

Kryteria, standardy techniczne oraz zagadnienia jakości energii elektrycznej w projektowaniu układów zasilania elektroenergetyki kolejowej systemu 3 kV

Analiza warunków funkcjonowania zelektryfikowanej linii kolejowej dla założonej prognozy przewozowej wymaga opracowania możliwych wariantów ruchowych dla danej linii, które przenoszą się na konkretne warianty rozkładów jazdy:

- **ruch pociągów odbywa się w określonej sekwencji (z określeniem następstw i sekwencji czasowych),**
- **prędkości wjazdu v_w pociągów na odcinek obliczeniowy oraz prędkość maksymalna v_{max} na każdym odcinku są zadane,**
- **zadane są masy pociągów oraz rodzaje i charakterystyki lokomotyw, sposób jazdy uzależnia się od sytuacji ruchowej na trasie i od ograniczeń ze strony układu zasilania.**

Podobnie zakłada się warunki w odniesieniu do układów zasilania elektrotrakcyjnego: przyjmuje się wariantowo możliwe schematy zasilania, odległości między podstacjami i kabinami sekwencyjnymi, wyposażenie podstacji (typy zespołów), przekroje sieci trakcyjnej. Przygotowując warianty do analizy, należy na tym etapie uwzględnić techniczną możliwość realizacji przyjmowanych wariantów [3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16]:

- warunki zasilania ze strony elektroenergetyki zawodowej (odległości od rozdzielni, linii SN i WN, możliwość przyłączenia, zdolności przesyłowe),
- warunki terenowe (miejsce na prowadzenie linii, postawienie podstacji),
- możliwość dowieszenia przewodu jezdnego lub wzmacniającego.

Jako wariant odniesienia zwykle przyjmowana jest opcja zerowa (W0) – „nic nie robić”. Nie oznacza ona braku jakichkolwiek działań i interwencji w urządzeniu infrastruktury, ale w praktyce oznacza „rehabilitację” linii (odtworzenie stanu, na jaki linia była projektowana, z uwzględnieniem wówczas wymaganych standardów). Dalsze warianty rozwiązań powinny uwzględniać wstępnie preselekcjonowane

opcje (klasy) rozwiązań modernizacyjnych. Zasadniczo powinno być ich przynajmniej dwie (WI i WII), aby była możliwość wyboru. Modernizacja linii pod kątem dostosowania do nowych wymagań ruchowych (prędkości, mas, częstości kursowania, nowego taboru) jednocześnie narzuca nowe standardy, które powinny być spełnione przez zmodernizowany układ zasilania elektrotrakcyjnego.

W ostatnich latach obserwuje się istotny wzrost zainteresowania zagadnieniami jakości energii elektrycznej. Wynika to z kilku powodów, m.in.: wprowadzania do użytkowania urządzeń wrażliwych na zakłócenia zasilania oraz rozwoju urządzeń przekształtnikowych, które takie zakłócenia generują. Ponadto energia elektryczna, jej produkcja i przesył ma być poddana warunkom funkcjonowania wolnego rynku, co oznacza, że nie będą nam grozić stopnie zasilania i planowe wyłączenia odbiorców, jak w latach osiemdziesiątych, ale że producent i dystrybutor energii będzie musiał znaleźć odbiorcę na energię, której już jest nadprodukcja. W takiej sytuacji można skupić zatem większą uwagę na wymaganiach nie tyle ilościowych, co jakościowych dostarczanej energii, które można sklasyfikować w sposób następujący:

- a) niezawodność (częstotliwość długo- i krótkotrwałych przerw w dostawie energii elektrycznej);
- b) jakość dostarczanej energii: częstotliwość, zmiany napięcia (wahania szybko- i wolnozmiennie), występowanie stanów przejściowych, harmoniczne, współczynnik mocy, asymetria w układach trójfazowych;
- c) obsługa odbiorców: czas reakcji na zakłócenia w dostawie energii, czas naprawy (wznowienia dostaw), wyłączenia planowe.

W wielu krajach, także i w Polsce, wprowadzane są przepisy normatywne i wykonawcze, które określają wymagania dotyczące kryteriów, jakie powinna spełniać dostarczana przez operatora publicznej sieci energia elektryczna oraz jakie są wymogi przyłączenia odbiorcy do sieci publicznej [25, 26, 27, 28]. Zagadnienia ta są również bardzo istotne w odniesieniu do systemu trakcji elektrycznej, ze względu na fakt, że elektroenergetyka trakcyjna stanowi jednocześnie odbiorcę energii, jak i operatora dostarczającego energię do pojazdów.

Założenia do analiz efektywności technicznej

Analiza techniczna efektywności rozpatrywanych wariantów określa warunki spełnienia założonych standardów technicznych, układu zasilania, spadki napięć i sprawności dla przyjętych konfiguracji obwodów. Przyjęcie omówionych założeń, dotyczących ruchu pociągów i konfiguracji układu zasilania, pozwala na ocenę pracy układu zasilania w godzinach szczytowego ruchu i odpowiada warunkom przyjmowanym do wymiarowania urządzeń układów w procesie projektowania.

W normalnych warunkach eksploatacji linii przyjmuje się założenia dotyczące wartości prędkości technicznych jazdy pociągów (na linii lub odcinku linii) i dla takich prędkości przeprowadza się obliczenia podstawowych parametrów energetycznych.

W sytuacjach awaryjnych lub poawaryjnych układu zasilania, kiedy mogą wystąpić spiętrzenia ruchu na odcinkach o ograniczonej zdolności zasilania (uszkodzenia zasilacza, podstacji lub kabiny sekcyjnej), na ogół zakłada się prowadzenie ruchu z ograniczeniami dotyczącymi pobieranej mocy (prędkości jazdy), z założeniem, że ewentualne opóźnienia będą nadrobione na odcinkach, gdzie układ zasilania jest nieuszkodzony. W takim przypadku dla tej części linii należy przyjąć założenie o forsownym sposobie jazdy pociągów i układ zasilania powinien zapewnić zapotrzebowanie energetyczne dla takich warunków pracy linii.

Uzasadniony jest pogląd, że nie należy przyjmować założenia dotyczącego możliwości prowadzenia ruchu bez ograniczeń dla stanów pracy awaryjnej układu zasilania (w odniesieniu do uszkodzonych elementów), ponieważ wymagałoby to stuprocentowego rezerwowania wszystkich urządzeń zasilających [4]. Wystarczające jest zwykle zapewnienie spełnienia zasady utrzymania ciągłości ruchu z określeniem priorytetów przejazdu dla poszczególnych pociągów. Jednakże dla linii wymagającej najwyższej niezawodności i spełnienia najwyższych standardów (oznaczona jako linia typu I) stosuje się zwykle zasadę rezerwowania: $(n-1)$. Oznacza to, że uszkodzenie jednej z podstacji trakcyjnych nie powoduje konieczności wprowadzenia jakichkolwiek ograniczeń ruchowych ze względu na układ zasilania nawet dla godzin szczytowego ruchu (planowanego). W typowych warunkach jest to wymóg bardzo restrykcyjny i w przypadku linii wymagających tylko spełnienia wysokich standardów (linia typu II) wydaje się być wystarczające zapewnienie prowadzenia w warunkach awarii ruchu z możliwością nadrobienia opóźnień pociągów na następnych odcinkach, co jest uwarunkowane określoną rezerwą uwzględnioną w rozkładowym czasie przejazdu. W przypadku linii typu III, wystarczające będzie w warunkach awarii jednej z podstacji zapewnienie ciągłości prowadzenia ruchu z ograniczeniami (prędkości, częstości kursowania) wynikającymi z ograniczeń w dostawie mocy.

