MIRABEL - PRILAGAJANJE ODJEMA ELEKTRIČNE ENERGIJE Z ZAPRTIMI POGODBAMI

dr. Gregor Černe, dr. Zoran Marinšek
INEA d.o.o., Stegne 11, Ljubljana
gregor.cerne@inea.si, zoran.marinsek@inea.si

Povzetek

Prispevek opisuje rešitev prilagajanja odjema in razpršene proizvodnje, ki je bila razvita v okviru mednarodnega projekta Mirabel sofinanciranega v 7. okvirnem programu. Glavni cilj projekta je razvoj rešitve, ki omogoča učinkovitejšo integracijo obnovljivih virov in zniževanje vršne porabe. Posebnost rešitve je ekonomski pristop, pri katerem odjemalci za tisti del odjema, ki ga prepustijo avtomatskemu vodenju s strani sistema trgovanja z energijo v okviru bilančne skupine, sklepajo zaprte pogodbe o dobavi električne energije. Ta način omogoča odgovornemu bilančne skupine obravnavanje vodenega odjema na podoben način kot ga ima s proizvajalci oz. ga uporablja na organiziranem trgu. Algoritmi agregacije, napovedovanja proizvodnje in porabe ter razporejanja pretokov električne energije razviti v okviru projekta, omogočajo rešitvi Mirabel integracijo množice končnih odjemalcev tako industrijskih kot gospodinjstev z možnostjo prilagajanja odjema. V času pisanja prispevka se rešitev preizkuša s strani sistemskega operaterja z realnimi podatki in meritvami v laboratorijskem okolju.

1. UVOD

Potreba po aktivnejšem nadzoru elektroenergetskih omrežij prihaja zaradi novih elementov kot so organiziranost trga z električno energijo ([1]), obnovljivi viri električne energije, dodajanje razpršenih virov na distribucijskem omrežju, ipd. Zahteve po povečanju proizvodnje energije iz obnovljivih virov, zahteve po učinkoviti rabe energije, ekonomika in nove tehnologije, ki prihajajo (npr. električni avtomobili, gorivne celice, kogeneracijske enote) prinašajo potrebo po upravljanju z odjemom in razpršeno proizvodnjo, saj brez tega ni mogoča njihova učinkovita integracija in zagotavljanje zanesljivosti elektroenergetskega sistema.

Razvoj informacijskih tehnologij omogoča novo rešitev omenjenih problemov tako, da se pri uravnavanju pretokov energije vključi tudi porabo in razpršeno proizvodnjo na distribucijskem omrežju in sicer v okviru aktivnega upravljanja s porabo. To pomeni da lahko porabnikom, ki so se s pogodbami v zameno za nadomestilo zavezali k upravljanju z svojo porabo, zmanjšamo ali povečamo porabo glede na potrebe elektroenergetskega omrežja.

Virtualna elektrarna zaobjema del odjema in razpršene proizvodnje električne energije, katere je moč voditi v realnem času, in ju povezuje v enovito celoto. Takšen sistem lahko podobno kot prava elektrarna aktivno uravnava pretoke energije na distribucijskem in prenosnem elektroenergetskem omrežju. Sistem je možno predstaviti kot tržni subjekt na organiziranem trgu z električno energijo v okviru sistemskih storitev npr. na izravnalnem trgu ali tudi trgu s skrajno rezervo. Glavni cilj sistema za vodenje odjema je iskanje tehnično najugodnejših in najcenejših možnosti za razbremenjevanje prenosnih poti v sistemu.

