

Dr inż. Artur Rojek
Instytut Kolejnictwa

WYBRANE PROBLEMY ZWIĄZANE Z ZASTOSOWANIEM W POLSCE SYSTEMU ZASILANIA TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ 2 X 25 KV 50 HZ

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Rozwój Kolei Dużych Prędkości w Polsce
3. Podstawowe parametry systemu zasilania linii dużych prędkości
4. Oddziaływanie podstacji w systemie 2 x 25 kV na system elektroenergetyczny
5. Przewidywany rozwój krajowej sieci przesyłowej w aspekcie zaspokojenia zapotrzebowania KDP na energię
6. Zapotrzebowanie na moc przez KDP a plany rozwoju krajowego systemu energetycznego
7. Sieć trakcyjna w systemie zasilania linii dużych prędkości
8. Podsumowanie

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wybrane problemy wprowadzania systemu zasilania trakcji elektrycznej 2 x 25 kV 50 Hz, podstawowo przeznaczonego do zasilania pociągów na liniach dużych prędkości. Jeden z punktów poświęcono rozwojowi systemu KDP do 2040 r. i porównano go z istniejącymi i planowanymi przez PSE przebiegami linii 220 kV i 400 kV. Scharakteryzowano zakres prac związany z budową linii najwyższych napięć, przeznaczonych do zasilania linii KDP, w tym linii Y i CMK. Przedstawiono przewidywane zapotrzebowanie na moc przez system KDP oraz oddziaływanie systemu 2 x 25 kV 50 Hz na system elektroenergetyczny. Opisano minimalne wymagania stawiane systemowi elektromagnetycznemu oraz metody ograniczania asymetrii systemu. Porównano obciążenia konstrukcji wsporczych w systemach 3 kV DC i 2 x 25 kV AC.

1. WSTĘP

System zasilania trakcji elektrycznej jest największym odbiorcą energii elektrycznej. Jednak jest to odbiorca o licznych i rozproszonych punktach przyłączenia do systemu elektroenergetycznego, niejednokrotnie zlokalizowanych w terenie słabo zurbanizowanym, w znacznych odległościach od infrastruktury rozdzielczo-przesyłowej dystrybutorów energii elektrycznej. Dlatego rozwój systemu kolejowego musi uwzględniać rozbudowę krajowego układu elektroenergetycznego, choć w wielu przypadkach plany rozwoju tych dwóch gałęzi gospodarki nie są wystarczająco silnie powiązane ze sobą.

W artykule przedstawiono i porównano ze sobą plany rozwoju Kolei Dużych Prędkości w Polsce oraz krajowego systemu elektroenergetycznego. Porównanie to pozwoli odpowiedzieć na pytanie, czy planowany rozwój systemu elektroenergetycznego jest wystarczający do zaspokojenia potrzeb wynikających z budowy Kolei Dużych Prędkości w Polsce.

2. ROZWÓJ KOLEI DUŻYCH PRĘDKOŚCI W POLSCE

W ramach opracowywanego dla PKP PLK S.A. „Kierunkowego programu rozwoju Kolei Dużych Prędkości w Polsce do roku 2040” [5] zakłada się budowę w naszym kraju około 3,05 tys. km linii KDP. Zaproponowaną w tym opracowaniu sieć KDP tworzą przede wszystkim odcinki nowo budowanych linii kategorii I, czyli specjalnie zbudowanych linii kolejowych dużych prędkości, przystosowanych do rozwijania prędkości zwykle równej lub większej niż 250 km/h.

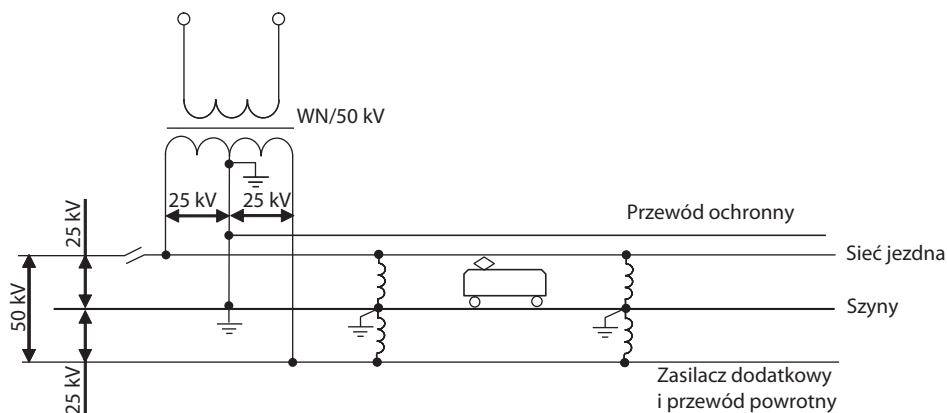
Rozpatrywana sieć Kolei Dużych Prędkości ma obejmować 12 linii dużych prędkości kategorii I:

1. CMK z przedłużeniem na południe Polski (LDP 1),
2. Linia Warszawa – Łódź – Wrocław / Poznań (LDP 2),
3. Przedłużenie „Y” na zachód Poznań – Berlin (LDP 3),
4. Przedłużenie „Y” Wrocław – Lubawka – Praga (LDP 4),
5. Przedłużenie CMK na północ Polski (LDP 5),
6. Linia Toruń – Bydgoszcz – Szczecin (LDP 6),
7. Linia Kraków – Opole – Wrocław (LDP 7),
8. Linia Warszawa – Lublin – Rzeszów / Dorohusk (– Kijów) / Hrebenne (– Lwów) (LDP 8),
9. Linia Podłęże – Piekiełko – Nowy Targ / Muszyna (LDP 9),
10. Linia Gniezno – Bydgoszcz – Grudziądz (LDP 10),
11. Linia Włocławek – Kutno – Łódź – Piotrków Trybunalski – Kielce (LDP 11),
12. Linia Warszawa – Terespol (– Moskwa) (LDP 12).

Dla wielu z tych linii są planowane przebiegi wariantowe.

3. PODSTAWOWE PARAMETRY SYSTEMU ZASILANIA LINII DUŻYCH PRĘDKOŚCI

Zgodnie z zapisami TSI dla podsystemu „Energia” kolei dużych prędkości [1] oraz normy PN EN 50388 [9], interoperacyjne linie dużych prędkości kategorii I (o prędkości 300 km/h i większej) powinny być zasilane w systemie 25 kV 50 Hz lub 15 kV 16 ²/₃ Hz. Ze względu na częstotliwość planuje się, że linie dużych prędkości w Polsce będą zasilane w systemie 2 x 25 kV 50 Hz (rys. 1).



Rys. 1. Uproszczony schemat układu zasilania trakcji elektrycznej w systemie 2 x 25 kV 50 Hz

W tym systemie transformatory zainstalowane w podstacjach trakcyjnych mają dwa uzwojenia wtórne o napięciu 25 kV (27,5 kV) każde, których wspólny środkowy zacisk jest uziemiony i połączony z szynami oraz przewodem powrotnym. Koniec jednego z uzwojeń jest połączony z siecią jezdnią, a drugiego z dodatkowym przewodem zasilającym. Pomiędzy podstacjami są zainstalowane autotransformatory rozmieszczone w odległościach od kilku do kilkunastu kilometrów od siebie. Są one włączone między sieć jezdnią a dodatkowy przewód zasilający. W wyniku tego napięcie pomiędzy siecią trakcyjną a szynami jezdniowymi wynosi 25 kV, a przesył energii z podstacji do autotransformatorów odbywa się na poziomie 55 kV. Pozwala to na zmniejszenie spadków w układzie zasilania oraz zwiększenie odległości pomiędzy podstacjami trakcyjnymi.

Zgodnie z normą PN EN 50388 [9], podstacje powinny być wyposażone w transformatory o mocy 20–60 MVA, a odległość między podstacjami nie powinna przekraczać 45 km. W każdej podstacji powinny być zainstalowane minimum dwa transformatory. W normalnych warunkach pracy jeden transformator zasilają około połowy długości odcinka linii przypadającej na daną podstację. Moc transformatorów jest określana ze 100% rezerwą, co pozwala na zasilanie całego odcinka zasilania z jednego transformatora, w przypadku konieczności wyłączenia drugiego.

Innymi parametrami, którymi powinien charakteryzować się system zasilania interoperacyjnej linii dużej prędkości są:

- maksymalny prąd pociągu – 1 500 A,
- średnie napięcie użyteczne na pantografie – 22 500 V,
- napięcie w sieci trakcyjnej [8]:
 - nominalne U_n – 25 000 V,
 - najwyższe trwałe U_{max1} – 27 500 V,
 - najwyższe nietrwałe U_{max2} ($t \leq 5$ min) – 29 000 V,
 - najniższe trwałe U_{min1} – 19 000 V,
 - najniższe nietrwałe U_{min2} ($t \leq 2$ min) – 17 500 V.

