

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



***Istraživanje puteva energetske tranzicije -
međuvodnost "power-to-X" tehnologija,
tehnologija odgovora potrošnje i povezivanja tržišta
energijom – INTERENERGY***

***D3.1 – Analiza potencijalnih tržišta za tehnologije
odgovora potrošnje i „power-to-X“ tehnologije***

Zagreb, 2022. godina

Projektni tim:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Prof. dr. sc. Ingo Stadler

Prof. dr. sc. Henrik Lund

Izv. prof. dr. sc. Iva Ridjan Skov

Prof. dr. sc. Fei Wang

dr. sc. Felipe Feijoo

Antun Pfeifer, mag. ing. mech.

Luka Herc, mag. ing. mech.

SADRŽAJ

1. Sažetak.....	4
2. Summary.....	5
3. Uvod	6
4. Konfiguracija tržišta u Europskoj Uniji.....	7
5. Dan unaprijed tržište.....	9
6. Unutardnevno tržište.....	11
7. Balansiranje i rezerve	12
1. Kontrola frekvencije sustava.....	15
2. Kontrola napona sustava	19
3. Povratak sustava u rad nakon havarije	20
8. Europske platforme i projekti povezivanja tržišta balansiranja.....	21
1. Međunarodna suradnja u kontroli rada energetskeg sustava (IGCC - international grid control cooperation).....	21
2. Platforma za koordinaciju automatskog oporavka frekvencije (Platform for the International Coordination of Automated Frequency Restoration and Stable System Operation - PICASSO)	22
3. Ručna aktivacija rezerve (Manually Activated Reserves Initiative - MARI).....	23
4. Projekt razmjene pomoćnih kapaciteta na trans europskoj razini (Trans-European Restoration Reserves Exchange - TERRE).....	24
9. Prilike za primjenom „Power-to-X“ tehnologija i tehnologija odgovora potrošnje u sustavu	26
10. LITERATURA	28

POPIS SLIKA

Slika 1. Razdioba tržišta prema vremenu primjene [8][14]	8
Slika 2. Sustav formiranja cijena u dan unaprijed i unutardnevnom tržištu [19].....	9
Slika 3. Primjer merit order krivulje [20].....	10
Slika 4. Područja balansiranja u Europi [26].....	13
Slika 5. Postupak uravnoteženja frekvencije [11]	16
Slika 6. Definicija pružatelja usluge [11].....	18
Slika 7. IGCC sustav i države članice i promatrači [22]	22
Slika 8. PICASSO platforma [23]	23
Slika 9. Članice MARI projekta	24
Slika 10. Članice TERRE projekta.....	25

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste kontrole frekvencije [10]	15
Tablica 2. Vrste neravnoteže i kompenzacije [12][13]	18

1. Sažetak

Tehnologije odgovora potrošnje i „Power-to-X“ tehnologije su integralni dio niskougljičnih energetske sustava. Njihovom se primjenom omogućuje dostizanje niskih razina emisija CO₂ kao i povećanja udjela obnovljivih izvora energije u energetske sustavu. također, prisutnost ove vrste sustava omogućuje integraciju veće količine varijabilnih izvora energije.

Kao što je prikazano u izvještajima D2.2 i D2.3, „power-to-X“ tehnologije i tehnologije odgovora potrošnje sačinjavaju većinu energetske potreba u dekarboniziranim energetske sustavima ili sustavima s visokim udjelom obnovljive energije. Time se njihova uloga i mogućnost kreiranja velikih potreba za energijom mora iskoristiti u balansiranju sustava.

Većina predstavljenih sustava posjeduje mogućnost generiranja velikih opterećenja energetske sustava, pohrane energije, a neki posjeduju i mogućnost povratka energije u energetske sustav. Time se otvara mogućnost njihove daljnje integracije u energetska tržišta. Od velikog interesa s obzirom na varijabilnost u proizvodnji električne energije iz varijabilnih obnovljivih sustava su unutardnevna tržišta. Kod ove vrste tržišta, predstavljene tehnologije mogu iskoristiti očekivane promjene u proizvodnji od minimalno 30 minuta u budućnosti kako bi prilagodili svoj rad te ostvarili monetarnu dobit. Dodatna uloga ovi tehnologija se može ostvariti sudjelovanjem na tržištu rezerva energetske sustava. Bitni parametri prema kojim ove tehnologije mogu ostvariti sudjelovanje na tržištu rezerva su brzina odziva kao i količina dostupnih kapaciteta.

2. Summary

Demand response and Power-to-X technologies are an integral part of low-carbon energy systems. Their application enables the achievement of reduction of CO₂ emissions as well as an increase in the share of renewable energy in the energy system. Also, the presence of this type of technologies allows the easier integration of variable energy sources.

As shown in the deliverables D2.2 and D2.3, “power-to-X” and power response technologies account for the significant portion of energy demand in decarbonized energy systems or systems with a high share of renewable energy. Thus, their role and their ability to create high energy needs must be used in balancing of the system.

Most of the presented systems have the ability to generate large power loads in a relatively short amount of time, store energy, and even some have the ability of returning the energy back to the grid. This opens the possibility of their further integration into the energy market. Of great interest to the integration of these technologies to the system is intraday market given the variability in the production of electricity from variable renewable sources. In this type of market, the presented technologies can take advantage of expected changes in production of at least 30 minutes in the future to adjust their load and make monetary gains. An additional role of this technology can be achieved by participating in the energy system reserves market. Important parameters according to which these technologies can achieve participation in the reserve market are the speed of response as well as the amount of available capacity.

3. Uvod

Ovaj izvještaj daje pregled metoda primjene tehnologija odgovora potrošnje raspisanih u prethodnim izvještajima D1.1 i D1.2.

Tržište električne energije je podijeljeno na nekoliko različitih tržišta. Podjela je definirana vremenskim periodom na koji se određeni dio tržišta odnosi. Tako se redom „futures“ tržište odnosi na dugoročne ugovore i kupovinu električne energije na burzi daleko prije planirane potrošnje. U svrhu primjene „power-to-X“ i tehnologija odgovora potrošnje, ovo tržište nema značajnu ulogu.

Sljedeće tržište je tržište dan unaprijed na kojem se spajaju ugovori ponude i potrošnje energije za sljedeći dan. Razmatrane tehnologije mogu sudjelovati na ovom tržištu.

Unutardnevno tržište je od velike važnosti za tehnologije odgovora potrošnje i „power-to-X“ tehnologije jer mogu brzo odgovoriti na promjene u sustavu te ponuditi potrošnju ili opskrbu energijom na temelju čega se ostvaruje profit.

Tržište usluga rezerva je također vrlo iskoristivo sa strane tehnologija odgovora potrošnje i „power-to-X“ tehnologija. Ovdje se zahtjeva još veća brzina reakcije te mogućnost alokacije velikih snaga što navedene tehnologije mogu ponuditi.

Energetsko tržište unutar Europske Unije je liberalizirano. Liberalizacija uključuje 3 načela [6][7][7]:

1. Razdvajanje opskrbe, proizvodnje i upravljanja mrežom
2. Omogućavanje pristupa tržištu trećim stranama, te mogućnost potrošača da sami biraju svojeg dobavljača električne energije
3. Osiguravanje natjecanja i konkurencije na veleprodajnom i maloprodajnom tržištu

