

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi AAAB, AAVB, AAAM, AAVM ja EAAB
õppekavade lõputöö ülesande vorm
Kinnitatud instituudi nõukogu poolt 15.06.2020

**TAL
TECH**
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

ELEKTRITURU MÄNGUDE VÕRDLEV ANALÜÜS JA NENDE KASUTAMINE ENERGIASÜSTEEMIDE ÕPPEAINES

COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRICITY MARKET GAMES AND THEIR EMPLOYMENT TO POWER SYSTEMS STUDIES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mihkel Ustav

Üliõpilaskood: 193022AAVM

Juhendaja: Reeli Kuhi-Thalfeldt, vanemlektor

Tallinn 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Mihkel Ustav (sünnikuupäev 21.01.1997),

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Elektrituru mängude võrdlev analüüs ja nende kasutamine Energiasüsteemide õppeaines“, mille juhendaja on Reeli Kuhi-Thalfeldt,
 - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

<i>Autor:</i> Mihkel Ustav	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> „Elektrituru mängude võrdlev analüüs ja nende kasutamine Energiasüsteemide õppeaines“	
<i>Kuupäev:</i> 18.05.2022	87 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> Reeli Kuhi-Thalfeldt, vanemlektor	
<p><i>Sisu kirjeldus:</i> Lõputöö eesmärgiks on võrrelda saadaval olevaid elektrituru mängu ning võrdleva analüüsi tulemusena leida sobiv mäng mida Energiasüsteemide õppeaines aktiivselt kasutusele võtta.</p> <p>Töö esimeses peatükis antakse ülevaade elektrituru olemusest, räägitakse turgu mõjutavatest keskkonnateguritest ning kirjeldatakse Energiasüsteemide õppeainet lähemalt. Sisupeatükkides vaadatakse põhjalikult kolme erinevat elektrituru mängu, seletatakse lahti nende komponendid ning erinevad mängudesse rakendatavad funktsioonid ning läbitakse iga mänguga näidisharjutus.</p> <p>Lõputöö viimases peatükis koostatakse võrdlev analüüs kolme elektrituru mängu kohta. Võrdlevas analüüsis võrreldakse mängu erinevate aspektide vaatest omavahel ning analüüsi lõpuks selgub kõige sobivam mäng, mida õpinguteks kasutada. Antud mängu kohta koostatakse harjutusülesanne Energiasüsteemide õppeainesse, mis on leitav töö lisades.</p> <p>Lõputöö jätkuks oleks võimalik rakendada valitud elektrituru mängu ka teistesse õppeainetesse, mis käsitlevad samuti elektriturge ning neid mõjutavaid tegureid.</p>	
<i>Märksõnad:</i> elektritur, energiasüsteemid, börsihinna kujunemine, nõudlus, pakkumine	

ABSTRACT

Author: Mihkel Ustav

Type of the work: Master Thesis

Title: „Comparative analysis of electricity market games and their imploymnt to Power Systems studies“

Date: 18.05.2022

87 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Reeli Kuhi-Thalfeldt, Senior Lecturer

Abstract: The aim of the thesis is to compare the available electricity market games and as a result of the comparative analysis, to find a suitable game to be actively used in the subject of Energy Systems.

The first chapter gives an overview of the nature of the electricity market, talks about the environmental factors affecting the market and describes the subject of Energy Systems in more detail. In the body of the thesis, three different electricity market games are thoroughly reviewed, their components and the different functions applied to the game are explained, and a sample exercise is performed with each game.

In the final chapter of the thesis, a comparative analysis of three electricity market games is compiled. The comparative analysis compares the games against each other and at the end of the analysis the most suitable game for studying purposes will be determined. With the chosen game, an exercise is prepared for the subject of Power Systems, which can be seen in the appendices.

As a continuation of the thesis, It would be possible to apply the selected electricity market game to other subjects that also work with electricity markets and the different factors affecting them.

Keywords: Electricity market, Energy Systems, stock exchange price formation, demand, supply

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektrituru mängude võrdlev analüüs ja nende kasutamine Energiasüsteemide õppeaines
Lõputöö teema inglise keeles:	Comparative analysis of electricity market games and their implementation to Power Systems course
Üliõpilane:	Mihkel Ustav, 192033AAVM
Eriala:	Elektroenergeetika
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Reeli Kuhu-Thalfeldt
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	-
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	18.05.2022
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.2022

