



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Kierunek studiów:
Elektrotechnika

Agata Kaźmierczyk

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

Gospodarka elektroenergetyczna

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23



Spis treści

1. Zmienność obciążenia elektrycznego	2
1.1. Dobowa zmienność obciążenia	2
1.2. Tygodniowa i miesięczna zmienność obciążenia	7
1.3. Roczna zmienność obciążenia	9
2. Przykładowe zadania obliczeniowe	12
3. Konstrukcja rocznego uporządkowanego wykresu obciążeń na podstawie dni reprezentatywnych	19
3.1. Obliczenia i wykresy	20
4. Literatura	28



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Zmienność obciążenia elektrycznego

1.1. Dobowa zmienność obciążenia

Zmienność obciążenia elektrycznego polega na zmianach w zapotrzebowaniu na energię elektryczną dla systemu elektroenergetycznego w danym czasie.

Spowodowana jest głównie tym, że energii elektrycznej, w porównaniu do innych rodzajów energii, nie da się w większości magazynować. Poza tym, moc potrzebna konsumentom energii elektrycznej podlega zmienności w czasie. W konsekwencji elektrownie muszą być gotowe na zaspokojenie chwilowego obciążenia związanego z bieżącym zapotrzebowaniem na energię przez odbiorców.

Wahania obciążeń mogą mieć charakter regularny lub przypadkowy. Głównym źródłem tych zmian jest zapotrzebowanie przemysłu, a także różnorodne czynniki, takie jak: zmiany sezonowe, codzienny rytm życia społeczeństwa, nawyki ludności czy inne przewidywalne zjawiska (w przypadku zmian o charakterze regularnym). Dodatkowo mogą je determinować warunki atmosferyczne, jak temperatura, zachmurzenie czy zakłócenia w systemie.

Zmienność obciążenia stanowi kluczowy aspekt oddziałujący na zależności techniczne i ekonomiczne w branży energetycznej. W przemyśle zrozumienie zmian obciążeń pozwala na skuteczną analizę gospodarki elektroenergetycznej zakładu, odpowiedni dobór parametrów urządzeń elektroenergetycznych oraz efektywne planowanie ich eksploatacji. Wyróżnia się różne rodzaje zmienności, takie jak dzienna, tygodniowa, roczna oraz wieloletnia.

Zmiany obciążeń w ciągu doby można zobrazować za pomocą różnych metod – przy użyciu wykresów kalendarzowych, uporządkowanych i całkowych, a także przez wyznaczenie odpowiednich i charakterystycznych wskaźników.

Dobowy wykres kalendarzowy obciążeń $P_{dt}=f(t_{dk})$ (rys.1) przedstawia graficznie zmienność obciążeń w systemie w ciągu doby. W gospodarce elektroenergetycznej często analizuje się nie chwilowe zmiany, lecz średnie obciążenia dla określonych przedziałów czasowych, takich jak 15-, 30- lub 60-minutowe. Przykład wykresu na rys. 1., mimo pewnego uproszczenia, może przyjmować formę histogramu (np. wykres słupkowy), który przedstawia średnie obciążenia w poszczególnych przedziałach czasowych. Natomiast dane z krótszych odcinków traktują się jako obciążenie chwilowe.

Na rysunku 1 można zidentyfikować następujące charakterystyczne wartości obciążeń:

P_{do} - najmniejsze lub podstawowe obciążenie doby;

P_{dsr} – średnie obciążenie doby;

P_{ds} – szczytowe lub maksymalne obciążenie doby;

P_{di} – moc zainstalowana.

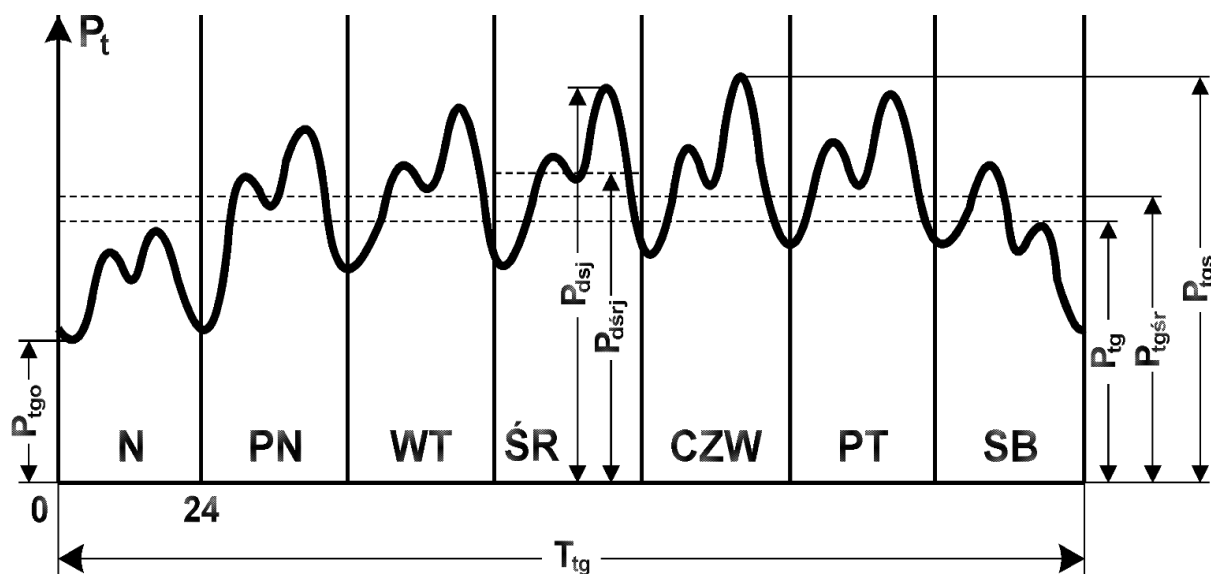
Ponadto, przedstawiono różne poziomy mocy, które dzielą się na następujące zakresy:

Warstwa podstawowa: moc w przedziale $0 \leq P_{dt} \leq P_{do}$,

Warstwa pośrednia: moc w przedziale $P_{do} \leq P_{dt} \leq P_{dśr}$,

Warstwa szczytowa: moc w przedziale $P_{dśr} \leq P_{dt} \leq P_{ds}$.

[Tekst alternatywny. Rysunek przedstawia tygodniowy przebieg obciążenia elektrycznego w postaci wykresu liniowego. Oś pozioma oznacza kolejne dni tygodnia: N (niedziela), PN (poniedziałek), WT (wtorek), ŚR (środa), CZW (czwartek), PT (piątek), SB (sobota), a podziałka odpowiada dobie (24 godziny). Oś pionowa oznacza moc P_t . Na wykresie wyróżniono średnie i maksymalne wartości mocy dobowe ($P_{dśr}$, $P_{dśr'}$, P_{tg} , P_{tgs} , $P_{tgs'}$), które są zaznaczone pomocniczymi liniami i strzałkami. Przebieg prezentuje typową zmienność zapotrzebowania na moc w ciągu całego tygodnia oraz charakterystyczne różnice pomiędzy dniami roboczymi a weekendem.]



Rys. 1. Dobowy wykres obciążeń z podziałem na warstwy [11]

Produkcja energii elektrycznej w elektrowniach, w ramach poszczególnych warstw obciążeń, jest ściśle powiązana z ich sprawnością oraz funkcją, jaką pełnią w systemie elektroenergetycznym. Elektrownie obsługujące obciążenia podstawowe pracują niemal nieprzerwanie przez cały rok. Do tej grupy należą elektrownie parowe (w tym nowoczesne bloki opalane węglem o niskich kosztach paliwa), elektrownie jądrowe, przepływowe elektrownie wodne oraz elektrociepłownie. Z kolei obciążenia podszczytowe obsługiwane są przez elektrownie wodne ze zbiornikami o ograniczonym czasie napełniania oraz elektrownie parowe. Obciążenia szczytowe są



natomiast pokrywane przez elektrownie wodne pompowe, elektrownie gazowe oraz elektrownie parowe o krótkim czasie rozruchu, a także jednostki o wysokich kosztach wytwarzania.

Dodatkowo, obok warstw odpowiadających poziomom mocy, wyróżnia się również słupy reprezentujące konkretne okresy w ciągu doby i związane z nimi obciążenia. Są to słupy dotyczące m.in. obciążeń występujących w nocy, przedpołudniem, popołudniu oraz wieczorem. Zmienność obciążeń dla poszczególnych warstw jest zależna od rytmu pracy oraz aktywności życiowej ludzi. Wyraźny jest również wpływ sezonowych zmian warunków oświetleniowych czy temperaturowych w ciągu doby. Energię zużytą w ciągu doby można wyrazić wzorem:

$$A_d = \int_0^{T_d} P_{dt} dt \quad (1)$$

gdzie: P_{dt} – chwilowe obciążenie dobowe,
 T_d – czas trwania doby.

Za pomocą dobowej energii określa się średnie obciążenie dobowe:

$$P_{d\bar{s}r} = \frac{A_d}{T_d} = \frac{1}{T_d} \cdot A_d = \frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} P_{dt} dt \quad (2)$$

Dobową zmienność obciążeń można opisać za pomocą trzech grup współczynników, które wykorzystują jako punkty odniesienia średnie obciążenie dobowe $P_{d\bar{s}r}$, obciążenie szczytowe P_{ds} oraz moc zainstalowaną P_{di} .

