



PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.

**Wytyczne projektowania, budowy i odbioru sieci trakcyjnej
oraz układów zasilania 2×25 kV AC
dla linii kolejowych o prędkości do 350 km/h
I et-6**

Warszawa, 2010 rok

Właściciel: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Wydawca: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrala
Biuro Energetyki
ul. Targowa 74, 03-734 Warszawa
tel. 22 47 320 70
www.plk-sa.pl, e-mail: ien@plk-sa.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Modyfikacja, wprowadzanie do obrotu, publikacja, kopiowanie i dystrybucja
w celach komercyjnych, całości lub części wytycznych,
bez uprzedniej zgody PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. – są zabronione

SPIS TREŚCI

1 WSTĘP.....	9
1.1 Podstawa opracowania.....	9
1.2 Przedmiot opracowania	9
1.3 Zakres zastosowania.....	9
1.4 Określenia	10
1.5 Symbole i oznaczenia	10
1.6 Informacje dodatkowe.....	10
1.7 Przepisy związane – dokumenty i normy.....	10
1.7.1 Dokumenty	10
1.7.2 Normy	14
1.8 Ocena zgodności i zakres koniecznych zmian lub uzupełnień w przepisach krajowych ..	17
1.9 Rekomendacje i zalecenia ogólne	19
2 PROJEKTOWANIE UKŁADÓW ZASILANIA.....	21
2.1 Układy zasilania w systemie 25 kV AC 50 Hz	21
2.1.1 Schematy elektryczne układu zasilania.....	21
2.1.2 Podstacje trakcyjne i kabiny sekcyjne	25
2.1.3 Sekcjonowanie sieci jezdnej i układu zasilania, kabiny sekcyjne	27
2.1.4 Zasilanie z sieci energetyki publicznej	30
2.1.5 Zasilanie obwodów potrzeb własnych i odbiorów nietrakcyjnych	34
2.1.6 Punkty stykowania układów zasilania różnych systemów.....	35
2.2 Aparatura i wyposażenie	35
2.2.1 Rozdzielnie i aparatura rozdzielcza.....	35
2.2.2 Transformatory główne (trakcyjne)	36
2.2.3 Autotransformatory trakcyjne	44
2.2.4 Booster transformatory	44
2.2.5 Transformatory potrzeb własnych	44
2.2.6 Urządzenia kompensujące, tłumiące, symetryzujące	44
2.2.7 Ochrona odgromowa	45
2.2.8 Izolacja	46
2.2.9 Zasilacze sieci trakcyjnej	46
2.2.10 Przewody, szyny zbiorcze i połączenia prądowe	46
2.2.11 Uziomy	47
2.3 Obwody zabezpieczeń, sterowania, automatyki i pomiarów.....	47
2.3.1 Sieci i rozdzielnie WN.....	47
2.3.2 Zabezpieczenia i automatyka linii WN.....	48
2.3.3 Zabezpieczenia i automatyka transformatorów mocy WN/WN.....	49
2.3.4 Zabezpieczenia i automatyka transformatorów mocy WN/SN	49
2.3.5 Zabezpieczenia łączników szyn WN	50
2.3.6 Zabezpieczenia szyn WN	50

2.3.7	Zabezpieczenia linii SN i obwodów sieci trakcyjnej	52
2.3.8	Zabezpieczenia transformatorów olejowych SN/SN i SN/nN o mocy większej niż 1000 kVA	52
2.3.9	Zabezpieczenia łączników szyn SN	53
2.3.10	Zabezpieczenia pól pomiaru napięcia w rozdzielniach SN	53
2.3.11	Zabezpieczenia pól SN baterii kondensatorów	53
2.3.12	Zabezpieczenia transformatorów potrzeb własnych	53
2.3.13	Zabezpieczenia pól linii odpływowych rozdzielni SN	54
2.3.14	Automatyka SZR (samoczynnego załączenia rezerwy) w rozdzielni SN	54
2.3.15	Wymagania techniczne dla systemu nadzoru i telemechaniki	54
2.3.16	Wymagania techniczne dla układów pomiarowo-rozliczeniowych	56
3	PROJEKTOWANIE SIECI TRAKCYJNEJ	59
3.1	Wymagania ogólne	59
3.1.1	Skrajnia budowli	59
3.1.2	Wysokość zawieszenia przewodu jezdnego	59
3.1.3	Odległość sieci jezdnej od obiektów uziemionych	60
3.2	Rozwiązania konstrukcyjne nowych typów sieci trakcyjnej	60
3.2.1	Wymagania podstawowe	60
3.2.1.1	Strefy klimatyczne	60
3.2.1.2	Temperatury charakterystyczne	61
3.2.1.3	Obciążenia mechaniczne	61
3.2.1.4	Obciążenia sadią	61
3.2.1.5	Obciążenia wiatrem	61
3.2.1.6	Obciążenia przy montażu sieci i zerwaniu przewodów	62
3.2.1.7	Przewód jezdny	62
3.2.1.8	Lina nośna	62
3.2.1.9	Nacisk odbieraków prądu	63
3.2.2	Sieć jezdna	64
3.2.2.1	Konstrukcja górnej sieci jezdnej	64
3.2.2.2	Normalne przęsło zawieszenia sieci	65
3.2.2.3	Przęsło naprężenia	67
3.2.2.4	Odcinek naprężenia	69
3.2.2.5	Sekcja separacji faz	69
3.2.2.6	Sekcja separacji systemów	70
3.2.2.7	Rozjazdy sieciowe	71
3.2.2.8	Zawieszenia poprzeczne	71
3.2.3	Materiały do budowy sieci trakcyjnej	72
3.2.3.1	Przewody jezdne	72
3.2.3.2	Liny nośne	72
3.2.3.3	Przewody zasilaczy dodatkowych dla systemu zasilania 2×25 kV, łączniki sieci jezdnej, przewody uziemiające, łączniki sieci powrotnej oraz uziomy	72
3.2.3.4	Odciągi sieciowe, uelastycznienia, wieszaki	72

3.2.3.5	Osprzęt	73
3.2.3.6	Fundamenty, głowice fundamentowe i konstrukcje wsporcze.....	73
3.2.3.7	Materiały izolacyjne	74
3.2.4	Sieć powrotna (obwód powrotny sieci trakcyjnej)	74
3.2.5	Ochrona przeciwporażeniowa	75
3.3	Projektowanie techniczne sieci trakcyjnej	75
3.3.1	Obliczenia i ustalenia podstawowe	75
3.3.2	Fundamenty i głowice fundamentowe	76
3.3.3	Konstrukcje nośne, odciągi	78
3.3.4	Sieć jezdna	81
3.3.4.1	Normalne przęsło zawieszenia sieci	81
3.3.4.2	Przęsło naprężenia.....	81
3.3.4.3	Sekcja separacji faz	83
3.3.4.4	Sekcja separacji systemów	83
3.3.4.5	Odcinek naprężenia	83
3.3.4.6	Odsuwy sieci jezdnej.....	84
3.3.4.7	Profilowanie sieci jezdnej	85
3.3.4.8	Zespoły podwieszeń.....	85
3.3.4.9	Odciągi sieciowe	85
3.3.4.10	Osprzęt.....	85
3.3.4.11	Złącza przewodów jezdnych	86
3.3.4.12	Przewody zasilaczy dodatkowych dla systemu zasilania 2×25 kV, łączniki sieci jezdnej, przewody uziemiające, łączniki sieci powrotnej	86
3.3.4.13	Wieszaki	87
3.3.4.14	Rozjazdy sieciowe	87
3.3.4.15	Sekcjonowanie sieci jezdnej	88
3.3.5	Skrzyżowania i zbliżenia sieci jezdnej z innymi sieciami elektrycznymi	94
3.3.6	Prowadzenie linii elektrycznych i innych instalacji na wspólnych konstrukcjach z siecią jezdną	95
3.3.7	Zbliżenia sieci jezdnej do budowli i urządzeń specjalnych.....	95
3.3.8	Sieć powrotna.....	95
3.3.9	Połączenia elektryczne sieci powrotnej.....	101
3.3.10	Ochrona przeciwporażeniowa	102
3.3.11	Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błędnych.....	104
3.3.12	Ochrona odgromowa sieci jezdnej	105
3.3.13	Uziemienia i uziomy.....	105
3.3.14	Urządzenia sygnalizacyjne, ostrzegawcze i ochronne.....	106
3.3.14.1	Wymagania ERTMS.....	106
3.3.14.2	Wskaźniki	108
3.3.14.3	Tablice ostrzegawcze i informacyjne	108
3.3.14.4	Znaki ostrzegawcze i informacyjne.....	109
3.3.15	Bariery	109

4 ZAKRES OPRACOWAŃ TECHNICZNYCH – DOKUMENTACJE PROJEKTOWE..	111
4.1 Wstęp	111
4.2 Wymagania ogólne	111
4.2.1 Dokumentacje przedprojektowe – etap I	111
4.2.2 Dokumentacje projektowe i realizacja inwestycji – etap II	112
4.3 Studium wykonalności.....	112
4.3.1 Definicja i przeznaczenie	112
4.3.2 Zawartość	112
4.3.2.1 Układy zasilania.....	112
4.3.2.2 Sieć trakcyjna	113
4.4 Program funkcjonalno-użytkowy	114
4.4.1 Definicja i przeznaczenie	114
4.4.2 Zawartość	114
4.5 Projekt budowlany.....	114
4.5.1 Wprowadzenie	114
4.5.2 Definicja i przeznaczenie	114
4.5.3 Zawartość	115
4.5.3.1 Projekt budowlany układu zasilania:	116
4.5.3.2 Projekt budowlany sieci trakcyjnej	117
4.6 Projekt wykonawczy.....	118
4.6.1 Definicja i przeznaczenie	118
4.6.2 Zawartość	118
4.6.2.1 Projekt wykonawczy układu zasilania.....	118
4.6.2.2 Projekty sieci trakcyjnej	118
4.7 Wymagania dla personelu jednostki projektowej.....	119
4.7.1 Wymagania obligatoryjne	119
4.7.2 Wymagania warunkowe	119
5 OGÓLNE ZASADY OBOWIĄZUJĄCE PRZY BUDOWIE I ODBIORACH	121
5.1 Wymagania dla personelu wykonawcy.....	121
5.2 Wymagane zaplecze techniczne wykonawcy.....	121
5.3 Przepisy i dokumenty obowiązujące wykonawcę przy budowie i modernizacji	122
5.3.1 Przepisy obowiązujące projektanta, wykonawcę i producenta	122
5.3.2 Nadzór nad realizacją inwestycji	123
5.4 Rodzaje oraz procedury wykonywania odbiorów	123
5.4.1 Rodzaje odbiorów.....	123
5.4.1.1 Odbiory robót zanikających i podlegających zakryciu	124
5.4.1.2 Odbiory częściowe	124
5.4.1.3 Odbiór końcowy	124
5.4.1.4 Odbiory pogwarancyjne	124
5.4.2 Procedury wykonywania odbiorów	125

5.5	Ogólne zasady odbiorów	126
5.5.1	Ogólne zasady odbioru układów zasilania	126
5.5.1.1	Wymagania dotyczące dokumentacji technicznej urządzeń i układów	126
5.5.1.2	Wymagania ogólne dotyczące urządzeń i układów	126
5.5.1.3	Warunki w miejscu zainstalowania urządzeń i/lub układów	127
5.5.2	Ogólne zasady odbioru sieci trakcyjnych	127
5.6	Zakres badań oraz prób odbiorczych.....	127
5.6.1	Elementy odbioru układów zasilania	127
5.6.2	Elementy odbioru sieci trakcyjnej	130
5.6.2.1	Dokumentacja.....	130
5.6.2.2	Parametry sieci jezdnej.....	131
6	ZAŁĄCZNIKI	135
7	INFORMACJE O ZESPOLE AUTORSKO-KONSULTACYJNYM	142

1 Wstęp

1.1 Podstawa opracowania

„Wytyczne projektowania, budowy i odbioru sieci trakcyjnej oraz układów zasilania 2×25 kV AC dla linii kolejowych o prędkości do 350 km/h” zwane dalej Wytycznymi, zostały opracowane przez grupę specjalistów, specjalnie do tego powołaną, przez Centralne Biuro Projektowo-Badawcze Budownictwa Kolejowego Kolprojekt Sp. z o.o. w Warszawie, na podstawie zawartej z PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. umowy nr A/13/07/001/5555/07 z dnia 18 lipca 2007 r.

1.2 Przedmiot opracowania

Przedmiotem Wytycznych są wymagania, uwarunkowania i ustalenia techniczne jakim powinna odpowiadać sieć trakcyjna i układ zasilania o napięciu roboczym 25 kV AC na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

1.3 Zakres zastosowania

Wytyczne przeznaczone są do stosowania przy projektowaniu, budowie i odbiorach układów zasilania i sieci trakcyjnej o napięciu roboczym 25 kV AC na liniach kolejowych dużych prędkości. Za linie kolejowe dużych prędkości uważa się, zgodnie z Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności, linie o prędkości rzędu 200 km/h i więcej.

W Wytycznych zawarto podstawowe wymagania techniczne związane z zagadnieniami ochrony przeciwporażeniowej oraz przeciwprzepięciowej, ochrony przed oddziaływaniem prądów błędzących i ochrony środowiska a także wymagania wynikające z obowiązujących przepisów związanych z procedurami projektowania, budowy i odbioru inwestycji w tym zakresie.

Wytyczne powinny znaleźć zastosowanie przy:

- a) opracowywaniu konstrukcji nowych typów sieci jezdnej dla prędkości jazdy od 200 do 350 km/h,
- b) opracowywaniu kart katalogowych wyposażenia sieci powrotnej, podstacji trakcyjnych i kabin sekcyjnych oraz zasilaczy sieci trakcyjnej,
- c) opracowywaniu dokumentacji techniczno ruchowej elementów sieci trakcyjnej i układu zasilania,
- d) opracowanie projektów wstępnych, programów funkcjonalno-użytkowych, projektów budowlanych i projektów wykonawczych sieci trakcyjnej i układu zasilania oraz projektów zasilania odbiorów nieatrakcyjnych. Wykonanie projektów budowlanych i wykonawczych sieci trakcyjnej uzależnione jest od opracowania i wdrożenia do stosowania – typu sieci trakcyjnej, katalogu wyposażenia

oraz wykazu urządzeń zawierających dopuszczone do stosowania rozwiązania konstrukcyjne tj. posiadające niezbędne certyfikaty, atesty oraz świadectwa;

- e) wykonywaniu robót budowlanych i montażowych sieci trakcyjnej oraz układu zasilania,
- f) odbiorach technicznych wykonanych elementów sieci trakcyjnej i układu zasilania.

Dla sieci trakcyjnych projektowanych i budowanych do prędkości nie przekraczającej 200 km/h (np. stacje węzłowe), można stosować inne rozwiązania konstrukcyjne od wskazanych w niniejszych Wytycznych, zgodne z aktualnymi Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności, odpowiednimi normami oraz innymi dokumentami, które zostaną przyjęte do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

1.4 Określenia

W projektach i we wszystkich dokumentach technicznych dotyczących sieci trakcyjnej i układu zasilania stosowane są określenia podane w normie BN-75/8939-08 [95] oraz w powszechnie uznanych dokumentach krajowych i międzynarodowych.

1.5 Symbole i oznaczenia

W projektach i we wszystkich dokumentach technicznych dotyczących sieci trakcyjnej i układu zasilania stosowane są symbole i oznaczenia podane w normie BN-76/3500-12 [94] oraz w powszechnie uznanych dokumentach krajowych i międzynarodowych.

1.6 Informacje dodatkowe

Ze względu na innowacyjny charakter Wytycznych, opracowano do nich komentarz zawierający objaśnienia i uzasadnienia.

1.7 Przepisy związane – dokumenty i normy

Aktualność przywoływanych w opracowaniu dokumentów należy zweryfikować i sprawdzić w momencie stosowania.

1.7.1 Dokumenty

- 1 Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane – Dz.U. 2006 nr 156 poz. 1118 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.
- 2 Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym – Dz.U. 2007 nr 16 poz. 94 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.

- 3 Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym – Dz.U. 2007 nr 125 poz. 874 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.
- 4 Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska – Dz.U. 2006 nr 129 poz. 902 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.
- 5 Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach – Dz.U. 2007 nr 39 poz. 251 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.
- 6 Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych – Dz.U. 2007 nr 223 poz. 1655 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.
- 7 Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne – Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.
- 8 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie.
- 9 Decyzja komisji UE 2008/217/WE z dnia 20 grudnia 2007 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana jako dokument nr C(2007) 6440).
- 10 Decyzja Komisji UE 2008/284/WE z dnia 6 marca 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana jako dokument nr C(2008) 807).
- 11 Decyzja Komisji UE 2008/232/WE z dnia 21 lutego 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana jako dokument nr C(2008) 648).
- 12 Decyzja Komisji UE 2006/860/WE z dnia 7 listopada 2006 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu Sterowanie transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości oraz zmieniająca załącznik A do decyzji 2006/679/WE z dnia 28 marca 2006 r. dotyczącej specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu Sterowanie transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych (notyfikowana jako dokument nr C(2006) 5211).
- 13 Dyrektywa Rady 85/337/EWG z dnia 27 czerwca 1985 r. w sprawie oceny skutków niektórych publicznych i prywatnych przedsięwzięć dla środowiska, z późniejszymi zmianami wprowadzonymi Dyrektywą Rady 97/11/WE z dnia 3 marca 1997 r.
- 14 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 26 lutego 1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych z drogami publicznymi i ich usytuowanie – Dz.U. 1996 nr 33 poz. 144 z późniejszymi zmianami.
- 15 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami.
- 16 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie – Dz.U. 1998 nr 151 poz. 987.

- 17 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 17 września 1999 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych – Dz.U. 1999 nr 80, poz. 912.
- 18 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych – Dz.U. 2004 nr 47 poz. 401.
- 19 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 18 lipca 2005 r. w sprawie ogólnych warunków prowadzenia ruchu kolejowego i sygnalizacji – Dz.U. 2005 nr 172 poz 1444.
- 20 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach – Dz.U. 2003 nr 220 poz. 2181.
- 21 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego – Dz.U. 2003 nr 120 poz. 1133.
- 22 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno-użytkowego – Dz.U. 2004 nr 202 poz. 2072 z późniejszymi zmianami.
- 23 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego – Dz.U. 2007 nr 93 poz. 623.
- 24 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2004 r. w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko – Dz.U. 2004 nr 257 poz. 2573.
- 25 Obwieszczenie Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego z dnia 8 sierpnia 2005 r. w sprawie ustalenia właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwi spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności kolei – Dziennik Urzędowy Ministerstwa Infrastruktury nr 9 poz. 62.
- 26 Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej – PSE Operator S.A.
- 27 Uchwała nr 361 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 01 października 2007 r. w sprawie zasad gospodarowania materiałami z odzysku.
- 28 TZ-94003/01-TZ – Stosowanie fundamentów palowych dla konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej PKP – opracowane przez Centralne Biuro Projektowo-Badawcze Budownictwa Kolejowego w marcu 1994 r. na zlecenie Głównego Energetyka PKP.
- 29 Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budowle i urządzenia drogowe kolei normalnotorowych użytku publicznego – WTK rok 1992.

- 30 let-2 „Instrukcja utrzymania sieci trakcyjnej”, zatwierdzona Zarządzeniem Nr 9 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 30 czerwca 2004 r.
- 31 EBH-1 „Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach elektroenergetyki kolejowej. Postanowienia wspólne”, zatwierdzona Uchwałą Nr 170 Zarządu „PKP Energetyka” spółka z o.o. z dnia 16 czerwca 2004 r.
- 32 EBH-1a „Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach elektroenergetyki kolejowej. Prace przy i w pobliżu sieci trakcyjnej oraz linii potrzeb nietrakcyjnych zbudowanych na konstrukcjach sieci jezdnej”, zatwierdzona Uchwałą Nr 170 Zarządu „PKP Energetyka” spółka z o.o. z dnia 16 czerwca 2004 r.
- 33 EBH-1b „Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach elektroenergetyki kolejowej. Prace przy i w pobliżu urządzeń rozdzielczych prądu przemiennego”, zatwierdzona Uchwałą Nr 170 Zarządu „PKP Energetyka” spółka z o.o. z dnia 16 czerwca 2004 r.
- 34 EBH-1c „Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach elektroenergetyki kolejowej. Prace przy i w pobliżu urządzeń rozdzielczych prądu stałego”, zatwierdzona Uchwałą Nr 170 Zarządu „PKP Energetyka” spółka z o.o. z dnia 16 czerwca 2004 r.
- 35 le-1 „Instrukcja sygnalizacji le-1”, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2007 r. – przyjęta do stosowania w PKP PLK S.A. zarządzeniem nr 16/2007 Zarządu PKP PLK S.A. z dnia 21 czerwca 2007 r.
- 36 Wytyczne projektowania i warunki odbioru sieci trakcyjnej z uwzględnieniem standardów i wymogów dla linii interoperacyjnych, Kolprojekt 2006 – przyjęte do stosowania w PKP PLK S.A. zarządzeniem nr 07/2007 Zarządu PKP PLK S.A. z dnia 19 lutego 2007 r.
- 37 Wytyczne odbioru i eksploatacji fundamentów palowych stosowanych na liniach kolejowych dla ustawienia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej. PKP PLK S.A. Warszawa 2005 r.
- 38 Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1), PKP PLK S.A. Warszawa 2005 – przyjęte do stosowania w PKP PLK S.A. zarządzeniem nr 14 Zarządu PKP PLK S.A. z dnia 18 maja 2005 r.
- 39 Katalog elementów elektryfikacji kolei. Sieć trakcyjna PKP. Podwieszenia rurowe. Podwieszenia teownikowe. Centralne Biuro Projektowo-Badawcze Budownictwa Kolejowego „KOLPROJEKT” Sp. z o.o., PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2004 z uaktualnieniami – przyjęty do stosowania w PKP PLK S.A. decyzją nr 24 Członka Zarządu PKP PLK S.A. ds. Techniki i Rozwoju z dnia 20 grudnia 2004 r.
- 40 Wymagania techniczne dla wskaźników i tablic sygnałowych, Tom I Specyfikacja techniczna, Tom II Zasady konstrukcji i wzory barwne – ustanowione do stosowania w PKP Polskich Liniach Kolejowych S.A. pismem nr IAT2d-5030-2/07 z dnia 25 czerwca 2007 r.

1.7.2 Normy

41	PN-B-03020:1981	Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednie budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie.
42	PN-B-03200:1990	Konstrukcje stalowe – Obliczenia statyczne i projektowanie. (ze zmianą Az3:1995)
43	PN-B-03264:2002	Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Obliczenia statyczne i projektowanie.
44	PN-E-04070:1969	Transformatory. Metody badań.
45	PN-E-04070-01:1981	Transformatory. Metody badań. Badanie oleju. (ze zmianą Az1:2001)
46	PN-E-04070-02:1981	Transformatory. Metody badań. Sprawdzanie działania przełącznika zaczepów.
47	PN-E-04070-03:1981	Transformatory. Metody badań. Pomiar wskaźników izolacji.
48	PN-E-04070-05:1981	Transformatory. Metody badań. Pomiar rezystancji uzwojeń.
49	PN-E-04500:1993	Elektroenergetyczne stalowe konstrukcje wsporcze. Powłoki ochronne cynkowe zanurzeniowe.
50	PN-E-04700:1998	Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych. Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych. (ze zmianą Az1:2000)
51	PN-E-05100-1:1998	Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa – Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi.
52	PN-E-05115:2002	Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
53	PN-E-90081:1974	Elektroenergetyczne przewody gołe. Przewody miedziane.
54	PN-E-90090:1996	Przewody jezdne z miedzi i miedzi modyfikowanej.
55	PN-EN 61000-2-4:2003	Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-4: Środowisko. Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych.
56	PN-EN 10025-1:2007	Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 1: Ogólne warunki techniczne dostawy.
57	PN-EN 1562:2000	Odlewnictwo. Żeliwo ciągliwe.
58	PN-EN 1982:2002	Miedź i stopy miedzi. Gąski i odlewy.
59	PN-EN 206-1:2003	Beton Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność. (ze zmianami: Ap1:2004, A1:2005,

		A2:2006)
60	PN-EN 50119:2002	Zastosowania kolejowe. Urządzenia stosowane. Sieć jezdna górna trakcji elektrycznej.
61	PN-EN 50121-1:2008	Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 1: Postanowienia ogólne.
62	PN-EN 50121-2:2006	Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie. (ze zmianą AC:2008)
63	PN-EN 50122-1:2002	Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacyjne. Część 1: Środki ochrony dotyczące bezpieczeństwa elektrycznego i uziemień.
64	PN-EN 50122-2:2003	Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacyjne. Część 2: Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błędnych wywołanych przez trakcję elektryczną prądu stałego.
65	PN-EN 50124-1:2007	Zastosowania kolejowe -- Koordynacja izolacji -- Część 1: Wymagania podstawowe -- Odstępy izolacyjne powietrzne i powierzchniowe dla całego wyposażenia elektrycznego i elektronicznego.
66	PN-EN 50149:2002	Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacyjne. Trakcja elektryczna. Profilowane druty jezdne z miedzi i jej stopów. (ze zmianami: AC:2004, AC:2006)
67	PN-EN 50160:2008	Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
68	PN-EN 50163:2006	Zastosowania kolejowe – Napięcia zasilania systemów trakcyjnych. (ze zmianą A1:2007)
69	BS EN 50179	Power installations exceeding 1 kV AC. CENELEC 1993
70	PN-EN 50182:2002	Przewody do linii napowietrznych. Przewody z drutów okrągłych skręconych współosiowo. (ze zmianą AC:2006)
71	PN-EN 50317:2003	Zastosowania kolejowe. Systemy odbioru prądu. Wymagania dotyczące walidacji wyników pomiarów oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem a siecią jezdnią górną. (ze zmianami: A1:2005, A2:2007)
72	PN-EN 50318:2003	Zastosowania kolejowe. Systemy odbioru prądu. Walidacja symulacji oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem a siecią jezdnią górną.
73	PN-EN 50328:2003	Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacyjne. Elektroniczne przekształtniki mocy dla podstacji. (ze zmianą AC:2007)
74	PN-EN 50329:2003	Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacyjne.

		Transformatory trakcyjne. (ze zmianą AC:2007)
75	PN-EN 50367:2006	Zastosowania kolejowe – Systemy odbioru prądu – Kryteria techniczne dotyczące wzajemnego oddziaływania między pantografem a siecią jezdnią górną (w celu uzyskania wolnego dostępu).
76	PN-EN 50388:2008	Zastosowania kolejowe – Zasilanie energią a tabor – Kryteria techniczne dotyczące koordynacji zasilania energią (podstacja) z taborom w celu uzyskania interoperacyjności.
77	PN-EN 50423-1:2007	Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV do 45 kV włącznie – Część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne.
78	PN-EN 50423-2:2005	Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV do 45 kV włącznie. Część 2: Wykaz normatywnych warunków krajowych.
79	PN-EN 60071-1:2008	Koordinacja izolacji – Część 1: Definicje, zasady i reguły.
80	PN-EN 60071-2:2000	Koordinacja izolacji. Przewodnik stosowania.
81	PN-EN 60099-5:1999	Ograniczniki przepięć. Zalecenia wyboru i stosowania. (ze zmianą A1:2004)
82	PN-EN 60383-1:2005	Izolatory do linii napowietrznych o znamionowym napięciu powyżej 1 kV. Część 1: Ceramiczne i szklane izolatory do sieci prądu przemiennego. Definicje, metody badań i kryteria oceny wyników.
83	PN-EN 61293:2000	Znakowanie urządzeń elektrycznych danymi znamionowymi dotyczącymi zasilania elektrycznego.
84	PN-H-82120:1977	Miedź. Gatunki.
85	PN-H-84018:1986	Stal niskostopowa o podwyższonej wytrzymałości – Gatunki.
86	PN-IEC 60364-4-41:2000	Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa.
87	PN-IEC 1089:1994	Przewody gołe okrągłe o skręcie regularnym do linii napowietrznych. (ze zmianami: Ap1:1999, A1:2000)
88	PN-K-89000:1997	Sieć trakcyjna kolejowa. Osprzęt. Tablice ostrzegawcze przed porażeniem prądem elektrycznym.
89	PN-K-91001:1997	Elektryczne pojazdy trakcyjne. Odbieraki prądu. Wymagania i metody badań.
90	PN-K-91002:1997	Sieć trakcyjna kolejowa. Osprzęt. Ogólne wymagania i metody badań.
91	Karta UIC 799 2002-3	Characteristics of a.c. overhead contact systems for high-speed lines worked at speeds of over 200 km/h

92	N SEP-E-003	Elektroenergetyczne linie napowietrzne.
93	N SEP-E-004	Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa.
94	BN-76/3500-12	Sieć trakcyjna kolejowa. Symbole graficzne i oznaczenia.
95	BN-75/8939-08	Sieć trakcyjna kolejowa. Podział, nazwy i określenia
96	BN-69/9317-75	Osprzęt. Tablica numerowa
97	BN-77/9317-115	Sieć trakcyjna kolejowa. Człon osłony przed porażeniem prądem.
98	BN-85/9317-90	Sieć trakcyjna kolejowa. Roboty fundamentowo-słupowe. Wymagania i badania przy odbiorze.
99	BN-85/9317-92	Sieć trakcyjna kolejowa. Sieć jezdna i powrotna. Wymagania i badania przy odbiorze.
100	ZN-87/MTŻŁ-CBP-11	Sieć trakcyjna kolejowa. Stalowe konstrukcje wsporcze. Obliczenia statyczne i projektowanie.

Wskazane powyżej normy branżowe (BN), zakładowe (ZN) oraz inne nie zatwierdzone przez Polski Komitet Normalizacyjny, mogą być stosowane jako źródło informacji, w zakresie wynikającym z przywołań niniejszego opracowania.

1.8 Ocena zgodności i zakres koniecznych zmian lub uzupełnień w przepisach krajowych

Przepisy w postaci dyrektyw UE, krajowych aktów prawnych takich jak ustawy, rozporządzenia, wytyczne, instrukcje itp. związane z zasilaniem elektroenergetycznym oraz budową i eksploatacją obiektów elektroenergetycznych, wysokiego i średniego napięcia, a także normy krajowe i międzynarodowe, karty UIC i IEC, odnoszące się do tej grupy zagadnień są zestawione w punkcie 1.7.

Wśród przepisów międzynarodowych dominującą rolę dla procesów projektowania i odbioru oraz atestacji odgrywają Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności dla podsystemów: energia, infrastruktura, tabor i sterowanie.

Wymagania dyrektyw UE i TSI stanowiących załączniki do tych dokumentów odnoszą się przede wszystkim do zagadnień interoperacyjności, kompatybilności, bezpieczeństwa urządzeń i ochrony przeciwporażeniowej. Ponadto przepisy te stanowią ogólne wymagania dotyczące dostępności i obsługi urządzeń, niezawodności i eksploatacji oraz regulują procedury atestacji, certyfikacji i rejestrów infrastruktury. Przepisy te nie posiadają równorzędnych odpowiedników w ustawodawstwie krajowym i są w stosunku do tego ustawodawstwa nadrzędne w zakresie dotyczącym europejskiego systemu linii dużych prędkości i europejskiego systemu linii konwencjonalnych.

Przepisy i normy międzynarodowe (TSI, normy PN-EN, Karty UIC i IEC) nie zalecają stosowania szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych, poza przypadkami

mi, w których rozwiązania te mają znaczenie dla interoperacyjności (np. odcinki izolowane sieci jezdnej, stykowanie różnych systemów zasilania itp.), pozostawiając w tym względzie dowolność poszczególnym zarządom infrastruktury kolejowej. Wymagania i zalecenia zawarte w tych przepisach odnoszą się tylko i wyłącznie do określonych parametrów poszczególnych podsystemów transportu kolejowego.

Przepisy i normy krajowe, szczególnie branżowe, odnoszą się do maksymalnych prędkości jazdy pociągów wynoszących 160-200 km/h. W związku z powyższym konieczne będzie ich zaktualizowanie, bądź uzupełnienie o wymagania i zalecenia dla prędkości jazdy z przedziału 200-350 km/h.

Powyższe stwierdzenie dotyczy w szczególności takich dokumentów jak:

- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie – Dz.U. 1998 nr 151 poz. 987 [16] – w zakresie: podziału linii na kategorie, skrajni i wygrodzeń,
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lipca 2005 r. w sprawie ogólnych warunków prowadzenia ruchu kolejowego i sygnalizacji – Dz.U. 2005 nr 172 poz 1444 [19] – w zakresie urządzeń srk i oznakowania linii,
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach – Dz.U. 2003 nr 220 poz. 2181 [20] – w zakresie urządzeń srk i oznakowania skrzyżowań,
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego – Dz.U. 2007 nr 93 poz. 623 [23],
- let-2 (Et-2) „Instrukcja utrzymania sieci trakcyjnej”, zatwierdzona Zarządzeniem Nr 9 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 30 czerwca 2004 r. [30] – w zakresie systemów sygnalizacji,
- Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1), PKP PLK S.A. Warszawa 2005 [38] – w zakresie skrajni budowli,
- Katalog elementów elektryfikacji kolei. Sieć trakcyjna PKP. Podwieszenia rurowe. Podwieszenia teownikowe. Centralne Biuro Projektowo Badawcze Budownictwa Kolejowego „KOLPROJEKT” Sp. z o.o., PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2004 [39] – w zakresie wyposażenia,
- standardów, wytycznych dotyczących uszynień i uziemień oraz ochrony ziemnozwarciowej, instrukcji bezpieczeństwa przy prowadzeniu robót i remontów, wytycznych projektowania jedno i dwufazowych linii zasilaczy trakcyjnych, a także zaleceń konstrukcji montażu i eksploatacji łączników dwuobwodowych (wyłączniki mocy, rozłączniki, odłączniki, uziemniki) dla napięć 25, 42 i 50 kV

oraz konstrukcji izolatorów przelotowych, wsporczych i liniowych dla wymienionych napięć.

Przepisy wykonawcze wynikające z ustawy Prawo Energetyczne [7] i Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [23] dotyczą linii elektroenergetycznych bezpośrednich, to jest połączonych bez pośredniczących węzłów z systemem elektroenergetycznym dystrybutora. W układach zasilania 2×25 kV europejskich linii kolejowych powszechnie stosowane są linie wewnętrzne, będące w dyspozycji zarządcy kolejowej infrastruktury elektroenergetycznej.

1.9 Rekomendacje i zalecenia ogólne

Istnieje szereg rozwiązań obwodów zasilania systemu trakcji elektrycznej 25 kV AC omówionych w literaturze i spotykanych w eksploatacji linii kolejowych (patrz pkt 2 oraz komentarz do niniejszych Wytycznych), z których każde charakteryzuje się specyficznym rozwiązaniem obwodu elektrycznego i konstrukcją stosowanych transformatorów oraz poziomem asymetrii obciążenia linii zasilających. Głównym aspektem wpływającym na wybór określonego rozwiązania obwodu jest wpływ jego niesymetrycznego obciążenia na asymetrię napięć w zasilającym systemie elektroenergetycznym.

Każde z rozwiązań konstrukcyjnych charakteryzuje się specyficzną wartością współczynnika asymetrii α_u i wartością mocy asymetrii N , zależnych od układu połączeń transformatora (komentarz do wytycznych), związanych zależnością:

$$S_{zw} \times \alpha_u \geq N \times 100\% \quad (1)$$

pozwalającą na oszacowanie wartości α lub N w zależności od mocy zwarciowej S_{zw} , gdzie:

α_u – dopuszczalna wartość współczynnika asymetrii napięcia: 1,0 [%],

S_{zw} – moc zwarciowa we wspólnym węźle elektroenergetycznej sieci zasilającej [MVA],

N – całkowita moc asymetrii obciążenia sieci zasilającej [MVA].

W przypadku odpowiednich wartości mocy zwarciowych elektroenergetycznego systemu zasilającego, zapewniających spełnienie zależności (1), dla najprostszych układów połączeń transformatorów (jednofazowych lub trójfazowych), nie ma uzasadnienia stosowania bardziej złożonych i znacznie droższych transformatorów o układach połączeń Woodgridge'a, Scott'a lub Le Blanc'a, będących w istocie pasywnymi filtrami składowej przeciwnej o ograniczonych możliwościach filtracji. Ze względu na koszty, względnie prostą technologię produkcji oraz możliwości stosowania typowych systemów zabezpieczeń, na liniach dużych prędkości powszechnie stosowane są transformatory jednofazowe lub trójfazowe o jednym, dwóch (niepełna gwiazda lub trójkąt) lub trzech uzwojeniach wtórnych.

Rekomenduje się w analizie struktury obwodu układu zasilania, dokonania wyboru rozwiązania najlepszego w oparciu o kryteria całkowitego kosztu oraz użyskania wymaganej wartości współczynnika asymetrii, spośród wymienionych niżej rozwiązań:

- a) transformatory trójfazowe,
- b) transformatory jednofazowe,
- c) transformatory specjalne,
- d) transformatory typowe jedno lub trójfazowe z filtrami pasywnymi składowej przeciwnej,
- e) transformatory typowe jedno lub trójfazowe z filtrami aktywnymi składowej przeciwnej.

Oдноśnie sieci jezdnej zaleca się stosowanie już opracowanych i skatalogowanych rozwiązań osprzętu i konstrukcji wsporczych w sytuacji, jeżeli elementy te spełniają wymagane kryteria. Katalog winien być uzupełniony o rozwiązania nowe niestosowane dotychczas, a specyficzne dla sieci jezdnej bardzo dużych prędkości jazdy, zasilanej napięciem 25 kV AC.

Należy podkreślić, że system zasilania 25 kV AC jest dla kolei polskich systemem dotąd niestosowanym i pierwsze wdrożenia wymagać będą wykonania opracowań o charakterze badawczym w celu dopracowania i uściślenia rozwiązań konstrukcyjnych dotyczących zarówno sieci jezdnej jak i układu zasilania.

Jednym z tematów wymagających dopracowania będzie zapewne spełnienie wszystkich wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej, określonych w normach: PN-EN 50121-1:2008 [61], PN-EN 50121-2:2006 [62].

2 Projektowanie układów zasilania

Układ zasilania linii dużych prędkości zgodnie z Decyzją Komisji UE 2008/284/WE z dnia 6 marca 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości [10] należy zaprojektować w taki sposób, aby spełniał on wymagane parametry eksploatacyjne, a w szczególności:

- prędkość na linii kolejowej,
 - minimalny dopuszczalny odstęp czasowy między pociągami,
 - maksymalny prąd pobierany przez pociąg,
 - współczynnik mocy pociągów,
 - rozkład jazdy i planowanych czynności obsługowych,
 - średnie napięcie użyteczne,
- odpowiednio do danej kategorii linii.

Zarządca infrastruktury w rejestrze infrastruktury deklaruje prędkość dla danej linii oraz maksymalny prąd pobierany przez pociąg. Konstrukcja systemu elektroenergetycznego powinna gwarantować możliwość uzyskania określonych parametrów pracy systemu zasilania.

Obliczone napięcie średnie „na pantografie” powinno być zgodne z wymaganiami normy PN-EN 50388:2008 [76], punkty 8.3 i 8.4, przy zastosowaniu parametrów projektowych dla współczynnika mocy podanych w PN-EN 50388:2008 [76], punkt 6, z wyjątkiem dotyczącym pociągów hotelowych stojących na placach i bocznicach, do których specyfikacje podane są w TSI „Tabor” dla kolei dużych prędkości [11], punkt 4.2.8.3.3.

Ocenę zgodności należy przeprowadzić według normy PN-EN 50388:2008 [76], punkty 14.4.1, 14.4.2 (tylko symulacja) oraz 14.4.3.

2.1 Układy zasilania w systemie 25 kV AC 50 Hz

W załącznikach do niniejszych Wytycznych zamieszczone są schematy z przykładowymi rozwiązaniami obwodów układu zasilania, podstacji trakcyjnych, stacji autotransformatorowych, transformatorów, kabin sekcyjnych, sekcjonowania sieci jezdnej. Szersze omówienie zagadnień ujętych w niniejszych Wytycznych zamieszczone jest w komentarzu.

2.1.1 Schematy elektryczne układu zasilania

Określenie „system zasilania” odnosi się do rodzaju zasilania sieci trakcyjnej i obejmuje następujące parametry:

- rodzaj źródła zasilającego (AC),
- wartość napięcia,
- częstotliwość napięcia zasilającego (odnosi się do AC).

Określenie „układ zasilania” odnosi się do schematu głównego toru prądowego obwodu zasilania i określa jego podstawowe wyposażenie oraz układ przewodów sieci trakcyjnej zasilającej i powrotnej.

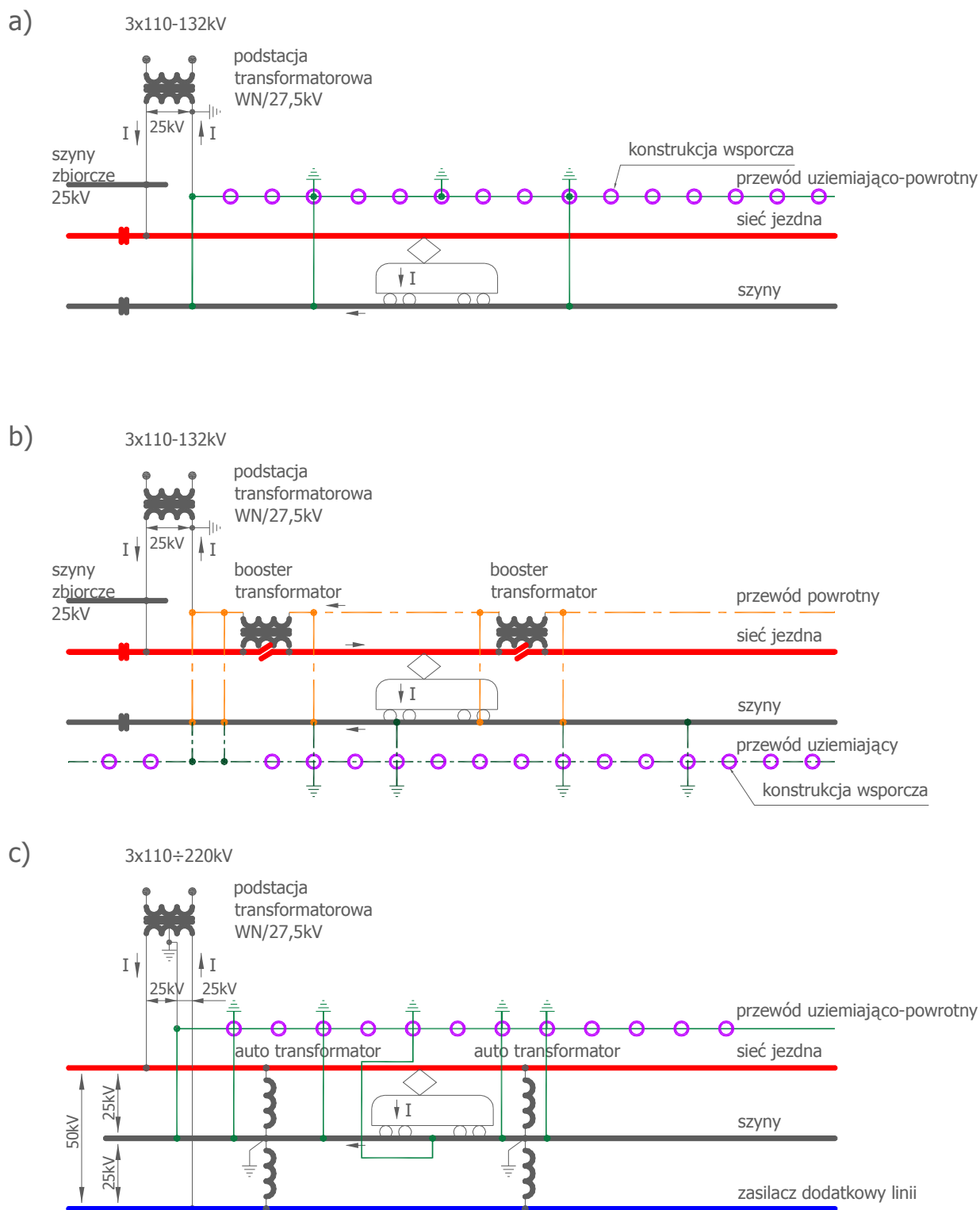
System zasilania trakcji elektrycznej 25 kV AC występuje w wielu rozwiązaniach układowych, które mogą być stosowane na każdej linii dużej prędkości łącznie, np. tory główne zasadnicze i szlakowe należy elektryfikować w układzie 2×25 kV, natomiast tory boczne dodatkowe, tory postojowe, odstawcze itp. w układzie 1×25 kV. Najczęściej stosowane w eksploatacji rozwiązania są scharakteryzowane w punktach 2.1.1.1. do 2.1.1.4.

W zależności od przyjętej zasady znakowania urządzeń elektrycznych danymi znamionowymi, spotkać można różne oznakowanie tych systemów. W specjalistycznej prasie zagranicznej można dla systemu zasilania 1×25 kV natknąć się na oznaczenie 1 AC 25 kV. System 2×25 kV może mieć oznaczenie 2 AC 50/25 kV 50 Hz, 2 AC 43,3/25 kV 50 Hz lub 2 AC 35,4/25 kV 50 Hz, co wynikać może z przesunięcia kątownego (180°, 120° lub 90°) pomiędzy fazami strony wtórnej zastosowanych transformatorów głównych. Oznaczenia odpowiadały zasadzie znakowania określonej w normie PN-EN 61293:2000 [83].

- 2.1.1.1 Układ zasilania jednofazowy 25 kV (prosty) jest zasilany z transformatorów głównych podstawy trakcyjnej, przy czym zasilająca sieć jezdna znajduje się pod potencjałem fazy a przewodem powrotnym są szyny jezdne. Punkty zerowe wtórnej strony transformatorów głównych podstawy trakcyjnej są uziemione i połączone z szynami jezdnymi. Obecnie nie buduje się nowych układów zasilania w takiej konfiguracji z uwagi na występujące duże upływności prądu do ziemi, wysokie potencjały sieci szynowej i duże wartości napięć dotykowych konstrukcji wsporczych w przypadku uszkodzenia izolacji głównej sieci jezdnej.
- 2.1.1.2 Układ zasilania jednofazowy 25 kV z przewodem uziemiająco-powrotnym jest zasilany podobnie jak układ prosty (pkt 2.1.1.1), z tym, że jest wyposażony w przewód powrotny będący jednocześnie przewodem ochronnym. Przewód uziemiająco-ochronny jest podwieszony bez izolacji na konstrukcjach wsporczych sieci jezdnej, łączy się z szynami i jest celowo uziemiony. Szyny jezdne i przewód uziemiająco-ochronny są połączone z uziemieniem podstawy trakcyjnej, do którego przyłączone są także punkty zerowe transformatorów głównych. Układ ten jest stosowany na liniach o niższych prędkościach jazdy (II i III kategoria linii według TSI „Infrastruktura” dla kolei dużych prędkości oraz tory boczne na liniach I kategorii), ze względu na występujące w nim stosunkowo duże spadki napięcia przy zasilaniu lokomotyw o dużych mocach. Ponadto charakteryzuje się on stosunkowo dużą upływnością prądów powrotnych do

ziemi szczególnie przy dużych mocach pobieranych przez lokomotywy. Uproszczony schemat zasilania sieci jezdnej i sieci powrotnej jest zamieszczony na rysunku 2.1.1.a).

- 2.1.1.3 Układ zasilania jednofazowy 25 kV z booster transformatorami charakteryzuje się dobrymi właściwościami sieci powrotnej przez zastosowanie transformatorów o charakterystyce przekładników prądowych, których uzwojenie pierwotne jest włączone szeregowo w sieć jezdnią (wymaga to instalowania przerwy izolacyjnej), a uzwojenie wtórne w ciągu izolowanego od szyn jezdnych i ziemi przewodu powrotnego, który jest łączony dwustronnie z szynami w miejscu za instalowania booster transformatora. Pierwotnie instalowano booster transformatory w przerwie izolacyjnej szyn jezdnych, jednakże rozwiązanie to okazało się nieefektywne. Układ jest ponadto wyposażony w przewód ochronny podwieszony bez izolacji na konstrukcjach wsporczych sieci jezdnej połączony z szynami i celowo uziemiony. Pozostałe elementy układu zasilania są identyczne jak w układzie omówionym poprzednio, a więc szyny jezdne, przewody powrotny i ochronny są połączone z uziemieniem podstawy trakcyjnej, do którego są przyłączone punkty zerowe uzwojeń wtórnych transformatorów głównych. Wadą tego układu zasilania jest konieczność częstego izolowania wzdłużnego sieci jezdnej dla zainstalowania booster transformatorów (co 2÷3 km), przez co pogarszają się warunki współpracy z pantografem. Uproszczony schemat zasilania sieci jezdnej i sieci powrotnej jest zamieszczony na rysunku 2.1.1.b).
- 2.1.1.4 Układ zasilania dwufazowy 2×25 kV z autotransformatorami jest jedną z konfiguracji powszechnie stosowanych układów dwufazowych o różnych napięciach zasilacza dodatkowego. Jest to układ charakteryzujący się dużymi zdolnościami przesyłowymi mocy i energii, niewielkimi wartościami spadków napięć i bardzo niewielkimi prądami upływu z sieci powrotnej do ziemi. Układ ten jest stosowany jako podstawowy na liniach o prędkościach jazdy powyżej 300 km/h. Ponieważ jest rekomendowany w niniejszych Wytycznych do stosowania przez Zamawiającego, jego szczegółowe parametry i właściwości są dokładnie omówione w dalszej części Wytycznych. Uproszczony schemat zasilania sieci jezdnej i sieci powrotnej jest zamieszczony na rysunkach 2.1.1.c).
- 2.1.1.5 Z uwagi na występujące zjawisko asymetrii napięć fazowych w elektroenergetycznej sieci zasilającej WN należy stosować przemienność faz linii zasilającej transformatory w podstawach trakcyjnych.

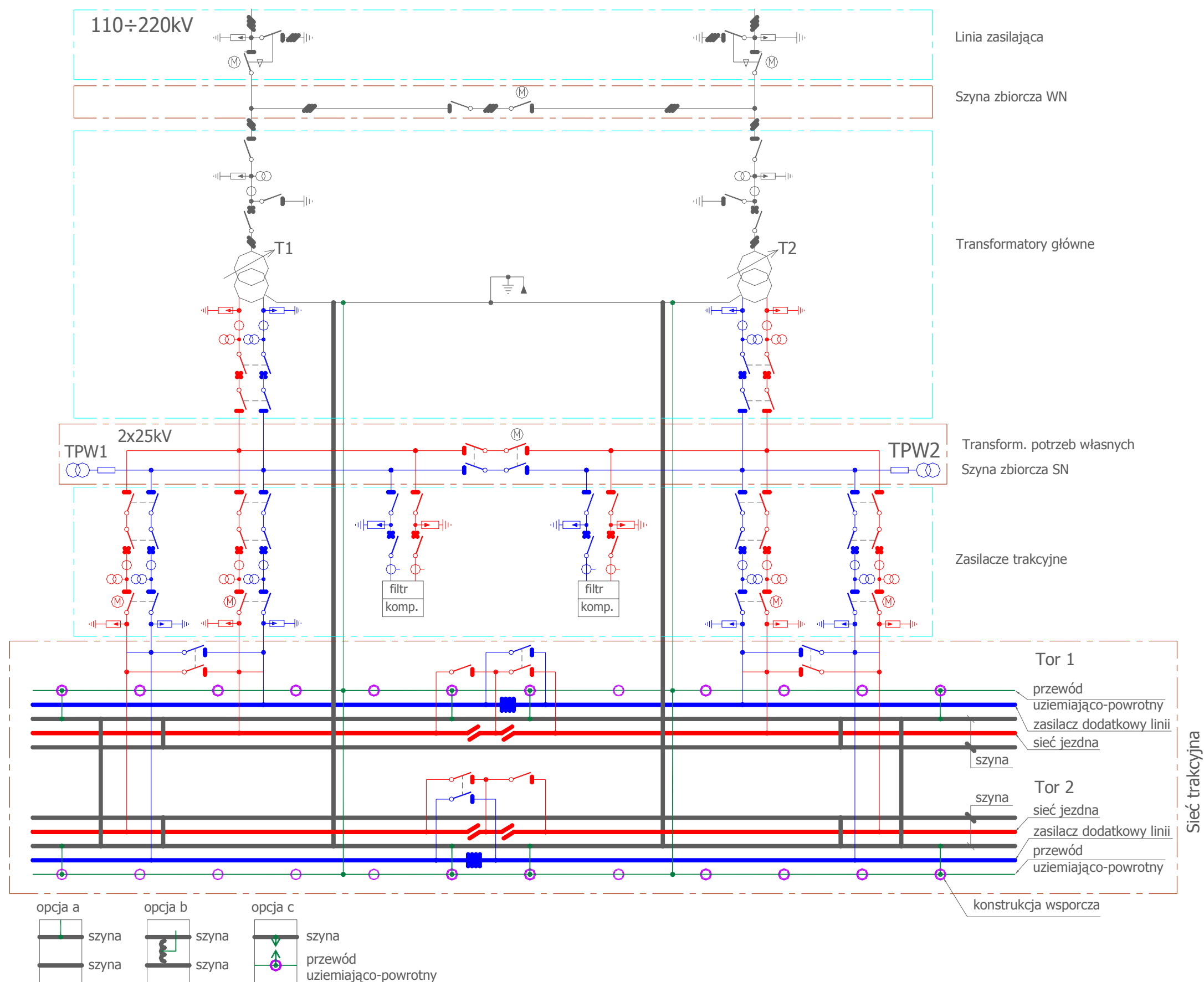


Rys. 2.1.1. Schematy poglądowe układów zasilania 25 kV 50 Hz i 2×25 kV 50 Hz AT

- a) prosty schemat jednofazowy, zasilanie sieci jezdnej;
- b) prosty schemat jednofazowy z booster transformatorem;
- c) system dwufazowy z autotransformatorem;

2.1.2 Podstacje trakcyjne i kabiny sekcyjne

- 2.1.2.1 Ze względu na wymaganą wysoką niezawodność zasilania podstacje trakcyjne powinny mieć dwa niezależne równoważne źródła zasilania w energię elektryczną (dwie różne stacje rozdzielcze lub dwa niezależne układy szyn zbiorczych jednej stacji zasilane z oddzielnych transformatorów lub autotransformatorów). Zasilanie podstacji trakcyjnych może być wykonane w układzie tranzytowym, który spełnia wymagania niezawodności. Napięcie zasilania podstacji trakcyjnych powinno wynosić 110 kV (transformatory 110/25/25 kV) lub 220 kV (transformatory 220/25/25 kV). Rezerwa w mocy zainstalowanych transformatorów głównych podstacji trakcyjnej powinna wynosić 100%.
- 2.1.2.2 Ze względu na niesymetryczny charakter odbioru, jakim jest system trakcji elektrycznej prądu przemennego 25 kV, wspólny punkt przyłączenia (węzeł sieci elektroenergetycznej) powinien być zlokalizowany na szynach zbiorczych węzła sieci elektroenergetycznej o napięciu nie mniejszym od 220 kV.
- 2.1.2.3 Układ linii zasilających, rozdzielni WN 110 kV (220 kV) i rozdzielni SN 2×25 kV powinien umożliwiać zasilanie każdego odcinka sieci trakcyjnej z jednej dowolnej linii zasilającej.
- 2.1.2.4 Sieć trakcyjną 2×25 kV lub 1×25 kV należy zasilать jednostronnie z każdej podstacji trakcyjnej, przy czym na liniach dwutorowych równoległe odcinki sieci trakcyjnej (oraz zasilacze dodatkowych linii) należy zasilать z tej samej fazy rozdzielni 25 kV (lub 2×25 kV). W projekcie należy uwzględnić możliwość zasilania awaryjnego przez sieć obszaru zasilania sąsiedniej podstacji trakcyjnej.
- 2.1.2.5 Zaleca się zasilanie odcinków sieci trakcyjnej i zasilaczy dodatkowych linii każdego z torów na lewo i na prawo od podstacji trakcyjnej przez oddzielne zasilacze trakcyjne wyprowadzone z rozdzielni 25 kV, podłączone do różnych faz.
- 2.1.2.6 Podstacje trakcyjne zaleca się projektować w wykonaniu napowietrznym (rozdzielnie i transformatory). Należy przewidzieć budynek lub kontener dla układów sterowania, automatyki i pomiarów, rozdzielni potrzeb własnych oraz dla personelu serwisowego. Przykładowy schemat obwodu głównego podstacji trakcyjnej wraz z przyłączami do publicznej sieci elektroenergetycznej i do sieci trakcyjnej jest zamieszczony na rysunku 2.1.2. Dopuszczalne jest również stosowanie rozdzielni w wykonaniu wewnętrznym.
- 2.1.2.7 W układach zasilania 2×25 kV należy stosować kabiny sekcyjne pośrednie i krańcowe (rys. 2.1.3 i 2.1.4).



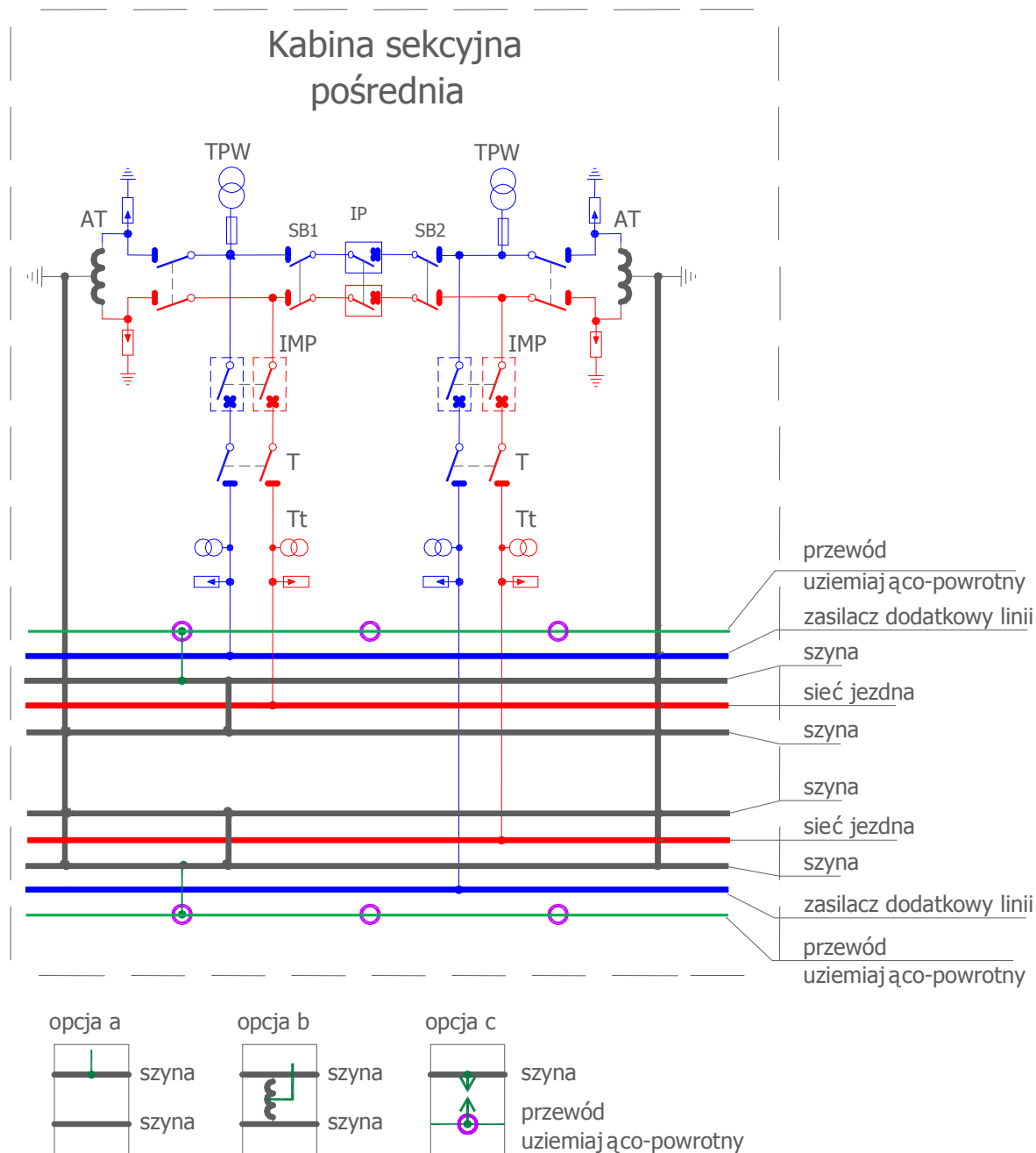
Rys. 2.1.2. Schemat elektryczny podstacji trakcyjnej 2×25 kV

(zastosowane symbole graficzne odpowiadają bibliotece symboli PNE dla narzędzi informatycznych służących do rysowania schematów elektrycznych)

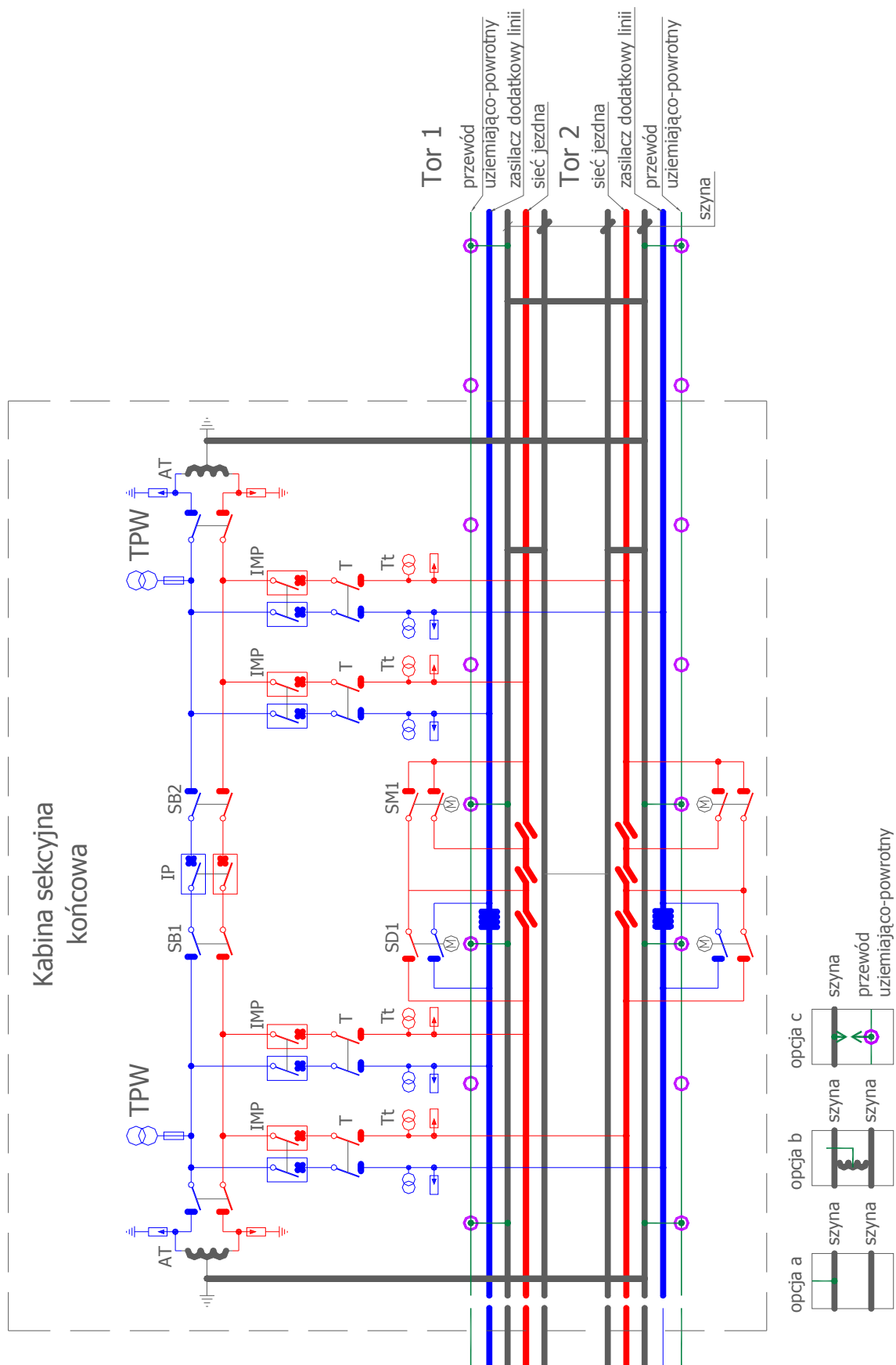
2.1.3 Sekcjonowanie sieci jezdnej i układu zasilania, kabiny sekcyjne

- 2.1.3.1 Do sekcjonowania wzdłużnego sieci jezdnej należy stosować w torach szlakowych i głównych zasadniczych tylko izolowane przęsła naprężenia.
- 2.1.3.2 Sekcjonowanie wzdłużne w punktach styku obszarów zasilania sąsiednich podstacji trakcyjnych i zmiany faz na sąsiadujących odcinkach należy wykonać z zastosowaniem sekcji separacji faz z wstawką neutralną (pkt 3.2.2.5 Wytycznych). Analogicznie w punktach styku systemu 2×25 kV z innymi systemami zasilania należy stosować sekcje separacji systemów z wstawką neutralną (pkt 3.2.2.6 Wytycznych).
- 2.1.3.3 Sieci jezdne i zasilacze dodatkowe linii, torów linii dwutorowej, powinny być od siebie wzajemnie odizolowane poprzecznie.
- 2.1.3.4 Zasilacze dodatkowe linii są sekcjonowane i w każdym przyłączy do podstacji trakcyjnej są wprowadzane do rozdzielni SN.
- 2.1.3.5 Sekcjonowanie sieci jezdnej w obszarach stacji należy wykonać wykorzystując izolowane przęsła naprężenia w sieci torów głównych zasadniczych i izolatory sekcyjne w sieci jezdnej pozostałych torów. Łączniki sekcyjne (rozłączniki mocy) należy instalować w rozdzielniach stacyjnych, oddzielnych dla każdej z głowic stacji. Połączenia pomiędzy rozdzielnią i siecią jezdnią zaleca się wykonywać jako kablowe.
- 2.1.3.6 Przewód uziemiająco-powrotny powinien w obrębie stacji zachować ciągłość elektryczną w torach głównych zasadniczych. Dla torów głównych dodatkowych i bocznych zaleca się prowadzenie dodatkowych przewodów uziemiająco-powrotnych, połączonych elektrycznie z przewodami torów głównych zasadniczych. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się przyłączanie pojedynczych konstrukcji wsporczych do przewodów uziemiająco-powrotnych torów sąsiednich, jednakże długość tych połączeń nie powinna przekraczać 50 m.
- 2.1.3.7 W obrębie stacji przewód zasilacza dodatkowego linii należy poprowadzić obejściem z pominięciem wszystkich lokalnych połączeń sieci jezdnej.
- 2.1.3.8 W układzie zasilania 2×25 kV (pomiędzy podstacją trakcyjną i końcem odcinka zasilania) nie zaleca się stosowania kabin sekcyjnych innych niż stacje autotransformatorowe.
- 2.1.3.9 Rolę połączeń poprzecznych w układzie zasilania 2×25 kV spełniają instalowane przeciętnie co 10 km stacje autotransformatorowe (spełniają rolę pośrednich kabin sekcyjnych). Schemat przyłącza stacji transformatorowej (pośredniej kabiny sekcyjnej) do sieci trakcyjnej jest zamieszczony na rysunku 2.1.3.

- 2.1.3.10 W punktach styku z obszarami zasilania sąsiednich podstacji trakcyjnych należy instalować krańcowe kabiny sekcyjne z autotransformatorami i przerwą izolacyjną w sieci jezdnej (sekcja separacji faz z wstawką neutralną) oraz z przerwą w obwodzie zasilacza dodatkowego. Kabina sekcyjna krańcowa powinna zapewniać możliwość przełączenia zasilania na sąsiedni odcinek zarówno przez sieć jezdnią jak i zasilacz dodatkowy. Poglądowy schemat przyłącza krańcowej kabiny sekcyjnej do sieci trakcyjnej jest zamieszczony na rysunku 2.1.4. Stykowanie obszarów zasilania jest omówione w pkt 2.1.6 i 3.2.2.5.



Rys. 2.1.3. Schemat elektryczny pośredniej kabiny sekcyjnej



Rys. 2.1.4. Schemat elektryczny krańcowej kabiny sekcyjnej

2.1.4 Zasilanie z sieci energetyki publicznej

2.1.4.1 Wymagania ogólne

Warunki techniczne, jakie powinny spełniać przyłączane do sieci dystrybucyjnej urządzenia, instalacje i sieci określa Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej (dalej IRiESD) właściwego Operatora Systemu Dystrybucyjnego (dalej OSD).

W przypadku przyłączenia do sieci przesyłowej, przyłączana sieć powinna spełniać warunki określone w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (dalej IRiESP) [26].

Podmioty ubiegające się o przyłączenie do sieci dystrybucyjnej lub przesyłowej urządzeń, instalacji i sieci są zobowiązane do projektowania obiektów, urządzeń, instalacji i sieci zgodnie z powszechnie obowiązującymi przepisami oraz w oparciu o otrzymane warunki przyłączenia.

Warunki przyłączenia określają w szczególności:

- a) miejsce przyłączenia;
- b) miejsce dostarczania energii elektrycznej;
- c) moc przyłączeniową;
- d) rodzaj przyłącza;
- e) zakres niezbędnych zmian w sieci związanych z przyłączeniem;
- f) dane znamionowe urządzeń, instalacji i sieci oraz dopuszczalne graniczne parametry ich pracy;
- g) dopuszczalny poziom zmienności parametrów technicznych energii elektrycznej;
- h) miejsce zainstalowania układu pomiarowo-rozliczeniowego;
- i) wymagania dotyczące układu pomiarowo-rozliczeniowego i systemu pomiarowo-rozliczeniowego;
- j) rodzaj i usytuowanie zabezpieczenia głównego, dane znamionowe oraz niezbędne wymagania w zakresie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i systemowej;
- k) dane umożliwiające określenie w miejscu przyłączenia wartości prądów:
 - zwarć wielofazowych i czasów ich wyłączenia,
 - zwarcia doziemnego i czasów ich wyłączenia lub trwania;
- l) wymagany stopień skompensowania mocy biernej;
- m) wymagania w zakresie:
 - dostosowania przyłączanych urządzeń, instalacji lub sieci do systemów sterowania dyspozytorskiego,
 - przystosowania układu pomiarowo-rozliczeniowego do systemów zdalnego odczytu danych pomiarowych,

- zabezpieczenia sieci przed zakłóceniami elektrycznymi powodowanymi przez urządzenia, instalacje lub sieci wnioskodawcy,
 - wyposażenia urządzeń, instalacji lub sieci, niezbędnego do współpracy z siecią, do której ma nastąpić przyłączenie;
- n) możliwości dostarczania energii elektrycznej w warunkach odmiennych od standardowych;
- o) dane i informacje dotyczące sieci niezbędne w celu doboru systemu ochrony przed porażeniami w instalacji lub sieci podmiotu, którego instalacje lub sieci będą przyłączane.

Przyłączane urządzenia, instalacje i sieci, muszą spełniać także wymagania określone w odrębnych przepisach, w szczególności przepisach: prawa budowlanego, o ochronie przeciwporażeniowej, o ochronie przeciwprzepięciowej, o ochronie przeciwpożarowej, o systemie oceny zgodności, w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [23] oraz w przepisach dotyczących technologii wytwarzania energii.

- 2.1.4.2 Wybór napięcia zasilającego (110 kV lub 220 kV) powinien być dokonany w oparciu o analizę struktury układu zasilania (ew. warianty) oraz ekspertyzę wpływu projektowanego układu zasilania trakcji elektrycznej 25 kV na krajowy system elektroenergetyczny (pkt 4.3.2.1.).
- 2.1.4.3 Pożądane jest po transformacji 220/110 kV, 400/110 kV lub 400/220 kV zasilanie podstacji trakcyjnych liniami 110 kV (lub o napięciu wyższym) przeznaczonymi wyłącznie do zasilania linii kolejowej i stanowiącymi energetyczną infrastrukturę kolejową.
- 2.1.4.4 Projekt układu zasilania winien zawierać część dotyczącą zasilania w energię elektryczną łącznie z przyłączami do sieci napięć 110 kV, 220 kV lub 400 kV.
- 2.1.4.5 Projekt elektryfikacji linii kolejowej w systemie 2×25 kV powinien zakładać jako rozwiązanie docelowe zasilanie podstacji z dwóch niezależnych linii 110 kV lub 220 kV o jak najwyższym stopniu niezawodności.
- 2.1.4.6 Układ pracy przyłączanej sieci, dobór aparatury i jej parametry, a w szczególności wymagania dotyczące układów automatyki zabezpieczeniowej, układów pomiarowo-rozliczeniowych, telemechaniki i łączności oraz współpracy systemów sterowania dyspozytorskiego są szczegółowo określone przez OSD lub OSP (Operatora Systemu Przesyłowego) w zależności od miejsca przyłączenia.

Przyłączane do sieci dystrybucyjnych lub przesyłowych urządzenia, instalacje i sieci podmiotów ubiegających się o przyłączenie, muszą spełniać wymagania techniczne i eksploatacyjne zapewniające:

- 1) bezpieczeństwo funkcjonowania systemu elektroenergetycznego,

- 2) zabezpieczenie systemu elektroenergetycznego przed uszkodzeniami spowodowanymi niewłaściwą pracą przyłączonych urządzeń, instalacji i sieci,
- 3) zabezpieczenie przyłączonych urządzeń, instalacji i sieci przed uszkodzeniami w przypadku awarii lub wprowadzenia ograniczeń w poborze lub dostarczaniu energii,
- 4) dotrzymanie w miejscu przyłączenia urządzeń, instalacji i sieci parametrów jakościowych energii,
- 5) spełnianie wymagań w zakresie ochrony środowiska, określonych w odrębnych przepisach,
- 6) możliwość dokonywania pomiarów wielkości i parametrów niezbędnych do prowadzenia ruchu sieci oraz rozliczeń.

Dla umożliwienia unifikacji rozwiązań technicznych w obrębie sieci zamkniętej OSP publikuje „Standardy techniczne OSP stosowane w sieci przesyłowej”.

Wymagania techniczne dotyczące urządzeń, instalacji i sieci, które nie są lub nie będą przyłączone do sieci zamkniętej, mogą być zmienione poprzez indywidualne ich określenie w umowach o przyłączenie do sieci, umowach o świadczenie usług dystrybucji albo umowach kompleksowych. Dokonanie zmiany wymagań technicznych, wymaga uzgodnienia z OSD lub OSP właściwym dla miejsca przyłączenia.

- 2.1.4.7 Budowa linii bezpośredniej wymaga, przed wydaniem decyzji o pozwoleniu na budowę w rozumieniu przepisów prawa budowlanego, uzyskania zgody Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki. Zgoda jest udzielana w drodze decyzji.

Urządzenia, instalacje i sieci podmiotów ubiegających się o przyłączenie oraz podmiotów przyłączonych do sieci dystrybucyjnej lub przesyłowej nie mogą wprowadzać do sieci zaburzeń parametrów technicznych energii elektrycznej powyżej dopuszczalnych poziomów określonych w warunkach przyłączenia i/lub w IRiESD lub IRiESP [26], powodujących pogorszenie parametrów jakościowych energii elektrycznej określonych odpowiednio w rozporządzeniu wydanym na podstawie delegacji zawartej w ustawie Prawo energetyczne [7] lub w umowie o świadczenie usług dystrybucji lub umowie kompleksowej lub zawartych w IRiESD lub IRiESP [26].

- 2.1.4.8 Wymagania techniczne dla linii bezpośrednich

Warunkiem przystąpienia do budowy linii bezpośrednich jest wcześniejsze spełnienie wymagań zawartych w ustawie Prawo energetyczne [7] tj. wykonanie ekspertyzy przyłączeniowej zgodnie z warunkami określonymi przez OSP lub OSD, wystąpienie o warunki przyłączeniowe, a następnie zawarcie umowy przyłączeniowej.

Linie bezpośrednie oraz łączone za ich pośrednictwem urządzenia, instalacje, sieci oraz jednostki wytwórcze winny spełniać wymagania techniczne określone w IRiESD lub IRiESP [26].

Linie bezpośrednie należy wyposażać w układy i systemy pomiarowo-rozliczeniowe zgodnie z zapisami IRiESD-Bilansowanie.

OSD lub OSP może określić w warunkach przyłączenia inne lub dodatkowe wymagania techniczne związane z przyłączaniem linii bezpośrednich niż określone w IRiESD lub w IRiESP [26].

2.1.4.9 Wymagania techniczne dla transformatorów WN/WN i WN/SN

Transformatory przyłączone do sieci o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym, poprzez które zasilane są urządzenia, instalacje i sieci odbiorców, powinny być:

- a) wyposażone w regulację zaczepową działającą pod obciążeniem,
- b) przystosowane do współpracy z nadrzędnymi układami regulacji.

W celu spełnienia określonych wymaganych parametrów sieci uzwojenia transformatorów o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym, powinny być połączone w gwiazdę z punktem neutralnym, przystosowanym do uziemienia lub odziemienia. W przypadku stosowania transformatorów w układzie połączeń Scott'a należy wyprowadzić w nim punkt zerowy uzwojenia pierwotnego. Kwestia uziemienia punktu zerowego leży w gestii Operatora Sieci Przesyłowej.

2.1.4.10 Wymagania zwarciove.

Urządzenia przyłączone do sieci 110 kV i SN muszą być przystosowane do warunków zwarciowych w miejscu ich przyłączenia do sieci dystrybucyjnej. W przypadku przyłączenia do sieci 220 lub 400 kV muszą być przystosowane do warunków zwarciowych w miejscu ich przyłączenia.

Poszczególne elementy sieci dystrybucyjnej lub przesyłowej muszą być wyposażone w urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej niezbędne do samoczynnej, selektywnej likwidacji zakłóceń sieciowych.

Czasy trwania zwarć wyłączanych przez zabezpieczenie podstawowe w strefie podstawowej w urządzeniach przyłączonych do sieci 110 kV nie mogą być dłuższe niż 150 ms, natomiast w urządzeniach przyłączonych do sieci 400 lub 220 kV nie mogą być dłuższe niż 120 ms.

Czas wyłączania zwarć w urządzeniach przyłączonych do sieci 110 kV przez zabezpieczenie rezerwowe nie może być dłuższy niż ustalony przez operatora systemu dystrybucyjnego lub przesyłowego.

OSD lub OSP określa warunki stosowania elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej przez podmioty przyłączone do sieci 110 kV i SN, przy czym dla zapewnienia bezpiecznej pracy sieci przesyłowej i dystrybu-

cyjnej nastawienia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej w koordynowanej sieci 110 kV są określone przez operatora systemu przesyłowego.

Urządzenia pierwotne przyłączone bezpośrednio do sieci 110 kV, powinny być wyposażone w układy lokalnej rezerwy wyłącznikowej. Czasy likwidacji zwarć, przez układy rezerwy lokalnej, nie mogą przekraczać 500 ms.

2.1.4.11 Rekuperacja energii elektrycznej

Jeżeli OSP lub OSD wyrażą zgodę na wymianę energii powstającej podczas hamowania odzyskowego pociągów, wówczas urządzenia sterownicze i zabezpieczające podstacji trakcyjnych powinny być tak zaprojektowane, aby umożliwić wymianę energii do sieci elektroenergetycznej tego operatora. W przeciwnym wypadku obwód zasilaczy sieci trakcyjnej należy wyposażyć w system nie zezwalający na przesył nadmiernej energii rekuperacji pojazdów trakcyjnych do sieci zasilającej WN przez rozdzielnię WN/SN i transformatory podstacji trakcyjnej.

2.1.5 Zasilanie obwodów potrzeb własnych i odbiorów nietrakcyjnych

2.1.5.1 Do zasilania rozdzielni potrzeb własnych w: podstacjach trakcyjnych, kabinach sekcyjnych, rozdzielniach stacyjnych sieci jezdnej, stacjach autotransformatorowych, należy zastosować transformatory jednofazowe zasilane z rozdzielni napięcia trakcyjnego.

2.1.5.2 Do zasilania obwodów nietrakcyjnych urządzeń liniowych należy zastosować następujące układy:

- a) transformatory jednofazowe SN/nN zasilane z sieci trakcyjnej, rozmieszczone w punktach odbioru,
- b) transformatory jednofazowe SN/nN zainstalowane w stacjach autotransformatorowych połączone liniami o podwyższonym napięciu roboczym nN,
- c) falowniki trójfazowe zainstalowane w podstacjach trakcyjnych, kabinach sekcyjnych i stacjach autotransformatorowych, zasilane napięciem jednofazowym 25 kV przez transformatory i prostowniki, połączone liniami potrzeb nietrakcyjnych o podwyższonym niskim napięciu pracy,
- d) jako rezerwowe zasilanie należy przewidzieć zasilanie z sieci publicznej – jeżeli jest wymagane,
- e) jako awaryjne źródła zasilania należy zastosować urządzenia UPS – jeżeli jest wymagane.

2.1.5.3 Obwody nietrakcyjne urządzeń na stacjach o dużym zapotrzebowaniu mocy nie powinny być zasilane z sieci jezdnej.

- 2.1.5.4 Linie potrzeb nietrakcyjnych niskiego napięcia należy budować tylko jako kablowe.

2.1.6 Punkty stykowania układów zasilania różnych systemów

- 2.1.6.1 Na polskich zelektryfikowanych liniach kolejowych mogą wystąpić punkty styku systemu 2×25 kV i następujących systemów:
- a) systemu 1×25 kV AC 50 Hz,
 - b) systemu 3 kV DC,
 - c) systemu 15 kV AC 16,7 Hz.
- 2.1.6.2 Sekcjonowanie sieci jezdnej w punktach stykowania należy wykonać z wykorzystaniem sekcji separacji faz z wstawką neutralną lub sekcji separacji systemów z wstawką neutralną zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 50367:2006 [75] i TSI „Energia” – pkt 4.2.22 [10].
- 2.1.6.3 Należy zapewnić odpowiednie warunki ochrony przeciwporażeniowej i przeciwzwarceniowej w obszarze stykowania. Szczególną uwagę należy zwrócić na systemy uziemień i uszynień stosowane w stykających się systemach AC i DC.
- 2.1.6.4 Rozwiązanie obwodów stykowania sieci powrotnych różnych systemów zasilania trakcji powinno być ujęte w projekcie sieci powrotnej (pkt: 3.2.4.2, 3.2.2.5, 3.2.2.6).

2.2 Aparatura i wyposażenie

2.2.1 Rozdzielnie i aparatura rozdzielcza

- 2.2.1.1 Rozdzielnia wysokiego napięcia podstacji trakcyjnej powinna być zaprojektowana w układzie „H”. Na etapie projektowania należy przewidzieć w uzasadnionych przypadkach możliwość rozbudowy układu „H” do układu szynowego.
- 2.2.1.2 Projekt rozdzielni WN podstacji trakcyjnej należy wykonać zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz w oparciu o wydane, przez Operatora Systemu Przesyłowego (Dystrybucyjnego), warunki przyłączenia.
- 2.2.1.3 W celu ograniczenia ilości potrzebnej powierzchni gruntu, pod budowę rozdzielni WN, zaleca się stosowanie kompaktowych pól wyłącznikowych wysokiego napięcia.
- 2.2.1.4 Rozdzielnia średniego napięcia (SN) 2×25 kV do zasilania obwodów trakcyjnych powinna spełniać następujące wymagania:
- a) zapewnienie możliwości zasilania każdego zasilacza trakcyjnego z każdego transformatora,

- b) praca w układzie awaryjnym umożliwiającym zasilanie sieci jezdnej w obszarze zasilania danej podstacji trakcyjnej z sąsiednich podstacji trakcyjnych, w sytuacji braku zasilania WN tej podstacji (praca kabino-wa),
- c) pole każdego zasilacza trakcyjnego powinno być wyposażone w dwuob-wodowy wyłącznik mocy,
- d) szyny głównych obwodów prądowych rozdzielni powinny być zdwojone (jeden tor zasilacza sieci jezdnej i jeden tor zasilacza dodatkowego) z izolacją na napięcie robocze międzyfazowe 58 kV i fazowe 29 kV,
- e) wszystkie wyłączniki mocy, rozłączniki mocy, odłączniki i inne aparaty łą-czeniowe w obwodzie głównym rozdzielni powinny być dwuobwodowe z izolacją przystosowaną do napięcia roboczego międzyfazowego 58 kV i napięcia fazowego 29 kV.

2.2.2 Transformatory główne (trakcyjne)

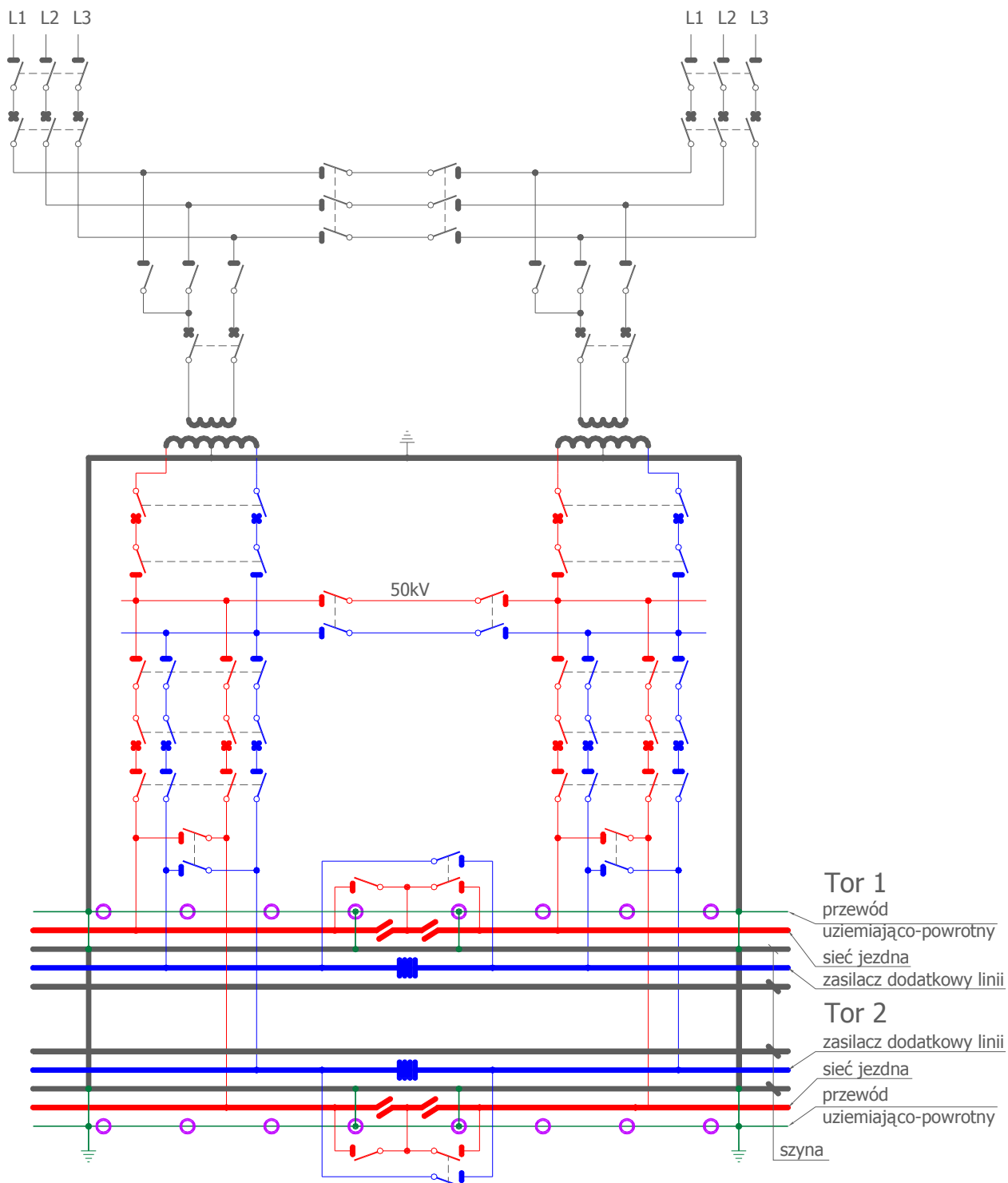
2.2.2.1 Do zasilania systemu trakcji elektrycznej 2×25 kV stosowane są transformato-ry o różnych układach połączeń stosowanych w zależności od poziomu wpro-wadzanej do sieci zasilającej WN asymetrii. Na ogół operator systemu przesy-łowego lub operator systemu dystrybucyjnego zastrzega w warunkach zasila-nia wyprowadzenie punktu zerowego transformatora po stronie pierwotnej WN. Z kolei układ zasilania trakcyjnego 2×25 kV wymaga wyprowadzonego punktu zerowego po stronie wtórnej transformatora. W niniejszych Wytycznych zaleca się następujące układy (schematy na rysunkach od 2.2.1 do 2.2.6):

- a) transformatory jednofazowe – rysunek 2.2.1.
- b) transformatory trójfazowe w układzie gwiazda-niepełna gwiazda lub gwiazda-niepełny trójkąt – rysunek 2.2.2,
- c) transformatory o trójfazowym układzie połączeń strony pierwotnej i strony wtórnej (gwiazda-trójkąt) z wyprowadzonym punktem zerowym uzwoje-nia pierwotnego i uziemionym jednym wierzchołkiem trójkąta uzwojenia wtórnego – rysunek 2.3.3,
- d) transformatory specjalne zmniejszające asymetrię po stronie pierwotnej o układach połączeń Scott'a lub Woodgridge'a. Transformator w układzie Woodgridge'a wymaga stosowania dodatkowych autotransformatorów w celu uzyskania punktu zerowego po stronie wtórnej – rysunek 2.2.4, 2.2.5 i 2.2.6,

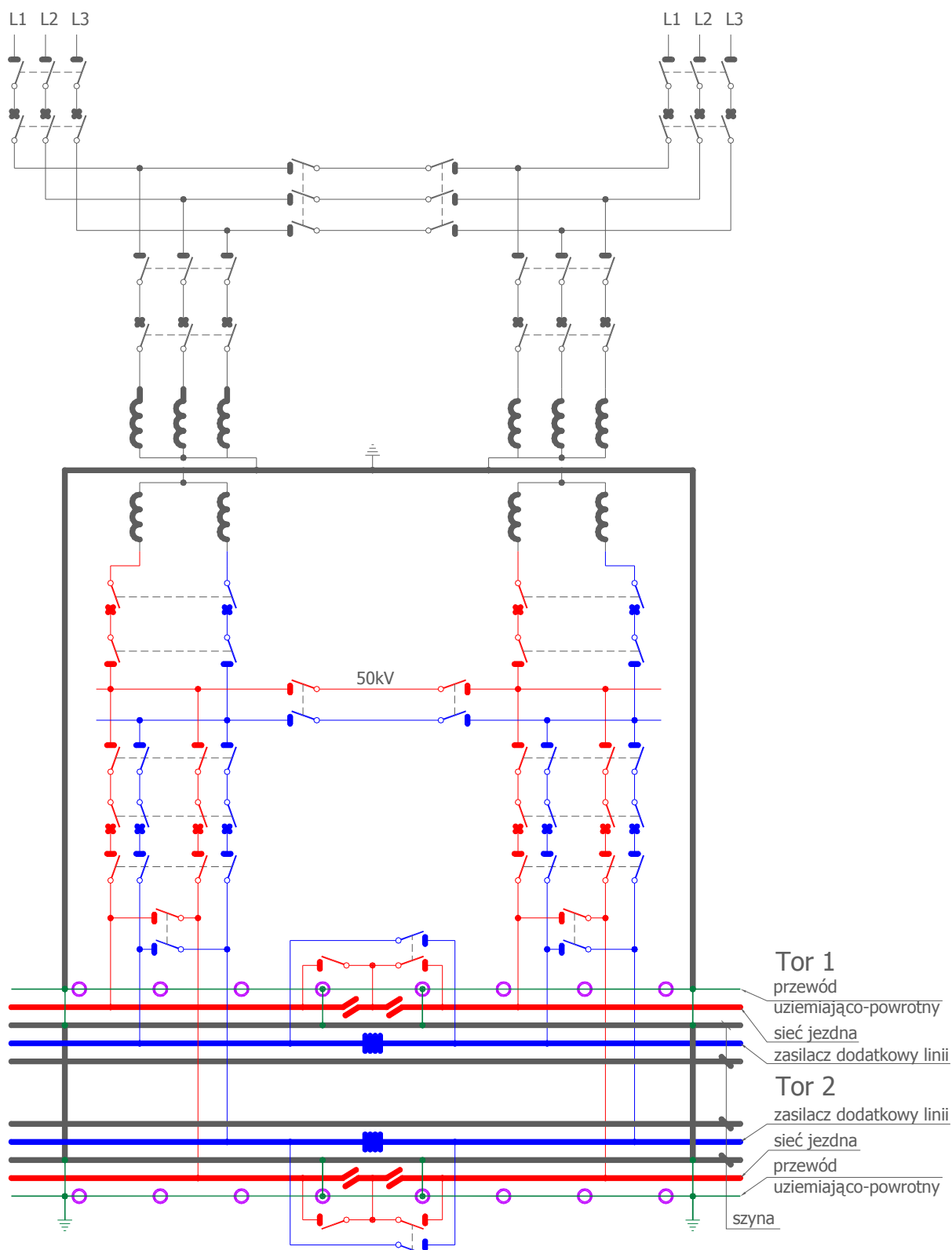
Na rysunkach 2.2.1÷2.2.6 zamieszczono poglądowe schematy obwo-dów głównych podstacji trakcyjnych z transformatorami o układach połączeń uzwojeń pierwotnych i wtórnych: jednofazowe/jednofazowe, trójfazo-we/dwufazowe (gwiazda/niepełna gwiazda), trójfazowe/trójfazowe (gwiaz-da/trójkąt), trójfazowe/dwufazowe – wykonania specjalne (Scott'a, Woodgrid-

ge'a, Le Blanc'a) wraz z przyłączami do sieci elektroenergetycznej i do sieci trakcyjnej.

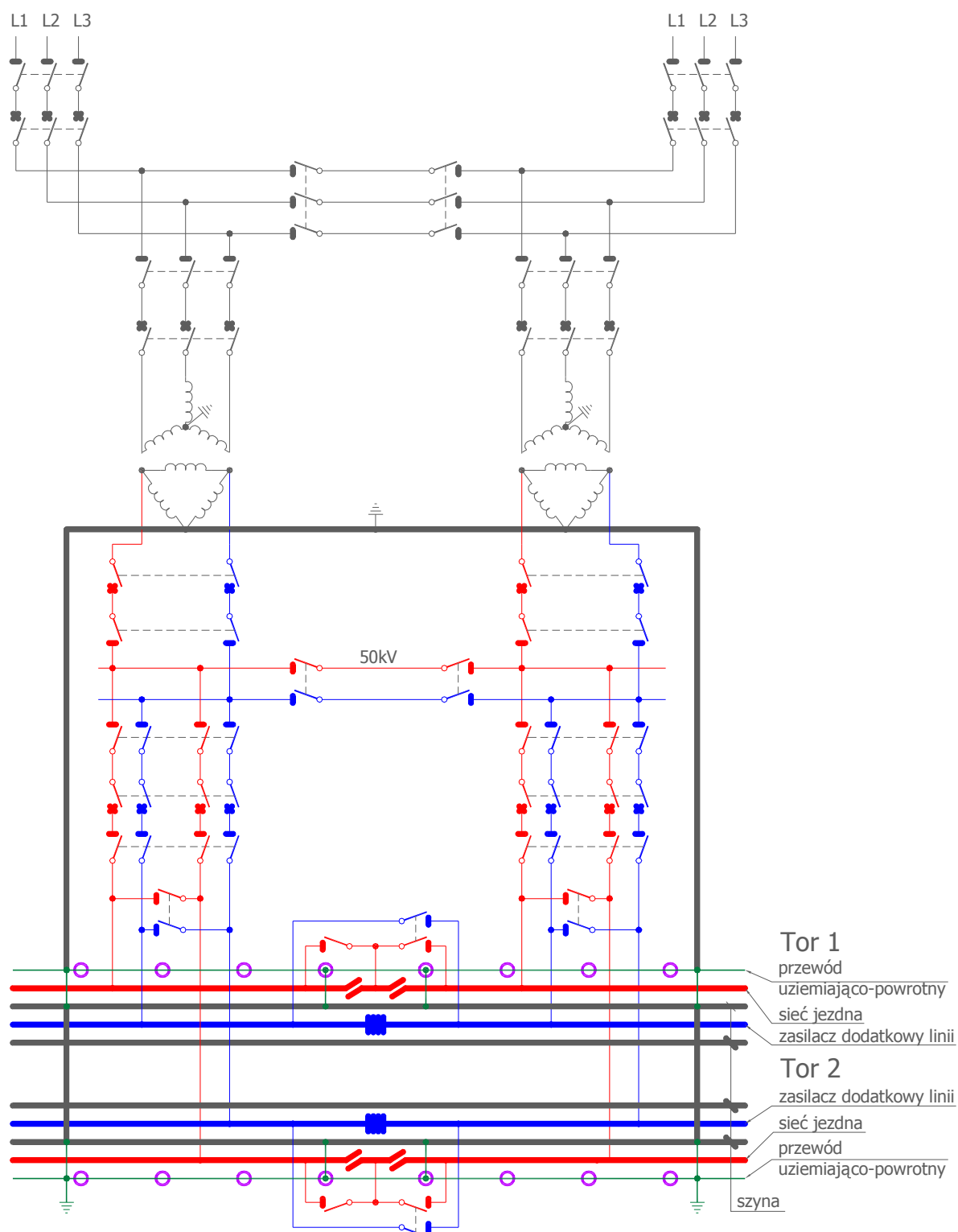
- 2.2.2.2 Transformatory główne powinny być wyposażone w układ regulacji napięcia pod obciążeniem.
- 2.2.2.3 Liczba zainstalowanych w podstacji trakcyjnej transformatorów głównych powinna zapewniać 100% rezerwy mocy i odpowiednią przeciążalność zgodnie z normą PN-EN 50329:2003 [74].
- 2.2.2.4 Punkty zerowe uzwojeń stron pierwotnej i wtórnej transformatorów głównych, jeżeli będą uziemiane, powinny być połączone z uziemieniem podstacji trakcyjnej.



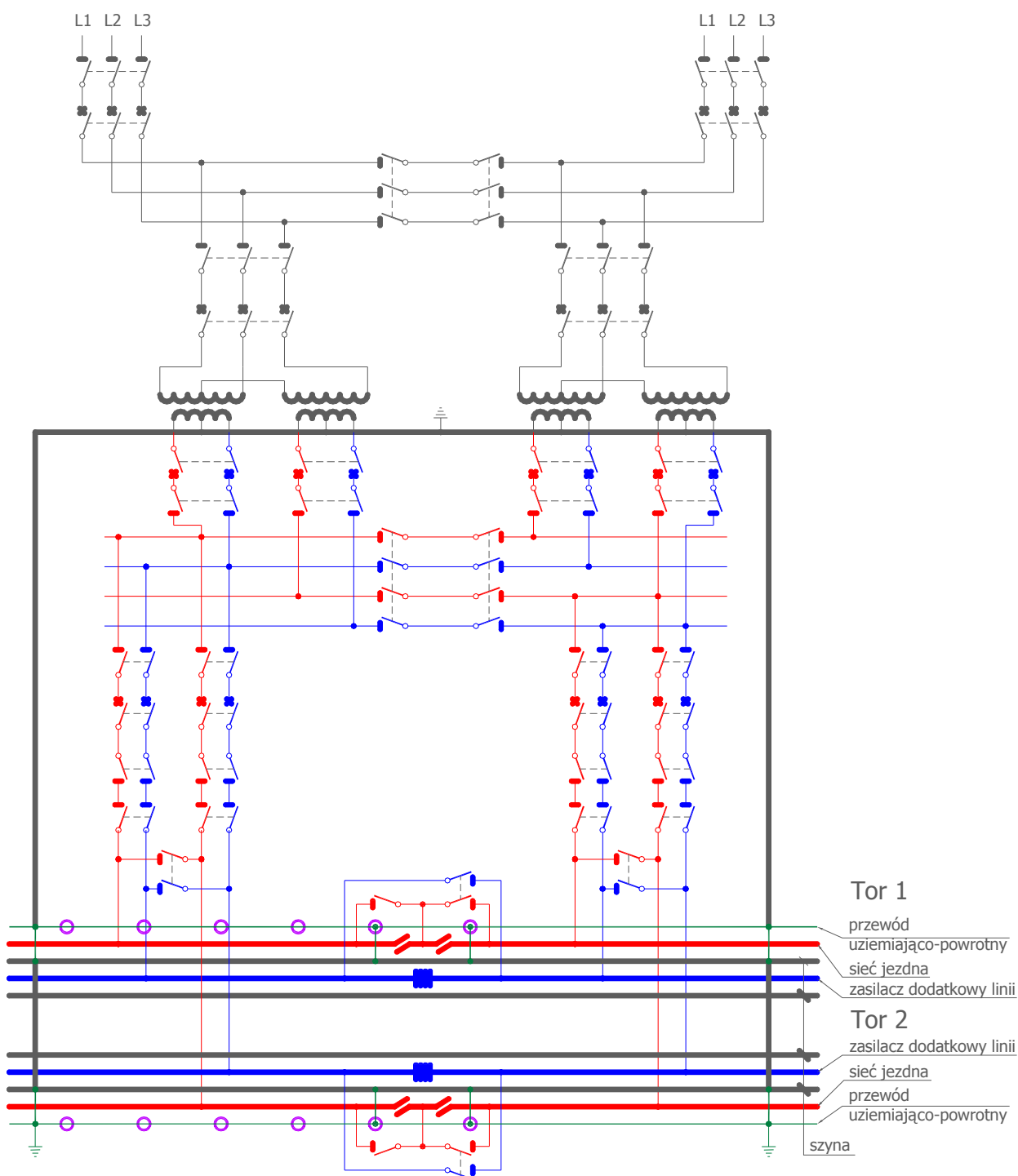
Rys. 2.2.1. Schemat podstacji trakcyjnej 2×25 kV z transformatorem jednofazowym



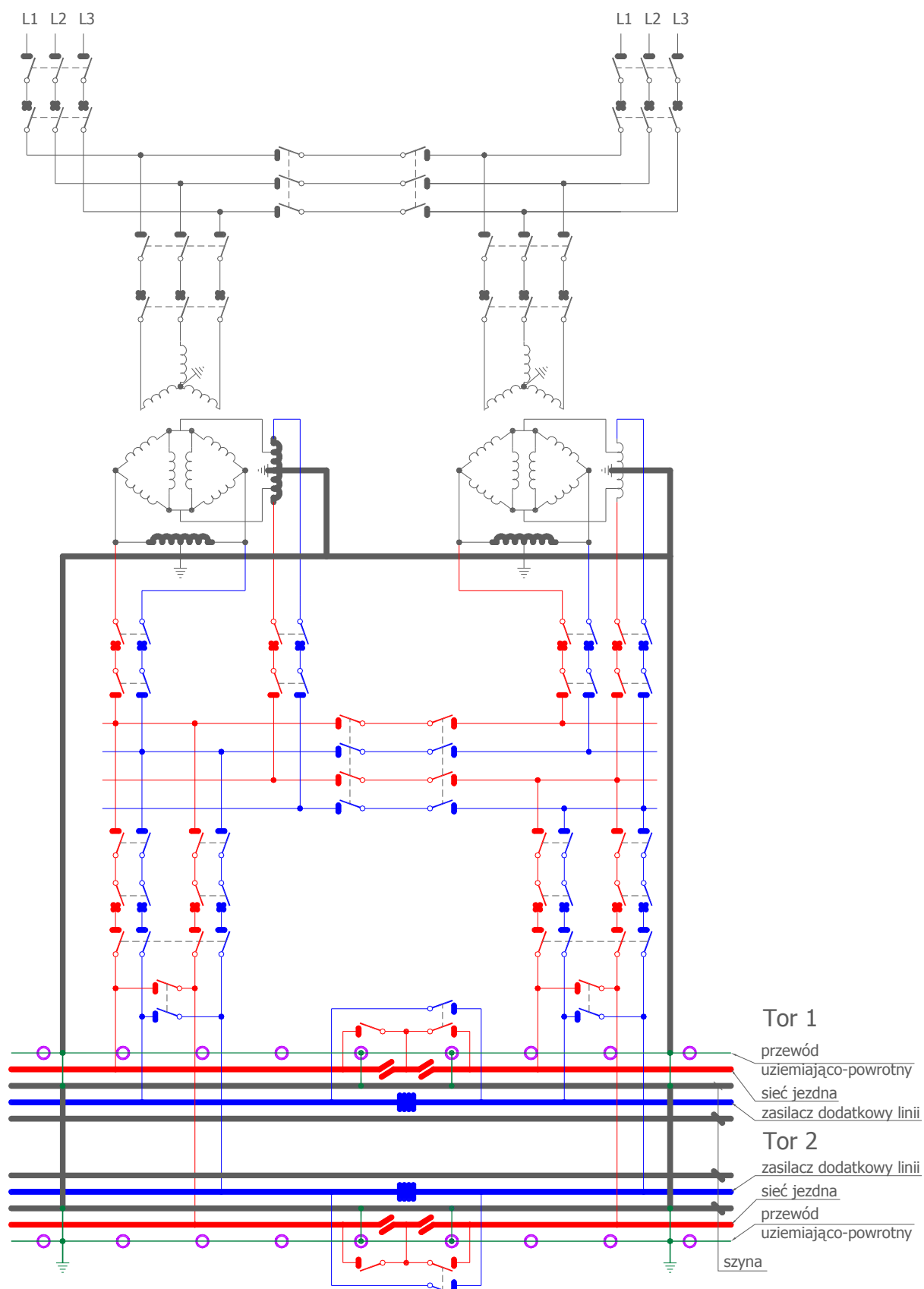
Rys. 2.2.2. Schemat podstacji trakcyjnej 2x25 kV z transformatorem trójfazowym w układzie „V”



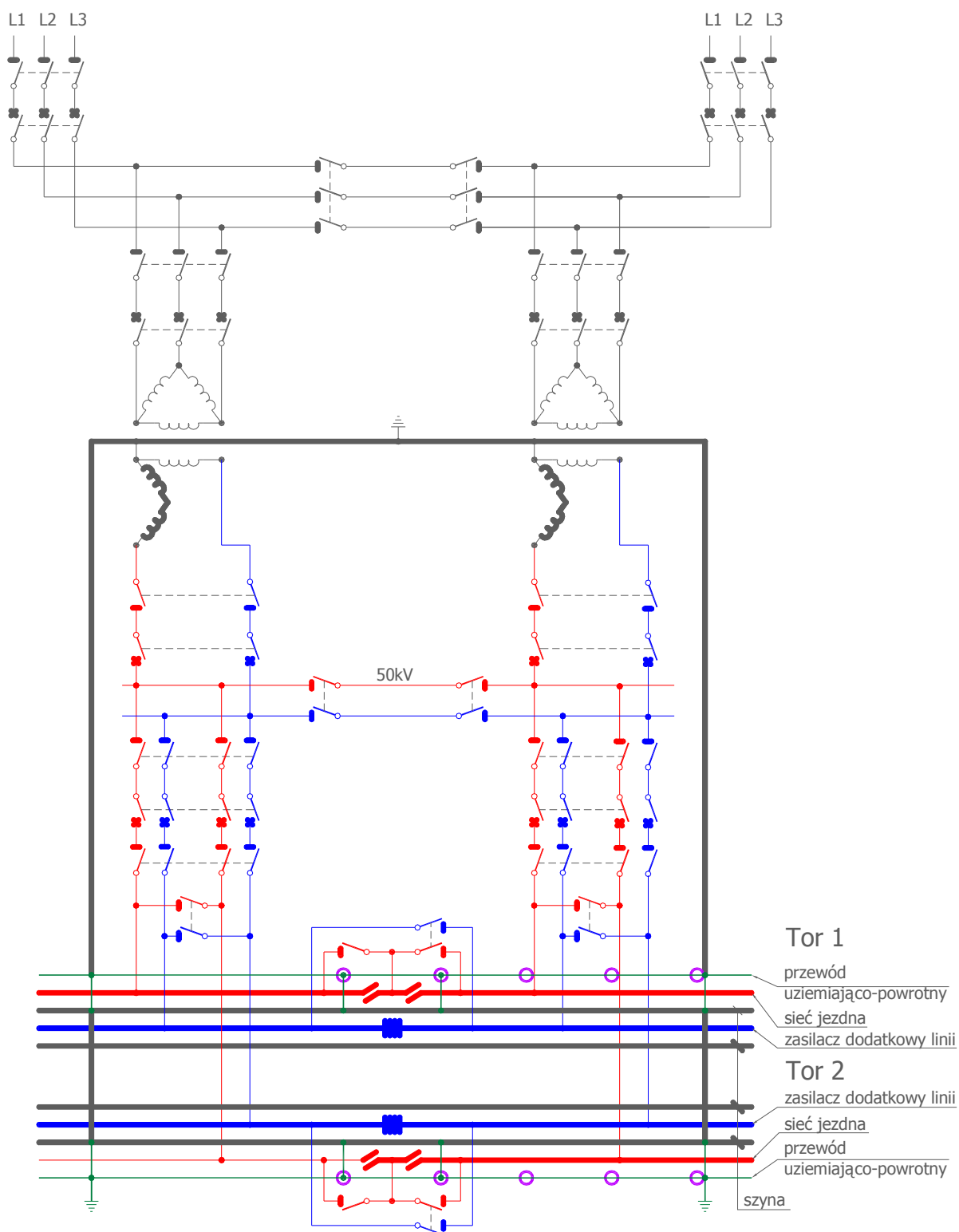
Rys. 2.2.3. Schemat podstacji trakcyjnej 2x25 kV z transformatorem trójfazowym w układzie „Δ”



Rys. 2.2.4. Schemat podstacji trakcyjnej 2×25 kV z transformatorem trójfazowym w układzie Scott'a



Rys. 2.2.5. Schemat podstacji trakcyjnej 2×25 kV z transformatorem trójfazowym w układzie Woodgridge'a



Rys. 2.2.6. Schemat podstacji trakcyjnej 2×25 kV z transformatorem trójfazowym w układzie Le Blanc'a

2.2.3 Autotransformatory trakcyjne

- 2.2.3.1 Autotransformatory trakcyjne jednofazowe są przewidziane do pracy w obwodach o napięciach: 50/25, 43,3/25, 35,4/25 kV. Końce uzwojeń należy połączyć z siecią jezdnią i odpowiednio z zasilaczem dodatkowym, natomiast punkt środkowy z szynami i uziemieniem.
- 2.2.3.2 Autotransformatory powinny być wyposażone w układ regulacji napięcia pod obciążeniem.

