

PODSTAWY OBLICZANIA MOCY ZAPOTRZEBOWANEJ ZAKŁADÓW PRZEMYSŁOWYCH.

1. Wstęp.

Podstawową czynnością przy projektowaniu układu zasilania zakładu przemysłowego jest ustalenie kategorii zakładu ze względu na wymagana niezawodność zasilania i wyznaczenie przewidywanego obciążenia elektroenergetycznego (obliczeniowej mocy szczytowej), od którego zależą przede wszystkim dobór parametrów znamionowych elementów projektowanego układu oraz w pewnym stopniu jego konfiguracja.

Wyznaczenie przewidywanego obciążenia z nadmiarem powoduje straty gospodarcze na skutek nieuzasadnionego zwiększenia kosztów realizacji inwestycji.

Przyjęcie zbyt małych wartości obciążeń powoduje, że zaprojektowany układ ma niską elastyczność, zbyt małą przepustowość oraz nadmierną awaryjność. To powoduje ponadto zwiększenie strat wynikających z przestojów awaryjnych, pogorszenie jakości dostarczanej energii i zwiększenie strat energii. W skrajnym przypadku na skutek niskiej przepustowości układu może istnieć konieczność przebudowy układu. Przebudowa taka może być utrudniona z uwagi na uruchomiony proces produkcyjny w zakładzie, co dodatkowo zwiększa koszty.

Istnieje wiele metod obliczania obciążeń szczytowych opracowanych przy różnych założeniach i o różnej złożoności obliczeń. Mimo to uzyskiwane wyniki często różnią się bardzo od obciążeń rzeczywistych. Stanowi to istotny problem gospodarczy. Przyczyny takiego stanu rzeczy to niedoskonałości niektórych metod obliczeniowych oraz nieadekwatność wartości wskaźników wykorzystywanych przez metody obliczeniowe. Na wartości stosowanych współczynników ma wpływ wiele czynników, takich jak między innymi:

- rodzaj i technologia produkcji oraz jej zmiany,
- rodzaj i jakość produkowanych wyrobów,
- rodzaj parku maszynowego i stopień jego dostosowania do technologii,
- rzeczywiste obciążenia i programy pracy poszczególnych odbiorników i grup odbiorników,
- kwalifikacje obsługi i dyscyplina pracy,
- organizacja produkcji,
- warunki geograficzne.

Postęp technologiczny w przemyśle związany głównie z automatyzacją i zwiększaniem jakości produkcji, wymusza częste zmiany większości powyższych parametrów, co utrudnia prawidłowe wyznaczanie przewidywanych obciążeń szczytowych.

Generalnie rzecz biorąc wskazane jest raczej przewymiarowanie projektowanych urządzeń w stosunku do aktualnych obciążeń, niż ich dobór w minimalnym stopniu spełniający wymagania. Wszystko po to, aby przy zmianie rodzaju czy technologii produkcji nie trzeba było wprowadzać dużych zmian w układzie zasilania i sieciach rozdzielczych.

Metoda obliczeniowa powinna prowadzić w możliwie prosty sposób do wyznaczenia wielkości niezbędnych dla doboru elementów układu elektroenergetycznego, z punktu widzenia ich roboczej obciążalności prądowej. Takimi wielkościami są obliczeniowy prąd szczytowy albo obliczeniowa moc szczytowa i obliczeniowy współczynnik mocy.

Mimo, że przy wyznaczaniu przewidywanych obciążeń chodzi o wyznaczenie obliczeniowego prądu szczytowego, w obliczeniach operuje się na ogół pojęciem mocy szczytowej. Wynika to z faktu, że znacznie łatwiej jest badać obciążenie mocą niż prądem, ze względu na większe rozpowszechnienie przyrządów pomiarowych, potrzebnych do wyznaczenia odpowiednich wskaźników i kontroli wyników w zakresie mocy.

Zasadniczo obliczeniowa moc szczytowa jest pojęciem umownym, służącym tylko do wyznaczenia obliczeniowego prądu szczytowego zgodnie z zależnością:

$$I_{os} = \frac{P_{os}}{\sqrt{3}U \cos \varphi_{os}} \quad (1)$$

2. Ogólna charakterystyka metod wyznaczania obliczeniowych obciążeń elektroenergetycznych.

Ocena metod obliczeniowych powinna być przeprowadzona w oparciu o następujące kryteria:

- 1) Przyjęta metoda powinna umożliwiać proste przeliczanie obliczeniowego prądu szczytowego dla dowolnych cieplnych stałych czasowych wymiarowanych elementów układu.
- 2) Uniwersalność metody w zakresie wyznaczania obciążeń dla różnych poziomów rozdziału energii (RO, GPZ).
- 3) Dostateczna dokładność uzyskiwanych wyników w zależności od ich przeznaczenia.
- 4) Łatwość wyznaczania adekwatnych wskaźników, na których opiera się metoda.
- 5) Prostota algorytmu obliczeń.