Kryteria i standardy techniczne

W ocenie efektywności technicznej rozwiązań wariantowych układu zasilania należy określić warunki i parametry pracy układu zasilającego linię w stanach awaryjnych, jak też wpływ tych stanów na ograniczenia ruchu.

Wymiarowanie parametrów elementów, jak: przekrój sieci jezdnej, przekroje kabli zasilających i powrotnych, nastawy wyłączników szybkich, typy i klasy przeciążalności zespołów prostownikowych, długości, przekroje i napięcia linii zasilających powinno być dokonywane z uwzględnieniem zapasu (rezerwy) w celu umożliwienia przenoszenia większych mocy w stanach awaryjnych innych urządzeń układu zasilania.

Niezależnie od wymagań dotyczących pracy układu zasilania w warunkach awaryjnych, konfiguracja układu i moce zainstalowane powinny zapewnić możliwości dokonywania wyłączeń operacyjnych koniecznych ze względu na okresowe przeglądy, konserwacje, kalibracje itp.

Wymagania napięciowe

w odniesieniu do linii z ruchem prowadzonym z wykorzystaniem nowoczesnego taboru dużej mocy

Układy sterowania nowoczesnego taboru z napędem asynchronicznym umożliwiają utrzymanie zadanej prędkości jazdy (o ile pozwala na to profil trasy, moc i napięcie w sieci trakcyjnej). Dla tego typu lokomotyw krzywa sprawności w funkcji prędkości i mocy według deklaracji producentów nie przekracza jednak 88% (E412, ETR460).

Uwzględniając również należy zaleźność charakterystyk trakcyjnych lokomotyw od napięcia (zgodnie z deklaracją producentów). Poziom napięcia 2800 V, jako wymagany dla prowadzenia ruchu szybkich pociągów, mimo dopuszczalnego na PKP poziomu 2100 V (wg normy EN50163 dopuszczalne minimalne długotrwałe napięcie w sieci trakcyjnej wynosi 2000 V), został przyjęty za w kontekście doświadczeń specjalistów kolei zachodnio-europejskich i zgodnie z zaleceniami UIC (wynika to z warunków pracy nowoczesnego taboru dużej mocy, jak i sprawności przesyłu energii przy obniżonym napięciu) oraz z faktu objęcia linii magistralnych, na których będzie prowadzony ruch tego typu taborem umowami AGC. Poziom napięcia 2800 V zalecany jest również w cytowanych „Standardach ...” przyjętych przez PKP [12].

Kryteria techniczne w odniesieniu do układów zasilania elektrotrakcyjnego 3 kV prądu stałego

Kryteria w odniesieniu do systemu zasilania prądu stałego dotyczą obwodów od prostowników zainstalowanych w podstacjach trakcyjnych, aż do pantografu lokomotywy. Efektywność techniczna zastosowanego układu zasilania jest podstawowo oceniana w zależności od spełnienia poniższych warunków:

- spadki napięcia w sieci zasilającej prądu stałego są na tyle małe, że nie mają znaczącego wpływu na prędkość ruchu pociągów,
- spełnione są warunki wymaganego napięciowego zasilania taboru,
- nie zostaną przekroczone w żadnym z elementów układu zasilania (urządzeniach zasilania) dopuszczalne poziomy obciążenia zarówno długo-, jak i krótkotrwałych,
- zapewnione jest bezpieczeństwo użytkowania (identyfikacja zwarć) oraz niezawodność (tak po stronie zasilania elektroenergetycznego jak i po stronie prądu stałego),
- układ pozostaje otwarty na zwiększenie ruchu (możliwość rozbudowy przy dalszym zwiększaniu się przewozów z wykorzystaniem dotychczasowych etapów modernizacji) oraz istnieje możliwość etapowania modernizacji w zależności od stopnia wzrostu ruchu, aż do osiągnięcia ruchu docelowego przewidzianego w prognozie.

Wymagania UIC

Karta UIC 795 z 01.07.1996 r., traktowana jako obligatoryjna, nakłada określone wymagania na układy zasilania w zależności od systemu zasilania i kategorii linii zdefiniowanej we wspomnianej fiszce. W odniesieniu do linii PKP dotyczyć to będzie systemu 3 kV prądu stałego i linii kategorii III (maksymalna prędkość 250 km/h) oraz kategorii IV (maksy-

malna prędkość 200 km/h). Do kategorii linii III i IV zaliczyć można jedynie linię CMK (oznaczoną jako linia typu I, wymagająca spełnienia najwyższych standardów) i do niej odnosić się też będą wymagania dotyczące mocy zainstalowanej w układach zasilania, które dla mocy szczytowej pojedynczego pociągu $6 \div 10$ MW o prędkości do 200 km/h (następstwo pociągów co $3 \div 5$ min) określone są na poziomie $0,5 \div 0,6$ MVA/km. Dla prędkości do 250 km/h nie została zadeklarowana w wymienionej Karcie UIC wartość wymaganej mocy zainstalowanej dla ciągników o mocy mniejszej niż 10 MW, należy zatem przyjąć wymagania takie, jak dla prędkości do 200 km/h.

Związek między wymaganą mocą zainstalowaną a następstwem pociągów podany został jako:

$$P_t = P_3 \frac{3}{t} \quad [\text{MVA}] \quad (1)$$

gdzie:

P_t – wymagana moc zainstalowana dla następstw pociągów co t min,

P_3 – podana w fiszce UIC wymagana moc zainstalowana dla czasu następstw pociągów co 3 min.

W odniesieniu do poziomu użytecznego napięcia na pantografie jednym z kryteriów jest wartość napięcia V , którego sposób liczenia został zdefiniowany poniżej, a podany jako kryterium w fiszce UIC, która odnosi się do standardów technicznej funkcjonalności dla europejskich szybkich linii kolejowych, a które należy uwzględnić w ocenie układu zasilania linii o międzynarodowym znaczeniu:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{n^{\text{train}}} \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} V_{\text{PANTOI}i} \cdot I_{\text{PANTOI}i} \cdot dt}{\sum_{i=1}^{n^{\text{train}}} \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} I_{\text{PANTOI}i} \cdot dt} \quad (2)$$

gdzie:

$I_{\text{PANTOI}i}$ – prąd i -tego pociągu,

$V_{\text{PANTOI}i}$ – napięcie na pantografie i -tego pociągu,

T_i – czas jazdy i -tego pociągu.

Kryterium to, różniące się w sposobie liczenia napięcia od typowego liczenia wartości średniej tym, że nakazuje wyliczać napięcie z wartości całki mocy chwilowej, podzielonej przez średni prąd, jest praktycznie możliwe do wykorzystania tylko przy stosowaniu technik symulacyjnych [4, 16, 17]. Tego typu podejście zwiększa wagę poziomu napięcia w czasie poboru prądu, co jest uzasadnione wpływem wartości napięcia w sieci na parametry trakcyjno-ruchowe pojazdów trakcyjnych, zwłaszcza dużej mocy.

Rozkład napięcia w sieci trakcyjnej

Drugim proponowanym w pracach [4, 16, 18] do zastosowania kryterium, odnoszącym się do warunków napięciowych w sieci trakcyjnej, jest rozkład poziomów napięć na pantografach pociągów na odcinku. Przewidywane w pro-

gnozie ruchowej nowe ciągniki typu E412 (oznaczenie PKP EU43/EU11), wyposażone w silniki asynchroniczne, mają dopuszczalny minimalny poziom napięcia, przy którym mogą prowadzić ruch z pełną mocą wynoszący 2800 V. Przy niższym napięciu występuje redukcja mocy. Dlatego rozkład napięć poniżej wartości 2800 V na analizowanym odcinku może stanowić kryterium adekwatności układu zasilania do przesyłu wymaganej mocy. W celu uzyskania lepszego obrazu warunków napięciowych, przeprowadza się analizę rozkładu wartości chwilowych napięć na analizowanym odcinku z podaniem udziału występowania poszczególnych wartości napięć, w tym udziału napięcia poniżej wartości znamionowej 3000 V i poniżej napięcia 2800 V, jak również występujących napięć minimalnych.