2.2.4 Booster transformatory

- 2.2.4.1 Booster transformatory są stosowane w układzie zasilania trakcji 1×25 kV.
- 2.2.4.2 Booster transformatory konstrukcyjnie są zbudowane jak jednofazowe dwuuzwojeniowe przekładniki prądowe o przekładni 1:1. Przenoszą pełny prąd powrotny. Uzwojenie pierwotne jest „wcięte” w obwód sieci jezdnej a uzwojenie wtórne w obwód przewodu powrotnego.

2.2.5 Transformatory potrzeb własnych

- 2.2.5.1 Jednofazowe transformatory potrzeb własnych w podstacjach trakcyjnych są przeznaczone do zasilania obwodów sterowania, zabezpieczeń, automatyki, oświetlenia itp. Są zasilane z szyn rozdzielni średniego napięcia napięciem 25 kV. Zasilają rozdzielnię potrzeb własnych niskiego napięcia.
- 2.2.5.2 Jednofazowe transformatory potrzeb własnych instalowane w stacjach autotransformatorowych, stacjach rozdzielczych i kabinach sekcyjnych są zasilane napięciem 25 kV z obwodu zasilacza dodatkowego lub z sieci jezdnej.

2.2.6 Urządzenia kompensujące, tłumiące, symetryzujące

- 2.2.6.1 Urządzenia do kompensacji mocy biernej, tłumienia oscylacji i kompensacji asymetrii oraz filtry mogą być instalowane opcjonalnie, w miarę potrzeb. Miejscem ich instalacji powinna być rozdzielnia SN podstacji trakcyjnej, chyba że warunki ich pracy będą wymagały innej lokalizacji (rys. 2.1.2).
- 2.2.6.2 Urządzenia kompensacyjne mocy biernej (baterie kondensatorów lub przekształtniki statyczne) instalowane są w rozdzielni SN podstacji trakcyjnej.
- 2.2.6.3 Filtry składowej przeciwnej prądu (symetryzatory) statyczne (pojemnościowo-indukcyjne), aktywne (przekształtnikowe), lub maszynowe, stosowane w celu zmniejszenia zjawiska asymetrii w elektroenergetycznej sieci zasilającej podstacje trakcyjne, instalowane są w polach transformatorów (lub obok) po stronie SN podstacji trakcyjnej.
- 2.2.6.4 Filtry wyższych harmoniczných prądu i napięcia są na ogół elementem symetryzatora statycznego lub urządzenia do kompensacji mocy biernej.

- 2.2.6.5 Urządzenia tłumiące elektryczne oscylacje (obwody L–C) układu zasilania i sieci trakcyjnej instalowane są w wybranych punktach odcinków zasilania lub na ich końcach.

2.2.7 Ochrona odgromowa

- 2.2.7.1 Podstacje trakcyjne, napowietrzne stacje autotransformatorowe, stacje rozdzielcze, kabiny sekcyjne oraz sieć trakcyjna powinny być zabezpieczone od przepięć atmosferycznych za pomocą odgromników rożkowych lub ochronników przepięciowych zaworowych lub półprzewodnikowych. Ochronie także podlegają uzwojenia transformatorów i autotransformatorów.
- 2.2.7.2 Odgromniki rożkowe lub ochronniki napięciowe powinny być rozmieszczone powyżej obiektów chronionych.
- 2.2.7.3 Zaciski niskiego potencjału odgromników i ograniczników przepięć należy łączyć z ziemią systemu trakcyjnego lub uziemieniem podstacji trakcyjnej.
- 2.2.7.4 Najwyższe napięcie robocze fazowe ciągłe U_{max1} systemu 2×25 kV wynosi 27,5 kV, a napięcie krótkotrwałe U_{max2} wynosi 29 kV (wartość U_{max1} i U_{max2} wg. normy PN-EN 50163:2006 [68]). Wartości: najwyższego napięcia roboczego, statycznego napięcia zapłonowego i wartość oraz parametry czasowe udarowego napięcia zapłonowego odgromników i ograniczników przepięć powinny być skoordynowane z wartościami napięć: znamionowych, znormalizowanych napięć wytrzymywanych (znamionowy poziom izolacji) oraz znormalizowanych, wytrzymywanych napięć udarowych – piorunowych izolacji (lub systemu izolacyjnego) określonych w normach PN-EN 50124-1:2007 [65] i PN-EN 60071-1:2008 [79].
- 2.2.7.5 Elementy ochrony odgromowej są montowane na:
- liniach zasilających podstację trakcyjną w polach rozdzielni WN (zgodnie z wymaganiami dla WN),
 - doprowadzeniach WN uzwojeń pierwotnych transformatorów trakcyjnych w polach rozdzielni WN (zgodnie z wymaganiami dla WN),
 - wyprowadzeniach 25 kV uzwojeń wtórnych transformatorów trakcyjnych w polach rozdzielni SN,
 - polach wyjściowych zasilaczy sieci jezdnej i zasilaczy dodatkowych w polach rozdzielni SN oraz na przyłączach do sieci trakcyjnej,
 - doprowadzeniach SN autotransformatorów w punktach przyłączenia do sieci jezdnej i zasilacza dodatkowego,
 - doprowadzeniach SN do rozdzielni stacyjnych i kabin sekcyjnych.

2.2.8 Izolacja

- 2.2.8.1 Wymagane jest koordynowanie izolacji urządzeń stosowanych w układzie zasilania trakcji elektrycznej.
- 2.2.8.2 Urządzenia i aparatura wysokiego napięcia muszą mieć izolację skoordynowaną z izolacją systemu elektroenergetycznego, do którego są przyłączone.
- 2.2.8.3 Napięcia probiercze izolacji w rozdzielni SN powinny odpowiadać napięciom roboczym urządzeń tj. 27,5 kV do ziemi i 47,5 kV lub 55 kV pomiędzy fazami.
- 2.2.8.4 Urządzenia wysokiego i średniego napięcia instalowane w podstacjach trakcyjnych i w obwodach sieci trakcyjnej powinny być dobierane lub wymiarowane zgodnie z poziomami napięć, przepięć i prądów zwarcia występującymi w obwodach zasilania elektroenergetycznego.
- 2.2.8.5 Napięcia znamionowe, napięcia znormalizowane wytrzymywane (znamionowy poziom izolacji), napięcia wytrzymywane znormalizowane udarowe izolacji powinny być skoordynowane z największymi wartościami napięć roboczych ciągłych, zgodnie z zaleceniami i wymaganiami norm: PN-EN 50124-1:2007 [65], PN-EN 60071-1:2008 [79], PN-EN 60071-2: 2000 [80].

2.2.9 Zasilacze sieci trakcyjnej

- 2.2.9.1 Zasilacze sieci trakcyjnej należy stosować w wykonaniu napowietrznym, a jeżeli nie pozwalają na to warunki terenowe to w wykonaniu kablowym. Końcowe odcinki zasilaczy napowietrznych, które krzyżują się z siecią jezdnią należy wykonywać jako kablowe, aby uniknąć prowadzenia linii zasilacza ponad siecią jezdnią.
- 2.2.9.2 Zasilacze napowietrzne sieci trakcyjnej należy w wykonaniu napowietrznym podwieszać na wspólnych konstrukcjach wsporczych. Konstrukcje te należy połączyć z ziemią systemu trakcyjnego, zaś żyły powrotne kabli zasilaczy kablowych należy połączyć z ziemią jednostronnie.
- 2.2.9.3 Pola zasilaczy sieci trakcyjnej rozdzielni SN podstacji trakcyjnej, stacji autotransformatorowej, kabiny sekcyjnej i przyłącza zasilaczy do sieci trakcyjnej powinny być wyposażone w rozłączniki mocy lub wyłączniki i odłączniki dwu-obwodowe ze wspólnym napędem dla obu par styków ruchomych.
- 2.2.9.4 Minimalne przekroje przewodów zasilaczy napowietrznych nie powinny być mniejsze od 120 mm² AFl, zaś zasilaczy kablowych nie mniejsze od 185 mm² Al.

2.2.10 Przewody, szyny zbiorcze i połączenia prądowe

- 2.2.10.1 Przewody, szyny zbiorcze, połączenia prądowe nie powinny mieć przekroju mniejszego od wymaganego dla obwodu toru prądowego, w który są włączone.
- 2.2.10.2 Przewody, szyny zbiorcze, połączenia prądowe powinny wytrzymywać termiczne i dynamiczne oddziaływanie maksymalnych prądów zwarcia obliczonych dla obwodów, w których są zainstalowane.
- 2.2.10.3 Przewody, szyny zbiorcze linowe, linowe połączenia prądowe powinny mieć końcówki zabezpieczone przed korozją i zaprasowane zaciski pod śrubę.

2.2.11 Uziomy

- 2.2.11.1 Wartości impedancji uziomów w układzie zasilania nie powinny być większe od wynikających z obliczeń dopuszczalnych wartości napięć rażeniowych i przyjętego systemu ochrony przeciwporażeniowej i przeciwprzepięciowej.
- 2.2.11.2 Rozmieszczenie uziomów należy określić na podstawie analizy napięć rażeniowych.
- 2.2.11.3 Uziemienie systemu trakcji elektrycznej prądu przemiennego pełni funkcje uziemienia ochronnego, roboczego i odgromowego.
- 2.2.11.4 Przewód uziemiająco-powrotny jest przewodem uziemiającym (ochronnym), powrotnym i jednocześnie stanowi zwód dla odprowadzenia ładunku piorunowego. Przewód uziemiający nie jest przewodem powrotnym, poza tym spełnia te same zadania co przewód uziemiająco-powrotny. Przewody uziemiające lub uziemiająco-powrotne są łączone w sposób bezpośredni z uziomami i w sposób bezpośredni lub pośredni z szynami.

2.3 Obwody zabezpieczeń, sterowania, automatyki i pomiarów

2.3.1 Sieci i rozdzielnie WN

- 2.3.1.1 Wymagania stawiane nowo wybudowanym i modernizowanym urządzeniom elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej podyktowane względami niezawodnościowymi są następujące:
 - a) stosowane mogą być po dwa niezależne zestawy zabezpieczeń dla poszczególnych elementów sieci, przy czym wyjątek stanowią: zabezpieczenia szyn zbiorczych i układy lokalnej rezerwy wyłącznikowej oraz zabezpieczenia sieci SN. Rodzaj zabezpieczeń zostanie uściślony przez OSP lub OSD;
 - b) w celu zapewnienia niezależności poszczególnych zestawów zabezpieczeń, każde z nich powinno współpracować z oddzielnymi: obwodami pomiarowymi prądowymi i napięciowymi, obwodami napięcia pomocniczego (sterowniczymi) oraz obwodami wyłączającymi (cewkami wyłączającymi),

- c) w celu zapewnienia wysokiej dyspozycyjności urządzeń elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej należy stosować urządzenia realizujące funkcje ciągłej kontroli i autotestowania oraz niezależny rejestrator napięć, prądów i dwustanów,
- d) zabezpieczenia podstawowe należy wyposażać w układy kontroli ciągłości obwodów wyłączania,
- e) w uzasadnionych przypadkach należy stosować urządzenia do synchronizacji,
- f) należy zapewnić zdalny dostęp drogą cyfrową do wszystkich zabezpieczeń.

2.3.1.2 Wymagania dla przekładników prądowych

W układach automatyki zabezpieczeniowej stosuje się następujące przekładniki prądowe:

- a) wolnostojące, pięciordzeniowe zainstalowane w polach elementów sieci przesyłowej, w których rdzenie 3, 4 i 5 są rdzeniami zabezpieczeniowymi klasy 5P20 o mocy odpowiedniej dla danych obwodów i zasilanych układów i urządzeń EAZ (elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej),
- b) kombinowane,
- c) zainstalowane w przepustach transformatorów – przewiduje się wykorzystywanie dla układów i urządzeń EAZ nie mniej niż dwóch rdzeni o odpowiednich parametrach,
- d) zainstalowane w przewodach uziemiających punkty zerowe transformatorów.

2.3.2 Zabezpieczenia i automatyka linii WN

2.3.2.1 Zabezpieczenia i automatyka linii WN należy dostosować do sposobu pracy i parametrów linii.

Linie WN pracujące w układzie pierścieniowym wyposaża się w:

- a) zabezpieczenie podstawowe jako odcinkowe (różnicowe) lub odległościowe,
- b) zabezpieczenie rezerwowe odległościowe lub reagujące na zwarcie z ziemią,
- c) urządzenia automatyki 3-fazowego SPZ (samoczynnego ponownego załączenia) dla linii napowietrznych,
- d) w uzasadnionych przypadkach, w urządzenia synchronizacji np. w węzłach sieci połączonych liniami WN bezpośrednio z elektrowniami.

W przypadku, gdy zabezpieczenie odcinkowe jest zabezpieczeniem podstawowym, jako rezerwowe należy stosować zabezpieczenie odległościowe.

W przypadku, gdy zabezpieczenie odległościowe jest zabezpieczeniem podstawowym jako rezerwowe należy zastosować zabezpieczenie reagujące na zwarcie z ziemią.

2.3.2.2 Linie WN pracujące w układzie promieniowym wyposaża się w:

- a) zabezpieczenia podstawowe – odległościowe lub nadprądowe oraz rezerwowe reagujące na zwarcia z ziemią,
- b) urządzenia automatyki 3 fazowego SPZ (dla linii napowietrznych).

2.3.3 Zabezpieczenia i automatyka transformatorów mocy WN/WN

Transformatory o napięciu górnym 400 kV i 220 kV powinny być wyposażone w następujące układy automatyki zabezpieczeniowej:

- a) dwa zabezpieczenia podstawowe (różnicowe), reagujące na zwarcia zlokalizowane w transformatorze, z wyjątkiem zwarć zwojowych,
- b) po dwa zabezpieczenia rezerwowe (zabezpieczenie odległościowe, zabezpieczenie ziemnozwarciowe) po każdej stronie uzwojenia górnego i dolnego napięcia transformatora,
- c) zabezpieczenie w punkcie gwiazdowym,
- d) zabezpieczenia fabryczne transformatorów: zabezpieczenie gazowo-przepływowe, modele cieplne oraz czujniki temperatury,
- e) układ sygnalizujący przeciążenie prądowe transformatora,
- f) układy automatycznej regulacji napięcia ARST (automatycznej regulacji stacji transformatorowej),
- g) układ monitorowania warunków pracy transformatorów, w przypadku jednostek nowych i po najbliższej modernizacji urządzeń,
- h) zawory bezpieczeństwa transformatora.

2.3.4 Zabezpieczenia i automatyka transformatorów mocy WN/SN

2.3.4.1 Transformatory mocy dwu i wielouzwojeniowe WN/SN/SN powinny być wyposażone w następujące układy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej:

- a) zabezpieczenia podstawowe reagujące na zwarcie w transformatorze (zwarciowo-prądowe, a dla transformatorów powyżej 5 MVA różnicowe). Dla transformatorów w układzie Scott'a, Woodgridge'a, Le Blanc'a należy stosować specjalne układy zabezpieczeń z uwagi na różną liczbę faz po stronach pierwotnej i wtórnej.
- b) każda strona transformatora powinna być wyposażona w zabezpieczenia nadprądowo-zwłoczne,
- c) każda strona transformatora winna być wyposażona w zabezpieczenia przeciążeniowe (transformatory dwuuzwojeniowe zabezpiecza się tylko po jednej stronie),

- d) zabezpieczenia fabryczne transformatorów: temperaturowe oraz gazowo-przepływowe kadzi i gazowo-podmuchowe przełącznika zaczepów oraz zawory bezpieczeństwa transformatora,
- e) zaleca się, aby każda ze stron SN transformatora była wyposażona w zabezpieczenia umożliwiające skracanie czasu zwarcia na szynach SN,
- f) zabezpieczenia transformatora reagujące na zwarcia wewnętrzne i zewnętrzne.

2.3.4.2 Automatyczna regulacja napięcia transformatora winna realizować następujące funkcje:

- a) utrzymanie zadanego poziomu napięcia na szynach rozdzielni SN poprzez sterowanie napędem przełącznika zaczepów,
- b) kontrolę prawidłowości utrzymania napięcia w ramach dopuszczalnego zakresu.

2.3.5 Zabezpieczenia łączników szyn WN

Łączniki szyn w stacjach systemowych WN wyposażać należy w następujące układy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej:

- a) zabezpieczenie podstawowe, działające na wyłączenie 3–fazowe własnego wyłącznika, lub dwufazowe w przypadku stosowania transformatorów jednofazowych,
- b) dodatkowy zestaw zabezpieczeń i automatyki umożliwiający realizację wszystkich funkcji zabezpieczeniowych niezbędnych przy użyciu pola łącznika szyn do zastąpienia innego pola (rezerwacja pól odpływowych, transformatorowych i blokowych),

2.3.6 Zabezpieczenia szyn WN

2.3.6.1 Szyny zbiorcze rozdzielni oraz stacji WN, dla których z warunków bezpiecznej pracy, wynika konieczność zastosowania zabezpieczenia szyn, należy wyposażać w jeden zespół zabezpieczenia szyn, zapewniający selektywne wyłączenie systemów (sekcji) szyn zbiorczych, w tym także zwarć zlokalizowanych między wyłącznikiem, a przekładnikiem prądowym w polach łączników szyn.

W stacjach uproszczonych typu „H” dopuszcza się możliwość rozwiązania automatyki szyn w oparciu o wsteczne strefy zabezpieczeń odległościowych pól liniowych.

2.3.6.2 Automatyka lokalnego rezerwowania wyłączników (LRW) w rozdzielniach WN

Nowobudowane, przebudowywane i remontowane rozdzielnie WN należy wyposażać w niezależne układy zabezpieczenia szyn zbiorczych i układy lokalnego rezerwowania wyłączników. Dopuszcza się stosowanie

układu zabezpieczenia szyn zintegrowanego z układem lokalnej rezerwy wyłącznikowej.

Ponadto:

- a) do kontroli wyłączenia się wyłącznika powinno być stosowane kryterium prądowe lub wyłącznikowe, przy wykorzystaniu styków sygnałowych wyłącznika, a w uzasadnionych przypadkach oba te kryteria,
- b) wyłączenie odpowiedniego systemu szyn, powinno być poprzedzone sterowaniem uzupełniającym poprzez element układu lokalnej rezerwy wyłącznikowej przypisany polu, w którym nastąpiło zawiedzenie wyłącznika.

2.3.6.3 Łącza dla współpracy zabezpieczeń

Łącza w układach elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej powinny zapewnić realizację podstawowych funkcji zabezpieczeniowych. Należy dla realizacji tego celu stosować dedykowane łącza o parametrach wymaganych dla danego typu zabezpieczeń. W swojej konstrukcji, zasadach działania i sposobach eksploatacji urządzenia zabezpieczeń linii elektroenergetycznych i współpracujące z nimi łącza powinny być traktowane jako jeden zespół urządzeń.

2.3.6.4 Rejestratory zdarzeń i zakłóceń

Rejestratory zakłóceń przeznaczone do wykonywania analiz przebiegu zakłóceń i działania urządzeń elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej oraz wyłączników powinny być instalowane w stacjach i rozdzielniach zgodnie ze znaczeniem stacji w systemie. W nowobudowanych i modernizowanych obiektach, w system rejestracji należy wyposażać każde pole WN. Dla całej rozdzielni powinien być wspólny niezależny rejestrator napięć, prądów i dwustanów.

2.3.6.5 Automatyka samoczynnego częstotliwościowego odciążania – SCO

Urządzenia i instalacje odbiorców przyłączonych do sieci o napięciu znamionowym 6 kV lub wyższym powinny mieć zainstalowaną automatykę samoczynnego częstotliwościowego odciążania SCO i automatykę samoczynnego napięciowego odciążania SNO, działające zgodnie z zasadami i standardami określonymi przez operatora systemu przesyłowego. Operator systemu przesyłowego określa zmiany wartości mocy wyłączanych przez automatykę SCO z podziałem pomiędzy poszczególnych operatorów systemów dystrybucyjnych, w terminach do końca marca każdego roku. Wartości mocy są obliczane dla poszczególnych stopni SCO w odniesieniu do szczytowego obciążenia KSE. Poszczególne stopnie SCO są ustalane dla zakresu częstotliwości między wartością górną 49,0 Hz i dolną 47,5 Hz. Operator systemu dystrybucyjnego określa dla każdego odbiorcy sposób nastawienia automa-

tyki SCO tj. wartość mocy, jaka ma być wyłączona w określonym stopniu lub stopniach, a także czas nastawienia automatyki restytucyjnej SPZ.

2.3.7 Zabezpieczenia linii SN i obwodów sieci trakcyjnej

2.3.7.1 Linie SN trójfazowe pracują z nieskutecznie uziemionym punktem zerowym, natomiast sieć trakcyjna 25 kV musi mieć skutecznie uziemiony punkt zerowy.

Linie SN wyposaża się w:

- a) zabezpieczenia od zwarć wielofazowych działające na wyłączenie wyłącznika w polu danej linii,
- b) zabezpieczenia od zwarć doziemnych działające na wyłączenie lub na sygnalizację. Działanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych na sygnalizację jest dopuszczalne (z wyjątkiem sieci uziemionej przez rezystor), w wypadku braku technicznej możliwości zapewnienia selektywnego wyłączenia, pod warunkiem nie przekraczania maksymalnych prądów zwarcia doziemnego,
- c) pola linii napowietrznych i napowietrzno-kablowych SN powinny być wyposażone w układy automatyki wielokrotnego SPZ z możliwością jej programowania i blokowania,
- d) sieć trakcyjna powinna być zabezpieczona przez układy posiadające następujące funkcje zabezpieczeniowe:
 - zabezpieczenie nad i podnapięciowe,
 - zabezpieczenie impedancyjne odległościowe,
 - zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne i bezzwłoczne,
 - zabezpieczenie przeciążeniowe reagujące na wartość prądu średniokwadratowego.

2.3.7.2 Jeżeli OSP lub OSD nie wyrażą zgody na wymianę energii powstającej podczas hamowania odzyskowego pociągów, wówczas obwód zasilaczy sieci trakcyjnej należy wyposażać w system nie zezwalający na przesył nadmiernej energii rekuperacji pojazdów trakcyjnych do sieci zasilającej WN przez rozdzielnię WN/SN i transformatory podstacji trakcyjnej.

2.3.7.3 Linie zasilaczy trakcyjnych łącznie z siecią jezdnią powinno się dodatkowo wyposażać w zabezpieczenia odległościowe z funkcją lokalizacji miejsca zwarcia. Należy przy tym zaznaczyć, że sieć 25 kV jedno lub dwufazowa pracuje ze skutecznie uziemionym punktem zerowym.

2.3.8 Zabezpieczenia transformatorów olejowych SN/SN i SN/nN o mocy większej niż 1000 kVA

Transformatory olejowe SN/SN i SN/nN o mocy większej niż 1000 kVA posiadające wyłącznik przynajmniej po stronie wyższego napięcia wyposaża się w następujące układy automatyki zabezpieczeniowej:

- a) zabezpieczenie reagujące na zwarcia zlokalizowane w transformatorze (zabezpieczenie różnicowe dla transformatorów powyżej 5 MVA lub zwarciowo – prądowe bezzwłoczne) działające na wyłączenie,
- b) zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne od zwarć zewnętrznych działające na wyłączenie,
- c) zabezpieczenia fabryczne transformatora,
- d) układ sygnalizujący przeciążenie transformatora.

2.3.9 Zabezpieczenia łączników szyn SN

Łączniki szyn SN wyposaża się w następujące zabezpieczenia działające na wyłączenie własnego wyłącznika:

- a) zabezpieczenie rezerwujące działanie zabezpieczeń nadprądowych w polach odpływowych,
- b) zabezpieczenie zwarciowoprądowe działające przy załączeniu pola łącznika szyn na zwarcie,
- c) w sieci z rezystorem wymagane jest zabezpieczenie ziemnozwarciowe lub dedykowany impuls wyłączający od transformatora uziemiającego.

2.3.10 Zabezpieczenia pól pomiaru napięcia w rozdzielniach SN

Pola pomiaru napięcia w rozdzielniach SN w stacjach WN/SN powinny być wyposażone w działające na sygnalizację zabezpieczenia reagujące na:

- a) zanik napięcia na szynach SN,
- b) zwarcia doziemne w zasilanej sieci SN.

2.3.11 Zabezpieczenia pól SN baterii kondensatorów

Pola SN baterii kondensatorów wyposaża się w następujące zabezpieczenia:

- a) nadprądowe od przeciążeń i zwarć zewnętrznych działające na wyłączenie baterii,
- b) od zwarć wewnętrznych działające na wyłączenie baterii.

2.3.12 Zabezpieczenia transformatorów potrzeb własnych

Dobór zabezpieczeń dla ochrony transformatorów potrzeb własnych zależy od mocy transformatora oraz sposobu pracy punktu neutralnego sieci SN i jest ściśle związany z pracującymi na danej rozdzielni zabezpieczeniami ziemnozwarciowymi.

Każdy transformator potrzeb własnych powinien być zabezpieczony przed skutkami zwarć wewnętrznych i zewnętrznych.

2.3.13 Zabezpieczenia pól linii odpływowych rozdzielni SN

Pola linii odpływowych rozdzielni SN w stacjach WN/SN powinny posiadać nawiązanie do obwodów dwustopniowej automatyki SCO i SPZ/SCO z możliwością ich zablokowania.

2.3.14 Automatyka SZR (samoczynnego załączenia rezerwy) w rozdzielni SN

Rozdzielnia SN w stacjach WN/SN posiadająca przynajmniej dwa zasilania powinna być wyposażona w automatykę SZR.

Operator systemu dystrybucyjnego lub przesyłowego określa indywidualnie rodzaj lub warunki współpracy automatyki i zabezpieczeń oraz środków ochrony przeciwporażeniowej stosowanych przez odbiorców przyłączonych do sieci SN i nN, przy wydawaniu warunków przyłączania oraz zmianie warunków pracy sieci.

2.3.15 Wymagania techniczne dla systemu nadzoru i telemechaniki

2.3.15.1 Wymagania i zalecenia dotyczące nadzoru stacji elektroenergetycznych obowiązują operatora systemu dystrybucyjnego oraz podmioty przyłączone do sieci dystrybucyjnej. Wszystkie bezobsługowe stacje o górnym napięciu 110 kV i wyższym powinny być wyposażone w układy telesygnalizacji, telepomiarów i telesterowania umożliwiające zdalne prowadzenie ruchu stacji przez właściwe dyspozycje. Należy dążyć do wyposażenia w układy telemechaniki stacji elektroenergetycznych z obsługą.

Ogólne wymagania stawiane stacyjnemu i dyspozytorskiemu systemowi nadzoru, a podyktowane głównie względami optymalizacyjnymi i niezawodnościowymi są następujące:

- a) obiektowe systemy nadzoru muszą być kompatybilne z dyspozytorskimi systemami w centrach nadzoru energetyki publicznej oraz zarządcy kolejowej infrastruktury elektroenergetycznej. Stacyjne systemy nadzoru muszą spełniać wymagania stosowne do rodzaju obsługiwanych stacji z uwzględnieniem wymogów jakościowych i konfiguracyjnych,
- b) obiektowe systemy nadzoru powinny być połączone z centrami nadzoru z wykorzystaniem niezawodnych i o właściwej przepływności łączy transmisyjnych, aby zapewnić odpowiednią szybkość przepływu informacji z/do centrów dyspozytorskich,
- c) systemy nadzoru powinny zapewniać archiwizację danych na okres zgodny z wymaganiami norm bezpieczeństwa informacji oraz umożliwić utrzymanie ciągłości nadzoru dyspozytorskiego i dokonywania analiz pracy sieci,

- d) połączenie systemów nadzoru w dyspozycjach powinno być wykonane jako redundantne. Zaleca się realizację z wykorzystaniem sieci komputerowej,
- e) należy dążyć do tego, aby wszelkie informacje uzyskiwane dla systemów dyspozytorskich posiadały znacznik czasu. Struktura sieci komunikacyjnych sygnałów telemechaniki winna zapewnić niezawodność i optymalizację przepływu informacji. Komunikacja winna być realizowana dwoma redundantnymi kanałami łączności. Jako rezerwową drogę transmisji dopuszcza się transmisję pakietowe,
- f) protokół transmisji danych musi być dostosowany do systemu sterowania posiadanego przez operatora systemu dystrybucyjnego lub przesyłowego,
- g) należy dążyć do tego, aby czas reakcji całego systemu nadzoru (stacyjnego i nadrzędnego) nie przekraczał kilku sekund, a rozdzielczość czasowa przesyłanych sygnałów zawierała się w granicach $1 \div 100$ ms.

2.3.15.2 Rozdzielnie WN powinny być objęte co najmniej telemechaniką umożliwiającą:

- a) telesterowanie:
 - sterowanie wyłącznikami,
 - sterowanie urządzeniami automatyk stacyjnych;
- b) telesygnalizację:
 - stanu położenia łączników,
 - stanu automatyk stacyjnych,
 - sygnalizację awaryjną indywidualną z poszczególnych pól rozdzielni,
 - sygnalizacją zadziałania poszczególnych zabezpieczeń,
 - sygnalizację awaryjną z potrzeb własnych prądu stałego dotyczącą w szczególności: uszkodzenia prostownika, braku ciągłości obwodów prądu stałego wraz z baterią oraz doziemienia w obwodach prądu stałego,
 - sygnalizację awaryjną z urządzeń zasilania bezprzerwowego,
 - sygnalizację alarmową, włamaniową i przeciwpożarową;
- c) telemetrię:
 - pomiar mocy biernej i czynnej (oddanie i pobór),
 - pomiar prądu w poszczególnych polach,
 - pomiar napięcia na poszczególnych układach szyn.

Rozdzielnie WN podmiotów zewnętrznych, w stosunku do dyspozycji prowadzącej ruch tej sieci, powinny retransmitować do tej dyspozycji co najmniej następujące informacje:

- a) sygnalizację położenia wszystkich łączników na rozdzielni WN,
- b) zbiorczą sygnalizację awaryjną,
- c) zbiorczą sygnalizację zadziałania zabezpieczeń,

- d) pomiar mocy biernej i czynnej (oddanie i pobór) oraz prądu w poszczególnych polach odpływowych rozdzielni WN, a także napięcia na poszczególnych układach szyn.

2.3.15.3 Rozdzielnie SN w stacjach WN/SN, a także ważne ruchowo rozdzielnie SN wyposażone w wyłączniki powinny być objęte co najmniej telemechaniką umożliwiającą:

- a) telesterowanie:
 - sterowanie wyłącznikami,
 - sterowanie urządzeniami automatyk stacyjnych;
- b) telesygnalizację:
 - stanu położenia wyłączników, odłączników szynowych i liniowych oraz uziemników,
 - stanu automatyk stacyjnych,
 - sygnalizację awaryjną indywidualną z poszczególnych pól rozdzielni,
 - sygnalizacją zadziałania poszczególnych zabezpieczeń,
 - sygnalizację awaryjną z potrzeb własnych prądu stałego dotyczącą w szczególności: uszkodzenia prostownika, braku ciągłości obwodów prądu stałego wraz z baterią oraz doziemienia w obwodach prądu stałego,
 - sygnalizację awaryjną z urządzeń zasilania bezprzerwowego,
 - sygnalizację włamaniową i przeciwpożarową;
- c) telemetrię:
 - pomiar prądu w poszczególnych polach,
 - pomiar napięcia na poszczególnych układach szyn.

Urządzenia telemechaniki winne być wyposażone w co najmniej dwa porty transmisji danych.

Urządzenia telemechaniki obiektowej powinny być zasilane z układu napięcia bezprzerwowego o czasie autonomii nie krótszym niż 6 godz., natomiast systemy nadzoru w dyspozycjach powinny być zasilane napięciem bezprzerwowym zapewniającym nieograniczony czas zasilania (układ z stacjonarnym lub przewoźnym agregatem prądotwórczym).

2.3.16 Wymagania techniczne dla układów pomiarowo-rozliczeniowych.

2.3.16.1 Sieć o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym oraz urządzenia, instalacje i sieci podmiotów przyłączonych do sieci o napięciu 110 kV i wyższym powinny być wyposażone w układy pomiarowo-rozliczeniowe energii elektrycznej realizujące co najmniej funkcję pomiaru energii czynnej i biernej w dwóch kierunkach.

Wymagania techniczne dla układów pomiarowych są określone dla:

- a) układów pomiarowo-rozliczeniowych, dla których mierzone wielkości energii stanowią podstawę do rozliczeń,
 - b) układów pomiarowych bilansowo-kontrolnych, dla których mierzone wielkości energii stanowią podstawę do monitorowania wskazań układów pomiarowo-rozliczeniowych oraz bilansowania obiektów i obszarów sieciowych.
- 2.3.16.2 Rozwiązania techniczne dla poszczególnych układów pomiarowych uzależnia się od wielkości mocy znamionowej przyłączanego urządzenia, instalacji lub sieci i dzieli się na 3 kategorie:
- a) kategoria 1 – dla pomiarów energii elektrycznej przy mocy znamionowej urządzenia równej 30 MVA lub wyższej,
 - b) kategoria 2 – dla pomiarów energii elektrycznej przy mocy znamionowej urządzenia zawartej w przedziale od 1 MVA do 30 MVA,
 - c) kategoria 3 – dla pomiarów energii elektrycznej przy mocy znamionowej urządzenia mniejszej niż 1 MVA.
- 2.3.16.3 Dla układów pomiarowych kategorii 1, o których mowa w pkt 2.3.16.2 a) obowiązują następujące wymagania:
- a) przekładniki prądowe i napięciowe w układach pomiarowo-rozliczeniowych powinny mieć dwa rdzenie i dwa uzwojenia pomiarowe o klasie dokładności 0,2 służące do pomiaru energii elektrycznej,
 - b) liczniki energii elektrycznej w układach pomiarowo-rozliczeniowych powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 0,2 dla energii czynnej i 1,0 dla energii biernej,
 - c) przekładniki prądowe i napięciowe w układach pomiarowych bilansowo-kontrolnych powinny mieć klasę nie gorszą niż 0,5,
 - d) liczniki energii elektrycznej w układach pomiarowych bilansowo-kontrolnych powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 2,0 dla energii czynnej i 3,0 dla energii biernej,
 - e) liczniki energii elektrycznej powinny umożliwiać współpracę z systemami automatycznej rejestracji danych.
- 2.3.16.4 Dla układów pomiarowych kategorii 2, o których mowa w pkt 2.3.16.2 b) obowiązują następujące wymagania:
- a) przekładniki prądowe i napięciowe powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 0,5,
 - b) liczniki energii elektrycznej w układach pomiarowo-rozliczeniowych powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 0,5 dla energii czynnej i 3,0 dla energii biernej,

- c) liczniki energii elektrycznej w układach pomiarowych bilansowo-kontrolnych powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 2,0 dla energii czynnej i 3,0 dla energii biernej,
- d) liczniki energii elektrycznej powinny umożliwiać współpracę z systemami automatycznej rejestracji danych.

2.3.16.5 Dla układów pomiarowych kategorii 3, o których mowa w pkt 2.3.16.2 c) obowiązują następujące wymagania:

- a) przekładniki prądowe i napięciowe powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 0,5,
- b) liczniki energii elektrycznej w układach pomiarowo-rozliczeniowych powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 1,0 dla energii czynnej i 3,0 dla energii biernej,
- c) liczniki energii elektrycznej w układach pomiarowych bilansowo-kontrolnych powinny mieć klasę dokładności nie gorszą niż 2,0 dla energii czynnej i 3,0 dla energii biernej,
- d) liczniki energii elektrycznej powinny umożliwiać współpracę z systemami automatycznej rejestracji danych.

2.3.16.6 Dla układów pomiarowo-rozliczeniowych energii elektrycznej kategorii 1 i 2 wymagane są dwa układy pomiarowe: układ pomiaru podstawowego i układ pomiaru rezerwowego.

Układ pomiaru rezerwowego powinien spełniać kryterium równoważności z układem podstawowym. Układy pomiarowo-rozliczeniowe energii elektrycznej powinny być zainstalowane m.in. w następujących miejscach:

- a) po stronie 110 kV transformatorów WN/110 kV stanowiących miejsce przyłączenia urządzeń, instalacji lub sieci innych podmiotów,
- b) po stronie górnego napięcia transformatorów sieciowych lub w polach liniowych o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym stanowiących miejsca przyłączenia odbiorców końcowych,
- c) w polach liniowych o napięciu znamionowym 110 kV linii stanowiących połączenia pomiędzy sieciami operatorów systemów dystrybucyjnych.

3 Projektowanie sieci trakcyjnej

3.1 Wymagania ogólne

3.1.1 Skrajnia budowli

3.1.1.1 Zgodnie z wymaganiami zapisanymi w TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] punkt 4.2.10, konstrukcja sieci trakcyjnej powinna odpowiadać skrajni infrastruktury określonej w TSI „Infrastruktura” dla kolei dużych prędkości [9] punkt 4.2.3, w odniesieniu do linii kategorii I.

Linie kategorii I, zgodnie z zapisem w/w TSI „Infrastruktura” [9] punkt 4.2.1 to linie dużych prędkości, wybudowane jako dedykowane do prowadzenia tego rodzaju ruchu pociągów, wyposażone w infrastrukturę umożliwiającą ruch z prędkościami równymi lub wyższymi od 250 km/h.

3.1.1.2 Na odcinkach torów położonych w łukach, poziome odległości do przytorowych konstrukcji nad główką szyny należy zwiększyć w sposób określony w przyjętych, przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., przepisach to regulujących.

3.1.1.3 We wszystkich przypadkach należy uwzględniać ugięcie konstrukcji wsporczych przy największym obciążeniu.

3.1.1.4 Postanowienia dotyczące odległości konstrukcji wsporczych od osi najbliższego toru mają zastosowanie również do ustojów tych konstrukcji oraz do wszystkich konstrukcji pomocniczych i elementów osprzętu mocowanych na konstrukcjach wsporczych.

3.1.2 Wysokość zawieszenia przewodu jezdnego

3.1.2.1 Zgodnie z punktem 4.2.9 TSI „Energia” [10] oraz punktem 5.1 normy PN-EN 50367:2006 [75] dla linii kolejowych kategorii I nominalna wysokość zawieszenia przewodu jezdnego nad główką szyny, mierzona prostopadłe do płaszczyzny przechodzącej przez powierzchnie toczne szyn, zawiera się w granicach od 5080 do 5300 mm. Poniżej przedstawione zostały wysokości zawieszenia przewodu jezdnego wszystkich kategorii linii kolejowych dużych prędkości.

Tabela 3.1.1

Wysokość zawieszenia sieci jezdnej według TSI „Energia”

Opis	Kategoria I	Kategoria II	Kategoria III
Znamionowa wysokość przewodu jezdnego (mm)	od 5 080 do 5 300	od 5 000 do 5 500	od 5 000 do 5 750
Minimalna wysokość przewodu jezdnego (mm)	---	4 950	
Maksymalna wysokość przewodu jezdnego (mm)	---	6 000	

- 3.1.2.2 Dla sieci jezdnych torów bocznych, prowadzonych pod obiektami inżynierskimi, przy obliczaniu wysokości zawieszenia przewodu jezdnego należy uwzględniać występowanie sadzi.
- 3.1.2.3 W obszarze strefy oddziaływania odbieraków prądu wysokość przewodów wchodzących w skład sieci jezdnej, innych niż przewody jezdne, musi być wyższy, w najbardziej niekorzystnych obliczeniowych warunkach atmosferycznych, o co najmniej 250 mm w stosunku do poziomemu przewodu jezdnego.

3.1.3 Odległość sieci jezdnej od obiektów uziemionych

- 3.1.3.1 Odległość pomiędzy elementami sieci jezdnej lub odbierakiem prądu znajdującym się pod napięciem, a obiektami uziemionymi powinna, w warunkach dynamicznych, wynosić co najmniej 150 mm.
- 3.1.3.2 Odległość sieci jezdnej lub jej elementów będących pod napięciem od części urządzeń sygnalizacji wzrokowej oraz od części urządzeń oświetlenia zewnętrznego zasilanego kablem, powinna wynosić co najmniej:
 - a) 1500 mm od słupa sygnalizatora oraz od krawędzi oprawy oświetleniowej. W odniesieniu do urządzeń oświetleniowych odległość ta powinna być mierzona w płaszczyźnie poziomej,
 - b) 1000 mm od krawędzi oprawy sygnalizatora i innych elementów sygnalizacji wzrokowej.

Odległości te powinny być zachowane we wszystkich położeniach pracy elementów sygnalizatorów i oświetlenia zewnętrznego przy najbardziej niekorzystnych obliczeniowych warunkach atmosferycznych.
- 3.1.3.3 Odległości pomiędzy siecią jezdnią lub jej elementami będącymi pod napięciem a powierzchniami przeznaczonymi do przebywania ludzi określają zapisy normy PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 5.1.2.
- 3.1.3.4 Odległości, o których mowa w punkcie 3.1.3.3 mogą być zmniejszone pod warunkiem zastosowania barier odpowiadających wymaganiom zapisanym w normie PN-EN 50122-1:2002 [63], punkt 5.1.3.

3.2 Rozwiązania konstrukcyjne nowych typów sieci trakcyjnej

3.2.1 Wymagania podstawowe

3.2.1.1 Strefy klimatyczne

Przy projektowaniu nowej sieci trakcyjnej w obliczeniach wartości charakterystycznych należy stosować metody obliczeń opisane w normie PN-EN 50100-1:1998 [51], z zastrzeżeniem zapisów punktu 3.2.1.3.2.2.1.

3.2.1.2 Temperatury charakterystyczne

3.2.1.2.1 W obliczeniach nowej sieci jezdnej należy przyjmować następujące temperatury charakterystyczne:

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| a) temperatura minimalna (mrozu) | - 30° C, |
| b) temperatura sadzi | - 5° C, |
| c) temperatura normalna | + 10° C, |
| d) temperatura przy wietrze | + 15° C, |
| e) temperatura maksymalna (upału) | + 40° C, |
| f) temperatura maksymalna przewodów | + 80° C. |

3.2.1.3 Obciążenia mechaniczne

3.2.1.3.1 Obciążenia trwałe:

- a) ciężar przewodów i osprzętu sieci jezdnej,
- b) naciąg przewodów.

3.2.1.3.2 Obciążenia doraźne:

- a) ciężar sadzi,
- b) parcie wiatru,
- c) nacisk odbieraków prądu,
- d) obciążenia przy montażu sieci,
- e) obciążenia przy zerwaniu przewodów.

3.2.1.4 Obciążenia sadią

3.2.1.4.1 Obciążenia sadią przewodów sieci jezdnej należy określać wg tabl. 4 normy PN-E-05100-1:1998 [51] – bez uwzględniania sadi katastrofalnej.

3.2.1.4.2 W obliczeniach nie należy uwzględniać ciężaru sadi na wieszakach, elementach osprzętu sieci oraz konstrukcjach wsporczych.

3.2.1.5 Obciążenia wiatrem

3.2.1.5.1 Obciążenia wiatrem należy obliczać przyjmując maksymalną prędkość wiatru na poziomie 33 m/s, przy czym dla odcinków linii dużych prędkości usytuowanych na wysokości przekraczającej 100 m ponad poziomem morza maksymalną prędkość wiatru należy przyjąć jako 37,1 m/s.

3.2.1.5.2 Dla przewodów i elementów usytuowanych w odległości pionowej do 10 m od poziomu terenu należy przyjmować prędkość wiatru wg wyżej wymienionej normy (tabl. 2) jak dla zakresu 10÷16 m.

3.2.1.5.3 Współczynnik opływu K dla przewodów sieci łańcuchowej należy obliczać z uwzględnieniem wpływu wieszaków uchwytów i zacisków.

3.2.1.5.4 Współczynnik opływu K dla pojedynczej liny nośnej należy przyjmować bez uwzględnienia wpływu wieszaków i uchwytów wieszakowych wg tabl. 3

normy PN-E-05100-1:1998 [51].

3.2.1.6 Obciążenia przy montażu sieci i zerwaniu przewodów

3.2.1.6.1 W obliczeniach parametrów sieci należy uwzględniać siły występujące w czasie montażu oraz zerwania przewodów. Wielkość ich ma wpływ na określenie nośności konstrukcji wsporczych.

3.2.1.7 Przewód jezdny

Przewód jezdny powinien spełniać wymagania normy PN-EN 50149:2002 [66], punkty: 4.1÷4.3, 4.5÷4.8. Materiały dopuszczone do stosowania w przewodach jezdnych to miedź oraz stopy miedzi. Dla sieci torów szlakowych i torów głównych zasadniczych stacji zaleca się stosowanie materiałów oznaczonych w wyżej wymienionej normie następującymi symbolami: CuMg0,2; CuMg0,5; CuSn 0,2.

Minimalny zalecany przekrój przewodu jezdnego wynosi:

- a) 120 mm² dla sieci torów szlakowych i torów głównych zasadniczych oraz torów głównych dodatkowych stacji,
- b) 80 mm² dla sieci pozostałych torów stacyjnych.

3.2.1.7.1 Minimalne zalecane naprężenie robocze przewodu jezdnego wynosi:

- a) 200 MPa dla sieci torów szlakowych i torów głównych zasadniczych oraz torów głównych dodatkowych stacji,
- b) 70 MPa dla sieci pozostałych torów stacyjnych.

3.2.1.7.2 Naprężenia w stanie maksymalnego zużycia i w warunkach granicznych nie mogą przekroczyć wartości dopuszczalnych zgodnie z normą PN-EN 50119:2002 [60] – punkt 5.2.4.1, przy czym maksymalny poziom średniego zużycia przewodu jezdnego należy przyjmować na poziomie 20%.

3.2.1.8 Lina nośna

3.2.1.8.1 Materiały zalecane do stosowania jako liny nośne to miedź i jej stopy, spełniające wymagania normy PN-E-90081:1974 [53].

3.2.1.8.2 Minimalny zalecany przekrój liny nośnej wynosi:

- a) 95 mm² dla sieci torów szlakowych i torów głównych zasadniczych oraz torów głównych dodatkowych stacji,
- b) 70 mm² dla sieci pozostałych torów stacyjnych.

3.2.1.8.3 Minimalne zalecane naprężenie robocze liny nośnej wynosi:

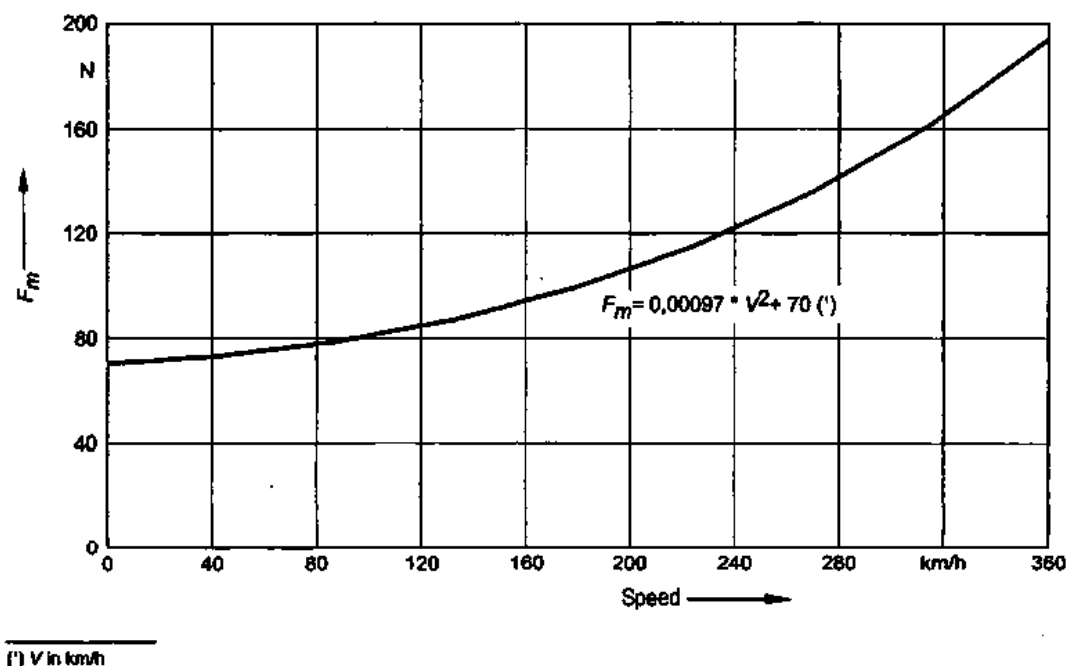
- a) 150 MPa dla sieci torów szlakowych i torów głównych zasadniczych oraz torów głównych dodatkowych stacji,
- b) 70 MPa dla sieci pozostałych torów stacyjnych.

3.2.1.8.4 Naprężenia w stanie maksymalnego zużycia i w warunkach granicznych nie mogą przekroczyć wartości dopuszczalnych zgodnie z normą PN-EN 50119:2002 [60] – punkt 5.2.5.1.

3.2.1.9 Nacisk odbieraków prądu

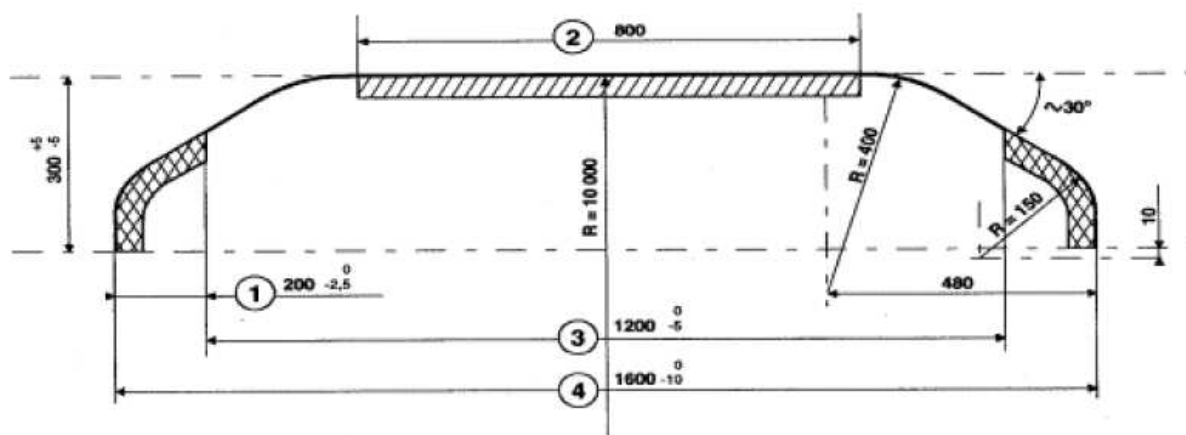
3.2.1.9.1 Do obliczeń parametrów sieci jezdnej należy przyjmować:

- a) nacisk statyczny – 70^{+20}_{-10} N zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.2.14,
- b) nacisk dynamiczny – według krzywej przedstawionej w TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.2.15 oraz w normie PN-EN 50367:2006 [75], punkt 7.2.



Rys. 3.2.1. Krzywa zmienności wartości siły stykowej (źródło: [75])

3.2.1.9.2 Geometrię i profil ślizgacza odbieraka prądu (o długości 1600 mm) właściwego dla europejskiego systemu kolei dużych prędkości przedstawiono w TSI „Tabor” [11], punkt 4.2.8.3.7.2.



1. Nabieżnik wykonany z materiału izolacyjnego (projektowana długość 200 mm)
2. Minimalna długość nakładek stykowych 800 mm
3. Zasięg materiału przewodzącego ślizgacza 1 200 mm
4. Długość ślizgacza pantografu 1 600 mm

Rys. 3.2.2. Profil ślizgacza odbieraka prądu (źródło: [11])

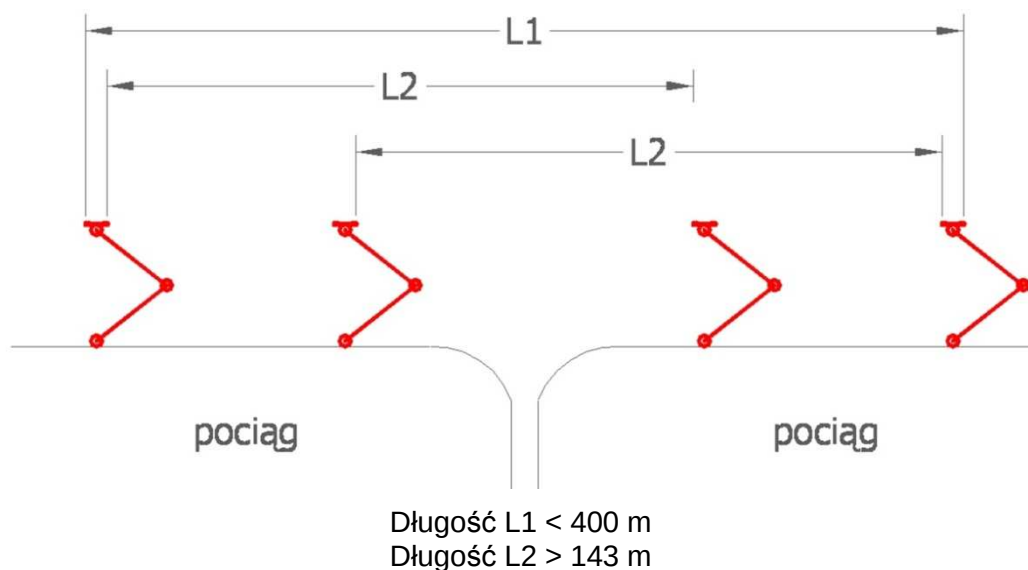
- 3.2.1.9.3 Warunki konstrukcyjne i eksploatacyjne sieci trakcyjnej należy przyjmować przy założeniu wyposażenia odbieraków prądu w urządzenia do automatycznego opuszczania odbieraka (ADD – *Automatic Dropping Device*), zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] punkt 4.2.9.1.

3.2.2 Sieć jezdna

3.2.2.1 Konstrukcja górnej sieci jezdnej

- 3.2.2.1.1 Konstrukcja sieci jezdnych powinna być dostosowana do wymaganej prędkości jazdy i największych poborów prądu taboru mającego kursować na danym odcinku linii kolejowej. Wymagania odnośnie ogólnej konstrukcji sieci jezdnych określa norma PN-EN 50119:2002 [60] – punkty: 5 i 6.
- 3.2.2.1.2 Zaleca się stosowanie sieci łańcuchowych skompensowanych z jedną linią nośną i jednym przewodem jezdny.
- 3.2.2.1.3 Zaleca się dla nowych typów sieci jezdnej stosowanie wysokości konstrukcyjnych określonych w punkcie 3.22 karty UIC 799:2002-3 [91]:
- 1,40 m dla sieci szlakowych i torów głównych zasadniczych stacji,
 - 0,80 m w tunelach,
 - 1,25 m dla pozostałych sieci stacyjnych (dla prędkości poniżej 230 km/h).
- 3.2.2.1.4 Zalecana minimalna długość najkrótszego wieszaka wynosi 0,60 m. W przypadku konieczności zastosowania wieszaków o mniejszej długości, należy określić maksymalną dopuszczalną prędkość jazdy pociągów stosując procedury, o których mowa w punkcie 3.2.2.2.7. W żadnym przypadku nie należy stosować wieszaków o długości mniejszej niż 0,25 m, zgodnie z zapisami karty UIC 799:2002-3 [91], punkt 3.21.
- 3.2.2.1.5 Zastosowane rozwiązania konstrukcyjne sieci jezdnej powinny zapewniać dobrą współpracę, dla pełnego zakresu prędkości eksploatacyjnej:
- z podniesionym jednym odbierakiem prądu elektrycznego pojazdu trakcyjnego,
 - z podniesionymi kilkoma odbierakami prądu, których usytuowanie spełnia jednocześnie następujące założenia:
 - rozmieszczenie odbieraków prądu – przedstawione na rysunku nr 3.2.3 według uwarunkowań wskazanych w TSI „Tabor” dla kolei dużych prędkości [11], punkt 4.2.8.3.6.2 oraz w normie PN-EN 50367:2006 [75], punkt A.1.6,

- odległość pomiędzy kolejnymi czynnymi odbierakami prądu – 200 m, zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.2.19.



Rys. 3.2.3. Usytuowanie odbieraków prądu (źródło: [11], [75])

- 3.2.2.1.6 Konstrukcja sieci trakcyjnej systemu 25 kV AC obejmuje w szczególności:
- a) zastosowanie wstawek usytuowanych pomiędzy odcinkami sieci zasilanymi z różnych faz – sekcji separacji faz (wymagających stosowania sekcjonowania podłużnego sieci),
 - b) zastosowanie odcinków łączących (punkty stykowania) sieci zasilanych w systemie 25 kV AC oraz sieci zasilanych w innych systemach – sekcji separacji systemów (wymagających stosowania sekcjonowania podłużnego sieci),
 - c) zastosowanie połączeń sieci górnej i sieci powrotnej poprzez transformatory „odsysające” (booster transformator) (wymagające stosowania sekcjonowania podłużnego sieci),
 - d) zastosowanie kabin sekcyjnych „krańcowych” wymagające stosowania sekcjonowania podłużnego sieci,
 - e) zastosowanie dodatkowych zasilaczy w systemie 2×25 kV AC,
 - f) zastosowanie autotransformatorów, za pomocą których łączone są: sieć górna i dodatkowy zasilacz systemu 2×25 kV AC z siecią powrotną.

3.2.2.2 Normalne przęsło zawieszenia sieci

3.2.2.2.1 Wymagania dotyczące geometrii sieci jezdnej:

- a) wysokość zawieszenia przewodu jezdnej – w przedziale od 5080 mm do 5300 mm (jak w punkcie 3.1.2.1). Zalecana nominalna wysokość zawieszenia przewodu jezdnej wynosi 5200 mm,

- b) dopuszczalne zmiany pochylenia przewodu jezdnego – zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 50119:2002 [60] – punkt 5.2.8.2. Dla prędkości powyżej 250 km/h nie dopuszcza się profilowania poziomego przewodu jezdnego,
- c) dopuszczalna wielkość bocznego wywiania wiatrowego sieci jezdnej – 400 mm, zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] – punkt 4.2.9.2,
- d) geometria ślizgacza odbieraka prądu – jak w punkcie 3.2.1.6.2.

3.2.2.2.2 Wymagania dotyczące parametrów wpływających na jakość współpracy sieci jezdnej z odbierakami prądu:

- a) maksymalna prędkość robocza pociągów nie może być większa od 70% wartości prędkości rozchodzenia się fali mechanicznej w sieci jezdnej zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] – punkt 4.2.12;
- b) jakość odbioru można ocenić na podstawie średniej wartości składowej pionowej siły stykowej F_m (będącej wypadkową składowej statycznej i aerodynamicznej z uwzględnieniem korekty dynamicznej) i odchylenia standardowego σ lub na podstawie obliczenia czasu przerw łukowych - zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.2.16.1. Wartości powyższe określa się zgodnie z zapisami punktu 3.2.2.2.7. Do kwalifikacji parametrów pracy, w przypadku gdy stosowany jest więcej niż jeden czynny odbierak prądu, należy wziąć pod uwagę odbierak wykazujący najbardziej niekorzystne wartości;
- c) mierzona w pionie minimalna wolna przestrzeń dla podniesienia ramienia odciągowego określana jest jako $2S_0$, przy czym w przypadku zastosowania rozwiązań konstrukcyjnych sieci jezdnej ograniczających pionowy ruch ramienia odciągowego dopuszczalne jest ograniczenie wolnej przestrzeni do $1,5S_0$, zgodnie z zapisem TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.2.16.1;
- d) za S_0 jako maksymalne dopuszczalne podniesienie przewodu jezdnego, w punkcie styku ze ślizgaczem pantografu, występujące przy konstrukcji wsporczej w normalnych warunkach eksploatacyjnych, przy maksymalnej prędkości linii, przyjmuje się wartość określoną w punkcie 2.2-7 karty UIC 799 2002-3 [91] wynoszącą 120 mm. Zatem wolna przestrzeń dla podniesienia ramienia odciągowego $2S_0$ powinna wynieść co najmniej 240 mm;
- e) w przypadku zastosowania rozwiązań konstrukcyjnych sieci jezdnej ograniczających pionowy ruch ramienia odciągowego wolna przestrzeń dla podniesienia ramienia odciągowego powinna wynieść co najmniej

180 mm. Zasada ta może zostać zastosowana np. w przypadku konstrukcji sieci jezdnej w tunelach.

- f) różnica między najwyższą a najniższą dynamiczną wysokością punktu styku między nakładką stykową pantografu a przewodem jezdny, w obrębie jednego przęsła, zgodnie z pkt 4.2.17 TSI „Energia” [10] nie powinna przekraczać 80 mm dla linii kat. I i 100 mm dla linii kat. II.

3.2.2.2.3 Całkowity przekrój sieci jezdnej powinien być projektowany w zależności od zakładanych maksymalnych obciążeń prądowych dla danej linii jak również mocy pojazdów szynowych oraz częstotliwości ich kursowania.

3.2.2.2.4 Obciążalność prądowa sieci powinna być określana na podstawie zapisów TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.2.18 oraz normy PN-EN 50388:2006 [76], punkt 7.1 (ustalającej podstawową dopuszczalną wartość pobieranego prądu na poziomie co najmniej 1 500 A), przy uwzględnieniu danych przedstawionych w normie PN-EN 50149:2002 [66], punkt 4.5 oraz wymagań normy PN-EN 50119:2002 [60], punkt 5.2.9.

3.2.2.2.5 Zaleca się stosowanie rozpiętości normalnego przęsła o wartości 62^{+1}_{-4} m. W przypadku konieczności skracania rozpiętości przęseł należy przestrzegać warunku nie przekraczania 10% różnicy długości sąsiednich przęseł.

3.2.2.2.6 Minimalne odstępów izolacyjne pomiędzy częściami roboczymi (nieizolowanymi) sieci jezdnej i elementami innych obwodów elektrycznych systemu 25 kV AC a elementami uziemionymi wynoszą, zgodnie z zapisami normy PN-EN 50119:2002 [60] – punkt 5.2.10:

- a) w układzie statycznym – 270 mm,
- b) w stanie dynamicznym – 150 mm.

3.2.2.2.7 Nowe konstrukcje górnej sieci jezdnej należy oceniać z zastosowaniem metod symulacyjnych według zapisów normy PN-EN 50318:2003 [72] oraz poprzez pomiar odcinka próbnego nowej konstrukcji według normy PN-EN 50317:2003 [71]. Sposób przeprowadzenia procedury oceny zgodności sieci trakcyjnej jako składnika interoperacyjności określa TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] punkt 4.2.16.2.1.

3.2.2.3 Przęsło naprężenia

3.2.2.3.1 Dla nowych konstrukcji sieci jezdnych należy stosować dwa rodzaje przęseł naprężenia:

- a) izolowane, z połączeniem elektrycznym poprzez rozłącznik sekcyjny,
- b) zwarte, z bezpośrednim połączeniem elektrycznym.

3.2.2.3.2 Wspólna bieżnia w sieci torów szlakowych oraz torów głównych zasadniczych stacji powinna być tworzona w układzie dynamicznym, pod

wpływem siły nacisku odbieraka prądu określonej dla maksymalnej prędkości jazdy.

- 3.2.2.3.3 W przypadku sieci torów głównych dodatkowych i torów bocznych stacji długość odcinka wspólnej jazdy, na którym przewody jezdne, w stanie bezwietrznym, położone są na tym samym poziomie, powinna wynosić co najmniej 1 m, lecz nie więcej niż 2 m (w temperaturze normalnej).
- 3.2.2.3.4 Dla nowych konstrukcji sieci jezdnych torów szlakowych i torów głównych zasadniczych stacji należy podstawowo stosować przęsła naprężenia trójpřęsłowe sześciostupowe o odległościach między podwieszeniami krzyżowymi a konstrukcjami kotwowymi odpowiadających odległości przyjętej między podwieszeniami przelotowymi. W przypadku zastosowania konstrukcji bramkowych przęsła naprężenia należy konstruować na czterech konstrukcjach. W przypadkach szczególnych możliwe są inne rozwiązania spełniające wymagania eksploatacyjne danej linii.
- 3.2.2.3.5 Przy projektowaniu przęseł naprężenia należy stosować rozdzielone kotwienie liny nośnej i przewodu jeznego.
- 3.2.2.3.6 Zalecane konstrukcje urządzeń naprężających to:
 - a) rolkowe z szeregowym układem rolek,
 - b) przekładnie kołowe, o współosiowym zamontowaniu rolki naprężającej przewód trakcyjny i rolki połączonej z liną ciężarów naprężających.

Zaleca się stosować urządzenia naprężające o przekładniach 1:3, 1:4 lub 1:5.
- 3.2.2.3.7 Konstrukcje urządzeń naprężających, o których mowa w punkcie 3.2.2.3.6, powinny spełniać następujące wymagania:
 - a) sprawność uwzględniająca poziom sił oporów ruchu oraz poziom sił naciągu przewodów powinna wynosić co najmniej 98% w pełnym przedziale temperatur pracy wskazanym w punkcie 3.2.1.2.1 oraz w warunkach oblodzenia elementów konstrukcyjnych i opadów zamarzającego deszczu;
 - b) musi być zapewniona możliwość montażu i regulacji urządzeń naprężających w zależności od temperatury otoczenia;
 - c) nie jest zalecane stosowanie urządzeń zabezpieczających przed zerwaniem liny urządzenia naprężającego o konstrukcji wpływającej na zwiększenie sił oporów ruchu przekładni naprężającej (dotyczy to np. stosowanych dotychczas w konstrukcjach sieci jezdnych w Polsce ciężarów zabezpieczających typu „V” lub typu „U”);
 - d) należy stosować rozwiązania zabezpieczające przed kradzieżą ciężarów naprężających lub jej następstwami w sposób nie powodujący

zwiększenia sił oporów ruchu przekładni naprężającej (również poprzez stosowanie ciężarów monolitycznych, betonowych itp.),

- e) ich konstrukcja nie powinna narzucać konieczności ustawiania w stacjach konstrukcji wsporczych pomiędzy torami głównymi zasadniczymi oraz torem głównym zasadniczym i głównym dodatkowym (dotyczy stosowania takich konstrukcji bramkowych i rolek linowych umożliwiających lokalizację urządzenia naprężającego przy podporze konstrukcji bramkowej zlokalizowanej poza określonymi międzytorzami).

3.2.2.4 Odcinek naprężenia

3.2.2.4.1 Odcinek naprężenia obustronnie naprężany musi być wyposażony w kotwienie środkowe sieci jezdnej. Sposób rozwiązania kotwienia środkowego powinien zapewniać:

- a) uniemożliwienie przesuwania się sieci wzdłuż toru kolejowego,
- b) symetryczne obciążenie mechaniczne konstrukcji wsporczej środkowej kotwienia środkowego,
- c) ograniczenie skutków awarii do połowy odcinka naprężenia w przypadku zerwania liny nośnej lub przewodu jezdnej.

3.2.2.4.2 Na całej długości odcinka naprężenia największe odchylenie ruchomej części wysięgnika od płaszczyzny przechodzącej przez oś konstrukcji wsporczej i prostopadłej do osi toru, nie powinna być większa od 12° , w obliczeniowym przedziale zmienności temperatury. Ponadto, należy dobrać długość odcinka naprężenia ze szczególną starannością, uwzględniając straty siły naprężenia (naciągu) spowodowane oddziaływaniem przemieszczających się punktów zawieszenia. Strata siły naciągu nie powinna przekraczać $10\div 11\%$, uwzględniając około 8% stratę wynikającą z przemieszczania punktów zawieszenia wraz ze zmianami temperatury oraz stratę spowodowaną pracą urządzenia naprężającego na poziomie około $2\div 3\%$.

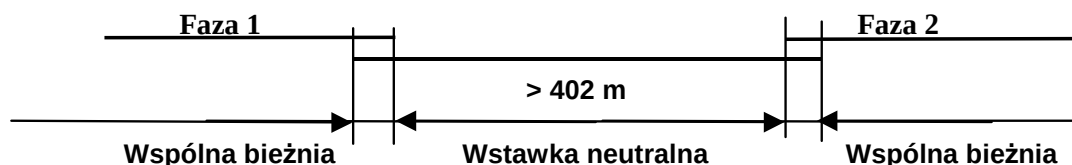
3.2.2.5 Sekcja separacji faz

3.2.2.5.1 Konstrukcja sekcji separacji faz powinna spełniać warunki zapisane w TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] punkt 4.2.21 zapewniając możliwość poruszania się pociągów od jednej sekcji do następnej, bez występowania galwanicznego mostkowania między dwoma fazami.

3.2.2.5.2 Należy zapewnić odpowiednie środki umożliwiające ponowne uruchomienie pociągu, który został zatrzymany w sekcji separacji faz. Konstrukcja sekcji separacji faz powinna umożliwiać podłączenie go do jednej z sekcji przyległych za pomocą zdalnie sterowanych rozłączników.

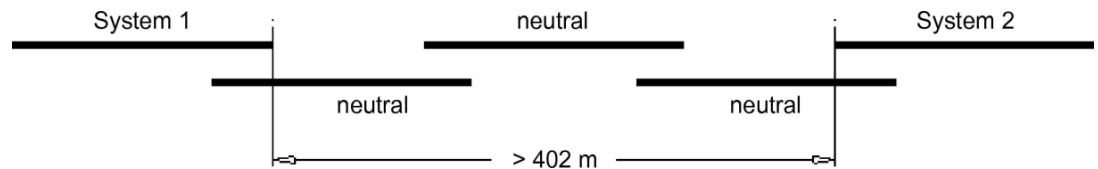
3.2.2.5.3 Dla prędkości jazdy pociągów przekraczających 250 km/h dopuszcza się

stosowanie sekcji separacji faz, w której wszystkie odbieraki prądu najdłuższych pociągów zgodnych z TSI znajdują się wewnątrz wstawki neutralnej. Długość wstawki neutralnej powinna wynosić co najmniej 402 m. Szczegółowe wymagania podano w normie PN-EN 50367:2006 [75] – załącznik A.1.3. W dokumentach tych przedstawiono również rozwiązania sekcji separacji faz dla linii kolejowych dużych prędkości kategorii II i III.



Rys. 3.2.4. Konstrukcja sekcji separacji faz (źródło: [75])

- 3.2.2.5.4 Odcinki wspólnej jazdy (wspólnej bieżni) należy konstruować w formie izolowanych przęseł naprężenia.
- 3.2.2.5.5 Minimalne odstępy izolacyjne pomiędzy częściami roboczymi sieci jezdnej systemu 25 kV AC podłączonymi do różnych faz wynoszą, zgodnie z zapisami normy PN-EN 50119:2002 [60] – punkt 5.2.11:
- dla różnicy faz 120° elektr.:
 - w układzie statycznym – 400 mm,
 - w stanie dynamicznym – 230 mm,
 - dla różnicy faz 180° elektr.:
 - w układzie statycznym – 540 mm,
 - w stanie dynamicznym – 300 mm.
- 3.2.2.6 Sekcja separacji systemów
- 3.2.2.6.1 Konstrukcja sekcji separacji systemów powinna spełniać warunki zapisane w TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] punkt 4.2.22 zapewniając możliwość poruszania się pociągów od jednego systemu zasilania do sąsiedniego, bez występowania galwanicznego mostkowania między dwoma systemami.
- 3.2.2.6.2 Istnieją dwie możliwości przejazdu pociągu przez sekcje separacji systemów:
- z uniesionymi odbierakami prądu pozostającymi w kontakcie z przewodami jezdnyymi,
 - z opuszczonymi odbierakami prądu.



Rys. 3.2.5. Konstrukcja sekcji separacji systemów (źródło: [10])

- 3.2.2.6.3 W przypadku wyboru wariantu jak w punkcie 3.2.2.6.2 a) należy zapewnić:
- zapobieżenie występowania zwarć lub galwanicznego mostkowania sąsiednich systemów zasilania poprzez odpowiednią konstrukcję sieci jezdnej. Konstrukcja taka powinna obejmować trzy odcinki neutralne o sumarycznej długości przekraczającej 402 m, zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.2.22.2,
 - zastosowanie odpowiednich zabezpieczeń w systemach zasilania w celu zapobieżenia występowania zwarć lub galwanicznego połączenia sąsiednich systemów, działających w sytuacji gdy nie nastąpi zadziałanie zabezpieczeń elektrycznych taboru.
- 3.2.2.6.4 W przypadku wyboru wariantu jak w punkcie 3.2.2.6.2 b) należy tak zaprojektować sekcję separacji aby uniknąć połączenia systemów przez przypadkowo uniesiony odbierak, stosując zabezpieczenia zapewniające wyłączenie zasilania obydwu systemów.
- 3.2.2.6.5 Odcinki wspólnej jazdy (wspólnej bieżni) należy konstruować w formie izolowanych przęseł naprężenia. Należy przy tym zapewnić jednakową wysokość zawieszenia przewodu jezdnych sąsiadujących sekcji mechanicznych, przy czym konstrukcja strefy wspólnej bieżni przęseł naprężenia powinna odpowiadać wymaganiom przedstawionym w punkcie 3.2.2.3.2.
- 3.2.2.6.6 Wymagania w stosunku do odległości izolacyjnych należy przyjmować jak w punkcie 3.2.2.2.6.
- 3.2.2.7 Rozjazdy sieciowe
- 3.2.2.7.1 Rozjazdy sieciowe zainstalowane w torach szlakowych i torach głównych zasadniczych stacji powinny być konstruowane jako przestrzenny układ lin nośnych i przewodów jezdnych bez występowania mechanicznych połączeń pomiędzy oboma ciągami sieci. Konstrukcje te powinny zapewniać płynne przejście ślizgacza odbieraka we wszystkich kierunkach, dla których jazda jest przewidziana.
- 3.2.2.7.2 Przy jeździe przez rozjazd, o którym mowa punkcie 3.2.2.7.1, na wprost, pantograf nie powinien mieć kontaktu z siecią jezdnią toru rozjazdowego.
- 3.2.2.7.3 Rozjazdy sieci jezdnych zainstalowane w torach innych niż szlakowe i tory główne zasadnicze stacji powinny być projektowane z zapewnieniem

mechanicznego połączenia pomiędzy oboma ciągami sieci i powinny zapewniać płynny przejazd ślizgacza odbieraka prądu we wszystkich kierunkach, dla których przejście rozjazdowe jest przewidywane.

3.2.2.8 Zawieszenia poprzeczne

- 3.2.2.8.1 W stacjach, gdzie przewiduje się ruch pociągów z prędkościami powyżej 250 km/h nie powinno się stosować zawieszek poprzecznych dla sieci jezdnych.

3.2.3 Materiały do budowy sieci trakcyjnej

3.2.3.1 Przewody jezdne

3.2.3.1.1 Dobór materiałów – jak w punkcie 3.2.1.4.

3.2.3.2 Liny nośne

3.2.3.2.1 Dobór materiałów – jak w punkcie 3.2.1.5.

3.2.3.3 Przewody zasilaczy dodatkowych dla systemu zasilania 2×25 kV, łączniki sieci jezdnej, przewody uziemiające, łączniki sieci powrotnej oraz uziomy

3.2.3.3.1 Własności elektryczne i mechaniczne przewodów zasilaczy dodatkowych dla systemu zasilania 2×25 kV powinny spełniać wymagania norm PN-IEC 1089:1994 [87] i PN-E-90081:1974 [53].

3.2.3.3.2 Przekrój znamionowy lin, o których mowa w punkcie 3.2.3.3.1 nie może być mniejszy niż:

- a) 50 mm² w przypadku miedzianych,
- b) 70 mm² w przypadku aluminiowych lub stalowo-aluminiowych.

3.2.3.3.3 Łączniki sieci jezdnej i powrotnej powinny być zaprojektowane z giętkich lin miedzianych o rezystancji nie większej niż podaje norma PN-E-90081:1974 [53].

3.2.3.3.4 Dopuszcza się zaprojektowanie sieci powrotnej z zastosowaniem innych dopuszczonych do eksploatacji łączników szynowych, niż określonych w punkcie 3.2.3.3.3.

3.2.3.3.5 Do wykonywania elektrycznych połączeń konstrukcji wsporczej z uziomem należy stosować stalowe ocynkowane pręty o minimalnym przekroju 50 mm².

3.2.3.3.6 Uziomy indywidualne należy wykonywać jako prętowe. Uziomy prętowe indywidualne należy montować w odległości około 1 m od osi konstrukcji wsporczej, od strony nadjeżdżającego taboru – zgodnie z kierunkiem jazdy.

3.2.3.3.7 Pozostałe wymagania dotyczące przewodów uziemiających, łączników sieci powrotnej oraz uziomów przedstawiono w punktach: 3.3.8, 3.3.9, 3.3.13.

3.2.3.4 Odciągi sieciowe, uelastycznienia, wieszaki

3.2.3.4.1 Do projektowania odcągów sieciowych, uelastycznienia i wieszaków sieci jezdnej należy stosować linki z miedzi lub jej stopów.

3.2.3.4.2 Linki miedziane powinny spełniać wymagania norm PN-IEC 1089: 1994 [87] i PN-E-90081:1974 [53].

3.2.3.4.3 Przekrój znamionowy linek nie może być mniejszy niż:

- a) w przypadku odcągów sieciowych – 35 mm²,

- b) w przypadku lin uelastyczniających – 25 mm²,
- c) w przypadku wieszaków – 10 mm²,

3.2.3.5 Osprzęt

3.2.3.5.1 Osprzęt sieci trakcyjnej powinien być wykonany z materiałów:

- a) odpornych na drgania,
- b) ekologicznych o niskim oddziaływaniu na środowisko i nie ulegających korozji,
- c) o określonym i podlegającym sprawdzeniu składzie chemicznym,
- d) o ustalonych własnościach wytrzymałościowych i elektrycznych.

3.2.3.5.2 Do produkcji osprzętu powinny być stosowane następujące materiały:

- a) miedź i jej stopy – wg normy PN-EN 1982:2002 [58],
- b) żeliwo ciągliwe białe ZcB4505 – wg normy PN-EN 1562:2000 [57],
- c) stal niestopowa S235JRG – wg normy PN-EN 10025-1:2007 [56],
- d) stale stopowe nierdzewne,
- e) stopy aluminium,
- f) inne materiały dopuszczone do stosowania przez odpowiednią placówkę naukowo-badawczą.

3.2.3.5.3 Dobór materiałów do wyrobu osprzętu powinien być dokonywany pod kątem wymagań nowoczesnych metod technologii produkcji jak spawalność, dobra lejność (odlewy), plastyczność (odkuwki) itp.

3.2.3.5.4 Osprzęt sieci trakcyjnej przeznaczony do bezpośredniego zamocowania na przewodach miedzianych (lub ze stopów miedzi), części osprzętu przeznaczone do przewodzenia prądu elektrycznego, drobne elementy (np. zawlecзки), jak też osprzęt szczególnie narażony na korozję powinien być wykonany z miedzi i jej stopów (brąz, miedzionikiel) lub stali nierdzewnej.

3.2.3.5.5 Większe elementy konstrukcyjne osprzętu powinny być wykonywane ze stali niestopowych lub żeliwa ciągliwego białego, z wyjątkiem osprzętu stosowanego w tunelach, który należy wykonywać z miedzi, brązu, stali stopowych lub stopów aluminium.

3.2.3.5.6 Do budowy sieci trakcyjnej linii kolejowych dużych prędkości należy stosować jedynie elementy osprzętu sieciowego dopuszczone do użytkowania przez zarządcę infrastruktury kolejowej.

3.2.3.6 Fundamenty, głowice fundamentowe i konstrukcje wsporcze

3.2.3.6.1 Konstrukcje wsporcze powinny być wykonywane z materiałów trwałych, odpornych na drgania, o określonym i podlegającym sprawdzeniu składzie chemicznym oraz ustalonych własnościach wytrzymałościowych.

3.2.3.6.2 W przypadku zastosowania stalowych konstrukcji wsporczych należy wykonywać je ze stali konstrukcyjnych spawalnych. W jak najszerszym

zakresie należy stosować profile stali walcowanej w postaci kątowników, ceowników i dwuteowników szerokostopowych.

- 3.2.3.6.3 Konstrukcje wsporcze stalowe powinny być ocynkowane zanurzeniowo (ogniowo) zgodnie z wymaganiami normy PN-E-04500:1993 [49], a następnie dwukrotnie pomalowane farbami rodzaju i kolorze ustalonym przez zarządcę sieci trakcyjnej. Grubość powłoki cynkowej powinna wynosić co najmniej 60 µm.
- 3.2.3.6.4 Konstrukcje wsporcze betonowe powinny być wykonane z betonu zbrojonego. Zaleca się zastosowanie konstrukcji wykonanych w technologii tzw. „wirowania” betonu.
- 3.2.3.6.5 Materiały używane do wykonania betonu, sposób jego wykonania oraz badania próbek powinny odpowiadać wymaganiom norm PN-B-03264:2002 [43], BN-85/9317-90 [98].
- 3.2.3.6.6 Fundamenty blokowe powinny być wykonywane z betonu klasy nie niższej niż B-30, zaś fundamenty palowe powinny być wykonywane zgodnie z „Wytycznymi odbioru i eksploatacji fundamentów palowych...” [37]. W przypadkach technicznie uzasadnionych dopuszcza się stosowanie betonu o większej wytrzymałości lub betonu zbrojonego.
- 3.2.3.6.7 Głowica fundamentowa powinna być wykonywana w sposób zapewniający jej trwałość i odporność na czynniki zewnętrzne. Wytrzymałość na ściskanie i wodoszczelność głowic betonowych należy zapewnić poprzez właściwy dobór klasy betonu z jakich zostaną wykonane – norma PN-EN 206-1:2003 [59].
- 3.2.3.7 Materiały izolacyjne
 - 3.2.3.7.1 W urządzeniach sieci trakcyjnej należy stosować materiały izolacyjne o właściwościach elektrycznych, mechanicznych i termicznych odpowiednich do pracy w kolejowych warunkach eksploatacyjnych.
 - 3.2.3.7.2 Jako materiały izolacyjne należy stosować materiały ceramiczne (porcelana elektrotechniczna) lub tworzywa organiczne dobierane ze szczególnym uwzględnieniem warunków środowiskowych, w tym promieniowania słonecznego.
 - 3.2.3.7.3 Do izolacji urządzeń sieci trakcyjnej należy stosować izolatory znormalizowane, a w przypadku ich braku izolatory spełniające wymagania techniczne izolatorów znormalizowanych.

3.2.4 Sieć powrotna (obwód powrotny sieci trakcyjnej)

- 3.2.4.1 Część zasilającego obwodu elektrycznego o niskim potencjale, zawarta pomiędzy odbiornikiem energii elektrycznej (pojazdem) a źródłem zasilania (pod-

stacja trakcyjna) jest obwodem powrotnym, lub inaczej siecią powrotną układu zasilania. Sieć powrotna składa się z kabli powrotnych, szyn jezdnych, szyn lub przewodów powrotnych, połączeń elektrycznych, booster transformatorów, łączników impedancyjnych (dławików torowych). Obwód powrotny stanowi tor prądowy dla trakcyjnych prądów powrotnych, prądów zwarciovych, jest elementem ochrony przeciwporażeniowej i jest źródłem prądów błędzących.

- 3.2.4.2 Projekt układu zasilania winien zawierać rozwiązanie schematu elektrycznego obwodu sieci powrotnej.

3.2.5 Ochrona przeciwporażeniowa

- 3.2.5.1** Spełnienie wymagań ochrony przeciwporażeniowej jest nadrzędne nad innymi wymaganiami technicznymi i środowiskowymi. Dla stosowania środków bezpieczeństwa i ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim mają zastosowanie wymagania norm: PN-EN 50122-1:2002 [63], PN-EN 50119:2002 [60], BS EN 50179 [69].

- 3.2.5.2** Ochrona przeciwporażeniowa w układzie zasilania trakcji elektrycznej 25 kV AC przed dotykiem pośrednim powinna zawierać jeden zintegrowany system bezpośredniego uziemienia szyn jezdnych stanowiący „ziemię systemu trakcyjnego”, zgodnie z zapisem normy PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 3.5.3.

3.3 Projektowanie techniczne sieci trakcyjnej

3.3.1 Obliczenia i ustalenia podstawowe

- 3.3.1.1 Podstawowe obliczenia i ustalenia dla projektowanej sieci jezdnej obejmują:
- a) ustalenie przekrojów i materiałów przewidywanych na przewody sieci jezdnej, pod kątem wymaganego przesylu energii i dostosowania do założonej prędkości prowadzenia ruchu pociągów,
 - b) obliczenia jednostkowych mechanicznych obciążeń poziomych i pionowych liny nośnej, przewodu jezdного oraz całej sieci,
 - c) ustalenie rozpiętości normalnego przęsła na prostej spełniającej wymagania dopuszczalnego wychylenia przewodów oraz stref klimatycznych,
 - d) ustalenie długości przęseł naprężenia izolowanego i zwartego,
 - e) ustalenie długości odcinka naprężenia (sekcji),
 - f) poza podstawowymi obliczeniami należy ustalić parametry przewodów zasilaczy dodatkowych dla systemu zasilania 2×25 kV, przewodów uziemiających, łączników sieci jezdnej i powrotnej, przewodów połączeń elektrycznych, odciągów sieciowych, wysięgników podwieszeń sieci jezdnej, rodzaju kotwien ciężarowych itp.
- 3.3.1.2 Parametry współpracy sieci jezdnej z pantografem:

- a) konstrukcja sieci trakcyjnej, zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10] punkt 4.2.18, powinna zapewnić obciążalność prądową co najmniej na poziomie określonym w normie PN-EN 50388:2006 [76], punkt 7.1. Poziom ten wynosi dla linii dużych prędkości zasilanych w systemie 25 kV AC 1500 A.
- b) energia elektryczna powinna być dostarczona do odbieraków prądu przy wymaganej minimalnej wartości średniego napięcia użytecznego wynoszącego dla linii dużych prędkości zasilanych w systemie 25 kV AC 22,5 kV, zgodnie z zapisami normy PN-EN 50388:2006 [76] punkt 8.3. Wartości napięć dopuszczalnych krótkotrwałych i długotrwałych prezentuje norma PN-EN 50163:2006 [68], punkt 4.1.
- c) dla prędkości jazdy do 350 km/h, jako cechy charakterystyczne przewidziano (wartości poniższych parametrów mają charakter informacyjny):
 - typową moc energii elektrycznej dostarczanej do odbieraków prądu pojazdu trakcyjnego na poziomie: 8÷20 MW - zgodnie z zapisami PN-EN 50388:2006 [76], Annex D.1,
 - minimalny możliwy odstęp między pociągami - 3 min (zgodnie z zapisami TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości w [nieobowiązującej] wersji z 2002 r.).

3.3.1.3 Podstawowe wzory zalecane do obliczeń sieci jezdnych podane są w „Wytocznych projektowania i warunkach odbioru sieci trakcyjnej...” [36] – załącznik nr 1.

3.3.1.4 Dla nowych konstrukcji sieci jezdnych należy sporządzać metrykę, której wzór przedstawiony został w „Wytocznych projektowania i warunkach odbioru sieci trakcyjnej...” [36], załącznik nr 2.

3.3.1.5 Projektowanie sieci trakcyjnej powinno uwzględniać wymagania określone w normie BN-85/9317-92 [99].

3.3.1.6 Przy opracowywaniu dokumentacji technicznej sieci trakcyjnej można stosować rozwiązania zawarte w „Katalogu sieci trakcyjnej” [39] lub korzystać z innych rozwiązań dopuszczonych dla prędkości powyżej 200 km/h.

3.3.2 Fundamenty i głowice fundamentowe

3.3.2.1 Projektowanie fundamentów i konstrukcji wsporczych powinno uwzględniać wymagania podane w normie PN-B-03264:2002 [43] i BN-85/9317-90 [98].

3.3.2.1.1 Obsada konstrukcji wsporczych stalowych lub żelbetowych powinna być wykonywana w postaci:

- a) fundamentów betonowych prefabrykowanych palowych wyposażonych w śruby do montowania konstrukcji wsporczych,

- b) fundamentów betonowych wylewanych w formy zagłębiane w grunt metodą wbijania lub wkręcania, wyposażonych w śruby do montowania konstrukcji wsporczych,
 - c) blokowych fundamentów betonowych prefabrykowanych,
 - d) blokowych fundamentów betonowych wylewanych w formy,
 - e) innych przyjętych do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
- 3.3.2.1.2 Zaleca się w szerokim zakresie, na szlakach i stacjach, stosowanie fundamentów wskazanych w punktach: 3.3.2.1.1a), b). W uzasadnionych przypadkach należy stosować pozostałe spośród wskazanych w ww. punkcie typów fundamentów.
- 3.3.2.1.3 Do zabezpieczenia stalowych konstrukcji wsporczych posadowionych w blokowych fundamentach betonowych należy stosować głowice fundamentowe.
- 3.3.2.1.4 Miejsca styku konstrukcji wsporczych i odcągów z głowicami fundamentów należy dodatkowo zabezpieczać przed wpływami atmosferycznymi
- 3.3.2.1.5 Obliczenia statyczne i projektowanie nowych fundamentów konstrukcji wsporczych należy dokonywać na podstawie przyjętych do stosowania norm i przepisów oraz parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego linii kolejowych.
- 3.3.2.1.6 Wartości parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego powinny być ustalane na podstawie badań przeprowadzanych w miejscach usytuowania konstrukcji wsporczych.
- 3.3.2.1.7 Badania gruntu powinny być wykonywane w postaci wierceń i sondowań dla określenia jego rodzaju i stanu. Ponadto należy określić poziom wody gruntowej (gdy zalega do 2 m poniżej główki szyny).
- 3.3.2.1.8 Wymagana głębokość wierceń powinna równać się długości (wysokości) najdłuższego fundamentu blokowego lub fundamentu palowego powiększonej o 1,0 m. Długość (wysokość) fundamentów należy przyjmować z obowiązujących katalogów.
- 3.3.2.1.9 Usytuowanie górnej płaszczyzny fundamentów, o których mowa w punkcie 3.3.2.1.1 a), b) powinno spełniać następujące warunki w zakresie odległości pionowych:
- a) na szlaku: $+0,40 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ – w stosunku do ławy torowiska,
 - b) na stacji: $0,00 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ – w stosunku do powierzchni tocznej szyn,
 - c) na peronie: $+0,20 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ – w stosunku do płaszczyzny peronu.
- 3.3.2.1.10 Usytuowanie górnej płaszczyzny fundamentów, o których mowa w punkcie 3.3.2.1.1 c), d) powinno spełniać następujące warunki w zakresie odległości

pionowych:

- a) na szlaku i równi stacyjnej: $0,10\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ w stosunku do ławy torowiska,
- b) na peronie: poniżej powierzchni peronu,
przy czym należy zapewnić właściwą wysokość głowicy fundamentowej.

3.3.2.2 Odległość bocznej powierzchni fundamentów konstrukcji wsporczych od osi najbliższego toru, na głębokości do 1,50 m poniżej powierzchni tocznej szyn, powinna wynosić minimum 2,20 m.

3.3.2.3 Należy przestrzegać dopuszczalnych odległości pomiędzy krawędzią poszczególnych fundamentów a płaszczyzną zewnętrzną dowolnej instalacji zewnętrznej lub innej konstrukcji.

3.3.3 Konstrukcje nośne, odciąg

3.3.3.1 Do podwieszania sieci jezdnej można wykorzystywać, jako konstrukcje nośne:

- a) konstrukcje wsporcze,
- b) budowle usytuowane nad lub w bezpośrednim sąsiedztwie torów elektryfikowanych jak: stropy lub ściany tuneli, wiaduktów, konstrukcji mostów i wiaduktów – za zgodą PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

3.3.3.2 W budowie sieci trakcyjnej należy stosować indywidualne konstrukcje wsporcze sieci jezdnej w formie:

- a) stalowych słupów indywidualnych, ocynkowanych wykonanych z ceowników i dwuteowników szerokostopowych, mocowanych za pomocą śrub do fundamentów, o których mowa w punkcie 3.3.2.1.1 a), b),
- b) konstrukcji wsporczych żelbetowych wykonanych z betonu wirowanego.

3.3.3.3 Na stacjach zaleca się stosować konstrukcje bramkowe wykonane ze stali ocynkowanej, ze słupami mocowanymi do pojedynczych lub podwójnych fundamentów, o których mowa w punkcie 3.3.2.1.1 a). Dopuszcza się również stosowanie konstrukcji bramkowych ze słupami posadowionymi w fundamentach, o których mowa w punkcie 3.3.2.1.1 b)-d).

3.3.3.4 Obliczenia statyczne i projektowanie stalowych konstrukcji wsporczych należy dokonywać na podstawie normy ZN-87/MTŻŁ-CBP-11 [100] oraz PN-B-03200:1990 [42].

3.3.3.5 Obliczenia statyczne i projektowanie żelbetowych konstrukcji wsporczych należy dokonywać na podstawie normy PN-B-03264:2002 [43].

3.3.3.6 Dla określenia wielkości obciążeń poziomych i pionowych konstrukcji wsporczych należy korzystać z ustaleń w punktach: 3.2.1.3, 3.3.3.7.

3.3.3.7 Dla określenia wysokości wymaganych konstrukcji wsporczych należy brać pod uwagę:

- a) usytuowanie fundamentów w stosunku do ławy torowiska,
 - b) poziom zawieszenia przewodu jezdnego,
 - c) wysokość konstrukcyjną sieci jezdnej,
 - d) możliwość montażu przewodu uziemienia grupowego, przewodu powrotnego lub przewodu zasilacza dodatkowego dla systemu zasilania 2×25 kV.
- 3.3.3.8 Nie stosuje się odizolowania od fundamentów konstrukcji wsporczych mocowanych do fundamentów palowych lub do fundamentów wylewanych w prefabrykowane formy pogrążane w gruncie. Dotyczy to również odcągów konstrukcji wsporczych.
- 3.3.3.9 Przy torach szlakowych i głównych zasadniczych stacji konstrukcje wsporcze sieci jezdnej na odcinkach prostych należy lokalizować z uwzględnieniem wymagań zapisanych w punkcie 3.1.1.1, przy jednoczesnym zachowaniu następujących minimalnych odległości od osi toru:
- a) 2,80 m – w zakresie prędkości $200 < V \leq 270$ km/h,
 - b) 3,00 m – w zakresie prędkości $270 < V \leq 300$ km/h,
 - c) 3,20 m – w zakresie prędkości $V > 300$ km/h.
- Podane wielkości nie dotyczą konstrukcji wsporczych, które w wyjątkowych sytuacjach usytuowane zostać muszą w międzytorzu. Dla konstrukcji w międzytorzu skrajnia wynikać będzie z przyjętych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. przepisów określających międzytorza stacji, dla przypadku lokalizacji w nim konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej.
- 3.3.3.10 Przy torach głównych dodatkowych i bocznych stacji, konstrukcje wsporcze sieci jezdnej na odcinkach prostych należy lokalizować z uwzględnieniem wymagań zapisanych w punkcie 3.1.1.1, przy jednoczesnym zachowaniu minimalnej odległości od osi toru wynoszącej 2,50 m.
- 3.3.3.11 Na odcinkach torów położonych w łukach na szlaku lub stacji oraz w rejonie dróg rozjazdowych podane w punktach: 3.3.3.9, 3.3.3.10 odległości należy zwiększyć w sposób określony w przyjętych, przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., przepisach to regulujących.
- 3.3.3.12 W peronach konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej należy lokalizować z uwzględnieniem wymagań zapisanych w punkcie 3.1.1.1 oraz przyjętych przez PKP Polskie Linie Kolejowe przepisów określających m. in. wymaganą szerokość pasa bezpieczeństwa i pasa powierzchni użytkowej.
- 3.3.3.13 W planowanych podwieszeniach sieci jezdnych (szczególnie na stacjach) należy dążyć do przejrzystego i uporządkowanego, przestrzennego rozlokowania elementów należących do różnych obwodów elektrycznych oraz elementów uziemionych.

- 3.3.3.14 Zaleca się ustawianie konstrukcji sieci jezdnej, każdego toru szlaku dwutorowego, symetrycznie, naprzeciw siebie.
- 3.3.3.15 Na stacjach należy unikać masowego ustawiania indywidualnych konstrukcji wsporczych sieci jezdnej, stosując konstrukcje bramkowe.
- 3.3.3.16 Sieć jezdna każdego z torów wielotorowego szlaku, stanowiąca odrębny odwód elektryczny, powinna być podwieszana na indywidualnych konstrukcjach wsporczych, mechanicznie niezależnych od siebie. Podwieszanie sieci poszczególnych torów na indywidualnych wspornikach sieciowych bramki, obejmującej te tory, traktuje się jak podwieszenie indywidualne.
- 3.3.3.17 Konstrukcje wsporcze sieci jezdnej powinny być tak rozstawiane, aby zachowana była widoczność sygnalizatorów świetlnych.
- 3.3.3.18 Najmniejsza odległość pomiędzy lokalizowanymi konstrukcjami wsporczymi powinna wynosić:
 - a) 1 m w przypadku konstrukcji mocowanych do fundamentów, o których mowa w punkcie 3.3.2.1.1 a), b),
 - b) 3 m w przypadku konstrukcji posadowionych w fundamentach, o których mowa w punkcie 3.3.2.1.1 c), d).
- 3.3.3.19 Konstrukcje sieci jezdnej powinny być rozstawiane w taki sposób, aby nie kolidowały z innymi urządzeniami stałymi.
- 3.3.3.20 Nie należy obejmować wspólnymi konstrukcjami wsporczymi sieci jezdnych torów należących do różnych grup, z punktu widzenia przeznaczenia, kierunku jazdy itp.
- 3.3.3.21 Należy unikać ustawiania konstrukcji wsporczych w peronach. W takich przypadkach tory z przyległymi peronami należy obejmować konstrukcjami bramkowymi. Dopuszcza się ustawianie konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej w obszarze peronów pod warunkiem zachowania odpowiednich odległości.
- 3.3.3.22 Należy dążyć do unikania ustawiania konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej w międzytorzu torów szlakowych i torów głównych zasadniczych w stacji oraz pomiędzy torem głównym zasadniczym i głównym dodatkowym.
- 3.3.3.23 Na odcinku toru, w odległości 5 m przed wykolejnicą i 30 m za nią, licząc w kierunku jazdy, nie wolno lokalizować konstrukcji wsporczych po tej stronie torów, na którą przewidywane jest wykolejenie taboru.
- 3.3.3.24 Nie należy ustawiać konstrukcji wsporczych bezpośrednio za kozłem oporowym żeberek ochronnych toru. Należy zachować minimalną odległość na poziomie 25 m.
- 3.3.3.25 Konstrukcje wsporcze ustawiane w rampach, placach ładunkowych itp. obiektach, należy zabezpieczać przed uszkodzeniami mechanicznymi.

3.3.3.26 Oznaczenia konstrukcji nośnych

3.3.3.26.1 Każda konstrukcja nośna powinna posiadać tablicę numerową z umieszczonym numerem konstrukcji zgodnie z normą BN-69/9317-75 [96] zawierającą:

- a) kilometr linii kolejowej (toru), na którym konstrukcja jest posadowiona,
- b) kolejność konstrukcji na danym kilometrze linii kolejowej.

3.3.3.26.2 Konstrukcje nośne należy numerować w sposób następujący:

- a) na szlaku przy torze nieparzystym – kolejne numery nieparzyste,
- b) na szlaku przy torze parzystym – kolejne numery parzyste,
- c) na stacji, kolejno rzędami od strony lewej do prawnej, odpowiednio na stronie parzystej i nieparzystej, w kierunku narastającego kilometra,
- d) konstrukcje bramkowe otrzymują tylko jeden numer.

3.3.3.26.3 Konstrukcje nośne, dla których z powodu braku miejsca lub innych trudności nie można zastosować normalnych tablic numerowych (np. w tunelach) mogą być oznaczone w inny sposób uzgodniony z PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

3.3.4 Sieć jezdna

3.3.4.1 Normalne przęsło zawieszenia sieci

3.3.4.1.1 Największą obliczeniową rozpiętość przęsła na prostej określa się z warunku, aby przy parciu wiatru na przewody sieci nie zostało przekroczone dopuszczalne wychylenie przewodu jezdnego od osi toru, wynoszące 400 mm (TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], punkt 4.1.2.1) oraz z warunków zagwarantowania właściwej dynamicznej współpracy sieci jezdnej z odbierakami prądu.

3.3.4.1.2 Rozpiętość przęsła na prostej, wynikająca z dopuszczalnego wychylenia przewodów jezdnych przy wietrze, powinna być obliczana dla odsuwów ± 200 mm:

3.3.4.2 Przęsło naprężenia

3.3.4.2.1 Należy stosować przęsła naprężenia trójprzęsłowe cztero lub sześciostłupowe spełniające wymagania punktu 3.2.2.3.

3.3.4.2.2 Przewody obu sieci jezdnych, w trójprzęsłowym przęśle naprężenia, prowadzone równolegle względem siebie, mogą być, w rzucie poziomym, zależnie od sytuacji terenowej, równoległe lub ukośne do osi toru.

3.3.4.2.3 Połączenia elektryczne w przęsłach naprężenia zaleca się lokalizować poza obszarem współpracy z odbierakiem prądu, w strefie pomiędzy podwieszeniami krzyżowymi.

- 3.3.4.2.4 W izolowanych przęsłach naprężenia zaleca się stosowanie izolacji termicznej lin nośnych, zabezpieczającej przed przepalaniem łukiem elektrycznym. Krzyżujące się przewody jezdne, prowadzone do kotwienia oraz wysięgnik pomocniczy słupa krzyżowego, należy izolować.
- 3.3.4.2.5 Należy unikać krzyżowania przewodów odchodzących do kotwienia z sieciami jezdnyymi innych torów, zwłaszcza należących do różnych obwodów elektrycznych.
- 3.3.4.2.6 W izolowanym przęśle naprężenia, przy obliczaniu maksymalnej rozpiętości, należy przyjmować:
- a) na odcinku gdzie przewody dwóch sieci prowadzone są równolegle, przewód jezdny sieci od strony wiatru wychyla się od osi toru o wielkość wytworzoną siłą parcia wiatru, zaś przewód jezdny drugiej sieci o połowę tej wielkości,
 - b) odległość pozioma prowadzonych równolegle przewodów sieci różnych odcinków naprężenia (mierzona między osiami najbliższych przewodów) powinna wynosić co najmniej:
 - w przypadku przęseł stanowiących element podziału elektrycznego obwodów o różnicy faz wynoszącej 0° elektr.: 270 mm w stanie statycznym, 150 mm w stanach dynamicznych (uwzględniając siły parcia wiatru oraz oddziaływanie odbieraków prądu),
 - w przypadku przęseł stanowiących element podziału elektrycznego obwodów, pomiędzy którymi może pojawić się o różnica faz wynosząca 120° elektr.: 400 mm w stanie statycznym, 230 mm w stanach dynamicznych (uwzględniając siły parcia wiatru oraz oddziaływanie odbieraków prądu),
 - w przypadku przęseł stanowiących element podziału elektrycznego obwodów, pomiędzy którymi może pojawić się o różnica faz wynosząca 180° elektr.: 540 mm w stanie statycznym, 300 mm w stanach dynamicznych (uwzględniając siły parcia wiatru oraz oddziaływanie odbieraków prądu),
 - c) odległość pionowa prowadzonych równolegle przewodów sieci różnych odcinków naprężenia, w miejscu ich krzyżowania, powinna spełniać, dla przewodów gołych, warunki zapisane w punkcie b), zaś w przypadku przewodów, z których krzyżujące górami są w osłonie izolacyjnej - co najmniej 150 mm dla (odległości mierzone między osiami najbliższych przewodów),
 - d) odległość między elementami osprzętu sieci różnych odcinków naprężenia (danego toru), należących do różnych obwodów elektrycznych powinna spełniać warunki zapisane w punkcie b).

- 3.3.4.2.7 W zwartym prześle naprężenia, przy obliczaniu maksymalnej rozpiętości należy przyjmować:
- a) na odcinku gdzie przewody dwóch sieci prowadzone są równolegle, przewód jezdny sieci od strony wiatru wychyla się od strony osi toru o wielkość wywołaną siłą parcia wiatru, zaś przewód jezdny drugiej sieci o połowę tej wielkości,
 - b) odległość pozioma prowadzonych równolegle przewodów sieci różnych odcinków naprężenia powinna wynosić, w stanie bezwietrznym co najmniej 200 mm, zaś przy wietrze co najmniej 75 mm (odległości mierzone między osiami najbliższych przewodów),
 - c) odległość pionowa prowadzonych równolegle przewodów sieci różnych odcinków naprężenia, w miejscach ich krzyżowania, powinna wynosić co najmniej 150 mm (odległość mierzona między osiami najbliższych przewodów).
- 3.3.4.3 Sekcja separacji faz
- 3.3.4.3.1 Wymagania zapisane zostały w punktach: 3.2.2.3, 3.2.2.5, 3.3.4.2.
- 3.3.4.4 Sekcja separacji systemów
- 3.3.4.4.1 Wymagania zapisane zostały w punktach: 3.2.2.3, 3.2.2.6, 3.3.4.2.
- 3.3.4.5 Odcinek naprężenia
- 3.3.4.5.1 Maksymalna długość odcinka naprężenia (sekcji mechanicznej) nie powinna przekraczać 1260 m.
- 3.3.4.5.2 Dla odcinków naprężenia sieci jezdnej naprężonej obustronnie należy stosować kotwienia środkowe sieci. Maksymalna długość odcinka sieci jezdnej pomiędzy kotwieniem ciężarowym i kotwieniem stałym (środkowym) wynosi 630 m, przy maksymalnej ilości przęseł zawieszenia wynoszącej 10.
- 3.3.4.5.3 W przypadkach stosowania kotwienia środkowego na indywidualnych konstrukcjach wsporczych należy dążyć do wyrównania rozpiętości pomiędzy słupem środkowym a słupami kotwienia środkowego. Dopuszcza się różnicę nie większą niż 2 m.
- 3.3.4.5.4 Do dźwigara bramki jednoprzęsłowej zaleca się mocowanie nie więcej niż trzech kotwień środkowych sieci jezdnej.
- 3.3.4.5.5 Nie należy projektować jednego odcinka naprężenia pomiędzy granicami elektrycznymi torów głównych zasadniczych stacji.
- 3.3.4.5.6 Należy tak ustalać długości odcinków naprężenia sieci jezdnej, aby lokalizowane przęsła naprężenia usytuowane w pobliżu semaforów wjazdowych i wyjazdowych stacji zapewniały maksymalną widoczność tych semaforów.

