

Paula Perović
Fakultet elektrotehnike i računarstva
paula.perovic@fer.hr

Mirna Gržanić
Fakultet elektrotehnike i računarstva,
Mirna.grzanic@fer.hr

Tomislav Capuder
Fakultet elektrotehnike i računarstva,
Tomislav.capuder@fer.hr

APLIKACIJA ZA OPTIMIZACIJU NAPREDNOG UPRAVLJANJA TOKOVIMA SNAGA U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Ovim radom predstavljena je programska platforma za planiranje i upravljanje razmjenom električne energije između pametnih potrošača i operatora distribucijskog sustava. Programska platforma omogućava direktnu komunikaciju između stranaka, a sami koncept temelji se na dugoročnom i kratkoročnim planiranjima, dan-unaprijed i unutar-dnevnim operacijama. Programska platforma omogućuje sklapanje dugoročnih ugovora između pametnih zgrada i operatora distribucijskog sustava (ODS). Glavne klauzule ugovora su volumen i vrijeme pružanja usluga fleksibilnosti, cijena usluge i kazna za odstupanja, a temelje se na financijskim analizama i proračunu tokova snaga. Za vrijeme trajanja ugovora, programski alat omogućuje aktivaciju rezervirane električne energije kroz kratkoročne operacije. Dan-unaprijed alat računa optimalne tokove snage (AC OPF) prema predviđenom ponašanju pametnih potrošača te optimizacijskim alatom određuje volumen i vrijeme pružanja fleksibilnosti s obzirom na uvjete definirane dugoročnim ugovorom. Unutar-dnevni modul omogućuje ODS-u da poboljša unutar-dnevni raspored aktiviranjem fleksibilnosti prateći stvarna dostupna mjerenja (SCADA).

Ključne riječi: usluge fleksibilnosti, planiranje, dan-unaprijed operacije, unutar-dnevne operacije

OPEN SOURCE TOOLS FOR INTEGRATED OPERATION AND PLANNING OF FLEXIBLE BUILDINGS AND DISTRIBUTION NETWORK

This paper presents the new concept of energy management tool for utilizing distributed energy resources in power systems planning and operations. The tool arranges the Long-term contract between flexibility service providers and distribution system operator (DSO). The main contract clauses, flexibility reservations and timestamp, activation prices and penalties, are determined by financial and load-flow analysis. During the terms of contract, the Short-term modules are running on daily basis. The day-ahead module runs AC optimal power flow (AC OPF) analysis for the grid with buildings predicted profiles and calculates buildings optimal load profile within the contract conditions. The intra-day module allows DSO to improve day-ahead schedule by triggering intra-day flexibility profiles with real-time measurements and prices.

Key words: flexibility providers, long-term planning, day-ahead operations, intra-day operations

1. UVOD

Integracija distributivnih izvora energije (DIR) u elektroenergetski sustav usporena je mnogim regulatornim i zakonskim okvirima na području dunavske regije. Iako postoje brojne povlastice njihovim uključivanjem u tržište pomoćnih usluga, njihov pristup je još uvijek ograničen. Elektroenergetska tržišta imaju malu likvidnost jer se dio razmjena vrši manje transparentnim putem - bilateralnim ugovorima [1]. Integracija distributivnih izvora mora biti praćena novim regulatornim okvirima koji će promicati potencijale pružanja usluga fleksibilnosti i promovirati integraciju sustava upravljanja energijom na novo izgrađenim objektima [2]. Osim regulatornih prepreka, integracija DIRa ovisi o stanju distribucijske mreže. Obnovljivi izvori energije i dalje se smatraju nekontroliranim izvorom energije koji svojom integracijom može utjecati na pad napona mreže, povećane gubitke energije, pouzdanost i kvalitetu opskrbe te je time njihov trošak priključivanja na distribucijsku mrežu visok [3-6].

Operatori elektroenergetskog sustava moraju omogućiti kvalitetnu, pouzdanu i neprekidnu opskrbu električne energije svim krajnjim potrošačima. Stalni trend porasta potrošnje električne energije [6] može uzrokovati povećanje gubitaka u mreži, pad napona, zagušenja vodova te time smanjiti kvalitetu opskrbe. Iako su kritični trenuci u mreži rijetki, operatori sustava dugoročnim planiranjem investiraju u pojačanje mreže kako bi se izbjegli spomenuti problemi što u većini slučajeva rezultira predimenziranjem mreže [7-8].