Charakterystyki lokomotywy E412 oraz pociągów typu Pendolino ETR460 9- i 6-wagonowych pozwalają na jazdę przy obniżonym napięciu w stosunku do wartości znamionowej 3 kV. Taki reżim pracy taboru wpływa ujemnie na dynamikę ruchu w warunkach przyspieszania, bowiem ruch odbywa się z ograniczeniem mocy [4,17].

Z lokomotyw aktualnie eksploatowanych przez PKP jedynie lokomotywa EP09 pozwala na rozwinięcie prędkości do 160 km/h. Jednakże ograniczeniem w osiągnięciu tej prędkości jest poziom napięcia na pantografie. Niskie napięcie (poniżej 2,8 kV) przy występującym znacznym profilu poziomym trasy może stanowić ograniczenie w osiągnięciu zadanych prędkości [16].

Kryterium dostawy wymaganej mocy z podstacji trakcyjnych do pojazdów

Układ zasilania musi zapewnić nie tylko dostawę wymaganej mocy, lecz również odpowiedniej jakości poziom napięcia, sprawność oraz ciągłość dostawy. Oznacza to, że wymagana moc musi być nie tylko dostarczona do pojazdu (układ zasilania musi być zwymiarowany tak, aby nie nastąpiło przeciążenie poszczególnych urządzeń i instalacji), lecz również z określonym rezerwowaniem.

Kryterium dopuszczalnej obciążalności zespołów prostownikowych

W warunkach założonej normalnej, jak i awaryjnej pracy układu zasilania zespoły prostownikowe, wymiarowane typowo w klasie III lub VI przeciążalności nie powinny zostać przeciążone [24]. W warunkach eksploatacyjnych obciążalność zespołów może być kontrolowana przez zastosowania specjalnych układów pomiaru, kontroli i sterowania ich pracą.

Kryterium obciążalności (nagrzewania sieci trakcyjnej)

Obliczone w stanach normalnych i awaryjnych prądy zastępcze sieci trakcyjnej (lub przyrosty temperatury przewodów) nie mogą przekraczać dopuszczalnych wartości [4, 24]. Zwykle dobór przekroju sieci trakcyjnej wynika z kryterium identyfikacji zwarć minimalnych lub dopuszczalnych spadków napięć i tak przyjęty przekrój zapewnia wymaganą obciążalność sieci.

Kryterium wyłączalności prądów zwarć

Zapewnienie wyłączalności zwarć, zwłaszcza w warunkach awaryjnych, stanowi istotne ograniczenie, mogące limitować zdolności przesyłowe energii w układzie zasilania i wymagać zmiany jego konfiguracji (zmniejszenie odległości między podstacjami, czy zwiększenie przekroju sieci jezdnej). Jest to szczególnie istotne przy wzroście mocy ciągników dla odcinków o dużych odległościach między podstacjami trakcyjnymi, gdy prądy chwilowe zasilaczy przekraczać mogą minimalne prądy zwarcia.

Kryterium prawidłowej współpracy z zasilającym systemem elektroenergetycznym

Wprowadzone Prawo Energetyczne porusza m.in. problem jakości energii elektrycznej dostarczanej do odbiorców z sieci elektroenergetycznej. Narzuca wymagania, by operatorzy sieci (zakłady energetyczne) dostarczali do odbiorców energię o odpowiedniej jakości. Istotnymi parametrami są: *dopuszczalny poziom odkształceń nieliniowych* (THD – total harmonic distortion), jak też *dopuszczalne wahania obciążenia* (ze względu na niespokojność odbioru). Należy jednak zwracać szczególną uwagę na prawidłowość sformułowania przepisów wykonawczych tak, aby w sposób precyzyjny i jednoznaczny określały kryterium jakiego dotyczy. Istotne jest również, że w PrPN-EN 61000-2-4 podano, że poziomy kompatybilności we wspólnym punkcie przyłączenia z siecią (PCC) mogą być określone przez dostawcę energii elektrycznej.

Wyższe harmoniczne w sieci elektroenergetycznej zasilającej prostownikowe podstacje trakcyjne

Zainstalowane w PT prądu stałego prostowniki są elementami nieliniowymi dużej mocy, pobierającymi z systemu elektroenergetycznego prąd odkształcony, co wywołuje z kolei odkształcenie napięcia w liniach zasilających. Jest to szkodliwe z punktu widzenia jakości energii dostarczanej do innych odbiorców wrażliwych na zasilanie napięciem odkształconym, może również powodować wystąpienie rezonansów w odcinkach sieci z przyłączonymi bateriami kondensatorów do kompensacji mocy biernej.

Największy wpływ na wielkość odkształcenia mają:

- wartość mocy zwarciowej na szynach zasilającego systemu elektroenergetycznego;
- typy zespołów prostownikowych (widmo harmonicznego prądu zależy od liczby faz zespołu prostownikowego według wzoru:

$$n = m \cdot p \pm 1 \quad (3)$$

gdzie:

n – rząd harmonicznej prądu,

m – liczba faz zespołu prostownikowego,

$p = 1, 2, \dots$

W zależności od stosunku mocy zwarciowej na szynach SN do mocy szczytowej 15-minutowej pobieranej przez podstację trakcyjną można oszacować spodziewane wartości odkształceń napięcia na szynach transformatora WN/SN w GPZ.

Przepisy i standardy

W obowiązującym do października 2000 r. rozporządzeniu [26] w rozdziale 7 §37.3 podano jako standard jakościowy: „współczynnik odkształcenia napięcia w miejscach przyłączenia nie większy od 1,5%, a zawartość poszczególnych wyższych harmonicznych nie może przekraczać 1% harmonicznej podstawowej”, bez podania o jaki punkt przyłączenia chodzi (na poziomie SN czy WN) powodowało znaczne kontrowersje i problemy interpretacyjne dla odbiorców, szczególnie elektrotrakcyjnych.

Według normy EN 50160 dla poziomu SN dopuszczalną wartością *współczynnika odkształcenia napięcia* (THD) jest 8%, a zatem można było domniemywać (opierając się na tej normie), że wartość 1,5% podana w cytowanym wcześniej rozporządzeniu [26] odnosiła się to do poziomu WN. Jednakże w wielu publikacjach omawiających Prawo Energetyczne i wynikające z niego kryteria jakościowe, np. [23] nie zwrócono uwagi na tę niejasność kryterium i niezgodność z wymienioną normą, podając tylko jako dopuszczalną wartość THD w punkcie wspólnego przyłączenia 1,5%. Stąd nie dziwiło pewnego rodzaju zaskoczenie w kręgach specjalistów od elektroenergetyki trakcyjnej oraz obawy czy aktualnie eksploatowane podstacje trakcyjne będą w stanie sprostać tym wymaganiom. W efekcie taka rygorystyczna interpretacja przepisów mogła doprowadzić do wniosków i zaleceń, by projektować podstacje z zespołami 18- czy 24-pulsowymi, czy też nawet instalować filtry w.h. od strony zasilania podstacji napięciem przemiennym. W oparciu o doświadczenia z prac naukowo-badawczych i pomiarów w warunkach eksploatacyjnych należało jednak trochę uspokoić eksploatatorów podstacji trakcyjnych. Jeśli dokonalibyśmy pomiarów po stronie zasilania linią SN podstacji trakcyjnej (przy odłączonych zespołach prostownikowych) [10], to zapewne okazałoby się, że napięcie przychodzące z sieci elektroenergetycznej (bez odbioru trakcyjnego) tego kryterium nie spełnia, a wartość współczynnika THD jest większa niż 1,5%. Zatem nieracjonalne było wymaganie od odbiorcy, by spełnił wymóg, którego nie spełnia dostawca. Czyżby miałyby być tak, że wybrany odbiorca eliminuje odkształcenia dochodzące do niego z sieci, a pochodzące od innych odbiorców? Zapewne nie, a zatem należało raczej przyjąć jako wartość dopuszczalną odkształceń THD w punkcie wspólnego przyłączenia na poziomie SN – 8%, wartość 1,5% odnosząc do poziomu WN (110 kV), dla którego – jak wykazały przeprowadzone przez Zakład Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej pomiary w PT Huta Zawadzka (gdzie zastosowano pierwsze na PKP prostowniki z transformacją 110 kV AC/3 kV DC) – kryterium to z pewnością nie będzie przekraczane.

