

Sistem za pametno krmiljenje industrijskih bremen in razpršene proizvodnje električne energije

Gregor Kandare¹, Mitja Bizjak²

¹Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

²INEA d.o.o. , Stegne 11, 1000 Ljubljana

gregor.kandare@ijs.si, mitja.bizjak@inea.si

A system for smart control of industrial load and distributed power generation.

Classical electrical networks with centralised generation have been changing significantly in the recent years. In modern networks, power generation has migrated to the distribution networks. This is mostly due to the advent of renewable energy sources such as wind, sun, and tides. The drawback of most of these energy sources is that they are very volatile which makes the energy production very unpredictable. Due to the increased complexity of the supply and also demand, a need for more complex control systems for electrical networks has emerged. Such systems, often referred to as smart grids, use modern measurement, information, and communication technologies to leverage the distributed energy production, flows and consumption.

In the article the KIBERnet project is presented. The objective of the project was to build a system that enables the energy supplier to match the consumption of his portfolio with the day-ahead prediction, in order to avoid the penalties.

Kratek pregled prispevka

Klasična električna omrežja s centralizirano proizvodnjo elektrike v zadnjih letih doživljajo korenite spremembe. V modernih električnih omrežjih se proizvodnja elektrike seli v distribucijska omrežja. Predvsem se tu pojavljajo obnovljivi viri energije kot so veter, sonce, plimovanje. Pomanjkljivost teh virov je da so zelo nestalni, kar povzroča, da je proizvodnja elektrike iz teh virov težko napovedljiva. Zaradi naraščajoče kompleksnosti proizvodnje, prenosa in porabe elektrike je nastala potreba po zahtevnejših sistemih za vodenje električnih omrežij. Taki sistemi, pogosto imenovani pametna omrežja (smart grids), slonijo na modernih merilnih, informacijskih in komunikacijskih tehnologijah in zagotavljajo uravnoteženost proizvodnje, tokov in porabe energije.

V članku je predstavljen projekt KIBERnet, katerega cilj je bil zgraditi sistem, ki bo dobavitelju električne energije omogočal, da bo s pomočjo portfelja odjemalcev čimbolje 24-urni napovedi odjema električne energije (voznemu redu), in se tako izognil plačevanju kazni zaradi odstopanja.

1 Uvod

Dobavitelj električne energije mora narediti napoved odjema svojega portfelja (množice odjemalcev) za nek prihodnji časovni okvir (ponavadi za 24 ur naslednjega dne, včasih tudi za več dni). Če se dobavitelj ne drži napovedanega odjema, mora plačati penale (malus). Napovedani profil moči odjema, ki ga imenujemo *vozni red*, je vzorčen (1-urni intervali). Ko se v napovedanemu časovnemu okviru odjem dejansko izvršuje, dobavitelj z neko periodo (4 ure), ponovno napove odjem in ugotavlja, če bo prišlo do odstopanj glede na prvotno napoved za cel časovni okvir. Ugotovljena odstopanja mora kompenzirati, da se izogne plačilu malusa. Kompenzacijo odstopanja lahko dobavitelj izvrši s pomočjo t.i. virtualne elektrarne.

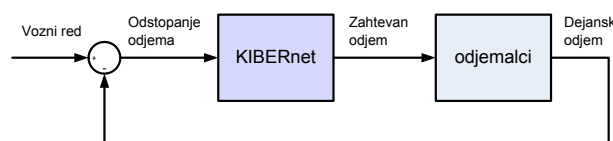
Virtualno elektrarno sestavlja skupek porabnikov in razpršenih virov električne energije. Pomemben element virtualne elektrarne je informacijsko komunikacijska tehnologija, ki te gradnike povezuje in usklajuje. S stališča omrežja se virtualna elektrarna obnaša enako kot navadna elektrarna. Če je na primer v nekem trenutku potrebno zmanjšati odjem za določeno vrednost moči, se virtualna elektrarna odzove tako, da za ustrezne vrednosti zmanjša moči odjemov svojih porabnikov oziroma poveča proizvodnjo razpršenih virov. V tem kontekstu je nastal pojem *negawatt*, ki predstavlja enoto za megawatt prihranjene energije. Virtualna elektrarna z razpršenimi viri proizvaja megawatte, s prilagajanjem bremen pa negawatte. Sistem KIBERnet [1], ki je opisan v tem prispevku, je implementacija virtualne elektrarne.

