

Artur Rojek, Marek Kaniewski, Robert Czarnecki

# Interoperacyjność układu zasilania trakcji elektrycznej – nowe normy EN 50367 i EN 50388

*W 2005 r. zostały ukończone prace nad dwoma normami EN 50367 i EN 50388, które mają fundamentalne znaczenie dla projektowania, budowy i eksploatacji systemów zasilania trakcji elektrycznej zarówno w zakresie warunków odbioru prądu z sieci trakcyjnej przez pojazdy, jak i koordynacji zabezpieczeń w pojazdach trakcyjnych i podstacjach trakcyjnych. Wydanie tych norm finalizuje i porządkuje stan prawny w tej dziedzinie w ramach projektu docelowego osiągnięcia interoperacyjności europejskiego systemu kolejowego.*

Polityka UE, zmierzająca do zniesienia barier technicznych utrudniających swobodny ruch kolejowy przez granice państw UE, jest jednym z najistotniejszych czynników kształtujących europejską działalność normalizacyjną. Zgodnie z potrzebami zgłoszonymi przez Komisję Europejską, Komitet CLC/TC 9X podjął się wprowadzenia norm europejskich powiązanych z Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności (TSI) opracowywanymi przez AEIF i ERA. Specyfikacje te są załącznikami do decyzji KE, które uzupełniają dyrektywy 96/48/EC oraz 2001/16/EC o interoperacyjności systemu kolei dużych prędkości oraz kolei konwencjonalnych. Specyfikacja TSI Energia, charakteryzująca system zasilania i określająca podstawowe wymagania wobec jego składników, odwołuje się w wielu miejscach do wymagań określonych w normach europejskich. Normy te, jako tzw. normy zharmonizowane z wymienionymi dyrektywami, będą stanowiły podstawę w ocenie zgodności podsystemu i jego elementów. W TSI Energia dla systemu kolei dużych prędkości powołanych jest kilkanaście norm EN. Należy spodziewać się, że ze względu na swój uniwersalny charakter normy te zostaną przyjęte także w specyfikacji TSI dla kolei konwencjonalnych. Powołane normy zostały w większości przyjęte do zbioru PN metodą uznania i ich teksty są ogólnie dostępne. Kilka z tych norm zostało opracowanych lub jest w trakcie opracowywania zgodnie z mandatem M/275 Komisji Europejskiej.

Ostatnio zostały opracowane normy EN 50367 oraz EN 50388 powiązane z dyrektywami dotyczącymi interoperacyjności. Komitet nr 61 ds. Elektrycznego Wyposażenia Trakcyjnego wziął udział w opiniowaniu obu projektów. Eksperti CNTK i PKP Energetyka sp. z o.o. zgłosili kilkanaście propozycji zmian tekstu tych projektów, głównie wprowadzających charakterystyki polskiej sieci kolejowej. Z uwagi na duże znaczenie tych norm, w następnych rozdziałach zostaną przedstawione krótkie ich charakterystyki, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień systemu 3 kV DC.

## Kryteria oceny współpracy między pantografem a górną siecią jezdnią w aspekcie zapewnienia interoperacyjności – norma EN 50367

Różnorodność typów górnych sieci jezdnych (GSJ), zbudowanych na liniach europejskich zarządów kolejowych i rodzajów pantografów w lokomotywach oraz elektrycznych zespołach trakcyjnych, powoduje różnorodność wzajemnych oddziaływań w systemie GSJ – pantograf. Stan ten wymaga uporządkowania w skali Europy w zakresie budowy interoperacyjności i dlatego opracowano normę EN 50367 harmonizującą podstawowe wymagania.

W pierwszym kwartale 2006 r. norma EN 50367 zostanie zatwierdzona przez Komitet Techniczny CENELEC nr TC9X/SC9XC. Norma ta, zgodnie z planem prac PKN, do sierpnia 2006 r. powinna być przyjęta do stosowania na terenie Polski.

Nowa norma opisuje parametry i podaje wymagane wartości dla linii kolejowych projektowanych i nowo budowanych, które mają stać się liniami interoperacyjnymi. Składa się ona z 7 punktów i 4 aneksów.