Dlatego dobrze się stało, że nowo wprowadzone rozporządzenie [28] z dnia 25.09.2000 r. zmieniło krytykowane rozporządzenie [26]. I tak w rozdziale 6 rozporządzenia [28] podane „Standardy jakościowe obsługi odbiorców” określają, że „o ile strony nie ustaliły w umowie sprzedaży standardów jakościowych energii elektrycznej”, to obowiązują następujące dopuszczalne wartości dotyczące harmonicznego

napięcia dla miejsc przyłączenia w sieci o napięciu znamionowym:

- nie wyższym niż 110 kV i wyższym niż 30 kV: współczynnik odkształcenia napięcia 2,5%, a zawartość poszczególnych harmonicznnych odniesionych do harmonicznnej podstawowej 1,5%,
- nie wyższym niż 30 kV i wyższym niż 1 kV: współczynniki odkształcenia napięcia 5,0%, a zawartość poszczególnych harmonicznnych odniesionych do harmonicznnej podstawowej 3,0%.

Nie podano jednak, jak należy obliczać czy mierzyć wartość współczynników odkształceń napięcia. Można tu zapewne wykorzystać zalecenia IEC i PrPN-EN 50160. Według IEC i PrPN-EN 50160 w normalnych warunkach pracy, w czasie każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych dla każdej harmonicznnej napięcia powinno być mniejsze lub równe wartościom podanym w tabelicy 1, a maksymalne chwilowe wartości współczynnika (nie przekraczały dwukrotnej wartości v_{pd}). Wymaga to jednak stosowania specjalizowanych mierników.

Ponadto należy podkreślić, że dla poziomu napięcia średniego zalecenia PrPN-EN 50160 są bardziej łagodne, jako że współczynnik odkształcenia THD napięcia zasilającego (uwzględniający wszystkie harmoniczne, aż do wartości 40) dopuszcza się mniejszy lub równy 8%, a poszczególne harmoniczne nie powinny przekraczać wartości podanych w tabelicy 1.

Ponieważ Prawo Energetyczne ma chronić odbiorców przed tego typu zakłóceniami, należy się spodziewać, że zakłady energetyczne zwrócą baczniejszą uwagę na odbiorców takich, jak trakcja elektryczna, wprowadzających do systemu elektroenergetycznego znaczne zakłócenia, a może się okazać że i wartości dopuszczalne, szczególnie dla SN, mogą nie zostać dotrzymane. Spowodować to może zwiększenie opłat ponoszonych przez służbę energetyczną PKP za pobieraną energię (np. w postaci dodatków czy specjalnych taryf za wprowadzane zakłócenia, tak jak np. za pobieraną energię bierną, konieczność dodatkowych inwestycji w dziedzinie energetyki PKP, czy sieci zasilającej, w skrajnych przypadkach nawet odszkodowań dla odbiorców zasilanych z tej

samej co PKP sieci energetycznej za poniesione na skutek tych zakłóceń straty).

W literaturze podawano [4, 24], że w przypadku zainstalowania w podstacji trakcyjnej zespołów prostownikowych 6-pulsowych stosunek mocy zwarciowej w punkcie przyłączenia na poziomie S_n do mocy szczytowej nie powinien być mniejszy niż 50, natomiast przy stosowaniu prostowników 12-pulsowych – 20. Są to wartości szacunkowe i należy je traktować jako minimalne. W przypadku występowania innych urządzeń zakłócających poziom mocy zwarciowej zasilającego punktu powinien być jeszcze większy. Dużą rolę odgrywają też baterie kondensatorów, czy elementy o parametrach pojemnościowych (jak kable energetyczne). Należy jednak stwierdzić, że podane kryteria praktycznie nie będą spełniane przez prostowniki 6-pulsowe.

Zmniejszenie odkształceń uzyskać można poprzez stosowanie prostowników wielofazowych, zwiększanie mocy zwarciowej zasilających podstacje trakcyjną transformatorów, wydzielenie transformatora w GPZ-cie wyłącznie na potrzeby PKP, czy transformację jednostopniową. Dwa ostatnie rozwiązania powodują, że wspólny punkt przyłączenia podstacji trakcyjnej do zasilającego systemu elektroenergetycznego znajdzie się na poziomie 110 kV, co gwarantuje znacznie wyższą moc zwarciową, a zatem mniejszy poziom odkształceń. Stosowanie wydzielonego transformatora i podwójnej transformacji może okazać się nie tylko bardziej kosztowne niż transformacja jednostopniowa, ale będą również gorsze parametry energetyczne takiego układu zasilania niż zasilania z transformacją jednostopniową [9, 13]. Zaproponowane rozwiązania powinny jednak być nie tylko uzasadnione, racjonalne technicznie, lecz również efektywne ekonomicznie.

Wahania napięcia w sieci zasilającej podstacje trakcyjne

Szybkie zmiany obciążenia podstacji trakcyjnej (rozruch rezystorowy, odłączenie poboru prądu przez pojazdy trakcyjne itp.) mogą być odczuwalne przez innych odbiorców przyłączonych do tej samej co podstacja trakcyjna linii SN jako znaczne wahania napięcia. Zjawisko to może być szczegól-

Tablica 1

Wartości poszczególnych harmonicznnych napięcia na złączu sieci elektroenergetycznej odbiorcy (NN i SN) dla rzędów do 25 wyrażone w procentach U_n (wg PrPN-EN 50160)

Nieparzyste harmoniczne				Parzyste harmoniczne	
Nie będące wielokrotnością 3		Będące wielokrotnością 3			
Rząd n	Wartość względna napięcia [%]	Rząd n	Wartość względna napięcia [%]	Rząd n	Wartość względna napięcia [%]
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 ÷ 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

nie zauważalne przy małych mocach zwarciovych zasilającego systemu elektroenergetycznego. Są kryteria określające maksymalną dopuszczalną procentową zmianę napięcia ΔU w warunkach powtarzalności wyrażoną w częstości f [cyklach zmian na minutę]. Wymagania dla sieci 110 kV i rozdzielczych w Polsce określają, że zapady napięcia ΔU nie powinny przekraczać:

□ w sieciach 110 kV:

- 1–2% przy częstości w zakresie od 30/min do 3/min,
- 2% przy częstości w zakresie od 3/min do 0,1/min,

□ w sieciach SN:

- 1–2% przy częstości w zakresie od 30/min do 3/min,
- 2–3% przy częstości od 3/min do 0,8 /min,
- 3–4% przy częstości w zakresie od 0,8/min do 0,1/min.

