

# Pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava

---

**Smolčić, Blaženka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:478248>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**PRAVILA O URAVNOTEŽENJU  
ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA**

**Završni rad**

**Blaženka Smolčić**

**Osijek, 2021.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 13.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Blaženka Smolčić
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	4582, 24.07.2018.
<b>OIB studenta:</b>	61714826525
<b>Mentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	13.09.2021.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	22.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 25.09.2021.

**Ime i prezime studenta:**

Blaženka Smolčić

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4582, 24.07.2018.

**Turnitin podudaranje [%]:**

7

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak rada</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PREGLED LITERATURE U PODRUČJU ISTRAŽIVANJA PRAVILA O URAVNOTEŽENJU ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA</b> .....	<b>2</b>
<b>3. DEFINIRANJE USLUGE</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1. Početak tržišta električne energije u Europi</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2. Dizajn tržišta električne energije Republike Hrvatske</b> .....	<b>6</b>
<b>4. PREGLED UGOVARANJA</b> .....	<b>7</b>
<b>5. OSIGURAVANJE USLUGE URAVNOTEŽENJA U NEKIM EUROPSKIM ZEMLJAMA</b> .....	<b>9</b>
<b>5.1. Nord Pool</b> .....	<b>9</b>
<b>5.2. Europska burza energije (EEX)</b> .....	<b>12</b>
<b>6. MEHANIZMI ZA UTVRĐIVANJE ODGOVORNOSTI ZA ODSUPANJE</b> .....	<b>16</b>
<b>6.1. Obračun odstupanja</b> .....	<b>17</b>
<b>7. PRIMJER, OBRAČUN I FINACIJSKO PORAVNANJE ODSUPANJA</b> .....	<b>18</b>
<b>7.1. Sustav jedinstvene cijene (engl. <i>one-price imbalance settlement</i>)</b> .....	<b>18</b>
<b>7.2. Sustav dvojnih cijena (engl. <i>two-price imbalance settlement</i>)</b> .....	<b>20</b>
<b>8. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>22</b>
<b>9. SAŽETAK</b> .....	<b>23</b>
<b>10. ABSTRACT</b> .....	<b>24</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>25</b>
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>27</b>

# 1. UVOD

Električna energija jedinstvena je usluga koju je skoro nemoguće uskladištiti u značajnim količinama, a prijenos na velike udaljenosti je neučinkovit i skup. Upravo iz tih razloga potrebno je tržište električne energije shvatiti kao lokalizirano tržište s karakteristikama točno određenim za pojedino područje. Ukoliko sustav nije uravnotežen, stabilnost i kvaliteta električne energije će opasti što može prouzročiti nepovezanost komponenti sustava te dovesti do potpunog prestanka opskrbe električnom energijom.

U vertikalno integriranom električnom sustavu relativno je lako održavati ravnotežu sustava, ali u europskom tržištu gdje je prijenos električne energije odvojen od proizvodnje i opskrbe, zadatak postizanja ravnoteže mnogo je teži. Zbog tako specifičnog tržišta zahtjeva se od sudionika formiranje plana proizvodnje i potrošnje električne energije i od iznimne je važnosti da se svaki sudionik drži plana te, ako je u mogućnosti, pruži uslugu uravnoteženja operatoru prijenosnog sustava.

Završni rad sastoji se od osam poglavlja. Prvo poglavlje rada opisuje поблише temu, bitne dijelove i zadatak rada. U drugom poglavlju prikazan je pregled literature u području istraživanja pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava. Treće poglavlje sastoji se od definiranja usluge, pregleda početka stvaranja tržišta električne energije u Europi i dizajna tržišta Republike Hrvatske. Problematika četvrtog poglavlja je ugovaranje usluge daje pregled niza poduzeća koja sudjeluju u procesu tržišta. U petom poglavlju način osiguravanja usluge uravnoteženja orijentiran je na drugim europskim zemljama te kao prepoznatljivi predstavnici europske burze električne energije odabrani su Nord Pool grupa i Europska burza energije (EEX). Predstavljena je platforma ELBAS4 koja objedinjuje sve ponude na jednom mjestu. Šesto poglavlje daje uvid u elemente odgovornosti za stvaranje neravnoteže u sustavu. U sedmom poglavlju napravljena su tri primjera financijskog poravnavanja odstupanja. Osmo poglavlje je zaključak rada koji sažima sve prethodno navedeno.

## 1.1. Zadatak rada

U završnom radu potrebno je definirati uslugu uravnoteženje elektroenergetskog sustava te dati pregled ugovaranja i osiguravanja usluge uravnoteženja u nekim europskim zemljama. Nadalje, potrebno je navesti mehanizme za utvrđivanje odgovornosti za odstupanje te obračun odstupanja. Na primjeru, potrebno je prikazati obračun i financijsko poravnanje odstupanja.

## **2. PREGLED LITERATURE U PODRUČJU ISTRAŽIVANJA PRAVILA O URAVNOTEŽENJU ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA**

Izvori [1], [3] i [11] definiraju elektroenergetski sustav, njegove komponente te mehanizam na koji djeluje. Izvor [4] opisuje dva prisutna tržišta, način na koji oni funkcioniraju.

Izvori [2], [5] i [12] daju uvid u europsko tržište električne energije, uzrok, nastanak i povijest tržišta, prikaz današnjih sudionika tržišta električne energije. Skandinavsko tržište bilo je začetnik europske mreže, a i danas pruža usluge pri stvaranju tržišta unutar država te su na taj način pomogli pri stvaranju hrvatskog tržišta.

Izvori [16], [17], [18] i [20] daju uvid u vodeću burzu električne energije (EPEX SPOT), europsku burzu energije (EEX) koja je svjetski prisutna s mnogobrojnim partnerima, European Commodity Clearing (ECC) je središnja klirinška kuća koje djeluje unutar EEX grupe.

U pravilniku [12] detaljno je opisan način ugovaranja usluge, mehanizam za određivanje odgovornosti za odstupanje i obračun odstupanja.

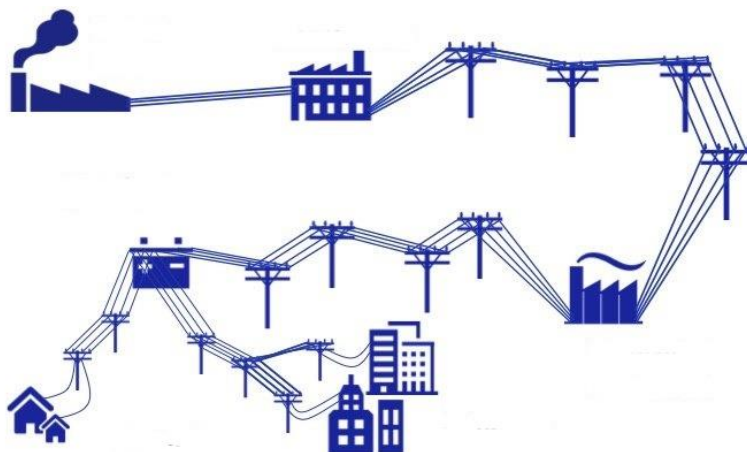
Autori u [13] daju pregled hrvatskog tržišta električne energije, nastanak i povijest tržišta, prikaz današnjih sudionika tržišta električne energije, imenuje četiri regulacijska sudionika i pobliže opisuju njihov zadatak na tržištu. Daju uvid u potrebne dozvole za obavljanje djelatnosti.

Pravilnik [9] određuje pravila i prijedloge koji pomažu pri definiranju cijena energije uravnoteženja, cijena se donosi u suglasnosti s njima.

U [7] primjećuje se problematika donošenja odgovarajućeg mehanizma kažnjavanja sudionika koji pridonose neravnoteži sustava te problem nagrađivanja sudionika koji pomognu dovesti sustav u ravnotežu.

### 3. DEFINIRANJE USLUGE

Elektroenergetski sustav počinje na mjestu gdje se električna energija proizvodi, nakon proizvodnje električne energije ona se prenosi i distribuira do korisnika. Sustav prijenosnih i distribucijskih ustanova električne energije čini elektroenergetski sustav. Električna energija prijenosi se pri visokom naponu zbog smanjena gubitaka, a kada stigne do potrošača pomoću transformatora se transformira na niži napon koji se distribuira kućanstvima i većim potrošačima. Prilikom korištenja električne energije ukupna količina energije koju potrošači potroše je upravo ona količina energije koju su sudionici sustava obvezni dostaviti prema dogovoru. Tijekom dana postoje periodi kada je sustav više ili manje opterećen zbog toga izuzetno je složen proces uravnoteženja, kada i u kojem trenutku pružiti točnu količinu električne energije potrebne potrošačima. Operatori prijenosnog sustava primjenjuju sofisticirane mehanizme za snižavanje ili povećavanje proizvodnju električne energije kako bi uskladili stvarnu situaciju potrebama potrošača.



