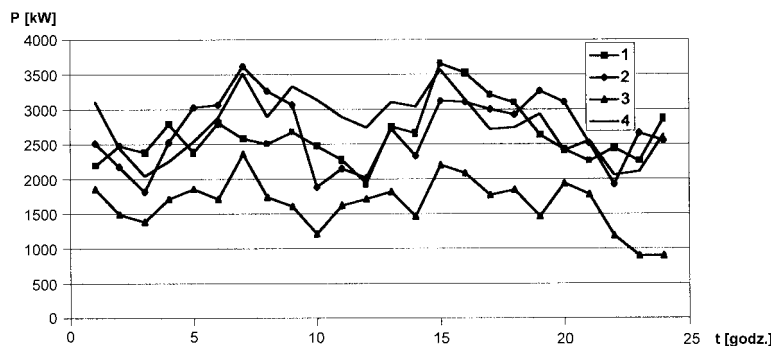


O wybranych aspektach prognozowania obciążeń podstacji trakcyjnych

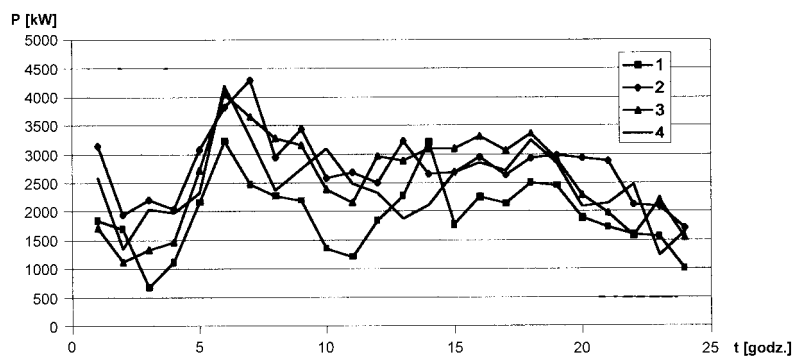
Zasady rozliczeń w obrocie energią elektryczną, a także taryfy energii elektrycznej wykazują, że o kosztach użytkowania energii elektrycznej decydują:

- ilość energii elektrycznej dostarczonej odbiorcy w poszczególnych strefach czasowych,
- moc przyłączeniowa określona w umowie sprzedaży energii elektrycznej,
- przekroczenie mocy czynnej ($P_{15 \max}$) ponad moc przyłączeniową.

Celowe jest więc w dalszym ciągu dążenie nie tylko do ograniczenia zużycia energii elektrycznej, którego efektem



Rys. 1. Przebiegi obciążenia podstacji trakcyjnej Pawłowice w środę marca 1998 r.



Rys. 2. Przebiegi obciążenia podstacji trakcyjnej Gliwice w środę marca 1998 r.

będzie ograniczenie mocy przyłączeniowej, lecz także do ograniczenia poziomu i liczby przekroczeń mocy czynnej ponad moc przyłączeniową. Kształtująca się giełda energii elektrycznej pozwala na składanie zleceń zakupu energii elektrycznej na wybrane godziny następnej doby, co daje możliwość zakupu energii na pokrycie obciążeń szczytowych, w celu ograniczenia kosztów użytkowania energii. W celu dokonania trafnych zakupów energii elektrycznej konieczna jest znajomość przebiegów obciążeń podstacji trakcyjnych w następnej dobie, czyli możliwość trafnego prognozowania obciążenia. Zagadnienia te stanowią temat prac własnych, realizowanych w Zakładzie Inżynierii Elektrycznej Instytutu Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Prognozowanie obciążeń podstacji trakcyjnych bazujące na wynikach obliczeń symulacyjnych