4. Konfiguracija tržišta u Europskoj Uniji

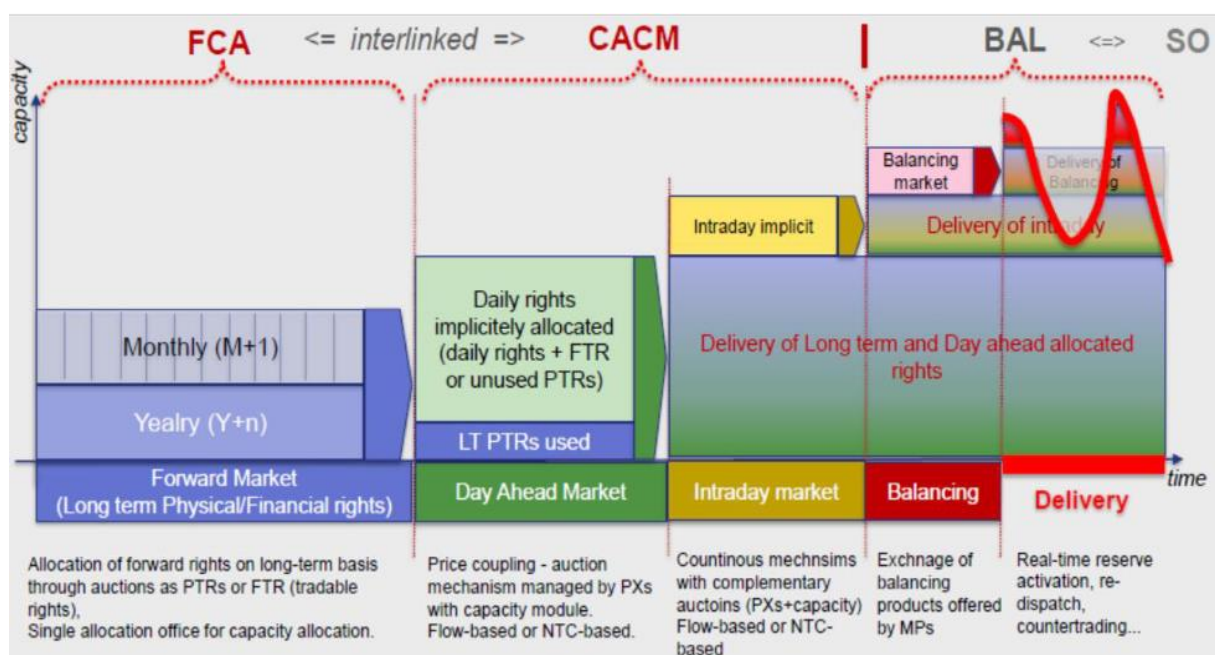
Europsko tržište električne energije i pružanja usluga balansiranja se bazira na sljedećim direktivama:

- Direktiva (EU) 2016/1719 - direktiva o alokaciji kapaciteta u budućnosti [17]
- Direktiva (EU) 2015/1222 – direktiva o alokaciji kapaciteta i rješavanju zagušenja [18]
- Direktiva (EU) 2017/2195 – direktiva o balansiranju električne energije [2]

Tržište je podijeljeno na nekoliko djela prema vremenu na koje se odnosi. Uključuje:

- Buduće tržište – odnosi se na trgovinu električnom energijom više od 24 sata prije planiranje potrošnje. U ovom tržištu se može trgovati električnom energijom i do nekoliko godina prije potrošnje primjenom dugoročnih ugovora. Također se može trgovati i prijenosnim kapacitetima.
- Tržište dan unaprijed se zasniva na sustavu aukcije kojim se uparaju nizovi ponuda prodaje tj. proizvodnje električne energije i potrošnje tj. kupovine. Trgovina se odvija do 13:00 dan prije same potrošnje kad se tržište zatvara.
- Unutardnevno tržište također koristi sustav aukcija kako bi se spojili potrošači i proizvođači. Trgovina se odvija do 30 minuta prije planiranog ostvarenja ugovora.
- Tržište balansiranja – u stvarnom vremenu se putem tehnologija brzog odaziva rješavaju nestabilnosti u sustavu.

Relacije u tržištu, vrijeme primjene i ograničenja prikazuje Slika 1.

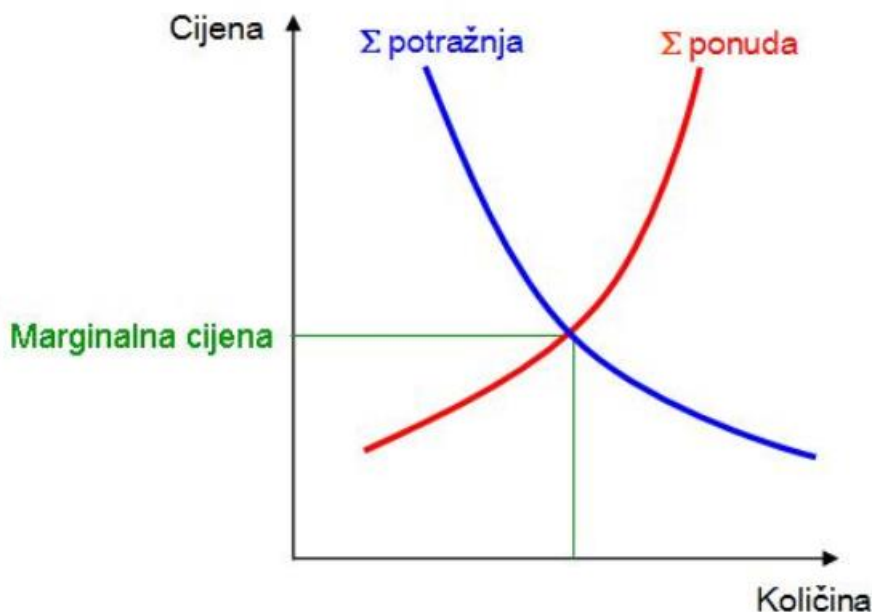


Slika 1. Razdioba tržišta prema vremenu primjene [8][14]

5. Dan unaprijed tržište

Dan unaprijed tržište električne energije se zasniva na spajanju ponuda za proizvodnjom i potrošnjom određenih volumena električne energije. Na tržištu sudjeluju operateri proizvodnih postrojenja, operateri sustava, opskrbljivači energijom te veći potrošači. Tržište funkcionira kao burza gdje se spaja potražnja i proizvodnja. Tržište se zatvara oko 13 sati dan prije.

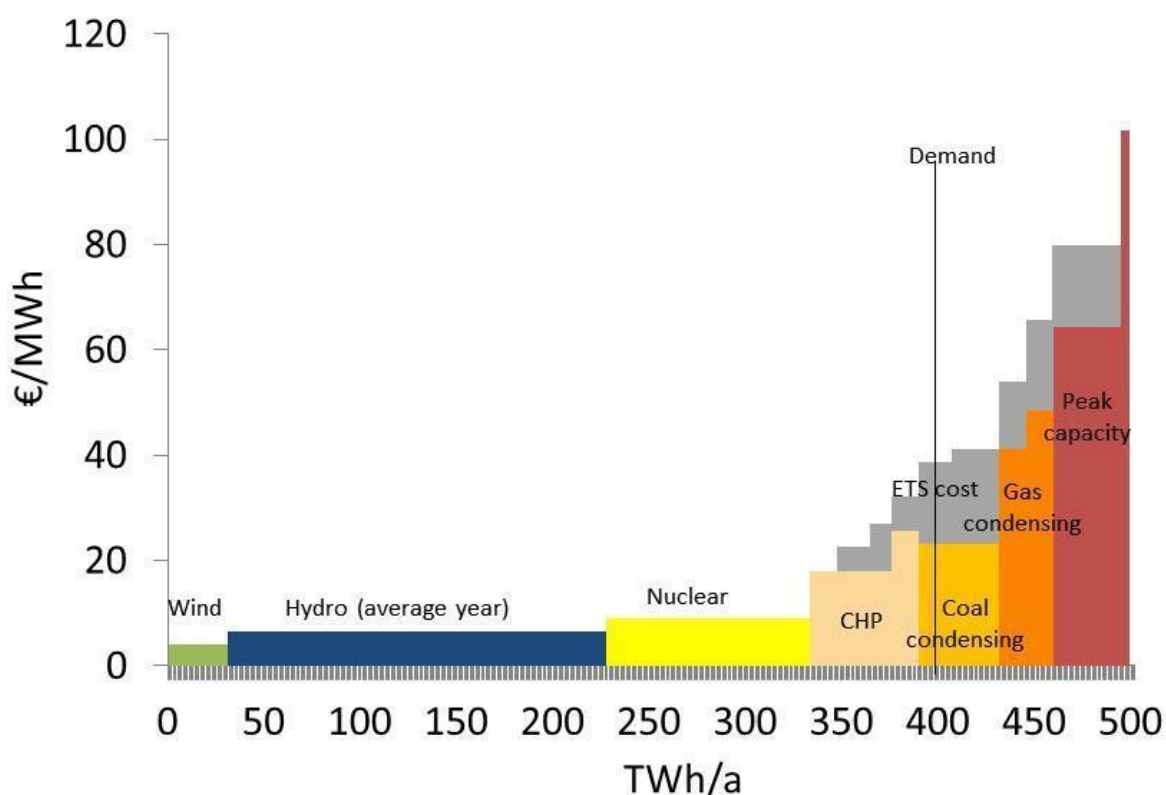
Proizvođač daje ponude o količini energije i o cijeni po kojoj prodaje električnu energiju, a kupac pak plasira ponudu o kupovini određene količine električne energije po rasponu cijena. Finalna tržišna cijena se formulira kad se spoje sve ponude kupovine i prodaje. Po završetku procesa se svim proizvođačima određuje isplata marginalne tržišne cijene. Marginalna cijena je zapravo posljednja vrijednost električne energije koja je prihvaćena na tržištu. Grafički prikaz rada tržišta prikazuje Slika 2. tržište dan unaprijed funkcionira na razini cijele Europe što omogućuje kupovinu te prodaju električne energije preko cijele Europe. Potrebno je napomenuti da je samo dio transakcija ostvaren putem dan unaprijed i unutar dnevnih tržišta.



