

# Vključevanje večjih rezidenčnih in manjših industrijskih uporabnikov v pametna omrežja

Gregor KANDARE, Nadja Hvala, Marijan VIDMAR

**Izvleček:** Zaradi okoljskih zahtev naraščajo potrebe po proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov. Slabost tovrstnih virov je v tem, da so večinoma odvisni od nepredvidljivih vremenskih razmer ter da so necentralizirano razpršeni po celotnem omrežju. Klasična elektroenergetska omrežja tako vse težje služijo svojemu namenu, zato je potrebna njihova nadgradnja v pametna omrežja (smart grids). Članek opisuje razvoj vmesnika za vključitev večjih rezidenčnih in manjših industrijskih uporabnikov v pametna omrežja. S pomočjo vmesnika bodo uporabniki s prilagajanjem odjema svojih porabnikov dobavitelju električne energije pomagali odpravljati odstopanja od napovedanega odjema.

**Ključne besede:** pametna omrežja, obnovljivi viri električne energije

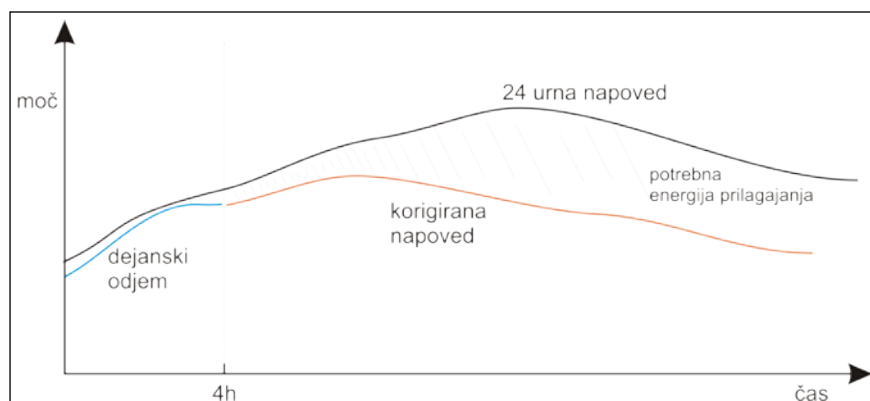
## ■ 1 Uvod

Evropska unija je do leta 2020 sprejela sveženj ukrepov z oznako 20-20-20. Ti ukrepi predvidevajo 20-odstotno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, 20-odstotno povečanje energetske učinkovitosti ter 20-odstotno povečanje deleža obnovljivih energetskih virov. Značilno za obnovljive energetske vire, kot so veter, sonce, plimovanje, je, da so izrazito nestalni in krajevno razpršeni. Proizvodnja električne energije iz teh virov je zato nadvse nepredvidljiva. Po drugi strani pa so obstoječa prenosna in distribucijska omrežja dimenzionirana na relativno predvidljiv odjem ter na vodljivo in centralizirano proizvodnjo električne energije. S povečevanjem deleža obnovljivih virov v električnem omrežju postaja uravno-

teženje proizvodnje in porabe električne energije vedno bolj zahtevna naloga. Zaradi tega narašča potreba po bolj sofisticiranem in učinkovitem vodenju energetskih tokov. Rešitev se ponuja v obliki skupka tehnologij, ki jih v zadnjih letih poznamo pod oznako pametna omrežja (smart grids, [1]). Ta temeljijo na modernih merilnih, informacijskih in komunikacijskih tehnologijah in skrbijo za uravnoteženost proizvodnje, prenosa in porabe električne energije.