W elektroenergetyce jedną z metod prognozowania obciążeń jest metoda oparta na analizie obciążeń występujących w tych samych dniach kolejnych tygodni. Dokonano porównania przebiegów obciążenia podstacji trakcyjnych wśród miesiąca marca 1998 r. (rys. 1 i 2), w celu stwierdzenia w jakim stopniu przebiegi te są powtarzalne. Przebiegi obciążenia przedstawione na rysunkach oraz zestawione w tablicach wskazują, że przedstawiona metoda prognozowania może być przydatna dla Zakładów Elektroenergetyki PKP, szczególnie w odniesieniu do podstacji trakcyjnych zasilających linie kolejowe o przewadze przewozów pasażerskich (rys. 2), realizowanych zgodnie z rozkładem jazdy. Przebiegi obciążenia przedstawione na rysunku 1 i zestawione w tablicy 2 odnoszą się do podstacji, której obciążenia związane są z ruchem towarowym charakteryzującym się znaczną zmiennością. Uważamy, że bardziej wiarygodne wyniki dobowych prognoz obciążeń podstacji trakcyjnych zapewni metoda oparta na wynikach obliczeń symulacyjnych uzupełniona o probabilistyczne metody obliczeń danych wejściowych.

Wykorzystując znajomości przebiegów obciążenia analizowanych podstacji trakcyjnych obliczono wartości średnie dobowe obciążenia oraz określono czasy wystąpień i poziomu mocy maksymalnych.

Podstawę tej metody prognozowania obciążeń podstacji trakcyjnych stanowią wyniki obliczeń przejazdów teoretycznych w funkcji czasu wszystkich pociągów, które poruszają się w obszarze zasilania analizowanych podstacji. Wykorzystując znajomość poboru prądu i położenia pojazdów trakcyjnych na liniach kolejowych w funkcji czasu, obliczamy dla kolejnych przedziałów czasu prądy pobierane z poszczególnych podstacji trakcyjnych. Algorytm obliczeń może bazować na schemacie przedstawionym na rysunku 3. Poszczególne bloki przedstawione na rysunku 3 (B1-B7) zawierają skrócone hasła, definiujące podstawowe operacje obliczeniowe, oraz wymagane dane niezbędne do obliczeń.

□ Blok **B1** zawiera dane szczegółowe pokrywające się z danymi zawartymi w służbowych rozkładach jazdy, a więc serię pojazdu trakcyjnego, masę pociągu, czasy przyjazdu do i odjazdu od stacji, przystanków i miejsc

zatrzymań. Obliczenia wykonane dla pojedynczej podstacji obejmują obszar zasilania sięgający co najmniej do najbliższych sąsiednich podstacji trakcyjnych, a w szczególnych przypadkach do podstacji dalszych.

□ Blok **B2** zawiera dane dotyczące profili pionowych i poziomych trasy oraz ograniczeń prędkości występujących w analizowanym obszarze zasilania, a także usytuowania przystanków i punktów zatrzymań dla pociągów ujętych w rozkładzie jazdy.

□ W bloku **B3** wygodnie jest przyjąć jako krok obliczeniowy przedział czasu o długości pozwalającej na łatwe sumowanie obciążeń w minutowych przedziałach czasu.

□ W bloku **B4** na podstawie schematu układu zasilania obejmującego analizowany obszar zasilania dokonuje się rozdziału prądu zasilania między sąsiednie podstacje trakcyjne z uwzględnieniem aktualnych poziomów napięć na szynach podstacji trakcyjnych.

□ Blok **B5** stanowi bazę danych dotyczących obciążeń związanych z zasilaniem: budynków stacyjnych, nastawni, warsztatów kolejowych itp., pobierających energię elektryczną z analizowanych podstacji trakcyjnych.

□ Blok **B6** stanowi podstawę do obliczenia energii pobranej przez podstację trakcyjną z głównego punktu zasilającego znajdującego się w gestii zakładu energetycznego.

Czynniki wpływające na występowanie rozbieżności między wynikami obliczeń symulacyjnych i wynikami pomiarów przebiegów obciążeń podstacji trakcyjnych

Na występowanie rozbieżności między wynikami przebiegów obciążenia podstacji trakcyjnych uzyskanych na drodze obliczeń symulacyjnych i wynikami pomiarów tych obciążeń wpływają następujące czynniki.