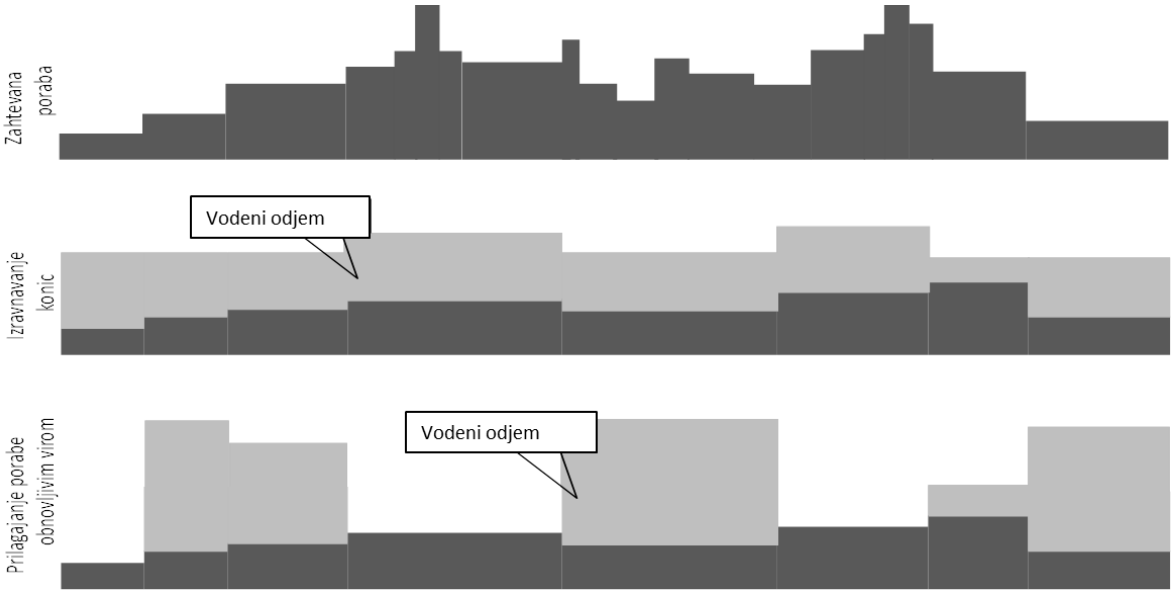
Primer virtualne elektrarne predstavljene v tem prispevku je nastal v okviru projekta Mirabel, ki je sofinanciran v okviru 7OP in v njem poleg INEe sodelujejo še SAP (koordinator projekta), Technishe Universitaet Dresen (TUD) , Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Aalborg Universitet Danmark(AAU), Institut Jožef Stefan (IJS),

Centre for Renewable Energy Sources Greece (CRES) in Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) [3].

2. TEHNOLOGIJA REŠITVE

Rezultat projekta Mirabel je razvoj koncepta in IT infrastrukture, ki omogoča elektroenergetskim podjetjem učinkovito upravljanje z obnovljivimi viri in uravnavanje porabe s proizvodnjo. Glavna cilja projekta Mirabel sta učinkovitejša integracija obnovljivih virov, med katere spadata tudi vse bolj razširjena vetrna in sončna energija, ter uravnavanje vršnega odjema električne energije.

Osnovna ideja projekta je, da končni uporabniki omrežja (proizvajalci in odjemalci) ponudijo v upravljanje svoj odjem in proizvodnjo za prilagajanje v obliki spremenljivih ponudb. Spremenljiva ponudba vsebuje parametre za zahtevani odjem (ali proizvodnjo) energij in možne načine prilagajanja, kot so količina energije, čas porabe, ipd, katere vrednosti lahko nastavljamo. Uporabnik rešitve Mirabel lahko z nastavljanjem teh parametrov uravnava pretoke energije na distribucijskem in posredno tudi na transportnem omrežju.



Slika 1: Neregulirani odjem (zgoraj), zniževanje konice (sredina) in prilagajanje glede na proizvodnjo OVE (spodaj) z vodenim odjemom (svetlo sivo)

Primer uravnavanja pretokov energije v skladu z omenjenim ciljem je shematsko prikazuje Slika 1, kjer je zgoraj primer zahtevanega odjema za primeru, ko ni vodenja, v sredini prilagajanje odjema s ciljem zmanjšanje konične porabe in spodaj prilagajanje odjema glede na predvideno proizvodnjo obnovljivih virov.