- 3.3.4.5.7 Należy tak ustalać długości odcinków naprężenia sieci jezdnej, aby lokalizowanie przęśla naprężenia było możliwe w odległości nie mniejszej niż 10 m przed peronem przystanku osobowego, zgodnie z właściwym kierunkiem jazdy.
- 3.3.4.5.8 Nie należy kotwić na jednym słupie więcej niż dwa odcinki naprężenia sieci jezdnej. Sieci kotwione na jednym słupie nie powinny należeć do różnych grup elektrycznych.
- 3.3.4.5.9 Kotwienia przewodów, naprężanych przy pomocy ciężarów, powinny zapewniać swobodny ruch ciężarów dla obliczeniowego zakresu zmienności temperatury (od -30°C do $+80^{\circ}\text{C}$). Obliczone teoretycz nie granice należy zwiększyć co najmniej o 500 mm, w każdą stronę.
- 3.3.4.5.10 Naciąg w linie kotwienia środkowego powinien być ustalony tak, aby w temperaturze upału najniższy punkt liny znajdował się co najmniej 300 mm powyżej poziomu przewodu jezdного.
- 3.3.4.6 Odsuwy sieci jezdnej
 - 3.3.4.6.1 Sieci jezdne łańcuchowe powinny być konstruowane jako pionowe tzn. z równoczesnym jednakowym odsuwem nadanym linie nośnej i przewodowi jezdному. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się nadanie różnych odsuwów, jednak różnica między odsuwami liny nośnej a odsuwami przewodu jezdного nie powinna być większa niż 10% wysokości konstrukcyjnej sieci i jednocześnie nie większa od 100 mm, pod warunkiem zachowania odsuwów przewodów jezdnych zgodnie z zapisami punktu 3.3.4.6.3.
 - 3.3.4.6.2 Odsuwy przewodu jezdного powinny zapewniać możliwie równomierne ścieranie nakładek części roboczej ślizgacza odbieraka prądu.
 - 3.3.4.6.3 Odsuw przewodu jezdного należy przyjmować według następujących zasad:
 - a) dla promieni łuków $R \geq 3000$ m odsuw powinien wynosić ± 200 mm;
 - b) dla promieni łuków $R < 3000$ m przewód jezdny należy poprowadzić w środku przęśla stycznie do osi toru a odsuw w miejscu podwieszenia odpowiednio zwiększyć, nie przekraczając wartości 360 mm.
 - 3.3.4.6.4 Pełny cykl odsuwów sieci jezdnej powinien zamykać się w dwóch bezpośrednio po sobie następujących przęśłach. W uzasadnionych przypadkach pełny cykl odsuwów może zamykać się w kilku przęśłach lub sieć jezdna może być prowadzona po osi toru.
 - 3.3.4.6.5 Odsuwy nadawane sieciom jezdным na szlaku dwutorowym powinny zapewniać zachowanie odległości minimum 700 mm między częściami przeciwnych podwieszeń obu torów. Zaleca się stosowanie na

przeciwległych podwieszeniach odsuwów o przeciwnych znakach.

3.3.4.7 Profilowanie sieci jezdnej

3.3.4.7.1 Dopuszczalne wartości pochylenia przewodu jezdnej zapisane są w treści normy PN-EN 50119:2002 [60] – punkt 5.2.8.2. Dla prędkości przekraczających 250 km/h nie dopuszcza się profilowania wysokości przewodu jezdnej.

3.3.4.7.2 Dopuszcza się obniżanie wysokości konstrukcyjnej sieci torów szlakowych i torów głównych zasadniczych stacji, przy czym:

- a) maksymalna zmiana wysokości konstrukcyjnej w kolejnych przęsłach zawieszenia sieci wynosi 10%, pod warunkiem odpowiedniego skrócenia długości tych przęseł;
- b) minimalna wysokość konstrukcyjna wynosi 0,80 m.

3.3.4.8 Zespoły podwieszeń

3.3.4.8.1 Zespoły podwieszeń (i ich elementy) należy obliczać na obciążenia występujące na skutek działania sił:

- a) poziomych – od parcia wiatru i od naciągu przewodów, w najniekorzystniejszym ich układzie,
- b) pionowych – wywołanych ciężarem zawieszonych elementów sieci wraz z sadzią.

Siły parcia wiatru oblicza się dla przewodów nie pokrytych sadzią.

3.3.4.8.2 Naprężenia występujące w elementach wysięgnika nie powinny przekraczać naprężeń dopuszczalnych dla materiałów, z których elementy te są wykonywane.

3.3.4.8.3 Należy tak konstruować wysięgniki i ich elementy mocujące, aby oś obrotu była prostopadła do płaszczyzny poziomej układu torowego. Uchwyt mocujący odciąg ukośnika powinien umożliwiać regulację osi obrotu.

3.3.4.8.4 Należy stosować elementy zabezpieczające przed nadmiernym rozwarciem między wysięgnikiem pomocniczym a ramieniem odciągowym.

3.3.4.9 Odciagi sieciowe

3.3.4.9.1 Liny odciągów sieciowych należy obliczać na obciążenia siłami poziomymi, działającymi w punktach zamocowania przewodów sieci jezdnych, w najbardziej niekorzystnym ich układzie.

3.3.4.10 Osprzęt

3.3.4.10.1 Osprzęt zamocowany na przewodach jezdnych powinien odznaczać się odpowiednią wytrzymałością i niewielkim ciężarem, aby zapewnić najkorzystniejsze warunki elastyczności sieci jezdnej.

3.3.4.10.2 Zaciski i złączki powinny być tak zaprojektowane, aby podczas przepływu

prądu nie wykazywały spadku napięcia większego niż odcinek przewodu o analogicznej długości, przy czym temperatura tego osprzętu nie powinna być wyższa od temperatury przewodu.

- 3.3.4.10.3 Współczynnik bezpieczeństwa dla zacisków i armatury instalacyjnej wykonanych metodą odlewniczą powinien dla normalnego obciążenia wynosić od 3,0 do 3,5. Zaciski dla lin i drutów muszą wytrzymywać min. 2,5-krotną wartość maksymalnej siły rozciągającej lub 85% nominalnej siły naprężającej liny lub drutu. Mniejsza z tych wartości jest wystarczająca.
- 3.3.4.10.4 Osprzęt sieci trakcyjnej powinien być tak zaprojektowany, aby elementy łatwiej ulegające naturalnemu zużyciu lub uszkodzeniu mogły być w sposób szybki i łatwy wymieniane. Elementy osprzętu powinny być oznaczone trwałym znakiem wytwórcy.
- 3.3.4.11 Złącza przewodów jezdnych
 - 3.3.4.11.1 W nowych sieciach jezdnych torów szlakowych i głównych zasadniczych stacji niedozwolone jest stosowanie złącz przewodów jezdnych.
- 3.3.4.12 Przewody zasilaczy dodatkowych dla systemu zasilania 2×25 kV, łączniki sieci jezdnej, przewody uziemiające, łączniki sieci powrotnej
 - 3.3.4.12.1 Napowietrzne przewody zasilaczy dodatkowych należy obliczać zgodnie z normą PN-E-05100-1:1998 [51]. Naprężenia w przewodach nie mogą przekraczać dopuszczalnych naprężeń normalnych podanych w tablicy nr 8 ww. normy.
 - 3.3.4.12.2 Naprężenie w przewodach połączeń elektrycznych (łącznikach) sieci jezdnej nie powinno przekraczać 5 MPa.
 - 3.3.4.12.3 Przekrój lin połączeń elektrycznych sieci jezdnych powinien wynosić co najmniej 50% większego z przekrojów sumarycznych (liny nośnej i przewodu jezdnej) łączonych sieci jezdnych.
 - 3.3.4.12.4 Przewody uziemiające, powrotne oraz przewody zasilaczy dodatkowych powinny być prowadzone po przeciwnej stronie konstrukcji wsporczej niż sieć jezdna.
 - 3.3.4.12.5 Przy krzyżowaniu się przewodu zasilacza dodatkowego z liną nośną powinien zostać, w najniekorzystniejszych warunkach, zachowany minimalny odstęp wynoszący 150 mm.
 - 3.3.4.12.6 Nie należy prowadzić przewodów uziemiających i powrotnych oraz przewodów zasilaczy dodatkowych nad peronami. W przypadku konieczności takiego prowadzenia lub zbliżenia należy spełniać wymagania normy PN-E-05100-1:1998 [51] – tabl. 14 poz. 6 i tabl. 22 poz.1.
 - 3.3.4.12.7 Linie zasilaczy dodatkowych należy kotwić w odstępach 3÷5 km na

konstrukcjach wsporczych podwieszonych przelotowych sieci jezdnej, na których nie występuje kotwienie przewodów tej sieci (w tym kotwienie środkowe).

3.3.4.13 Wieszaki

3.3.4.13.1 Wieszaki łączące linię nośną z przewodem jezdny powinny być tak konstruowane, aby umożliwiały wzajemne ruchy liny i przewodu jezdnej (konstrukcja elastyczna).

3.3.4.13.2 Konstrukcja powinna zapewniać nieprzesuwne usytuowanie wieszaka w miejscu montażu na linii nośnej lub linii uelastyczniającej i na przewodzie jezdny

3.3.4.13.3 Konstrukcja wieszaków powinna zapewniać przewodzenie prądu. Wieszaki powinny zostać wykonane z linki z miedzi stopowej o podwyższonej wytrzymałości, o przekroju wynikającym z analizy dynamiki sieci trakcyjnej i rozptyłu prądów zwarciovych, przy czym minimalny dopuszczalny przekrój wynosi 10 mm^2 .

3.3.4.13.4 Długość pojedynczego wieszaka nie powinna być mniejsza od 250 mm.

3.3.4.14 Rozjazdy sieciowe

3.3.4.14.1 Konstrukcja rozjazdu sieciowego powinna zapewniać przejazd po torze głównym (na wprost) z prędkością maksymalną dla danego typu sieci jezdnej. Podczas jazdy po torze rozjazdowym prędkości są zależne od rodzaju zastosowanego rozjazdu torowego charakteryzującego się dwoma parametrami: skosem i promieniem łuku.

3.3.4.14.2 Sieć rozjazdowa powinna być wykonana co najmniej jako sieć jezdna jednostronnie skompensowana.

3.3.4.14.3 Konstrukcja rozjazdów sieci musi zapewniać swobodny ruch wzdłużny każdego z przewodów jezdnych w obowiązującym przedziale zmienności temperatury.

3.3.4.14.4 Kotwienia sieci krzyżujących się nad rozjazdem torowym powinny być tak lokalizowane, aby powstające przy zmianach temperatury ruchy wzdłużne przewodów jezdnych tworzących rozjazd miały ten sam kierunek. W przypadku trudności takiego zaprojektowania, jedna z sieci powinna być, w pobliżu rozjazdu, zakotwiona na stałe lub unieruchomiona kotwieniem środkowym.

3.3.4.14.5 Przewód jezdny sieci odchodzącej z rozjazdu do kotwienia, bezpośrednio za obszarem współpracy ze ślizgaczem odbieraka prądu, powinien być uniesiony i prowadzony możliwie wysoko, w stosunku do przewodów współpracujących z odbierakiem.

- 3.3.4.14.6 Sieci jezdne obu ciągów tworzących rozjazd należy połączyć elektrycznie.
- 3.3.4.14.7 Rozjazdy sieci jezdnych zainstalowane w torach szlakowych i torach głównych zasadniczych stacji
 - 3.3.4.14.7.1 Wymagania podstawowe dotyczące konstrukcji rozjazdów sieciowych zainstalowanych w torach szlakowych i torach głównych zasadniczych stacji – jak w punkcie 3.2.2.7.1.
 - 3.3.4.14.7.2 Dopuszczalny odsuw przewodów jezdnych odpowiednio od osi toru głównego zasadniczego i osi toru przejścia rozjazdowego wynosi 380 mm.
- 3.3.4.14.8 Rozjazdy sieci jezdnych zainstalowane w torach innych niż szlakowe i tory główne zasadnicze stacji
 - 3.3.4.14.8.1 Rozjazdy sieci powinny być projektowane z krzyżowaniem przewodów jezdnych i powinny zapewniać płynny przejazd ślizgacza odbieraka prądu we wszystkich kierunkach, dla których przejście rozjazdowe jest przewidywane.
 - 3.3.4.14.8.2 Konstrukcja rozjazdu sieci powinna zapewniać unoszenie przewodów jezdnych obu krzyżujących się kierunków, przez ślizgacz odbieraka prądu, w przypadku nacisku tylko na przewody jednego kierunku.
 - 3.3.4.14.8.3 Rozjazdy sieci należy w miarę możliwości projektować jako pojedynczo skrzyżowane.
 - 3.3.4.14.8.4 Skrzyżowanie przewodów jezdnych tworzących rozjazd sieci powinno znajdować się jak najbliżej krzyżownicy rozjazdu torowego, dla umożliwienia pewnego i bezuderzeniowego wpisania się przewodu na płaszczyznę ślizgacza odbieraka prądu.
 - 3.3.4.14.8.5 Ze względu na zapewnienie dobrej współpracy sieci z odbierakami prądu, przewody jezdne sieci przeznaczonej do jazdy z większą prędkością powinny być prowadzone pod przewodem sieci przejeżdżanej z prędkością mniejszą. Jeżeli obie sieci tworzące rozjazd przeznaczone są do jazdy z jednakową prędkością, niżej powinien być prowadzony przewód jezdny sieci toru o większym ruchu pojazdów.
 - 3.3.4.14.8.6 Należy stosować prowadnicę na przewodzie jezdny zabezpieczającą przed nadmiernym uniesieniem jednego przewodu w stosunku do drugiego.
- 3.3.4.15 Sekcjonowanie sieci jezdnej
 - 3.3.4.15.1 Zasady sekcjonowania sieci jezdnej
 - 3.3.4.15.1.1 Sekcjonowanie – podział elektryczny sieci jezdnej powinien zapewniać:
 - a) wymagania technologiczne dotyczące ruchu pociągów w warunkach normalnych z uwzględnieniem prowadzenia ruchu w warunkach szczególnych – awaryjnych oraz planowych wyłączeniach toru lub torów,
 - b) niezawodne zasilanie sieci przy awariach z zagwarantowaniem minimalnych spadków napięcia,

c) możliwość wykonywania napraw i prac konserwacyjnych.

Ze względów bhp nie należy nadmiernie rozbudowywać podziału elektrycznego sieci jezdnej.

3.3.4.15.1.2 Sekcjonowanie sieci jezdnej powinno być dokonywane przez:

- a) sekcjonowanie podłużne – elektryczny podział sieci jezdnej tego samego toru,
- b) sekcjonowanie poprzeczne – elektryczny podział sieci jezdnych pomiędzy sąsiednimi torami.

3.3.4.15.1.3 Sekcjonowania podłużnego sieci należy dokonywać poprzez stosowanie:

- a) w sieci torów szlakowych i torów głównych zasadniczych stacji – izolowanych przęseł naprężenia lub wstawek neutralnych skonstruowanych z zastosowaniem izolowanych przęseł naprężenia,
- b) w sieci torów pozostałych – izolowanych przęseł naprężenia lub izolatorów sekcyjnych.

3.3.4.15.1.4 Sekcjonowania poprzecznego sieci należy dokonywać poprzez stosowanie izolatorów sekcyjnych dostosowanych do wymaganej dla danego przejścia rozjazdowego prędkości jazdy.

3.3.4.15.1.5 Jako elementy łączeniowe sekcjonowania sieci należy stosować rozłączniki sekcyjne wyposażone w napęd silnikowy przystosowany do sterowania zdalnego oraz sterowania lokalnego oraz w napęd ręczny.

3.3.4.15.1.6 Konstrukcja rozłączników sekcyjnych powinna zapewniać przepływ prądu nie mniejszy od dopuszczalnego prądu obciążenia sieci jezdnej.

3.3.4.15.2 Sekcjonowanie podłużne

3.3.4.15.2.1 Sieć jezdnią torów głównych na szlaku należy odizolować od sieci należących do stacji w taki sposób, aby w głowicy wjazdowej i wyjazdowej stacji możliwe było prowadzenie ruchu pociągów zgodnie z postawionymi wymaganiami technologicznymi posterunków ruchu.

Sekcjonowanie to powinno zapewniać również możliwość odłączenia spod napięcia, w celu naprawy lub konserwacji, odcinka sieci szlakowej lub torów na stacji, w taki sposób aby możliwy był przejazd pociągu:

- a) z właściwego toru szlakowego na niewłaściwy tor główny zasadniczy stacji – przy wyłączonym spod napięcia właściwym torze głównym zasadniczym stacji,
- b) z właściwego toru głównego zasadniczego stacji na tor niewłaściwy szlaku – przy wyłączonym spod napięcia właściwym torze szlakowym.

3.3.4.15.2.2 Elementy sekcjonowania podłużnego usytuowane w obrębie stacji należy rozmieszczać z zapewnieniem widoczności semaforów, patrząc w kierunku jazdy.

3.3.4.15.3 Sekcjonowanie poprzeczne

3.3.4.15.3.1 Na liniach dwu lub więcej torowych sieci jezdne torów na szlaku i sieci torów głównych zasadniczych w obrębie stacji powinny być wzajemnie od siebie odizolowane.

3.3.4.15.3.2 W obrębie stacji należy również odizolować wzajemnie od siebie sieci jezdne torów o różnych przeznaczeniach funkcyjnych, a w szczególności:

- a) sieci trakcyjne torów głównych dodatkowych od sieci torów głównych zasadniczych,
- b) sieci trakcyjne torów bocznych od sieci torów głównych dodatkowych,
- c) sieci trakcyjne grup torów bocznych o jednym przeznaczeniu od sieci torów bocznych o innym przeznaczeniu.

3.3.4.15.3.3 Liczba sieci torów głównych dodatkowych stanowiących elektrycznie jedną całość nie powinna być większa od dwóch, a liczba sieci torów bocznych od czterech.

3.3.4.15.4 Zasady stosowania rozłączników sekcyjnych

3.3.4.15.4.1 Należy stosować jedynie rozłączniki sekcyjne, spełniające wymagania zapisane w punkcie 3.3.4.15.1.5.

3.3.4.15.4.2 Wszystkie rozłączniki sekcyjne danej stacji (lub grupy torów / głowic stacji w przypadku występowania znacznie rozbudowanych układów torowych) należy montować na specjalnych konstrukcjach (rozdzielnicach w wykonaniu napowietrznym) ustawionych na zewnątrz torowiska, w odległości od osi najbliższego toru wynoszącej co najmniej 4 m.

3.3.4.15.4.3 Powyższe stosuje się odpowiednio w przypadku lokalizowania rozłączników zasilaczy wyprowadzonych z podstacji trakcyjnych, kabin sekcyjnych, autotransformatorów w systemie zasilania 2×25 kV, transformatorów „odsysających” (booster transformatorów).

3.3.4.15.4.4 Zasady ochrony przeciwporażeniowej konstrukcji, o której mowa w punkcie 3.3.4.15.4.2, przed dotykiem bezpośrednim i dotykiem pośrednim – zgodnie z zapisami normy PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkty: 5.1, 5.2.

3.3.4.15.4.5 Wymagania w stosunku do połączeń elektrycznych – jak w punkcie 3.3.4.12.

3.3.4.15.4.6 Należy unikać stosowania, w układzie szeregowym, więcej rozłączników sekcyjnych niż dwa, tj. jeden odcinający sieć całej grupy torów i jeden dalszego podziału. Zasada ta nie dotyczy sieci torów, przez które przewiduje się zasilanie awaryjne oraz sieci torów komunikacyjnych.

3.3.4.15.4.7 Sieć jezdna zasilana przez rozłącznik ze stykiem uziemiającym może być zasilana tylko poprzez ten jeden rozłącznik.

3.3.4.15.4.8 Sieć jezdna prowadzona w tunelach powinna mieć możliwość obustronnego (na jego końcach) odizolowania, poprzez rozłączniki ze stykiem uziemiającym, od pozostałej części sieci. Szczegółowe rozwiązania techniczne należy dobierać w sposób właściwy dla konkretnej lokalizacji, na podstawie szczegółowych założeń zarządcy infrastruktury linii kolejowej.

3.3.4.15.5 Zasady oznaczania rozłączników

3.3.4.15.5.1 Rozłączniki montowane:

- a) na elementach sekcjonowania podłużnego,
 - b) do łączenia sieci jezdnych torów normalnie wzajemnie odizolowanych,
 - c) do odłączania zasilaczy od sieci jezdnej,
- powinny być oznaczone numerami jedno, dwu lub trzycyfrowymi.

3.3.4.15.5.2 Rozłączniki montowane na elementach sekcjonowania podłużnego przy podstawach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych powinny być oznaczane podstawowo numerami trzycyfrowymi kończącymi się cyfrą 1 lub 2. Ostatnia cyfra numeru służy do określenia toru (nieparzysty, parzysty), na którym sieć jezdna jest sekcjonowana podłużnie.

3.3.4.15.5.3 Rozłączniki montowane do odłączania od sieci jezdnej zasilaczy z podstawy trakcyjnych, kabin sekcyjnych lub autotransformatorów powinny być oznaczane numerami dwu lub trzycyfrowymi, w których ostatnią cyfrą jest zero. Liczba nieparzysta lub parzysta, występująca przed cyfrą 0 powinna określać tor (nieparzysty i parzysty), nad którym sieć jezdna jest zasilana.

3.3.4.15.5.4 Rozłączniki odcinające sieci jezdne poszczególnych torów w hali elektrowozowni powinny być oznaczane numerem głównego rozłącznika odcinającego sieci grupy torów wprowadzanych do hali, łamanym przez numer toru w elektrowozowni.

3.3.4.15.5.5 Rozłączniki rozdzielni odcinających zasilanie kolejnych torów w grupie zasilanej osobnym zasilaczem powinny być oznaczane numerem głównego rozłącznika zasilacza z dodaniem dużej litery alfabetu.

3.3.4.15.5.6 Ostatnia cyfra numeru lub numer jednocyfrowy powinien charakteryzować przeznaczenie ruchowe rozłącznika. Pozostałe cyfry służą do odróżnienia pomiędzy sobą rozłączników, których cyfry charakterystyczne są takie same.

3.3.4.15.5.7 W rejonie danej stacji każdy rozłącznik powinien być oznaczony innym numerem.

3.3.4.15.6 Numeracja rozłączników

3.3.4.15.6.1 Numery rozłączników należy oznaczać w sposób następujący:

- a) 1;11...91 – rozłącznik montowany na elemencie sekcjonowania podłużnego oddzielającego sieć toru nieparzystego szlaku od sieci toru głównego zasadniczego stacji - po stronie wjazdu na stację,

- b) 2;12...92 – rozłącznik montowany na elemencie sekcjonowania podłużnego oddzielającego sieć toru parzystego szlaku od sieci toru głównego zasadniczego stacji - po stronie wjazdu na stację,
- c) 3;13...93 – rozłącznik montowany na elemencie sekcjonowania podłużnego oddzielającego sieć toru nieparzystego szlaku od sieci toru głównego zasadniczego stacji - po stronie wyjazdu ze stacji,
- d) 4;14...94 – rozłącznik montowany na elemencie sekcjonowania podłużnego oddzielającego sieć toru parzystego szlaku od sieci toru głównego zasadniczego stacji - po stronie wyjazdu ze stacji,
- e) 5;15...95 – rozłącznik służący do bezpośredniego połączenia sieci nieparzystego toru szlaku lub głównego zasadniczego stacji z siecią parzystego toru szlaku lub głównego zasadniczego stacji,
- f) 6;16...96;206...306... – rozłącznik ze stykiem uziemiającym służący do odłączenia i uziemienia sieci jezdnej,
- g) 106;116...196 – rozłącznik ze stykiem uziemiającym służący do odłączenia i uziemienia sieci grupy torów wprowadzanych do hali (np. elektrowozowni),
- h) 106/1;106/2... – rozłącznik ze stykiem uziemiającym służący do odłączenia i uziemienia sieci poszczególnych kolejnych torów wprowadzanych do hali (np. elektrowozowni),
- i) 7;17...97 – rozłącznik montowany na elemencie sekcjonowania podłużnego dzielącego sieć nieparzystego toru głównego zasadniczego na niezależne elektrycznie części,
- j) 107;117...197 – rozłącznik służący do odłączania sieci nieparzystych torów głównych dodatkowych lub bocznych od sieci nieparzystego toru głównego zasadniczego,
- k) 8;18...98 – rozłącznik montowany na elemencie sekcjonowania podłużnego dzielącego sieć parzystego toru głównego zasadniczego na niezależne elektrycznie części,
- l) 108;118...198 – rozłącznik służący do odłączania sieci parzystych torów głównych dodatkowych lub bocznych od sieci parzystego toru głównego zasadniczego,
- m) 9;19...99;109... – rozłącznik służący do łączenia między sobą sieci torów lub grup torów położonych w rejonie stacji, a nie objętych określeniami podanymi wyżej.

Dla rozłączników o tej samej ostatniej cyfrze charakteryzującej przeznaczenie ruchowe serii 7;107 lub 8;108 montowanych na elementach sekcjonowania podłużnego lub poprzecznego sieci numeracja powinna narastać zgodnie z kierunkiem jazdy, podstawowego toru odniesienia (tor główny zasadniczy nieparzysty, parzysty). W przypadku trudności z określeniem głów-

nego kierunku jazdy, dla rozłączników serii 5;15 i 6;16 lub grupy torów serii 9;19 numeracja powinna narastać zgodnie z kierunkiem głównego kilometrażu linii.

- n) 101;111...191 – rozłącznik usytuowany w sieci nieparzystego toru głównego na elemencie sekcjonowania podłużnego przynależnego do podstacji trakcyjnej lub kabiny sekcyjnej,
- o) 102;112...192 – rozłącznik usytuowany w sieci parzystego toru głównego na elemencie sekcjonowania podłużnego przynależnego do podstacji trakcyjnej lub kabiny sekcyjnej,
- p) 10;110...910 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnej nieparzystego toru szlaku, usytuowany po stronie wjazdu na stację albo rozłącznik przy podstacji trakcyjnej lub kabinie sekcyjnej odłączający zasilacz od sieci jezdnej toru nieparzystego, usytuowany przed elementem sekcjonowania podłużnego, patrząc w kierunku jazdy lub, odpowiednio, zasilacz autotransformatora,
- q) 20;120...920 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnej parzystego toru szlaku, usytuowany po stronie wjazdu na stację albo rozłącznik przy podstacji trakcyjnej lub kabinie sekcyjnej odłączający zasilacz od sieci jezdnej toru parzystego, usytuowany przed elementem sekcjonowania podłużnego, patrząc w kierunku jazdy lub, odpowiednio, zasilacz autotransformatora,
- r) 30;130...930 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnej nieparzystego toru szlaku, usytuowany po stronie wyjazdu ze stacji albo rozłącznik przy podstacji trakcyjnej lub kabinie sekcyjnej odłączający zasilacz od sieci jezdnej toru nieparzystego, usytuowany za elementem sekcjonowania podłużnego, patrząc w kierunku jazdy lub, odpowiednio, zasilacz autotransformatora,
- s) 40;140...940 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnej parzystego toru szlaku, usytuowany po stronie wyjazdu ze stacji albo rozłącznik przy podstacji trakcyjnej lub kabinie sekcyjnej odłączający zasilacz od sieci jezdnej toru parzystego, usytuowany za elementem sekcjonowania podłużnego, patrząc w kierunku jazdy lub, odpowiednio, zasilacz autotransformatora.
- t) 60 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnych grupy torów wprowadzanych do hali (np. elektrowozowni),
- u) 70 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnych nieparzystej strony stacji,
- v) 80 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnych parzystej strony stacji,

- w) 90;...190 – rozłącznik odłączający zasilacz od sieci jezdnych wydzielonej grupy torów w obrębie stacji.

Rozłączniki o numerach 10; 20; 30; 40 wraz z pochodnymi powinny zostać ponumerowane podobnie do rozłączników usytuowanych w pobliżu na elementach sekcjonowania podłużnego w myśl poniższych zasad:

- przed rozłącznikiem nr 1 lub 101 na elemencie sekcjonowania podłużnego, patrząc w kierunku jazdy, wystąpi rozłącznik nr 10 zasilacza,
- przed rozłącznikiem nr 11 lub 111 wystąpi rozłącznik nr 110 zasilacza,
- za rozłącznikiem nr 3 lub 103 na elemencie sekcjonowania podłużnego, patrząc w kierunku jazdy wystąpi rozłącznik nr 30 zasilacza,
- za rozłącznikiem nr 13 lub 113 wystąpi rozłącznik nr 130 zasilacza.

W przypadku budowy, bezpośrednio za rozłącznikiem 70; 80; 90;...190 rozdzielni umożliwiającej odłączanie sieci poszczególnych torów lub grupy torów, poszczególne dalsze rozłączniki należy numerować numerem zasadniczym z dodaniem myślnika i dużej kolejnej litery alfabetu np. 70-A; 70-B itd. z tym, że nie należy korzystać z liter I, J, Ł, O, Q, R, V, X oraz Y.

- 3.3.4.15.6.2 Numeracja rozłączników powinna być namalowana na skrzynkach napędowych białą farbą na niebieskim tle.

3.3.5 Skrzyżowania i zbliżenia sieci jezdnej z innymi sieciami elektrycznymi

- 3.3.5.1 Skrzyżowania i zbliżenia napowietrznych linii elektroenergetycznych z przewodami sieci trakcyjnej powinny odpowiadać wymaganiom normy PN-E-05100-1:1998 [51].

- 3.3.5.2 Skrzyżowania napowietrznych linii elektroenergetycznych niskiego napięcia z przewodami sieci trakcyjnej są niedozwolone.

- 3.3.5.3 Przy skrzyżowaniu linii elektroenergetycznej z linią kolejową zelektryfikowaną, odległość pionowa (h) przewodów linii elektroenergetycznej od przewodów sieci trakcyjnej (lin nośnych, przewodów zasilających) powinna wynosić co najmniej: przy skrzyżowaniu z linią o napięciu od 1 kV do 110 kV:

$$h = 2 + \frac{U}{150} [m], \quad (3.3.1)$$

- a) przy skrzyżowaniu z linią o napięciu wyższym niż 110 kV:

$$h = 2,5 + \frac{U}{150} [m], \quad (3.3.2)$$

gdzie:

U – napięcie znamionowe linii elektroenergetycznej w [kV].

- 3.3.5.4 Zaleca się, aby skrzyżowanie z siecią trakcyjną linii elektroenergetycznej, nie wchodzącej w skład układu zasilania trakcji elektrycznej, występowało w środku rozpiętości przęsła sieci jezdnej. Minimalne odległości poziome skrajnego

przewodu linii elektroenergetycznej od konstrukcji wsporczej sieci trakcyjnej powinny wynosić:

- a) 5 m dla linii od 1 kV do 15 kV,
- b) 10 m dla linii powyżej 15 kV do 30 kV,
- c) 15 m dla linii powyżej 30 kV.

3.3.5.5 Odległość pionowa najniższego przewodu nieuziemionego krzyżującej linii elektroenergetycznej od dźwigara bramki lub wierzchołka indywidualnej konstrukcji wsporczej sieci trakcyjnej, przy odległości poziomej najbliższej zlokalizowanego przewodu mniejszej od 10 m, powinna być zgodna z wymaganiami normy PN-E-05100-1:1998 [51] – punkt 16.2, tabl. 17 poz. 3.

3.3.6 Prowadzenie linii elektrycznych i innych instalacji na wspólnych konstrukcjach z siecią jezdnią

3.3.6.1 Na liniach kolejowych dużych prędkości kategorii I (według definicji przedstawionej w punkcie 3.1.1.1) nie dopuszcza się prowadzenia, po konstrukcjach wsporczych sieci jezdnej, przewodów żadnych innych linii elektroenergetycznych lub innych instalacji.

3.3.7 Zbliżenia sieci jezdnej do budowli i urządzeń specjalnych

3.3.7.1 Prowadzenie sieci jezdnej w rejonie myjni i stacji paliw

3.3.7.1.1 Sieć jezdna toru, na którym znajduje się urządzenie do mycia taboru powinna odpowiadać wymaganiom przedstawionym w punkcie 3.3.4.15.4.9.

3.3.7.2 Prowadzenie sieci jezdnej w pobliżu zbiorników i dystrybutorów z łatwopalnymi cieczami.

3.3.7.2.1 Nie należy elektryfikować toru, na którym odbywa się przetaczanie paliw płynnych a także torów przyległych (równoległych), jeżeli szerokość międzytorza wynosi mniej niż 6 m.

3.3.7.2.2 Tory, na których odbywa się napełnianie i opróżnianie cystern należy elektrycznie odizolować od torów, nad którymi zawieszona jest sieć jezdna, a które stanowią sieć powrotną dla prądów trakcyjnych.

3.3.7.2.3 Wykonanie izolacji, o której mowa w punkcie 3.3.7.2.2 powinno spełniać wymagania normy PN-EN 50122-1:2002 [63].

3.3.8 Sieć powrotna

3.3.8.1 Projekt układu zasilania w części dotyczącej sieci trakcyjnej powinien uwzględniać wymagania norm: PN-EN 50122-1:2002 [63], BS EN 50179 [69], PN-EN 50119:2002 [60] w zakresie ochrony przeciwporażeniowej.

3.3.8.2 Ze względów bezpieczeństwa i wymagań ochrony przeciwporażeniowej szyny jezdne zawsze stanowią element obwodu powrotnego w systemie trakcji elek-

trycznej 25 kV AC. Oprócz szyn jezdnych obwód powrotny może zawierać następujące przewody wzdłużne:

- a) przewód lub szynę powrotną, izolowane od ziemi i połączone z szynami jezdnymi przez łączniki impedancyjne,
- b) przewód uziemiająco-powrotny, uziemiony bezpośrednio i połączony z szynami jezdnymi bezpośrednio lub przez łączniki impedancyjne, lub przez ograniczniki napięcia, lub przez łączniki impedancyjne i ograniczniki napięcia,
- c) przewód uziemiający, uziemiony bezpośrednio i połączony z szynami bezpośrednio lub przez ograniczniki napięcia.

Na rysunku 3.3.1 zamieszczono poglądowe schematy połączeń elektrycznych sieci powrotnej dla różnych konfiguracji obwodów sieci trakcyjnej systemu 1×25 kV i 2×25 kV.

3.3.8.3 Sieć powrotna stanowi jeden obwód elektryczny, który może zawierać następujące przewody elektryczne wzdłużne, połączenia poprzeczne i elementy składowe:

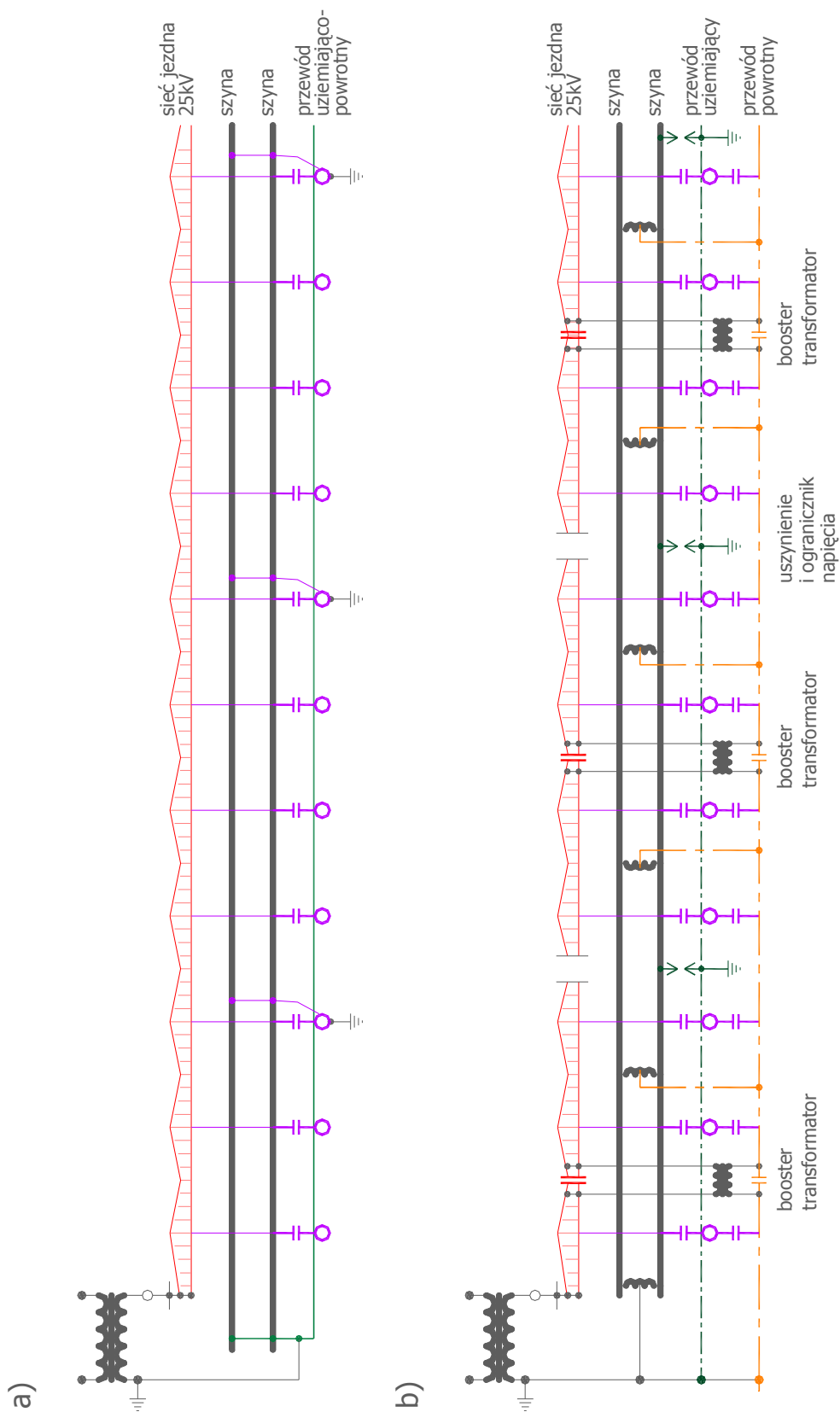
- a) szyny jezdne,
- b) przewód uziemiająco-powrotny lub przewód uziemiający i przewód powrotny,
- c) kable lub przewody powrotne łączące szyny jezdne, przewody powrotne lub uziemiająco-powrotne z szyną powrotną podstacji trakcyjnej,
- d) połączenia poprzeczne,
- e) łączniki impedancyjne,
- f) booster transformatory.

3.3.8.4 Szyny jezdne wraz z przewodem uziemiającym lub powrotno-uziemiającym, uziemione celowo stanowią „ziemię systemu trakcyjnego”, zgodnie z zapisami normy PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 3.5.3.

3.3.8.5 Szyny jezdne stalowe stanowiące część obwodu powrotnego ze względu na występujące zjawisko naskórkowości charakteryzują się stosunkowo dużą impedancją wzdłużną i nie powinny być jedynym przewodem powrotnym w obwodzie. Połączenia szyn jezdnych z uziemioną szyną powrotną podstacji trakcyjnej należy dokonać przez łącznik impedancyjny lub bezpośrednio, jeżeli pozwalają na to warunki pracy obwodów szynowych srk.

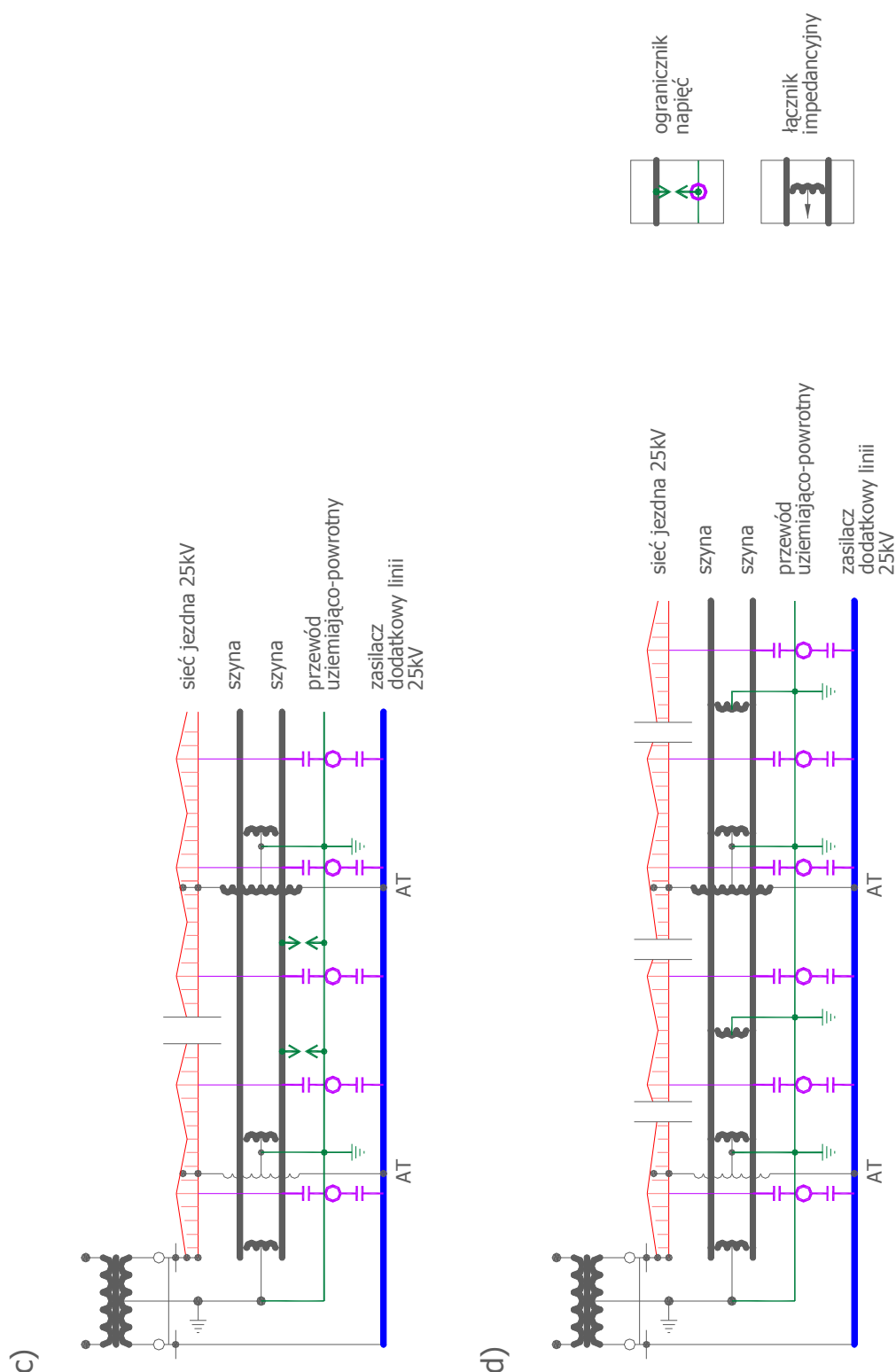
3.3.8.6 Obwód powrotny musi zachować ciągłość elektryczną i połączenie z szyną powrotną w podstacji trakcyjnej w każdych warunkach eksploatacyjnych.

3.3.8.7 Wszystkie połączenia bezpośrednie do szyn jezdnych należy wykonywać do jednego toku szynowego.



Rys. 3.3.1. Sieci powrotne - schematy połączeń elektrycznych

- a) układ prosty,
- b) układ z booster transformatorem, łącznikiem impedancyjnym, ogranicznikiem napięć i uziemieniem bezpośrednim.



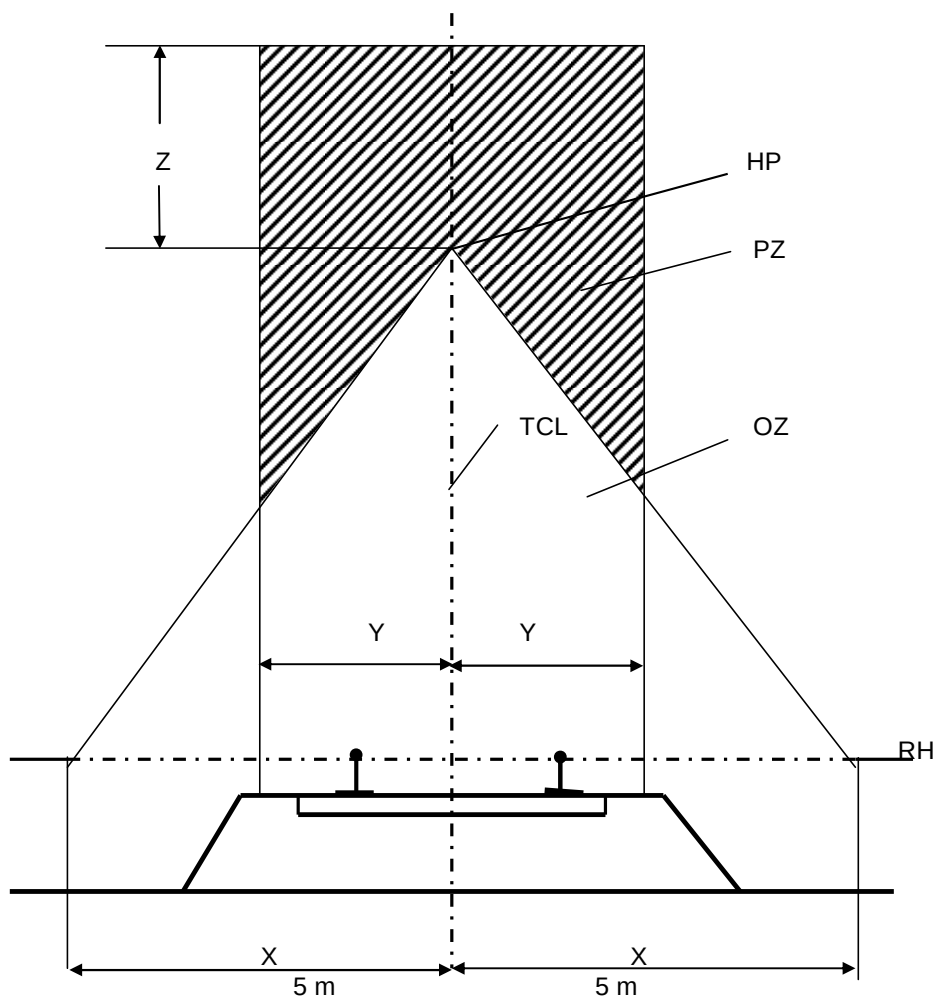
Rys. 3.3.1. Sieci powrotne - schematy połączeń elektrycznych

- c) układ z AT, ogranicznikiem napięć i uziemieniem otwartym,
d) układ z AT, łącznikiem impedancyjnym i uziemieniem bezpośrednim.

3.3.8.8 Lokalizacje uziemień i impedancje uziomów, przewodów uziemiających lub uziemiająco-powrotnych (ziemia systemu trakcyjnego) należy określić na podstawie analizy napięć dotykowych i dostępnych.

3.3.8.9 Przewód uziemiający ma za zadanie wyrównanie potencjałów konstrukcji wsporczych i innych części przewodzących znajdujących się w strefie oddziaływania sieci jezdnej i odbieraków prądu. Przekrój przewodu uziemiającego nie powinien być mniejszy od 70 mm² AFL. Przewód uziemiający jest mocowany na sztywno do konstrukcji wsporczych i jest stosowany przeważnie w sieci powrotnej wyposażonej w booster transformatory.

3.3.8.9.1 Strefa oddziaływania sieci jezdnej i odbieraków prądu określona jest w normie PN-EN 50122-1:2002 [63]. Na rysunku 3.3.2. podano zalecane wartości parametrów X, Y i Z.



RH - główka szyny, HP - najwyższy punkt sieci jezdnej, TCL - oś toru,
OZ - strefa sieci jezdnej, PZ - strefa odbieraka prądu
Z=0,70 m, Y=1,40 m

Rys. 3.3.2. Strefa sieci jezdnej i odbieraków prądu (źródło: [68])

3.3.8.10 Przewód uziemiająco-powrotny ma za zadanie wyrównanie potencjałów konstrukcji wsporczych i innych części metalowych przewodzących znajdujących się w strefie oddziaływania sieci jezdnej i odbieraków prądu oraz przewodzenie roboczego prądu powrotnego na drodze do podstacji trakcyjnej lub najbliższego autotransformatora (w systemie 2×25 kV). Przekrój przewodu uziemiająco-powrotnego nie powinien być mniejszy od 120 mm² AFL. Przewód uzie-

miająco-powrotny należy na metalowych konstrukcjach wsporczych podwieszać na sztywno, wykorzystując zacisk elektrycznie przewodzący. Połączenie z szynami (szyną przewodzącą) należy wykonywać co 250÷300 m. Odległość pomiędzy połączeniami powinna zapewniać wartości napięć rażeniowych poniżej dopuszczalnych, określonych w normie PN-EN 50122-1:2002 [63].

- 3.3.8.11 Przewód powrotny ma za zadanie przewodzenie roboczych prądów powrotnych i jest stosowany przeważnie w układzie sieci powrotnej wyposażonej w booster transformatory. W takim przypadku musi być izolowany od ziemi. Przekrój przewodu powrotnego nie powinien być mniejszy od 120 mm² AFL. Przewód powrotny pracuje w układzie sieci powrotnej z wydzielonym przewodem uziemiającym.
- 3.3.8.12 Przewody uziemiające i powrotne lub uziemiająco-powrotne należy instalować dla sieci trakcyjnej każdego toru oddzielnie. Pomiedzy przewodami uziemiająco-powrotnymi lub uziemiającymi poszczególnych torów należy instalować połączenia wyrównawcze poprzeczne przyłączane obustronnie przez łączniki impedancyjne lub bezpośrednio do szyn.
- 3.3.8.13 Wykonywanie bezpośrednich poprzecznych połączeń wzajemnych przewodów uziemiających lub uziemiająco-powrotnych sieci powrotnej oraz ich bezpośrednie przyłączanie do toków szynowych jest dopuszczalne tylko w przypadkach, w których zezwalają na to warunki pracy obwodów srk.
- 3.3.8.14 Jeżeli szyny jezdne lub dostępne części przewodzące łącznie z konstrukcjami wsporczymi nie mogą być bezpośrednio połączone z ziemią systemu trakcyjnego (uziemiony przewód powrotny lub uziemiająco-powrotny) z uwagi na warunki pracy obwodów srk, powinny być zastosowane urządzenia ograniczające napięcie i umożliwiające przepływ prądu w przypadku występowania napięcia na szynach jezdnych lub dostępnych częściach przewodzących, w tym na konstrukcjach wsporczych.
- 3.3.8.15 Jeżeli połączenia przewodów powrotnych lub uziemiająco-powrotnych z szynami nie mogą być wykonane w sposób bezpośredni z uwagi na warunki pracy obwodów srk, połączenia te należy wykonać przez łączniki impedancyjne.
- 3.3.8.16 Dopuszcza się następujące połączenia indywidualne lub grupowe do sieci powrotnej (z uwzględnieniem wymagań zapisanych w punktach: 3.3.8.10, 3.3.8.11):
 - a) pomiędzy ziemią systemu trakcyjnego i szynami jezdnymi,
 - b) pomiędzy uziemieniem podstacji trakcyjnej lub stacji rozdzielczej i obwodem powrotnym,

- c) pomiędzy szyną powrotną podstacji trakcyjnej ewentualnie środkowym punktem autotransformatora i szynami jezdnyymi.

3.3.9 Połączenia elektryczne sieci powrotnej

- 3.3.9.1 W sieci powrotnej występują następujące połączenia elektryczne:
- a) wzdłużne łączniki szynowe,
 - b) poprzeczne łączniki szynowe międzytokowe,
 - c) poprzeczne łączniki szynowe międzytorowe,
 - d) poprzeczne połączenia wyrównawcze pomiędzy przewodami powrotnymi lub uziemiającymi każdego z torów,
 - e) połączenia obejściowe,
 - f) poprzeczne połączenia impedancyjne (dławiki torowe),
 - g) połączenia szyn z przewodami lub szynami powrotnymi i przewodami uziemiającymi,
 - h) połączenia szyn z dostępnymi częściami przewodzącymi (uszynienia – uziemienia),
 - i) połączenia szyn lub przewodów uziemiających z uziomami,
 - j) przyłącza autotransformatorów,
 - k) przyłącza booster transformatorów,
 - l) przyłącza kabli powrotnych.
- 3.3.9.2 Przewody sieci powrotnej i połączenia elektryczne przewodzące w normalnych warunkach eksploatacji prądy robocze powinny mieć przekroje odpowiednie dla przepływu maksymalnego zastępczego 15-minutowego prądu roboczego. Przekrój kabli powrotnych powinien uwzględniać rezerwę. Ponadto powinna być sprawdzona wytrzymałość termiczna tych przewodów oraz przewodów uziemiających na obciążenia maksymalnymi prądami zwarciovymi.
- 3.3.9.3 Połączenia poprzeczne (wyrównawcze) szynowej sieci powrotnej, na liniach, na których stosowane będą obwody torowe wykorzystujące szyny do transmisji sygnałów systemów srk, powinny być wykonane z wykorzystaniem łączników impedancyjnych. Rozmieszczenie połączeń poprzecznych pomiędzy torami powinno być ustalone z uwzględnieniem wartości napięć dotykowych i dostępnych, warunków pracy obwodów torowych oraz powinno być skoordynowane z ogólnym projektem układu zasilania. Zaleca się instalowanie połączeń poprzecznych na obszarze co drugiego obwodu torowego.
- 3.3.9.4 Dla torów przeznaczonych do elektrycznego ogrzewania pociągów należy zapewnić połączenie z torami zelektryfikowanymi.
- 3.3.9.5 Połączenia obejściowe rozjazdów, odcinków izolowanych szyn należy wykonać przewodami o przekroju spełniającym wymagania zapisane w punkcie 3.3.9.2.

- 3.3.9.6 Połączenia poprzeczne wyrównawcze oraz połączenia obejściowe powinny być wykonane łącznikami o przekroju nie mniejszym od 50 mm² Cu lub równoważnym.
- 3.3.9.7 Połączenia wyrównawcze międzytorowe oraz połączenia wyrównawcze pomiędzy przewodami uziemiająco-powrotnymi na liniach dwutorowych należy wykonać jako kablowe tak ażeby uniknąć prowadzenia przewodów nad siecią jezdnią.
- 3.3.9.8 Jeżeli warunki pracy obwodów srk na to pozwalają, wszystkie uziemienia ochronne (konstrukcji wsporczych, semaforów, kładek, płotów itp.) należy łączyć bezpośrednio do jednego toku szynowego. Do tego samego toku szyn należy przyłączyć uziomy ziemi systemu trakcyjnego.
- 3.3.9.9 Jeżeli warunki pracy obwodów srk nie dopuszczają połączeń bezpośrednich do szyn jezdnych przewodów powrotnych lub uziemiająco-powrotnych, połączenia takie należy wykonać jako grupowe przez łączniki impedancyjne.
- 3.3.9.10 Jeżeli na liniach z obwodami torowymi srk bezpośrednie uziemienie szyn jezdnych jest niedopuszczalne, przewód uziemiający należy połączyć z szynami przez ogranicznik napięciowy.
- 3.3.9.11 Jeżeli na liniach z obwodami torowymi srk bezpośrednie uziemienie szyn jezdnych jest niedopuszczalne przewód uziemiająco-powrotny należy połączyć z szynami przez łącznik impedancyjny i następnie cały układ połączyć z uziemieniem przez ogranicznik napięciowy.
- 3.3.9.12 Połączenia do uziomów wymienione w punktach: 3.3.9.9 do 3.3.9.11 należy wykonać jako grupowe z uwzględnieniem wymagań zapisanych w punkcie 3.3.9.3. Długości sekcji pomiędzy łącznikami impedancyjnymi i uziomami nie powinny być krótsze od długości dwóch sekcji obwodów torowych srk.

3.3.10 Ochrona przeciwporażeniowa

- 3.3.10.1 Podstawowym środkiem ochrony przed dotykiem pośrednim w sieci powrotnej jest uziemienie części przewodzących znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej i odbieraków prądu.
- 3.3.10.2 Ziemię systemu trakcyjnego stanowi uziemiony pośrednio lub bezpośrednio obwód szyn jezdnych, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 5.2.2.1 a także punkt 3.3.8.4 niniejszych Wytycznych.
- 3.3.10.3 Z ziemią systemu trakcyjnego są połączone bezpośrednio wszystkie części przewodzące w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej i odbieraków prądu, znajdujące się w normalnych warunkach pracy w stanie beznapięciowym. Połączenia z ziemią systemu trakcyjnego są uziemieniami ochronnymi i stanowią część toru prądowego dla prądów zwarciovych i powrotnych.

- 3.3.10.4 Dopuszcza się grupowe lub indywidualne połączenia części przewodzących i konstrukcji wsporczych przewodem uziemiającym lub uziemiająco-ochronnym z szynami jezdnyymi bezpośrednio lub pośrednio. Przyłącza do szyn jezdnych punktów uziemienia wtórnych uzwojeń transformatorów podstacji i autotransformatorów oraz przewodów uziemiająco-powrotnych należy wykonywać jako bezpośrednie lub przez dławiki torowe, natomiast przewody uziemiające bezpośrednio lub przez ograniczniki napięcia (szczegóły na rysunkach 2.1.2, 2.1.3 i 2.1.4).
- 3.3.10.5 Nie dopuszcza się stosowania jakichkolwiek aparatów łączeniowych (odłączników, rozłączników, wyłączników, zwierników, uziemników) w torach prądowych sieci powrotnej.
- 3.3.10.6 W miejscach dostępnych należy stosować środki ochrony podstawowej przed dotykiem bezpośrednim do przewodów sieci jezdnej znajdujących się pod napięciem w normalnych warunkach pracy zgodnie z wymaganiami norm wskazanych w punkcie 3.2.5.1.
- 3.3.10.7 Każdorazowe wyłączenie napięcia zasilającego sieć trakcyjną w podstacji trakcyjnej systemu 2×25 kV niezależnie od przyczyny powinno następować jednocześnie przez wyłącznik zasilacza sieci i wyłącznik zasilacza dodatkowego.
- 3.3.10.8 Znajdujące się w strefie oddziaływania górnej sieci jezdnej przewodzące prąd elektryczny przedmioty i elementy o wymiarach wzdłużnych (mierzonych wzdłuż toru) nie przekraczających 2 m i nie wyposażone w jakiejkolwiek instalacje elektryczne, nie wymagają uziemienia – zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 50122-1:2002 [63].
- 3.3.10.9 W miejscach dostępnych (kładki nad torami, wiadukty, mosty, tunele, wiaty itp.) należy stosować środki ochrony podstawowej przed dotykiem bezpośrednim do części górnej sieci jezdnej znajdujących się pod napięciem w normalnych warunkach pracy. Do środków ochrony podstawowej zalicza się: osłony izolacyjne, ekrany, wstawki izolacyjne, przegrody - zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 5.1.

W ww. normie zawarte są wymagania i zalecenia dotyczące:

- a) powierzchni do przebywania dla osób postronnych,
- b) powierzchni do przebywania dla osób wykonujących prace,
- c) minimalnej wysokości zawieszenia przewodu jezdnego na przejazdach,
- d) wysokości zawieszenia przewodów zasilających powyżej dróg załadunkowych,
- e) odstępu pomiędzy systemem górnej sieci jezdnej i drzewami,
- f) stosowania barier,
- g) środków ochrony przed wspinaniem,

- h) znaków ostrzegawczych,
- i) minimalnych odstępów izolacyjnych.

- 3.3.10.10 Potencjał szyny względem ziemi stanowi w stanach awaryjnych o wielkości napięć dotykowych lub napięć dostępnych w stanach roboczych. Norma PN-EN 50122-1:2002 [63] określa wartości dopuszczalne napięć dotykowych i dostępnych oraz czasy ich trwania.
- 3.3.10.11 Wartość obliczeniowego potencjału szyny (norma PN-EN 50122-1:2002 [63] – załącznik „C”) powinna być określona dla maksymalnych wartości prądu roboczego i prądu zwarciovego płynącego w szynie jezdnej (z uwzględnieniem wartości początkowej prądu zwarciovego). Jeżeli obliczeniowe wartości napięć dotykowych lub dostępnych przekraczają dopuszczalne wartości (z uwzględnieniem czasu ich trwania) należy zastosować środki zalecane w normie PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 7.2.7.
- 3.3.10.12 Dodatkowe środki i wymagania ochrony dla:
- a) obszarów gdzie sieci trakcyjne przebiegają przez tereny, na których w strefach zagrożenia są stosowane płyny lub gazy łatwo palne,
 - b) instalacji zasilania, instalacji telekomunikacyjnych i innych instalacji nN; są zamieszczone w normie PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 6.
- 3.3.10.13 Przewody zasilaczy dodatkowych sieci trakcyjnych należy prowadzić zgodnie z wymaganiami normy PN-E-05100:1998 [51].

3.3.11 Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błędnych

- 3.3.11.1 W systemie trakcji elektrycznej 25 kV stosowane są środki bierne ochrony przed oddziaływaniem prądów błędnych. Zawierają się one w zapewnieniu stosowania odpowiednich rozwiązań technicznych na etapie projektowania.
- 3.3.11.2 W celu ograniczenia wpływów prądów, z uziemionych szyn do ziemi, należy zapewnić jak najmniejszą impedancję wzdłużną sieci powrotnej poprzez dodanie do obwodu szyn jezdnych równoległych przewodów powrotnych lub uziemiająco-powrotnych. Stosowane są także transformatory odprowadzające płynące w ziemi prądy do sieci powrotnej (booster transformatory).
- 3.3.11.3 Stosowanie systemu 2×25 kV z autotransformatarami ogranicza przepływ prądu w szynach do odcinka zawartego pomiędzy dwoma sąsiednimi autotransformatarami lub do odcinka pomiędzy podstacją trakcyjną i najbliższym autotransformatorem.
- 3.3.11.4 Wymagane jest połączenie z przewodem uziemiająco-powrotnym lub uziemiającym wszystkich konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej i zasilaczy dodatkowych.

3.3.12 Ochrona odgromowa sieci jezdnej

- 3.3.12.1 Sieć jezdna i zasilacz dodatkowy linii powinny być zabezpieczone przed skutkami przepięć atmosferycznych poprzez zastosowanie odgromników rozko-
wowych, zaworowych lub półprzewodnikowych.
- 3.3.12.2 Przy ustalaniu rozstawienia zabezpieczeń od przepięć atmosferycznych
wzdłuż sieci jezdnej należy oprócz określonej strefy działania uwzględnić ob-
szary o zwiększonej aktywności burzowej. Zaleca się instalację zabezpieczeń
w odległości co około 600 m.
- 3.3.12.3 Zacisk niskiego potencjału odgromnika, należy połączyć bezpośrednio z prze-
wodem uziemiająco-powrotnym lub uziemiającym.

3.3.13 Uziemienia i uziomy

- 3.3.13.1 Wartości rezystancji i lokalizacja uziomów sieci powrotnej powinny być skoor-
dynowane z wartościami napięć dotykowych (dostępnych). Bezpośrednie po-
łączenia uziomów z obwodem powrotnym należy wykonać do jednego toku
szyn.
- 3.3.13.2 Przewód uziemiający lub uziemiająco-powrotny łączy bezpośrednio (grupowo)
konstrukcje wsporcze sieci jezdnej z uziomami punktowymi przy spełnieniu
wymagań zawartych w punkcie 3.3.13.1. Jest on także łączony z szynami
jezdnymi bezpośrednio do jednego toku szyn lub pośrednio przez nie spolary-
zowany ograniczniki napięcia albo przez łączniki impedancyjne (rys. 2.1.2,
2.1.3 i 2.1.4).
- 3.3.13.3 Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 501222-1:2002 [68] pkt 5.2, wszystkie
dostępne części przewodzące w strefie oddziaływania sieci jezdnej i pantogra-
fu należy uziemić i połączyć bezpośrednio z przewodem uszyniającym lub
uszyniająco-powrotnym.
- 3.3.13.4 Jeżeli szyny jezdne nie mogą być bezpośrednio połączone z ziemią ze wzglę-
du na warunki pracy obwodów torowych systemów srk, należy stosować urzą-
dzenia ograniczające napięcie (niespolaryzowane ograniczniki napięcia),
umożliwiające przepływ prądu w sytuacji, kiedy potencjał szyn jezdnych w sto-
sunku do ziemi systemu trakcyjnego lub do części przewodzących przekroczy
wartości dopuszczalne. Tworzy się w takim przypadku otwarte połączenie
szyn jezdnych z uziemieniem (ziemią systemu trakcyjnego) lub otwarte połą-
czenie części przewodzących i konstrukcji wsporczych z szynami.
- 3.3.13.5 W stosunku do rozwiązania z punktu 3.3.10.3 może być zastosowane za-
miennie połączenie do szyn wykonane przez łączniki impedancyjne.

- 3.3.13.6 Połączenia do szyn jezdnych wymienione w punktach: 3.3.10.3, 3.3.10.4 można wykonać jako grupowe.
- 3.3.13.7 W systemie 25 kV AC obwód powrotny sieci trakcyjnej powinien być połączony bezpośrednio z systemem uziemienia podstacji trakcyjnej.
- 3.3.13.8 W przypadku systemu trakcji elektrycznej 25 kV AC wartość napięcia dopuszczalna ciąгла, szyny w stosunku do ziemi, wynosi 60 V (z ograniczeniem do 25 V na terenie hal, warsztatów itp.). Jest to jednocześnie dopuszczalna wartość napięcia dostępnego. W przypadku kiedy czas zadziałania zabezpieczeń i wyłączenia prądu zwarcowego pozwala na przyjęcie wyższej wartości dopuszczalnej napięcia dotykowego, poziom napięcia zadziałania ogranicznika napięciowego można zwiększyć zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 50122-1:2002 [63] – punkt 7. Powyższe należy brać pod uwagę przy projektowaniu uziomów i lokalizacji punktów ich przyłączenia do przewodu uziemiającego lub uziemiająco-powrotnego i połączeń z szynami jezdnymi.
- 3.3.13.9 W obszarze podstacji trakcyjnej należy zainstalować następujące uziemienia:
- odgromowe dla przewodów odgromowych zasilających linii napowietrznych WN oraz dla instalacji odgromowej napowietrznych rozdzielni WN i SN,
 - robocze dla punktów zerowych transformatorów trakcyjnych i potrzeb własnych (dla stron WN, SN, nN),
 - ochronne dla ochrony przed dotykiem pośrednim do części przewodzących urządzeń znajdujących się na terenie podstacji,
 - ochronne dla ogrodzenia podstacji trakcyjnej.

Wszystkie uziomy w obszarze podstacji trakcyjnej oprócz uziomu dla ogrodzenia należy połączyć w jeden system uziemienia i połączyć go z szynami jezdny torów zelektryfikowanych.

3.3.14 Urządzenia sygnalizacyjne, ostrzegawcze i ochronne

3.3.14.1 Wymagania ERTMS

(ERTMS) *European Railway Traffic Management System* – stanowi jedno z kluczowych przedsięwzięć, których celem jest zapewnienie jak największej interoperacyjności transportu, szczególnie kolei w Europie. Interoperacyjność kolejowa dotyczy zarówno linii istniejących jak i nowo budowanych, dotyczy istniejących systemów sygnalizacyjnych i ERTMS-u. System ten składa się z:

- Europejskiego Systemu Sterowania Pociągami (ETCS),
- systemu transmisji radiowej GSM-R,
- Europejskiej Warstwy Zarządzania Pociągami ETML.

System GSM-R to cyfrowa łączność radiowa przeznaczona zarówno do zapewnienia łączności głosowej (głównie między dyspozytorami ruchu i maszynistami) jak i do zapewnienia cyfrowej transmisji danych (niezbędnych do funkcjonowania różnych systemów informatycznych obsługujących przewozy kolejowe).

System ETCS zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa, poprzez przekazywanie do kabiny maszynisty informacji z urządzeń instalowanych na liniach kolejowych.

Zakłada się, że system ERTMS/ETCS będzie nadrzędnym systemem sygnalizacyjnym stosowanym na liniach kolejowych dużych prędkości. Dotychczasowe systemy sygnalizacji polegające na umieszczaniu odpowiednich wskaźników dotyczących urządzeń sieci trakcyjnej i układu zasilania będą spełniały rolę uzupełniającą i rezerwującą.

System ERTMS w zakresie współpracy z podsystemem „Energia” powinien spełniać wymagania zgodne z obowiązującą dokumentacją TSI CCS HS – Decyzja Komisji nr 2002/731/WE z dnia 30 maja 2002 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu kontrolno-decyzyjnego oraz sygnalizacyjnego transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, o którym mowa w art. 6 ust. 1 dyrektywy Rady 96/48/WE (notyfikowana jako dokument nr C(2002) 1947), wraz z dokumentami powiązanymi: Specyfikacją Wymagań Funkcjonalnych FRS wersja 5.0 i Specyfikacją Wymagań Systemowych SRS 2.3.0 d.

3.3.14.1.1 Główne założenia ETCS

System ETCS spełniać musi wszystkie funkcje aktualnie stosowanych systemów sygnalizacyjnych, przy czym niektóre funkcje podstawowe będą obowiązujące dla wszystkich linii wyposażonych w ETCS, a inne będą wykorzystywane w miarę potrzeby. System ten ma umożliwić prowadzenie ruchu zgodnie z wymaganiami i przepisami poszczególnych zarządców kolejowych oraz zapewniać bezpieczeństwo na wysokim poziomie, nie niższym niż dotychczas.

Ze względu na uwarunkowania dotyczące energii elektrycznej jak i współpracy mechanicznej pantografu (odbieraka prądu) z siecią jezdnią, informacje o infrastrukturze dostępne w systemie ETCS muszą być transmitowane do pociągu.

System ETCS powinien zapewnić informacje dotyczące:

- 1) danych koniecznych dla wyboru pantografu;
- 2) opuszczania i podnoszenia pantografu:
 - a) opuszczenie pantografu musi być wykonane najpóźniej jak to możliwe, uwzględniając czas konieczny na opuszczenie pantografu,

- b) podniesienie pantografu musi być wykonane najwcześniej jak to możliwe;
- 3) załączania i odłączania głównego obwodu zasilania pojazdu (jazdy bez poboru prądu):
 - a) odłączenie głównego obwodu zasilania pojazdu musi być wykonywane najpóźniej jak to możliwe, uwzględniając czas konieczny na jego wykonanie,
 - b) załączenie głównego obwodu zasilania pojazdu musi być wykonywane najwcześniej jak to możliwe,
 - c) zakazu wjazdu elektrycznych pojazdów trakcyjnych.

W przypadku, gdy pantograf będzie sterowany ręcznie przez maszynistę, to urządzenia pokładowe ETCS muszą wizualnie i akustycznie przekazać maszyniście informacje pozwalające sterować pantografem i głównym obwodem zasilania pojazdu. Moment informowania musi być dobrany tak aby zapewnić odpowiedni czas na opuszczanie pantografu i odłączenie głównego obwodu zasilania pojazdu.

Opuszczanie/podnoszenie pantografu oraz odłączanie/załączanie obwodu głównego muszą być dostępne niezależnie i w możliwych kombinacjach.

Na liniach kolejowych dużej prędkości system ETCS powinien informować o konieczności sterowania pantografem i obwodem głównym zasilania pojazdu w miejscach, gdzie znajdują się wskaźniki obecnie stosowane na liniach zelektryfikowanych, a które na liniach dużych prędkości stosowane powinny być jako sygnalizacja rezerwująca.

3.3.14.2 Wskaźniki

- 3.3.14.2.1 Sieć trakcyjna powinna być osygnalizowana wskaźnikami zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 18 lipca 2005 r. [19] oraz „Instrukcją sygnalizacji le-1” [35].
- 3.3.14.2.2 Obrazy sygnałowe wskaźników oraz ich barwy powinny być zgodne z postanowieniami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 18 lipca 2005 r. [19], a ich wymiary zgodne z „Wymaganiami technicznymi dla wskaźników i tablic sygnałowych” [40].
- 3.3.14.2.3 Wskaźniki „We” powinny być wykonane z materiałów odblaskowych tak, aby były widoczne w nocy.
- 3.3.14.2.4 Zabrania się mocowania wskaźników do przewodów sieci jezdnej.
- 3.3.14.2.5 Mocowanie wskaźników na konstrukcjach wsporczych dopuszczalne jest tylko jeśli umiejscowienie wskaźnika nie koliduje z przyjętą minimalną skrajnią, dla danego zakresu prędkości.

3.3.14.3 Tablice ostrzegawcze i informacyjne

- 3.3.14.3.1 Treść, kształt, wymiary i sposób rozmieszczenia tablic ostrzegawczych powinny być zgodne z wymaganiami normy PN-K-89000:1997 [88].
- 3.3.14.3.2 Na każdym peronie stacji i przystanku osobowego linii zelektryfikowanych powinny znajdować się po dwie tablice ostrzegawcze peronowe.
- 3.3.14.3.3 Na każdej konstrukcji wsporczej ustawionej w peronach, rampach i w innych miejscach ogólnie dostępnych dla osób nie będących pracownikami kolejowymi, należy umieścić dwie tablice ostrzegawcze na przeciwnych stronach konstrukcji.
- 3.3.14.3.4 Tablice ostrzegawcze powinny być tak rozmieszczone, aby były łatwo widoczne dla osób mogących nadmiernie zbliżyć się do urządzeń sieci trakcyjnej będących lub mogących znaleźć się pod napięciem.
- 3.3.14.3.5 Tablice ostrzegawcze powinny być mocowane w taki sposób aby odległość ich krawędzi od strony toru nie była mniejsza od określonej w pkt: 3.3.3.9÷3.3.3.12. Dopuszcza się zmniejszenie o 0,75 m wymiarów podanych w pkt: 3.3.3.9÷3.3.3.12 dla tablic informacyjnych, których dolna krawędź jest umieszczona nad poziomem peronu powyżej 2,25 m.
- 3.3.14.4 Znaki ostrzegawcze i informacyjne
 - 3.3.14.4.1 Konstrukcje wsporcze, na których podwieszone są sieci jezdne nie połączone ze sobą elektrycznie na stałe, powinny być oznaczone białym pasem o szerokości 150 mm namalowanym 1 000 mm poniżej miejsca zamocowania najniżej zamontowanego elementu podwieszenia sieci jezdnej.
 - 3.3.14.4.2 Konstrukcje wsporcze, których odległość czołowej płaszczyzny od osi toru jest mniejsza od wymaganej (lokalizowane w wyjątkowych przypadkach za zgodą PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.), powinny być oznaczone przez namalowanie na nich przemiennie pasów koloru żółtego i czarnego o szerokości 120 mm. Oznaczenia pasami należy wykonywać do wysokości 1 200 mm od powierzchni główki szyny, na płaszczyźnie czołowej konstrukcji wsporczej od strony toru, w ten sposób, że najwyżej położony pas powinien być koloru czarnego.

3.3.15 Bariery

- 3.3.15.1 Mosty, wiadukty, kładki oraz w razie potrzeby inne budowle, pod którymi prowadzona jest sieć jezdna, powinny być zaopatrzone w bariery pionowe chroniące ludzi mogących znajdować się na tych budowlach, od przypadkowego dotknięcia elementów sieci trakcyjnej będących pod napięciem oraz sieć jezdna od uszkodzenia wskutek takiego przypadkowego dotknięcia lub wskutek upadku przedmiotów na sieć jezdna.

- 3.3.15.2 W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się stosowanie barier poziomych stanowiących konstrukcyjną całość z budowlą.
- 3.3.15.3 Konstrukcja bariery powinna być zgodna z wymaganiami normy BN-77/9317-115 [97] oraz wymaganiami podanymi w PN-EN 50122-1:2002 [63] – pkt 5.1.3.1.
- 3.3.15.4 Minimalne wymiary barier oraz odstępów izolacyjnych stosowanych na powierzchniach do przebywania w obszarach ogólnie dostępnych zdefiniowane są w PN-EN 50122-1:2002 [63] – pkt 5.1.3.3.
- 3.3.15.5 Na kładkach lub pomostach przeznaczonych wyłącznie dla personelu kolejowego, bariery należy wykonywać zgodnie z punktem 5.1.3.2 PN-EN 50122-1:2002 [63].
- 3.3.15.6 Bariery poziome znajdujące się w miejscach ogólnie dostępnych muszą być tak zbudowane, aby nie stanowiły w żadnym wypadku powierzchni umożliwiającej swobodne stanie. Powierzchnie te muszą być pochylone zgodnie z załącznikiem A normy PN-EN 50122-1:2002 [63].

4 Zakres opracowań technicznych – dokumentacje projektowe

4.1 Wstęp

Każda inwestycja budowlana musi mieć wcześniej przygotowaną dokumentację odpowiednią dla danego etapu realizacji, przy czym:

Etap I dotyczy dokumentacji niezbędnej do podjęcia decyzji inwestycyjnej – jak studia i analizy przedinwestycyjne.

Etap II dotyczy:

- opracowania dokumentacji budowlanej,
- uzyskania pozwolenia na budowę,
- przeprowadzenia procedury przetargowej i wyboru wykonawcy,
- wykonania robót budowlanych.

Niezależnie od tego Unia Europejska ustaliła określone procedury dla swoich członków związane z dofinansowaniem inwestycji. Inwestor, aby uzyskać na swoje zamierzenie inwestycyjne dodatkowe środki musi dysponować:

- studium wykonalności inwestycji,
- oceną oddziaływania na środowisko – raportem oddziaływania na środowisko,
- dokumentami dotyczącymi zagospodarowania przestrzennego oraz pozostałymi wymaganymi przez podmiot udzielający dofinansowania, zgodnie z opracowanymi przez te instytucje wzorami wniosków.

4.2 Wymagania ogólne

Projekty układów zasilania i sieci trakcyjnej mogą być opracowane jako wydzielone samodzielne opracowania lub jako część wielobranżowych projektów dotyczących budowy lub modernizacji linii kolejowych.

W obydwu ww. przypadkach zawartość projektów oraz ich stopień uszczegółowienia jest uzależniony od ich przeznaczenia i etapu realizacji inwestycji.

4.2.1 Dokumentacje przedprojektowe – etap I

W ramach etapu I dla podjęcia decyzji inwestycyjnej, oraz dla zadań w ramach Narodowego Planu Rozwoju należy opracować następujące dokumentacje przedprojektowe:

- a) studium wykonalności wraz z ewentualnym opracowaniem koncepcji programowo-przestrzennej,
- b) wniosek dla uzyskania decyzji środowiskowej,
- c) wniosek dla uzyskania decyzji lokalizacyjnej,
- d) materiały przetargowe zawierające program funkcjonalno-użytkowy (przy realizacji projektu w systemie „projektuj i buduj) dla przeprowadzenia po-

stępowania przetargowego na wyłonienie wykonawcy projektu budowlanego, wykonawczego oraz wykonawcy robót (wykonawcy etapu II).

4.2.2 Dokumentacje projektowe i realizacja inwestycji – etap II

W niniejszym opracowaniu ten zakres procesu inwestycyjnego określono jako etap II, który obejmuje:

- a) projekt budowlany,
- b) projekt wykonawczy,
- c) materiały przetargowe (w tym specyfikacje techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, dokumentację projektową, przedmiar robót),
- d) kosztorys inwestorski,
- e) dokumentacja powykonawcza.

Wymagania dotyczące formy wyszczególnionych tu projektów, obejmujące między innymi spis zawartości, formę strony tytułowej, sposób opisu rysunków, ich skali, numeracji oraz techniki graficznej i oprawy, są szczegółowo opisane w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego [21] i Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno-użytkowego [22].

4.3 Studium wykonalności

4.3.1 Definicja i przeznaczenie

Studium wykonalności zamierzenia inwestycyjnego jest oceną celowości ekonomicznej realizacji inwestycji i niezbędnym dokumentem do podjęcia decyzji w sprawie przygotowania dokumentacji. Poza tym, w studium wykonalności są określone elementy warunkujące sprawne przygotowanie i przeprowadzenie inwestycji oraz działania zmierzające do zminimalizowania ryzyka podjęcia niewłaściwej czy błędnej decyzji. Jest to także dokument niezbędny dla instytucji związanych z finansowaniem inwestycji.

4.3.2 Zawartość

4.3.2.1 Układy zasilania

Część techniczna Studium Wykonalności w zakresie zasilania elektroenergetycznego powinna zawierać:

- stan istniejący układu zasilania w przypadku modernizacji i przebudowy linii istniejącej,

- wskazanie projektowanych źródeł zasilania, ich parametrów technicznych, lokalizacji, oraz ich właściciela na podstawie informacji uzyskanych od odpowiednich podmiotów,
- obliczenia impedancji i konduktancji sieci trakcyjnej, analizy i badania symulacyjne obciążeń energetycznych podstacji trakcyjnych, zasilaczy i sieci trakcyjnej dla rozwiązań wariantowych wyposażenia układu zasilania, z uwzględnieniem spełnienia wymaganych kryteriów technicznych i środowiskowych,
- analiza efektywności wyłączania zwarć, generacji przepięć komutacyjnych oraz przepięć wynikających z oscylacji i rezonansów wyższych harmoniczných, wraz z zaleceniami odnośnie stosowania środków ochrony w postaci zabezpieczeń, kompensacji i filtracji,
- zalecenia dotyczące systemu ochrony przeciwporażeniowej w stanach roboczych i awaryjnych,
- uzasadnione badaniami symulacyjnymi zalecenia stosowania systemu kompensacji mocy biernej, filtrów wyższych harmoniczných, kompensacji asymetrii,
- ekspertyzę wpływu projektowanego układu zasilania na krajowy system elektroenergetyczny, zgodnie z zapisami Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [23],
- schemat układu zasilania, ewentualne warianty i uzasadnienie zalecanego wyboru wraz ze schematem sieci powrotnej,
- dane techniczne i topograficzne linii zasilających WN i SN,
- lokalizacje i uproszczony schemat ideowy podstacji trakcyjnych, stacji autotransformatorowych, booster transformatorów, kabin sekcyjnych oraz stacji zasilających odbiory nietrakcyjne,
- sposób zasilania sieci trakcyjnej i odbiorów nietrakcyjnych,
- sposób rozwiązania sterowania zdalnego i lokalnego,
- ocenę możliwości współpracy istniejących urządzeń srk i DSAT z systemem zasilania.

4.3.2.2 Sieć trakcyjna

Część techniczna Studium Wykonalności w zakresie sieci trakcyjnej powinna zawierać:

- stan istniejący sieci trakcyjnej i jej otoczenia w przypadku modernizacji lub przebudowy linii istniejącej,
- typy projektowanych sieci trakcyjnych,
- rodzaj konstrukcji wsporczych i fundamentów,
- system ochrony od porażeń prądem elektrycznym, system ochrony odgromowej,

- uproszczony plan trasy o ile wymaga tego inwestor,
- schemat sekcjonowania sieci trakcyjnej dla wszystkich posterunków ruchu i w rejonie punktów zasilania tj. podstacji trakcyjnych, stacji autotransformatorowych, booster transformatorów, kabin sekcyjnych, rozdzielni sekcjonujących.

4.4 Program funkcjonalno-użytkowy

4.4.1 Definicja i przeznaczenie

Ustawodawca w art. 31 Ustawy z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych [6] uwzględnił specyfikę opisu przedmiotu zamówienia na roboty budowlane i określił dokumenty służące do tego opisu. Zgodnie z nią, jeżeli przedmiotem zamówienia jest zaprojektowanie i wykonanie robót budowlanych, opis przedmiotu zamówienia dokonuje się w dokumencie zwanym programem funkcjonalno-użytkowym.

Program funkcjonalno-użytkowy służy do ustalenia zakresu robót i planowanych kosztów prac projektowych oraz robót budowlanych, a także do przygotowania oferty, szczególnie w zakresie obliczania ceny oferty oraz wykonania prac projektowych.

4.4.2 Zawartość

Zakres i forma tego dokumentu została szczegółowo ustalona w rozdz. 4 Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [22] i powinien on zawierać:

- stronę tytułową, która obejmuje dane wg § 17,
- opis programu funkcjonalno-użytkowego wg § 18.1,
- część informacyjną wg § 19,

4.5 Projekt budowlany

4.5.1 Wprowadzenie

Projekty budowlane inwestycji ujętych w niniejszych Wytycznych, zgodnie z art. 3 Ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane [1], dotyczą obiektów liniowych z wyłączeniem podstacji trakcyjnych, kabin sekcyjnych i wyodrębnionych GPZ oraz rozdzielni WN, które są obiektami budowlanymi. Obiekty liniowe, a takimi są linie WN, SN oraz sieć trakcyjna o znaczeniu ponadlokalnym wymagają na wniosek inwestora uzyskania decyzji lokalizacyjnej. Decyzja lokalizacyjna dla obiektu liniowego o znaczeniu ponadregionalnym jest wydawana przez wojewodę i stanowi podstawowy dokument ustalający lokalizację danej inwestycji. Zgodnie z Prawem Budowlanym [1] wniosek o wydanie decyzji lokalizacyjnej przygotowuje i składa do wojewody inwestor. Decyzja lokalizacyjna uściślająca lokalizację obiektu liniowego lub kubaturo-

wego jest dokumentem, który łącznie z projektem budowlanym będzie składany do wojewody o wydanie decyzji o pozwolenie na budowę.

4.5.2 Definicja i przeznaczenie

Jednym ze składników dokumentacji projektowej w II etapie przygotowań do realizacji inwestycji wymagających pozwolenia na budowę jest projekt budowlany zawierający rysunki przedstawiające usytuowanie projektowanych obiektów, a także wszystkie niezbędne dane techniczne i ilościowe zastosowanych rozwiązań.

4.5.3 Zawartość

Podane poniżej wymagania dotyczące formy projektu budowlanego opracowano na podstawie rozdziału 2 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego [21].

1. W projekcie budowlanym należy na stronie tytułowej zamieścić:
 - a) nazwę, adres obiektu budowlanego i numery ewidencyjne działek, na których obiekt jest usytuowany,
 - b) nazwę i adres inwestora,
 - c) nazwę i adres jednostki projektowania,
 - d) imiona i nazwiska projektantów z określeniem zakresu tematycznego, specjalności, numeru posiadanych uprawnień, podpisy i datę,
 - e) imiona i nazwiska sprawdzających z określeniem zakresu tematycznego, specjalności, numeru posiadanych uprawnień, podpisy i datę,
 - f) spis zawartości projektu budowlanego wraz z wykazem załączników.
2. Na rysunkach wchodzących w skład projektu budowlanego należy umieścić metrykę projektu zawierającą:
 - a) nazwę i adres obiektu budowlanego,
 - b) tytuł (nazwę), skalę i numer rysunku,
 - c) imię i nazwisko, specjalność, numer uprawnień budowlanych, datę i podpis projektanta oraz osoby potwierdzającej sprawdzenie.
3. Forma redakcyjno-wydawnicza projektu budowlanego powinna spełniać następujące wymagania:
 - a) wszystkie strony, arkusze, załączniki i rysunki stanowiące części projektu budowlanego powinny być opatrzone numeracją, która powinna być zgodna ze spisem zawartości projektu,
 - b) projekt budowlany należy sporządzić w czytelnej technice graficznej oraz oprawić w okładkę formatu A4 w sposób uniemożliwiający dekompletację projektu,

- c) do zamierzenia budowlanego zawierającego więcej niż jeden obiekt budowlany można stosować oprawę wielotomową,
- d) projekt budowlany należy opracować w języku polskim, stosując zasady wymiarowania oraz oznaczenia graficzne i literowe określone w PN lub inne objaśnione w legendzie,
- e) projekt budowlany sporządza się w 4 egzemplarzach, chyba że większa ilość została określona w umowie zawartej pomiędzy inwestorem a jednostką projektową.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [21], poza wymaganiami dotyczącymi formy projektu budowlanego, zawiera także wymagania dotyczące zawartości części składowych tej dokumentacji – projektu zagospodarowania działki (obiekty kubaturowe) lub terenu (obiekty liniowe).

Poniżej podane zostaną wymagania dla projektów budowlanych układu zasilania i sieci trakcyjnej zasilanej napięciem 25 kV AC dla prędkości jazdy $V \leq 350$ km/h. Wymagania te muszą być zawarte w projekcie budowlanym dla spełnienia i uzupełnienia ogólnych warunków podanych w rozdz. 4 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [21].

4.5.3.1 Projekt budowlany układu zasilania:

Projekt budowlany układu zasilania zawierać musi:

- wskazanie uzgodnionych źródeł zasilania elektroenergetycznego na podstawie technicznych warunków przyłączenia wydanych przez odpowiedni podmiot oraz umowy przyłączeniowej,
- dane techniczne i trasy linii WN zasilających podstacje trakcyjne,
- lokalizacje i rozwiązania podstacji trakcyjnych, stacji autotransformatorowych, booster transformatorów i kabin sekcyjnych,
- dane techniczne i trasy zasilaczy sieci trakcyjne,
- sieć powrotną,
- lokalizacje i rozwiązania stacji zasilających odbiory nietrakcyjne,
- dane techniczne i trasy linii elektroenergetycznych zasilających odbiory nietrakcyjne.

Do projektu budowlanego należy dołączyć poświadczenie uzyskania przez inwestora praw dysponowania gruntami przewidzianymi pod zabudowę urządzeń.

Wstępna analiza techniczna źródeł zasilania ujęta w studium wykonalności, w projekcie budowlanym powinna być pogłębiona i zawierać nie tylko ich lokalizację, ale też wszystkie obliczenia, schematy i rysunki niezbędne do uzyskania uzgodnień i zapewnienia w sieci trakcyjnej oraz w instalacjach zasilających odbiory nietrakcyjne odpowiedniej mocy i poziomu napięć. W szczególności stanowić to będzie:

- a) opis techniczny,

- b) schemat układu zasilania z uwzględnieniem zasilanej sieci trakcyjnej,
- c) rysunki obrazujące projektowane wyposażenie lub rozbudowę GPZ,
- d) plany trasy projektowanych linii WN w czytelnej skali,
- e) schematy podstacji trakcyjnych, stacji autotransformatorowych, booster transformatorów, kabin sekcyjnych i stacji zasilających odbiory nietrakcyjne łącznie z doborem podstawowych urządzeń i aparatury,
- f) rysunki podstacji trakcyjnych, stacji autotransformatorowych, kabin sekcyjnych i stacji zasilających odbiory nietrakcyjne obejmujące lokalizację, zagospodarowanie terenu, rozwiązania urządzeń elektroenergetycznych i konstrukcyjno-budowlanych,
- g) opis lub rysunki systemu zabezpieczeń, sterowania, monitoringu oraz ochrony odgromowej i przepięciowej oraz ochrony od porażeń prądem elektrycznym,
- h) obliczenia jeśli są niezbędne do uzasadnienia przyjętych rozwiązań i doboru urządzeń,
- i) plany tras projektowanych zasilaczy pomiędzy podstacjami trakcyjnymi a siecią trakcyjną,
- j) ocena oddziaływania na środowisko – raport oddziaływania na środowisko,
- k) informacja BIOZ (Bezpieczeństwo i Ochrona Zdrowia),

4.5.3.2 Projekt budowlany sieci trakcyjnej

Projekt budowlany sieci trakcyjnej zawierać musi:

- a) opis techniczny,
- b) stan istniejący sieci trakcyjnej i jej otoczenia w przypadku przebudowy,
- c) typ projektowanej sieci trakcyjnej,
- d) rozwiązania sekcji separacji faz oraz systemów zasilania,
- e) konstrukcje wsporcze i rodzaj fundamentów,
- f) zestawienie konstrukcji wsporczych, fundamentów i głowic fundamentowych z uwzględnieniem montażu i ewentualnie demontażu,
- g) rozwiązania i osprzęt sieci trakcyjnej,
- h) plan sytuacyjny w czytelnej skali,
- i) schemat sekcjonowania sieci trakcyjnej o ile projekt obejmuje stacje, posterunki rozgałęźne lub punkty zasilania w rejonie podstacji trakcyjnych, booster transformatorów, kabin sekcyjnych,
- j) system ochrony od porażeń prądem elektrycznym, system ochrony odgromowej i analizę systemu ograniczającego prądy błędzące,
- k) studium ochrony środowiska w przypadku projektu jednobranżowego,
- l) informacja BIOZ (Bezpieczeństwo i Ochrona Zdrowia),

4.6 Projekt wykonawczy

4.6.1 Definicja i przeznaczenie.

Zgodnie z § 5 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [22] projekt wykonawczy uzupełnia i uszczegóławia projekt budowlany w zakresie i w stopniu niezbędnym do sporządzenia przedmiaru robót, kosztorysu inwestorskiego, przygotowania oferty przez wykonawcę i realizacji robót budowlanych.

Należy tu wyjaśnić, że wykonanie nieskomplikowanych robót budowlanych może być realizowane na podstawie projektu budowlanego, ale obiekty budowlane objęte niniejszymi Wytycznymi z uwagi na specyficzne i trudne pod względem technicznym rozwiązanie muszą być realizowane na podstawie projektu wykonawczego.

4.6.2 Zawartość

4.6.2.1 Projekt wykonawczy układu zasilania

Projekt wykonawczy powinien zawierać wszystkie elementy i rozwiązania, które wymagane są dla projektu budowlanego – pkt 4.5.2.1.

Ponadto do projektu wykonawczego należy dołączyć:

- a) projekty rozwiązań konstrukcyjnych (widoki, rzuty, przekroje) rozdzielni i linii WN oraz rozdzielni i linii SN,
- b) projekty fundamentów,
- c) lokalizację projektowanych obiektów, linii i urządzeń na aktualnych planach geodezyjnych,
- d) projekty usunięcia kolizji,
- e) schematy montażowe instalacji zabezpieczeń, pomiarów, sterowania i monitoringu,
- f) projekty ochrony odgromowej, przepięciowej i przeciwporażeniowej,
- g) projekt sieci powrotnej,
- h) projekty instalacji w obiektach podstacji trakcyjnych,
- i) projekty sieci dostarczających media w obiektach podstacji trakcyjnych
- j) projekty dróg oraz ich odwodnień,
- k) projekt zmian w zakresie urządzeń srk i DSAT, jeżeli taka konieczność wystąpi,
- l) inne projekty specjalistyczne.

4.6.2.2 Projekty sieci trakcyjnej.

Projekt wykonawczy powinien zawierać wszystkie elementy i rozwiązania, które wymagane są dla projektu budowlanego – pkt 4.5.2.2.

Ponadto do projektu wykonawczego należy dołączyć:

- a) schemat sekcjonowania sieci trakcyjnej o ile przewidziane są stacje, posterunki rozgałęźne lub punkty zasilania w rejonie podstacji trakcyjnych,
- b) system ochrony od porażeń,
- c) profilowanie sieci trakcyjnej o ile występuje taka konieczność,
- d) dobór typu i określenie obciążeń fundamentów palowych,
- e) współrzędne fundamentów,
- f) wykaz typów oraz zestawia ilościowe konstrukcji wsporczych, fundamentów i głowic fundamentowych,
- g) schematy nietypowych bramek o ile przewiduje się takie konstrukcje,
- h) karty montażowe wyposażenia,
- i) rysunki nietypowych rozwiązań jeśli takie występują,
- j) wykaz demontowanych wyposażenia sieci jezdnej jeśli takie występują,
- k) projekty usunięcia kolizji jeśli takie występują.

4.7 Wymagania dla personelu jednostki projektowej

4.7.1 Wymagania obligatoryjne

Zgodnie z § 3 i 4 Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [21] każdy projekt dla określonego zadania inwestycyjnego musi zawierać:

- a) imię, nazwisko i podpis projektanta wraz z numerem i specjalnością posiadanych uprawnień budowlanych do projektowania oraz datą wykonania projektu. Wszystkie te dane muszą znajdować się na stronie tytułowej, pod opisem technicznym wraz z obliczeniami i na każdym rysunku technicznym. Do projektu należy dołączyć również potwierdzoną kopię uprawnień budowlanych;
- b) dokument potwierdzający przynależność projektanta do Izby Inżynierów Budownictwa;
- c) imię, nazwisko i podpis sprawdzającego wraz z numerem i specjalnością uprawnień budowlanych do projektowania oraz datą sprawdzenia projektu. Do projektu należy dołączyć również potwierdzoną kopię uprawnień budowlanych;
- d) dokument potwierdzający przynależność sprawdzającego do Izby Inżynierów Budownictwa;
- e) oświadczenie projektanta i sprawdzającego o opracowaniu projektu zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz o tym, że jest on kompletny i nadaje się do realizacji.

4.7.2 Wymagania warunkowe

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. może wymagać od jednostki projektowej udokumentowania posiadanego odpowiedniego doświadczenia dającego gwarancję jakościowego i optymalnego wykonania zadania. Może to dotyczyć

wszystkich branż i specjalności jakie powinna posiadać jednostka projektowa podejmująca się wielobranżowego opracowania projektu linii kolejowej dużej prędkości.

5 Ogólne zasady obowiązujące przy budowie i odbiorach

Wytyczne dotyczące zasad przy budowie i odbiorach sieci trakcyjnych należy traktować łącznie z przepisami Prawa budowlanego i przepisami TSI. W myśl § 53 ust. 2 Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowlę kolejowe i ich usytuowanie [16]. Wytyczne stanowią uszczegółowienie przepisów zawartych w wyżej wymienionych aktach prawnych.

5.1 Wymagania dla personelu wykonawcy

W zależności od zakresu robót wykonawca zapewnia personel kierowniczy oraz personel wykonawczy posiadający niezbędną wiedzę i doświadczenie do wykonywania zadania:

- dyrektor projektu (dla mniejszych zadań kierownika projektu) posiadający wykształcenie wyższe (techniczne lub inne związane z przedmiotem zamówienia), przynajmniej 5-cio letnie doświadczenie zawodowe w realizacji projektów inwestycyjnych związanych z budową sieci trakcyjnej, w tym 3 lata doświadczenia na stanowisku kierowniczym,
- kierownik budowy posiadający wykształcenie wyższe (techniczne lub inne związane z przedmiotem zamówienia), przynajmniej 5-cio letnie doświadczenie zawodowe w realizacji projektów inwestycyjnych związanych z budową linii kolejowych, w tym 3 lata doświadczenia na stanowisku kierowniczym,
- kierownik kontroli jakości posiadający wykształcenie wyższe, przynajmniej 4 lata doświadczenia zawodowego, w tym co najmniej 2 lata doświadczenia na stanowisku zarządzania jakością,
- kierownik robót elektrotrakcyjnych posiadający przynajmniej 4 lata doświadczenia zawodowego w tym co najmniej 2 lata doświadczenia jako kierownik robót, posiadającego uprawnienia budowlane oraz ubezpieczenie OC,
- personel wykonawczy posiadający wymagane uprawnienia kwalifikacyjne i kompetencje.

5.2 Wymagane zaplecze techniczne wykonawcy

W zależności od rodzaju robót wykonawca zapewnia niezbędne pojazdy, maszyny, aparaty i inne urządzenia potrzebne do realizacji i ukończenia robót oraz usuwania wszelkich stwierdzonych wad przy zachowaniu przepisów BHP i ochrony środowiska w tym:

- a) pociąg montażowy lub inne pojazdy służące do budowy sieci trakcyjnej, umożliwiające wywieszenie sieci jezdnej pod napięciem, posiadające obowiązujące dopuszczenia do poruszania się po torach kolejowych;

- b) pociąg fundamentowo-słupowy lub inny zestaw pojazdów, posiadających odpowiednie dopuszczenia, służących do rozwożenia i posadowienia:
 - blokowych fundamentów prefabrykowanych,
 - blokowych fundamentów wylewanych w formy,
 - słupów trakcyjnych,
 - fundamentów palowych;
- c) urządzenie do zagęszczania gruntu;
- d) niezbędne aparaty i urządzenia służące do wykonania systemu ochrony przeciwporażeniowej i sieci powrotnej;
- e) pojazd diagnostyczny umożliwiający dokonanie prób dynamicznych współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną, posiadający świadectwo dopuszczenia do eksploatacji (jeżeli umowa nie stanowi inaczej), wyposażony w system pomiarowy spełniający wymagania normy PN-EN 50317:2003 [71].

5.3 Przepisy i dokumenty obowiązujące wykonawcę przy budowie i modernizacji

5.3.1 Przepisy obowiązujące projektanta, wykonawcę i producenta

Podczas całego procesu inwestycyjnego związanego z budową lub modernizacją układów zasilania i sieci trakcyjnej należy stosować:

- przepisy Prawa budowlanego,
- Rozporządzenia Ministra właściwego ds. infrastruktury i transportu,
- dokumentację projektową,
- techniczne specyfikacje dla interoperacyjności systemu transeuropejskich kolei dużych prędkości,
- Warunki kontraktu na budowę dla robót budowlanych i inżynierskich projektowanych przez zamawiającego FIDIC,
- Warunki kontraktowe dla urządzeń oraz projektowania i budowy dla urządzeń elektrycznych i mechanicznych oraz robót inżynierskich i budowlanych projektowanych przez wykonawcę FIDIC,
- obowiązujące normy zharmonizowane,
- polskie normy,
- normy wskazane przez inwestora,
- standardy techniczne,
- materiały i urządzenia posiadające stosowne świadectwa o dopuszczeniu do stosowania (eksploatacji),
- przepisy i instrukcje służbowe,
- umowy pomiędzy zamawiającym i wykonawcą,
- zalecenia z przeprowadzonych kontroli,

- ustalenia i zalecenia sformułowane przez inżyniera kontraktu lub zamawiającego w dziennikach budowy,
- przepisy dotyczące ochrony środowiska,
- niniejsze Wytyczne,
- „Wytyczne odbioru i eksploatacji fundamentów palowych stosowanych na liniach kolejowych dla ustawienia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej” [37],
- wymagania techniczne dla wskaźników i tarcz sygnałowych [20, 35, 40].

5.3.2 Nadzór nad realizacją inwestycji

Nadzorowi, przez organ wyznaczony do kontroli i oceny zgodności budowanego obiektu z TSI (jednostce notyfikowanej), zgodnie z TSI, podlegają:

- projekt układu zasilania i sieci trakcyjnej,
- systemy jakości produkcji producenta i wykonawcy,
- wszystkie etapy budowy/modernizacji.

Prawa, obowiązki i zakres kontroli wynikają bezpośrednio z Decyzji Komisji UE 2008/284/WE z dnia 6 marca 2008 r. dotyczącej specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości [10]. Zgodnie z tym dokumentem jednostka notyfikowana na zlecenie zamawiającego przeprowadza badanie elementarnych części składowych, grupy części składowych, podzespołów lub zespołów wyposażenia włączonego lub przeznaczonego do włączenia do podsystemu TSI i wydaje tzw. „świadcstwo zgodności z wymaganiami interoperacyjności”. Badanie przeprowadza się w fazie produkcji zgodnie z „Modułem B” albo „Modułem C” załącznika A. Badania można również przeprowadzić w fazie planowania zgodnie z „Modułem H2, załącznika A, wyżej wymienionej Decyzji.

Podczas robót związanych z budową układu zasilania i sieci trakcyjnej należy zapewnić również nadzór projektantów (nadzór autorski).

Wszystkie zmiany dokonywane w w/w dokumentacji projektowej mogą być wykonywane tylko przez projektantów i podlegają zaopiniowaniu przez jednostkę notyfikowaną.

5.4 Rodzaje oraz procedury wykonywania odbiorów

5.4.1 Rodzaje odbiorów

Odbiory przeprowadzane są jako:

- robót zanikających i podlegających zakryciu,
- częściowe,
- końcowe,
- pogwarancyjne.

5.4.1.1 Odbiory robót zanikających i podlegających zakryciu

Wykonawca winien przekazać sporządzony obmiar robót do sprawdzenia inspektorowi nadzoru w okresie umożliwiającym dokonanie kontroli prawidłowości określenia ilości wykonanych robót, co ma istotne znaczenie w odniesieniu do robót zanikających lub podlegających zakryciu. Obmiar robót zanikających i podlegających zakryciu przeprowadza się bezpośrednio po ich wykonaniu.

Odbioru robót zanikających i podlegających zakryciu dokonuje inspektor nadzoru po uprzednim ich zgłoszeniu przez Wykonawcę.

5.4.1.2 Odbiory częściowe

Odbiory częściowe przeprowadzane są gdy:

- wykonawca ubiega się o zapłatę za częściowo wykonane roboty, stanowiące całość funkcjonalną lub wykonawczą, a zawarta umowa przewiduje taki sposób rozliczeń,
- przed przystąpieniem do kolejnej fazy robót zachodzi potrzeba określenia jakości i ilości robót zakrywanych,
- zachodzi potrzeba oceny jakości zmontowanego elementu lub urządzenia (np. zmontowane urządzenie przed podłączeniem),
- pewna faza robót przekazywana jest innemu wykonawcy,
- element, urządzenie lub część obiektu przekazywana jest do eksploatacji.

Podczas odbioru częściowego określa się ilość i jakość robót (o ile umowa nie przewiduje inaczej) oraz zgodność robót z dokumentacją projektową, umową, warunkami technicznymi, normami i przepisami. W zależności od umownych ustaleń możliwe jest określenie podczas odbioru częściowego przydatności obiektu lub zespołu obiektów do podjęcia eksploatacji.

5.4.1.3 Odbiór końcowy

Odbiorem końcowym obejmuje się całość robót zgodnie z zawartą umową. Określa się wtedy:

- ilość i jakość robót (o ile umowa nie przewiduje inaczej),
- zgodność robót z dokumentacją projektową, umową, warunkami technicznymi, normami i przepisami,
- przydatność obiektu lub zespołu obiektów do podjęcia eksploatacji,
- tryb postępowania w przypadku wystąpienia usterek,
- ewentualne zmiany warunków gwarancji ustalonych w umowie.

5.4.1.4 Odbiory pogwarancyjne

Odbiory pogwarancyjne przeprowadza się przed zakończeniem okresów gwarancji określonych w umowach w celu:

- oceny wykonanych robót związanych z usunięciem wad stwierdzonych przy odbiorze końcowym i zaistniałych w okresie gwarancyjnym,
- całkowitego lub częściowego zwolnienia kaucji gwarancyjnej.

5.4.2 Procedury wykonywania odbiorów

- 5.4.2.1 Odbiory częściowe, końcowe i pogwarancyjne przeprowadza komisja powoływana przez zamawiającego.
- 5.4.2.2 W celu przeprowadzenia odbiorów częściowych wykonawca jest zobowiązany w terminie 14 dni przed planowanym terminem zgłosić gotowość do odbioru inżynierowi kontraktu i dostarczyć mu stosowne oświadczenie z dołączonymi do niego niezbędnymi dokumentacjami, instrukcjami, protokółami badań (wykaz dokumentów zawiera pkt 5.6.1).
- 5.4.2.3 W celu przeprowadzenia odbiorów końcowych wykonawca jest zobowiązany w terminie 21 dni przed planowanym terminem zgłosić gotowość do odbioru inżynierowi kontraktu i dostarczyć mu stosowne oświadczenie z dołączonymi do niego niezbędnymi dokumentacjami, instrukcjami, protokółami odbioru poszczególnych faz robót, protokółami usunięcia usterek stwierdzonych przy odbiorze poszczególnych faz oraz protokółami badań (wykaz dokumentów zawiera pkt 5.6.2.1).
- 5.4.2.4 Odbiory pogwarancyjne przeprowadzane są w terminie 21 dni od zgłoszenia przez wykonawcę przed końcem upływu terminu gwarancji.
- 5.4.2.5 W celu umożliwienia wykonania odbiorów częściowych, końcowych i pogwarancyjnych wykonawca dostarcza całą aparaturę, sprzęt, przyrządy, siłę roboczą, wykwalifikowany personel kierowniczy, dokumenty i inne informacje, energię elektryczną, paliwo jakie są potrzebne do przeprowadzenia w/w czynności.
- 5.4.2.6 Koszt przeprowadzenia w/w odbiorów i prób z nimi związanych ponosi wykonawca.
- 5.4.2.7 Zamawiający ustala imienny skład komisji przeprowadzającej odbiory, a w jej skład wchodzi przedstawiciele:
- zamawiającego,
 - organu wyznaczonego do kontroli i oceny zgodności budowanego lub modernizowanego obiektu z TSI (jednostki notyfikowanej),
 - inżyniera kontraktu,
 - wykonawcy,
 - użytkowników.

5.5 Ogólne zasady odbiorów

5.5.1 Ogólne zasady odbioru układów zasilania

Zakres badań pomontażowych i odbiorczych dla poszczególnych urządzeń i elementów sieci takich jak linie napowietrzne, linie kablowe, transformatory, wyłączniki itp., określony jest normą PN-E-04700:1998 [50].

5.5.1.1 Wymagania dotyczące dokumentacji technicznej urządzeń i układów

5.5.1.1.1 Dokumentacja techniczna powinna być zgodna z wymaganiami norm wyrobu dotyczących poszczególnych urządzeń i powinna zawierać co najmniej:

- a) schematy i instrukcje potrzebne do zainstalowania i pierwszego uruchomienia urządzenia,
- b) schematy i instrukcje montażu urządzenia, jeżeli urządzenie jest dostarczone w elementach do montażu w miejscu zainstalowania,
- c) opis budowy i działania przekaźników, dane techniczne, schematy wewnętrzne i wartości nastawień,
- d) inne instrukcje wytwórcy np. dotyczące transportu, konserwacji i eksploatacji,
- e) aktualne i zawierające pozytywne wyniki badań protokoły prób typu (prób pełnych) i wyrobu (prób niepełnych).