Z kolei np. koleje brytyjskie stosują kryterium dotyczące wahań napięcia ΔU wyrażone poniższym wzorem [4, 20]:

$$\Delta U = 1,105 \cdot f^{-0,2275} [\%] \quad (4)$$

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy przebieg wahań napięcia w punkcie wspólnego przyłączenia podstacji trakcyjnej zasilającej linię o maksymalnej prędkości 160 km/h dla dwu wariantów zasilania – z podstacji: z transformatora o mocy 16 MVA (rys. 1a) i 40 MVA (rys. 1b). Jak można zauważyć w przypadku a) występuje przekroczenie kryterium wahań.

Wahania napięcia w danym punkcie zasilającym zależą od amplitudy wahań obciążenia oraz od impedancji punktu zasilającego (czyli jego mocy zwarciowej). Zbyt duże wahania napięcia powodowane pracą podstacji trakcyjnej mogą wymuszać podjęcie podobnych działań, jak w przypadku przekroczenia dopuszczalnej wartości współczynnika odkształceń napięcia THD.

Wymagania jakościowe zasilania podstacji trakcyjnych jako odbiorcy energii z systemu elektroenergetycznego

Podstacja trakcyjna nie tylko dostarcza energię do pojazdów, lecz również jest pełnoprawnym odbiorcą energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej. Podane kryteria opisują wymagania, jakie powinna spełniać energia elektryczna dostarczana przez dostawcę (dystrybutora) do podstacji trakcyjnej.

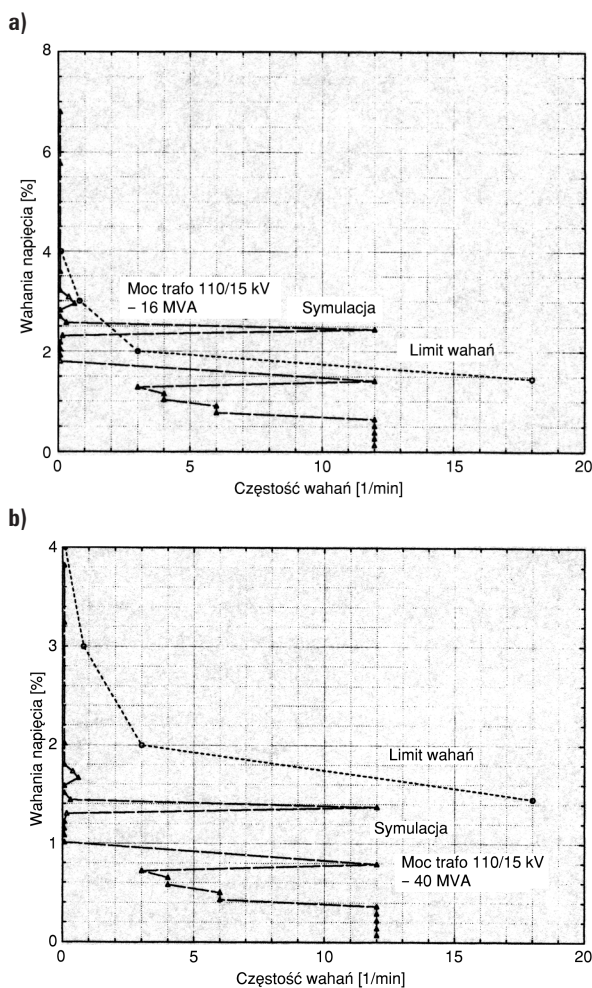
1. Poziom napięcia na szynach SN AC podstacji nie był niższy niż 90% i nie wyższy niż 105% wartości znamionowej, natomiast w sieciach 110 kV nie niższy niż 90% i nie wyższy niż 110% wartości znamionowej [28].

Długie linie zasilające podstację mogą powodować spadki napięcia przekraczające dopuszczalne wartości. Zalecane dopuszczalne długości linii elektroenergetycznych nie powinny być większe niż:

- 4 km linia 15 kV napowietrzna,
- 6 km linia kablowa.

2. Moce zainstalowane w systemie zasilającym i zdolność przesyłowa tego systemu zapewnia dostawę wymaganej przez podstacje trakcyjne mocy ze 100% rezerwowaniem (dwie linie zasilające przyłączone do dwu niezależnych źródeł).

3. Wahania częstotliwości napięcia zasilającego 50 Hz z maksymalnymi odchyleniami $-0,5$ Hz do $+0,2$ Hz [28].



Rys. 1. Wahania napięcia na szynach 15 kV o mocy transformatora w GPZ
a) 16 MVA, b) 40 MVA

4. Zasilające napięcie trójfazowe powinno być symetryczne, gdyż asymetria napięcia zasilającego powoduje wzrost zawartości harmonicznych w prądzie pobieranym przez podstację trakcyjną oraz wystąpienie w napięciu wyjściowym podstacji i w sieci trakcyjnej dodatkowych harmonicznych, co może zakłócać pracę obwodów sterowania i sygnalizacji.

Kryterium 4. należy szerzej omówić, ponieważ ma istotny wpływ na zawartość wyższych harmonicznych w napięciu wyprostowanym. Cytowana wcześniej norma EN 50160 nakłada na sieci elektroenergetyczne wymagania dotyczące dopuszczalnej asymetrii napięć fazowych (liniowych), sformułowane w odniesieniu do współczynnika asymetrii α_{uz} napięć:

$$|\alpha_{uz}| = \frac{|U_n|}{|U_p|} 100\% \quad (5)$$

gdzie:

U_n – wektor składowej symetrycznej przeciwnej,

U_p – wektor składowej symetrycznej zgodnej.

Współczynnik asymetrii w praktyce może zostać obliczony na podstawie zależności:

$$\alpha_{uz} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 + 6\beta}}} \quad (6)$$

gdzie:

$$\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2}$$

(w obliczeniach asymetrii bierze się pod uwagę tylko pierwszą harmoniczną)

W normalnych warunkach pracy, w czasie każdego tygodnia 95% ze zbioru 10-minutowych, średnich wartości skutecznych składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego, powinno zmieścić się w przedziale od 0 do 2% wartości składowej kolejności zgodnej.

Asymetria prądów w systemie elektroenergetycznym w sieci SN często jest skutkiem sumowania obciążeń jednofazowych sieci NN przyłączonych przez transformatory do sieci SN. Nierównomierne obciążenie poszczególnych faz powoduje pobór prądów o różnych wartościach w każdej z faz, różne spadki napięć w liniach i transformatorach, a w efekcie asymetrię napięć. Jest to czynnik decydujący o wielkości asymetrii (pomijając przypadki asymetrii wprowadzanej np. przez podstacje trakcyjne systemu prądu przemienne, który w Polsce nie jest stosowany).

Ponadto źródłem asymetrii o ograniczonym wpływie na współczynnik asymetrii są także linie przesyłowe (nierówne impedancje linii) i transformatory (asymetria strumieni).

Szacunkowo można przyjąć, że do utrzymania współczynnika asymetrii w granicach wartości dopuszczalnych różnice fazowych (liniowych) wartości skutecznych napięć trójfazowych nie powinny być większe niż 2%.

Zmniejszenie asymetrii w zasilającym układzie trójfazowym jest możliwe poprzez:

- racjonalny podział obciążeń jednofazowych w sieciach NN,
- prawidłowe rozwiązania projektowe sieci NN i SN tak, aby nie były przekraczane dopuszczalne spadki napięć (zwłaszcza odbiorów jednofazowych),
- stosowanie urządzeń kompensacyjnych,
- zwiększenie mocy zwarciovych systemu zasilającego.

Wymienione przedsięwzięcia znajdują się w gestii dostawcy energii (zakład energetyczny) i na podstawie:

- wymagań Prawa Energetycznego i przepisów wykonawczych
- warunków technicznych zasilania,
- umowy o dostawę energii

można, w przypadkach zaobserwowanych wystąpienia istotnej asymetrii (lub zjawisk mogących być jej efektem, jak np. uszkodzeń filtrów podstacji, zakłóceń w obwodach sygnalizacji i sterowania, zakłóceń w pracy wrażliwych odbiorników jak komputery, mierniki mikroprocesorowe), co powinno być uzasadnione odpowiednimi pomiarami, podjąć starania wyegzekwowania dostawy energii o parametrach odpowiadających przepisom.