Metody obliczania obciążeń elektroenergetycznych można podzielić na:

1) Metody uproszczone:

Metody te nie uzależniają stosunku obliczeniowej mocy szczytowej do mocy zainstalowanej (mocy znamionowej) od liczby odbiorników. Metody te mogą być stosowane jedynie wówczas, gdy obciążenie w ciągu rozpatrywanego okresu jest praktycznie stałe. Dotyczy to grupy odbiorników pracujących w sposób ciągły z niezmiennym obciążeniem lub bardzo licznej grupy odbiorników o dowolnych charakterystykach obciążenia, nie wykazujących wzajemnych korelacji (np. pompy, wentylatory o ruchu ciągłym).

2) Metody uniwersalne.

Oparte są na podstawach teoretycznych z zakresu rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Uzależniają one stosunek mocy szczytowej do mocy zainstalowanej od liczby odbiorników i charakteru zróżnicowania ich mocy znamionowych. Metody służą do wyznaczania przewidywanych obciążeń powodowanych przez zbiory złożone z dowolnej liczby odbiorników, których charakterystyki obciążenia muszą być niezależne.

3) Metody specjalne.

Opierają się na pracochłonnej analizie wykresów technologicznych i charakterystyk odbiorników. W praktyce stosowane bardzo rzadko, tylko wtedy gdy nie znajdują zastosowania metody uproszczone i uniwersalne. Bardziej znane metody specjalne to metoda analizy wykresów technologicznych i metoda indywidualnej oceny obciążenia odbiorników. Stosowane są do dużych odbiorników o specjalnym charakterze pracy (np. piece łukowe, trakcja, napędy walcownicze).

W krajowej praktyce projektowej do obliczania przewidywanych obciążeń zakładów przemysłowych są stosowane następujące metody:

- metoda mocy jednostkowej (średniówek powierzchniowych),
- metoda jednostkowego zużycia energii elektrycznej ,
- metoda wskaźnika zapotrzebowania mocy k_z ,
- metoda dwuczłonowa (Liwszyca),
- metoda zastępczej liczby odbiorników n_z ,
- metoda statystyczna.

3. Metoda mocy jednostkowej (średniówek powierzchniowych).

Metoda wykorzystywana na najwcześniejszych etapach procesu projektowego (etap KP). Znajduje zastosowanie dla zakładów (oddziałów) o zamkniętym i ustalonym cyklu procesu technologicznego oraz jednorodnej i równomiernej produkcji.

Wg metody moc zapotrzebowana :

$$P_z = k_A \cdot A \quad (2)$$

gdzie: k_A – wskaźnik powierzchniowego zapotrzebowania na moc [W/m^2],

A - powierzchnia [m^2].

Niektóre wartości wskaźników k_A zestawiono w tab. 1.

Tab.1. Wskaźniki obciążenia powierzchniowego k_A mocą zapotrzebowaną.

Rodzaj wydziału lub obróbki	Obciążenie powierzchniowe k_A [W/m^2]
Przemysł maszynowy:	
• obróbka wiórowa	60 – 250
• obróbka cieplna	200 – 700
• tłocznie	60 – 180
• kuźnie	180 – 350
• spawalnie	80 – 150
• odlewnie	50 – 100
Przemysł elektroniczny	30 – 120
Wydziały obróbki drewna	40 – 60
Papiernie	100 – 150
Przemysł tekstylny	100 – 150
Huty szkła	40 – 80

4. Metoda jednostkowego zapotrzebowania na energię.

Oparta jest na znajomości danych statystycznych dotyczących zużycia energii elektrycznej na jednostkę produkcji E_j wytworzonej w określonej technologii, wydajności zakładu w ciągu roku lub innego określonego czasu oraz rocznego czasu trwania obciążenia szczytowego T_s . Metoda daje orientacyjne wyniki, ponieważ wartości E_j i T_s mogą się zmieniać dla danego wyrobu w szerokich granicach.

Metoda przydatna jest na początkowym etapie procesu projektowego do wyznaczania zapotrzebowania mocy i energii całego zakładu przemysłowego lub oddziału o zamkniętym cyklu procesu technologicznego albo do szybkiej weryfikacji wyników uzyskanych innymi metodami.

Moc zapotrzebowana określana jest z zależności :

$$P_s = \frac{E_r}{T_s} \quad (3)$$

gdzie: E_r – roczne zużycie energii,

T_s – roczny czas użytkowania mocy szczytowej.

Wartość E_r wyznaczyć można z zależności:

$$E_r = E_j \cdot N_r \quad (4)$$

gdzie: E_j – jednostkowe zużycie energii,

N_r – wielkość produkcji zakładu.

Wartości rocznych czasów użytkowania mocy szczytowej w różnych zakładach przemysłowych zestawiono w Tab.2., natomiast w Tab. 3 zestawiono wskaźniki zużycia energii elektrycznej na jednostkę produkcji w różnych zakładach przemysłowych.

