prze prowadzącego lub ATO (<i>Automatic Train Operation - Auto-matyczne prowadzenie pociągu</i>).	Odpowiada ha-mulcowi awaryj-nemu § 16., Ust.1, pkt 2)		
	Poziom 2	Uruchamianie przez pasażera	Odp.- § 16., ust.1, pkt 4)		
	Poziom 3	Uruchamianie prze prowadzącego przez użycie wyraźnie zaznaczonej pozycji zadajnika hamowania lub ATP (<i>Automatic Train Protection <-> Automatyczna kontrola pociągu</i>).	Odpowiada ha-mulcowi nagłemu § 16., ust.1, pkt 5)		Praktycznie jest tożsame z hamowaniem nagłym rozdz. IV tabeli poz.27
	Poziom 4	Uruchamianie przez Osobę autoryzowaną za pomocą odrębnego zadajnika hamowania.	x		
29.	Hamulec awaryjny	Hamulec służący do zatrzymania tramwaju w razie awarii hamulca roboczego	§ 16., ust.1, pkt 2)	Odpow- wiada 3.2.3 Po- ziom 1	Zobacz rozdz. IV tabeli poz. 28 – Poziom 1
30.	Hamowanie bezpieczeń- stwa	Hamowanie, którego celem jest osiągnięcie wyższego stopnia sprawności (dostępności) niż hamowanie robocze, hamowanie awaryjne przez pasażerów i hamowanie nagłe. Zdolność hamowania może znajdować się na niższym poziomie niż przy hamowaniu roboczym bądź hamowaniu awaryjnym przez pasażerów.	x	3.2.4	

ZESZYTY TECHNICZNE IGKM

Tom 1 - Tabor tramwajowy
Zeszyt 17 – Hamulce w tramwaju

		Hamowanie bezpieczeństwa przez pasażerów (Hamulec bezpieczeństwa)	Służący do zatrzymywania tramwaju przez pasażera w razie zagrożenia bezpieczeństwa.	§ 16., ust.1, pkt 4)	Odpowiadanie hamowanie awaryjne - Poziom 2 3.2.3	Zobacz rozdz. IV tabeli poz. 28 – Poziom 2
31.						
32.		Hamowanie dla ograniczenia prędkości	Hamowanie dla utrzymywania zasadniczo stałej prędkości pociągu na pochyłości.	x	3.2.5	
33.		Hamowanie nieodwołalne (aż do zatrzymania)	Hamowanie działające aż do zatrzymania pociągu.	x	3.2.6	
34.		Hamowanie unieruchamiające	Hamowanie używane celem zapobieżenia ruchowi pojazdu w stanie spoczynku w danych warunkach.	x	3.2.7	
35.		Hamowanie utrzymujące (unieruchamiające) (<i>ang. holding brake</i>)	Hamulec utrzymujący pociąg wraz z pasażerami w spoczynku, przy określonym przedziale czasu i załadunku. Określany też jako hamulec postojowy aktywny	§ 16., ust.1, pkt 3)	3.2.7.1	Może wymagać zasilania dla uzyskania siły hamującej
36.		Hamowanie postojowe (<i>ang. parking brake</i>)	Hamulec utrzymujący pociąg w stanie spoczynku przy danym załadunku na określonym pochyleniu. Określany też, jako hamulec postojowy pasywny.	x	3.2.7.2	Występuje sprzeczność określeń w odniesieniu do warunków technicznych tramwajów
V		HAMOWANIE - parametry				
37.		Kontrola obciążenia	Regulacja siły hamowania w układzie hamulcowym, w zależności od obciążenia, w celu utrzymania stałego opóźnienia, bez względu na obciążenie.	x	3.4	
38.		Siła hamowania	Siła wywierana przez każdy hamulec (cierny, dynamiczny, torowy) celem wyhamowania pojazdu	x	3.5.1	
39.		Masa statyczna	Masa pociągu w spoczynku.		3.5.2	
40.		Masa wirująca	Równoważna masa momentu inercji całego zestawu kołowego oraz sprzęgniętych obracających się części pociągu	x	3.5.3	
41.		Masa dynamiczna	Suma masy statycznej i masy wirującej	x	3.5.4	
42.		Masa operacyjna	Masa statyczna pociągu w pełni wyposażonego do działania z pasażerami, lecz przy ich braku w pojeździe.	x	3.5.5	Używa się też pojęcia „obciążenie operacyjne”
43.		Obciążenie	Masa pasażerów i bagażu przewożonych w pociągu.	x	3.5.6	
44.		Przyczepność	Zjawisko fizyczne opisujące przenoszenie siły stycznej pomiędzy koło/szyna i/lub koło/tor.	x	3.5.7	