Dotyczy ona systemów zasilania prądem przemiennym (AC) i stałym (DC). W czterech pierwszych punktach normy podano podział na kategorie linii kolejowych, definicje, opis oznaczeń. W normie określono następujące kategorie linii kolejowych:

- dla systemu AC: o maksymalnej prędkości jazdy:
  - $V \leq 160$  km/h (linie konwencjonalne i łączące),
  - $160$  km/h  $< V \leq 220$  km/h (linie modernizowane),
  - $220$  km/h  $< V \leq 250$  km/h (linie modernizowane),
  - $V \leq 250$  km/h (linie dużych prędkości);
- dla systemu DC: o maksymalnej prędkości jazdy:
  - $V \leq 160$  km/h (linie konwencjonalne i łączące linie dużych prędkości),
  - $160$  km/h  $< V \leq 220$  km/h (linie modernizowane),
  - $220$  km/h  $< V \leq 250$  km/h (linie dużych prędkości).

Podano następujące definicje, które mają zastosowanie przy opisie elementów GSJ i pantografów oraz behawiorystyki między nimi: maksymalny prąd pobierany, siły stykowej, statycznej siły stykowej, średniej siły stykowej, maksymalnej siły stykowej, minimalnej siły stykowej, górnej sieci jezdnej, sekcji neutralnej, napięcia znamionowego, wysokości przewodu jezdnej, minimalnej wysokości przewodu jezdnej, maksymalnej wysokości przewodu jezdnej, automatycznego urządzenia opuszczającego, zjawisk łukowych, procentowego współczynnika palenia się łuku, maksymalnej szerokości nakładki stykowej, kinematycznej skrajni w obszarze pantografu, ugięcia ślizgacza.

W punkcie 5. normy określono geometrię górnej sieci jezdnej i pantografu.

W zakresie geometrii GSJ koniecznych do uzyskania interoperacyjności norma stawia wymagania co do nominalnej, maksy-

malnej i minimalnej wysokości zawieszenia przewodów jezdnych, wychylenia wiatrowego, pochylenia przewodu jezdnego, uniesienia przewodu pod konstrukcją wsporczą, konstrukcji sekcji neutralnych (elementów sieci umożliwiających przejazd między różnymi systemami zasilania lub fazami zasilania w sieciach systemów AC). W tabelicy 1 zestawiono wymienione parametry w zależności od prędkości jazdy.

Tablica 1

## Geometria sieci trakcyjnej dla systemu DC

		Prędkość jazdy [km/h]		
		$V \leq 160$	$160 < V < 220$	$220 < V \leq 250$
Nominalna wysokość zawieszenia przewodu jezdnego	[m]	5,0–5,6	5,0–5,5	5,0–5,3
Minimalna wysokość zawieszenia przewodu jezdnego	[m]	4,9	4,9	4,9
Maksymalna wysokość zawieszenia przewodu jezdnego	[m]	6,2	6,2	5,3
Maksymalne wychylenie wiatrowe	[m]		0,4*	

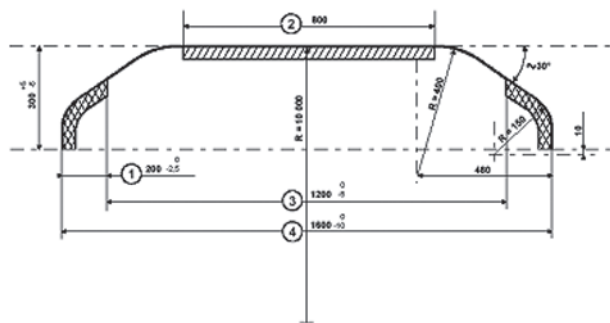
\* Dotyczy przewodu jezdnego zawieszono na wysokości 5,3 m. W przypadku większych wysokości zawieszenia przewodów jezdnych i dla łuków toru wielkość ta powinna być obliczona ze wzoru podanego w aneksie A.

Górna sieć jezdna powinna być zgodna z wymaganiami normy PN EN 50119, szczególnie z wymaganiami podanymi w p. 5.2.1.3 (uniesienie przewodu jezdnego pod słupem) i p.5.2.8.2 (pochylenie przewodu jezdnego).

W zakresie geometrii pantografu podany jest geometryczny profil ślizgacza, zakres roboczy pantografu, długość nakładek stykowych, maksymalna szerokość ślizgacza, ugięcie ślizgacza. Maksymalne ugięcie jednej strony ślizgacza określono na 60 mm.