Zaczynając od współczynników, dla których wielkością odniesienia jest $P_{d\bar{s}r}$ – określa się je jako dobowe stopnie wyrównania i zapisują jako l_d . Jednakowo w przypadku współczynników, które za wielkość odniesienia przyjmują P_{ds} i P_{di} – są to odpowiednio dobowe stopnie obciążenia m_d i dobowe stopnie wyzyskania n_d . [6]

Przykładowo, dobowymi stopniami wyrównania l_d są takie wskaźniki jak:

Chwilowy stopień wyrównania l_{dt} :

$$l_{dt} = \frac{P_{dt}}{P_{d\bar{s}r}} \quad (3)$$

Stopień wyrównania obciążenia podstawowego l_{do} :

$$l_{do} = \frac{P_{do}}{P_{d\bar{s}r}} \quad (4)$$

Szczytowy stopień wyrównania l_{ds} :

$$l_{ds} = \frac{P_{ds}}{P_{d\bar{s}r}} \quad (5)$$

Stopień wyrównania w warstwie szczytowej l_{ws} :

$$l_{ws} = \frac{P_{ds} - P_{d\bar{s}r}}{P_{d\bar{s}r}} \quad (6)$$

Stopień wyrównania w warstwie pośredniej $l_{w\bar{s}r}$:



$$l_{wsr} = \frac{P_{d\dot{s}r} - P_{do}}{P_{d\dot{s}r}} \quad (7)$$

Stopień wyrównania obciążenia warstwy l_{wso} :

$$l_{wso} = \frac{P_{ds} - P_{do}}{P_{d\dot{s}r}} \quad (8)$$

Stopień wyrównania dla pracy warstwy a_l :

$$a_l = \frac{A_x}{P_{d\dot{s}r} \cdot T_d} = \frac{A_x}{A_d} \quad (9)$$

Analogiczne wskaźniki występują dla stopni obciążenia m i stopni wyzyskania (wykorzystania) n . Najważniejsze z nich to chwilowy stopień obciążenia m_{dt} oraz chwilowy stopień wyzyskania n_{dt} , które definiuje się wzorami:

$$m_{dt} = \frac{P_{dt}}{P_{ds}} \quad (10)$$

$$n_{dt} = \frac{P_{dt}}{P_{di}} \quad (11)$$

Do opisu dobrego wykresu obciążeń także służą dwa współczynniki uzależnione od czasu – T_{ds} i T_{di} .

W związku z tym czas użytkowania mocy szczytowej T_{ds} jest to czas, w którym odbiorca działając z mocą równą dobowej mocy szczytowej P_{ds} , wykorzystałby ilość energii równą dziennemu zużyciu A_{ds} . Wyrażenie to można opisać równaniem:

$$T_{ds} = \frac{A_d}{P_{ds}} = \frac{P_{d\dot{s}r} \cdot T_d}{P_{ds}} = m_d \cdot T_d \quad (12)$$

Czas użytkowania mocy zainstalowanej T_{di} to z kolei czas, w którym odbiorca przy wykonaniu pracy z mocą zainstalowaną P_{di} , zużyłby energię dobową A_d . Przedstawia go wzór:

$$T_{di} = \frac{A_d}{P_{di}} = \frac{P_{d\dot{s}r} \cdot T_d}{P_{di}} = n_d \cdot T_d \quad (13)$$

Kolejnym wykresem jest dobowy wykres uporządkowany obciążeń, który jest określany także jako wykres trwania obciążeń. Służy jako ilustracja obciążeń dobowych ułożonych w kolejności od największej do najmniejszej, w kontekście czasu ich trwania. Głównym celem wykresu jest określenie całkowitego czasu, przez który dana moc jest utrzymywana w ciągu doby.

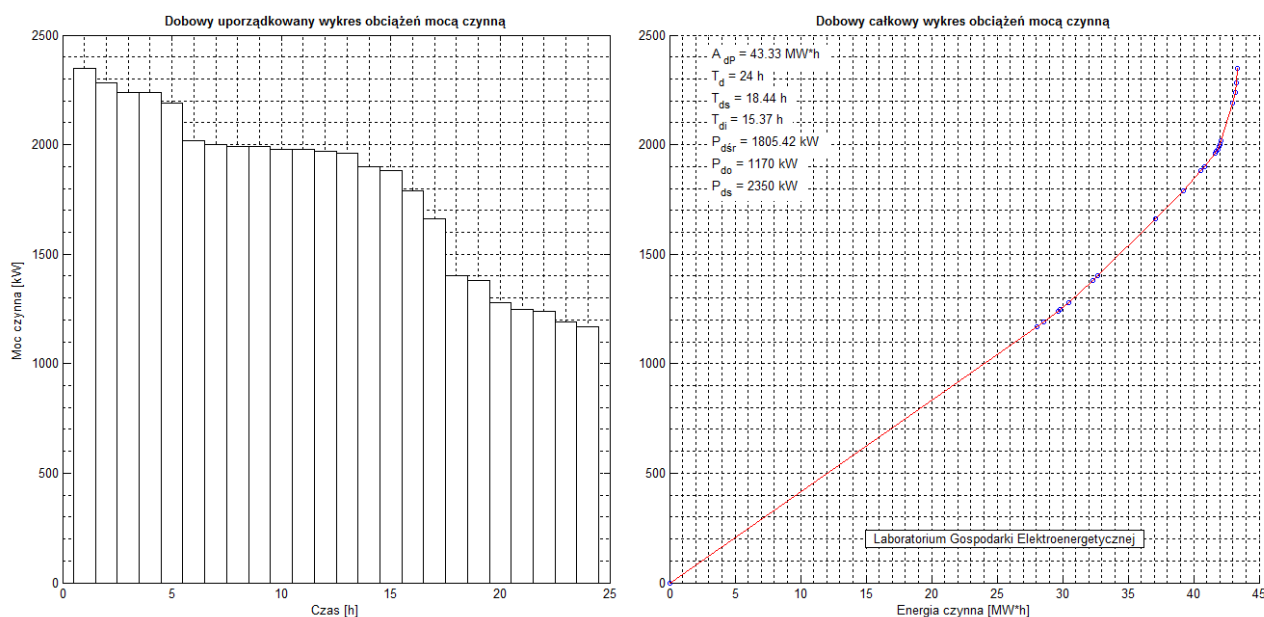
Wykres dobowy uporządkowany różni się od kalendarzowego przede wszystkim tym, że obciążenia systemu nie są ustawione chronologicznie. Mimo, że posiadają tę samą rzędną i tą samą płaszczyznę (energię A_d) to wykres uporządkowany przedstawia inną zależność: obciążenia P_{dt}' (i większego) od czasu t_{dt}' .

Wykresy dobowe uporządkowane są prezentowane także w formie zredukowanej. Proces redukcji polega na przekształceniu wykresu poprzez podzielenie wszystkich

współrzędnych przez maksymalną wartość występującą na wykresie. Taka redukcja może być przedstawiona w sposób jedno- lub dwustronny (tylko na osi y lub po obu stronach: x oraz y).

Przykłady dobowych wykresów uporządkowanych, które zostały zredukowane jedno- i obustronnie przedstawiono na rysunku 2.

[Tekst alternatywny. Ilustracja składa się z dwóch wykresów dotyczących mocy czynnej w systemie elektroenergetycznym w ujęciu dobowym. Lewy wykres przedstawia uporządkowany wykres obciążeń mocą czynną w ciągu doby. Oś pionowa obrazuje wartość mocy czynnej w kilowatach (kW), a oś pozioma czas w godzinach (h) od 0 do 24. Słupki odzwierciedlają zmienność obciążenia w poszczególnych godzinach doby, począwszy od najwyższych wartości z lewej strony, malejących ku prawej. Prawy wykres to dobowy całkowity wykres obciążeń mocą czynną. Oś pionowa przedstawia moc czynną (kW), a pozioma energię czynną (MWh). Wykres pokazuje zależność mocy od uzyskanej energii w ciągu doby.]



Rys. 2. Wykres dobowy uporządkowany obciążeń

Dobową zmienność obciążeń można też opisać za pomocą wykresów całkowitych, które wyrażają zależność między mocą a energią zużywaną w ciągu doby. Dzieli się na dwa rodzaje: na wykres całkowity kalendarzowy obciążeń i całkowity trwania obciążeń.



Całkowity kalendarzowy wykres obciążeń $A_{dt}=f(t_{dk})$ wykorzystuje się do analizy zmian ilości energii pobieranej lub wytwarzanej w trakcie doby. Otrzymuje się go w wyniku całkowania obciążeń tylko wykresu chronologicznego (kalendarzowego) $P_{dt}=f(t_{dk})$. Aby skonstruować wykres, należy podzielić wykres $P_{dt}=f(t_{dk})$ na pionowe segmenty odpowiadające poszczególnym przedziałom czasowym: $\Delta t_{d1}, \Delta t_{d2}, \dots, \Delta t_{dn}$ (zwykle przedziały są równe). Przyrost energii w okresie Δt_{d1} jest równy powierzchni pierwszego segmentu i wynosi ΔA_{d1} . Analogicznie przyrost energii w czasie Δt_{d2} wynosi ΔA_{d2} , a dla sumy $\Delta t_{d1}+\Delta t_{d2}$ jest równy $\Delta A_{d1}+\Delta A_{d2}$.

Po zsumowaniu kolejnych przyrostów pracy w wyznaczonych odcinkach czasu i po naniesieniu na wykres w zależności od momentów ich występowania, uzyskuje się wykres całkowity chronologiczny obciążeń $A_{dt}=f(t_{dk})$.

Wykres całkowity trwania obciążeń $A_{dp}=f(P_d)$ wykonuje się zarówno przy pomocy wykresu kalendarzowego $P_{dt}=f(t_{dk})$ i wykresu uporządkowanego $P_{dt}=f(t_{dk})$.

Na wykresie całkowym trwania obciążeń można zaobserwować, że wraz z przemieszczaniem się w stronę szczytowych wartości obciążenia zmniejsza się wykorzystanie mocy. Wykres pokazuje ilość pracy niezbędnej do pokrycia odpowiednich przyrostów obciążeń, zatem może być wykorzystywany przy analizach bilansu obciążeniowego. Pozwala także na określenie strat gospodarczych związanych z niedostarczeniem mocy do systemu czy strat występujących w sieciach przesyłowych.

1.2. Tygodniowa i miesięczna zmienność obciążenia

Tygodniowe wahania obciążeń są bezpośrednio związane z podziałem na dni robocze i świąteczne oraz charakterystycznym dla nich cyklem i poziomem aktywności.