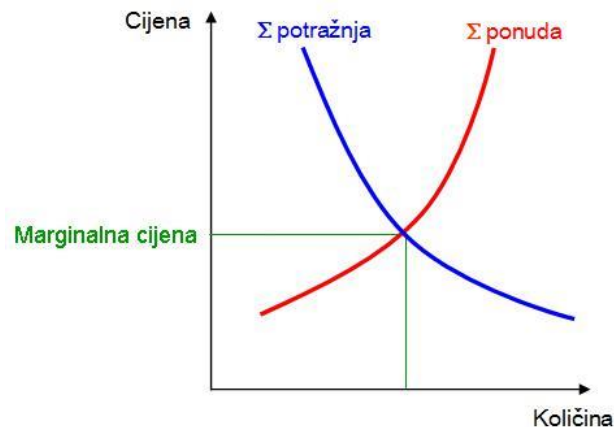
**Slika 3.1.** *Prikaz elektroenergetskog sustava* [10]

Od iznimne je važnosti razlikovati dva načina kojima se može trgovati električna energija. Prvi način je putem bilateralnih ugovora gdje proizvođač i potrošač izravno pregovaraju i dogovaraju cijenu električne energije. Druga opcija je trgovanje na organiziranim trgovinskim aplikacijama.

Dan unaprijed tržište temelj je trgovine električnom energijom, električna energija je prodana dan prije isporuke kupcu. Iznimna važnost ovakvog tržišta proizlazi iz pomnog planiranja predviđene potražnje uz sve ostale gubitke. Cijena se određuje prema pravilu jedinstvene cijene prema [4] „cijena se određuje temeljem svih naloga za kupnju i prodaju zaprimljenih od strane članova burze i to na način da se na temelju njih za svaki sat trgovanja formira sumarna krivulja ponude i sumarna



krivulja potražnje. Sjecište tih krivulja predstavlja tržišnu cijenu te u svakom satu trgovanja članovi burze čiji su nalozi prihvaćeni trguju električnom energijom po istoj jedinstvenoj cijeni.“



**Slika 3.2.** Način određivanja tržišne cijene [14]

Unutardnevno tržište električne energije izvršava prodaju električne energije samog dana isporuke. Ovakvo tržište nadopunjuje dan unaprijed tržište i zatvara rupu koja se stvara između vremena zatvaranja dan unaprijed tržišta i vremena isporuke, a prilikom koje može doći do nepredvidljivih događaja koji uzrokuju neravnotežu same elektroenergetske mreže. Koristeći trgovinsku aplikaciju unutardnevnog tržišta sami sudionici mogu smanjiti razlike između ugovora donesenih dan unaprijed i stvarnog volumena proizvodnje/potrošnje električne energije.

Dizajn samog tržišta uravnoteženja električne energije je složen, sastoji se od financijskih transakcija i fizičke razmijene. Organizacija tržišta električne energije u Europi zadatak je imenovanog operatora tržišta električne energije (NEMO), a održavanje konstantne ravnoteže između proizvodnje električne energije i njene potrošnje je zadatak operatora prijenosnog sustava. Operator prijenosnog sustava održava ravnotežu elektroenergetskog sustava u stvarnom vremenu aktivirajući rezerve. U Hrvatskoj tu ulogu preuzima Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS).

Tržište uravnoteženja definira se kao institucijski dogovor koji uspostavlja uravnoteženje samog tržišta. Tržište se sastoji od nabavljanja rezervi i financijskih nagodbi zbog neravnoteže elektroenergetskog sustava. Nabavljanje rezervi je priskrblijvanje određene količine rezervi unaprijed koje se u budućnosti mogu koristiti, ukoliko postoji potreba, za uravnoteženje sustava. Financijske nagodbe su procesi penalizacije svakog sudionika tržišta koji je prouzročio neravnotežu sustava i procesi financijskih potpora svim sudionicima tržišta koji su potpomogli sustavu pri postizanje ravnoteže. Tržište uravnoteženja sastoji se od tri dijela. Sustav utvrđivanja

odgovornosti odstupanja, kontrole uravnoteženja i obračun odstupanja. Kontrola uravnoteženja opskrbljuje tržište energijom potrebnom za postizanje ravnoteže. Energija se priskrbi od bilo kojih sudionika tržišta, dok odgovornost za odstupanje i obračun odstupanja utječu samo na one sudionike koji su prouzročili neravnotežu.

Prema [11] „Zbog osiguravanja pogonske sigurnosti iznimno je važno da operator prijenosnog sustava uravnotežuje sustav. Operator prijenosnog sustava to čini na sljedeće načine:

- aktivacijom (kupoprodajom) energije od pružatelja usluge uravnoteženja kroz ugovorenu rezervu snage
- aktivacijom (kupoprodajom) energije od pružatelja usluge uravnoteženja na temelju dobrovoljnih ponuda za energiju uravnoteženja
- kupoprodajom od drugih operatora prijenosnog sustava
- kupoprodajom električne energije na tržišnim načelima od tržišnih sudionika na tržištu električne energije koji s operatorom prijenosnog sustava imaju potpisan Ugovor o kupoprodaji električne energije za uravnoteženje sustava i na burzi električne energije.“

Postoje tri moguće situacije u kojima se sustav može pronaći. Ukoliko je ponuda veća od potražnje radi se o pozitivnoj neravnoteži koja se regulira na način prema dolje (*eng. downward regulation*). Situacija kada je ponuda manja od potražnje naziva se negativna neravnoteža koja se regulira na način prema gore (*eng. upward regulation*). Treći scenarij je kada ponuda i potražnja, unatoč odstupanjima u rasporedu koja smo uspjeli regulirati, su približno jednake i nema potrebe za regulacijom.

### **3.1. Početak tržišta električne energije u Europi**

Prije nekoliko desetljeća cjelokupni sektor električne energije Europe bio je organiziran kao državno vlasništvo i kontroliran kao monopol. Svaka država je imala jednu ili više vertikalno integriranih tvrtki koje su bile odgovorne za proizvodnju, prijenos, distribuciju i opskrbu električne energije. 1996. godine Europska Unija postepeno otvara sektor električne energije konkurenciji stvarajući prvu direktivu o električnoj energiji (1996/92/EC). Sastav direktive bila su zajednička pravila za unutarnja tržišta električne energije. Popraćena je s dvije direktive vezane za električnu energiju u 2003. i 2009. godini. Druga direktiva (2003/54/EC) uspostavlja pravila odvajanja tvrtki odgovornih za mrežu (operator prijenosnog sustava i operator distribucijskog sustava) i konkurentnih tržišnih tvrtki. Direktiva također predstavlja uvjete za prekogranično trgovanje električnom energijom. Trećom direktivom (2009/72/EC) ustanovljena je Agencija za suradnju

energetskih regulatora (ACER). Njen primarni zadatak je koordinacija rada državnih regulatora energije unutar Europske Unije i rad prema jedinstvenom tržištu električne energije i prirodnog plina unutar Europske Unije. Uzevši u obzir zaduženja ACER-a i njenu suradnju s Europskom mrežom operatera prijenosnih sustava za električnu energiju (ENTSO-E) ona je imala vitalnu ulogu ka stvaranju pravila za jedinstvenu mrežu i tržišta električne energije diljem Europe. Glavni cilj direktiva bilo je stvaranje konkurentnog unutareuropskog tržišta električne energije.

### **3.2. Dizajn tržišta električne energije Republike Hrvatske**

Liberalizacija hrvatskoga električnog sektora započinje 19. srpnja 2001. godine donošenjem zakona o energiji. Ovim zakonom postavlja se legalizirani okvir koji je bio potreban za stvaranje više slobode dobavljačima i potrošačima prilikom prodaje i nabavke električne energije. Zakon je poslužio i kao temelj za stvaranje tržišta koje se fokusira na učinkovitost i pouzdanost. Glavni entiteti hrvatskog energetskog sektora jesu Hrvatska elektroprivreda (HEP) i Industrija nafte (INA), odgovorni za proizvodnju, distribuciju i opskrbu električnom energijom, naftom i plinom, započeli su restrukturiranje tržišta s ciljem prilagođavanja liberaliziranom europskom tržištu.

Svi današnji sudionici hrvatskog tržišta električne energije su imenovani u skladu s današnjim direktivama. Dodatno, parametri tržišta su definirani uspoređujući parametre već dobro uhodanih tržišta električne energije poput Nord Pool-a. Sudionici hrvatskog tržišta mogu biti podijeljeni na one koji trguju električnom energijom poštivajući principe tržišta (konkurentni sudionici) i na one sudionike koji su odgovorni za organizaciju tržišta i održavanje mreže. Konkurentni sudionici su proizvođači, trgovci i dobavljači.