Slika 2. Sustav formiranja cijena u dan unaprijed i unutar dnevnom tržištu [19]

Raspodjela proizvodnje električne energije se definira takozvanim Merit order pristupom. Merit order pristup je refleksija zaprimljenih ponuda od strane proizvođača na tržištima električne energije. Proizvođači uglavnom nude cijene električne energije koje odgovaraju njihovim marginalnim troškovima. Time se formira krivulja kao što ju prikazuje Slika 3. Najniže cijene

nude operateri obnovljivih izvora zbog gotovo zanemarivih operativnih troškova. Zatim slijede hidroelektrane iz istog razloga. Nisku cijenu mogu ponuditi i operateri nuklearnih elektrana. Nakon ovih izvora koji zahtijevaju niske razine operativnih troškova se dolazi do postrojenja koje zahtijevaju značajne troškove kao što su troškovi goriva. Tu se nalaze elektrane na goriva kao što su prirodni plin, ugljen, loživo ulje i biomasa. Točan redoslijed i cijene ovise o situaciji na tržištu energentima u velikoj mjeri. Vidljivo je da cijenom dominiraju vršni izvori energije kao što su plinske elektrane. Potrebno je napomenuti da proizvođači sami određuju cijene i volumene kojima ulaze na tržište. Iskazalo se da je najpovoljnije za samog proizvođača, posebice ukoliko se nalazi blizu presijecanja krivulje potražnje i proizvodnje, ponuditi cijenu jednaku vlastitim troškovima. Time se osigurava marginalna profitabilnost ukoliko njegova ponuđena vrijednost ispadne marginalna vrijednost cijelog tržišta za taj period. U isto vrijeme se osigurava ulazak u tržište što mu ne bi bilo osigurano ako bi ponudio višu cijenu od marginalne. U tom bi slučaju neko postrojenje sa višim marginalnim troškom moglo izgurati postrojenje s nižim marginalnim troškom jer je postrojenje s nižim marginalnim troškom ponudilo viši iznos cijene električne energije.



Slika 3. Primjer merit order krivulje [20]

6. Unutardnevno tržište

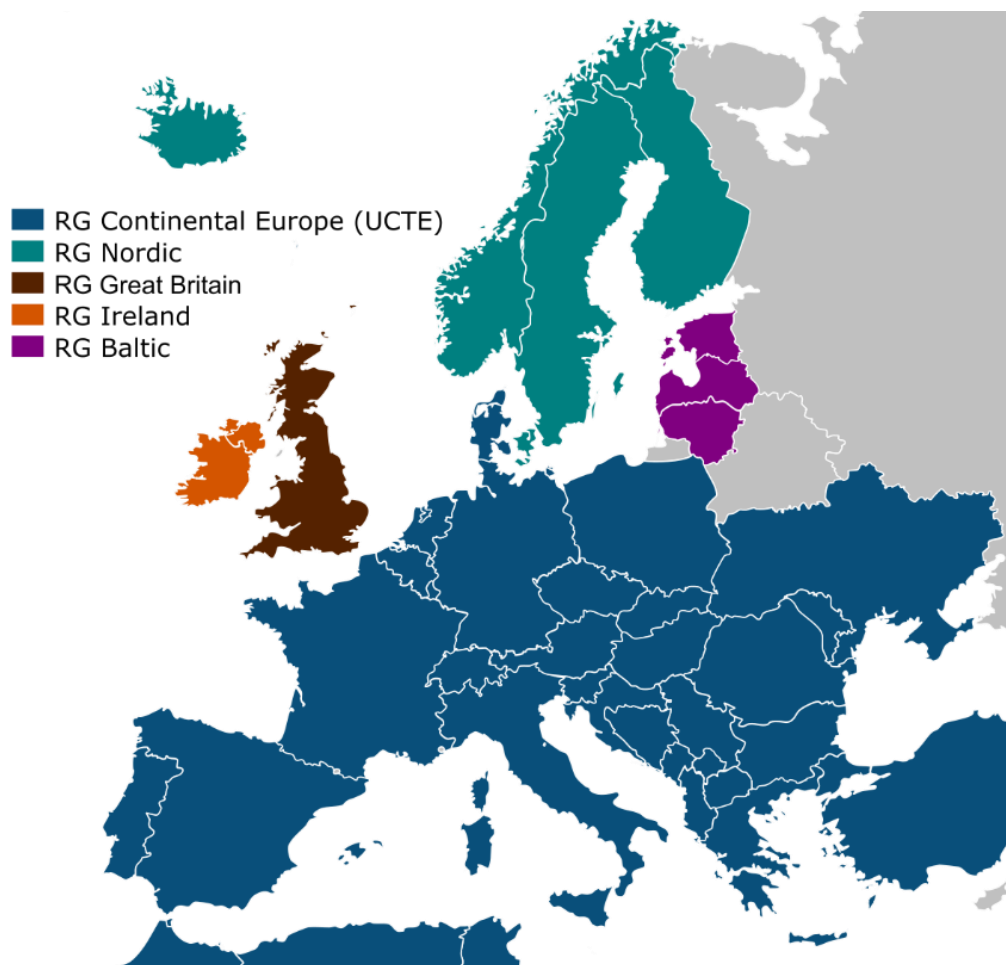
Po zatvaranju burze dan unaprijed tržišta se otvara burza za unutardnevno tržište. Unutardnevno tržište se razlikuje od države do države. Koriste se dva modela. Model kontinuiranog sustava trgovanja se zasniva na sustav kontinuirane trgovine kao što je burza. Alternativno, sustav aukcija funkcionira slično kao dan unaprijed tržište te se spajaju ponude proizvođača i potrošača. U unutardnevnom tržištu se trgovina vrši kontinuirano sve dok se ne poklope ponude prodaje i kupovine električne energije. Transakcije mogu biti ostvarene do 30 minuta prije isporuke, a trgovanje započinje u 15:00 dan prije isporuke. Na unutardnevnom tržištu se može trgovati sa satnim i blok proizvodima koje članovi burze mogu samostalno definirati.

Uslijed prisutnosti varijabilnih obnovljivih izvora energije u sustavu i njihove varijabilne proizvodnje, dolazi do varijacija od planiranih isporuka električne energije na dan unaprijed tržištu. Također, uslijed pogrešne prognoze potrošnje može doći do nepodudaranja. Tehnologije odgovora potrošnje i „power-to-X“ tehnologije mogu u ovoj vrsti tržišta pružiti brz odgovor na promjene te ostvariti monetarnu dobit.

7. Balansiranje i rezerve

Pojam balansiranja energetskog sustava predstavlja sve radnje i procese koje operatori transmisijskih sustava koriste unutar područja za čiji nadzor su zaduženi kako bi osigurali frekvenciju električne mreže unutar definiranih granica. Uobičajeno je područje za koje je zadužen pojedini operater transmisijskog sustava geografsko područje pojedine države ili regije. Postoje dva elektroenergetska sustava s obzirom na korištenu frekvenciju. Frekvencija sustava može biti 50 ili 60 Hz. Europa, Australija i Oceanija te veći dio Azije i Afrike koristi frekvenciju od 50 Hz. Sjeverna Amerika koristi 60 Hz, a Južna Amerika je podijeljena kao i Japan između 50 i 60 Hz. Svaki operater ima zadaću osigurati pružatelja usluga balansiranja unutar svog područja. Pružanje usluga se zahtjeva u slučaju odstupanja od definiranih granica frekvencije. Do odstupanja može doći kao posljedica tehničkog problema i nemogućnosti dostave energije, brzih promjena u dostupnosti resursa u varijabilnim obnovljivim sustavima, pogreške u prognozi potrošnje ili neispunjenju zahtjeva za isporukom energije putem prekograničnih kapaciteta.