Tab.2. Roczne czasy użytkowania mocy szczytowej T_s w niektórych gałęziach przemysłu.

Rodzaj zakładu	T_s [h]
Kopalnie węgla kamiennego	4800 – 6700
Kopalnie rud metali kolorowych	5500 – 6500
Huty żelaza	5500 – 6800
Zakłady przemysłu metali kolorowych	5000 – 6000
Zakłady budowy maszyn ciężkich	3800
Fabryki narzędzi i aparatów	3500 – 4100
Warsztaty naprawcze samochodów	3400 – 4400
Zakłady przemysłu chemicznego	5800 – 6800
Cementownie	5600 – 6800
Huty szkła	7100
Tartaki	4700
Fabryki mebli	4400 – 7100
Zakłady przemysłu papierniczego	5000 – 6500
Chłodnie	4000 – 4500
Młyny	4000 – 5000
Stacje pomp	7500

Tab.3. Wskaźniki zużycia energii elektrycznej na jednostkę produkcji.

Rodzaj produktu	Jednostka produktu	Zużycie energii [kW·h]
Przemysł chemiczny: <ul style="list-style-type: none"> • Farby • Kwas siarkowy • Jedwab wiskozowy • Włókna poliestrowe • Wyroby gumowe 	tona tona tona tona tona	150 – 225 160 – 190 7460 – 9500 1500 – 2000 250 – 400
Przemysł tekstylny i lekki: <ul style="list-style-type: none"> • Przędza bawełniana • Tkanina bawełniana • Materiały czesankowe • Tkaniny techniczne • Obuwie skórzane 	tona tona tona 1000 m ² 1000 par	80 1200 2500 750 450
Przemysł drzewny i papierniczy: <ul style="list-style-type: none"> • Obróbka drewna • Papier gazetowy • Papier elektroizolacyjny 	m ³ tona tona	9 – 30 375 10000
Przemysł spożywczy: <ul style="list-style-type: none"> • Mąka • Krochmal • Cukier • Masło i ser • Pieczywo 	tona tona tona tona tona	30 – 54 150 – 260 110 – 200 100 – 120 12 – 17
Przemysł materiałów budowlanych: <ul style="list-style-type: none"> • Cement portlandzki • Cegła czerwona • Szkło okienne • Wapno wypalane • Beton 	tona 1000 szt. tona tona tona	130 15 – 100 50 – 96 8 – 10 5
Przemysł maszynowy: <ul style="list-style-type: none"> • Silniki elektryczne • Transformatory • Samochody osobowe • Wagony tramwajowe • Traktory 	kW kV·A szt. szt. szt.	12 – 18 2 – 5 700 – 1300 7000 5000 – 8000

5. Metoda wskaźnika zapotrzebowania mocy k_z .

Metoda może być stosowana do wyznaczania mocy szczytowych całych zakładów, poszczególnych oddziałów, stacji transformatorowych, czy poszczególnych rozdzielni zasilających grupy odbiorników o określonym przeznaczeniu i programie pracy. Poprawne wyniki uzyskuje się przy liczbie odbiorników równej co najmniej około 50, w przeciwnym razie nie powinno się jej w zasadzie stosować. Metoda jest prosta w obliczeniach i ma zastosowanie przy ustalaniu koncepcji zasilania i założeń projektowych.

5.1. Obliczanie mocy zapotrzebowanej grupy odbiorników.

Moc zapotrzebowaną czynną jednorodnej grupy odbiorników o takich samych lub zbliżonych programach pracy można wyznaczyć z zależności:

$$P_{Zi} = k_{zi} \sum P_{ni} \quad (5)$$

gdzie: k_{zi} – wskaźnik zapotrzebowania mocy grupy odbiorników,
 P_{ni} - moce znamionowe odbiorników w grupie,

Moc zapotrzebowaną bierną można wyznaczyć z zależności:

$$Q_{Zi} = P_{Zi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{zi} \quad (6)$$

gdzie: φ_{zi} – kat odpowiadający współczynnikowi mocy $\cos \varphi_{zi}$ grupy odbiorników przy obciążeniu szczytowym.

Wartości k_{zi} i $\operatorname{tg} \varphi_{zi}$ ($\cos \varphi_{zi}$) dla różnych grup urządzeń zestawiono w Tab. 4 .

5.2. Obliczanie mocy zapotrzebowanej oddziału (rozdzielniczy oddziałowej).

Moc zapotrzebowaną czynną i bierną oddziału złożonego z różnych grup odbiorników można wyznaczyć z zależności:

$$P_{Zo} = \sum P_{Zi} ; \quad Q_{Zo} = \sum Q_{Zi} \quad (7a,b)$$

gdzie: P_{Zi} – moce zapotrzebowane czynne grup odbiorników.
 Q_{Zi} – moce zapotrzebowane bierne grup odbiorników

Moc zapotrzebowaną bierną oddziału można wyznaczyć z zależności:

Moc zapotrzebowaną pozorną grupy odbiorników wyznaczyć można z zależności:

$$S = k_j \cdot \sqrt{P_{Zo} + Q_{Zo}} \quad (8)$$

Przy braku dokładnych danych przyjmować wartość $k_{jg} = 0.95 - 1.00$.