5.5.1.1.2 Dokumentacja powinna zawierać również następujące dokumenty:

- a) dokument stwierdzający wykonanie u wytwórcy odbioru urządzenia, jeżeli urządzenie podlega odbiorowi u wytwórcy,
- b) dokument sporządzony przez wykonawcę montażu albo przedstawiciela wytwórcy lub zlecającego badania stwierdzające zakończenie montażu,
- c) inne dokumenty wymagane w przepisach dotyczące dopuszczania do produkcji, obrotu lub przekazania do eksploatacji.

5.5.1.2 Wymagania ogólne dotyczące urządzeń i układów

Do wymagań ogólnych dotyczących urządzeń i układów należą w szczególności:

- a) właściwe oznaczenie urządzenia i jego opis,
- b) tabliczka znamionowa zgodna z normą wyrobu,
- c) powierzchnie zewnętrzne urządzenia nie powinny być uszkodzone,
- d) montaż urządzenia i/lub układu powinien być wykonany zgodnie z dokumentacją, wymaganiami wytwórcy i użytkownika,
- e) metalowe konstrukcje wsporcze i nośne powinny być zabezpieczone przed korozją,

- f) zaciski przyłączeniowe właściwie dobrane i połączone prawidłowo,
- g) ochrona przeciwporażeniowa powinna spełniać wymagania podane w odpowiednich przepisach i normach,
- h) dopuszczalny poziom hałasu i drgań,
- i) zakłócenia radioelektryczne nie większe niż dopuszczalne,
- j) działanie urządzeń i układów zgodne z dokumentacją i wymaganiami podanymi w przepisach, przy próbie sterowania ręcznego bez użycia nadmiernej siły,
- k) należy jednocześnie uwzględnić ewentualne wymagania zawarte w warunkach przyłączeniowych, jak również zalecenia operatora sieci przesyłowej lub operatora sieci dystrybucyjnej, do którego sieci następuje przyłączenie.

5.5.1.3 Warunki w miejscu zainstalowania urządzeń i/lub układów

Warunki w miejscu zainstalowania urządzeń i/lub układów powinny odpowiadać warunkom, na które urządzenie lub układ został zaprojektowany, zbudowany i dobrany w zakresie: bezpieczeństwa obsługi, zagrożenia porażeniowego, pożarowego, wybuchowego, zagrożenia urazami mechanicznymi, drganiami oraz w zakresie temperatury, wilgotności, stopnia zapylenia i nasłonecznienia, oświetlenia, natężenia pól elektrycznych i magnetycznych, stężenia gazów i par chemicznych.

5.5.2 Ogólne zasady odbioru sieci trakcyjnych

- 5.5.2.1 Odbiorom podlegają urządzenia, obiekty, budowle, teren budowy oraz najbliższe otoczenie miejsca robót.
- 5.5.2.2 Celem odbioru jest sprawdzenie czy urządzenia, obiekty lub elementy spełniają wymagania techniczne i inne określone w dokumentach będących podstawą wykonania robót, w szczególności zaś określone w punkcie 5.3.
- 5.5.2.3 Podczas odbioru określa się zakres i kompletność wykonanych prac, ich jakość i przydatność techniczną oraz terminowość wykonania. Ocenia się wpływ wykonanych robót na przyległe elementy infrastruktury i ewentualne ich uszkodzenia, uprzątnięcie miejsca robót oraz sposób postępowania w przypadku wystąpienia usterek. Szczególnemu sprawdzeniu podlegają urządzenia, elementy i obiekty mające wpływ na ochronę środowiska.

5.6 Zakres badań oraz prób odbiorczych

5.6.1 Elementy odbioru układów zasilania

- 5.6.1.1 Program pomontażowych badań odbiorczych urządzenia i/lub układu obejmuje wykonanie co najmniej następujących prób i sprawdzeń:
 - a) sprawdzanie dokumentacji,

- b) oględziny urządzenia,
- c) próby i pomiary parametrów i/lub układu,
- d) sprawdzenie działania urządzenia i/lub układu oraz próby działania w warunkach pracy, o ile jest to możliwe,
- e) badania dodatkowe.

5.6.1.2 Do przeprowadzenia badań i pomiarów należy przystąpić po zakończeniu montażu potwierdzonym przez wykonawcę, przedstawiciela wytwórcy lub zlecającego badania.

Badania mogą być przeprowadzone w trakcie ruchu próbnego lub w czasie eksploatacji wstępnej, jednak wówczas przeprowadzający badania nie wykonuje łączów w obwodach głównych.

W przypadku negatywnych wyników badań po usunięciu usterki czy przyczyny nieprawidłowych wyników pomiarów, pomiary należy powtórzyć, do uzyskania pozytywnych rezultatów.

Przyrządy pomiarowe stosowane w badaniach powinny mieć świadectwa potwierdzające ich sprawność techniczną.

5.6.1.3 Zakres badań i pomiarów:

5.6.1.3.1 Pomiary w obwodach WN i SN

- a) pomiar rezystancji izolacji obejmuje:
 - kable zasilaczy i kable powrotne,
 - przekładniki prądowe,
 - przekładniki napięciowe,
 - szyny zbiorcze rozdzielni,
 - wyłączniki mocy,
 - transformatory trakcyjne,
 - autotransformatory,
 - transformatory potrzeb własnych,
- b) pomiar współczynnika absorpcji R60 /R15 obejmuje:
 - transformatory,
 - autotransformatory,
 - przekładniki prądowe,
 - przekładniki napięciowe,
 - wyłączniki mocy olejowe,
 - transformatory potrzeb własnych,
- c) pomiar wytrzymałości izolacji obejmuje:
 - próbę napięciową szyn rozdzielni,
 - próbę napięciową kabli zasilaczy,
- d) pomiar rezystancji uzwojeń obejmuje:
 - transformatory trakcyjne,

- autotransformatory,
- transformatory potrzeb własnych,
- e) pomiar rezystancji uziomów,
- f) pomiar skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.

5.6.1.3.2 Badania w obwodach WN i SN

- a) badania oleju:
 - transformatorów,
 - autotransformatorów,
 - wyłączników olejowych,
- b) sprawdzenie ciśnienia gazu w rozdzielnicach i wyłącznikach SF6
- c) sprawdzenie ciągłości żył kabli powrotnych.

5.6.1.3.3 Próby ruchowe w obwodach WN i SN

- a) sprawdzenie działania obwodów sterowania i automatyki,
- b) sprawdzenie działania obwodów zdalnego sterowania,
- c) sprawdzenie działania obwodów zabezpieczeń:
 - transformatorów,
 - autotransformatorów,
 - linii zasilających,
 - zasilaczy trakcyjnych,
- d) próby zwarciove.

5.6.1.3.4 Badania i pomiary zabezpieczeń prądowych, rezystancji izolacji układów sterowania, skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w obwodach nN.

Dokumenty związane z wykonaniem prób, badań i pomiarów:

- deklaracje zgodności,
- atesty,
- certyfikaty,
- aprobaty techniczne,
- protokoły prób fabrycznych,
- świadectwa kontroli jakości,
- protokoły badań fabrycznych,
- dokumentacja techniczno ruchowa,

odnoszące się do urządzeń, materiałów, osprzętu, kabli i przewodów oraz innych elementów zastosowanych w budowie podstacji trakcyjnych, stacji autotransformatorowych, stacji rozdzielczych i kabin sekcyjnych.

Badania należy wykonywać stosując metody określone w odpowiednich normach wyrobu, jeżeli metody te mogą być zastosowane w miejscu zainstalowania urządzenia

5.6.1.4 Próby napięciowe i prądowe

Po sprawdzeniu kompletności wymaganej dokumentacji i wykonaniu badań i pomiarów zakończonych wynikiem pozytywnym osoba uprawniona przekazuje informację do odpowiednich służb ruchowych o gotowości urządzeń do podania napięcia.

Proces podania napięcia i próba obciążeniowa opisane są szczegółowo w programie uruchomienia nowych urządzeń i/lub układów. Program wykonany przez lub na zlecenie właściciela nowo uruchamianych urządzeń musi być uzgodniony i zatwierdzony przez OSD i/lub OSP zgodnie z zapisami IRiESP [26] i IRiESD danego operatora w części dotyczącej przyłącza do systemu elektroenergetycznego. Przed realizacją programu uruchomienia lub w jego trakcie zgodnie z zapisami programu muszą być zmienione nastawy zabezpieczeń wg EAZ odpowiednio: OSP dla sieci 400 i 220 kV i OSD dla sieci 110 kV. Zmiany nastaw wykonują uprawnione do tego służby. Po realizacji programu uruchomienia wymagany jest powrót do konfiguracji sieci zgodnej z normalnym układem pracy i powrót do określonych przez EAZ nastaw zabezpieczeń.

5.6.2 Elementy odbioru sieci trakcyjnej

5.6.2.1 Dokumentacja

W czasie odbioru wykonawca przedstawia:

- dziennik budowy;
- dokumentację powykonawczą;
- protokoły odbioru poszczególnych faz robót oraz protokoły usunięcia usterek stwierdzonych przy odbiorze poszczególnych faz;
- oświadczenie kierownika budowy o wykonaniu obiektu budowlanego zgodnie z projektem budowlanym i warunkami określonymi w pozwoleniu na budowę oraz z obowiązującymi normami i przepisami;
- informacje wynikające z „Wytocznych odbioru i eksploatacji fundamentów palowych stosowanych na liniach kolejowych dla ustawienia konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej” [37];
- protokół pomiarów geometrii sieci jezdnej zawierający:
 - wysokości zawieszenia przewodu jezdnej w stanie statycznym,
 - odsuwy przewodu jezdnej w stanie statycznym,
 - pionowe odległości wysięgników pomocniczych od powierzchni przewodu jezdnej;
- protokół pomiaru ograniczników napięciowych;
- protokół pomiaru wypadkowej rezystancji uziomów sekcji uziemienia grupowego;
- protokół wyników współpracy pantografu z siecią jezdnią z pomiarów wykonanych zgodnie z pkt 5.6.2.2.2;

- protokoły przewidywanych odzysków (protokoły przekazania materiałów z demontażu, protokół z rozliczenia złomu);
- pisemne oświadczenie stwierdzające, że zastosowane urządzenia i materiały są atestowane;
- protokół usunięcia usterek stwierdzonych podczas odbiorów częściowych;
- dokumenty związane z wykonaniem robót dodatkowych (dokumentacja, protokoły odbioru);
- oryginały lub kserokopie poświadczone za zgodność z oryginałem świadectw dopuszczenia, atestów, certyfikatów, świadectw zgodności lub innych dokumentów dotyczących wbudowanych materiałów z dokonanymi adnotacjami kierownika robót i inspektora nadzoru o miejscach zabudowy w/w materiałów;
- wyniki badań, wykonanych przez laboratorium notyfikowane, jakości próbek wykonanego betonu;
- oświadczenie kierownika budowy o doprowadzeniu do należytego stanu i porządku terenu budowy, a także ulicy, sąsiedniej nieruchomości, budynku lub lokalu – w przypadku korzystania z nich.

5.6.2.2 Parametry sieci jezdnej

5.6.2.2.1 Elementy odbioru statycznego

Podczas odbioru statycznego sieci jezdnej sprawdzeniu podlega:

- stan dokręcenia śrub i zabezpieczeń nakrętek przed zlurowaniem,
- stan techniczny oraz zgodność typów zastosowanych konstrukcji wsporczych, fundamentów z dokumentacją techniczną oraz prawidłowości ich posadowienia i ustawienia (skrajnia),
- stan techniczny oraz zgodność położenia z tabelami montażowymi urządzeń naprężających,
- stan techniczny oraz zgodność położenia z tabelą montażową podwieszeń sieci trakcyjnej (przelotowych, krzyżowych, rozjazdowych itp.) i ich elementów,
- wielkość zwisu liny kotwienia środkowego i wykonania połączenia „V”,
- wysokość zawieszenia przewodów jezdnych, lin nośnych, zasilaczy dodatkowych, przewodów powrotnych,
- rozstawienie wieszaków oraz prawidłowość wykonania,
- odsuw sieci jezdnej,
- prawidłowość wykonania połączeń elektrycznych,
- prawidłowość działania rozłączników sieciowych, ich napędów, wykonania połączeń elektrycznych oraz numeracji,
- prawidłowość montażu odgromników,

- prawidłowość montażu uelastycznienia,
- prawidłowość montażu izolatorów sekcyjnych,
- prawidłowość montażu rozjazdu sieciowego,
- prawidłowość wykonania przęseł naprężenia,
- prawidłowość wykonania sekcji separacji faz,
- prawidłowość wykonania sekcji separacji systemów,
- prawidłowość zabezpieczenia antykorozyjnego konstrukcji wsporczych,
- prawidłowość wykonania głowic fundamentowych oraz klasę betonu,
- prawidłowość wykonania lokat konstrukcji wsporczych,
- ustawienie wskaźników We, tablic ostrzegawczych i informacyjnych,
- odległość izolacyjnych elementów sieci trakcyjnej lub odbieraka prądu będących pod napięciem 25 kV od przedmiotów uziemionych lub należących do innych grup zasilania.

5.6.2.2.2 Elementy odbioru dynamicznego

Sprawdzenie współpracy sieci jezdnej z odbierakiem prądu w warunkach dynamicznych wykonywać należy zgodnie metodyką przedstawioną w pkt 4.2.16 oraz 4.2.17 TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [10], a dotyczącą badania:

- przemieszczenia pionowego punktu styku pantografu z przewodem jezdny i albo,
- średniej siły nacisku F_m oraz odchylenia standardowego σ_{max} ,
- lub procentowego udziału wyładowań łukowych (metodyka pomiaru według pkt 8 normy PN-EN 50317:2002 [71]).

Dodatkowo należy sprawdzić prawidłowość wykonania:

- sekcji separacji faz i sekcji separacji systemów,
- wspólnej bieżni przęseł naprężenia,
- rozjazdów sieciowych.

Dokładność badań musi spełniać wymagania PN-EN 50317:2002 [71].

Podczas wykonywania badań, w celu zapewnienia powtarzalności i porównywalności wyników, należy odnotować:

- prędkość pociągu pomiarowego i jego dane techniczne (konfiguracje, kierunek jazdy itp.),
- warunki środowiskowe (temperaturę powietrza, prędkości i kierunek wiatru),

5.6.2.2.3 Kryteria oceny oraz dopuszczalne odchyłki

Lp.	Nazwa parametru	Wartości i opis
1.	Typ sieci oraz naciągi w przewodach jezdnych, linach nośnych	Typ sieci trakcyjnej musi spełnić wymagania dokumentacji dopuszczenia typu.
2.	Maksymalna prędkości robocza sieci jezdnej	Nie może być większa, niż 70% prędkości rozchodzenia się fali mechanicznej.
3.	Długość zawieszenia „Y”	Zgodnie z dokumentacją projektową i metryką typu sieci trakcyjnej, dopuszczalna tolerancja ± 50 mm.
5.	Maksymalne dopuszczalne uniesienie przewodu jezdnego przez pantograf w miejscu jego podwieszenia	≤ 120 mm
6.	Udział procentowy przerw stykowych	$\leq 0,14\%$
7.	Średnia siła stykowa F_m	F_m nie większa niż $0,00097 \cdot v^2 + 70$ [N]
8.	Odchylenie standardowe przy maksymalnej prędkości linii $\sigma_{\max}$ (N)	$\leq 0,3 F_m$
9.	Konstrukcje wsporcze	Tolerancja posadowienia konstrukcji wsporczej nie może przekraczać: - w płaszczyźnie równoległej do osi toru ± 500 mm, - w płaszczyźnie prostopadłej do osi toru: 0 mm (w kierunku do osi toru) oraz 50 mm (w kierunku od osi toru). Odchyłki od pionu słupa przy wierzchołku: ± 20 mm Konstrukcje wsporcze nie mogą posiadać uszkodzeń zewnętrznych warstw farby, natomiast fundamenty nie mogą mieć pęknięć betonu lub wystających na zewnątrz prętów zbrojeniowych.
10.	Nominalna wysokość zawieszenia przewodu jezdnego	od 5080 do 5300 mm z tolerancją ± 20 mm
11.	Różnica wysokości zawieszenia przewodów jezdnych nad płaszczyzną główki szyn pomiędzy sąsiednimi punktami podwieszenia	Nie dopuszcza się zmiany wysokości.
12.	Pionowa odległość wysięgnika pomocniczego od powierzchni ślizgowej przewodów jezdnych	$\geq 2 \cdot S_0$ – gdzie S_0 określa maksymalne uniesienie przewodu jezdnego wywołane oddziaływaniem odbieraka prądu, w miejscu podwieszenia, przy maksymalnej prędkości jazdy, jednak nie mniej niż 240 mm.
13.	Ustawienie wysięgników ruchomych w zależności od temperatury	Zgodnie z dokumentacją projektową, przy czym maksymalny kąt odchylenia wysięgnika od płasz-

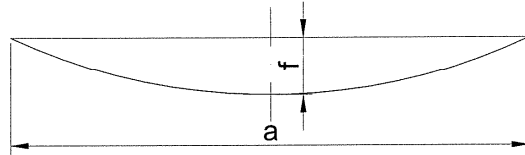
	ry otoczenia	czyzny poziomej powinien być $\leq 12^\circ$.
14.	Dopuszczalne przemieszczenie poprzeczne zewnętrznego przewodu jezdnego pod naporem wiatru	≤ 400 mm
16.	Wysokość zawieszenia ciężarów naprężających oraz odległość między rolkami przy kotwieniu ciężarowym	Zgodnie z dokumentacją techniczną i tabelą katalogową osprzętu sieci trakcyjnej.
17.	Zwis liny kotwienia środkowego	Zgodnie z dokumentacją techniczną i tabelą katalogową osprzętu sieci trakcyjnej, jednak nie niżej niż 300 mm ponad wysokością zawieszenia przewodu jezdnego danego toru, tolerancja zwisu liny kotwienia środkowego ± 20 mm.
18.	Zwis zasilacza dodatkowego lub przewodu uziemiająco-powrotnego	Zgodnie z dokumentacją techniczną, różnica wysokości w stosunku do wartości podanych w dokumentacji może przekroczyć ± 100 mm i przewody te nie powinny się znajdować poniżej przewodów jezdnych.
19.	Rozstaw wieszaków i ich ilość wzdłuż przęsła zawieszenia	Zgodnie z tabelą montażową i dokumentacją techniczną, tolerancja rozstawienia wieszaków ± 50 mm.

6 Załączniki

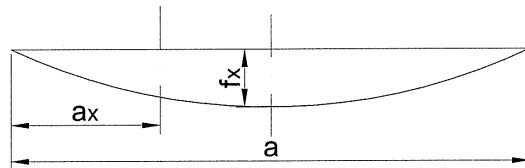
PODSTAWOWE WZORY ZALECANE DO OBLICZEŃ
SIECI JEZDNYCH

1. Zwis przewodu rozpiętego1.1. w środku rozpiętości przęsła

$$f = \frac{a^2 \cdot G}{8X} \quad [\text{m}]$$

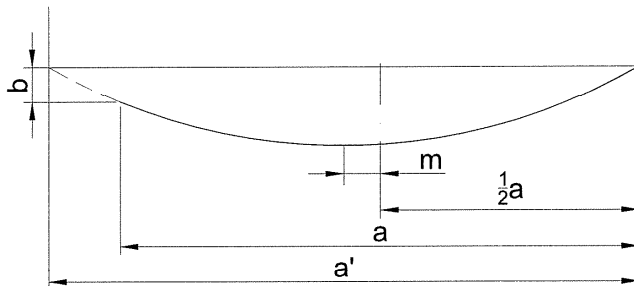
1.2. w dowolnym punkcie przęsła

$$f_x = \frac{a_x \cdot (a - a_x) \cdot G}{2X} \quad [\text{m}]$$

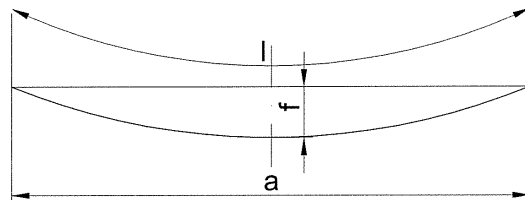
2. Mimośród w przęśle pochyłym

$$m = \frac{b \cdot X}{a \cdot G} \quad [\text{m}]$$

$$a' = a + 2m$$

3. Długość linki w przęśle

$$l = a + \frac{8 \cdot f^2}{3a} \quad [\text{m}]$$

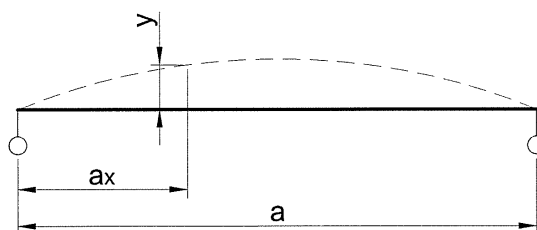
4. Parcie wiatru na przewody

$$w = C \cdot K \cdot p \cdot A \quad [\text{daN/m}]$$

gdzie: wartość współczynnika opływu K wg. punktu 3.1.5.5; C - wg. PN-E-05100-1:1998

5. Wywianie liny lub przewodu w dowolnym punkcie5.1 lina nośna

$$y_{ln} = \frac{(a - a_x) \cdot w_{ln}}{2X} \quad [\text{m}]$$

5.2. przewód jezdny

$$y_{dj} = \frac{(a - a_x) \cdot w_{dj}}{2N} \quad [\text{m}]$$

6. Wychylenie sieci od parcia wiatru

6.1. wychylenie na prostej

$$U = \frac{a^2 \cdot w}{8 \cdot (X+N)} + \frac{(z_1 - z_2)^2}{2a^2 \cdot \frac{W}{(X+N)}} \pm \frac{z_1 + z_2}{2} \quad [\text{m}]$$

gdy $z_1 = z_2 = z$

$$U = \frac{a^2 \cdot w}{8 \cdot (X+N)} + \frac{2 \cdot (X+N)}{a^2 \cdot w} \cdot z^2 \quad [\text{m}]$$

6.2. wychylenie na łuku

$$U = \frac{a^2}{8} \cdot \left(\frac{w}{X+N} \mp \frac{1}{R} \right) + \frac{(z_1 - z_2)^2}{2 \cdot a^2 \left(\frac{w}{X+N} \mp \frac{1}{R} \right)} \pm \frac{z_1 + z_2}{2} \quad [\text{m}]$$

gdy $|z_1| = |z_2| = z$

$$U = \frac{a^2}{8} \left(\frac{w}{X+N} \mp \frac{1}{R} \right) \pm z \quad [\text{m}]$$

7. Maksymalna rozpiętość przęsła

7.1. rozpiętość na prostej

$$a_{\max} = \sqrt{\frac{2(X+N)}{w} \left\{ 2 \cdot U_m \mp (z_1 + z_2) + \sqrt{[2 \cdot U_m \mp (z_1 + z_2)]^2 - (z_1 - z_2)^2} \right\}} \quad [\text{m}]$$

wzór odpowiada przypadkowi, gdy odsuwy sieci są na przemian po jednej i po drugiej stronie osi toru

gdy $|z_1| = |z_2| = z$

$$a_{\max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(X+N)}{w} \cdot \left(U_m + \sqrt{U_m^2 - z^2} \right)} \quad [\text{m}]$$

7.2. rozpiętość na łuku

$$a_{\max} = \sqrt{\frac{2(X+N)}{w \mp \frac{X+N}{R}} \left\{ 2 \cdot U_m \mp (z_1 + z_2) + \sqrt{[2 \cdot U_m \mp (z_1 + z_2)]^2 - (z_1 - z_2)^2} \right\}} \quad [\text{m}]$$

górne znaki odpowiadają kierunkowi wiatru od wewnątrz łuku.

Wzory z p-któw 6 i 7 są słuszne gdy:

$$\frac{w_{dj}}{w_{ln}} = \frac{X}{N}$$

w innych przypadkach wychylenie lub maksymalną rozpiętość należy określić oddzielnymi obliczeniami dla liny i przewodów jezdnych.

8. Rozpiętość zastępcza

$$a_z = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}} \quad [\text{m}]$$

9. Rozpiętość przełomowa

$$a_p = p \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (t_s - t_m)}{g_s^2 - g_m^2}} \quad [\text{m}]$$

w sieci trakcyjnej $a_p > a$ (największe naprężenie występuje przy mrozie)

10. Równanie stanów

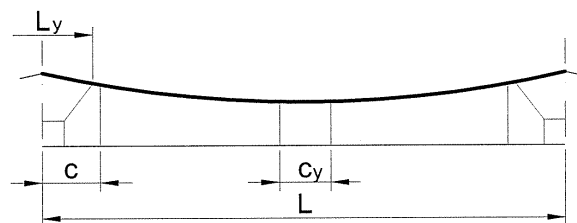
$$p_2 - \frac{a^2 \cdot g_2^2}{24 \cdot \beta \cdot p_2^2} = p_1 - \frac{a^2 \cdot g_1^2}{24 \cdot \beta \cdot p_1^2} + \frac{\alpha}{\beta} (t_2 + t_1)$$

11. Elastyczność11.1. w punkcie podwieszenia

$$e_o = \frac{1}{\frac{2(X - Z_y)}{0,5 \cdot L_y} \cdot \gamma + \frac{2(N - Z_y)}{L}} \quad [\text{mm} / \text{N}]$$

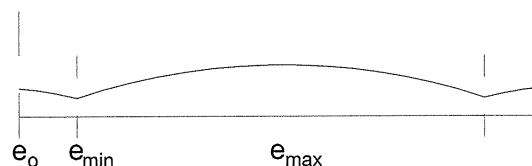
$$\gamma = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot L_y \cdot N}{c \cdot X}}$$

c - odl. pierwszego wieszaka za Y [m]

11.2. w punkcie 1-szego wieszaka za "Y"

$$e_{\min} = \frac{c \cdot (L - c)}{L \cdot (X + \varphi N)} \quad [\text{mm} / \text{N}]$$

$$\varphi = \frac{(L - 2c)^2}{L^2}$$

11.3. w środku rozpiętościa. bez wieszaka w środku przęsła

$$e_{\max} = \frac{L \cdot N + c_1 X}{4N(X + N)} \quad [\text{mm} / \text{N}]$$

c_1 - odl. między wieszakami w środku przęsła

b. z wieszakiem w środku przęsła

$$e_{\max} = \frac{L}{4 \cdot (X + N)} \quad [\text{mm} / \text{N}]$$

12. Wsp. nierównomierności elastyczności

$$u = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} + e_{\min}} \cdot 100 \quad [\%]$$

13. Częstotliwość drgań własnych

$$f = \frac{0,436}{L} \sqrt{\frac{X + N}{m_l + m_{dj}}} \quad [\text{Hz}]$$

14. Okres drgań własnych

$$T = \frac{1}{f} \quad [\text{s}]$$

15. Prędkość krytyczna

$$V_{kr} = 3,6 \cdot 0,46L \sqrt{\frac{X + N}{m_l + m_{dj}}} \quad [\text{km / h}]$$

16. Prędkość rozchodzenia się impulsu

$$V_p = 3,6 \sqrt{\frac{X + N}{m_l + m_{dj}}} \quad [\text{km / h}]$$

17. Wsp. Dopplera

$$\alpha = \frac{V_p - V}{V_p + V}$$

18. Wsp. odbicia fali zakłóceniewej

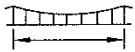
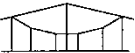
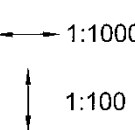
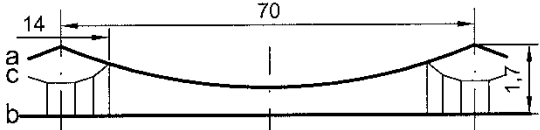
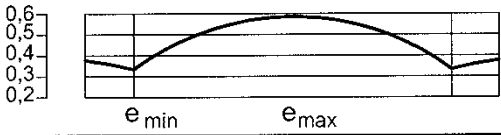
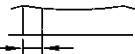
$$r = \frac{\sqrt{X \cdot m_l}}{\sqrt{X \cdot m_l} + \sqrt{N \cdot m_{dj}}}$$

OZNACZENIA:

X	- naciąg w linii nośnej	- daN lub N
N	- naciąg w przewodach jezdnych	- daN lub N
Z _Y	- naciąg w lince zaw. elastycznego	- daN lub N
a, L, l	- rozpiętość przęsła	- m
L _Y	- długość zawieszenia elastycznego	- m
a _x	- odległość od p-ktu podwieszenia	- m

b	– różnica poziomów p-któw podwieszenia	– m
R	– promień łuku	– m
z_1, z_2	– odsuwy sieci jezdnej (wartość względna)	– m
U_m	– dopuszczalne wychylenie przewodu	– m
α	– wsp. wydłużenia cieplnego	– $1/1^\circ\text{C}$
β	– wsp. wydłużenia sprężystego	– mm^2/N
t_1, t_2	– temperatury w stanach 1 i 2	– $^\circ\text{C}$
t_s	– temperatura w warunkach sadzi	– $^\circ\text{C}$
t_m	– temperatura w warunkach mrozu	– $^\circ\text{C}$
p_1, p_2	– naprężenia przewodu w stanach 1 i 2	– Mpa
p	– zastosowane naprężenie w przewodzie	– Mpa
g_1, g_2	– jednostkowe obciążenia przewodów w stanie 1 i 2	– daN/m mm^2
g_s	– jednostkowe obciążenie przewodu w stanie sadzi	– daN/m mm^2
g_m	– jednostkowe obciążenie przewodu w stanie mrozu	– daN/m mm^2
w	– parcie wiatru na sieć jezdnią	– daN/m
w_{ln}	– parcie wiatru na linę nośną	– daN/m
w_{dj}	– parcie wiatru na przewody jezdne	– daN/m
G	– jednostkowy ciężar przewodów	– daN/m
A	– rzut powierzchni przewodów na płaszczyznę prostopadłą do kierunku wiatru	– m^2
V	– prędkość zakładana	– km/h
m_l	– jednostkowa masa liny nośnej	– kg/m
m_{dj}	– jednostkowa masa przewodów jezdnych	– kg/m

METRYKA SIECI JEZDNEJ Y_{ws} C120-2C-1

SIEĆ JEZDNA DLA PRĘDKOŚCI DO 160 km/h				
1			rodzaj sieci	skompensowana
2	mm ²	a+b+c	przekrój	Cu120+2Cu100+Cu25
3	m		rozpiętość przęsła	70
4	m		dł. zawieszenia "Y"	14
5	m		odległość między wieszakami	4
6		 1:1000 1:100 konstrukcja a - lina nośna b - przew. jezdne c - lina uelast. "Y"		
7	$\frac{mm}{N}$	e	elastyczność wzdłuż przęsła	
8	daN	F _a	naciąg w linie nośnej	1576
9	daN	F _b	naciąg w przew. jezdnych	1918
10	daN	F _c	naciąg w linie uelast. "Y"	345
11	$\frac{mm}{N}$	e _{max}	elastyczność max.	0,586
12	%		położenie % rozpiętości	50
13	$\frac{mm}{N}$	e _{min}	elastyczność min.	0,312
14	%		położenie % rozpiętości	10
15	$\frac{mm}{N}$	e _{śr}	elastyczność średnia	0,449
16	%	u	wsp. nierównomierności elastyczności	30,4
17	s	T	okres drgań własnych	1,38
18	Hz	f	częstotliwość drgań własnych	0,725
19	$\frac{km}{h}$	V _k	prędkość krytyczna	182,6
20	$\frac{km}{h}$	V _p	prędkość rozchodzenia się impulsu	397,0
21		α	wsp. Dopplera	0,425
22		r	wsp. odbicia fali zakłócenkowej	0,41
23	cm		zwis przew. jezdne	0

7 Informacje o zespole autorsko-konsultacyjnym

W opracowaniu dokumentu uczestniczyły następujące osoby:

prof. nzw. dr hab. inż. Adam Szeląg – konsultant naukowy

doc. dr inż. Leszek Mierzejewski – kierownik projektu

dr inż. Paweł Korobłowski

dr inż. Tadeusz Maciołek

mgr inż. Jarosław Boratyński

mgr inż. Jerzy Freliszka

mgr inż. Joanna Futymska

mgr inż. Marek Kaniewski

mgr inż. Jerzy Wrotek

mgr inż. Jacek Zgiep

inż. Zbigniew Siennicki – koordynator projektu z ramienia CBP-BBK „KOL-PROJEKT” Spółka z o.o.

mgr inż. Radosław Burak-Romanowski – koordynator projektu z ramienia PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Tabela zmian

Lp. zmiany	Przepis wewnętrzny, którym zmiana została wprowadzona (rodzaj, nazwa i tytuł)	Jednostki redakcyjne w obrębie których wprowadzono zmiany	Data wejścia zmiany w życie

Załącznik do
Wytycznych projektowania, budowy i odbioru
sieci trakcyjnej oraz układów zasilania 2×25 kV AC
dla linii kolejowych o prędkości do 350 km/h



PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.

Komentarz do

**Wytycznych projektowania, budowy i odbioru sieci trakcyjnej
oraz układów zasilania 2×25 kV AC
dla linii kolejowych o prędkości do 350 km/h**

Warszawa, 2010 rok

Właściciel: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Wydawca: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrala
Biuro Energetyki
ul. Targowa 74, 03-734 Warszawa
tel. 22 47 320 70
www.plk-sa.pl, e-mail: ien@plk-sa.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Modyfikacja, wprowadzanie do obrotu, publikacja, kopiowanie i dystrybucja
w celach komercyjnych, całości lub części instrukcji,
bez uprzedniej zgody PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. – są zabronione

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
1.1. Wymagania ogólne	7
1.1.1. Podstawowe kryteria przy projektowaniu układu zasilania	7
1.1.2. Podstawowe kryteria przy projektowaniu sieci trakcyjnej.....	8
1.2. Zagadnienia ekologiczne	8
1.3. Kompatybilność infrastruktury technicznej	9
2. OGÓLNE WYMAGANIA TECHNICZNE W ODNIESIENIU DO PODSYSTEMU „ENERGIA” ZELEKTRYFIKOWANYCH LINII KOLEJOWYCH.	10
2.1. Kategoryzacja linii	10
2.1.1. Sieć transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej	10
2.1.2. Sieć transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości	10
3. ZAGADNIENIA INTEROPERACYJNOŚCI TRANSEUROPEJSKICH LINII KOLEJOWYCH – PODSYSTEM „ENERGIA”	12
3.1. Główne kryteria i wymagania techniczne dyrektywy 2008/57/WE.....	12
3.1.1. Ogólne wymagania dot. interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei we Wspólnocie – wybrane zagadnienia	12
3.1.2. Załącznik II Podsystemy.....	13
3.1.3. Załącznik VI Procedura weryfikacyjna WE dla podsystemów.....	13
3.2. Rozwiązania technologiczne narzucane przez Decyzję Komisji UE 2008/284/WE	15
3.2.1. Przepisy ogólne	15
3.2.2. Napięcie i częstotliwość.....	15
3.2.3. Parametry systemu i moc zainstalowana	16
3.2.4. Hamowanie odzyskowe	17
3.2.5. Emisje harmonicznych do sieci energetyki publicznej	17
3.2.6. Zewnętrzna kompatybilność elektromagnetyczna	17
3.2.7. Ciągłość zasilania energią elektryczną w razie zakłóceń.....	17
3.2.8. Sieć trakcyjna	17
3.2.8.1. Ogólna konstrukcja	17
3.2.8.2. Geometria sieci jezdnej	17
3.2.8.3. Zgodność systemu sieci trakcyjnej ze skrajnią infrastruktury	18
3.2.8.4. Materiał przewodu jezdnego	19
3.2.8.5. Prędkość propagacji fali w przewodzie jezdnym	19
3.2.8.6. Nacisk statyczny	19
3.2.8.7. Średnia siła nacisku	19
3.2.8.8. Charakterystyka dynamiczna i jakość odbioru prądu	20
3.2.8.9. Przemieszczenie pionowe punktu styku	22
3.2.8.10. Obciążalność prądowa systemu sieci trakcyjnej: system AC, pociągi w ruchu.....	22
3.2.8.11. Rozstaw pantografów dla danej konstrukcji sieci trakcyjnej.....	23
3.2.8.12. Sekcje separacji faz	23
3.2.8.13. Sekcje separacji systemów.....	24
3.2.8.14. Organizacja koordynacji zabezpieczeń elektrycznych	25
3.2.8.15. Wpływ zakłóceń harmonicznych i dynamicznych	25
4. UKŁAD ZASILANIA W SYSTEMIE 25 KV 50 HZ AC	26

4.1.	Schematy systemu zasilania trakcyjnego 25 kV 50 Hz AC.....	26
4.1.1.	Układ zasilania 1×25 kV	29
4.1.2.	Układ zasilania 2×25 kV	30
4.2.	Sieć powrotna	32
4.3.	Podstacje trakcyjne	33
4.3.1.	Zasilanie elektroenergetyczne.....	35
4.3.1.1.	Wspólne uziemienie podstacji trakcyjnej i energetycznej.....	38
4.3.1.2.	Separowanie uziemienia stacji energetycznej i podstacji trakcyjnej	38
4.3.1.3.	Położenie punktu zerowego (neutralnego) w stosunku do ziemi	38
4.4.	Kabiny sekcyjne i sekcjonowanie układu zasilania	39
4.5.	Układ zasilania w warunkach normalnych i awaryjnych	41
4.6.	Przykładowe parametry elektryczne sieci trakcyjnej (linia Rzym-Neapol)	41
5.	ZASILANIE Z ENERGETYKI PUBLICZNEJ I PRZYŁĄCZA.....	42
5.1.	Wymagania dotyczące przyłączenia do sieci elektroenergetycznej	42
5.1.1.	Pomiar energii	42
5.1.2.	Moce szczytowe w systemie 25 kV w porównaniu do systemu 3 kV DC.....	43
5.1.3.	Parametry jakościowe energii elektrycznej	53
5.2.	Zasilanie obwodów potrzeb własnych i odbiorów nietrakcyjnych.....	54
5.3.	Wymagania ogólne	55
5.3.1.	Poziom napięcia i częstotliwości systemów trakcyjnych	55
5.3.1.1.	Poziom napięcia.....	55
5.3.1.2.	Częstotliwość	56
5.3.2.	Dopuszczalny pobór mocy	56
5.3.2.1.	Maksymalny prąd pociągu	56
5.3.2.2.	Automatyczna regulacja	57
5.3.3.	Napięcie na pantografie (wskaźnik jakości dostawy energii)	58
5.4.	Granice systemów	58
5.4.1.	Wymagania dotyczące przełączenia zasilania.....	58
5.4.2.	Problemy występujące w obszarach stykowych systemów AC i DC	59
5.5.	Przykłady zagrożeń	60
5.5.1.	Prądy stałe w systemie AC.....	60
5.5.2.	Występowanie napięć.....	61
5.5.3.	Występowanie strefy oddziaływania sieci trakcyjnej i odbieraka	61
5.5.4.	Obiekty i urządzenia wspólne dla obu systemów.....	61
6.	APARATURA I WYPOSAŻENIE UKŁADU ZASILANIA – WYMAGANIA I PARAMETRY	62
6.1.	Wymagane parametry urządzeń.....	62
6.2.	Wymagany poziom izolacji	62
6.3.	Rozdzielnie i aparatura rozdzielcza	67
6.3.1.	Wyłączniki mocy	68
6.3.2.	Wyłączniki trakcyjne 25 kV 50 Hz	69
6.3.3.	Transformatory zasilające obwody sieci trakcyjnej	70
6.3.3.1.	Przykłady zastosowań	72
6.3.3.2.	Impedancja transformatora.....	74
6.3.3.3.	Rdzeń i uzwojenia.....	74

6.3.3.4.	Przekładnia napięciowa i odczepy.....	74
6.3.3.5.	Zabezpieczenie transformatora trakcyjnego.....	74
6.3.3.6.	Poziom hałasu	75
6.3.3.7.	Testy odbiorcze transformatorów	75
6.3.4.	Autotransformatory – jednofazowe 55/27,5 kV	75
6.3.5.	Booster transformatory	76
6.3.6.	Transformatory potrzeb własnych	78
6.3.7.	Filtry	79
6.3.8.	Symetryzatory i kompensatory mocy biernej.....	80
6.3.9.	Kompensacja mocy biernej	81
6.4.	Wymagania TSI dotyczące współczynnika mocy.....	83
6.5.	Obwody automatyki, pomiarów i sterowania oraz układy zabezpieczeń	84
6.5.1.	Systemy monitoringu, pomiarów, zarządzania, sterowania i automatyki.....	84
6.5.2.	Wykrywanie zwarć doziemnych	85
6.5.3.	Zabezpieczenia transformatora.....	85
6.5.4.	Zabezpieczenie sieci trakcyjnej.....	86
6.5.5.	Ochrona kabli zasilających	87
6.5.6.	Koordinacja środków ochrony przeciwzwarciowej trakcyjnej podstacji i jednostki trakcyjnej	88
6.5.6.1.	Ponowne załączenie wyłączników na podstacji	89
6.5.6.2.	Wyłączniki w jednostkach trakcyjnych	89
6.6.	Ochrona odgromowa.....	89
6.7.	Odstępy izolacyjne	91
6.8.	Linie zasilające.....	91
6.9.	Zasilacze	92
6.10.	Szyny zbiorcze, przewody i połączenia prądowe.....	92
7.	WYMAGANE PARAMETRY DLA UKŁADU ZASILANIA	93
7.1.	Metody analizy układu zasilania	93
7.2.	Impedancje własne i wzajemne.....	93
7.2.1.	Przykład obliczania impedancji własnych i wzajemnych ZLK 50 Hz.....	103
7.2.2.	Model systemu 25kV 50Hz z eliminacją sprzężeń	105
7.2.3.	Porównanie wartości impedancji wyznaczonych teoretycznie z uzyskanymi z pomiarów....	107
7.3.	Modelowanie podstacji prądu przemiennego i autotransformatorów	107
7.3.1.	Model podstacji.....	107
7.3.2.	Modele autotransformatorów.....	107
7.4.	Obliczenia zapotrzebowania mocy i energii	109
7.5.	Obliczenia spadków napięć	109
7.5.1.	Średnie napięcie użyteczne	111
7.5.1.1.	Minimalne wartości $U_{\text{średnie użyteczne}}$ na pantografie	111
7.5.1.2.	Relacja pomiędzy napięciem średnim użytecznym $U_{\text{średnie użyteczne}}$ a napięciem U_{min1} ...	112
7.5.1.3.	Obliczenie średniego napięcia użytecznego	112
7.6.	Obliczenia prądów roboczych.....	113
7.7.	Obliczenia prądów zwarciovych.....	113
7.7.1.	Przykład obliczeń.....	114
8.	ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO I INFRASTRUKTURĘ TECHNICZNĄ.....	116
8.1.	Zakłócające oddziaływanie na infrastrukturę i otoczenie linii kolejowej.....	116

8.2.	Zakłócenia elektryczne (wyższe harmoniczne, przepięcia, zapady napięcia).....	116
8.3.	Zakłócenia elektromagnetyczne	118
8.3.1.	Napięcia indukowane	118
8.3.2.	Zakłócenia radioelektryczne	118
8.4.	Prądy ziemnopowrotne	119
8.5.	Środki zaradcze	119
8.6.	Asymetria	119
8.7.	Ochrona przeciwporażeniowa.....	127
8.8.	Ochrona odgromowa.....	127
9.	ROZWIĄZANIA UKŁADÓW ZASILANIA NA LINIACH KOLEJOWYCH DUŻYCH PRĘDKOŚCI.....	128
9.1.	Linia Madryt-Sevilla	128
9.2.	Linia TGV Atlantic.....	128
9.3.	Linia Rzym-Neapol.....	130
9.4.	Pociąg Shinkansen.....	134
10.	SIEĆ JEZDNA	135
10.1.	Sieci jezdne dla linii kolejowych dużych prędkości.....	135
10.1.1.	Podstawowe parametry konstrukcyjne.....	135
10.1.2.	Geometria sieci jezdnej, wymagania skrajniowe.....	139
10.2.	Rozwiązania konstrukcyjne wybranych elementów składowych sieci trakcyjnej.....	140
10.2.1.	Przęsła naprężenia i urządzenia kotwienia sieci.....	140
10.2.2.	Rozjazdy sieciowe	145
10.2.3.	Wymagania w stosunku do osprzętu sieciowego.....	146
10.2.4.	Fundamenty konstrukcji wsporczych.....	148
10.3.	Badania i ocena jakości rozwiązań konstrukcyjnych sieci jezdnej.....	151
10.3.1.	Badania symulacyjne.....	151
10.3.1.1.	Modelowanie odbieraków prądu	151
10.3.1.2.	Modelowanie sieci jezdnej	151
10.3.1.3.	Zestaw informacji dodatkowych.....	152
10.3.1.4.	Wyniki symulacji.....	152
10.3.1.5.	Walidacja metod symulacyjnych.....	153
10.3.2.	Pomiary liniowe	153
10.3.2.1.	Zestaw mierzonych parametrów.....	154
10.3.2.2.	Wymagania dotyczące układów pomiarowych	154
10.3.2.3.	Wyniki pomiarów.....	154
10.3.3.	Określenie zgodności elementów systemu odbioru prądu z wymaganiami interoperacyjności..	156
10.3.4.	Nowoczesne technologie pomiarów parametrów współpracy odbieraków prądu z siecią jezdną linii dużych prędkości.....	156
10.3.4.1.	IRIS 320	156
10.3.4.2.	V150.....	158
10.3.4.3.	„Seneca”	159
11.	LITERATURA.....	161
12.	INFORMACJE O ZESPOLE AUTORSKO-KONSULTACYJNYM.....	166

1. Wstęp

W niniejszym opracowaniu przedstawione zostaną ogólne wymagania i zalecenia dla systemu trakcji elektrycznej 25 kV 50 Hz ujęte w obowiązujących rozporządzeniach, ustawach, dyrektywach i technicznych specyfikacjach interoperacyjności UE oraz innych aktach prawnych obowiązujących na Terytorium Rzeczypospolitej Polskiej oraz na obszarze Unii Europejskiej. Wymagania te przedstawione zostaną w zestawieniu z wdrożonymi w innych krajach rozwiązaniami układów zasilania i sieci trakcyjnych dla linii kolejowych dużych prędkości.

1.1. Wymagania ogólne

W niniejszych Wytycznych zestawione są wymagania dotyczące stosowania systemu zasilania 25 kV 50 Hz dla linii kolejowych w Polsce przeznaczonych dla ruchu pociągów pasażerskich z prędkościami powyżej 200 km/h.

Projekty odnoszące się do zelektryfikowanych linii kolejowych wymagają skoordynowania zakresu prac w poszczególnych branżach infrastrukturalnych takich jak: zasilania elektroenergetycznego i elektrotrakcyjnego, sygnalizacji i sterowania oraz określenia założeń w odniesieniu do przewidywanego taboru. Wymaga to włączenia w proces przygotowania dokumentacji projektowej służb eksploatacji i utrzymania linii kolejowej, tak, aby uwzględniać zarówno szczegółowe wymagania techniczne jak i ograniczenia finansowo-ekonomiczne projektu.

1.1.1. Podstawowe kryteria przy projektowaniu układu zasilania

Przy projektowaniu układów zasilania spełnić należy między innymi wymagania dotyczące:

- dopuszczalnych minimalnych i maksymalnych wartości napięć (krótkotrwałych i długotrwałych) na odbieraku pojazdu trakcyjnego oraz wartości tzw. średniego napięcia użytecznego wg TSI,
- zdolności przesyłu wymaganych mocy i energii,
- skutecznego wyłączenia zwarć,
- generacji zakłóceń i odkształceń na dopuszczalnym poziomie określonym przez właściwe normy i przepisy oraz oddziaływania na zasilający publiczny system elektroenergetyczny,
- minimalizacji zjawiska prądów błędzących,
- wysokiej sprawności energetycznej,
- bezpiecznej eksploatacji i ochrony przeciwporażeniowej.

Spełnianie wymaganych kryteriów zapewnia:

- dobór źródeł zasilających (system elektroenergetyczny) o odpowiednich parametrach – dotyczy to głównie wartości mocy zwarciowej źródła, będącą miernikiem jego impedancji wewnętrznej, symetrii trójfazowych obwodów zasilających, oraz poziomu napięcia (odpowiednio wysoki) w węźle wspólnego połączenia (PCC) odbiorów trakcyjnych i innych odbiorów publicznych,
- lokalizacja podstacji trakcyjnych tak, aby linie zasilające miały długości nie powodujące nadmiernych spadków napięć,

- dobór maksymalnych odległości między podstacjami ze względu na dopuszczalne spadki napięć, moce obciążenia podstacji trakcyjnych oraz identyfikację zwarć,
- wartość mocy zainstalowanych w podstacjach trakcyjnych (transformatory, zespoły prostownikowe) zapewniająca przenoszenie założonych obciążeń,
- stosowanie urządzeń kompensujących spadki napięcia w obwodzie układu zasilania np. autotransformatory w systemie 2×25 kV AC, lub transformatory z odczepową regulacją napięcia pod obciążeniem,
- dobór przekrojów elektrycznych przewodów głównych torów prądowych zapewniających przenoszenie wymaganych obciążeń,
- dobór aparatury łączeniowej o odpowiednich parametrach,
- stosowanie filtrów, kompensatorów i innych urządzeń niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania podstacji,
- stosowanie izolacji o odpowiednich parametrach, uziemień ochronnych, aparatury i urządzeń zabezpieczających.

1.1.2. Podstawowe kryteria przy projektowaniu sieci trakcyjnej

Przy projektowaniu sieci trakcyjnej, w celu zachowania właściwej współpracy z pantografem, spełnić należy między innymi wymagania dotyczące:

- nominalnej wysokości prowadzenia przewodu jezdnego,
- dopuszczalnego nachylenia przewodu jezdnego w stosunku do toru oraz zmienności nachylenia,
- dopuszczalnego przemieszczenia poprzecznego przewodu jezdnego pod naporem wiatru bocznego,
- maksymalnej długości przęsła,
- standardowej wysokości konstrukcyjnej, długości najkrótszego wieszaka oraz odstępu między wieszakami,
- maksymalnego odsuwu drutu jezdnego w miejscu jego podwieszenia,
- jednorodności elastyczności,
- uniesienia przewodu przy maksymalnej prędkości,
- udziału procentowego wyładowań łukowych przy prędkości maksymalnej,
- obciążalności prądowej.

1.2. Zagadnienia ekologiczne

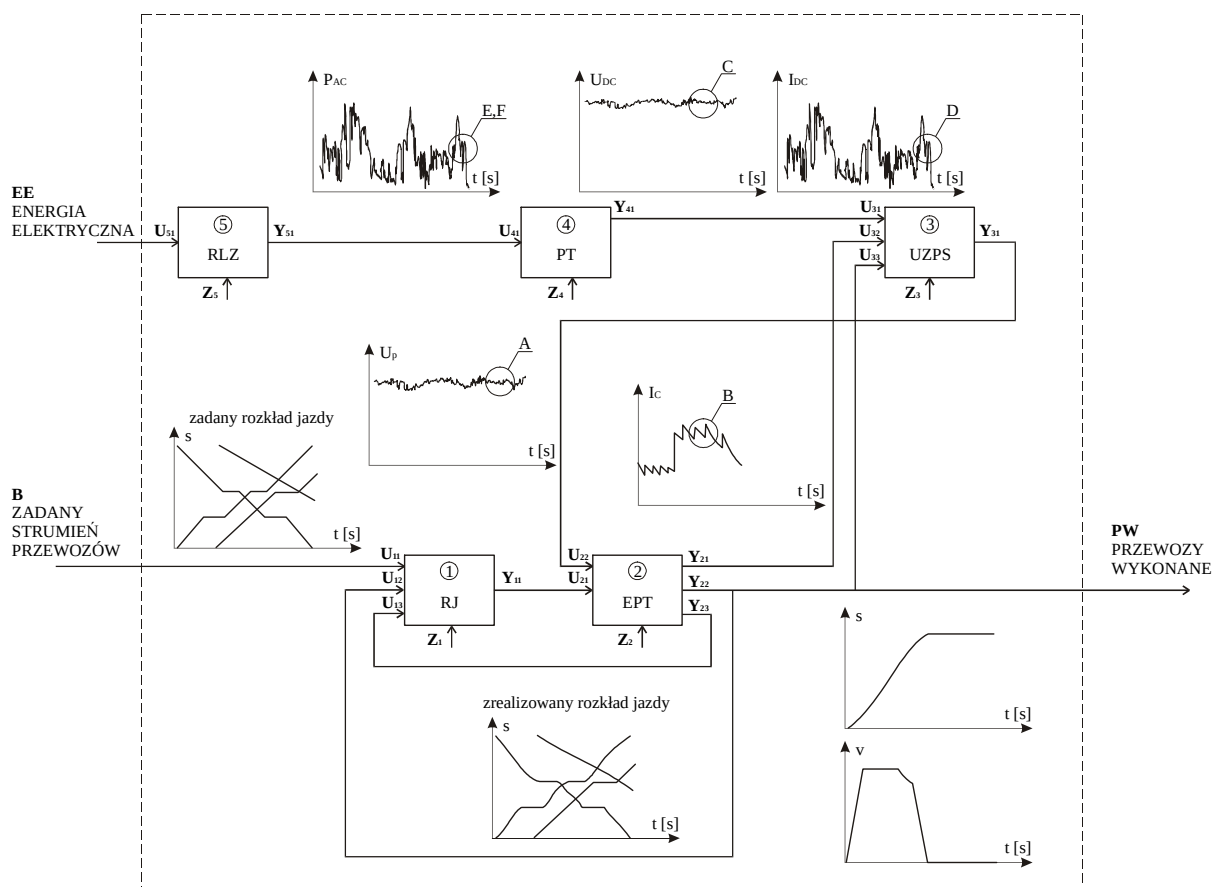
Każdy projekt inwestycyjny musi mieć sporządzony Raport Oddziaływania na Środowisko (ROŚ). Zakres raportu powinien być zgodny z ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska [1].

W odniesieniu do projektu kolejowej linii zelektryfikowanej w szczególności odnosi się to do zagadnień oddziaływania na otoczenie prądów i napięć trakcyjnych (wymogi bezpieczeństwa) jak też emisji pól elektromagnetycznych, zajętości terenu, hałasu oraz emisji zanieczyszczeń gazowych i ciekłych.

1.3. Kompatybilność infrastruktury technicznej

Zelektryfikowana linia kolejowa stanowi złożony system obejmujący szereg podsystemów, które muszą działać prawidłowo i nie zakłócać się wzajemnie, czyli być kompatybilne.

W odniesieniu do oddziaływań na infrastrukturę techniczną należy uwzględnić oddziaływanie zelektryfikowanej linii kolejowej na zasilające sieci elektroenergetyczne oraz na urządzenia i systemy znajdujące się w otoczeniu (strefie oddziaływania) linii kolejowej (takie jak systemy sterowania, sygnalizacji, bezpieczeństwa i telekomunikacji). Wymaga to koordynacji prac różnych służb i firm działających w zakresie tak infrastruktury linii kolejowej jak i taboru kolejowego.



Rys. 1.3.1. Zelektryfikowana linia kolejowa jako system i wzajemne sprzężenia-oddziaływania w systemie elektrotrakcyjnym (RLZ – rozdzielcze linie zasilające, PT – podstacja trakcyjna, UZPS – układ zasilania pojazdów szynowych, EPT – elektryczny pojazd trakcyjny, RJ – rozkład jazdy)

Jest rekomendowane, aby projektanci systemu zasilania linii kolejowej dokonali uzgodnień z instytucjami zarówno kolejowymi jak i zewnętrznymi (zakłady energetyczne, Polskie Sieci Elektroenergetyczne) w celu zdefiniowania wymagań i ograniczeń w zakresie możliwości przyłączenia podstacji trakcyjnych prądu przemiennego do sieci publicznej szczególnie, że wymagane będzie przyłączenie na poziomie napięcia 110 kV 50 Hz lub wyższym.

2. Ogólne wymagania techniczne w odniesieniu do podsystemu „Energia” zelektryfikowanych linii kolejowych.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie [2] określa szczególne wymagania dla podsystemu „Energia” [5], w sposób następujący:

1) Bezpieczeństwo

Funkcjonowanie systemów dostaw energii nie może szkodzić bezpieczeństwu pociągów lub ludzi (użytkowników, obsługi, osób mieszkających w pobliżu torowiska oraz osób trzecich).

2) Ochrona środowiska naturalnego

Funkcjonowanie systemów dostaw energii elektrycznej i ciepłej nie może szkodzić środowisku naturalnemu ponad określone limity.

3) Zgodność techniczna

Systemy dostaw energii elektrycznej/ciepłej muszą:

- umożliwiać osiągnięcie przez pociągi określonego stopnia wydajności,
- bezpieczeństwo w przypadku systemu dostaw energii elektrycznej być zgodny z urządzeniami zamontowanymi w pociągach.

2.1. Kategoryzacja linii

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie [2] dzieli odpowiednio sieć transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej oraz transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości.

2.1.1. Sieć transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej

Sieć transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej to sieć konwencjonalnych linii transeuropejskiej sieci transportowej, która może zostać podzielona na następujące kategorie:

- linie przeznaczone dla ruchu pasażerskiego,
- linie przeznaczone dla ruchu mieszanego (pasażerskiego i towarowego),
- linie specjalnie wybudowane lub zmodernizowane na potrzeby przewozów towarowych,
- pasażerskie węzły przesiadkowe,
- towarowe centra logistyczne łącznie z terminalami intermodalnymi,
- linie łączące powyższe elementy.

2.1.2. Sieć transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości

Linie kolei dużych prędkości obejmują:

- specjalnie wybudowane linie dużych prędkości, przeznaczone generalnie dla prędkości równych lub przekraczających 250 km/h – kategoria I,
- specjalnie zmodernizowane linie dużych prędkości przeznaczone dla prędkości rzędu 200 km/h – kategoria II,

- specjalnie zmodernizowane linie dużych prędkości, posiadające szczególne cechy będące rezultatem uwarunkowań związanych z topografią, rzeźbą terenu i urbanistycznych, na których to liniach prędkość musi być dostosowywana do każdego przypadku. Niniejsza kategoria obejmuje również linie łączące sieci dużych prędkości oraz sieci konwencjonalne, linie przebiegające przez dworce, dostęp do terminali, lokomotywowni itp., z których korzysta tabor dużych prędkości poruszający się z prędkością konwencjonalną – kategoria III.

3. Zagadnienia interoperacyjności transeuropejskich linii kolejowych – podsystem „Energia”

3.1. Główne kryteria i wymagania techniczne dyrektywy 2008/57/WE

3.1.1. Ogólne wymagania dot. interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei we Wspólnocie – wybrane zagadnienia

- „(15) TSI określa wszystkie warunki, z którymi muszą być zgodne składniki interoperacyjności, oraz procedurę oceny zgodności. Ponadto niezbędne jest wskazanie, że każdy ze składników musi przejść procedurę oceny zgodności i przydatności do stosowania określoną w TSI, oraz posiadanie odpowiedniego certyfikatu.”
- „(26) W obliczu rozmiarów i złożoności systemu kolei okazało się konieczne, z przyczyn praktycznych, podzielenie go na następujące podsystemy: infrastruktura, sterowanie, energia, tabor, ruch kolejowy, utrzymanie i aplikacje telepatyczne dla przewozów pasażerskich i towarowych. Dla każdego z tych podsystemów muszą zostać określone zasadnicze wymagania oraz specyfikacje techniczne ustalone dla całej Wspólnoty, szczególnie w odniesieniu do składników oraz interfejsów, celem spełnienia tych zasadniczych wymagań...”
- „(30) Sporządzenie TSI oraz ich zastosowanie do systemu kolei nie powinno stać na przeszkodzie nowatorskim rozwiązaniom technologicznym, które powinny mieć na celu poprawę wyników ekonomicznych.”
- „(36) Zgodność składników jest głównie związana z obszarem ich wykorzystywania w celu zagwarantowania interoperacyjności systemu, a nie jedynie ze swobodnym ich przepływem na rynku wspólnotowym. Ocenie powinna zostać poddana przydatność do stosowania najistotniejszych składników w zakresie bezpieczeństwa, dostępności lub ekonomii systemu. Dlatego też nie jest konieczne, aby producent umieszczał oznakowanie CE w odniesieniu do składników podlegających przepisom niniejszej dyrektywy. Na podstawie oceny zgodności lub przydatności do stosowania deklaracja zgodności złożona przez producenta powinna wystarczyć.”
- „(39) Podsystemy składające się na system kolei powinny podlegać procedurze weryfikacyjnej. Weryfikacja musi gwarantować władzom odpowiedzialnym za wydawanie zezwoleń na ich dopuszczenie do eksploatacji pewność, iż na etapie projektu, budowy oraz dopuszczania do eksploatacji jej wynik jest zgodny z obowiązującymi przepisami technicznymi i eksploatacyjnymi. Musi ona również gwarantować producentom możliwość równego traktowania niezależnie od kraju.”
- „(40) Po dopuszczeniu danego podsystemu do eksploatacji należy zagwarantować, że jest on użytkowany i utrzymywany zgodnie z zasadniczymi wymaganiami, które go dotyczą. ... odpowiedzialność za spełnienie tych wymagań, w odniesieniu do poszczególnych podsystemów, spo-

czywa, odpowiednio, na zarządcy infrastruktury lub na przedsiębiorstwie kolejowym.”

3.1.2. Załącznik II Podsystemy

System kolei może zostać podzielony na następujące podsystemy:

- a) strukturalne:
 - infrastruktura,
 - energia,
 - sterowanie,
 - tabor;
- b) eksploatacyjne:
 - ruch kolejowy
 - utrzymanie,
 - aplikacje telematyczne dla przewozów pasażerskich i dla przewozów towarowych.

Podsystem „Energia” obejmuje system elektryfikacji, w tym linie napowietrzne i znajdującą się na pokładzie pojazdu część urządzeń służących do mierzenia zużycia energii elektrycznej, czyli:

- podstacje: połączone po stronie pierwotnej do sieci wysokiego napięcia i umożliwiające transformację i/lub przekształcenie wysokiego napięcia na napięcie, które jest odpowiednie dla pociągów; strona wtórna podstacji połączona jest z siecią trakcyjną;
- kabiny sekcyjne: wyposażenie elektryczne rozmieszczone pomiędzy podstacjami w celu zasilania i równoległego połączenia sieci trakcyjnej oraz zapewnienia zabezpieczenia, separacji, zasilania pomocniczego;
- system sieci trakcyjnej: system, który rozdziela energię elektryczną do pociągów znajdujących się na szlaku kolejowym i przekazują ją do pociągów za pośrednictwem pantografów. System sieci trakcyjnej jest również wyposażony w ręcznie lub zdalnie sterowane odłączniki, wymagane w celu odizolowania sekcji lub grup linii trakcyjnych stosownie do potrzeb eksploatacyjnych. Linie zasilające należą do systemu sieci trakcyjnej;
- sieć powrotna: wszelkie elementy przewodzące, które tworzą właściwą część powrotną dla prądu trakcyjnego oraz prądu płynącego w warunkach zwarciovych. Sieć powrotna, rozpatrywana w tym aspekcie, należy więc do podsystemu „Energia” i posiada interfejsy z podsystemem „Infrastruktura”.

3.1.3. Załącznik VI Procedura weryfikacyjna WE dla podsystemów

3.1.3.1. Weryfikacja WE jest procedurą, na mocy której jednostka notyfikowana sprawdza czy i potwierdza certyfikatem, że podsystem:

- jest zgodny z dyrektywą 2008/57/WE [2],
- jest zgodny z innymi przepisami wywodzącymi się z Traktatu i może zostać oddany do eksploatacji.

3.1.3.2. Podsystem podlega kontroli na każdym z następujących etapów:

- całościowego projektu,

- budowy: budowy podsystemu, w tym w szczególności prac w zakresie inżynierii lądowej i wodnej, produkcji, montażu składników oraz całościowego dostosowania,
- ostatecznego testowania podsystemu.

3.1.3.3. Jednostka notyfikowana odpowiedzialna za weryfikację WE ocenia projekt i produkcję podsystemu i sporządza certyfikat weryfikacji przeznaczony dla wnioskodawcy, który z kolei sporządza deklarację weryfikacji WE przeznaczoną dla organu nadzoru w państwie członkowskim, w którym podsystem jest zlokalizowany lub działa.

Jednostka notyfikowana uwzględnia pośrednie potwierdzenia weryfikacji, o ile są dostępne, i aby wydać certyfikat weryfikacji WE:

a) sprawdza, czy podsystem:

- posiada stosowne pośrednie potwierdzenia weryfikacji dla etapu projektowania i budowy, jeżeli wnioskodawca zwrócił się do jednostki notyfikowanej o ocenę obydwu tych etapów, lub
- po wyprodukowaniu odpowiada pod każdym względem pośredniemu potwierdzeniu weryfikacji dla etapu projektowania dostarczonemu wnioskodawcy, jeżeli wnioskodawca zwrócił się do jednostki notyfikowanej wyłącznie o ocenę etapu projektowania,

b) sprawdza, czy potwierdzenia te prawidłowo uwzględniają wymagania TSI, i ocenia elementy projektu i produkcji, które nie zostały objęte pośrednimi potwierdzeniami weryfikacji dla etapu projektowania lub budowy.

3.1.3.4. Dokumentacja techniczna towarzysząca deklaracji weryfikacji musi zawierać następujące elementy:

- dla infrastruktury: plany inżyniersko-konstrukcyjne, rejestry z zatwierdzenia prac ziemnych i uzbrojenia oraz sprawozdania z testów i kontroli betonu itp.;
- dla innych podsystemów: ogólne i szczegółowe rysunki powykonawcze, schematy elektryczne i hydrauliczne schematy obwodów sterowania, opisy systemów przetwarzania danych i automatyki, instrukcje obsługi i utrzymania itd.,
- wykaz składników interoperacyjności,
- kopie deklaracji zgodności WE lub przydatności do stosowania, które muszą posiadać wyżej wymienione składniki, w razie konieczności wraz z odpowiednimi zapisami obliczeniowymi, oraz kopie protokołów prób i badań przeprowadzonych przez jednostki notyfikowane w oparciu o wspólne specyfikacje techniczne,
- pośrednie potwierdzenia weryfikacji dla etapu projektowania i budowy, o ile są dostępne, oraz – w takim przypadku – pośrednią(-e) deklarację(-e) weryfikacji WE podsystemu, która towarzyszy certyfikatowi weryfikacji WE, w tym wyniki sprawdzenia przez jednostkę notyfikowaną ich ważności,
- certyfikat wydany przez jednostkę notyfikowaną odpowiedzialną za weryfikację WE, wraz z odpowiednimi zapisami obliczeniowymi, i kontrasygnowany przez tę jednostkę, stwierdzający zgodność projektu z niniejszą dy-

rektywą i wymieniający wszelkie zastrzeżenia zanotowane podczas wykonywania czynności i nieusunięte; certyfikatowi takiemu powinny również towarzyszyć sprawozdania z inspekcji i sprawozdania audytowe sporządzone przez tę samą jednostkę w związku z jej zadaniami.

- 3.1.3.5. Jednostka notyfikowana odpowiedzialna za kontrolę tworzenia podsystemu musi mieć stały dostęp do placów budowy, warsztatów produkcyjnych, przestrzeni składowania oraz w stosownych przypadkach do urządzeń prefabrykujących lub testujących, jak też, ogólniej, do wszelkich pomieszczeń, jakie uzna ona za konieczne do wykonania swych zadań. Wnioskodawca musi jej przesłać wszelkie dokumenty konieczne do tego celu lub zlecić ich przesłanie oraz, w szczególności, udostępnić plany wdrażania oraz dokumentację techniczną dotyczącą danego podsystemu.

3.2. Rozwiązania technologiczne narzucane przez Decyzję Komisji UE 2008/284/WE

3.2.1. Przepisy ogólne

Parametry eksploatacyjne, jakie musi osiągać podsystem „Energia”, powinny odpowiadać stosownym parametrom pracy określonym dla każdej kategorii linii transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości, z uwzględnieniem:

- maksymalnej prędkości linii, oraz
- zapotrzebowania mocy przez pociąg, w punkcie jej odbioru.

Konstrukcja podsystemu „Energia” powinna zapewniać spełnienie wymagań eksploatacyjnych.

Zarządca infrastruktury określi miejsce, na krótkim odcinku szlaku łączącym linię dużych prędkości z inną linią, od którego zaczyna się stosować wymagania zawarte w TSI podsystemu „Energia” [5] dla linii dużych prędkości.

3.2.2. Napięcie i częstotliwość

Zespoły trakcyjne wymagają standaryzacji wartości napięcia i częstotliwości. W tabeli 3.2.1 podano napięcia oraz częstotliwości znamionowe systemów zasilania elektrycznego, które należy stosować w zależności od kategorii linii.

Tabela 3.2.1

Napięcia i częstotliwości znamionowe oraz kategorie linii kolejowych

Napięcia i częstotliwości znamionowe	Kategoria I	Kategoria II	Kategoria III
Napięcie przemienne (AC) 25 kV 50 Hz	X	X	X
Napięcie przemienne (AC) 15 kV 16,7 Hz	(1)	X	X
Napięcie stałe (DC) 3 kV	(2)	X	X
Napięcie stałe (DC) 1,5 kV	---	X	X
(1)W państwach członkowskich, gdzie zainstalowane są sieci AC 15 kV 16,7 Hz, dopuszcza się wykorzystanie tego systemu dla nowych linii kategorii I. Dopuszcza się zastosowanie tego samego systemu w krajach sąsiednich, gdzie przedsięwzięcie takie może być ekonomicznie uzasadnione przez państwo członkowskie. W tym przypadku nie jest wymagane przeprowadzanie oceny. (2)Dopuszcza się stosowanie zasilania DC 3 KV w takich krajach, jak Włochy, Hiszpania i Polska dla istniejących i nowych odcinków kategorii I, eksploatowanych z prędkością 250 km/h, gdzie wprowadzenie linii zelektryfikowanych AC 25 kV 50 Hz mogłoby stworzyć zagrożenie dla przytorowych oraz pokładowych urządzeń sygnalizacyjnych na istniejących liniach.			

Napięcie oraz częstotliwość na zaciskach podstacji oraz pantografie powinny być zgodne z normą PN-EN 50163:2006 [14], punkt 4.

3.2.3. Parametry systemu i moc zainstalowana

Podsystem „Energia” należy zaprojektować w taki sposób, aby spełniał on wymagane parametry eksploatacyjne, a w szczególności:

- prędkość na linii kolejowej,
 - minimalny dopuszczalny odstęp czasowy między pociągami,
 - maksymalny prąd pobierany przez pociąg,
 - współczynnik mocy pociągów,
 - rozkład jazdy i planowanych czynności obsługowych,
 - średnie napięcie użyteczne,
- odpowiednio do danej kategorii linii.

Obliczone napięcie średnie „na pantografie” powinno być zgodne z wymaganiami normy PN-EN 50388:2008 [19], punkty 8.3 i 8.4, przy zastosowaniu parametrów projektowych dla współczynnika mocy podanych w PN-EN 50388:2008 [19], punkt 6. Dla systemów zasilania 25 kV AC 50 Hz obliczone, na podstawie definicji podanej w normie PN-EN 50388:2008 [19], średnie napięcie użyteczne „na pantografie” powinno być nie mniejsze niż 22 500 V.

3.2.4. Hamowanie odzyskowe

Systemy zasilania prądem przemiennym (AC) należy projektować w taki sposób, aby umożliwiały wykorzystanie hamowania odzyskowego jako zasadniczego, zdolnego do płynnej wymiany mocy z innymi pociągami lub z innymi systemami. Urządzenia sterownicze i zabezpieczające podstacji systemu zasilającego powinny umożliwiać stosowanie hamowania odzyskowego.

Instalacje stacjonarne i ich urządzenia zabezpieczające powinny umożliwiać stosowanie hamowania odzyskowego, z wyjątkiem sytuacji opisanych w normie PN-EN 50388:2008 [19], punkt 12.1.1. Ocenę zgodności instalacji stacjonarnych przeprowadza się według normy PN-EN 50388:2008 [19], pkt 14.7.2.

3.2.5. Emisje harmoniczných do sieci energetyki publicznej

Kwestią emisji harmoniczných do sieci publicznej zajmuje się zarządca infrastruktury, który uwzględnia właściwe normy europejskie i krajowe oraz wymagania zakładu energetycznego.

3.2.6. Zewnętrzna kompatybilność elektromagnetyczna

Zewnętrzna kompatybilność elektromagnetyczna nie jest w sposób szczególny określona dla transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. W celu spełnienia wszystkich wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej, instalacje zasilania energią elektryczną powinny być zgodne z normą PN-EN 50121-2:2004 [9].

3.2.7. Ciągłość zasilania energią elektryczną w razie zakłóceń

Źródła energii i sieci trakcyjnej powinny być zaprojektowane tak, by umożliwiać ciągłość zasilania w razie wystąpienia zakłóceń. Można tego dokonać, dzieląc sieć trakcyjną na sekcje i instalując w podstacjach wyposażenie rezerwowe.

Ocenę zgodności należy przeprowadzić, kontrolując schematy obwodów. Kontrola powinna wykazać, że zainstalowane urządzenia i systemy zapewniają ciągłość zasilania elektrycznego.

3.2.8. Sieć trakcyjna

3.2.8.1. Ogólna konstrukcja

Konstrukcja sieci trakcyjnej powinna być zgodna z normą PN-EN 50119:2002 [7], pkt 5.1, 5.2.1.2, 5.2.4.1 do 5.2.4.8, 5.2.5, 5.2.6, 5.2.7, 5.2.8.2, 5.2.10, 5.2.11 i 5.2.12. Warunki konstrukcyjne i eksploatacyjne sieci trakcyjnej zakładają, że pantografy wyposażone są w urządzenie do automatycznej regulacji wysokości (Automatic Dropping Device — ADD).

3.2.8.2. Geometria sieci jezdnej

Sieć trakcyjna powinna być zaprojektowana w taki sposób, aby umożliwiała współpracę z pantografami o geometrii ślizgacza określonej w pkt

4.2.8.3.7.2 TSI „Tabor” [4] dla kolei dużych prędkości oraz z pociągami, zgodnie z odpowiednimi TSI „Tabor” dla kolei dużych prędkości.

Do parametrów zapewniających kompatybilność transeuropejskiej sieci kolejowej należą: wysokość przewodu jezdnego, nachylenie przewodu jezdnego względem toru oraz poprzeczne odchylenia przewodu jezdnego pod wpływem wiatru bocznego. Dopuszczalne wartości parametrów geometrii sieci trakcyjnej, zasilanej napięciem przemiennym (AC) podane są w tabeli 3.2.2.

Tabela 3.2.2

Dopuszczalne wartości parametrów geometrii sieci trakcyjnej (AC)

Opis	Kategoria I	Kategoria II	Kategoria III
Znamionowa wysokość przewodu jezdne- go (mm)	od 5 080 do 5 300	od 5 000 do 5 500	od 5 000 do 5 750
Minimalna wysokość przewodu jezdnego (mm)	---	4 950	
Maksymalna wysokość przewodu jezdne- go (mm)	---	6 000	
Nachylenie przewodu jezdnego	Nie planuje się	PN-EN 50119:2002, pkt 5.2.8.2	
Dopuszczalne poprzeczne odchylenia przewodu jezdnego względem linii środ- kowej toru pod wpływem wiatru bocznego	Mniejsza z następujących wartości: 0,4 m lub (1,4–L ₂) m		

Dopuszczalne odchylenie przewodu jezdnego pod wpływem wiatru bocznego należy obliczać dla wysokości przewodu jezdnego przekraczającej 5 300 mm, oraz/lub dla torów skręcających. Wartość tę należy obliczyć przy użyciu połowy szerokości dynamicznej obwiedniej drogi pantografu europejskiego, L_2 . Wartość L_2 należy obliczyć zgodnie z normą PN-EN 50367:2006 [18], załącznik A3.

Znamionowa wysokość przewodu jezdnego może być wyższa na liniach o mieszanym ruchu pasażersko-towarowym, aby umożliwić eksploatację wagonów ponadgabarytowych, ale nie należy przekraczać maksymalnej wysokości przewodu podanej w tabeli 3.2.2. Spełnione muszą być także wymagania dotyczące jakości odbioru prądu.

Na przejazdach drogowych (niedopuszczalnych na liniach kategorii I, wysokość przewodu jezdnego powinna być określana przez przepisy krajowe, lub przy braku takich przepisów, przez normę PN-EN 50122-1:2002 [11], pkt 4.1.2.3 i 5.1.2.3.

3.2.8.3. Zgodność systemu sieci trakcyjnej ze skrajnią infrastruktury

Konstrukcja sieci trakcyjnej powinna być zgodna ze skrajnią infrastruktury określoną w pkt 4.2.3 TSI „Infrastruktura” [3] dla kolei dużych prędkości.

Konstrukcja sieci trakcyjnej powinna być odpowiednia do skrajni dynamicznej pojazdów.

Konstrukcja budowli powinna uwzględniać przestrzeń niezbędną do przejścia pantografów w kontakcie z siecią trakcyjną oraz do instalacji tej linii. Wymiary tuneli i innych budowli muszą być wzajemnie kompatybilne z geometrią sieci trakcyjnej oraz skrajnią dynamiczną pantografu. W punkcie 4.2.3.1 TSI „Tabor” [4] dla kolei dużych prędkości podano wymagany profil pantografu. Przestrzeń niezbędną do instalacji sieci trakcyjnej przewiduje zarządca infrastruktury.

3.2.8.4. Materiał przewodu jezdnego

Materiały dopuszczone do stosowania w przewodach jezdnych to miedź oraz stop miedzi. Przewód jezdny powinien spełniać wymagania normy PN-EN 50149:2002 [12], pkt 4.1 do 4.3 i 4.5 do 4.8.

3.2.8.5. Prędkość propagacji fali w przewodzie jezdnym

Prędkość propagacji fali w przewodach jezdnych jest charakterystycznym parametrem do oceny przydatności sieci trakcyjnej do dużych prędkości. Parametr ten zależy od ciężaru właściwego oraz naprężenia przewodu jezdnego. Prędkość propagacji fali należy tak ustawić, aby prędkość na danej linii nie była większa niż 70% prędkości propagacji fali.

3.2.8.6. Nacisk statyczny

Nacisk statyczny zdefiniowany jest w normie PN-EN 50206-1:2002 [15], pkt 3.3.5, i wywierany jest przez pantograf na przewodzie jezdnym. Sieć trakcyjną należy zaprojektować dla siły nacisku statycznego o wartościach 70 ± 20 N

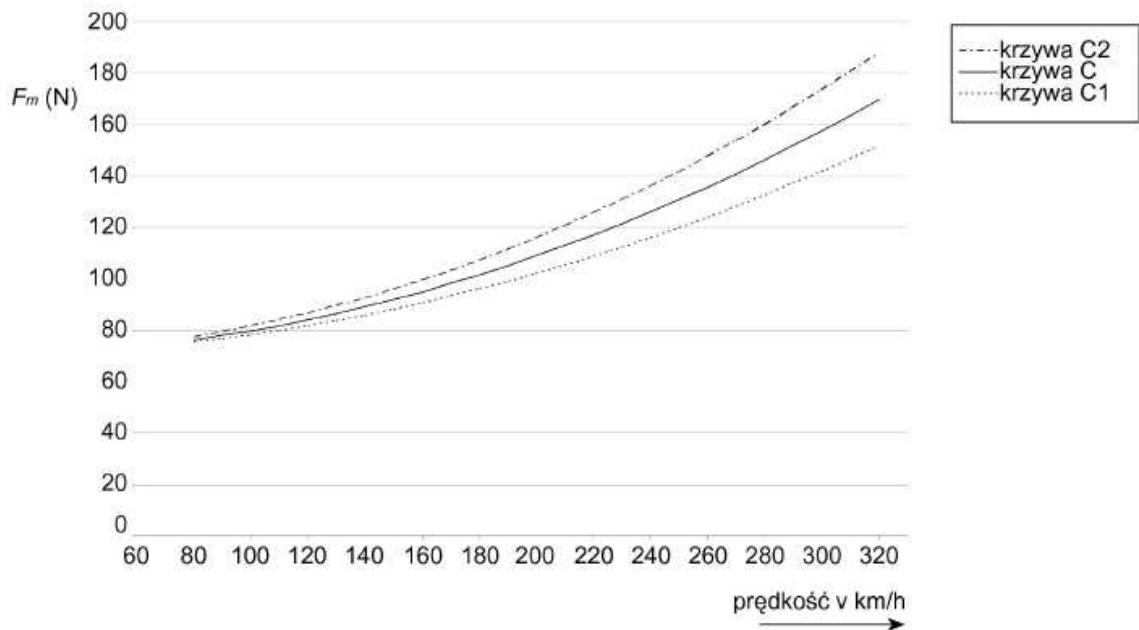
3.2.8.7. Średnia siła nacisku

Średnia siła nacisku F_m powstaje ze składników statycznego i aerodynamicznego siły nacisku pantografu, z poprawką na oddziaływanie dynamiczne. F_m odpowiada wartości docelowej, jaką należy osiągnąć dla zapewnienia właściwej jakości odbioru prądu, bez powstawania niepożądanych łuków elektrycznych, oraz w celu ograniczenia zużycia i zagrożeń dla nakładek stykowych.

Średnia siła nacisku F_m wywierana przez pantograf na przewód trakcyjny przedstawiona jest jako funkcja prędkości biegu pociągu na rysunku 3.2.1 dla linii AC. Sieć trakcyjna powinna być zaprojektowana tak, aby wytrzymywała taką krzywą nacisku dla wszystkich pantografów w pociągu.

Siła maksymalna (F_{max}) na szlaku otwartym zwykle mieści się w zakresie F_m plus trzy odchylenia standardowe σ ; w innych miejscach mogą występować wyższe wartości.

Dla prędkości wyższych niż 320 km/h wartości średniej siły nacisku nie są podane w TSI; wymagane są dodatkowe specyfikacje i stanowią one punkt otwarty. W takim przypadku obowiązują przepisy krajowe.



Rys. 3.2.1. Średnia siła nacisku F_m dla systemów AC w funkcji prędkości

$$\text{Krzywa C2} \quad F_m = 0,001145 \times v^2 + 70 \quad (\text{N})$$

$$\text{Krzywa C} \quad F_m = 0,00097 \times v^2 + 70 \quad (\text{N})$$

$$\text{Krzywa C1} \quad F_m = 0,000795 \times v^2 + 70 \quad (\text{N})$$

Dla nowych linii oraz przy modernizacji linii istniejących wszystkich kategorii stosuje się krzywą C.

Nowe linie mogą dodatkowo pozwalać na zastosowanie pantografów zgodnych z krzywymi C1 lub C2. Linie istniejące mogą wymagać zastosowania pantografów zgodnych z krzywymi C1 lub C2.

3.2.8.8. Charakterystyka dynamiczna i jakość odbioru prądu

Sieć trakcyjną należy zaprojektować zgodnie z wymaganiami charakterystyki dynamicznej. Podniesienie przewodu jezdnego przy projektowanej prędkości linii powinno być zgodne z parametrami podanymi w tabeli 3.2.3.

Jakość odbioru prądu ma podstawowe znaczenie dla trwałości przewodu jezdnego i dlatego musi być zgodna z uzgodnionymi i mierzalnymi parametrami.

Zgodność z wymaganiami charakterystyki dynamicznej należy weryfikować według normy PN-EN 50367:2006 [18], pkt 7.2 poprzez ocenę:

- odniesienia przewodu jezdnego i albo
- średniej siły nacisku F_m oraz odchylenia standardowego σ_{max} lub
- procentowego udziału wyładowań łukowych.

Odbiorca deklaruje metodę stosowaną do weryfikacji. Wartości, jakie należy uzyskać dla wybranej metody, podane są w tabeli 3.2.3.

Tabela 3.2.3

Wymagania charakterystyki dynamicznej oraz jakości odbioru prądu

Wymaganie	Kategoria I	Kategoria II	Kategoria III
Wolna przestrzeń dla podniesienia ramienia odciągowego	$2S_0$		
Średnia siła nacisku F_m	Patrz: 3.2.8.7		
Odchylenie standardowe przy maksymalnej prędkości linii σ_{max} (N)	$0,3 F_m$		
Procentowy udział wyładowań łukowych przy maksymalnej prędkości linii, NQ (%) (minimalny czas trwania łuku 5 ms)	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$ dla AC	$\leq 0,1$

Definicje, wartości oraz metody testów podane są w normach PN-EN 50317:2003 [16] i PN-EN 50318:2003 [17].

S_0 jest to obliczone, symulowane lub mierzone podniesienie przewodu jezdnego przy ramieniu odciągowym, występujące przy normalnych warunkach eksploatacyjnych, dla jednego lub większej liczby pantografów wywierających średni nacisk stykowy F_m przy maksymalnej prędkości linii. Jeżeli podniesienie wysokości ramienia odciągowego jest fizycznie ograniczone poprzez konstrukcję sieci trakcyjnej, dopuszczalne jest zmniejszenie niezbędnej przestrzeni do $1,5S_0$ (patrz PN-EN 50119:2002 [7], pkt 5.2.1.3).

Nowe konstrukcje sieci trakcyjnej należy oceniać poprzez symulację przeprowadzoną według normy PN-EN 50318:2003 [17] oraz poprzez pomiar odcinka próbnego nowej konstrukcji według normy PN-EN 50317:2003 [16].

Symulacje należy przeprowadzić przy użyciu co najmniej dwóch zgodnych z TSI pantografów dla właściwego systemu, do prędkości projektowanej pantografu, dla sieci trakcyjnej jako składnika interoperacyjności przy zastosowaniu jednego pantografu oraz kilku pantografów umieszczonych w odległościach wg pkt 3.2.8.11. Dopuszczenie sieci trakcyjnej jest możliwe wtedy, gdy symulowana jakość odbioru prądu powinna mieścić się w granicach podanych w tabeli 3.2.3 dla podniesienia, pod względem średniej siły nacisku oraz odchylenia standardowego dla każdej z rozpatrywanej sieci trakcyjnej.

Jeżeli wyniki symulacji mieszczą się w dopuszczalnych granicach, należy przeprowadzić próbę w terenie na reprezentatywnym odcinku nowej sieci trakcyjnej, z wykorzystaniem jednego z pantografów użytych w symulacji, zainstalowanego na pociągu lub lokomotywie i wywierającego średni nacisk przy projektowanej prędkości linii, zgodnie z pkt 3.2.8.7, dla eksploatacji w jednym z systemów sieci trakcyjnej. Dopuszczenie sieci trakcyjnej do eksploatacji jest możliwe wtedy, gdy zmierzona jakość odbioru prądu powinna mieścić się w granicach podanych w tabeli 3.2.3.

Jeżeli ocena wszystkich powyższych parametrów wypadnie pomyślnie, to sprawdzona w powyższy sposób konstrukcja sieci trakcyjnej jest uważana za spełniającą odnośne wymagania i może być stosowana na liniach, gdzie charakterystyka konstrukcji spełnia wymagania linii. Aspekt ten jest objęty zakresem działania TSI.

Jeżeli sieć trakcyjna, która ma być zainstalowana na linii kolei dużych prędkości, jest certyfikowana jako składnik interoperacyjności, to należy przeprowadzić pomiary parametrów współpracy według normy PN-EN 50317:2003 [16], w celu sprawdzenia prawidłowości instalacji. Pomiary te przeprowadza się z użyciem pantografu — składnika interoperacyjności, zainstalowanego na taborze, o charakterystyce średniego nacisku zgodnej z pkt 3.2.8.7 TSI „Energia” [5], dla projektowanej prędkości linii. Zasadniczym celem tego badania jest identyfikacja błędów konstrukcyjnych, a nie ocena zasadności projektu. Parametry zainstalowanej sieci trakcyjnej uważane są za dopuszczalne, jeżeli wyniki pomiarów są zgodne z wymaganiami tabeli 3.2.3.

3.2.8.9. Przemieszczenie pionowe punktu styku

Punkt styku jest to punkt mechanicznego kontaktu między nakładką stykową a przewodem jezdnym.

Pionowa wysokość punktu styku nad torem powinna być w obrębie przęsła jak najbardziej równomiernie rozłożona; jest to kluczowa kwestia dla zapewnienia wysokiej jakości odbioru prądu.

Maksymalna różnica między najwyższą a najniższą dynamiczną wysokością punktu styku w obrębie jednego przęsła powinna wynosić mniej niż wartości podane poniżej:

- 80 mm dla linii kategorii I (AC),
- 100 mm dla linii kategorii II (AC),
- zgodnie z przepisami krajowymi dla linii kategorii III.

Parametr ten należy weryfikować poprzez wykonanie pomiarów według PN-EN 50317:2003 [16] lub symulacji potwierdzonych według PN-EN 50318:2003 [17]:

- dla maksymalnej prędkości na szlaku obsługiwanym przez daną linię sieci trakcyjnej,
- stosując parametr średniej siły nacisku F_m (patrz pkt 3.2.8.7),
- dla najdłuższego przęsła.

3.2.8.10. Obciążalność prądowa systemu sieci trakcyjnej: system AC, pociągi w ruchu

Obciążalność prądowa powinna odpowiadać co najmniej wymaganiom określonym dla pociągów zgodnie z normą PN-EN 50388:2008 [19], pkt 71. W procesie projektowania należy zastosować parametry określone w normie PN-EN 50149:2002 [12].

Na zjawiska termiczne występujące w sieci trakcyjnej wpływają wartości pobieranych prądów oraz czas ich pobierania. Wiatry wiejące w poprzek linii działają chłodząco na materiały sieci trakcyjnej. Odbiorca określi najbar-

dziej niekorzystne warunki wiatrowe, na podstawie których zostanie określona obciążalność prądowa.

Konstrukcja systemu sieci trakcyjnej powinna zapewniać nieprzekraczalność maksymalnej temperatury elementów przewodzących prąd, określonej w PN-EN 50119:2002 [7], załącznik B, przy uwzględnieniu parametrów podanych w PN-EN 50149:2002 [12], pkt 4.5, tabela 3 i 4 oraz wymaganiach PN-EN 50119:2002, pkt 5.2.9. Należy przeprowadzić studium projektowe, w celu potwierdzenia, że sieć trakcyjna spełnia określone wymagania.

3.2.8.11. Rozstaw pantografów dla danej konstrukcji sieci trakcyjnej

Sieć trakcyjną należy projektować pod kątem eksploatacji przy maksymalnej prędkości pociągu, przy założeniu, że dwa sąsiednie pantografy ustawione będą w następujących odległościach:

- 200 m dla linii kategorii I (AC),
- 200 m dla linii kategorii II (AC),
- zgodnie z przepisami krajowymi dla linii kategorii III.

3.2.8.12. Sekcje separacji faz

Konstrukcja sekcji separacji faz powinna zapewniać możliwość poruszania się pociągów zgodnych z TSI od jednej sekcji do następnej, bez mostkowania dwóch faz.

Należy zapewnić odpowiednie środki umożliwiające ponowne uruchomienie pociągu, który został zatrzymany w sekcji separacji faz. Wstawka neutralna powinna umożliwiać podłączenie jej do jednej z sekcji przyległych za pomocą zdalnie sterowanych rozłączników.

Linie kategorii I

Dopuszczalne jest stosowanie dwóch typów konstrukcji sekcji separacji faz:

- sekcja separacji faz, w której wszystkie pantografy najdłuższych pociągów zgodnych z TSI znajdują się wewnątrz wstawki neutralnej. Długość wstawki neutralnej powinna wynosić co najmniej 402 m. Szczegółowe wymagania podano w PN-EN 50367:2006 [18], załącznik A.1.3, lub
- krótszy odcinek separacji faz, w którym występują trzy izolowane zakładki przedstawione w PN-EN 50367:2006 [18], załącznik A.1.5. Całkowita długość tego odcinka powinna wynosi poniżej 142 m, włącznie z odstępami i tolerancjami.

Linie kategorii II i III

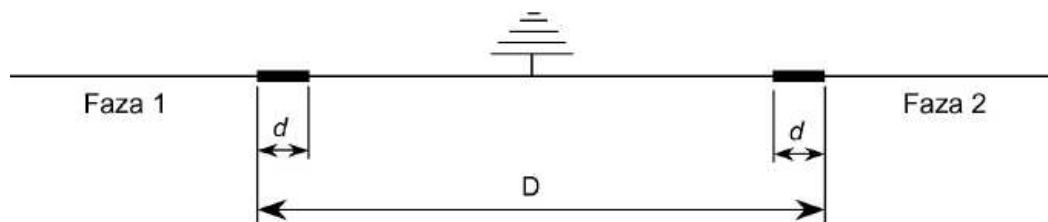
W zależności od kosztów i warunków topograficznych, dopuszcza się stosowanie różnych rozwiązań.

W liniach kategorii II i III można stosować sekcje separacji faz takie, jak dla linii kategorii I, lub o konstrukcji przedstawionej na rysunku 3.2.2. W przypadku konstrukcji pokazanej na rysunku 3.2.2, odcinek środkowy należy podłączyć do drogi powrotnej prądu, a wstawki neutralne (d) można utworzyć z izolowanych prętów lub podwójnych izolatorów sekcyjnych, przy zachowaniu warunku:

$D \leq 8 \text{ m}$

Długość d należy określić odpowiednio do napięcia systemu zasilającego, maksymalnej prędkości linii oraz maksymalnej szerokości pantografu.

W przypadku braku sekcji separacji wymaganych dla linii kategorii I lub przedstawionych na rysunku 3.2.2, zarządca infrastruktury zapewni odpowiednie procedury lub konstrukcje umożliwiające przejazd pociągów zgodnych z TSI „Taboru” kolei dużych prędkości. W przypadku zaproponowania rozwiązania alternatywnego należy wykazać, że rozwiązanie to jest co najmniej tak samo niezawodne.



Rys. 3.2.2. Sekcja separacyjna z izolatorami

3.2.8.13. Sekcje separacji systemów

Konstrukcja sekcji separacji systemów powinna zapewniać możliwość poruszania się pociągów, zgodnych z TSI, z jednego systemu zasilania do następnego, bez mostkowania dwóch systemów.

Istnieją dwie możliwości przejazdu pociągu przez sekcje separacji systemów:

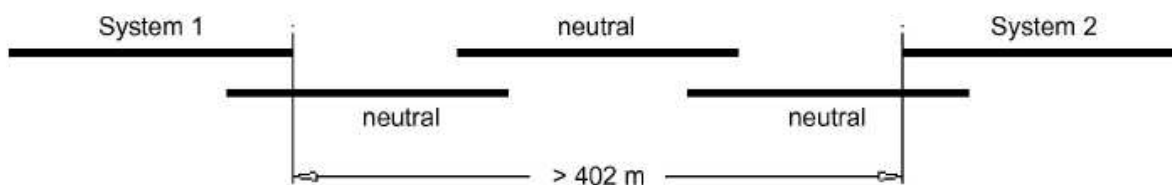
- a) z pantografami uniesionymi i dotykającymi przewodu jezdnego,
- b) z pantografami opuszczonymi i niedotykającymi przewodu jezdnego.

Zarządcy infrastruktury sąsiadujących systemów uzgodnią metodę (a) lub (b), odpowiednio do preferowanych warunków.

Pantografy uniesione

Jeśli sekcje separacji systemów pokonywane są z pantografami uniesionymi do przewodu jezdnego, mają zastosowanie następujące warunki:

- 1) funkcjonalny projekt sekcji separacji systemów jest określony następująco:
 - geometria poszczególnych elementów sieci trakcyjnej powinna umożliwiać tworzenie zwarć lub mostkowań obydwu systemów zasilania.
 - w podsystemie „Energia” należy zastosować zabezpieczenia w celu zapobieżenia mostkowaniu obydwu sąsiadujących systemów zasilania energią elektryczną, jeśli nie utworzą się pokładowe wyłączniki,
 - przykład organizacji sekcji separacji systemów przedstawiony jest na rysunku 3.2.3.
- 2) jeżeli prędkość linii jest wyższa niż 250 km/h, to wysokość przewodów jezdnych obydwu systemów powinna być taka sama.



Rys. 3.2.3. Przykład sekcji separacji systemów

Pantografy opuszczone

Tego rodzaju rozwiązanie należy zastosować w przypadku, gdy nie są spełnione warunki jazdy z uniesionymi pantografami.

Jeżeli przejazd przez sekcję separacji systemów odbywa się przy opuszczonych pantografach, należy ją tak zaprojektować, aby uniknąć mostkowania systemów przez przypadkowo uniesiony pantograf. Wyposażenie linii powinno zapewniać wyłączenie obydwu systemów w przypadku nie opuszczenia pantografu, np. poprzez wykrywanie zwarc.

3.2.8.14. Organizacja koordynacji zabezpieczeń elektrycznych

Projekt koordynacji zabezpieczeń elektrycznych podsystemu „Energia” powinien być zgodny z wymaganiami określonymi w PN-EN 50388:2008 [19], pkt 11.

3.2.8.15. Wpływ zakłóceń harmonicznych i dynamicznych

Podsystem „Energia” kolei dużych prędkości powinien być odporny na przepięcia generowane przez harmoniczne wytwarzane przez tabor, do wartości granicznych określonych w PN-EN 50388:2008 [19], pkt 10.4.

4. Układ zasilania w systemie 25 kV 50 Hz AC

Określenie „system trakcji elektrycznej” odnosiło się w przeszłości, gdy eksploatowano lokomotywy jednosystemowe, do rodzaju napięcia i częstotliwości wymaganej do zasilania lokomotywy danego systemu. Stąd też pochodzą nazwy systemów 3 kV DC, 25 kV 50 Hz AC lub 15 kV 16 2/3 Hz AC. Obecnie z uwagi na stosowanie lokomotyw wielosystemowych mogących pobierać energię o różnych napięciach i częstotliwościach pojęcie „system trakcji elektrycznej” odnosi się do napięcia w sieci jezdnej zasilającej tabor trakcyjny i charakteryzuje obwód (układ) zasilania trakcji.

4.1. Schematy systemu zasilania trakcyjnego 25 kV 50 Hz AC

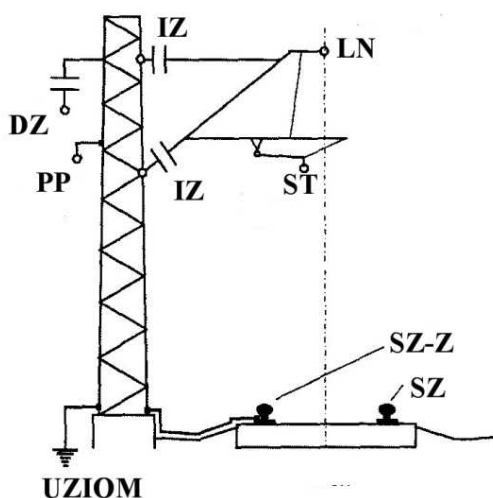
System AC 25 kV, 50 Hz jest eksploatowany na liniach kolejowych konwencjonalnych od lat 50-tych XX w. i liniach dużych prędkości.

Stosowane są układy zasilania:

- jednostronny 1×25 kV,
- jednostronny 1×25 kV z booster transformatorami,
- jednostronny 2×25 kV (odmiana 25 kV/50 kV) z autotransformatorami AT.

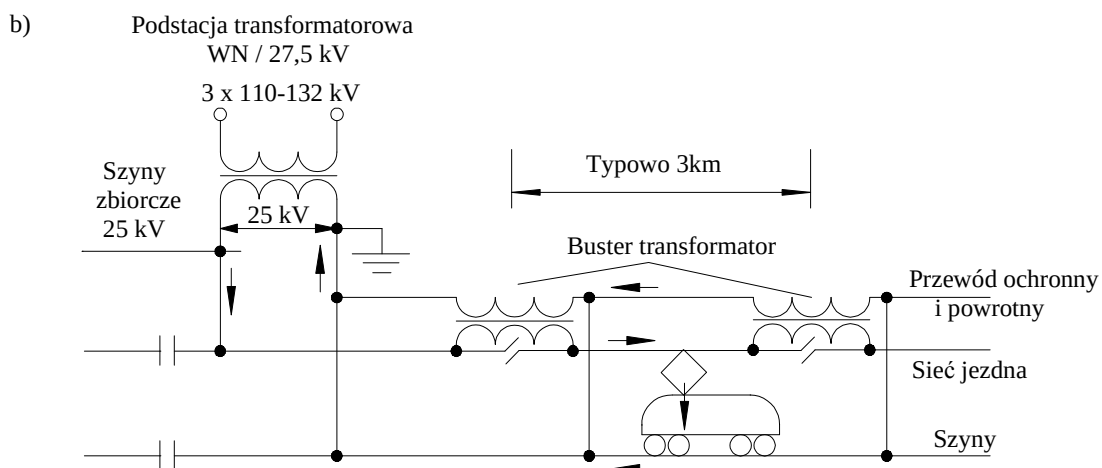
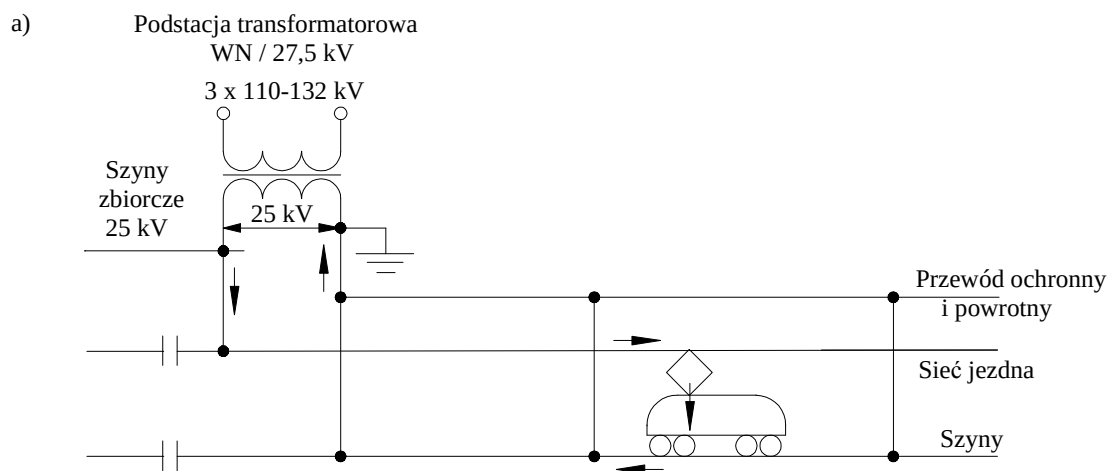
System zasilania 25 kV sieci napowietrznej stanowi jednobiegunowy system dostawy energii z uziemionym punktem zerowym podstacji (rys. 4.1.2a, 4.1.4). Jedna z szyn każdego toru stanowi szynę powrotną (SZ-Z) dla prądu trakcyjnego połączoną z dodatkowym przewodem powrotnym (PP) w celu zmniejszenia spadków napięć w szynach (SZ) (rys. 4.1.1). Szyny te są ze sobą połączone i przyłączone do konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej. Podstawowym parametrem brany pod uwagę przy rozpatrywaniu systemu uziemień jest poziom napięcia na konstrukcjach metalowych w stosunku do ziemi.

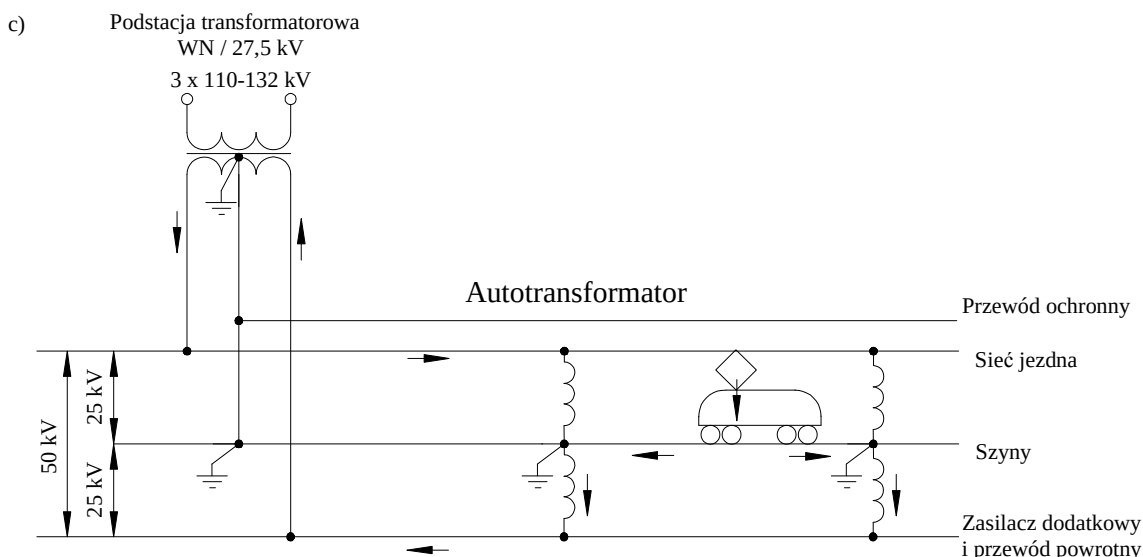
W systemie 25 kV stosowane są kabiny sekcyjne (połączenia poprzeczne sieci jezdnej) przelotowe i środkowe.



Rys. 4.1.1. Schemat rozmieszczenia przewodów sieci trakcyjnej w systemie 25 kV, DZ - dodatkowy zasilacz (typowo w systemie 2×25 kV), PP - przewód powrotny, SZ-Z - szyna-ziemia systemu trakcyjnego, IZ - izolator, LN - lina nośna, ST - sieć trakcyjna,

Sieć trakcyjna składa się z obwodu szynowego, sieci jezdnej, przewodu powrotnego i przewodu ochronnego oraz zasilacza dodatkowego (nie instaluje się wówczas przewodu powrotnego) w systemie 2x25 kV (rys. 4.1.1).





Rys. 4.1.2. Schematy poglądowe układów zasilania 25 kV 50 Hz i 2×25 kV AT 50 Hz

- a) prosty system jednofazowy zasilania sieci jezdnej,
- b) prosty system jednofazowy z booster transformatorem,
- c) system z autotransformatarami 2×25 kV AT.

Obecnie stosowane są różne rozwiązania systemu zasilania prądu przemiennego o częstotliwości sieciowej 50 lub 60 Hz. Najprostszy schemat zasilania w tym systemie przedstawiono na rys. 4.1.2a, ale ze względu na upływ prądu w ziemi i zakłócenia w obwodach telekomunikacji jest on praktycznie nie stosowany.

W wersji zmodyfikowanej stosuje się system z tzw. transformatorami odsysającymi (booster transformatory - BT) włączonymi co kilka kilometrów pomiędzy sieć szynową i dodatkowy przewód powrotny (rys. 4.1.2b). Ich zadaniem jest wymuszenie przepływu prądu z szyn jezdnych do przewodu powrotnego.

Najnowszym rozwiązaniem jest tzw. system 2×25 kV (rys. 4.1.2c). W tym układzie zasilania w podstacji znajduje się transformator, który posiada dwa uzwojenia wtórne o napięciach nieco wyższych od napięcia znamionowego – 27,5 kV, których środek połączony jest uziemiony i połączony przewodem powrotnym z szynami (SZ). Koniec jednego z uzwojeń wtórnych podłączony jest do sieci trakcyjnej (ST), koniec drugiego zaś do dodatkowego przewodu zasilającego (DZ). Przy takim połączeniu napięcie między siecią jezdnią a szynami wynosi 27,5 kV, zaś na wyjściu transformatora 55 kV. Przewody sieci trakcyjnej i dodatkowy zasilacz (DZ) są zawieszone na tych samych słupach tworząc system o napięciu międzyfazowym (między siecią trakcyjną z dodatkowym zasilaczem) 50 kV.