Aby zilustrować tygodniową zmienność obciążenia wykorzystuje się analogiczne metody jak przy dobowej zmienności obciążenia, takie jak konstruowanie wykresów kalendarzowych, uporządkowanych czy całkowych, a także wyznaczanie wskaźników.

Zaczynając od charakterystycznych współczynników dla tygodniowej zmienności obciążeń, najważniejsze z nich to przede wszystkim:

Średni tygodniowy stopień obciążenia m_{tg} :

$$m_{tg} = \frac{P_{tg\acute{s}r}}{P_{tgs}} \quad (14)$$

gdzie: $P_{tg\acute{s}r}$ – średnie obciążenie tygodniowe;

P_{tgs} – szczytowe obciążenie tygodniowe.

Energia tygodnia A_{tg} , czyli suma energii dobowych :

$$A_{tg} = \sum_{j=1}^7 A_{dj} = T_d \sum_{j=1}^7 m_{dj} \cdot P_{dsj} = T_d \sum_{j=1}^7 P_{d\acute{s}rj} \quad (15)$$



gdzie: A_{dj} – energia dobową w j-tym dniu tygodnia;
 m_{dj} – dobowy stopień obciążenia w j-tym dniu tygodnia;
 P_{dsj} – szczytowe obciążenie j-tego dnia tygodnia;
 $P_{dśrj}$ – średnie obciążenie dobowe w j-tym dniu tygodnia.

Średnie obciążenie tygodniowe $P_{tgśr}$:

$$P_{tgśr} = \frac{A_{tg}}{T_{tg}} \quad (16)$$

gdzie: A_{tg} – energia pobrana lub wyprodukowana w tygodniu;
 T_{tg} – czas trwania tygodnia (168 h).

Stopień równomierności szczytów dobowych w tygodniu σ''_{tg} :

$$\Sigma''_{tg} = \frac{\sum_{j=1}^7 P_{dsj}}{7 P_{tgs}} \quad (17)$$

W skali miesiąca obciążenia również podlegają zmianom, a ich przebieg jest związany z takimi czynnikami, jak godziny, w których występuje wschód i zachód słońca (determinują one obciążenia oświetleniowe) czy określone przerwy w działalności gospodarczej (planowane lub wynikające z nieregularności działań). Do czynników określających miesięczną zmienność obciążeń zalicza się:
 Stopień równomierności szczytów tygodniowych w miesiącu σ''_{wm} :

$$\Sigma''_{wm} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_{tgsi}}{4 P_{ms}} \quad (18)$$

gdzie: P_{tgsi} – szczytowe obciążenie w i-tym tygodniu;
 P_{ms} – szczytowe obciążenie miesięczne.

Średni stopień zmienności średnich obciążeń tygodniowych $\sigma_{wmśr}$:

$$\sigma_{wmśr} = \frac{A_{dmśr}}{A_{dms}} \quad (19)$$

gdzie: $A_{dmśr}$ – energia średniej doby miesiąca;
 A_{dms} – energia szczytowej doby miesiąca.

Średni miesięczny stopień obciążenia m_m :

$$m_m = \frac{A_m}{P_{ms} \cdot T_m} \quad (20)$$

gdzie: A_m – energia miesiąca;
 T_m – czas trwania miesiąca.



1.3. Roczna zmienność obciążenia

Obciążenia w skali rocznej zmieniają się nie tylko z powodu cyklicznych zmian w ciągu doby, tygodnia czy miesiąca, lecz przede wszystkim w wyniku sezonowego zapotrzebowania na energię przez odbiorców w sektorach przemysłu budowlanego, rolniczego czy spożywczego. Istotny wpływ na obciążenia mają również warunki atmosferyczne. Jedną z przyczyn może być także zmiana sposobu wykorzystania energii elektrycznej przez jej przekształcenie na inne rodzaje energii np. ciepłą do ogrzewania lub energię potrzebną do oświetlenia.

Do charakterystyki rocznej zmienności obciążeń wykorzystuje się odpowiednie wskaźniki, jak również wykresy takie jak: wykresy dobowe kalendarzowe dla wybranych dni roku, wykresy reprezentatywnych dni dobowych, roczne wykresy obciążeń szczytowych i minimalnych, wykresy uporządkowane, a także wykresy całkowite trwania obciążeń. Można także na podstawie 365 dobowych wykresów obciążenia uzyskać górę obciążeń, na bazie której można otrzymać roczny wykres warstwiczny obciążenia elektrycznego.

Podstawowe parametry opisujące zmienność obciążeń w ciągu roku, dotyczące zarówno indywidualnych odbiorców, jak i całego systemu elektroenergetycznego, to: Roczny czas użytkowania mocy szczytowej T_{rs} :

$$T_{rs} = \frac{A_r}{P_{rs}} \quad (21)$$

gdzie: A_r – energia roczna;

P_{rs} – szczytowe obciążenie roczne.

Średni tygodniowy stopień obciążenia m_{tg} :

$$m_r = \frac{P_{r\acute{s}r}}{P_{rs}} \quad (22)$$

gdzie: $P_{r\acute{s}r}$ – średnie obciążenie roczne;

Stopień równomierności szczytów miesięcznych σ''_r :

$$\sigma''_r = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{msi}}{12 P_{rs}} \quad (23)$$

gdzie: P_{msi} – szczytowe obciążenie w i-tym miesiącu.

Dwa pierwsze wskaźniki – T_{rs} oraz m_r określają wahania obciążeń w czasie, zatem definiują kształt wykresu zmienności obciążeń i pozwalają określić roczną ilość zużytej energii oraz moc maksymalną. Umożliwia to ocenę efektywności w zakładach przemysłowych i wspomaga wybór odpowiednich urządzeń zasilających. Natomiast stopień równomierności szczytów miesięcznych σ''_r , jak sama nazwa wskazuje odnosi się do zmian miesięcznych wartości szczytowych w skali roku. Niższe



wartości tego wskaźnika oznaczają większe różnice między szczytowymi obciążeniami w poszczególnych miesiącach. Na jego wartość wpływa struktura odbiorców oraz sezonowe zmiany w zużyciu energii wynikające z ich charakteru pracy.

Roczna zmienność obciążeń najczęściej prezentowana jest przy użyciu uporządkowanego wykresu rocznego, znanego jako wykres trwania obciążeń. Standardowo tworzy się go na podstawie 365 wykresów dobowych. Aby uprościć analizę, dopuszcza się jednak wykresy przybliżone, które bazują na określonych dniach reprezentatywnych.

Stosuje się dwie metody:

z czterema dniami reprezentatywnymi:

- doba robocza zimowa – 100 razy;
- doba robocza letnia – 200 razy;
- doba świąteczna zimowa – 33 razy;
- doba świąteczna letnia – 32 razy.

z sześcioma dniami reprezentatywnymi:

- doba robocza zimowa – 50 razy;
- doba robocza letnia – 130 razy;
- doba robocza wiosenno-jesienna – 125 razy;
- doba świąteczna zimowa – 10 razy;
- doba świąteczna letnia – 25 razy;
- doba świąteczna wiosenno-jesienna – 25 razy.

Przybliżony kształt funkcji przedstawiającej uporządkowany roczny wykres obciążeń można wyznaczyć na podstawie aproksymacji, a dokładniej wzoru Soschińskiego:

$$m_{rt} = a + b \tau_{rt}^c \quad (24)$$

gdzie: $m_{rt} = \frac{P_{rt}}{P_{rs}}$ – chwilowy roczny stopień obciążenia;

$\tau_{rt} = \frac{t_{rt}}{T_r}$ – czas trwania obciążenia określony jako wielkość względna;

a, b, c – stałe.

Stale a, b, c wynoszą:

$$a = 1, \quad b = m_{ro} - 1, \quad c = \frac{m_r - m_{ro}}{1 - m_r}$$

Wtedy:

$$m_{rt} = 1 - (1 - m_{ro}) \tau_{rt}^{\left(\frac{m_r - m_{ro}}{1 - m_r}\right)} \quad (25)$$