Alternativno ulaganju u pojačanje mreže, operator sustava može iskoristiti fleksibilnost distribuiranih izvora i upravljivih potrošača. Trenutno ne postoje zakonske regulative koje bi omogućile sudjelovanje krajnjih potrošača na tržištu električne energije, tržištu rezerve i tržištu pomoćnih usluga. [8-11].

U radu je opisana platforma koja omogućuje izravnu komunikaciju između pametnih potrošača i operatora sustava. Platforma je podijeljena na 4 modula: dugoročno planiranje, kratkoročne operacije dan-unaprijed i unutar-dnevno planiranje te određivanje ukupnog troška. Platforma omogućuje operatoru sustava pregled svih novčanih transakcija te dogovorenih i razmijenjenih profila energije.

Temeljem godišnjeg proračuna tokova snaga operator određuje raspored i maksimalni kapacitet usluga fleksibilnosti. Slobodni financijski prostor za usluge fleksibilnosti određen je financijskom analizom odgode investicije u nadogradnju ili rekonstrukciju elektroenergetske mreže. Cjenovni signali predstavljaju naknadu za rezervaciju i aktivaciju fleksibilnih usluga. Nakon što se agregator usuglasi s cijenama i kapacitetima usluga fleksibilnosti, operator potražuje dogovorene kapacitete fleksibilnosti kratkoročnim planiranjem. Budući da se godišnja analiza tokova snaga znatno razlikuje od dnevnih planiranja, operator sustava dan unaprijed šalje aktivacijske kapacitete za dogovoren raspored određen optimalnim tokovima snaga. Unutar-dnevnim planiranjem u slučaju promjene potrošnje ili konfiguracije mreže, operator sustava može zatražiti promjenu usluga fleksibilnosti prema stvarnom stanju i zahtjevima mreže.

2. KONCEPT APLIKACIJE

2.1. Modul dugoročnog planiranja

Planiranje mrežnih i financijskih resursa dio je ciklusa pogona elektroenergetskog sustava. Budući da se potrošnja električne energije povećava, operator energetskog sustava analizom tokova snaga provjerava može li postojeća mrežna infrastruktura isporučiti krajnjim korisnicima potrebnu električnu energiju. Takve analize najčešće se rade komercijalnim alatima za gospodarenje električnim mrežama (NEPLAN, PowerFactory) te im omogućuje da se prepoznaju slabe točke u elektroenergetskom sustavu koje treba nadograditi. Novi koncept omogućuje operatoru da poboljša naponske prilike mreže, smanji vršnu potrošnju, upravlja zagušenjima mreže i asimetriju bez skupih investicija u nadogradnju ili rekonstrukciju postojeće mrežne infrastrukture, već poboljšanjem upravljanja izvorima energije u distribucijskoj mreži.

Prvi korak dugoročnog planiranja je određivanje kapaciteta potrebnih usluga. Operator analizira tokove snaga razmatrane mreže za sljedeću godinu. Ulazni podatci potrošnje izvoda mogu se korelirati prema povijesnim podacima i mjerenjima ukoliko je došlo do značajnog gospodarskog razvoja. Analiza tokova snaga se vrši u komercijalnim alatima za specifične dane u godini, odnosno računa se za karakteristični radni dan, subotu i nedjelju za sve mjeseci u godini. Kad je analiza tokova snaga gotova, podatci se moraju prenijeti u proračunsku tablicu modula zajedno sa termalnim i operacijskim ograničenjima mreže. Proračunska tablica uspoređuje zadana ograničenja s ukupnim opterećenjem

izvoda za specifični dan i vremenski trenutak. Ukoliko je u nekom trenutku mreža opterećena, tada u posebnoj tablici modul zapisuje zahtjev za rezervacijom usluge. Zahtjevi za rezervacijom opisani su danom i mjesecom, vremenom početka i trajanjem usluge te kapacitetom usluge. Kapacitet usluge računa se ukoliko je opterećenje mreže veće od operacijskog ograničenja, a iznos je jednak njihovoj razlici.