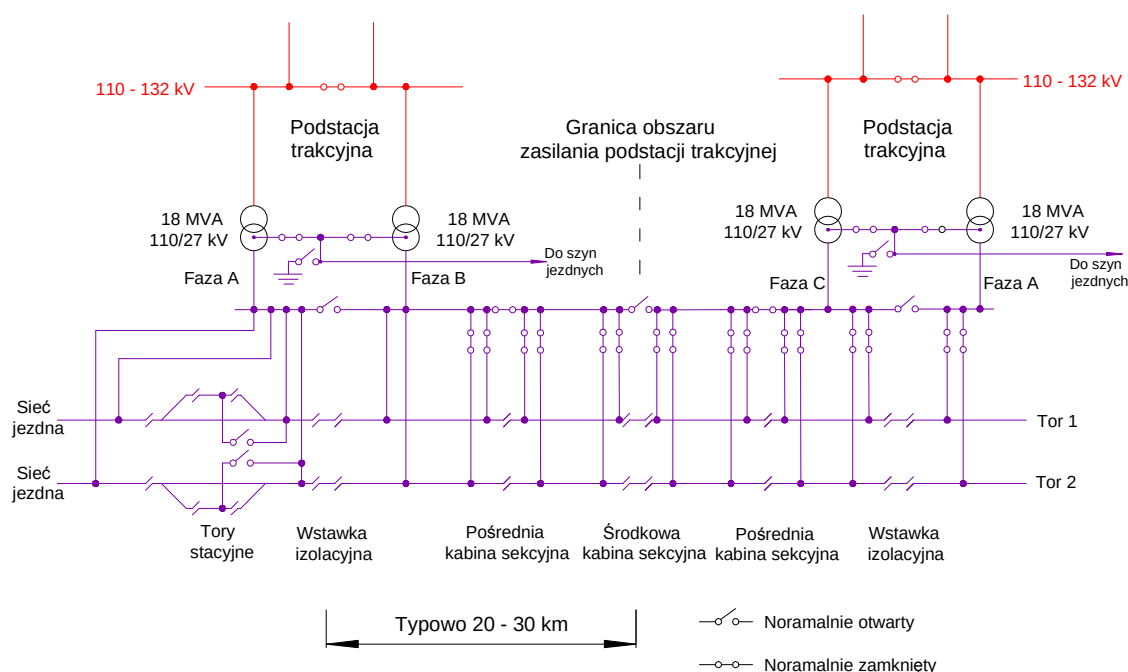
Na odcinku pomiędzy kolejnymi podstacjami znajdują się rozmieszczone co 7÷25 km autotransformatory (AT), które są podłączone pomiędzy sieć jezdnią (ST) a dodatkowy zasilacz (DZ), zaś ich środki są wyprowadzone na zewnątrz i podłączone do szyn jezdnych (SZ). Podczas przemieszczania się pojazdu wzdłuż odcinka autotransformatory kolejno przejmują zasilanie pociągu, a prąd pobierany przez pojazd płynie tylko na odcinku między najbliższymi autotransformatarami.

Dzięki temu zmniejsza się spadki napięcia i wydłuża odcinki zasilania, a podstacje mogą być rozmieszczone 2÷2,5 razy rzadziej niż w przypadku układu 1×25 kV przy zapewnieniu tych samych warunków pracy.

System ten stanowi alternatywę dla wprowadzanego w niektórych krajach systemu 50 kV, ale musi być zasilany z linii WN o napięciu 110, 220 kV lub wyższym. Umożliwia jednak budowę kolei tam, gdzie słaby rozwój linii WN wymusza duże odległości pomiędzy podstacjami.

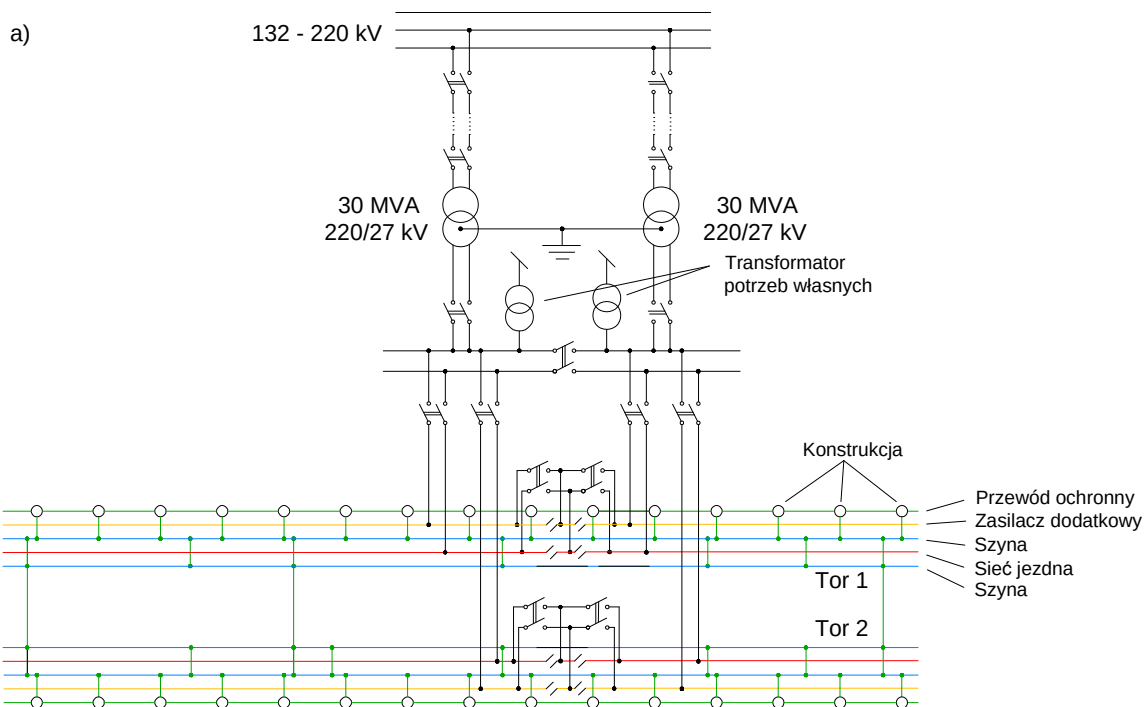
System 2×25 kV w porównaniu do systemu 1×25 kV zmniejsza upływ prądu powrotnego do ziemi i oddziaływania zakłócające na obwody niskoprądowe. Wadą tego systemu jest większa złożoność i potrzeba dodatkowego wyposażenia w celu zapewnienia odpowiedniego układu zabezpieczeń.

4.1.1. Układ zasilania 1×25 kV

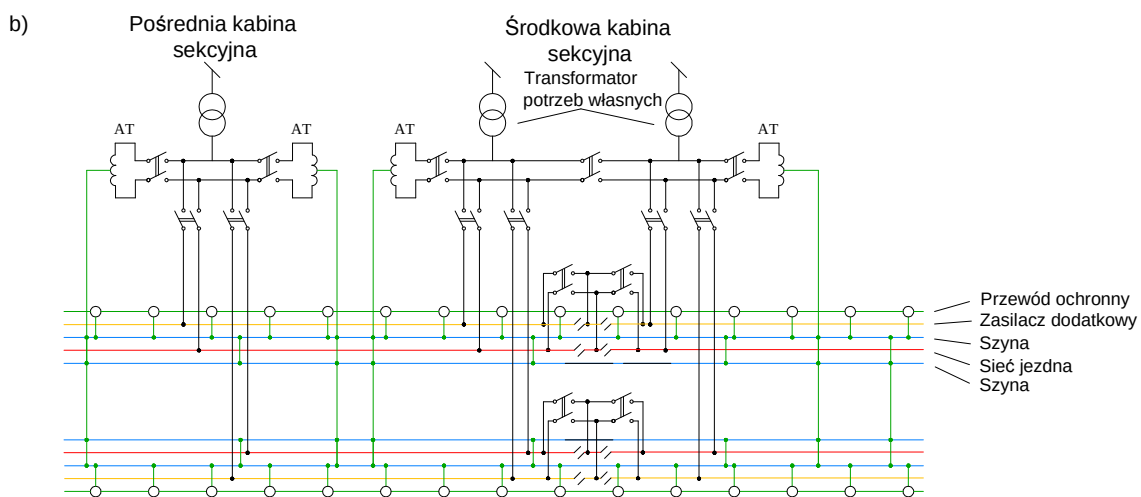


Rys. 4.1.3. Schemat zasilania sieci jezdnej linii dwutorowej w systemie 25 kV 50 Hz

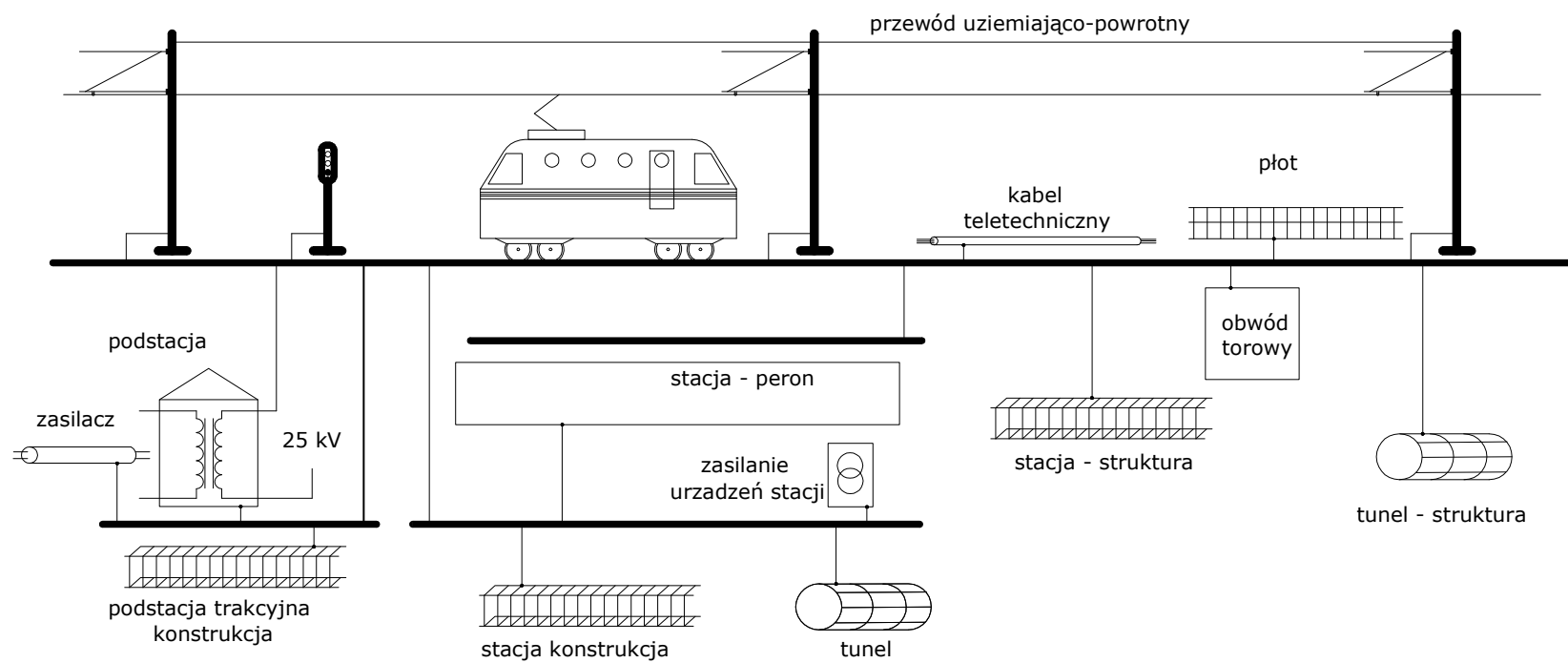
4.1.2. Układ zasilania 2×25 kV



Rys. 4.1.4a. Schemat zasilania sieci jezdnej linii dwutorowej w systemie 2×25 kV AT 50 Hz – rejon podstacji trakcyjnej



Rys. 4.1.4b. Schemat zasilania sieci jezdnej linii dwutorowej w systemie 2×25 kV AT 50 Hz – rejon kabiny sekcyjnej



Rys.4.1.5. System uziemień w systemie zasilania 2x25 kV.

4.2. Sieć powrotna

Prąd trakcyjny powraca do podstacji obwodem powrotnym, który tworzą: szyny jezdne – dobrze uziemione, przewody uziemiające, ziemia i przewody neutralne, jeśli są stosowane oraz zasilacz dodatkowy w systemie 2×25 kV. W punkcie zasilania (podstacja i autotransformatory) przewody powrotne są skutecznie uziemione. Konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej i przewodów znajdujących się pod napięciem są połączone ze sobą i połączone z szynami (traktowanymi jako „ziemia systemu trakcyjnego”). np. na liniach TGV co ok. 1300 m i łączą między sobą następujące elementy: szyny jezdne, zakopany kabel uziemiający, jeden z przewodów powrotnych bezpośrednio przyłączonych do konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej, ogrodzenie.

Słupy sygnalizacyjne, obudowy, skrzynki i szafy sygnalizacyjne i inne przewodzące obiekty znajdujące się w strefie oddziaływania trakcji elektrycznej łączy się do tej „wspólnej ziemi systemu trakcyjnego”. Jeżeli w pobliżu znajdują się uziomy podstacji lub stacji, to należy je przyłączyć do „ziemi systemu trakcyjnego”, aby obniżyć jego rezystancję.

Należy mieć na uwadze rodzaj stosowanych systemów sygnalizacji i sterowania, tak aby umożliwić ich działanie. W celu zmniejszenia impedancji szynowej sieci powrotnej uzasadnione jest stosowanie połączeń poprzecznych międzytokowych i międzyszynowych, z odpowiednich ich uziemieniem. Sposób stosowania tych połączeń powinien być skoordynowany z projektem przewidywanego do zastosowania systemu sterowania i sygnalizacji. Szczegółowe wymagania dotyczące uziemień w systemie 25 kV 50 Hz podane są w normie PN-EN 50122-1:2002 [11].

Najbardziej istotnym zagadnieniem, który musi być brany pod uwagę przy analizie uziemienia w systemie trakcji jest poziom napięcia indukowanego w metalowych konstrukcjach w stosunku do ziemi. W normalnych warunkach napięcie to jest ograniczone do 60 V wartości skutecznej – wg PN-EN 50122-1:2002 [11], a w warunkach zwarciovych do 670 V przy czasie trwania do 200 ms i 842 V w czasie trwania do 100 ms. Uziemienia systemu trakcyjnego dotyczą także inne przepisy EMC: IEC 61000-5-2 [*Installation and mitigation guidelines – Earthing and cabling*] i bezpieczeństwa urządzeń PN-EN 50121-1:2008 [8].

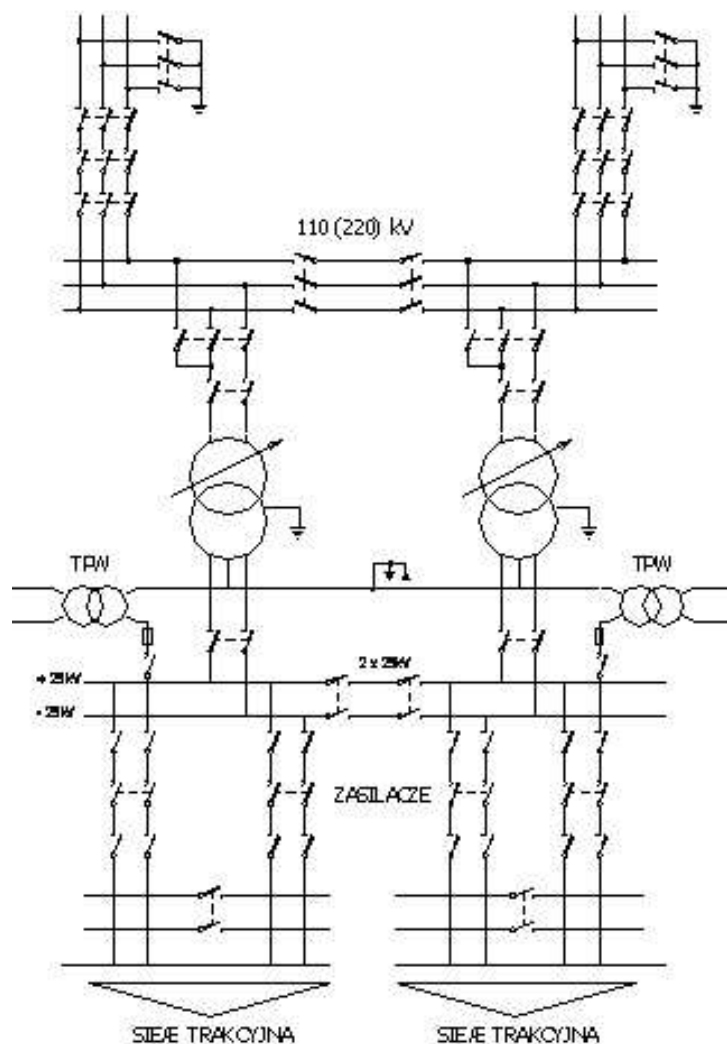
Wg IEC 61000-5-2 niezależne uziemienie jest niekorzystne z punktu widzenia EMC, dla tego zagadnienia korzystne jest wspólne uziemienie, które jest niekorzystne w systemie trakcyjnym ze względu na duże odległości i możliwość przepływu prądów ze względu na różnice potencjałów.

W warunkach typowych nie jest wymagane uziemianie indywidualne konstrukcji wsporczych, gdyż impedancja „ziemi systemu trakcyjnego” powinna być wystarczająco niska ze względu na skuteczne uszynienie każdej konstrukcji wsporczej do szyny. Typowa wartość impedancji przejścia do ziemi konstrukcji wsporczej nie przekracza zwykle 20 Ω , a impedancja „ziemi systemu trakcyjnego” nie powinna być większa niż 1 Ω .

4.3. Podstacje trakcyjne

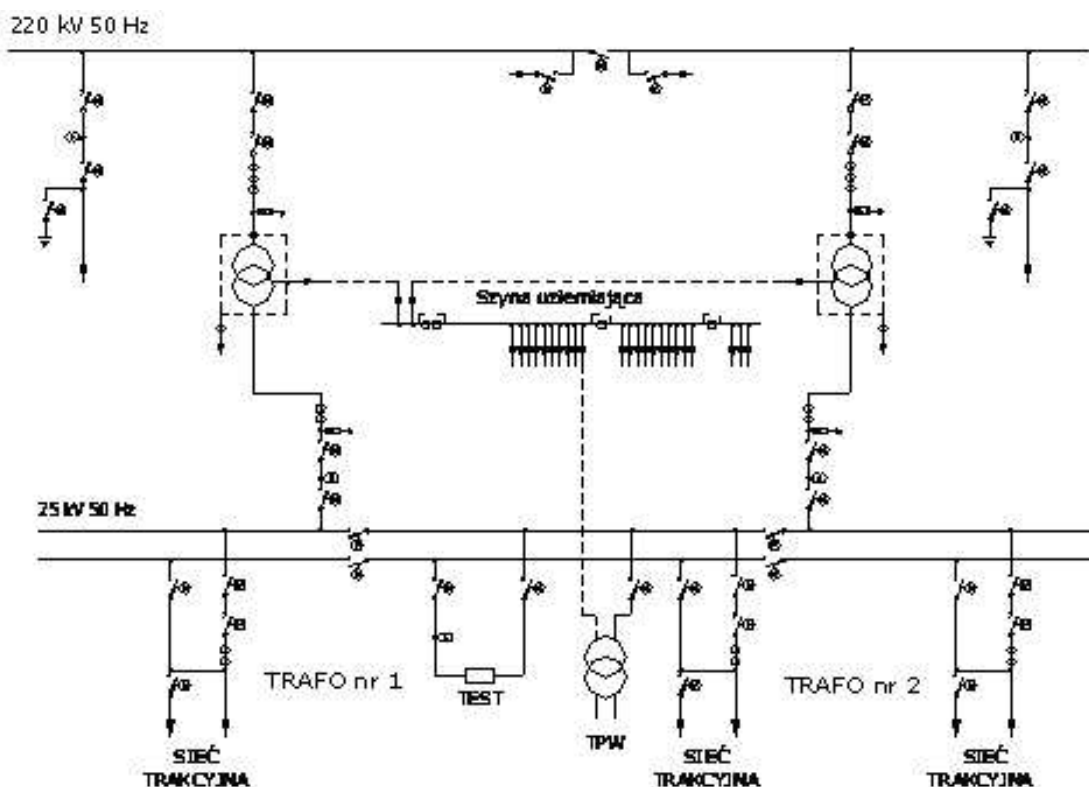
Podstawowe wyposażenie podstacji trakcyjnej obejmuje (rys. 4.3.1):

- rozdzielnia HV (110 kV lub wyższe),
- transformatory HV/25 kV,
- rozdzielnia napięcia trakcyjnego 25 kV,
- rozdzielnia potrzeb własnych z transformatorem 25 kV/nN,
- urządzenia kompensacyjne i tłumiące,
- urządzenia sterowania, automatyki, pomiarów, zabezpieczeń,
- zasilacze i przewody powrotne.

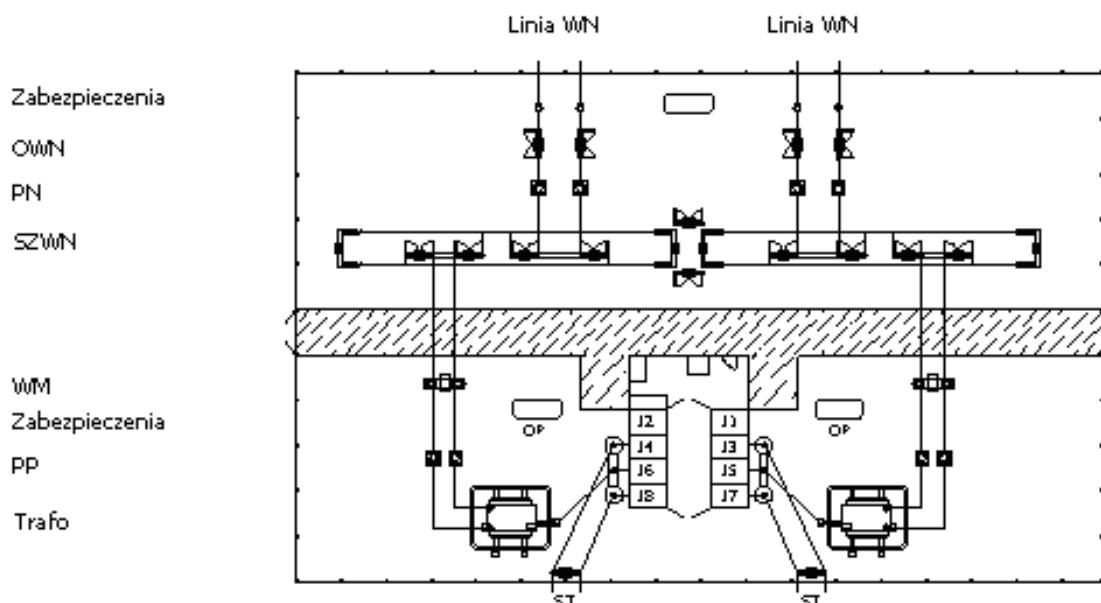


Rys. 4.3.1. Schemat obwodu głównego PT

Na rysunku 4.3.2 przedstawiony został uproszczony schemat aparatury podstacji trakcyjnej na linii Madryt – Sevilla a na rysunku 4.3.3 rozmieszczenie urządzeń na terenie takiej podstacji.



Rys. 4.3.2. Uproszczony schemat aparatury podstacji trakcyjnej linii Madryt- Sevilla



Rys. 4.3.3. Rozmieszczenie urządzeń na terenie podstacji linii Madryd – Sevilla (OWN-odłącznik WN 2-biegunowy, TN-przekładnik napięciowy, SZWN- szyny WN, WM-wyłącznik mocy, PP-przekładnik prądowy, OP-ochronnik przepięciowy)

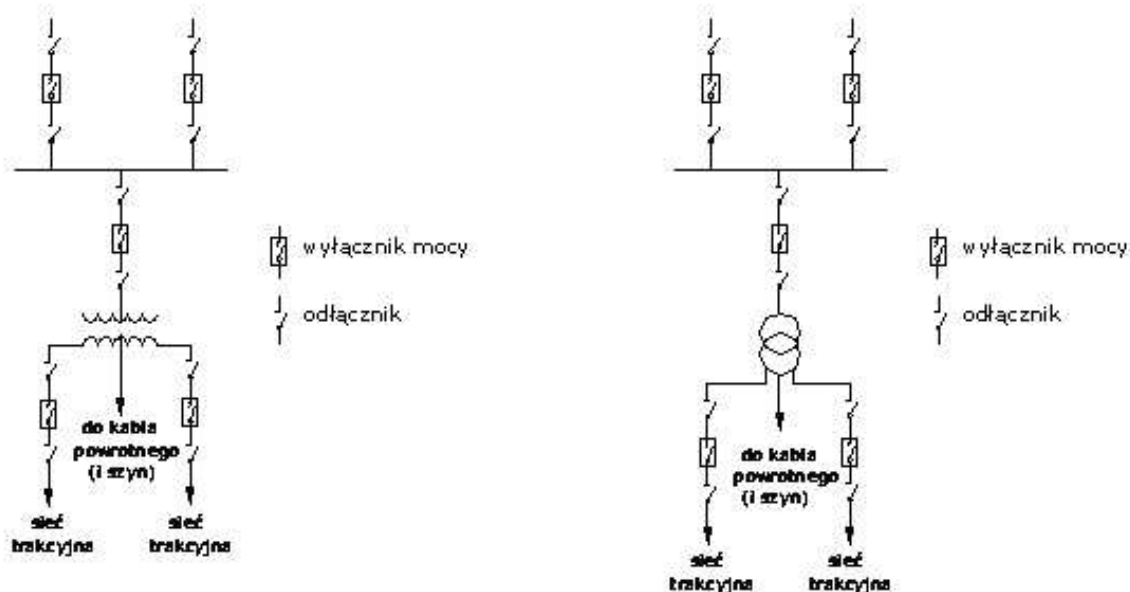
Wyposażenie podstacji obejmuje (rys. 4.3.2):

- układy transformacji energii z 3 faz WN do 1-fazy napięcia 25 kV,
- aparaturę łączeniową prądu przemiennego (po stronie WN 3-fazową, a po stronie 25 kV 2-biegunową,
- układy zabezpieczeń, pomiarów i monitoringu.

4.3.1. Zasilanie elektroenergetyczne

Na liniach szybkich prądy zwarcie w systemie 2×25 kV 50 Hz z auto-transformatorami są zwykle ograniczone do $10 \div 14$ kA. Ograniczenie wartości prądów zwarcia wynika z parametrów systemu elektrotrakcji a także zagrożeń dla systemów sygnalizacji i sterowania, napięć indukowanych w liniach telekomunikacyjnych oraz dopuszczalnych poziomów napięć wrażliwych w uziemionych częściach systemu trakcyjnego. Np. w UK na liniach klasycznych (1×25 kV) w powyższych powodów prądy zwarcie są ograniczane do poziomu 6 kA poprzez stosowanie szeregowych dławików przeciwzwarciowych, zaś dla linii modernizowanych dopuszczalne wartości maksymalnych prądów zwarcie sięgają 10 kA.

Gdy transformatory trakcyjne ($110/2 \times 25$ kV) są w znacznej odległości od podstacji rozdzielczej i sieci trakcyjnej mogą wystąpić duże wartości prądów ziemnopowrotnych. Aby wyeliminować tego typu zjawiska należy lokalizować transformatory trakcyjne w pobliżu przyłącza do sieci trakcyjnej. Gdy transformatory trakcyjne znajdują się w dalszej odległości od sieci trakcyjnej zwykle stosuje się kable koncentryczne 25 kV w klasycznym systemie zasilania (1×25 kV), zaś kable z pojedynczym rdzeniem o przekroju 400 mm^2 w systemie 2×25 kV. Pojawia się wtedy problem, czy uziemiać punkt środkowy transformatora 25 kV-0-25 kV znajdującego się poza podstacją trakcyjną czy w rozdzielni w podstacji trakcyjnej? Wybrana opcja powinna zapewniać minimalizację prądów doziemnych.



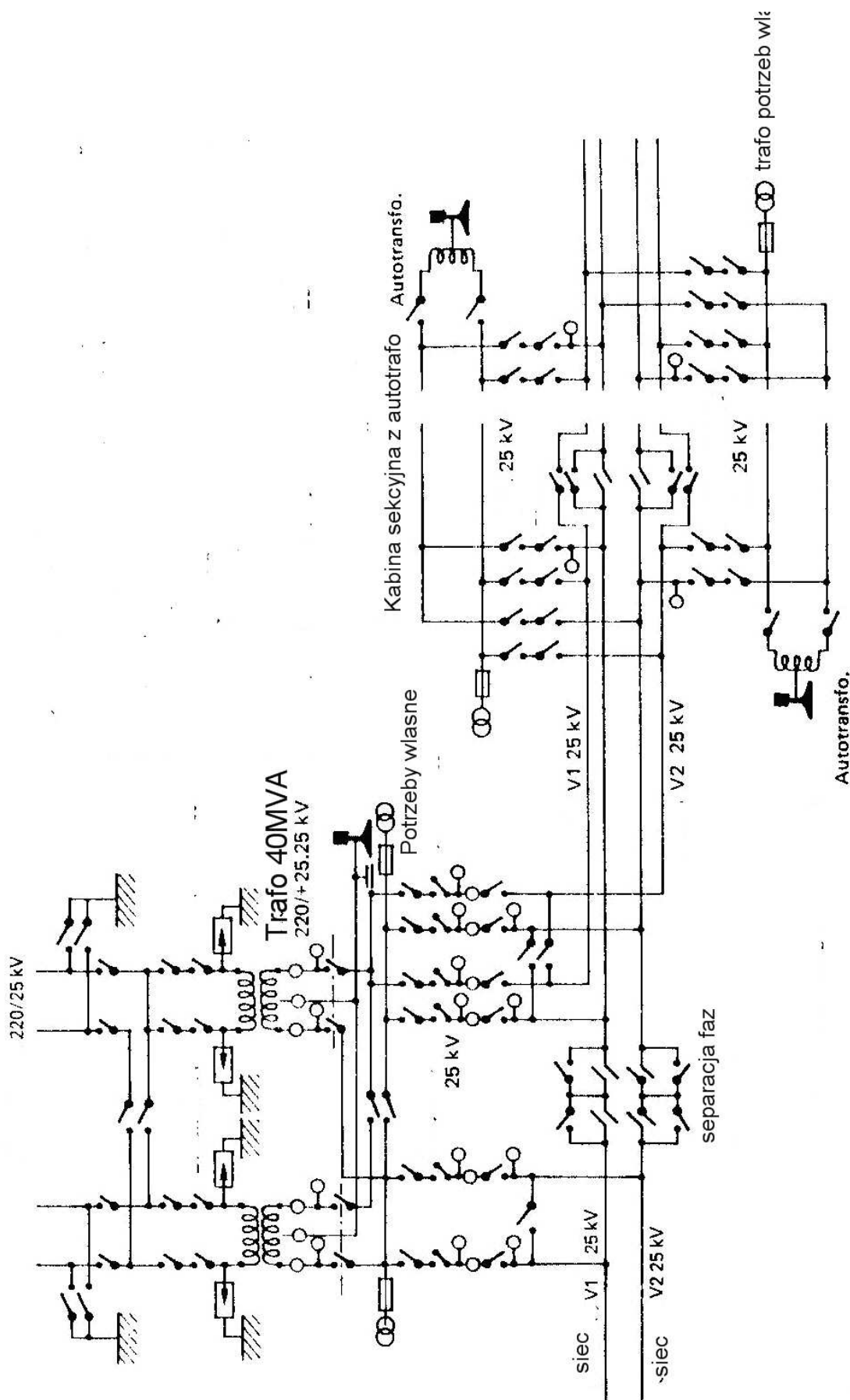
Rys. 4.3.4. Schemat wyposażenia podstacji w aparaturę łączeniową

Korzystne jest, gdy uziemienie podstacji trakcyjnej i rozdzielni elektroenergetyki zawodowej jest wspólne. Aczkolwiek, gdy rezystancje uziemienia w rozdzielni energetycznej i rozdzielni podstacji trakcyjnej są wysokie może być uzasadnione separowanie tych uziomów. Na etapie projektowania należy dokonać szczegółowej analizy (np. metodą modelowania) poziomu wzrostu potencjału przy zwarciach po stronie energetycznej (np. na poziomie 220 czy 110 kV) i po stronie 25 kV. Typowe zalecenia dla położenia podstacji energetycznej wobec podstacji trakcyjnej (wg wymagań brytyjskich):

- napięcie 132(110) kV – na terenie podstacji kolejowej,
- 275(220) kV – w odległości 200 m od terenu kolejowego,
- 400 kV – w odległości 300 m od terenu kolejowego.



Rys. 4.3.5. Widok podstacji trakcyjnej zasilanej napięciem 225 kV



Rys. 4.3.6. Zasilanie sieci trakcyjnej linii szybkiej w systemie 2x25 kV

4.3.1.1. Wspólne uziemienie podstawy trakcyjnej i energetycznej

Zalety:

- zmniejsza wzrost potencjału w stacji energetycznej przy zwarciu na poziomie WN ze względu na włączenie do systemu uziemienia stacji uziemienia podstawy trakcyjnej i szyn, co zmniejsza rezystancje doziemną,
- zmniejsza problemy napięć dotykowych na ogrodzeniach i innych uziemionych obiektach,
- zmniejsza niebezpieczeństwo odłączenia przewodu zerowego.

Wady:

- zwarcie doziemne na poziomie WN rozchodzi się w systemie trakcyjnym,
- należy stosować pojedyncze połączenie szyny neutralnej prądowej ze wspólnym uziemieniem. W przeciwnym przypadku system ochrony przed uszkodzeniem tego przewodu będzie bocznikowany,
- prądy trakcyjne powrotne mogą doprowadzić do uszkodzenia uziemienia.

4.3.1.2. Separowanie uziemienia stacji energetycznej i podstawy trakcyjnej

Zalety:

- zmniejszone przeniesienie wzrostu potencjału uziemienia stacji energetycznej w przypadku zwarcia na szynach WN w stacji energetycznej,
- zmniejszony wpływ prądu zwarcia w stacji energetycznej do szyn jezdnych.

Wady:

- wyższy wzrost potencjału uziemienia w podstawie energetycznej i podstawie trakcyjnej w przypadku zwarć,
- wymagane niższe rezystancje uziomów zarówno w stacji energetycznej jak i w podstawie trakcyjnej ze względu na stany zwarcia na poziomie WN w stacji energetycznej i w podstawie trakcyjnej na poziomie 25 kV,
- mogą wystąpić zbyt wysokie napięcia rażeniowe na obiektach uziemionych oraz pomiędzy uziomami,
- wymagania stosowania odpowiedniej izolacji,
- bardziej złożone procedury utrzymania i obsługi,
- napięcia rażeniowe, jakie mogą się pojawić pomiędzy uziomami w szczególności w przypadku uszkodzenia izolatorów przepustowych 25 kV,
- niebezpieczeństwo związane z przełączalnym punktem zerowym.

4.3.1.3. Położenie punktu zerowego (neutralnego) w stosunku do ziemi

Przyłączenie punktu neutralnego (zerowego) do ziemi systemu 25 kV jest wymagany przed podaniem napięcia do transformatora WN/25 kV. To połączenie może być dokonane tak w stacji energetycznej jak i w podstawie trakcyjnej.

4.3.1.3.1. Uziemienie zera w stacji energetycznej

Wady:

- potencjały obejściowe ochrony od uszkodzenia przewodu neutralnego,
- indukowanie napięć w kablach telekomunikacyjnych,
- prądy trakcyjne mogą wpływać do uziomu stacji energetycznej,

4.3.1.3.2. Uziemienie zera w podstacji trakcyjnej (uziemienie szyny powrotnej)

Zalety:

- ogranicza obejście systemu ochrony od uszkodzenia przewodów,
- ogranicza napięcia indukowane w kablach telekomunikacyjnych.

Wady:

- wymagane procedury ruchu energetycznego dla stacji energetycznej,
- wymagania wobec kabli przyłączonych do powrotnej szyny prądowej muszą spełniać wymagania dla stacji energetycznych.

4.3.1.3.3. Uziemienie systemu powrotnego

Konwencjonalne systemy trakcji elektrycznej zasilane napięciem 25 kV 50 Hz zwykle wykorzystują jedną z szyn jezdnych wyłącznie do celów sygnalizacyjnych. Pozostałe szyny każdego toru są traktowane jako 'szyny trakcyjnych prądów powrotnych' i te szyny są ze sobą połączone poprzecznie oraz połączone z sąsiednimi konstrukcjami wsporczymi sieci trakcyjnej. Typowe rezystancje przejścia tych konstrukcji wsporczych do ziemi nie przekraczają 20 Ω , ale są zależne od warunków klimatycznych. W suchym klimacie ta rezystancja może wzrosnąć do 100 Ω . Łączny system uziemienia sieci powrotnej ma rezystancję przejścia do ziemi dość małą (np. dane brytyjskie podają 0,14 Ω dla linii 4-ro torowej i 0,18 Ω dla linii 2-torowej). Jeśli ta rezystancja jest wystarczająco mała, to nie ma potrzeby wkopywać dodatkowych uziomów, ale gdy jest zbyt duża należy przewidzieć stosowanie dodatkowych uziomów lub nawet zakopanie dodatkowego przewodu uziemiającego.

W klasycznych systemach 25 kV 50 Hz stosuje się jako system powrotny:

- szyny jezdne z dodatkowymi przewodami powrotnymi, ewentualnie dodatkowo z booster-transformatorami,
- szyny jezdne i dodatkowy przewód uziemiający,
- szyny jezdne i przewód uziemiający oraz uziomy.

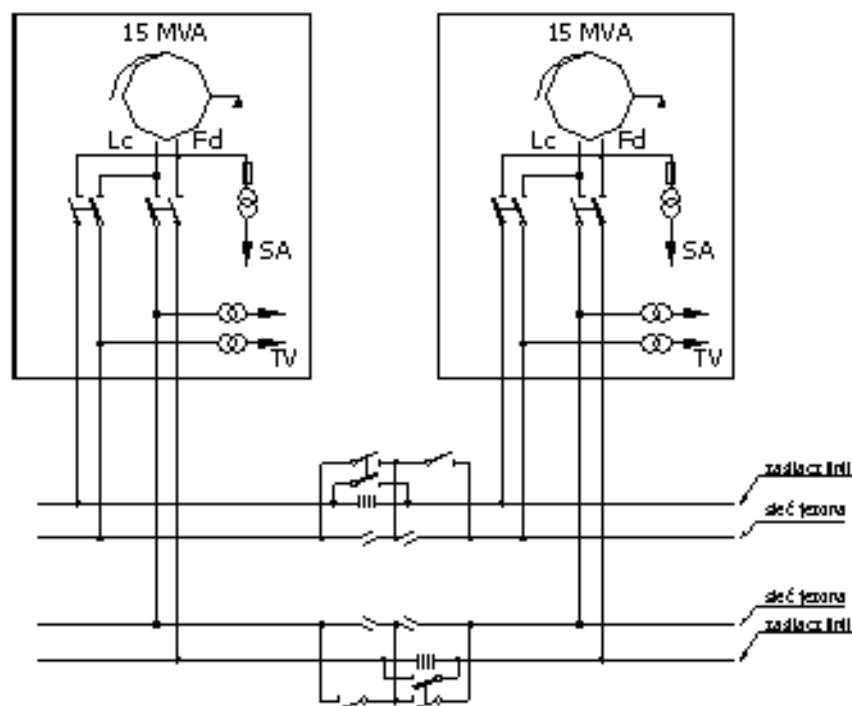
Głównym aspektem, który musi być brany pod uwagę przy projektowaniu systemu uziemień jest poziom napięcia dostępnych przewodzących elementów w odniesieniu do ziemi. W normalnych warunkach napięcia te powinny być ograniczone do 60 V (wg PN-EN 50122-1:2002 [11]), a w warunkach awaryjnych dla czasu 200 ms wzrasta do 670 V.

Ze względów bezpieczeństwa aparatura łączeniowa, która może być załączana ręcznie musi być wyposażona w system wyrównania potencjału. W przypadku konieczności ręcznego zasterowania aparaturą operator musi załączyć urządzenie wyrównujące potencjał. W przypadku zwarcia doziemnego (faza-ziemia) w aparaturze, operator znajdzie się w strefie wyrównanego potencjału.

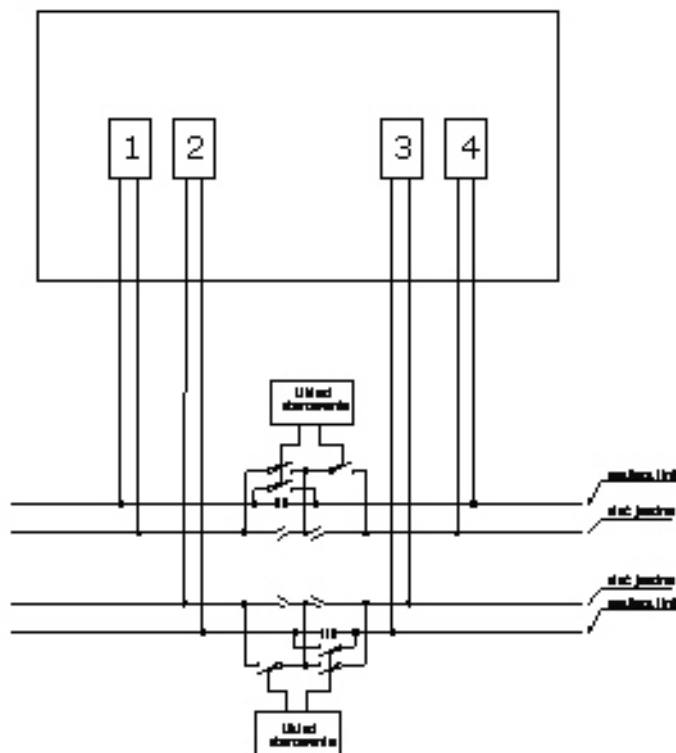
4.4. Kabiny sekcyjne i sekcjonowanie układu zasilania

Kabiny sekcyjne znajdują się w środku odcinków międzypodstacyjnych, a odcinki sieci przy kabinach są również wyposażone we wstawki neutralne. Punkty połączeń poprzecznych znajdują się pomiędzy podstacjami i kabinami sekcyj-

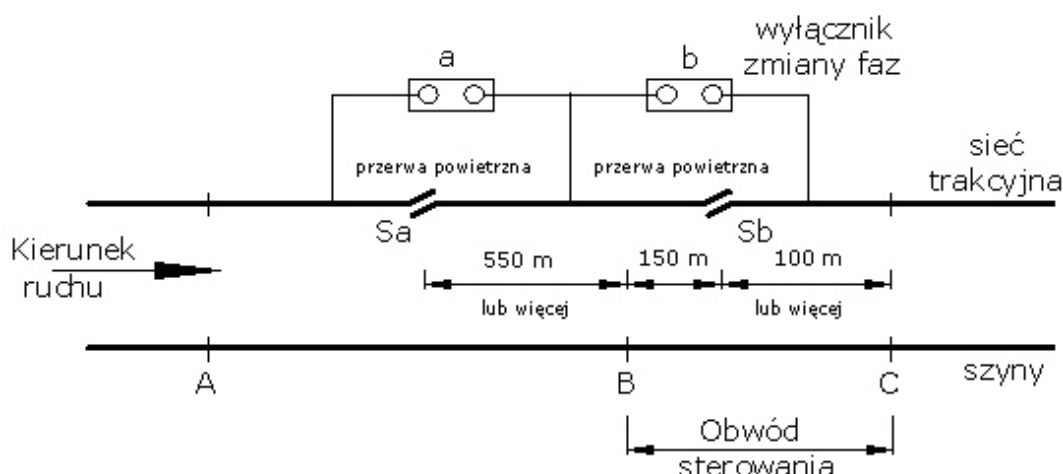
nymi. Każda z kabin sekcyjnych i każdy z punktów połączeń poprzecznych wyposażone są w dwa 10 MVA autotransformatory (linia TGV). Kabin autotransformatorowe powinny mieć własne uziemienie o wartości uziomu mniejszej niż 10 Ω . Uziom takiej podstacji powinien być przyłączony do „ziemi systemu trakcyjnego”.



Rys. 4.4.1. Autotransformatorowa kabina sekcyjna



Rys. 4.4.2. Sekcjonowanie sieci trakcyjnej w rejonie kabiny autotransformatorowej



Rys. 4.4.3. Sekcjonowanie sieci na granicy faz

4.5. Układ zasilania w warunkach normalnych i awaryjnych

Systemy zasilania szybkich linii kolejowych muszą mieć wysoki poziom niezawodności, co wymaga rezerwowania. Transformatory podstacyjne, w warunkach awaryjnych, muszą być w stanie zasilania nie tylko swoją typową sekcją, ale również sekcję sąsiednią. Oznacza to, że w przypadku awarii jednej z podstacji dwie sąsiednie podstacje powinny przejąć jej obciążenie bez konieczności wprowadzania ograniczeń w dostawie energii do sieci trakcyjnej.

Normalne warunki pracy: pracuje jeden transformator w podstacji – warunki napięciowe znamionowe.

Warunki awaryjne: jedna podstacja wyłączona z pracy – warunki napięciowe znamionowe.

4.6. Przykładowe parametry elektryczne sieci trakcyjnej (linia Rzym-Neapol)

We Włoszech na linii kolejowej Rzym-Neapol sieć trakcyjna spełnia następujące parametry elektryczne:

a) napięcie znamionowe: 25 kV AC

b) poziom izolacji:

- od wyładowań (impulsów) atmosferycznych – 250 kV,
- wytrzymałość 1 min. dla napięcia o częstotliwości 50 Hz – 125 kV,
- długość izolatora (wartość minimalna) – 500 mm (270 mm),
- odległość od zasilacza do sieci trakcyjnej – 750 mm,
- prąd znamionowy – 700 A,
- prąd zwarciovowy – 15 kA.

5. Zasilanie z energetyki publicznej i przyłącza

5.1. Wymagania dotyczące przyłączenia do sieci elektroenergetycznej

Ze względu na zakłócający charakter podstacji trakcyjnych prądu przemennego w systemie 25 kV 50 Hz wymagane jest dokonanie analizy oddziaływania podstacji na zasilający system elektroenergetyczny, w tym sprawdzenie kryteriów dotyczących jakości energii (harmoniczne, asymetria, wahania napięcia, współczynnik mocy).

W warunkach polskich możliwe jest przyłączenie podstacji, zasilających sieć trakcyjną napięciem 25 kV 50 Hz, do sieci 110 kV lub 220 kV. Jeżeli napięcie 110 kV jest niedostępne lub moce zwarciove na tym poziomie są zbyt niskie należy zastosować napięcie 220 kV. Stosowanie napięcia 220 kV zapewnia wyższe moce zwarciove i mniejszą asymetrię, co pozwala na większe moce podstacji.

Zasilanie linii kolejowych dużych prędkości wymagać będzie przyłączenia podstacji nawet na poziomie 220 kV, przy transformatorach o mocach 40÷80 MVA ze względu na wzrost obciążeń i warunki przyłączenia do sieci elektroenergetycznej.

W celu zminimalizowania zakłóceń oddziaływania na ten system i innych odbiorców energii elektrycznej przyłączonych do tej samej sieci, przyłączenia do systemu energetycznego są stosowane na napięciach 110 kV lub w przypadku jego niedostępności – na napięciach wyższych. Kolejne, sąsiadujące ze sobą podstacje podłączane są do różnych faz systemu tak, by system WN miał równomierne rozłożenie obciążeń pomiędzy trzy fazy.

5.1.1. Pomiar energii

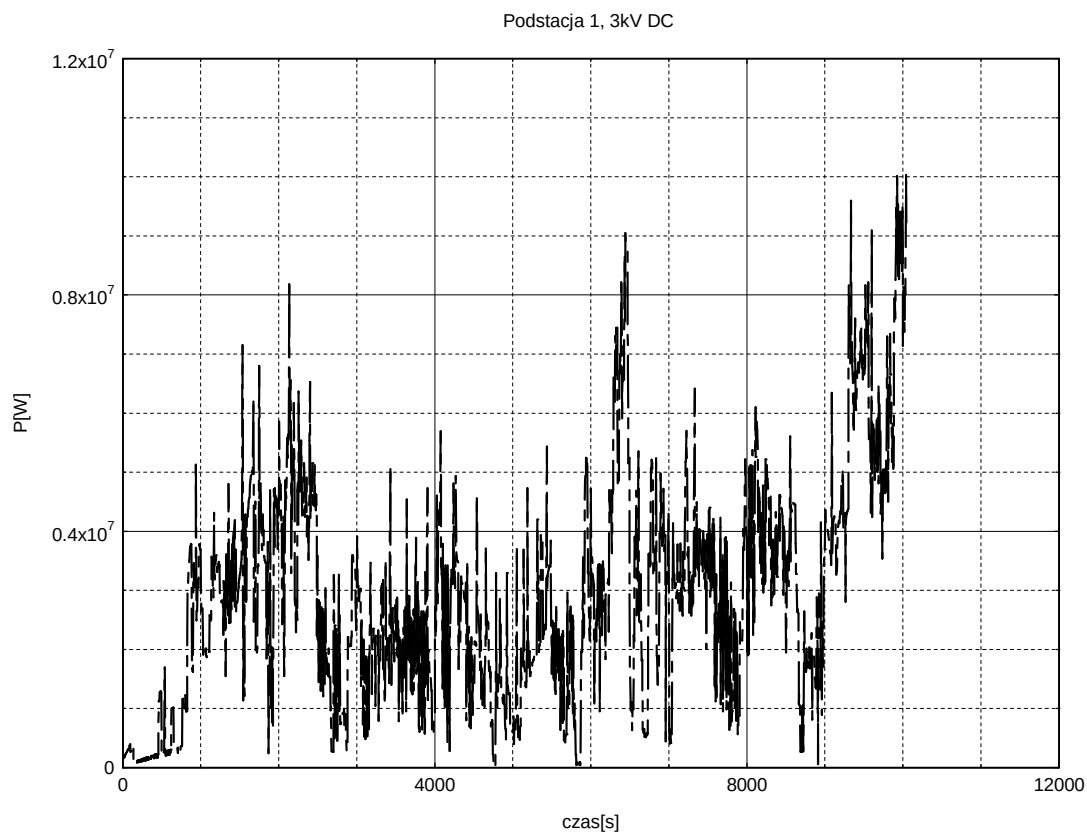
Zasady stosowania układów pomiarowych energii powinny być uzgodnione z właścicielem sieci, do której przyłączone są podstacje trakcyjne, w ramach umowy przyłączeniowej i zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [6].

W Rozporządzeniu Ministra Gospodarki [6] podane są warunki przyłączenia do sieci publicznej i zgodnie z jego rozdziałem 2, podstacje przyłączane do sieci rozdzielczej 110 kV zalicza się do grupy II podmiotów, a do sieci przesyłowej do grupy I.

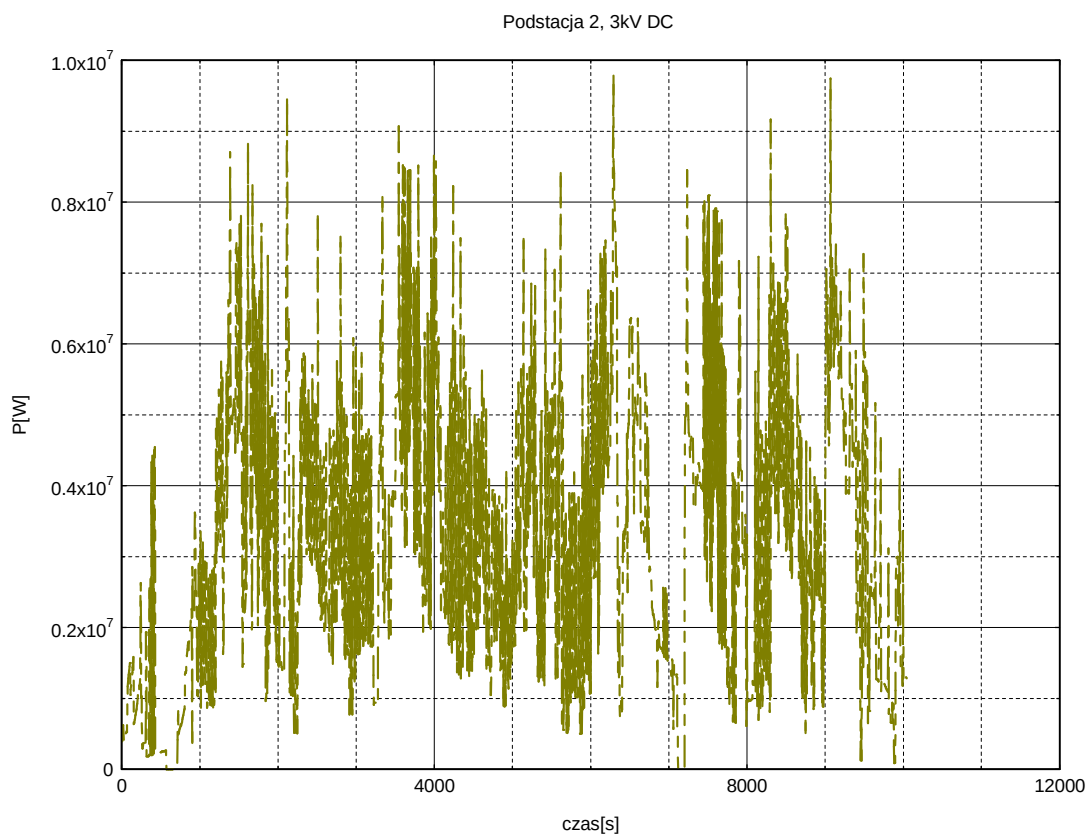
Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki [6] (§ 7) wniosek o określenie warunków przyłączenia powinien zawierać informacje techniczne dotyczące wprowadzanych zakłóceń przez urządzenia wnioskodawcy oraz charakterystykę obciążeń, niezbędne do określenia warunków przyłączenia". Według § 7 ust. 5 pkt. 4 tego Rozporządzenia – do wniosku o przyłączenie należy dołączyć "ekspertyzę wpływu przyłączanych urządzeń, instalacji lub sieci na system elektroenergetyczny, wykonaną w zakresie i na warunkach uzgodnionych z operatorem, na którego obszarze działania nastąpi przyłączenie, jeżeli wniosek składają podmioty zaliczane do I albo II grupy przyłączeniowej".

5.1.2. Moce szczytowe w systemie 25 kV w porównaniu do systemu 3 kV DC

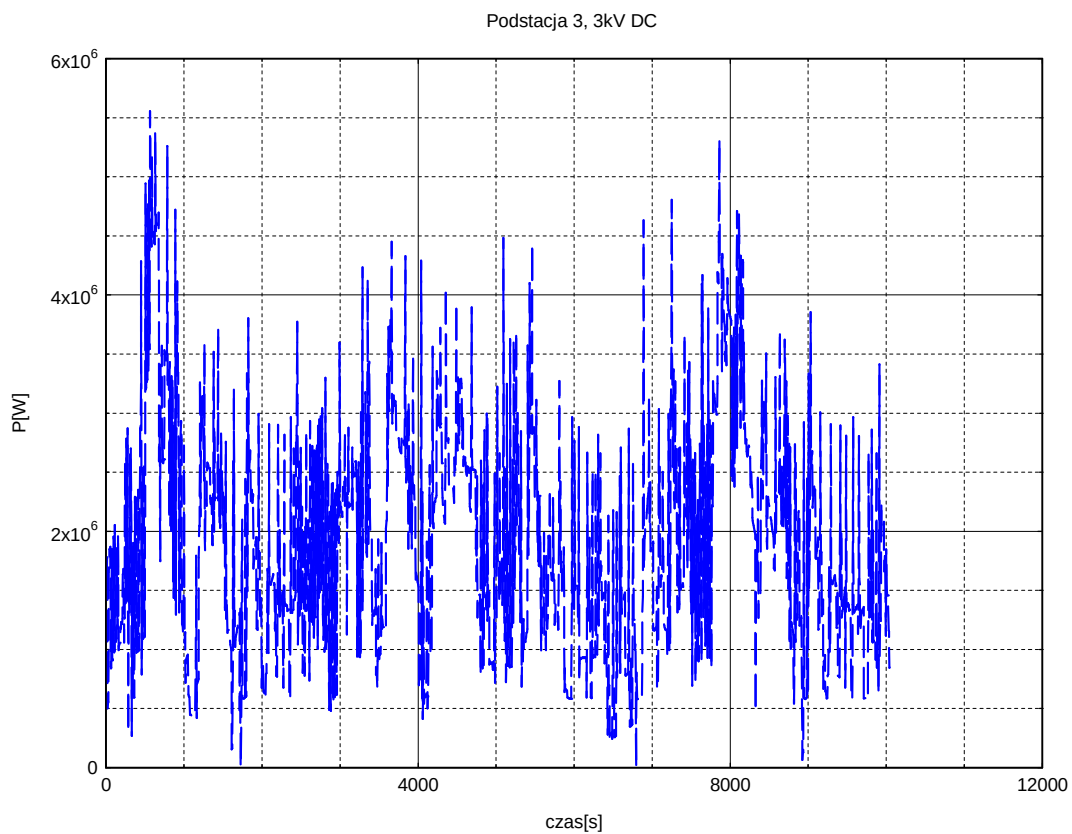
System zasilania 3 kV w porównaniu z system prądu przemiennego charakteryzuje się relatywnie krótkimi odcinkami zasilania a pociągi pozostają w obszarze poszczególnych podstacji przez krótki czas. Z tego powodu wykorzystanie mocy zamówionej w systemie 3 kV jest mniej efektywne, choć obciążenia na poszczególnych podstacjach 3 kV są przy ruchu regularnym do siebie zbliżone. Z kolei wykorzystanie mocy zainstalowanej w systemie prądu przemiennego 25 kV jest wyższe, co jest najbardziej widoczne przy rzadkim ruchu paczkowym. Suma mocy 15-minutowych na podstacjach prądu przemiennego jest zwykle 30-50% niższa niż w przypadku podstacji prądu stałego. W przypadku ruchu gęstego w systemie 3 kV suma mocy jest większa o ok. 20-25% niż w systemie 2×25 kV. Zatem odcinek systemu prądu przemiennego będzie miał przewagę nad systemem 3 kV z uwagi na bardziej równomierne obciążenia i mniejszy współczynnik szczytu. Problem mało efektywnego wykorzystania mocy zainstalowanej na podstacjach 3 kV nasila się dla ruchu szybkiego. W warunkach linii szybkich system 2×25 kV także charakteryzuje się lepszym wykorzystaniem mocy zainstalowanej na poszczególnych podstacjach. Poniżej zestawiono analizy porównawcze mocy szczytowych odcinka linii zasilanej w systemie prądu stałego 3kV przez grupę podstacji trakcyjnych i odpowiednio przez jedną podstację w systemie 25 kV 50 Hz AC. Dokonano porównania mocy szczytowych podstacji. Na poniższych rysunkach przedstawiono uzyskane z symulacji odpowiednio przebiegi obciążeń odcinka linii kolejowej o ruchu mieszanym (prędkości maksymalne pociągów pasażerskich: 150 km/h, zaś towarowych: 100 km/h) o długości 160 km zasilanego 7-ma podstacjami w systemie 3 kV DC (rys. 5.1.1÷5.1.7 dla każdej z podstacji) oraz histogramy tych obciążeń (rys. 5.1.10÷5.1.16). Dla porównania wykonano symulacje przy zasilaniu tego odcinka jedną centralną podstacją systemu 25 kV 50 Hz. (rys. 5.1.8 i 5.1.9).



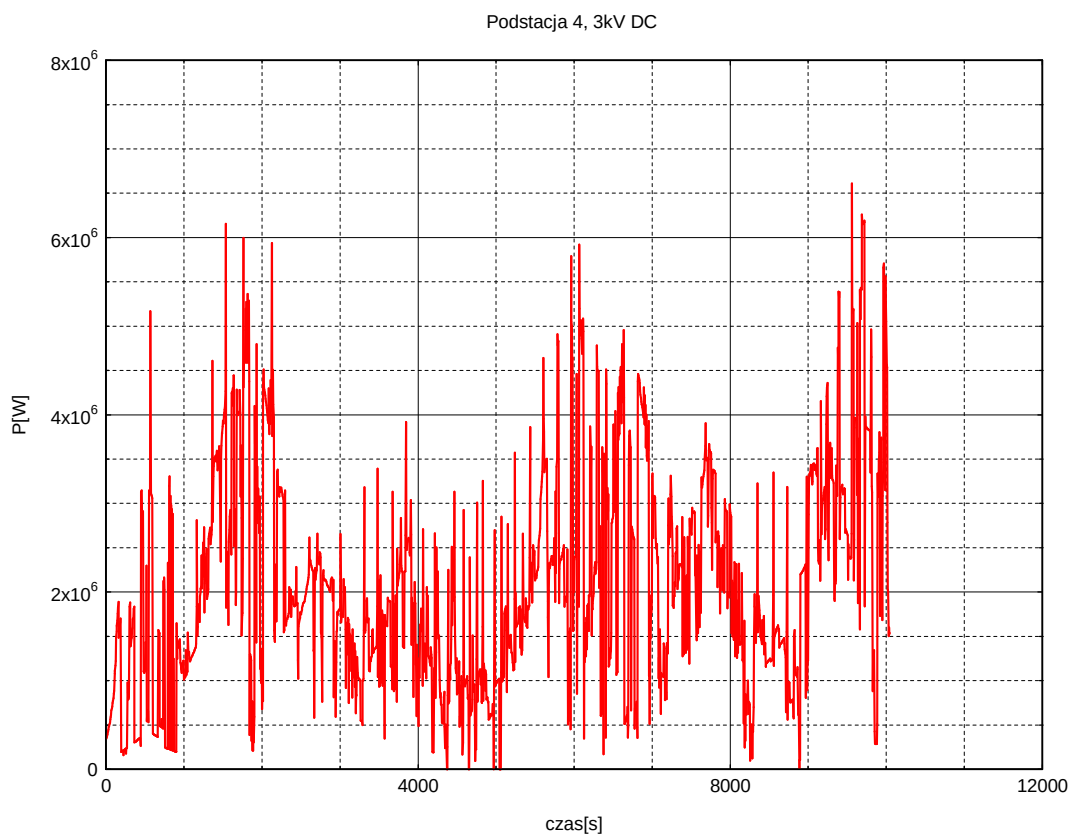
Rys. 5.1.1. Przebiegi obciążeń podstacji DC nr 1



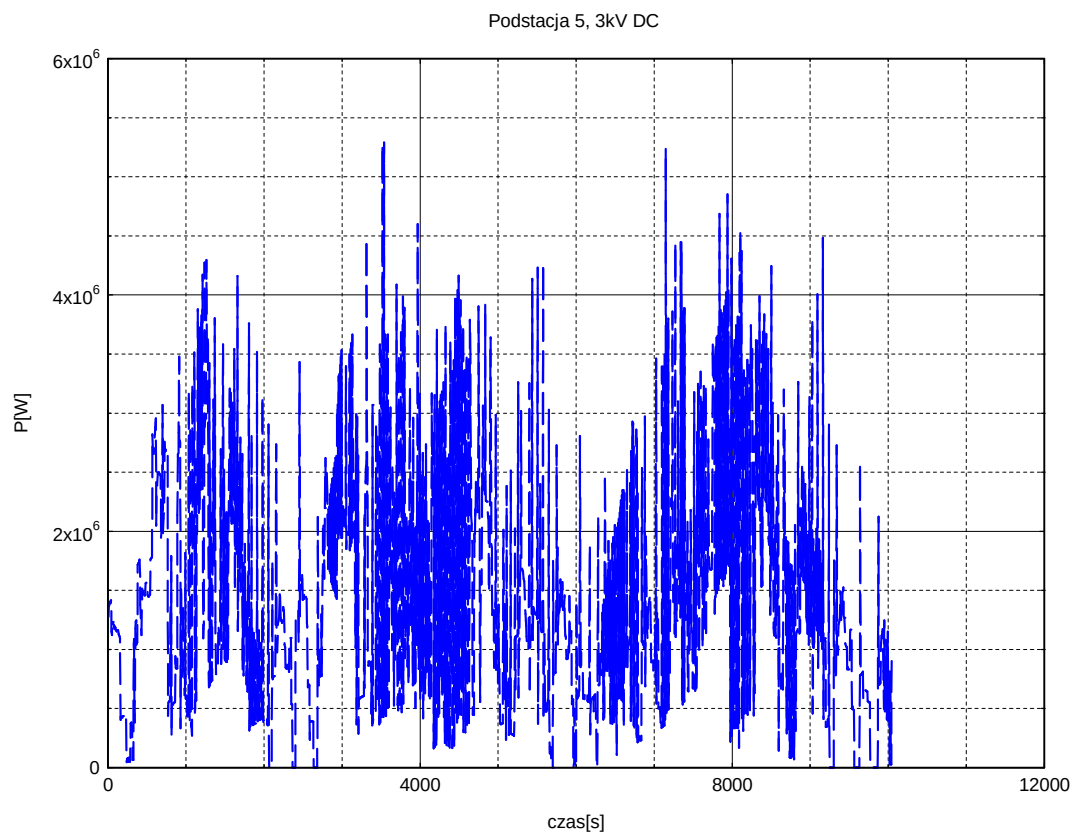
Rys. 5.1.2. Przebiegi obciążeń podstacji DC nr 2



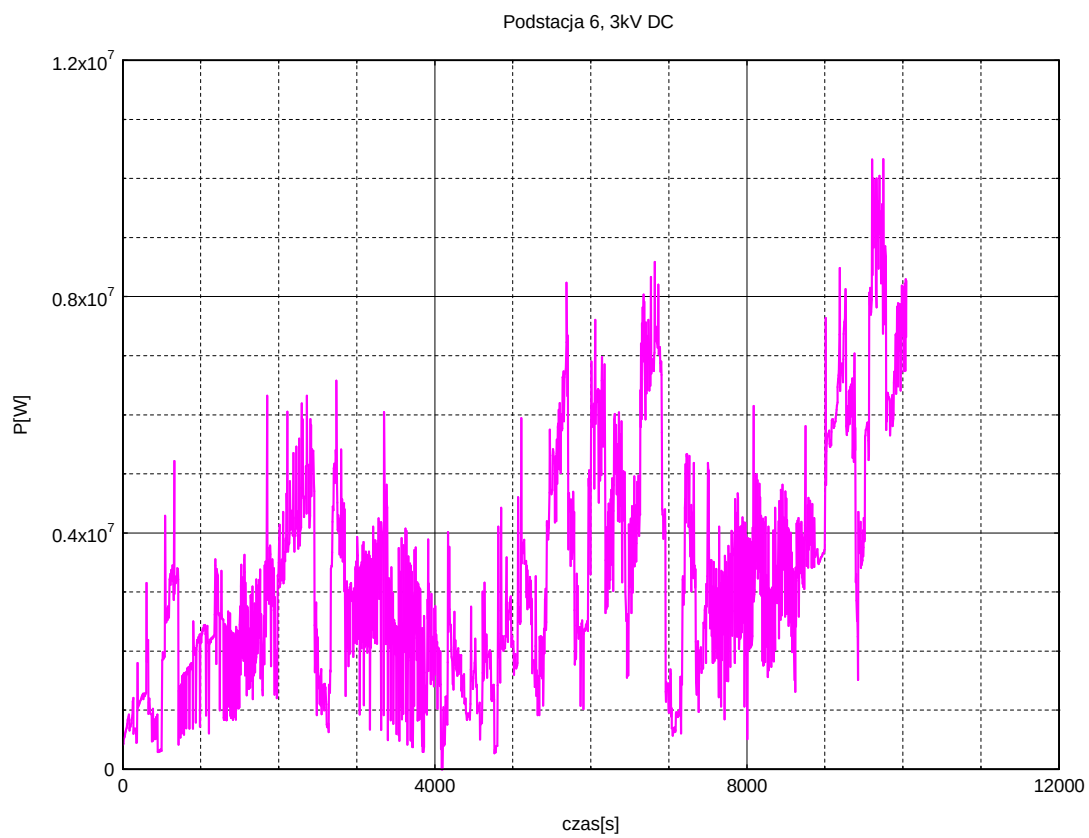
Rys. 5.1.3. Przebiegi obciążeń podstacji DC nr 3



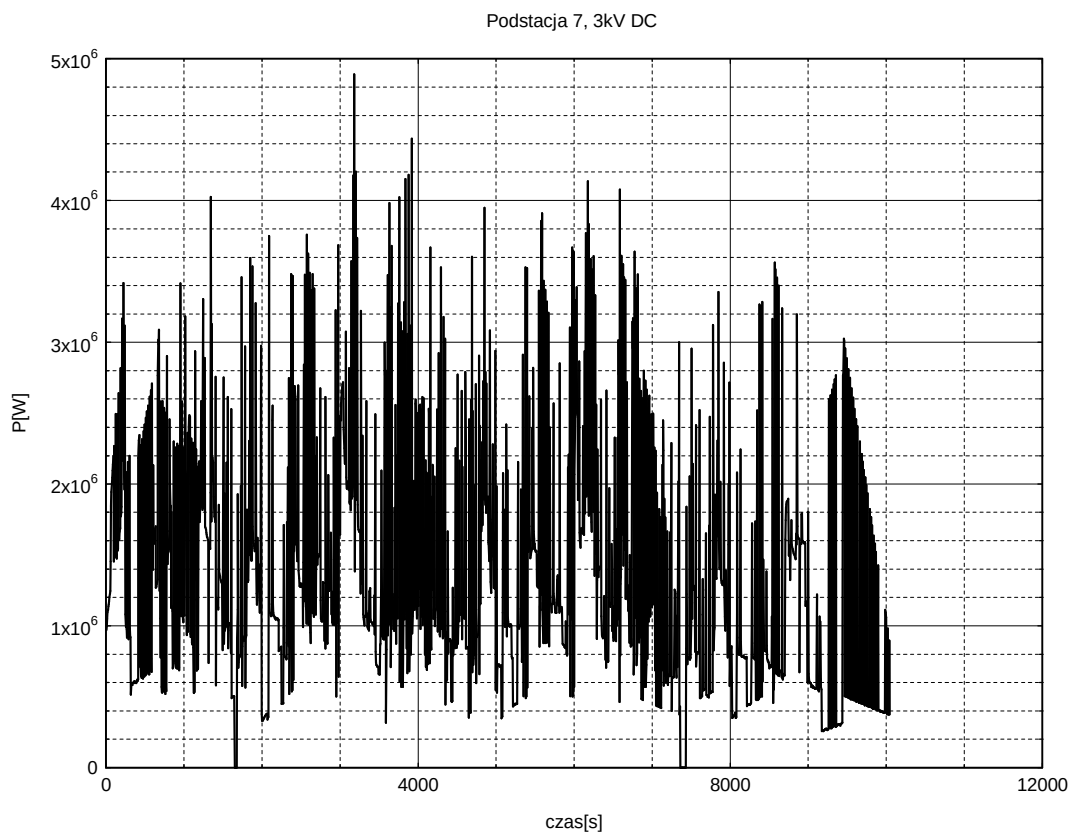
Rys. 5.1.4. Przebiegi obciążeń podstacji DC nr 4



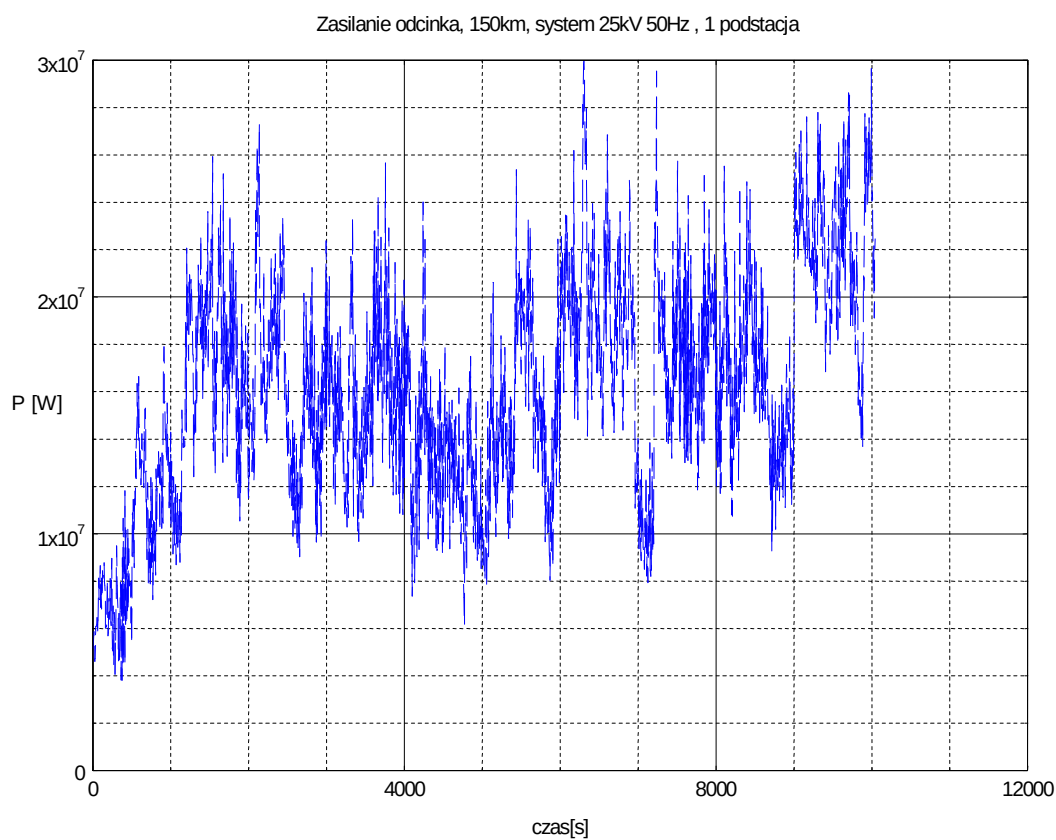
Rys. 5.1.5. Przebiegi obciążeń podstacji DC nr 5



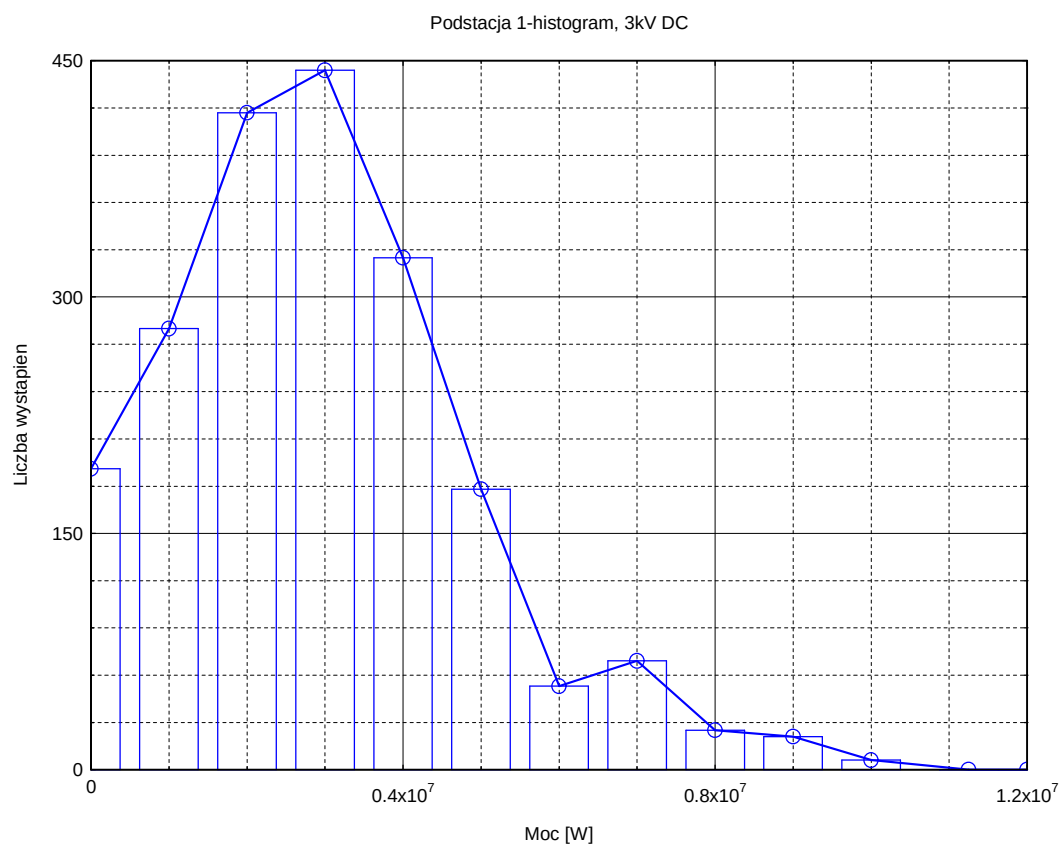
Rys. 5.1.6. Przebiegi obciążeń podstacji DC nr 6



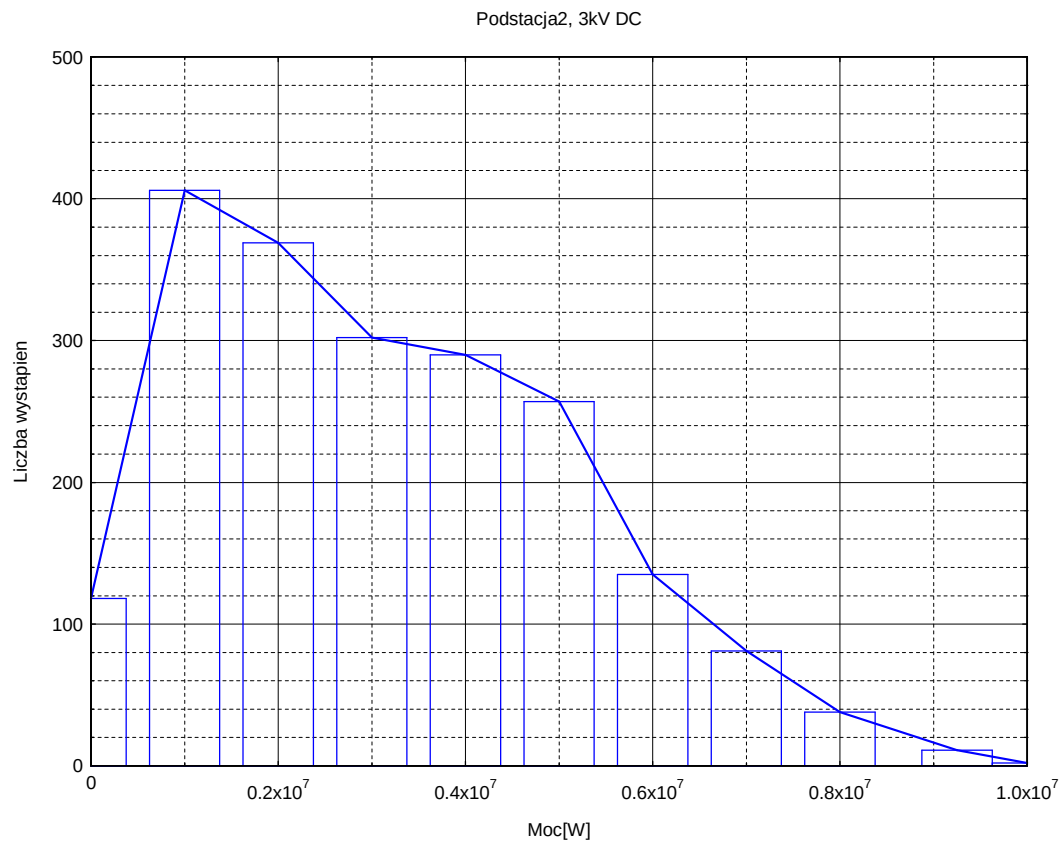
Rys. 5.1.7. Przebiegi obciążeń podstacji DC nr 7



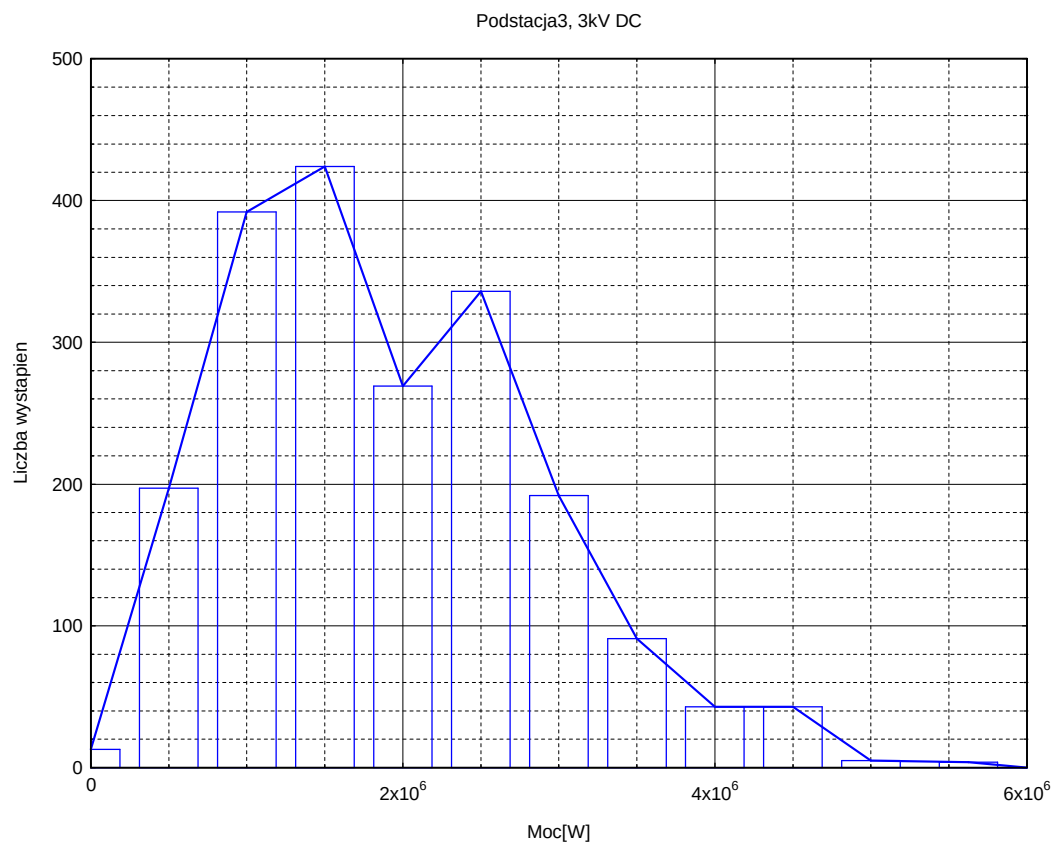
Rys. 5.1.8. Przebiegi obciążeń podstacji w systemie AC



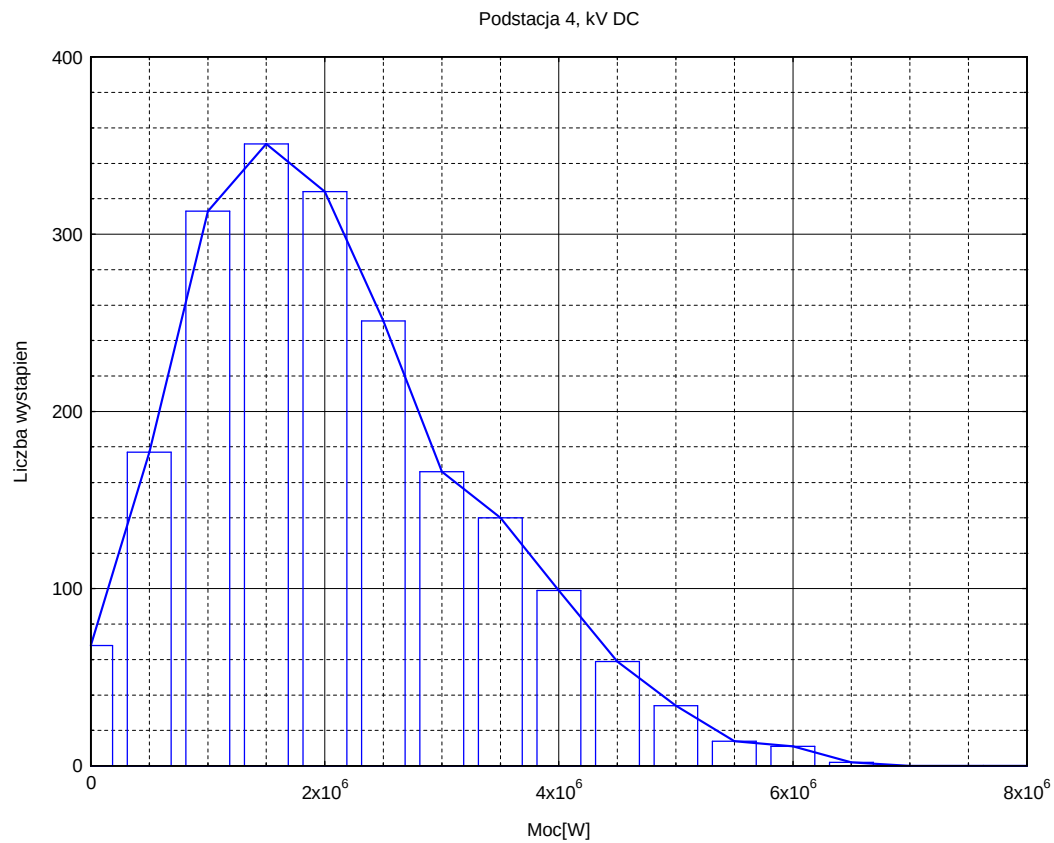
Rys. 5.1.9. Histogram mocy podstacji DC nr 1



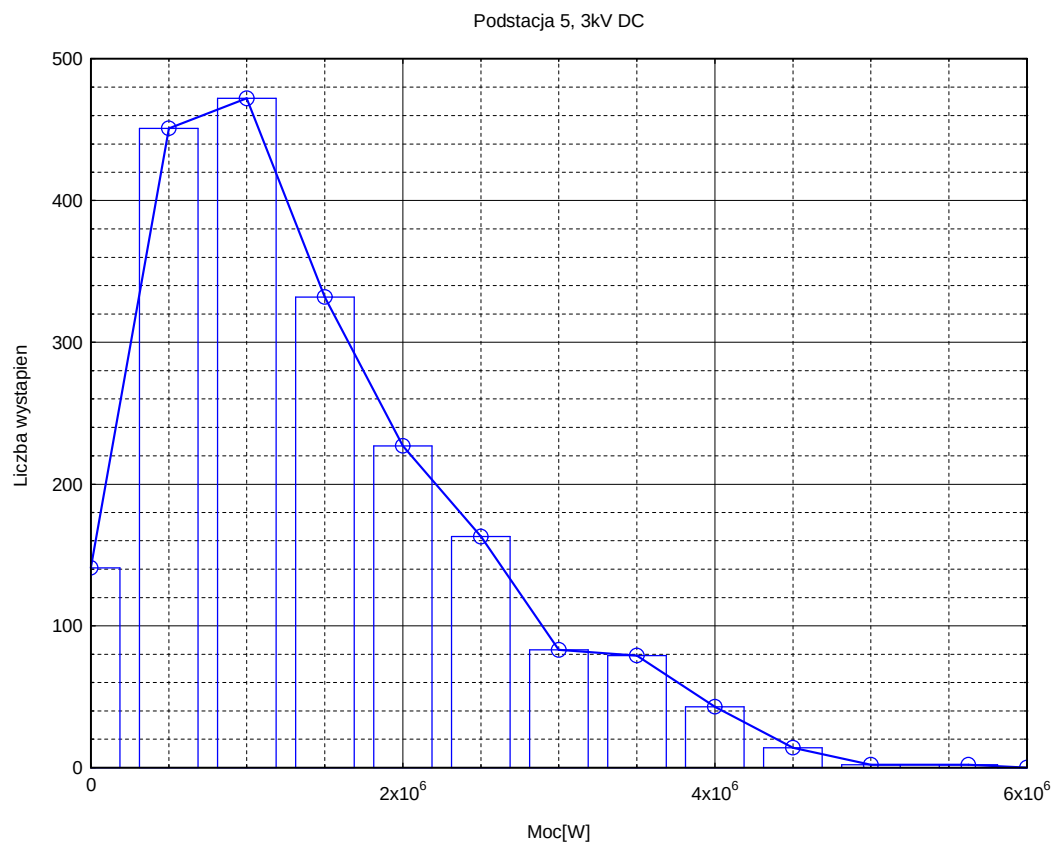
Rys. 5.1.10. Histogram mocy podstacji DC nr 2



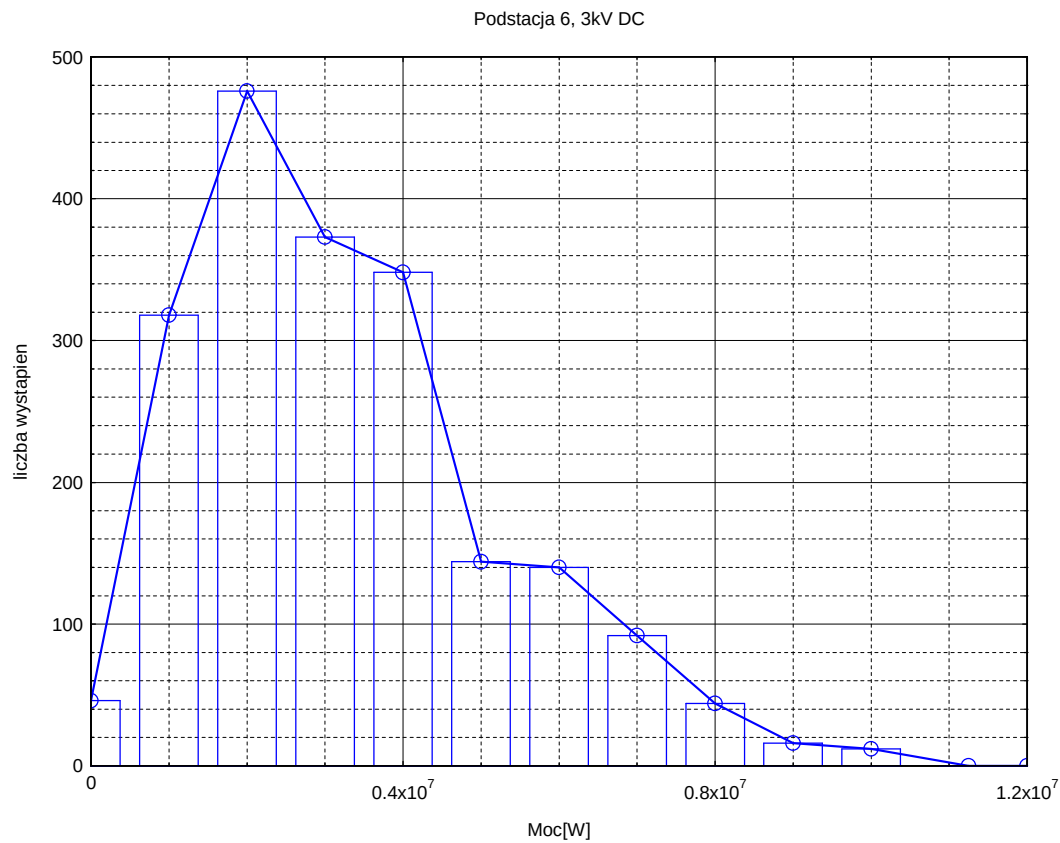
Rys. 5.1.11. Histogram mocy podstacji DC nr 3



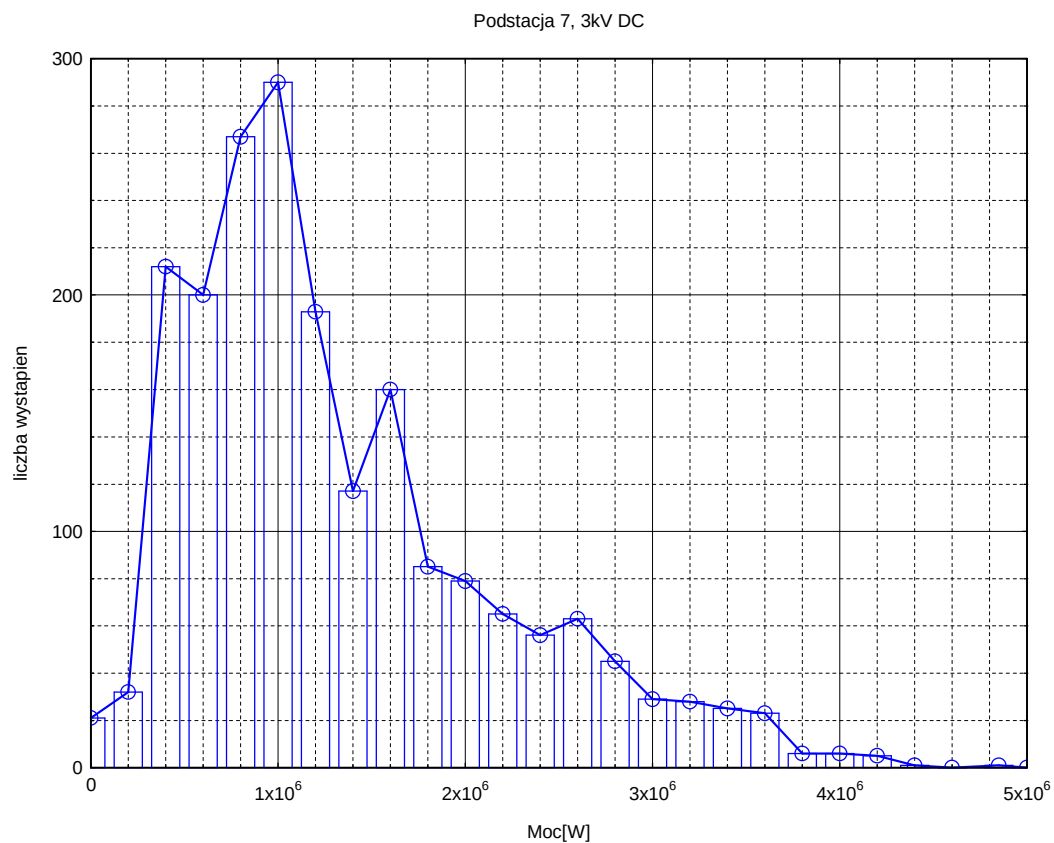
Rys. 5.1.12. Histogram mocy podstacji DC nr 4



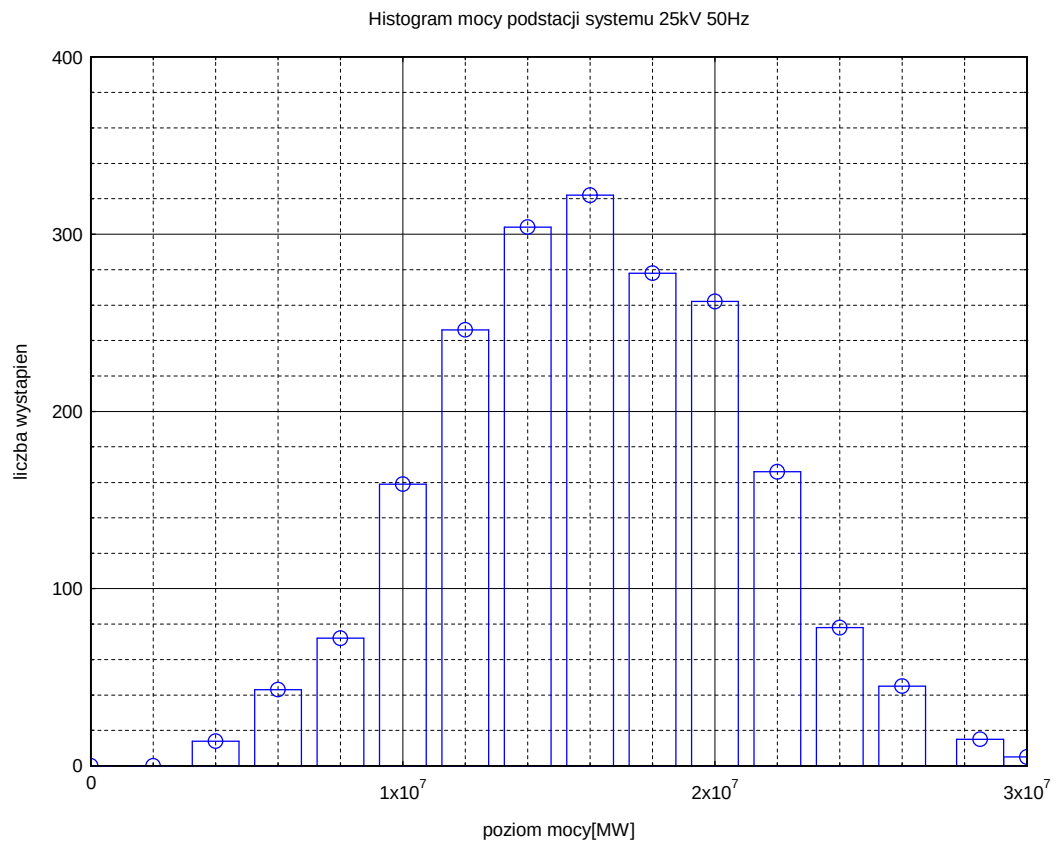
Rys. 5.1.13. Histogram mocy podstacji DC nr 5



Rys. 5.1.14. Histogram mocy podstacji DC nr 6



Rys. 5.1.15. Histogram mocy podstacji DC nr 7



Rys. 5.1.16. Histogram mocy podstacji AC

Zestawienie porównawcze mocy maksymalnych i 15-min. dla poszczególnych podstacji zestawiono tabeli 5.1.1.

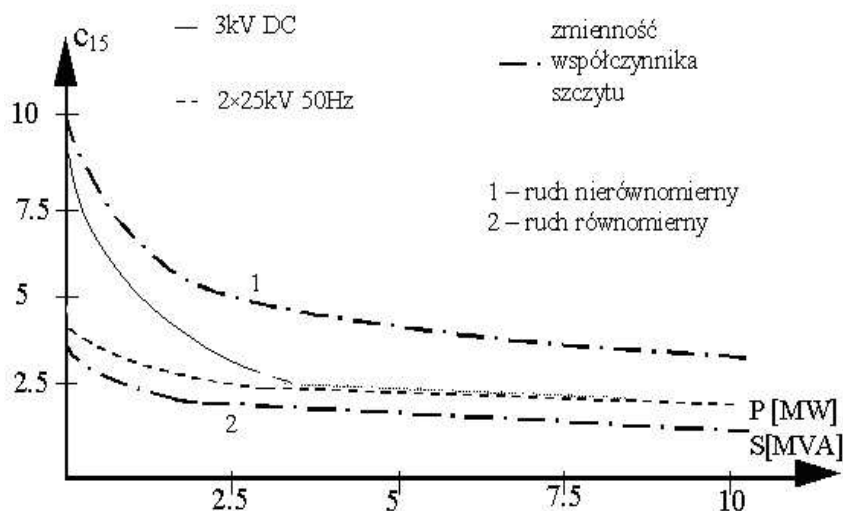
Tabela 5.1.1

Podstacje 3 kV DC	Moc maksymalna [MW]	Moc 15-min. [MW]	Moc szczytowa / moc 15-min.
1	10,0	1,03	9,7
2	9,8	1,22	8,0
3	5,6	2,74	2,1
4	6,6	1,43	4,6
5	5,3	1,57	3,4
6	10,3	1,75	5,9
7	5,0	1,62	3,09
Sumaryczne 3 kV DC	52,6	11,36	4,63
Podstacja 25 kV AC	30,0	9,56	3.14

Moc 15-min szczytowa 3 kV DC/moc 15-min. szczytowa 25 kV= 11,36/9,56=1,19

Moc szczytowa 3 kV/moc szczytowa 25 kV= 52,6/30=1,75

Na wyniki uzyskane z symulacji nałożono wykres zmienności współczynnika szczytu 15-minutowego podawany w literaturze. Długie odcinki zasilania systemów prądu przemiennego w porównaniu do znacznie krótszych odcinków dla systemu 3 kV powodowały, że współczynniki szczytowe dla prądu przemiennego były znacznie niższe niż w przypadku systemu prądu stałego.



Rys. 5.1.17. Wykres zmienności współczynnika szczytu 15 minutowego C_{15} w funkcji dobowej mocy maksymalnej dla ruchu pączkowego z naniesioną literaturową zmiennością współczynnika

System zasilania 3 kV w porównaniu z systemami prądu przemiennego charakteryzuje się relatywnie krótkimi odcinkami zasilania a pociągi pozostają w obszarze poszczególnych podstacji przez krótki czas. Z kolei wykorzystanie mocy zainstalowanej w systemach prądu przemiennego jest wyższe, co jest najbardziej widoczne przy rzadkim ruchu paczkowym. Zatem odcinek systemu prądu przemiennego będzie miał przewagę nad systemem 3 kV z uwagi na bardziej równomierne obciążenia i mniejszy współczynnik szczytu. Problem mało efektywnego wykorzystania mocy zainstalowanej na podstacjach 3 kV nasila się dla ruchu szybkiego.

5.1.3. Parametry jakościowe energii elektrycznej

Standardy jakościowe obsługi odbiorców oraz parametry techniczne energii elektrycznej podane zostały w rozdziale 10 Rozporządzenia Ministra Gospodarki [6]. Zależą one od ustalonego w rozdziale 2 podziału przyłączanych podmiotów (odbiorów) na grupy przyłączeniowe.

Dla podmiotów zaliczanych do grup przyłączeniowych I i II ustalone zostały następujące parametry techniczne energii elektrycznej dla sieci, funkcjonującej bez zakłóceń:

- 1) wartość średnia częstotliwości, mierzonej przez 10 sekund w miejscach przyłączenia, powinna być zawarta w przedziale:
 - a) 50 Hz $\pm 1\%$ (od 49,5 Hz do 50,5 Hz) przez 99,5% tygodnia,
 - b) 50 Hz $+4\%$ / -6% (od 47 Hz do 52 Hz) przez 100% tygodnia;
- 2) w każdym tygodniu 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno się mieścić w przedziale odchyłań:
 - a) $\pm 10\%$ napięcia znamionowego dla sieci o napięciu znamionowym 110 kV, 220 kV,
 - b) $+5\%$ / -10% napięcia znamionowego dla sieci o napięciu 400 kV;
- 3) przez 95% czasu każdego tygodnia, wskaźnik długookresowego migotania światła P_{lt} spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego nie powinien być większy od 0,8;
- 4) w ciągu każdego tygodnia 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych:
 - a) składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale od 0% do 1% wartości składowej kolejności zgodnej,
 - b) dla każdej harmonicznej napięcia zasilającego, powinno być mniejsze lub równe wartościom określonym w poniższej tabeli 5.1.2:

Tabela 5.1.2

Limity harmonicznych w sieciach o $U_n \geq 110$ kV

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
nie będące krotnością 3		będące krotnością 3		rząd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (U_h)
rząd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (U_h)	rząd harmonicznej (h)	wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej (U_h)		
5	2%	3	2%	2	1,5%
7	2%	9	1%	4	1%
11	1,5%	15	0,5%	>4	0,5%
13	1,5%	>21	0,5%		
17	1%				
19	1%				
23	0,7%				
25	0,7%				
>25	$0,2 + 0,5 \cdot \frac{25}{h}$				

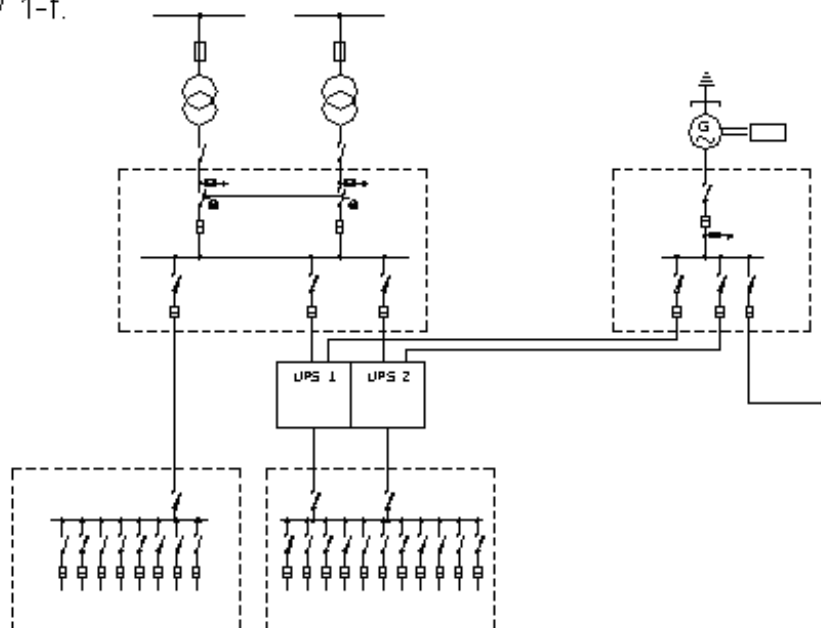
- 5) przez 95% czasu każdego tygodnia, wskaźnik długookresowego migotania światła P_{lt} spowodowanego wahaniami napięcia zasilającego nie powinien być większy od 0,8;
- 6) w ciągu każdego tygodnia 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych:

Parametry techniczne wyspecyfikowane powyżej mogą być dla podmiotów grupy I i II zastąpione w części lub całości innymi parametrami określonymi przez strony w umowie sprzedaży energii elektrycznej lub umowie przesyłowej.

5.2. Zasilanie obwodów potrzeb własnych i odbiorów nietrakcyjnych

Do zasilania potrzeb nietrakcyjnych można wykorzystać lokalną sieć publiczną lub transformatory potrzeb nietrakcyjnych zasilane napięciem 25 kV 50 Hz w podstacji trakcyjnej lub kabinach sekcyjnych. Odbiory potrzeb nietrakcyjnych powinny mieć 2 niezależne źródła zasilania z systemem samoczynnego załączenia rezerwy, a dodatkowo (dotyczy odbiorów o wymaganym wysokim poziomie niezawodności np. obwody sygnalizacji i sterowania) również zasilanie rezerwowe z UPS on-line o odpowiednim czasie podtrzymania zasilania do czasu załączenia generatora prądotwórczego.

25kV 1-f.



Rys. 5.2.1. Zasilanie potrzeb własnych

5.3. Wymagania ogólne

5.3.1. Poziom napięcia i częstotliwości systemów trakcyjnych

5.3.1.1. Poziom napięcia

W tabeli 5.3.1 zestawiono parametry dopuszczalnych poziomów napięcia w systemach trakcji elektrycznej oraz czasów ich trwania.

Tabela 5.3.1

Dopuszczalne poziomy napięć w systemach trakcji elektrycznej

Typ systemu	Najniższe dopuszczalne napięcie krótkotrwałe U_{min2} [V]	Najniższe dopuszczalne napięcie długotrwałe U_{min1} [V]	Napięcie znamionowe systemu U_n [V]	Najwyższe dopuszczalne napięcie długotrwałe U_{max1} [V]	Najwyższe dopuszczalne napięcie krótkotrwałe U_{max2} [V]
System prądu przemiennego (wartości skuteczne)	11 000 ⁽¹⁾	12 000	15 000	17 250	18 000 ⁽²⁾
	17 500 ⁽¹⁾	19 000	25 000	27 500	29 000 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Czas trwania napięć o wartościach z zakresu ($U_{min2} \div U_{min1}$) nie może być dłuższy niż 2 minuty.

⁽²⁾ Czas trwania napięć o wartościach z zakresu ($U_{max1} \div U_{max2}$) nie może być dłuższy niż 5 minut.

Poziom napięcia na szynach zbiorczych podstacji trakcyjnej z otwartymi wszystkimi wyłącznikami linii może być niższy lub równy od U_{max1} .

Podczas normalnej pracy poziom napięcia musi zawierać się w zakresie ($U_{min1} \div U_{max2}$).

W trakcie innych niż standardowe warunkach działania dopuszczalny jest poziom napięcia z przedziału ($U_{min1} \div U_{min2}$).

5.3.1.1.1. Stosunek U_{max1} / U_{max2}

Po każdym pojawieniu się napięcia o wartości U_{max2} powinno nastąpić napięcie o wartości mniejszej lub równej U_{max1} po dowolnym okresie czasu.

5.3.1.1.2. Najniższe napięcie pracy systemu

W trakcie anormalnych warunków pracy systemu, napięcie U_{min2} stanowi dolny limit poziomu napięcia dla przewodu jezdnego, przy którym pociągi mogą jeździć.

Uwaga: Nastawy przekaźników zabezpieczeń dla urządzeń podnapięciowych znajdujących się w podstacji lub w pociągu powinny być w zakresie ($0,85 \div 0,95$) poziomu napięcia U_{min2} .

5.3.1.2. Częstotliwość

Na częstotliwość 50 Hz systemu ma wpływ trójfazowa sieć wysokiego napięcia i z tego względu można stosować wartości zalecane przez normę PN-EN 50160:2008 [13]. Natomiast na częstotliwość systemu 16,7 Hz (z wyjątkiem przetwornicy synchronicznej-asynchronicznej) sieć trójfazowa nie ma wpływu.

W tabeli 5.3.2 zestawiono wartości stosowane dla obu systemów.

Tabela 5.3.2

Dopuszczalne poziomy częstotliwości dla systemów trakcji elektrycznej

Okres trwania analizy	Znamionowa częstotliwość systemu	System zasilany przez:	
		Pośrednicząca sieć trójfazowa	Niepośrednicząca sieć trójfazowa
95% tygodnia	50,0 Hz	50,50 Hz	51,00 Hz
		49,50 Hz	49,00 Hz
	16,7 Hz	16,83 Hz	Nie stosowane
		16,50 Hz	Nie stosowane
100% tygodnia	50,0 Hz	52,00 Hz	57,50 Hz
		47,00 Hz	42,50 Hz
	16,7 Hz	17,36 Hz	17,00 Hz
		15,69 Hz	16,17 Hz

5.3.2. Dopuszczalny pobór mocy

5.3.2.1. Maksymalny prąd pociągu

W tabeli 5.3.3 zestawiono maksymalne poziomy prądów dla pociągów. Wartości te są stosowane zarówno dla celów trakcyjnych, jak i dla rekuperacji.