Dobavitelj električne energije mora izdelati dnevno napoved odjema električne energije (vozni red) svo-

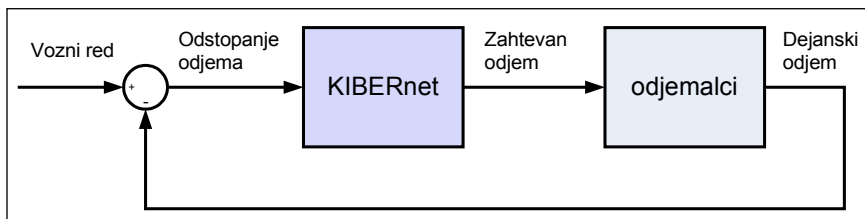
jega nabora odjemalcev (portfelja). Vozni red, ki je sestavljen iz 24-urnih vrednosti, izdelata operater pri dobavitelju. To stori na podlagi zgodovinskih podatkov, vremenskih pogojev in napovedanih dogodkov. Če dejanski odjem odstopa od voznega reda (slika 1), mora dobavitelj plačati kazen (malus) organizatorju trga z električno energijo. Da bi se izognil plačilu kazni, mora imeti dobavitelj na voljo mehanizem, s katerim lahko vpliva na odjem svojega nabora odjemalcev ter se s skupnim odjemom tako čim bolj približa voznemu redu.



Slika 1. Odstopanje odjema od voznega reda

Dr. Gregor Kandare, univ. dipl. inž., dr. Nadja Hvala, univ. dipl. inž., oba Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Mag. Marijan Vidmar, univ. dipl. inž., INEA, d. o. o., Ljubljana



Slika 2. Sistem KIBERnet z regulacijskega vidika

V ta namen je potreben primeren informacijsko-komunikacijski sistem tako pri dobavitelju kot tudi pri odjemalcih električne energije.

Naloga sistema pri dobavitelju je ugotavljati odstopanja odjema od voznega reda, izračunati potrebna prilagajanja odjemalcev za odpravo odstopanja. Sistemi pri odjemalcih pa morajo biti sposobni ovrednotiti stanje svojih naprav in na podlagi tega sestaviti ponudbe za mogoča prilagajanja kot tudi prilagajanja dejansko izvršiti na podlagi zahtev sistema dobavitelja.

## ■ 2 Sistem KIBERnet

Podjetje INEA je skupaj s partnerji razvila sistem KIBERnet ([2]), ki omogoča krmiljenje industrijskih bremen in razpršene proizvodnje na distribucijskem elektroenergetskem omrežju. Slika 2 prikazuje sistem z regulacijskega vidika, kjer sistem KIBERnet nastopa kot regulator, katerega namen je izničiti odstopanja dejanskega odjema od voznega reda.

V grobem je sistem KIBERnet sestavljen iz dveh tipov podsistemov. Prvi tip je pri dobavitelju električne energije (storitveni center). Nabor njegovih funkcionalnosti obsega komunikacijo z odjemalci, izvajanje algoritma prilagajanja, ki obsega izbiro odjemalcev za prilagajanje odjema in podajanje zahtev za prilagajanje ter beleženje učinkov prilagajanja. Na drugi strani so pri odjemalcih podsistemi, ki sestavljajo ponudbe za prilagajanje ter sprejemajo zahteve in izvajajo prilagajanja odjema.

## ■ 3 Vmesnik Smart grid

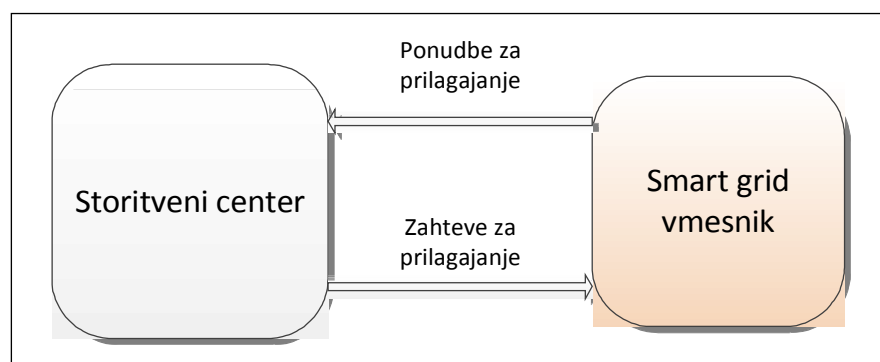
V okviru projekta »Optimizacija in vodenje za racionalno rabo energije in čistejšo okolje« kompetenčnega

centra »Sodobne tehnologije vodenja« podjetje INEA in Institut Jožef Stefan razvijata vmesnik za vključitev večjih rezidenčnih in manjših industrijskih uporabnikov v pametna omrežja.