V projektu Mirabel smo razvoj še posebej posvetili naslednjim elementom:

- Oblikovanje spremenljivih ponudb za proizvodnjo in porabo električne energije: potrebno je bilo oblikovati splošen način opisa in sporočilo za zmožnost zelo različnih naprav pri sodelovanju prilagajanja odjema in razpršene proizvodnje;
- Zbiranje in združevanje spremenljivih ponudb: algoritem združevanja ponudb je namenjen obvladovanju velike množice hkratnih ponudb, in zmanjšanju njihovega

števila zato, da je algoritem razporejanja bolj učinkovit in se lahko čim bolje približa izvajanju v realnem času

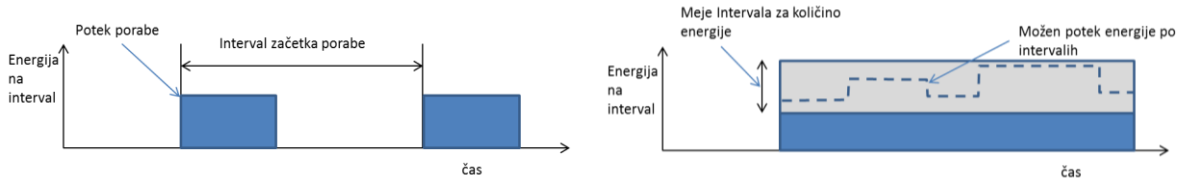
- Napovedovanje: napovedovanje proizvodnje obnovljivih virov in porabe odjemalcev, ki niso del vodenja;
- Razporejanje vodenega dela porabe in proizvodnje: na podlagi možnih vrednosti v spremenljivih ponudbah algoritem optimalno razporedi proizvodnjo in porabo.

Algoritmi izdelave ponudb, združevanja, napovedovanja in razporejanja se izvajajo v realnem času. S pomočjo tega koncepta je možna učinkovitejša integracija obnovljivih virov kot tudi zmanjšanje stroškov iz naslova nižanja konične porabe oz. preusmerjanja porabe na čas. ko je cena energije nižja.

2.1 Oblikovanje ponudb

Del odjema lahko vodimo brez večjega vpliva na procese samega odjemalca, dnevno delovanje gospodinjstva ali proizvodnega procesa v industriji. Bremena primerna za vodenje so predvsem sistemi HVAC (heating, ventilation, air-conditioning and cooling), pa tudi drugi sistemi kot so livarske peči, talilnice, sušilnice ter razne naprave ki na tak ali drugačen način posedujejo zalogovnik energije oz. materiala.

Podobno lahko vodimo tudi tisti del razpršene proizvodnje (kogeneracijske enote, plinski in drugi agregati, …), ki ni pod vplivom vremenskih razmer.



Slika 2: Oblika ponudbe za prilagajanje: časovno prilagajanje (levo) in prilagajanje energije (desno)

V rešitvi Mirabel je možnost vodenja odjema in razpršenih virov realizirana preko tako imenovanih spremenljivih ponudb. Vsaka naprava z možnostjo vodenja oblikuje spremenljivo ponudbo bodisi za nakup ali prodajo električne energije. Ponudba vsebuje bodisi spremenljiv čas porabe (časovno prilagajanje), spremenljivo energijo porabe (prilagajanje energije) ali pa kombinacijo obojega.

Pri časovnem prilagajanju končni odjemalec ponuja spremenljiv čas začetka odjema (določen proces lahko začne izvajati v intervalu n.pr. od 22h do 4h zjutraj), medtem ko sta potek porabe in količina energije določena (Slika 2 levo). Druga možnost je ponujanje prilagajanja energije, ko npr. vir električne energije lahko nastavlja moč proizvodnje v določenem intervalu dneva (Slika 2 desno). Ponudbe lahko obsegajo tudi vse možne kombinacije obeh tipov. Pri obeh tipih ponudb se določi tudi cena ponudbe, ki je nižja od tiste na odprti pogodbi oz. bolj ugodna za ponudnika od običajne rabe, in pa tudi trenutek, ko mora biti ponudba najkasneje sprejeta ali pa zavrnjena.