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Energiasüsteemid õppeaine üheks oluliseks osaks on elektrituru toimimise põhimõtete tutvustamine, kuid elektri hinna kujunemist nõudluse ja pakkumise kõvera ristumispunktina on tudengitel raske mõista. Läbi praktilise harjutuse oleks hinna kujunemine ja erinevat turuosaliste käitumise mõistmine lihtsam ning areneksid ka tudengite oskused lisaks teoreetilistele teadmistele. Seetõttu tuleks erinevad elektri hinna kujunemise stsenaariumid tudengitel omal käel läbi mängida. Energiaturu mäng aitab mängijatel paremini mõista, kuidas turud erinevatele muutustele reageerivad ning üleüldse funktsioneerivad. Samuti aitavad need tudengitel tunda end mugavamalt energiaturul kaubeldes. Maailma ülikoolides on töötatud mitu elektriturgude toimimist simuleerivat mängu, mis oma sisu ja keerukuse poolest on aga erinevad. Igaüks neist on loodud veidi erinevat eesmärki silmas pidades ning mõned neist on ka tasulised. Osa neist on

fokuseeritud vaid elektrituru toimimise näitlikustamisele, samas mitmed vaatavad lisaks elektrile ka kütuseturge. Seetõttu on antud töös vaadeldud üldiselt energiaturgude mängu.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärk on läbi testida ja võrrelda erinevaid energiaturu mängu ning valida välja neist üks, mida kasutada tulevikus Energiasüsteemide õppeaines. Selleks, et hõlbustada mängu kasutamist, koostatakse mängule eestikeelne juhend ning harjutusülesanded, mis aitavad tudengitel energiaturul osalemist paremini mõista.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Millistele kriteeriumidele peab Energiasüsteemide aine jaoks elektrituru mäng vastama?

Milline on iga elektrituru mängu ülesehitus ja ulatus?

Millised on iga elektrituru mängu eelised ja puudused?

Millise elektrituru mängudest oleks sobilikum õppetöös kasutamiseks?

4. Lähteandmed

Lähteandmeteks on elektrituru mängu tutvustavad juhendid ja kodulehed ning mängud ise.

5. Uurimismeetodid

Töös kasutatavaks uurimismeetodiks on mudelite-mängude katsetamine ning nende võrdlev analüüs. Samuti kasutatakse töö teoreetilise osa koostamiseks kirjanduse analüüsi.

6. Graafiline osa

Töö graafilises osas kasutatakse enamasti võrdlevaid tabelleid mis on koostatud Microsoft Exceli programmis. Samuti lisatakse graafilised illustatsioonid erinevatest energiaturu mängude visuaalsest küljest.

7. Töö struktuur

- Sissejuhatus
- 1. Elektriturg
 - 1.1. Mis on elektriturg ja kuidas see funktsioneerib

2. PESD ENERGY MARKET MÄNG
 - 2.1. Mängu osalised
 - 2.2. Mängu funktsioonid
 - 2.3. Näidisharjutus
3. ROLEPLAY ELECTRICITY MARKETS MÄNG
 - 3.1. Mängu osalised
 - 3.2. Mängu funktsioonid
 - 3.3. Näidisharjutus
4. ELECTRICITY STRATEGY MÄNG
 - 4.1. Mängu osalised
 - 4.2. Mängu funktsioonid
 - 4.3. Näidisharjutus
5. MÄNGUDE VÕRDLEV ANALÜÜS
 - Kokkuvõte
 - Kasutatud kirjandus
 - Lisad

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Töö koostamisel kasutatakse erialalist kirjandust, teadusartikleid ning elektrituru mängu:

- Role Play Electricity Market <https://github.com/martavp/roleplay-electricity-market>
- „Energy Market Game” – The Program and Energy and Sustainable Development at StanFord University [URL] <http://www.energymarketgame.org/pages/using-the-game.html>
- L. de Vries „Electricity Market Simulation Game” – TPM Faculty [URL] <https://www.tudelft.nl/evenementen/2021/powerweb/electricity-market-simulation-game>
- S. Borenstein, J. Bushnell “Electricity Strategy Game” University of California, Berkeley, [URL] <https://esg.haas.berkeley.edu/Home/About>
- Anco S. Blazev, 2016. River Publishers - „Global Energy Market Trends”

9. Lõputöö konsultandid

Lõputöö autoril pole plaanitud kasutada eraldi konsultanti abi töö tegemisel.