Vmesnik je zasnovan tako, da sodeluje s sistemom pri dobavitelju (storitveni center), ki je bil razvit v okviru projekta KIBERnet. Funkcija vmesnika je prilagajanje odjema naprav v objektu, da bi dobavitelj lahko dosegel napovedani odjem – vozni red. Pri tem bodo naprave glede na potrebe povečevale ali zmanjševale odjem. Povečani odjem odjemalci dosežejo s povečanjem moči bremen, zmanjšanje pa z zmanjšanjem moči bremen ali z lastno produkcijo električne energije.

V poenostavljenem pogledu bo med vmesniki v posameznih objektih in storitvenim centrom potekala dvostranska komunikacija (slika 3): vmesnik storitvenemu centru pošilja ponudbe o možnem prilagajanju odjema, storitveni center pa glede na potrebe po prilagajanju od vmesnika zahteva prilagajanje v okviru omejitev in pogojev, podanih v pripadajoči ponudbi.

Vsak rezidenčni oziroma manjši industrijski objekt bo vseboval svoj



Slika 3. Izmenjava sporočil med vmesnikom in storitvenim centrom

vmesnik (slika 4), ki bo sestavljal ponudbe in izvajal prilagajanje odjema s pomočjo naprav v objektu. Z ozirom na dejstvo, da je vmesnik namenjen manjšim odjemalcem, mora biti njegova cena temu primerno nizka.

## 3.1 Komunikacija vmesnika z napravami in s storitvenim centrom

Komunikacija vmesnika s storitvenim centrom bo izvedena preko internetne povezave po navidezno zasebnem omrežju (virtual private network, VPN). Po tem kanalu se bodo prenašale ponudbe in zahteve za prilagajanje kot tudi poročila o prilagajanjih.

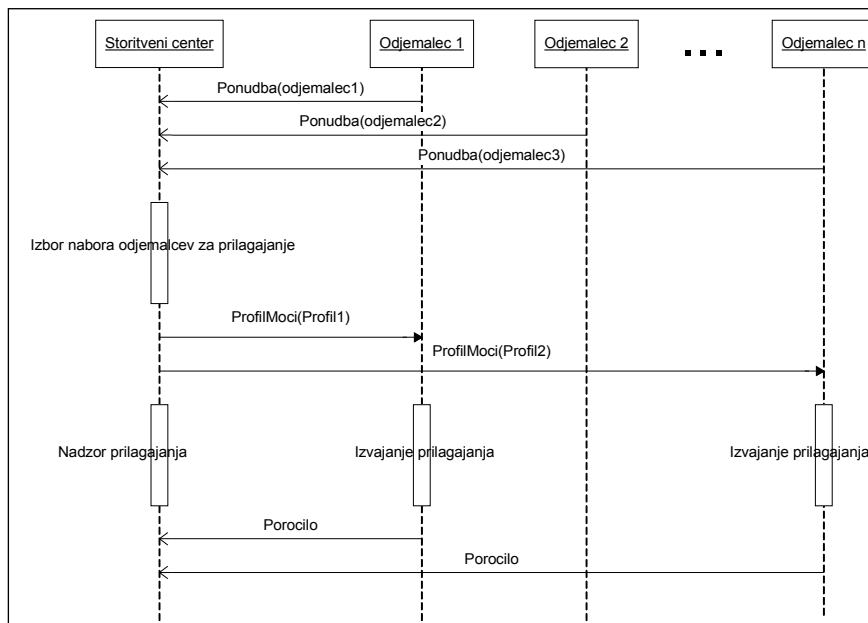
Na drugi strani bo moral vmesnik komunicirati z napravami. Ta komunikacija bo obsegala branje statusa naprav in podajanje zahtev za vklop, izklop oziroma spremembo moči naprav v smislu izvajanja prilagajanja odjema. Fizično bo komunikacija realizirana s sodobnimi komunikacijskimi tehnologijami, kot so CAN, komunikacija po električni napeljavi (PLC), Wi-Fi, ZigBee, in podobnimi tehnologijami. Za podporo starejšim napravam, ki nimajo implementiranih sodobnih komunikacijskih tehnologij, bo imel vmesnik na voljo analogne in digitalne vhode-izhode, povezane z napravami.

