

## METODYKA PROGNOZOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA MOC JAKO NARZĘDZIE NA POTRZEBY PLANOWANIA ROZWOJU SIECI DYSTRYBUCYJNYCH – REFERAT KONFERENCYJNY

Jarosław Grzegorz KORPIKIEWICZ<sup>1</sup>, Leszek BRONK<sup>2</sup>, Rafał Magulski<sup>3</sup>

1. Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk  
tel.: 58 349 82 11 fax: 58 341 76 85 e-mail: j.korpikiewicz@ien.gda.pl
2. Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk  
tel.: 58 349 82 11 fax: 58 341 76 85 e-mail: l.bronk@ien.gda.pl
3. Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk  
tel.: 58 349 82 11 fax: 58 341 76 85 e-mail: r.magulski@ien.gda.pl

**Streszczenie:** Przedstawiona w referacie metodyka prognozowania zapotrzebowania na moc łączy techniki ekstrapolacji trendów, wynikających z historycznych danych pomiarowych z wykorzystaniem informacji o potencjale rozwoju społeczno-gospodarczego rozpatrywanego obszaru oraz prognoz makroekonomicznych i demograficznych, dostępnych dla różnych szczebli podziału terytorialnego kraju. Zastosowanie proponowanej metodyki pozwala wykonać projekcje zapotrzebowania na moc w węzłach 110kV oraz 15/0,4 kV w średnim i długim horyzoncie czasowym.

**Słowa kluczowe:** planowanie rozwoju, prognozy, OSD

### 1. WSTĘP

Znajomość obciążeń w przyszłości stanowi podstawę do planowania sieci, dlatego oszacowanie zapotrzebowania na moc powinno być możliwie dokładne. Wymaga to wieloetapowego podejścia, analizy wielu źródeł informacji w skali lokalnej, regionalnej, jak i ogólnokrajowej, rozpatrzenia zachodzących zmian w strukturze wykorzystywanych nośników energii, zmian energochłonności, itp. Prezentowane w referacie metodyczne podstawy wykorzystania dostępnych dokumentów o charakterze strategicznym lub planistycznym, w celu oszacowania przyszłego zapotrzebowania na moc w obszarach i węzłach sieci dystrybucyjnej mogą ułatwić optymalizację planowania rozwoju sieci pod kątem minimalizacji kosztów rozbudowy, przy zachowaniu wymaganego poziomu niezawodności.

Przyjęto, że przewidywane wielkości zapotrzebowania na moc w poszczególnych obszarach lub węzłach sieci dystrybucyjnej będą wyznaczone w oparciu o dane statystyczne oraz na podstawie prognoz rozwoju gospodarczego, przy uwzględnieniu uwarunkowań lokalnych. Dlatego podstawą do tworzenia prognoz zapotrzebowania na moc były:

- historyczne dane będące w dyspozycji operatora systemu dystrybucyjnego (OSD): dane z „śród pomiarowych”, charakterystyka istniejącego stanu sieci elektroenergetycznej, jednostkowe zapotrzebowanie na moc i

energię różnych typów odbiorców, dynamikę przyłączanych nowych odbiorców, itp.;

- plany zagospodarowania przestrzennego i rozwoju społeczno-gospodarczego rozpatrywanego obszaru;
- informacje o zamierzeniach inwestycyjnych odbiorców;
- statystyczne dane dotyczące ludności, gospodarstw domowych, podmiotów gospodarczych, zatrudnienia;

Informacje o odbiorcach zgromadzone przez OSD przypisane są według głównych punktów zasilania (GPZ) zaś pozostałe źródła z reguły bazują na podziale administracyjnym kraju. Stąd może pojawić się konieczność dopasowania i ujednoczenia danych będących w dyspozycji operatora do informacji pochodzących z pozostałych źródeł.

Przyjęto, że ze względu na charakter rocznej zmienności zapotrzebowania generalnie prognozy zapotrzebowania tworzone będą dla czterech modeli charakterystycznych odpowiadających dolinie i szczytowi obciążenia w sezonie letnim i zimowym. W szczególnym przypadkach gdy zapotrzebowanie szczytowe przypada lub może występować w innym czasie, należy dodatkowo określić zapotrzebowanie szczytowe dla tego okresu.