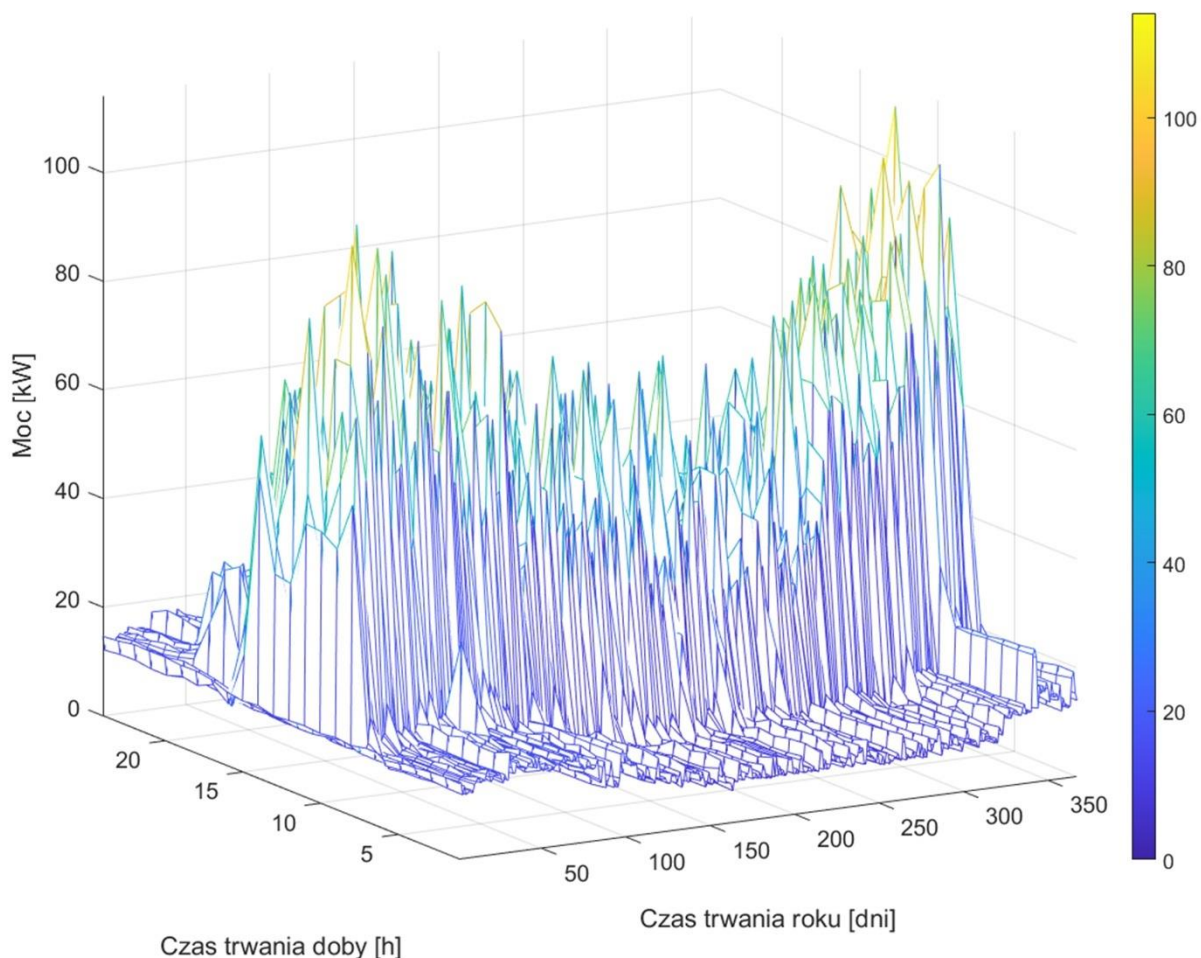
Wykres obciążenia rocznego otrzymany tą metodą może być używany zarówno do analizy całego systemu, jak i jego fragmentów, ale nie jest odpowiedni do wyznaczania wykresów dla indywidualnych odbiorców. Badania wykazały, że kształt krzywej uporządkowanego wykresu rocznego wynika z rocznego czasu trwania obciążenia szczytowego T_{rs} .

Zmienność obciążeń w ciągu roku można także zobrazować za pomocą góry obciążeń, która powstaje w wyniku zestawienia 365 kalendarzowych wykresów dobowych na wspólnej osi i ich odpowiedniego nałożenia w pionie. Dzięki temu można precyzyjnie określić obciążenie w dowolnym momencie roku lub w dobach charakterystycznych, a także stworzyć przebieg krzywych całkowych i uporządkowanych.

Na podstawie góry obciążeń można z kolei uzyskać wykres warstwiczny w postaci topogramu, przedstawiający warstwy, czyli izolinie mocy wynikające z przecięcia w górze obciążeń płaszczyzny równoległej do podstawy z osiami czasu: t_{dk} – przedział od 1 do 24 h oraz t_{rk} – przedział od 1 do 365 dni. Odległości pomiędzy kolejnymi płaszczyznami odzwierciedlają przyjęte przyrosty mocy i są wyznaczone w kierunku osi mocy P.

Przykładową górę obciążeń elektrycznych przedstawiono na rysunku 3.

[Tekst alternatywny. Rysunek przedstawia trójwymiarowy wykres obrazujący zmiany mocy czynnej w czasie. Oś pionowa (Z) oznacza moc czynną wyrażoną w kilowatach [kW], oś pozioma (X) przedstawia czas trwania doby w godzinach [h], a oś pozioma (Y) czas trwania roku w dniach [dni]. Krzywe na wykresie ilustrują profil obciążenia w każdej godzinie doby, dla każdego dnia roku. Kolorystyka od niebieskiego (niższe wartości mocy) do żółtego (wyższe wartości mocy) odzwierciedla skalę obciążenia – legenda znajduje się po prawej stronie wykresu.]



Rys. 3. Góra obciążeń elektrycznych

2. Przykładowe zadania obliczeniowe

Zadanie 1

(porównanie wariantów inwestowania – rachunek dyskonta)

Wartość kosztorysowa inwestycji wynosi 1 mln zł. Czas realizacji inwestycji wynosi 5 lat. Obliczyć zdyskontowaną na rok zerowy wartość inwestycji, przy stopie kapitałowej $d = 0,1$, w dwóch wariantach inwestowania, w których koszty rozłożone są w sposób następujący:

Tabela 1. Dane dotyczące kosztów

Rok inwest. j	-4	-3	-2	-1	0
Wariant I	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
Wariant II	100.000	100.000	100.000	300.000	400.00



Koszty zdyskontowane na rok zerowy są równe:

$$K_{ndo} = \sum_{j=-M}^{j=0} K_{ij} \cdot (1 + d)^{-j} \quad (26)$$

$$K_{ndoI} = 200000 \cdot (1 + 0,1)^4 + 200000 \cdot (1 + 0,1)^3 + 200000 \cdot (1 + 0,1)^2 + \\ + 200000 \cdot (1 + 0,1) + 200000 \cdot (1 + 0,1)^0 = 1.221.020 \text{ zł}$$

$$K_{ndoII} = 100000 \cdot (1 + 0,1)^4 + 100000 \cdot (1 + 0,1)^3 + 100000 \cdot (1 + 0,1)^2 + \\ + 300000 \cdot (1 + 0,1) + 400000 \cdot (1 + 0,1)^0 = 1.130.510 \text{ zł}$$

Różnica kosztów wynosi:

$$\Delta K_{ndo} = K_{ndoI} - K_{ndoII} \quad (27)$$

$$\Delta K_{ndo} = 1.221.020 - 1.130.510 = 90.510 \text{ zł}$$

co stanowi:

$$\Delta K_{ndo\%} = \frac{90.510}{1.000.000} \cdot 100 \% = 9,05 \%$$

Zadanie 2. (zastosowanie rachunku dyskonta i współczynników kosztów eksploatacyjnych do wyznaczania kosztów rocznych oraz kosztów jednostkowych)

Wartość kosztorysowa nakładów inwestycyjnych na budowę elektrowni o mocy $P_i = 100$ MW wynosi $K_i = 640$ mln zł. Cykl inwestycyjny trwa 5 lat przy rozkładzie kosztów budowy jak 1 : 1 : 2 : 3 : 3. Stopa dyskonta $d = 0,08$, liczba lat eksploatacji $N = 20$. Współczynnik rocznych kosztów eksploatacyjnych stałych $r_{es} = 0,070$; a kosztów eksploatacyjnych zmiennych $r_{ez} = 0,030$ zł/kW·h. Roczny czas wykorzystania mocy zainstalowanej $T_i = 6500$ h/a. Wyznaczyć jednostkowe koszty energii elektrycznej.

1+1+2+3+3 = 10 czyli 1 to jedna dziesiąta sumy kosztów.

Należy jednocześnie zauważyć, że inwestycja trwa 6 lat czyli od roku „-4” do roku „0”.

$$K_{ndo} = \sum_{i=1}^{i=n} K_{ni} (1 + d)^{-i} \quad (28)$$

$$K_{ndo} = 0,1 \cdot 640 \cdot (1 + 0,08)^4 + 0,1 \cdot 640 \cdot (1 + 0,08)^3 + 0,2 \cdot 640 \cdot (1 + 0,08)^2 +$$



$$+ 0,3 \cdot 640 \cdot (1 + 0,08) + 0,3 \cdot 640 = 640 \cdot [0,1 \cdot (1 + 0,08)^4 + 0,1 \cdot (1 + 0,08)^3 + \\ + 0,2 \cdot (1 + 0,08)^2 + 0,3 \cdot (1 + 0,08) + 0,3] = 640 \cdot 1,086 = 695,04 \text{ mln zł.}$$

Współczynnik rocznych kosztów kapitałowych wynosi:

$$r = \frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \quad (29)$$

$$r = \frac{0,08(1 + 0,08)^{20}}{(1 + 0,08)^{20} - 1} = 0,102$$

Wobec czego roczne koszty kapitałowe wynoszą:

$$K_{rk} = r K_{ndo} \quad (30)$$

$$K_{rk} = 0,102 \cdot 695,04 = 70,89 \text{ mln zł.}$$

Roczne koszty eksploatacyjne stałe są równe:

$$K_{es} = r_{es} K_{ndo} \quad (31)$$

$$K_{es} = 0,070 \cdot 695,04 = 48,65 \text{ mln zł/a}$$

Roczna wartość energii elektrycznej wyprodukowanej przez elektrownię wynosi:

$$A_r = P_i T_i \quad (32)$$

$$A_r = 100 \cdot 10^3 \cdot 6500 = 650.000 \cdot 10^3 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

Roczne koszty eksploatacyjne zmienne wynoszą: $r_{ez} = 0,030 \text{ zł/kW}\cdot\text{h}$

$$K_{ez} = A_r r_{ez} \quad (33)$$

$$K_{ez} = 650.000 \cdot 10^3 \cdot 0,030 = 19,50 \text{ mln zł/a}$$

Całkowite koszty roczne

$$K_r = K_{rk} + K_{es} + K_{ez} \quad (34)$$

$$K_r = 70,89 + 48,65 + 19,50 + 139,04 \text{ mln zł/a}$$

Jednostkowe koszty energii elektrycznej są równe

$$k_j = \frac{K_r}{A_r} \quad (35)$$

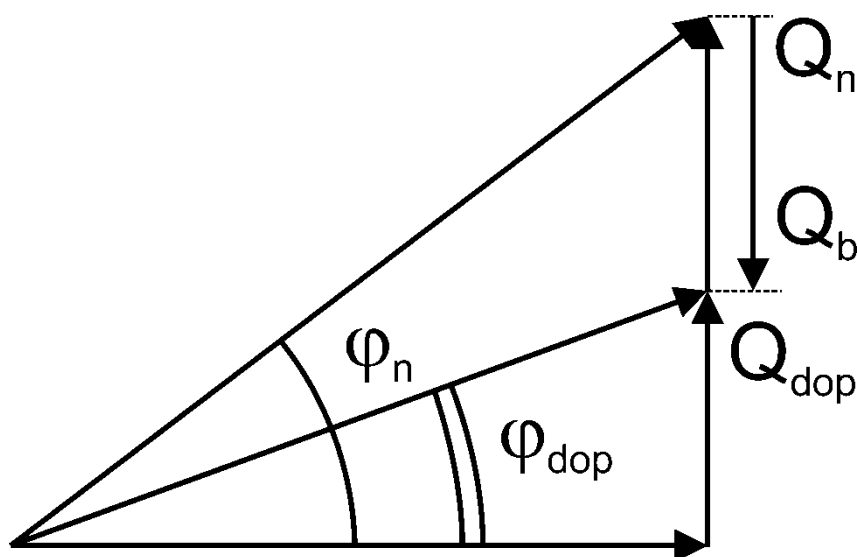
$$k_j = \frac{139,04 \cdot 10^6}{650,00 \cdot 10^6} = 0,214 \text{ zł/kW}\cdot\text{h}$$

Zadanie 3.