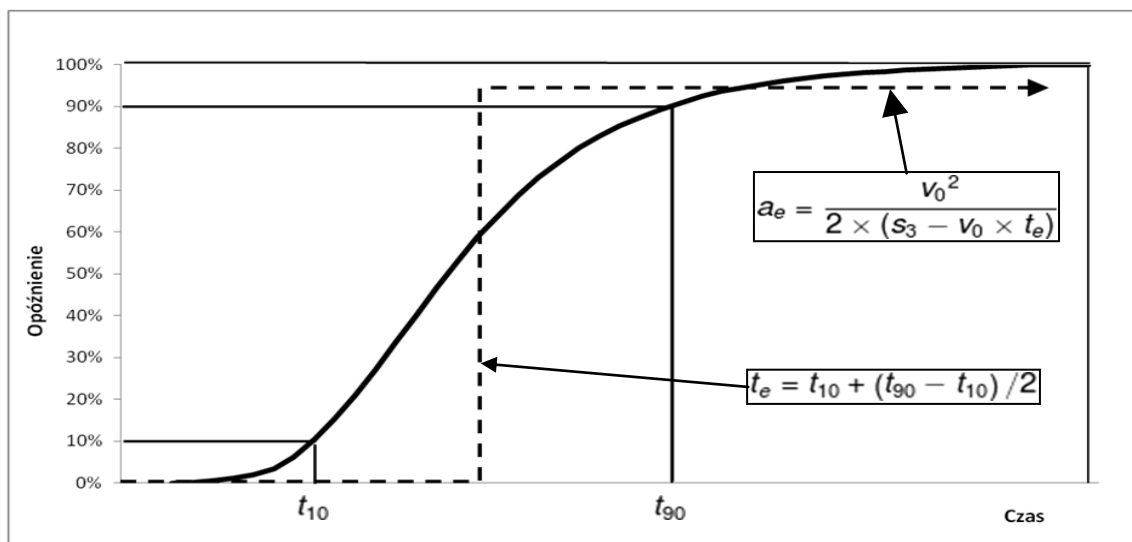
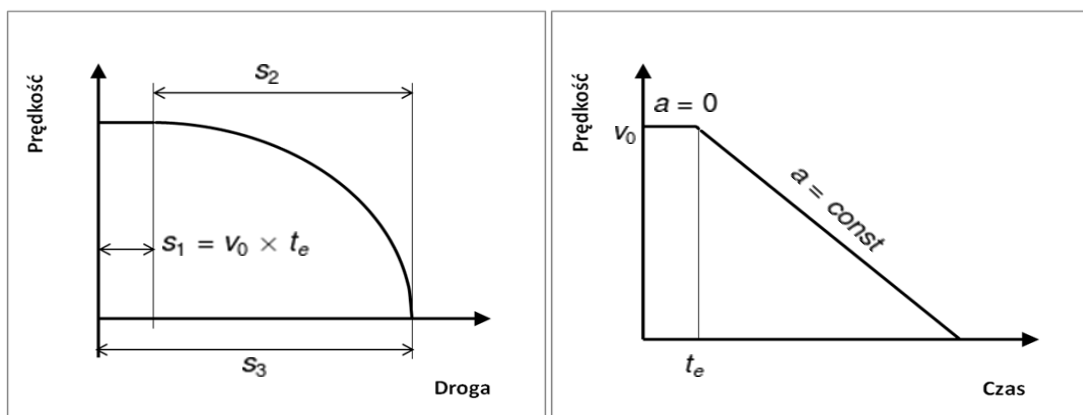
ZESZYTY TECHNICZNE IGKM

