

Pogoji za implementacijo orodja MARKETFLEX na lokalnem elektroenergetskem trgu

Chloé Fournely¹, Matej Pečjak¹, Jernej Zupančič¹, Edin Lakić¹, dr. Tomi Medved¹, Beatriz Ildefonso¹, Borut Jereb¹, dr. Gašper Artac¹, izr. prof. dr. Andrej F. Gubina¹

¹ – Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
Chloe.Fournely@fe.uni-lj.si, Matej.Pecjak@fe.uni-lj.si, Jernej.Zupancic@fe.uni-lj.si, Edin.Lakic@fe.uni-lj.si,
Tomi.Medved@fe.uni-lj.si, Beatriz.Ildefonso@fe.uni-lj.si, Burut.Jereb@fe.uni-lj.si, Gasper.Artac@fe.uni-lj.si,
Andrej.Gubina@fe.uni-lj.si

Povzetek – V prispevku so predstavljeni novi tržni mehanizmi na lokalnem elektroenergetskem trgu in izzivi pri njihovi vpeljavi. Poudarek je na implementaciji orodja MARKETFLEX, katerega razvoj in izvedba sta del projekta X-FLEX v sklopu okvirnega projekta Obzorje 2020 (Horizon 2020). Projekt X-FLEX je usmerjen v razvoj nabora integriranih in učinkovitih rešitev za optimalno izrabo decentraliziranih virov za zagotavljanje prožnosti na strani proizvodnje in porabe električne energije. Za vzpostavitev lokalnega trga s prožnostjo je potrebno upoštevati sedem ključnih točk: formulacijo trga, časovni okvir, opredelitev produktov, cilje vzpostavitve trga, algoritem določitve klirinške cene, koordinacijsko shemo med sistemskim operaterjem distribucijskega in prenosnega omrežja ter sistem po principu delovanja semaforja. Slednji namreč služi kot interakcija med operaterjem omrežja in operaterjem trga.

Cilj orodja MARKETFLEX je omogočiti pravično razdelitev omrežnih kapacitet na nizko in srednje-napetostnem nivoju preko lokalnega elektroenergetskega trga. Za uspešno implementacijo takšnega orodja je nujna vzpostavitev komunikacijskega protokola, ki se uporablja za prenos vseh relevantnih informacij med orodjem MARKETFLEX in ostalimi udeleženci trga, kot sta agregator in sistemski operater. Obstaja veliko različnih protokolov, ki se uporabljajo za prenos informacij povezanih s trgovanjem z električno energijo, in eden od teh je USEF/UFTP. USEF (angl. *Universal Smart Energy Framework*) je ogrodje katero določa univerzalne standarde in orodja za dobavo in izrabo energije. UFTP (*USEF Flexibility Trading Protocol*) je podskupina okvirja USEF, katera je osredotočena na trgovanje s prožnostjo med agregatorji in sistemskimi operaterji distribucijskih omrežij. Za implementacijo orodja MARKETFLEX so predlagane razširitve obstoječega protokola USEF/UFTP, katere so opisane v tem delu.

Ključne besede: MARKETFLEX, lokalni elektroenergetski trg, prožnost, komunikacijski protokol, USEF/UFTP

Conditions for implementation MARKETFLEX tool on the local flexibility markets

Abstract – This paper focuses on novel market mechanisms and the challenges that come with establishing them. Seven key points should be considered while establishing a local flexibility market: Local market formulation, timeframe, product definition, market objective function, clearing algorithm, DSO/TSO coordination scheme and the traffic light system. The latter serves as an interaction between the market and the grid operator. All the listed characteristics are considered in the development of the MARKETFLEX tool and are discussed in this paper. MARKETFLEX tool is one of the tools developed during the Horizon 2020 project X-FLEX. X-FLEX project is focused on developing a set of integrated and efficient solutions for optimal use of decentralized flexibility assets on both the generation and the demand side. The MARKETFLEX tool aims at enabling a fair distribution of network capacities of the low voltage (LV) and medium voltage (MV) grid via the local market. To successfully implement MARKETFLEX tool, it is essential to establish a communication protocol used for transmitting information between the MARKETFLEX tool and different market participants as aggregators and system operators (Distribution System Operators - DSOs and Transmission System Operators - TSOs to some extend). Different protocols related to power trading exists, but none on them covers all the information related to the MARKETFLEX tool. One of these protocols is also USEF/UFTP. USEF stands for Universal Smart Energy Framework and proposes common standards and tools to deliver and use energy. UFTP (USEF Flexibility Trading Protocol) is a subset of the USEF framework focusing of the trading flexibility between aggregators and DSO. To implement the MARKETFLEX tool some USEF/UFTP extensions need to be provided. These extensions are also described in this paper.