Energetski sustav ima zadaću osigurati opskrbu potrošača energijom, ali je potrebno pripaziti na frekvenciju električne energije unutar sustava. Kontrola frekvencije se postiže setom regulacija. Dijeli se na primarnu, sekundarnu i tercijarnu regulaciju. Europa je podijeljena na 5 područja koja zasebno održavaju stabilnost mreže u svojem geografskom području. To su Kontinentalna Europa, Nordijska Europa, Baltik, Velika Britanija i Irska.



Slika 4. Područja balansiranja u Europi [26]

Elektroenergetski sustav je dalje podijeljen prema područjima kontrole pojedinog operatora transmisijskog sustava (TSO). Svaki operator transmisijskog sustava ima zadaću odrediti potrebne kapacitete rezervnih usluga, pronaći pružatelje usluga te osigurati dobavu energije u slučaju potrebe za balansiranjem. Tradicionalno se usluga primarne kontrole dodjeljivala operatorima velikih termoelektrana koje zbog velike mase rotirajućih turbina i mogućnosti modifikacije dotoka pare u turbinu, mogu pružiti brzu reakciju na promjenu frekvencije.

Tržište usluga balansiranja i rezerva je regulirano sporazumima koji određuju:

- Odgovornost pružatelja usluga;
- Samo pružanje usluga balansiranja;
- Kompenzacija usluge.

Tržište funkcionira na principu aukcija. Prikupljaju se ponude za kupovinu i prodaju energije te sa procesom aukcije dolazi do povezivanja ponuda. Time se osigurava transparentnost u radu te ekonomska učinkovitost samog sustava.

Postoje tri kategorije sudionika na tržištu usluga balansiranja:

- Operator transmisijskog sustava – sudjeluje na tržištu stvarnom vremenu kako bi se osigurao siguran i stabilan rad sustava. Operator transmisijskog sustava je odgovoran za dobavu same usluge balansiranja od pružatelja usluga balansiranja.
- Grupe sudionika na tržištu proizvodnje i potrošnje energije – predstavnici skupine proizvođača i potrošača energije. Proizvodnja i potrošnja se ne poklapaju uvijek sa 100 % sigurnošću te dolazi do razlika u vrijednostima. Naplaćuju se penali ukoliko se ne ispoštuje ravnoteža sustava te ukoliko je problem nastao zbog pogreške u projekciji proizvodnje ili potrošnje.
- Pružatelji usluge balansiranja - Oni su sudionici na tržištu (dijelovi grupa sudionika na tržištu proizvodnje i potrošnje energije), kao što su proizvodne jedinice, postrojenja odgovora potrošnje i „power-to-X“ postrojenja. Ova vrsta sudionika na tržištu može ponuditi usluge balansiranja u obliku energije i snage. Zadaća je operatera transmisijskog sustava aktivirati ove vrste postrojenja u slučaju nepredviđenog događaja u energetsom sustavu. Usluga balansiranja se pruža mijenjanjem svoje izlazne ili ulazne snage.

Željeni učinak tržišta usluga balansiranja je osigurati i održati zadane karakteristike električne energije uz najniži trošak. Stoga je potrebno provesti daljnje usklađivanje tržišta usluga na regionalnoj razini te proširiti tržište na regionalnu razinu kako bi se mogao postići što cjenovno učinkovitiji sustav. Uloge i odgovornosti raznih sudionika na tržištu također moraju biti usklađeni kako bi se postigli jednaki uvjeti i ravnopravno natjecanje na tržištu. Krajnji cilj je kreiranje zajedničkog tržišta na razini Europske Unije.

Vrste usluga mogu biti podijeljene u 3 kategorije [9]:

- Kontrola frekvencije sustava – kontrola frekvencije ima zadaću zadržati frekvenciju mreže unutar predodređenih granica. U ovisnosti o energetsom sustavu, to može biti 50 ili 60 HZ.
- Kontrola napona – napon električne energije se također regulira kako bi se osigurala stabilnost sustava.

- Mogućnost povratka sustava u rad nakon havarije – ova vrsta usluge omogućuje operatoru transmisijskog sustava postepeno vraćanje cjelokupnog sustava u pogon nakon pada sustava.

1. Kontrola frekvencije sustava

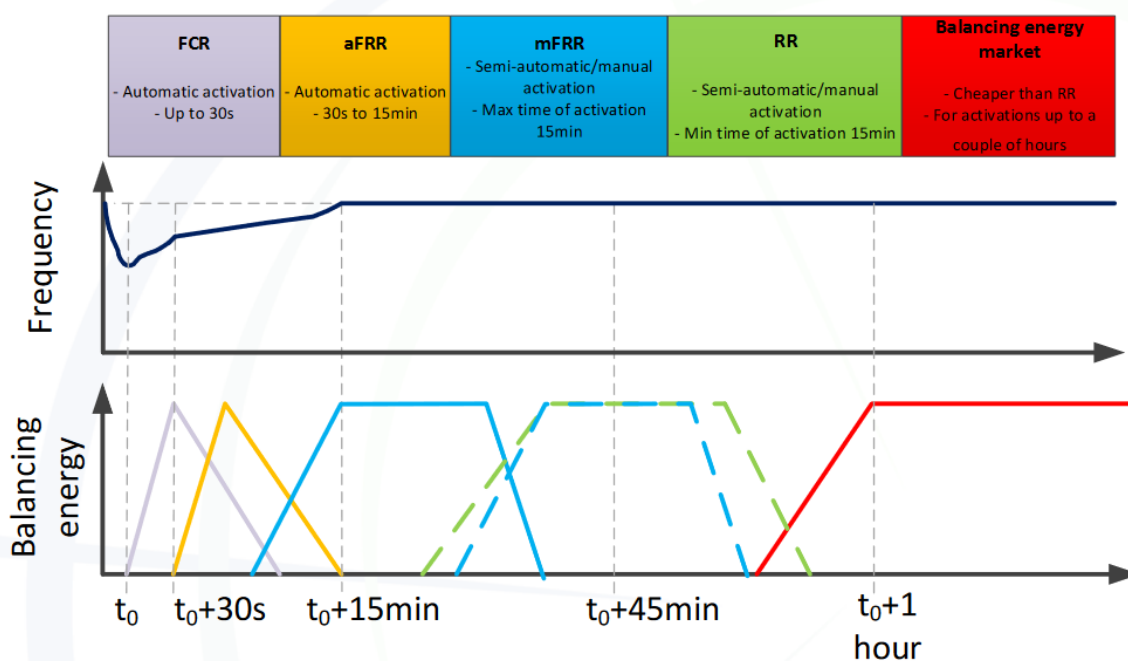
Primarna kontrola ili kontrola zadržavanja frekvencije se odnosi na mogućnost ostalih generatora na preuzimanje djela opterećenja koje je bilo opskrbljivano ispalim generatorom. Time se smatra da ostala postrojenja na mreži mogu povećati proizvodnju dovoljno brzo da bi kompenzirali gubitak nekog generatora. U većini sustava se postavlja uvjet da ova vrsta regulacije frekvencije može zadovoljiti novonastale potrebe stvorene ispadom najvećeg generatora. Ipak, vjerojatnost ispada najvećih generatora iz pogona u više susjednih država je zanemariva. Stoga se provodi agregiranje kapaciteta primarne regulacije. Time se dolazi do značajno nižih iznosa potrebne rezerve unutar pojedinog sustava. Regulacija se aktivira pri prelasku referentne vrijednosti od 50 Hz za $\pm 100\text{mHz}$. Kao što prikazuje Tablica 1, razlikuju se 3 razine kontrole frekvencije.