Nakon što je napravljena analiza pogona distribucijske mreže, operator određuje financijski prostor za usluge fleksibilnosti. Financijska analiza temelji se na odgodi investicije na 15 godina, a uzima u obzir financijske parametre inflacije te ponderirani prosječni trošak kapitala (WACC). Financijska analiza se sastoji od sljedećih koraka:

- Određivanje buduće neto vrijednosti investicije, BNV , predstavlja trošak buduće investicije s obzirom na inflaciju.
- Određivanje minimalnog troška buduće investicije, MTI (1), koja predstavlja iznos koji bi ODS zaradio da novac založio u banku na godinu dana.
- Određivanje maksimalnog financijskog prostora za usluge fleksibilnosti, $MFPUF$ (2), kao razlika između neto buduće vrijednosti i minimalnog troška buduće investicije.
- Raspodjela troškova za usluge fleksibilnosti, TUF (3), ukoliko operator ne želi 100% iznos investicije investirati u usluge pametnih potrošača može definirati udio investicije r .
- Određivanje slobodnog financijskog prostora, SFP (4), koji se može založiti u banku.

$$MTI_t = \frac{BNV_{t+1}}{1 + WACC} \quad (1)$$

$$MFPUF_t = TI_t - MTI_t \quad (2)$$

$$TUF_t = MFPUF_t \cdot r \quad (3)$$

$$SPF_t = BNV_t - TUF_t \quad (4)$$

Budući da se ukupni iznos investicije ne iskoristi u potpunosti na usluge fleksibilnosti, već oko jedne petnaestine iznosa, operator svake godine može ostatak investicije založiti u banku te time dodatno zaraditi na vraćenim kamatama.

Nakon što se odredi trošak investicije, proračunska tablica na temelju tablice zahtjeva za rezervacijom odredi cjenovne signale usluga, odnosno jedinične cijene rezervacije C_R (5) i aktivacije usluge C_A (6),

$$C_R = \frac{(1 - a) \cdot TUF}{E} \quad [EUR/kWh] \quad (5)$$

$$C_A = \frac{a \cdot TUF}{E} \quad [EUR/kWh] \quad (6)$$

gdje je a udio za aktivaciju, E ukupni zahtjev za uslugom (kWh), a TUF troškovi za usluge fleksibilnosti (EUR).

Osim određivanja zahtjeva za uslugom i jediničnih cijena, modul omogućava operatoru slanje svoje ponude potencijalnim pružateljima usluge te omogućava pregovaranja oko cjenovnih signala. Kad se stranke usuglase, modul kreira ugovor.

2.2. Modul za dan - unaprijed operacije

Za vrijeme trajanja dugoročnog ugovora, jedan od načina upravljanja uslugama fleksibilnosti je modul za dan-unaprijed operacije. Modul omogućuje operatoru uključivanje pružatelja usluga fleksibilnosti u svakodnevnim operacijama kao aktivno sredstvo u distribucijskoj mreži. Modul optimizira tokove snaga

distribucijske mreže s obzirom na nove uvijete u mreži. Pružatelj usluga mu javlja svoju radnu krivulju, a iz ugovora je poznato vrijeme, trajanje, te minimalni i maksimalni kapacitet koji može pružiti.

Za proračun optimalnih tokova snaga potrebno je dohvatiti podatke o tehničkim karakteristikama mreže i profile potrošnje ostalih potrošača. Zbog rasprostranjene upotrebe komercijalne aplikacije NEPLAN za gospodarenjem energijom u različitim elektroprivredama, razvijena je ekstenzija programa koji omogućuje lakšu migraciju podataka u opisanu aplikaciju. Taj dodatak izvozi podatke iz NEPLAN-ovog projekta te ih obrađuje kako bi se dobila odgovarajuća struktura mreže. Imena i ID elemenata u NEPLAN projektu ne sadrže konzistentni slijed brojeva, pa se prema topologiji mreže procesiraju elementi s tim da se elementi zaštite sustava zanemaruju i ne pohranjuju. Podatci se direktno mogu učitati iz unaprijed strukturiranih Excel tablica za korisnike koji se ne koriste NEPLAN aplikacijom. Te tablice moraju sadržavati:

- topologiju mreže,
- nominalni napon i dopuštenu devijaciju napona,
- duljinu voda (km),
- otpornost i reaktanciju električnih vodova (Ω/km) te maksimalnu nazivnu struju voda (A),
- profile aktivne i reaktivne prosječne potrošnje snage za svako NN postrojenje na 15 minutnom intervalu (svi profili moraju imati definiranu vremensku oznaku).