## 4. PREGLED UGOVARANJA

Svaki član elektroenergetskog tržišta mora posjedovati dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti. Dozvolu izdaje Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA). Iz pravilnika [8] „Agencija može dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti izdati pravnoj ili fizičkoj osobi koja je registrirana za obavljanje energetske djelatnosti u Republici Hrvatskoj i koja ispunjava uvjete tehničke kvalificiranosti, stručne osposobljenosti i financijske kvalificiranosti propisane ovim Pravilnikom, te ako ne postoje zapreke propisane člankom 17. stavkom 1. točkom 5. i 6. Zakona o energiji.“

Između svih sudionika tržišta električne energije izdvajaju se četiri regulacijska sudionika koja su:

- Hrvatski operator tržišta energije (HROTE)
- Hrvatska burza električne energije (CROPEX)
- Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS)
- Hrvatska elektroprivreda-operator distribucijskog sustava (HEP-DSO)

Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) odgovoran je za održavanje kontinuirane ravnoteže između ponude i potražnje električne energije, no prije stvarne dostave odgovornost se prenosi na bilančne skupine (*eng. Balancing Groups-BG*). Cilj i odgovornost bilančne skupina je stvaranje uravnoteženog portfelja. Bilančne skupine mogu predstavljati određen broj proizvođača, dobavljača i potrošača koji su samostalni ili u grupama.

Dan unaprijed tržište električne energije u Hrvatskoj je organizirano na temeljima bilančnih skupina te postoji nekoliko tipova bilančnih skupina:

- Skupina za uravnoteženje tržišta
- Skupina za burzu električne energije
- EKO bilančna skupina
- Skupina operatora prijenosnog sustava
- Skupina operatora distribucijskog sustava

Sudionik tržišta električne energije mora biti član određene bilančne skupine. Svaka bilančna skupina ima svog voditelja bilančne skupine koji je odgovoran za ravnotežu cijele skupine. Sudionik koji se želi pridružiti određenoj bilančnoj skupini obvezan je potpisati članski ugovor s voditeljem skupine. Također svi sudionici tržišta električne energije moraju potpisati dogovor o sudjelovanju na tržištu električne energije s Hrvatskim operatorom tržišta energije (HROTE).

Hrvatska burza električne energije (CROPEX) jedini je član i ujedno voditelj bilančne skupine za burzu električne energije. Svi sudionici tržišta koji žele sudjelovati na hrvatskoj burzi električne energije moraju potpisati članski ugovor s CROPEX-om. Prije potpisivanja članskog ugovora sudionici moraju imati valjanu dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti koju je izdala HERA, ugovor o odgovornosti za odstupanje s HOPS-om i ugovor o sudjelovanju na tržištu električne energije s HROTE-om.

HOPS i Hrvatska elektroprivreda-operator distribucijskog sustava (HEP-DSO) jedini su članovi i voditelji vlastitih bilančnih skupina. Oba moraju imati svoje bilančne skupine jer samostalno pribavljaju električnu energiju kako bi pokrili gubitke u mreži, a energiju uravnoteženja samo HOPS.

Trenutno HROTE prodaje električnu energiju dobavljačima proporcionalno njihovom tržišnom udjelom po unaprijed reguliranoj cijeni. Kao voditelj i član EKO bilančne skupine, HROTE je odgovoran za predviđanje proizvodnje i neravnoteže. HROTE plaća financijsko poravnanje neravnoteže HOPS-u svakog sata.

Prilikom zatvaranja dan unaprijed tržišta električne energije bilančne skupine predaju prijedlog HROTE-u koji prihvaća njihov plan. HROTE prosljeđuje prijedlog HOPS-u koji provjerava izvodljivost prijedloga u skladu s ostalim sudionicima mreže.

Prema [11] uslugu uravnoteženja mogu pružati „Svi pojedinačni korisnici mreže i agregatori, koji su s operatorom prijenosnog sustava sklopili Ugovor o pružanju usluga uravnoteženja, definiraju se kao pružatelji usluga uravnoteženja i podnose ponude operatoru prijenosnog sustava za rezervu snage u ugovornom razdoblju“. Nakon toga mora se dokazati tehnička osposobljenost korisnika mreže pretkvalifikacijskim postupkom koji je propisan [15]. Periodički (mjesečno, tjedno, dnevno, unutarдневно) nabavljaju se usluge uravnoteženja putem javnog nametanja.

## **5. OSIGURAVANJE USLUGE URAVNOTEŽENJA U NEKIM EUROPSKIM ZEMLJAMA**

Dan prije tržište električne energije orijentirano je prema aukcijskim mehanizmima, unutarodnevno tržište bazira se na bilateralnim ugovorima putem centralne aplikacije. To znači da kupci ili prodavači električne energije mogu u bilo kojem vremenu dati ponudu za kupnju ili prodaju. Takav oblik poslovanja može se odvijati u vremenu najranije 33 sata prije roka dostave ili najkasnije jedan sat prije.

Aplikacija koja prati razmjenu ponuda iznimno je važna jer ukoliko je potrebno poduzeti korekcijske mjere vezane za kupnju ili prodaju električne energije jasno je vidljivo u kojem trenutku je došlo do neravnoteže.

### **5.1. Nord Pool**

Nord Pool omogućava učinkovitu, jednostavnu i sigurnu trgovinu električnom energijom na području Europe. Tvrtka pruža usluge dan prije i unutarodnevno trgovanje električnom energijom, poravnanja i nagodbe, transparentnost podataka sustava, tržišta električne energije i usluge distribucije, trgovanja električnom energijom, konzultacijske usluge, svojim mnogobrojnim sudionicima i dioničarima bez obzira na njihovu veličinu ili geografski položaj. Nord Pool upravlja dan prije i unutarodnevnim tržištima električne energije u skandinavskim i baltičkim zemljama, Ujedinjenom Kraljevstvu i diljem srednje i zapadne Europe obuhvaćajući Austriju, Belgiju, Francusku, Njemačku, Nizozemsku, Luksemburg i unutarodnevno tržište u Poljskoj. Danas oko 360 tvrtki iz 20 država djeluje na Nord Pool tržištu.

Tvrtka je osnovana, kao neovisna tvrtka, 1993. godine pod imenom Statnett Marked ukupni promet električne energije tijekom prve godine poslovanja iznosi je 18.4 TWh, a vrijednost mu je bila 1.55 milijardi norveških kruna. 1995. godine nacrt ugovora skandinavskog tržišta električne energije predstavljen je norveškom parlamentu zajedno s dozvolom za prekogranično trgovanje ovo čini temelj trgovine Nord Pool Spot-a. 1999. godine ELBAS je krenuo s radom kao izdvojeno tržište električne energije uravnoteženja u Finskoj i Švedskoj. 2000. godine skandinavsko tržište postaje potpuno uključivanjem Danske. 2004. godine istočna Danska se pridružuje ELBAS tržištu. 2006. Nord Pool Spot lansira ELBAS u Njemačkoj. 2007. godine zapadna Danska se uključuje u ELBAS. 2009. godine se Norveška pridružuje u ELBAS unutarodnevno tržište. 2010. godine Nord Pool Spot sudjeluje u stvaranju britanskog tržišta. Otvara urede za licitiranje u Estoniji i donosi

tehnička rješenja za tržište Litve. 2011. godine ELBAS je ovlašten za unutardnevna tržišta Nizozemske i Belgije. 2012. otvaraju urede za licitiranje u Litvi. 2013. godine Elspot otvara urede za licitiranje u Latviji. ELBAS unutardnevno tržište je predstavljeno i u Litvi i Latviji. 2014. godine Nord Pool Spot preuzima potpuno vlasništvo britanskog tržišta. Sjeveroistočno europsko tržište električne energije povezano je projektom Price Coupling of Regions. Nord Pool Spot predstavlja novu uslugu konzultacija. 2015. godine Nord Pool Spot predstavlja dan prije i unutardnevnu mrežu. Nord Pool Spot imenovan je operatorom tržišta električne energije u 10 europskih tržišta. 2016. doživljava rebranding i preimenuje se u Nord Pool. Nord Pool zajedno s IBEX (Independent Bulgarian Energy Exchange) stvara bugarsko tržište električne energije, a zajedno s Cropex (Croatian Power Exchange) stvara hrvatsko tržište električne energije. 2017. godine novi sustav poravnavanja i nagodbi je lansiran kako bi pojednostavio aktivnosti sudionika diljem Europe. Nord Pool imenovan je operator tržišta električne energije u Irskoj. 2018. godine uspješno je oživilo europsko prekogranično unutardnevno rješenje koje nudi veće tržišne prilike unutar 12 geografskih tržišta. 2019. godine Nord Pool je prvi koji nudi dan prije tržište diljem Europe lansiranjem dan unaprijed tržišta za srednju i istočnu Europu. Paneuropsko tržište djeluje u 21 državi, a u studenom su se priključile još njih sedam: Bugarska, Hrvatska, Češka Republika, Mađarska, Poljska, Rumunjska i Slovenija. Novi vlasnik preuzima Nord Pool. Euronext sa 66% dionica i glasačkim pravom većinski je vlasnik Nord Pool-a.