□ Niepewność określenia masy pociągu

Dla składu pociągu osobowego złożonego z dwóch zespołów trakcyjnych EN57, masa może zmieniać się w granicach od 251,8 t (skład pusty) do 278,8 t (skład znamionowo wypełniony). Do obliczeń można przyjąć masę 265,3 t, z dokładnością ($\pm 5\%$), dolne ograniczenie masy jest ostre ze względu na masę pustego składu, górne ograniczenie nie jest ostre ze względu na możliwość przeładowania składu.

□ Niepewność określenia parametrów zasilania sieci trakcyjnej

Napięcie w sieci trakcyjne może wahać się w granicach (2000 V – 3600 V), napięcie znamionowe wynosi 3000 V. Pojazd trakcyjny aby mógł wykonać pewną pracę musi pobrać z sieci zasilającej określoną moc, przy niższym napięciu dla uzyskania danej mocy potrzebny jest większy prąd. Jeżeli na pantografie pojazdu napięcie zasilające zmniejszy się z 3400 V do 2400 V, czyli zmniejszy się o 1,41, to o taką samą wartość musi wzrosnąć pobór prądu. Taka zmiana parametrów energii pobieranej przez pojazd trakcyjny spowoduje wzrost strat w sieci zasilającej. Istotnym parametrem układu zasilania, wpływającym na stopień obciążenia podstacji trakcyjnych poprzez zmianę ich obszaru zasilania, jest wysokość napięcia na szynach prądu stałego tych podstacji. Poziom ten zależy nie tylko od chwilowych wartości

Tablica 1

Zestawienie mocy średnich w poszczególnych dobach dla podstacji trakcyjnych Pawłowice oraz Gliwice

Podstacja	Średnia moc dobową [kW]			
	1	2	3	4
Pawłowice	2634	2679	1647	2780
Gliwice	1933	2768	2554	2442

Tablica 2

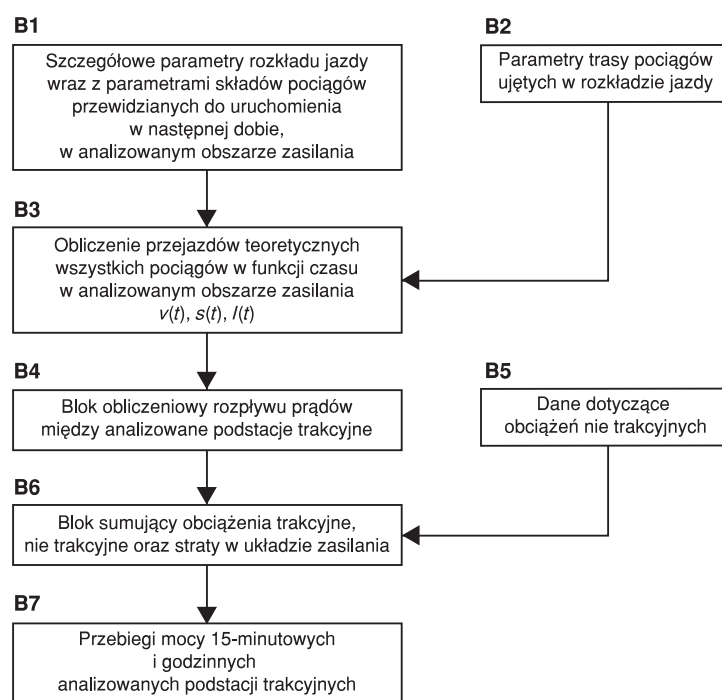
Zestawienie maksymalnych wartości obciążenia godzinnego (P_{1h}) i kolejny przedział godzinowy doby jego wystąpienia w szczycie przedpołudniowym oraz popołudniowym dla podstacji trakcyjnej Pawłowice