Odbiornik energii elektrycznej ma moc znamionową $P_n = 87 \text{ kW}$, przy wartości $\cos\varphi_n = 0,78$. Obciążenie odbiornika nie zmienia się w czasie. Wyznaczyć wartość

mocy biernej baterii kondensatorów aby osiągnąć dopuszczalną wartość $\tan \varphi_{dop} = 0,25$.

[Tekst alternatywny. Rysunek przedstawia wykres wektorowy mocy biernej odbiornika oraz mocy biernej pojemnościowej baterii kondensatorów. Wektor mocy biernej odbiornika (Q odbiornika) skierowany jest pionowo w górę, co odpowiada indukcyjnemu charakterowi obciążenia. Wektor mocy biernej baterii kondensatorów (Q kondensatora) skierowany jest pionowo w dół, co oznacza charakter pojemnościowy.]



Rys.4. Wykres wektorowy mocy biernej odbiornika i biernej pojemnościowej baterii kondensatorów

$$Q_b = P(\tan \varphi_n - \tan \varphi_{dop}) \quad (36)$$

W tym przypadku będzie to zależność:

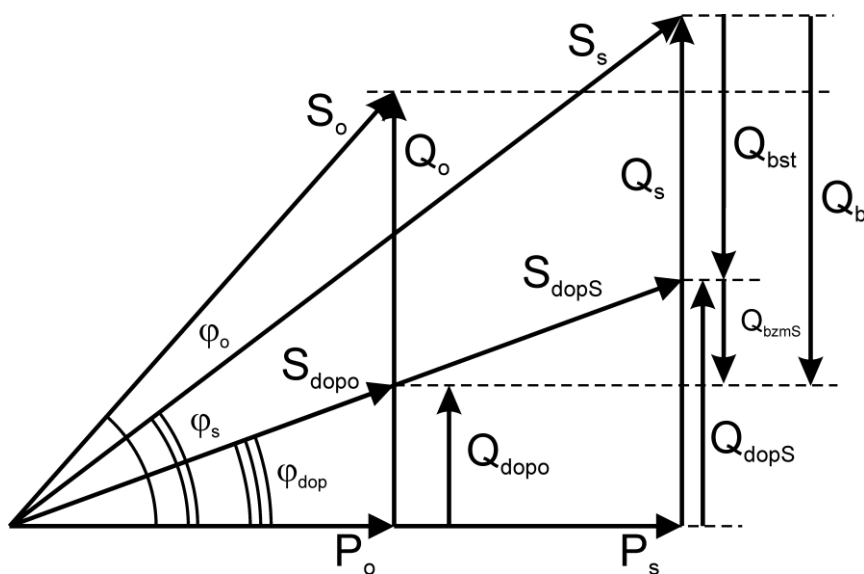
$$Q_b = P(\tan \arccos \varphi_n - \tan \varphi_{dop}) \quad (37)$$

$$Q_b = 87 \cdot (\tan \arccos 0,78 - 0,25) = 48,048 \text{ kVar}$$

Zadanie 4. (wyznaczanie wartości mocy członu stałego i zmiennego baterii kondensatorów)

Moc czynna pobierana przez odbiornik wynosi $P_s = 230$ kW przy współczynniku mocy $\cos \varphi_s = 0,65$. Wyznaczyć moc baterii kondensatorów, aby $\tan \varphi_{dop} = 0,25$. Jaką wartość mocy powinien mieć bateria kondensatorów Q_b oraz jej człon stały Q_{bst} i człon zmienny Q_{bzm} , jeżeli stopień obciążenia mocą minimalną $m_o = 0,21$ a zmienność współczynnika mocy jest typu A.

[Tekst alternatywny. Rysunek przedstawia wykres wektorowy mocy biernej odbiornika oraz mocy biernej pojemnościowej baterii kondensatorów. Wektor mocy biernej odbiornika (Q odbiornika) skierowany jest pionowo w górę, co odpowiada indukcyjnemu charakterowi obciążenia. Wektor mocy biernej baterii kondensatorów (Q kondensatora) skierowany jest pionowo w dół, co oznacza charakter pojemnościowy.]



Ponieważ

$$\tan \varphi_s = \frac{Q_s}{P_s} \quad (38)$$

więc

$$\tan \varphi_s = \tan(\arccos 0,65) = 1,17$$

Moc bierną dopuszczalną do pobierania z sieci wyznaczyć można z wartości mocy czynnej minimalnej (podstawowej) na podstawie wartości $\tan \varphi_{dop}$ i wyniesie ona:



$$\operatorname{tg} \phi_{dop} = \frac{Q_{dopo}}{P_o} \quad \operatorname{tg} \phi_{dop} = \frac{Q_{dops}}{P_s} \quad (39)$$

Ponieważ

$$m_o = \frac{P_o}{P_s} \quad (40)$$

$$Q_{dopo} = P_o \operatorname{tg} \phi_{dop} = m_o P_s \operatorname{tg} \phi_{dop} \quad (41)$$

Moc stała baterii kondensatorów wynosi

$$Q_{bst} = Q_s - Q_{dops} \quad (42)$$

$$Q_{bst} = 268,9 - 57,5 = 211,4 \text{ kVAr}$$

Z treści zadania wynika, że zmienność współczynnika mocy jest typu „A”, czyli wyraża się wzorem

$$\operatorname{tg} \phi_t = \frac{\operatorname{tg} \phi_s}{\sqrt{m_t}} \quad (43)$$

Ponieważ obliczyć należy moc Q_o , to obliczenia będą odniesione do obciążenia minimalnego (podstawowego), scharakteryzowanego przez stopień obciążenia m_o , czyli:

$$Q_o = P_o \operatorname{tg} \phi_o = m_o P_s \frac{\operatorname{tg} \phi_s}{\sqrt{m_o}} \quad (44)$$

Czyli

$$Q_o = 0,21 \cdot 230 \frac{1,17}{\sqrt{0,21}} = 123,32 \text{ kVAr}$$

Moc baterii wynosi

$$Q_b = Q_s - Q_{dopo} \quad (45)$$

$$Q_b = 268,9 - 12,075 = 256,82 \text{ kVAr}$$

Natomiast moc członu zmiennego baterii

$$Q_{bzm} = Q_b - Q_{bst} \quad (46)$$

Jest równa

$$Q_{bzm} = 256,82 - 211,4 = 45,43 \text{ kVAr}$$

Zadanie 5.

(roczne straty energii w transformatorze przy zadanym typie zmienności $\cos\phi$ – typ B)

Obliczyć roczne straty energii elektrycznej w transformatorze zainstalowanym w osiedlowej stacji transformatorowej SN/nn.

Dane transformatora: $S_{2n} = 1250 \text{ kV}\cdot\text{A}$; $\Delta P_j = 1,7 \text{ kW}$; $\Delta P_{obcn} = 12,8 \text{ kW}$. Moc szczytowa pobierana ze stacji wynosi $P_{2s} = 970 \text{ kW}$, $\cos\phi_s = 0,91$, zmienność współczynnika mocy typu „B”, $c_T = 0,16$. Współczynnik zatrudnienia transformatora $f = 1,0$.

Uporządkowany roczny wykres obciążeń podany jest w tabeli 2.

Tabela 3. Uporządkowany roczny wykres obciążeń

$\Delta t_i/T$	0 – 0,1	0,1 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0
m_t	1,0	0,8	0,7	0,6	0,2

Stopień obciążenia mocą pozorną, w zmienności współczynnika mocy typu „B” jest równy:

$$m_{St} = m_t \cdot \cos\phi_s \cdot \sqrt{1 + tg^2\phi_s \left(1 - c_T + \frac{c_T}{m_t}\right)^2} = \frac{S_t}{S_s} \quad (47)$$

$$tg\phi_s = tg \arccos 0,91 = 0,456$$

$$m_{St} = 0,8 \cdot 0,91 \cdot \sqrt{1 + (0,456)^2 \cdot \left(1 - 0,16 + \frac{0,16}{0,8}\right)^2} = 0,806$$

Dalsze obliczenia zamieszczono w tabeli 3:

Tabela 3. Zestawienie obliczeń

$\Delta t_i/T$	0 – 0,1	0,1 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0
m_t	1,0	0,800	0,700	0,600	0,200
m_{St}	1,0	0,806	0,708	0,611	0,227
m_{St}^2	1,0	0,649	0,502	0,374	0,052
g	0,1	0,195	0,100	0,075	0,010

Straty obciążeniowe mocy czynnej przy obciążeniu szczytowym wynoszą:



$$\Delta P_{obcs} = \Delta P_{obcn} \cdot \left(\frac{S_s}{S_n}\right)^2 = \Delta P_{obcn} \left(\frac{\frac{P_{2s}}{\cos \phi_s}}{S_n}\right)^2 \quad (48)$$

$$\Delta P_{obcs} = 12,8 \cdot \left(\frac{\frac{970}{0,91}}{1250}\right)^2 = 10,915 \text{ kW}$$

Stopień strat od obciążenia jest równy:

$$\vartheta = \sum_{i=1}^{i=5} m_{Sti}^2 \cdot \frac{\Delta t_i}{T} \quad (49)$$

$$\vartheta = 0,1 \cdot 1,0 + 0,649 \cdot 0,3 + 0,502 \cdot 0,2 + 0,374 \cdot 0,2 + 0,052 \cdot 0,2 = 0,480$$

Roczne straty energii elektrycznej wynoszą:

$$\Delta A_r = \Delta P_j \cdot f \cdot T + \Delta P_{obcs} \cdot \vartheta \cdot T \quad (50)$$

$$\Delta A_r = 1,7 \cdot 1,0 \cdot 8760 + 10,915 \cdot 0,480 \cdot 8760 = 14890 + 45910 = 60810 \text{ kW} \cdot h$$

3. Konstrukcja rocznego uporządkowanego wykresu obciążeń na podstawie dni reprezentatywnych

W tabeli 4 zestawiono wyniki obliczeń mocy czynnej i biernej wykonane w laboratorium.