Keywords: MARKETFLEX, local electricity markets, flexibility of production and demand, communication protocol, USEF/UFTP

1 UVOD

Trenutno veljavni predpisi, ki urejajo področje trgovanja z električno energijo, so naravnani predvsem v smer podpiranja velikih ponudnikov prožnosti, pogosto pa ne podpirajo sodelovanja manjših enot. Poleg tega struktura trenutnega trga ne predvideva nastanka lokalnih trgov, zato tudi niso opredeljena jasna pravila in postopki o tem kako vključiti lokalne trge v delovanje veleprodajnih elektroenergetskih trgov in omogočiti njihovo sobivanje. Pomembno vlogo pri tem ima jasno določena delitev odgovornosti med sistemskim operaterjem prenosnega omrežja (SOPO) na eni in sistemskim operaterjem distribucijskega omrežja (SODO) na drugi strani. Lokalni elektroenergetski trg prinaša koristi tako za sistemske operaterje, saj lahko poveča učinkovitost in zanesljivost omrežja ter zmanjša operativne stroške povezane z vodenjem omrežja, kot tudi končne uporabnike omrežja, saj omogoča prihranke pri stroških energije in izboljšuje kvaliteto storitev do katerih dostopajo. Hkrati lokalni elektroenergetski trg omogoča nove tržne pristope in poslovne modele predvsem za agregatorje in dobavitelje elektrike. Navkljub koristim katere prinašajo, pa sta razvoj in implementacija lokalnih elektroenergetskih trgov še precej v povojih. Razlog za to je poleg regulatornih ovir tudi pomankanje standardizacije pri vzpostavitvi informacijskih sistemov in podatkovnih modelov, kateri zagotavljajo nemoteno delovanje trgov in izmenjavo informacij med ključnimi deležniki. Trenutno se v Evropi istočasno izvaja veliko različnih projektov, katerih cilj je vzpostavitev lokalnih energetskih trgov in eden od teh je tudi projekt X-FLEX.

V tem referatu so predstavljeni novi tržni mehanizmi za izkoriščanje prožnosti s poudarkom na ključnih elementih, katere je potrebno upoštevati pri vzpostavitvi lokalnega elektroenergetskega trga. Sledi kratka predstavitev projekta X-FLEX in orodja MARKETFLEX. Predstavljene so ovire povezane s standardi, ter ovire in potrebe po interoperabilnosti (medobratovalnosti) razvitih rešitev. Na kratko je predstavljen tržni okvir USEF in njegova podskupina UFTP. Opisane so tudi razširitve USEF/UFTP, katere so predlagane za implementacijo orodja MARKETFLEX.

2 NOVI TRŽNI MEHANIZMI ZA IZKORIŠČANJE PROŽNOSTI

V osnovi obstajata dva tipa energetskih trgov: regulirani in ne regulirani trgi. Na reguliranih trgih ima vodilno vlogo SOPO. Na širši evropski ravni vključenost SODO na regulirane trge še ni razvita. Regulirani trgi vključujejo tudi izravnalni trg in trg sistemskih storitev, kjer je večina poslov sklenjenih blizu časa dobave storitev. Ne regulirani trgi na drugi strani spodbujajo tekmovalnost in omogočajo trgovanje od ene ure do več let vnaprej.

SODO lahko do storitev prožnosti dostopa na naslednje načine:

- Na podlagi sprejetih pravil oziroma regulative (angl. *Rules-based approach*), ki določa zahteve, ki jih morajo izpolnjevati enote, katere omogočajo prožnost in so vključene v elektroenergetski sistem.
- Z bilateralnim dogovorom, ki ga SODO sklene z upravljalci enot, katere ponujajo prožnost v okviru vnaprej določenih pogojev.
- Preko omrežne tarife katere struktura je naravnana v smer, da spodbuja uporabnike omrežja, da prilagodijo njihove profile proizvodnje ali porabe v smeri potreb omrežja.
- Z zakupom prožnosti na lokalnem elektroenergetskem trgu.

V primeru zakupa prožnosti na elektroenergetskem trgu je potrebno zagotoviti dovolj likvidnosti (ponudbe), da ne pride do izkrivljanja trga. Za vzpostavitev lokalnega elektroenergetskega trga je potrebno upoštevati številne aspekte tako glede strukture kot tudi pravil trga. Pri oblikovanju trga je potrebno upoštevati sedem ključnih elementov:

- Formulacijo trga,
- časovni okvir,
- opredelitev produktov,
- cilje vzpostavitve trga,
- algoritem določitve klirinške cene,
- koordinacijsko shemo med sistemskim operaterjem distribucijskega in prenosnega omrežja,
- sistem po principu delovanja semaforja.

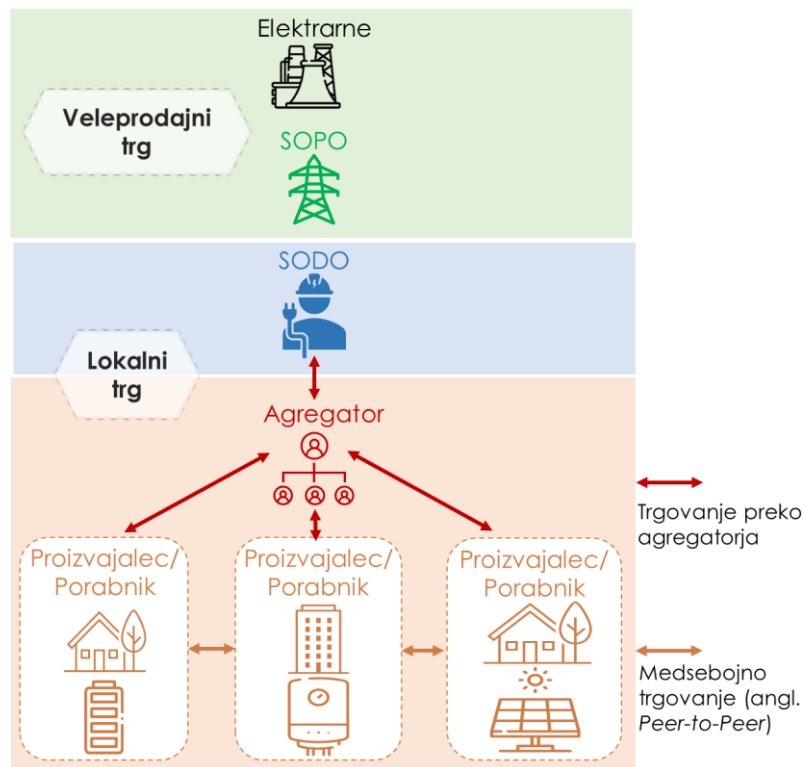
Omenjeni elementi so podrobneje opisani v nadaljevanju.

