

## PILOTNO VKLJUČEVANJE ODJEMALCEV V PROGRAME PRILAGAJANJA ODJEMA Z UPORABO DINAMIČNEGA TARIFIRANJA V MEDNARODNEM PROJEKTU FLEX4GRID

Kristijan Koželj<sup>\*1</sup>, Damjan Bobek<sup>1</sup>, Anton Kos<sup>1</sup>, Dušan Gabrijelčič<sup>2</sup>, Arso Savanović<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Elektro Celje, d.d., Vrunčeva 2a, Celje

<sup>2</sup>Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana

<sup>3</sup>Smart Com, d.o.o., Brnčičeva 45, Ljubljana-Črnuče

\*E-pošta: [kristijan.kozelj@elektro-celje.si](mailto:kristijan.kozelj@elektro-celje.si)

**Povzetek:** Evropski razvojni projekt Flex4Grid se osredotoča na razvoj odprtega tehnološkega sistema za upravljanje podatkov in zagotavljanje storitev, ki bodo omogočale upravljanje prožnosti uporabnikov - prosumerjev distribucijskega omrežja tako pri porabi kakor tudi pri proizvodnji električne energije. Prožnost uporabnika pomeni, da je le-ta sposoben prilagajati porabo ali proizvodnjo potrebam drugih deležnikov v sistemu in bi lahko bil za svoje prilagajanje nagrajen. V zadnji fazi projekta bomo v sklopu pilotov na treh lokacijah testirali in evalvirali a) tehnološki sistem za prilagajanje odjema s posebno pozornostjo na vidikih informacijske varnosti in zasebnosti ter b) dinamično tarifiranje pri prilagajnju odjema.

**Ključne besede:** prilagajanje odjema, upravljanje fleksibilnosti, dinamično tarifiranje, fleksibilnost, pilotna izvedba, IKT, Obzorje 2020, mednarodni projekt

## FIELD PILOTING OF DEMAND RESPONSE AND DYNAMIC TARIFFING WITHIN THE FLEX4GRID INTERNATIONAL PROJECT

**Abstract:** The Flex4Grid European project aims at creating an open data and service framework that enables a novel concept of managing flexibility of prosumer demand and generation, utilising cloud computing for power grid management and opening DSO infrastructure for aggregator services. Prosumer flexibility means that prosumer is able and willing to adapt energy consumption or generation to the needs of other stakeholders in the energy value chain, and cloud be rewarded for adapting. In the last phase of the Flex4Grid project three field pilots will be implemented in order to test and evaluate a) the technological system for prosumer flexibility management with a special focus on data security and privacy and b) dynamic tariffing in demand response.

**Keywords:** Demand Response, flexibility management, dynamic tariffing, flexibility, field pilot, ICT, Horizon 2020, international project



## 1 UVOD

Pojav razpršenih virov, kot so fotovoltaika, vetrna energija in ostali viri, je bil povod za nove uporabnike električne energije, t. i. »prosumerje« (proizvajalci in odjemalci v enem), ki proizvajajo in porabljajo električno energijo vzporedno. Poraba in proizvodnja električne energije prosumerja je zelo spremenljiva in kot taka lahko v večjem obsegu vpliva na omrežje ter deležnike na trgu z električno energijo, vendar se lahko prosumerji v določeni meri fleksibilno prilagodijo in s tem preprečijo svoj morebiten negativni vpliv [1]. Trenutno je na distribucijsko omrežje Elektro Celje priključenih več kot 1.000 razpršenih virov v skupni inštalirani moči več kot 100 MW, ki proizvedejo in predstavljajo 7,5% celotnega prevzema električne energije v naše distribucijsko omrežje. Obeti evropske zakonodaje do leta 2030 gredo v smer zmanjševanja emisij za 40%, povečanje deleža obnovljivih virov za 27%, izboljšanje energetske učinkovitosti za 27%, pospeševanje E mobilnosti, hranilniki,...kar pomeni, da se bodo uveljavila nova pravila delovanja energetskega trga, kar bo imelo za posledico velik vpliv na distribucijsko omrežje. Operaterji omrežij in distribucijska podjetja bodo morali biti na to pripravljena.