4. ODDZIAŁYWANIE PODSTACJI W SYSTEMIE 2 X 25 KV NA SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY

Zasilanie sieci trakcyjnej w systemie 25 kV 50 Hz odbywa się w układzie jednofazowym, przy zasilaniu podstacji z układu trójfazowego. Powoduje to niejednakowe obciążenie poszczególnych faz przez podstacje. Nierównomierność obciążenia jest zmienna – zależna od ruchu i mocy pociągów. Jest to przyczyną wprowadzania asymetrii do systemu elektroenergetycznego, która nie może przekraczać 1%.

Najprostszym rozwiązaniem stosowanym w podstacjach w systemie 2×25 kV jest zastosowanie transformatorów jednofazowych. Uproszczony schemat podstacji z transformatorami jednofazowymi pokazuje rysunek 2. Układ odłączników po stronie pierwotnej transformatorów pozwala na wybór fazy, z której dany transformator będzie zasilany. Transformatory jednofazowe wprowadzają asymetrię, której wartość można wyznaczyć z zależności:

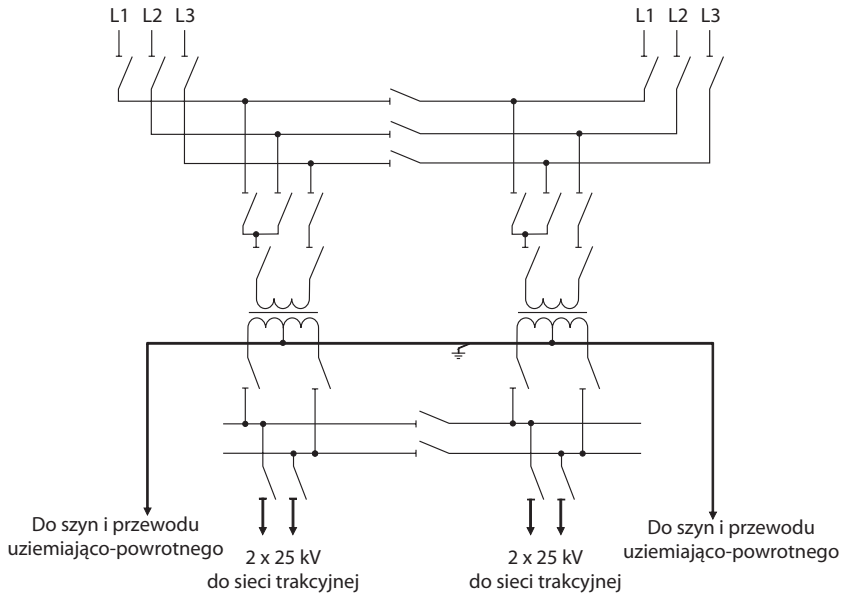
$$nps = \frac{S_t}{S_{zw}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

gdzie: S_t – moc transformatora,

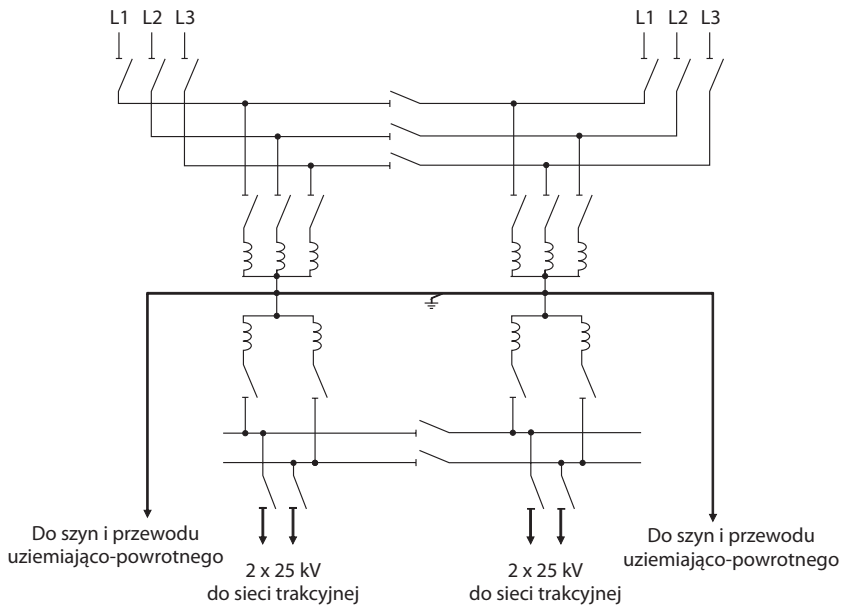
S_{zw} – moc zwarciova systemu elektroenergetycznego w punkcie zasilania podstacji.