W przypadku asymetrii napięcia zasilającego, w napięciu wyprostowanym pojawiają się niecharakterystyczne harmoniczne o rzędach:

$$n = 2f \cdot i$$

gdzie:

$$i = 1, 2, \dots (n = 100, 200, \dots \text{ Hz}).$$

Jest to szczególnie zauważalne przy małych mocach zwarciovych systemu energetycznego. Występująca wtedy druga harmoniczna może osiągać wartość kilkudziesięciu do kilkuset woltów. Harmoniczne niecharakterystyczne o innych częstotliwościach mogą pojawić się w sieci trakcyjnej na skutek poboru energii przez pojazdy trakcyjne, wyposażone w napędy z rozruchem choperowym z silnikami prądu stałego lub falownikowym z silnikami asynchronicznymi [10].

Podsumowanie

Efektywny układ zasilania zelektryfikowanej linii kolejowej to nie tylko taki, który spełnia określone dla danej linii, a wynikające z jej kategorii i prowadzonego ruchu, warunki techniczne, lecz również jest efektywny finansowo i uzasadniony z ekonomicznego punktu widzenia. Jest to szczególnie istotne w okresie przystosowywania sieci kolejowej Polski do wymogów Unii Europejskiej, z której funduszy współfinansowane są i będą liczne projekty w zakresie infrastruktury transportowej. W tablicy 2 przedstawiono zestawienie wymagań dotyczących układów zasilania w zależności od typu linii [4], z uwzględnieniem uzasadnienia stosowania i rangi poszczególnych kryteriów. Tablica ta została opracowana na podstawie doświadczeń zebranych w trakcie wieloletnich prac naukowo-badawczych i wdrożeniowych (podanych w literaturze) i jest wynikiem kompromisu między dążeniem do uzyskania jak najwyższych parametrów technicznych układu zasilania a celowością ich osiągnięcia.

Prawo Energetyczne i związane z nim przepisy wykonawcze określają, że zelektryfikowana linia kolejowa jako odbiorca energii ma spełniać warunki poboru energii określone w umowie, co narzuca określone wymagania wobec zakładów elektroenergetyki kolejowej. Powinny być to jednak kryteria racjonalne i sformułowane w sposób czytelny i jednoznaczny. Jednocześnie elektroenergetyka kolejowa ma prawo wymagać od dystrybutora przestrzegania standardów dotyczących parametrów dostarczanej energii elektrycznej. Z drugiej strony wymagania te odnoszą się również do elektroenergetyki kolejowej jako operatora na rynku energii. Przy czym należy tu rozróżnić, że występować będą kryteria dla energii zarówno po stronie prądu stałego (w sieci trakcyjnej) – dostarczanej do pojazdów, jak i prądu przemiennego SN i NN – (odbiorcy nietrakcyjne i inni odbiorcy niekolejowi). Może tu się nasuwać pytanie jak traktować odbiorców kolejowych (elektroenergetyczna sieć wewnętrzna – do takich zasadniczo nie stosują się kryteria jakościowe obowiązujące w sieciach publicznych) i jakie stosować wobec nich kryteria? Wymagania jakości energii w odniesieniu do sieci trakcyjnych prądu stałego powinny wynikać z kategorii linii i wymagań taboru, jakim prowadzi się na nich ruch [8, 12]. Należy jednak uwzględnić, że potencjalni operatorzy, którym będą udostępniane linie kolejowe, mogą bardziej ściśle kon-

Tablica 2

Tablica kryteriów do uzyskania efektywnych wariantów układów zasilania elektrotrakcyjnego w zależności od typu linii

Wariant/Kryterium	Linia typu I wymagająca najwyż- szych standardów $V = 200-250$ km/h	Linia typu II wymagająca wysokich standardów	Linia typu III ruch regionalny i aglomeracyjny	Uwagi	
Możliwość dostawy mocy dla prognozowanego ruchu	Podstacje co 12–16 km Sieć 440–540 mm ² Zespoły prostownikowe: 2xPD16 lub 2xPD17/1xPD17	Podstacje co 12–16 km Sieć 320–440 mm ² Zespoły prostownikowe: 2xPD16 lub 2xPD17/1xPD17	Odległość między podstacjami większa niż 20 km Sieć 320 mm ² Zespoły prostownikowe: 2xPD16/2xPD12	Kryterium obowiązujące dla linii wszystkich typów	
Warunki zvarciowe	+	+	+	Kryterium obowiązujące dla linii wszystkich typów	– Ograniczenie dla lokomotyw dużej mocy i ruchu szybkiego
Prowadzenie ruchu bez ograniczeń w stanach awaryjnych, rezerwowanie	+ Przy uszkodzeniu zespołu prostownikowego w podstacji dwuzespołowej – Przy uszkodzeniu podstacji jednozespołowej	+ Przy uszkodzeniu zespołu prostownikowego w podstacji dwuzespołowej – Przy uszkodzeniu podstacji jednozespołowej	– Ograniczenia	Kryterium obowiązujące bez ograniczeń dla linii typu I i II	
Obciążalność zespołów podstacji w stanach normalnych i awaryjnych	+	+	+ W stanach normalnych	Kryterium obowiązujące bez ograniczeń dla linii typu I i II	
Napięcie w sieci trakcyjnej	+ Zgodnie z kryterium UIC	+ Zgodnie z kryterium UIC	– Nie wymagane	Kryterium obowiązujące dla linii typu I i II	
Nagrzewanie sieci trakcyjnej	+	+	+		
Sprawność	+	+	– Nie wymagane	Kryterium wpływające na efektywność pracy i oszczędność zużycia energii	O sprawności decydują odległości między podstacjami i przekrój sieci
Ograniczenie przekraczania mocy zamówionej	– Nie należy stosować wyłączania pracujących zespołów (podstacji) przy przekraczaniu mocy zamówionej	± Niewskazane wyłączanie pracujących zespołów (podstacji) przy przekraczaniu mocy zamówionej	+ Dopuszczalne stosowanie wyłączania zespołu (podstacji) przy przekraczaniu mocy zamówionej	Wyłączenie zespołu (podstacji) powoduje istotne pogorszenie warunków dostawy mocy do pojazdów, jest to niedopuszczalne dla linii typu I	
Współpraca z systemem energetycznym	+ PD17 – PD16	+ PD17 – PD16	–	Kryterium wymagane ze względu na zakłócenia wprowadzane do systemu elektroenergetycznego	
Charakter układu zasilania	+ rozłożony (podstacje pracują z rezerwą $n-1$ w przypadku uszkodzenia podstacji jednozespołowej)	+ rozłożony (podstacje pracują z rezerwą $n-1$ w przypadku uszkodzenia podstacji jednozespołowej)	– zcentralizowany (podstacje o dużej mocy rzadko rozmieszczone)	Wpływa na niezawodność	
Najbardziej znaczący czynnik ograniczenia zdolności przesyłowej przy wzroście ruchu	zwarcia minimalne	zwarcia minimalne	zwarcia minimalne, spadki napięcia, obciążalność podstacji		
Otwartość na wypadek zwiększenia zapotrzebowania na przewozy	+ dobudowa kabin sekcyjnych	+ dobudowa kabin sekcyjnych	+ dodatkowe zasilacze, zmiana konfiguracji zasilania, przekroju sieci trakcyjnej	Przy przewidywaniu wzrostu ruchu	

Oznaczenia w tabeli:

– ocena negatywna,

± rozwiązanie pośrednie (lepsze od –),

+ ocena pozytywna.

trólować spełnienie przez dostawcę energii standardów jakościowych.