Evropski razvojni projekt Flex4Grid se osredotoča na razvoj odprtega tehnološkega sistema za upravljanje podatkov in zagotavljanje storitev, ki bodo omogočale upravljanje prožnosti/fleksibilnosti uporabnikov - prosumerjev distribucijskega omrežja, tako pri porabi kakor tudi proizvodnji električne energije. Prožnost/fleksibilnost uporabnika pomeni, da je sposoben prilagajati porabo in/ali proizvodnjo potrebam drugih deležnikov v sistemu. Za svoje prilagajanje bi načeloma moral biti nagrajen. Elektrodistribucijska podjetja bodo lahko to prožnost izrabila za zniževanje koničnih obremenitev omrežja ter zmanjšanjem energetskega razkoraka med porabo in razpršeno proizvodnjo električne energije. Drugi oz. novi udeleženci pa bodo lahko na trgu električne energije ponujali storitve na osnovi podatkov in odprtih vmesnikov tehnološkega sistema Flex4Grid. Sistem bo zgrajen iz obstoječih komponent IKT, ki so jih partnerji konzorcija razvijali že več let v prejšnjih raziskovalnih projektih, kar pomeni, da ima projekt veliko možnosti, da se hitro implementira v praksi.

Flex4Grid bo vključeval:

- a) storitev podatkovnega oblaka z anonimiziranim vmesnikom, kjer bodo uvedeni napredni mehanizmi varnosti in zasebnosti za izmenjavo podatkov in upravljanje storitev,
- b) fleksibilnost prosumerja na področju proizvodnje in porabe električne energije in fleksibilnost odjemalca na področju porabe električne energije ter
- c) izvedljiv poslovni model, ki lahko hitro zaživi v praksi.

Validacija sistema bo izvedena v realnem okolju - piloti v treh evropskih distribucijah z različnimi scenariji. Zadnji večji pilot bo v Sloveniji na distribucijskem območju Elektro Celje in bo lahko obsegal participacijo 8.700 uporabnikov oz. odjemalcev omrežja v pilotnem projektu dinamičnega tarifiranja, ki bo razložen v nadaljevanju.

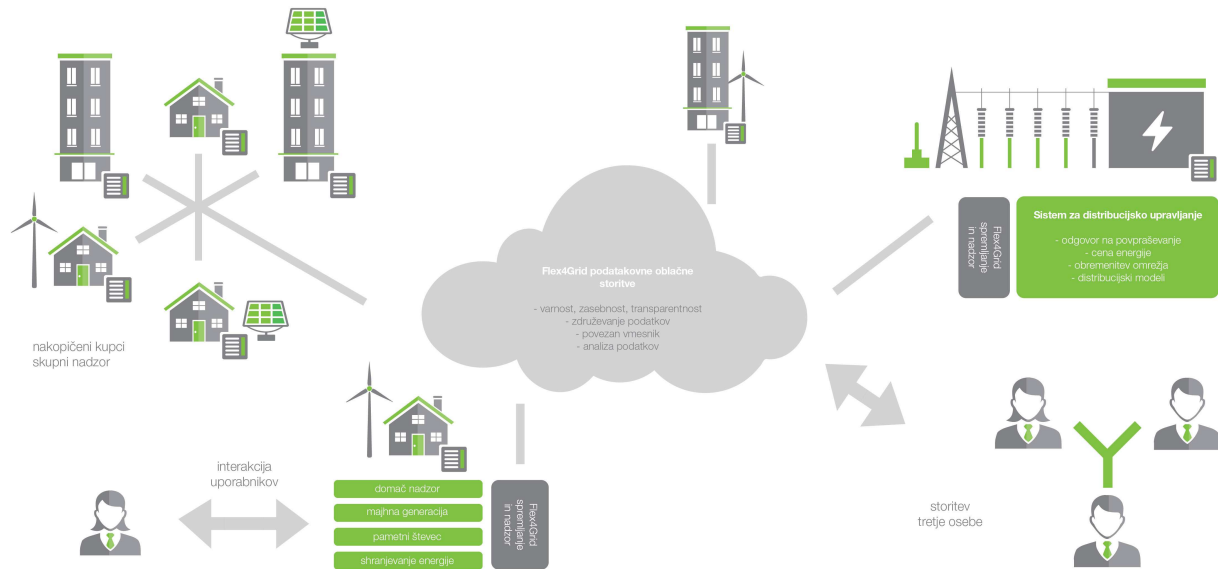
Projekt se je začel izvajati 1. januarja 2015, ko je bila podpisana pogodba z Evropsko komisijo. V projektu Flex4Grid sodeluje osem partnerjev, ki prihajajo iz Slovenije, Finske, Slovaške ter Nemčije in so mešanica institucij znanja oziroma raziskovalnih inštitutov, distributerjev električne energije ter industrijskih partnerjev. Med njimi so tudi trije iz Slovenije, kjer poleg Elektra Celje, d.d., sodelujeta še podjetje Smart Com, d.o.o. in Inštitut »Jožef Stefan«. Projekt, katerega vrednost znaša nekaj manj kot 3,2 milijona evrov in ga Evropska komisija financira skoraj v celoti, bo trajal 36 mesecev (končanje projekta bo 31.12.2017), poteka pod koordinacijo finskega raziskovalnega inštituta VTT.