2.2 Združevanje ponudb

Rešitev Mirabel je namenjena za vse vrste končnih odjemalcev – industrijo, poslovne in druge zgradbe ter gospodinjstva. Zaradi velike množice (v bilančni skupini je lahko tudi več kot 100.000 odjemalcev) se na dnevnem nivoju pričakuje veliko število raznovrstnih ponudb za

prilagajanje odjema. Sistem je tem bolj učinkovit, kolikor se njegov algoritem razporejanja približuje realnemu času. Učinkovitost se zato poveča, če se pred razporejanjem podobne ponudbe združuje in tako zmanjšuje njihovo število.

Ponudbe se razporejajo po skupinah, ki imajo podobne parametre kot so prekrivajoč časovni interval spremenljivosti, podobne čase za sprejemanje ponudb in izdelavo urnika, podobne cene, ipd. Iz posameznih skupin se oblikujejo nove ponudbe – po ena na celo skupino. Nova ponudba vsebuje konservativno vrednost parametrov vsebovanih ponudb. Tako ima združena ponudba npr. najkrajši interval časovne spremenljivosti posamezne ponudbe iz skupine, najnižjo ceno pri ponudbah za odjem električne energije, ipd.

Konservativno združevanje ponudb omogoča obraten proces – razdruževanje urnikov, ki jih je iz ponudb izdelal algoritem razporejanja, na način, ki ohranja prvotne meje parametrov v prvotni ponudbi.

2.3 Napovedovanje nevodljivih virov in porabe

Napovedovanje pretokov električne energije je pomembno za določanje urnikov in razporejanje vodene proizvodnje ter uravnoteženje proizvodnje in porabe. Končni odjemalci v veliki meri porabljajo energijo zelo naključno in zato njihove porabe ne moremo planirati. Podobno je aktivnost obnovljivih virov odvisna od vremenskih pojavov. Natančno in učinkovito napovedovanje tako porabe kot proizvodnje je osnovni predpogoj za izračun in razporejanje pretokov električne energije vodenega dela proizvodnje in porabe.

Algoritem napovedovanja vključuje korake i) Izbira modela napovedovanja, ii) uglaševanja modela, iii) nastavljanje parametrov modela, iv) napovedovanje, v) vrednotenje napovedi in vi) popravljanje modela. Ob vsaki spremembi podatkov algoritem izdela novo napoved za izbrano časovno vrsto, hkrati pa na podlagi dejanske meritve tudi popravlja model in ponastavlja parametre. V rešitvi Mirabel se za napovedovanje tako porabe kot tudi proizvodnje obnovljivih virov uporablja metoda EGRV (Engle, Granger, Ramanathan, and Vahid-Arraghi Model [11]). To je več-enačbni model, ki upošteva trojne značilne periode (dnevno, letno, za porabo pa tudi tedensko).

Napovedovanje proizvodnje nevodljivih virov in porabe je eden ključnih elementov za uspešno integracijo teh virov v elektroenergetsko omrežje. Odstopanje napovedi od dejanskih vrednosti določa količino rezerve, ki jih mora sistem imeti, da ohranja njegovo stabilnost. Pri povečevanju deleža obnovljivih virov, se odstopanja povečujejo in obstoječi sistem ni stabilen. Stabilnost se vzpostavi bodisi s povečevanjem rezerve dodatnih proizvodnih enot, ali pa kot pri projektu Mirabel z vodenjem dela odjema.

2.4 Razporejanje vodene porabe in proizvodnje

Algoritem razporejanja izdeluje urnik delovanja vodene porabe in proizvodnje. Algoritem pri razporejanju upošteva naslednje tokove energij:

- Napovedano porabo na odprtih pogodbah[1]
- Napovedano proizvodnjo na odprtih pogodbah
- Zakupljeno energijo na zunanjem trgu
- Spremenljive ponudbe za porabo

[1] Pri odprti pogodbi je vnaprej znana le cena energije, količina in potek pa se določita naknadno iz meritev.