2.1. Formulacija trga

Za optimalno izbrabo razpršenih virov obstaja več različnih rešitev. Te se lahko delijo na tržne in na optimizacijske metode. Med optimizacijske metode spadajo virtualne elektrarne (angl. *Virtual Power Plants - VPP*) in mehanizmi za upravljanje aktivnih omrežij (angl. *Active Network Management - ANM*) [1]. Virtualna elektrarna je centralni subjekt, ki združuje in nadzira večje število razpršenih virov, tako da je v osnovi primerljiva s klasično elektrarno. Vodenje virtualne elektrarne po navadi temelji na optimizacijski metodi s ciljem minimizacije proizvodnih in operativnih stroškov, vendar pa lahko v literaturi zasledimo tudi tržni pristop [2].

Tržne metode, ki omogočajo trgovanje z električno energijo na veleprodajnem trgu in na trgu sistemskih storitev, ne omogočajo preproste integracije manjših proizvodnih virov, zato je s tega vidika nujna implementacija lokalnih energetskega trgov z novimi mehanizmi. Med tržne metode spadajo lokalni energetski trgi (angl. *Local Energy Markets*), lokalni trgi s prožnostjo (angl. *Local Flexibility Markets*) in transaktivni sistemi (angl. *Transactive Energy - TE systems*) [1].

Transaktivni sistemi predstavljajo kombinacijo trga in kontrolnega mehanizma za upravljanje proizvodnje in porabe električne energije na decentraliziran način. Gre za posplošitev aktivnega odjema z vključenim podpornim kontrolnim mehanizmom. Cilj te metode je koordinacija individualnega profila porabnika z obzирom na korist celotnega sistema [3]. Težava tovrstnega pristopa je signal, ki potuje zgolj v eni smeri (od operaterja do uporabnika) in ki lahko povzroči premik konice moči odjema (angl. *peak loads*) prevelikega števila uporabnikov, kar lahko povzroči konice v drugih intervalih. Lokalni energetski trgi omogočajo udeležencem (uporabnikom), da trgujejo med seboj in s tem zmanjšajo stroške porabe elektrike, povečajo izrabo lastnih proizvodnih virov in morebitnih hišnih hranilnikov energije, ter hkrati razbremenijo elektroenergetski sistem. Trgovanje lahko poteka neposredno med udeleženci (angl. *peer-to-peer*) ali v povezavi s posrednikom, ki na trgu nastopa v vlogi agregatorja. Decentralizirano trgovanje pripomore k večji stabilnosti omrežja, saj lahko zmanjša napetostne deviacije in izgube v omrežju. Aktivna vloga malih proizvajalcev elektrike na lokalnem energetskega trgu pripomore k njihovi večji pripravljenosti za vključitev na trg zaradi finančnih koristi, ki jih trg prinaša [4]. Ena od podskupin lokalnih energetskega trgov so lokalni trgi s prožnostjo, kjer se ne trguje z energijo ampak s prožnostjo. Evropsko združenje elektroenergetske industrije (EURELECTRIC) opisuje prožnost kot zmožnost spremembe proizvodnje in/ali porabe, kot odziv na zunanji signal (bodisi cenovni bodisi signal za aktivacijo), in jo uvršča med storitve znotraj elektroenergetskega sistema [5]. Lokalni trg s prožnostjo prinaša koristi tako za lastnike oz. upravljalce enot, katere ponujajo prožnost, kot tudi za sistemske operaterje omrežij, ki lahko na trgu dostopajo do storitev, katere jim omogočajo uravnavanje napetostnih razmer, odpravo zamašitev in zmanjšanje izgub v omrežju. Ponazoritev lokalnega trga s prožnostjo v povezavi z veleprodajnim trgom je prikazana na Slika 1.



Slika 1: Ponazoritev lokalnega trga s prožnostjo skupaj z udeleženci trga

2.2. Časovni okvirji

V literaturi obravnavani mehanizmi za lokalne elektroenergetske trge v večini omogočajo trgovanje za dan vnaprej in trgovanje znotraj dneva. Večino virov, ki omogočajo prožnost, na nizko in srednje napetostnem nivoju zaznamuje nizka predvidljivost proizvodnje oziroma porabe, kar otežuje trgovanje s produkti blizu časa dobave. Možna je agregacija kapacitet za nastop na izravnalnem trgu na nivoju prenosnega omrežja, omenja pa se tudi storitve za odpravljanje zamašitev na nivoju distribucijskega omrežja, kjer je časovni okvir 15 do 60 minut pred dejanskim časom dobave.

2.3. Opredelitev produktov

Na elektroenergetskih trgih je tržno blago lahko energija ali zmogljivosti (kapacitete). Produkti za trgovanje so določeni z naslednjimi karakteristikami: čas aktivacije, količina, cena, čas do ponovne aktivacije, lokacija v omrežju in časovna granulacija produktov [6]. V literaturi omenjena najmanjša časovna granulacija produktov je 5 min, v večini primerov pa znaša 15 oziroma 30 minut.