## 2 KONCEPT

Namen aktivnosti v Flex4Grid (SI.1) je zagotoviti sistem za nove udeležence na trgu, ki bodo lahko ponujali analize agregiranih podatkov za potrebe napovedi električne energije. Ideja je, da se predvidi vpliv porabe in proizvodnje na distribucijskem omrežju (najbolje čim bolj lokalno v distribucijskem omrežju). S takšnim napovedovanjem bi se v prihodnosti izognili morebitnim izpadom električne energije zaradi preobremenitev (kritične storitve najvišje prioritete v kritični infrastrukturi vsake države) ter energetske neuravnoteženosti porabe in proizvodnje v energetske kritičnih točkah omrežja.



Flex4Grid ponuja celovit sistem za upravljanje s podatki z rešitvami za pametna omrežja, ki združuje izmenjavo podatkov med upravljavcem distribucijskega omrežja in njegovimi uporabniki z vključevanjem različnih dopolnilnih komponent. Skupaj z izgradnjo centralnega oblačnega sistema za energetska upravljanje, pametnim števcem električne energije ter pametnimi merilno–krmilnimi napravami, podprtimi z mobilno aplikacijo, bo imelo za posledico učinkovito upravljanje omrežja v smislu t. i. pametnega omrežja na najnižjem nivoju, torej v samem gospodinjstvu.



Slika 1: Namen aktivnosti v Flex4Grid

### 3 VARNOST IN ZASEBNOST

Tehnološki sistem Flex4Grid ima že v zasnovi vgrajene štiri ključne principe za zagotavljanje informacijske varnosti in zasebnosti. Prvi, izhodiščni princip je, da so podatki, ki se zbirajo v uporabnikovem domu, last uporabnika – če želi druga entiteta uporabljati te podatke, se mora vnaprej dogovoriti in pridobiti pisno pooblastilo s strani uporabnika. Možno je tudi dinamično sklepanje dogovora o dostopu. Drugi, t.i. princip razmejivte odgovornosti (separation of concerns) narekuje modularno zgradbo sistema, kjer imajo posamezni moduli natančno razmejene odgovornosti oz. funkcionalnosti. S tem povezan je tretji koncept t.i. potrebe po vedenju (need to know), ki narekuje, da posamezni moduli sistema lahko dostopajo do in uporabljajo samo tiste informacije, ki so potrebne za zagotavljanje njihove funkcionalnosti. Zadnji princip pseudonimizacije podatkov narekuje uporabo unikatnih, a naključnih identifikatorjev uporabnika v tistih delih sistema, ki za svoje delovanje ne potrebujejo dejanskih identifikacijskih podatkov uporabnika.