## 3.2 Postopek prilagajanja

Slika 5 prikazuje sekvenčni diagram v notaciji UML (Unified Modelling Language), ki predstavlja postopek prilagajanja. Storitveni center od vmesnikov pri odjemalcih periodično sprejema ponudbe za prilagajanje.

Ko storitveni center ugotovi odstopanje odjema od voznega reda, sproži optimizacijski postopek za izbiro nabora odjemalcev, ki bodo izvedli prilagajanje in s tem izničili odstopanje.

Optimizacijski postopek je sestavljen iz ekonomske in tehnične optimizacije. Postopek najprej iz množice vseh ponudb odjemalcev po ekonomskem kriteriju izbere najugodnejši nabor ponudb, katerih skupna cena je manjša od malusa, ki bi ga moral plačati za odstopanje od voznega reda. Če je najcenejši nabor ponudb dražji od malusa, se dobavitelju prilagajanje ne izplača. Poleg ekonomskega kriterija optimizacijski postopek upošteva tudi zanesljivost odjemalcev. Vsak odjemalec v dobaviteljevi bazi ima svoj faktor zanesljivosti, ki ga na podlagi preteklih prilagajanj izračunava poseben modul ([3]). Bolj ko so se izvedena prilagajanja držala zahtevanih, večji faktor zanesljivosti ima odjemalec. Nabor izbranih ponudb je potrebno preveriti s pomočjo matematičnega modela distribucijskega omrežja. Model omrežja je implementiran v programu GREDOS, ki je bil razvit na Elektroinštitutu Milan Vidmar ([4]). Aplikacija storitvenega centra z modelom omrežja komunicira preko servisa WEB. Če model omrežja potrди, da je nabor ponudb,



Slika 5. Postopek prilagajanja

dobljen z ekonomsko optimizacijo, tudi tehnično sprejemljiv, bodo odjemalci, ki so ponudbe oddali, izbrani za prilagajanje. V nasprotnem primeru je potrebno ponavljati izbiro novega nabora ponudb, dokler ne dobimo nabora ponudb, ki ne bo kršil omejitev omrežja.

Ko je nabor odjemalcev za prilagajanje izbran, storitveni center vsakemu posebej pošlje zahtevo za prilagajanje. Zahteva vsebuje urni potek odje-

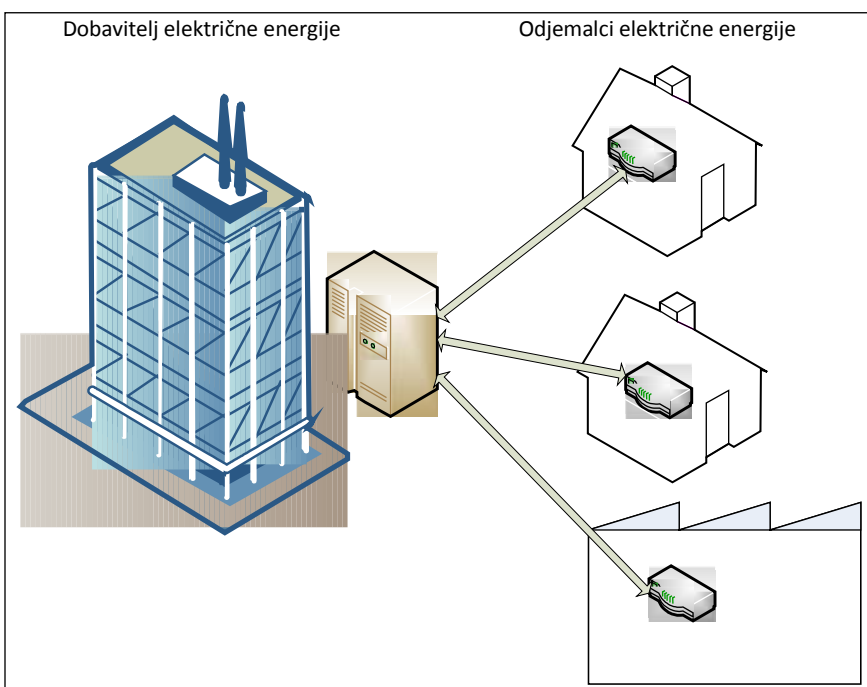
ma energije, ki se ga mora odjemalec držati za prilagajanje. Po končanem prilagajanju vmesniki odjemalcev storitvenemu centru pošljejo poročilo o prilagajanju, ta pa ga shrani v svojo podatkovno bazo.