Tablica može sadržavati i predviđenu proizvodnju solarnih panela ili vjetroelektrana. Profili moraju biti definirani na svako čvorište u mreži te imati rezoluciju od 15min kao i podatci o potrošnji. Pri učitavanju novih podataka, modul ih prvo uspoređuje s postojećim podacima u bazi podataka kako bi se izbjegli dupli unosi. Ako projekt ima isti naziv, modul tada ažurira postojeće podatke u mreži.

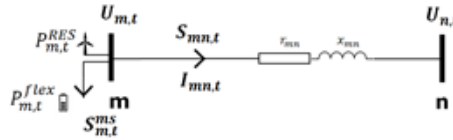
Modul dohvaća podatke za sljedeći dan te pokreće optimizaciju tokova snaga (AC OPF). AC OPF je temeljen na DistFlow modelu [12]. Kvadratnim Kirchhoffovim zakonom određen je pad napona kao (7), te se može preformulirati s jednadžbom (8), dok je struja na vodu mn prikazan jednadžbom (9):

$$U_{n,t}^2 = |U_{n,t}|^2 = |U_{m,t} - I_{mn,t}Z_{mn}|^2 \quad (7)$$

$$|U_{n,t}|^2 = |U_{m,t}|^2 - 2(r_{mn}P_{mn,t} + x_{mn}Q_{mn,t}) + |I_{mn,t}|^2(r_{mn}^2 + x_{mn}^2) \quad (8)$$

$$|I_{mn,t}|^2 = \frac{|S_{mn,t}|^2}{|U_{m,t}|^2} \quad (9)$$

gdje $U_{m,t}$ i $U_{n,t}$ predstavljaju napon nad čvorištem m i n , I_{mn} predstavlja struju na vodu mn od čvorišta m do čvorišta n , a Z_{mn} impedanciju na vodu mn , r_{mn} otpornost, reaktivnost voda, $P_{mn,t}$ aktivnu snagu i $Q_{mn,t}$ reaktivnu snagu od čvorišta m do n u trenutku t . Grafički se može prikazati slikom 1.



Slika 1. Varijable i elementi tokova snaga

Navedeni model je nelinearan i nekonveksan te se rješenje ne može dobiti korištenjem komercijalnih solvera. Primjenom Second Order Cone Programming (SOCP) relaksacija na DistFlow modelu omogućuje rješavanje kvadratnog problema komercijalnim programima. SOCP relaksacije gornjeg problema prikazane su jednadžbama (10-11):

$$u_{n,t} = u_{m,t} - 2(r_{mn}P_{mn,t} + x_{mn}Q_{mn,t}) + |i_{mn,t}|(r_{mn}^2 + x_{mn}^2) \quad (10)$$

$$P_{mn,t}^2 + Q_{mn,t}^2 = i_{mn,t}u_{m,t} \quad (11)$$

Apsolutna vrijednost kvadratne varijable napona $|U_{m,t}|^2$ i $|U_{n,t}|^2$, kao i struje $|I_{mn,t}|^2$ zamijenjeni su linearnim varijablama (12-14):

$$|U_{m,t}|^2 = u_{m,t} \quad (12)$$

$$|U_{n,t}|^2 = u_{n,t} \quad (13)$$

$$|I_{mn,t}|^2 = i_{mn,t} \quad (14)$$

Zbog nekonveksnosti, jednačba (10) je relaksirana jednačbom (15):

$$P_{mn,t}^2 + Q_{mn,t}^2 \leq i_{mn,t} u_{m,t} \quad (15)$$

Pad napona čvorišta n je ograničen je $\pm 10\%$ [13] od nominalne vrijednosti. Ograničenja devijacije napona definirana je mrežnim pravilima i može se razlikovati u drugim državama. Struja na vodu mn je ograničena maksimalnom nazivnom jakošću (16-17):