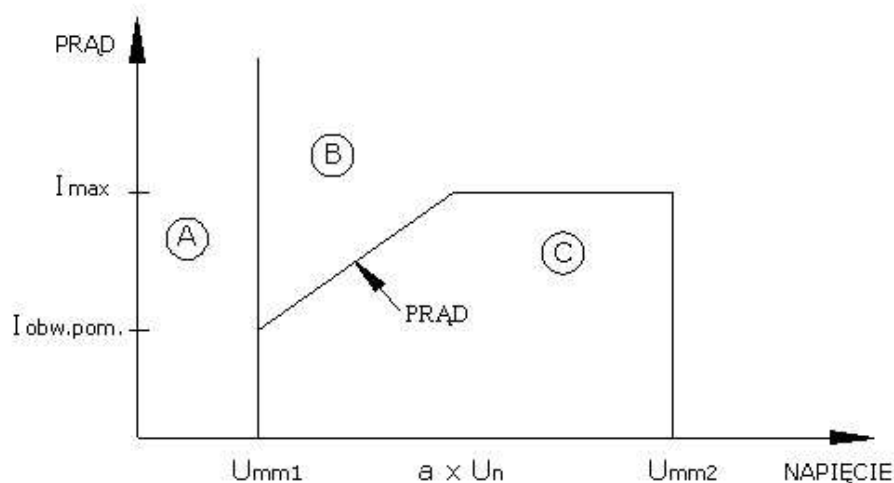
Tabela 5.3.3

Dopuszczalne poziomy prądów dla pociągów

System zasilania	Linia dużych prędkości	Linia modernizowana	Linia łącząca
750 V DC	-	-	6 800 A
1 500 V DC	-	5 000 A	5 000 A
3 000 V DC	4 000 A	4 000 A	2 500 A
15 000 V AC 16,7 Hz	1 700 A	1 000 A	900 A
25 000 V AC 50 Hz	1 500 A	600 A	500 A

5.3.2.2. Automatyczna regulacja

Pociągi muszą być wyposażone w urządzenie automatycznie dopasowujące pobór mocy, w zależności od napięcia sieci trakcyjnej, do warunków stanu ustalonego. Na rysunku 5.3.1 zamieszczono prąd jako funkcję napięcia sieci trakcyjnej (nie stosowane dla hamowania rekuperacyjnego).



$I_{\max}$ - maksymalny prąd pobierany przez pociąg

A - jazda z wybiegu

B – przekroczony poziom prądów

C - dozwolony poziom prądów

a - współczynnik

Rys. 5.3.1. Maksymalny prąd w funkcji napięcia

Tabela 5.3.3

Dopuszczalne poziomy prądów dla pociągów

System zasilający	25 000 V AC 50 Hz	15 000 V AC 16,7 Hz	3 000 V DC	1 500 V DC	750 V DC
Współczynnika	0,9	0,95	0,9	0,9	0,8

5.3.3. Napięcie na pantografie (wskaźnik jakości dostawy energii)

W TSI zdefiniowano charakterystyki stałych instalacji, które powinny spełniać szereg ostrych kryteriów w warunkach:

- szczytowego ruchu,
- różnych typów uwzględnionych pociągów.

Dotyczy to:

- - linii dużych prędkości projektowanych dla $V \geq 250$ km/h,
- - linii modernizowanych dla prędkości rzędu 200 km/h.

Celem jest sformułowane wskaźnika jakości stałych instalacji w systemie trakcji elektrycznej. Analiza jest oparta na matematycznych analizach napięcia na zelektryfikowanej linii z pociągami jeżdżącymi zgodnie z zadaniem rozkładem jazdy.

Wskaźnik jakości systemu $U_{\text{średnie użyteczne}}$ jest obliczane drogą symulacji i może być zweryfikowane na bieżąco pomiarami na nowaligicznym pociągu.

Uwaga: W celu zagwarantowania poziomów jakości dla wszystkich pociągów, zależnych od typu linii, należy tak zaprojektować wyposażenie, aby napięcie użyteczne na pantografie każdego pociągu znajdującego się w strefie zasilania, było odpowiednio wysokie. To nie oznacza, że pociągi nie mogą być, przez bardzo krótki okres poddane najwyższym dopuszczalnym napięciom podanym w pkt 5.3.1.1.

5.4. Granice systemów

5.4.1. Wymagania dotyczące przełączenia zasilania

Podobnie jak w Polsce, przy wprowadzeniu systemu 25 kV przy istniejącym systemie prądu stałego powstaje konieczność połączenia ich by była zapewniona możliwość ciągłego przejazdu. Takie przejście międzysystemowe może odbywać się na kilka sposobów:

a) przez zmianę lokomotyw:

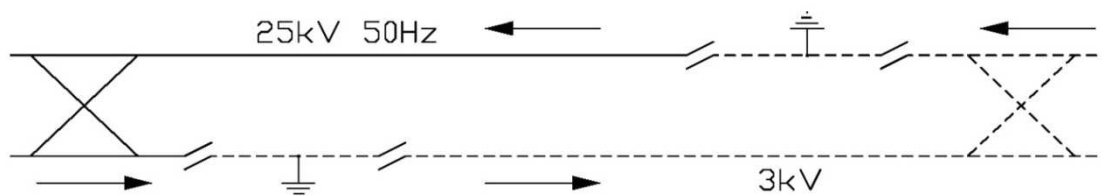
- za pomocą przeciągania niezależnymi lokomotywami (spalinowymi). W takim przypadku sekcje muszą być trwale rozdzielone uziemionymi odcinkami (rys. 5.4.1). Jednak ten sposób przejścia posiada znaczne wady a mianowicie: powolność takiego procesu, potrzeba zwiększonej obsługi i personelu oraz potrzeba stałej gotowości niezależnych lokomotyw przeciągających;
- za pomocą przełączania sieci trakcyjnej, co umożliwia zmianę jedno-systemowych lokomotyw bez ich przeciągania. Jest to sposób dość

drogi, lecz zapewniający szybszą i wygodniejszą pracę przy zmniejszonej liczbie obsługujących. Należy tu pamiętać by sieć trakcyjna była uniwersalna to znaczy wytrzymywała większe prądy przy prądzie stałym a izolacja musi być wystarczająca dla napięcia 25 kV. Ważnym jest również zapewnienie bezpiecznej pracy personelu;

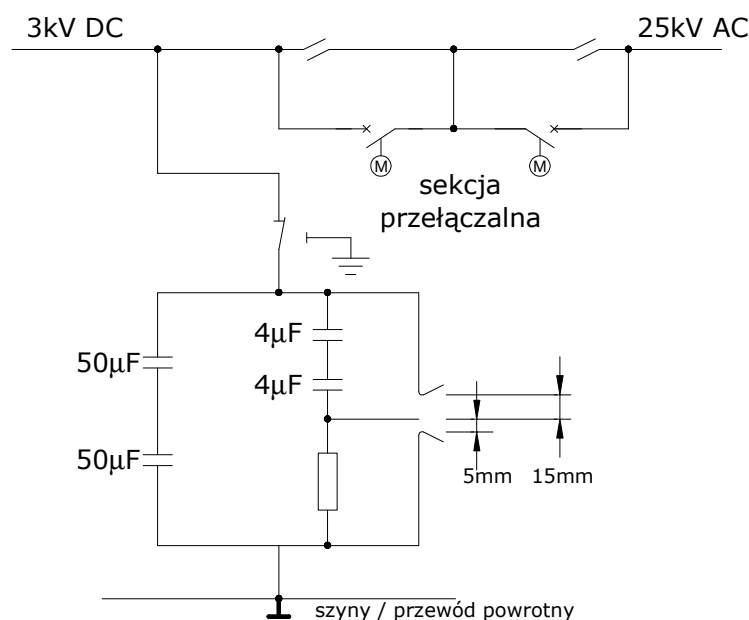
- za pomocą lokomotyw dwusystemowych przy małych przejściach bez przełączania sieci. W takim przypadku sieci dwóch systemów muszą być odizolowane od siebie a lokomotywa musi dać się „rozsuszać” na obu napięciach.

b) bez zmiany lokomotyw:

- za pomocą lokomotyw dwusystemowych osiągających pełną moc w obu systemach. Sieć składa się z kolejnych sekcji oddzielonych obustronnie sekcjami neutralnymi nie krótszymi niż podwójna długość lokomotyw napędowych lub długość jednostki motorowej. Koszt takiej sieci jest niewielki, drogie natomiast są lokomotywy, które są bardziej złożone od zwykłych.



Rys. 5.4.1. Schemat sekcjonowania sieci na granicy systemów



Rys. 5.4.1. Układ zabezpieczenia styku 2 systemów

5.4.2. Problemy występujące w obszarach stykowych systemów AC i DC

W obszarach stykowych systemów DC i AC może wystąpić wzajemne oddziaływanie napięć i prądów wpływających z jednego systemu na drugi, w szczególności dotyczy to wpływu prądów z sieci powrotnych. Sieć powrotna

na systemu AC 25 kV jest celowo uziemiona i przyłączona do uziemionego punktu neutralnego transformatora trakcyjnego, podczas gdy sieć powrotna systemu DC jest w normalnych warunkach separowana od ziemi (nie jest celowo uziemiona ze względu na zagrożenia od prądów błędzących), przy czym poziom tej separacji zależy od rezystancji przejścia szyny-ziemia. Dlatego najbardziej korzystne jest, gdy sieci powrotne systemu AC i DC są niezależne i odseparowane.

Ze względu na fakt, że impedancja szyn dla prądu 50 Hz (np. $t_{0,2} + j0,18 \Omega/\text{km}$) jest znacznie wyższa niż dla prądu stałego (np. poniżej $0,02 \Omega/\text{km}$) wymagane jest uziemianie szyn w celu utrzymania napięć szyny-ziemia na niskim poziomie tak w warunkach obciążenia jak i awaryjnych (zwarcia).

Dlatego na obszarach stykowych mogą wystąpić konflikty wymagań i kryteriów projektowych, różnych dla systemów DC i AC (uziemianie lub nieuziemianie szyn, uszynienia, poziom napięć rażeniowych itp.). Szczególnie gdy okaże się, że oba systemy (sieci powrotne) muszą być połączone elektrycznie ze sobą ze względów bezpieczeństwa. Niekiedy wymagane będzie stosowanie systemu do monitoringu potencjałów, napięć czy prądów w najbardziej zagrożonych strefach.

Zasadą jest, że bezpieczeństwo (odpowiednio niski poziom napięć rażeniowych i szybkie odłączenie zwarć) jest traktowane priorytetowo przed innymi kryteriami! Opisane jest to w normie PN-EN 50122-1:2002 [11] w rozdziale 7.2 dla systemów AC i odpowiednio 7.3 dla systemów DC. Niestety, podawane wartości dopuszczalne napięć rażeniowych odnoszą się albo dla napięcia AC 50 Hz albo dla napięcia DC.

Kolejnym problemem jest konieczność zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej ze względu na specyfikę poszczególnych systemów: rzędy harmoniczných po stronie AC i DC, rezonanse i indukowanie napięć w systemie AC. Wymaga to stosowania w tych obszarach urządzeń i aparatury, a w szczególności systemów sterowania ruchem i sygnalizacji niewrażliwych na zakłócenia zarówno od systemu DC jak i AC.

5.5. Przykłady zagrożeń

5.5.1. Prądy stałe w systemie AC

Transformatory i inne urządzenia systemu AC w obiektach stałych i pociągach muszą być zabezpieczone przed przepływem prądu stałego i np. efektem nasycenia na skutek przepływu w uzwojeniu transformatorów prądu stałego.

Prądy stałe płynące w elementach tworzących ziemię trakcyjną systemu 25 kV i do niej przyłączonych nie powinny powodować powstania niebezpiecznych napięć ani uszkodzeń (odpowiednie przekroje) tak ze względu na wpływ prądów błędzących jak i zwarciovych.

5.5.2. Występowanie napięć

Sprężenia galwaniczne, indukcyjne i pojemnościowe w obiektach i urządzeniach przewodzących, w tym także ułożonych w ziemi (szczególnie o dużych wymiarach blisko linii), co może stwarzać zagrożenie dla osób i urządzeń.

5.5.3. Występowanie strefy oddziaływania sieci trakcyjnej i odbieraka

Występują różne strefy dla poszczególnych systemów.

5.5.4. Obiekty i urządzenia wspólne dla obu systemów

Konstrukcje przewodzące, takie jak kładki, przejścia nad i podziemne wspólne dla obu systemów powinny być przyłączone do ziemi systemu 25 kV. System uziemień powinien być zintegrowany, a uszynienia tych obiektów do systemu DC powinny być stosowane jako otwarte. Stosować tu należy wymagania normy PN-50122-2:2003 [...]. Należy także stosować ograniczniki napięć dla systemu AC.

Odcinek toru wspólny dla obu systemów powinien być wydzielony dla zasilania w systemie DC z pozostałego obszaru (wydzielony separowany elektrycznie odcinek sieci trakcyjnej i szyn, najkorzystniej - zasilany z oddzielnej podstacji), tak aby utrzymywać jak najniższy potencjał szyn.

Uziemienia instalacji innych instytucji (niekolejowe) powinny być odseparowane od szyn.

Obszary stykowe wymagają zwrócenia szczególnej uwagi już na etapie projektowania, zaleca się opracować studia techniczne wszystkich instalacji i urządzeń (trakcyjnych i nietrakcyjnych systemów AC i DC), w szczególności dla:

- obciążeń trakcyjnych i nietrakcyjnych systemów AC i DC,
- stanów awaryjnych (zwarcia, przepięcia, przełączenia pomiędzy systemami),
- systemów zabezpieczeń, sterowania, pomiarów, monitoringu i sygnalizacji,
- systemu uszynień,
- uziemień roboczych, ochronnych i do celów zapewnienia odpowiedniego poziomu kompatybilności elektromagnetycznej,
- bezpieczeństwa,
- ochrony od prądów błędzących.

6. Aparatura i wyposażenie układu zasilania – wymagania i parametry

6.1. Wymagane parametry urządzeń

Urządzenia i instalacje przewidziane do zainstalowania w systemie zasilania trakcji elektrycznej 25 kV muszą być zaprojektowane, zbudowane poddane testom zgodnie z wymaganiami odpowiednich przepisów oraz uzyskać dopuszczenie do eksploatacji na liniach kolejowych. Urządzenia zasilania trakcji elektrycznej znajdują się zwykle w miejscach bez obsługi, dlatego powinny być jak najprostsze, a jednocześnie niezawodne, łatwe w dostępie do obsługi i ewentualnych napraw.

6.2. Wymagany poziom izolacji

Wymagane jest skoordynowanie izolacji urządzeń stosowanych w systemie zasilania trakcji elektrycznej tak, aby uzyskać odpowiedni poziom izolacji oraz odpowiedni poziom ochrony przeciwprzebiegowej.

Urządzenia i aparatura wysokiego napięcia (tj. wyłączniki mocy WN, łączniki WN i uzwojenia pierwotne transformatorów) muszą mieć izolację skoordynowaną z izolacją systemu elektroenergetycznego, do którego są przyłączone. Uzwojenia strony wtórnej transformatorów w podstawach i aparatura rozdzielcza powinna mieć poziom izolacji zależny od napięcia. Urządzenia i aparatura muszą być odporne zarówno na napięcie robocze o częstotliwości sieciowej jak też przebiegi powodowane przez pantograf lub przebiegi łączeniowe w obwodzie zasilania. W celu ochrony przed przebiegami powodowanymi wyładowaniami atmosferycznymi należy stosować ograniczniki przebiegów.

Poziomy napięć, jakie mogą pojawić się w układzie zasilania 2×25 kV zestawione są w poniższej tabeli 6.2.1.

Tabela 6.2.1

Napięcia i przebiegi w systemie 2×25 kV

Zjawisko		Maksymalne napięcie robocze [kV]	Wielokrotność napięcia roboczego	Napięcie w stanach występowania zjawisk przejściowych [kV]
Przebiegi łączeniowe		27,5 kV	2,0÷2,5	60÷70 kV
Oderwanie odbieraka, przejazd pod izolatorem			1,5÷2,0	40÷60 kV
Napięcie wyładowania atmosferycznego	Pośrednia fala przepięciowa		3,6÷5,5	100÷150 kV
	Bezpośrednia fala przepięciowa		11÷18	300÷500 kV
Fala napięcia następczego (wędrująca w sieci trakcyjnej)			Napięcie przebicia izolatora	250÷300 kV

Jeśli napięcie fali wędrującej zostanie ograniczone do 110-120 kV przez zastosowany ogranicznik napięciowy (110 kV na lokomotywie) lub 120 kV w podstacji. Jeśli przyjąć 20% wyższy poziom izolacji niż spodziewany poziom napięcia ograniczonego, to wymagany poziom izolacji podstawowej wyniesie:

- $110 \text{ kV} \times 120\% = 132 \text{ kV}$ dla lokomotyw (można przyjąć 130 kV)

oraz

- $120 \text{ kV} \times 120\% = 144 \text{ kV}$ dla podstacji. (można przyjąć 150 kV).

Tabela 6.2.2

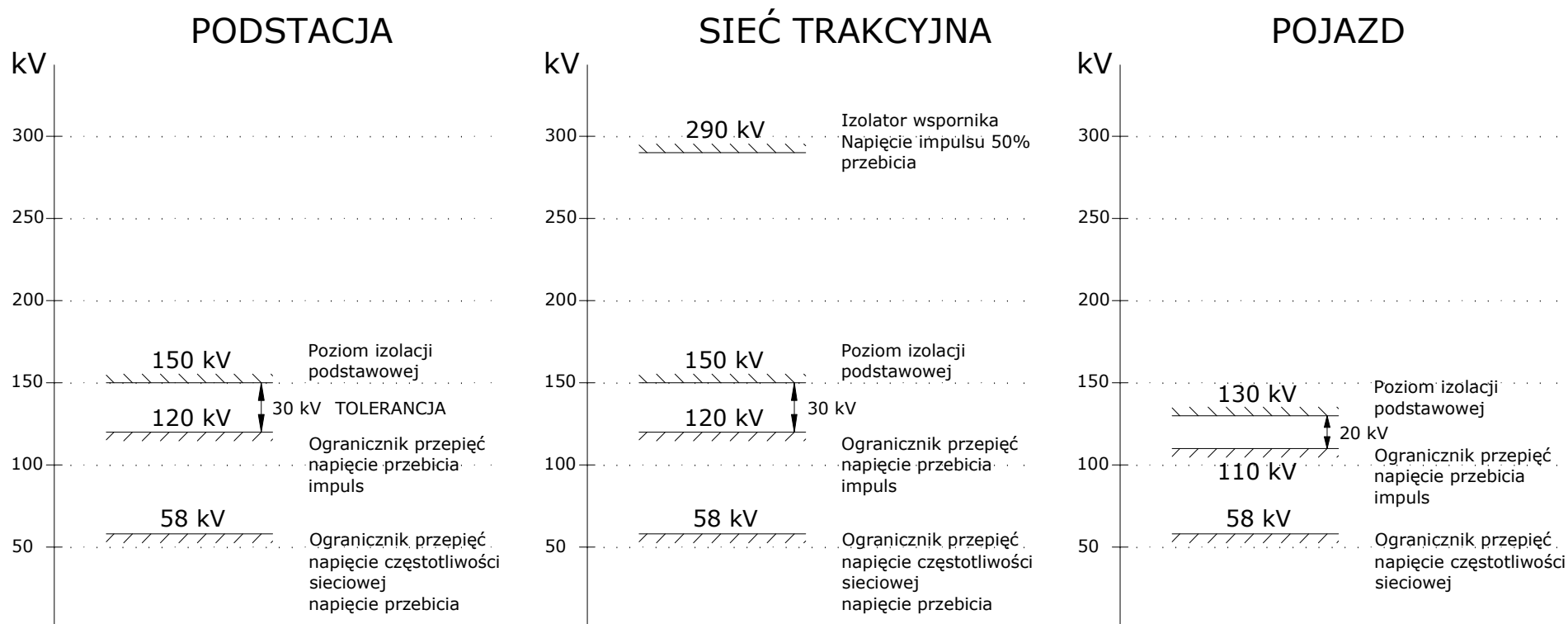
Wymagane napięcie izolacji w zależności od napięcia znamionowego

Napięcie znamionowe [kV]	Napięcie izolacji [kV]
25	250
50	400

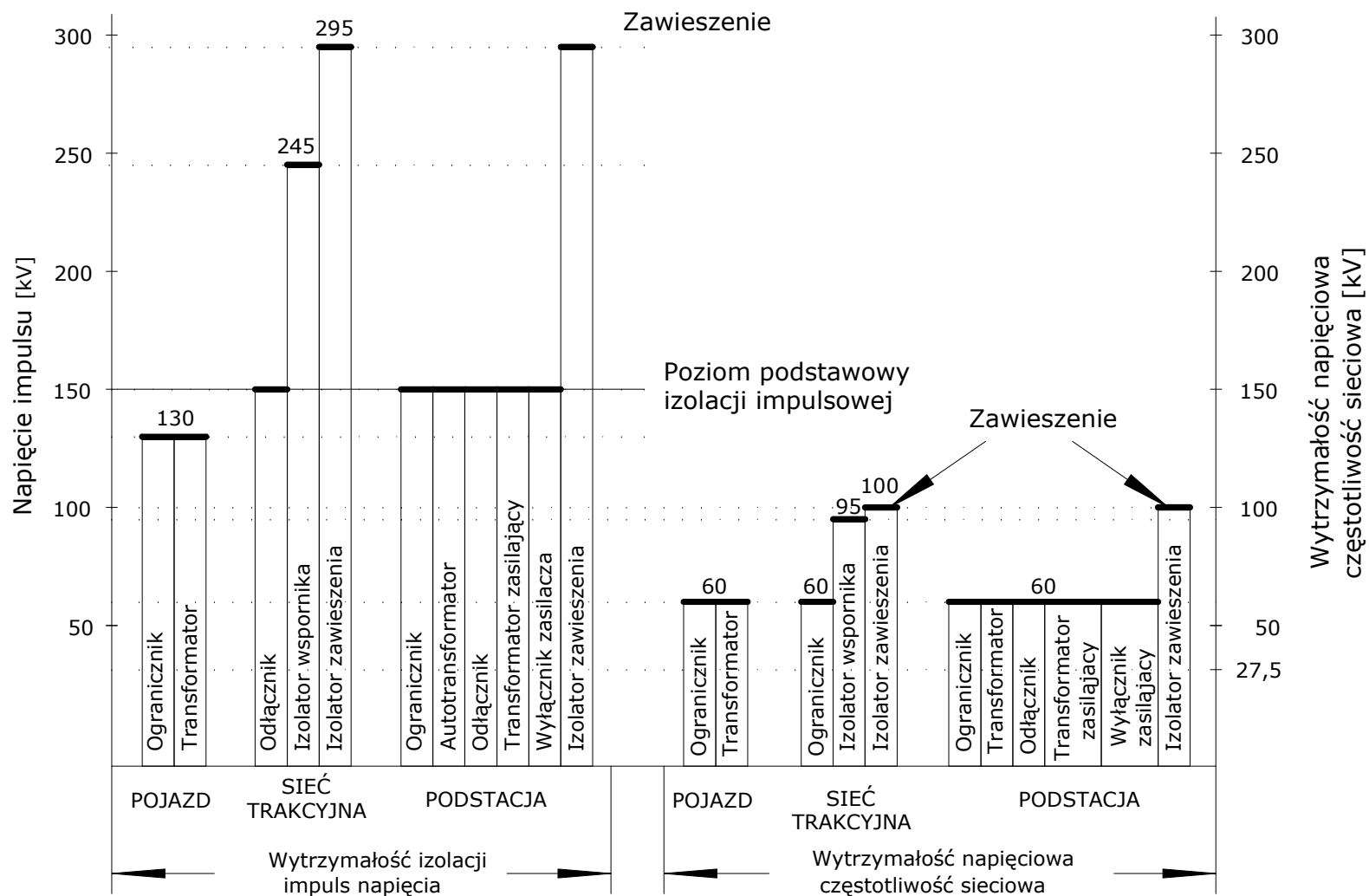
Urządzenia wysokonapięciowe instalowane w podstacjach powinny być dobierane zgodnie z wymaganymi poziomami napięć, prądów zwarcia i stosowanych w systemie zasilania elektroenergetycznego systemów i urządzeń zabezpieczających.

We Włoszech wymagane napięcie izolacji wynoszą odpowiednio:

- napięcie izolacji aparatury: 52 kV
- napięcie testu przy częstotliwości przemysłowej: 95 kV 50 Hz
- napięcie testu w impulsie: 250 kV



Rys. 6.2.1. Wytrzymałość dielektryczna obwodów 25 kV 50 Hz



Rys. 6.2.2. Przykład doboru poziomu izolacji systemu zasilania 2×25 kV

Tabela 6.2.2

Koordinacja izolacji

			Podstacja	Sieć trakcyjna	Pojazd
Napięcie obwodu	Napięcie znamionowe		25 kV	25 kV	25 kV
	Napięcie maksymalne		27,5 kV	27,5 kV	27,5 kV
Podstawowy poziom izolacji impulsowej	Fala impulsowa		150 kV	150 kV	130 kV
Ogranicznik	Napięcie znamionowe		35 kV	35 kV	35 kV
	100% im- puls napię- cie przebi- cia	Częstotliwość sieciowa	58 kV	58 kV	58 kV
		Fala impul- sowa	120 kV	120 kV	110 kV
	Napięcie obniżone przy prądzie wyładowania 10 kA		130 kV	130 kV	110 kV
	Miejsce zainstalowania		Zasilacz	Autotransformator w ka- binie sekcyjnej	Strona wtórna odbieraka
Izolatory	Izolatory		Częstotliwość sieciowa	Impuls wyładowania atmosferycznego	
				Wytrzymałość napięcio- wa	50% napięcie przebicia
	Izolatory wsporników		95 kV	245 kV	290 kV
	Izolator zawieszenia prze- wodu autotransformatora		100 kV	295 kV	355 kV

6.3. Rozdzielnie i aparatura rozdzielcza

Rozwiązania projektowe poszczególnych podstacji muszą wynikać z Warunków Technicznych Przyłączenia i Umowy Przyłączeniowej pomiędzy Inwestorem, a właściwym Operatorem Systemu Dystrybucyjnego (OSP). W dokumentach tych powinna być określona granica eksploatacyjna pomiędzy (OSP) a odbiorcą, wymagania co do aparatury zabezpieczeniowej, układów telemechaniki oraz podstawowe parametry (moce i prądy zwarciove) niezbędne do doboru aparatury i instalacji.

Zwykle do zasilania podstacji trakcyjnej 25 kV 50 Hz stosuje się rozdzielnie typu H zasilane z linii 110 kV (220 kV). Szyny zbiorcze dzielone są dwoma odłącznikami. Za pomocą tych odłączników zapewnione jest zasilanie tegoż transformatora potrzeb własnych w przypadku, gdy jeden z transformatorów zasilających jest nieczynny.

Rozdzielnia WN powinna być wykonana jako napowietrzna z podwójnym układem szyn zbiorczych, rozdzielnia powinna obejmować (typ H4 lub H5):

- dwa pola liniowe z wyłącznikami,
- dwa pola transformatorowe z wyłącznikami,
- łącznik poprzeczny wyposażony w 2 rozłączniki lub wyłącznik i odłącznik i posiadać następujące parametry:
- napięcie znamionowe – 123 kV,
- poziom izolacji – 550 kV,
- prąd znamionowy – 1600 A,
- prąd wyłączalny – 31,5 kA.

W uzasadnionych przypadkach zaleca się stosowanie modułów wyłącznikowych, tzn. aparatów łączących w sobie funkcje wyłącznika, odłącznika z uziemnikiem (w polach liniowych) oraz zawierających przekładniki prądowe.

Aparaty rozdzielni 110 kV należy łączyć ze sobą linką AFL-6-240 mm² lub rurami aluminiowymi.

Napięcie 220 V prądu stałego jest zalecane jako napięcie sterownicze i do wszystkich napędów.

Uziom kratowy rozdzielni 110 kV należy wykonać z bednarki ocynkowanej 40×5 mm.

Na wyposażenie takiej rozdzielni typu H składają się:

- cztery odłączniki trójbiegunowe w 3-fazowej części rozdzielni (dwa z nich mają uziemione noże),
- dwa wyłączniki mocy dwubiegunowe w przewodach zasilających transformatory,
- dwa odłączniki dwubiegunowe w przewodach zasilających transformatory,
- dwa odłączniki dwubiegunowe w przewodach 2×27kV szyn zbiorczych,
- dwa wyłączniki dwubiegunowe w przewodach 2×27kV szyn zbiorczych,
- przekładniki prądowe,
- przekładniki napięciowe,
- zabezpieczenia przepięciowe - dwa przed i dwa za transformatorem,
- dwa transformatory 1-fazowe.

Jednofazowa rozdzielnia 27 kV składa się natomiast z pól:

- dwóch pól zasilania od transformatorów,
- czterech pól zasilania sekcji trakcyjnych,
- jednego pola potrzeb własnych,
- dwóch pól rezerwowanych dla kompensatorów,

Urządzenia i aparatura używana w rozdzielni 2×27 kV jest dwu- lub jednobiegunowa i stanowią ją:

- wyłączniki mocy po stronie zasilania,
- odłączniki,
- bezpiecznik przy transformatorze potrzeb własnych,
- zabezpieczenia przepięciowe - odgromniki,
- przekładniki prądowe i napięciowe.

6.3.1. Wyłączniki mocy

W podstacjach trakcyjnych stosowane są wyłączniki: olejowe, próżniowe, SF₆ i hybrydowe (próżniowe w izolacji SF₆).



Rys. 6.3.1. Widok dwubiegunowego wyłącznika 220 kV



Rys.6.3.2. Rozdzielnia 110 kV

6.3.2. Wyłączniki trakcyjne 25 kV 50 Hz

W sieci trakcyjnej występują częste zwarcia, dlatego zaleca się stosowanie wyłączników mocy próżniowych, SF6 lub hybrydowych (próżniowych z izolacją SF6). Liczba zadziałań wyłącznika bez konieczności dokonania obsługi powinna wynosić przynajmniej:

- kilkaset wyłączeń prądów zwarciovych,
- kilka tysięcy włączeń prądów roboczych.

Zadziałania wyłącznika mocy powinny być rejestrowane z rejestracją wartości prądu zadziałania.

W systemie 2×25 kV 50 Hz należy stosować wyłączniki 2-biegunowe.

Wyłączniki próżniowe:

Zalety wyłączników próżniowych:

- prostota konstrukcji,
- ciche,
- bezobsługowe,
- zredukowane ryzyko ognia,
- mało urządzeń pomocniczych,
- szybki czas działania,
- niskie zużycie energii przy zadziałaniu.

Wyłączniki SF6:

Wyłączniki te dla trakcji 25kV 50Hz powinny posiadać następujące parametry:

- prąd zwarcia – 31,5 kA (41 kA w szczycie),
- prąd roboczy – 0,8÷1,25 kA,
- wartość skuteczna symetrycznego prądu wyłączenia przy napięciu 72,5 kV – 17 kA,
- zdolność wyłączenia – 11 000 kA².

Czasy zadziałań wyłączników trakcyjnych są następujące:

- 70÷120 ms – próżniowych,
- 120 ms – SF₆,
- 60÷70 ms – hybrydowych.

Aparatura łączeniowa, wyłączniki zasilaczy powinny być dobrane do obciążalności sieci trakcyjnej i transformatora. Wyłączniki wejściowe i szynoprzewodów powinny być dobrane dla wyższych wartości prądów obciążenia niż wyłączniki zasilaczy. Aparatura powinna mieć odpowiednią wytrzymałość zwarciovą.

Przykładowe parametry rozłączników mocy trakcyjnych stosowanych na liniach TGV:

- maksymalne napięcie ciągle pomiędzy otwartymi stykami – 48 kV,
- prąd roboczy – 1 250 A,
- prąd zwarciový – 30 kA (szczytowy),
- zdolność wyłączeniowa – 1 600 A przy $\cos\varphi=0,1$
- maksymalny czas wyłączenia – 100 ms,
- wytrzymałość mechaniczna – 10 000 cykli otwórz/zamknij,
- wytrzymałość mechaniczna pomiędzy remontami – 5 000 cykli.

6.3.3. Transformatory zasilające obwody sieci trakcyjnej

Różnice wyposażenia systemu 2×25 kV w stosunku do 1×25 kV to przede wszystkim typy transformatorów w podstacjach WN (2×25 kV) i dodatkowo autotransformatory na linii (50/25kV), co znacznie podnosi koszty inwestycyjne. Napięcie zasilania transformatorów zależne jest od ich mocy i np. dla linii TGV, gdzie stosuje się olejowe transformatory o mocy 60 MVA jest to napięcie 225 lub 400 kV. Autotransformatory mają moce od 5 MVA na liniach konwencjonalnych do 10 MVA na liniach TGV i 15 MVA na linii Rzym-Neapol.

W podstacjach systemu 1×25kV rozmieszczonych co 40÷60 km (w systemie 2×25 kV nawet 80÷120 km) występują przeważnie dwa zasilacze 25 kV, każdy z nich podwójny i niezależny, będący w stanie indywidualnie przenieść całkowite obciążenie trakcyjne w normalnych warunkach ruchowych co zapewnia dużą niezawodność (100% rezerwowania). Każdy z zasilaczy posiada własny wyłącznik mocy po stronie 25 kV. Transformatory 110/25 kV są zasilane z dwóch, niezależnych źródeł sieci WN.



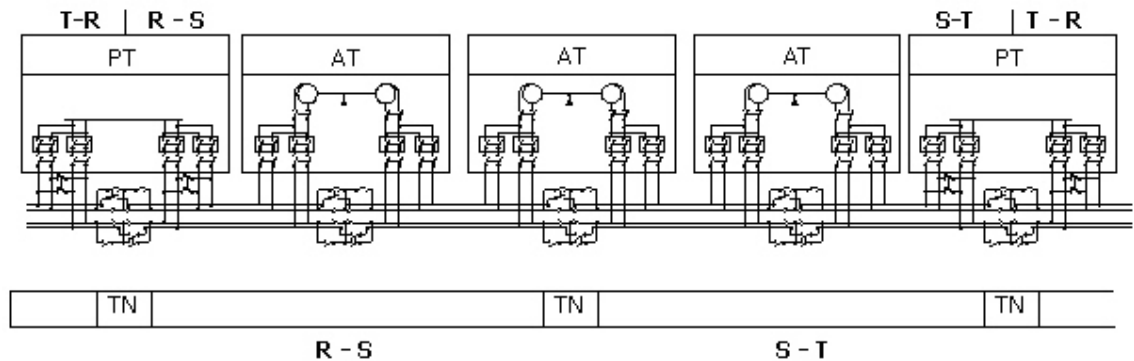
Rys. 6.3.3. Transformator 10 MVA



Rys. 6.3.4. Transformator 7,5 MVA

System zasilania 25 kV 50 Hz stanowi, z punktu widzenia oddziaływania na sieć elektroenergetyczną, odbiór 1-fazowy. W celu zminimalizowania tego zakłóceniewego oddziaływania przyłączenia dokonuje się do sieci o na-

pięciach 110 kV lub wyższych. Kolejne, sąsiadujące ze sobą podstacje podłączone są zwykle do zmienionej sekwencji faz, tak by system WN miał równomierne rozłożenie obciążeń pomiędzy trzy fazy.



Rys. 6.3.5. Zasilanie sąsiednich podstacji z różnych sekwencji faz

Innym rozwiązaniem jest stosowanie specjalnych transformatorów w podstacjach (np. Scott'a, Woodgridge'a, Le Blanc'a – rys. 2.2.4÷2.2.6 w „Wytycznych...”), które zmniejszają asymetrię wprowadzaną do systemu elektroenergetycznego lub, gdy jest to konieczne, stosowanie symetryzatorów. Niezbędne jest też określenie wielkości asymetrii przez wyznaczenie wektora składowej przeciwnej.

Transformatory trakcyjne mają moce: 5, 7,5, 10, 15, 18 i 30 MVA, chłodzenie naturalne. Procentowe napięcie zwarcia: 10÷15% (do uzgodnienia z dostawcą energii).

6.3.3.1. Przykłady zastosowań

- transformator 10 MVA – stosowany w podstacjach o niewielkich obciążeniach, olejowy, chłodzony naturalnie, zastosowanie chłodzenia wymuszonego pozwala na zwiększenie mocy o 40%.
- transformator 18 MVA – z regulacją odczepową (od 0% do +12,5%, co 2,5% skokowo), pozwala na dostrojenie napięcia w zależności od obciążenia (znamionowe: 25 kV, maksymalne ciągłe: 27,5 kV), olejowy, chłodzony naturalnie; chłodzenie wymuszone pozwala na zwiększenie mocy o 45%.

Dla warunków polskich, przy wprowadzaniu systemu 25 kV, za zasadne wydaje się opracowanie typoszeregu transformatorów trakcyjnych olejowych tak, aby doprowadzić do standaryzacji ich mocy i parametrów.

Sugerowany typoszeręg transformatorów: 16 MVA, 25 MVA, 30 MVA

Napięcie strony pierwotnej: 115 kV (220 kV)

Napięcie strony wtórnej: 55 kV (2×27,5 kV z uziemionym punktem środkowym).

Dla linii kolejowych o prędkości jazdy pociągów rzędu do 350 km/h stosuje się transformatory o mocach 40 i 60(80) MVA przy zasilaniu ich napięciem 220 lub 400 kV.



Rys. 6.3.6. Transformator 15 MVA, 132/25 kV

W podstacjach trakcyjnych powinny być zainstalowane 2 identyczne transformatory, z których jeden stanowi rezerwę, a drugi zwymiarowany jest na przeniesienie pełnych obciążeń trakcyjnych w warunkach szczytu zapotrzebowania na moc sekcji, którą zasila w warunkach normalnych jak też sekcji sąsiedniej w warunkach awarii sąsiedniego transformatora lub podstacji. Można także przyjąć założenie, że pracują jednocześnie oba transformatory, obciążone poniżej 50% mocy znamionowej dla długotrwałego szczytu ruchowego. W przypadku awarii jednego transformatora, drugi przejmuje jego obciążenie.

Obciążenia transformatora w podstacji trakcyjnej powinny zostać wyznaczone metodą symulacyjną. Ze względu na wahania obciążeń trakcyjnych zalecane jest zwymiarowanie transformatora ze zdolnością przeciążeniową, np. 150% obciążenia ciągłego przez 2 godziny i 300% obciążenia ciągłego przez 5 minut (lub 150% przez 15 min. i 200% przez 5 min), w zależności od charakteru ruchu (należy przeprowadzić analizy symulacyjne krzywych obciążenia podstacji).

Zalecane jest także zwymiarowanie transformatora z pewną rezerwą na ewentualny wzrost obciążeń przy wzroście ruchu (zwiększeniu mocy lokomotyw) w stosunku do aktualnie przyjmowanych obciążeń szczytowych. Może to oznaczać, że prognozowane obciążenia zakłada się do obciążalności transformatora przyjętych dla jego chłodzenia naturalnego, zaś rezerwę dla wzrostu obciążeń w przyszłości może stanowić przewidzenie możliwości zastosowania chłodzenia wymuszonego.

Należy zastosować odpowiednie urządzenia zabezpieczające transformator trakcyjny przed przekroczeniem dopuszczalnych temperatur.

Pojazdy trakcyjne wyposażone w przekształtniki mogą pobierać prądy o znaczącej zawartości wyższych harmonicznych, co może powodować

zwiększenie temperatury transformatora. Należy przewidzieć przeprowadzenie analizy wpływu przewidzianego do zastosowania na linii taboru na zawartość harmonicznych w prądzie obciążenia transformatora i ewentualny wpływ tych harmonicznych na warunki pracy transformatora. Należy uwzględnić wyższe harmoniczne od 3-ciej do 21 harmonicznej.

Transformator powinien zostać umieszczony na stanowisku wyposażonym w odpowiednie doły olejowe z osadnikami do gromadzenia oleju w przypadku wycieku.

6.3.3.2. Impedancja transformatora

Przy projektowaniu transformatora trakcyjnego należy dokonać analizy spadków napięć w uzwojeniach transformatora, aby uniknąć zbyt dużych spadków napięć. Impedancje uzwojeń nie powinny być z kolei zbyt niskie, ze względu na maksymalne prądy zwarcia (w systemie 2×25 kV na poziomie 10÷14 kA), wymiarowanie transformatora oraz aparatury rozdzielczej i zabezpieczeń. Należy przy wyznaczaniu tych wartości brać pod uwagę aspekty techniczne i ekonomiczne.

Zalecane procentowe napięcie zwarcia: 10÷15% w zależności od pozycji przełącznika odczepów.

Poziom procentowego napięcia zwarcia i moc znamionowa transformatora zależą od mocy zwarcia w punkcie przyłączenia transformatora do sieci WN i ograniczenia wynikającego ze zdolności wyłączania prądów zwarcia przez wyłączniki mocy lokomotywy znajdującej się w miejscu o największym prądzie zwarcia

6.3.3.3. Rdzeń i uzwojenia

Zmienne prądy obciążenia i możliwe do wystąpienia prądy zwarcia o dużych wartościach powodują powstawanie sił pulsujących, i mechanicznych naprężeń w uzwojeniach transformatora. Należy zabezpieczyć transformator przed ewentualnymi przemieszczeniami elementów transformatora (uzwojeń, odczepów), które mogą prowadzić do uszkodzeń.

6.3.3.4. Przekładnia napięciowa i odczepy

Rekomenduje się, aby napięcie stanu jałowego było uzyskiwane przy przełączniku odczepów ustawionym w pozycji wyjściowej przekładni napięciowej, a w warunkach obciążenia można było uzyskać regulację od -15% do +10%, od napięcia znamionowego z krokiem 2,5% regulacji przekładni (regulacja odczepami pod obciążeniem po stronie WN).

6.3.3.5. Zabezpieczenie transformatora trakcyjnego

Każdy transformator powinien być wyposażony w zabezpieczenia nadprądowe fazowe i doziemne fazowe oraz różnicowe. Zabezpieczenie temperaturowe powinno być 2-stopniowe, z włączeniem alarmu i wentylatorów chłodzących przy przekroczeniu niższej temperatury zabezpieczenia oraz wyłączającym obciążenia po stronie 25 kV przy osiągnięciu temperatury wyższego poziomu zabezpieczenia. Należy także stosować 2-stopniowe zabezpieczenie gazowo-wydmuchowe (Bucholza).

6.3.3.6. Poziom hałasu

Należy dokonać analizy poziomu hałasu transformatora trakcyjnego, jeśli podstacja będzie umieszczona w terenie zamieszkałym.

6.3.3.7. Testy odbiorcze transformatorów

Transformatory trakcyjne przed dostarczeniem na miejsce zainstalowania powinny mieć przeprowadzone testy odbiorcze zgodnie z odpowiednimi normami.

6.3.4. Autotransformatory – jednofazowe 55/27,5 kV

Moc znamionowa autotransformatorów wynosi od 4÷8 MVA (linie konwencjonalne) do 10, 12 lub nawet 15 MVA (linie dużych prędkości). Ich masa wynosi od 8,8 t dla mocy 5 MVA do 10,8 t dla mocy 10 MVA. Zwymiarowanie autotransformatora zależy będzie od maksymalnej mocy lokomotyw, które mogą znaleźć się strefie zasilania autotransformatora oraz czasu poboru energii przez lokomotywy. Z wyznaczonego cyklu obciążeń autotransformatora dobieramy wymaganą jego moc znamionową (ciągłość) oraz wymagania przeciążalności (w tym 200÷300% obciążalność w czasie np. 5 min., 150% przez 15 min.).

Typowo autotransformatory są wykonane jako olejowe, naturalnie chłodzone. Autotransformatory są włączone pomiędzy sieć trakcyjną i dodatkowy zasilacz, a ich punkt środkowy jest przyłączony do szyn jezdnych.

Autotransformator musi mieć odpowiednią wytrzymałość zwarciovą ze względu na prąd zwarcia, jaki może wystąpić na jego zaciskach przy zasilaniu z transformatora podstacji, z uwzględnieniem czasu trwania zwarcia (nawet 2500 A).



Rys. 6.3.7. Autotransformator 8 MVA

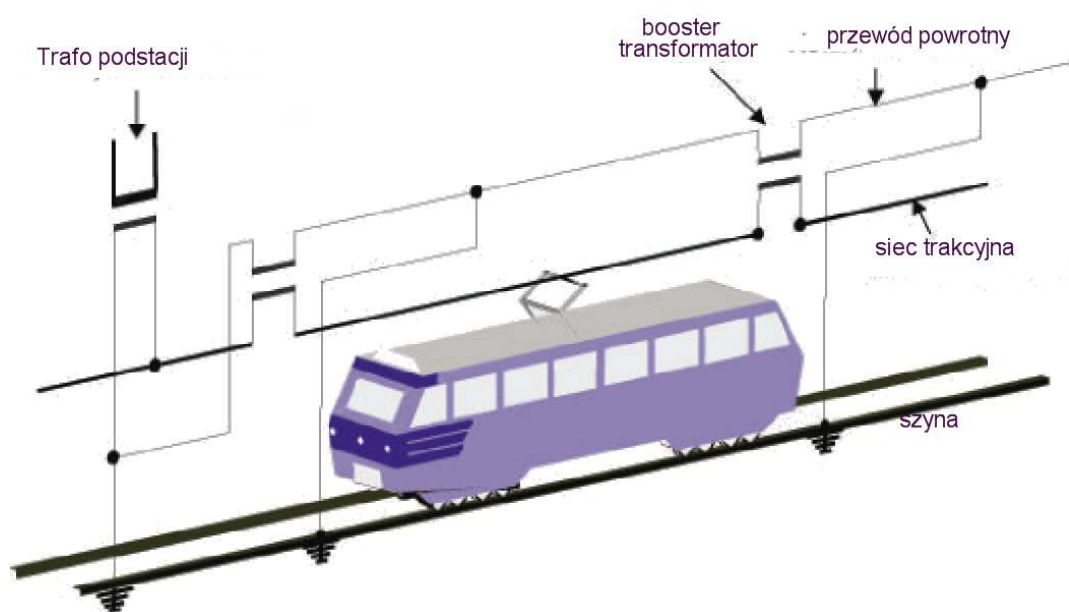
Procentowe napięcie zwarcia – niskie: $0,5 \div 1,2\%$, aby ograniczyć spadki napięć, ale z drugiej strony pozwalać na instalację w różnych odległościach od podstacji (od $5 \div 10$ km do kilkudziesięciu km). Należy zapewnić niski poziom strat jałowych. Koordynacja izolacji jak dla transformatorów.

W autotransformatorach należy stosować zabezpieczenia: Bucholza, nadprądowe, różnicowe, termiczne.



Rys. 6.3.8. Kabina sekcyjna z autotransformatarami

6.3.5. Booster transformatory



Rys.6.3.9. Schemat włączenia booster transformatorów

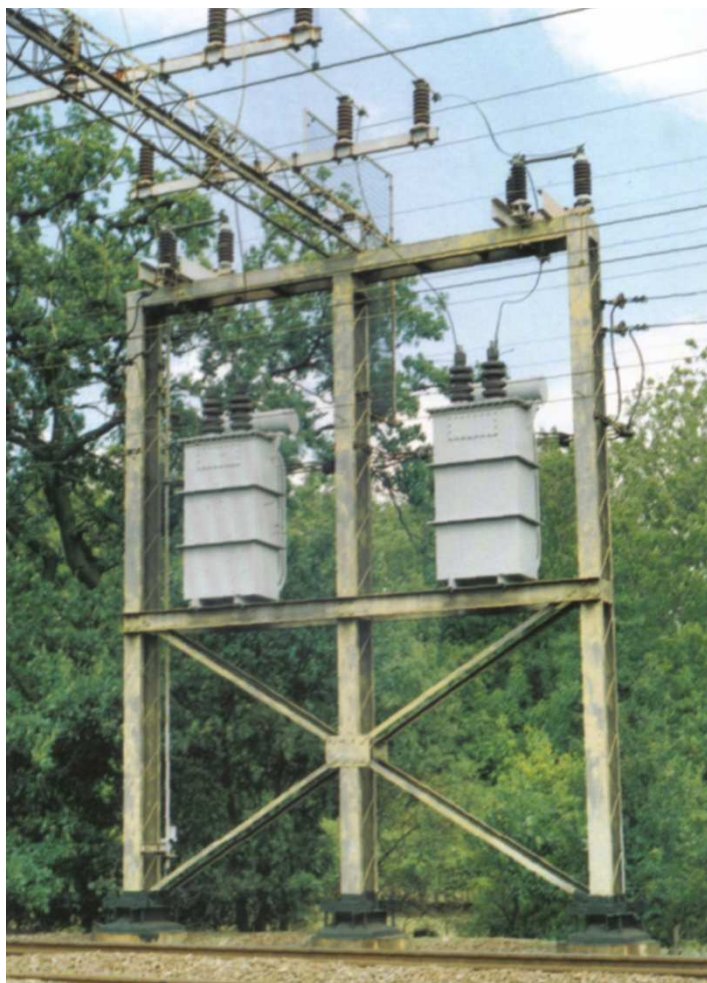
Transformatory o przekładni 1:1 i mocach 100÷800 kVA stosowane w systemie zasilania jako booster transformatory (rys: 4.1.2b, 6.3.9) w celu zmniejszenia prądów ziemnopowrotnych i ograniczenia oddziaływania tych prądów na obwody telekomunikacyjne. Mają niskie impedancje zwarciorowe, ale muszą się charakteryzować dużą wytrzymałością zwarciorową.



Rys.6.3.10. Booster transformatory na kolejach fińskich



Rys.6.3.11. Booster transformator na kolejach szwedzkich



Rys.6.3.12. Booster transformator kolei brytyjskich

W systemie 2×25kV nie stosuje się booster transformatorów.

6.3.6. Transformatory potrzeb własnych

Urządzenia potrzeb własnych podstacji obejmują:

- dwa transformatory jednofazowe 25 kV/nN, zabudowane w polach rozdzielnic SN, zalecane jest stosowanie transformatorów olejowych w wykonaniu wnętrzowym o mocy 63 lub 100 kVA,
- rozdzielnicę prądu przemiennego 230/400V, wykonana jako szafa przyścienna, wyposażona w układ SZR z blokadą uniemożliwiającą równoległą pracę transformatorów, połączenia rozdzielnic z transformatorami zaleca się wykonać jako kablowe,
- rozdzielnicę prądu stałego 220V, wykonaną jako przyścienna, do współpracy z baterią akumulatorów bezobsługowych.

Rozdzielnica służy do zasilania:

- napędów wyłączników prądu przemiennego (oddzielne obwody dla każdej rozdzielnicy),
- obwodów automatyki, zabezpieczeń i sterowania (oddzielne obwody dla każdej rozdzielnicy),
- obwodów sygnalizacji (wspólne dla całej podstacji),
- oświetlenia bezpieczeństwa,

- obwodów ryglowania,
- baterii akumulatorów bezobsługowych z prostownikiem do ich ładowania.

Prostownik powinien być zasilany z rozdzielnicy prądu przemiennego i połączony z baterią akumulatorów buforowo. Prostownik powinien umożliwiać okresowe ładowanie baterii z pominięciem rozdzielnicy prądu stałego. Zaleca się stosowanie prostowników 1-fazowych z automatyką zapewniającą optymalne warunki pracy baterii akumulatorów.

Obwody potrzeb własnych powinny być zabezpieczone odpowiednio dobranymi do rodzaju zasilanych urządzeń filtrami przeciwzakłóceniovymi (w szczególności dotyczy to zasilania urządzeń cyfrowych).

6.3.7. Filtry

W celu zredukowania prądów harmonicznych, prócz przyłączenia do linii z wysoką mocą zwarciovą, wprowadza się również do systemu różnego rodzaju filtry. Filtry te mogą znajdować się zarówno na lokomotywie jak i w sieci trakcyjnej, na końcu każdej sekcji. Jednakże pojawia się tu problem przy ekstremalnych warunkach rezonansowych zastosowania filtra na pojeździe, ze względu na fizyczne wymiary pojemności i rezystora rozproszeniowego filtra. Można natomiast niemal całkowicie wyeliminować zjawisko rezonansu przez odpowiednie zakończenie linii zasilającej w jej charakterystycznych punktach impedancji. Jest to jednak bardzo trudne by odpowiednio dobrać parametry takich filtrów.

W przypadku potrzeby należy stosować filtry wyższych harmonicznych po stronie 25 kV 50 Hz transformatora prostownikowego. Zalecane jest stosowanie filtrów łączących funkcje filtra i symetryzatora.

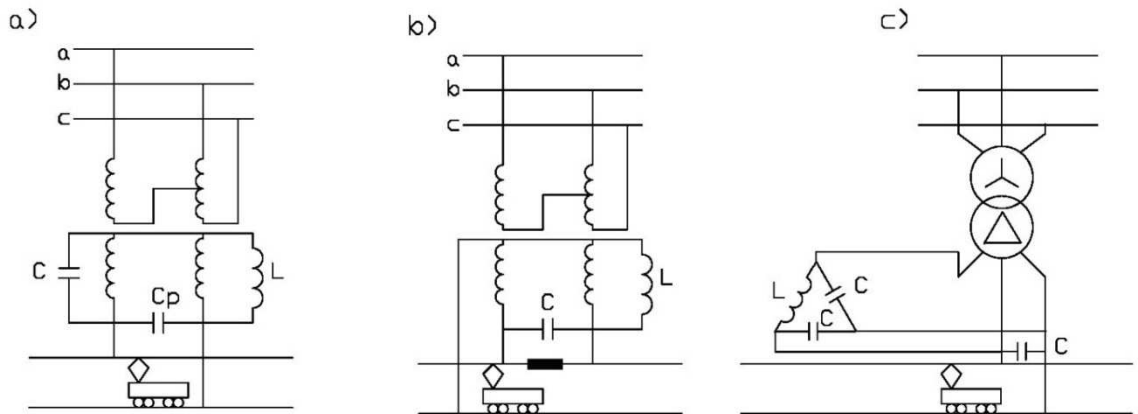


Rys. 6.3.13. Filtr w podstacji 1×25 kV 50 Hz

6.3.8. Symetryzatory i kompensatory mocy biernej

W przypadku gdy nie da się uzyskać odpowiedniego poziomu symetrii obciążeń metodami systemowymi należy stosować lokalne środki do symetryzacji.

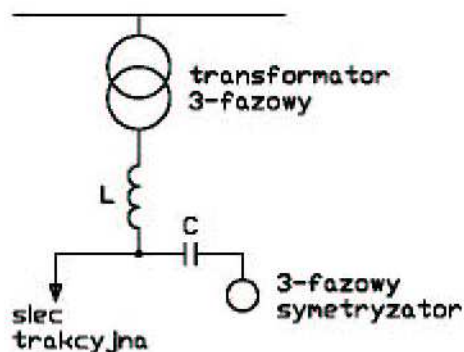
Symetryzator stanowi zmienne, asymetryczne obciążenie i może być stosowany w sieciach 25 kV jak również wyższych napięć, przy czym rozróżnia się dwa rodzaje tych urządzeń: statyczne i wirujące.



Rys. 6.3.14. Przykłady symetryzatorów: a) b) LC dla transformatora Scotta, c) delta dla transformatorów 3-fazowych.

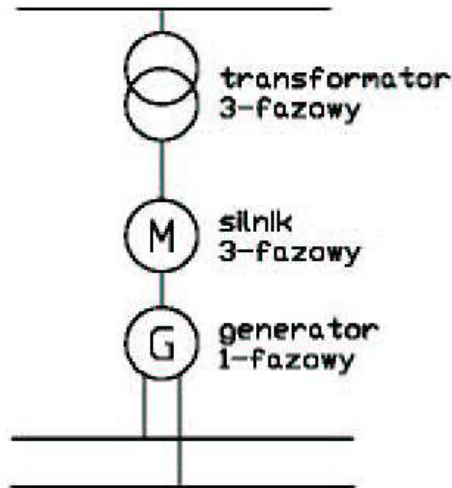
Najprostszym symetryzatorem statycznym jest układ małej indukcyjności i pojemności, podłączony do dwóch lub trzech faz w najbliższym punkcie zasilania SN lub po stronie wtórnej transformatora trakcyjnego, a który zabezpiecza przed lokalnymi wahaniami napięcia powyżej określonego limitu (rys. 6.3.14a, b). Taki układ może równocześnie powodować korekcję współczynnika mocy. Dla transformatorów 3-fazowych stosuje się symetryzatory typu delta (rys. 6.3.14c), które można włączać zarówno po stronie WN jak i NN transformatora.

Symetryzatory wirujące tworzą maszyny synchroniczne i indukcyjne stanowiące odpływ dla składowej przeciwnej. Typowy układ podłączenia przedstawia rys. 6.3.15, gdzie indukcyjność L steruje wartością składowej przeciwnej prądu płynącego w systemie zasilającym, zaś pojemność C kontroluje składową przeciwną prądu obciążającą maszynę poprzez zmianę jej efektywnej impedancji.



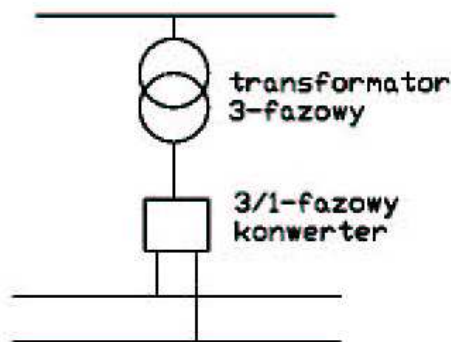
Rys. 6.3.15. Schemat układu z symetryzatorem wirującym

Innym rodzajem symetryzatorów zewnętrznych są przekształtniki 3 faz na 1 fazę, instalowane tam, gdzie inne metody zawodzą (same układy połączeń transformatorów nie powodują poprawy a symetryzatory LC stają się zbyt złożone i drogie). Te także dzielą się na wirujące i statyczne.



Rys. 6.3.16. Schemat układu z symetryzatorem wirującym

Do tych pierwszych należą 3-fazowe silniki napędzające 1-fazowe generatory, które zasilają system sieci trakcyjnej (rys. 6.3.16).



Rys. 6.3.17. Schemat układu z symetryzatorem statycznym

Statyczne zaś to konwertery (rys. 6.3.17) mające niskie koszty pracy i utrzymania, w porównaniu do wirujących, lecz wymagają większych nakładów inwestycyjnych.

6.3.9. Kompensacja mocy biernej

Stosowanie kompensacji mocy biernej w systemie trakcji prądu przemiennego:

- pozwala zwiększyć obciążenia szczytowe systemu i zarazem pozwala zwiększyć odległości pomiędzy podstacjami (zmniejszyć spadki napięcia w sieci),
- redukuje asymetrię 3-fazową powodowaną przez odbiór 1-fazowy jakim jest pojazd trakcyjny.

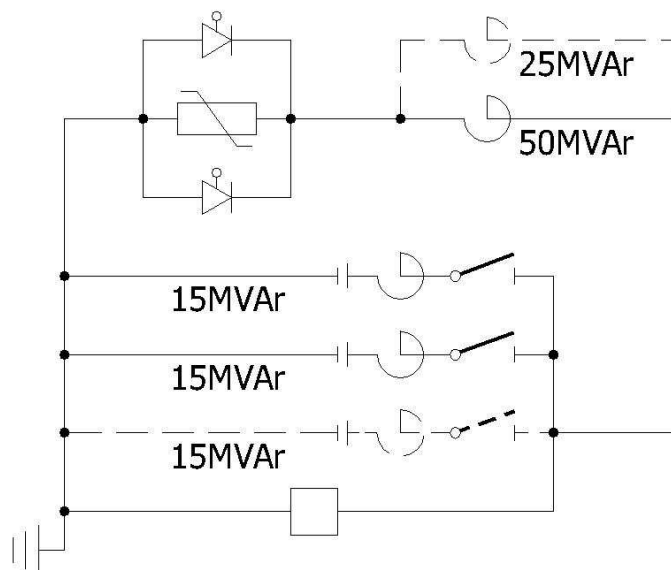
Celowość kompensacji powinna być rozpatrywana przy projektowaniu nowej linii, ale również dla linii istniejących, w których obciążenia osiągają wartości maksymalne. Jest to możliwe ze względu na fakt, że instalacja urządzeń służących do kompensacji nie powoduje większych zakłóceń w ruchu.

Tymi urządzeniami są kompensatory szeregowo i równoległe. Były one stosowane przez szereg lat w systemach 3-fazowych i choć nie są generalnie stosowane w systemach trakcji elektrycznej, podejmowano próby wykorzystania kilku urządzeń tego typu dla potrzeb kolei. Podstawową funkcją kompensatora jest wyeliminowanie składowej biernej prądu. Jest to osiągnięte przez wprowadzenie obwodu, który w sposób aktywny kontroluje i wytwarza charakterystykę korygującą składową bierną.

Kompensator szeregowy to pojemność włączona szeregowo z obwodem pobierającym moc, która eliminuje część indukcyjną systemu i umożliwia lepszy przesył mocy na większe odległości. Kompensator równoległy stanowi indukcyjność i/lub pojemność włączona po stronie systemu energetycznego, co pozwala na stabilizację napięć układu zasilania.

W celu poprawy sterowania mocą bierną stosuje się tzw. urządzenia nadążne, które śledząc pobór mocy biernej sterują załączaniem i wyłączeniem kompensatorów.

Przykładem systemu, w którym zaistniała konieczność zastosowania układów do symetryzacji i filtracji jest linia pod kanałem La Manche. Na etapie projektu przyjęto moce lokomotyw rzędu 15 MVA, a spodziewany łączny pobór mocy całego odcinka 120 MVA (przewidziano dwa transformatory po 60 lub 75 MVA. Minimalne moce zwarciove na poziomie 132 kV w Folkestone (UK) były poniżej 1000 MVA, zaś po stronie Francji powyżej 11000 MVA. Stąd w podstacji w Folkestone przewidziano zastosowania symetryzatorów-filtrów (rys. 6.3.18) z przełączalnymi bateriami kondensatorów i tyrystorowo regulowanymi indukcyjnościami. Znacznie podniosło to koszt wyposażenia podstacji.



Rys. 6.3.18. Symetryzator-filtr w jednej z faz zasilania trakcyjnego po stronie 25 kV w Folkestone

W uzasadnionych przypadkach należy przewidzieć możliwość zastosowania urządzeń do poprawy współczynnika mocy oraz filtrów wyższych harmonicznych, których źródłem mogą być tak pojazdy trakcyjne jak i sieć zasilająca.

6.4. Wymagania TSI dotyczące współczynnika mocy

Zgodnie z punktem 4.2.3 TSI „Energia” [5] każdy pociąg przeznaczony do ruchu w różnych systemach poruszający się po interoperacyjnej linii musi spełniać wymagania dotyczące współczynnika mocy, które podane są w pkt 6 normy PN-EN 50388:2008 [19]. Wymagania te przedstawiono w tabeli 6.4.1.

Tabela 6.4.1

Współczynnik całkowitej mocy indukcyjnej λ pociągu

Moc ciągła P pociągu na pantografie MW	Linie HS TSI		Linie łączące HS TSI Linie konwencjonalne TSI Linie klasyczne
	Dużej prędkości	Ulepszone ^c	Docelowe ^d
$P > 6$	$\geq 0,95$ ^e	$\geq 0,95$ ^e	$\geq 0,95$ a ^e
$2 < P \leq 6$	$\geq 0,93$ ^e	$\geq 0,93$ ^e	$\geq 0,93$ a ^e
$0 \leq P \leq 2$	b	b	b

Na dworcach lub w lokomotywniach, kiedy pociąg ma postój z wyłączoną trakcją, a moc czynna pobierana z górnej sieci jezdnej jest większa niż 10 kW na pojazd, współczynnik całkowitej mocy indukcyjnej, wynikający z obciążenia pociągu, nie powinien być mniejszy niż 0,8, z wartością docelową 0,9.

Do obliczenia ogólnego średniego λ dla przejazdu pociągu, wraz z przystankami, przyjmowana jest energia czynna W_p (MWh) oraz energia bierna W_Q (MVarh¹), otrzymana w wyniku symulacji komputerowej przejazdu lub z pomiarów na rzeczywistym pociągu.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_p}\right)^2}}$$

a Wartości te są zalecane.

b W celu regulacji współczynnika mocy całkowitej obciążenia urządzeń pomocniczych podczas jazdy z rozpędu, ogólny średni λ (trakcja i urządzenia pomocnicze) otrzymany z symulacji i/lub pomiarów powinien być wyższy niż 0,85 przez cały czas rozkładowej jazdy.

c Ma zastosowanie dla pociągów zgodnych z HS TSI “Tabor” [4].

d Zarządca infrastruktury może wnieść zastrzeżenia np. ekonomiczne, operacyjne, ograniczenie mocy, dotyczące dopuszczenia do ruchu pociągów interoperacyjnych, mających współczynniki mocy poniżej wartości docelowych.

e Oczekuje się, że wartości te można zwiększyć, odpowiednio do 0,98 i 0,95.

¹ W Polsce, jako oznaczenie jednostki energii biernej, stosuje się Mvarh.

6.5. Obwody automatyki, pomiarów i sterowania oraz układy zabezpieczeń

Ochrona wyposażenia elektrycznego ma ograniczać uszkodzenia urządzeń wywołane przez zwarcia lub przeciążenia oraz zabezpieczać personel, który obsługuje te urządzenia jak również zabezpieczać przed oddziaływaniem na system elektroenergetyczny. Zabezpieczenia te nie są w stanie w pełni wyeliminować zwarć, ale ograniczają ich efekty. Mogą nie tylko chronić od przeciążeń w układzie zasilania i przed zakłócającym oddziaływaniem na inne urządzenia (tak przed prądami indukowanymi w obwodach niskoprądowych jak i błędzącymi), ale również zidentyfikować je i spowodować by uszkodzona sekcja została odizolowana. Problem ten szczególnie uwidacznia się w sieci trakcyjnej, gdyż:

- a) fakt przemieszczania się obciążenia wzdłuż sieci trakcyjnej powoduje zróżnicowanie prądów wejściowych i wyjściowych sekcji,
- b) jeżeli na odcinku sekcji rusza jednocześnie kilka jednostek wartość szczytowego prądu może osiągnąć poziom prądu zwarciovego a zatem jest niezbędne by na końcu sekcji system rozróżniał pomiędzy tymi warunkami,
- c) dla minimalizacji uszkodzeń niezbędnym jest szybkie zadziałanie eliminujące zakłócenia,
- d) w warunkach zwarciovych prąd może płynąć z więcej niż jednego zasilacza,
- e) w przypadku zwarcia niewyłączonego w lokomotywie lub jednostce powinno zadziałać zabezpieczenie w sieci trakcyjnej,
- f) w przypadku zwarcia międzyfazowego lub błędnego podłączenia faz układy zabezpieczeń muszą działać,
- g) przewody sterujące nie mogą wywoływać zakłóceń oddziałujących na inne obwody.

Konwencjonalny układ zależności czasowo-prądowej jest nieodpowiedni do zastosowania w zasilaczach trakcji elektrycznej głównie ze względu na trudności z identyfikacją czy spełnieniu warunków podanych w pkt. b, c, d.

6.5.1. Systemy monitoringu, pomiarów, zarządzania, sterowania i automatyki

Urządzenia zainstalowane w podstacji i kabinach sekcyjnych powinny być wyposażone w cyfrowe układy sterowania i zabezpieczeń wykorzystujące system sterowania rozproszonego z indywidualnymi blokami funkcjonalnymi, wykorzystującymi uzgodniony protokół wymiany informacji. Urządzenia powinny być połączone do podwójnej magistrali (podstawowa i rezerwowa) typu CANBUS. Wszystkie sygnały cyfrowe powinny być wprowadzone do lokalnych koncentratorów danych typu CAN znajdujących się w podstacji.

Wymagane jest włączenie obiektów i urządzeń zasilania trakcyjnego i nietrakcyjnego do komputerowej nastawni centralnej. Można tu wykorzystać odpowiednio zmodyfikowane systemy stosowane w systemie zasilania prądu stałego.

Ze względu na poziomy napięcie rekomendowane jest stosowanie łączny światłowodowych.

6.5.2. Wykrywanie zwarć doziemnych

System zasilania 25 kV 50 Hz stanowi napowietrzną sieć dystrybucyjną z punktem zerowym uziemionym w podstacji.

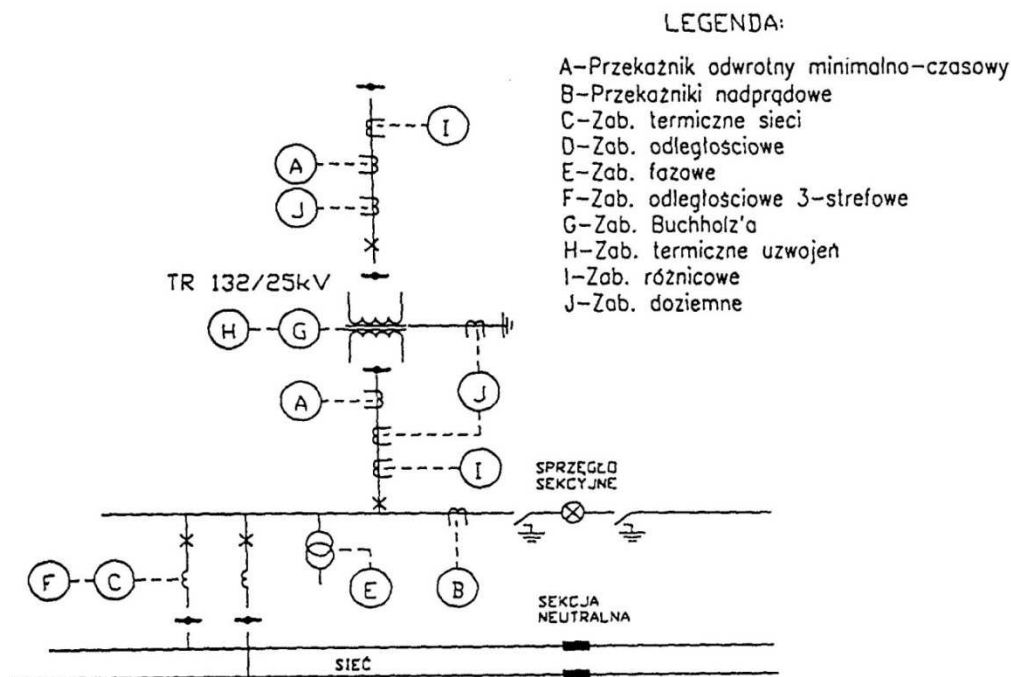
W systemie prądu przemiennego, oprócz uziemionych szyn jezdnych, drogę przepływu prądu powrotnego stanowią także dodatkowe przewody powrotne i ewentualnie booster transformatory. W przypadku systemu 2×25 kV (z autotransformatarami) element obwodu powrotnego, ale znajdujący się pod napięciem 25 kV w stosunku do ziemi stanowią dodatkowe zasilacze. Pomiędzy tymi zasilaczami, a siecią trakcyjną napięcie wynosi 50 kV. We wszystkich rozwiązaniach systemu 25 kV 50 Hz sieć powrotna jest skutecznie uziemiona w punktach zasilania. Konstrukcje wsporcze przewodów znajdujących się pod napięciem są elektrycznie połączone ze sobą i przyłączone do sieci powrotnej w odpowiednich miejscach. Stąd większość zwarć występujących w systemie zasilania będzie widziana przez system zabezpieczeń w podstacji, jako zwarcia lub duże obciążenia, co pozwoli je wykryć i wyłączyć przez standardowe systemy zabezpieczeń. Dlatego zwarcia doziemne w systemie prądu przemiennego, ze względu na skuteczne uziemienie sieci powrotnej stają się zwarciami o wysokich prądach zwarcia.

W systemie prądu przemiennego stosowane są złożone układy zabezpieczeń, których zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa ludzi i ograniczenie zagrożeń, które mogą być wywołane przez zwarcia lub przeciążenia. Na układ zabezpieczeń w systemie prądu przemiennego składają się: zabezpieczenia transformatora, zabezpieczenia autotransformatora (takie jak transformatora), zabezpieczenie sieci trakcyjnej, zabezpieczenia kabli zasilających

6.5.3. Zabezpieczenia transformatora

Stosuje się następujące zabezpieczenia transformatorów:

- zabezpieczenie nadprądowe, którym jest przekaźnik wyłączający obwód przy przekroczeniu przez prąd zadanej wartości. Przekaźnik taki musi posiadać układ rozróżniający prąd pobierany przy rozruchu (który może być nawet 10 razy większy od znamionowego) od prądu zwarciovego;
- zabezpieczenie od zwarć doziemnych, podobne do nadprądowego ale chroni transformator przed zwarciami do rdzenia lub obudowy;
- zabezpieczenie Buchholza – zabezpieczenie przed uszkodzeniem (zwarciami międzyfazowymi) uzwojeń, reagujące na wzrost gazowania oleju w kadzi transformatora. Posiada ono dwa stopnie zadziałania: pierwszy wykrywa niski poziom gazowania i wysyła jedynie sygnał ostrzegawczy, drugi zaś działa przy dalszym wzroście gazowania i oddziałując na wyłącznik powoduje jego zadziałanie (wyłączenie);
- zabezpieczenie termiczne uzwojeń, które chroni przed skutkami nadmiernego obciążenia lub w przypadku awarii układu chłodzenia;
- zabezpieczenie termiczne medium chłodzącego posiadające podobnie jak zabezpieczenie Buchholza dwa stopnie: alarm i wyłączenie;
- zabezpieczenie różnicowe.



Rys. 6.5.1. Zabezpieczenia transformatora trakcyjnego systemu 25 kV 50 Hz

6.5.4. Zabezpieczenie sieci trakcyjnej

Prądy zwarcia odległego i maksymalnych obciążeń sieci trakcyjnej mogą mieć zbliżone wartości, co ogranicza skuteczność stosowania ochrony nadprądowej. Dlatego zalecany rozwiązaniem jest stosowanie ochrony odległościowej. Ten sposób ochrony jest stosunkowo łatwy do zastosowania. Przekąznik odległościowy mierzy impedancję na zabezpieczanym odcinku i jest tak ustawiony, aby spowodować zadziałania przy zwarcu na odcinku pomiędzy miejscem, gdzie jest zainstalowany a zadany punkt. Odcinek linii jest zwykle podzielony na 3 sekcje ochrony, co pozwala na nastawianie różnych czasów zadziałania dla różnych sekcji. W celu przyspieszenia wyłączenia zwarcia rekomenduje się stosowanie uzależnień pomiędzy wyłącznikami chronionych sekcji. Należy stosować układy do ponownego załączenia wyłącznika mocy po czasie 3÷15 sekund, z ewentualnym stosowaniem próby linii przed załączeniem. Po 2 nieudanych kolejnych załączeniach wyłącznik mocy powinien zostać zablokowany.

W celu ograniczenia zadziałań zabezpieczenia odległościowego przy prądzie pobieranym przez pociągi zabezpieczenie powinno mieć niezależnie nastawione wartości rezystancji i reaktancji.

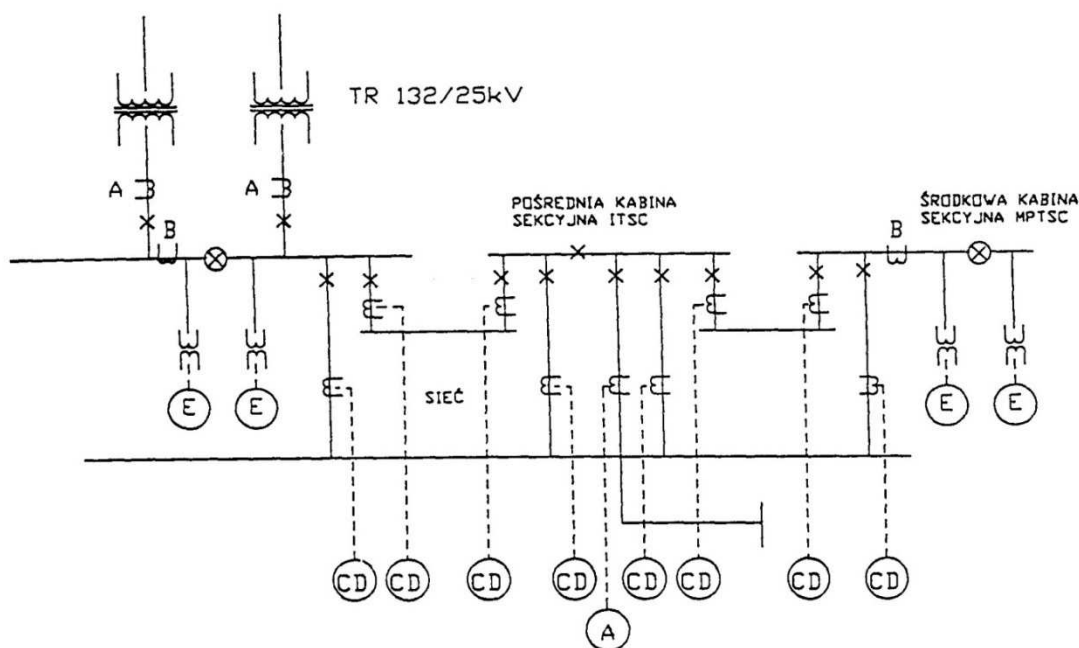
Oprócz zabezpieczenia odległościowego należy stosować termiczne zabezpieczenie sieci trakcyjnej. Zabezpieczenia sieci trakcyjnej powinny być odporne na występowanie harmonicznego prądu, zapewniać wyłączenie zwarć i przeciążeń, ale nie reagować na prąd załączenia transformatorów w lokomotywach.

Prądy zwarcia w sieci trakcyjnej powinny być ograniczane ze względu na możliwość uszkodzenia obwodów sygnalizacji i sterowania, napięć induko-

wanych w liniach telekomunikacyjnych w warunkach zwarciovych oraz napięć rażeniowych uziemionych części systemu zasilania.

Wyróżnia się następujące zabezpieczenia sieci trakcyjnej:

- zabezpieczenie odległościowe – porównuje prądy wejściowe i wyjściowe w każdej sekcji. Dla trakcji gdzie obciążenie zmienia swoje położenie stosuje się trójstrefowe zabezpieczenie odległościowe. Zwykle stosowane są 3 strefy ochrony odległościowej, z których Strefa 1 zapewnia natychmiastową ochronę ok.80-85% chronionej sekcji, a Strefy 2 i 3 zapewniają ochronę ze zwłoką dla zwarc na końcu chronionej sekcji (nie pokrywanej ochroną Strefy 1) i ochronę dodatkową dla sąsiednich sekcji. Zastosowanie ochrony tego typu wraz z wyłącznikami próżniowymi pozwala na zredukowanie (dla Strefy 1) czasu wyłączenia zwarcia do poniżej 90 ms.
- zabezpieczenie termiczne obciążeniowe – to typowe zabezpieczenie czasowo-prądowe, pozwalające na wyłączenie prądów zwarciovych zbyt małych by zadziałało zabezpieczenie odległościowe, ale utrzymujących się przez dłuższy czas i mogących spowodować uszkodzenie sieci;
- zabezpieczenie zanikowo-napięciowe, zabezpiecza od zwarcia międzyfazowego na podstacji lub w kabinie sekcyjnej i powoduje wyłączenie, gdy nastąpi zanik napięcia zasilającego transformatora;
- zabezpieczenie minimalno-czasowe.



Rys. 6.5.2. Zabezpieczenia sieci trakcyjne w systemach 25kV 50Hz

6.5.5. Ochrona kabli zasilających

Wyróżnia się następujące zabezpieczenia kabli zasilających:

- zabezpieczenie od wyładowań atmosferycznych, którym jest odgromnik różkowy umieszczany między siecią trakcyjną a ziemią;
- układ porównywanie prądów wejściowych oraz wyjściowych.

Ponadto wymagane jest stosowanie baterii zasilających z układami ładowania do dostarczania zasilania dla cewek w obwodach wyłączników i systemu nadzoru pracy przekaźników.

6.5.6. Koordynacja środków ochrony przeciwzwarciowej trakcyjnej podstacji i jednostki trakcyjnej

Zgodnie z wymaganiami TSI „Energia” [5] oraz normy PN-EN 50388:2008 [19], każda jednostka trakcyjna i podstacja trakcyjna powinna być wyposażona w wyłącznik, który zadziała w momencie pojawienia się maksymalnego prądu zwarcia.

Systemy zabezpieczeń jednostek trakcyjnych i podstacji powinny być kompatybilne.

W tabeli 6.5.1 zestawiono maksymalne dopuszczalne prądy zwarcia zgodne z poziomami określonymi w normie PN-EN 50388:2008 [19].

Tabela 6.5.1

Maksymalne poziomy zwarcie sieci jezdna – szyna

System zasilania	Podstacje zazwyczaj połączone równolegle tak/nie	Maksymalny prąd zwarcia, jaki może wystąpić kA
a.c. 25 000 V 50 Hz	nie	15 ^a
a.c. 15 000 V 16,7 Hz	tak	40
d.c. 3 000 V	tak	50 (potencjalnie długotrwały ^b)
^a Poprzednio powszechnie uznawana była wartość 12 kA		
^b Definicja w EN 50123-1, 3.2.12.		

Z kolei w tabeli 6.5.2 zestawiono, określone w PN-EN 50388:2008 [19], procedury w wypadku wewnętrznego zwarcia na jednostce trakcyjnej.

Tabela 6.5.2

Działanie wyłączników szybkich w przypadku wewnętrznego uszkodzenia w pojeździe trakcyjnym

System zasilania	Przy wystąpieniu wewnętrznego uszkodzenia w pojeździe trakcyjnym	
	Kolejność wyłączania:	
	Wyłącznik szybki zasilacza w podstacji	Wyłącznik szybki pojazdu trakcyjnego
a.c. 25 000 V-50 Hz	Otwarcie natychmiastowe ^a	Otwarcie natychmiastowe
a.c. 15 000 V-16,7 Hz	Otwarcie natychmiastowe ^a	Strona pierwotna transformatora: Otwieranie powinno być etapowe ^c Strona wtórna transformatora: Otwarcie natychmiastowe
d.c. 3 000 V	Otwarcie natychmiastowe ^b	Otwarcie natychmiastowe

a W przypadku dużych prądów zwarcia zadziałanie wyłącznika powinno nastąpić bardzo szybko. Jeśli to możliwe, wyłącznik szybki pojazdu trakcyjnego powinien wyzwolić się wcześniej, aby uniknąć wyzwolenia wyłącznika szybkiego w podstacji.

b Gdy prąd zwarcia jest bardzo duży, wyzwolenie wyłączników w podstacji powinno być bardzo szybkie, ażeby zapobiec wyłączeniu zwarcia przez wyłącznik szybki pojazdu trakcyjnego.

c Jeśli zdolność wyłączeniowa wyłącznika na to pozwala, to wówczas wyłączenie powinno nastąpić bardzo szybko. Jeśli to możliwe, wyłącznik szybki pojazdu trakcyjnego powinien się wyłączyć, ażeby uniknąć wyłączenia wyłącznika szybkiego w podstacji.

UWAGA Zaleca się wyposażanie nowych i modernizowanych pojazdów trakcyjnych w bardzo szybkie wyłączniki, zdolne wyłączyć maksymalny prąd zwarcia w jak najkrótszym czasie.

6.5.6.1. Ponowne załączenie wyłączników na podstacji

Jeżeli na podstacji są systemy automatycznego ponownego załączenia wyłączników, to można je zastosować do przywrócenia napięcia na linii. W tym przypadku ponowne załączenie jest możliwe tylko po odłączeniu wyłączników jednostek znajdujących się w obszarze zasilania podstacji trakcyjnej.

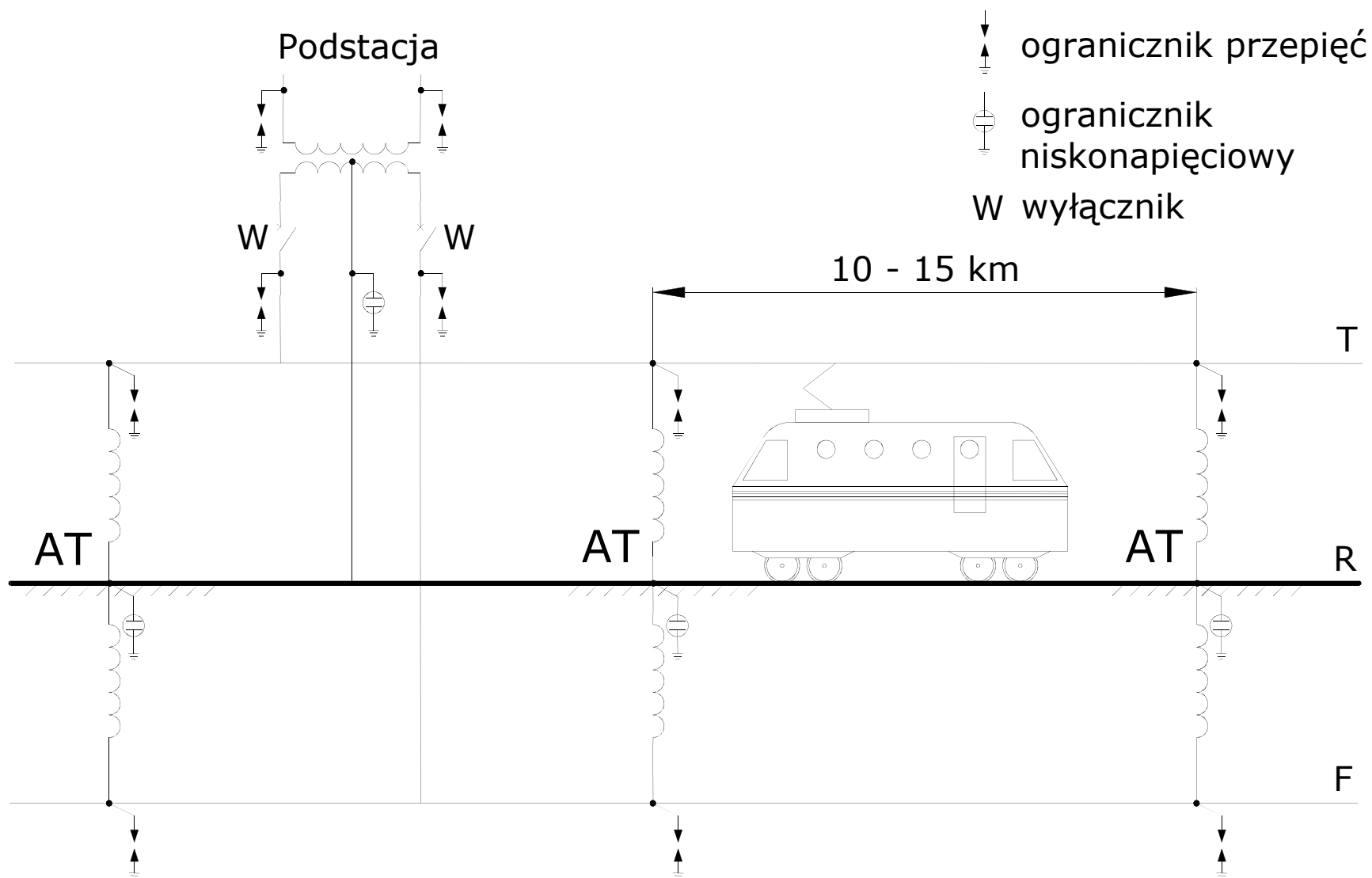
6.5.6.2. Wyłączniki w jednostkach trakcyjnych

Wyłączniki na jednostkach powinny zadziałać w przeciągu 3 sekund od zaniku napięcia na linii. Ponownego załączenie powinno nastąpić dopiero po 3 sekundach od przywrócenia napięcia na linii.

6.6. Ochrona odgromowa

Ochrona odgromowa zapewniona jest poprzez odpowiedni poziom izolacji oraz zastosowanie ograniczników napięć na pojazdach, podstacji i sieci trakcyjnej (rysunek 6.6.1).

W obszarach o podwyższonym zagrożeniu piorunowym można stosować napowietrzne przewody uziemiające.



Rys. 6.6.1. System ochrony od przepięć i ograniczenia napięć szyny-ziemia w systemie zasilania 2×25 kV

6.7. Odstępy izolacyjne

Zgodnie z odpowiednimi normami odstępy izolacyjne wynoszą:

- | | |
|--|---------|
| • długość izolatora | 500 mm, |
| • minimalny odstęp izolacyjny w układzie statycznym | 270 mm, |
| • minimalny odstęp izolacyjny w układzie dynamicznym | 150 mm, |
| • odległość od zasilacza do sieci trakcyjnej | 750 mm, |

6.8. Linie zasilające

Linie zasilające podstacje trakcyjne typowo: 3-fazowe, ale w niektórych krajach stosuje się linie 2-fazowe (rysunek 6.5.4) w systemach 1×25 kV AC, gdy transformatory mają uzwojenia pierwotne jednofazowe zasilane napięciem międzyfazowym.

Rys. 6.8.1. Linie 2-fazowe zasilające podstację systemu 1×25 kV AC



Rys. 6.8.2. Wejście linii WN do rozdzielni WN na podstacji

Dobór parametrów linii powinien uwzględniać: napięcie linii, lokalizację podstacji, odległość od GPZ, moce zwarcia w GPZ lub w punkcie przyłączenia do linii 110 kV, moc 15-minutową i chwilową podstacji trakcyjnej.

Przekrój linii powinien być dobrany wg kryteriów:

- obciążalności termicznej,
- dopuszczalnych spadków napięcia,
- wytrzymałości zwarcia.

Linie zasilające o napięciu 110 kV mogą być przyłączone do sieci elektroenergetycznej ze stacji rozdzielczych 110 kV (GPZ) operatorów systemu dystrybucyjnego (OSD) lub systemowych 220/100 kV, w zależności od lokalnych warunków i uzgodnień z OSD.

Projekt trasy linii musi być poprzedzony sporządzeniem raportu oddziaływania na środowisko zgodnie z odpowiednimi przepisami.

6.9. Zasilacze

Wyłączniki zasilaczy (o prądzie znamionowym typowo 1250 A) wyposażone powinny być w mikroprocesorowo sterowane przekaźniki impedancyjne do wykrywania zwarć w sieci trakcyjnej.

6.10. Szyny zbiorcze, przewody i połączenia prądowe

Szyny zbiorcze, przewody i połączenia prądowe powinny być zwymiarowane zgodnie z odpowiednimi przepisami dla danego poziomu napięcia i mocy zwarcia.

7. Wymagane parametry dla układu zasilania

7.1. Metody analizy układu zasilania

Podstawowymi kryteriami w projektowaniu układu zasilania są:

- dopuszczalna minimalna wartość napięcia (średnia i chwilowa) na odbieraku pojazdu trakcyjnego oraz wartość tzw. napięcia użytecznego wg TSI,
- zdolność przesyłu wymaganych mocy i energii,
- skuteczne wyłączenie zwarć,
- generacje zakłóceń i odkształceń na dopuszczalnym poziomie określonym przez właściwe normy i przepisy oraz oddziaływanie na zasilający publiczny system elektroenergetyczny,
- minimalizacja zjawiska prądów błędzących,
- wysoka sprawność energetyczna,
- bezpieczna eksploatacja i ochrona przeciwporażeniowa.

Spełnienie wymaganych kryteriów zapewnia:

- dobór źródeł zasilających (system elektroenergetyczny) o odpowiednich parametrach – dotyczy to głównie wartości mocy zwarciowej źródła, będącą miernikiem jego impedancji wewnętrznej, symetrii trójfazowych obwodów zasilających, oraz poziomu napięcia (odpowiednio wysoki) w węźle wspólnego połączenia (PCC) odbiorów trakcyjnych i innych odbiorów publicznych,
- lokalizacja podstacji trakcyjnych tak, aby linie zasilające miały długości nie powodujące nadmiernych spadków napięć,
- dobór maksymalnych odległości między podstacjami ze względu na dopuszczalne spadki napięć, moce obciążenia podstacji trakcyjnych oraz identyfikację zwarć,
- wartość mocy zainstalowanych w podstacjach trakcyjnych (transformatory, zespoły prostownikowe) zapewniająca przenoszenie założonych obciążeń,
- stosowanie urządzeń kompensujących spadki napięcia w obwodzie układu zasilania. np autotransformatory w systemie 2×25 kV AC, lub transformatory z odczepową regulacją napięcia pod obciążeniem,
- dobór przekrojów elektrycznych przewodów głównych torów prądowych zapewniających przenoszenie wymaganych obciążeń,
- dobór aparatury łączeniowej o odpowiednich parametrach,
- stosowanie filtrów, kompensatorów i innych urządzeń niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania podstacji,
- stosowanie izolacji o odpowiednich parametrach, uziemień ochronnych, aparatury i urządzeń zabezpieczających.

7.2. Impedancje własne i wzajemne

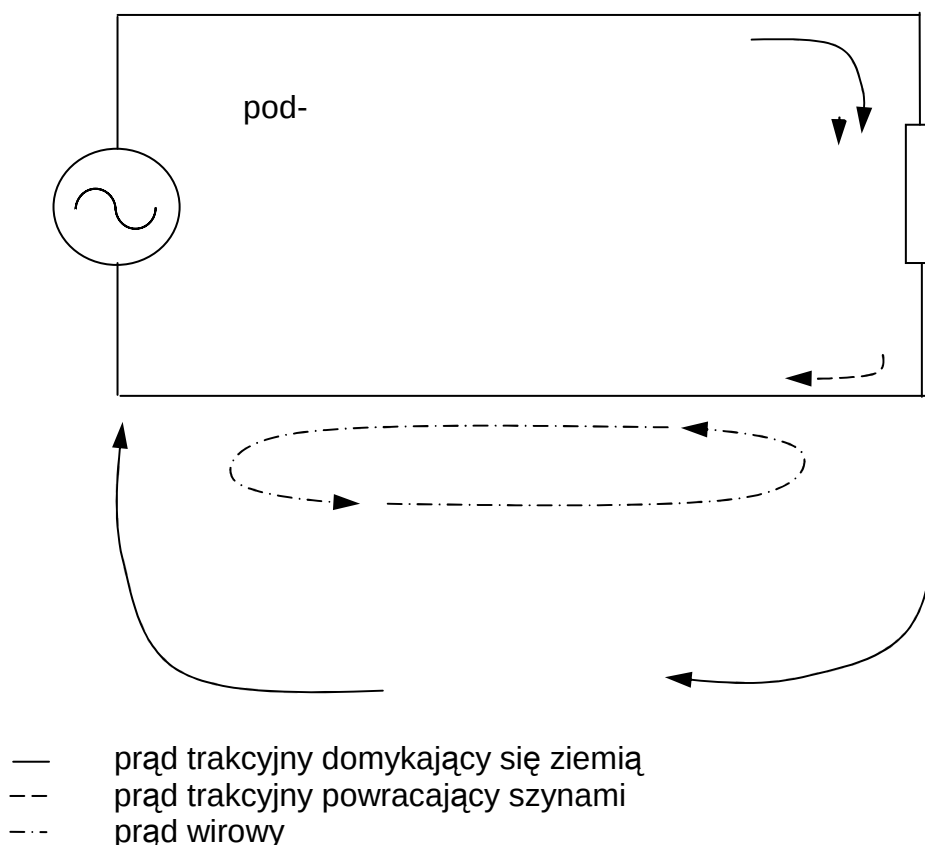
W niniejszej części przedstawione zostaną wyniki analiz dotyczących parametrów układu zasilania prądu przemiennego opracowane w rozprawie doktorskiej M. Krocak pt. „Symulacja funkcjonowania zelektryfikowanej linii kolejowej o złożonej strukturze sieci zasilającej” [49], wykonanej w Zakładzie Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej.

Pełna impedancja układu zasilania linii jednotorowej prądu przemiennego składa się z impedancji własnej sieci trakcyjnej i wzdłużnego zasilacza oraz impedancji wzajemnej *sieć – szyny*, *sieć – wzdłużny zasilacz* i *wzdłużny zasilacz – szyny*. Układ linii dwutorowej wymaga dodatkowo uwzględnienia impedancji własnych przewodników drugiego toru i impedancji wzajemnej przewodników pierwszego i drugiego toru. Wypadkowa sprzężeń *ziemia – szyny* i *ziemia – sieć trakcyjna* indukuje w ziemi prądy wirowe. Przy czym dominującą rolę w generowaniu prądów wirowych odgrywa sprzężenie *ziemia – sieć trakcyjna* (rys. 7.2.1). Prądy wirowe dla częstotliwości 50 Hz i przewodności ziemi 0.02 S/m płyną w ziemi do głębokości 330 m, natomiast dla częstotliwości 16⅔ Hz do 570 m. Oddziaływanie prądu płynącego w szynie na prąd wirowy jest małe, ponieważ prąd ten jest relatywnie niewielki w porównaniu z prądem w sieci jezdnej. W klasycznym systemie 25 kV z powodu wysokiej impedancji szyn przy prądzie 50 Hz duża część prądu powrotnego domyka się ziemią. Z tego powodu przy analizie kolejowego układu zasilania AC należy rozpatrywać schemat zasilania całościowo, a nie analizować poszczególne parametry, takie jak rezystancje sieci górnej i dolnej w przypadku systemu DC. Wyznaczanie indukcyjności sieci z uwzględnieniem skończonej długości odcinka zasilania wymaga wykorzystania wysoce złożonych wzorów. Dodatkowo analizę obwodu komplikuje zależność natężenia prądu w szynach od długości odcinka, jak również od położenia podstacji trakcyjnej. Zwykle na potrzeby analiz obciążeń układu zasilania przyjmuje się średnią wartość prądu w szynach i przyjmuje nieskończoną długość linii. W dalszych rozważaniach przyjęto za niezmienną rezystancję przejścia szyna – ziemia i wzajemne równoległe ułożenie przewodów i szyn na powierzchni ziemi, pominięto zaś pojemność układu. Pełna impedancja własna poszczególnych przewodników jest dana wzorem (7.2.1).

$$z = r_a + jx' + jx'' \quad \text{wzór (7.2.1)}$$

Impedancja powstająca w skutek zjawiska naskórkowości w ferromagnetykach ma charakter rezystancyjny i jest charakteryzowana parametrem k . Parametr ten jest stosunkiem rezystancji występującej przy prądzie przemiennym do rezystancji przy prądzie stałym. Zjawisko naskórkowości jest spowodowane indukowaniem prądu wirowego przez pole magnetyczne powstające wskutek przepływu prądu głównego w przewodzie. Gęstość prądu staje się niejednakowa w przekroju szyny, co powoduje, że prąd o relatywnie dużych gęstościach płynie tylko przez zewnętrzną część przekroju (rys. 7.2.2). Tłumienie prądu w obwodzie jest charakteryzowane współczynnikiem tłumienia α_i – wzór (7.2.2).

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{\omega \sigma \mu}{2}} \quad \text{wzór (7.2.2)}$$



Rys. 7.2.1. Rozpływ prądów w obszarze odcinka zelektryfikowanego

Przenikalność i konduktywność stali wynoszą odpowiednio $\mu_{Fe} \approx 2\pi \cdot 10^{-4} \dots 6\pi \cdot 10^{-4}$ [H/m], $\sigma_{Fe} \approx 10^7$ [S/m], natomiast dla miedzi $\mu_{Cu} \approx 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m], $\sigma_{Cu} \approx 5,6 \cdot 10^7$ [S/m], z tego powodu dla przewodników wykonanych z miedzi i aluminium przy częstotliwościach przemysłowych można przyjąć parametr $k=1$. Na rysunkach 7.2.3 i 7.2.4 przedstawiono rozkład gęstości prądu w szynie dla różnego natężenia prądu otrzymane na podstawie obliczeń z zastosowaniem programu QuickField. Rysunek 7.2.3 przedstawia przepływający prąd o natężeniu 100 A przy $\mu_{Fe} = 400 \cdot \pi \cdot 10^{-4}$ H/m, natomiast rysunek 7.2.4 prąd 300 A przy $\mu_{Fe} = 500 \cdot \pi \cdot 10^{-4}$ H/m. Dla porównania pokazano rozkład prądu przy częstotliwości 16⅔ Hz (rys. 7.2.5) i dla prądu stałego (rys. 7.2.6). Przenikalność magnetyczna stali jest parametrem nieliniowym zależącym od natężenia pola magnetycznego, czyli zmieniającym się wraz z prądem i uzależnionym od pola przekroju i kształtu przekroju szyny. Podejście analityczne wymaga dość trudnego obliczania rozptywu prądów w sieci z parametrami nieliniowymi, z tego powodu w praktyce wykorzystuje się parametr proporcjonalności k . Szczegółowe wyniki pomiarów szyn różnych mas o stopniu zawartości węgla podają różne źródła. Zgodnie z nimi rezystancja dodatkowa przy 50 Hz szyn jest 5 do 10 razy większa od ich rezystancji przy prądzie stałym ($k=5 \div 10$). W celach porównawczych przy pomocy metod polowych w programie QuickField wyznaczono rozkład prądu w szynie dla częstotliwości 50 Hz (rys. 7.2.3 i 7.2.4). Obliczona postprocesorowo wartość współczynnika dla tej częstotliwości $k=5,25$. Następnie wyznaczono rozkład prądu przy czę-

stotliwości $16\frac{2}{3}$ Hz (rys. 7.2.5), obliczony współczynnik k wyniósł 3.41. W opracowanym przez [Kroczak-doktorat] modelu systemu zasilania prądu przemiennego dla stosowanych w Polsce szyn o stopniu nawęglenia 0,8% i ciężarze 60,34 kg/m przyjęto w oparciu o wyniki doświadczalne rezystancję r_a szyny S60 dla 50 Hz taką jak na rys. 7.2.7. Rezystancja jest wyznaczana w oparciu o wykresy sporządzone na podstawie pomiarów dla średnich prądów. Do obliczeń i analiz przyjęto rezystancję jednej szyny przy średnim prądzie 200 A wynoszącą $r_r=0,22$ Ω/km .

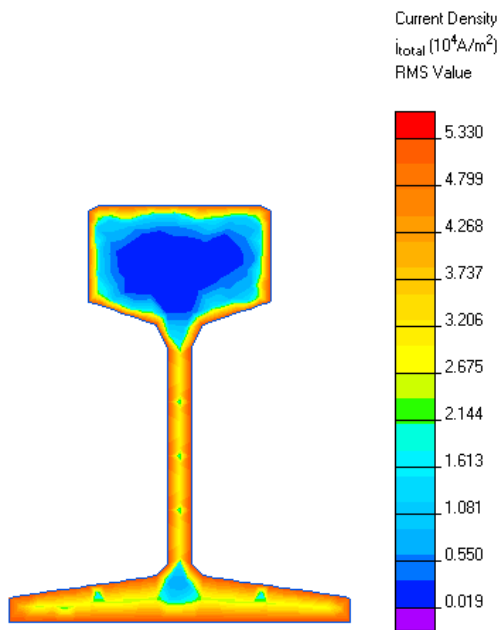
Impedancja wewnętrzna przewodnika dana jest wzorem (7.2.3) dla przewodów miedzianych i aluminiowych (materiały stosowane do konstrukcji sieci trakcyjnej), względną przenikalność magnetyczną dla tych przewodników można przyjąć $\mu_{rCu}=\mu_{rAl}=1$. Wewnętrzną impedancję szyn x'' , ze względu na zmieniającą się w szerokich granicach przenikalność magnetyczną μ , szacuje się doświadczalnie. W przybliżeniu można przyjąć, że wewnętrzna reaktancja szyn wynosi 75% ich rezystancji (7.2.4).

$$x'' = \omega \frac{\mu}{2} \cdot 10^{-4} [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.3)}$$

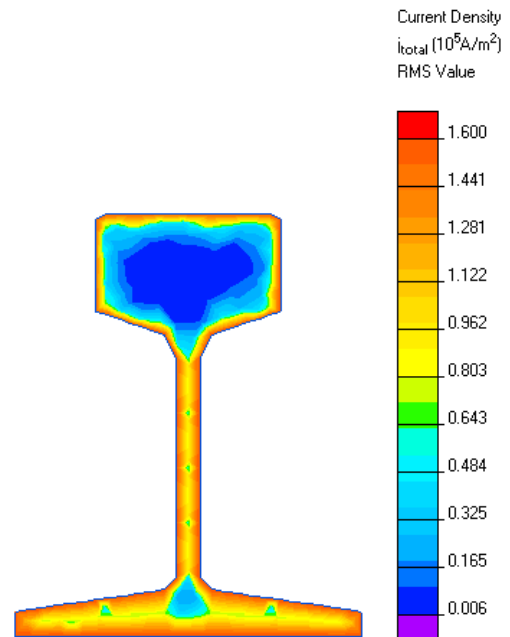
$$x'' = 0,75 \cdot r_{ra} [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.4)}$$

Impedancja zewnętrzna obwodu wymaga uwzględnienia indukcyjnego oddziaływania między siecią trakcyjną i wzdłużnymi zasilaczami a ziemią. Na potrzeby rozważań w niniejszej pracy sieć trakcyjną zastąpiono jednym przewodem zastępczym przewodzącym prąd I . Dodatkowo przyjęto, że taki przewód jest równoległy do ziemi. Wartości przenikalności magnetycznej próżni, względna wartość przenikalności magnetycznej środowiska i konduktywności środowiska oznaczono odpowiednio μ_0 , μ_r i γ . Przyjęto prostokątny układ współrzędnych x , y , z . Przewód poprowadzono równoległe do osi y , tak, że przechodzi przez punkt $(0, 0, h)$, gdzie h jest odległością przewodu od osi y . W obszarze nad ziemią, potencjał wektorowy $\underline{A}_1$ spełnia równanie Poissona – (7.2.5).