Kolejne środy miesiąca	Szczypy obciążenia podstacji trakcyjnej Pawłowice			
	0.00 ÷ 12.00		12.00 ÷ 24.00	
	[kW]	[godz]	[kW]	[godz]
1	2799	5.00 ÷ 6.00	3662	14.00 ÷ 15.00
2	3619	6.00 ÷ 7.00	3263	18.00 ÷ 19.00
3	2350	6.00 ÷ 7.00	2201	14.00 ÷ 15.00
4	3513	6.00 ÷ 7.00	3562	14.00 ÷ 15.00

Tablica 3

Zestawienie maksymalnych wartości obciążenia godzinnego (P_{1h}) i kolejny przedział godzinowy doby jego wystąpienia w szczycie przedpołudniowym, oraz popołudniowym dla podstacji trakcyjnej Gliwice

Kolejne środy miesiąca	Szczypy obciążenia podstacji trakcyjnej Gliwice			
	0.00 ÷ 12.00		12.00 ÷ 24.00	
	[kW]	[godz]	[kW]	[godz]
1	3216	5.00 ÷ 6.00	3212	13.00 ÷ 14.00
2	4300	6.00 ÷ 7.00	3216	12.00 ÷ 13.00
3	4052	5.00 ÷ 6.00	3362	17.00 ÷ 18.00
4	4202	5.00 ÷ 6.00	3246	17.00 ÷ 18.00



Rys. 3. Schemat blokowy do obliczeń obciążeń podstacji trakcyjnych dla prognoz dobowych

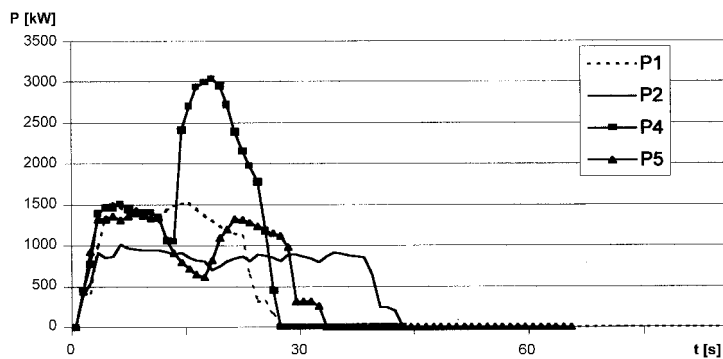
obciążeń trakcyjnych, lecz także od stanu pracy systemu elektroenergetycznego, do którego zostały włączone podstacje trakcyjne.

□ Występowanie zakłóceń w procesie prowadzenia ruchu pociągów (nie planowane zatrzymania, opóźnienia itp.)

Ograniczenia prędkości powodowane złym stanem torów, lub koniecznością zwalniania przed przejazdami niestrzeżonymi, powodują znaczne zwiększenie zużycia energii przez pociągi. Dla przykładu ponowny rozruch pociągu osobowego 7-wagonowego od prędkości 15 km/h pochłania średnio 70 kWh energii [1]. Stanowi to ok. 5% całkowitego zużycia energii przez typowy pociąg relacji Łódź Fabryczna – Warszawa Wschodnia [1]. W wyniku opóźnień odjazdów pociągów ze stacji początkowych lub pośrednich następuje przesunięcie w czasie poboru energii przez pociąg i występowanie zagrożenia spiętrzenia szczytów obciążeń podstacji trakcyjnych, dotyczy to zwłaszcza ciężkich składów towarowych.