Tab. 4. Wartości współczynników zapotrzebowania k_{zi} oraz $\cos \varphi_{sr}$ niektórych grup odbiorników dla przemysłu metalowego.

Grupa odbiorników	Wartości	
	k_{zi}	$\cos \varphi_{sr}$
Obrabiarki do metali przy produkcji seryjnej o zwykłych programach pracy: małe tokarki, strugarki, dłuciarki, frezarki, wiertarki, karuzelówki.	0,15 – 0,20	0,40 – 0,60
Obrabiarki do metali o ciężkich programach pracy: prasy, automaty, rewolwerówki, zdzieraki, frezarki do kół zębatach, strugarki, karuzelówki.	0,25	0,65
Obrabiarki do metali o bardzo ciężkich programach pracy: napędy młotów, maszyn kowalskich, przeciągarek, zgniataczy.	0,35 – 0,40	0,65
Przenośne urządzenia elektryczne.	0,1	0,5
Wentylatory urządzeń produkcyjnych i sanitarne.	0,65 – 0,70	0,8
Pompy, sprężarki.	0,75	0,85
Dźwigi, suwnice.	0,10 – 0,20	0,50
Elewatory i przenośniki.	0,5 – 0,65	0,75
Transformatory spawalnicze.	0,30	0,40
Przetwornice spawalnicze.	0,30 – 0,35	0,40 – 0,60
Piece indukcyjne małej częstotliwości.	0,80	0,35
Piece indukcyjne dużej częstotliwości.	0,80	0,80
Generatory lampowe pieców indukcyjnych dużej częstotliwości.	0,80	0,65
Piece oporowe, suszarki, nagrzewnice.	0,80	0,95
Źródła światła.	0,80	1,0

5.3. Obliczanie mocy zapotrzebowanej całego zakładu.

Całkowite moce zapotrzebowane zakładu można obliczyć z zależności:

$$P_Z = k_j \sum P_{Zo} \quad (9)$$

$$Q_Z = k_{jb} \sum P_{Zo} \quad (10)$$

gdzie: k_j , k_{jb} - współczynniki jednoczesności mocy czynnej i biernej.

$$k_{jb} = 0,67 + 0,33 k_j \quad (11)$$

Wartości współczynników k_j podano w Tab.5.

Tab. 5. Wartości współczynników jednoczesności mocy czynnej k_j i biernej k_{jb} zakładu.

Moc zapotrzebowana P_z [kW]	k_j	k_{jb}
$P_z \leq 500$	1,0	0,9
$500 < P_z \leq 1000$	0,9	0,97
$1000 < P_z \leq 2500$	0,85	0,95
$2500 < P_z \leq 7000$	0,8	0,93
$P_z > 7000$	0,7	0,9

Możliwe jest wyznaczenie mocy zapotrzebowanej całego zakładu w sposób bardzo przybliżony z zależności :

$$P_Z = k_z \sum P_n \quad (12)$$

$$Q_Z = P_Z \cdot \operatorname{tg} \varphi_{av} \quad (13)$$

gdzie: k_z – wskaźnik zapotrzebowania dla branży przemysłowej,

P_n – moce odbiorników w zakładzie.

Wartości k_z i $\cos \varphi_{av}$ dla różnych zakładów przemysłowych zestawiono w Tab.6.

Tab. 6. Ogólne wskaźniki zapotrzebowania k_z mocy szczytowej gałęzi przemysłu.

Rodzaj przemysłu	k_z	$\cos \rho_{av}$
Kopalnia węgla kamiennego.	0,43	0,78
Huta szkła.	0,42 – 0,60	0,75
Huta żelaza	0,38	0,78
Produkcja maszyn ciężkich.	0,25	0,62
Produkcja obrabiarek.	0,20	0,68
Produkcja maszyn elektrycznych.	0,27	0,77
Produkcja kabli i przewodów.	0,44	0,67
Cementownia.	0,63	0,82
Synteza chemiczna (bez pieców karbidowych).	0,55	0,80
Produkcja kwasu siarkowego i nawozów fosforowych.	0,35	0,75
Przemysł gumowy.	0,39	0,70
Przemysł papierniczy.	0,49	0,63 – 0,74
Przemysł wełniany.	0,42	0,72
Przemysł bawełniany.	0,44	0,67
Przemysł lniarski.	0,53	0,70
Przemysł tytoniowy.	0,26	0,64
Przemysł młynarski.	0,63	0,75
Przemysł kamienia budowlanego.	0,73 – 0,82	0,61

6. Metoda dwuczłonowa (Liwszyca).

Metoda dwuczłonowa jest szczególnie przydatna do obliczania obciążenia stacji transformatorowych i linii zasilających grupy silników poszczególnych oddziałów w zakładach metalowych, dla których opracowano dostatecznie dokładne wartości współczynników.