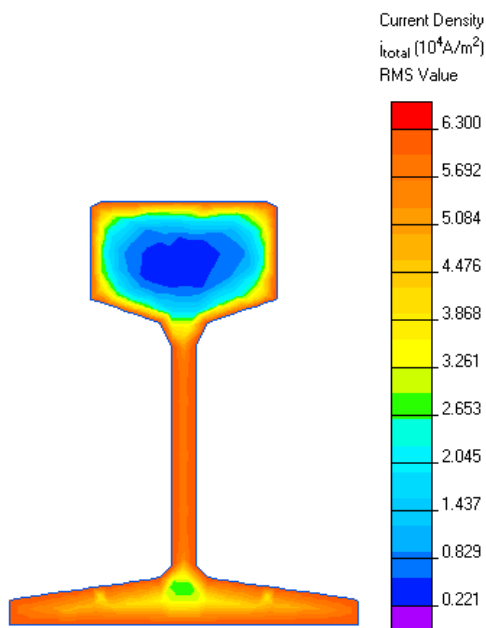
$$\frac{\partial^2 \underline{A}_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_1}{\partial z^2} = -\mu_0 I \delta(x) \delta(z-h), \quad z > 0 \quad \text{wzór (7.2.5)}$$



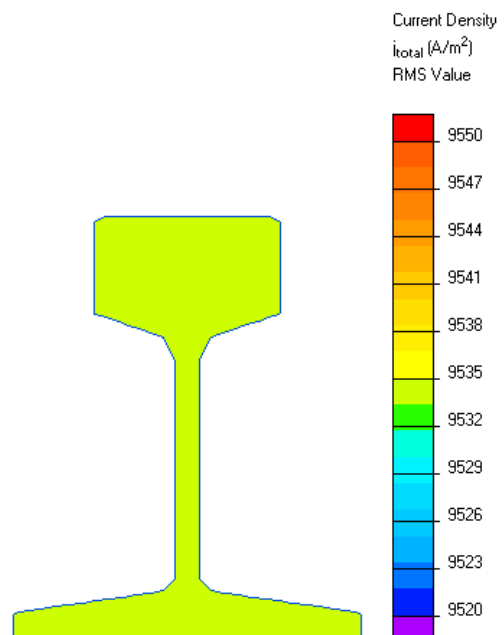
Rys. 7.2.2. Gęstość prądu J przy $I=100 \text{ A}$
 $\mu = 400\pi \cdot 10^{-4} \text{ H/m}$ 50 Hz



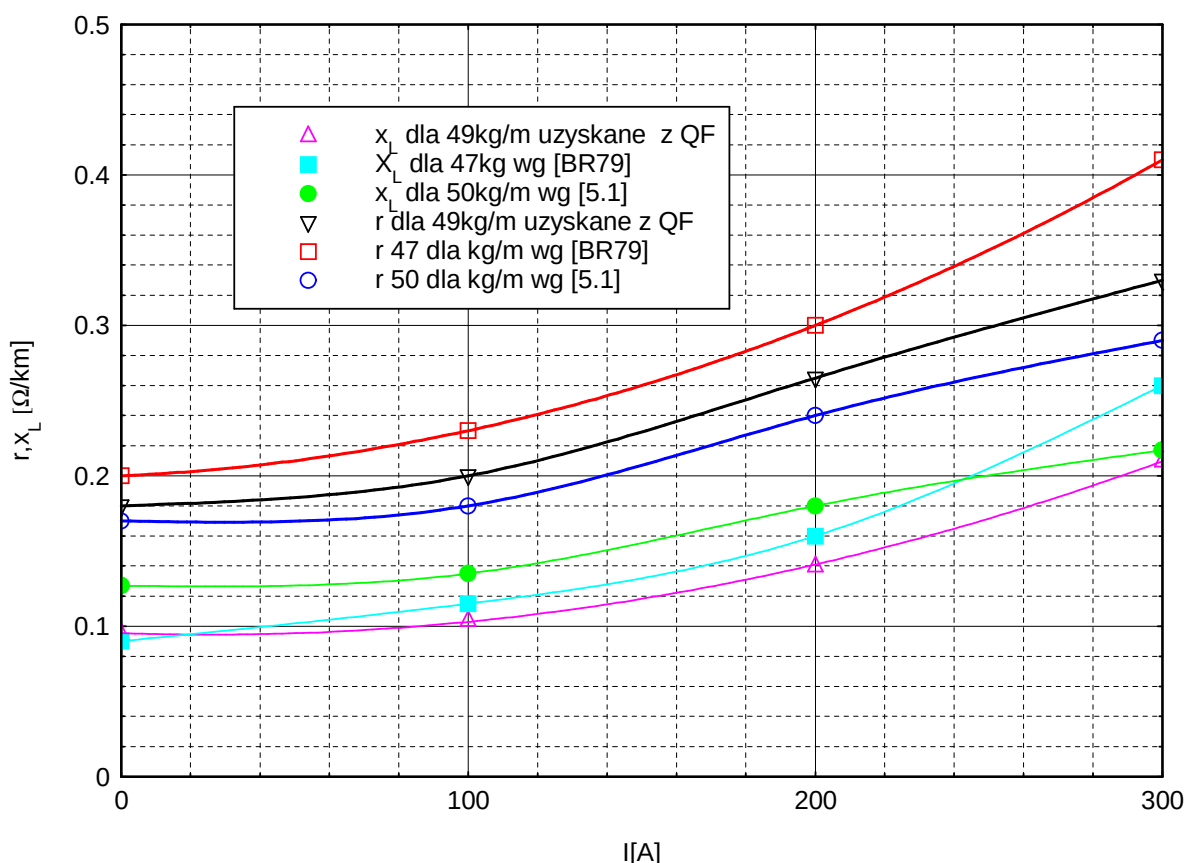
Rys. 7.2.3. Gęstość prądu J przy $I=300 \text{ A}$
 $\mu = 500\pi \cdot 10^{-4} \text{ H/m}$ 50 Hz



Rys. 7.2.4. Gęstość prądu J przy $I=300 \text{ A}$
 $\mu = 500\pi \cdot 10^{-4} \text{ H/m}$ $f=16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$



Rys. 7.2.5. Gęstość prądu stałego J przy
 $I=300 \text{ A}$ (tylko składowa
DC) $\mu = 40\pi \cdot 10^{-4} \text{ H/m}$



Rys. 7.2.6. Porównanie wartości rezystancji i reaktancji szyn 47, 49 i 50 kg/m uzyskanych z literatury i na podstawie obliczeń w programie QuickField

Wewnątrz ziemi potencjał wektorowy $\underline{A}_2$ spełnia równanie Helmholtza – (7.2.6).

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_2}{\partial z^2} = \omega \mu_0 \mu_r \gamma \exp\left(j \frac{\pi}{2}\right) \cdot \underline{A}_2(x, z), \quad z < 0 \quad \text{wzór (7.2.6)}$$

Rozwiązaniem układu równań (7.2.5) i (7.2.6) jest wzór Carsona w postaci danej (7.2.7).

$$Z_z = \frac{\omega \mu_0}{2\pi} \left[\frac{\pi}{4} + j \ln \frac{1.85}{R \sqrt{\omega \mu \gamma}} \right] [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.7)}$$

Zależność (7.2.7) jest prawdziwa, gdy $2\sqrt{2\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma \cdot h_k} \leq 0,05$.

Dla $f=50$ Hz, $\mu \approx 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m i konduktancji gruntu $\sigma \approx 2 \cdot 10^{-2}$ S/m granicznym przypadkiem stosowania wzoru Carsona-Pollaczka w postaci (7.2.7) jest wysokość zwieszenia przewodników 17,8 m nad powierzchnią ziemi. Powyżej tej wartości wysokość zawieszenia przewodu istotnie wpływa na impedancję własną układu i zamiast stałą 1,85 należy podstawić stałą odczytaną z tablicy dla wymaganej wysokości.

Wzór Carsona po przekształceniu do postaci (7.2.8) jest nazywany wzorem Polaczka.

$$Z_L = \left(1 + 2 \ln \frac{10^4}{1.78 \cdot R \sqrt{20\pi^2 f \gamma_z}} - j \frac{\pi}{2} \right) 2\pi f \cdot 10^{-4} \quad \text{wzór (7.2.8)}$$

Dla uproszczenia opisu, impedancja własna pętli ziemnopowrotnej z_n zawierającej przewód n będzie nazywana krótko impedancją przewodu n , a impedancja wzajemna pętli ziemnopowrotnej między szynami r a przewodem n będzie nazywana impedancją wzajemną między szynami r a przewodem n .

Po przekształceniu wzoru Carsona-Pollaczka (7.2.7), podstawieniu wartości i uwzględnieniu impedancji wewnętrznej otrzymano wzór na impedancję własną szyny (7.2.9).

$$z_r = r_{ra} + 0.05 + j0.144 \left(1.97 + 5.2r_{ra} - \log(R_r \sqrt{\gamma_z}) \right) [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.9)}$$

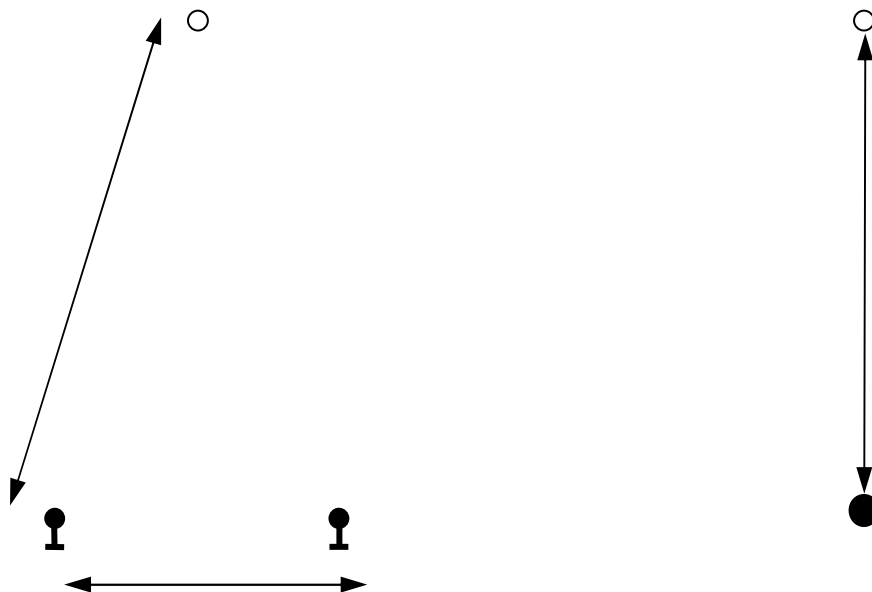
W rozważanym przewodzie indukuje się siła elektromotoryczna od pola wywołanego prądami innych przewodów zależna od wartości sprzężenia x_M . Impedancja wzajemna Z_M przewodów z uwzględnieniem oddziaływania ziemi jest także dana wzorem Carsona-Pollaczka (7.2.10).

$$z_M = \left(1 + 2 \ln \frac{10^4}{1.78 \cdot a_{mn} \sqrt{20\pi^2 f \gamma_z}} - j \frac{\pi}{2} \right) 2\pi f \cdot 10^{-4} [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.10)}$$

Wzór wyjściowy (7.2.10) jest przedstawiany po przejściu na logarytm dziesiętny i podstawieniu częstotliwości 50 Hz w postaci (7.2.11).

$$z_M = 0.05 + j0.144 \left(1.97 - \log(a_{mn} \sqrt{\gamma_z}) \right) [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.11)}$$

W obliczeniach często stosuje się zastąpienie 2 szyn przewodnikiem zastępczym, co przedstawiono na rys. 7.2.7.



Rys. 7.2.7. Zastępowanie szyn jednego toru przewodnikiem zastępczym

$$\Delta u_0 = I_0 z_k - \frac{1}{2} I_r z_{kr1} - \frac{1}{2} I_r z_{kr2} + \frac{1}{2} I_r z_r + \frac{1}{2} I_r z_{r12} - I_0 z_{kr1} \text{ [V/km]} \quad \text{wzór (7.2.12)}$$

Siła elektromotoryczna zaindukowana w przewodzie k prądem płynącym w szynie $1/2I_r$ jest skierowana przeciwnie do prądu $1/2I_r$ (reguła Lorenza), dlatego siły są skierowane przeciwnie do spadku na elemencie z_k .

Zakładając $z_{kr1}=z_{kr2}=z_{kr}$ otrzymuje się (7.2.13).

$$\Delta u_0 = I_0 z_k - I_r z_{kr} + \frac{1}{2} I_r (z_r + z_{r12}) - I_0 z_{kr} \text{ [V/km]} \quad \text{wzór (7.2.13)}$$

Analogiczny wzór można napisać dla układu przedstawionego z prawej strony na rysunku 7.2.7 (7.2.14).

$$\Delta u_0 = I_0 z_k - I_0 z_{kr} + I_r z_r - I_r z_{kr} \text{ [V/km]} \quad \text{wzór (7.2.14)}$$

Stąd wynika, że dwie szyny mogą być zastąpione przewodem zastępczym położonym w osi toru, którego zastępcza impedancja jest dana wzorem (7.2.15).

$$z_{Er1} = \frac{1}{2} (z_r + z_{r12}) \text{ [}\Omega\text{/km]} \quad \text{wzór (7.2.15)}$$

Podstawiając do wzoru (7.2.15) wartości z_r i z_{r12} zgodnie z wyrażeniami (7.2.8) i (7.2.9) otrzymuje się postać (7.2.16).

$$z_{Er1} = \frac{1}{2} \left[r_{ra} + 0.05 + j0.144 \left(1.97 + 5.2 r_{ra} - \log(R_r \sqrt{\gamma_z}) \right) \right. \\ \left. + 0.05 + j0.144 \left(1.97 - \log(a_{r12} \sqrt{\gamma_z}) \right) \right] \text{ [}\Omega\text{/km]} \quad \text{wzór (7.2.16)}$$

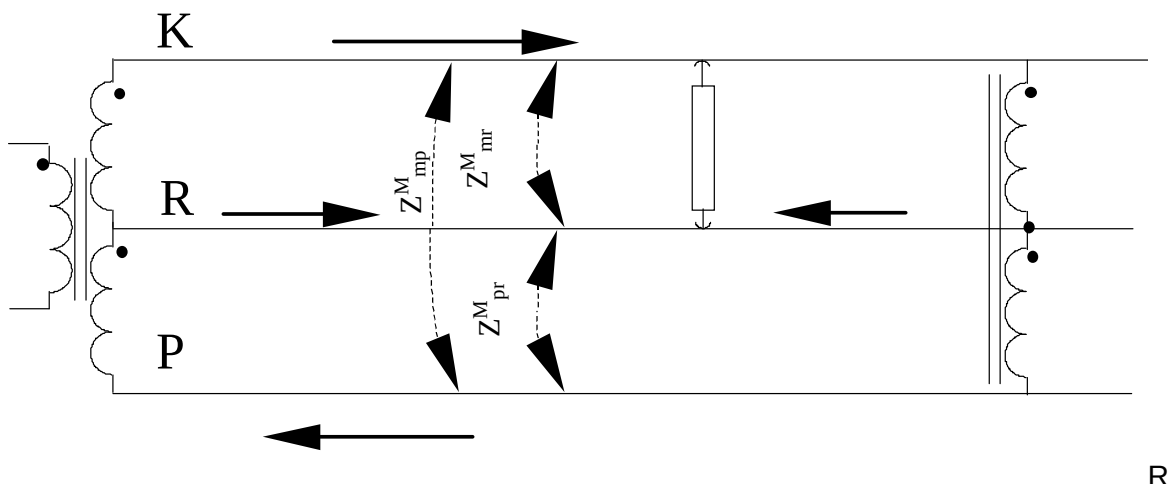
Ponieważ szerokość toru 1435 mm na odcinkach prostych jest mierzona 14 mm poniżej główki szyny, zatem odległość między osiami szyn zależy od ich typu. Do obliczeń praktycznych odległość 1500 mm. Ostatecznie, dla odcinka jednotorowego podaje się wzór (7.2.17) na wartość przewodnika z_{Er1} zastępującego dwie szyny.

$$z_{Er1} = \frac{r_{ra}}{2} + 0.05 + j0.144 \left(1.97 + 5.2 \frac{r_{ra}}{2} - \log(\sqrt{R_r a_{r12} \gamma_z}) \right) \text{ [}\Omega\text{/km]} \quad \text{wzór (7.2.17)}$$

W przypadku odcinka dwutorowego występuje dodatkowo wpływ prądów w poszczególnych szynach na rozptyw prądu między oddzielnymi przewodami sieci jezdnej, jak również wpływ prądów w przewodach na rozptyw prądów w szynach. Znane są analityczne rozwiązania takiego problemu, jednak prowadzą one do skomplikowanych wzorów i stosowane są w ograniczonym zakresie np. przy rozważaniu sprzężeń w odniesieniu do analizy pracy blokady samoczynnej. Do obliczeń rozptywu energii w obwodzie można przyjąć, że rozptyw prądów we wszystkich czterech szynach jest jednakowy. Dzięki takiemu założeniu można wprowadzić przewód zastępujący szyny dwóch torów (7.2.18).

$$z_{Er2} = \frac{r_{ra}}{4} + 0.05 + j0.144 \left(1.97 + 5.2 \frac{r_{ra}}{4} - \log(\sqrt[4]{R_r a_{r12} a_{I,II}^2} \sqrt{\gamma_z}) \right) \text{ [}\Omega\text{/km]} \quad \text{wzór (7.2.18)}$$

Impedancję własną z_n przewodu n z uwzględnieniem oddziaływania można obliczyć po przekształceniu wzoru (7.2.7) do postaci (7.2.19), natomiast pełną impedancję wynikającą z wzajemnej indukcyjności między szynami a przewodami m i n po sprowadzeniu wzoru (7.2.10) do (7.2.20). Impedancję wzajemną między przewodami n_1 i n_2 z uwzględnieniem oddziaływania ziemi wyznaczono za pomocą wzoru (7.2.21).



ys. 7.2.8. Impedancje wzajemne w układzie zasilania jednotorowej linii w systemie 2×25 kV

$$z_n = \frac{1}{\gamma_n \cdot \pi R^2} + 0.05 + j \cdot 0.145 \left[2.08 - \log(R_n \sqrt{\gamma_z}) \right] \quad [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.19)}$$

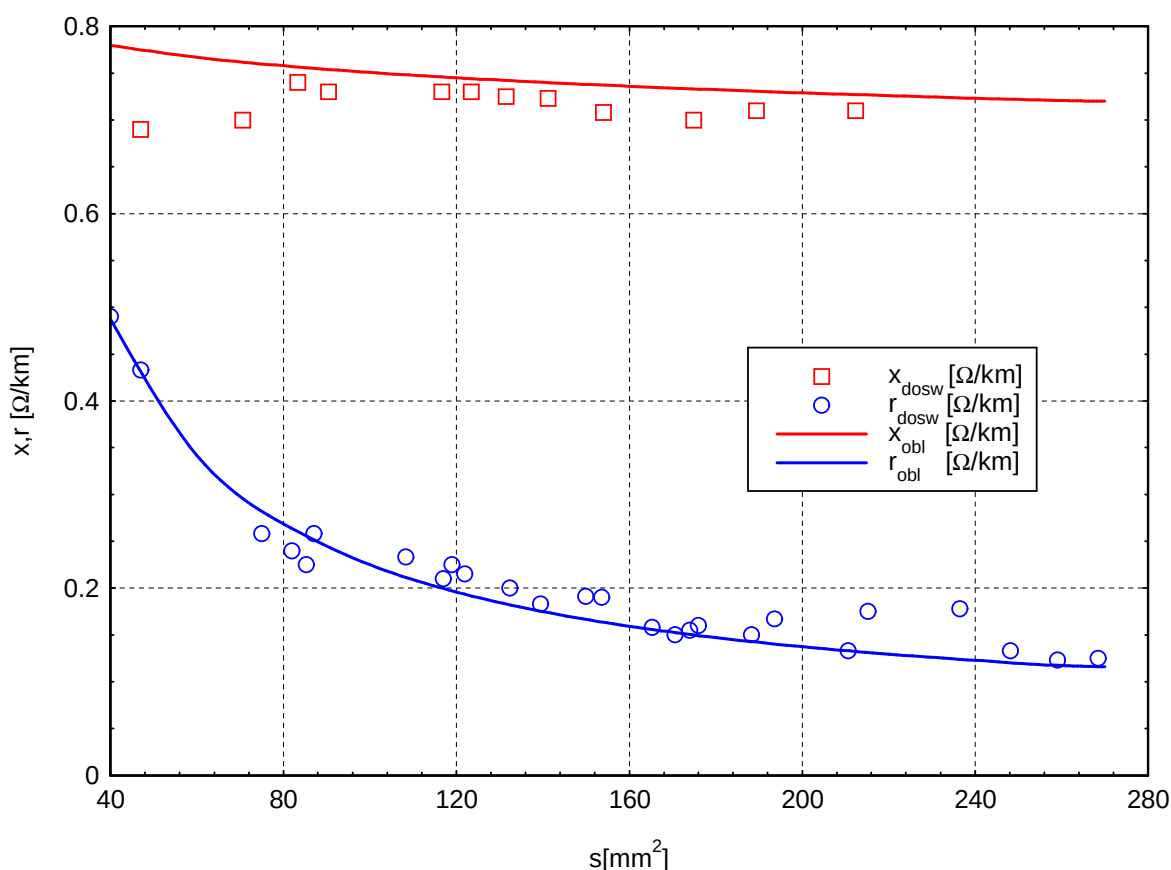
$$z_{mr}^M = 0.05 + j \cdot 0.145 \left[1.97 - \log(a_{mr} \sqrt{\gamma_z}) \right] \quad [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.20)}$$

$$z_{n1n2}^M = 0.05 + j \cdot 0.145 \left[1.97 - \log(a_{n1n2} \cdot \sqrt{\gamma_z}) \right] \quad [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.21)}$$

Wartość zastępczej impedancji szyn z_r [Ω/km] dla odcinka jednotorowego wyznaczyć można wg (7.2.22), natomiast dla odcinka dwutorowego wg (7.2.23).

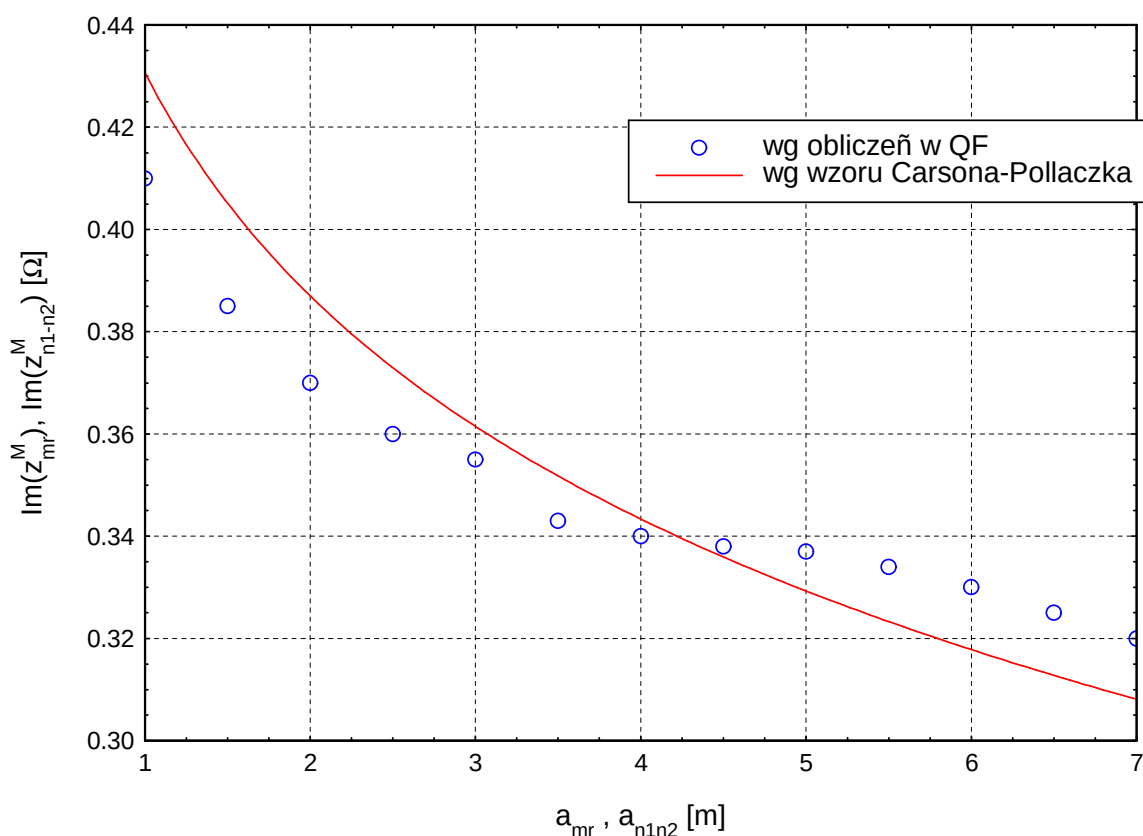
$$z_r = 0.05 + 0.5r_{ra} + j \cdot 0.145 \left[1.97 + 2.6r_{ra} - \log(\sqrt{R_r a_{r12} \gamma_z}) \right] \quad [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.22)}$$

$$z_r = 0.05 + 0.25r_{ra} + j \cdot 0.145 \left[-0.03 + 1.3r_{ra} - \log(\sqrt[4]{R_r a_{r12} a_M^2 \gamma_z}) \right] \quad [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.23)}$$



Rys. 7.2.9. Część rzeczywista i urojona impedancji własnej przewodu n w funkcji przekroju

Wykres wartości impedancji własnej przedstawiony na rysunku 7.2.9 został wyznaczony w warunkach obowiązywania wzoru (7.2.7), czyli dla wysokości zawieszenia przewodu nad ziemią nie przekraczającej 17,8 m (typowe wysokości zawieszenia drutu jednego dla linii dużych prędkości wynoszą od 5,08 m do 5,30 m). Doliczając do tych wartości wysokość konstrukcyjną sieci warunek obowiązywania równania (7.2.7) w zakresie dróg kolejowych jest zawsze spełniony. Do obliczeń wysokości zawieszenia zastępczego przewodu trakcyjnego przyjęto 1/3 wysokości konstrukcyjnej sieci (1,2 m). Linia ciągłą zaznaczono wartości rezystancji i impedancji obliczone odpowiednio z części rzeczywistej i urojonej (7.2.19). Punktami oznaczono wyniki pomiarów. Pomiary te zostały wykonywane przy przewodności ziemi $\gamma_z = 10 \cdot 10^{-3}$ [S/m] i dla takiego warunku autor przeprowadził obliczenia. Mniejsze podobieństwo wyników analiz teoretycznych wg wzorów (7.2.19) uzyskano w porównaniu z pomiarami sieci o liczbie przewodów równej 3 i większej. W takich przypadkach (7.2.19) wymaga uwzględnienia poprawki na wpływ indukcyjności wzajemnej pomiędzy dwoma położonymi blisko siebie przewodami jezdny. Dla typowych sieci prądu przemiennego przekrój jest mniejszy niż 220 mm² Cu i nie zachodzi potrzeba stosowania sieci z dwoma przewodami jezdny, z tego powodu rozważania ograniczono tylko do sieci trakcyjnej z jedną liną nośną i jednym przewodem jezdny. Zależność impedancji wzajemnej przedstawioną na rysunku 7.2.10 wyznaczono przy zaniedbaniu średnicy przekroju przewodnika.



Rys. 7.2.10. Impedancja wzajemna między przewodem m a szyną r oraz impedancja wzajemna między przewodami $n1$ a $n2$ w funkcji odległości [m]

7.2.1. Przykład obliczania impedancji własnych i wzajemnych ZLK 50 Hz

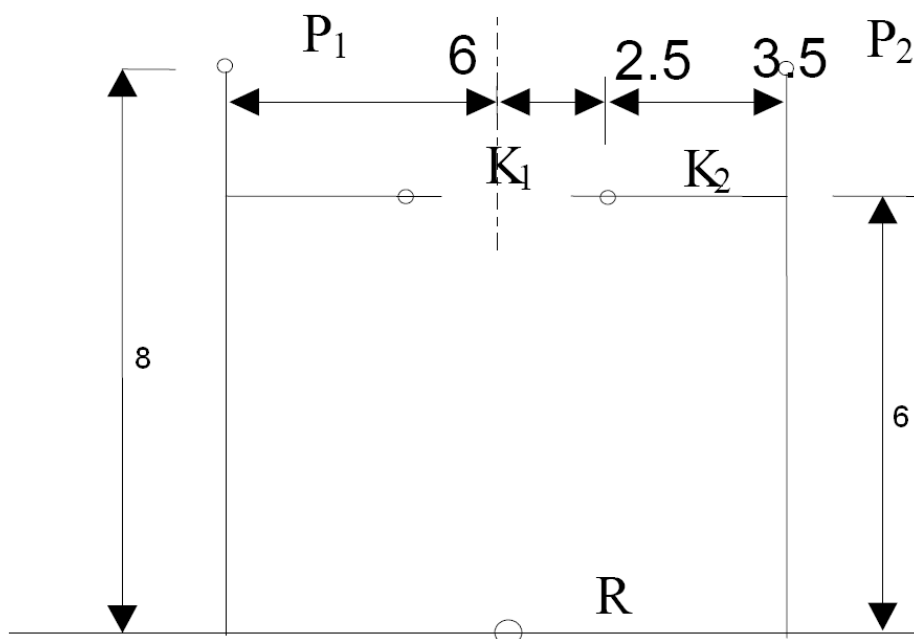
Na potrzeby obliczeń impedancji własnej sieci trakcyjnej we wzorach (7.2.19), (7.2.20), (7.2.21) w miejsce indeksu n posłużono się indeksem k , natomiast do obliczeń impedancji własnej wzdłużnego zasilacza zastosowano indeks p . Obliczenia wykonano dla układu przewodników o konfiguracji jak na rysunku 7.2.11. Przyjęto sieć trakcyjną 220 mm² Cu i zasilacz wzdłużny 200 mm² Al, parametry układu zestawiono w tabeli 7.2.1, a obliczenia w tabeli 7.2.2.

Tabela 7.2.1

$R_k = 8.37 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $R_p = 7.97 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $\gamma = 0.02 \text{ S/m dla } 50 \text{ Hz}$ $a_{kp} = 5.8 \text{ m}$ $a_{pr} = 9.7 \text{ m}$ $r_{ra} = 0.22 \text{ } \Omega/\text{km dla szyny S60 przy } 50 \text{ Hz}$	$R_r = 4.946 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ $r_k = 0.0795 \text{ } \Omega/\text{km}$ $r_p = 0.1323 \text{ } \Omega/\text{km}$ $a_r = 1.435 \text{ m}$ $a_M = 5 \text{ m}$
---	---

Tabela 7.2.2

Wielkości	Wartość [Ω/km]
konduktywność i impedancja własna sieci trakcyjnej	$\gamma_{Cu220mm^2} = 0.0795$ $z_k = 0.1295 + j0.726$
impedancja wzajemna obwodu szyna – sieć trakcyjna	$z_{kr}^M = 0.05 + j0.296$
impedancja własna szyn	$z_r = 0.0555 + j0.396$
konduktywność i impedancja własna zasilacza wzdłużnego	$\gamma_{220mm^2} = 0.1323$ $z_p = 0.1823 + j0.956$
impedancja wzajemna obwodów szyna – wzdłużny zasilacz	$z_{pr}^M = 0.05 + j0.264$
impedancja wzajemna obwodów sieć 1 toru – przewód zasilający 1 toru	$z_{mn}^M = 0.05 + j0.317$
impedancja wzajemna obwodów sieć 1 toru – sieć 2 toru	$z_{k1k2}^M = 0.05 + j0.503$
impedancja sprzężonych obwodów sieć 1 toru – zasilacz 2 toru i zasilacz 1 toru – sieć 2 toru	$z_{k1n1}^M = z_{n1k2}^M = 0.05 + j0.271$
impedancja sprzężonych obwodów zasilacz 1 toru – zasilacz 2 toru	$z_{n1n2}^M = 0.05 + j0.476$

Rys. 7.2.11. Przykładowy przekrój do zwymiarowania odległości pomiędzy przewo-
dami dwutorowej zelektryfikowanej linii kolejowej zasilanej w systemie 2×25 kV

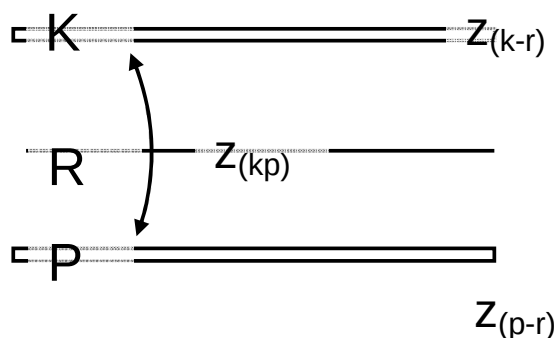
7.2.2. Model systemu 25kV 50Hz z eliminacją sprzężeń

Kolejowy układ zasilania systemu prądu przemiennego wygodnie jest rozpatrywać po wyeliminowaniu sprzężeń między poszczególnymi elementami układu zasilania. Model w takiej postaci daje się znacznie łatwiej zaimplementować w językach programowania niż model ze sprzężeniami. Dzięki eliminacji sprzężeń powstają wydzielone obwody: sieć *trakcyjna – szyny* i *zasilacz wzdłużny – szyny* (rys. 7.2.12). W warunkach elektroenergetyki kolejowej prąd w sieci powrotnej zmienia się w szerokich granicach w zależności od lokalizacji obciążeń na odcinku zasilania i upływności prądu z szyn do ziemi. Z tego powodu w dalszych rozważaniach przyjęto uśredniony prąd w szynach i wyeliminowano sprzężenia. We wzorze (7.2.24) podana jest zastępczą impedancja obwodu *szyna-ziemia*, a w (7.2.25) pełna zastępcza impedancja wzajemnej indukcyjności z_{mn} między przewodami m i n wchodzącymi w skład obwodów: przewód m – szyny i przewód n – szyny.

$$z_{(n-r)} = z_n - \frac{z_{nr}^2}{z_r} \quad [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.24)}$$

$$z_{(m-n)} = z_{mn}^M - \frac{z_{nr}^M \cdot z_{mr}^M}{z_r} \quad [\Omega/\text{km}] \quad \text{wzór (7.2.25)}$$

Podstawiając k w miejsce n i p w miejsce m w (7.2.24) i (7.2.25) uzyskano odpowiednio wzory na zastępczą impedancję własną obwodów: sieć *trakcyjna – szyny*, *zasilacz wzdłużny – szyny* i na zastępczą impedancję wzajemną pomiędzy tymi obwodami.



Rys. 7.2.12. Impedancje własne obwodów *sieć trakcyjna – szyny*, *wzdłużny zasilacz – szyny* i impedancja wzajemną pomiędzy tymi obwodami w układzie zasilania 2×25kV

Na podstawie (7.2.25) obliczono impedancję wzajemną z_{k1n1} , z_{k2n2} obwodów *sieć trakcyjna – szyny* i *wzdłużny zasilacz – szyny* tego samego toru. Z (7.2.25) obliczono również z_{k1n2} , z_{k2n1} impedancje obwodów *sieć trakcyjna – szyny* i *wzdłużny zasilacz – szyny* sąsiedniego toru, a wyniki zestawiono w tabeli 7.2.3. Wartości zastępcze oznaczone indeksem E uzyskano po eliminacji sprzężenia z_{kp} (rys. 7.2.12). Sprzężenie to jest eliminowane poprzez dodanie do impedancji z_{k-r} i z_{p-r} i odjęcie od impedancji szyn, z tego powodu impedancja szyn ma wartość ujemną. Po wyeliminowaniu tego sprzężenia zostaje zachowana fizykarność zjawiska, na wartość napięcia odbioru trakcyjne-

go nie oddziałują tylko odbiory znajdujące się w tym samym obwodzie z_{k-r} i z_{p-r} , ale również odbiory pobierające energię z obwodów z_{k-r} i z_{p-r} sąsiedniego toru.

Tabela 7.2.3

Wielkości	Wartość [Ω/km]
Wyniki wspólne dla linii jedno i dwutorowej:	
zastępcza impedancja obwodu szyna – sieć trakcyjna	$z_{(k-r)} = 0.0857 + j0.5019$
zastępcza impedancja obwodu szyna – zasilacz wzdłużny	$z_{(p-r)} = 0.0953 + j0.5507$
zastępcza impedancja wzajemna obwodów szyna – sieć 1 toru i szyna – zasilacz wzdłużny 1 toru	$z_{(k1p1)} = 0.0069 + j0.1199$
Wydzielone impedancje dla linii jednotorowej:	
wydzielona impedancja sieci trakcyjnej	$z_{(Ek)} = 0.0926 + j0.6218$
wydzielona impedancja wzdłużnego zasilacza	$z_{(E\Pi)} = 0.1467 + j0.6706$
wydzielona impedancja szyn	$z_{(Ep)} = -0.0069 - j0.1199$
Wyniki dla linii dwutorowej:	
zastępcza impedancja wzajemna obwodów szyna-sieć 1 toru i szyna – zasilacz wzdłużny 2 toru	$z_{(k1p2)} = z_{(k2p1)} = 0.0069 + j0.0739$
zastępcza impedancja obwodów sieć 1 toru – sieć 2 toru	$z_{(k1k2)} = 0.0069 + j0.3059$
zastępcza impedancja obwodów zasilacz wzdłużny 1 toru – zasilacz wzdłużny 2 toru	$z_{(n1n2)} = 0.0069 + j0.2789$
łączna impedancja wzajemna obwodów szyna-sieć i szyna – zasilacz wzdłużny obu torów	$z_{(kn)} = 0.0138 + j0.1208$
Zastępcze impedancje dla linii dwutorowej:	
wydzielona impedancja sieci trakcyjnej 1 i 2 toru	$z_{(Ek1)} = z_{(Ek2)} = 0.01276 + j0.2416$
wydzielona impedancja wzdłużnego zasilacza 1 i 2 toru	$z_{(EP1)} = z_{(EP2)} = 0.0995 + j0.6227$
wydzielona impedancja szyn	$z_{(Er)} = -0.0304 + j0.2707$

7.2.3. Porównanie wartości impedancji wyznaczonych teoretycznie z uzyskanymi z pomiarów

Na rysunku 7.2.10 przedstawiono wyniki obliczeń impedancji wzajemnej sieć – ziemia z_{mr}^M wykonane przy konduktywności ziemi $\gamma_z=0.01$ S/m. Z kolei zmierzona zastępcza impedancja obwodu szyna – sieć trakcyjna $z_{(k-r)}$ w warunkach kolei francuskich dla sieci o przekroju 150 mm^2 Cu wynosi w przypadku linii jednotorowej $0,159+j0,454 \text{ } \Omega/\text{km}$ i $0,084+j0,278 \text{ } \Omega/\text{km}$ dla linii dwutorowej. Wartości te różnią się o 5,8% od obliczonej wartości $z_{(k-r)}$ podane jak w tabeli 7.2.3 dla sieci 220 mm^2 Cu w przypadku linii jednotorowej. Impedancja $z_{(k-r)}$ dla linii dwutorowej różni się aż o 25% od wartości obliczonej.

Bardzo wysoką zgodność wyników obliczeń impedancji w systemie 25 kV i 2×25 kV uzyskano za pomocą wzorów Carsona-Pollaczka dla innego typu sieci trakcyjnej. Mierzona sieć miała stalową linę nośną o przekroju 50 mm^2 , miedziany drut jezdny 100 mm^2 , zawieszony na wysokości 5,7 m oraz stalowo aluminiowy AFL zasilacz wzdłużny $(25+150) \text{ mm}^2$, zawieszony na wysokości 9,35 m. Wyliczona dla linii jednotorowej impedancja obwodu sieć – szyny wyniosła $z_{kr_obl}=(0,2124+0,5570) \text{ } \Omega/\text{km}$ przy zmierzonej wartości $|z_{kr_pom}|=0,59 \text{ } \Omega/\text{km}$, analogicznie dla linii dwutorowej $z_{kr_obl}=(0,1082+0,3237) \text{ } \Omega/\text{km}$ i $|z_{kr_pom}|=0,35 \text{ } \Omega/\text{km}$. Wynika stąd, że uzyskano dokładność obliczeń z pomiarami na poziomie 1 do 2,5%.

7.3. Modelowanie podstacji prądu przemiennego i autotransformatorów

7.3.1. Model podstacji

Można przyjąć, że podstacja w systemie prądu przemiennego stanowi liniowe źródło energii z uwagi na brak prostownika. Transformator w podstacji można sprowadzić do postaci dwójnika. Dane do modelu transformatora przedstawiono w tabeli 7.3.1.

Tabela 7.3.1

Moc transformatora [MVA]	Napięcie zasilania strony pierwotnej [kV]	Rezystancja transformatora [Ω]	Indukcyjność transformatora [Ω]
16	110	0.49	9.92
16	220	0.56	10.9
25	110	0.33	5.81
25	220	0.34	7.98

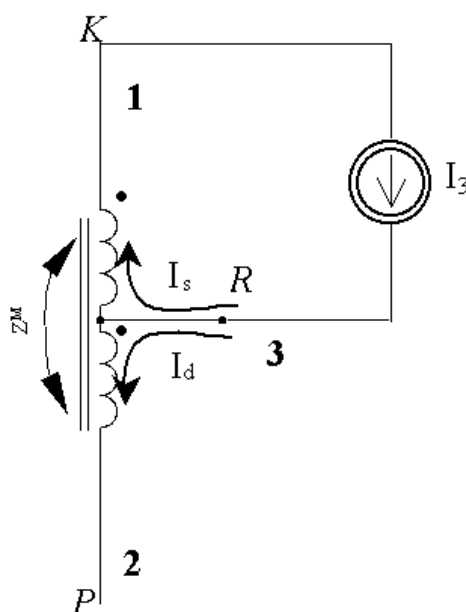
7.3.2. Modele autotransformatorów

Na liniach zelektryfikowanych w systemie 2×25 kV w odległościach typowo od 7 do 15 km, zlokalizowane są autotransformatory. Zadaniem autotransformatora jest wymuszanie przepływu prądu powrotnego z szyn do

wzdłużnego zasilacza i podniesienia napięcia w sieci górnej kompensującej spadek napięcia w szynach. Autotransformator o przekładni równej 1 dzieli prąd odsysany z szyny na dwa w przybliżeniu równe przeciwnie skierowane prądy. W literaturze spotykane są uproszczenia tego układu poprzez zaniebdanie prądu płynącego w uzwojeniu szeregowym I_s (górnym na rys. 7.3.1). Prąd w tym uzwojeniu płynie tylko w lokalnym oczku od autotransformatora do pociągu I_3 . Prąd górnego uzwojenia autotransformatora jest wywołany przepływem prądu I_d w uzwojeniu głównym (dolnym). Prąd uzwojenia dolnego jest równy połowie prądu pociągu I_3 , jednak przyływ mocy jest w przybliżeniu równy mocy pociągu, ponieważ moc jest przesyłana wzdłużnym zasilaczem przy dwa razy wyższym napięciu wzdłużnego zasilacza. Eliminacja prądu I_s w połączeniu z zaniebdaniem dodatkowego potencjału wzdłużnego zasilacza pozwala przedstawić obwód sieć dolna- zasilacz wzdłużny jako serię czwórników typu Π . Układ w tej postaci pozwala na łatwą implementację w językach programowania. W praktyce prąd płynący przez uzwojenie szeregowe jest prądem podmagnesowania i jest on pomijalnie mały w porównaniu w prądami wymuszeń trakcyjnych. Można przyjąć parametry autotransformatorów danych w tabeli 7.3.2.

Tabela 7.3.2

Moc autotransformatora [MVA]	Rezystancja [Ω]	Impedancja [Ω]
10	0.68	4.16
16	0.39	2.80



Rys. 7.3.1. Sposób włączenia autotransformatora w sieci 2x25 kV

7.4. Obliczenia zapotrzebowania mocy i energii

Zapotrzebowanie na moc i energię powinno wynikać z wyników obliczeń symulacyjnych zgodnie z wymaganiami TSI i przepisów związanych.

Np. dla linii Rzym-Neapol (maksymalna prędkość 350 km/h) spodziewany okład mocy wyniósł:

- 1 MW/km – w warunkach normalnych,
- 2 MW/km – okład maksymalny.

7.5. Obliczenia spadków napięć

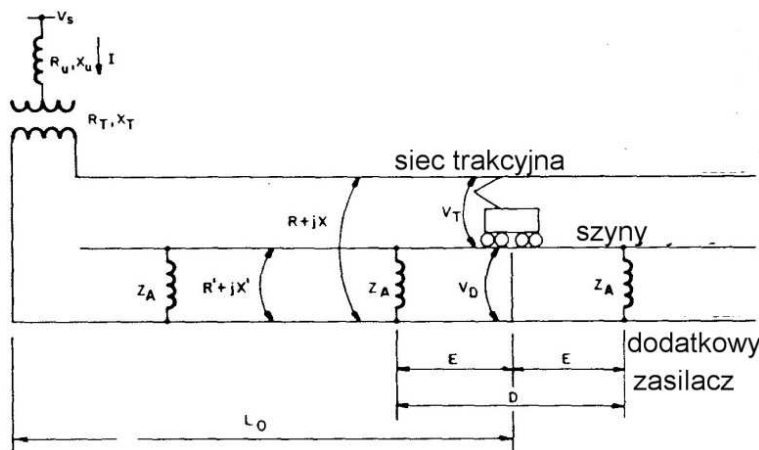
Zwymiarowanie instalacji stałych dla trakcji elektrycznej może powinno być wykonane w oparciu o wyniki symulacji rozkładu jazdy dla warunków szczytowych, z uwzględnieniem mocy pobieranej przez pociągi w każdym kroku czasowym symulacji. Dobór konfiguracji układu zasilania i dopasowanie wyposażenia (transformatory, linie napowietrzne, zasilacze, sieć trakcyjna, autotransformatory) powinien uwzględniać aspekty jakości dostawy energii (poziom napięcia) z odpowiednią zdolnością przesyłową mocy oraz oddziaływaniem na zasilający system elektroenergetyczny.

Analizując najgorszy, z punktu widzenia spadków napięć, przypadek położenia pociągu na środku odcinka pomiędzy dwoma ostatnimi autotransformatormi możemy napisać równanie napięciowe (dla zastępczego schematu z rys. 7.5.1), przy pominięciu efektu podnoszenia napięcia przez autotransformatory):

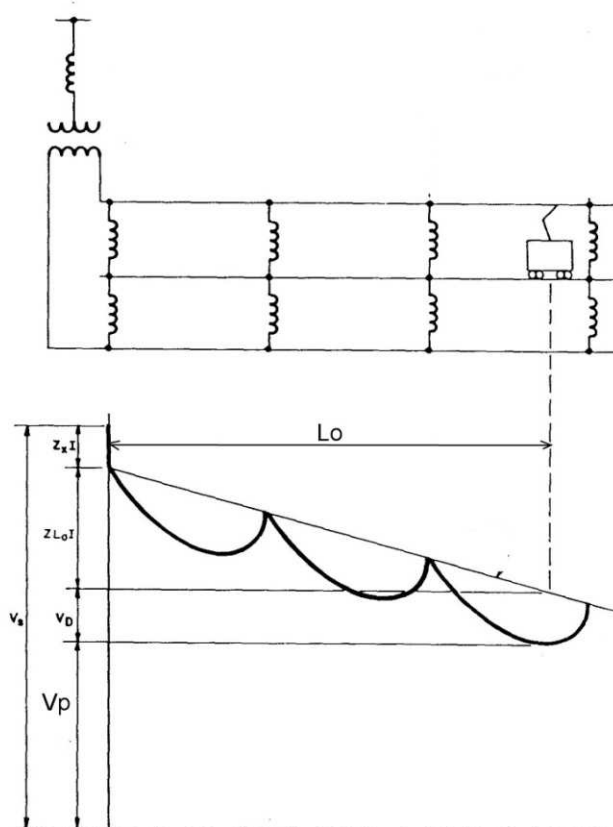
$$V_s = Z_x I + (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L_o I + V_P + V_D \quad \text{wzór (7.5.1)}$$

gdzie:

- R – jednostkowa rezystancja zasilacz – sieć trakcyjna [Ω/km],
- X – jednostkowa reaktancja zasilacz – sieć trakcyjna [Ω/km],
- L_o – odległość od podstacji do pociągu [km],
- V_P – napięcie na odbieraku pociągu [V],
- V_D – spadek napięcia w układzie zasilacz – szyny na odcinku pomiędzy autotransformatormi,
- V_s – napięcie stanu jałowego transformatora trakcyjnego,
- $Z_x I$ – spadek napięcia na impedancji podstacji,
- Z – impedancja zastępcza sieci zasilającej.



Rys. 7.5.1. Zastępczy schemat zasilania w systemie 2x25 kV



Rys. 7.5.2. Spadki napięcia w systemie zasilania trakcyjnego 2×25 kV przy zasilaniu jednego pociągu pobierającego prąd I

Charakterystyka trakcyjna siły i stąd możliwe do uzyskania przyspieszenia i prędkości lokomotywy (jednostki trakcyjnej) zmieniają się w funkcji napięcia na pantografie. Wyznaczenie zależności charakterystyki trakcyjnej siły i prędkości, dla obniżonego napięcia jest możliwe, gdy znane są relacje charakterystyk przy obniżonym napięciu do charakterystyk znamionowych. Może to być np. zależność proporcjonalna poprzez stosunek napięcia na pantografie do napięcia znamionowego (U_p/U_n).

Ważne jest, aby dla danej linii uzyskane wartości napięć na odbierakach umożliwiały osiągnięcie wymaganych prędkości. Na przykład, w systemie 25 kV tzw. napięcie użyteczne na poziomie 90% wartości znamionowej (22,5 kV) umożliwia uzyskanie odpowiednich osiągnięć, o ile chwilowe napięcia nie spadają poniżej minimalnego dopuszczalnego, wynoszącego 19 kV. Występowanie napięć poniżej 19 kV jest dopuszczalne w okresach zakłóceń ruchu (przy zwiększeniu gęstości ruchu ponad rozkładowe) lub w przypadkach skrajnych (awarie).

Dobór układu zasilania tak, aby uzyskać właściwe napięcie średnie użyteczne pozwala na:

- optymalne wykorzystanie mocy zainstalowanych w pojazdach i osiąganie dobrych parametrów trakcyjno-ruchowych,
- zapewnia, że wartości napięć minimalnych określonych normami są zachowane,
- poprawną pracę instalacji elektroenergetyki trakcyjnej i daje możliwości zwiększenia ruchu lub zapewnia ciągłość ruchu w warunkach awaryjnych.

7.5.1. Średnie napięcie użyteczne

Średnie napięcie użyteczne na odbierakach pociągów jest wyznaczane metodą komputerowej symulacji obszaru (strefy) zasilania w okresie szczytowych obciążeń (zwykle jest to okres ruchu szczytowego), a w analizie uwzględnia się wszystkie znajdujące się w danym obszarze pociągi. Analiza powinna być przeprowadzana z uwzględnieniem charakterystyk elektrycznych układu zasilania i wszystkich typów pociągów znajdujących się na odcinku. Należy obliczać w każdym kroku symulacji napięcie na pantografie każdego pociągu. Dla systemów AC stosuje się wartość skuteczną napięcia podstawowego, dla systemów DC – wartość średnią. Krok symulacyjny powinien mieć dostatecznie małą wartość, aby dokładnie uwzględnić wszystkie zdarzenia zachodzące w rozkładzie jazdy (np. 2 do 5 s).

W wyniku symulacji wyznacza się dwie wielkości uzyskane z analizy:

1. $U_{\text{średnie użyteczne strefy}}$ systemu zasilania – średnia wartość wszystkich napięć analizowanych w tej symulacji. Jego wartość determinuje jakość dostawy energii z systemu zasilania dla całej strefy.

Do analizy w każdym kroku symulacji brane są wszystkie pociągi znajdujące się w strefie, w rozważanym okresie szczytu ruchowego, niezależnie od tego, czy pobierają moc na cele trakcyjne czy nie (jazda z wybiegu, postój, rekuperacja).

2. $U_{\text{średnie użyteczne pociągu}}$ – średnia wartość wszystkich napięć, liczona w tej samej symulacji, jednakże analizowana są napięcia dotyczące tylko jednego pociągu w każdym kroku symulacji. Do analizowany brany jest tylko pobór mocy na cele trakcyjne.

Na podstawie wartości tego napięcia możemy określić osiągi każdego symulowanego pociągu i zidentyfikować pociąg, którego możliwości przyspieszenia (osiągania maksymalnych prędkości) są silnie powiązane z poziomem napięcia na pantografie.

7.5.1.1. Minimalne wartości $U_{\text{średnie użyteczne}}$ na pantografie

Minimalne wartości średniego napięcia użytecznego na pantografie w normalnych warunkach pracy podano w tabeli 7.5.1.

Tabela 7.5.1

Minimalna wartość $U_{\text{średnie użyteczne}}$ na pantografie (wołty)

System zasilania	Linie HS TSI	Konwencjonalne linie TSI oraz linie klasyczne
	Strefa i pociąg	Strefa i pociąg
a.c. 25 000 V 50 Hz	22 500	22 000
a.c. 15 000 V 16,7 Hz	14 200	13 500
d.c. 3 000 V	2 800	2 700
d.c. 1 500 V	1 300	1 300

7.5.1.2. Relacja pomiędzy napięciem średnim użytecznym $U_{\text{średnie użyteczne}}$ a napięciem U_{min1}

Projekt układu zasilania powinien być tak pracowany, aby w czasie symulacji umożliwiających obliczenie napięcia $U_{\text{średnie użyteczne}}$ nie pojawiło się chwilowe napięcie niższe od U_{min1} (wg tabeli 5.3.1) dla przyjętego dla linii rozkładu jazdy powodujące szczytowe obciążenia.

7.5.1.3. Obliczenie średniego napięcia użytecznego

Średnie napięcie użyteczne na pantografie jest liczone według poniższej zależności:

$$U_{\text{sr.u.}} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{T_j} \int_0^{T_j} U_p * |I_{pj}| dt}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{T_j} \int_0^{T_j} |I_{pj}| dt} \quad \text{wzór (7.5.2)}$$

gdzie:

T_j – przedział całkowania albo okres analizy dla pociągu o numerze j ,

n – liczba pociągów.

Dla systemów prądu zmiennego:

U_{pj} – chwilowe napięcie o wartości skutecznej o częstotliwości zasilania na pantografie pociągu o numerze j ,

$|I_{pj}|$ – moduł wartości skutecznej prądu o częstotliwości zasilania przepływającego przez pantograf pociągu o numerze j .

Dla systemów prądu stałego:

U_{pj} – chwilowe napięcie średnie na pantografie pociągu o numerze j ,

$|I_{pj}|$ – moduł wartości średniej prądu przepływającego przez pantograf pociągu o numerze j .

Taki sam rezultat można uzyskać za pomocą wzoru, łatwiejszego w implementacji komputerowej:

$$U_{\text{sr.u.}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{MN\Delta t} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M U_{j,k}(t) * \Delta t \quad \text{wzór (7.5.3)}$$

gdzie:

n – liczba pociągów analizowanych podczas symulacji,

$U_{j,k}$ – wartość skuteczna napięcia o częstotliwości zasilania wyznaczona w kroku wstępnym dla systemów prądu zmiennego / średnia wartość napięcia uzyskana w kroku wstępnym,

M – liczba kroków obliczeń brana do przedziału czasowego obliczeń

N – liczba przedziałów czasowych w symulacji

Δt – czas, w którym każdy krok M jest symulowany.

7.6. Obliczenia prądów roboczych

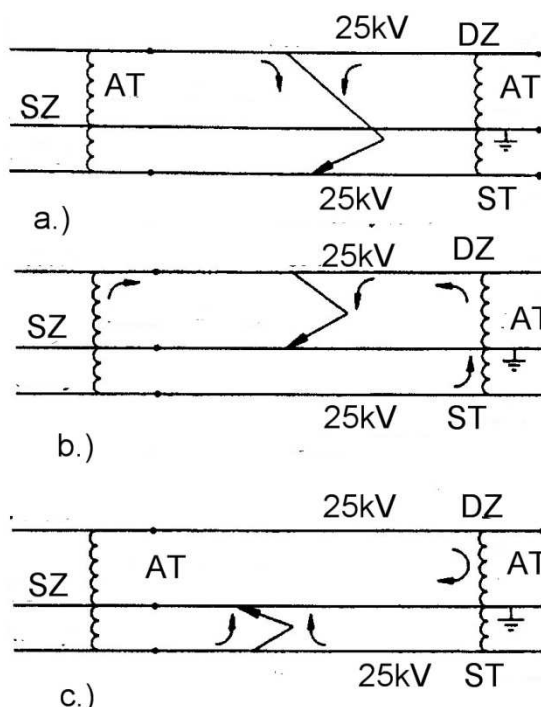
Obliczenia prądów roboczych powinny zostać wykonane z wykorzystaniem odpowiednich metod i programów symulacyjnych dla założonego ruchu w godzinach szczytowych obciążeń z jednoczesnym wyznaczaniem napięć użytecznych na analizowanym odcinku linii.

7.7. Obliczenia prądów zwarciovych

Do obliczenia prądów zwarciovych w systemie 2×25 kV niezbędne jest zebranie danych dotyczących systemu zasilania od strony przyłączenia do systemu elektroenergetycznego, parametrów sieci trakcyjnej oraz konfiguracji układu zasilania. Należy wyznaczyć impedancje poszczególnych elementów obwodu do punktu, w którym wystąpi zwarcie. Impedancję sieci zasilającej należy wyznaczyć dla maksymalnej i minimalnej mocy zwarciowej na szynach WN transformatora trakcyjnego. Impedancję transformatora trakcyjnego należy wyznaczyć dla różnych pozycji położenia odczepów. Należy wyznaczyć jednostkową zastępczą impedancję sieci trakcyjnej.

Zwarcia w sieci trakcyjnej w systemie 2×25 kV mogą być następującego rodzaju (rys. 7.7.1):

- zwarcie sieć trakcyjna (ST) – dodatkowy zasilacz (DZ) (napięcie zwarcia 50 kV),
- zwarcie sieć trakcyjna – szyna (ziemia) (SZ) (napięcie 25 kV),
- zwarcie dodatkowy zasilacz – szyna (ziemia) (napięcie 25 kV).



Rys. 7.7.1. Typy zwarc w sieci zasilającej systemu 2×25 kV

Zwarcie typu a) pomiędzy siecią trakcyjną a dodatkowym zasilaczem, jest zasilane napięciem 2×25 kV z transformatora trakcyjnego w podstacji. W tym

przypadku na impedancję pętli zwarcia mają wpływ impedancje wzbudzenia autotransformatorów (można uprościć obliczenia pomijając ten wpływ). Należy jednak pamiętać przy dobieraniu poziomu nastaw zabezpieczeń o uwzględnieniu wpływu prądu załączenia transformatora (może on wynosić do 4 kA przy autotransformatorze o mocy 4 MVA z czasem zaniku do 3 s). Można przyjąć symetrię impedancji sieci trakcyjnej i dodatkowego zasilacza, co oznacza, że zwarcie *sieć trakcyjna – szyna* i *zasilacz dodatkowy – szyna* będą miały te same parametry.

Jeżeli zwarcie wystąpi pomiędzy np. siecią trakcyjną i szyną (ziemią), tj. zasilane będzie napięciem 25 kV przez autotransformatory. Ponieważ reaktancja zwarcia transformatora jest mała i równa impedancji *sieć trakcyjna-dodatkowy zasilacz* na długości ok. 2,5 km lub impedancji *sieć trakcyjna – szyna (ziemia)* na o długości ok. 1,5 km, a odległości pomiędzy autotransformatarami wynoszą zwykle 8-10 lub nawet 12 km, to można przyjąć, że zwarcie zasilane będzie przez najbliższy autotransformator, tzn., że od podstacji do tego autotransformatora zwarcie wystąpi na poziomie 50 kV, od autotransformatora do punktu zwarcia na poziomie 25 kV. Jeśli zwarcie wystąpi pomiędzy 2-ma autotransformatarami, to będzie zasilane przez 2 najbliższe autotransformatory.

Ponieważ w celu doboru zabezpieczeń wyznacza się skrajne warunki, tj. największą impedancję i najmniejszy prąd zwarcia, podejście takie można uznać za uzasadnione. Zasilanie zwarcia z pozostałych autotransformatorów zwiększa w niewielkim stopniu prąd zwarcia w porównaniu do rozpatrywania tylko najbliższych. Najwyższa impedancja zwarcia, czyli najniższy prąd zwarcia, który decyduje o poziomie zabezpieczenia może być wyznaczony, gdy przyjmiemy zasilanie autotransformatora napięciem 50 kV na krańcu odcinka zasilania, tzn. pominiemy prąd szynowy, a na odcinku za autotransformatorem przyjmiemy zasilanie 1×25 kV. Należy jednak pamiętać o uwzględnieniu reaktancji zwarcia autotransformatora bezpośrednio zasilającego zwarcie.

7.7.1. Przykład obliczeń

Z_{HW} – impedancja systemu zasilającego (na poziomie napięcia 55 kV).

Z_T – impedancja transformatora trakcyjnego (na poziomie napięcia 55 kV).

Maksymalny prąd zwarcia po stronie wtórnej 50 kV transformatora trakcyjnego:

$$I_{tmax}=55000/(Z_{HWmax} + Z_{Tmax}) \quad \text{wzór (7.7.1)}$$

a minimalny:

$$I_{tmin}=55000/(Z_{HWmin} + Z_{Tmin}) \quad \text{wzór (7.7.2)}$$

przy czym impedancje minimalne i maksymalne w zależności od stanu zasilania podstacji i odczepów transformatora.

Zwarcie po stronie wtórnej transformatora trakcyjnego na poziomie 25 kV wystąpi, gdy do transformatora trakcyjnego przyłączony jest przynajmniej jeden autotransformator o impedancji zwarcia Z_{AT} , a wartość prądu (należy wyznaczyć wartości minimalne i maksymalne) wyniesie:

$$I_t=55000/(Z_{HW} + Z_T + Z_{AT}) \quad \text{wzór (7.7.3)}$$

Prąd powyższy wyznacza się, ze względu na miejsce stosowania zabezpieczenia na poziomie 50 kV.

Wartość prądu zwarcia (minimalną i maksymalną) na krańcu odcinka sieci trakcyjnej wyznacza się uwzględniając dodatkowo impedancję sieci trakcyjnej. Wartości te pozwalają na odpowiedni dobór zabezpieczeń.

8. Oddziaływanie na środowisko i infrastrukturę techniczną

8.1. Zakłócające oddziaływanie na infrastrukturę i otoczenie linii kolejowej

W otoczeniu zelektryfikowanej linii kolejowej w systemie 25 kV 50 Hz mogą indukować się w instalacjach, przewodach i konstrukcjach wykonanych z materiałów przewodzących napięcia, które nie mogą przekraczać dopuszczalnych wartości, wyspecyfikowanych w odpowiednich przepisach ze względu na bezpieczeństwo personelu, pasażerów i osób postronnych, możliwość uszkodzenia lub nieprawidłowego działania urządzeń i systemów. Dlatego już na etapie projektowania wymagane jest przeprowadzenie studiów oddziaływań linii na infrastrukturę (dotyczy indukcji elektromagnetycznej i elektrostatycznej), sprawdzenia możliwości wystąpienia efektów zakłócających, ich poziomu i ewentualnie zastosowania środków zaradczych zgodnie z odpowiednimi przepisami (PN-EN 50122-1:2002 [11], CCITT Directives).

Wszystkie urządzenia stosowane w infrastrukturze kolejowego systemu zasilania muszą mieć odpowiednie certyfikaty oraz dopuszczenia do zainstalowania na zelektryfikowanej linii kolejowej.

Oddziaływanie zakłócające na linie telekomunikacyjne i sygnalizacyjne biegnące wzdłuż torów kolejowych do chwili obecnej było zjawiskiem, nad którym należało poświęcić wiele uwagi podczas projektowania systemu trakcyjnego. Pojawiało się ono na skutek prądów płynących w sieci powrotnej. W celu zminimalizowania tego oddziaływania budowano np. układy o specjalnej konstrukcji. Były to systemy z transformatorami typu booster, które miały za zadanie wymusić powrót prądów nie w szynach lecz w przewodach powrotnych. Dodatkową zaletą tego rozwiązania było ograniczenie prądów błędzących. Zjawiska rezonansowe w sieci trakcyjnej mogły powodować oddziaływania indukowane w systemach sygnalizacji i sterowania. Dotyczyć to mogło obwodów torowych pracujących z różnymi częstotliwościami jak i innych urządzeń do identyfikacji położenia pociągu (np. liczników osi).

Obecnie nie ma już to tak wielkiego znaczenia, gdyż konwencjonalne linie telekomunikacyjne zastępuje się liniami światłowodowymi, sterowanie zaś prowadzone jest drogą radiową, a eliminowanie ewentualnych zakłóceń w częstotliwościach radiowych dokonywane jest za pomocą filtrów przy ograniczaniu pojawiania się wyższych harmonicznych.

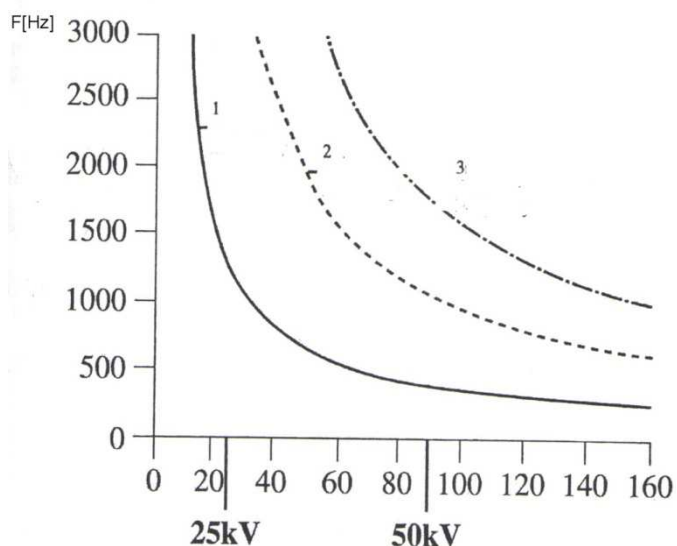
8.2. Zakłócenia elektryczne (wyższe harmoniczne, przepięcia, zapady napięcia)

Wyposażenie lokomotyw w układy przekształtnikowe powoduje pobór prądu zawierającego oprócz składowej podstawowej 50 Hz także wyższe harmoniczne, co powoduje dodatkowe spadki napięcia, odkształcenie napięcia w sieci trakcyjnej i zasilającej oraz możliwość zwiększenia obciążeń kondensatorów. Prądy w.h. płynące w sieci trakcyjnej i szynach mogą indukować prądy w.h. w obwodach sygnalizacji, sterowania i telekomunikacji, także w przypadku zbliżeń i skrzyżowań

z liniami zelektryfikowanymi w innych systemach (np. 3 kV DC). Mogą także powodować powstanie zjawisk rezonansowych w sieci trakcyjnej i obwodach zasilania.

Inną, groźną formą zakłóceń są odkształcenia wyższych harmoniczných napięcia w sieciach spowodowane efektem nasycenia lub nieliniowością elementów przekształtnikowych takich jak tyrystory. Harmoniczne wytwarzane przez przekształtniki energoelektroniczne pogarszają znacznie kształt napięcia i prądu. Mogą powodować wzrost strat mocy a co za tym idzie wzrost nagrzewania w maszynach i liniach przesyłowych, zmniejszenie sprawności tych maszyn i sieci, osłabienie izolacji przez zwiększenie wyładowań niezupełnych w szczelinach powietrznych. Ponadto są przyczyną błędnego działania automatyki i zabezpieczeń oraz zakłóceń w łączności.

W przekształtnikach, podczas komutacji mostek prostownikowy jest w stanie przewodzenia i zaciski po stronie prądu stałego są zwarte. Wówczas napięcie wtórne transformatora spada do zera, zaś napięcie pierwotne tylko do połowy ze względu na reaktancję rozproszenia transformatora. Taki „garb” pojawia się w sieci 25 kV dwa razy w stosunku do częstotliwości sieciowej, co może spowodować rezonans w systemie energetycznym ze względu na jego szeregową charakterystykę RLC lub dudnienia. Rezonanse z kolei mogą doprowadzić do poważnych przebiegów, których pojawienie się w sieci może oznaczać, iż pewne elementy np. tyrystory, diody czy iskierniki powinny zostać zaprojektowane dla niezwykle wysokich warunków napięciowych i w celu ograniczenia tych przebiegów może być koniecznym przeprojektowanie wyposażenia i zwiększenie jego kosztów.



Rys. 8.2.1. Częstotliwości rezonansowe sieci 50 Hz w zależności od długości sekcji i napięcia.

Sieć trakcyjna 25 kV stanowi dla wyższych częstotliwości sieć o parametrach R,L,C rozłożonych (linia długa), mającą w zależności od konfiguracji i parametrów różne wartości częstotliwości charakterystycznych (rys. 8.2.1). Może to powodować wystąpienia rezonansów szeregowych i równoległych, co może powodować powstanie przebiegów. W celu ograniczenia przebiegów należy:

- ograniczać zawartość harmoniczných w prądzie pobieranym przez pojazdy,
- ograniczać spadki napięcia w sieci trakcyjnej,

- stosować filtry harmoniczných.

Dla częstotliwości rezonansu równoległego maksymalna impedancja systemu powinna być ograniczona (np. do 5 k Ω dla prądu harmonicznej 2 A), co pozwoli na ograniczenie przepięć.

8.3. Zakłócenia elektromagnetyczne

8.3.1. Napięcia indukowane

W systemie prądu przemiennego płyną duże prądy robocze i zwarcio-we, co powoduje powstanie pól elektromagnetycznych tak w instalacjach kolejowych jak i innych znajdujących się w pobliżu linii kolejowej. W szczególności dotyczy to linii telekomunikacyjnych. Poziom zakłóceń zależy od:

- wartości prądów i częstotliwości (podstawowa – 50 Hz),
- długości, na jakiej ułożone są linie telekomunikacyjne wzdłuż linii kolejowej,
- wzajemnych sprzężeń,
- separacji przewodów zasilających i powrotnych,
- separacji kabli trakcyjnych i telekomunikacyjnych,
- stanu gruntu,
- celowych i niezamierzonych efektów ekranowania.

Limity napięć dotyczą:

- napięć wzdłużnych na kablu (ze względów bezpieczeństwa), dla częstotliwości 50 Hz wg normy PN-EN 50121-4:2008 [10] dopuszczalna jest wartość 650 V o czasie trwania do 200 ms, a w warunkach normalnych (roboczych): 60 V wartości skutecznej ciągle, ze względu na zagrożenie personelu,
- napięć zakłócających o różnych częstotliwościach indukowanych w kablu (zakłócające napięcie psofometryczne).

Norma PN-EN 50121-4:2008 [10] określa ponadto wymagania dla urządzeń telekomunikacyjnych:

- wytrzymałość napięciową 150 V 50 Hz – napięcia pochodzące od prądów trakcyjnych,
- odporność na pole magnetyczne częstotliwości 50 Hz o natężeniu 100 A/m.

8.3.2. Zakłócenia radioelektryczne

Sieci trakcyjne AC powodują powstanie zakłóceń elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej. Powstają one na skutek:

- łuku na styku odbierak/sieć trakcyjna,
- stanów przejściowych przy podnoszeniu odbieraka,
- interakcji na stykach uziemiających, koło-szyna, itp.,
- stosowania więcej niż jednego odbieraka prądu,
- działania aparatury łączeniowej,
- zjawisk rezonansowych w sieci trakcyjnej i zasilającej,
- zjawiska korony na izolatorach,
- urządzeń energoelektronicznych w układach zasilania i taborze.

Metody pomiaru emisji tych zakłóceń i ich limity podane są w grupie norm PN-EN 50121.

8.4. Prądy ziemnopowrotne

Gdy transformatory trakcyjne (110/2×25 kV) są w znacznej odległości od podstawy rozdzielczej i sieci trakcyjnej, mogą wystąpić duże wartości prądów ziemnopowrotnych. Aby wyeliminować tego typu zjawiska należy lokalizować transformatory trakcyjne w pobliżu przyłącza do sieci trakcyjnej. Gdy transformatory trakcyjne znajdują się w dalszej odległości od sieci trakcyjnej zwykle stosuje się kable koncentryczne 25 kV w klasycznym systemie zasilania (1×25 kV), zaś kable z pojedynczym rdzeniem o przekroju 400 mm² w systemie 2×25 kV. Pojawia się wtedy problem, czy uziemiać punkt środkowy transformatora 25 kV-0-25 kV znajdującego się poza podstawą trakcyjną, czy w rozdzielni w podstawy trakcyjnej? Wybrana opcja powinna zapewniać minimalizację prądów doziemnych.

8.5. Środki zaradcze

Problemy związane z zakłóceniami wprowadzanymi przez system zelektryfikowanej linii kolejowej o napięciu 25 kV 50 Hz powinny zostać przeanalizowane na już na etapie studium wykonalności, a uszczegółowione w projekcie wstępnym. W przypadku stwierdzenia możliwości wystąpienia zakłóceń przekraczających dopuszczalne wartości należy stosować działania mające na celu:

- a) eliminowanie zakłóceń u źródła (preferowane),
 - b) zmniejszanie możliwości przenikania zakłóceń od źródła do zagrożonych urządzeń (instalacji),
 - c) bezpośrednią ochronę zakłócanych urządzeń (instalacji),
- lub ich kombinacje.

Do metod grupy a) zaliczyć można: stosowanie booster transformatorów, dodatkowych przewodów powrotnych, dodatkowych zasilaczy, stosowanie systemu 2×25 kV z autotransformatarami.

Do metod grupy b) zaliczyć można utrzymywanie odpowiednich odległości pomiędzy źródłem zakłóceń a urządzeniem zakłócanym, unikanie układania równoległego obwodów niskonapięciowych względem przewodów trakcyjnych, stosowanie zmian położenia przewodów trakcyjnych na kolejnych sekcjach.

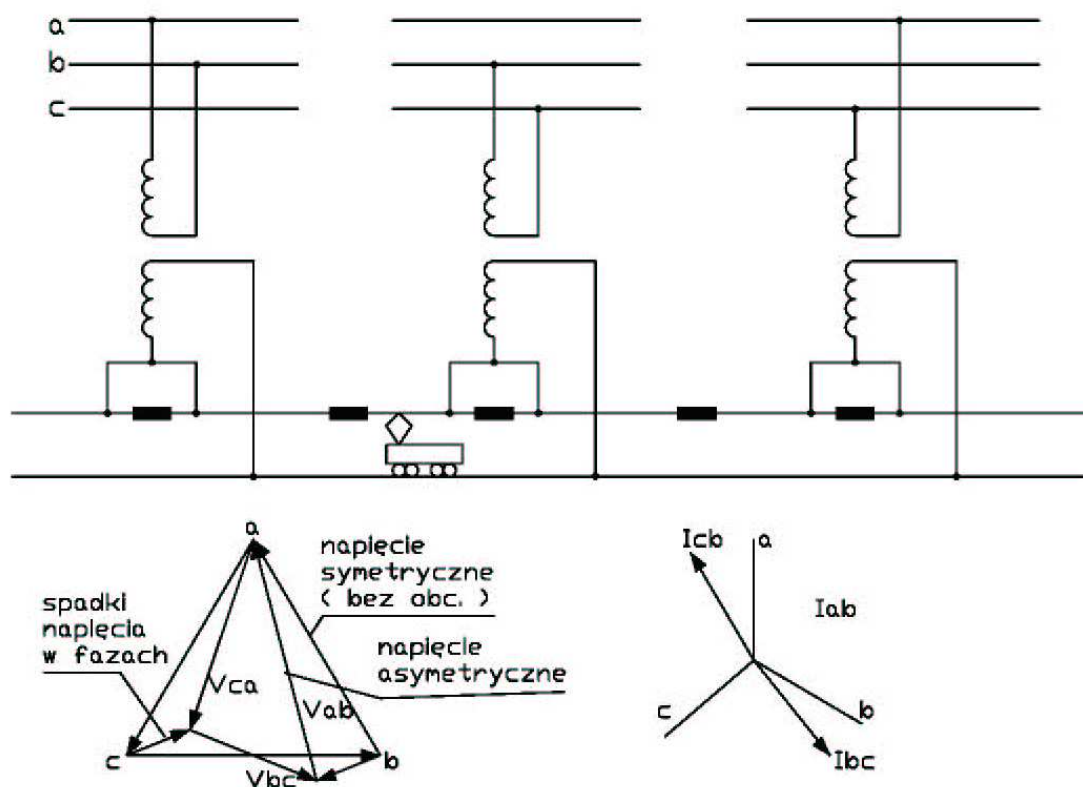
Spośród metod grupy c) bezpośredniej ochrony zakłócanych obiektów wyróżnić można: stosowanie kabli z osłoną ekranującą, zwiększenie mocy przesyłanych sygnałów, stosowanie sygnałów cyfrowych zamiast analogowych. Najlepsze efekty daje stosowanie światłowodów, które są odporne na zakłócenia elektryczne. W szczególności światłowody powinny być stosowane do przesyłu głosu, obrazu i danych.

8.6. Asymetria

W celu ograniczenia asymetrii zasilanie podstawy odbywa się z poziomu wysokich napięć tj. 110 kV lub wyższych. Im większa bowiem moc zwarciova tym

mniejsze oddziaływanie odbiorów na system energetyczny. Ponadto stosuje się trzy rodzaje symetryzacji: o charakterze systemowym, lokalnym oraz symetryzację zewnętrzną.

W symetryzacji systemowej chodzi o sekwencyjne przyłączanie do różnych faz 1-fazowych transformatorów zasilających podstacje wzdłuż całej sieci trakcyjnej. Dzięki temu można osiągnąć w miarę równomierne obciążenie każdej z faz. Taki układ połączeń pokazany jest na rys. 8.6.1 wraz z wykresem prądów oraz napięć symetrycznych i niesymetrycznych.



Rys. 8.6.1. Układ połączenia transformatorów 1-faz. oraz wykres wektorowy napięć i prądów.

Niezbędne jest też określenie wielkości asymetrii przez wyznaczenie wektora składowej przeciwnej w procentach składowej zgodnej oraz ustalenie limitów tej wielkości. Do obliczenia współczynnika asymetrii można się posłużyć jednym z podanych niżej wzorów:

$$nps = \frac{U_{\max} - U_{\text{śr}}}{U_{\text{śr}}} * 100\% \quad \text{wzór (8.6.1)}$$

lub

$$nps = \frac{U_{\max \%} - U_{\min \%}}{1,7} \quad \text{wzór (8.6.2)}$$

gdzie:

$U_{\max \%}$, $U_{\min \%}$ – maksymalna i minimalna wartość skuteczna napięcia fazowego wyrażona w % wartości znamionowej,

$U_{\max}$, $U_{\text{śr}}$ – maksymalna i średnia wartość napięcia fazowego.

W przypadku obciążeń trakcyjnych przyłączonych do dwóch faz transformatora zasilającego wartość nps (wyrażoną w procentach składowej symetrycznej) można oszacować jako:

$$nps = \frac{S_{obc.tr.}}{kS_{zw3-faz}} * 100\% \quad \text{wzór (8.6.3)}$$

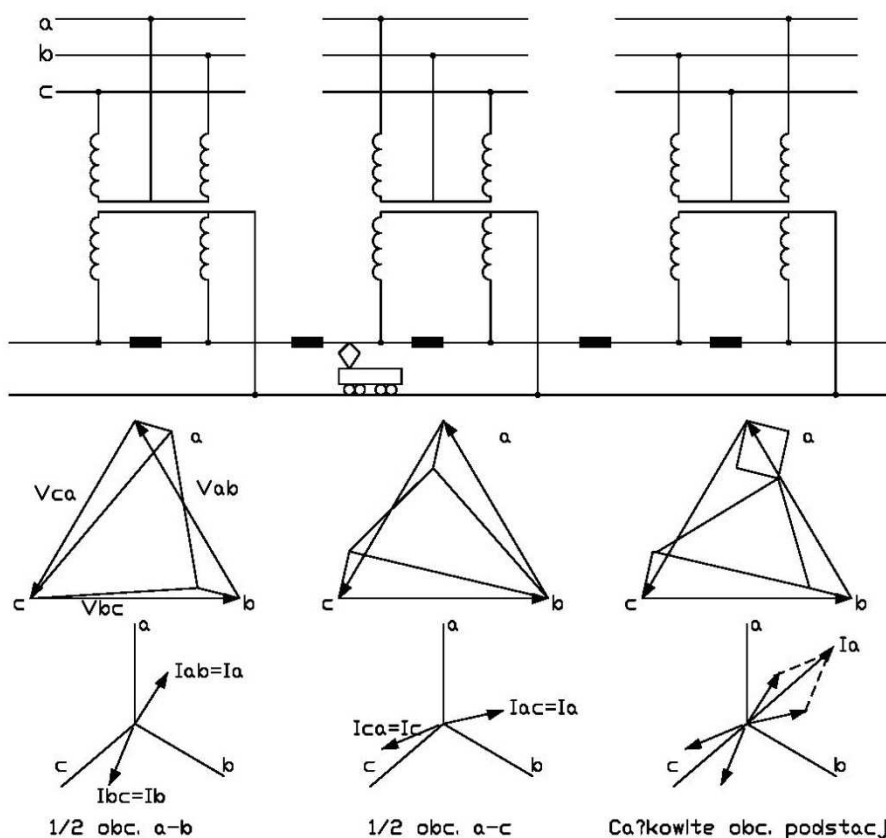
gdzie:

$S_{obc.tr.}$ – moc obciążenia trakcyjnego przyłączonego do dwóch faz [MVA]. Obciążenie to oblicza się dla warunków obciążenia szczytowego 10-sekundowego lub 1-minutowego przy największej impedancji systemu zasilającego; praktycznie przyjmuje się często obciążenie szczytowe 30- lub 15-minutowe;

$S_{zw3-faz}$ – moc zwarcia 3-faz. w punkcie zasilania podstacji trakcyjnej,

k – współczynnik uwzględniający możliwość przekroczenia asymetrii.

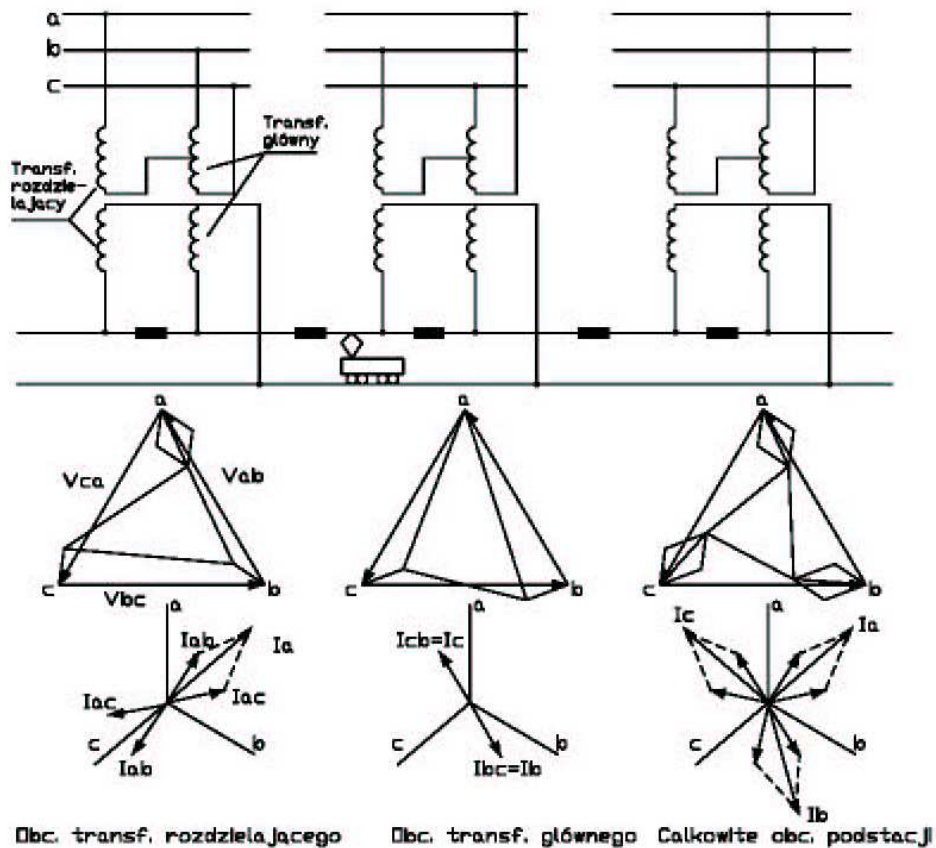
Symetryzacja lokalna ma podobne założenia jak systemowa tj. równomierne obciążenie faz, jednak już na samej podstacji. Jest to realizowane poprzez specjalne układy i rodzaje połączeń transformatorów, takie jak połączenia dwóch transformatorów 1-fazowych, transformatory zmieniające trzy fazy na dwie oraz transformatory 3-fazowe przedstawione na rys. 8.6.2÷7 i opisane poniżej:



Rys. 8.6.2. Układ połączenia 2- trafo 1-fazowych oraz wykres wektorowy prądów i napięć

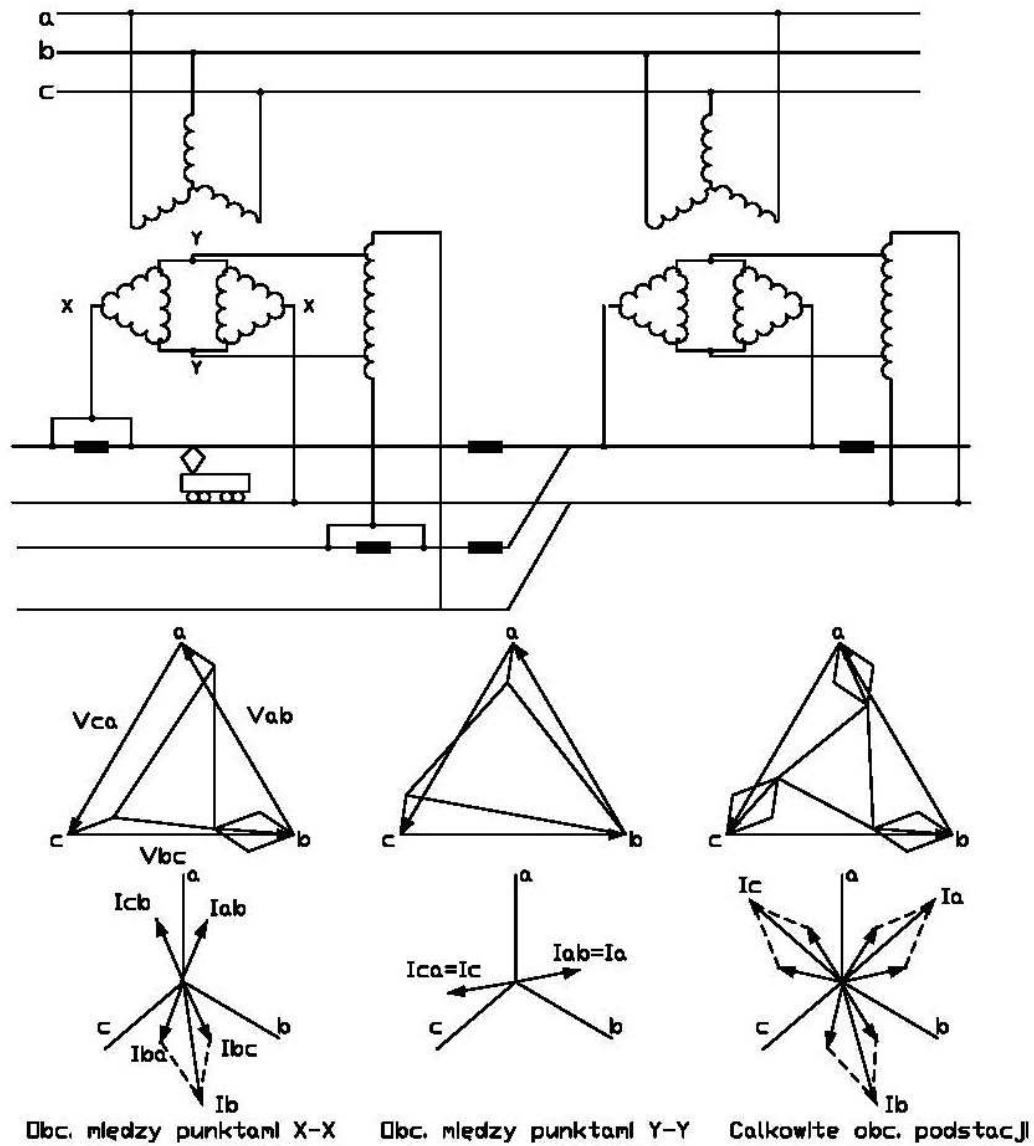
Przy dwóch transformatorach 1-fazowych (rys. 8.6.2) zakłada się, że każdy z nich zasilą połowę obciążenia podstacji. Wykorzystując podany wcześniej wzór do obliczania asymetrii i po porównaniu asymetrii w takim układzie do tej, jaka

występuje w systemie z jednym transformatorem, można stwierdzić, iż jest ona o połowę mniejsza dla tego samego obciążenia.



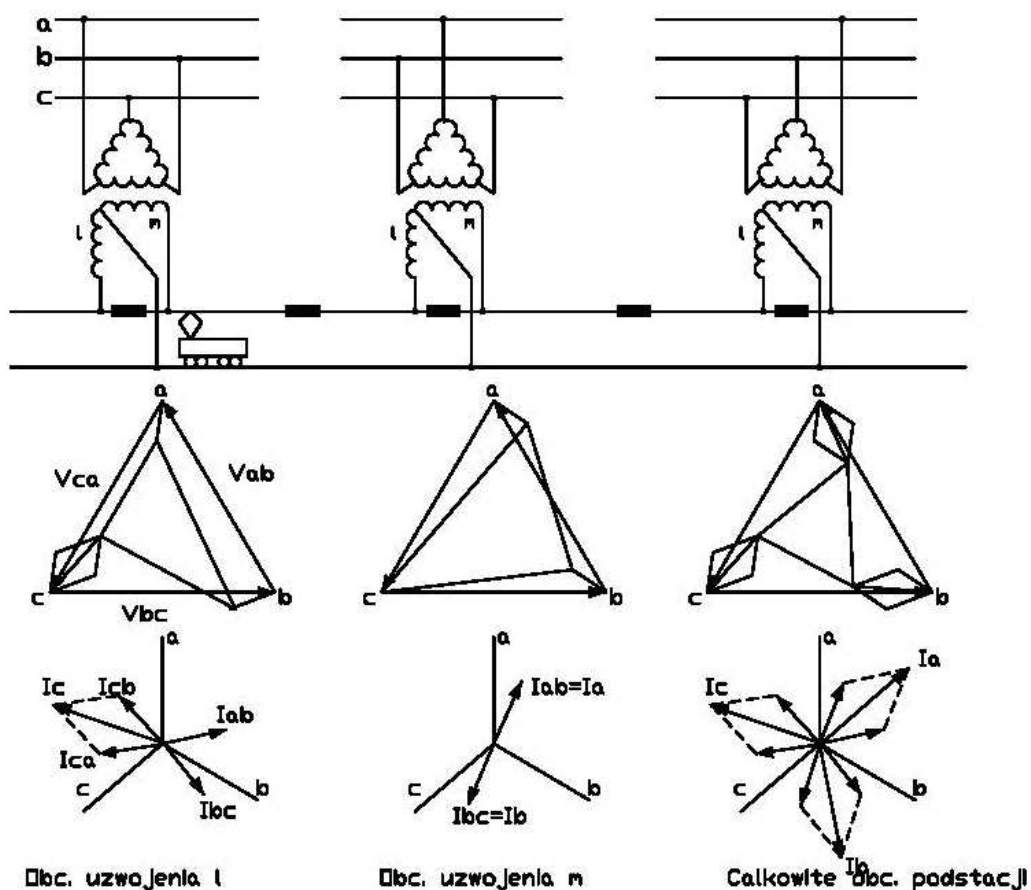
Rys. 8.6.3. Układ połączeń transformatorów Scott'a oraz wykres wektorowy prądów i napięć.

W przypadku transformatora Scott'a uzwojenie wtórne daje dwa napięcia przesunięte o 90° ale nie różniące się od siebie. Przy równomiernym ich obciążeniu nie powstaje praktycznie żadna asymetria.



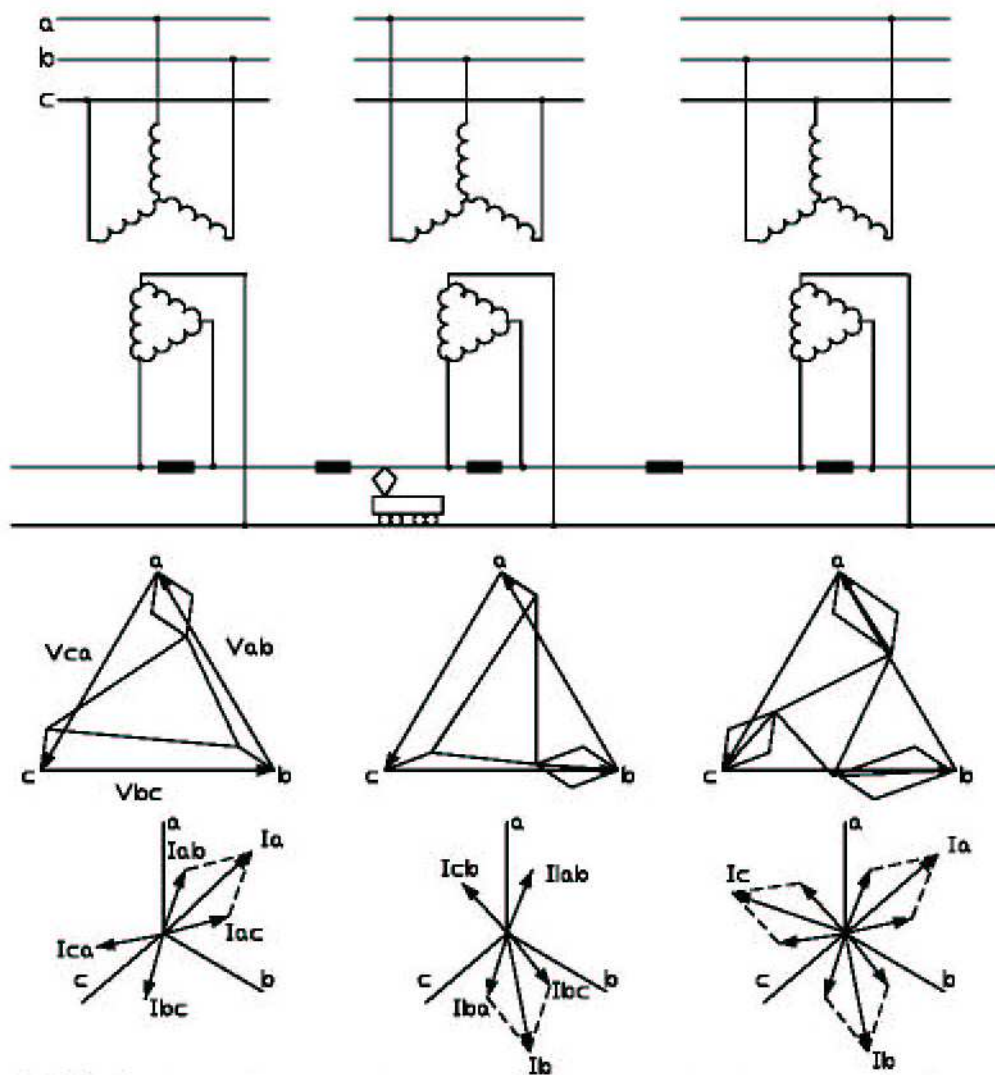
Rys. 8.6.4. Układ połączenia transformatora Woodgridge'a oraz wykresy wektorowe.

Zmodyfikowany transformator Woodgridge'a daje podobnie jak Scott'a dwa napięcia przesunięte o 90° ale o nierównych amplitudach. Konieczne jest więc zwiększenie poprzez transformację niższego napięcia do poziomu napięcia trakcyjnego. Jako, że uzwojenia wtórne nie mają wspólnego punktu, przy podłączaniu jak na rysunku należy każde uzwojenie podłączać do innego toru lub przy połączeniu uzwojeń do tego samego toru należy instalować przerwy izolacyjne w szynach.

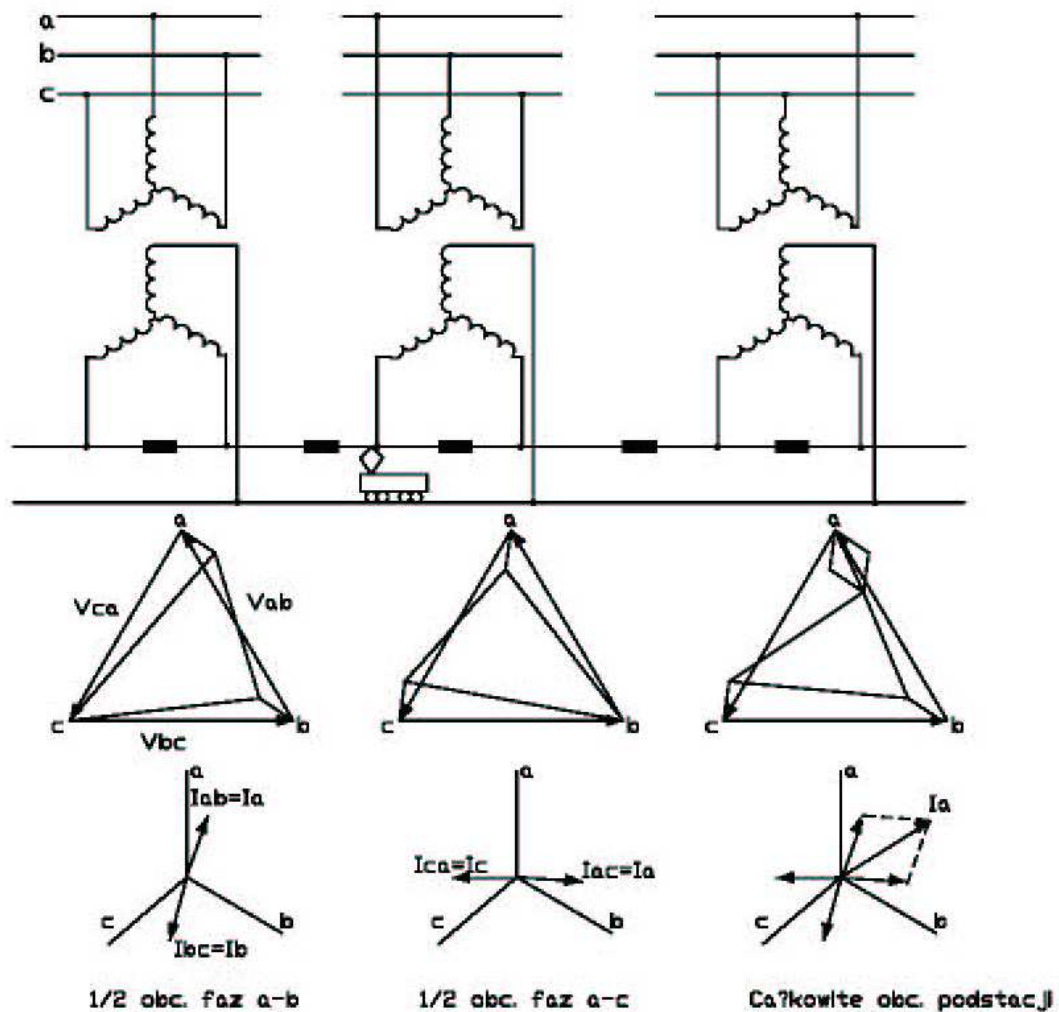


Rys. 8.6.5. Schemat połączenia transformatora Le Blanca oraz wykresy wektorowe.

Transformatory Le Blanc'a stanowią alternatywę dla transformatorów Scott'a. Oba transformatory mogą być zaprojektowane dla tego samego układu faz i stąd mogą pracować równolegle w układzie zasilania dwustronnego.



Rys. 8.6.6. Układ połączeń symetrycznych transformatorów 3-fazowych oraz wykresy wektorowe



Rys. 8.6.7. Układ połączeń asymetrycznych transformatorów 3-fazowych oraz wykresy wektorowe

Transformatory 3-fazowe mogą być łączone symetrycznie i niesymetrycznie, gdyż tak czy tak dają one dla systemu obciążenie symetryczne.

Porównawcze zestawienie asymetrii w zależności od rodzaju zastosowanego zasilania zestawiono w poniższej tabeli (S_{zw} – moc zwarcia 3-fazowego po stronie WN, do którego jest przyłączony transformator trakcyjny):

Tabela 8.6.1

typ transformatora	moc obciążenia trakcyjnego po stronie 25 kV AC	współczynnik asymetrii napięciowej nps [%]
jednofazowy	S_t	$S_t/S_{zw} \times 100$
typu v (2 uzwojenia wtórne o mocach t_1 i t_2)	$S_{t1}=k \times S_t$ $S_{t2}=(1-k) S_t$	$\sqrt{3k^2 - 3k + 1} \cdot \frac{S_t}{S_{zw}} \times 100$
Scott'a	$S_{t1}=k \times S_t$ $S_{t2}=(1-k) S_t$	$(2k-1)^2 \cdot S_t/S_{zw} \times 100$

Podsumowując lokalne metody walki z asymetrią należy pamiętać, że jej wielkość zależy od zmiennego obciążenia uzwojeń wtórnych transformatorów i jest ona najmniejsza przy równym obciążeniu każdej sekcji. W praktyce zdarza się to często na liniach ciężko obciążonych dużą ilością pojazdów pasażerskich o mniejszej mocy i pracujących z małymi odstępami czasu między sobą co, daje prawie równomierne obciążenie każdej sekcji. Przy odcinkach linii towarowych takie sytuacje są raczej rzadkie i ten sposób wyrównywania asymetrii nie spełnia swojej roli.

Ze względu na fakt, iż podstacja trakcyjna wprowadza do systemu energetycznego jednocześnie asymetrię i wyższe harmoniczne, oba te zakłócenia powinny być rozpatrywane łącznie, gdyż ich oddziaływanie na odbiorniki elektryczne i generatory w elektrowniach kumuluje się.

8.7. Ochrona przeciwporażeniowa

Ochrona przeciwporażeniowa powinna odpowiadać wymaganiom normy PN-EN 50122-1:2002 [11].

8.8. Ochrona odgromowa

Sieć trakcyjna stanowi potencjalny obiekt dla wyładowań atmosferycznych ze względu na dobre uziemienie systemu i konstrukcji, stanowi w ten sposób ochronę dla obiektów w strefie do około 20 m od linii kolejowej.

Wyładowanie atmosferyczne może spowodować przepływ prądu od 10 do 100kA o czasie narastania około 1 mikrosekundy, co powoduje przepięcie przemieszczające się w obu kierunkach linii od miejsca wyładowania. Gdy wyładowanie będzie do konstrukcji wsporczej, napięcie przeniesie się do odległej ziemi, nastąpi przebicie izolatora, a przepięcie może osiągnąć wartość 1000 kV. Dlatego wymagane jest stosowanie urządzeń ochrony od wyładowań atmosferycznych obiektów zagrożonych, w tym pojazdów i podstacji.

Wyładowanie atmosferyczne doziemne poza obszarem linii kolejowej zaindukuje przepięcie w sieci 25 kV i innych instalacjach przewodzących. W efekcie tego przepięcia mogą wystąpić przebicia izolacji przede wszystkim w systemach niskonapięciowych w pobliżu linii (obwody sterowania, sygnalizacji i telekomunikacji).

Stosowane są następujące urządzenia ochronne:

- odgromniki różkowe, przyłączone pomiędzy sieć trakcyjną i ziemię, stosowane także w lokomotywach (rozwiązanie najprostsze i najtańsze, ale o ograniczonej skuteczności),
- filtry ograniczające przepięcia,
- ograniczniki przepięć.

9. Rozwiązania układów zasilania na liniach kolejowych dużych prędkości

Przykładami linii kolejowych dużych prędkości zasilanych napięciem 25 kV 50 Hz AC mogą być linie Madryt-Sevilla (1×25 kV), Shinkansen (Japonia) czy TGV (pierwsze zastosowanie systemu 2×25kV na linii 163 km TGV South East w 1981 r. do zasilania pociągów o mocy 6,6 MW, a na linii TGV Atlantic pociągów o mocy 8,8 MW z następstwem co 4 min.).

9.1. Linia Madryt-Sevilla

Linia o długości 465 km i maksymalnym wzniesieniu 12‰, uruchomiona w latach 90-tych XX w. Miała projektowane zapotrzebowania na moc na poziomie 500 MVA, którą dostarcza 12 podstacje trakcyjnych (odległości między podstacjami poniżej 50 km) zasilanych napięciem 132 kV (3 podstacje) i 220 kV (9 podstacji). Tak duże zapotrzebowanie wynikało z przewidywanego ruchu pociągów AVE (typu TGV – maksymalna prędkość 300 km/h) o mocy znamionowej 8,8 MW oraz lokomotyw do ruchu mieszanego o mocy 5,6 MW (maksymalna prędkość 220 km/h).

W celu zmniejszenia asymetrii zastosowano zasilanie podstacji z przełączeniem faz. Sieć trakcyjna obu torów została połączona równolegle. Przewidziano także zastosowanie wstawek neutralnych o długości 300 m w miejscu kabin sekcjonujących odcinki zasilania sąsiednich podstacji.

Pociągi wyposażone zostały w układy automatyki do wyłączenia poboru prądu trakcyjnego przed wjazdem na wstawkę neutralną, aby uniknąć łuku elektrycznego. Układy zdalnego sterowania łącznikami sieci trakcyjnej (30 lokalnych centrów sterowania) umożliwiają automatyzację dokonywania przełączeń i zapewniają bezpieczeństwo. Zastosowano dodatkowy przewód powrotny AL240 mm² połączony z uziemioną szyną oraz cyfrowe układy zabezpieczeń. ze sterownikami mikroprocesorowymi.

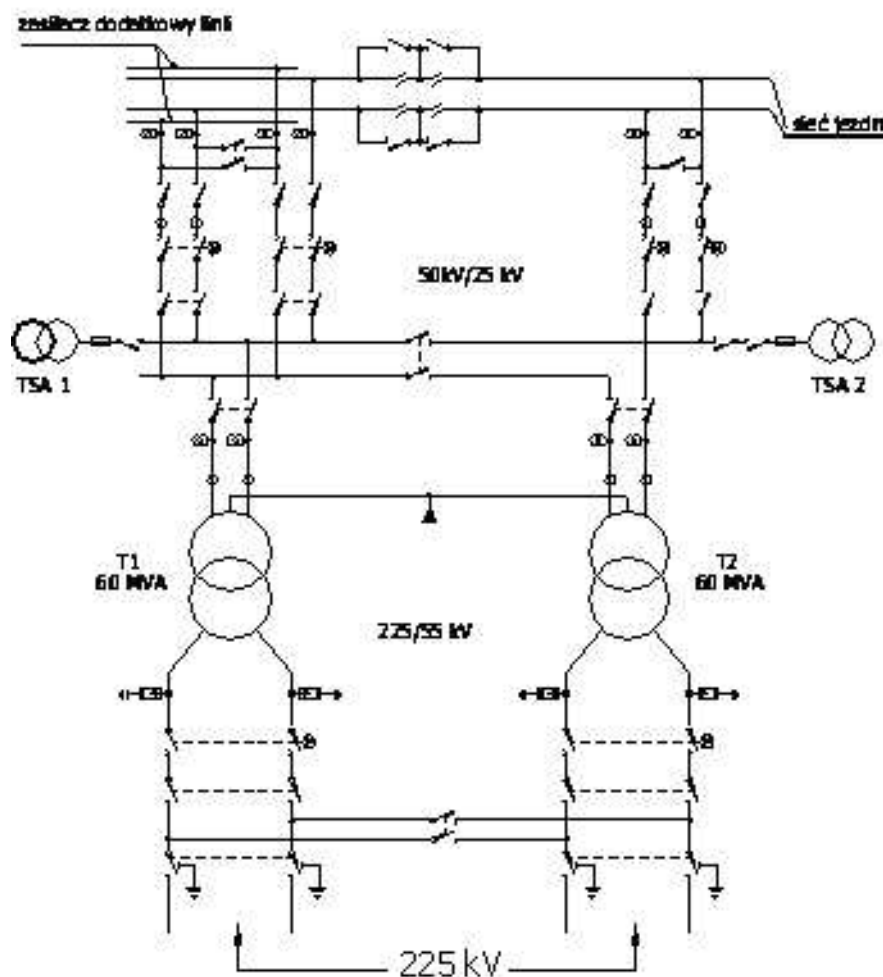
9.2. Linia TGV Atlantic

Linia ta ma długość 256 km i jest zelektryfikowana w systemie 2×25 kV z 14 km połączeniem z konwencjonalnymi liniami zelektryfikowanym w systemie 1,5 kV DC. Linię zasilają cztery podstacje 2×25 kV zasilane dwiema liniami linii o napięciu 225 lub 400 kV, co było wymagane ze względu na dużą moc zapotrzebowaną i wysoką niezawodność zasilania. Stąd rezerwowane są nie tylko linie zasilające ale także transformatory w podstacjach (dwa zainstalowane, jeden pracuje), poza podstacją rozmieszczoną w środku linii, gdzie pracują dwa 60 MVA olejowe transformatory 225(400)/50 kV z automatyczną regulacją napięcia. Układy automatyki transformatorów zawierają zabezpieczenia: ziemnozwarciowe, Buchholza, nadprądowe, wykrywanie uszkodzenia automatycznej regulacji napięcia. Wyłączniki mocy zabezpieczają zasilacze sieci trakcyjnej (stosowane zabezpieczenie nadprądowe i impedancyjne), w której występują odcinki neutralne. Kabin sekcyjne znajdują się w środku odcinków międzypodstacyjnych, a odcinki sieci przy kabinach są również wyposażone we wstawki neutralne. Punkty połączeń

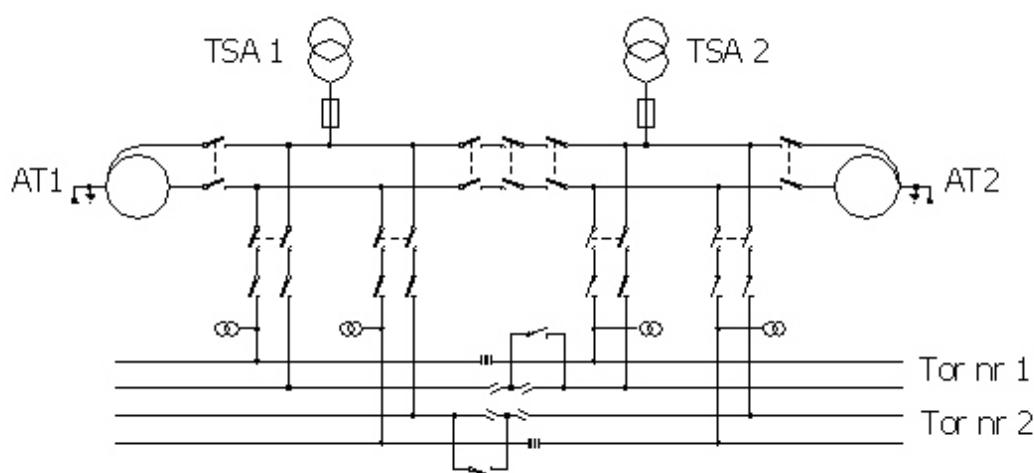
poprzecznych znajdują się pomiędzy podstacjami i kabinami sekcyjnymi. Każda z kabin sekcyjnych i każdy z punktów połączeń poprzecznych wyposażone są w dwa 10 MVA autotransformatory o niskim napięciu zwarcia (1,2%) przyłączone do sieci trakcyjnej obu torów poprzez odłączniki wyposażone w sterowanie podnapięciowe. W przypadku zaniku napięcia autotransformatora następuje odłączenie zasilania wyłącznikiem 2-biegunowym (sieć trakcyjna-zasilacz dodatkowy) dla każdego toru oddzielnie, tak aby przy próbie załączenia napięcia na każdym torze oddzielnie podawać jednocześnie napięcie 2×25 kV na każdy tor.