- Spremenljive ponudbe za proizvodnjo

Algoritem upošteva tudi predvidene cene odstopanj, kot jih določa organizator trga za bilančne skupine, ki se ne držijo napovedanih voznih redov. Algoritem razporejanja nastavlja spremenljive ponudbe za porabo in proizvodnjo tako, da uporablja čim cenejše proizvodnje vire, prednostno izrablja dražje porabnike, pri tem pa morebitna odstopanja med proizvodnjo in porabo prestavlja v interval, ko je njihova predvidena cena minimalna in tako zmanjša stroške. Algoritem razporejanja je kombinacija je iterativni postopek, ki s pomočjo genetskih algoritmov izbira optimalno kombinacijo spremenljivih parametrov ponudb po ekonomskem kriteriju. Ekonomski kriterij je čim večji dobiček za uporabnika rešitve – odgovornega bilančne skupine,

Sistem po razporejanju spremenljivih ponudb dokončno določi spremenljive parametre ponudb in pošlje razpored porabe energije odjemalcu v času, ki ga je ta določil in sicer pred samo realizacijo porabe ali proizvodnje energije. Sistem za prilagajanje odjema in razpršene proizvodnje takrat sklene zaprto pogodbo s končnim odjemalcem ali proizvajalcem. V pogodbi je določeno kdaj bo dostavljena energija, kakšen bo njen časovni potek in kolikšna je cena.

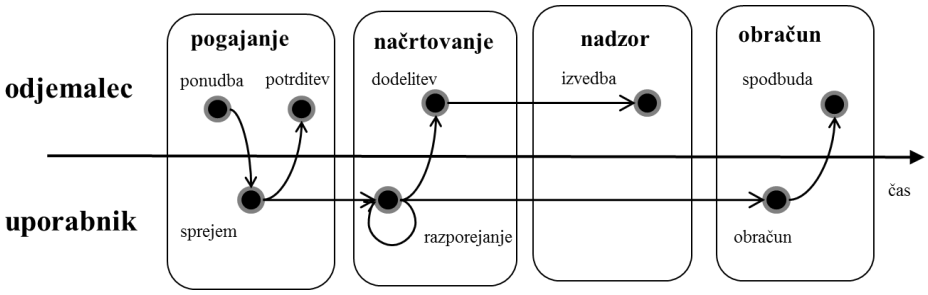
Rešitev Mirabel tako uvaja nove poslovne odnose med odjemalce/proizvajalce na eni strani in podjetja za dobavo električne energije na drugi. Dosedanje odprte pogodbe, ko odjemalci plačajo energijo porabljeno v preteklosti, se dopolnijo z zaprtimi pogodbami, ki jih odjemalec sklene za del svojega odjema in se obveže o porabi svojega odjema v prihodnosti.

2.5 Proces komunikacije med nadzornim centrom in odjemalcem

Pri prilagajanju odjema in razpršene proizvodnje, kot je predvideno v rešitvi Mirabel, se med odjemalcem in porabnikom izvajajo procesi, ki jih narekuje izmenjava sporočil. Procese razporedimo v naslednje skupine:

- Pogajanje: odjemalec oz. proizvajalec pošlje ponudbo o odjemu ali proizvodnji električne energije s spremenljivimi parametri o količini energije in/ali času porabe.
- Načrtovanje: Algoritem razporejanja pri uporabniku določi točen urnik pretoka energije, ki je skladno s ponudbo odjemalca in z njim sklene t.i zaprto pogodbo o dobavi energije.
- Nadzor: Odjemalec porablja energijo v skladu z dodeljenim urnikom. Sistem zbira meritve o odjemu odjemalca, s katerimi lahko nadzoruje skladnost odjema z dodeljenim urnikom.
- Obračun: po poteku realizacije uporabnik primerja dejansko izvedbo z dodeljenim urnikom in izdela obračun finančnih spodbud odjemalcu.