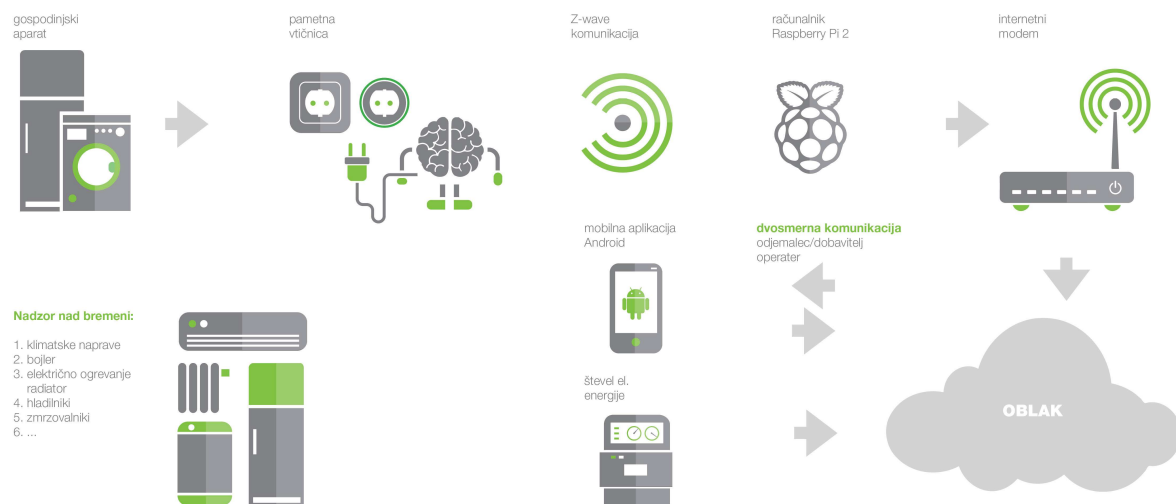
Za zagotavljanje ustrezne podatkovne varnosti in zasebnosti so v Flex4Grid sistem vgrajeni naslednji postopki in mehanizmi [2], zadnji je še v izdelavi:

1. Pseudonimizacija. Nekateri osebni uporabnikovi podatki so potrebni in jih elektrodistribucijsko podjetje uporabljajo za določene postopke, kot so vabila uporabnikom za pilotni projekt, izbor uporabnikov glede na zahtevane zakonske in tehnične kriterije, dostava opreme, itd. Če je uporabnik odjemalec električne energije so le ti podatki že na voljo. Za nadaljnjo obdelavo in uporabo v sistemu Flex4Grid pa se uporabnikova identiteta zakrije z uporabo unikatnega, naključnega identifikatorja. Sistem tako lahko zagotavlja uporabniku prilagojene storitve brez poznavanja njegove dejanske identitete.
2. Upravljanje zaupanja v sistemu Flex4Grid. Infrastruktura javnih ključev (PKI – Public Key Infrastructure) se uporablja za izdajanje certifikatov X.509 za kriptografsko podprto zaupanje med vpletenimi entitetami, kot so energetske krmilnice pri uporabnikih ter zaledni sistemi Flex4Grid, izvedbeno pa upravljanje zaupanja temelji na knjižnici OpenSSL.
3. Overjanje in avtorizacija. Overjanje entitet, tj. kriptografsko podprto preverjanje identitete, se izvaja na osnovi certifikata X.509 ter s pomočjo protokola TLS (Transport Layer Security). Avtorizacija dostopov med zalednimi Flex4Grid storitvami/entitetami se izvaja s pomočjo namensko razvitega spletnega avtorizacijskega modula, ki zagotavlja odločitev nadzora dostopa (odobritev ali zavrnitev dostopa) na