10. Töö etapid ja ajakava

1. Kirjanduse läbitöötamine ning lähteandmete kogumine (01.12.2021 – 10.01.2022)
2. Teoreetilise osa kirjutamine (11.01.2022 – 05.04.2022)
3. Töö esimese peatüki kirjutamine (11.01.2022 – 12.02.2022)
4. Töö teise peatüki kirjutamine (12.02.2022 - 13.03.2022)

5. Töö kolmanda peatüki kirjutamine (13.03.2022 – 14.04.2022)
6. Kokkuvõtte koostamine (14.04.2022 – 18.04.2022)
7. Töö esimese versiooni valmimine (18.04.2022)
8. Juhendaja läbivaatamisele saatmine (19.04.2022)
9. Paranduste tegemine (23.04.2022 – 30.04.2022)
10. Juhendaja teiseks läbilugemiseks saatmine (01.05.2022)
11. Töö lõpliku versiooni valmimine (05.05.2022 – 16.05.2022)
12. Kaitsmistootluse esitamine (09.05.2022)
13. Lõputöö esitamise tähtaeg (18.05.2022)
14. Kaitsmise esitluse faili koostamine (19.05.2022 – 21.05.2022)
15. Kaitsmistootluse kinnitamine (24.05.2022)
16. Kaitsmise esitluse faili edastamine (31.05.2022)
17. Magistritöö kaitsmine (31.05.2022 - 02.06.2022)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	4
ABSTRACT.....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA.....	12
SISSEJUHATUS	13
1 . ELEKTRITURG	15
1.1 ELEKTRITURG EUROOPAS.....	15
1.2 ELEKTRITURG AMEERIKA ÜHENDRIIKIDES.....	16
1.3 ELEKTRITURU BÖRSIHINNA KUJUNEMINE.....	17
1.4 KESKKONNATEGURID ELEKTRITURGUDEL.....	19
1.5 ENERGIASÜSTEEMIDE ÕPPEAINE.....	22
2 . PESD ENERGY MARKET MÄNG	24
2.1 MÄNGU OSALISED	24
2.2 MÄNGU VÕIMALUSED	28
2.3 LISATAVAD FUNKTSIOONID	31
2.4 TOOTMISÜKSUSED	32
2.5 NÄIDISHARJUTUS.....	34
3 . ROLEPLAY ELECTRICITY MARKETS MÄNG.....	42
3.1 MÄNGU OSALISED	42
3.2 MÄNGU KÄIK	44
3.3 MÄNGU TULEMUSED.....	46
3.4 NÄIDISHARJUTUS.....	46
4 . ELECTRICITY STRATEGY MÄNG	55
4.1 MÄNGU OSALISED	56
4.2 TOOTMISÜKSUSED	57
4.3 MUUD TEGURID	58
4.4 NÄIDISHARJUTUS.....	60
5 . MÄNGUDE VÕRDLEV ANALÜÜS	65
5.1 PARIMA ÕPPEMÄNGU VALIMINE	70
KOKKUVÕTE.....	72

SUMMARY 74

LISAD 79

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema „Elektrituru mängude võrdlev analüüs ja nende kasutamine Energiasüsteemide õppeaines“ pakkus välja autori juhendaja Tallinna Tehnikaülikooli vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt, kes viib ühtlasi läbi ka Energiasüsteemide õppeainet. Teema valikuga soovis autor aidata parandada tudengite teadmisi elektrituru toimimisest ning anda neile praktilist kauplemise kogemust elektriturul.

Lõputöö autor loodab, et valminud magistritöö võetakse aktiivselt kasutusele Energiasüsteemide õppeaines. Samuti usub autor, et elektrituru mängude rakendamine õpingutesse täiustab just tudengite praktilist kogemust elektriturul kauplemisel.

SISSEJUHATUS

Elekter on tänapäeva ühiskonna üks lahutamatu osa. See ei paku meile ainult soojust koju ja valgust tuppa, vaid on ka tööstustegevuse üheks põhielemendiks. Elektrit toodetakse erinevate tootmistehnoloogiatega elektrijaamades ning seda transporditakse läbi elektriliinide tarbijateni. Toodetud elektrit on üsna keeruline salvestada mistõttu tuleks leida sellele ka kohene tarbija. Selleks, et tagada tasakaal turu nõudluse ja pakkumise vahel on loodud elektriturg. Euroopas liberaliseeriti 1990. aastate teises pooles Euroopa energia siseturg, kus tegutsevad ettevõtted tegelevad elektrienergia tootmisega, kauplemisega, turustamisega, energia ülekandega ning tarnimisega. Elektri börsihind on muutlik ja selle hind tekib nõudluse ja pakkumise tulemusena. Igal päeval annavad elektrimüüjad vastavalt nende klientide järgmise päeva elektri vajadusele börsile sisse elektri nõudluse. Tänu sellele selgub ka vajamineva elektrienergia hulk, mis on vaja tootmisüksustel toota. Elektritootjad koostavad vastu igapäevased hinnapakkumised oma toodetavale elektrile. Elektrienergia hind elektribörsil kujuneb nõudluse ja pakkumise ristpunktis. Selleks, et mõista paremini kuidas hind ristpunktis tekib ning mis tegurid mõjutavad selle hinna kujunemist, on loodud erinevad elektrituru mängud. Neid on saadaval mitmeid, lihtsaid ja raskeid, tasuta ning tasulisi versioone, veebirakendustest kuni paberi ja pliiatsi lahendusteni.