Dodatkowo wymaga się, aby pantografy były wyposażone w urządzenie umożliwiające automatyczne ich opuszczenie, o odpowiedniej charakterystyce działania. Określone są minimalne i maksymalne odległości między pracującymi jednocześnie pantografami, określa się minimalny czas opuszczania (od momentu inicjacji do momentu powstania minimalnej odległości izolacyjnej – mniejszy niż 3 s, czas opuszczania do minimalnej pozycji konstrukcyjnej – mniej niż 10 s). Maksymalną szerokość ślizgacza określono na 0,65 m.

Norma podaje geometrię standardowego ślizgacza tzw. europejskiego o długości 1600 mm i jego skrajnię, która będzie wymagana na liniach interoperacyjnych, spełniających wymagania TSI. Na rysunku 1 przedstawiono profil europejskiego, standardowego ślizgacza 1600 mm.



Rys. 1. Europejski, standardowy profil ślizgacza

1 - nabeżnik wykonany z materiału izolacyjnego, 2 - minimalna długość nakładek ślizgowych, 3 - zakres roboczy ślizgacza, 4 - długość ślizgacza

Pantograf powinien być zgodny z wymaganiami normy PN EN 50206-1.

Współpraca pantografu i górnej sieci jezdnej określona została zbiorem wymagań obejmującym: materiał oraz konstrukcję przewodów jezdnych i nakładek ślizgowych, obciążalnością prądową układu pantograf – GSJ, statyczną siłę stykową, oddziaływanie dynamiczne między siecią jezdnią i pantograf.

W punkcie 6. normy podano wymagania odnośnie materiałów przewodu jezdnego i nakładek stykowych. Przewód jezdny powinien być wykonany z miedzi lub jej stopów i spełniać wymagania normy PN EN 50149.

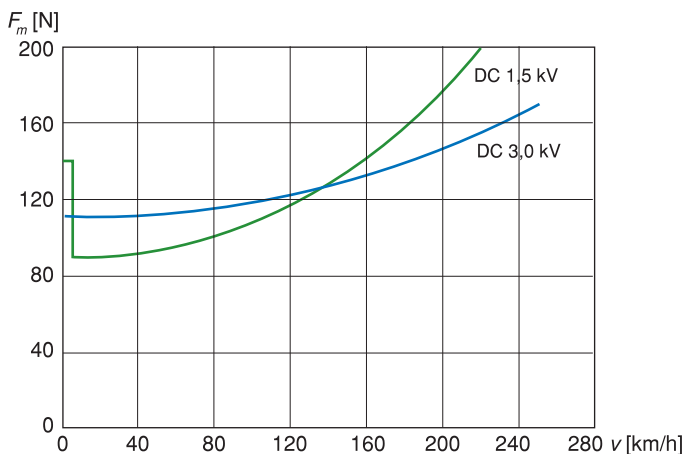
Nakładki stykowe powinny spełniać wymagania normy PN EN 50206-1. Rodzaj materiału, z którego wykonuje się nakładki, określa kierownictwo infrastruktury danego zarządu kolejowego. Zaleca się żeby nakładki stykowe były wykonane z czystego węgla lub węgla impregnowanego.

W punkcie 7. dla systemu DC 3 kV został określony:

- dopuszczalny prąd na postoju dla jednego pantografu – 200 A,
- wartość statycznej siły stykowej –  $110 \pm_{-20}^{+10}$  N.

Jakość współpracy dynamicznej, zapewniająca odpowiednią jakość odbioru prądu, może być określona na drodze symulacji lub pomiaru. Gdy będą wykonywane pomiary, kryterium jakości współpracy będzie: średnia siła stykowa  $F_m$  i maksymalne standardowe odchylenie siły stykowej  $\sigma_{\max}$  lub procentowy współczynnik występowania łuków elektrycznych  $NQ$ . Zarządca infrastruktury kolejowej określa, który ze sposobów będzie używany. Pomiary jakości współpracy dynamicznej powinny być wykonywane zgodnie z normą PN EN 50317.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność średniej siły stykowej od prędkości jazdy dla systemów DC, a w tabelicy 3 zestawiono dopuszczalne parametry charakteryzujące współpracę dynamiczną pantografu i sieci jezdnej.



Rys. 2. Średnia siła stykowa w funkcji prędkości jazdy, krzywa dla systemu 3 kV DC opisana jest wzorem  $F_m = 97 \cdot 10^{-6} v^2 + 110$

W załączniku A, będącym integralną częścią normy, podano zasady projektowania sekcji neutralnych, profil standardowego europejskiego ślizgacza, kinematyczną skrajnię dla standardowego europejskiego ślizgacza oraz dodatkowe próby dla systemu DC (prąd na postoju, prąd podczas ruchu).