### 2. MODEL BAZOWY WYDZIELONEGO OBSZARU SIECI DYSTRYBUCYJNEJ

Punktem wyjścia do dalszych rozważań prognostycznych jest określenie obecnego poziomu zapotrzebowania na moc szczytową w analizowanym podobszarze sieci dystrybucyjnej (np. w stacji GPZ). W tym celu należy stworzyć model bazowy tego podobszaru, który będzie uwzględniał istniejącą topologię sieci, przyłączonych odbiorców oraz specyfikę ich zapotrzebowania na moc.

Podstawowym źródłem danych do jego tworzenia są informacje zgromadzone przez OSD, obejmujące: aktualną konfigurację stacji GPZ z infrastrukturą sieciową SN oraz nn, ilości odbiorców w poszczególnych grupach taryfowych,

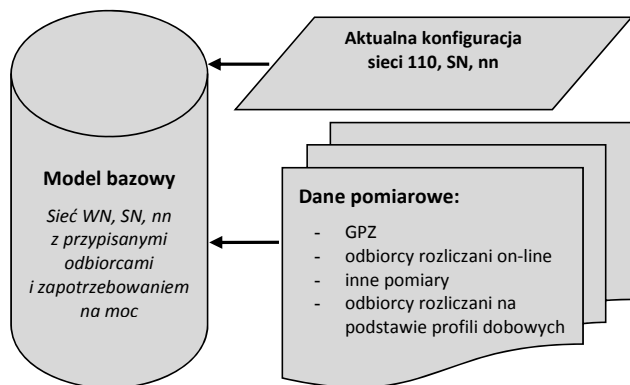
zasilanych z poszczególnych transformatorów SN/nn, z określeniem ich lokalizacji (nazwy gminy dla obszarów wiejskich, nazwy miasta lub dzielnicy w przypadku obszarów miejskich). Dane te pozwalają odwzorować aktualną konfigurację sieci na terenie OSD z przyłączonymi odbiorcami do stacji GPZ.

Kolejnym krokiem jest określenie zapotrzebowania na moc odbiorców przyłączonych stacji GPZ. W pierwszej kolejności należy określić szczytowe obciążenie stacji. Można tego dokonać na podstawie wyników standardowych pomiarów, realizowanych cyklicznie w ramach tzw. „śródpomiarowych”. Dane te obejmują pomiary mocy czynnej i biernej w poszczególnych węzłach sieci 110 kV, przeprowadzane dwukrotnie w ciągu roku, w styczniu i w lipcu.

Do budowy modelu bazowego można również wykorzystać dane z dostępnych punktów pomiarowych, zlokalizowanych w obrębie sieci SN i nn. Stanowią one będą dodatkowe źródło informacji o obciążeniach w poszczególnych podobszarach tej sieci i posłużą do weryfikacji obliczeń zapotrzebowania na moc u odbiorców końcowych.

W przypadku odbiorców wyposażonych w układy pomiarowo-rozliczeniowe, umożliwiające rejestrację danych, do określenia ich szczytowego zapotrzebowania należy wykorzystać rzeczywiste dane pomiarowe, zaś w przypadku pozostałych odbiorców możliwe jest określenie statystycznego obciążenia z wykorzystaniem tzw. profili obciążenia. Profile te wyznaczone są na podstawie pomiarów wykonywanych przez Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPIREE).

Wykorzystanie standardowych profili zapotrzebowania będzie stanowiło jedynie pewne przybliżenie, gdyż w rzeczywistości w poszczególnych podobszarach sieci niewielcy odbiorcy mogą charakteryzować się różnymi jednostkowymi wskaźnikami zapotrzebowania na moc. Oznacza to, że nawet przy dość jednorodnej strukturze odbiorców łączne zapotrzebowanie na moc może różnić się od szacunków przeprowadzonych na podstawie profili obciążenia. Dlatego przy braku rzeczywistych danych pomiarowych przyjęte dla poszczególnych typów odbiorców jednostkowe wskaźniki zapotrzebowania należy zweryfikować i ewentualnie skorygować w oparciu o dostępne dane pomiarowe z transformatorów SN/nn oraz w stacji GPZ. Wraz z postępującym rozwojem systemów inteligentnego opomiarowania, umożliwiającego rejestrację i zdalny odczyt informacji o zużyciu u odbiorców, uśrednione dane statystyczne należy zastępować rzeczywistymi pomiarami, co pozwoli uzyskać większą precyzję tworzonego modelu.