Käesolevas lõputöös asutakse uurima ning võrdlema erinevaid elektrituru mängu, mida reaalselt ka energiasüsteemide õppeainesse harjutusülesande käigus rakendada. Lõputöö on jaotatud viieks peatükiks. Esimene peatükk annab ülevaate elektriturust ja selle toimimisest. Lisaks sellele kajastatakse seal ka erinevate regioonide elektrituru erinevusi ning tutvustatakse turge mõjutavaid keskkonnategureid. Peatükk lõppeb energiasüsteemide õppeaine sissejuhatusena ning teema valiku põhjendusega.

Teine peatükk tutvustab Ameerika Ühendriikides Stanfordini Ülikoolis välja töötatud elektrituru mängu. Antakse ülevaate mängijate erinevatest võimalikest rollidest, tutvustatakse mängu võimekust, kirjeldatakse lisatavaid funktsioone, seletatakse lahti tootmisüksuste eripärad ning viimaks sooritatakse näidisharjutus.

Kolmandas peatükis tutvustatakse Taanis Aarhusi Ülikoolis loodud elektriturul kauplemise mängu. Ülevaade tehakse mängijate võimalikest rollidest, seletatakse lahti mängu käik ning viimaks analüüsitakse energiasüsteemide õppeaines katsetatud mängu toimimist tudengitel.

Neljas peatükk hõlmab Ameerika Ühendriikides California Ülikoolis loodud elektriturust strateegia mängu tutvustust. Peatükis kajastatakse mängija erinevaid rolle, antakse põhjalik ülevaade tootmisüksustest ning kirjeldatakse muid tegureid, mida on võimalik mängu käigu raskendamiseks aktiivselt rakendada. Neljas peatükk lõppeb näidisharjutuse läbimisega ning nende tulemuste kokkuvõttega.

Lõputöö viiendas peatükis tehakse eelnevalt kasutatud elektriturust mängude kohta võrdlev analüüs. Analüüsis võrreldakse erinevaid mängu erinevate võrdluspunktide alusel, näiteks mängu keerukuse, kasutusmugavuse ja lisatavate funktsioonide näol. Peatüki lõpus valitakse välja üks õppemäng, mille kohta Energiasüsteemide aine raames ka harjutusülesanne koostatakse ning tööde lisadesse lisatakse.

1 . ELEKTRITURG

Elektriturg on elektri tarbijate ning tootjate vahelisi suhteid hõlmav turg, millega tagatakse elektri tarbimise ning tootmise vaheline tasakaal. Hind elektriturul sõltub mitmetest majanduslikest ning tehnilistest teguritest ja see võib olla piirkonniti väga erinev. Järgnevatel peatükkides hakatakse põhjalikumalt lahkama erinevaid elektrituru kauplemissüsteeme, mille kauplemissüsteemid asuvad Ameerikas ning Euroopas, mistõttu uuritakse ka lähemalt kahe piirkonna elektriturge. Lisaks käsitletakse ka erinevaid keskkonnategureid, millel on otsene mõju elektri börsihinna tekkimisel.

1.1 Elektriturg Euroopas

1990. aastate algul olid Euroopa Liidus elektriturud veel täielikult monopoliseeritud. 1996. aastal võeti vastu esimesed direktiivid, mis käsitlesid elektrituru liberaliseerimist Euroopa Liidus. Liikmesriikidele tuli need direktiivid üle võtta oma õigussüsteemi 1998. aastaks. Alates 2004. aastast pidi Euroopa Liidu liikmesriigid üle võtma teise energiapaketi, mille vastuvõtt toimus Euroopa Liidus 2003. aastal. Perioodil 2003 – 2007 rakendati Euroopa Liidu liikmesriikidele uued direktiivid elektrienergia siseturu reguleerimiseks, mille tulemusena tekkis esmakordselt kodu- ja tööstustarbija mitmekesisem võimalus endale valida sobivaim elektrimüüja ning hinnapakett. Aastaks 2019. on Euroopa Liidus juba vastu võetud järjekorras neljas energiapakett, mille kohaselt sätestati uued elektrituru eeskirjad, mis rahuldavad täiuslikumalt taastuvenergia vajadusi ning aitavad kaasata uusi investeeringuid. Viies ja ka tänane energiapakett avaldati aga eelmisel suvel 14. Juulil 2021, millega soovitakse viia Euroopa Liidu energiaeesmärgid kooskõlla 2030. ning 2050. aasta kliimaeesmärkidega. [1]