$$0.81u^{nominal} \leq u_{n,t} \leq 1.21u^{nominal} \quad (16)$$

$$i_{mn,t} \leq I_{MAX}^2 \quad (17)$$

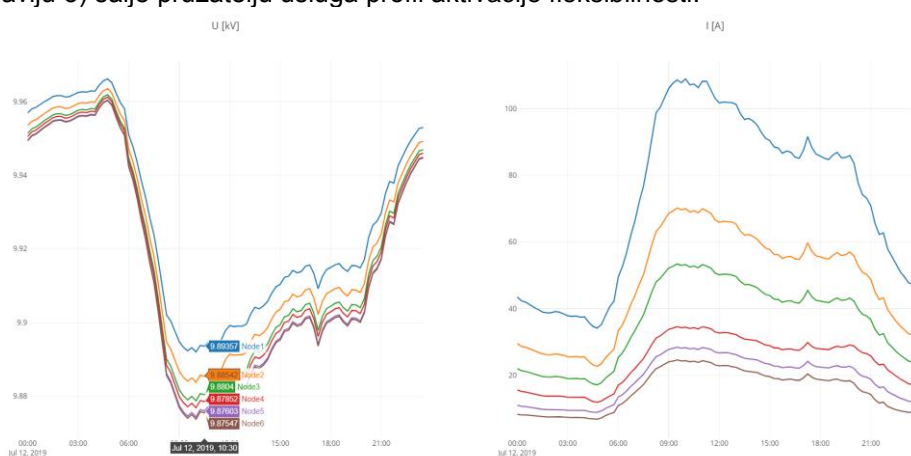
Ravnoteža aktivne i reaktivne snage u mreži prikazana je jednačbama (18) i (19):

$$P_{m,t}^{ms} + P_{m,t}^{flex} - P_{m,t}^{RES} = \sum_{k \in K} (P_{km,t} - i_{km,t} \cdot r_{km}) - \sum_{n \in N} (P_{mn,t}) \quad (18)$$

$$Q_{m,t}^{ms} = \sum_{k \in K} (Q_{km,t} - i_{km,t} \cdot x_{km}) - \sum_{n \in N} (Q_{mn,t}) \quad (19)$$

$P_{m,t}^{ms}$ i $Q_{m,t}^{ms}$ predstavljaju aktivnu i reaktivnu snagu koja se mora isporučiti spojenim potrošačima na čvorište m , $P_{m,t}^{RES}$ proizvodnju obnovljivih izvora energije, a $P_{m,t}^{flex}$ predstavlja pružatelja usluga fleksibilnosti na čvorištu m . [12]

Optimizacijom tokova snaga, modul računa nova stanja u mreži te zahtjev za aktivacijom usluge. Nove naponske i strujne prilike u mreži prikazane su korisničkim sučeljem (slika 2.), a web servisima (opisani u poglavlju 3) šalje pružatelju usluga profil aktivacije fleksibilnosti.



Slika 2. Korisničko sučelje dan-unaprijed modula

2.3. Modul za unutar-dnevne operacije

Kratkoročne dan-unaprijed operacije određuju aktivacijski profil pružatelja usluga fleksibilnosti za sljedeći dan prema dostupnim povijesnim podatcima o potrošnji i nadomjesnim krivuljama. Budući da se dan-unaprijed predviđanja odstupaju od stvarnog ponašanja potrošača, stvarna potreba za fleksibilnošću može se korigirati unutar-dnevnim modulom. Zahvaljujući mjerenjima potrošnje na izvodu, unutar-dnevni

modul može preračunati novi zahtjev za aktivacijom usluga, a dok pružatelj usluga može u stvarnom vremenu aktivirati željene usluge. Aktivacija usluge osigurana je unutar 2 vremenska horizonta od 15 minuta jer pružatelj usluga mora ponoviti svoje optimizacijske procese prema novom zahtjevu kako bi mogla odrediti novo ponašanje svojih resursa.