Tablica 1. Vrste kontrole frekvencije [10]

Zadržavanje frekvencije	Povratak frekvencije		Zamjena pružatelja rezerve
Rezerva zadržavanja frekvencije (FCR)	Automatski oporavak frekvencije (aFRR)	Ručni oporavak frekvencije (mFRR)	Zamjena rezerve (RR)
Primarna kontrola	Sekundarna kontrola	Tercijarna kontrola	

Nakon aktivacije primarne regulacije ili procedure zadržavanja frekvencije, slijedi aktivacija procesa restauracije frekvencije. Ovdje se definicija putem sekundarne kontrole ponešto razlikuje jer ona sadržava samo mogućnosti automatske kontrole, dok restauracija frekvencije podrazumijeva korištenje procesa automatske i ručne kontrole. Ova vrsta regulacije se aktivira također na području na kojem je došlo do poremećaja, a najčešće se provodi putem raspoloživih kapaciteta unutar istog transmisijskog sustava unutar kojeg je došlo do inicijalnog poremećaja. U prvom stadiju se automatski aktivira oporavak frekvencije korištenjem raspoloživog postrojenja, a kasnije se uz interakciju operatora ručno aktivira sustav oporavka kako bi se

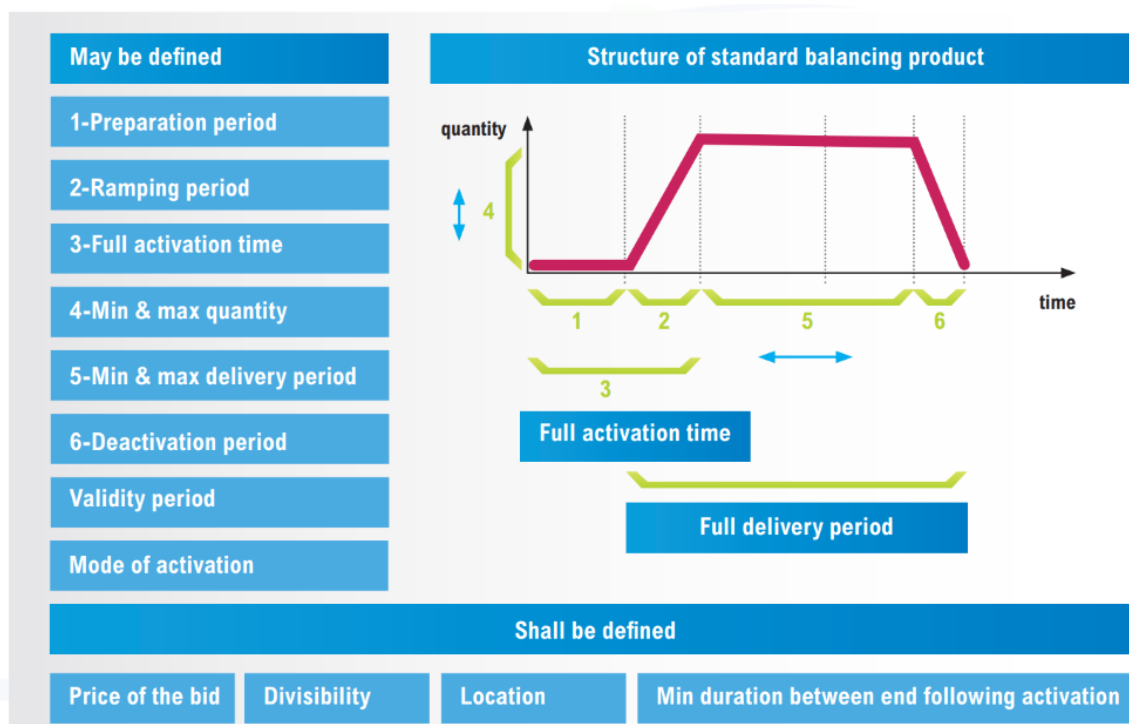
smanjilo opterećenje na prvotno aktiviran automatski sustav. Naposljetku dolazi do aktivacije dodatnih proizvodnih kapaciteta koji mogu preuzeti opterećenje na dulje vrijeme. Aktivacija ove vrste rezerve može trajati i do 45 minuta. Kao što prikazuje Slika 5, vrste regulacije se razlikuju prema brzini aktivacije i prema tome koliko dugo su aktivne nakon same aktivacije. Tako se automatska kontrola zadržavanja frekvencije aktivira unutar jedne sekunde i traje do 30 sekunda. Nakon 30 sekunda u pogon ulazi sustav povratka frekvencije koji je aktivan između 30 sekunda i 15 minuta. Potrebno je napomenuti da se energija koju pruža kontrola zadržavanja frekvencije postepeno smanjuje te ju tek postepeno zamjenjuje sustav povratka frekvencije. Po isteku vremena do 15 minuta nakon poremećaja, poluautomatskim ili ručnim načinom se uvode u pogon postrojenja koja pomažu pri povratku nazivne frekvencije mreže. Naposljetku se nakon maksimalno 45 minuta u pogon uvodi zamijene za netom korištene pružatelje rezerve čime se sustav u potpunosti stabilizira i može postepeno ugasi skupe izvore stabilnosti korištene u prve 3 faze oporavka nakon poremećaja.



Slika 5. Postupak uravnoteženja frekvencije [11]

Postrojenja koja pružaju usluge kontrole frekvencije se definiraju veličinama koje prikazuje Slika 6. Prikazani su i vremenski intervali na koje se pojedini dio odnosi.

1. Vrijeme pripreme – vrijeme između dobivanja signala za aktivacijom i početka rada samog postrojenja.
2. Vrijeme promjene snage – ovaj parametar definira vrijeme koje je potrebno pružatelju usluga da promjeni izlaznu snagu
3. Vrijeme potpune aktivacije – vrijeme proteklo između zahtjeva za aktivacijom i dolaska do tražene snage.
4. Donja i gornja vrijednost snage – ovim parametrom su definirane minimalna i maksimalna snaga koju promatrani generator može pružiti unutar vremena potpune aktivacije. Minimalna snaga je ograničena na 1 MW, a maksimalna 9999 MW.
5. Vrijeme deaktivacije – vrijeme od prestanka potrebe za davanjem usluge balansiranja do povratka u prethodno stanje.
6. Minimalno i maksimalno trajanje dostave usluge – minimalno i maksimalno trajanje dostave tražene energije u sustav.
7. Vrijeme dostupnosti – predstavlja period u kojem je moguće aktivirati uslugu. Neka postrojenja predstavljaju različite iznose dostupnosti s obzirom na ostale uvijete kao što je ukupno opterećenje sustava ili stanje napunjenosti pohrane energije.
8. Vrsta aktivacije – ručna ili automatska aktivacija sustava.



Slika 6. Definicija pružatelja usluge [11]

Kompenzacija usluge je financijski mehanizam kojim se podmiruju troškovi nastali uslijed pojave neravnoteže u sustavi. Pružatelji usluga balansiranja moraju podmiriti troškove nastale odstupanjem od referentnih vrijednosti. Također, u slučaju pozitivnog učinka na povrat sustava u referentno stanje, tim se sudionicima isplaćuje naknada. Odstupanja se izračunavaju uspoređujući planiranu proizvodnju sa stvarnom situacijom. Osnovni je cilj ovog sustava postizanje ekonomski najpovoljnijeg rješenja te poticanje ostalih pružatelja usluga na natjecanje u pružanju što kvalitetnije i povoljnije usluge. Različite mogućnosti kombinacija vrste neravnoteže i cijene pružanja usluga kompenzacije ravnoteže prikazuje Tablica 2.

Tablica 2. Vrste neravnoteže i kompenzacije [12][13]

	Pozitivna cijena usluge balansiranja	Negativna cijena usluge balansiranja
Pozitivna neravnoteža	Operator transmisijskog sustava isplaćuje naknadu pružatelju usluge balansiranja	Pružatelj usluge balansiranja isplaćuje naknadu operatoru transmisijskog sustava

Negativna neravnoteža	Pružatelj usluge balansiranja isplaćuje naknadu operatoru transmisijskog sustava	Operator transmisijskog sustava isplaćuje naknadu pružatelju usluge balansiranja
-----------------------	--	--

Postoji također i proaktivni pristup problemu balansiranja. Ovaj pristup koristi iste metode balansiranja kao i retroaktivni, ali uz modifikaciju očekivanja samih promjena unutar sustava. Potrebno je razdvojiti neplanirane događaje kao što je ispad postrojenja iz pogona uslijed kvara od predvidljivih događaja kao što su velike promjene u opterećenju ili promjene u opskrbi energijom kao rezultat varijabilne proizvodnje iz VOIE. Oba pristupa primjenjuju retroaktivni model kod nepredvidljivih događaja, ali kod predvidljivih se razlikuje način rada. Proaktivni pristup uvodi dodatne kapacitete prije pojave poremećaja te se tako izbjegava prelazak frekvencije izvan dozvoljenih granica. S jedne strane, primjena proaktivnog pristupa povećava stabilnost sustava te se smanjuje cijena balansiranja korištenjem jeftinijih opcija tercijarne regulacije umjesto korištenjem skupe primarne i sekundarne regulacije.

Proaktivni pristup smanjuje pojavu ekstremnih vrijednosti cijena na tržištu. U suprotnosti, kod retroaktivnog pristupa dolazi do veće aktivnosti na tržištu čime se omogućuje razvitak tržišta usluga.