Euroopa Liidu 2019/943 määruse kohaselt toetab Euroopa Liit energiasektorite CO₂ emissiooni vähendamist, aitab kaasas piiriülesele elektrienergia kaubandusele ning loob võimalusi Euroopa Liidul üle minna puhtamale energiale. Kõik muudatused tehakse järgides Pariisi kliimakokkuleppes võetud kohustusi. Määruse tähtsaimaks osaks on selles määratud elektriturude toimimise turupõhised põhimõtted, mis määravad, et hinnad kujunevad pakkumise ja nõudluse alusel; tootjad vastutavad otseselt või kaudselt oma elektrimüügi eest; tarbijad saavad kasu turueeskirjadest ja on aktiivsed turuosalised; stiimulid vähese süsinikuheitega elektri tootmiseks on turupõhised. [1][2] Lisaks sellele võtsid Euroopa Liidu liikmesriigid omale kohustuse vähendada pidevalt oma kasvuhoonegaaside emissiooni hulka. Sellele aitab kaasa Euroopa Liidu heitkogustega kauplemissüsteem EU-ETS (*European Union Emissions Trading Scheme*). Euroopa Liidu

liikmesriikidel algas 1. jaanuaril 2005. aastal kasvuhoonegaaside lubatud heitkoguste ühikutega kauplemine – CO₂ kvootidega. [3]

Eesti kuulub Nord Pool Spot elektrituru kauplemispiirkonda, kus on veel lisake Eestile Leedu, Läti, Rootsi, Soome ja Norra. Antud turul kujuneb elektri hind igal tunnil. Samuti kujuneb hind igas riigis eraldi ning mõnes riigis võib ette tulla ka mitmeid erinevaid hinnapiirkondi. [4] Alates 2009. aastast oli elektriturg juba Eestis avatud suurematele elektritarbijatele, kes moodustasid ligikaudu 35% Eesti elektrituru kogumahust. Täielikult avanes elektriturg kõikidele tarbijatele aga alles 2013. aasta alguses. Seetõttu lõppes elektri hinna reguleerimine väiketarbijatele ja avas tarbijale võimaluse vabalt valida elektrienergia pakkuja elektriturult. See lõi eelduse taskukohasele elektri hinnale, kus tarbijal tekkis võimalus vastavalt oma elektri tarbimisele valida omale sobiv hinnapakett ja elektrimüüja. Pooleteise aastaga saavutati Eesti elektriturul seis, kus turul tegutses enam kui 10 elektrimüüjat. Nelja aastaga oli 80% Eesti klientidest sõlminud ostu-müügilepingu elektrimüüjatega, mis moodustas tol ajal ligi 95% kogutarbimisest. [5]

1.2 Elektriturg Ameerika Ühendriikides

Erinevalt Euroopa Liidu elektriturust on Ameerika Ühendriikide elektriturg piirkonniti erinev. Osades piirkondades puudub seni võimalus osta elektrit avatud elektriturult, vaid tuleb osta monopolidena tegutsevatest ettevõtetest. Siiski omavad suurem osa Ameerika Ühendriikide elektritarbijatest ligipääsu ka avatud elektriturule, kust on võimalik valikust omale sobiv elektrimüüja valida.

Enne 1990. aastat pakkusid elektrit suured investorite omatud ja reguleeritud elektrifirmad, kelle käsutuses olid tootmisüksused, ülekande- ning jaotusvõrgud. Need firmad tegutsesid enamasti mingil teatud territooriumil ning pakkusid kõigile, alal viibijatele ühtse hinnaga elektrit. See tähendas, et tarbijal puudus võimalus valida elektrienergia tarnijat. Hind sel viisil kujunes vastavalt ettevõtte investeeringu tagasimakse suuruselt ning lisaks sellele nende arvates ausast tulumäärast. Lõpliku hinna pidi kinnitama aga piirkonna komisjon.

1990. aastate algul otsustasid mitmed Ameerika Ühendriikide osariigid oma elektrisüsteemid turule avada, et elektri lõpphinda vähendada ning luua konkurenti elektriettevõtetes. Selle tulemusena olid suure elektrifirmad sunnitud oma tootmisüksused maha müüma ning tekkisid iseseisvad väikefirmad, kes omasid enamasti vaid tootmisüksusi. Kuna enamustel firmadel puudus võimalus üles ehitada omale ülekandeliinide infrastruktuuri, siis loodi olemasolevatest ülekandeliinidest eraldi firma, kes

spetsialiseerisidki elektri ülekande- ja jaotusvõrgu haldamisega. Tänu nendele sammudele loodigi konkurents elektriturul ning elanikud ei pidanud enam oma kohalikust energiaallikast kallimat elektrit ostma ning neil tekkis võimalus seda tarnida mujalt ja odavamalt. Täna sel päeval toimib Ameerika Ühendriikides 95% tehingutest päev ette turul. Ülejäänud 5% tehingutest tehakse reaajas turul, mis toimub enamasti ühe tunnistel perioodidel. Iga päevaga tekib turule juurde uusi taastuenergia allikatel töötavaid elektri jaamu, mis ka märkimisväärselt elektrituru börsihindu madaldavad. [6]