2.4. Cilji vzpostavitve trga

Vzpostavitev elektroenergetskega trga lahko zasleduje enega od dveh tipov optimizacije – centralizirano ali decentralizirano optimizacijo. Prevladuje centraliziran pristop, katerega cilj je maksimiranje družbene dobrobiti. Na elektroenergetskih trgih je družbena dobit določena kot vsota koristi udeležencev trga, oziroma natančneje kot razlika med dobičkom in stroški. Pri tem se med udeležence trga šteje tako operaterje omrežja kot tudi agregatorje in operaterje trga [1]. Ostali v literaturi omenjeni cilji vključujejo minimizacijo operativnih stroškov vodenja omrežja ali minimizacijo stroškov končnih uporabnikov. V primeru centraliziranega pristopa je izbrana ena kriterijska funkcija, v primeru decentraliziranega pristopa pa je optimizacija večnivojska.

2.5. Metoda določitve klirinške cene

Za določitev klirinške cene je bilo razvitih in uporabljenih veliko različnih metod. Metoda določitve klirinške cene mora vključevati dva elementa: orodje za modeliranje trga in algoritem določitve klirinške cene oziroma tržnega kliringa. Metode za določitev klirinške cene so:

- **Metoda avkcij:** Avkcije so lahko eno ali dvostranske. Enostranske avkcije so v primerih, kjer se večje število kupcev poteguje za produkt enega ponudnika, ali kjer je ponudnikov več in kupec en sam. Dvostranske avkcije so v primerih, ko je kupcev in ponudnikov več. Ponudba in povpraševanje sta združeni v dve ločeni agregirani krivulji ponudbe in povpraševanja. Klirinška cena je določena s presečiščem obeh krivulj in je lahko enotna (uniformna) za vse sklenjene posle, ali pa je uporabljen diskriminatoren način – "plačilo glede na ponudbo" (angl. *pay-as-bid*).
- **Teorija iger:** Udeleženci tekmujejo med seboj, da si zagotovijo največji dobiček oziroma maksimirajo svoje koristi. Obstajata dve obliki teorije iger; kooperativna in nekooperativna. Pri kooperativni obliki udeleženci zasledujejo skupno, pri nekooperativni pa individualno korist. Pri oblikovanju lokalnih trgov se pogosto uporablja Stackelbergov pristop, ki se tudi uvršča v teorijo iger [7].
- **Orodja z večagentno simulacijo:** Pri teh orodjih so modelirani neodvisni udeleženci (agenti) in interakcije med njimi. Tovrstna orodja omogočajo modeliranje kompleksnih omrežij in trgovanja z električno energijo [8].
- **Dekompozicijska metoda:** Pri tej metodi je optimizacijski problem razdeljen na več podproblemov, s čimer se zmanjšajo računski kompleksnost in stroški. Z razdelitvijo na več podproblemov se pojavlja več rešitev, globalna rešitev pa je dosežena z upoštevanjem Lagrangove relacije ali Karush-Kuhn-Tuckerjevih pogojev [1].
- **Večnivojska optimizacija:** Pri tej metodi je stopnja optimizacije razdeljena na več nivojev. Zgornje ravni (vodje) hierarhično omejujejo spodnje (sledilci), pri čemer rešitve na spodnjih ravneh vplivajo na rešitve na zgornjih ravneh. Ta metoda je podobna metodi teorije iger. V primerih energetskih trgov, kjer je uporabljena ta metoda, je optimizacija dvonivojska. Operater omrežja ima vlogo vodje, agregatorji pa vlogo sledilcev.

- **Direktni in indirektni algoritmi:** Ti algoritmi se uporabljajo za reševanje centralizirane optimizacijske funkcije. Najbolj znani algoritmi so linearno programiranje, mešano celoštevilčno linearno programiranje in kvadratno programiranje.

2.6. Koordinacijska shema med sistemskim operaterjem distribucijskega in prenosnega omrežja

Pri vzpostavitvi lokalnega elektroenergetskega trga, ločenega od veleprodajnega trga, je nekaj odgovornosti, ki je sicer v domeni SOPO prenesene na operaterje distribucijskih omrežij. SOPO in SODO tako tvegata, da pride do medsebojnega oviranja in s tem ogrožanja nemotenega obratovanja elektroenergetskega sistema. Iz tega razloga je nujna koordinacijska shema med obema operaterjema. Na evropski ravni je bil predlagan razvoj integriranega sistema za upravljanje sistemskih storitev in storitev za odpravljanje zamašitev, tako za SOPO kot tudi SODO, z določbami o zagotavljanju prožnosti na trgu [9]. Prav tako se priporoča register virov prožnosti, ki bo dostopen tako operaterjem prenosnih, kot tudi distribucijskih omrežij na nacionalni ravni in bo hkrati priznan na evropskem nivoju. V literaturi je mogoče zaslediti različne sheme, ki se nanašajo na delitev obvez in odgovornosti med SOPO in SODO [10], [11], [12]. Eden od primerov navaja, da SODO, ki upravlja lokalni trg, hkrati lahko nastopa tudi v vlogi posrednika oziroma agregatorja med razpršenimi viri in SOPO, ki z agregiranimi (združenimi) ponudbami iz lokalnega trga nastopa na veleprodajnem trgu, ki je v upravljanju SOPO. Pogostost komunikacije med obema operaterjema in stopnja vpogleda, ki jo ima SOPO v distribucijsko omrežje, sta tudi določeni v okviru koordinacijske sheme med obema operaterjema.