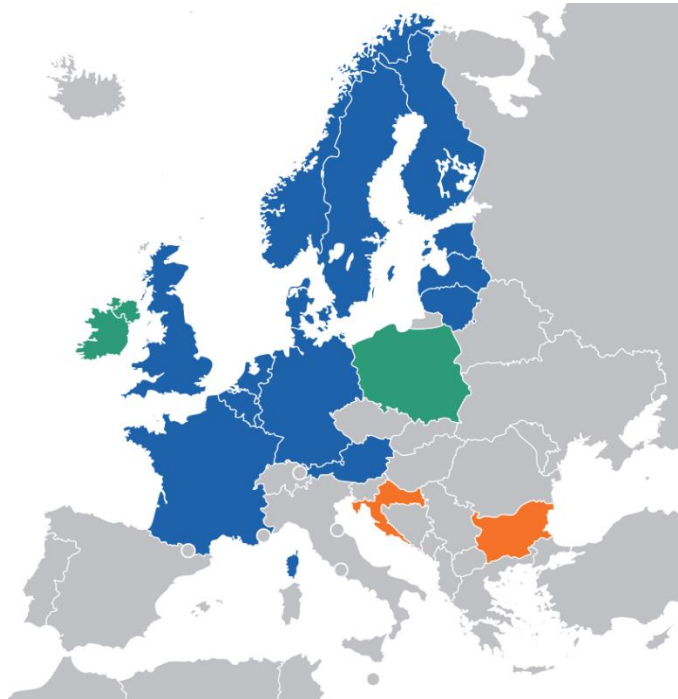
25 godina iskustva tržišta električne energije, izgrađeno na ponudi fleksibilnosti, transparentnosti, inovacije, većeg izbora i sudjelovanja sudionika, učinilo je Nord Pool predvodnikom razvoja modernog, transparentnog tržišta električne energije diljem Europe i svijeta putem svojih globalnih konzultacijskih usluga. Kako bi postigli razumijevanje zahtjeva koji se dnevno stavljaju pred sudionike, Nord Pool ulaže u tehnologije koje će oblikovati budućnost trgovanja električnom energijom. Tvrtka konstantno radi u suradnji sa sudionicima, operatorima prijenosnog sustava i dioničarima kako bi ponudila proizvod koji zadovoljava današnje standarde i usluge koje se usklađuju s njihovim potrebama. Nord Pool imenovan je operator tržišta električne energije u 15 europskih zemalja, ali pruža usluge tržišnim operaterima električne energije u drugim europskim zemljama među njima Hrvatskoj i Bugarskoj.

Novim regulacijama Europske Unije otvorio se veći prostor trgovanja električnom energijom i s time ujedno već konkurencija, no Nord Pool se postavio u samo srce budućnosti razvoja europskog tržišta električne energije rezultat toga je uloga Nord Pool-a kao ključnog igrača u projektima europskog tržišta. Tvrtka ima urede u Oslu, Stockholmu, Helsinkiju, Talinu, Londonu i Berlinu.

Euronext je većinski vlasnik Nord Pool-a udjelom od 66%, a ostalih 34% je u vlasništvu operatora prijenosnih sustava Statnett SF, Svenska Kraftnät, Fingrid Oyj, Energinet.dk i Litgrid.

2019. godine Nord Pool imao je ukupni promet električne energije u iznosu od 494 TWh.

U svjetskom pogledu Nord Pool nudi raznoliku paletu usluga koje uključuju usluge vezane za dizajn tržišta, razvoj pravilnika i regulacije tržišta, uslugu gradnje tržišta i njegovog kapaciteta te održavanje seminara koji su bazirani na njihovom poznavanju razvoja tržišta električne energije.



**Slika 5.1.** Zemlje članice Nord Pool-a [2]

Electricity Balance Adjustment System (ELBAS) aplikacija je koja djeluje u skandinavskim zemljama kojoj je glavni cilj unutarnje i prekogranično trgovanje električne energije. Vrijeme zatvaranja trgovine različito je u pojedinim zemljama članicama tako na primjer u Norveškoj je dva sata prije dostave električne energije, sat vremena prije u Danskoj, Švedskoj, Finskoj i Estoniji. U Njemačkoj 30 minuta prije, a u Belgiji i Nizozemskoj samo 5 minuta prije.

ELBAS funkcionira na način da se unutar aplikacije nalaze ponude prodaje ili potražnje električne energije. Svaki put kada se dvije ponude prodaje i potražnje upare one se brišu, a nove ponude su jasno istaknute korisnicima.

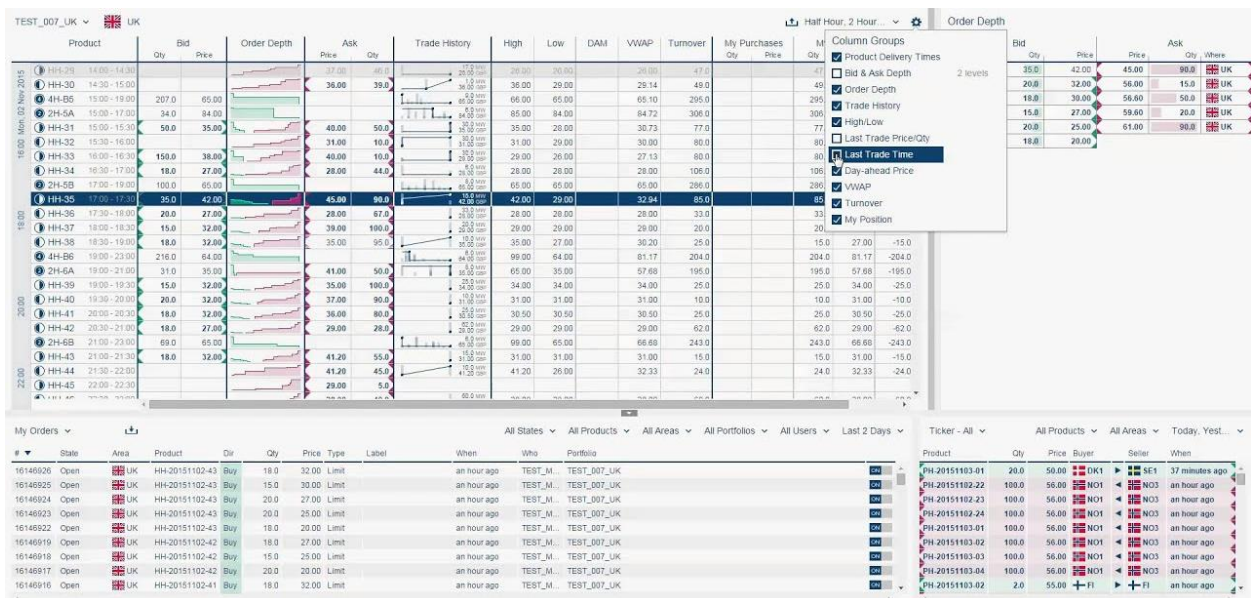
Teško je predvidjeti stvarne neravnoteže u sustavu koje su uzrokovane vanjskim faktorima, na primjer, prilikom proizvodnje električne energije putem vjetroelektrana može se jedino osloniti na



vremensku prognozu i na temelju toga dati plan proizvodnje. Odluke koje je potrebno donijeti prilikom trgovanja jedinicama energije su vrlo kompleksne.

Plan za budućnost je umrežavanje cijele Europe kako bi ovaj mehanizam ponude i potražnje imao veći volumen, fleksibilnost i jednostavnost u pogledu spajanja ponuda te bio automatiziran.

Baziran na povratnim informacijama sudionika i koristeći se posljednjom tehnologijom ELBAS4 je potpuno novi unutardnevni sustav, koji omogućava trgovanje među nekoliko tržišta, kombinirajući odlične opcije prilagođavanja, vrhunsku funkcionalnost, jednostavnost i brzinu. ELBAS4 predstavljen je u 10 europskih zemalja: skandinavske i baltičke zemlje, Njemačka, Belgija i Nizozemska. S ELBAS4 oboje 15 minuta prije i 30 minuta prije inicijativno su predstavljeni samo za njemačko tržište.