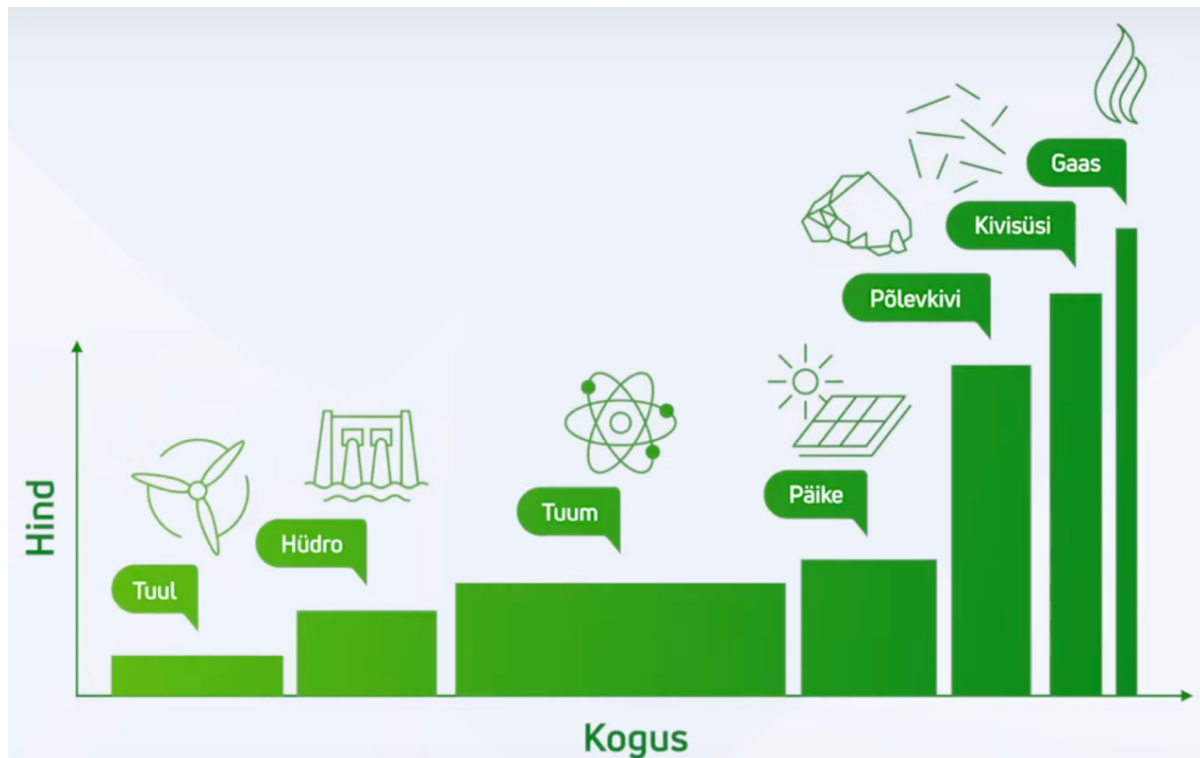
Joonis 1.1 Ameerika Ühendriikide erinevate elektriturude piirkonnad. Southeast, Northwest ja Southwest toimivad seni reguleeritud elektrituruna [7]

Tänaseks on Ameerika Ühendriikides elektriturud jagunenud kümneks eri piirkonnaks, millest kolm töötavad seni traditsionaalse reguleeritud turuna. Ülejäänud seitsme piirkonna elektriturud ei ole reguleeritud ehk tarbijal on vabad käed elektritarnija valikul. Erinevad turupiirkonnad on toodud joonisel 1.1. [7]

1.3 Elektrituru börsihinna kujunemine

Elektri börsihind on muutlik igal tunnil päevas. Selle hind tekib nõudluse ja pakkumise tulemusena. Iga päev annavad elektrimüüjad elektribörsile sisse tellimuse vastavalt nende klientide järgmise päeva elektri vajadusele. Tänu sellele selgub energia hulk, mis on vaja tootmisüksustel toota. Järgnevalt arvutab algoritm börsile pääsejad. Eelisjärjekorras on

elektri pakkujad, kelle pakkumine on kliendi jaoks soodsam. Nendeks on näiteks tuulepargid, hüdroelektrijaamad, tuumaelektrijaamad või päikesepargid.