Tabela 4. Wyniki pomiarów obciążeń mocy czynnej i biernej 4 dni reprezentatywnych

Doba	robocza zimowa		robocza letnia		świąteczna zimowa		świąteczna letnia	
Lp.	P_t kW	Q_t kVar	P_t kW	Q_t kVar	P_t kW	Q_t kVar	P_t kW	Q_t kVar
1	1330	666	1160	444	1080	540	1080	430
2	1260	648	1080	422	980	516	990	412
3	1240	639	1030	416	920	502	940	394
4	1220	639	960	400	920	494	910	385
5	1330	666	880	388	970	525	810	360
6	1470	703	980	414	910	499	740	342
7	2040	866	1320	490	800	470	820	368
8	2180	902	1530	538	790	459	920	395
9	2220	912	1570	548	850	476	1080	431



10	2170	893	1640	575	980	518	1190	458
11	2180	902	1720	593	1020	528	1180	449
12	2180	892	1720	593	1010	526	1210	458
13	2180	902	1660	578	960	511	1160	439
14	1980	848	1500	536	920	495	1110	432
15	2060	865	1550	552	890	485	1080	432
16	2240	921	1550	545	910	495	1020	413
17	2460	975	1540	546	1230	589	1020	414
18	2450	975	1450	528	1470	665	1020	414
19	2410	966	1430	520	1580	699	1040	414
20	2350	948	1480	536	1550	691	1150	440
21	2160	892	1590	565	1520	680	1490	528
22	1880	820	1620	571	1320	623	1440	519
23	1760	784	1560	554	1250	598	1330	493
24	1520	721	1300	474	1280	604	1260	474

3.1. Obliczenia i wykresy

Tabela 5. Wyniki obliczeń energii czynnej i biernej oraz stopni obciążenia

Lp.	P_{dt} kW	ΔP_{dt} kW	Δt h	A_{rP} MWh	m_{rt} -	Q_{dt} kVAr	ΔQ_{dt} kVAr	Δt h	A_{rQ} MVarh	m_{Qrt} -
1	0	0	0	0,00	0,000	0	0	0	0,000	0,000
2	740	740	8760	6482,40	0,301	342	342	8760	2995,920	0,351
3	790	50	8728	6918,80	0,321	360	18	8728	3153,024	0,369
4	800	10	8695	7005,75	0,325	368	8	8696	3222,592	0,377
5	810	10	8662	7092,37	0,329	385	17	8664	3369,880	0,395
6	820	10	8630	7178,67	0,333	388	3	8632	3395,776	0,398
7	850	30	8598	7436,61	0,346	394	6	8432	3446,368	0,404
8	880	30	8565	7693,56	0,358	395	1	8400	3454,768	0,405
9	890	10	8365	7777,21	0,362	400	5	8368	3496,608	0,410
10	910	20	8332	7943,85	0,370	412	12	8168	3594,624	0,423
11	920	10	8234	8026,19	0,374	413	1	8136	3602,760	0,424
12	940	20	8103	8188,25	0,382	414	1	8104	3610,864	0,425
13	960	20	8071	8349,67	0,390	416	2	7808	3626,480	0,427
14	970	10	7838	8428,05	0,394	422	6	7608	3672,128	0,433
15	980	10	7805	8506,10	0,398	430	8	7408	3731,392	0,441
16	990	10	7539	8581,49	0,402	431	1	7376	3738,768	0,442
17	1010	20	7507	8731,63	0,411	432	1	7344	3746,112	0,443
18	1020	10	7474	8806,37	0,415	439	7	7280	3797,072	0,450
19	1030	10	7345	8879,82	0,419	440	1	7248	3804,320	0,451
20	1040	10	7145	8951,27	0,423	444	4	7216	3833,184	0,455
21	1080	40	7113	9235,79	0,439	449	5	7016	3868,264	0,461
22	1110	30	6784	9439,31	0,451	458	9	6984	3931,120	0,470



23	1150	40	6752	9709,39	0,467	459	1	6920	3938,040	0,471
24	1160	10	6720	9776,59	0,472	470	11	6887	4013,797	0,482
25	1180	20	6488	9906,35	0,480	474	4	6854	4041,213	0,486
26	1190	10	6456	9970,91	0,484	476	2	6622	4054,457	0,488
27	1210	20	6424	10099,39	0,492	485	9	6589	4113,758	0,497
28	1220	10	6392	10163,31	0,496	490	5	6556	4146,538	0,503
29	1230	10	6292	10226,23	0,500	493	3	6356	4165,606	0,506
30	1240	10	6259	10288,82	0,504	494	1	6324	4171,930	0,507
31	1250	10	6159	10350,41	0,508	495	1	6291	4178,221	0,508
32	1260	10	6126	10411,67	0,512	499	4	6225	4203,121	0,512
33	1280	20	5994	10531,55	0,520	502	3	6192	4221,697	0,515
34	1300	20	5961	10650,77	0,528	511	9	6159	4277,128	0,524
35	1320	20	5761	10765,99	0,537	516	5	6126	4307,758	0,529
36	1330	10	5528	10821,27	0,541	518	2	6093	4319,944	0,531
37	1430	100	5296	11350,87	0,581	519	1	6060	4326,004	0,532
38	1440	10	5096	11401,83	0,585	520	1	6028	4332,032	0,533
39	1450	10	5064	11452,47	0,589	525	5	5828	4361,172	0,538
40	1470	20	4864	11549,75	0,598	526	1	5795	4366,967	0,539
41	1480	10	4731	11597,06	0,602	528	2	5762	4378,491	0,542
42	1490	10	4531	11642,37	0,606	536	8	5497	4422,467	0,550
43	1500	10	4499	11687,36	0,610	538	2	5097	4432,661	0,552
44	1520	20	4299	11773,34	0,618	540	2	4897	4442,455	0,554
45	1530	10	4166	11815,00	0,622	545	5	4864	4466,775	0,559
46	1540	10	3966	11854,66	0,626	546	1	4664	4471,439	0,560
47	1550	10	3766	11892,32	0,630	548	2	4464	4480,367	0,562
48	1560	10	3333	11925,65	0,634	552	4	4264	4497,423	0,566
49	1570	10	3133	11956,98	0,638	554	2	4064	4505,551	0,568
50	1580	10	2933	11986,31	0,642	565	11	3864	4548,055	0,579
51	1590	10	2900	12015,31	0,646	571	6	3664	4570,039	0,586
52	1620	30	2700	12096,31	0,659	575	4	3464	4583,895	0,590
53	1640	20	2500	12146,31	0,667	578	3	3264	4593,687	0,593
54	1660	20	2300	12192,31	0,675	589	11	3064	4627,391	0,604
55	1720	60	2100	12318,31	0,699	593	4	3031	4639,515	0,608
56	1760	40	1700	12386,31	0,715	598	5	2631	4652,670	0,613
57	1880	120	1600	12578,31	0,764	604	6	2598	4668,258	0,619
58	1980	100	1500	12728,31	0,805	623	19	2565	4716,993	0,639
59	2040	60	1400	12812,31	0,829	639	16	2532	4757,505	0,655
60	2060	20	1300	12838,31	0,837	648	9	2332	4778,493	0,665
61	2160	100	1200	12958,31	0,878	665	17	2232	4816,437	0,682
62	2170	10	1100	12969,31	0,882	666	1	2199	4818,636	0,683
63	2180	10	1000	12979,31	0,886	680	14	1999	4846,622	0,697
64	2220	40	600	13003,31	0,902	691	11	1966	4868,248	0,709
65	2240	20	500	13013,31	0,911	699	8	1933	4883,712	0,717
66	2350	110	400	13057,31	0,955	703	4	1900	4891,312	0,721
67	2410	60	300	13075,31	0,980	721	18	1800	4923,712	0,739
68	2450	40	200	13083,31	0,996	784	63	1700	5030,812	0,804



69	2460	10	100	13084,31	1,000	820	36	1600	5088,412	0,841
70						848	28	1500	5130,412	0,870
71						865	17	1400	5154,212	0,887
72						866	1	1300	5155,512	0,888
73						892	26	1200	5186,712	0,915
74						893	1	1000	5187,712	0,916
75						902	9	900	5195,812	0,925
76						912	10	600	5201,812	0,935
77						921	9	500	5206,312	0,945
78						948	27	400	5217,112	0,972
79						966	18	300	5222,512	0,991
80						975	9	200	5224,312	1,000