Rys. 1. Schemat tworzenia modelu bazowego do projekcji zapotrzebowania na moc.

Łączne średniogodzinowe zapotrzebowanie na moc w stacji GPZ będzie sumą zapotrzebowania wielu grup odbiorców, o zróżnicowanym dobowym charakterze zużycia oraz strat w sieci dystrybucyjnej, pomniejszoną o łączną moc w generacji źródeł wytwórczych przyłączonych do sieci zasilanych z tej stacji, zgodnie z zależnością:

$$P_{GPZ} = \sum P_{GR} + \sum P_{OR} - \sum P_G + \sum \Delta P \quad (1)$$

gdzie:  $P_{GPZ}$  - zmierzone zapotrzebowanie na moc w stacji GPZ,  $\sum P_G$  - sumaryczna moc generowana przez źródła wytwórcze przyłączone do sieci zasilanej ze stacji GPZ,  $\sum P_{OR}$  - łączne zapotrzebowanie na moc odbiorców zasilanych ze stacji GPZ, objętych zdalnym odczytem stanu liczników,  $\sum P_{OR}$  - łączne zapotrzebowanie na moc pozostałych odbiorców, bez możliwości rejestracji danych o zużyciu,  $\Delta P$  - straty w sieci dystrybucyjnej SN oraz nn.

W dalszych rozważaniach przyjęto, że straty w sieciach SN i nn przyłączonych do stacji GPZ nie będą rozpatrywane oddzielnie, lecz zostaną przydzielone wszystkim odbiorcom, proporcjonalnie do ich zapotrzebowania na moc. Na podstawie wskazań systemów pomiarowych znane są wielkości  $P_{GPZ}$ ,  $P_{OR}$  oraz  $P_G$ , nieznane łączne zapotrzebowanie na moc odbiorców nie objętych rejestracją i zdalnym odczytem wskazań liczników będzie więc wypadkową mocy, zgodnie z zależnością:

$$\sum P_{OR} = P_{GPZ} + \sum \Delta P_G - \sum P_{OR} \quad (2)$$

Tę samą wielkość można oszacować przypisując wszystkim odbiorców nie objętych rejestracją i zdalnym odczytem liczników do odpowiednich grup odbiorców, dla których określone są standardowe profile obciążenia, stosując wzór:

$$P'_{OR} = \sum_{k=1}^k P_{OR_k} \times n_k \times w_k \quad (3)$$

gdzie:  $k$  - liczba grup odbiorców, dla których określono standardowe profile obciążenia,  $n_k$  - liczba odbiorców z przypisanym  $k$ -tym standardowym profilem obciążenia,  $w_k$  - współczynnik kalibracji wyznaczony dla  $k$ -tego standardowego profilu,  $P_{OR_k}$  - średnie zapotrzebowanie na moc odbiorcy odczytane z odpowiedniej godziny  $k$ -tego standardowego profilu obciążenia

Standardowe profile obciążenia bazując na uśrednionych wielkościach zapotrzebowania najlepiej nadają się do modelowania dużych populacji odbiorców, zaś w przypadku odwzorowania fragmentów sieci, z relatywnie niewielką liczbą przyłączonych odbiorców, lub gdy przyłączeni odbiorcy charakterystyką zapotrzebowania odbiegać będą w istotny sposób od profilu całej populacji, uzyskane wyniki obliczeń mogą znacząco różnić się od rzeczywistego zapotrzebowania. Dlatego przy modelowaniu zapotrzebowania odbiorców nie objętych systemem zdalnego odczytu liczników należy uwzględnić współczynniki kalibracji. Współczynniki te należy dobierać w taki sposób aby obliczeniowe zapotrzebowanie w tej grupie odbiorców pokryło się z rzeczywistym, określonym przez zależność (2).