Osim pristupa mjerenjima iz SCADA, unutar-dnevni modul pristupa podacima modula dugoročnog planiranja te modula dan-unaprijed operacija. Modul se izvršava svakih 15 minuta (početi od 00:00) te šalje novi zahtjev za aktivacijom usluge ukoliko postoji razlika između predviđene i ostvarene potrošnje te ako postoji ugovoren vremenski okvir pružanja usluge u sljedećim vremenskim intervalima. Budući da pružatelj usluga ne može odmah reagirati, unutar-dnevni modul predviđa ponašanje stvarne potrošnje za sljedećih pet vremenskih intervala. Predikcije stvarne potrošnje temelje se na linijskoj regresiji mjerenja SCADA, a glavna hipoteza se preračunava za svako novo izvršavanje modula. Nakon proračuna parametra hipoteze, modul računa nove predikcije ukupne potrošnje na izvodu te se dobiveni rezultati uspoređuju sa ukupnom potrošnjom izračunatom u modulu dan – unaprijed. Ako su inicijalni uvjeti za proračunom zadovoljeni, novi zahtjev fleksibilnosti može biti:

- jednak nuli – ukoliko je predviđena potrošnja mjerenja manja od ukupne potrošnje izračunatom dan-unaprijed,
- veća od nule – ukoliko je predviđena potrošnja mjerenja veća od ukupne potrošnje izračunatom dan-unaprijed, a točan iznos određuje se kao apsolutna razlika između potrošnja.

U slučaju ako je ta razlika veća od maksimalnog ugovorenog kapaciteta, ta razlika poprima najveću ugovorenu vrijednost za taj vremenski prozor.

Korisničko sučelje modula prikazuje za posljednja 24h prosječnu aktivnu snagu promatranog izvoda za 15 minutni interval prikupljenu iz SCADA, za sljedećih 5 intervala predviđeno ponašanje stvarne potrošnje, za prikazanu vremensku crtu dan-unaprijed predviđenu potrošnju krajnjih potrošača te rezervacije fleksibilnosti definirane u ugovoru. Slika 3. prikazuje korisničko sučelje gdje fleksibilnost nije bila aktivirana jer za promatrani period nije definiran prozor fleksibilnosti.



Slika 3. Korisničko sučelje unutar-dnevnog modula

2.4. Modul izvješća

Modul izvješća je dio aplikacije koji pruža operatoru sustava pregled svih razmijenjenih novčanih i energetskih tokova opisanih u prošlim poglavljima. Modul omogućava operatoru pregled transakcija po pružatelju usluga te je moguće odabrati željeno razdoblje za koje se žele vidjeti sve dnevne transakcije. Glavni preduvjet izvještaja je da operator ima pristup ostvarenoj potrošnji pružatelja usluga. Energetski izvještaj sadrži ODS-ov sumiran dnevni zahtjev za rezervaciju te ukupni zahtjev za aktivaciju, zahtijevano i ostvareno ponašanje promatranog subjekta. Navedeni parametri su dovoljni da se odredi stupanj

odstupanja kapaciteta od dogovorenih te da se napravi financijska analiza. Financijska analiza daje jasniju sliku koliki su ukupni troškovi korištenja usluga fleksibilnosti. Gornja međa troškova korištenja usluga fleksibilnosti jasno je definirana sklopljenim dugoročnim ugovorom, dok donja granica ovisi o količini neisporučene energije. Za svu neisporučenu energiju, operator prijenosnog sustava morat će je drugim mehanizmima nadoknaditi, te u takvim situacijama nastaju dodatni troškovi koji se ne istražuju u ovom referatu. Također ovaj modul ne prikuplja informacije o ukupnim prihodima za ispostavu električne energije i vršnu snagu. Slika 4. prikazuje korisničko sučelje energijskih tokova (a) i financijskog (b) izvještaja.

Energy Consumption

| Date | Feeder consumption | Predicted building consumption | Realized building consumption | Requested building flexibility | Realized building flexibility |
|------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 2019-06-04 | 121404.0 | 24.5092 | 25.2445 | -36.418 | -34.5971 |
| 2019-06-05 | 121404.0 | 24.5092 | 25.2445 | -36.418 | -34.5971 |
| 2019-06-06 | 121404.0 | 24.5092 | 25.2445 | -36.418 | -34.5971 |
| 2019-06-07 | 121404.0 | 24.5092 | 25.2445 | -36.418 | -34.5971 |
| 2019-06-08 | 121404.0 | 24.5092 | 25.2445 | 0.0 | 0.0 |
| 2019-06-09 | 121404.0 | 24.5092 | 25.2445 | 0.0 | 0.0 |