### 3.3 Sestavljanje ponudb za prilagajanje

Pri sestavljanju ponudb za prilagajanje mora vmesnik upoštevati značilnosti in trenutno stanje naprav odjemalca, ki so na voljo za prilagajanje. Poleg tega pa na oblikovanje ponudbe vplivajo še zahteve uporabnikov naprav.

Ponudba ima obliko tabele in mora med drugim vsebovati naslednje podatke:

- *Tip ponudbe*: pozitivna ali negativna rezerva. S tipom ponudbe je določeno, ali ponujamo povečanje ali zmanjšanje odjema.
- *Cena za prilagajanje* je znesek, ki ga odjemalec zahteva za izvedbo prilagajanja.
- *Čas začetka prilagajanja* določa časovni interval, v katerem se lahko začne prilagajanje.
- *Čas trajanja prilagajanja* je najdaljši čas izvajanja prilagajanja.
- *Energija prilagajanja* je energija, za katero se bo uporabnik prilagodil. Odvisna je od profila moči in od časa prilagajanja.

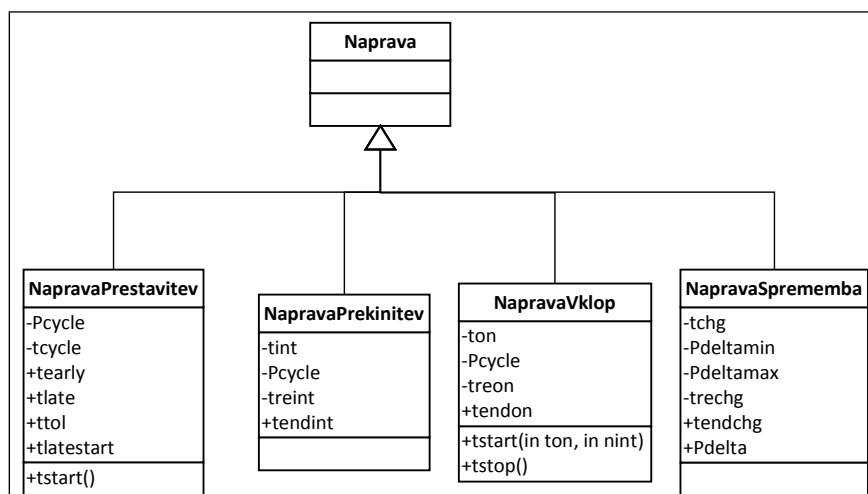


Slika 4. Kontekstni diagram

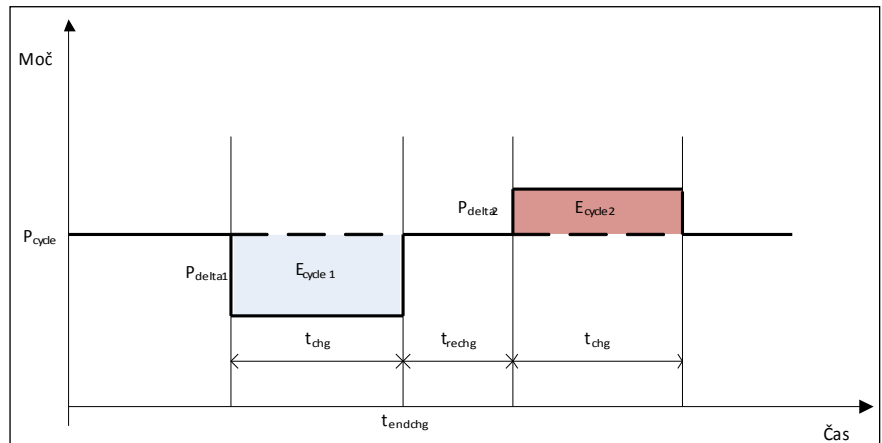
Pri odjemalcih, ki so lahko rezidenčni ali manjši industrijski uporabniki, najdemo široko paleto različnih naprav. Da bi poenostavili algoritem sestavljanja ponudb za prilagajanje, smo sestavili minimalni nabor razredov naprav, s katerim lahko opišemo vse naprave, ki jih najdemo pri uporabnikih. Identificirali smo naslednje štiri razrede naprav:

- **Prestavitvene naprave** so tiste, katerih cikel delovanja je mogoče poljubno prestavljati znotraj določenega časovnega intervala. Primer prestavitvenih naprav so pralni, sušilni in pomivalni stroji.
- **Vklopitvene naprave** so večino časa izklopljene, lahko pa se za določen čas vklopijo in s tem nudijo negativno rezervo energije. Primer je polnilec baterije električnega avtomobila.
- **Prekinitvene naprave** običajno delujejo z neko konstantno močjo, lahko pa jih za določen čas izklopimo in s tem nudimo pozitivno rezervo energije. Tipični predstavniki prekinitvenih naprav so hladilniki in zamrzovalniki.