### 3. PROGNOZA W HORYZONCIE 2-LETNIM

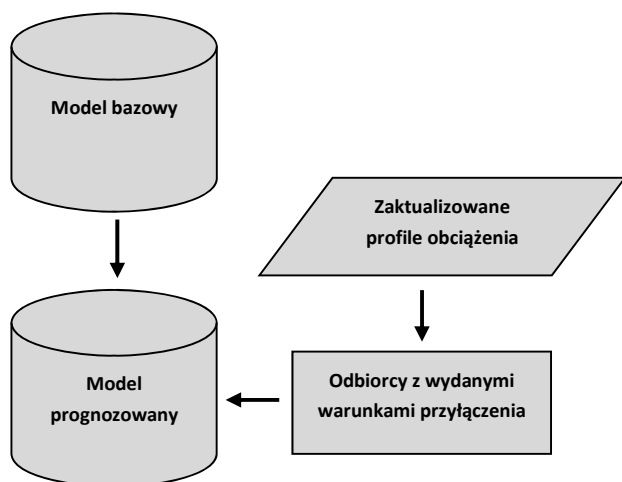
Obliczenia wykonane dla tego okresu powinny być podstawą do planowania rozwoju sieci SN i nn oraz powinny pozwolić na dokładne oszacowanie potrzeb inwestycyjnych w tej sieci. Ze względu na okres realizacji inwestycji za

podstawowe dane w horyzoncie dwuletnim należy uznać informacje o nowych odbiorcach z wydanymi warunkami przyłączenia. Przyjęto założenie, że prognozowane zmiany zapotrzebowania na moc będą wynikały tylko z przyłączeń nowych odbiorców, zaś zmiany jakościowe w charakterze zapotrzebowania dotychczasowych odbiorców nie będą miały istotnego znaczenia. Przy określaniu zapotrzebowania na moc nowych odbiorców przewidziano wykorzystanie dostępnych profili obciążeń.

Dysponując przygotowanym wcześniej modelem bazowym w kolejnym kroku należy do istniejącego schematu sieci przypisać nowych odbiorców z wydanymi warunkami lub odbiorców ubiegających się o warunki przyłączenia do sieci, w przypadku gdy istnieje duże prawdopodobieństwo realizacji przyłączenia w analizowanym horyzoncie czasu.

Następnie należy określić zapotrzebowanie na moc nowych odbiorców w godzinie odpowiadającej maksymalnemu obciążeniu stacji GPZ. Zapotrzebowanie odbiorców z V grupy przyłączeniowej (mieszkalnictwo - taryfa G, mniejsze przedsiębiorstwa handlowo-usługowe - taryfa C1x) można określić za pomocą profili zapotrzebowania lub innych dostępnych danych. Przypadki odbiorców z innych grup przyłączeniowych należy rozważać indywidualnie, o ile dostępne są pomiary większej liczby odbiorców, o podobnej specyfice działalności, możliwe jest opracowanie nowego standardowego profilu zapotrzebowania.

Przy wyznaczaniu prognozowanej mocy należy dokonać rozdziału obciążenia w jednakowym czasie dla wszystkich odbiorców przyłączonych do transformatora lub innego elementu sieci. Moc szczytową w dowolnym węźle uzyskuje się przez zsumowanie obciążeń poszczególnych odbiorców. Uproszczony schemat postępowania przedstawiono na rys. 2



Rys. 2. Schemat tworzenia modelu dla 2-letniego horyzontu prognozy

Prognozowane sumaryczne zapotrzebowanie na moc czynną można opisać zależnością:

$$P_{H2} = P_B + \sum_{i=1}^n P_{WP} \quad (4)$$

gdzie:  $P_{H2}$  - sumaryczna prognozowana moc czynna na transformatorze w stacji GPZ,  $P_B$  - moc czynna odbiorców istniejących przyłączonych do transformatora w stacji GPZ,  $P_{WP}$  - moc czynna n-tego odbiorcy z wydanymi warunkami przyłączenia.

#### 4. PROGNOZA W HORYZONCIE 5 I 15-LETNIM

W horyzoncie 5-letnim plany rozwoju mogą mieć bardziej ogólny charakter. Mogą być wyrażone w szacunkowych kwotach, które będzie trzeba ponieść na rozwój sieci w danym obszarze, łączącej mocy transformatorów, łączącej długości linii, lokalizacji nowych GPZ. Parametry te mogą być wyznaczone wskaźnikowo w oparciu o szacunki wzrostu zapotrzebowania na moc oraz znane parametry techniczne sieci.