2. Kontrola napona sustava

Usluga kontrole napona je potrebna u slučaju naaglih promjena potražnje u elektroenergetskom sustavu. Do problema dolazi zbog promjene količine reaktivne ili jalove snage što pak utječe na napon u mreži. Promjena napona je nepoželjna jer ograničava primjenu električnih uređaja čiji su dijelovi projektirani za određeni raspon napona. U nekim slučajevima, promjena napona mreže može dovesti do opterećenja opreme ili automatskog isključenja iz sustava kao mjere opreza prije oštećenja. Kod energetske sustava sa velikim udjelom varijabilnih obnovljivih izvora energije može doći do većeg prodora nesinkrone energije čime se zamjenjuju sinkroni generatori. To dovodi do potrebe za dodatnim izvorima kontrole napona. Tržište usluga kontrole napona omogućuje proizvodnim kapacitetima spojenim na distribucijsku mrežu pružanje reaktivne ili jalove snage. Tradicionalno, na određenim lokacijama u mreži se nalazi oprema kao što su proizvodne jedinice opremljene automatskim regulatorima napona. Isti zadatak se može obaviti i putem statičkih VAR kompenzatora. Ovdje su u posebnoj prednosti

distribuirani sustavi proizvodnje jer se često nalaze blizu mjesta u mreži gdje se desio problem s naponom što povećava učinkovitost samog sustava [15][16].

Generalno, u europskim sustavima je kontrola napona podijeljena na tri razine:

- Primarna kontrola napona – automatska kontrola. Aktivira se unutar nekoliko milisekunda i može trajati do jednu minutu. Pruža se na lokaciji poremećaja.
- Sekundarna kontrola napona – centralizirani sustav aktivira kontrolu napona najkasnije jednu minutu nakon poremećaja te može biti aktivna nekoliko minuta
- Tercijarna kontrola napona – aktivira se 10 do 30 minuta nakon poremećaja. Unutar sustava se provodi preraspodjela proizvodnje kako bi se postigla optimalna raspodjela gubitaka

3. Povratak sustava u rad nakon havarije

Povratak sustava u pogon nakon havarije se odnosi na slučajeve kad je potrebno pokrenuti sustav nakon potpunog pada mreže. Primjerice, sigurnosni sustav isključuje isporuku električne energije uslijed prevelike razlike između zahtijevane i ostvarene frekvencije mreže. U tim slučajevima je potrebno imati dostupne generatore koji mogu biti uključeni bez potrebe za vanjskom dobavom električne energije. Također, sam elektroenergetski sustav mora imati mogućnost izolacije pojedinih dijelova kako ne bi došlo do preopterećenja generatora odmah nakon pokretanja. Zadaća generatora koji sudjeluju u crnom startu je osigurati dobavu električne energije koja je potrebna ostalim generatorima za pokretanje. Potrebno je obratiti pažnju i na napon u sustavu. iz tog razloga je potrebno osigurati mogućnost pružanja proizvodnje i potrošnje reaktivne ili jalove snage.

Tehnologije korištene u ovu svrhu uključuju reverzibilne hidroelektrane, hidroelektrane, plinske turbine, te nuklearne elektrane.

8. Europske platforme i projekti povezivanja tržišta balansiranja

Regulativa Europske Komisije (EU) 2017/2195 [2] predviđa zajedničku provedbu platforme i time usklađivanje nacionalnih tržišta procesa uravnoteženja na razini Europe. Regulativa zahtjeva razvoj zajedničke platforme za svaki dio procesa balansiranja što uključuje IN, aFRR, mFRR i RR. Kako bi se postigli ciljevi zajedničke implementacije, nacionalni operateri transmisijskih sustava su pokrenuli sljedeće projekte [21].

1. Međunarodna suradnja u kontroli rada energetskeg sustava (IGCC - international grid control cooperation)

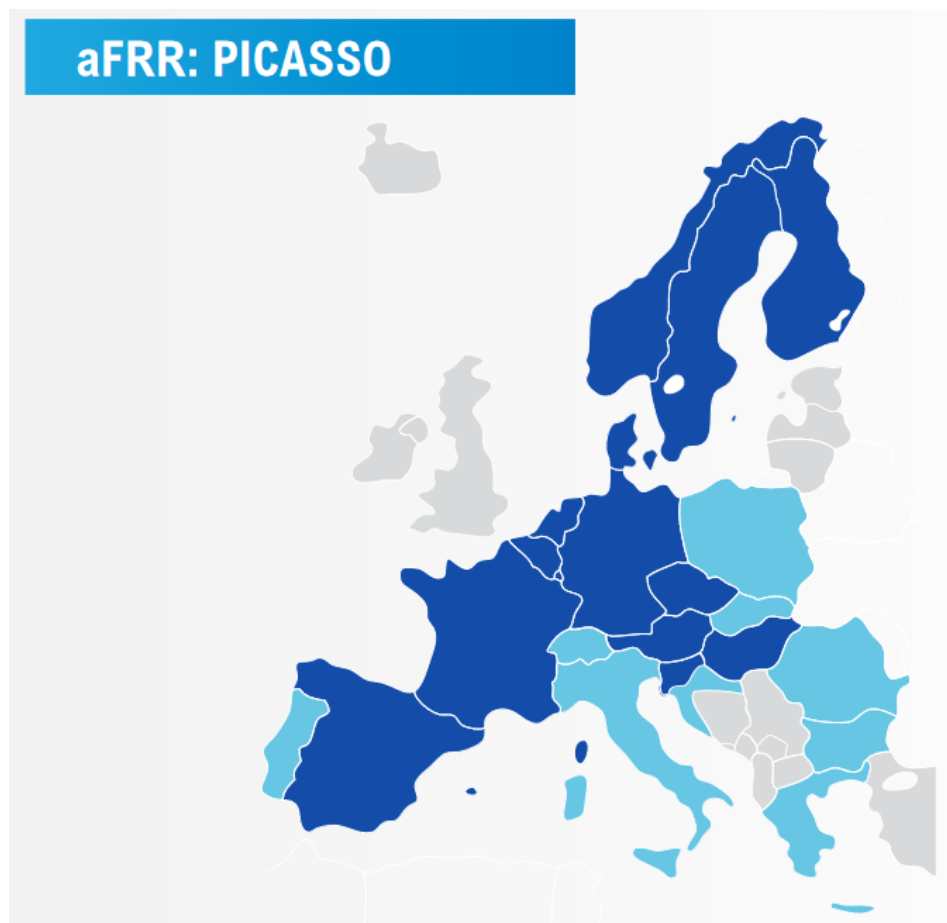
Cilj je IGCC-a, koji se sastoji od 24 europska operatera transmisijskih sustava spriječiti istovremenu aktivaciju rezervnih kapaciteta sa suprotnim predznacima. Svi zahtjevi za aktivacijom rezerve se zbrajaju te se dolazi do nižih neto vrijednosti potrebnih na razini cijele Europe. Primjerice, ukoliko energetske sustav Republike Hrvatske zahtjeva dodatnih 10 MW regulacijske snage, a Slovenija zahtjeva u isto vrijeme 20 MW negativne snage, dolazi se do neto iznosa od 10 MW negativne snage ili smanjenja proizvodnje u određenom trenutku. Aktivacija preostalih 10 MW negativne snage se odvija na području operatera gdje je nastao poremećaj, a to je u ovom slučaju Slovenija. Time se smanjuje potreba za aktivacijom rezerva u međupovezanom energetskeg sustavu što je od ključne važnosti jer je provedba ove strategije moguća samo uz dostupne kapacitete transmisije.