Obliczenia przeprowadza się dzieląc moc zapotrzebowaną na dwie składowe:

- ciągłą, uwzględniającą moc średnią, pobieraną przez wszystkie odbiorniki,
- rozruchową pobieraną przez odbiorniki o największej mocy znamionowej podczas rozruchu.

6.1. Obliczanie mocy zapotrzebowanej grupy odbiorników.

Wartość mocy zapotrzebowanej grupy odbiorników o zbliżonych programach pracy i charakterze obciążenia wyznaczyć można z zależności:

$$P_{Zi} = b \sum_{i=1}^n P_{ni} + c \sum_{i=1}^m P_{nmi} \quad (14)$$

gdzie: b, c – współczynniki podane w Tab.7,

P_{ni} – moce znamionowe urządzeń w grupie,

N – ilość urządzeń w grupie,

m . – liczba silników o największych mocach znamionowych).

Wartości współczynników b, c, m . do wyznaczania obciążeń metodą dwuczłonową zestawiono w Tab.7.

Jeżeli $n < m$ to należy przyjąć $m = n$.

Tab. 7. Wartości współczynników do wyznaczania obciążeń szczytowych metodą dwuczłonową.

Rodzaj odbiorników	Wartości współczynników			$\cos \rho$
	b	m	c	
Silniki elektryczne do napędu obrabiarek do metali:				
- w zakładach cieplnej obróbki metali przy produkcji wielkoseryjnej i taśmowej,	0,26	5	0,5	0,65
- w zakładach zimnej obróbki metali przy produkcji małoseryjnej i nieseryjnej,	0,14	5	0,4	0,50
- w zakładach zimnej obróbki metali przy produkcji wielkoseryjnej i taśmowej.	0,14	5	0,5	0,50
Silniki elektryczne do napędu wentylatorów, pomp, sprężarek o mocy do 100 kW.	0,65	5	0,25	0,75
Przenośniki taśmowe.	0,4 – 0,6	5	0,2 – 0,4	0,75
Silniki elektryczne do napędu przenośników taśmowych:				
- niezblokowane,	0,4	4	0,4	0,75
- zblokowane.	0,6	5	0,2	0,75
Urządzenia dźwigowe (praca przerywana $\varepsilon = 25\%$):				
- w kotłowniach, zakładach remontowych, montażowych,	0,06	3	0,2	0,50
- w odlewniach,	0,09	3	0,3	0,50
- dla pieców martenowskich,	0,11	3	0,3	0,50
- w walcowniach.	0,18	3	0,3	0,50
Urządzenia grzejne:				
- piece oporowe z automatycznym napełnianiem,	0,70	2	0,3	0,95
- piece oporowe z nieautomatycznym napełnianiem,	0,50	1	0,5	0,95
- drobne odbiorniki w laboratoriach (suszarki oporowe, przyrządy grzejne).	0,70	-	-	1,0
Spawarki:				
- do spawania punktowego i liniowego,	0,35	-	-	0,60
- do spawania stykowego.	0,35	-	-	0,70
Transformatory spawalnicze:				
- do spawania automatycznego,	0,5	-	-	0,50
- do spawania ręcznego jedno stanowiskowego,	0,5	-	-	0,40
- do spawania ręcznego wielo stanowiskowego.	0,07 – 0,9	-	-	0,50
Przetwornice spawalnicze dwumaszynowe:				
- jedno stanowiskowe,	0,35	-	-	0,60
- wielo stanowiskowe.	0,07 – 0,9	-	-	0,75

6.2. Obliczanie mocy zapotrzebowanej oddziału.

Moc zapotrzebowaną oddziału składającego się z kilku grup odbiorników można wyznaczyć z zależności:

$$P_{Zo} = \sum_{i=1}^N (b_i \cdot P_{ni}) + \left(c \sum_{i=1}^m P_{nmi} \right)_{\max}. \quad (15)$$

$$Q_{Zo} = \sum_{i=1}^N (b_i \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i) + \operatorname{tg} \varphi_i \left(c \sum_{i=1}^m P_{nmi} \right)_{\max}. \quad (16)$$

gdzie: N – liczba grup odbiorników,

Wartość mocy pozornej wyznaczyć można z zależności:

$$S_Z = k_j \sqrt{P_{Zo}^2 + Q_{Zo}^2} \quad (17)$$

gdzie $k_j = 1$.

7. Metoda zastępczej liczby odbiorników.

Metoda służy do obliczania mocy średniej, mocy zapotrzebowanej oraz krótkotrwałych prądów rozruchowych na różnych poziomach zasilania

Metoda wykorzystuje rachunek statystyki matematycznej. Główna idea metody polega na tym, że grupę odbiorników o różnych mocach znamionowych i zbliżonych charakterystykach obciążenia zastępuje się grupą n_z odbiorników o jednakowej zastępczej mocy znamionowej P_{nz} i jednakowym programie pracy.