Aby asymetria nie przekroczyła 1%, moc zwarciova systemu powinna mieć wartość powyżej 6 GVA przy założeniu, że moc transformatora może osiągać wartość 60 MVA. Tak wysokie wartości mocy zwarciovej w Polsce osiągnane są na poziomie 400 kV i tylko w niewielu punktach systemu elektroenergetycznego na poziomie 220 kV.

Rozwiązaniem pozwalającym na ograniczenie wprowadzania asymetrii jest zastosowanie w podstacjach w systemie 2×25 kV transformatorów typu V. Uzwojenie pierwotne tego typu transformatora jest trójfazowe, a wtórne – dwufazowe. Uproszczony schemat podstacji z transformatorami tego typu pokazano na rysunku 3.



Rys. 2. Uproszczony schemat podstacji trakcyjnej w systemie 2 x 25 kV z transformatorami jednofazowymi



Rys. 3. Uproszczony schemat podstacji trakcyjnej w systemie 2 x 25 kV z transformatorami typu V

Transformatory typu V wprowadzają asymetrię, której wartość można wyznaczyć z zależności:

$$nps = \sqrt{3k^2 - 3k + 1} \cdot \frac{S_t}{S_{zw}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

W systemie 2 x 25 kV można przyjąć, że uzwojenia wtórne są obciążane jednakowo. Minimalne różnice obciążenia uzwojeń wynikają z faktu zasilania odbiorów nietrakcyjnych z sieci trakcyjnej, czyli z jednego z uzwojeń. Jeżeli na każde uzwojenie wtórne przypada połowę obciążenia całkowitego transformatora, czyli:

$$k = \frac{S_{t1}}{S_t} = \frac{S_{t2}}{S_t} = 0,5, \quad (3)$$

gdzie: S_t – moc transformatora,

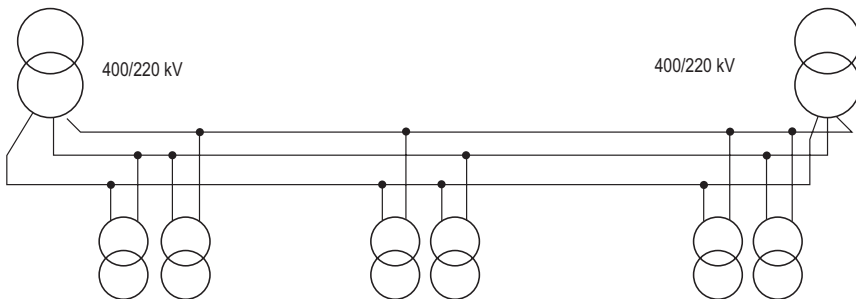
S_{t1}, S_{t2} – moc uzwojenia wtórnego;

wówczas:

$$nps = 0,5 \cdot \frac{S_t}{S_{zw}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Z tego wynika, że aby asymetria nie przekroczyła 1%, moc zwarciowa systemu powinna mieć wartość powyżej 3 GVA przy transformatorach o mocy 60 MVA. Moc zwarciowa na tym poziomie występuje dla napięć 220 kV i większych.

Kolejnym rozwiązaniem pozwalającym na ograniczenie oddziaływania podstacji na system elektroenergetyczny jest zasilanie kilku podstacji z wydzielonej linii WN. W podstacjach tych powinno pracować $3n$ transformatorów ($n = 1, 2, 3 \dots$) zasilanych naprzemiennie z różnych faz (rys. 4). Pociągi są zasilane z różnych transformatorów, obciążając wszystkie fazy układu elektroenergetycznego. W idealnych warunkach może wystąpić sytuacja, że trzy transformatory zasilane z różnych faz są obciążone takim samym prądem, co pozwala osiągnąć symetryczne obciążenie systemu elektroenergetycznego.