Slika 7. IGCC sustav i države članice i promatrači [22]

2. Platforma za koordinaciju automatskog oporavka frekvencije (Platform for the International Coordination of Automated Frequency Restoration and Stable System Operation - PICASSO)

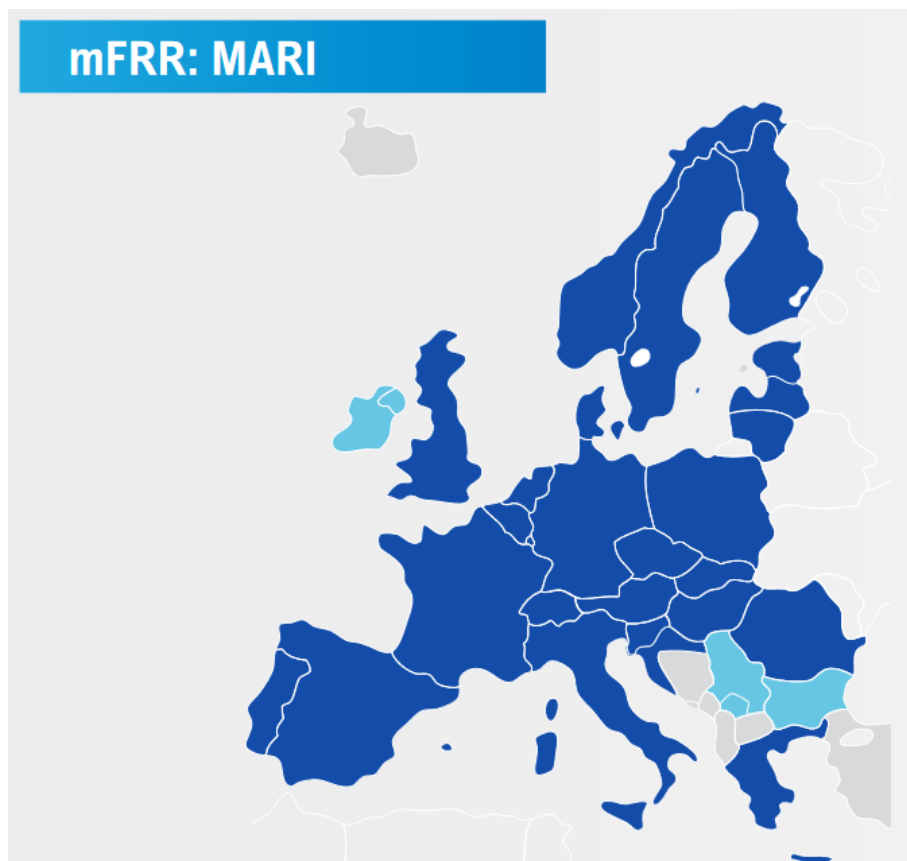
(PICASSO) je projekt u kojem sudjeluju svi operatori transmisijskih sustava u cilju uspostave europske platforme za razmjenu energije uravnoteženja i rezerva za oporavak frekvencije uz automatsku aktivaciju. Slika 8. prikazuje područje primjene PICASSO platforme. Države obojane tamnijom nijansom plave boje su države članice, dok su države obojene svjetlijom nijansom države promatrači [21].



Slika 8. PICASSO platforma [23]

3. Ručna aktivacija rezerve (Manually Activated Reserves Initiative - MARI)

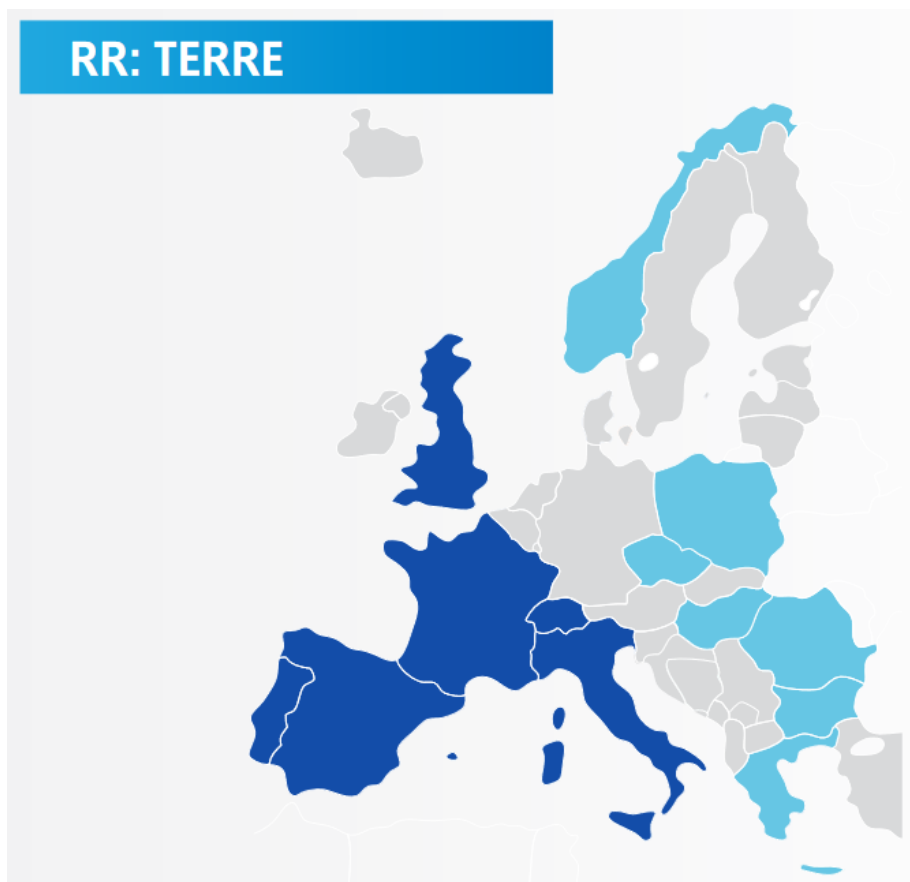
Ovaj projekt daje upute operatorima transmisijskih sustava kako implementirati platformu za razmjenu energije uravnoteženja te oporavak frekvencije mreže ručnim načinom aktivacije [25].



Slika 9. Članice MARI projekta

4. Projekt razmjene pomoćnih kapaciteta na trans europskoj razini (Trans-European Restoration Reserves Exchange - TERRE)

Cilj TERRE projekta je usklađivanje tržišta na europskoj razini. Slika 10. prikazuje države članice označene tamnijom nijansom i države promatrače [24].



Slika 10. Članice TERRE projekta

9. Prilike za primjenom „Power-to-X“ tehnologija i tehnologija odgovora potrošnje u sustavu

Pojava „power-to-X“ tehnologija i tehnologija odgovora potrošnje omogućava pružanje usluga u tržištu električne energije.

Obje vrste mogu prisustvovati na tržištu kao potrošač te davati ponude o kupovini električne energije kako na tržištu dan unaprijed, tako i na unutardnevnom tržištu. Njihova prisutnost je također od velike važnosti i na tržištu pomoćnih usluga zbog mogućnost brzog odgovora. Također, velik dio ovih tehnologija je spojen na internet te može obavljati zadaće bez prisutnosti i odobrenja operatera ili vlasnika. Time se omogućuje brzi odgovor koji ne mora ovisiti o samim korisnicima. Neke od ovih tehnologija kao što su primjerice električna vozila sa V2G funkcionalnosti posjeduju i mogućnost preuzimanja uloge proizvodnog postrojenja koje ulazi na tržište s ponudom prodaje električne energije.

Razvitkom energetskog sustava povećava se udio varijabilnih obnovljivih izvora energije, a samim time i učestale promjene u cijeni električne energije kao posljedica nepoklapanja proizvodnih potencijala sa potrošnjom. U trenucima velikog udjela proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije, merit order krivulja poprima niske vrijednosti te se tad pojavljuje prilika za iskorištavanjem dostupnih količina povoljne električne energije. Ipak, količine su ograničene do iskorištenja dostupne energije iz VOIE. Ukoliko se nastave povećavati potražnje za dodatnim količinama energije, dolazi do porasta cijena te se time postavlja gornja granica na moguće korištenje „Power-to-X“ tehnologija. Potrebno je napomenuti da prethodno razmatranje podrazumijeva preuzimanje opterećenja dodatne potražnje energije uz korištenje rezervnih kapaciteta kao što su termoelektrane na prirodni plin. Do predstavljene se situacije dolazi kasnije što sustav sadrži veći udio obnovljivih izvora energije koji ulaze niskim marginalnim troškovima u tržište.

Uključivanje navedenih tehnologija u tržište energije najviše dolazi do izražaja u unutardnevnom tržištu kao reakcija na poremećaje u proizvodnji te posljedično velike varijacije u cijenama koje tehnologije brzog odziva mogu iskoristiti. Uloga je odviše važna za tehnologije koje posjeduju mogućnost pohrane energije, prvenstveno power to heat zbog relativno niskih troškova pohrane energije te mogućnosti ušteda uz iskorištavanje poremećaja u tržištu.

Tehnologije kao što je V2G mogu sudjelovati na tržištu uz ponudu energije prema troškovima održavanja samog vozila i baterije.