W załączniku B, będącym integralną częścią normy, podano charakterystyki narodowe (Szwajcaria, Hiszpania, Francja, Wielkiej Brytania, Holandia, Belgia, Włochy i Polska) dla górnych sie-

ci jednych systemu DC i AC, parametry związane ze współpracą pantografu i GSJ, profile ślizgaczy pantografów używanych w zarządach kolejowych europejskich.

W załączniku C, będącym informacyjną częścią normy, określono jakie materiały są stosowane na nakładki stykowe w europejskich zarządach kolejowych. Podano również podstawowe parametry różnych materiałów stosowanych na nakładki stykowe.

Tablica 2

## Parametry współpracy dynamicznej między pantografem a siecią jezdnią dla systemów DC

	Prędkość [km/h]		
	$V \leq 160$	$160 < V \leq 220$	$220 < V \leq 250$
$F_m$	Według krzywej z rysunku 2		
$\sigma_{max}$	$0,3 F_m$		
Współczynnik występowania łuków elektrycznych $NQ$ [%]	0,1	0,2	0,2
Przestrzeń na swobodne uniesienie przewodu jezdnego pod konstrukcją wsporczą	zgodnie z p. 5.2.1.3 normy EN 50119		
Jeżeli będzie użyta symulacja systemu sieć jezdna/pantograf, to jej walidacja musi być zgodna z normą PN EN 50318			

Podczas prac nad redakcją normy pracownicy CNTK, będący członkami Komitetu Technicznego nr 61 PKN, zgłosili wiele uwag do tekstu projektu normy. Zgłoszono uwagi redakcyjne i merytoryczne. Zmieniono zakres tolerancji siły stykowej statycznej tak, by siła statyczna stosowana na sieci PKP mieściła się w zakresie podanym w normie. W aneksach B i C dodano: wielkości wysokości zawieszenia przewodów jezdnych i wywiania wiatrowego stosowane na PKP, wielkości parametrów związanych z wzajemnym oddziaływaniem GSJ i pantografu, profil ślizgacza długości 1950 mm, stosowany na PKP, oraz materiały stosowane na nakładki stykowe ślizgaczy na PKP.

## Koordinacja między systemem zasilania a taborem w aspekcie interoperacyjności – norma EN 50388

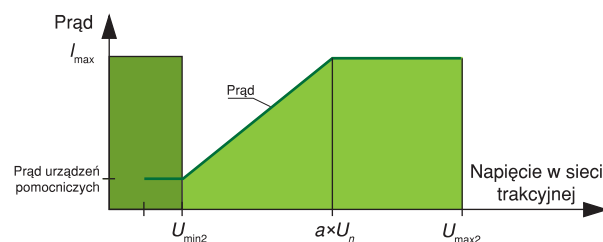
Norma EN 50388 została wydana w sierpniu 2005 r. i zgodnie z zapisami do 01.03.2006 r. powinna być wprowadzona przez PKN na terenie Polski. Dotyczy ona oceny koordynacji między systemem zasilania (podstacjami trakcyjnymi) a taborem w aspekcie zapewnienia interoperacyjności. W rozumieniu EN 50388 zakres tej koordynacji dotyczy:

- mocy zainstalowanej linii i zapotrzebowania na moc pociągu,
- wielkości napięcia na pantografie,
- zabezpieczeń zwarciovych na podstacji i na taborze,
- hamowania odzyskowego i zdolności odbioru energii hamowania przez sieć trakcyjną,
- kompatybilności między taborem i systemem zasilania, jeśli chodzi o stabilność systemu i występowanie niedopuszczalnych stanów przejściowych (przebiecia, przekroczenia dopuszczalnych wielkości harmonicznych prądu trakcyjnego).

Norma ta składa się z 14 punktów i 6 dodatków. Pierwsze 3 punkty zawierają zakres normy, powołania normatywne i definicje. Punkt 4 i dodatek A informują o przyjmowanych czasach trwania zjawisk lub procedur wykorzystywanych podczas obliczeń, projektowania, pomiarach zabezpieczeń itd. Punkty 5 i 6 dotyczą głównie systemów zasilania trakcji prądem przemiennym. Podane są w nich wymagania w zakresie sekcji neutralnych (separacja faz i separacja systemów) oraz współczynnika mocy pojazdów trakcyjnych.