2.7. Sistem po principu delovanja semaforja

Informacija o trenutnem in napovedanem stanju omrežja ni pomembna samo za sistemskega operaterja omrežja, ampak tudi za ostale udeležence trga, še posebej agregatorje. Nemško združenje za energetske in vodno industrijo (BDEW) je zato predstavilo koncept semaforja (angl. *Traffic Light Concept - TLC*), ki opisuje interakcijo med operaterjem omrežja in udeleženci trga [13]. Trenutno in napovedano prihodnje stanje omrežja je predstavljeno z eno od treh faz: zeleno, oranžno ali rdečo na podlagi logike semaforja.

- V **zeleni** fazi omrežje deluje v normalnih obratovalnih pogojih. Trgovanje poteka med udeleženci trga brez omejitev in zasleduje se splošne koristi trga. Operater omrežja v tej fazi zgolj opazuje trg.
- **Oranžna** faza predstavlja fazo, v kateri je ali bi lahko prišlo do težav (npr. zamašitev ali kršitev napetostnih kriterijev) v celotnem ali zgolj v določenem delu omrežja. V tej fazi operater omrežja izkoristi razpoložljivo prožnost za vzpostavitev normalnega obratovalnega stanja omrežja. Z ostalo razpoložljivo prožnostjo lahko ostali udeleženci trga trgujejo enako kot v zeleni fazi.
- V **rdeči** fazi je stabilnost omrežja in zanesljivost dobave elektrike ogrožena. Ta faza nastopi v vseh primerih, ko je potrebno ukrepanje s strani operaterja omrežja, da zagotovi nemoteno delovanje omrežja neodvisno od dogajanja na trgu. V interesu vseh udeležencev trga je, da rdeča faza nastopi čim redkeje.

3 PROJEKT X-FLEX IN ORODJE MARKETFLEX

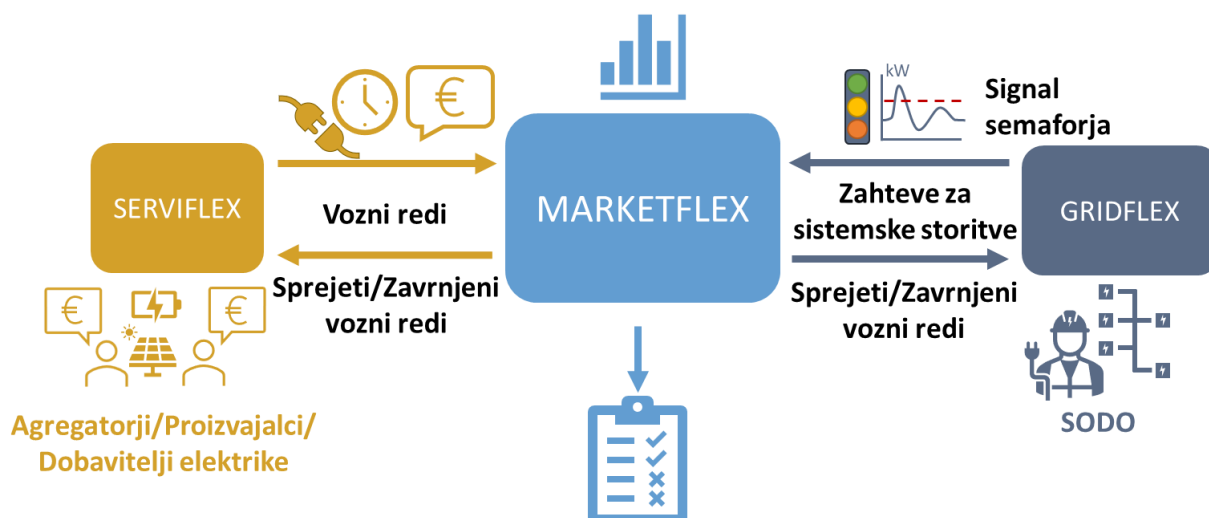
Projekt X-FLEX deluje pod okriljem okvirnega projekta Obzorje 2020 (Horizon 2020), pričel se je v letu 2019 in traja 4 leta. V projektu sodeluje 12 partnerjev iz 6 evropskih držav. V projekt so vključene tudi 4 pilotne lokacije v treh državah: Ravne na Koroškem in Luče v Sloveniji, Albena v Bolgariji in Xanthi v Grčiji. Implementacija orodja MARKETFLEX v povezavi z lokalnim elektroenergetskim trgom je predvidena za pilotno lokacijo Luče. Naselje Luče je ruralnega tipa, omrežje pa je klasičnega radialnega tipa. Omrežje v Lučah je relativno šibko in se sooča s številnimi izpadi in omejitvami integracije in proizvodnje obnovljivih virov energije (OVE). Namen uporabe orodja MARKETFLEX v Lučah je omogočiti večjo izrabo obstoječe omrežne infrastrukture in večjo proizvodnjo OVE, s ciljem uporabnikom zagotoviti zanesljivejšo in stroškovno učinkovitejšo dobavo električne energije. Cilj projekta X-FLEX v splošnem je zasnovati in razviti celovit nabor orodij, ki bodo omogočala večjo izrabo prožnosti v obstoječem elektroenergetskem sistemu, kar bo pripomoglo k njegovemu stabilnejšemu in zanesljivejšemu obratovanju [14].

V sklopu projekta X-FLEX nastajajo štirje končni produkti:

- **SERVIFLEX** – Orodje za upravljanje z viri prožnosti namenjeno agregatorjem in ostalim ponudnikom prožnosti.
- **GRIDFLEX** – Napredno orodje za avtomatski nadzor omrežij namenjeno operaterjem omrežij.