□ Technika prowadzenia pociągu

W zależności od techniki prowadzenia pociągu na danym odcinku trasy, różne przyspieszenia rozruchu i opóźnienia hamowania, nie przekraczając rozkładowego czasu przejazdu, ani prędkości dopuszczalnej, można otrzymać różne przebiegi mocy $P(t)$ przedstawione na rysunku 4, a tym samym zróżnicowane zużycie energii zamieszczone w tablicy 4. Przedstawione na rysunku 4 przebiegi mocy w obwodzie głównym lokomotywy EU07 zmierzone zostały rejestratorami cyfrowymi na odcinku międzyprzystankowym długości



Rys. 4. Przebiegi mocy w obwodzie głównym lokomotywy na odcinku międzyprzystankowym Goczałkowice – Goczałkowice Zdrój [2]

Tablica 4

Zestawienie zużycia energii pobranej przez obwód główny lokomotywy obliczone dla przebiegów mocy przedstawionych na rysunku 4

Numer przejazdu		1	2	4	5
Zużycie energii	[kWh]	8,16	9,33	12,75	8,92
Jednostkowe zużycie energii	[Wh/tkm]	27,22	31,18	42,62	29,80

1,1 km między przystankami Goczałkowice – Goczałkowice Zdrój. Masa prowadzonego składu wynosiła 272 t, rozkładowy czas jazdy 120 s.

W przykładzie tym średnia wartość zużycia energii wyniosła:

$$A_{av} = 9,79 \text{ kWh},$$

zaś średnie jednostkowe zużycie energii:

$$j_{av} = 32,7 \text{ Wh/tkm}.$$

□ Warunki zewnętrzne

Do istotnych czynników wpływających na zróżnicowanie zużycia energii przez pociągi osobowe należą zmiany temperatury powietrza występujące w okresie grzewczym. Różnice w zużyciu energii przez skład pociągu w wyniku zmian temperatury mogą dochodzić do 20%. Dla pociągów rozwijających duże prędkości temperatura powietrza ma również wpływ na zasadnicze opory ruchu, a tym samym na zużycie energii, np. dla zespołu trakcyjnego ICE o łącznej masie 495 t, jadącego z prędkością 280 km/h, spadek temperatury powietrza z 15°C do 0°C, przy jednoczesnym wzroście ciśnienia z 1000 hPa do 1020 hPa i wystąpieniu wiatru o kierunku przeciwnym do kierunku jazdy ($\Delta v = 15 \text{ km/h}$), opory ruchu tego zespołu wzrosną z 4420 daN do 5082 daN [3].

W celu uwzględnienia niepewności dotyczącej parametrów wejściowych programu obliczeniowego przebiegu prognozowanych obciążeń podstacji trakcyjnych, przewiduje się w ramach prac prowadzonych w Instytucie Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej wprowadzić do obliczeń metody probabilistyczne.

W dalszych pracach nad omawianą tematyką przewiduje się przeprowadzić obliczenia symulacyjne przebiegów obciążenia podstacji trakcyjnych, zweryfikować doświadczalnie na wybranym obszarze zasilania podstacji trakcyjnych w celu doskonalenia opracowywanej metody prognozowania.

Literatura

- [1] Raczyński J., Szafrąński Z.: *Zużycie energii elektrycznej przez pociągi pasażerskie – wyniki pomiarów*. Technika Transportu Szynowego 3/1995.
- [2] Idzik D.: *Analiza wykorzystania parametrów trakcyjnych lokomotywy serii EU07 w aspekcie energooszczędnej jazdy*. Praca dyplomowa napisana pod kierunkiem prof. dr hab. Eugeniusza Kałuży, Politechnika Śląska, Gliwice 1999.
- [3] Kałuża E., Kulesz B., Czakański M.: *Zbiór zadań i ćwiczeń projektowych z trakcji elektrycznej*. Skrypt uczelniany nr 1848, Politechnika Śląska, Gliwice 1994.
- [4] Kałuża E., Sikora A.: *Prognozowanie obciążeń podstacji trakcyjnych*. Materiały konferencyjne ELKOL '99 – Elektroenergetyka Kolejowa, Puławy 25–27 marca 1999 r.
- [5] Kałuża E., Sikora A.: *Aspekty prognozowania obciążeń systemu zasilania PKP*. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa MET '99 – Współczesne systemy zasilania i napędu pojazdów trakcyjnych w zintegrowanej Europie XXI wieku, Warszawa 23–25 września 1999 r.