Aby być równoprawnym uczestnikiem na rynku energii, przestrzegać i wymagać przestrzegania kryteriów jakościowych, trzeba dysponować środkami technicznymi do przewidywania i prognozowania możliwości dotrzymania standardów tak dostarczanej do odbiorów energii, jak i w punkcie wspólnego przyłączenia podstacji do sieci elektroenergetycznej, zaczynając już na etapie projektowania, a kontynuując w trakcie bieżącej eksploatacji.

Zakład Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej od wielu lat prowadzi prace i badania nad zagadnieniami elektroenergetyki trakcyjnej na podstawie:

- opracowanych metod teoretycznych,
- symulacji komputerowych,
- pomiarów laboratoryjnych,
- pomiarów terenowych w podstacjach trakcyjnych w obwodach prądu stałego i przemiennego.

Zakład dysponuje odpowiednią bazą naukowo-badawczą, sprzętem pomiarowym najnowszej generacji (jak np. układy pomiarowe z separacją światłowodową, czy mierniki analizujące jakość energii elektrycznej dostarczanej do podstacji, jak i zakłócenia wprowadzane przez podstacje do sieci elektroenergetycznej), wykwalifikowaną kadrą pracowników naukowo-dydaktycznych i technicznych oraz doświadczeniem w wykonywaniu badań zarówno w Polsce, jak i we współpracy międzynarodowej [1, 13, 20]. Prace tego typu pozwalają m.in. na ocenę jakości dostarczanej i pobieranej energii elektrycznej, spełnienia norm i standardów, lokalizację źródeł zakłóceń, dobór i opracowanie środków zaradczych tak, aby dostawa energii była nie tylko niezawodna, lecz również spełniała wszelkie wymagane kryteria jakościowe ze strony dostawcy i nie była zakłócana przez odbiorcę.

□

Literatura

- [1] Capasso A., Guidi-Bufferini G., Morelli V., Mierzejewski L., Szeląg A., Wach A.: *Potenziamento del sistema di alimentazione della linea ferroviaria Varsavia-Kunowice-Berlin*. Mostra Convegno – La Tecnologia del Trasporto su Ferro e l'orientamento al Mercato. 27–28 Novembre 1998, Napoli.
- [2] Capasso A., Morelli V., Mierzejewski L., Szeląg A.: *Power supply study of E-20 Railway Line Warsaw-Kunowice Section*. 3rd International Scientific Conference DRIVES AND SUPPLY SYSTEMS FOR MODERN ELECTRIC TRACTION organized by Warsaw University of Technology, Polish Academy of Sciences, IEE-Polish Section and Railway Research Centre. Warsaw, September 25–27, 1997.
- [3] *Koncepcja układu zasilania dla odcinka Rycerka – Zwardoń linii Żywiec – Cadca*. Adtranz, 1997.
- [4] Matusiak R., Mierzejewski L., Szeląg A.: *Racjonalizacja zużycia energii elektrycznej w transporcie kolejowym*. Projekt badawczy zamawiany. IME PW, 1996–1999.
- [5] Matusiak R., Mierzejewski L., Szeląg A.: *Racjonalizacja zużycia energii na zelektryfikowanych liniach kolejowych – podejście systemowe*. 3rd International Scientific Conference DRIVES AND SUPPLY SYSTEMS FOR MODERN ELECTRIC TRACTION organized by Warsaw University of Technology, Polish Academy of Sciences, IEE-Polish Section and Railway Research Centre. Warsaw, September 25–27, 1997.
- [6] Mierzejewski L., Szeląg A.: *Racjonalizacja zużycia energii w systemach zasilania trakcji elektrycznej*. III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna: „Gospodarka Paliwami i energią w przedsiębiorstwie PKP”. Zakopane, 3–5 grudnia 1997.
- [7] Mierzejewski L., Szeląg A.: *Obliczenia symulacyjne dotyczące pracy układu zasilania odcinka linii kolejowej Warszawa Zachodnia – Zalesie – Michalczew przy zadanych warunkach ruchowych na odcinku linii kolejowej i wprowadzeniu zespołu prostownikowego zasilanego napięciem 15 kV z możliwością regulacji napięcia po stronie 15 kV*, Warszawa, V 1997
- [8] Mierzejewski L., Szeląg A.: *An analysis of disturbances in power utility systems caused by traction rectifier substation*. COMPRAIL'96 Conference, Berlin, 19–21 VIII 1996.
- [9] Mierzejewski L., Szeląg A., i inni: *Koncepcja wprowadzenia jednostopniowej transformacji napięcia dla podstacji trakcyjnych linii CMK*. Praca PW na zlecenie DG PKP, 1996–1997.
- [10] Mierzejewski L., Szeląg A., i inni: *Badania zespołu prostownikowego PK17+PT12 na podstacji PKP w Cieninie*. Praca na zlecenie ABB-Industry, 1996. Sprawozdanie z pomiarów.
- [11] *Określenie racjonalnego układu linii kolejowych w Polsce*. Dyrekcja Generalna PKP. Biuro Strategii, wersja II, kwiecień 1995.
- [12] *Standardy techniczne dotyczące urządzeń elektroenergetyki kolejowej eksploatowanych na liniach o prędkości jazdy pociągów 160 km/h*. Dyrekcja Generalna PKP, luty 1998 r.
- [13] *Studium układu zasilania linii kolejowej E-20 odcinek: Kunowice-Warszawa*. Projekt PHARE, 1996-1997, Wykonawcy ITALFERR i Politechnika Warszawska.
- [14] *Studium zasilania energetycznego odbiorów trakcyjnych i nietrakcyjnych oraz studium wybranego wariantu z uwzględnieniem wprowadzenia napięcia 110 kV na wschodnim odcinku linii E-20 Warszawa-Terespol*. Kolprojekt, 1997.
- [15] Szeląg A.: *Jakość energii elektrycznej a system trakcji elektrycznej prądu stałego*. Międzynarodowa Konferencja „Jakość energii elektrycznej” PL, listopad 1991.
- [16] Szeląg A.: *Wpływ układu zasilania prądu stałego na ruch szybkich pociągów*. SEMTRAK'98, 5-7 XI 1999, Zakopane.
- [17] Szeląg A.: *Simulation of electric traction vehicles with a.c. drives fed by DC supply system*. 2nd International Conference ELECTRO'97, University of Žilina, Slovakia, 23-24 June 1997.
- [18] Szeląg A.: *Influence of Voltage in a Contact Line as a Disturbance Stochastic Process on a Speed of an Electric traction vehicle*. 3rd International Scientific Conference DRIVES AND SUPPLY SYSTEMS FOR MODERN ELECTRIC TRACTION organized by Warsaw University of Technology, Polish Academy of Sciences, IEE-Polish Section and Railway Research Centre. Warsaw, September 25–27, 1997.
- [19] Szeląg A., Mierzejewski L.: *Simulation models of elements of electric traction systems verification of adequacy*. Conference COMPRAIL'98, Lizbona, PORTUGAL.
- [20] Szeląg A., Mierzejewski L.: *Ground Transportation Systems: Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*. Supplement 1, str. 169(194), John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [21] Szeląg A.: *Kryteria i standardy techniczne w projektowaniu efektywnego układu zasilania prądu stałego zelektryfikowanej linii kolejowej*. 4th Int. Conference „Drives and supply sys-

tems for modern electric traction in integrated XXIst Europe"–MET'99, Warsaw, 23–25 Sept., 1999.