2 Sistem KIBERnet

Osnovna naloga sistema KIBERnet je, da uporabniku (sistemski operaterji prenosnega in distribucijskega omrežja, dobavitelji, odjemalci) pomaga slediti napovedanim voznim redom odjema. Pri tem mu pomagajo industrijski odjemalci, ki so sposobni in pripravljeni

spremeniti svoj odjem. To storijo bodisi s spremembo porabo bremen, ali pa s spremembo moči virov energije. Za ta poseg v ponudbi za prilagajanje določijo ceno.

Slika 2 prikazuje sistem KIBERnet z regulacijsko zanko. Vhod v sistem je razlika med dejanskim odjemom in odjemom, ki ga zahteva vozni red. Sistem KIBERnet deluje kot regulator, katerega izhod so zahteve odjemalcem, kako naj prilagodijo svoj odjem, da bo dejanski odjem čimbolje sledil voznemu redu.

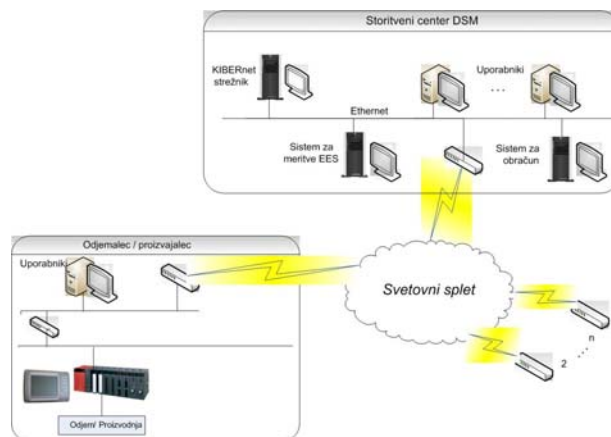


Slika 2: Sistem KIBERnet predstavljen s povratno zanko

2.1 Arhitektura sistema KIBERnet

Sistem KIBERnet je sestavljen iz dveh delov (slika 1). Prvi del je računalniški sistem storitvenega centra – KIBERnet_RS_SC. Storitveni center opravlja naslednje funkcije:

- Komunikacija z računalniškimi sistemi na nivoju dobavitelja električne energije.
- Komunikacija z računalniškimi sistemi odjemalcev KIBERnet_RS_ODJ.
- Izvajanje algoritma prilagajanja odjema električne energije na strani dobavitelja.



Slika 1: Delitev sistema KIBERnet

- Beleženje učinkov prilagajanja odjema ter pregled zgodovine prilagajanja odjema.

Najpomembnejša funkcija sistema KIBERNET_RS_SC je izvajanje algoritma prilagajanja odjema, ki zajema naslednje aktivnosti:

- Izvajanje optimizacijskega algoritma za izbiro nabora odjemalcev, ki se bodo prilagajali.
- Predpisovanje profilov moči, ki se jih bodo odjemalci morali držati da bi izvedli prilagajanje.
- Spremljanje prilagajanja.

Drugi del sistema KIBERNET predstavljajo računalniški sistemi odjemalcev – KIBERNET_RS_ODJ. Računalniški sistemi odjemalcev KIBERNET_RS_ODJ obsegajo programsko ter strojno opremo, ki sestoji iz merilno-regulacijske opreme, krmilnikov ter računalnikov. Sistem KIBERNET_RS_ODJ je razdeljen na procesni in na nadzorni nivo. Procesni nivo zajema podatke iz procesa, napoveduje možno prilagajanje, izvaja algoritem prilagajanja, izvršuje posege na bremenih ter komunicira z nadzornim nivojem.

Nadzorni nivo zapisuje podatke v podatkovno bazo, prikazuje stanja in omogoča vnos podatkov, alarmov ter izdeluje poročila.