Finance Report

| Date | DSO reservation fee | DSO activation fee | Buildinf penalty fee |
|------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| 2019-06-04 | -36.7967 | -14.7187 | 0.0 |
| 2019-06-05 | -36.7967 | -14.7187 | 0.0 |
| 2019-06-06 | -36.7967 | -14.7187 | 0.0 |
| 2019-06-07 | -36.7967 | -14.7187 | 0.0 |
| 2019-06-08 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2019-06-09 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2019-06-10 | -36.7967 | -14.7187 | 0.0 |

Slika 4. Korisničko sučelje sumarnih energijskih tokova i financijskog izvještaja

3. KOMUNIKACIJA I STRUKTURA BAZE PODATAKA

Aplikacija omogućuje direktnu komunikaciju između mrežnog servera i servera pametnih potrošača. Komunikacija je ostvarena web servisima kako bi se povećala skalabilnost i propusnost sustava. Također web servisi se zasnivaju na REST načelima te se pomoću jednostavnih naredbi („get“, „post“, „put“ i „delete“) omogućuje manipulacija nad podacima. Korisničko sučelje omogućuje (slika 5) praćenje statusa interaktivnog dogovaranja između operatora i pametnih potrošača, te se time operatoru javlja prihvaćanje ili odbijanje njegove ponude od strane pametnih potrošača.

| Step | Activity | Link | Status |
|------|--|---------------------------------------|--------|
| 1 | [DSO staff] is calculating flexibility needs, prices, penalty and quality of service by using "3Smart_LT module_v1.xlsm" | Template | 🔍 |
| 2 | [DSO staff] is importing the results of "3Smart_LT module_v1.xlsm" | Import DSO Flex Table | 🔍 |
| 3 | [Building EMS Microgrid module] is fetching data from LT database | | 🔍 |
| 4 | [Building EMS Microgrid module] is calculating flexibility offer | | 🔍 |
| 5 | [DSO LT module] is fetching data from Microgrid database | Building Flexibility | 🔍 |
| 6 | [DSO LT module] is generating file from Building Flexibility table | Building Flexibility | 🔍 |
| 7 | [DSO staff] is preparing contract in "3Smart_LT module_v1.xlsm" | | 🔍 |
| 8 | [DSO staff] is importing the prepared contract from "3Smart_LT module_v1.xlsm" | Import Contract | 🔍 |

Slika 5. Korisničko sučelje web servisa za praćenje statusa dugoročnog planiranja

Postojanost podataka na pojedinom web servisu ostvarena je spremanjem vrijednosti u relacijsku bazu podataka. Svi podatci koji se razmjenjuju imaju standardizirani oblik u JSON formatu. Glavni atributi su profil, mjerna jedinica te datum i vrijeme valjanosti podataka. Kako bi se struktura baze podatka mogla

primijeniti na različitim bazama podataka, JSON podatci spremaju se pod VARCHAR tip podatka, a aplikacija i web servisi običan tekst pasiraju u JSON.

Moduli predstavljene aplikacije se okidaju prema unaprijed definiranom rasporedu. Prvi korak u izvršavanju modula je dohvaćanje ulaznih podataka ključnih za daljnje proračune, u slučaju da podatci nemaju odgovarajuću vremensku oznaku, aplikacija ne izvršava daljnje proračune dok se ne pojavi novi valjani podatak. Ukoliko modul ne primi svježi podatak prije njegovog ponovnog izvršavanja, aplikacija u vrijednost rezultata upisuje maksimalno dozvoljenu vrijednost, a pod mjernu jedinicu upisuje „ERROR“. Moduli imaju jedinstvenu strukturu podataka. Oni sadržavaju tablice sa ulaznim podacima, tablice sa svim rezultatima te komunikacijske tablice u koje se spremaju podatci koje web servisi dohvaćaju.