Horyzont 15-letni obarczony jest dużym stopniem niepewności odnośnie możliwego wzrostu zapotrzebowania na moc i energię. Sporządzone dla tego okresu prognozy mogą służyć do wyznaczenia wskaźników mówiących o globalnych potrzebach rozwoju w skali większego obszaru/regionu (np. obszar powiatu).

Do sporządzenia prognoz zapotrzebowania szczytowego posłuży liniowy model ekonometryczny. Model ten sprowadzać się będzie do poszukiwania na podstawie danych historycznych zależności pomiędzy wielkością objaśnianą (a wielkościami które ją kształtują. Model ten można zapisać w postaci równania:

$$P_{GPZ\_GR} = a_0 + a_1 \times x_1 + a_2 \times x_2 + \dots + a_k \times x_k + \varepsilon \quad (5)$$

gdzie:  $P_{GPZ\_GR}$  - szczytowe zapotrzebowanie na moc czynną w GPZ lub grupie GPZ,  $x_1, \dots, x_k$  - zmienne objaśniające,  $a_0, \dots, a_k$  - parametry strukturalne modelu,  $k$  - liczba zmiennych objaśniających;  $\varepsilon$  - składnik losowy (zmienna wyrażająca łączny efekt czynników nieuwzględnionych w modelu, błędów wynikających z przyjęcia niewłaściwej postaci funkcji, błędów pomiaru).

Zmienną objaśnianą w przyjętym modelu dla horyzontu 5-letniego będzie szczytowe obciążenie stacji GPZ, natomiast dla horyzontu 15-letniego obciążenie szczytowe wybranej grupy GPZ. Dobór stacji GPZ realizowany jest w sposób, aby zasilani z nich odbiorcy zlokalizowani byli na obszarze jednego powiatu.

Potencjalne zmienne objaśniające stanowić będą dostępne prognozy ekonomiczne i demograficzne, wraz z danymi historycznymi dla okresu, w którym dostępne są również historyczne dane o obciążeniu szczytowym GPZ. Spośród nich do budowy modelu zostaną wybrane zmienne najlepiej spełniające poniższe kryteria:

- obejmujące dostatecznie duży zakres czasowy, zarówno w zakresie danych historycznych, jak i w zakresie wartości prognozowanych,
- silnie skorelowane ze zmienną objaśnianą,
- nie skorelowane, lub co najwyżej wykazujące słabą korelację z pozostałymi zmiennymi objaśniającymi.

Po dokonaniu wyboru zmiennych objaśniających należy wyznaczyć parametry strukturalne modelu (metodą najmniejszych kwadratów – SMK), a następnie przeprowadzić weryfikację merytoryczną i statystyczną poprawności konstrukcji modelu. Zweryfikowany model posłuży do sporządzenia wariantowej prognozy szczytowego zapotrzebowania na moc czynną GPZ (lub grupy GPZ), w oparciu dostępne scenariuszowe prognozy zmiennych objaśniających bądź z wykorzystaniem prognozy przedziałowej wykonanej na podstawie obliczonego średniego błędu prognozy „ex-ante” oraz założonego poziomu wiarygodności.

Prognoza przedziałowa szczytowego zapotrzebowania na moc czynną w grupie GPZ może być wykonana zgodnie z wzorem:

$$P(P_{GPZ_{c,n}}^* - t_{\alpha} V_T < P_{GPZ_{c,n}} < P_{GPZ_{c,n}}^* + t_{\alpha} V_T) = 1 - \alpha \quad (6)$$

gdzie:  $P_{GPZ_{c,n}}^*$  - prognoza punktowa szczytowego zapotrzebowania na moc czynną GPZ (lub grupy GPZ),  $V_T$  - średni błąd prognozy „ex-ante” dla okresu T,  $t_{\alpha}$  - wartość statystyki t-Studenta, przy założonym współczynniku ufności oraz n-k-1 stopni swobody,  $\alpha$  - współczynnik istotności, n - wielkość serii dla danych historycznych, k - ilość zmiennych objaśniających, T - horyzont prognozy (n+5 lub n+15)