- **MARKETFLEX** – Orodje ki združuje tržno platformo in tržne mehanizme za dodeljevanje omejenih omrežnih kapacitet.
- **X-FLEX platforma** – Povezava med orodji katera omogoča enoten dostop do podatkov in izmenjavo informacij.

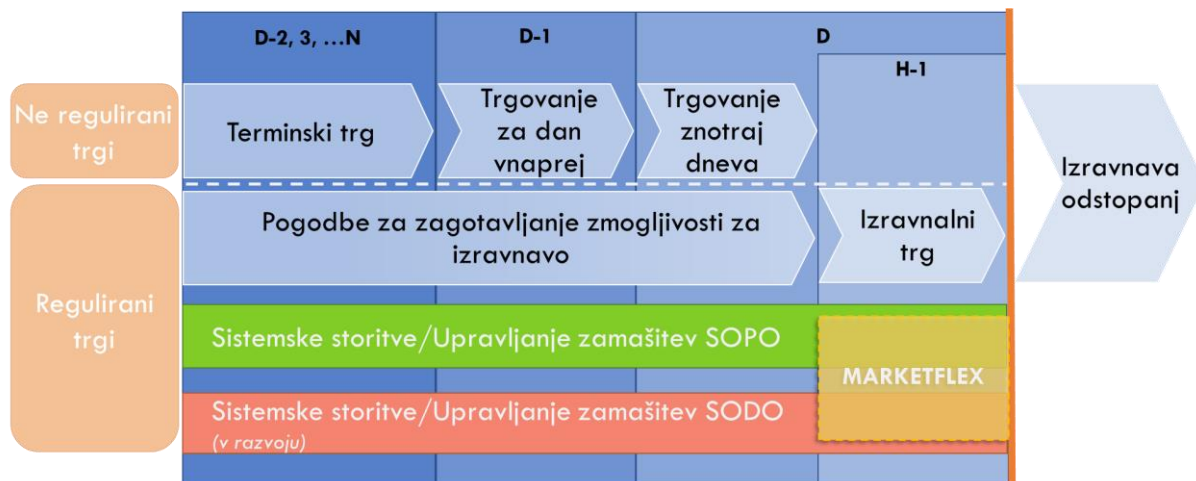
Slika 2 prikazuje relacije med orodji X-FLEX in ključne informacije, katere se izmenjujejo med njimi. V okviru projekta X-FLEX vsa tri orodja nastopajo kot integrirana celota, vendar je cilj zasnovati posamezna orodja kot samostojne enote, kjer bo vsaka od njih lahko delovala neodvisno od ostalih dveh. Pri razvoju orodij ima zato pomembno vlogo jasna opredelitev vseh informacij, katere se izmenjujejo med orodji, in jasna razlaga uporabljenih standardov ter podatkovnih modelov, kar bo omogočalo visoko stopnjo interoperabilnosti.



Slika 2: Orodja X-FLEX in relacije med njimi

3.1. ORODJE MARKETFLEX IN NJEGOVA IMPLEMENTACIJA

Orodje MARKETFLEX bo uporabnikom omrežja omogočalo dostop in možnost sodelovanja na lokalnem elektroenergetskem trgu. Orodje bo omogočalo dve obliki izrabe prožnosti. Prva, tržna oblika (angl. *Premium capacity*) bo udeležencem omogočala oddajanja ponudb na trgu, pri drugi t.i. skupnostni obliki (angl. *Social equity*) pa bo uporabljeno načelo pravičnosti. Razvita tržna platforma bo omogočala trgovanje za dan vnaprej in trgovanje znotraj dneva. »Tržno blago« bodo omrežne kapacitete, trgovanje pa bo potekalo na 15 minutni časovni resoluciji. Tržna oblika MARKETFLEX-a je zasnovana na metodi avkcije, kjer bo cilj udeležencev (pretežno agregatorjev), maksimiranje dobička in zmanjšanje stroškov končnih uporabnikov. Stabilnost omrežja bo zagotovljena z uporabo sistema semaforja, aktivacija enot, ki ponujajo prožnost, pa bo omejena z razpoložljivimi kapacitetami v omrežju. V skupnostni obliki MARKETFLEX-a bo uporabljena centralna optimizacija s ciljem maksimalne izrabe razpoložljivih omrežnih kapacitet in čim večje samozadostnosti energetske skupnosti ob čim manjših izgubah in stroških. Poleg trgovanja z razpoložljivimi kapacitetami bo MARKETFLEX omogočal tudi trg sistemskih storitev. Za odpravo zamašitev bodo sistemske storitve z uporabo razpoložljive prožnosti SODO na voljo 15 min vnaprej. Sistemske storitve za SOPO so tudi možne, vendar je pri tem potrebno zadostiti zahtevam za vstop na veleprodajni trg. V tem primeru je nujna koordinacija med SOPO in SODO, zato bo del orodja MARKETFLEX tudi koordinacijska shema med SOPO in SODO, preko katere SOPO lahko pošilja zahteve za sistemske storitve. Slika 3 prikazuje obstoječe elektroenergetske trge na ravni prenosnega omrežja (modra barva), razvijajoče se trge na ravni prenosnega in distribucijskega sistema (rdeča in zelena barva) in novosti katere prinaša orodje MARKETFLEX (rumena barva).