Slika 5.2. Izgled aplikacije ELBAS4 [11]

## 5.2. Europska burza energije (EEX)

Europska burza energije (EEX) vodeće je tržište energije koje stvara, posluje i povezuje zaštićena, tekuća i transparentna tržišta energije i srodnih proizvoda poput električne energije, prirodnog plina, emisijskih jedinica CO<sub>2</sub>, ugljena i poljoprivrednih proizvoda na svjetskoj razini. EEX pruža pristup mreži s više od 750 trgovinskih partnera u cijelom svijetu. EEX grupa ima urede u 17 lokacija diljem svijeta, a dio je Deutsche Börse Group. Države u kojima EEX posluje su: Ujedinjeni Arapski Emirati, Austrija, Belgija, Bugarska, Švicarska, Češka, Njemačka, Danska, Španjolska, Finska, Francuska, Grčka, Hrvatska, Mađarska, Irska, Italija, Kajmanski otoci,

Lihtenštajn, Luksemburg, Malta, Nizozemska, Norveška, Poljska, Portugal, Rumunjska, Švedska, Singapur, Slovenija, Sovačka, Turska, Ujedinjeno Kraljevstvo i Sjedinjene Američke Države. Naknadno uravnoteženje i pokriće svih trgovinskih transakcija pruža European Commodity Clearing (ECC).

Stvaranje EEX-a započinje 2002. godine spajanjem Leipzig burze električne energije (LPX) i EEX u EEX sa sjedištem u gradu Leipzig, Njemačka. 2006. godine EEX otvara podružnicu ECC. 2008. godine suradnjom EEX i francuskom tvrtkom Powernext-a nastaje Europska burza električne energije (EPEX SPOT) sa sjedištem u Parizu. 2013. godine ponovnom suradnjom EEX i Powernext-a stvara se promptno tržište plina Pan-European Gas Cooperation (PEGAS). 2014. godine EEX stječe većinski udio u Cleartrade Exchange (CLTX). 2016. godine tvrtka Gaspoint Nordic koja čini dansko tržište plina pridružuje se PEGAS platformi. Danski operator prijenosnog sustava električne energije i plina Energinet.dk prodaje 50% dionica tvrtki Powernext, suradniku koji upravlja PEGAS platformom unutar EEX grupe, te postaje punopravni član EEX grupe. Burza električne energije središnje Europe (PEX) sa sjedištem u Pragu, a okuplja tržišta električne energije Češke, Slovačke, Poljske, Mađarske i Rumunjske postaje član EEX grupe. 2017. godine EEX u potpunosti preuzima vlasništvo nad američkom tvrtkom Nodal Exchange Holdings, LLC. 2018. godine predstavljanje EEX Asia azijsko tržište EEX grupe. 2019. godine EEX preuzima usluge koje pruža Nasdaq Futures (NFX) u svrhu proširenja na američkom energetsom tržištu. Stvaraju prisutnost na američkom tržištu električne energije, prirodnog plina, sirove nafte, željeznih ruda. 1.1. 2020. godine EEX uspješno je integrirao Powernext-a i Gaspoint Nordic. 18.5.2020. EEX postaje dijelom japanskog energetsog tržišta uspješnim predstavljanjem svoje nove ponude sustava poravnanja.

S udjelom od 51% EEX grupa je većinski vlasnik EPEX SPOT-a. EPEX SPOT upravlja kratkoročnim organiziranim tržištima električne energije s 24/7 tržišnom operativnom uslugom. Tržišta na kojima djeluje su: Austrija, Belgija, Francuska, Njemačka, Ujedinjeno Kraljevstvo, Nizozemska, Švicarska, Danska, Finska, Norveška, Švedska i Poljska.

2020. godine je zajednica više od 300 tvrtki na platformi EPEX SPOT imala ukupni promet u iznosu od 615 TWh električne energije što predstavlja 30% ukupne europske potrošnje električne energije.

Usluge koje platforma EPEX SPOT nudi jesu dan unaprijed tržište s fizičkim ostvarenjem, unutarodnevno trgovanje, tržišta nakon i tržište lokalno fleksibilnih proizvoda. EPEX SPOT želi postići je povećanje inovativnosti i pružanje stvarne paneuropske ponude diljem trgovačkog lanca

vrijednosti. Ono što EPEX SPOT čini atraktivnom je inovativnost gdje svaki proizvod je pomno razvijen u suradnji sa sudionicima tržišta, EPEX SPOT pruža uslugu pomoći 24/7 kako bi pomogli postigli najveće performanse i potpuno iskustvo tržišta sudionicima. Od iznimne važnosti je sigurnost tržišta EPEX SPOT pobrinio se da se sa svakim korakom procesa sudionik osjeća sigurnost, počevši s ključnim sigurnosnim postavkama i otkazivanja trgovine unutar aplikacije do početnih analiza rizika provedenih u suradnji s ECC.

ECC je središnja klirinška kuća koje je specijalizirana za energiju i robne proizvode. ECC pretpostavlja rizik koji protustranka prihvaća i jamči fizička i financijska pokrića transakcija, pružajući sigurnost i povećanje zarade za svoje korisnike. Ako jedna strana u dogovoru odustane od razmjene, ECC će pokriti troškove drugoj strani. Kao dio EEX grupe ECC svoje usluge pruža EEX, EEX Asia i europskoj burzi električne energije (EPEX SPOT) te partnerima mađarska burza energije (HUPX), mađarska burza derivata energije (HUDEX), norveški regulator tržišta usluga (NOREXECO), burza električne energije Jugoistočne Europe (SEEPEX) i burza električne energije Sjeverne Irske i Irske (SEMOPX). Za većinu ECC transakcija tržišta uravnoteženja i transakcije derivatima koje su fizički uređene i dostavljene odgovorna je ECC-ova podružnica European Commodity Clearing Luxembourg S.à.r.l. (ECC Lux). Podružnica ECC Lux osnovana je 2009. godine i automatski postaje dodatni partner EEX grupe.

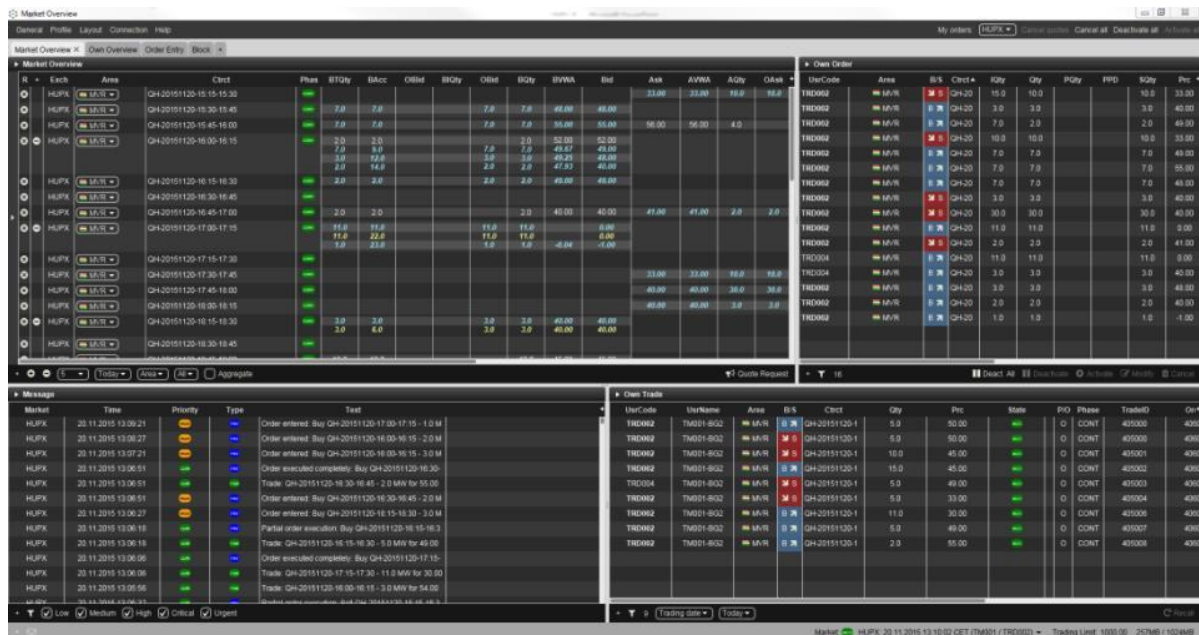
Kao dodatno osiguranje sigurnosti je anonimnost svih sudionika koji međusobno razmjenjuju usluge u aplikaciji ovaj način osigurava nediskriminirajuću okolinu i jednak odnos prema svim aukcijama. EEX grupa nudi transparentnost cijena koje su sve javno dostupne i služe kao prepoznate referentne cijene ostalim tržištima.