- osnovi identitete, entiteti dodeljene vloge ali kombinacije obeh. Izvrševanje odločitev nadzora dostopa se izvaja na posameznih modulih sistema, oblacnem skladišču, komunikacijskih modulih, ipd.
4. Dinamično zagotavljanje identitet. Varnostni sistem zagotavlja identitete za vrsto entitet v sistemu. Nekatere identitete nadzira upravljalca sistema, denimo identiteto operacijskega sistema domače pametno merilno - krmilne naprave. Podatkovno krmilni del iste naprave je ločena entiteta s svojo, dinamično zagotovljeno identiteto, ki jo v celoti nadzira uporabnik omrežja. Tudi identitete, ki jih uporabljajo mobilne naprave za dostop do sistema so dinamično zagotovljene. Povezovanje teh identitet z identitetami domačih naprav se omogoči s spletno aplikacijo, ki edina v sistemu uporablja za dostop uporabniško ime in geslo, oziroma kodo povabila.
  5. Zaupnost uporabniških podatkov. Zaupnost podatkov pri shranjevanju v zalednem računalniškem oblaku se zagotovi z namenskim modulom pri uporabniku, ki šifrira podatke pred sporočanjem v oblak. Pri tem se uporablja homomorfno šifriranje, ki omogoča tretji osebi računske operacije na zaščiteneih podatkih. Projekt preverja, kolikšen del normalnih sistemskih nalog se lahko opravi na tako zaščiteneih podatkih in na kakšen način.

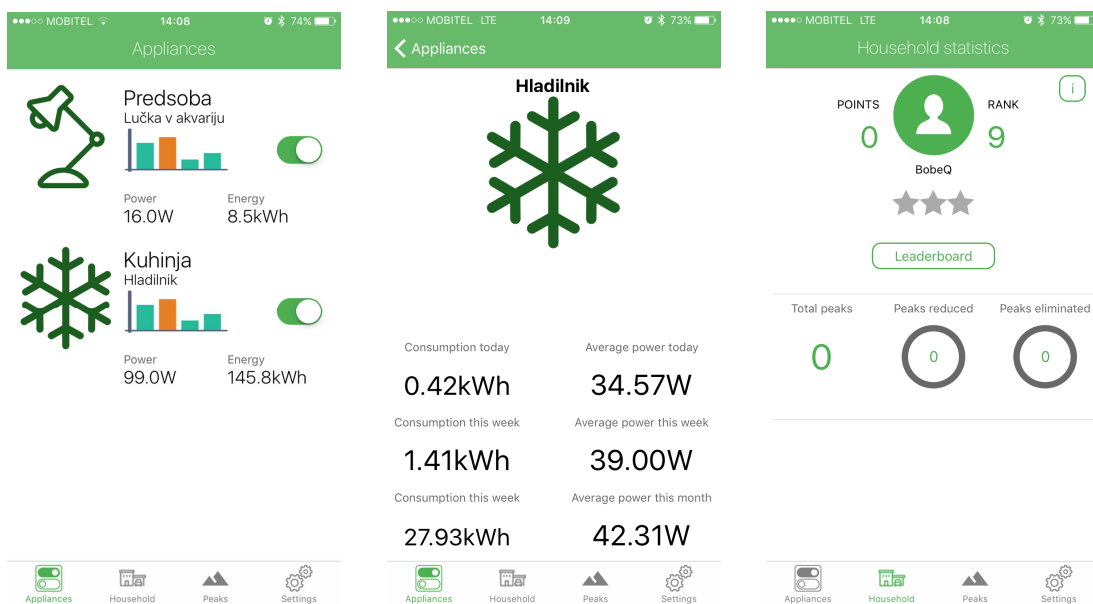
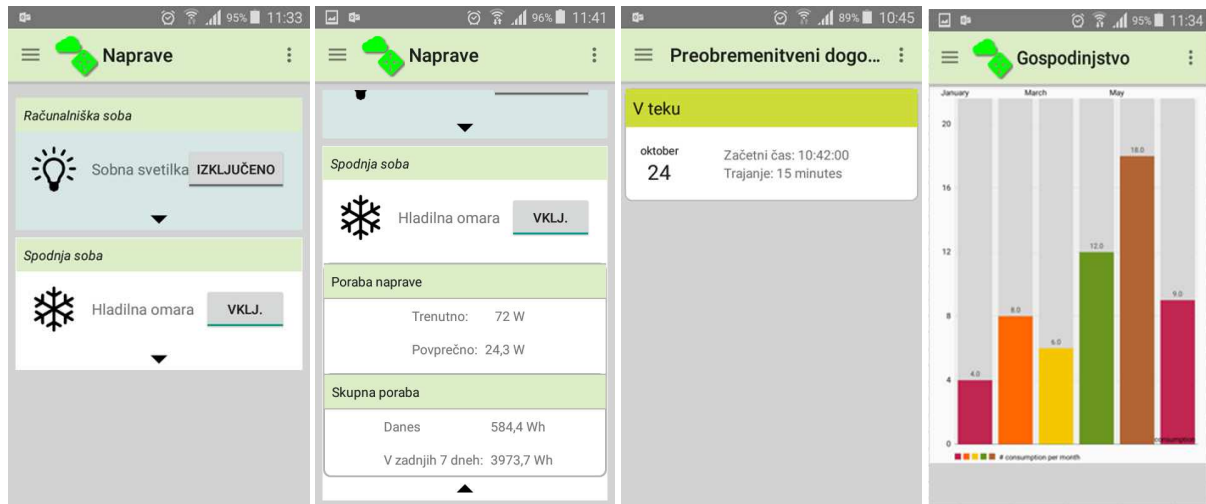
#### 4 PILOTNA IZVEDBA