Moc szczytowa zastępczej liczby odbiorników jest równa mocy szczytowej rozpatrywanej grupy odbiorników. Uwzględniając, że suma mocy znamionowych zastępczej liczby odbiorników równa się sumie mocy znamionowych odbiorników rzeczywistych :

$$n_z \cdot P_{nz} = \sum P_{ni} \quad (18)$$

gdzie: n_z – zastępcza liczba odbiorników,

P_{ni} – moce znamionowe rzeczywistych odbiorników,

P_{nz} - zastępcza moc odbiorników o równej mocy,

można wyznaczyć wartość zastępczej liczby odbiorników:

$$n_z = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum P_{ni}^2} \quad (20)$$

Oraz mocy znamionowej zastępczego odbiornika:

$$P_{nz} = \frac{\sum P_{ni}^2}{\sum P_{ni}} \quad (21)$$

7.1. Obliczanie mocy średnich grupy odbiorników.

Wartości mocy średnich grupy odbiorników można wyznaczyć z zależności:

$$P_{avi} = k_{wi} \sum P_{ni} \quad (22)$$

$$Q_{avi} = P_{avi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{avi} \quad (23)$$

gdzie: k_{wi} – współczynnik wykorzystania mocy grupy odbiorników.

Wartości k_{wi} i $\cos \varphi_{avi}$ dla różnych odbiorników podano w tab.8a,b

Tab.8.a. Wartości współczynników wykorzystania mocy zainstalowanej k_w oraz $\cos \varphi_{av}$ niektórych grup odbiorników dla przemysłu metalowego do wyznaczania zapotrzebowania na moc metodą zastępczej liczby odbiorników.

Grupa odbiorników	Wartości	
	k_w	$\cos \varphi_{av}$
Obrabiarki do metali przy produkcji seryjnej o zwykłych programach pracy: małe tokarki, strugarki, dłuciarki, frezarki, wiertarki, karuzelówki.	0,13 – 0,15	0,40 – 0,60
Obrabiarki do metali o ciężkich programach pracy: prasy, automaty, rewolwerówki, zdzieraki, frezarki do kół zębatych, strugarki, karuzelówki.	0,17	0,65
Obrabiarki do metali o bardzo ciężkich programach pracy: napędy młotów, maszyn kowalskich, przeciągarek, zgniataczy.	0,20 – 0,24	0,65
Przenośne urządzenia elektryczne.	0,06	0,5
Wentylatory urządzeń produkcyjnych i sanitarne.	0,60 – 0,65	0,8
Pompy, sprężarki.	0,70	0,85
Dźwigi, suwnice.	0,05 – 0,1	0,50
Elewatory i przenośniki.	0,40 – 0,55	0,75
Transformatory spawalnicze.	0,20	0,40
Przetwornice spawalnicze.	0,20 – 0,30	0,40 – 0,60
Piece oporowe, suszarki, nagrzewnice.	0,75 – 0,80	0,95

Tab.8.b. Wartości współczynników wykorzystania mocy zainstalowanej k_w oraz $\cos \varphi_{av}$ niektórych grup odbiorników wybranych gałęzi przemysłu do wyznaczania zapotrzebowania na moc metodą zastępczej liczby odbiorników.

Grupa odbiorników	Wartości	
	k_w	$\cos \varphi_{av}$
Przemysł hutniczy (hutnictwo żelaza i metali nieżelaznych)		
Pompy wody	0,70 – 0,90	0,80 – 0,90
Wentylatory	0,65 – 0,90	0,70 – 0,90
Kompresory	0,65	0,70
Dźwigi	0,20 – 0,30	0,60 – 0,70
Piec oporowe	0,60 – 0,80	1,00
Piec łukowe	0,65 – 0,70	0,87 – 0,90
Przemysł chemiczny		
Urządzenia do produkcji żywicy	0,65	0,80
Urządzenia do produkcji szkła organicznego	0,50 – 0,80	0,70 – 0,80
Produkcja taśm gumowych transportowych i pasów napędowych		
- do silników wysokiego napięcia,	0,53	0,80
- do silników niskiego napięcia	0,30	0,70
Przemysł włókienniczy		
Fabryki włókien sztucznych:		
- przędzalnia	0,60	0,75
- skrawalnia	0,65	0,75
- przewijalnia	0,70	0,75
Produkcja jedwabiu:		
- przędzalnia i wykańczalnia	0,60 – 0,80	0,75 – 0,80
- przewijalnia.	0,65 – 0,80	0,76 – 0,80
Przemysł budowlany		
Ładowarki betonu	0,15	0,60
Maszyny formierskie	0,15	0,60
Koparki z napędem elektrycznym	0,40 – 0,60	0,50 – 0,60
Spawarki	0,35	0,60
Transformatory spawalnicze	0,20	0,40
Przemysł papierniczy		
Przygotowanie drewna i zrębków.	0,14	0,86
Produkcja tektury	0,41	0,86
Produkcja kartonu	0,29	0,86