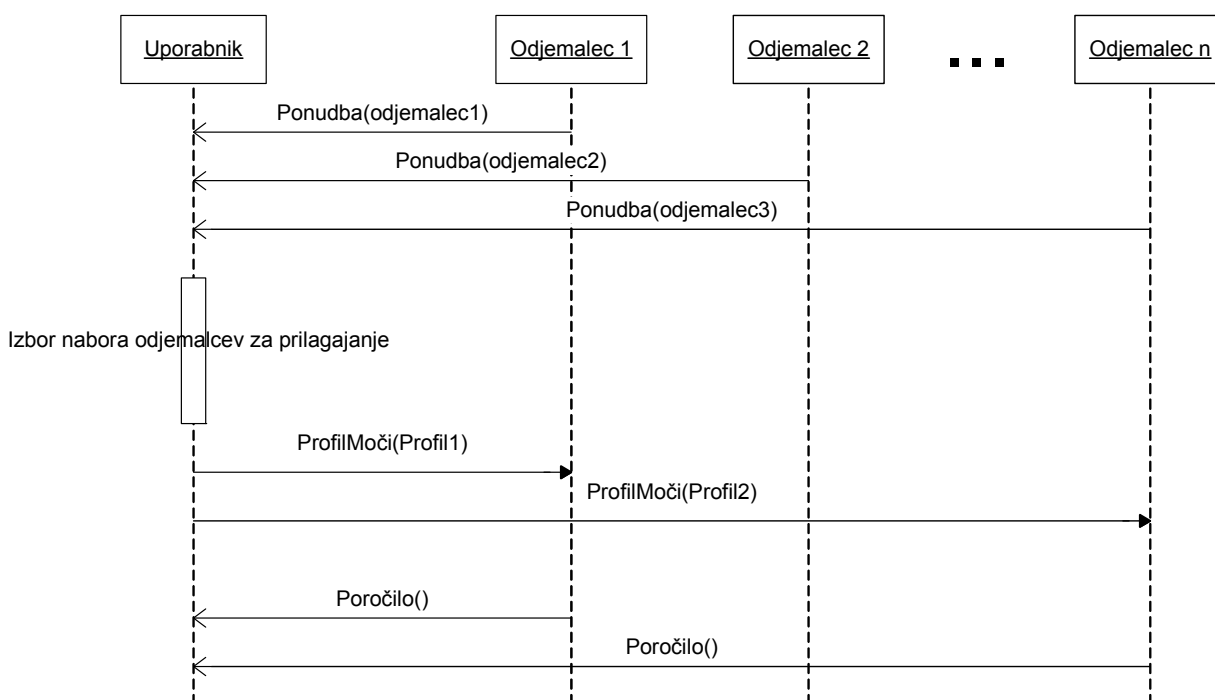
Da bi se lahko udeležili procesa prilagajanja energije, mora odjemalec izpolnjevati naslednje pogoje:

- Mora biti sposoben sestavljati ponudbe za prilagajanje, v katerih določi za koliko energije in po kakšni ceni se je pripravljen prilagajati.
- Sprejeti zahtevo dobavitelja o količini energije, za katero naj se prilagodi.
- Izvesti prilagoditev, ter
- Zapisati podatke o prilagoditvi (časovne intervale, energije, ipd.)

2.2 Proces prilagajanja odjema

Proces prilagajanja odjema prikazuje UML sekvenčni diagram na sliki 3.

Storitveni center od odjemalcev periodično sprejema ponudbe za prilagajanje. Ponudbe vsebujejo energijo, za katero se je odjemalec pripravljen prilagoditi, ter zahtevano ceno za prilagajanje. Ko uporabnik storitvenega centra zazna odstopanje od voznega reda, storitvenemu