Del spodbude odjemalcu je v lahko določen že v sami ponudbi, v kateri je nižja cena porabe od običajne cene po odprti pogodbe. Glede na poslovni model med uporabnikom in odjemalcem pa se lahko dodeli (tudi) dodatne spodbude. Lahko se obračuna preprosto kot popust ne ceno odprte pogodbe, ali pa se doda tudi dodatek na zanesljivost odjemalca, njegovo časovno fleksibilnost, njegovo kapaciteto - količino energije za prilagajanje, …



Slika 3: Proces komunikacije med uporabnikom in odjemalcem

3. TESTIRANJA UČINKOV REŠITVE

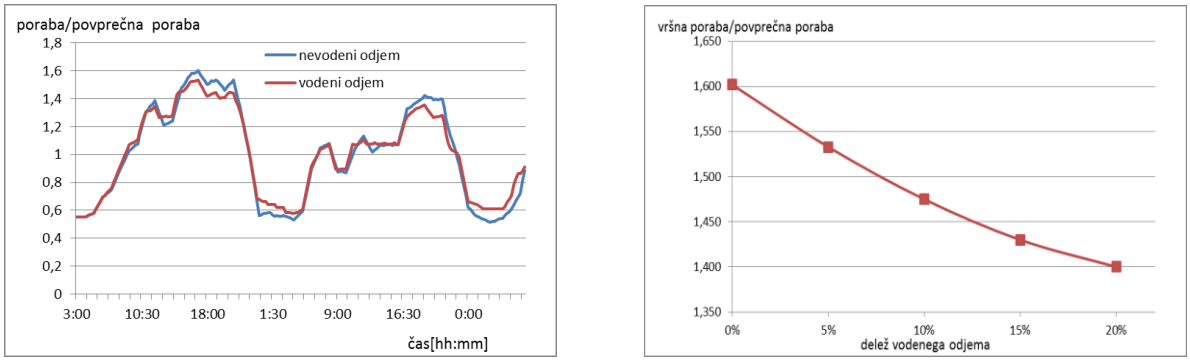
Rešitev se testira in v laboratorijskem okolju in z realnimi podatki. Ta čas pisanja prispevka testiranje še ni končano in prikazani so le začasni rezultati.

Pri testiranju se uporablja dejanske merjene podatke skupine odjemalcev projekta Meregio [13], pri katerem tudi sodelujejo partnerji projekta Mirabel. Za definicijo prilagodljivih ponudb je v uporabi enostaven model, kjer odjemalec poseduje en (generičen) električni porabnik primeren za prilagajanje, ki se v normalni uporabi uporablja enkrat dnevno, njegova dnevna poraba pa je parameter, ki se nastavlja v območju npr. od 5% do 20% povprečne dnevne porabljene energije. Uporabljene so tudi dejanske meritve za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov in sicer za vetrno in sončno energijo. Količina energije iz obnovljivih virov je parameter določen kot delež porabe in znaša od 0% do 20% celotne porabe odjemalcev. Razliko med proizvodnjo obnovljivih virov in porabo pa pokriva vodena proizvodnja. Zanjo je uporabljen enostaven model pasovne in vršne proizvodnje, katerega vozni red določa algoritem razporejanja z ekonomsko optimizacijo.

Cilj testiranja je merjenje učinkov kot so zmanjševanje vršne porabe in učinkovitejša integracija obnovljivih virov.

3.1 Vršna poraba

Zmanjševanje vršne porabe se je testiralo v okolju, kjer ni obnovljivih virov, saj le ti v primeru, ko je njihova aktivnost največja ravno v času vršne porabe, lahko vplivajo ravno nasprotno in povečujejo vršni odjem, in je učinek prilagajanja kvalitativno težko izmeriti.