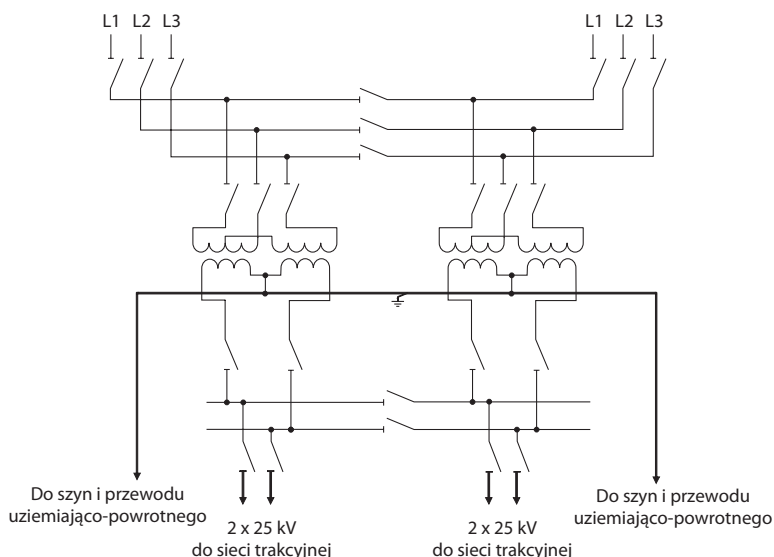


Rys. 4. Zasilanie podstacji w systemie 25 kV z wydzielonej linii

Zastosowanie transformatorów w układzie, jak np. Scott'a (rys. 5) pozwala zminimalizować niesymetryczne obciążenie systemu elektroenergetycznego. Asymetria wprowadzana do systemu przy zastosowaniu tego typu transformatorów wynosi:

$$nps = (2k - 1)^2 \cdot \frac{S_t}{S_{zw}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Jak wspomniano, w systemie 2 x 25 kV można przyjąć, że uzwojenia wtórne są obciążane jednakowo, a więc zgodnie z zależnością (3) współczynnik $k = 0,5$. Wówczas $nps \approx 0$, co pozwala na zasilanie nawet pojedynczych podstacji z układów o stosunkowo małej mocy zwarciowej, występującej na poziomie 110 kV.



Rys. 5. Uproszczony schemat podstacji trakcyjnej w systemie 2 x 25 kV z transformatorami w układzie Scott'a

Wadą tego rozwiązania jest koszt transformatorów w układzie Scott'a, których konstrukcja jest skomplikowana. Ponadto fazy napięć wtórnych są przesunięte względem siebie o 90° , co powoduje, że w układzie zasilania są dwa napięcia 25 kV, lecz przesył energii z podstacji do autotransformatorów odbywa się na poziomie około 39 kV, a nie 55 kV.

5. PRZEWIDYWANY ROZWÓJ KRAJOWEJ SIECI PRZESYŁOWEJ W ASPEKTCIE ZASPOKOJENIA ZAPOTRZEBOWANIA KDP NA ENERGIĘ

Zasilanie podstacji trakcyjnych Kolei Dużych Prędkości kategorii I powinno się odbywać ze stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć, tj. 400 kV i 220 kV. Ze względu

na możliwość niekorzystnego oddziaływania odbiorów kolejowych na krajowy system energetyczny, preferowane są stacje rozdzielcze najwyższej mocy. Pod względem przydatności do zasilania podstacji trakcyjnych Kolei Dużych Prędkości oraz przewidywanych nakładów inwestycyjnych, stacje te można uszeregować następująco:

- stacje rozdzielcze 400 kV w pobliżu elektrowni,
- stacje rozdzielcze 400 kV węzłowe,
- pozostałe stacje rozdzielcze 400 kV,
- stacje rozdzielcze 220 kV węzłowe,
- pozostałe stacje rozdzielcze 220 kV,
- nowe stacje rozdzielcze 400 lub 220 kV wybudowane na potrzeby kolei w pobliżu linii krajowej sieci przesyłowej,
- nowe stacje rozdzielcze 400 lub 220 kV wraz z liniami przesyłowymi wybudowane na potrzeby kolei.

Na rysunku 6 (trzecia strona okładki) przedstawiono przebiegi planowanych linii dużych prędkości kategorii I oraz trasy obecnych i przewidywanych linii elektroenergetycznych najwyższych napięć (220 i 400 kV). Trasy linii elektroenergetycznych naniesiono na podstawie analizy dokumentów [2, 3, 4, 6, 7, 10, 12]. Mapa została uzupełniona o linie i stacje elektroenergetyczne, które będą konieczne do zasilania podstacji trakcyjnych kolei dużych prędkości.

Analiza porównawcza obecnego, jak i planowanego układu krajowego systemu elektroenergetycznego oraz zakładanego przebiegu linii kolejowych dużych prędkości zasilanych w systemie 2 x 25 kV AC wykazała, że potrzebne są dodatkowe linie elektroenergetyczne o napięciu 220 lub 400 kV oraz zmiana przebiegu kilku planowanych linii 400 kV. W związku z tym będzie konieczna budowa następujących, dodatkowych linii elektroenergetycznych o napięciu 220 lub 400 kV:

1. Morczyn – Stargard Szczeciński – Piła,
2. Jasieniec – Gniezno – Pątnów,
3. Elbląg – Rybno,
4. Sochaczew – Olszamowice,
5. Olszamowice – Bukowno – Tucznawa,
6. Dobrzeń – Opole – Tarnowskie Góry – Rokitnica,
7. Siedlce – Terespol,
8. Terespol – Chełm,
9. Jędrzejów – Maciejowice – Skawina.