4. ZAKLJUČAK

Integracija novih tehnologija u distribucijsku mrežu najčešće rezultira skupim investicijama u izgradnju nove ili nadogradnju postojeće mrežne infrastrukture. Aplikacija opisana u referatu predstavlja alternativno rješenje koje omogućuje operatoru distribucijske mreže da u planiranju resursa i pogona distribucijske mreže uključi usluge fleksibilnosti krajnjih potrošača. Osnovni koncept rada aplikacije temelji se na modulima dugoročnog planiranja i na kratkoročnom upravljanju distribucijskom mrežom. Aplikacija kroz jednostavno korisničko sučelje podržava komunikaciju između operatora sustava i pametnog potrošača odnosno pružatelja usluga fleksibilnosti. Operator u modulu dugoročnog planiranja analizom tokova snaga za sljedeću godinu određuje vrijeme i količinu potrebnih usluga fleksibilnosti, dok cjenovne signale rezervacije i aktivacije usluga određuje financijskom analizom odgode spomenutih investicija. Nakon što se obje strane usuglase oko cijena i kapaciteta, slijedi potpisivanje ugovora kojim je zajamčeno pružanje usluga. U razdoblju u kojem je ugovor valjan, operator usluga može aktivirati usluge fleksibilnosti kratkoročnim modulima dan-unaprijed i unutar-dnevnim operacijama. Prema predviđenim profilima potrošnje i ugovorenim stavkama, alat dan-unaprijed modula optimizira izmjenične tokove snaga te definira potrebni aktivacijski kapacitet kako bi se smanjili gubici unutar mreže. Budući da se optimizacija računa prema predviđenim podacima koji mogu odstupati od stvarnih, unutar-dnevni modul omogućuje korekciju zatražene aktivacije za 2 intervala prema ostvarenoj potrošnji iz SCADE. Zadnja funkcionalnost aplikacije je mjesečni izvještaj energetske i financijske transakcije koji operatoru omogućuje jasan pregled troškova korištenja usluge fleksibilnosti i penala kojima se kažnjava pružatelj usluga fleksibilnosti u slučaju neisporučivanja dogovorene količine energije. U daljem radu bit će prezentirani numerički rezultati s pet lokacija na kojima je koristi ova aplikacija.

5. ZAHVALA

Predstavljeni rezultati dobiveni su unutar projekta 3Smart – Smart Building – Smart Grid – Smart City koji sufinancira Europska unija putem Europskog fonda za regionalni razvoj i IPA fondova kroz transnacionalne suradnje Dunav.

Sadržaj ovog rada isključiva je odgovornost autora i ne odražava nužno mišljenje Europske Unije.

6. LITERATURA

- [1] Huseyin Cagri Corlu, „Application of Anti-manipulation Law to EU Wholesale Energy Markets and Its Interplay with EU Competition Law“, 2018.
- [2] Jean-Michel Glachant, Jorge, Vasconcelos and Vincent Rious, „A conceptual framework for the evolution of the operation and regulation of electricity transmission systems towards a decarbonised and increasingly integrated electricity system in the EU“, 2015.
- [3] S.M.YeoC.H.Kim, „Analysis of System Impact of the Distributed Generation Using EMTP With Particular Reference to Protection Strategies“, 2004.
- [4] Aggarwal S, Gimon E, „Trending topics in electricity today: getting ready for distributed energy resources. Energy Innovation“, Policy & Technology LLC; 2015.

- [5] M. Soshinskaya, W.H.J. Crijns-Graus, J.M. Guerrero, J.C. Vasquez, "Microgrids: Experiences, Barriers and Success Factors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 40, 659-672, 2014.
- [6] M. Agrawal, A. Mittal, "Micro Grid Technological Activities Across the Globe: A Review", *International Journal of Recent Research and Applied Studies*, Vol. 11, No. 2, 147-152, 2011.
- [7] Global Energy & CO2 Status Report 2018: The latest trends in energy and emissions in 2018, <https://webstore.iea.org/global-energy-co2-status-report-2018>
- [8] M. Masera, E. F. Bompard, F. Profumo and N. Hadjsaid, "Smart (Electricity) Grids for Smart Cities: Assessing Roles and Societal Impacts," *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, pp. 613-625, April 2018.
- [9] A. Ali, W. Li, R. Hussain, X. He, B.W. Williams, H.M. Memon, "Overview of Current Microgrid Policies, Incentives and Barriers in the European Union, United States and China", *Sustainability*, Vol. 9, No. 7, 2017
- [10] M. Vallés, J. Reneses, R. Cossent, P. Frías, "Regulatory and market barriers to the realization of demand response in electricity distribution networks: A European perspective", *Electric Power Systems Research*, Vol. 140, 689–698., 2016
- [11] J. Winkler, M. Ragawitz,, "Solar Energy Policy in the EU and the Member States, from the Perspective of the Petitions Received", *European Parliament: Policy Department C: Citizens' Rights and Constitutional Affairs*, 2016