- [22] Szelaĝ A.: *Zakłócenia w systemie elektroenergetycznym powodowane eksploatacją prostownikowej podstacji trakcyjnej*. VI Konferencja Trakcji Elektrycznej SEMTRAK '94.
- [23] Wasiluk-Hassa M.: *Jakość energii elektrycznej w warunkach funkcjonowania konkurencyjnego rynku*. Wiadomości Elektrotechniczne 3/1999.
- [24] Wdowiak J., Mierzejewski L., Szelaĝ A.: *Projektowanie układów zasilania trakcji elektrycznej systemu prądu stałego – podstacje trakcyjne*. WPW, Warszawa, 1999.
- [25] Prawo Energetyczne (w): Dziennik Ustaw z 1997 r. nr 54, poz. 348 i nr 158, poz.1042, z 1998 r. nr 94, poz. 594, nr 106, poz. 668 i nr 162 poz. 1126; z 1999 r. nr 88, poz. 980, nr 91, poz. 1042 i nr 110, poz. 1255; z 2000 r. nr 48, poz. 555 (Ujednolicony tekst opublikowany w dzienniku „Rzeczpospolita” nr 142 z dnia 19 czerwca 2000 r.).
- [26] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych. Dziennik Ustaw nr 135, poz. 881.
- [27] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 3 grudnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz zasad rozliczeń w obrocie energią elektryczną. Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki nr 2(4), 1 marca 1999 r.

- [28] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców.

Autor
dr inż. Adam Szelaĝ
Politechnika Warszawska
Zakład Trakcji Elektrycznej

Abstract: The paper presents assumptions, methodology and the technical requirements to be taken into account during the analysis of power supply system of DC electrified railway line. The aspects of electrical energy quality, reliability and technical effectiveness of the solutions and their compatibility with international standards are underlined. There is proposed a division of the requirements for the fixed installations according to the type of traffic (speed, category of trains) and the power demand. This approach allows finding a compromise between the technical effectiveness of the chosen variant and the justification of the investment.

W **tts** zamieszczamy informacje o konferencjach, sympozjach i targach

Organizatorzy tych imprez mogą zgłaszać je do publikacji

e-mail: tts@emipress.com.pl

W 2001 r. ukażą się dwa podwójne numery Techniki Transportu Szynowego

tts 1-2/2001 – w lutym
tts 7-8/2001 – w sierpniu

Zapraszamy do prenumeraty (cenniki s. 56)

□ Dokończenie ze s. 45

Kolejny nowoczesny instrument do minimalizacji kosztów części zamiennych oferuje ukierunkowane na niezawodność planowanie środków, w zakresie zarządzania LLC. Za pomocą matematycznych metod analitycznych i metod prognozujących możliwe są do określenia rezerwy okresu życia poszczególnych części składowych. Wykorzystując znajomość struktury uszkodzeń pojazdu, za pomocą teorii niezawodności oraz teorii odnawialności części, może zostać wyliczone, ze względu na ponoszone koszty, optymalna wielkość zaopatrzenia w części rezerwowe.

Jako wniosek, z punktu widzenia użytkownika (w tym przypadku DKB – Dürener Kreisbahn), należy stwierdzić:

□ możemy być niezadowoleni z tego, co do tej pory zostało zrobione, ponieważ przemysł i główny użytkownik narzucają błędną strategię;

□ koncepcję rozwoju rozwiązań kolejowych w komunikacji regionalnej można pokrótce przedstawić następująco:

- przy planowaniu pomija się wymagania klienta – pasażerowie chcieliby dostać się do miasta, do centrum miasta,
- nieadekwatne przepisy BOStrab, poza RVT,
- brak lekkiej budowy, wymaganie odnośnie sztywności wzdłużnej do przemyślenia – porównaj budowę samolotu. Co stanie się z ICE (1500 kN) podczas zderzenia z dużą prędkością?

□

Na podstawie
Der Eisenbahn Ingenieur 11/1999
Tłum. A. Ratecki

Autor
mgr inż. Reinhold Alfter
dyrektor Dürener Kreisbahn GmbH, Düren

Cennik czasopism w 2001 r.

W związku z wprowadzeniem od 1.01.2001 r. podatku VAT na czasopisma w wysokości 7% ceny czasopism technicznych wydawnictwa EMI-PRESS są następujące:

□ **TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO** – miesięcznik

Tematyka: wszystkie rodzaje transportu szynowego pasażerskiego i towarowego

Cena detaliczna 17 zł za 1 egz.

Rodzaj przesyłki		Cena prenumeraty		
		Roczna	Półroczna	Kwartałna
Polska	zwykła	192 zł	96 zł	48 zł
Europa	zwykła	60 EUR*	30 EUR*	15 EUR*
	lotnicza	72 EUR*	36 EUR*	18 EUR*
Poza Europą	lotnicza	72 USD*	36 USD*	18 USD*

□ **AUTOBUSY Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe** – miesięcznik

Tematyka: transport miejski, regionalny i przewozy turystyczne

Cena detaliczna 14 zł za 1 egz.

Rodzaj przesyłki		Cena prenumeraty		
		Roczna	Półroczna	Kwartałna
Polska	zwykła	156 zł	78 zł	39 zł
Europa	zwykła	48 EUR*	24 EUR*	12 EUR*
	lotnicza	60 EUR*	30 EUR*	15 EUR*
Poza Europą	lotnicza	60 USD*	30 USD*	15 USD*

Uwaga: w 2001 r. przy zamówieniu 3 lub więcej egzemplarzy miesięcznika *AUTOBUSY* w prenumeracie rocznej – dodatkowo jeden egzemplarz.

□ **TELEKOMUNIKACJA I STEROWANIE RUCHEM** – kwartalnik

Tematyka: najnowsze technologie w dziedzinie łączności i sterowania ruchem w transporcie

Cena detaliczna 16 zł za 1 egz.

Rodzaj przesyłki		Cena prenumeraty		
		Roczna	Półroczna	Kwartałna
Polska	zwykła	56 zł	28 zł	14 zł
Europa	zwykła	16 EUR*	8 EUR*	4 EUR*
	lotnicza	20 EUR*	10 EUR*	5 EUR*
Poza Europą	lotnicza	20 USD*	10 USD*	5 USD*

Uwaga: kwartalnik ten otrzyma – bez dodatkowych opłat – każdy prenumeratork miesięcznika *TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO* lub *AUTOBUSY*.

□ **Świat kolei** – miesięcznik

Popularny magazyn: nowości, historia, model hobby

Cena detaliczna 16 zł za 1 egz.

Rodzaj przesyłki		Cena prenumeraty		
		Roczna	Półroczna	Kwartałna
Polska	Zwykła	168 zł	84 zł	42 zł
Europa	Zwykła	54 EUR*	27 EUR*	13,5 EUR*
	lotnicza	66 EUR*	33 EUR*	16,5 EUR*
Poza Europą	lotnicza	66 USD*	33 USD*	16,5 USD*

* lub w innej walucie według kursu przeliczeniowego w dniu wpłaty.

W podanych cenach jest wliczony podatek VAT 7%

50% zniżki dla studentów i uczniów na następujące czasopisma:

- **TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO**
- **AUTOBUSY Technika, Eksploatacja, Systemy transportowe**
- **TELEKOMUNIKACJA I STEROWANIE RUCHEM**

Aby otrzymać zniżkową prenumeratę należy wraz z kopią dowodu wpłaty przesłać na adres wydawcy kopię legitymacji (strona z fotografią i nazwą uczelni lub szkoły). Prawo do zniżki mają uczniowie wszystkich szkół, studenci wszystkich uczelni, studiów policealnych oraz doktoranckich w kraju i za granicą.

EMI-PRESS s.c. 90-955 Łódź 8, skrytka pocztowa 103, tel./fax (42) 633 37 51