Velika uloga „power-to-X“ tehnologija i tehnologija odgovora potrošnje je vidljiva također i u tržištu rezerva gdje mogu ponuditi brzu reakciju kako bi se održala frekvencija mreže. Brzina primjene i rezultat na elektroenergetski sustav primjene ovih tehnologija je prikazan u izvještajima D1.1 te D1.2.

Primjena ovih tehnologija u energetsom sustavu omogućuje učinkovitije iskorištenje dostupnih obnovljivih izvora energije uz istovremenu dekarbonizaciju sustava grijanja, transporta i industrije. Također, povećava se samo iskorištenje proizvodnih kapaciteta koji bi bez korištenja ovih tehnologija morali smanjiti proizvodnju u uvjetima prekomjerne proizvodnje u odnosu na potražnju. Time bi si narušavali profitabilnost i povrat investicije. Smanjenje profitabilnosti može također nepovoljno utjecati na daljnju instalaciju kapaciteta zbog nedostatka povjerenja investitora o mogućnosti prodaje proizvedene energije.

Postale su također učestale situacije nultih ili čak negativnih cijena električne energije. Pojava ovakvih uvjeta je nepovoljna za sve sudionike u proizvodnji električne energije. Do te pojave dolazi uslijed kombinacije velike proizvodnje iz varijabilnih obnovljivih izvora energije, prisutnosti nefleksibilnih proizvodnih kapaciteta u pogonu kao što je termoelektrana na ugljen te pogreške u prognozi opterećenja i proizvodnje iz VOIE. Varijabilni obnovljivi izvori ponude niski marginalni trošak energije kojim ulaze na tržište. Problem nastaje kod ulaska sljedećih sustava kao što je termoelektrana na ugljen koja mora zadovoljiti ostatak opterećenja, ali svojim kapacitetom premašuje potrebe za energijom. Zbog niske fleksibilnosti postrojenja, ne može dovoljno brzo smanjiti proizvodnju. Iz tog razloga se na tržištu pojavljuje niska cijena ili čak negativna kako bi se potaknulo potrošnju energije i zadržavanje sustava u ravnoteži. Uz korištenje „power-to-X“ tehnologija i odgovora potrošnje se smanjuje pojava ovakvih situacija zbog brze mogućnosti iskorištenja dostupne energije, a time i vraćanje cijena energije u pozitivne vrijednosti.

10. LITERATURA

- [1] Andrej Gubina, Jan Jeriha, Andrej Gubina, Tomi Medved, Benjamin Komel, esna Borožan, Petar Krstevski, Aleksandra Krkoleva, Stefan Borožan, Rubin Taleski, Catalin Chimirel, D10.1 National balancing and wholesale electricity markets structure and principles, dostupno na: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c3ad0922&appId=PPGMS> pristupljeno 15.6.2022.
- [2] Marché de l'énergie - Pr. D. Ernst Bertrand Cornélusse, Ph.D. How the European day-ahead electricity market works, March 2017, dostupno na: <https://bcornelusse.github.io/material/CoursEM20170331.pdf>, pristupljeno 14.6.2022.
- [3] CROPEX, Unutardnevno tržište električne energije, dostupno na: <https://www.cropex.hr/hr/trgovanja/opcenito.html>, pristupljeno 14.6.2022.
- [4] Meeus (2020), The Evolution of Electricity Markets in Europe
- [5] ENTSO-E, Electricity Balancing in Europe – ENTSO-E releases an overview of the European electricity balancing market and guideline, dostupno na: <https://www.entsoe.eu/news/2018/12/12/electricity-balancing-in-europe-entso-e-releases-an-overview-of-the-european-electricity-balancing-market-and-guideline/>, pristupljeno 14.6.2022.
- [6] G. Erbach, 'Understanding electricity markets in the EU', no. November, pp. 1–10, 2016.
- [7] ACER, 'Market legislation | Energy'. [Online]. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/markets-and-consumers/market-legislation>
- [8] CROSSBOW project consortium, 'Deliverable 1.1: Legislation and Regulatory Frameworks', pp. 1–75, 2018. ENTSO-E, 'Balancing and Ancillary Services Markets'. [Online]. Dostupno na: <https://docstore.entsoe.eu/about-entso-e/market/balancing-and-ancillary-services-> D10.1 National balancing and wholesale electricity markets structure and principles
- [9] H. Holttinen, J. Kiviluoma, N. Cutululis, A. Gubina, A. Keane, and F. Van Hulle, 'Ancillary services : technical specifications , system needs and costs', p. 69, 2012.
- [10] European Commission, 'Commission Regulation (EU) 2017/ 1485 - of 2 August 2017 - establishing a guideline on electricity transmission system operation', no. 2, 2017.

- [11] ENTSO-E, ‘An Overview of the European Balancing Market and Electricity Balancing Guideline’, no. November, 2018.
- [12] European Commission, ‘Commission Regulation (EU) 2017/ 2195 - of 23 November 2017 - establishing a guideline on electricity balancing’, vol. 2017, no. November, pp. 6–53, 2017.
- [13] ENTSO-E, ‘Explanatory Document to All TSOs’ proposal for the implementation framework for a European platform for the imbalance netting process in accordance with Article 22 of Commission Regulation (EU) 2017/2195 of 23 November 2017 establishing a guideline on ele’, vol. 52, no. November 2017, 2018.
- [14] Energy Community Secretariat, ‘Bringing system operation and electricity balancing guidelines in the Energy Community’, Vienna, 2018.
- [15] ENTSO-E, Voltage Market (for Distributed Energy Resources), dostupno na: <https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/voltage-market-for-distributed-energy-resources>, pristupljeno 21.6.2022.
- [16] TradeRES, D3.3 Design of ancillary service markets and products, Challenges and recommendations for EU renewable power systems, dostupno na: https://traderes.eu/wp-content/uploads/2021/07/D3.3_DesignAncillaryServiceMarketsProducts.pdf, pristupljeno 21.6.2022.
- [17] European Commission, ‘Commission Regulation (EU) 2016/1719 of 26 September 2016 D10.1 National balancing and wholesale electricity markets structure and principles 72 establishing a guideline on forward capacity allocation’, Off. J. Eur. Union, no. July, pp. 24–72, 2016.
- [18] European Commission, ‘Commission Regulation (EU) 2015/1222 of 24 July 2015 establishing a guideline on capacity allocation and congestion management’, Off. J. Eur. Union, no. July, pp. 24–72, 2015.
- [19] CROPEX, dostupno na: <https://www.cropex.hr/hr/trgovanja/opcenito.html>, pristupljeno 21.6.2022.

-
- [20] Albrecht, Uwe & Altmann, Matthias & Zerhusen, Jan & Raksha, Tetyana & Maio, Patrick & Beaudet, Alexandre & Trucco, Paola & Egenhofer, Christian & Behrens, Arno & Teusch, Jonas & Wiczorkiewicz, Julian & Genoese, Fabio & Maisonnier, Guy. (2014). The Impact of the Oil Price on EU Energy Prices. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/313791394_The_Impact_of_the_Oil_Price_on_EU_Energy_Prices, pristupljeno 21.6.2022.
- [21] European Network of Transmission System Operators for Electricity, An overview of the European balancing market and electricity balancing guideline, 2018, dostupno na: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Network%20codes%20documents/NC%20EB/entsoe_balancing_in%20_europe_report_Nov2018_web.pdf, pristupljeno 21.6.2022.
- [22] Swissgrid, International Grid Control Cooperation (IGCC), 2021, dostupno na: <https://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/operation/market/european-market/20211202-factsheet-IGCC-en.pdf>, pristupljeno 21.6.2022.
- [23] European Network of Transmission System Operators for Electricity, dostupno na: https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/picasso/, pristupljeno 21.6.2022.
- [24] European Network of Transmission System Operators for Electricity, TERRE, dostupno na: https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/terre/, pristupljeno 21.6.2022.
- [25] European Network of Transmission System Operators for Electricity, TERRE, dostupno na: https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/mari/, pristupljeno 21.6.2022.
- [26] Agathokleous, Christos & Ehnberg, Jimmy. (2020). A Quantitative Study on the Requirement for Additional Inertia in the European Power System until 2050 and the Potential Role of Wind Power †. Energies. 13. 10.3390/en13092309, dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/341207197_A_Quantitative_Study_on_the_Requirement_for_Additional_Inertia_in_the_European_Power_System_until_2050_and_the_Potential_Role_of_Wind_Power, pristupljeno 21.6.2022.