Znotraj projekta bodo v letu 2017 postavljeni tudi trije glavni piloti in sicer dva v Nemčiji ter eden na distribucijskem področju Elektra Celje, v katerega bo lahko vključenih do 8.700 gospodinjstev odjemalcev električne energije. Za razliko od nemških pilotov, kjer bodo obravnavani prosumerji v manjšem številu, bodo v Sloveniji zaradi regulativnih ovir, kjer ni določenih spodbud glede omejevanja proizvodnje pri proizvajalcih električne energije, v pilotni projekt vključeni samo odjemalci, ki pa bodo izbrani na relativno velikem vzorcu (pilot velikih razsežnosti).



Slika 2: Povezava komponent in storitev v Flex4Grid

Udeleženci pilota v Sloveniji bodo prejeli merilno-krmilno napravo, sestavljeno iz centralne enote Raspberry Pi z dodanim Z-wave brezžičnim komunikatorjem ter dve pametni vtičnici, preko katerih bodo priključili gospodinjstevske aparate (SI.2). S pomočjo tega kompleta bodo odjemalci preko mobilne aplikacije (SI.3) krmilili ter spremljali stanje porabe električne energije izbranih gospodinjstevskih aparatov. Prav tako bodo lahko na mobilni napravi spremljali skupno porabo električne energije v njihovem gospodinjstvu in tako ugotavljali, kateri porabniki porabijo več v odvisnosti od skupne porabe. Vsake toliko bodo na mobilne naprave, e naslov ali z informacijo na spletni strani [www.elektro-celje.si](http://www.elektro-celje.si) dobili obvestilo (SI.3), da za kratek čas znižajo porabo električne energije (preobremenitveni dogodek).



Slika 3: Mobilna aplikacija iOS in Android omogočata uporabniku neposreden dostop do podatkov

Za upravljanje s porabo niso zanimivi vsi porabniki, ampak predvsem tisti, ki v veliki meri ne zmanjšujejo ugodja bivanja odjemalcev, če jih za kratek čas izključimo, kot npr. hladilniki, električno ogrevanje, novejša klimatske naprave, bojlerji ter zamrzovalne skrinje. Ti aparati v gospodinjstvu predstavljajo večje porabnike, ki bi lahko bili za kratek čas izklopljeni in bi imeli določen vpliv na celotno porabo. Na drugi strani navedeni porabniki akumulirajo toploto ali hlad za dalj časa, zato njihov izklop za kratek čas ni problematičen.

Elektrodistribucijsko podjetje bo v okviru zakonskih omejitev ponujal program upravljanja s porabo in prilagajanja odjema. Program upravljanja s porabo bo ciljno usmerjen k zmanjševanju porabe v kriznih trenutkih oziroma trenutkih konične obremenitve sistema ter izboljšanju energetske učinkovitosti.