EPEX SPOT upravlja dnevnim dan unaprijed aukcijama koje su dio udruženog europskog tržišta. Cijene unutar tržišta određene su Phelix metodom. Metoda koristi fizički indeks električne energije *eng. The Physical Electricity Index* koji se odnosi na indeks cijene osnovnog i vršnog opterećenja, a svakodnevno je objavljen na tržištima električne energije Austrije i Njemačke. EPEX SPOT je stvorio Phelix. Članovi udruženog europskog tržišta električne energije su: Austrija, Belgija, Francuska, Njemačka, Luksemburg, Nizozemska, Danska, Finska, Norveška, Švedska i Poljska. Lokalna aukcijska tržišta su Švicarska i Ujedinjeno Kraljevstvo. 24-satni ugovori dostupni za aukciju odgovaraju planu proizvodnje/potrošnje za 24 sata narednog dana. Ugovori se mogu razmjenivati u jedinicama jednog sata ili bloka sačinjenog od više sati.

Unutardnevno tržište pokriva gotovo čitavu Europu. Unutardnevno tržište služi za dostavu manjka i prodaju viška električne energije blizu roka isporuke, ispunjavanju rupa u pogrešnoj procjeni ili

nepredvidljivim događajima, umjesto događaja unutar jednog sata gledaju se događaji unutar 30 ili 15 minuta. Omogućuje prekograničnu arbitražu i trgovinu električne energije. Trgovina se obavlja kontinuirano 7 dana u tjednu, svaki dan 24 sata i kroz cijelu godinu putem trgovinske aplikacije M7 Trading.

Tržište nakon je novi proizvod u dijelu kontinuirane trgovine električnom energijom gdje je sudionik tržišta u mogućnosti promijeniti fizički položaj nakon vremenskog roka kada su dostupne sve informacije i količina proizvodnje/potrošnje. Ovo tržište se može implementirati u obračune za neravnotežu smanjujući trošak financijskog poravnjanja. Proizvod je dostupan na M7 Trading trgovinskoj aplikaciji gdje je omogućeno trgovanje na unutardnevnom i nakon tržištu putem jednog zaslona.



Slika 5.3. Izgled aplikacije M7 Trading [19]

## 6. MEHANIZMI ZA UTVRĐIVANJE ODGOVORNOSTI ZA ODSUPANJE

Sustav utvrđivanja odgovornosti odstupanja zahtijeva od svih sudionika koji su odgovorni za uravnoteženje obvezno isporučivanje plan isporuke energije u vremenskom roku dan prije same dostave. Tokom obračuna odstupanja svi sudionici koji imaju odstupanja od plana su penalizirani. Upravo iz ovih razloga ove dvije komponente usko su povezane i čine srž tržišta za uravnoteženje elektroenergetskog sustava

Proizvodnja, potrošnja i prodaja moraju biti dodijeljene sudionicima odgovornim za uravnoteženje sustava koji sklapaju ugovore s pružateljima usluge uravnoteženja kako bi se postigla odgovarajuća razina odgovornosti prilikom prethodno navedenih aktivnosti. Uslijed ugovaranja odgovornosti za uravnoteženje sustava podrazumijeva se da će postojati financijske posljedice ukoliko dođe do neravnoteže.

Voditelj bilančne grupe odgovoran je za neravnotežu koju je njegova skupina prouzročila u obračunskom intervalu. HOPS osigurava energiju za uravnoteženje i izdaje mjesečne fakture za odstupanje voditeljima bilančnih skupina utemeljene na izračunima neravnoteže provedenima od strane HROTE-a. U slučaju da određena bilančna skupina ima negativno odstupanje tijekom obračunskog razdoblja HOPS izdaje fakturu voditelju bilančne skupine, suprotno ukoliko bilančna skupina ima pozitivno odstupanje tijekom obračunskog razdoblja voditelj bilančne skupine izdaje fakturu HOPS-u. Izračun energije uravnoteženja obavlja se u skladu s pravilima o uravnoteženju elektroenergetskog sustava, a cijena energije uravnoteženja donosi se u suglasnosti s pravilima i prijedlozima definiranim u [9].

U postupaku uravnoteženja primjenjuju se mehanizmi koji potiču sudionike odgovorne za uravnoteženje na promijenu obrazaca svog ponašanja koji utječu na njihovu izvedbu na tržištu električne energije. Dio od izuzetne važnosti je sustav cijena. Ukoliko su upravo oni odgovorni za neravnotežu u sustavu, penalizirani su i imaju trošak, ali ako oni potpomognu sustav kako bi se postigla ponovna ravnoteža pri tome si stvaraju dodatnu zaradu. Ovakvim mehanizmom sudionik će u jednom dijelu izgubiti, ali u drugom dobiti tako da sveukupno ovakav način nema puno učinka. Ovaj postupak ne potiče pozitivnu promjenu ponašanja sudionika. Logični slijed događaja je povećati iznos za uzrokovanje neravnoteže, no to neće dovesti do točnijih predviđanja potrošnje i proizvodnje električne energije već do toga da će sudionici u plan staviti veću proizvodnju nego je ona stvarna kako bi izbjegli mogućnost manjka energije i bili više kažnjeni. Ovakvim scenarijem

se uviđa kompleksnost problema uravnoteženja elektroenergetskog sustava i mehanizma utvrđivanja odgovornosti.

## 6.1. Obračun odstupanja

U svakom obračunskom intervalu energija odstupanja sustava određuje se prema sljedećem izrazu:

$$E_{Odstupanje,i} = E_{Planirano,i} - E_{Ostvareno,i} \quad (6.1)$$

gdje je:

$E_{Odstupanje,i}$  [MWh] – količina energije koja predstavlja razliku između planirane i ostvarene razmjene energije u obračunskom intervalu „i“

$E_{Planirano,i}$  [MWh] – ukupna količina energije planirane razmjene energije u obračunskom intervalu „i“. Predznak joj je negativan kada se uvozi u sustav.

$E_{Ostvareno,i}$  [MWh] – ukupna količina energije ostvarena razmjenom energije u obračunskom intervalu „i“. Predznak joj je negativan kada se uvozi u sustav.

Ukupno angažirana energija za uravnoteženje sustava u obračunskom intervalu „i“ određuje se prema izrazu:

$$E_{URukp,i} = |E_{URukp+,i}| - |E_{URukp-,i}| \quad (6.2)$$

gdje je:

$|E_{URukp+,i}|$  [MWh] – ukupna količina pozitivne energije za uravnoteženje u obračunskom intervalu „i“.

$|E_{URukp-,i}|$  [MWh] – ukupna količina negativne energije za uravnoteženje u obračunskom intervalu „i“.

Prema [1] “ Energija za uravnoteženje isključivo sadrži energiju namijenjenu za uravnoteženje sustava koja može biti energija za uravnoteženje iz aktivacije aFRR rezerve snage, mFRR rezerve snage, električne energije osigurane na tržištu električne energije, energije za uravnoteženje sustava osigurane s drugim operatorima prijenosnog sustava. aFRR je rezerva snage za ponovnu uspostavu frekvencije s automatskom aktivacijom. mFRR je rezerva snage za ponovnu uspostavu frekvencije s ručnom aktivacijom. Usluge uravnoteženja definiraju se, nabavljaju i aktiviraju zasebno za pozitivni i negativni smjer aktivacije. „

## 7. PRIMJER, OBRAČUN I FINANCIJSKO PORAVNANJE ODSUPANJA

### 7.1. Sustav jedinstvene cijene (engl. *one-price imbalance settlement*)

Osnovne karakteristike ovog slučaja jesu:

- $\Delta P > 0$ ,  $\lambda^B > \lambda^S$ ; prilikom slučaja regulacije prema gore sve unaprijed određene prodajne cijene jedinica energije su veće od cijene jedinica energije koje se koriste za postizanje ravnoteže sustava
- $\Delta P \sim 0$ ,  $\lambda^B = \lambda^S$ ; sustav je u ravnoteži
- $\Delta P < 0$ ,  $\lambda^B < \lambda^S$ ; regulacija sustava prema dolje, sve unaprijed određene prodajne cijene jedinica energije su manje od cijene jedinica energije koje se koriste za postizanje ravnoteže sustava.

$\lambda^S$  cijena je za sve situacije prilikom trgovanja energijom, a  $\lambda^B$  je cijena jedinice energije koja je potrebna za ravnotežu sustava.

Slučaj regulacije sustava prema gore znači pojavu manjka energije u sustavu, ukoliko obvezana stranka proizvodi manje energije, od one koju je navela u planu proizvodnje za taj dan, morat će tu razliku kupiti po cijeni  $\lambda^B$  u prethodno navedenim karakteristikama vidljivo je da je  $\lambda^B > \lambda^S$  što znači da će platiti veću cijenu nego što je predviđeno i na taj način stranka je u gubitku. Ako u sustavu postoji manjak energije, a stranka proizvodi višak ona taj višak može prodati sustavu po cijeni  $\lambda^B$ , a ona je veća od  $\lambda^S$  koju je prethodno dobivala za slanje jedinica energije u mrežu i na taj način stranka ima veću zaradu.