Przykładowe obliczenia:

$$\Delta P_{dt2} = P_{dt2} - P_{dt1} = 740 - 0 = 740 \text{ kW} \quad (51)$$

$$A_{rP2} = A_{rP1} + \Delta P_{dt2} \cdot \Delta t_2 = 0 + 740 \cdot 8760 = 6482400 \text{ kWh} \quad (52)$$

$$m_{rt2} = \frac{P_{dt2}}{P_{rs}} = \frac{740}{2460} = 0,301 \quad (53)$$

$$\Delta Q_{dt2} = Q_{dt2} - Q_{dt1} = 342 - 0 = 342 \text{ kVAr} \quad (54)$$

$$A_{rQ2} = A_{rQ1} + \Delta Q_{dt2} \cdot \Delta t_2 = 0 + 342 \cdot 8760 = 2995920 \text{ kVArh} \quad (55)$$

$$m_{Qrt2} = \frac{Q_{dt2}}{Q_{rs}} = \frac{342}{975} = 0,351 \quad (56)$$

$$P_i = 1,2 \cdot P_{rs} = 1,2 \cdot 2460 = 2952 \text{ kW} \quad (57)$$

$$Q_i = 1,2 \cdot Q_{rs} = 1,2 \cdot 975 = 1170 \text{ kVAr} \quad (58)$$

$$T_{rs} = \frac{A_{rP}}{P_{rs}} = \frac{13084310}{2460} = 5318,83 \text{ h} \quad (59)$$

$$T_{ri} = \frac{A_{rP}}{P_i} = \frac{13084310}{2952} = 4432,35 \text{ h} \quad (60)$$



$$P_{r\acute{s}r} = \frac{A_{rP}}{T_r} = \frac{13084310}{8760} = 1493,64 \text{ kW} \quad (61)$$

$$T_{Qrs} = \frac{A_{rQ}}{Q_{rs}} = \frac{5224312}{975} = 5358,27 \text{ h} \quad (62)$$

$$T_{Qri} = \frac{A_{rQ}}{Q_i} = \frac{5224312}{1170} = 4465,22 \text{ h} \quad (63)$$

$$Q_{r\acute{s}r} = \frac{A_{rQ}}{T_r} = \frac{5224312}{8760} = 596,38 \text{ kVar} \quad (64)$$

Dobowe zużycie energii czynnej:

Doba robocza zimowa:

$$A_d = \sum_{t_{di}=1}^{t_{di}=24} P_t \cdot \Delta t_{di} = 46270 \text{ kWh} \quad (65)$$

Doba robocza letnia:

$$A_d = \sum_{t_{di}=1}^{t_{di}=24} P_t \cdot \Delta t_{di} = 33820 \text{ kWh} \quad (66)$$

Doba świąteczna zimowa:

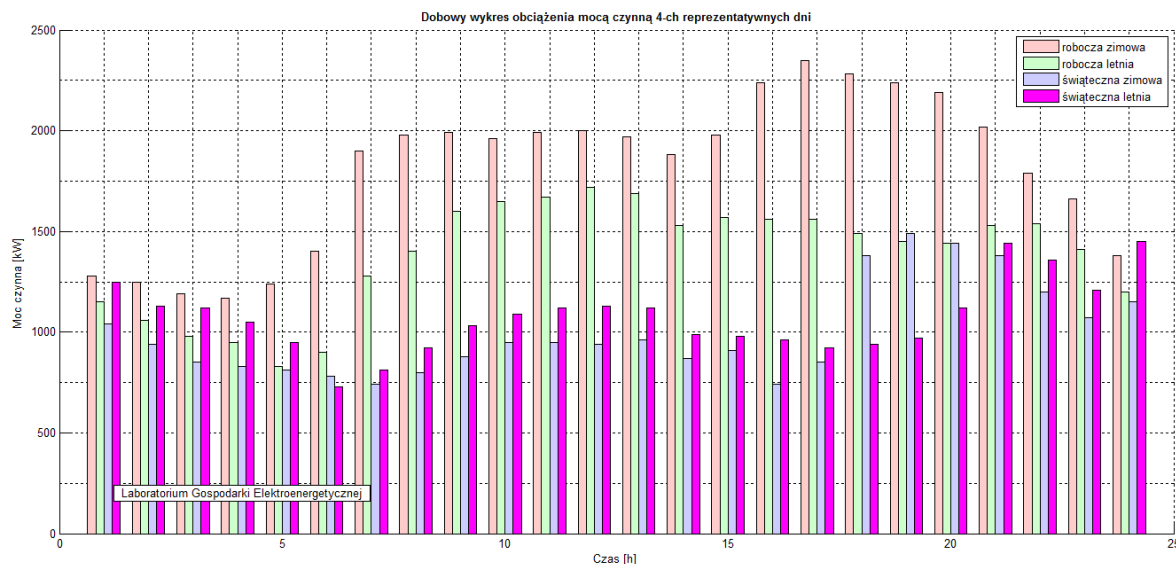
$$A_d = \sum_{t_{di}=1}^{t_{di}=24} P_t \cdot \Delta t_{di} = 26110 \text{ kWh} \quad (67)$$

Doba świąteczna letnia:

$$A_d = \sum_{t_{di}=1}^{t_{di}=24} P_t \cdot \Delta t_{di} = 25990 \text{ kWh} \quad (68)$$

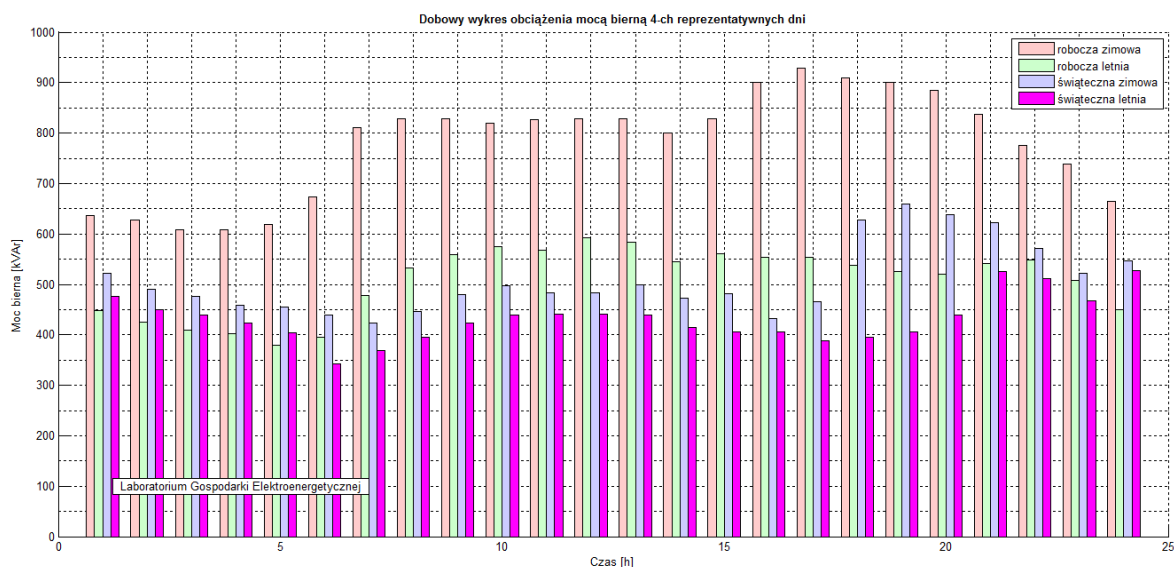
[Tekst alternatywny. Ilustracja przedstawia dobowy wykres obciążenia mocą czynną dla czterech reprezentatywnych dni. Na osi pionowej widoczna jest moc czynna [kW], natomiast oś pozioma wskazuje czas [h] w ciągu doby od 0 do 24. Każda godzina zawiera cztery słupki ilustrujące różne typy dni: roboczy zimowy (kolor zielony), roboczy letni (kolor czerwony), świąteczny zimowy (kolor niebieski) oraz świąteczny letni (kolor fioletowy). Słupki pokazują, jak w poszczególnych godzinach zmienia się obciążenie w zależności od charakteru dnia i sezonu, z wyraźnie najwyższymi

wartościami dla dni roboczych w sezonie letnim oraz najniższymi dla dni świątecznych zimowych.]



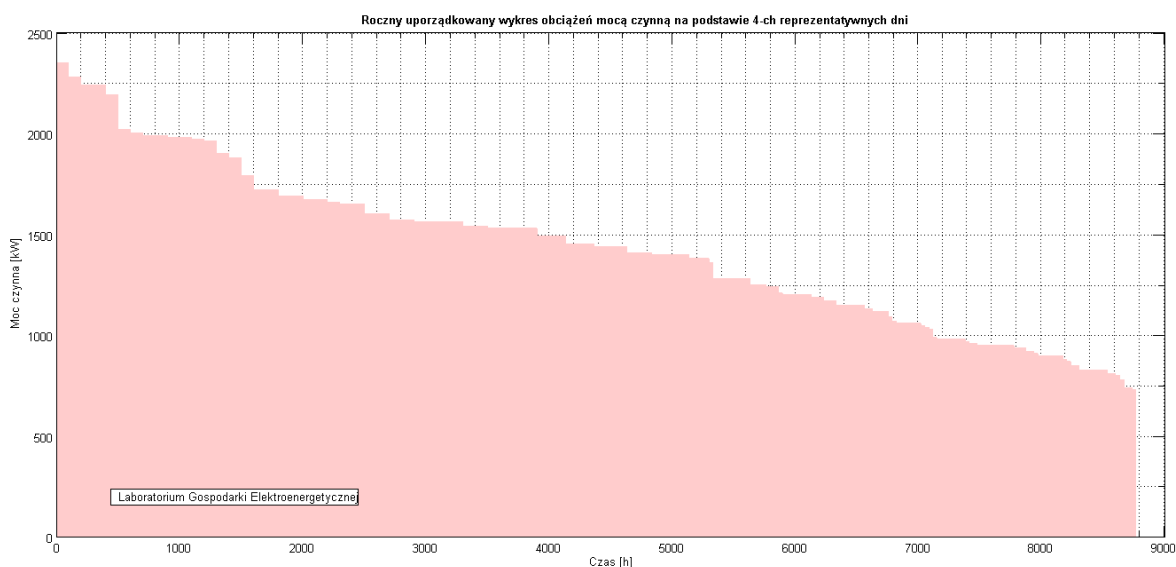
Rys.6. Dobowy wykres obciążenia mocą czynną na podstawie czterech reprezentatywnych dni

[Tekst alternatywny. Grafika przedstawia dobowy wykres obciążenia mocą bierną dla czterech reprezentatywnych dni. Oś pionowa przedstawia wartość mocy biernej w kilowoltamperach reaktywnych [kVAR], a oś pozioma czas [h] – kolejne godziny doby od 0 do 24. W każdej godzinie pokazano cztery słupki odpowiadające różnym typom dni: roboczy zimowy (zielony), roboczy letni (czerwony), świąteczny zimowy (niebieski) oraz świąteczny letni (fioletowy). Wykres obrazuje zmienność obciążenia mocą bierną w zależności od sezonu (zima/lato) i charakteru dnia (roboczy/świąteczny), z największymi wartościami dla dni roboczych letnich i najniższymi dla dni świątecznych zimowych.]