W przypadku horyzontu 5-letniego na podstawie informacji z planów zagospodarowania przestrzennego, kierunków rozwoju określonych w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego lub innych dokumentów planistycznych należy przeprowadzić dodatkową weryfikację wyznaczonych prognoz zapotrzebowania szczytowego. Dlatego przewidziano uzupełnienie danych prognostycznych w oparciu o informacje pozyskane od samorządów lokalnych. W tym celu należy przeprowadzić badanie kwestionariuszowe. Badanie to będzie miało na celu rozpoznanie i zestawienie w jednolitej formie potencjału wzrostu zapotrzebowania na moc w oparciu o dane zawarte w projektach założeń i planów zaopatrzenia w media energetyczne, planach zagospodarowania przestrzennego, strategiach rozwoju oraz identyfikację terenów dedykowanych do celów inwestycyjnych, mieszkaniowych, itp. Z punktu widzenia zapotrzebowania na moc istotne znaczenie dla analizowanego obszaru będzie miało pozyskanie informacji o dostępności dla odbiorców alternatywnych nośników energii. Monitorowanie kierunków rozwoju terenów gminnych pozwoli na określenie obszarów wymagających szczegółowych analiz rozwoju sieci, przyczyni się do oszacowania wymaganych nakładów na rozbudowę i modernizację sieci.

Dla 15-letniego horyzontu prognoza zapotrzebowania szczytowego na moc czynną dla pojedynczej stacji GPZ może być wykonana na bazie prognozy dotyczącej grupy

GPZ oraz prognozy jego udziału w łącznym zapotrzebowaniu grupy. W tym celu dla okresu historycznego, prognozy dwuletniej oraz prognozy pięcioletniej powinny zostać wyznaczone udziały procentowe poszczególnych GPZ w łącznym zapotrzebowaniu na moc czynną grupy. Z udziałów tych tworzone są szeregi czasowe, których trendy zmian mogą być aproksymowane wybranymi funkcjami liniowymi lub nieliniowymi. Dobór funkcji trendu realizowany może być na podstawie kryterium najlepszego dopasowania do danych empirycznych, mierzonego współczynnikiem determinacji  $R^2$  oraz względnego błędu prognozy ex-ante nie przekraczającego 10%. Zgodnie z wybraną funkcją trendu na okres  $T=n+15$  można oszacować procentowe udziały poszczególnych. Oszacowane udziały oraz prognoza przedziałowa zapotrzebowania na moc grupy GPZ posłużyć może do określenia zapotrzebowania na moc czynną poszczególnych GPZ.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Planowanie rozwoju sieci dystrybucyjnej, zapewniające dotrzymanie wymaganego poziomu niezawodności pracy, przy minimalizacji nakładów na rozbudowę wymaga wykonania prognoz przyszłego zapotrzebowania na moc odbiorców końcowych przyłączonych do tej sieci.

W proponowanej metodyce prognozowania zapotrzebowania szczytowego na moc zastosowano odmienne podejście ze względu zróżnicowane horyzonty planowania oraz podjęto próbę uwzględniania lokalnych uwarunkowań oraz przewidywanych tendencji rozwojowych o charakterze społeczno-ekonomicznym mających wpływ obciążenie systemu dystrybucyjnego w przyszłości.

Przedstawiona w referacie metodyka prognozowania zapotrzebowania szczytowego na moc w węzłach sieci dystrybucyjnej stanowiła podstawę do opracowania w Instytucie Energetyki Oddział Gdańsk narzędzia informatycznego pod nazwą WPM (Węzłowa Prognoza na Moc), służącego optymalizacji planowania rozwoju sieci dystrybucyjnej.

## METHODOLOGY OF USING ANCILLARY SERVICES PROVIDED BY DISTRIBUTED GENERATION FOR PLANNING AND DEVELOPMENT MV NETWORK PROCESSES – CONFERENCE PAPER

**Key-words:** network development planning, forecasting, distribution network.

Planning for the development of the distribution network, providing the required level of reliability, while minimizing expenditures for the expansion requires a forecast of future demand for power end-users connected to the network. Dynamics of changes in electrical load will depend on many factors, both local (eg, changes in the structure and number of customers) and global (eg, changes in energy intensity of consumption). Presented in the paper forecasting methodology combines the power demand trend extrapolation techniques, resulting from historical measurement data, with using the information about the potential socio-economic development and available economic and demographic forecasts at different levels of territorial division of the country. Application of the proposed methodology allows to perform medium and long term projections of demand for power in the nodes of distribution network.