- **Naprave spremembe** so tiste naprave, ki jim lahko moč delovanja povečamo ali zmanjšamo za določen čas ter tako nudimo pozitivno oziroma negativno rezervo. Primer so razni grelci, ki jim lahko spremenimo moč.

Metamodel naprav prikazuje razredni diagram UML na *sliki 6*. Z atributi razredov opišemo fiksne parametre naprav in spremenljivke, ki podajajo trenutno stanje naprave.



**Slika 6.** Metamodel naprav



**Slika 7.** Primer časovnega diagrama odjema naprave spremembe

Na tem mestu si kot primer podrobneje oglejmo samo naprave spremembe. Vzorčne vrednosti parametrov so grafično prikazane na primeru časovnega diagrama odjema na *sliki 7*.

Med spremenljivke, ki opisujejo karakteristike naprave, spada najdaljši dovoljeni čas spremembe moči odjema ( $t_{chg}$ ). Dovoljena sprememba moči se giblje med ekstremoma, določenima s  $P_{deltamin}$  in  $P_{deltamax}$ .  $P_{delta1}$  in  $P_{delta2}$  na *sliki 7* imata vrednost v tem intervalu. Po vrnitvi v normalno moč delovanja  $P_{cycle}$  lahko znova spremenimo moč šele po preteku časa  $t_{rechg}$ , ki označuje minimalni čas, ki mora preteči do ponovne spremembe.

Spremenljivki, ki opisujeta stanje naprave, sta: časovni trenutek, v katerem se je končalo zadnje prilagajanje ( $t_{endchg}$ ), ter sprememba moči naprave v trenutnem prilagajanju ( $P_{delta}$ ).

Čas trajanja prilagajanja v ponudbi je navzgor omejen z najdaljšim dovoljenim časom spremembe  $t_{chg}$ .

Pri sestavljanju ponudbe se upoštevajo vrednosti parametrov naprave. V konkretnem primeru naprave spremembe je tip ponudbe tako zagotavljanje pozitivne kot negativne rezerve. Čas najzgodnejšega možnega začetka prilagajanja je odvisen od časovne oddaljenosti od trenutka, v katerem se je začelo zadnje prilagajanje, ter od minimalnega časa  $t_{rechg}$ . Energija prilagajanja je določena s  $P_{deltamin}$ ,  $P_{deltamax}$  ter s časom trajanja prilagajanja.