Slika 3: Obstoječi in razvijajoči se elektroenergetski trgi

4 POTREBE TRGA IN OVIRE POVEZANE S STANDARDI

Mnogi že vzpostavljeni elektroenergetski trgi niso odprti za prožnost. Obstoječi trgi, ki potencialno lahko ponujajo storitve prožnosti, pa imajo omejen in otežen dostop do trga, saj so bili oblikovani za klasične vire prožnosti. Eden od primerov, ki to dokazuje, je pogoj o simetričnosti ponudbe (omogočanje enake prožnosti v obe smeri), ki omogoča dostop do trga samo virom prožnosti, ki temu pogoju lahko zadostijo. Poleg omenjenega so tu še nedefinirani regulatorni okvirji, tržna pravila in druge operativne ovire. Med slednje sodi tudi potreba bo zbiranju in obdelavi velikih količin podatkov, katere je potrebo procesirati v relativno kratkem času. Slednje lahko močno olajša uporaba enotnih standardov. Za implementacijo orodja MARKETFLEX so potrebne naslednje vrste standardov: standardi za prilagojen odjem (angl. *Market standards for demand-side DERs*), standardi povezani z uporabo električnih vozil (angl. *Electric Road Vehicles Standards*) in standardi povezani z uporabo verižnih blokov (angl. *Block chain*). Osnovo za vzpostavitev orodja MARKETFLEX pa predstavlja okvir USEF.

4.1. USEF in UFTP

USEF (angl. *Universal Smart Energy Framework*) določa nabor standardov, ki vključujejo pravila, sheme in orodja, za rabo energije z najmanjšimi stroški in največjo učinkovitostjo. Vzpostavljen je bil leta 2015 in določa deležnike v verigi, njihove vloge ter odgovornosti in interakcije med njimi [9]. Protokol UFTP (angl. *USEF Flexibility Trading Protocol*) je podskupina okvirja USEF, katera je osredotočena na trgovanje s prožnostjo med agregatorji in operaterji distribucijskih omrežij. USEF določa štiri tipe storitev s področja prožnosti: upravljanje kapacitet omrežja (angl. *Grid capacity management*), upravljanje zamašitev (angl. *Congestion management*), uravnavanje napetosti (angl. *Voltage control*) in nadzorovano otočno obratovanje (angl. *Controlled islanding*). UFTP je bil oblikovan z namenom standardizacije vzpostavitve in delovanja trgov s prožnostjo različnih operaterjev omrežij. Podpira dva mehanizma trgovanja, bilateralno trgovanje in trgovanje preko tržne platforme. Protokol UFTP se trenutno uporablja v številnih projektih za pametno rabo energije v Evropi. UFTP podpira tako trgovanje za dan vnaprej, kot tudi trgovanje znotraj dneva s 15 minutnimi produkti. Izmenjava sporočil se izvaja v formatu XML. Namen okvirja USEF in protokola UFTP je standardizacija trgovanja s prožnostjo na ravni distribucijskega sistema. Njena uporaba v različnih projektih pa je privedla do več oblik izvirne različice. V prihodnje bo tako potrebno kar nekaj prizadevanja za poenotenje.

4.2. Razširitve USEF/UFTP za implementacijo orodja MARKETFLEX

Tudi za implementacijo orodja MARKETFLEX so potrebne določene razširitve USEF/UFTP. Te razširitve so:

- Signal semaforja – signal o dogajanju v omrežju, ki ga v projektu X-FLEX orodje MARKETFLEX prejme od orodja GRIDFLEX, vsebuje informacijo o enem od treh stanj omrežja. USEF v osnovi podpira signal semaforja s štirimi fazami. Te faze ustrezajo različnim obratovalnim razmeram omrežja, kot je to določeno v projektu X-FLEX. Za potrebe implementacije orodja MARKETFLEX bo zato signal semaforja definiran v USEF spremenjen. Signal semaforja bo določen na ravni transformatorja in na ravni posameznega izvoda iz transformatorja.

- Razširjena verzija podatkovnega modela o tipu prožnosti (angl. *USEF/UFTP FlexOrder Type*). Ker je v osnovi USEF namenjen trgovanju s prožnostjo med agregatorjem in SODO je za njegovo implementacijo v MARKETFLEX potrebna razširitev, ki bo vključevala dodatne informacije, med drugim tudi podatke o deljivosti ponudbe. V primeru deljivosti bo tako upoštevana tudi najmanjša obratovalna zmogljivost posamezne enote, določena ob registraciji enote na tržni platformi.
- Podatkovni model o razpoložljivih kapacitetah v omrežju, napetostnih in tokovnih profilih bo definiran na novo, saj prvotni okvir ne predvideva izmenjave dodatnih informacij o stanju v omrežju, poleg signala semaforja.