#### Primjer 1

Generator  $G_5$  zbog kvara neće raditi sat vremena te neće moći ispuniti planiranu proizvodnju za taj dan. Svi ostali proizvođači i potrošači nastavljaju prema rasporedu.  $\Delta P > 0$ ,  $\Delta P = 60$  MWh vidljivo je da se radi o regulaciji prema gore, 60 MWh je količina električne energije koju je generator  $G_5$  trebao proizvesti u tom satu.  $\lambda^B = 45$  €/MWh,  $\lambda^S = 37,5$  €/MWh. U rasporedu postoje dva generatora za uravnoteženje sustava  $B_1$  i  $B_2$ , oboje će proizvesti 30 MWh potrebnih za ravnotežu.

Financijsko poravnanje u ovom slučaju iznosi:

- $G_5$  je dan unaprijed prilikom stvaranja rasporeda proizvodnje primio  $60 \cdot 37,5 = 2250$  €, no kako nije ispoštovao raspored mora platiti penaliziranu cijenu u iznosu od  $60 \cdot 45 = 2700$  €. Razlika između dvije cijene je gubitak od 450 € koju ta stranka snosi zbog stvaranja neravnoteže u sustavu.
- $B_1$  je dan unaprijed zakazao isporuku 200 MWh mreži za koje je primio  $200 \cdot 37,5 = 7500$  €, a kako je bio u mogućnosti proizvesti dodatnu energiju koja je sustav dovela do stanja ravnoteže za tu dodatnu energiju primit će  $30 \cdot 45 = 1350$  €.

## Primjer 2

Promatraju se dvije vjetroelektrane. Predviđanje količine vjetra nije jednako stvarnim događajima. Umjesto predviđenih 50 MWh,  $G_1$  će proizvesti 30 MWh. Predviđanje za  $G_2$  je 120 MWh, a stvarna proizvodnja je 155 MWh. Svi ostali proizvođači i potrošači nastavljaju prema rasporedu.  $\Delta P < 0$ ,  $\Delta P = -15$  MWh vidljivo je da se radi o regulaciji prema dolje, 15 MWh je višak električne energije koju je generator  $G_2$  proizveo u tom satu.  $\lambda^B = 35$  €/MWh,  $\lambda^S = 37,5$  €/MWh. Zakazani generator za uravnoteženje je  $B_1$  koji će ukloniti u sustavu 15 MWh viška.

Financijsko poravnanje u ovom slučaju iznosi:

- $G_1$  dan unaprijed tokom sklapanja ugovora je isplaćeno  $50 \cdot 37,5 = 1875$  €, ali jer nije ispoštovao raspored i nije proizveo svih 50 MWh mora platiti razliku u proizvodnji  $20 \cdot 35 = 700$  €. Ono što je stranka ukupno zaradila iznosi 1175 €.
- $G_2$  dan unaprijed tokom sklapanja ugovora je isplaćeno  $120 \cdot 37,5 = 4500$  € te zbog proizvodnje viška energije u sustavu isplaćuje mu se  $35 \cdot 35 = 1225$  €. Ono što je stranka zaradila je zbroj ta dva iznosa te zarada iznosi 5725 €. Postoji promašena prilika za  $G_2$  jer pravilnim planiranjem za višak 35 MWh ne bi gubio 2,5 €/MWh zbog loše procijene.
- $B_1$  je dan ranije zakazao isporuku 200 MWh mreži za koje je isplaćen  $200 \cdot 37,5 = 7500$  €, ali mora platiti  $15 \cdot 35 = 525$  € zbog regulacije prema dolje. Ukupni dohodak je razlika navedena dva iznosa u visini od 6975 €.



## 7.2. Sustav dvojnih cijena (engl. *two-price imbalance settlement*)

Osnovne karakteristike ovog slučaja jesu:

- $\Delta P > 0$ ,  $\lambda^B > \lambda^S$ ; prilikom slučaja regulacije prema gore sve unaprijed određene prodajne cijene jedinica energije su veće od cijene jedinica energije koje se koriste za postizanje ravnoteže sustava
- $\Delta P \sim 0$ ,  $\lambda^B = \lambda^S$ ; sustav je u ravnoteži
- $\Delta P < 0$ ,  $\lambda^B < \lambda^S$ ; regulacija sustava prema dolje, sve unaprijed određene prodajne cijene jedinica energije su manje od cijene jedinica energije koje se koriste za postizanje ravnoteže sustava.

$\lambda^S$  cijena je za sve situacije prilikom trgovanja energijom, a  $\lambda^B$  je cijena jedinice energije koja je potrebna za ravnotežu sustava.

Ključno je da oni koji sustav dovode u stanje neravnoteže će biti kažnjavani (penalizirani), a oni koji sustav potpomažu neće biti dodatno nagrađeni i tu je bitna razlika u odnosu na slučaj sa samo jednom cijenom.

Slučaj regulacije sustava prema gore znači pojavu manjka energije u sustavu, ukoliko obvezana stranka proizvodi manje energije, od one koju je navela u planu proizvodnje za taj dan, morat će tu razliku kupiti po cijeni  $\lambda^B$ . U prethodno navedenim karakteristikama vidljivo je da je  $\lambda^B > \lambda^S$  što znači da će platiti veću cijenu nego što je predviđeno i na taj način stranka je u gubitku. Ako u sustavu postoji manjak energije, a stranka proizvodi višak ona taj višak može prodati sustavu po cijeni  $\lambda^S$  što je bitna razlika u odnosu na sustav samo s jednom cijenom gdje se prodaje sustavu po cijeni  $\lambda^B$ .

### Primjer 3

Promatraju se dvije vjetroelektrane. Predviđanje količine vjetra nije jednako stvarnim događajima. Umjesto predviđenih 50 MWh,  $G_1$  će proizvesti 30 MWh. Predviđanje za  $G_2$  je 120 MWh, a stvarna proizvodnja je 155 MWh. Svi ostali proizvođači i potrošači nastavljaju prema rasporedu.  $\Delta P < 0$ ,  $\Delta P = -15$  MWh vidljivo je da se radi o regulaciji prema dolje, 15 MWh je višak električne energije koju je generator  $G_2$  proizveo u tom satu.  $\lambda^B = 35$  €/MWh,  $\lambda^S = 37,5$  €/MWh. Zakazani generator za uravnoteženje je  $B_1$  koji će ukloniti u sustavu 15 MWh viška.

Financijsko poravnanje u ovom slučaju iznosi:

- $G_1$  dan unaprijed tokom sklapanja ugovora mu je isplaćeno  $50 \cdot 37,5 = 1875$  €, ali jer nije ispoštovao raspored i nije proizveo svih 50 MWh mora isplatiti razliku u proizvodnji koja iznosi  $20 \cdot 37,5 = 750$  €. Ono što je stranka zaradila iznosi 1125 €. Ovdje postoji ključna razlika u odnosu na sustav s jednom cijenom gdje se za manjak proizvedene energije plaćalo  $\lambda^B = 35$  €/MWh, a u ovom slučaju plaća se jednako kao i za redovnu proizvodnju  $\lambda^S = 37,5$  €/MWh.
- $G_2$  dan unaprijed tokom sklapanja ugovora prima  $120 \cdot 37,5 = 4500$  € te zbog proizvodnje viška energije u sustavu isplaćuje mu se  $35 \cdot 35 = 1225$  €. Budući da pridonosi stvaranju viška energije u sustavu, ostvaruje penalizirajuću cijenu  $\lambda^B = 35$  €/MWh i zarađuje manje. Ono što je stranka zaradila iznosi 5725 €. Postoji neiskorištena prilika za  $G_2$  jer pravilnim planiranjem za višak 35 MWh ne bi gubio 2,5 €/MWh zbog loše procijene.
- $B_1$  je dan unaprijed zakazao isporuku 200 MWh mreži za koje mu je isplaćeno  $200 \cdot 37,5 = 7500$  €, ali mora platiti  $15 \cdot 35 = 525$  € zbog regulacije prema dolje. Ukupni dohodak je 6975 €.

## 8. ZAKLJUČAK

Unutar rada obrađeno je hrvatsko i europsko tržište električne energije. S obzirom da je električna energija jedinstvena usluga koju je nemoguće uskladištiti u značajnim količinama pojavljuju se specifični problemi. Najbitnija komponenta je uravnoteženje sustava, bez nje sustav ne može normalno funkcionirati. U radu je objašnjen pregled ugovaranja usluge uravnoteženja zajedno s bitnim popratnim sudionicima sustava u Republici Hrvatskoj.