Punkt 7 poświęcony jest wielkości prądu, jaki może być pobierany przez pociąg. W systemie 3 kV DC, dla linii według TSI dużych prędkości wielkość tego prądu wynosi 4000 A. Dla linii konwencjonalnych wielkości tego prądu są różne dla poszczególnych sieci narodowych. Na życzenie strony polskiej został zapisany dla Polski przypadek szczególny, mówiący że na liniach zmodernizowanych do dużych prędkości w systemie 3 kV DC maksymalny prąd pobierany przez pociąg wynosi 3200 A, a na liniach łączących wchodzących w skład systemu linii dużych prędkości – 2500 A. Natomiast dla linii konwencjonalnych polskiej sieci kolejowej przyjęto wielkość 2500 A. Oznacza to, że układ zasilania trakcji na liniach nowych i modernizowanych powinien spełniać powyższe wymagania. Wiąże się to nie tylko z odpowiednimi charakterystykami podstacji trakcyjnych, lecz również z większą niż obecnie obciążalnością sieci trakcyjnej.

W celu zapewnienia stabilnej pracy na sieciach o małej mocy zainstalowanej wymaga się stosowania urządzenia, które automatycznie dopasowuje pobór prądu do wielkości napięcia w sieci. Na rysunku 3 przedstawiona jest charakterystyka takiego urządzenia. Na liniach o małej mocy zainstalowanej wymagane jest również urządzenie do nastawienia ograniczenia maksymalnego prądu pobieranego przez pociąg, którego wielkość będzie deklarowana przez zarządcę infrastruktury w rejestrze infrastruktury.



Rys. 3. Charakterystyka urządzenia ograniczającego pobór prądu w zależności od poziomu napięcia sieci; dla systemu 3 kV DC:  $U_{min2} = 2000$  V,  $a = 0,9$ ,  $U_{max2} = 3900$  V

Norma EN 50388 w punkcie 8 oraz dodatku B wprowadza wskaźnik jakości napięcia zasilania  $U_{mean\ useful}$  (napięcie średnie użyteczne), który ma służyć do oceny projektu systemu zasilania. Wskaźnik ten jest obliczany metodą symulacyjną, dla określonej strefy i pociągów, przy rozkładzie jazdy odpowiadającym szczytowemu obciążeniu. Napięcie na pantografie każdego pociągu w danej strefie jest analizowane w kroku symulacji, który powinien być tak dobrany, aby uwzględnić wszystkie zdarzenia zachodzące w rozkładzie jazdy. Wskaźnik ten może być weryfikowany odpowiednio przeprowadzonymi pomiarami. Średnie napięcie użyteczne jest opisane zależnością:

$$U_{mean\ useful} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} U p_i |I p_i| dt \right)}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} |I p_i| dt \right)}$$

gdzie:

$T_i$  – okres całkowania lub analizy dla pociągu o numerze  $i$ ,  
 $n$  – liczba pociągów branych pod uwagę w symulacji.

Dla systemów AC:

$U p_i$  – chwilowe napięcie skuteczne o częstotliwości zasilania na pantografie pociągu o numerze  $i$ ,

$|I_{p_i}|$  – moduł wielkości skutecznej prądu o częstotliwości zasilania przepływającego przez pantograf pociągu o numerze  $i$ .

Dla systemów DC:

$U_{p_i}$  – chwilowe napięcie średnie na pantografie pociągu o numerze  $i$ ,

$|I_{p_i}|$  – moduł chwilowej wielkości średniej prądu stałego przepływającego przez pantograf pociągu o numerze  $i$ .

Minimalne wymagane wielkości tego napięcia przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4

### Minimalne wielkości napięć średnich użytecznych

System zasilania	Linie TSI dużych prędkości	Linie konwencjonalne TSI i linie klasyczne
	Strefa i pociąg	
25 kV 50 Hz	22 500	22 000
15 kV 16,7 Hz	14 200	13 500
3 kV DC	2800	2700
1,5 kV DC	1300	1300
750 kV DC	Nie dotyczy	675