7.2. Obliczanie mocy zapotrzebowanej grupy odbiorników.

W celu wyznaczenia mocy zapotrzebowanej należy wyznaczyć wartość zastępczej liczby odbiorników korzystając z zależności:

$$n_z = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum P_{ni}^2} \quad (24)$$

Gdy liczba odbiorników w grupie $n \geq 5$ można wyznaczyć wartość n_z w sposób uproszczony:

- wyznacza się względną liczbę odbiorników:

$$n_r = \frac{n_g}{n} \quad (25)$$

gdzie: n_g – liczba odbiorników w grupie o mocy równej co najmniej połowie mocy największego odbiornika,
 n – liczba odbiorników w grupie.

- wyznacza się moc względną:

$$P_r = \frac{\sum P_{ng}}{\sum P_{ni}} \quad (26)$$

gdzie: $\sum P_{ng}$ – suma mocy znamionowych odbiorników n_g ,
 $\sum P_{ni}$ – suma mocy wszystkich odbiorników grupy.

- wyznacza się korzystając z tab.9 lub wykresu (rys.1) względną zastępczą liczbę odbiorników

$$n_{zw} = f(n_r, P_r) \quad (27)$$

- wyznacza wartość zastępczej liczby odbiorników z zależności :

$$n_z = n_{zw} \cdot n \quad (28)$$

Wartość mocy zapotrzebowanych grupy odbiorników można obliczyć z zależności:

$$P_{zi} = k_s \cdot P_{avi} = k_s k_{wi} \sum P_{ni} \quad (29)$$

$$Q_{zi} = k_s Q_{avi} \quad (30)$$

gdzie: k_s – współczynnik szczytu wyznaczony z zależności:

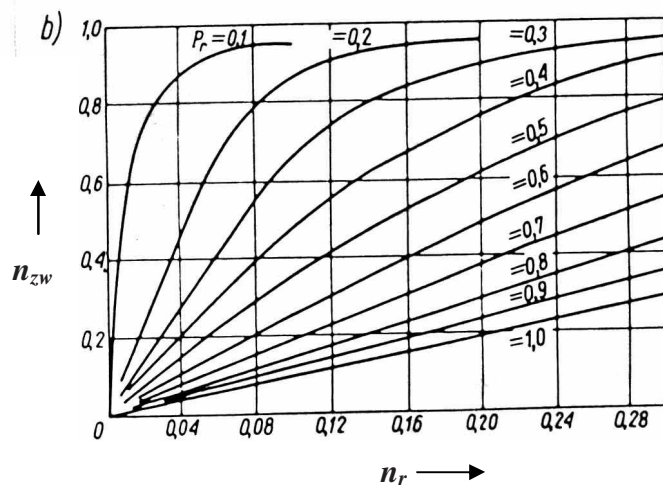
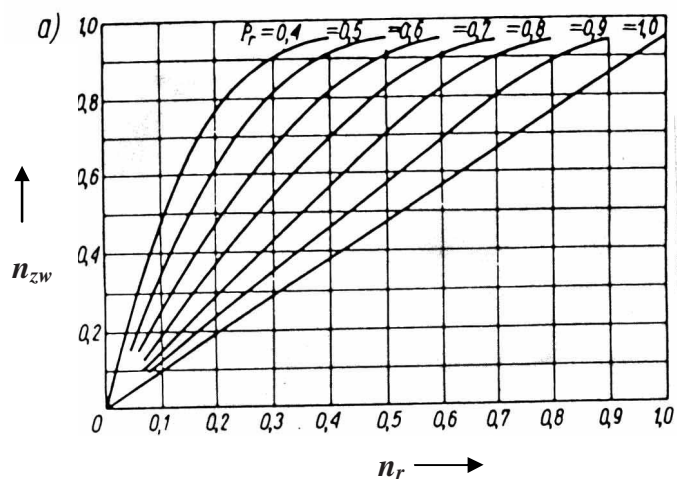
$$k_s = 1 + \frac{1.5}{\sqrt{n_z}} \sqrt{\frac{1 - k_{wi}}{k_{wi}}} \quad (31)$$

albo odczytany z wykresu (rys.2) lub z tab.10.

Rys. 1 . Zależność względnej zastępczej liczby odbiorników n_{zw} od względnej liczby odbiorników n_r dla różnych względnych mocy P_r odbiorników:

a) $P_r = 0.4 - 1.0$ oraz $n_r \leq 1$,

b) $P_r = 0.1 - 0.4$ oraz $n_r < 0.3$



Tab.10. Tabela do wyznaczania współczynnika szczytu k_s w metodzie zastępczej liczby odbiorników.

n_z	Wartości współczynnika k_s w zależności od k_w									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,18	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10	1,04
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08	1,04
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
35	1,56	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
55	1,36	1,27	1,21	1,15	1,13	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
220	1,14	1,12	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
260	1,13	1,11	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
280	1,13	1,10	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,10	1,07	1,06	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	1,01

$$I_m = I_r + k_s \frac{S_{av}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (32)$$

gdzie: I_r – największy prąd rozruchowy odbiornika w grupie,

k_s – współczynnik szczytu grupy odbiorników bez odbiornika o największym prądzie rozruchowym,

S_{av} – moc pozorna średnia grupy odbiorników bez odbiornika o największym prądzie rozruchowym.