Tom 1 - Tabor tramwajowy
Zeszyt 17 – Hamulce w tramwaju

45.	Współczynnik przyczepności	Wartość zależności pomiędzy siłą styczną a siłą normalną wywieraną na styku koła/szyna i/lub koło/tor.	x	3.5.8	
46.	Hamowanie zależne od przyczepności	Hamowanie, podczas którego siła hamująca jest wspierana przez przyczepność.	x	3.5.9	
47.	Hamowanie niezależne od przyczepności (wspomagające)	Hamowanie, podczas którego siła hamująca jest wspomagana przez inne czynniki niż przyczepność.	x	3.5.10	Hamowanie wspomagające – zobacz ust. 6.9
	Dynamika hamowania	Poniższe definicje oparte są na założeniu, iż bieg czasu rozpoczyna się w momencie zmiany sygnału żądania hamulca. Następuje to ze stanu całkowitego zwolnienia hamulca.	x	3.6	Metody pomiaru i oszacowania tych wartości określa PN-EN 13452-2
48.	Czas zwłoki	Okres czasu od zainicjowania zmiany w pozycji żądania hamulca (pozytywnej lub negatywnej) do czasu uzyskania 10% ustalonego opóźnienia.	x	3.6.1	
49.	Czas narastania	Okres od końca czasu zwłoki, do czasu uzyskania 90% ustalonego opóźnienia.		3.6.2	zobacz rys. 1 i rys. 2
50.	Czas reakcji	Okres czasu od zainicjowania zmiany w pozycji żądania hamulca (pozytywnej lub negatywnej) do czasu uzyskania 90% ustalonego opóźnienia. Czas reakcji odpowiada sumie czasu zwłoki oraz czasu narastania.	x	3.6.3	
51.	Równoważny (ekwiwalentny) czas reakcji	Teoretyczny czas reakcji używany do skalkulowania drogi hamowania. Podczas tego okresu czasu, teoretyczne opóźnienie jest równe zeru; po tym czasie, jest ono równe a_e . Czas ten oznaczany jest t_e	x	3.6.4	zobacz rys. 1
52.	Droga zatrzymania	Odległość przebyta od załączenia hamulca do całkowitego zatrzymania.	x	3.6.5	
53.	Droga hamowania s_2	Teoretyczna odległość przebyta po czasie t_e , w którym opóźnienie jest równe 0. Po czasie t_e opóźnienie a_e jest stałe		3.6.6	zobacz Rys. 2
	Szarpnięcie		x	3.6.7	
54.	Szarpnięcie chwilowe	Pierwsza pochodna opóźnienia w czasie	x	3.6.7.1	
55.	Średnie szarpnięcie	Zmiana przyspieszenia lub opóźnienia w odniesieniu do danego okresu czasu.	x	3.6.7.2	
	Opóźnienie			3.7	zobacz rys. 1 i rys. 2
56.	Opóźnienie chwilowe	Wartość bezwzględna pierwszej pochodnej prędkości względem czasu (podczas hamowania).	x	3.7.1	
57.	Opóźnienie równoważne (ekwiwalentne)	Teoretyczna wartość stała opóźnienia używana w celu skalkulowania drogi zatrzymania. Oznaczana jest symbolem a_e .	x	3.7.2	zobacz rys. 1
58.	Opóźnienie normatywne	Osiągi wymagane przepisami w określonych warunkach.	Załącznik nr 3 do Rozporządzenia	3.7.3	

9.1 Symbole stosowane w niniejszym „Zeszycie”

- a opóźnienie w [m/s²];
 a_e opóźnienie równoważne (ekwiwalentne) w [m/s²];
 s dystans w [m];
 s_1 dystans teoretyczny bez wytracenia prędkości, w [m];
 s_2 droga hamowania w [m];
 s_3 droga zatrzymania w [m];
 t czas w [s];
 t_e równoważny (ekwiwalentny) czas reakcji w [s];
 t_{10} czas zwłoki, od momentu załączenia hamulca do momentu osiągnięcia 10% ustalonego opóźnienia, w [s] (zobacz Rys. 1);
 t_{90} czas narastania, od momentu załączenia hamulca do momentu osiągnięcia 90% ustalonego opóźnienia, w [s] (zobacz Rys. 1);
 v prędkość w [m/s];
 v_0 prędkość początkowa w [m/s].

Rys. 1. Metoda obliczania t_e i a_e ⁵.Rys. 2. Hamowanie teoretyczne⁶.⁵ za PN-EN 13452-1⁶ jw.

Legenda do rys. 1 i rys. 2

t_{10}	czas zwłoki
t_{90}	czas narastania
t_e	równoważny (ekwiwalentny) czas reakcji
s_2	droga hamowania = $s_3 - s_1$
s_3	droga zatrzymania
v_0	prędkość początkowa