Kolejny punkt zawiera informację o rodzajach systemów zasilania w zależności od typu linii oraz prędkości. Natomiast w punkcie 10 i dodatku C znajdują się informacje o przepięciach, harmonicznych oraz innych zakłóceniach powstających w układzie zasilania, pojeździe trakcyjnych oraz w wyniku współpracy tych dwóch części systemu kolejowego. W punkcie tym została szczegółowo przedstawiona procedura określania kompatybilności między układem zasilania i pojazdem trakcyjnym. Za pomocą tej procedury określa się oddziaływanie nowego typu pojazdu trakcyjnego lub nowego urządzenia będącego elementem infrastruktury kolejowej przy uwzględnieniu rozwiązań technicznych oraz parametrów istniejącej infrastruktury i pojazdów. Punkt ten uzupełniany jest przez dodatek D, w którym zawarto parametry układów zasilania w systemach AC i DC oraz charakterystyki pojazdów trakcyjnych. Na wniosek strony polskiej dodatek ten został uzupełniony o parametry urządzeń wygładzających stosowanych w podstacjach trakcyjnych na terenie Polski.

Wymagania w zakresie koordynacji zabezpieczeń zawarte są w punkcie 11. Norma EN 50388 określa maksymalny prąd zwarcia do szyny (50 kA dla systemu 3 kV DC) oraz zasady, według jakich powinny być wyzwalane wyłączniki na podstacji i jednostce trakcyjnej w przypadku zwarcia. Wymagania dotyczące sposobu wyzwalania wyłączników na podstacji i taborze nie określają kolejności wyzwalania ani zależności między poziomami wyzwalania. W przypadku systemu 3 kV DC zaleca się jedynie, aby w razie dużego prądu zwarcia jako pierwszy wyzwaliał wyłącznik na podstacji, tak aby uniknąć wyłączenia zwarcia przez wyłącznik jednostki trakcyjnej. Zapis ten ma za zadanie umożliwić

wjazd na linii TSI taboru jeszcze eksploatowanego starego typu, wyposażonego w wyłączniki szybkie o niewystarczającej zdolności wyłączania prądów zwarcia.

W normie został wprowadzony zapis poparty przez stronę polską, aby nowe i modernizowane pojazdy trakcyjne były wyposażane w wyłączniki o zdolności wyłączania maksymalnych prądów zwarcia w jak najkrótszym czasie. Dzięki temu zaleceniu, po pewnym czasie, w miarę wymiany taboru na nowy i modernizacji już istniejącego, będzie możliwe wprowadzenie do kolejowych systemów zasilania selektywności wyłączania prądów zwarcia, czyli skutecznego zadziałania wyłącznika zainstalowanego w miejscu powstawania zwarcia.

Problem doboru odpowiednio szybkiego wyłącznika w pojeździe trakcyjnym jest szczególnie ważny w systemach zasilania prądu stałego. Najskuteczniejszym wyłącznikiem, także z punktu widzenia ochrony urządzeń w pojeździe, jest wyłącznik o czasie działania krótszym od wyłącznika podstacyjnego. Oferta takich wyłączników na światowym rynku jest jeszcze bardzo ograniczona. W Polsce w takie wyłączniki jest już wyposażonych ponad 200 zespołów trakcyjnych i 6 lokomotyw.

Kolejny punkt normy EN 50388 poświęcony jest hamowaniu rekuperacyjnemu. W punkcie tym podano ogólne wymagania dla pojazdów trakcyjnych i układu zasilania w tym zakresie oraz informację o możliwości hamowania rekuperacyjnego w poszczególnych krajach w określonych systemach. Na wniosek polskich specjalistów w punkcie tym znajdują się również informacje dotyczące Polski.

Dwa ostatnie punkty dotyczą badań pojazdów trakcyjnych i układu zasilania. Podano w nich, które z badań powinny być wykonane odpowiednio dla pojazdu trakcyjnego i układu zasilania oraz sposób ich przeprowadzenia.

Norma EN 50388 kończy się dodatkiem E zawierającym szczegółowe warunki krajowe dla Szwecji, Norwegii i Wielkiej Brytanii oraz dodatkiem ZZ informującym, że norma ta jest zharmonizowana z dyrektywą 96/48/WE. Oznacza to, że spełnienie wymagań zawartych w tej normie zapewnia zgodność z wymaganiami tej dyrektywy.



#### Literatura

- [1] Czarnecki R., Rojek A.: *Prace normalizacyjne w dziedzinie systemów zasilania trakcji elektrycznej*. XI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2004, Zakopane 2004.
- [2] EN 50367:200X *Railway applications – Current collection systems – Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)*.
- [3] EN 50388:2005 *Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability*.