7.4. Obliczanie mocy zapotrzebowanej oddziału lub zakładu.

Wartość mocy zapotrzebowanej oddziału lub zakładu złożonego z różnych grup odbiorników wyznacza się z zależności:

$$P_{Zz} = k_s \sum P_{avi} \quad (33)$$

gdzie wartość k_s oblicza się z zależności:

$$k_s = 1 + \frac{1.5}{\sqrt{n_z}} \sqrt{\frac{1 - k_{wn}}{k_{wn}}} \quad (34)$$

gdzie: n_z – zastępcza liczba wszystkich odbiorników,

k_{wn} – współczynnik wykorzystania mocy odbiorników należących do m. grupy.

$$k_{wn} = \frac{\sum_{i=1}^m k_{wi} P_{Ni}}{\sum P_{Ni}} \quad (35)$$

gdzie: m. – liczba grup odbiorników,

k_{wi} – współczynnik wykorzystania mocy urządzeń w danej grupie,

P_{Ni} – suma mocy znamionowych odbiorników danej grupy.

8. Wyznaczanie zapotrzebowania mocy z uwzględnieniem strat transformacji.

W przypadku obliczania mocy zapotrzebowanej na napięciu wyższym niż napięcie zasilania odbiorników, tzn. po stronie pierwotnej transformatora należy dodatkowo uwzględnić straty mocy na urządzeniach pośredniczących (w transformatorach oddziałowych i w liniach zasilających rozdzielnice oddziałowe) oraz uwzględnić zapotrzebowanie mocy wynikające z pracy odbiorników zasilanych wprost na tym napięciu.

Straty transformacji można wyznaczyć z zależności:

$$\Delta P_{tr} = \Delta P_{jn} + \Delta P_{on} \left(\frac{S_{sd}}{S_{nt}} \right)^2 \quad (36)$$

$$\Delta Q_{tr} = \frac{i_o}{100} S_{nt} + \frac{\sqrt{e_z^2 + e_r^2}}{100} S_{nt} \left(\frac{S_{sd}}{S_{nt}} \right)^2 \quad (37)$$

gdzie: ΔP_{jn} – znamionowe straty mocy jałowe transformatora [kW],
 ΔP_{on} – znamionowe straty mocy obciążenia transformatora [kW],
 S_{sd} – obciążenie szczytowe pozorne po stronie dolnego napięcia transformatora [kV·A],
 S_{nt} – moc znamionowa transformatora [kV·A],
 i_o – prąd jałowy transformatora [%],
 e_z – pozorne napięcie zwarcia transformatora [%],
 e_r – czynne napięcie zwarcia transformatora [%].

W sposób uproszczony przyjmować można szacunkowo :

$\Delta P_{tr} = 1,5 - 2$ % zapotrzebowania mocy pozornej,
 $\Delta Q_{tr} = 7,5 - 10$ % zapotrzebowania mocy pozornej.

Straty mocy dla trójfazowych linii kablowych ŚN (do 30 kV) można wyznaczyć z zależności:

$$\Delta P_k = \frac{P_s^2 R_k}{\cos^2 \varphi_s U_{ns}^2} 10^{-3} \quad (38)$$

$$\Delta Q_k = \frac{P_s^2}{\cos^2 \varphi_s U_{ns}^2} X_k \cdot 10^{-3} + U_{ns}^2 2\pi f C \cdot 10^{-3} \quad (39)$$

przy czym:

$$R_k = \frac{l}{\gamma S} 10^3 \quad (40)$$

$$X_k = X'_k \cdot l \quad (41)$$

gdzie: P_s – moc czynna przesyłana linią [kW],
 U_{ns} – napięcie znamionowe linii [kV],
 R_k – rezystancja linii [Ω],
 X_k – reaktancja linii [Ω],
 l – długość linii [km],
 S – przekrój znamionowy linii [mm²],
 X'_k – reaktancja jednostkowa linii [Ω /km],
 f – częstotliwość znamionowa sieci [Hz],
 C – pojemność robocza kabla [μ F],

Literatura:

- Dołęga K., Kobusiński M.: Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych. Zagadnienia wybrane. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2012.
- Instalacje elektryczne i teletechniczne. Poradnik monterów i inżynierów elektryków, Verlag Dashöfer Warszawa 2002.
- Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja, OWPW Warszawa 2001
- Markiewicz H.: Urządzenia elektroenergetyczne, WNT Warszawa 2000.