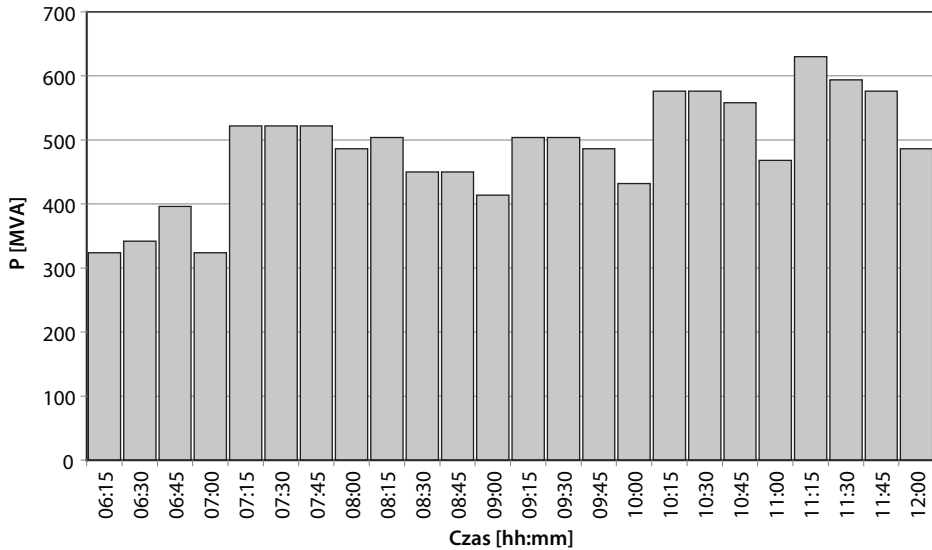
Łączna długość tych linii wyniesie około 970 km, a ich zasilanie będzie wymagać budowę lub rozbudowę 19 stacji elektroenergetycznych. Docelowa długość i liczba dodatkowych linii elektroenergetycznych będzie uzależniona od wyboru wariantów przebiegu linii Kolei Dużych Prędkości kategorii I.

6. ZAPOTRZEBOWANIE NA MOC PRZEZ KDP A PLANY ROZWOJU KRAJOWEGO SYSTEMU ENERGETYCZNEGO

Planowanie przedsięwzięć rozwojowych sieci przesyłowej prowadzi się na podstawie przepisów ustawy „Prawo energetyczne”, „Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej”, przepisów ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, szeroko rozumianego prawa ochrony środowiska oraz norm i standardów. Ponadto, planowanie przedsięwzięć rozwojowych odbywa się na podstawie prognoz potrzeb odbiorców. Planowane przedsięwzięcia rozwojowe sieci przesyłowej najwyższych napięć są określone w opracowanym w sierpniu 2009 r. dokumencie Spółki pt. „Plan rozwoju PSE-Operator S.A. w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2010–2025”. Obecnie dokument jest uzgadniany z Prezesem Urzędu Regulacji Energetyki. Realizacja tego planu pozwoli między innymi na:

- pokrycie prognozowanego do 2025 r. zapotrzebowania na moc i energię elektryczną,
- przyłączenie do sieci elektroenergetycznej odnawialnych źródeł energii (OZE) o łącznej mocy ponad 10 000 MW, wynikającej z celów pakietu klimatycznego,
- przyłączenie do sieci przesyłowej źródeł konwencjonalnych o mocy blisko 13 000 MW,
- stworzenie płaszczyzny rozbudowy sieci pozwalającej na planowanie przyłączenia energii jądrowej,
- zwiększenie pewności zasilania obszarów metropolii przez zmiany strukturalne układów zasilania w newralgicznych obszarach kraju,
- ograniczenie przepływów karuzelowych na połączeniu z systemem niemieckim,
- realizację zmian strukturalnych układów zasilania poszczególnych województw,
- realizację połączeń transgranicznych, wynikających z podpisanych umów międzyrządowych.