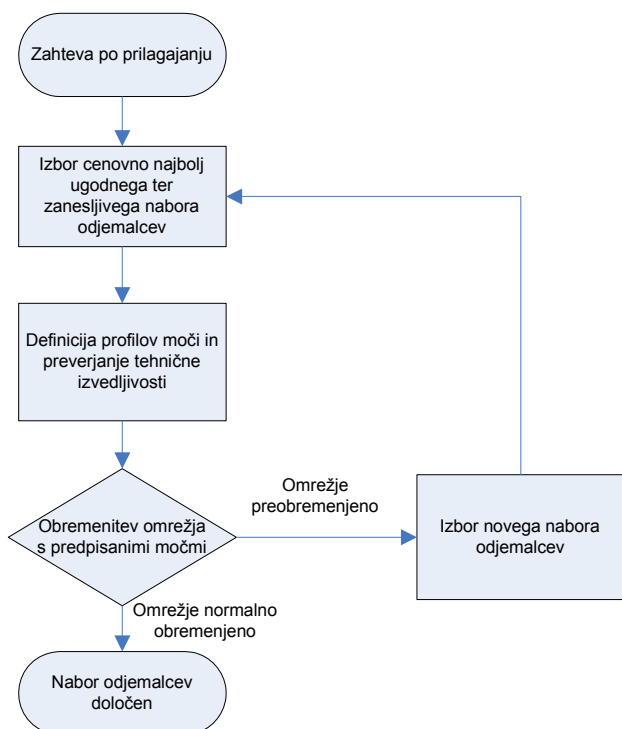


Slika 3: Proces prilagajanja odjema

centru sporoči s kakšno energijo in na kakšnem časovnem intervalu želi kompenzirati odstopanja. Nato optimizacijski algoritem računalniškega sistema storitvenega centra (KIBERnet_RS_SC) izbere nabor odjemalcev, s katerimi bo prilagajanje izvajal. Tem odjemalcem KIBERnet_RS_SC pošlje zelene profile moči za prilagajanje. Tekom prilagajanja storitveni center spremlja prilagajanje preko poročil, ki mu jih pošiljajo odjemalci.

2.3 Optimizacijski algoritem

Optimizacijski algoritem, ki teče na računalniškem sistemu storitvenega centra, skrbi za izbiro naborov odjemalcev, ki bodo izvajali prilagajanje. Optimizacijski algoritem se odvija v dveh korakih – najprej se izvede ekonomska optimizacija, nato se preveri še tehnična izvedljivost. Diagram poteka optimizacijskega algoritma je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Diagram poteka optimizacijskega algoritma

Ekonomska optimizacija izbere nabor odjemalcev, s katerimi se uporabniku storitvenega centra izplača kompenzirati odstopanje od voznega reda. Na izbor nabora

odjemalcev za prilagajanje vplivajo naslednji parametri:

- Zahtevana energija prilagajanja.
- Čas prilagajanja.
- Ponudbe odjemalcev: ponujena energija in cena prilagajanja
- Faktorji zanesljivosti odjemalcev.

Poljubna izbira odjemalcev in moči bi lahko povzročila nestabilnost v električnem omrežju, zato je potrebno preveriti še tehnično izvedljivost. Ta preverba se izvede s pomočjo računalniškega modele elektroenergetskega distribucijskega omrežja.

2.4 Izračun faktorja zanesljivosti odjemalca

Računalniški sistemi odjemalcev v ponudbah napovedujejo za kakšne energije so se po svoji oceni pripravljene prilagoditi. V praksi se pokaže, da vedno obstaja določeno odstopanje med napovedano in dejansko izvedeno energijo prilagajanja. Nekateri odjemalci se bolj držijo svoje napovedi kot drugi. Za optimizacijski algoritem je koristna informacija o tem, koliko lahko zaupa odjemalčevi napovedi za prilagojeno energijo. V ta namen vsakemu odjemalcu pripišemo faktor zanesljivosti, ki nosi to informacijo. Višji ko je faktor zanesljivosti odjemalca, bolj je le-ta preferiran pri sestavljanju nabora za prilagajanje.

Možen način za izračun faktorja zanesljivosti odjemalca je s pomočjo naslednje formule:

$$F_z = \frac{1}{\sum_{i=1}^p a_i} \sum_{i=1}^p a_i \left(1 - \frac{|E_D(k) - E_P(k)|}{E_D(k)}\right) \quad (1)$$

kjer sta $E_D(k)$ in $E_P(k)$ zahtevana in izvedena energija prilagajanja v k-tem prilagajanju. Koeficienti a_i

$$a_i = \lambda^{\Delta t_i} \dots \lambda \leq 1 \quad (2)$$

predstavljajo časovno pozabljanje, s čimer bolj utežimo novejša prilagajanja.