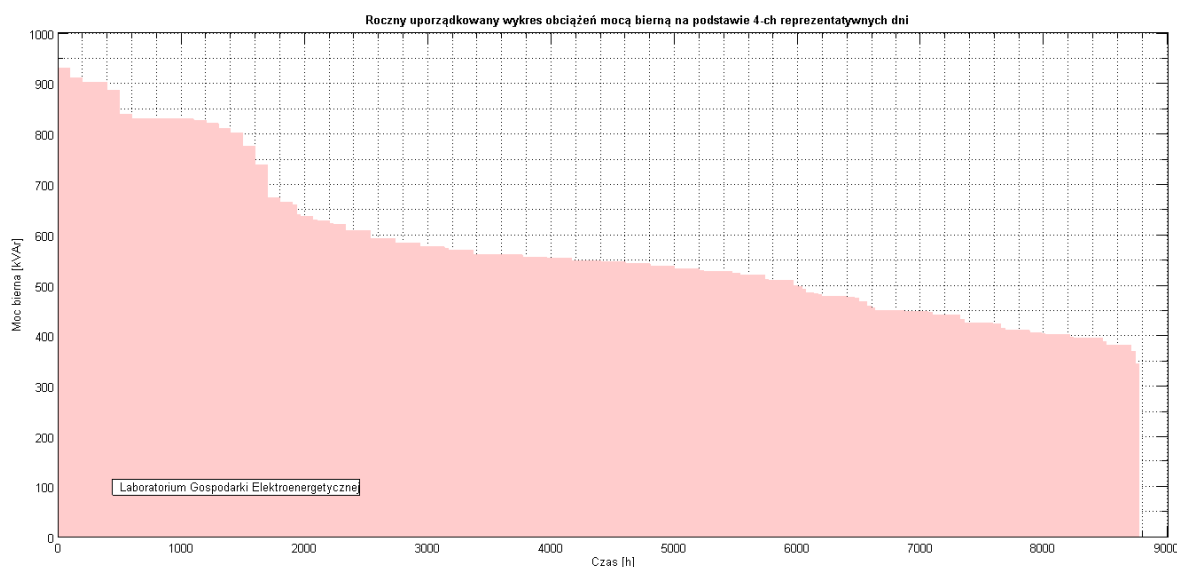
Rys.7. Dobowy wykres obciążenia mocą bierną na podstawie czterech reprezentatywnych dni

[Tekst alternatywny. Wykres przedstawia roczny uporządkowany wykres obciążeń mocą czynną, sporządzony na podstawie danych z czterech reprezentatywnych dni. Na osi pionowej zaznaczono moc czynną [kW] w zakresie od 0 do 2500, a oś pozioma pokazuje czas [h], obejmujący cały rok od 0 do ok. 8760 godzin. Jasnoczerwony obszar ilustruje stopniowy spadek poziomu obciążenia – z najwyższych wartości na początku roku do najniższych pod koniec wykresu. Wykres pozwala zobaczyć rozkład i zmienność poziomu zapotrzebowania na moc czynną w dłuższym okresie na podstawie typowych dni w roku.]



Rys.8. Roczny wykres obciążenia mocą czynną na podstawie czterech reprezentatywnych dni

[Tekst alternatywny. Ilustracja przedstawia roczny uporządkowany wykres obciążeń mocą bierną, opracowany na podstawie danych z czterech reprezentatywnych dni roku. Na osi pionowej znajduje się moc bierna [kVAr] o zakresie od 0 do 1000, natomiast na osi poziomej czas [h], obejmujący cały rok od 0 do ok. 8760 godzin. Jasnoczerwony obszar pokazuje stopniowe zmniejszanie się obciążenia mocą bierną w kolejnych godzinach – od najwyższego poziomu na początku roku do najniższego na końcu wykresu. Wizualizacja prezentuje rozkład mocy biernej w perspektywie rocznej na bazie typowych dni.]

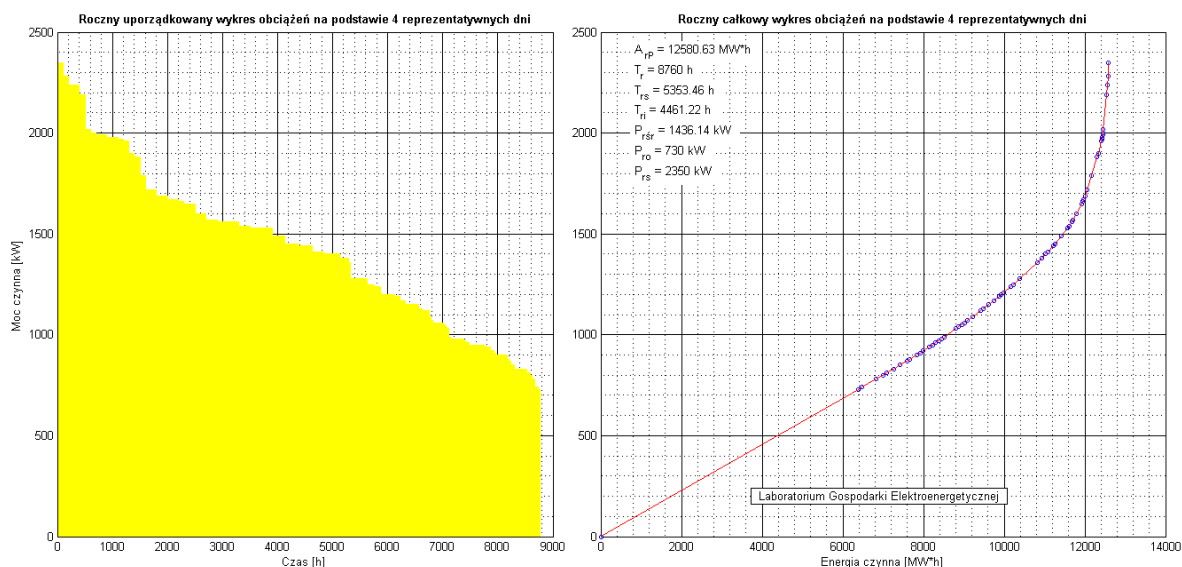


Rys.9. Roczny wykres obciążenia mocą bierną na podstawie czterech reprezentatywnych dni

[Tekst alternatywny. Ilustracja składa się z dwóch wykresów dotyczących obciążenia mocą czynną w ujęciu rocznym na podstawie 4 reprezentatywnych dni.

Lewy wykres to roczny uporządkowany wykres obciążeń mocą czynną. Oś pionowa przedstawia moc czynną [kW], a oś pozioma czas [h] dla całego roku (do ok. 8760 godzin). Żółte pole pokazuje stopniowy spadek poziomu obciążenia od najwyższych wartości na początku roku do niższych na końcu wykresu.

Prawy wykres to roczny całkowity wykres obciążeń mocą czynną. Oś pionowa przedstawia moc czynną [kW], a oś pozioma energię czynną [MWh]. Na wykresie umieszczono obliczone wskaźniki]



Rys.10. Roczny uporządkowany oraz całkowity wykres obciążenia mocą czynną na podstawie czterech reprezentatywnych dni

4. Literatura

1. Banasik K., Chojnacki A. Ł., Kaźmierczyk A., Analysis of annual load variability in the Polish electric power system. Przegląd elektrotechniczny Nr 01/2023, s. 62-66
2. Bąk J., Poradnik inżyniera elektryka tom 3, WNT, Warszawa 1996
3. Chojnacki A. Ł., Analiza dobowej, tygodniowej i rocznej zmienności obciążeń elektroenergetycznych w sieciach zasilających odbiorców komunalnych oraz przemysłowych. Przegląd elektrotechniczny Nr 06/2018, s. 56-61
4. Chojnacki A. Ł. – Analiza dobowej, tygodniowej i rocznej zmienności obciążeń elektroenergetycznych w sieciach miejskich oraz wiejskich. Przegląd elektrotechniczny Nr 06/2009, s. 9-12
5. Chojnacki A. Ł., Kaźmierczyk A., Analiza dobowej i tygodniowej zmienności obciążeń mocą czynną i bierną elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych



- SN, miejskich oraz terenowych. Energetyka, Problemy Energetyki i Gospodarki Paliwowo-Energetycznej Nr 1/2011, s. 29-37
6. Góra S., Gospodarka elektroenergetyczna w przemyśle, PWN, Warszawa 1982
 7. Kamrat W., Gospodarka energetyczna w warunkach rynkowych, PWN, Warszawa 2023
 8. Markiewicz H., Instalacje elektryczne, WNT, Warszawa 2008
 9. Matla R., Gospodarka elektroenergetyczna, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1979
 10. Niestępski S., Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T., Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001
 11. Stępień J. C., Laboratorium gospodarki elektroenergetycznej część 1.