Kljub temu odjemalci morda ne želijo sodelovati v programih prilagajanja porabe, ker si nočejo zmanjševati ugodje bivanja, ali pa se s prilagajanjem ne želijo obremenjevati. Omejitvam navkljub verjamemo, da v kolikor želimo, da odjemalci znižajo oz. prilagajajo porabo, lahko to naredijo samo takrat, ko svojo porabo prvo dobro poznajo. Z nameščanjem pametnega kompleta odjemalci spoznajo svojo porabo in se lažje odločajo. Vendar samo poznavanje svoje porabe ni dovolj, pomembno jim je dati tudi finančno spodbudo.



## 5 TESTIRANJE DINAMIČNEGA TARIFIRANJA V KONTEKSTU PRILAGAJANJA ODJEMA

Glede na to, da je eden izmed ciljev pilotnega projekta Flex4Grid znižanje koničnih obremenitev za 3 % na določeni točki omrežja, bo ta cilj zelo težko doseči. Glavna omejitev je, da se projekt fokusira samo na gospodinjstva, ki so zelo razpršena in katera porabijo samo tretjino celotne energije. Omejitve predstavljajo tudi finančne spodbude za odjemalce. Z odprtjem trga z električno energije in EU zahtevo so se operaterji in dobavitelji električne energije v Sloveniji ločili. Na strani distribucijskih podjetij oz. operaterjev omrežja je možnosti za spodbud zelo malo, ker je dejavnost zelo regulirana, za razliko od dobaviteljev, ki pa so na področju cen z električno energijo zelo fleksibilni in lahko ponudijo več.

Kljub temu je Elektro Celje d.d. izrabila zakonsko priložnost testiranja izvedbene spodbude, ki je bila uvedena 1. 1. 2016 s sprejetjem Akta o metodologiji za določitev regulativnega okvira in metodologiji za obračunavanje omrežnine za elektrooperaterje (Uradni list RS, 66/15, 105/15) [3]. Izvedbene spodbude so v veljavnem regulativnem obdobju osredotočene na testiranje učinkovitosti aktivnega vključevanja odjemalcev v programe prilagajanja odjema z uporabo dinamičnega tarifiranja. Potrditev projekta Flex4Grid s strani regulatorja omrežja Agencije za energijo je podlaga za uporabo pilotne dinamične tarife iz 123. člena akta, ki je omejena izključno na odjemalce električne energije, ki bodo prostovoljno pristopili v program prilagajanja odjema v okviru projekta.

123. člen akta govori o pilotni kritični konični tarifi in je namenjena dinamični preusmeritvi končnih odjemalcev iz obremenitve sistema v času konic na obremenitev zunaj konic ob upoštevanju razpoložljivosti energije iz obnovljivih virov energije, energije, pridobljene v soproizvodnji električne energije in toplote z visokim izkoristkom, in porazdeljenega pridobivanja električne energije.

Kritična konična tarifa (KKT) [4] je poskusna omrežninska tarifa za distribucijski sistem s posebno tarifno postavko za preneseno delovno energijo (kWh), ki odstopa od običajne tarifne postavke in velja v času trajanja konične obremenitve omrežja (preobremenitveni dogodek). Za izvajanje te tarife je vnaprej omejeno število kritičnih dogodkov v določenem časovnem obdobju, njihovo trajanje ter časovni pogoji obveščanja odjemalcev o nastopu kritičnih dogodkov. Distribucijsko podjetje mora o nastopu ter času trajanja KKT obvestiti končnega odjemalca najmanj 24 ur vnaprej. Isto informacijo mora istočasno objaviti na svojih spletnih straneh. Število ur KKT v koledarskem letu je 50.

Tarifne postavke za omrežnino za distribucijski sistem na prevzeto električno energijo (kWh), ki so vključene v pilotni projekt, so določene na način, da se ob neodzivnosti odjema končnega odjemalca v obdobju KKT, obračuna v obdobju enega leta enaka omrežnina kot v primeru, če bi distribucijsko podjetje končnemu odjemalcu obračunal omrežnino za distribucijski sistem na podlagi običajnih tarifnih postavk. KKT tarifna postavka nastopa v času kritične konične tarife, ki lahko nastopi v času višje tarife (VT) ali manjše tarife (MT) in je za 10 krat višja od običajne tarifne postavke višje tarife (VT). V času izven KKT pa je cena višje tarife (VT) ali manjše tarife (MT) za 13% nižja od običajnih tarifnih postavk.