2.5 Oblikovanje zahteve za prilagajanje

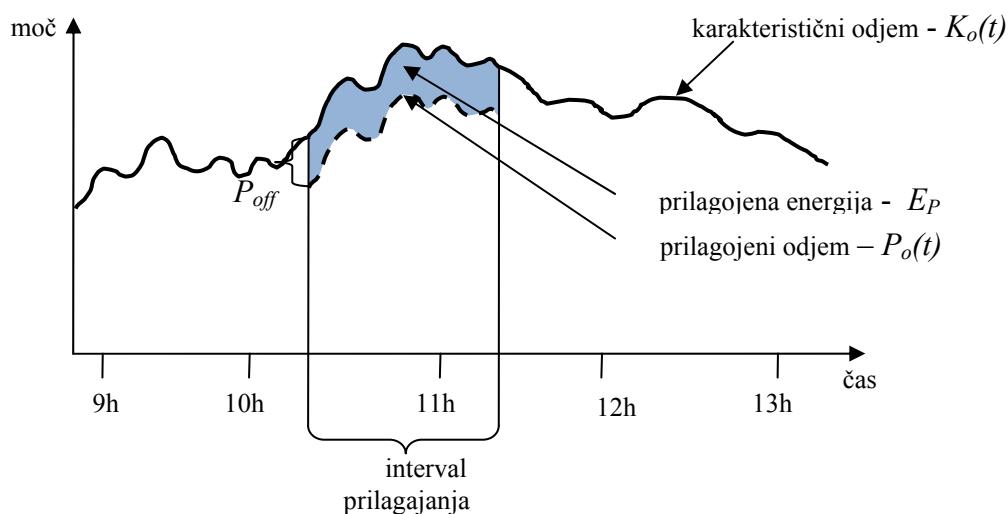
Ko računalniški sistem storitvenega centra izbere nabor odjemalcev, s katerimi bo izvedel prilagajanje, mora določiti časovne profile moči,

ki se jih bodo odjemalci morali držati, da se bo željeno prilagajanje izvedlo. KIBERnet_RS_SC pozna krivuljo karakterističnega odjema za vsakega odjemalca, ki jo dobi z nekajdnevnim (10 dni) povprečenjem odjema [2]. Na podlagi teh krivulj izdelava krivulje prilagojenega odjema izbranih odjemalcev. Na podlagi teh krivulj in količine energije, za katero se bo moral prilagoditi posamezen odjemalec, mora KIBERnet_RS_SC določiti krivuljo prilagojenega odjema. Krivulja prilagojenega odjema je referenčni časovni profil moči, ki se jo mora držati odjemalec v intervalu prilagajanja

Slika 5 prikazuje kako KIBERnet_RS_SC določi zahtevani časovni profil moči odjemalca na osnovi karakterističnega odjema in zahtevane energije prilagajanja.

Iz slike vidimo, da zahtevani časovni profil moči $P_o(t)$ dobimo tako, da navpično premaknemo krivuljo karakterističnega odjema $K_o(t)$. Navpični premik P_{off} je odvisen od zahtevane energije prilagajanja E_P in časa prilagajanja $(t_2 - t_1)$. Iz slike III vidimo, da velja:

$$\begin{aligned} E_P &= \int_{t_1}^{t_2} [K_o(t) - P_o(t)] dt = \\ &= - \int_{t_1}^{t_2} P_{off} dt = (t_1 - t_2) P_{off} \end{aligned} \quad (3)$$



Slika 5: Krivulji karakterističnega in prilagojenega odjema

Navpični premik je torej:

$$\frac{E_P}{t_1 - t_2} \quad (4)$$

3 Povzetek

Moderna električna omrežja postajajo vedno kompleksnejša in defragmentirana, za razliko od klasičnih, več desetletjih starih, elektroenergetskih sistemov, sestavljenih iz centraliziranih virov, od katerih energetski tokovi preko prenosnega in distribucijskega omrežja tečejo proti porabnikom [3]. Razpršeni obnovljivi viri, ki se v zadnjem času pojavljajo v distribucijskem omrežju, za klasični elektroenergetski sistem zaenkrat predstavljajo motnjo. S klasičnim elektroenergetskim omrežjem pa bo vedno težje obvladovati nepredvidljive energetske tokove, ki bodo nastali z večanjem števila porazdeljenih virov, predvidenih z evropskimi smernicami 20-20-20.

Sistemi pametnih omrežij kot je KIBERnet bodo pomagali nastale probleme. Sistem KIBERnet omogoča uporabniku, da se izogne plačevanju penalov zaradi neupoštevanja voznega reda. Poleg tega se izboljša varnost in zanesljivost distribucijskega omrežja, omogoči učinkovita raba energije in poskrbi za nadaljnjo integracijo obnovljivih virov.

4 Literatura

- [1] Projekt KIBERnet: Podrobne specifikacije storitvenega centra, INEA, Ljubljana, oktober 2009.
- [2] I.J. Ramírez-Rosado, J. L. Bernal-Agustín. Reliability and costs optimization for distribution networks expansion using an evolutionary algorithm. *IEEE Transactions on Power Systems*, 16 (1): 111–118, 2001.
- [3] C. Gellings. *The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response*.