Joonis 1.2. Esmased elektriturule pääsejad on soodsama elektri tootjad, kes on enamasti taastuvenergia allikatel töötavad tootmisüksused. Turu nõudluse katmiseks võidakse rakendada ka kallimaid elektritootmisüksuseid nagu näiteks gaasi-, kivisöe- ja põlevkivielektrijaamasid [8]

Just nende jaamade tootmiskulu on võrreldes fossiilkütustel baseeruvate elektritootjatega väiksem. Samuti ei teki ka nende tootmisüksustega elektri tootmisel süsihappegaasi. Juhul, kui turunõudlus taastuvenergiaga kaetud, siis on ka elektri hind madal. See-eest on aga võimalus kallimatel elektritootjatel turule pääseda alles siis, kui taastuvenergiast ning tuumaenergiast ei toodeta piisavalt elektrit, et turu nõudlust rahuldada. Järgnevalt on võimalus turule pääseda gaasi-, põlevkivi- ja kivisöeelektrijaamadel. Just nende üksuste tootmiskulu on näiteks kütuse hinna ja CO₂ emissioonitasu võrra kallim. Lõpliku elektri hinna elektribörsil määrab aga turule viimane pakkuja. Juhul, kui viimase pakkumise on teinud gaasielektrijaam, mille hind on ühtlasi ka kõige kõrgem, määrabki just see tooteüksus selle konkreetse tunni elektrienergia hinna. [8] Elektrituru hinnaregulatsioon on sätestatud Elektrituruseadusega. Antud seadus reguleerib elektrienergia müüki, importi, eksporti, tootmist, edastamist ja transiiti ning elektrisüsteemi majanduslikku ja tehnilist juhtimist. [28]

1.4 Keskkonnategurid elektriturgudel

Erinevates määngudes kasutatakse lisaks tavafunktsioonidele ka erinevaid keskkonnategureid, mis on erinevates riikides kasutusel erineval kujul. Selleks, et anda ülevaade erinevatest keskkonnateguritest on koostatud alapeatükid, mis seletavad põhjalikumalt iga teguri tähendust nii inimesele kui keskkonnale ning nende mõju elektri hinna kujunemisele.

1.4.1 Carbon tax süsteem

Süsinikumaks (CO₂ emissioonitasu või CO₂ tasu) on tasu, mis tuleb tootjal maksta kui ta põletab elektrienergia tootmiseks süsinikul põhinevaid kütuseid nagu näiteks põlevkivi, kivisüsi, nafta või gaas. Selle põhimõte on vähendada fossiilkütuste kasutamist, mille põletamine meie keskkonda järk-järgult reostab.

Üheks viisiks kuidas piirata tooteüksuste heitgaase ning sundida neid kasutama keskkonnasõbralikumaid tootmisvõimalusi on just eelnevalt mainitud süsteem, mille hind ühe toodetud MWh kohta on seni kasvutrendis. [9] Uuringud näitavad, et süsinikumaksude rakendamine vähendab tõhusalt liigse CO₂ paiskamist keskkonda ning mitmed majandusteadlased väidavad, et emissioonitasu näol on tegemist kõige tõhusama viisiga kuidas kliimasoojenemise vastu võidelda. [10] Süsinikumaksu rakendasid esimesena 1990. aastate alguses neli Euroopa riiki – Taani, Rootsi, Norra ja Soome. Teine laine maksustamisest jõudis alles 2000. aastate keskel, kui süsinikumaksu hakkasid rakendama ka Šveits, Iirimaa, Island, Jaapan, Mehhiko, Portugal ja Canada kaks osariiki – Briti Columbia ning Alberta. Ülejäänud riigid, kus tänaseks on süsinikumaks päevakorras on ühinenud teiste riikidega alles viimastel aastatel. Hinnastamine on ka ajas muutunud, näiteks Rootsi esialgne süsinikumaksu hind ühe toodetud tonni CO₂ kohta oli 1991. aastal 27 dollarit (\$). Aastaks 2019. on see hind tõusnud pea 5 korda hinnani \$140 ühe tonni toodetud CO₂ kohta.