Dva su načina organizacije trgovanja električnom energijom: dan unaprijed i unutardnevno tržište. Cilj unutardnevnog tržišta je smanjiti jaz između dan unaprijed tržišta i stvarne isporuke električne energije. Nord Pool grupa koja se bavi energetske djelatnostima i zastupljena je unutar Europe, a pomoću njihove aplikacije ELBAS4 pružen je uvid u funkcioniranje unutardnevnog tržišta jer u aplikaciji se objavljuju ponude proizvodnje ili prodaje električne energije, i ovisno što je potrebno sudioniku kako bi sustav održao u ravnoteži, ponude se spajaju. Sve se odvija u malom vremenskom roku. Pregledom povijesti nastanka i razvoja Nord Pool grupe vidljiva je njihova poveznica s hrvatskim tržištem električne energije koje su oni konzultirali u stvaranju.

Europska burza energije (EEX) svjetski je prisutna te kao takva postavlja vodeće standarde u području rada. Europska burza električne energije (EPEX SPOT) svojim angažmanom postavlja se kao lider tržišta električne energije u Europi, a svojim inovacijama i suradnjom sa sudionicima tržišta pruža potpuno iskustvo trgovanja pomoću aplikacije M7 Trading. European Commodity Clearing (ECC) je središnja klirinška kuća i dio EEX grupe. Pomoću ECC EEX jamči fizička i financijska pokrića transakcija, pružajući sigurnost i povećanje zarade za svoje korisnike.

Kompleksnost ovog posla prirodno nameće mehanizme za utvrđivanje odgovornosti za odstupanje. Mehanizmi nastoje potaknuti sudionike na promjenu ponašanja. U radu je prikazan obračun odstupanja u svakom obračunskom intervalu te su napravljena tri primjera financijskog poravnanja cijena. Poravnanje sustavom jedinstvene cijene kažnjava samo one sudionike koji stvaraju neravnotežu, a nagrađuje one koji pomažu sustavu kao što je vidljivo u primjeru 1 gdje na kraju financijskog poravnanja  $B_1$  dodatno zarađuje jer je sustav doveo u stanje ravnoteže. Poravnanje sustavom dvojnih cijena nužno ne nagrađuje one sudionike koji potpomažu sustav, ali penalizira odnosno kažnjava sve one koji stvaraju odstupanje od plana iz primjera 3 primjećujemo neiskorištenu priliku  $G_2$  jer pravilnim planiranjem za višak 35 MWh ne bi gubio 2,5 €/MWh zbog loše procijene proizvodnje.

## 9. SAŽETAK

Zadatak završnog rada ukratko je opisan u uvodu. Pregled literature u području istraživanja pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava dan je u drugom poglavlju rada. U trećem poglavlju definiran je elektroenergetski sustav i njegovi dijelovi. Objašnjena su dva načina trgovanja električnom energijom, bilateralnim ugovorima i trgovinskim aplikacijama, načini rada dan unaprijed i unutar dnevnog tržišta te tržište uravnoteženja koje obavlja uslugu uravnoteženja elektroenergetskog sustava uslijed nepredvidljivih događaja koji prouzroče neravnotežu sustava. Predstavljene su počeci europskog i hrvatskog tržišta električne energije. Pregled procesa ugovaranja usluge uravnoteženja u Hrvatskoj i ključni sudionici tržišta električne energije obrađuju se u četvrtom poglavlju. Peto poglavlje fokusira se na europsko tržište te obrađuje dva bitna tržišta Nord Pool grupu i EEX grupu. Mehanizmi za utvrđivanje odgovornosti, obračun odstupanja, primjer obračuna i financijskog poravnanja provedeni su u šestom i sedmom poglavlju.

Ključne riječi: tržište električne energije, elektroenergetski sustav, uravnoteženje, dan unaprijed tržište, unutar dnevno tržište, odstupanje, financijsko poravnanje.

## **10. ABSTRACT**

The goal of this final paper is shortly described in the introduction. A review of the literature in the field of research on the rules of a imbalanced power system is given in the second chapter of the paper. The third chapter defines the power system and its parts. Two modes of electricity trading, bilateral agreements and trade applications, day-ahead and intraday market modes, and market-balanced electricity system balancing services were explained, followed by unpredictable events causing a balanced system. The beginnings of the European and Croatian electricity markets are presented. An overview of the balancing service contracting process in Croatia and key electricity market participants is discussed in Chapter Four. The fifth chapter focuses on the European market and deals with two important markets of the Nord Pool Group and the EEX Group. Mechanisms for determining liability, deviation calculation, example of calculation and financial settlement are implemented in Chapters Six and Seven.

Keywords: electricity market, electricity system, balancing, day-ahead market, intraday market, deviation, financial settlement.

## LITERATURA

- [1] Službena stranica Hrvatskog operatora sustava, dostupno na: <https://www.hops.hr> (pristupljeno 20.5.2021.)
- [2] Službena stranica Nord Pool grupe, dostupno na: <https://www.nordpoolgroup.com> (pristupljeno 9.8.2021.)
- [3] What is the power grid and how does it work?, dostupno na: <https://yali.state.gov/what-is-the-power-grid-and-how-does-it-work/> (pristupljeno 23.7.2021.)
- [4] Službena stranica Hrvatske burze električne energije, dostupno na: <https://www.cropex.hr/hr/trgovanja/opcenito> (pristupljeno 21.5.2021.)
- [5] Službena stranica udruženja europskih burzi-član Nord Pool, dostupno na: <https://www.europex.org/members/nord-pool/> (pristupljeno 9.8.2021.)
- [6] Službena stranica Hrvatskog operatora tržišta energije, dostupno na: <https://www.hrote.hr/trzisni-sudionici> (pristupljeno 21.5.2021.)
- [7] Reinier A. C. van der Veen, „Balance responsibility and imbalance settlement in Northern Europe - An evaluation“, 6th International Conference on the European Energy Market, Conference Paper, June 2009.
- [8] Pravilnik - o dozvolama za obavljanje energetske djelatnosti i vođenju registra izdanih i oduzetih dozvola za obavljanje energetske djelatnosti, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_08\\_88\\_1733.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_08_88_1733.html) (pristupljeno: 23.5.2021.)
- [9] Croatian Energy Regulatory Agency, „Methodology for Determining the Price for the Settlement of Balancing Energy“ Zagreb, Croatia, 2016,
- [10] Prikaz elektroenergetskog sustava, slika, dostupno na: <https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Hosein/publication/312562428/figure/fig3/AS:667722895618052@1536208952125/Power-Grid-Architecture.jpg> (pristupljeno: 20.9.2021.)
- [11] Izgled aplikacije ELBAS4, slika, dostupno na: <https://i.ytimg.com/vi/6CNwiOwEjPY/maxresdefault.jpg> (pristupljeno: 9.8.2021)
- [12] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., „Pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava“ Zagreb, studeni 2019. godine

[13] Mateo Beus, Ivan Pavić, Ivona Štritof, Tomislav Capuder, Hrvoje Pandžić, „Electricity Market Design in Croatia within the European Electricity Market-Recommendations for Further Development“, Energies 2018, 11(2), 346; <https://doi.org/10.3390/en11020346>, veljača 2018.

[14] Način određivanja tržišne cijene, slika, dostupno na: [https://www.cropex.hr/images/cropex\\_trgovanje.jpg](https://www.cropex.hr/images/cropex_trgovanje.jpg) (pristupljeno: 21.5.2021.)

[15] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o, „Verifikacijski postupak za pružanje pomoćnih usluga aFRR i mFRR“ Zagreb, rujan 2018. godine

[16] Službena stranica udruženja europskih burzi-član EEX, dostupno na: <https://www.europex.org/members/eex/> (pristupljeno 9.9.2021)

[17] Službena stranica Europske burze energije, dostupno na: <https://www.eex-group.com/en/> (pristupljeno 9.9.2021.)

[18] Službena stranica European Commodity Clearing, dostupno na: <https://www.ecc.de/en/about-ecc/company> (pristupljeno 9.9.2021.)

[19] Izgled aplikacije M7 Trading, slika, dostupno na: <https://docplayer.net/docs-images/55/35666822/images/5-0.jpg> (pristupljeno: 9.9.2021.)

[20] EPEX SPOT, „Trading at EPEX SPOT 2021“

## **ŽIVOTOPIS**

Blaženka Smolčić rođena je 10. listopada 1999. godine u Vinkovcima. Pohađala je osnovnu školu Ivane Brlić-Mažuranić u Andrijaševcima. 2014. godine upisuje gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima prirodoslovno matematički smjer. Po završetku srednje škole 2018. godine upisuje Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija u Osijek smjer Elektrotehnika i informacijska tehnologija na drugoj godini odabire izborni blok Elektroenergetika.