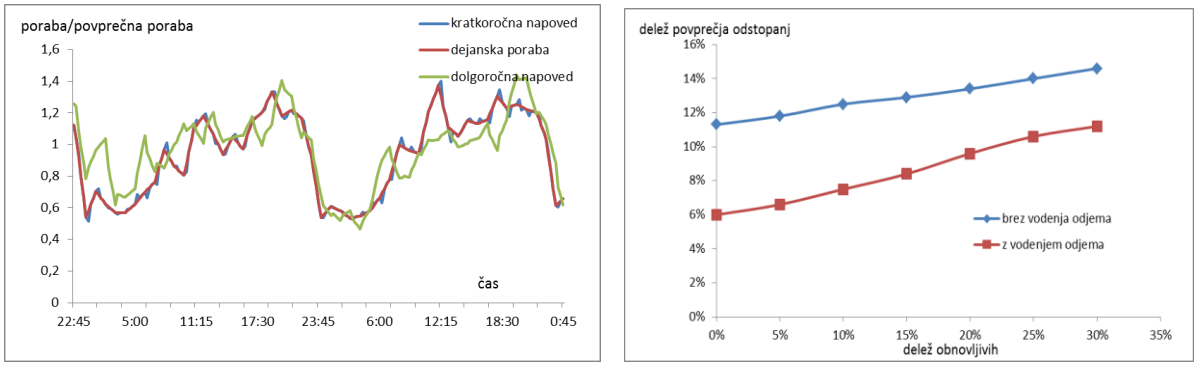
Slika 4: levo: Potek nevodenega in vodenega odjema; desno: Odvisnost vršne porabe od količine energije za prilagajanje

Slika 4 levo prikazuje primer odjema skupine gospodinjskih odjemalcev, ko njihova poraba ni vodena (modra krivulja) in ko 5% njihove porabe prepustimo vodenju s strani sistema

Mirabel (rdeča krivulja). Slika 4 desno pa prikazuje odvisnost vršnega odjema od količine energije, ki je pod kontrolo. V primeru, da lahko vodimo 5% energije, lahko vršni odjem zmanjšamo za 7% že pri dvodnevnem intervalu testiranja.

3.2 Učinkovitejša integracija obnovljivih virov

Obnovljivi viri, katerih aktivnost je odvisna od vremenskih okoliščin, potrebujejo ob integraciji v omrežje zadostno količino rezervnih vodljivih virov, ki pokrivajo njihovo proizvodnjo v primeru neugodnih vremenskih razmer in nenatančnih napovedi. Z uporabo vodenega odjema lahko zmanjšamo količino rezerve na proizvodnji strani oziroma lahko z obstoječo rezervo dosežemo integracijo večjega deleža obnovljivih virov, saj povečana odstopanja zaradi netočnih napovedi obnovljivih virov reguliramo z odjemom, ki ima podoben odzivni čas kot regulacija na proizvodni strani. Slika 5 levo prikazuje odstopanja dejanskega odjema od napovedanega voznega reda (dolgoročna napoved), ki jih mora izravnati sistemski operater z rezervo. V primeru, ko imamo na voljo vodeni odjem, je odstopanje manjše, saj nam ta omogoča uporabo kratkoročnejših in točnejših napovedi. Slika 5 desno prikazuje odvisnost odstopanj od količine obnovljivih virov. V primeru 0% obnovljivih virov so odstopanja zaradi dolgoročne napovedi odjema. Pri uporabi vodenega odjema lahko uporabimo tudi kratkoročnejšo napoved in odstopanje je manjše. Podobno je tudi pri dodajanju obnovljivih virov. V kolikor ni na razpolago vodenja odjema tudi kratkoročnejša napoved ni v pomoč, ker ni na razpolago ustreznih rezerv za popravljanje voznih redov in odstopanja ostanejo večja. Z vodenjem odjema lahko izkoristimo točnost kratkoročnih napovedi in zmanjšano odstopanja pri proizvodnji obnovljivih virov. Že delež 10% energije odjema, ki je vključena v vodenje je zadosti da izkoristi točnost napovedi in zmanjša odstopanja za več kot 4%.