Wyłączniki zasilaczy (o prądzie znamionowym 1250 A) wyposażone są w mikroprocesorowo sterowane przełączniki impedancyjne do wykrywania zwarców w sieci trakcyjnej. Układ zasilania sterowany jest z centralnej dyspozytorni w Paryżu.

Koszt eksploatacji systemu 2×25 kV w porównaniu do systemu 1×25 kV jest o około 25% niższy.



Rys. 9.2.1. Podstacja trakcyjna na linii TGV Atlantic



Rys. 9.2.2. Schemat obwodu kabiny sekcyjnej na linii TGV Atlantic

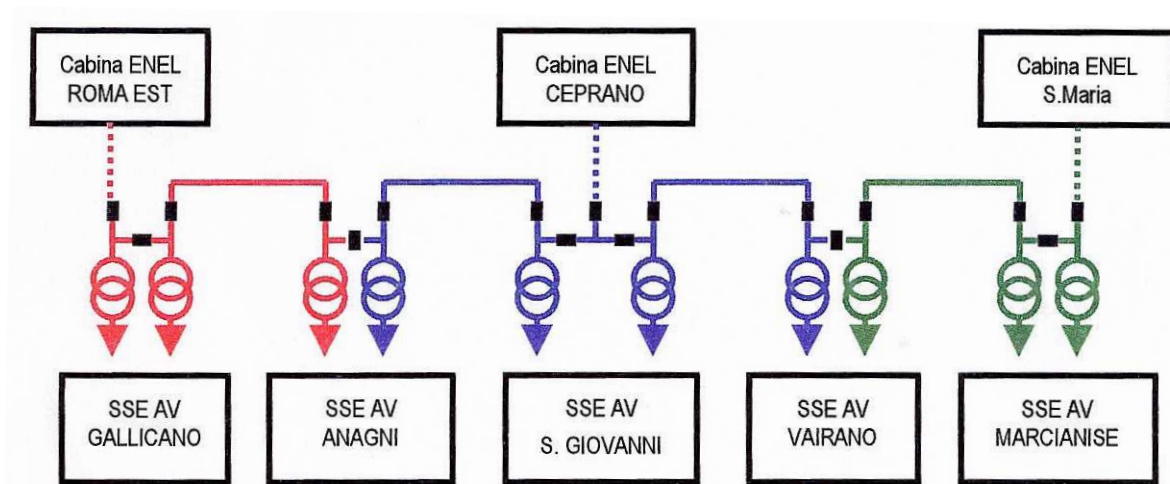
9.3. Linia Rzym-Neapol

Dla linii Rzym-Neapol, mimo pozytywnych doświadczeń z eksploatowanym systemem 3 kV DC, koleje włoskie wybrały system 2×25 kV 50 Hz AC, ze względu na przewidywane perspektywiczne prędkości ruchu 300÷350 km/h pociągów o mocy 12 MW z następstwem co 5 minut, co przekracza zdolność dostawy mocy przez system 3 kV DC.

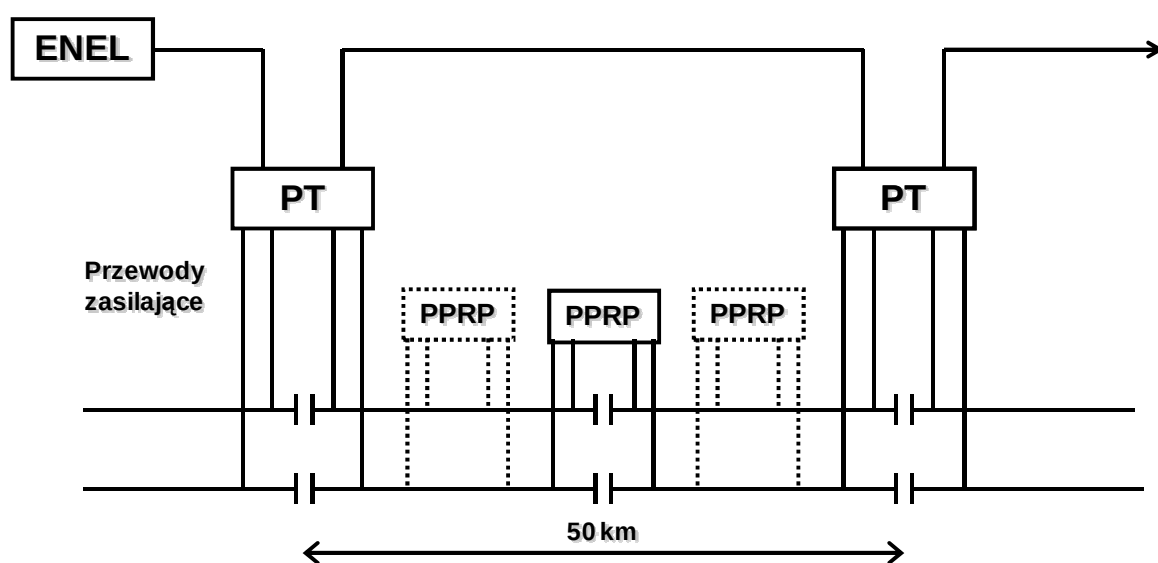
Przyjęto średnie odległości pomiędzy podstacjami 50 km, a każda z podstacji wyposażona jest w dwa jednofazowe transformatory o mocy 60 MVA każdy. Przewidziano 100% rezerwowanie, co spowodowało konieczność zastosowania sieci trakcyjnej o przekroju 320 mm^2 Cu (lina nośna: 120 mm^2 Cu, naciąg 1375 daN, przewody jezdne: $2 \times 100 \text{ mm}^2$ Cu o naciągu 1250 daN każdy) i dało okład mocy zainstalowanej 2,2 MVA na każdy kilometr linii.

Linia 132 kV przeznaczona do zasilania 3 podstacji trakcyjnych poprowadzona została z autotransformatorów systemowych 380/132 kV. Pomiedzy podstacjami trakcyjnym zainstalowano po 3 autotransformatory trakcyjne 50/25 kV o mocy 15 MVA każdy, znajdujące się w odległości co 12 km od siebie. Każdy z transformatorów podstacji zasilą odcinek około 25 km z wykorzystaniem połowy swojej mocy znamionowej, co pozwala, w warunkach awaryjnych (odłączenie jednej podstacji) na zasilanie całości trasy bez konieczności zmniejszenia nawet szczytowego ruchu. Przeciężalność transformatora wynosi: 50% przez 15 minut i 100% przez 5 minut.

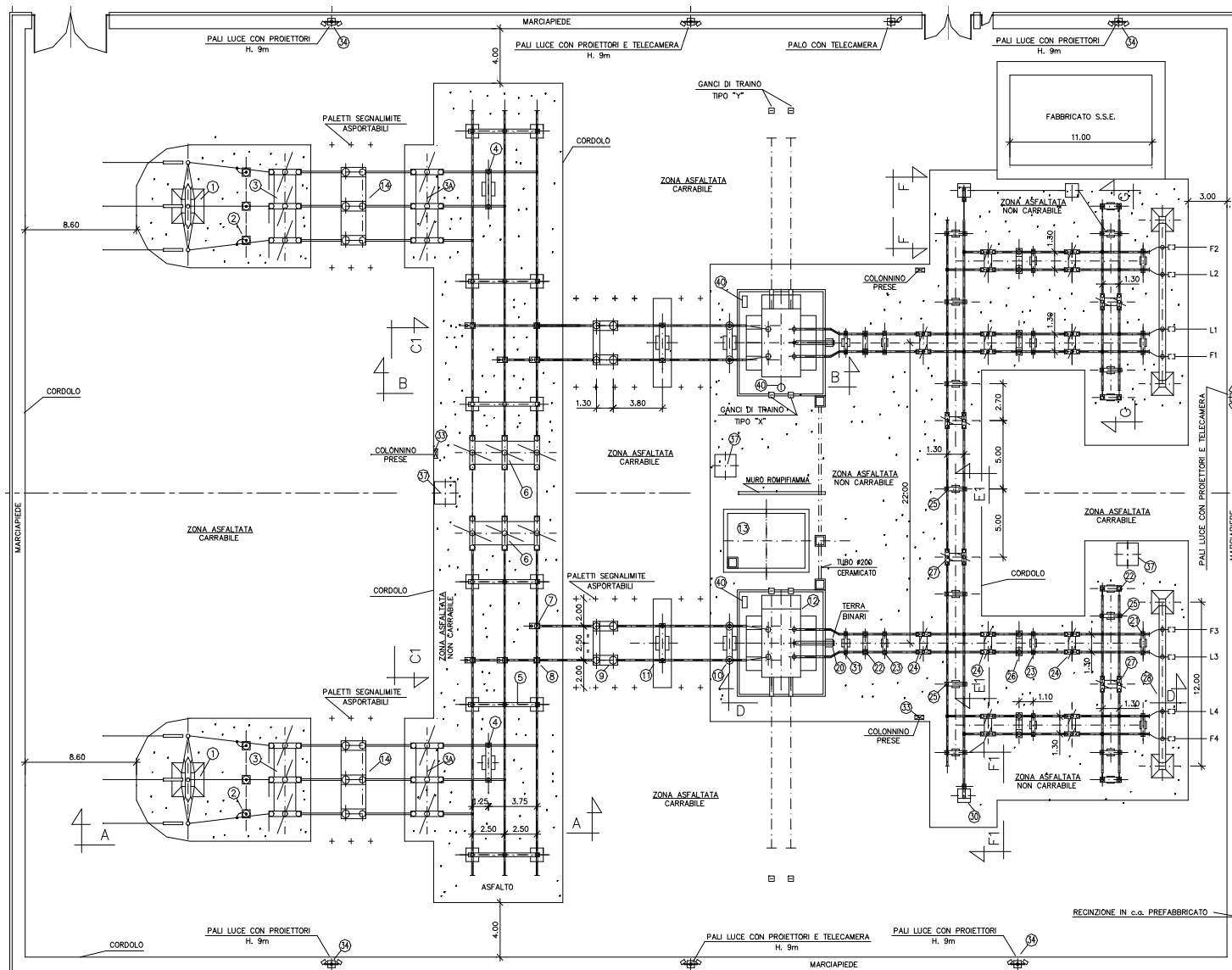
Zastosowano także przewód powrotny: podziemny $2 \times 95 \text{ mm}^2$ Cu i napowietrzny $2 \times 150 \text{ mm}^2$ ze stopu Al dla każdego z torów. W wyniku analiz stwierdzono, że obciążenia linii nie będą powodować istotnej asymetrii do systemu elektroenergetycznego, podobnie wyeliminowany będzie wpływ harmonicznych. Jednakże w trakcie uruchamiania linii okazało się, że pojawiały się zakłócenia w przebiegającej w pobliżu i krzyżującej się w wielu miejscach 'starej' linii Rzym-Neapol zasilanej napięciem 3 kV DC. Linia 3 kV DC wyposażona była w obwody torowe zasilane napięciem 50 Hz.



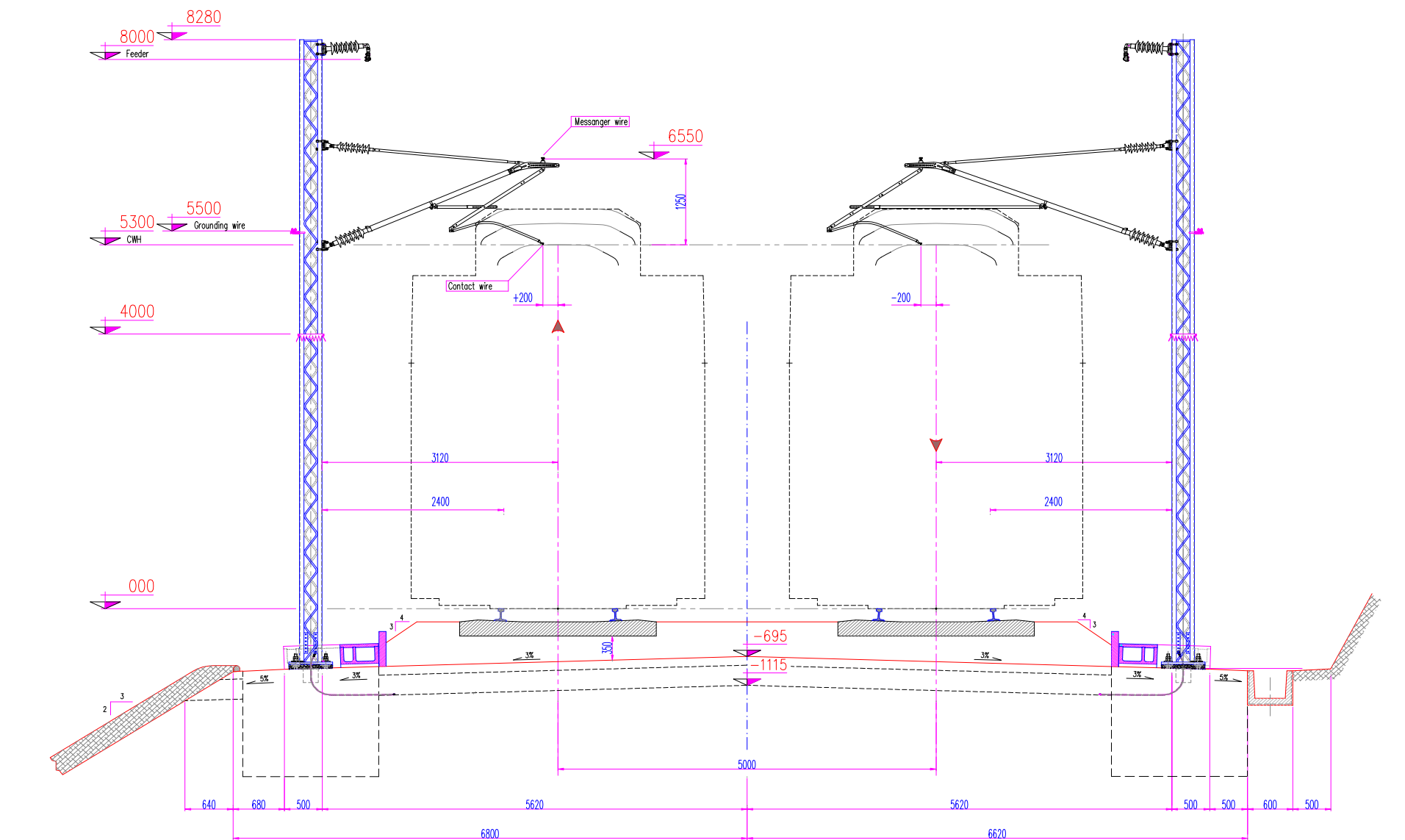
Rys. 9.3.1. Architektura zasilania podstacji trakcyjnych



Rys. 9.3.2. Architektura systemu zasilania 2x25 kV



Rys. 9.3.3. Plan podstacji trakcyjnej



Rys. 9.3.4. Typowy przekrój linii dużej prędkości (linia Rzym – Neapol)

9.4. Pociąg Shinkansen

Linia Tokyo-Osaka była pierwszą (od 1964 r.) linią po której poruszały się pociągi o mocy 11,8 MW z prędkością powyżej 200 km/h. Stosowany system zasilania to 50/60 Hz o napięciu 25 kV. z booster transformatorami rozmieszczonymi co 1,5÷3 km. Podstacje rozmieszczone były w odstępach co 20 km. Na nowej linii Sanyo Shinkansen, system ten został zastąpiony przez system 2×25 kV z auto-transformatorami rozmieszczonymi co 10 km, zaś podstacjami co ok. 50÷60km. Okazało się także, że system 2×25 kV jest tańszy o ok. 15% niż klasyczny system 1×25 kV i o ok. 40% w porównaniu do systemu z booster transformatorami.(BT) Stosowana w systemie 2×25 kV sieć trakcyjna to: lina nośna: Fe 180 (lub Cu 150) mm², przewód jezdny: 170mm² Cu i zasilacz dodatkowy 300mm² Al. Obecnie na linii San-yo pociągi osiągają prędkość 300 km/h.

10. Sieć jezdna

10.1. Sieci jezdne dla linii kolejowych dużych prędkości

10.1.1. Podstawowe parametry konstrukcyjne

Przy konstruowaniu sieci jezdnych przeznaczonych do eksploatacji z dużymi prędkościami jazdy pociągów szczególnie istotna, choć w istocie zasadna również do zastosowania, jako uniwersalna (w racjonalnym zakresie) dla wszystkich konstrukcji sieci jest reguła mówiąca, że stanem najbardziej pożądanym dla eksploatacji elektrycznych pojazdów trakcyjnych jest uzyskanie trajektorii punktu styku odbieraków prądu z przewodem (przewodami) jezdnyymi jak najbliższej linii poziomej.

Podstawowe metody zbliżenia się do ww. celu to zmniejszanie nierównomierności elastyczności sieci wzdłuż przęseł zawieszenia, obniżanie bezwzględnego poziomu jej elastyczności oraz dbałość o regularność geometrii sieci.

Powyższe uzyskuje się głównie drogą:

- zwiększania mas jednostkowych i poziomu sił naciągu w przewodach trakcyjnych, przy czym istotne jest zachowanie optymalnego stosunku sztywności liny nośnej i przewodu jezdnego (zbyt silne usztywnienie liny nośnej w stosunku do podatności przewodu jezdnego nie wpływa korzystnie na warunki odbioru prądu);
- skracania przęseł zawieszenia sieci i ograniczania (lub nawet, w przypadku sieci dużych prędkości – unikania) stosowania profilowania przewodu jezdnego.

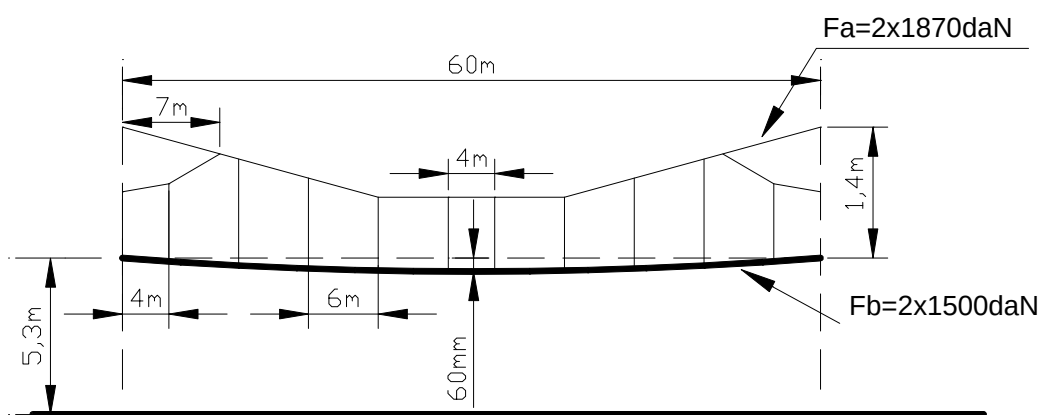
Tabela 10.1.1

Podstawowe parametry wybranych sieci jezdnych dużych prędkości

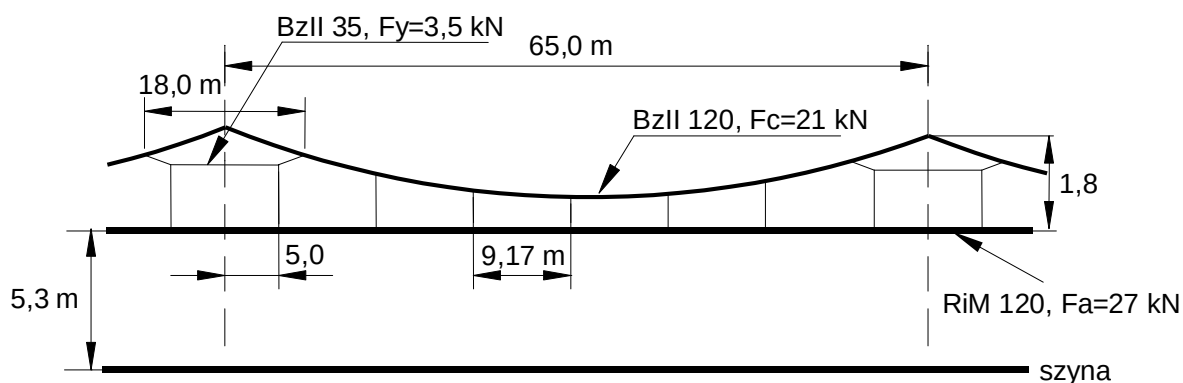
Parametry	Sieć jezdna linii Diretissima we Włoszech 3 kV DC	Sieć jezdna linii dużych prędkości we Włoszech 2×25 kV 50 Hz	Sieć typu Re 330 dla linii dużych prędkości w Niemczech 15 kV 16,7 Hz	Sieci jezdne linii dużych prędkości w Hiszpanii 2×25 kV 50 Hz
typ przewodów, siły naciągu, naprężenia robocze	przewody jezdne: 2 × Cu 150 mm ² , 2×15 kN, 2×100 MPa	przewód jezdny: Cu 150 mm ² , 20 kN, 133,3 MPa	przewód jezdny: RiM (CuMg) 120 mm ² , 27 kN, 225 MPa	przewody jezdne: Cu 120 mm ² , 15 kN, 125 MPa lub CuMg 150 mm ² , 31,5 kN, 210 MPa
	liny nośne: 2 × Cu 150 mm ² , 2×18,7 kN, 2×124,7 MPa	lina nośna: Cu 120 mm ² , 16,25 kN, 135,4 MPa	lina nośna: Bz II 120 mm ² , 21 kN, 175 MPa	liny nośne: BzII 70 mm ² , 15 kN, 214,3 MPa lub BzII 95 mm ² , 15,75 kN, 165,8 MPa
maksymalna długość przęsła zawieszenia	60 m	60 m	65 m	63/64 m

Wymagania elektryczne w stosunku do konstrukcji sieci jezdnych dużych prędkości związane z koniecznością transmisji dużych mocy do elektrycznych pojazdów trakcyjnych wymuszają stosowanie przewodów trakcyjnych o znacznych przekrojach – osiągających w systemie zasilania 25 kV 50 Hz wartości 120 mm^2 a nawet 150 mm^2 , wykonanych ze stopów miedzi zapewniających odpowiednie charakterystyki mechaniczne przewodów (głównie dużą wytrzymałość na rozciąganie oraz niską ścieralność). Jest to okoliczność wpływająca dodatnio na własności mechaniczne sieci jezdnej, gdyż prowadzi do obniżenia jej elastyczności.

W tabeli 10.1.1 przedstawione zostało zestawienie istotnych parametrów przykładowych rozwiązań konstrukcyjnych sieci jezdnych przeznaczonych do eksploatacji przy dużych prędkościach jazdy pociągów.



Rys. 10.1.1. Sieć jezdna linii Diretissima (Roma – Firenze) systemu 3 kV DC



Rys. 10.1.2. Sieć jezdna typu Re 330 kolei niemieckich systemu 15 kV 16,7 Hz.

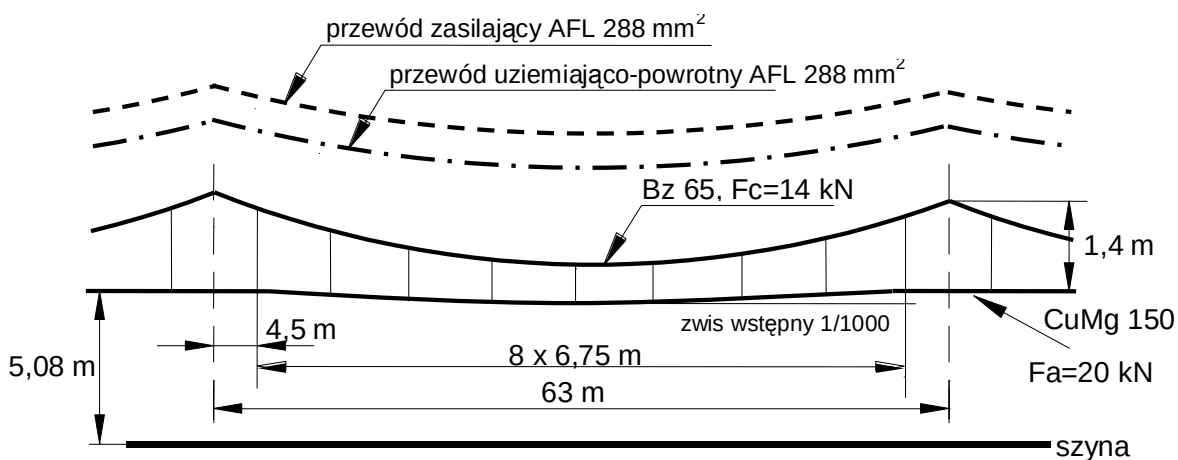
Tabela 10.1.2 przedstawia parametry konstrukcyjne sieci jezdnych francuskich linii dużych prędkości, obrazując pewną ewolucję podejścia do tego zagadnienia towarzyszącą dążeniu do podnoszenia prędkości jazdy pociągów oraz do włączenia (w przypadku linii LGV6) linii dużych prędkości za-

zarządcy RFF do systemu sieci europejskich, dzięki wypełnieniu wymagań zawartych w TSI „Energia” kolei dużych prędkości [5].

Tabela 10.1.2

Podstawowe parametry sieci jezdnych dużych prędkości kolei francuskich zasilanych napięciem 25 kV 50 Hz

Oznaczenie linii	LGV1	LGV2	LGV3	LGV4	LGV5	LGV6
przewód jezdny: typ, siła naciągu, na- prężenie robocze	CuMg 120 mm ² , 15 kN, 125 MPa	CuMg 150 mm ² , 20 kN, 133,3 MPa	CuMg 150 mm ² , 20 kN, 133,3 MPa	CuMg 150 mm ² , 20 kN, 133,3 MPa	CuMg 150 mm ² , 25 kN, 166,7 MPa	CuSn 150 mm ² , 26 kN, 173,3 MPa
lina nośna: typ, siła naciągu, na- prężenie robocze	BzII 65 mm ² , 14 kN, 215,4 MPa	BzII 65 mm ² , 14 kN, 215,4 MPa	BzII 65 mm ² , 14 kN, 215,4 MPa	BzII 65 mm ² , 14 kN, 215,4 MPa	BzII 116 mm ² , 20 kN, 172,4 MPa	BzII 116 mm ² , 20 kN, 172,4 MPa
linka uelastycznia- jąca typu Y	tak	nie	nie	nie	nie	nie
zwis wstępny (w stos. do długo- ści przęsła)	0,1%	0,1%	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
prędkość maksy- malna (eksploata- cyjna)	270 km/h	300 km/h	300 km/h	300 km/h	350 km/h	350 km/h



Rys. 10.1.3. Sieć jezdna linii LGV2 systemu 25 kV 50 Hz

Jako istotne wnioski z przeglądu konstrukcji sieci dużych prędkości należy wskazać:

- tendencję do stosowania w nowszych konstrukcjach coraz większych sił naciągu (oraz naprężeń roboczych) przewodów jezdnych, co w przypadku sieci francuskich linii dużych prędkości towarzyszy obniżaniu naprężeń roboczych w lina nośnej (jednak przy stosowaniu większych przekrojów);
- fakt, że niektóre zarządy kolejowe, jak np. francuski zarządca infrastruktury linii kolejowych RFF czy hiszpański ADIF, za najbardziej istotny waru-

nek zapewnienia właściwej współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią uznają przede wszystkim odpowiednie usztywnienie jej konstrukcji, mniejszą wagę przykładając do poziomu nierównomierności elastyczności, co odzwierciedla się w koncepcji rezygnacji ze stosowania linek uelastyczniających typu „Y”, prowadząc tym samym do uproszczenia konstrukcji sieci i zwiększenia prawdopodobieństwa utrzymania ciągłości jej eksploatacji;

- charakterystyczną dla sieci RFF tendencją do stosowania zwisu wstępnego przewodu jezdniego, co niewątpliwie dodatnio wpływa na kształt trajektorii punktu styku pomiędzy odbierakiem prądu a siecią jezdnią, komplikując jednak prace regulacyjne.

Najważniejszą tendencją charakteryzującą najnowsze konstrukcje sieci jezdnych przeznaczonych do eksploatacji na liniach dużych prędkości jest zastosowanie znaczących wartości naprężenia roboczego zarówno przewodów jezdnych, jak i lin nośnych. Należy stwierdzić, że występuje zasadność stosowania w ramach budowy nowych linii dużych prędkości takich konstrukcji, które zapewnią właściwą jakość współpracy z odbierakami prądu zarówno przy prędkości maksymalnej na poziomie 300 km/h, jak i dla prędkości wyższych (do 350÷360 km/h), przewidywanych do wprowadzenia np. w ramach kolejnych etapów uatrakcyjniania oferty przewozowej, zwiększającej konkurencyjność kolei dużych prędkości w stosunku do oferty komunikacji lotniczej.

Stąd wniosek o celowości przyjęcia w treści „Wytycznych ...”, jako do pewnego stopnia „wzorcowych”, rozwiązań zaprezentowanych wyżej w przypadku sieci typu Re 330 oraz sieci stosowanych na liniach dużych prędkości w Hiszpanii, jednocześnie nie przekreślając możliwości zastosowania linek uelastyczniających typu „Y” czy zwisu wstępnego przewodu jezdniego (zakładając, że weryfikacja przyjmowanych rozwiązań zgodnie z zapisami dokumentu TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [5] przyniesie ostateczną odpowiedź na pytanie o szczegółowe parametry konstrukcyjne sieci dużych prędkości, jakie powinny być stosowane w Polsce).

Zastosowanie naprężeń roboczych przewodów trakcyjnych na poziomie co najmniej 200 MPa w przypadku przewodów jezdnych oraz na poziomie co najmniej 150 MPa w odniesieniu do lin nośnych (punkty: 3.2.1.7.3 a oraz 3.2.1.8.3 a „Wytycznych ...”) wymaga doboru materiałów odpowiednich zarówno z punktu widzenia wytrzymałości mechanicznej na rozciąganie, jak i przewodności elektrycznej. Tego rodzaju wymagania spełniają odpowiednio dobrane stopy miedzi z innymi materiałami, do których należą: magnez, cyna, kadm. Norma PN-EN 50149:2002 [12] wskazuje typy materiałów, z których powinno się produkować przewody jezdne sieci trakcyjnych. Dla linii dużych prędkości należy dobierać materiały o najwyższych wartościach wytrzymałości mechanicznej. Założenie to jest spełnione w przypadku zastosowania komponentów wskazanych wyżej, przy czym należy zwracać uwagę na dopuszczalność użycia kadmu, biorąc pod uwagę krajowe uwarunkowania wynikające z przepisów dotyczących ochrony środowiska naturalnego. Zastosowanie przewodów wykonanych ze stopów miedzi i srebra powinno być ogra-

niczone do sieci jezdnych przeznaczonych do jazdy z prędkościami do 250 km/h, co wynika z niższych parametrów mechanicznych takich przewodów w stosunku do wskazanych wyżej rozwiązań.

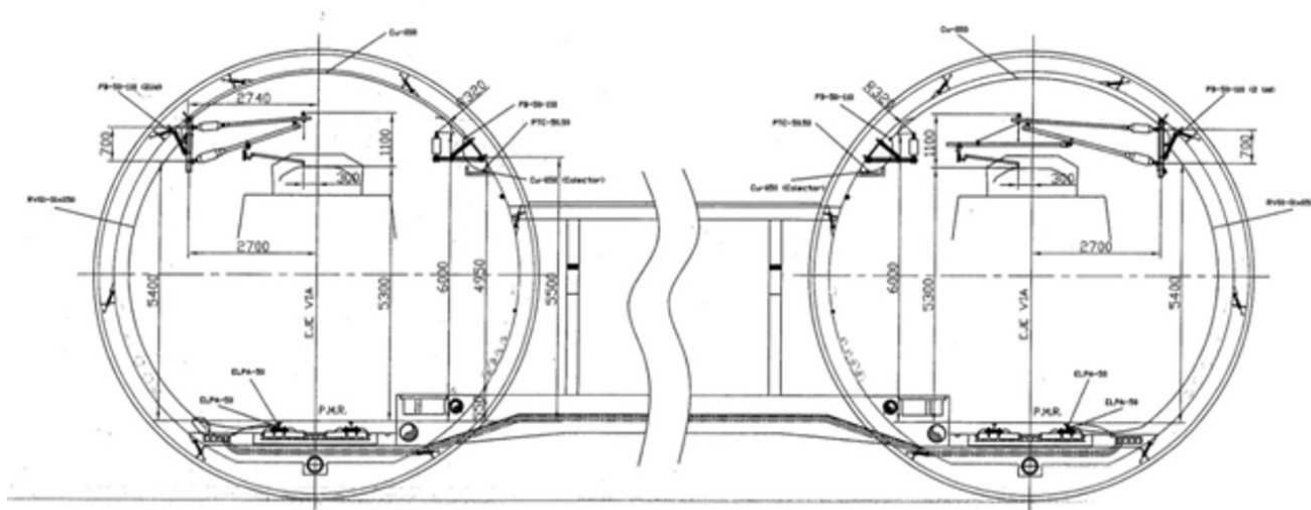
Opracowując rozwiązania typów sieci jezdnej dla linii dużych prędkości należy brać pod uwagę również potrzebę zróżnicowania zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych w zależności od geometrii poszczególnych odcinków linii. Szczególnie w obszarach, w których wystąpią ograniczenia poziomu prędkości maksymalnej związane np. z przeprowadzeniem linii przez rejony o zwiększonej wrażliwości środowiskowej czy urbanistycznej lub na łączniach, czyli na odcinkach wymagających stosowania łuków o promieniach mniejszych niż 3000 m, pojawi się zasadność budowy sieci trakcyjnych o niższych wartościach naprężeń roboczych w stosunku do sieci dla prędkości na poziomie 300 (350÷360) km/h. Wynika to przede wszystkim z potrzeby uniknięcia występowania nadmiernych sił poprzecznych oddziałujących na konstrukcje wsporcze. Stąd należy przewidywać potrzebę opracowania kilku (prawdopodobnie 2 do 3) typów sieci jezdnych przeznaczonych do wybudowania w systemie linii dużych prędkości w Polsce.

10.1.2. Geometria sieci jezdnej, wymagania skrajniowe

Geometrię sieci należy dostosować do wymagań wynikających z zastosowania tzw. „Europantografu”, o szerokości ślizgacza wynoszącej 1 600 mm, co jest jednym z podstawowych warunków uznania konstrukcji sieci za spełniającą wymagania interoperacyjności. Stąd i z warunku nieprzekraczania maksymalnej wartości wywiania wiatrowego sieci wynikają podstawowe wartości odsuwów przewodu jezdnego, które należy przyjmować na poziomie ± 200 mm.

Z uwagi na potrzebę zapewnienia stabilności parametrów mechanicznych sieci jezdnej na pełnej drodze przejazdu odbieraków prądu po torach szlakowych i torach głównych zasadniczych stacji należy stosować pełną kompensację odkształceń cieplnych przewodów trakcyjnych (przewodów jezdnych i lin nośnych) zarówno na terenach otwartych, jak i w tunelach oraz podwieszać sieć na konstrukcjach niezależnych mechanicznie od konstrukcji wsporczych innych ciągów sieciowych. Ten ostatni warunek spełniają indywidualne konstrukcje wsporcze lub konstrukcje bramkowe z indywidualnymi wysięgnikami przeznaczonymi do podwieszenia poszczególnych ciągów sieci. Nie należy natomiast stosować zawieszek poprzecznych dla prędkości jazdy pociągów przekraczających 200 km/h.

Dopuszczalny zakres ingerencji w geometrię sieci jezdnej przeznaczonej do dużych prędkości celem jej dostosowania do warunków terenowych to odpowiednie obniżanie jej wysokości konstrukcyjnej, np. w przypadku występowania tuneli. Nie dopuszcza się natomiast stosowania „profilowania” wysokości zawieszenia przewodów jezdnych dla prędkości jazdy przekraczających 250 km/h.



Rys. 10.1.4. Przykład rozwiązania podwieszenia sieci jezdnej w tunelu. Linia dużych prędkości Madrid – Valladolid w Hiszpanii

Skrajnia konstrukcji wsporczych sieci jezdnych przeznaczonych do dużych prędkości jazdy pociągów powinna uwzględniać fakt znaczącego oddziaływania aerodynamicznego składów pociągów na konstrukcje obiektów (urządzeń, budowli) stałych, posadowionych w sąsiedztwie torów. Stąd za zasadne należy uznać przyjęcie, dla linii kolejowych o prędkości powyżej 300 km/h, podstawowej (dotyczącej toru ułożonego w linii prostej lub w łuku o promieniu $\geq 3\,000$ m w terenie otwartym) odległości poprzecznej pomiędzy boczną powierzchnią konstrukcji wsporczych a osią toru na poziomie **co najmniej 3,20 m**. Przyjęte w „Wytycznych...” wielkości skrajni dla poszczególnych zakresów prędkości są wynikiem doświadczeń projektowych i eksploatacyjnych krajów, gdzie takie linie kolejowe zbudowano oraz wynikiem „Ekspertyzy...” [73] wykonanej na zlecenie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

10.2. Rozwiązania konstrukcyjne wybranych elementów składowych sieci trakcyjnej

10.2.1. Przęsła naprężenia i urządzenia kotwienia sieci

Istotną częścią składową sieci jezdnej są przęsła naprężenia łączące kolejne odcinki naprężenia – „sekcje”. Dla sieci dużych prędkości wymagane jest stosowanie stosunkowo krótkich odcinków naprężenia, gdyż opory ruchu w urządzeniach naprężających powodują zniekształcenia położenia przewodu jezdnej przy zmianach temperatury jak również przy zmianach ciężaru sieci trakcyjnej związanych z zużyciem eksploatacyjnym przewodów jezdnych. Największym zmianom geometrii przy zmianach temperatury ulegają przęsła zawieszenia w strefach odcinków naprężenia zbliżonych do kotwienia kompensującego odkształcenia cieplne.



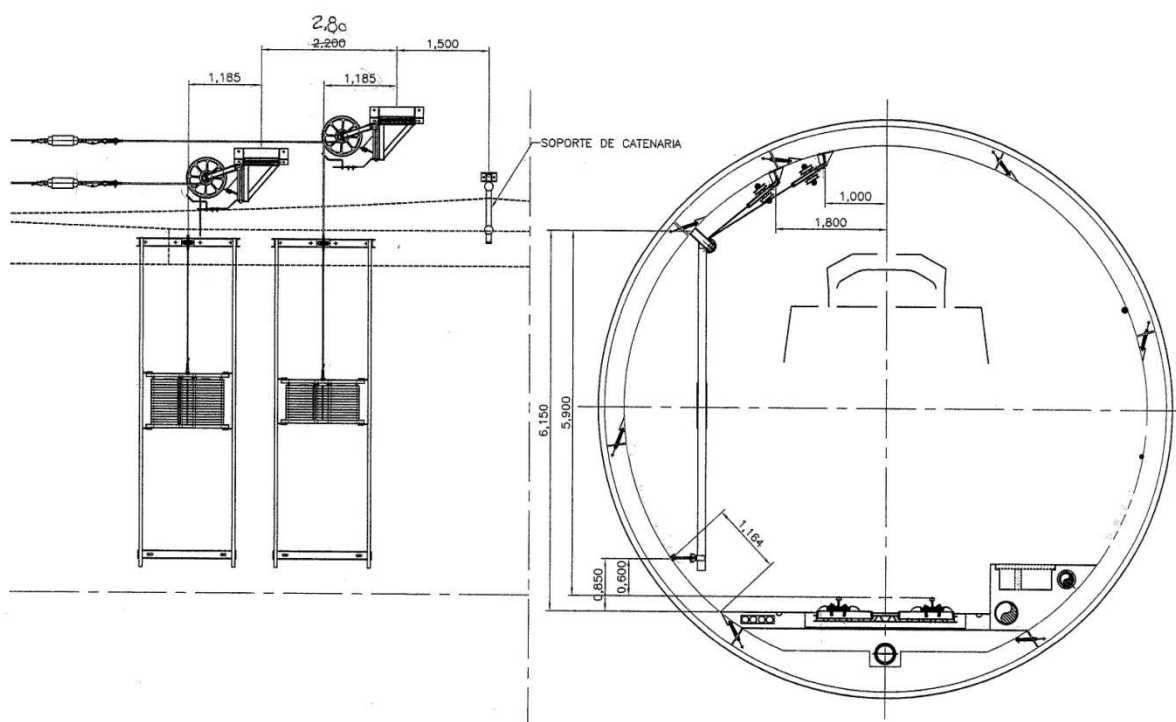
Rys. 10.2.1. Rozwiązanie kotwienia sieci jezdnej linii LGV we Francji z zastosowaniem przekładni o przełożeniu 1:5



Rys. 10.2.2. Rozwiązanie kotwienia sieci jezdnej linii dużych prędkości Madrid – Valladolid w Hiszpanii.

W przypadku sieci jezdnych linii dużych prędkości szczególnie istotne i pożądane jest zastosowanie rozdzielonych urządzeń kotwiących liny nośne w stosunku do urządzeń kotwiących przewody jezdne. Celem powszechnego przyjmowania takich rozwiązań jest obniżenie negatywnych skutków oddziaływań dynamicznych w systemie odbioru prądu (układzie mechanicznym czynnych odbieraków prądu i sieci jezdnej) prowadzących do wzbudzenia drgań sieci. Rozdzielenie urządzeń kotwiących zapewnia istotną poprawę własności tłumienia drgań sieci, przyczyniając się do poprawy jakości współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią.

Rysunek 10.2.3 przedstawia przykład rozwiązania urządzeń kotwiących sieć jezdnią w tunelu, spełniającego wskazane wyżej wymagania. Ograniczenia skrajniowe wymuszają w takich przypadkach zastosowanie specjalnych konstrukcji kotwiących i naprężających przewody trakcyjne, co oznacza również konieczność szczególnej dbałości o jakość użytych materiałów i przestrzeganie zasad prawidłowego montażu urządzeń – tak aby w największym możliwym stopniu ograniczyć siły tarcia występujące w układzie mechanicznym naprężania przewodów.

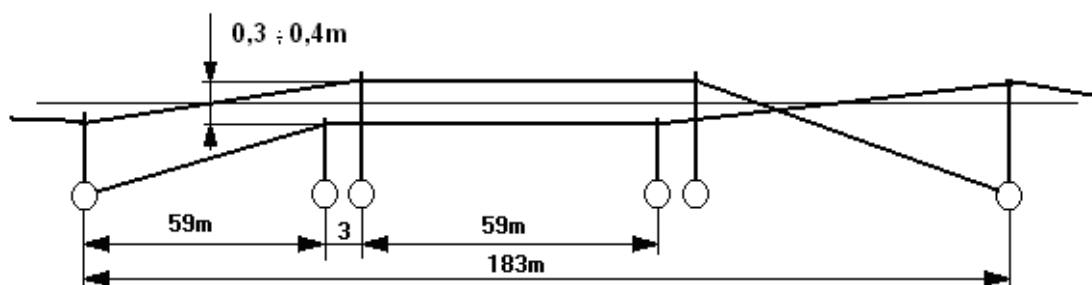


Rys. 10.2.3. Urządzenia naprężające zainstalowane w tunelu na linii dużych prędkości Madrid – Valladolid w Hiszpanii

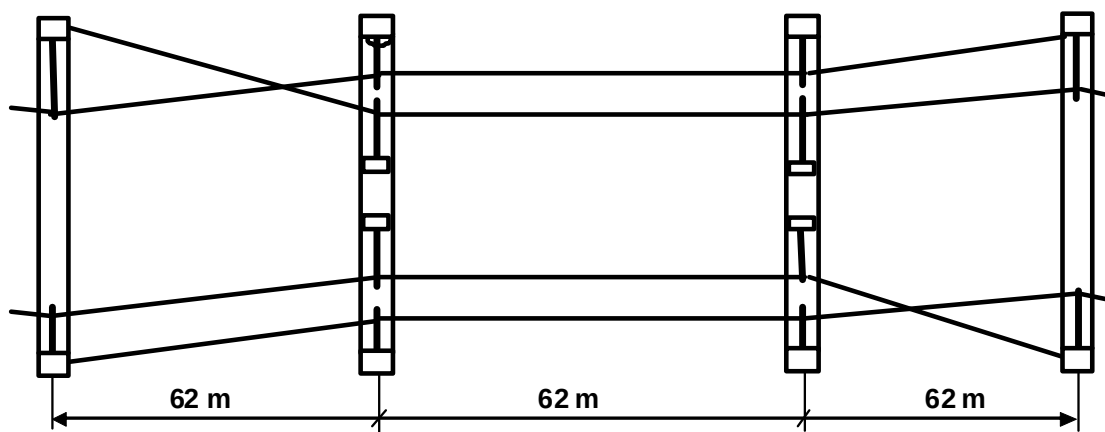
Dla konstrukcji pręseł naprężenia charakterystyczne jest przyjęcie odpowiednich odległości pomiędzy podwieszeniami krzyżowymi i podwieszeniami przelotowymi. Ze względu na istotne obciążenia mechaniczne konstrukcji wsporczych zalecane jest stosowanie odległości pomiędzy poszczególnymi konstrukcjami pręseł naprężenia na poziomie odpowiadającym odległościom pomiędzy podwieszeniami przelotowymi na odcinkach prostych (oraz na łukach).

kach o promieniu ≥ 3.000 m) oraz oddzielnych konstrukcji podwieszeń krzyżowych i konstrukcji podwieszeń przelotowych w przęśle naprężenia. Należy zaznaczyć, że jest to rozwiązanie powszechnie stosowane (również, od ok. 10 lat, w Polsce) w konstrukcji sieci jezdnych przeznaczonych do eksploatacji z prędkościami do 160 km/h i niższymi i w tym kontekście konsekwentne stosowanie tego rodzaju standardów jest w przypadku sieci dla linii dużych prędkości założeniem oczywistym.

W przypadku konieczności zastosowania konstrukcji bramkowych wystarczające jest zastosowanie 4 konstrukcji w przęśle naprężenia.



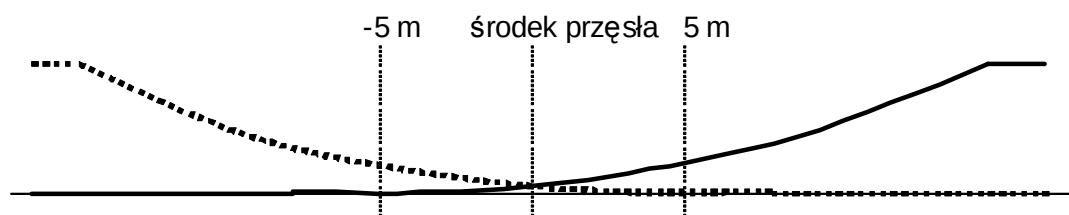
Rys. 10.2.3. Przykład konstrukcji izolowanego sześciostupowego przęsła naprężenia na prostej dla sieci systemu 25 kV 50 Hz



Rys. 10.2.4. Przykład konstrukcji czterosłupowego przęsła naprężenia na prostej wybudowanego na konstrukcjach bramkowych

Jednym z możliwych rozwiązań potencjalnie pozytywnie wpływających na jakość współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią jest zastosowanie dynamicznej konstrukcji wspólnej bieżni w przęśle naprężenia. Polega ono na zastosowaniu uniesienia przewodów jezdnych w układzie statycznym w takim zakresie, aby wspólna bieżnia tworzona była pod wpływem siły stykowej wywieranej przez odbierak prądu przejeżdżający przez przęsło naprężenia z maksymalną prędkością eksploatacyjną.

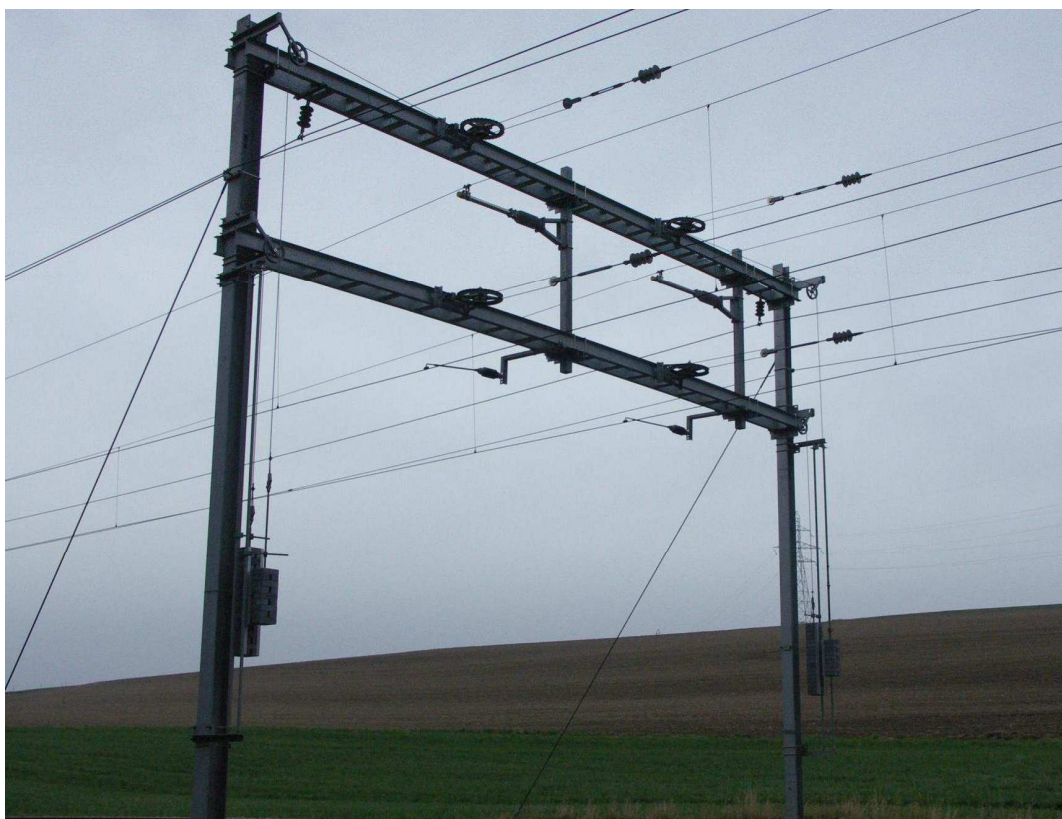
Początki unoszenia przewodów sieci we wspólnej bieżni



Rys. 10.2.5. Przykład rozwiązania wspólnej bieżni tworzonej w układzie dynamicznym w sieci prądu przemiennego 25 kV 50 Hz

Celem stosowania tego rodzaju rozwiązań jest ograniczenie tempa zmiany wartości elastyczności sieci w obszarze wspólnej bieżni, związanej z faktem występowania odcinka, na którym odbierak prądu wpływa jednocześnie na przewody jezdne dwóch sąsiednich odcinków naprężenia. Należy jednak przyjąć, że ze względu na dużą wrażliwość takich konstrukcji na niedokładności montażu oraz dedykowanie optymalnej trajektorii punktu styku określonemu poziomowi prędkości jazdy, przyjęcie omawianej koncepcji wspólnej bieżni powinno zostać poprzedzone uzyskaniem pozytywnych badań współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią w rejonie przęseł naprężenia – wykonanych z uwzględnieniem zasad, o których mowa w rozdziale 10.3.

W stacjach można rozważyć stosowanie takich rozwiązań przęseł naprężania i konstrukcyjni wsporczych, które umożliwią uniknięcie ustawiania konstrukcji wsporczych w międzytorzach z jednoczesną eliminacją krzyżowania sieci jezdnych. Podpowiedzią takiego rozwiązania może być konstrukcja stosowana na kolejach szwajcarskich, którą przedstawiono na rys. 10.2.6.



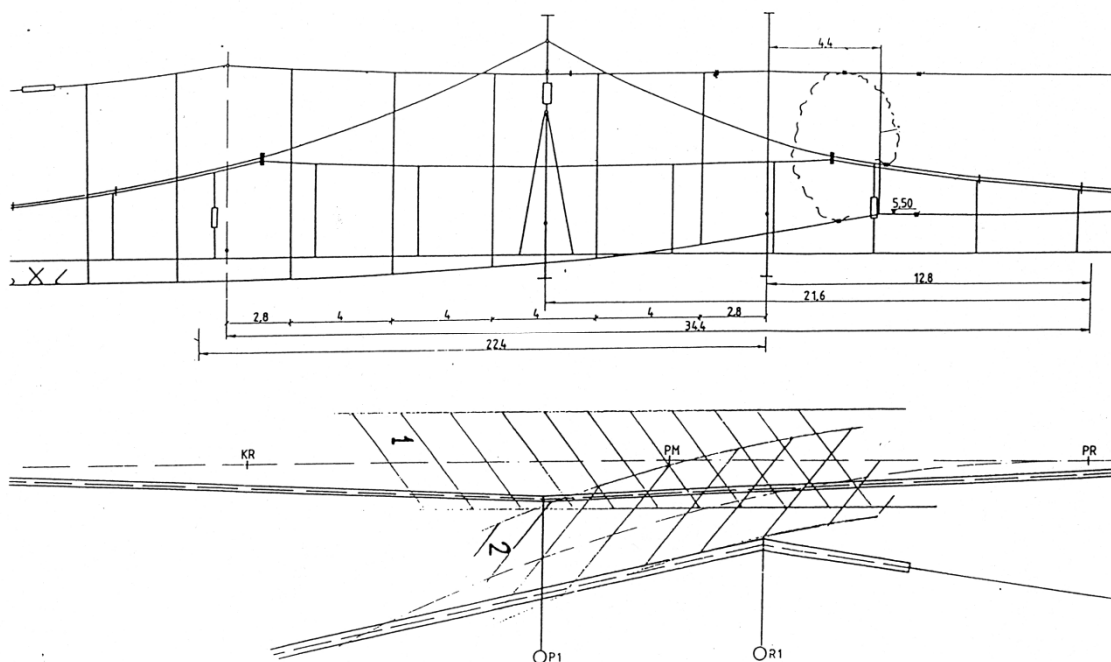
Rys. 10.2.6. Rozwiązanie kotwienia ciężarowego na kolejach szwajcarskich

10.2.2. Rozjazdy sieciowe

Zjawisko skokowego zwiększenia sztywności sieci jezdnej w rejonie przejść rozjazdowych, występujące w przypadku przejazdu odbieraka prądu przez rozjazd sieciowy o konstrukcji „klasycznej”, obejmujące zastosowanie mechanicznego połączenia pomiędzyciągami sieci toru głównego i sieci toru przejścia rozjazdowego, szczególnie w warunkach ruchu pociągów dużych prędkości, byłoby bardzo niekorzystne z punktu widzenia jakości odbioru prądu, stwarzając duże niebezpieczeństwo wystąpienia awarii – uszkodzenia odbieraków prądu.

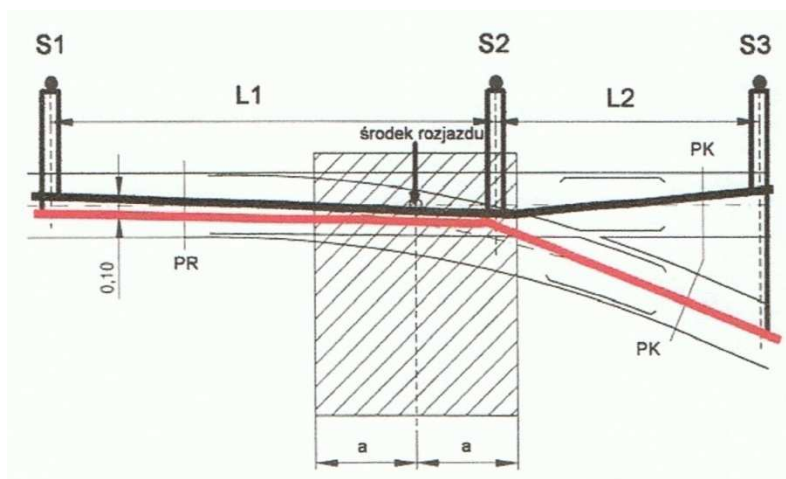
Stąd od wielu lat w konstrukcji sieci dużych prędkości stosuje się rozwiązania zapewniające unikanie kontaktu odbieraka prądu z układem mechanicznym ciągu sieci rozjazdowej przy przejeździe w kierunku „na wprost”, według koncepcji przedstawionej na poniższym rysunku.

Kolejne rysunki przedstawiają przykłady rozwiązań stosowanych na liniach LGV we Francji. Należy zaznaczyć tutaj charakterystyczne „pokrewieństwo” prezentowanych rozwiązań z koncepcją konstrukcji pręseł naprężenia sieci jezdnej.

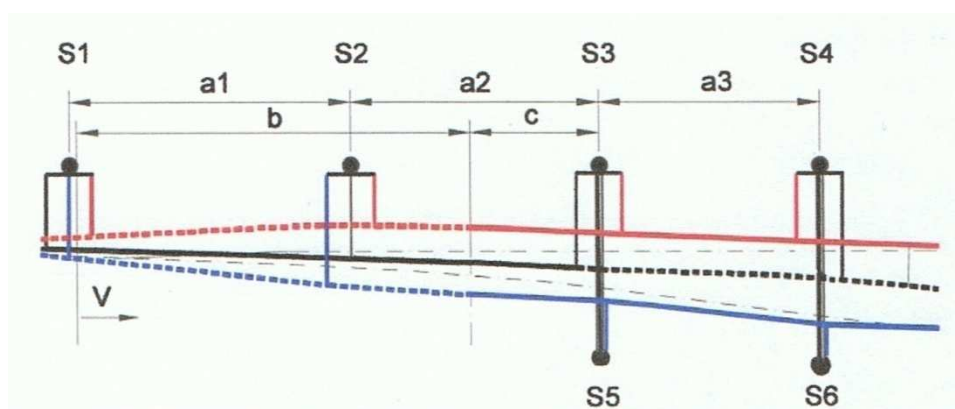


Rys. 10.2.6. Rozwiązanie podwieszenia ciągów sieciowych w rejonie rozjazdu:

1. Obszar współpracy ślizgacza z siecią jezdnią podczas jazdy po torze głównym.
2. Obszar współpracy ślizgacza z siecią jezdnią podczas jazdy po torze przejścia rozjazdowego



Rys. 10.2.7. Rozwiązanie „tangensoidalnego” podwieszenia ciągów sieciowych bez przewodu pomocniczego



Rys. 10.2.8. Rozwiązanie „tangensoidalnego” podwieszenia ciągów sieciowych z przewodem pomocniczym

10.2.3. Wymagania w stosunku do osprzętu sieciowego

Dla prawidłowego definiowania wymagań w odniesieniu do konstrukcji osprzętu sieciowego istotne jest należyte wyodrębnienie kwestii oceny zgodności „składników interoperacyjności” sieci trakcyjnej określonych w treści dokumentu TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [5] od zagadnienia zastosowania osprzętu spełniającego wymagania eksploatacyjne danej linii kolejowej. Stąd należy przyjąć za zasadne wyposażenie zarządcy danej linii w kompetencje dopuszczania do użytkowania elementów osprzętu sieciowego, pod warunkiem utrzymania zgodności konstrukcji sieci trakcyjnej z wymaganiami interoperacyjności.

Najbardziej istotne grupy czynników wpływających na konstrukcję elementów osprzętu to:

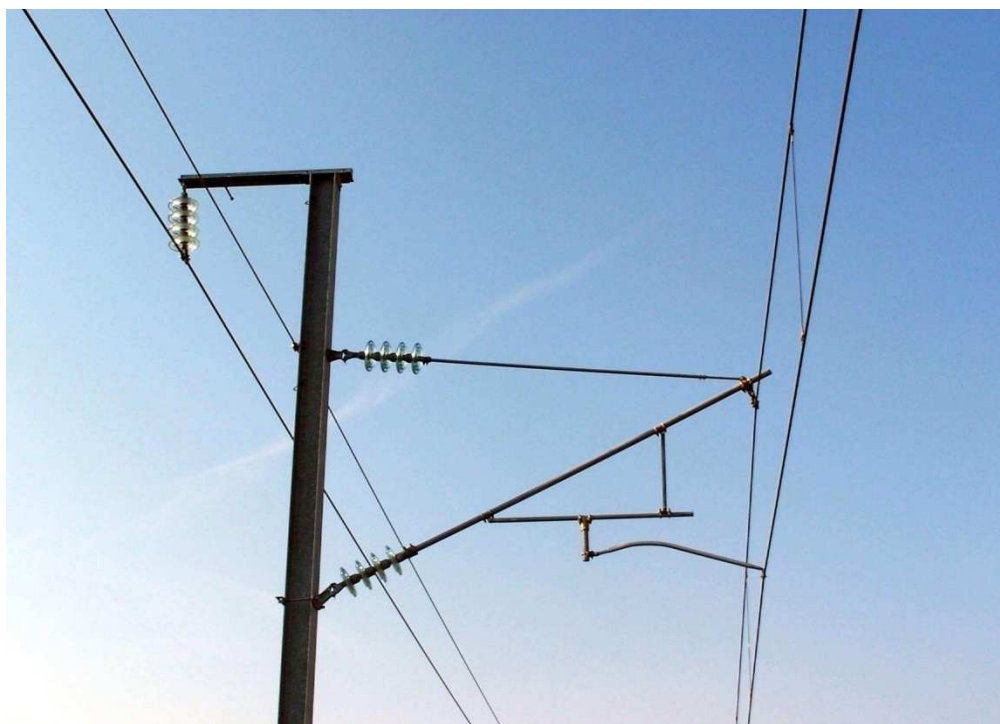
- warunki ruchowe (związane z obciążeniami elektrycznymi i mechanicznymi);
- warunki klimatyczne.

Rozpatrując ostatnią z ww. grup uznano, że zasadnym będzie określenie w treści „Wytycznych ...” (punkty: 3.2.1.2.1, 3.2.1.5.1) takiego zakresu temperatur oraz siły wiatru jakie przyjmowane są przy projektowaniu linii du-

zych prędkości w Niemczech – kraju charakteryzującym się zbliżonymi do polskich warunkami klimatycznymi (np. występowaniem ujemnych temperatur, oblodzeń, sadzi) oraz znaczącymi doświadczeniami w budowie i eksploatacji takich linii.

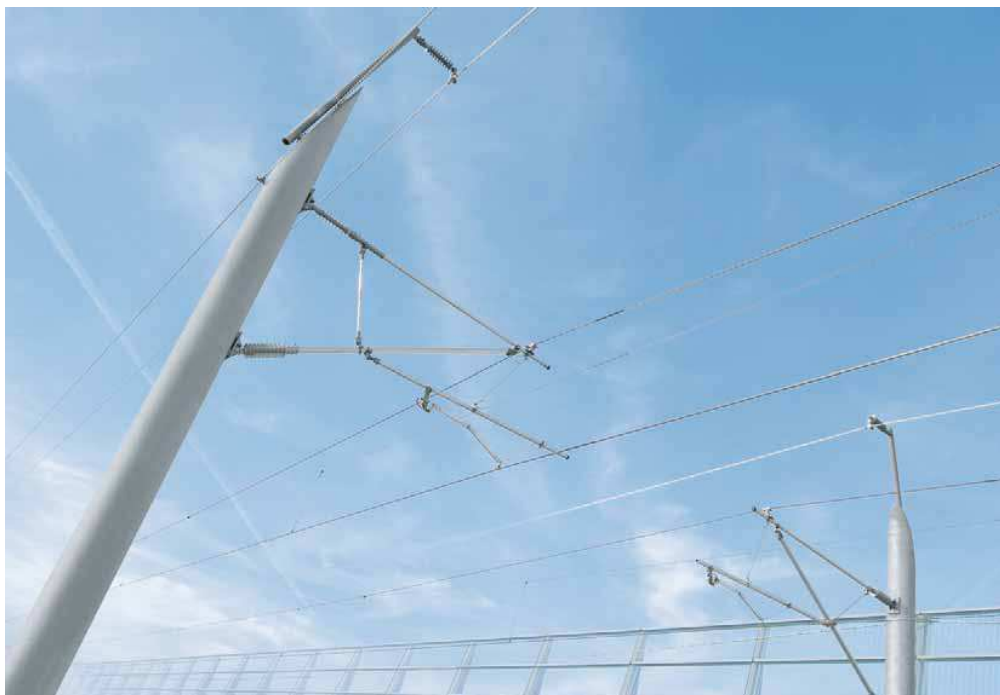
Racjonalne wydaje się przeanalizowanie możliwości jak najszerzego stosowania elementów konstrukcyjnych dotychczas stosowanych w Polsce w ramach elektryfikacji (reelektryfikacji) linii kolejowych w systemie 3 kV DC. Jednak należy wziąć tutaj pod uwagę potrzebę preferowania rozwiązań charakteryzujących się niezawodnością, prostotą montażu, łatwością dostępu do elementów ulegających eksploatacyjnemu zużyciu oraz, oczywiście, parametrami odpowiednimi do obciążeń elektrycznych i mechanicznych związanych z przemieszczaniem się pociągów dużych prędkości, co w niektórych przypadkach może oznaczać zasadność zastosowania podzespołów oficjalnie dopuszczonych i sprawdzonych w ramach eksploatacji na liniach dużych prędkości w innych krajach.

Niezbędny zakres wdrożenia elementów konstrukcyjnych dotychczas nie stosowanych na polskich liniach kolejowych zależy m.in. od przyjętego do eksploatacji typu sieci jezdnej, spełniającego wymagania interoperacyjności (oraz wymagania zapisane w treści „Wytycznych ...”) dla przyjętego poziomu prędkości eksploatacyjnej linii dużych prędkości. Poniższe rysunki prezentują przykładowe rozwiązania zespołów podwieszenia sieci jezdnej linii dużych prędkości.



Rys. 10.2.9. Podwieszenie sieci jezdnej linii LGV6 (Est Européenne)

Zwraca uwagę brak linki „Y”, zastosowanie sztywnego podwieszenia wysięgu pomocniczego do ukośnika oraz brak ogranicznika ruchu pionowego ramienia odciągowego.



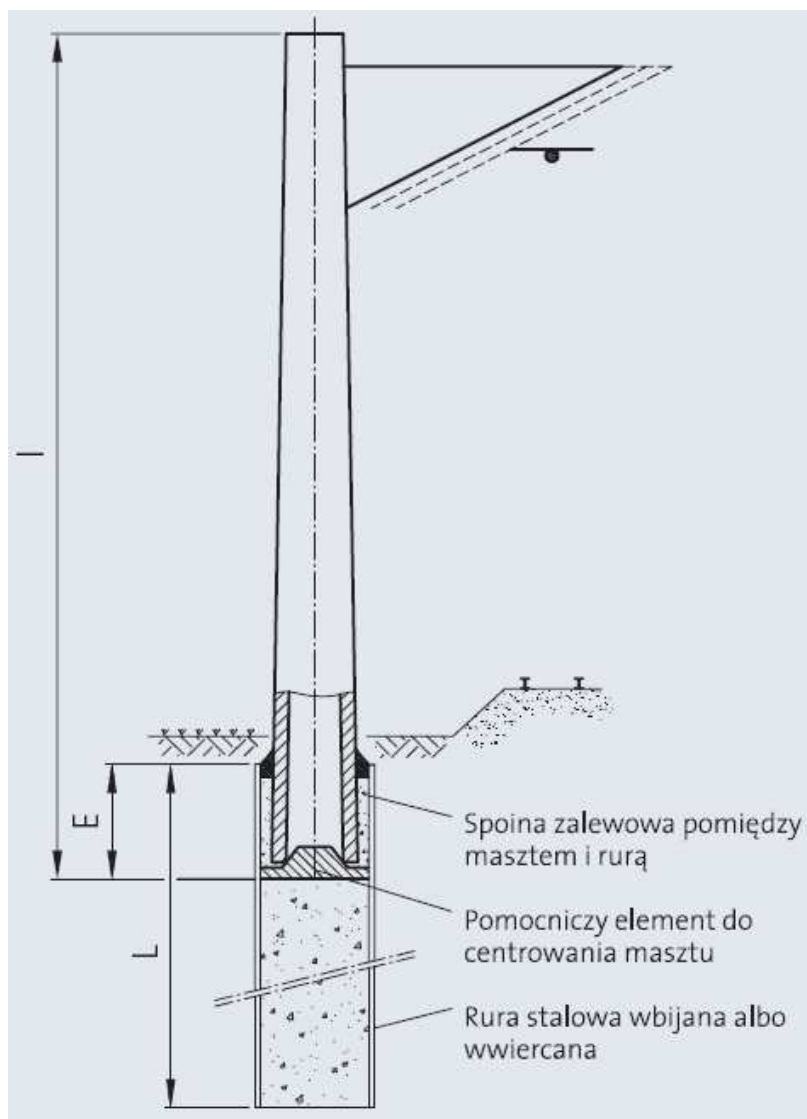
Rys. 10.2.10. Podwieszenie sieci jezdnej linii dużych prędkości w Niemczech

Zwraca uwagę zastosowanie linki „Y”, elastycznego sztywnego podwieszenia wysięgu pomocniczego do ukośnika, połączenie usztywniające ukośnika z rejonem izolatora odciagu oraz obecność ogranicznika ruchu pionowego ramienia odciagowego.

10.2.4. Fundamenty konstrukcji wsporczych

Pożądane cechy technologii stosowanych przy posadawianiu fundamentów konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej przeznaczonej dla linii dużych prędkości są następujące:

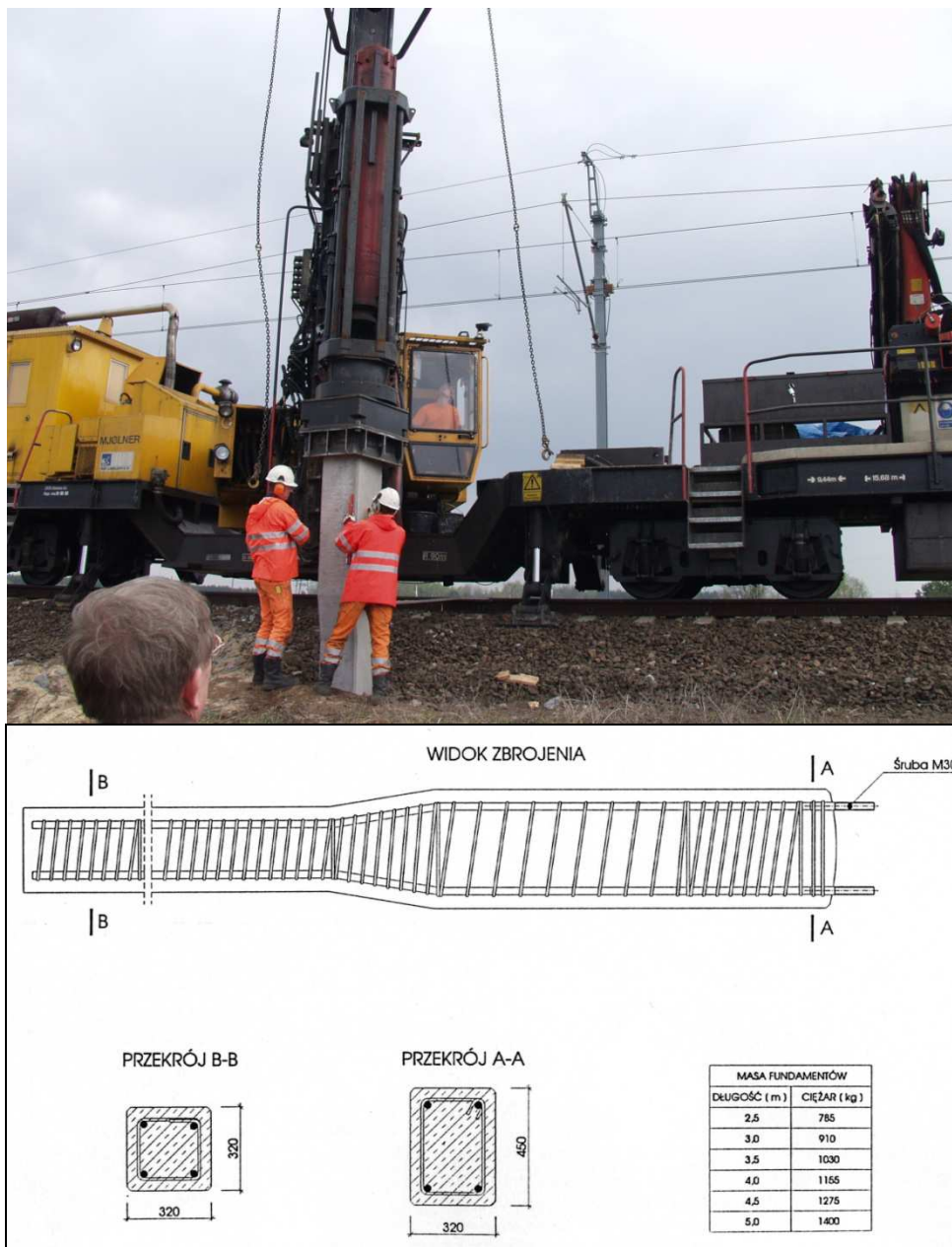
- zapewnienie odpowiedniej precyzji lokalizacji fundamentu;
- możliwość uniknięcia znaczącej ingerencji w konstrukcję ławy torowiska poprzez ograniczenie robót polegających na wykonywaniu wykopów, a następnie zagęszczaniu gruntu wokół fundamentu i usuwaniu urobku;
- w licznych przypadkach – zapewnienie sprawnego montażu konstrukcji wsporczych i następnie obciążenia ich siecią jezdnią.



Rys. 10.2.11. Fundament w formie rury stalowej zagłębionej w grunt wraz z dolną częścią konstrukcji wsporczej

Należy stwierdzić, że w warunkach przestrzegania odpowiednich norm i reżimów technologicznych możliwe jest uzyskanie wysokiej jakości posadowienia fundamentów konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej dla linii dużych prędkości przy zastosowaniu różnych technologii – bardziej lub mniej zmechanizowanych, wymagających większej lub mniejszej pracochłonności. Jednak, biorąc pod uwagę zasadność dążenia do uzyskania wysokiej wydajności robót fundamentowych oraz możliwości stosowania technologii „linii produkcyjnej” (technologii „potokowych”) przy budowie sieci trakcyjnej, z czym praktycznie wiąże się wymaganie realizacji montażu konstrukcji wsporczych i sieci jezdnej bezpośrednio po zakończeniu prac fundamentowych, za najbardziej odpowiednie należy uznać następujące technologie:

- zastosowania stalowych rur wielkośrednicowych wbijanych lub wwiercanych w grunt (rys. 10.2.11),
- zbrojonych betonowych fundamentów palowych wbijanych w grunt i łączonych z konstrukcjami wsporczymi za pomocą śrub (rys. 10.2.12).



Rys. 10.2.12. Proces instalacji oraz przekrój poprzeczny fundamentu palowego

10.3. Badania i ocena jakości rozwiązań konstrukcyjnych sieci jezdnej

Badania teoretyczne (symulacyjne) dotyczące dynamicznego oddziaływania pomiędzy odbierakami prądu i siecią jezdnią pozwalają na uzyskanie licznych i istotnych informacji dotyczących systemu poboru prądu, minimalizując koszty wykonywania badań liniowych. Stanowią one istotny element procesu formalnej akceptacji systemów odbioru prądu linii dużych prędkości. Ich zastosowanie wymaga przestrzegania wskazanych niżej zasad omówionych w treści normy PN-EN 50317:2003 *Zastosowania kolejowe -- Systemy odbioru prądu -- Wymagania dotyczące walidacji wyników pomiarów oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem a siecią jezdnią górną* [16].

10.3.1. Badania symulacyjne

10.3.1.1. Modelowanie odbieraków prądu

Modelowanie odbieraków prądu może zostać zrealizowane z wykorzystaniem elementów dyskretnych (masy, elementy sprężyste, elementy tłumiące), systemów wieloelementowych, modeli elementów skończonych lub funkcji określających odpowiedź odbieraka na wymuszenie mechaniczne.

Wykaz (minimalny zbiór) parametrów odbieraków prądu, które powinny zostać zamodelowane:

- własności kinematyczne;
- rozłożenie mas;
- odzwierciedlenie stopni swobody węzłów mechanicznych;
- charakterystyki elementów tłumiących;
- charakterystyki elementów sprężystych;
- wartości sił tarcia;
- wartości sztywności konstrukcji;
- wartości graniczne przemieszczenia elementów tłumiących;
- lokalizacja punktów przyłożenia sił statycznych;
- lokalizacja punktów przyłożenia sił aerodynamicznych.

10.3.1.2. Modelowanie sieci jezdnej

Wykaz (minimalny zbiór) parametrów sieci jezdnej, które powinny zostać zamodelowane:

- długość zamodelowanej sieci jezdnej – powinna stanowić przynajmniej trzykrotną odległość pomiędzy pierwszym a ostatnim czynnym odbierakiem prądu, jednocześnie obejmować nie mniej niż 10 przęseł podwieszenia sieci pomiędzy konstrukcjami wsporczymi;
- długość każdego z przęseł zawieszenia sieci;
- lokalizacja wieszaków;
- wysokość zawieszenia przewodu jezdnej oraz wartość zwisu, długości wieszaków, pochylenie przewodu w płaszczyźnie pionowej;
- wysokość konstrukcyjna sieci;
- geometria i rozłożenie mas ramion odciągowych;

- ilość i cechy charakterystyczne przewodów tworzących sieć jezdnią (przewód jezdny, lina nośna, lina uelastyczniająca, wieszaki itp.);
- masa jednostkowa przewodów;
- siły naciągu przewodów; w przypadku występowania zależności wartości tych sił od temperatury, zależność ta powinna zostać zdefiniowana;
- masy elementów łączących przewody z wieszakami (zacisków, uchwytów);
- charakterystyki mechaniczne konstrukcji wsporczych;
- charakterystyki sztywności wieszaków.

Sekcja mechaniczna analizowana – odcinek (część) modelu górnej sieci jezdnej, który obejmuje tę część modelu sieci, którego współpraca z odbierakami prądu nie jest zniekształcona przez wartości (przebiegi) przejściowe na początku i na końcu zamodelowanej sieci jezdnej.

Zakres częstotliwości symulacji – w obrębie których rozpatrywane są zjawiska dynamicznej współpracy sieci jezdnej z odbierakami prądu. Zakres częstotliwości symulacji powinien zostać z góry zdefiniowany, biorąc pod uwagę zastosowany model odbieraków prądu, sieci jezdnej, metodę symulacji oraz system pomiarowy.

10.3.1.3. Zestaw informacji dodatkowych

Zwykle za istotne uznaje się również następujące parametry (informacje) dodatkowe:

- prędkość pociągu;
- konkretne wskazanie analizowanego odcinka;
- ilość oraz wzajemne odległości pomiędzy czynnymi odbierakami prądu;
- wartość siły statycznej każdego z odbieraków prądu;
- wartość sił aerodynamicznych każdego z odbieraków prądu;
- wysokość uniesienia odbieraków prądu;
- temperatura przewodów;
- własności tłumiące sieci jezdnej;
- zakres częstotliwości symulacji.

10.3.1.4. Wyniki symulacji

Wyniki symulacji powinny obejmować obliczenie zmienności sił stykowych, przemieszczeń przewodu jezdnego oraz dynamicznego zachowania się odbieraków prądu podczas przejazdu przez zamodelowany odcinek sieci jezdnej. Wyniki te powinny być analizowane dla wyodrębnionej części odcinka sieci, spełniającego wymagania wskazane wyżej.

Obliczone wartości, dla współpracy z jednym lub z kilkoma odbierakami prądu powinny prezentować, w odniesieniu do wartości sił stykowych (dla każdego z czynnych odbieraków):

- średnią wartość siły stykowej F_M ;
- odchylenie standardowe wartości siły stykowej σ ;
- statystyczną maksymalną i minimalną wartość siły stykowej;
- bieżącą, maksymalną i minimalną wartość siły stykowej;
- statystyczny rozkład (histogram) wartości siły stykowej.

Wartości siły stykowej powinny zostać zarejestrowane jako funkcja czasu symulacji.

W odniesieniu do przemieszczenia przewodu jezdnego – maksymalne uniesienie przewodu w punkcie podwieszenia przy konstrukcji wsporczej. Wartości uniesienia powinny zostać zarejestrowane, w wybranych punktach charakterystycznych, jako funkcja czasu symulacji.

W odniesieniu do przemieszczenia odbieraków prądu – maksymalne i minimalne pionowe przemieszczenie punktu styku. Wartości pionowego przemieszczenia każdego z punktów modelu odbieraka prądu powinny zostać zarejestrowane jako funkcja czasu symulacji.

W odniesieniu do przerw stykowych – procentowy czas utraty styku.

10.3.1.5. Walidacja metod symulacyjnych

Stosowanie danej metody symulacyjnej powinno zostać poprzedzone jej walidacją. Walidacja (określenie przydatności i dokładności) powinna nastąpić poprzez porównanie wyników z uzyskanymi w ramach prób liniowych lub z wynikami uzyskanymi z użyciem innych, zaaprobowanych metod symulacyjnych.

W pierwszym z ww. przypadków walidacja systemu symulacyjnego powinna być przeprowadzona metodą porównania otrzymanych z symulacji i zmierzonych podczas przejazdów pomiarowych wartości sił stykowych oraz przemieszczeń elementów współpracujących. Porównanie to powinno obejmować:

- wartości odchyłeń standardowych sił stykowych σ ;
- wielkości maksymalnego uniesienia przewodu jezdnego w punkcie podwieszenia przy konstrukcji wsporczej;
- zakres pionowego przemieszczenia punktu styku.

Tolerancje odchyłeń (różnic) pomiędzy porównywanymi wartościami określają zapisy normy PN-EN 50318:2003 [17].

Dodatkowym wymaganiem dotyczącym walidacji systemu symulacji jest wstępne określenie jego dokładności poprzez zastosowanie tego systemu do symulacji oddziaływania pomiędzy odbierakami prądu i siecią jezdnią tzw. „modelu odniesienia (referencyjnego)”, zdefiniowanego w ww. normie, wraz z określeniem dopuszczalnych zakresów wartości parametrów decydujących o prawidłowej ocenie jakości współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią. Istotne jest położenie nacisku na wyniki symulacji uzyskanych dla prędkości przejazdu na poziomie 250 km/h i 300 km/h, czyli w obszarze „zainteresowania” kolei dużych prędkości.

10.3.2. Pomiary liniowe

Celem prowadzenia pomiarów oddziaływania pomiędzy odbierakami prądu i siecią jezdnią jest uzyskanie potwierdzenia co do jakości i bezpieczeństwa użytkowania systemu odbioru prądu. Ideą przewodnią jest osiągnięcie sytuacji, w której wyniki pomiarów różnych systemów odbioru prądu dają możliwość, na porównywalnej bazie, formalnego zaaprobowania (do-

puszczenia do użytkowania) systemów do ich zastosowania na europejskich liniach kolejowych, których dotyczą wymagania interoperacyjności. Odnosne wymagania prezentuje norma PN-EN 50317:2003 [16].

10.3.2.1. Zestaw mierzonych parametrów

Sprawdzenie zasadniczych parametrów systemu odbioru prądu wymaga dokonania pomiaru co najmniej następującego zbioru parametrów:

- wartości sił stykowych lub czasu przerw styku;
- wartości pionowego uniesienia przewodu jezdnej w punkcie podwieszenia na konstrukcji wsporczej, jako rezultatu współpracy z przejeżdżającym odbierakiem prądu.

Dodatkowo, raporty z testów (jazdy pomiarowych) powinny zawierać informacje dotyczące rejestrowanych w sposób ciągły warunków eksploatacyjnych (prędkość pociągu, jego usytuowanie), warunków środowiskowych (obecność deszczu, śniegu, temperatura, siła wiatru, występowanie tuneli), określenie warunków technicznych przeprowadzonych pomiarów (ilość i dane technicznych czynnych odbieraków prądu, typ sieci jezdnej), dzięki czemu powinna zostać zapewniona powtarzalność i porównywalność uzyskanych wyników.

10.3.2.2. Wymagania dotyczące układów pomiarowych

Wymagane jest zastosowanie do pomiaru wartości sił stykowych sensorów usytuowanych w możliwie najmniejszej odległości od nakładek stykowych odbieraków prądu. W przypadku zastosowania nakładek stykowych umocowanych w sposób mechanicznie wyodrębniony, siły stykowe występujące w każdej z tych nakładek powinny być mierzone oddzielnie.

Istotne jest odpowiednie uwzględnienie wpływu układu pomiarowego na mierzone wielkości sił stykowych. Dotyczy to w szczególności występowania sił aerodynamicznych oddziaływujących na czujniki pomiarowe oraz zakłócającego oddziaływania czujników na mechaniczne właściwości badanego systemu jako rezultatu bezwładności ich mas. Powyższe korekty powinny być uwzględniane na podstawie wyników pomiarów dynamicznych dedykowanych określeniu istotnych właściwości układu pomiarowego. Norma PN-EN 50317:2003 [16] definiuje dopuszczalny poziom zakłócającego oddziaływania układów pomiarowych na wyniki mierzonych wielkości.

Ponadto bardzo istotne jest odpowiednie skalibrowanie systemu pomiarowego, polegające na określeniu, w warunkach laboratoryjnych, funkcji wiążącej zewnętrzne oddziaływanie mechaniczne z wartościami „odpowiedzi” układu pomiarowego, czyli konkretnego odbieraka prądu wyposażonego w niezbędne elementy pomiarowe i transmisyjne.

10.3.2.3. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów odcinka próbnego, który powinien obejmować co najmniej pełną długość odcinka naprężenia sieci jezdnej, powinny zostać opracowane w formie określenia następującego minimalnego zbioru warto-

ści charakteryzujących poziom sił stykowych pomiędzy odbierakami prądu a siecią jezdnią:

- wartość średnia (F_M);
- wartość maksymalna;
- wartość minimalna;
- odchylenie standardowe (σ);
- histogram lub krzywa prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych wartości siły stykowej.

Pomiary pionowego przemieszczenia punktu styku dokonywane są w stosunku do poziomu zamontowania podstawy odbieraka prądu. Norma PN-EN 50317:2003 [16] określa dopuszczalne poziomy uchybów pomiarowych.

Pomiar długości przerw stykowych (czasu występowania łuku elektrycznego pomiędzy nakładkami stykowymi i przewodem jezdny) powinien być dokonywany metodą „bezstykową”, z zastosowaniem czujników promieniowania emitowanego przez materiał przewodu jezdnego (miedź lub jej stopy), w zakresach długości fal zdefiniowanych w normie PN-EN 50317:2003 [16]. Norma ta określa również wymagania dotyczące konstrukcji i usytuowania czujników, a także zasady ich kalibracji.

Minimalny wymagany zbiór wartości mierzonych obejmuje:

- czas trwania każdej z przerw łukowych;
- prędkość pociągu podczas pomiaru;
- wartość prądu przepływającego przez dany odbierak.

Ponadto należy rejestrować lokalizacje (określone poprzez km linii kolejowej), w których wystąpiły przerwy stykowe.

Zmierzone wartości powinny być prezentowane w odniesieniu do zdefiniowanego odcinka pomiarowego. Przyjmuje się, że należy brać pod uwagę przerwy łukowe o czasie trwania powyżej 1 ms i jednocześnie sytuacje (odcinki czasowe), w których wartość prądu płynącego przez odbierak wynosi co najmniej 30% wielkości nominalnej.

Następujące wielkości charakteryzujące odcinek pomiarowy powinny znaleźć się w zbiorze wyników jazdy pomiarowej:

- prędkość pociągu;
- ilość przerw łukowych;
- sumaryczny czas trwania przerw łukowych;
- najdłuższy zarejestrowany czas trwania przerwy łukowej;
- sumaryczny czas przepływu przez odbierak prądu o wartości przekraczającej 30% wielkości nominalnej odniesionej do jednego czynnego odbieraka prądu (w nominalnych warunkach eksploatacji pociągu);
- czas przejazdu odcinka pomiarowego;
- procentowy czas trwania przerw łukowych.

Przyjmuje się następujące dodatkowe warunki uznania wyników pomiarów za reprezentatywne dla danego systemu odbioru prądu i umożliwiające dokonanie spójnej i jednoznacznej oceny:

- długość odcinka pomiarowego powinna wynosić przynajmniej 10 km i powinien on zostać przejechany przez skład pomiarowy ze stałą prędkością (z tolerancją $\pm 2,5$ km/h);
- czas przejazdu w sytuacji przepływu przez odbierak prądu o wartości powyżej 30% poziomu nominalnego powinien być nie krótszy niż czas potrzebny dla przejazdu pełnej długości odcinka naprężenia, przy czym nie może on być przerywany w związku z przejazdem przez odcinki o obniżonej wartości pobieranego z sieci prądu, a prędkość przejazdu powinna być stała.

10.3.3. Określenie zgodności elementów systemu odbioru prądu z wymaganiami interoperacyjności

Dokument TSI „Energia” dla kolei dużych prędkości [5] określa procedury dotyczące oceny zgodności z wymaganiami interoperacyjności dla następujących przypadków:

- sieć trakcyjna – jako składnik interoperacyjności;
- odbierak prądu (górny) – jako składnik interoperacyjności;
- sieć trakcyjna – jako składnik interoperacyjności, instalowana na nowych szlakach kolejowych (integracja z podsystemem);
- odbierak prądu (górny) – jako składnik interoperacyjności, instalowany na nowym taborze.

Procedury te przewidują szerokie wykorzystanie metod symulacji i badań przedstawionych w rozdz.: 10.3.1, 10.3.2.

W omawianym kontekście wydaje się, że wzorem procedur stosowanych w praktyce przez RFF we współpracy z SNCF, racjonalne jest prowadzenie symulacji i badań liniowych w zakresie prędkości osiągających wartość $V_{maks\ ekspl} \times 110\%$, przy czym, szczególnie w przypadku badań liniowych, stosując stopniowe zwiększanie prędkości w trakcie kolejnych przejazdów pomiarowych.

Jak dotąd tego rodzaju filozofię zaprezentowano oficjalnie w treści dokumentu projektu TSI „Energia” dla kolei konwencjonalnych, w odniesieniu do zasad integracji odbieraków prądu z nowym taborzem trakcyjnym.

10.3.4. Nowoczesne technologie pomiarów parametrów współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią linii dużych prędkości

10.3.4.1. IRIS 320

Jest to pociąg pomiarowy (diagnostyczny) będący od czerwca 2006 r. w posiadaniu jednostki infrastrukturalnej SNCF. Jest to wyposażony we własny napęd skład o maksymalnej prędkości eksploatacyjnej na poziomie 320 km/h, która może być zwiększana, w razie wystąpienia takiej potrzeby, do poziomu ok. 350 km/h.

IRIS 320 to odpowiednio wyposażony skład pociągu TGV Réseau (10-wagonowy zestaw oznaczony numerem 4530). Reprezentuje ideę konsoli-

dacji na jednym pojeździe dostępnych funkcji diagnostycznych odnoszących się do:

- jakości współpracy pojazdu z drogą szynową i określenia poziomu komfortu podróży, pomiaru geometrii toru, wykrywania miejscowych uszkodzeń powierzchni tocznej szyn, wykrywania defektów kół pojazdu;
- parametrów elektrycznych obwodów sygnalizacyjnych – zarówno systemów krajowych, jak i wchodzących w skład systemu ERTMS oraz dodatkowo wielkości trakcyjnych prądów powrotnych;
- istotnych parametrów łączności radiowej;
- parametrów dynamicznej współpracy sieci jezdnej z odbierakiem prądu, w tym pomiar długości trwania przerw łukowych, wartości siły stykowej, przemieszczeń w układzie mechanicznym systemu odbioru prądu; w planach znajduje się ponadto uruchomienie powszechnie pożądanej przez podmioty odpowiedzialne za stan techniczny urządzeń sieci trakcyjnej funkcji automatycznego pomiaru stopnia zużycia przewodu jezdnej.

Dane uzyskane podczas jazd pomiarowych mogą być analizowane na bieżąco na pokładzie pociągu oraz transmitowane (poprzez system GPRS) do serwera stacjonarnego, gromadzącego dane dotyczące stanu technicznego infrastruktury najważniejszych francuskich linii kolejowych – sieci linii dużych prędkości (LGV) oraz wybranych magistralnych linii „konwencjonalnych”.



Rys. 10.3.1. Skład IRIS 320 – widok ogólny, stanowisko do obserwacji sieci jezdnej

Wydajność pociągu pomiarowego IRIS 320 ocenia się na ok. 200.000 km przebadanych torów w ciągu roku. Jego wdrożenie pozwoliło na rezygnację z użytkowania floty wagonów pomiarowych o „branżowym” zastosowaniu, o znacznie niższym poziomie dopuszczalnej prędkości jazdy, wyposażonych w aparaturę pomiarową starszych generacji.

Zastosowanie składu IRIS 320 umożliwia skuteczną realizację zarówno funkcji diagnostycznych, jak i funkcji badania parametrów infrastruktury w ramach odbiorów nowo wybudowanych odcinków linii – dzięki pożądanej w zakresie badań odbiorczych możliwości osiągnięcia prędkości maksymalnej na poziomie do ok. 110% prędkości eksploatacyjnej.

Za bardzo istotne cechy opisanej wyżej technologii prowadzenia pomiarów należy uznać:

- uzyskiwanie odpowiednich poziomów prędkości jazdy;
- praktycznie 100-procentowe odwzorowanie rzeczywistych warunków współpracy pojazdów trakcyjnych z krytycznymi elementami infrastruktury drogi kolejowej, w tym z siecią jezdnią – dzięki zastosowaniu składu o kompozycji, charakterystykach dynamicznych i cechach aerodynamicznych bardzo zbliżonych do tych, które prezentują pojazdy użytkowane w codziennej handlowej eksploatacji linii dużych prędkości.

10.3.4.2. V150

Podobną filozofię podejścia do zagadnień związanych z badaniem parametrów współpracy pociągów dużych prędkości z infrastrukturą drogi kolejowej linii LGV reprezentuje skład oznaczony symbolem V150. Stanowi on hybrydowe połączenie technologii budowy pojazdów trakcyjnych stosowanych dotąd w pociągach TGV, polegającej na zastosowaniu krańcowych „głowic napędowych” z przewidywaną do wdrożenia w kolejnych latach technologią napędu „rozproszonego”, określaną symbolem AGV.



Rys. 10.3.2. Zestaw V150 podczas bicia rekordu na linii LGV Est we Francji

Specjalna konstrukcja V150, obejmująca m.in. zainstalowanie silników o zwiększonej w stosunku do „klasycznych” składów TGV mocy i większej średnicy kół napędowych predestynuje V150 szczególnie do wykonywaniajazd pomiarowych z prędkościami znacznie przekraczającymi aktualnieosiągane w ramach normalnej eksploatacji pociągów TGV, czego najbardziej spektakularnym przykładem jest uzyskanie 03.04.2007 r. światowego rekordu prędkości pojazdu poruszającego się na konwencjonalnych szynach, który wynosi 574,8 km/h.

10.3.4.3. „Seneca”

Również w Hiszpanii obecnie na etapie wdrażania przez firmę zarządzającą infrastrukturą linii kolejowych ADIF znajduje się zestaw diagnostyczny, któremu nadano nazwę „Seneca”, przeznaczony do wykonywania przejazdów diagnostycznych i odbiorczych na sieci linii dużych prędkości. Powstał on na bazie jednego z typów pociągów dużych prędkości.



Rys. 10.3.3. Skład pomiarowy „Seneca” – początek eksploatacji linii dużych prędkości Madrid – Barcelona

Powyższe przykłady ilustrują coraz powszechniej uwidaczniającą się tendencję do stosowania przez zarządy kolei zaawansowane w eksploataowaniu linii dużych prędkości narzędzi diagnostycznych w formie odpowiednio wyposażonych pociągów dużych prędkości. Najbardziej istotną cechą tego rodzaju filozofii podejścia do zagadnienia prowadzenia prób eksploatacyjnych, odbiorów, diagnostyki sieci jezdnej jest jak najdoskonalsze odwzorowanie warunków dynamicznych współpracy taboru z elementami infrastruktury, charakteryzujących codzienne warunki eksploatacyjne linii dużych prędkości.

Pomimo niewątpliwie wysokich kosztów budowy i eksploatacji opisywanych zestawów pomiarowych, odwaniana koncepcja wydaje się jedyną dającą realne możliwości wdrożenia procedur utrzymania „prewencyjnego” w miejsce praktyki reagowania na niesprawności ujawniające się w postaci występowania zakłóceń eksploatacyjnych, które w przypadku linii dużych

prędkości w znacząco destrukcyjny sposób wpływają na wizerunek i ekonomiczne rezultaty funkcjonowania systemu.

11. Literatura

1. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska – Dz.U. 2006 nr 129 poz. 902 tekst jednolity z późniejszymi zmianami.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie.
3. Decyzja komisji UE 2008/217/WE z dnia 20 grudnia 2007 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana jako dokument nr C(2007) 6440).
4. Decyzja Komisji UE 2008/232/WE z dnia 21 lutego 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana jako dokument nr C(2008) 648).
5. Decyzja Komisji UE 2008/284/WE z dnia 6 marca 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana jako dokument nr C(2008) 807).
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczególnych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego – Dz.U. 2007 nr 93 poz. 623.
7. PN-EN 50119:2002 Zastosowania kolejowe -- Urządzenia stosowane -- Sieć jezdna górna trakcji elektrycznej (oryg.).
8. PN-EN 50121-1:2006 Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 1: Postanowienia ogólne.
9. PN-EN 50121-2:2004 Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 2: Oddziaływanie systemu kolejowego na otoczenie (oryg.).
10. PN-EN 50121-4:2008 Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 4: Emisja i odporność urządzeń sterowania ruchem kolejowym i urządzeń telekomunikacyjnych.
11. PN-EN 50122-1:2002 Zastosowania kolejowe -- Urządzenia stacyjne -- Część 1: Środki ochrony dotyczące bezpieczeństwa elektrycznego i uziemień.
12. PN-EN 50149:2002 Zastosowania kolejowe -- Urządzenia stacyjne -- Trakcja elektryczna -- Profilowane druty jezdne z miedzi i jej stopów (oryg.).
13. PN-EN 50160:2008 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych (oryg.).
14. PN-EN 50163:2006 Zastosowania kolejowe -- Napięcia zasilania systemów trakcyjnych.
15. PN-EN 50206-1:2002 Zastosowania kolejowe -- Tabor -- Pantografy: Charakterystyki i badania -- Część 1: Pantografy pojazdów linii głównych (oryg.).
16. PN-EN 50317:2003 Zastosowania kolejowe -- Systemy odbioru prądu -- Wymagania dotyczące walidacji wyników pomiarów oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem a siecią jezdnią górną (oryg.).

17. PN-EN 50318:2003 Zastosowania kolejowe -- Systemy odbioru prądu -- Walidacja symulacji oddziaływania dynamicznego pomiędzy pantografem a siecią jezdnią górną (oryg.).
18. PN-EN 50367:2006 Zastosowania kolejowe -- Systemy odbioru prądu -- Kryteria techniczne dotyczące wzajemnego oddziaływania między pantografem a siecią jezdnią górną (w celu uzyskania wolnego dostępu) (oryg.).
19. PN-EN 50388:2008 Zastosowania kolejowe -- System zasilania i tabor -- Warunki techniczne koordynacji pomiędzy systemem zasilania (podstacja) i taborrem w celu osiągnięcia interoperacyjności.
20. 50 kV Autotransformer traction supply system – the French experience. Colloquium organized by IEE, 3 Nov. 1993.
21. A.C. Traction Supplies to British Rail, Electrocitiy Board London, 1984.
22. American Railway Eng. Association, Volume 97, Bulletin 754, January 1996, Proposed 1996 Manual Revision to Chapter 33 – Electrical Energy Utilization.
23. Behrend D., Brodkorb A., Hofmann G., - Berechnungsverfahren für Fahrleitungsimpedanzen. Elektrische Bahnen (1994) H. 4.
24. Behman U. – Operating Power Supply Concept for Madrid-Seville High-Speed Line. Elektrische Bahnen, 5/1990.
25. Bogaert T., Groeman F., Hofmann G., Röhlig S., *Trennstellen AC 25 kV/DC 1,5 kV im Oberleitungsnetz der Niederländischen Bahnen*. In: Elektrische Bahnen (2002), H.6.
26. Borodulin B.M., Veksler M.I, Marskij B.E., Pavlov I.N., *Sistemi tjażowego elektrosnabżeniya 20-25kV*, Transport 1989 Moskwa.
27. Bozkaya H., Shao Z.A., Allan J., Mellitt B., Goodman C.J., *A comparison between autotransformers and booster transformers for AC traction supply*. International conference on Electric Railway Systems for a new century, London 1987.
28. Cai Y., Irving M.R., Case S.H., Modeling and numerical solution of multi-branched DC rail traction power systems, IEE September 1992.
29. Drażek Z, Pyter M.: Warunki napięciowe zasilania taboru w systemie trakcji elektrycznej 25 kV prądu przemiennego. Materiały Międzynarodowej Konferencji: „Badania modelowe i symulacyjne w trakcji elektrycznej”, KE PAN, I El., CNTK, PW, Warszawa, listopad 1993.
30. Hill R.J., Cai Y., PC-based simulation of catenary and rail voltages in complex DC-fed light rail networks, Rail Engineering International Edition 1993.
31. Capasso A., Morelli V. – Elektryfikacja nowych linii kolejowych wysokich prędkości we Włoszech. TTS 2/1996.
32. Carson J.R., Wave propagation in overhead wires with ground return, Bell System Technical Journal, 1925.
33. Chang C.S., Chan T.T, Ho S.L, Lee K.K, Applications and solutions techniques for AC-railway-system control and simulation, IEE Proceedings 1993.

34. W.Eberling i.in., Oberleitungskonzepte und Autotransformersystem, Elektrische Bahnen 2002.
35. Finn J.S. – *The power system for the Channel Tunnel*. Power Eng. Journal, July 1991.
36. Fronczak Z., *Układ zasilania linii PKP prądem zmiennym*, Praca magisterska w Zakładzie Kolei Elektrycznych PW Warszawa 1961.
37. Gałaszewski M., Mierzejewski L., Szelaż A., *System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
38. Van Heijst C.M., Hamels, D., Verfahren zur genauen Berechnung der Energieverluste in einem Gleichstrom-Traktionsnetz, Elektrische Bahnen 78 (1980).
39. Hofmann G., Bemessung und Betriebsführung von Energieversorgungsanlagen elektrischer Bahnen bei Verwendung eines stochastischen Simulationsmodells der elektrischen Bahnbelastung für den ungestörten Betriebsfall, Praca habilitacyjna, Vfv, Dresden 1986.
40. Horvath V., Varju G. – Das 2x25kV Bahnstromversorgungssystem bei den Ungarischen Staatsbahnen. EB 89 (1991) 12.
41. Howroyd D.C – Public-supply system distortion and unbalance from single-phase a.c. traction. Proc. Of IEE, 10/1997.
42. Hungarian State Railways System design of the electric power supply of 2x25kV for the railways, 1986.
43. Karjakin R.N., Tjagovyje sieti pieriemienno toka, Transport, Moskva 1987.
44. Knesche T. – Voltage flickers calculations for single –phase AC railroad electrification systems. IEEE/2003.
45. Kneschke T., *Simple method for determination of substation spacing for AC and DC electrification systems*, IEEE transactions on industry application vol. IA-22 No. 4, July/August 1986.
46. Kneschke T.A., Natarajan R., Lopez M.A., Bucci R.M. , Hong J., Naqvi W. – Short circuit currents of the SEPTA's traction power distribution system, IEEE/1994.
47. Kneschke T.A., Natarajan R., Naqvi – Impedance calculations for SEPTA's rail Power distribution system. IEEE/1995.
48. Krakowski M., *Obwody ziemnopowrotne* WNT Warszawa 1979.
49. Krocak M. - *Symulacja funkcjonowania zelektryfikowanej linii kolejowej o złożonej strukturze sieci zasilającej* – rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej, 2008.
50. Mariscotti A., Pozzobon P. – Harmonic distortion and electromagnetic interference in electric rail transport systems. MET'2003 Conference Warsaw.
51. Markvardt K.G., Energosnabżenie elektriceskich żeleznych darog, Izdatielstvo "Transport", Moskva 1965.

52. R. Matusiak, L. Mierzejewski, A. Szelać, Z. Drażek - Koncepcja studialna modyfikacji układu zasilania trakcji elektrycznej na CMK dla prędkości 200-250 km/h. CNTK 1991.
53. Morrisom R.E. – Parameters that influence Power Quality on Industrial Frequency AC traction systems. IEEE/204.
54. Petterson G.A, Svensson S., Compensation from rails, return conductor and booster transformers of induction caused by electrified railways TELE61.
55. Pilo E., Erouco L., Fernandez A., *A reduced representation of 2x25kV electrical systems for high-speed railway*, Universidad Pontificia Comillas, Madrid 2002.
56. Praca zbiorowa, 50 Hz Single Phase A.C. Electrification, Immunisation of signalling and telecommunication systems against electrical interference, British Railways Board, London 1979.
57. Proceedings of First Residential Course on Railway Electrification Infrastructure Systems, UK, 9-13 June 2003.
58. Railway Electrification. 25kV AC design on British Railways.
59. Praca zbiorowa *Railway electrification*, Japanese National Railways, 1983.
60. Rosen A., Interference in railway line – side telephone cable circuits from 25 kV 50 c/s traction systems Reprinted from A.T.E. Journal 1959, British insulated callender's limited, London 1959.
61. Schmidt P., *Energieversorgung elektrischer Bahnen*. Transpress, Berlin, 1988.
62. Szelać A., Algorithms and tools for analysis of electrified railway line, University Power Engineering Conference, UPEC'93 Staffordshire Univ., 21-23 IX 1993, UK.
63. Szelać A., Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 2002.
64. Sutherland P.E. – *System Impacts Evaluation of a Single-Phase Traction Load on a 115-kV Transmission System* IEEE Tr. On Power Delivery, vol. 21, no 2, April 2006.
65. Sturland R.W. – Traction power supplies. GEC Alsthom.
66. Tsai-Hsiang Chen – Simplified Models of Electric Railway Substations for Three-Phase Power-Flow Studies. 1994/IEEE.
67. Tsai-Hsiang Chen – *Criteria to Estimate the Voltage Unbalances due to High-Speed Railway Demands*. IEEE/1994.
68. Uzuka T., Mochinaga Y., Hase S. – Principle Theory of Single Phase Feeding Power Conditioner for AC traction. RTRI Report , Japan.
69. Wende D., *Fahrdynamik der Schienenfahrzeuge*, Springer Verlag 2002.
70. White, R., AC railway electrification supply systems and protection, Six residential course on electric traction systems, University of York 2001.

71. Wong K.T. – Unbalance and harmonic studies for the Channel Tunnel railway system.
72. Kaminski B., Mierzejewski L., Szelać A., Gert-Jan van Alphen, Freliszka J.- *Power supply and Remote controls of fixed installations for electric traction system on railway network* Project: EUROPEAID/112846/D/SV/SI, The Republic of Slovenia Technical Assistance for the implementation of GSM-R,ERTMS/ETCS system and remote control of fixed installations for electric traction system on railway network.
73. Praca zbiorowa: PW IME Zakład Trakcji Elektrycznej, CBP-BBK „Kolprojekt” sp. z o.o. – Ekspertyza naukowo-techniczna dla projektu rozmieszczenia konstrukcji wsporczych na odcinku Góra Włodowska – Zawiercie linii CMK dla podwieszenia sieci jezdnej zasilanej napięciem 3 kV DC, a w przyszłości do wykorzystania ich do wywieszenia sieci jezdnej 2×25 kV AC przystosowanej do prędkości $V \leq 350$ km/h. Warszawa 2007 r.

12. Informacje o zespole autorsko-konsultacyjnym

W opracowaniu dokumentu uczestniczyły następujące osoby:

prof. nzw. dr hab. inż. Adam Szeląg

doc. dr inż. Leszek Mierzejewski

dr inż. Tadeusz Maciołek

dr inż. Maciej Krocza

dr inż. Paweł Korobłowski

mgr inż. Joanna Futymka

inż. Zbigniew Siennicki – koordynator projektu z ramienia CBP-BBK „KOL-PROJEKT” Spółka z o.o.

mgr inż. Radosław Burak-Romanowski – koordynator projektu z ramienia PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.