### 3.4 Izvajanje prilagajanja

Poleg sestavljanja ponudb je naloga vmesnika vodenje naprav (bremen) za izvedbo prilagajanja odjema. Osnova (referenčna vrednost) za vodenje so zahteve za prilagajanje, ki mu jih pošilja storitveni center. Zahteve vsebujejo naslednje ključne podatke:

- **tip zahteve** določa, ali se mora naprava prilagoditi s povečanjem ali z zmanjšanjem odjema (pozitivna ali negativna rezerva);
- **začetek prilagajanja** je časovni trenutek, ko naj naprava prične s prilagajanjem;
- **čas trajanja prilagajanja**;
- **energija**.

Vrednosti postavk v zahtevi za prilagajanje morajo biti znotraj intervalov, določenih z vrednostmi postavk v pripadajoči ponudbi. Vmesnik mora krmiliti naprave tako, da do

seže zahtevane prilagojene energije ob upoštevanju zahtevanih časovnih parametrov.

#### ■ 4 Zaključek

Uporaba vmesnikov za vključevanje večjih rezidenčnih in manjših industrijskih uporabnikov v pametna omrežja bo pripomogla k stabilnejšemu delovanju omrežja. Dobavitelji bodo imeli možnost ukrepanja pri odstopanju odjema od voznih redov in se tako izogniti plačilu malusa. Prednosti za odjemalce bodo možnost dodatnega zaslужka, sproten nadzor porabe energije ter

dodatne storitve, kot je na primer daljinski dostop preko pametnih telefonov.

Pametna omrežja niso homogeni sistemi, ki bi jih bilo mogoče v celoti zgraditi naenkrat. Bolj so podobna mozaiku, ki se počasi sestavlja. Opisani vmesnik bo eden od sestavnih kamenčkov tega mozaika.

#### Literatura

[1] Gellings, C. W. (2009). *The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response*, Fairmont Press, Lilburn, USA.

[2] KIBERnet Smart Grids Technology, <http://www.kiber-net.com>.

[3] Kandare, G. (2010). A System for Control of Industrial Consumption and Distributed Generation of Electrical Energy, *Proceedings of the 11th International PhD Workshop on Systems and Control, Veszprém, Madžarska*.

[4] Mohar, T., Golob, J., in Andejaš, L. (2007). Programski paket Gredos 10.0, *Zbornik konference slovenskih energetikov*, Čatež.

### Integration of residential and small industrial consumers into smart grids

**Abstract:** Stricter environmental requirements demand increasing inclusion of renewable energy sources into the electric system. The dependency of renewable energy sources on unpredictable weather conditions is their major disadvantage. Furthermore, these sources are dispersed throughout the whole electrical grid. The existing classical electrical grids dimensioned for centralised power generation in transmission grid are becoming inadequate for this new situation. Solutions to this problem are smart grids, which use information and communication technology to control the energy flows more efficiently. This article describes the development of a smart grid interface for bigger residential and smaller industrial users. The interface enables these users to participate in demand side management and thus help the energy supplier to meet the predicted energy demand.

**Key words:** Smart grids, renewable electrical energy sources

#### Zahvala

Kompetenčni center za sodobne tehnologije vodenja delno financirata Republika Slovenija, Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo ter Evropska unija (EU), in sicer iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.



**5. industrijski forum** 2013  
Inovacije, razvoj, tehnologije

**Portorož, 10. in 11. junij 2013**

Dodatne informacije in prijava na dogodek: Industrijski forum IRT 2012, Motnica 7 A, 1236 Trzin  
tel.: 01/5800 884 | faks: 01/5800 803 | e-pošta: info@forum-irt.si | www.forum-irt.si

industrijski **forum IRT**  
www.forum-irt.si

www.forum-irt.si