Slika 5: levo: kratkoročna in dolgoročna napoved porabe glede na dejansko porabo; desno: količina odstopanj v odvisnosti od količine obnovljivih virov

Pri dani rezervi za izravnavo odstopanj ter kapaciteti elektroenergetskega omrežja lahko z uporabo vodenega odjema dosežemo večjo kapaciteto nameščenih obnovljivih virov in dosežemo njihov večji izkoristek.

4. ZAKLJUČEK

Rešitev za sistem prilagajanja odjema in razpršene proizvodnje, ki jo prinaša projekt Mirabel, je zanimiva in obetajoča predvsem zato, ker prinaša elemente kot so določanje urnikov porabe in sklepanje zaprtih pogodb z avtomatsko realizacijo in nadzorom prav do končnih odjemalcev na distribucijskem omrežju. Ti elementi že po svoji definiciji omogočajo učinkovitejši nadzor pretokov energije tudi na distribucijskem omrežju, kar se je s

povečevanjem odjema in priključevanjem razpršenih virov v zadnjem času pokazala kot nujnost za zagotavljanje varnosti in zanesljivosti omrežja.

Glavni cilj projekta Mirabel - sistem za zmanjševanje vršne porabe in povečevanje integracije obnovljivih virov je usmerjen predvsem v ekonomske koristi v elektroenergetskem omrežju saj pri trendu naraščanja celotne porabe električne energije in intenzivnega vključevanja obnovljivih virov zmanjšuje potrebo po izgradnji rezervnih proizvodnih kapacitet in ustreznih ojačitev prenosnega ter distribucijskega omrežja.

Značilnosti sistema za prilagajanjem odjema in razpršene proizvodnje v veliki meri ustrezajo zahtevam za nižanje vršnega odjema in terciarnih rezerv tako po kapaciteti kot tudi po trajanju prilagajanja. Sistem kot je Mirabel še posebej izkorišča obstoječo infrastrukturo in zmožnost prilagajanja odjema za izdatnejšo nameščanje obnovljivih virov.

V času pisanja tega prispevka se na projektu Mirabel (konča se v prvi polovici leta 2013) začenja izvajati laboratorijsko testiranje rešitve, podjetje INEA pa načrtuje spoznanja in rešitve projekta prenesti v prakso in realno sistemsko okolje, kakršno predstavlja njen sistem KIBERnet [5], [6]).

5. VIRI IN LITERATURA

[1] ENTSO-E: The Harmonized Electricity Market Role Model, version 2009-01, 2009.

[2] NEMČEK, Peter in soavtorji, Razvoj e-storitve za optimiranje pretokov električne energije v distribucijskem omrežju s prilaganjem odjema in razpršene proizvodnje, zbornik PIES, 2008

[3] http://www.mirabel-project.eu

[4] ČERNE, Gregor in soavtorji, Razbremenjevanje visoko in srednje napetostnega prenosnega omrežja za potrebe sistemskega operaterja zbornik PIES, 2009

[5] BIZJAK, Mitja, NEMČEK Peter, ČERNE, Gregor, Računalniški sistem Kibernet, zbornik PIES, 2010

[6] ČERNE, Gregor, BIZJAK Mitja, Delovanje virtualne elektrarne s sistemom Kibernet, zbornik PIES 2011

[7] ČERNE, Gregor, MARIŠEK Zoran, BIZJAK Mitja, Uporaba prilagajanja odjema in razpršene proizvodnje električne energije, zbornik Vitel, 2011

[8] ENERNOC, Demand Response Initiatives for Public Utilities, Texas Public Power Association, March 2009

[9] ELES, http://www.eles.si/ spletna stran

[10] Mirabel consortium, D3.2 Initial Specification of Data Collection and Analysis System, December 2010

[11] Ramu Ramanathan, Robert Engle, Clive W.J. Granger, Farshid Vahid-Araghi, and Casey Brace. Short-run forecasts of electricity loads and peaks.International Journal of Forecasting, 13:161{174, 1997.

[12] Mirabel consrotium, D5.1 State-of-the-art report on scheduling and negotiation approaches, Junij 2010

[13] Meregio project, http://www.meregio.de/