Na podstawie przyjętej w pracy [5] liczby pociągów oraz czasu ich jazdy szacuje się, że 15-minutowa maksymalna, łączna moc, pobierana przez pociągi na linach dużych prędkości w czasie największego nasilenia ruchu w obydwu kierunkach, nie powinna przekroczyć 630 MW, co pokazano na rysunku 7. Z uwagi na jednakową częstotliwość ruchu na poszczególnych liniach i relacjach od godziny 6 do godziny 20, na rysunku przedstawiono tylko pierwsze 6 godzin. Przyjmując, że liczba pociągów w kolejnych latach może wzrosnąć o 50% oraz zakładając moc odbiorów nietrakcyjnych na poziomie 120 MVA, maksymalna moc 15-minutowa pobierana przez system zasilania kolei dużych prędkości nie powinna przekroczyć 1,1 GW. Przy planowym włączeniu do krajowego systemu elektroenergetycznego konwencjonalnych i odnawialnych źródeł energii o łącznej mocy 23 GW, zapotrzebowanie na moc przez koleje dużych prędkości powinno być zaspokojone.

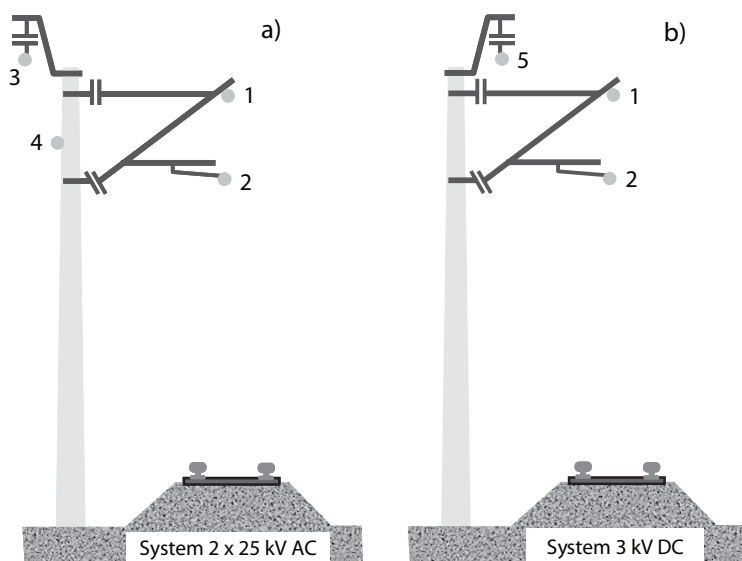


Rys. 7. Szacowane wartości mocy 15-minutowej pobieranej z systemu elektroenergetycznego przez pociągi dużych prędkości

7. SIĘĆ TRAKCYJNA W SYSTEMIE ZASILANIA LINII DUŻYCH PRĘDKOŚCI

Często uważa się, że skoro w systemie 25 kV AC poziom napięcia jest ponad ośmiokrotnie wyższy niż w systemie 3 kV DC, a więc prądy są mniejsze, to sieć trakcyjna jest lżejsza i ma prostszą budowę. Jest to częściowo błędne przekonanie. Szkice sieci trakcyjnej w obydwu systemach są pokazane na rysunku 8.

Bez względu na system, podstawowymi elementami sieci trakcyjnej jest lina nośna i przewód lub przewody jezdne. W systemie 25 kV AC liny nośne mają przekrój do 120 mm², a w systemie 3 kV do 150 mm². Przewody jezdne w obydwu systemach mają przekrój do 150 mm², przy czym w systemie 3 kV są to dwa przewody. Kolejną istotną różnicą jest materiał przewodów i lin nośnych. W systemie 25 kV przewody jezdne mogą być naciągnięte z siłą rzędu 31,5 kN (15 kN w systemie 3 kV DC), a liny nośne z siłą rzędu 21 kN. Z tego względu, w systemie 25 kV stosuje się stopy miedzi – brąz BzII na liny nośne i CuMg na przewody jezdne. Powoduje to, że przewodność sieci jezdnej jest znacznie mniejsza. Przykładowo, przewód jezdny ze stopu CuMg0,5 ma o ponad 56% większą rezystancję w stosunku do przewodu z miedzi lub miedzi srebrowej (CuAg0,10). Dodatkowo w systemie 25 kV AC oprócz rezystancji sieci występuje jej reakcja, która jest zależna od indukcyjności sieci i częstotliwości napięcia – 50 Hz. Powoduje to, że straty energii w sieci trakcyjnej w systemie 25 kV AC są relatywnie większe niż w przypadku sieci w systemie stałoprądowym, z przewodami jezdnyymi i linami nośnymi wykonanymi z miedzi.