## 6 ZAKLJUČKI

Električna energija je po svoji naravi specifično tržno blago, saj se je ne da ustrezno skladiščiti oziroma je njeno skladiščenje povezano z visokimi stroški. Zaradi tega mora biti proizvodnja električne energije vedno takšna, da pokriva celoten odjem. V časovnih obdobjih, ko je poraba električne energije visoka, je cena njene proizvodnje prav tako visoka, saj podjetja, ki proizvajajo električno energijo postopno, z večanjem obremenitve, zaganjajo proizvodne enote z višjimi proizvodnimi stroški [5].

Prav tako je v teh obdobjih elektroenergetsko omrežje bolj obremenjeno, kar lahko vodi do zamašitev in ogrozi stabilnost sistema. Elektroenergetsko omrežja se načrtujejo na osnovi koničnih moči, to so najvišje moči, ki se navadno pojavljajo v omrežju zgolj nekajkrat v letu. Nova omrežja ter ojačitve obstoječega omrežja sodijo med stroškovno zahtevne investicije, ki bremenijo vse odjemalce električne energije ter imajo nezanemarljiv vpliv na okolje.

Prilagajanje odjema električne energije s strani odjemalcev pomeni, da odjemalci svoj odjem prilagajajo različnim cenam električne energije v časovnih intervalih ali se za prilagoditev odjema odločajo zato, ker jih v to spodbujajo programi, katerih cilj je znižati odjem v času višjih veleprodajnih cen (dobavitelji) ali v času, ko je elektroenergetski sistem ogrožen (operaterji omrežja).



S programi prilaganja odjema električne energije bodo odjemalci svojo porabo premikali le, če bodo svojo porabo dobro poznali in če jih bodo uspele pritegniti nove inovativne ugodnejše tarife oz. cene. S postopnim uvajanjem teh programov se želi pri odjemalcih vzpostaviti večja prožnost porabe električne energije. Hkrati pa je to priložnost, da raziščemo potencial dinamičnega tarifiranja električne energije pri gospodinjstvih odjemalcih in skušamo odgovoriti na vprašanja ali so odjemalci pripravljeni prilagajati porabo, za kakšno ceno ter v kakšnem obsegu. Je pa to tudi priložnost, da s pomočjo pridobljenih rezultatov izboljšamo sam model in zakonodajo glede dinamičnega tarifiranja v Sloveniji.

Nenazadnje je že v zasnovi potrebno posebno pozornost nameniti varnosti in zasebnosti uporabnikovih podatkov, ki se zbirajo in obdelujejo v sodobnih tehnoloških sistemih za prilaganje odjema električne energije. V pilotnih projektih kot je Flex4Grid lahko sodobne koncepte in tehnologije zagotavljanja informacijske varnosti preverimo tudi v praksi.

## REFERENCE

- [1] Teknologian tutkimuskeskus VTT, SAE Automation, s.r.o., Smart Com d.o.o., Institut "Jožef Stefan", Fraunhofer Institute for applied Information, Stadtwerke Bonn Energie und Wasser GmbH, Elektro Celje d.d., Bocholter Energie und Wasserversorgung GmbH Proposal, Horizon 2020, H2020-LCE-2014-3, LCE-07-2014, SEP-210150353, Flex4Grid.
- [2] Dušan Gabrijelčič. D2.1 Initial Security and Privacy Module. Flex4Grid tehnično poročilo, November 2015.
- [3] Akt o metodologiji za določitev regulativnega okvira in metodologiji za obračunavanje omrežnine za elektrooperaterje (Uradni list RS, 66/15, 105/15).
- [4] Ivan Dovnik, Boštjan Horvat, Kristijan Koželj, Anton Kos, Mitja Prešern, Projektna naloga za razvojni projekt Prilagoditev eIS in Merilnih centrov potrebam dinamičnega tarifiranja (interno gradivo).
- [5] <https://www.agen-rs.si/>