4.3. Ovire povezane s standardi

Čeprav se na področju vključevanja razpršenih virov in enot prožnosti proizvodnje in/ali porabe električne energije na elektroenergetske trge pojavljajo različni poskusi, še vedno obstajajo odprta vprašanja v povezavi s standardi, katera preprečujejo množičen prodor prožnostnih enot v tržne sheme. Na elektroenergetskih trgih namreč ni interoperabilnosti, zagotavljanje storitev prožnosti pa je še precej nov koncept in za različne produkte prožnosti v različnih državah veljajo različna pravila. V teku je razprava o tem, da je treba različne tipe prožnosti in njihove storitve urediti v skupnem okviru (USEF je tak okvir, ki temelji na standardih in ga je mogoče sprejeti na trgih s prožnostjo), vendar še vedno ni predpisov, ki bi določali podrobnosti za različne tržne sheme prožnosti. Vrzal za množično vključitev razpršenih virov v novih tržnih konceptih pa predstavlja tudi pomankanje interoperabilnosti med različnimi ponudniki tehnologij. Koncept upravljanja razpršenih virov za zagotavljanje prožnosti je za ponudnike tehnologije precej nov, čeprav nekateri proizvajalci že omogočajo možnost upravljanja njihovih naprav na podlagi tržnih standardov. Dobavitelji tehnologije po navadi zagotavljajo precej splošen protokol vmesnika, zato so potrebna nadaljnja prizadevanja za tehnično prilagoditev, da bi se upoštevale nove tržne zahteve, povezane z upravljanjem razpršenih virov. V splošnem je kljub nekaterim poskusom standardizacije za spodbujanje vključevanja prilagodljivih virov v nove tržne koncepte, še vedno veliko vrzeli, ki jih je potrebno odpraviti, da se v prihodnje zagotovi njihov množičen prodor. To velja tudi za primer orodja MARKETFLEX, kjer so potrebne razširitve USEF/UTFP za obravnavo posebnih tržnih potreb.

5 ZAKLJUČKI

V referatu so predstavljeni novi tržni mehanizmi in ključni elementi, katere je potrebno upoštevati pri oblikovanju lokalnih elektroenergetskih trgov, s poudarkom na trgih s prožnostjo. Lokalni elektroenergetski trgi prinašajo koristi za vse udeležence, vendar je njihov razvoj še na začetku. Ovire pri vzpostavitvi lokalnega elektroenergetskega trga predstavljajo pomanjkanje standardizacije in interoperabilnost ter različne regulatorne ovire. Zasnova obstoječih veleprodajnih trgov namreč ne predvideva vzpostavitve lokalnih trgov. Trenutno so v teku številni projekti, katerih cilj je vzpostavitev lokalnih elektroenergetskih trgov in eden od teh je tudi projekt X-FLEX. V projektu X-FLEX sta razvoj in delovanje lokalnih elektroenergetskih trgov predvidena preko orodja MARKETFLEX. Za delovanje orodja MARKETFLEX bo uporabljen ovir USEF. Prednost projekta X-FLEX je skupna platforma, ki omogoča komunikacijo med različnimi orodji namenjenimi različnim udeležencem trga. Omenjena platforma omogoča izmenjavo informacij preko jasno določenih podatkovnih modelov in z uporabo enotnih standardov. Slednje bo omogočilo implementacijo orodja X-FLEX tudi v drugih okoljih.

REFERENCE

- [1] X. Jin, Q. Wu in H. Jia, „Local flexibility markets: Literature review on concepts, models and clearing methods,“ *Applied energy*, 2020.
- [2] X. Fang, S. Misra, G. Xue in D. Yang, „Smart Grid - The New and Improved Power Grid: A Survey,“ *IEEE communications surveys & tutorials*, pp. 944-980, 2011.
- [3] S. Liu in C.-C. Chen, „From demand response to transactive energy: state of the art,“ *Journal of Modern Power Systems and Clean energy*, pp. 10-19, 2017.
- [4] Y. Parag in B. K. Sovacool, „Electricity market design for the prosumer era,“ *Nature energy*, pp. 1-6, 2016.
- [5] EURELECTRIC, „Flexibility and Aggregation, Requirements for their interaction in the market,“ 2014.
- [6] USEF, „USEF Flexibility Trading Protocol Specifications,“ 2020.

- [7] Z. Zhou, F. Xiong, B. Huang, C. Xu, R. Jiao, B. Liao, YinZ. in Li.J., „Game-theoretical energy management for energy Internet with big data-based renewable power forecasting,“ *IEEE Access* 5, pp. 5731-5746, 2017.
- [8] I. F. Reis, M. A. Lopes in C. H. Antunes, „2018 International Conference on Smart energy Systems and Technologies (SEST),“ *Energy transactions between energy community members: an agent-based modeling approach*, pp. 1-6, 2018.
- [9] CEDEC, E.DSO, ENTSO-E, EURELECTRIC, GEODE, „An Integrated Approach to Active System Management, With the focus on TSO-DSO coordination in Congestion Management and Balancing,“ 2019.
- [10] Y. Tohidi, M. Farrokhseresht in M. Gibescu, „A Review on Coordination Schemes Between Local and Central Electricity Markets,“ v *15th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 2018.
- [11] G. Leclercq, „Real-time market architectures, Market design for provision of ancillary services from DER for different TSO-DSO coordination schemes (Public Workshop),“ 2018. [Elektronski]. Available: <https://www.slideshare.net/n-Side/nside-smartnet-project-real-time-market-architecture-issues>. [Poskus dostopa 30. 8. 2021].
- [12] CROSSBOW Project, „Deliverable D8.1 Framework of TSO-DSO coordination in the EU and Regional Activities,“ 2019.
- [13] German Association of the Energy and Water Industry (BDEW), „Smart Grid Traffic Light Concept. Design of the Amber Phase,“ Berlin, 2015.
- [14] X-FLEX Project, „Description of X-FLEX,“ [Elektronski]. Available: <http://xflexproject.eu/>. [Poskus dostopa 30. 8. 2021].

ZAHVALA

Predstavljene rešitve so del raziskovalnih aktivnosti v projektu X-FLEX, ki se financira iz Okvirnega programa Evropske unije za raziskave in inovacije Obzorje 2020 (HORIZON 2020) v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. 863927.