Rys. 8. Rozmieszczenie na słupie elementów sieci trakcyjnej:

a) w systemie 2 x 25 kV; b) w systemie 3 kV DC:

- 1) linia nośna, 2) przewód jezdny, 3) zasilacz dodatkowy,
- 4) przewód uziemiająco-powrotny, 5) linia uszynienia grupowego

Oprócz lin nośnych i przewodów jezdnych, sieci trakcyjne są wyposażone w dodatkowe liny i przewody. W sieci w systemie 2 x 25 kV na konstrukcji wsporczej prowadzony jest zasilacz dodatkowy oraz przewód uziemiająco-powrotny. Powoduje to, że konstrukcje wsporcze w tym systemie są obciążone w takim samym lub większym stopniu niż w systemie 3 kV DC, pomimo zainstalowania liny uszynienia grupowego.

8. PODSUMOWANIE

Budowa linii Kolei Dużych Prędkości wymaga dostarczenia do podstacji trakcyjnych energii na poziomie napięć 220 lub 400 kV. Poziom tych napięć jest niezbędny do zapewnienia odpowiedniej mocy zwarciowej w punktach zasilania systemu elektrotrakcyjnego, co bezpośrednio wpływa na odporność systemu na niesymetryczne obciążenie. W zależności od parametrów systemu elektroenergetycznego istnieje kilka rozwiązań zmniejszających poziom asymetrii, wynikający ze specyfiki układu zasilania trakcji elektrycznej w systemie 2 x 25 kV AC.

Budowa KDP musi być skorelowana z planami rozbudowy systemu elektroenergetycznego, tak aby ograniczyć potrzebę budowy linii 220 i 400 kV tylko na potrzeby zasilania podstacji trakcyjnych. Jednocześnie można założyć, że jeżeli plany rozwoju PSE zostaną zrealizowane, wówczas zapotrzebowanie na moc przez KDP powinno być zaspokojone.

Budowa KDP pociąga za sobą konieczność budowy nowych typów sieci trakcyjnej. Pomimo mniejszych przekrojów sieci trakcyjnych w systemie 2 x 25 kV AC, należy się liczyć z tym, że ich konstrukcje będą miały parametry wytrzymałościowe takie, jak w systemie 3 kV DC lub lepsze. Jest to spowodowane znacznie większymi naciągami przewodów jezdnych i lin nośnych oraz dodatkowych przewodów (np. zasilaczy dodatkowych i kabli uziemiająco-powrotnych).

BIBLIOGRAFIA

1. Decyzja Komisji 2008/284/WE z dnia 6 marca 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. Dz.Urz. UE L104/1 z 14.04.2008.
2. *Ekspercki projekt Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju do roku 2033*. Warszawa, grudzień 2008 r.
3. *Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej – Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci – Wersja 1.2 – Tekst jednolity obowiązujący od 5.11.2007 r.* – PSE Operator S.A.
4. Kasprzyk S.: *Program polskiej energetyki jądrowej. Najkorzystniejsze lokalizacje, moce w tych lokalizacjach, rozwój i modernizacja linii i rozdzielni najwyższych napięć*. „Energetyka”, 2009, nr 8.
5. *Kierunkowy program rozwoju Kolei Dużych Prędkości w Polsce do roku 2040*. Praca CNTK nr 4389/11, Warszawa, 2010.
6. Malko J., Parczewski Z.: *Przestrzenne uwarunkowania i potrzeby terytorialne związane z rozwojem systemów technicznej infrastruktury energetycznej – rekomendacje dla KPZK*. Komitet Problemów Energetyki. Polska Akademia Nauk, 2008.
7. *Planowane inwestycje a bezpieczeństwo energetyczne*. Rozmowa z profesorem Janem Popczykiem z Politechniki Śląskiej. „Nowa Energia”, 2009, nr 1.
8. PN-EN 50163:2006. *Zastosowania kolejowe – Napięcia zasilania systemów trakcyjnych*.
9. PN-EN 50388:2008. *Zastosowania kolejowe – System zasilania i tabor – Warunki techniczne koordynacji pomiędzy systemem zasilania (podstacja) i tarem w celu osiągnięcia interoperacyjności*.
10. *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku* (Projekt z dnia 05-03-2009 Wersja nr 4) – Ministerstwo Gospodarki. Warszawa, marzec 2009 r.
11. Rojek A.: *Rozwój krajowego systemu elektroenergetycznego w aspekcie zasilania kolei dużych prędkości*. XIV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEM-TRAK 2010, Zakopane, 2010.
12. Rojek A.: *System zasilania linii dużych prędkości w Polsce – wybrane problemy*. VI Konferencja „Nowoczesne technologie w realizacji projektów inwestycyjnych transportu kolejowego, Jurata 27–29 kwietnia 2011.
13. Węgliński J., Tarwacki T.: *Planowanie rozwoju sieci przesyłowej i dystrybucyjnej 110 kV*. „Elektroenergetyka – współczesność i rozwój”, 2009, nr 2.