Briti Columbia näitel kasutab valitsus süsinikumaksust saadud lisatulu olemasolevate kõrge CO₂ heitmetega tootmisüksuste ökonoomsemaks muutmisele ning taastuv energiaallikatel põhinevate tootmisüksuste rajamisele. Rohkem kui 10 aastaga, on Briti Columbia kogunud lisatulu rohkem kui 1 miljardit dollarit. Osa sellest rahast on läbi kohalike omavalitsuste tagastatud madala sissetulekuga kodumajapidamistele ja ettevõtetele. Samuti pakuti ka taastuvenergia tootmisüksuste loomiseks maksusoodustusi. Kui eeldada, et vähendades fossiilkütuste kasutamist energia tootmisel, kaob ka selles valdkonnas töökohti, siis uuringute kohaselt pole süsinikumaksu tõttu kohalik majandustegevus lööki saanud. See-eest pole ka drastiliselt tekkinud juurde vastukaaluks palju töökohti. Küll aga liigutakse aktiivselt süsiniku- ja kaubandustundlikelt töökohtadelt nagu näiteks keemiatööstus üle

puhtamatesse teenindussektoritesse. Tänu sellele on aastatel vahemikus 2007 - 2013 tekkinud juurde keskmiselt 10 000 uut töökohta aastas. [12]

1.4.2 Emissioonikaubanduse süsteem

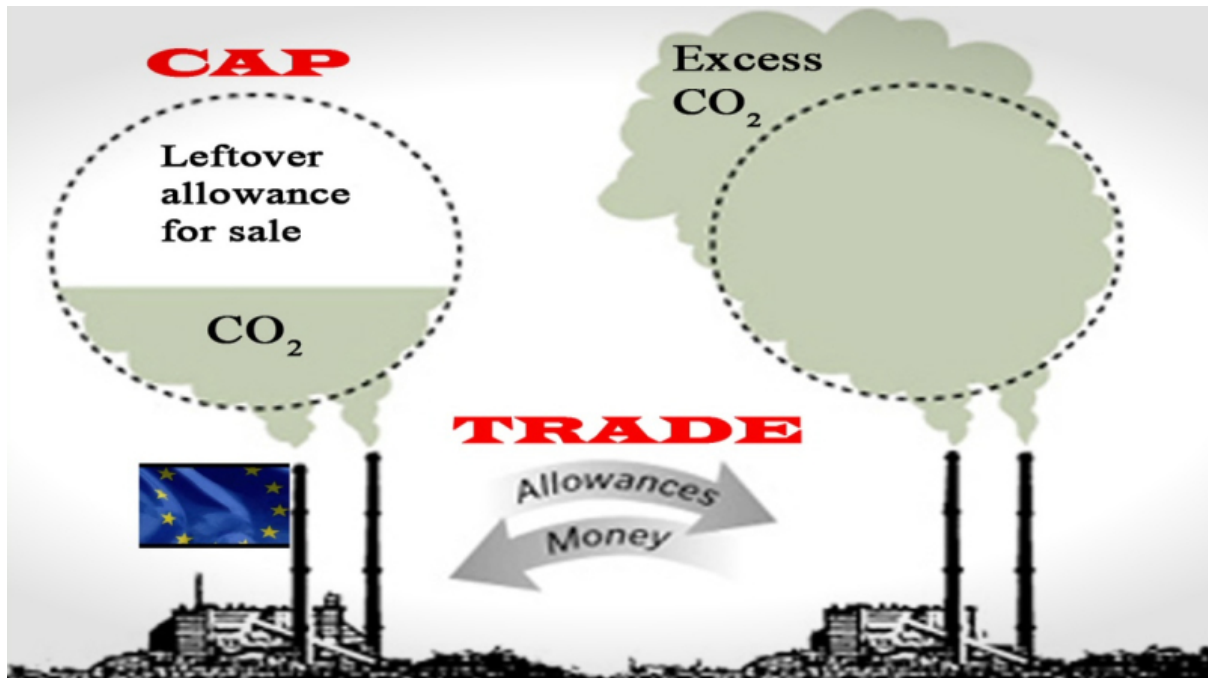
Emissioonikaubanduse süsteem, mille ingliskeelne termin on *Cap-and-trade* süsteem on kliimapoliitika, mis ühendab majanduse ning keskkonnakaitse, et piirata lubatud heitkoguste eelkõige CO₂ üldist taset keskkonnas. Kasvuhoonegaaside pidev tootmine keskkonda mängib suurt rolli potentsiaalses kliimasoojenemises, milles kannatajad on keskkond ja loodus. Piiramise eesmärk on seada kindel piirmäär kui mitu tonni CO₂ heitmeid on lubatud ühel elektrijaamal elektri tootmiseks emiteerida. Lubatavad heitkoguse määrad on määratud Kyoto protokollsi sihtarvuga ning määratud piiri pidamiseks on võimalik kvoote osta ja müüa. Vastavalt sellele jagatakse välja CO₂ kvoote, mille väärtus võrdub ühe tonni emiteeritud CO₂ heidetega. Üleüldine lubatud kasvuhoonegaaside heitkoguse ülempiir väheneb igal aastal, samuti ka tasuta jagatavate kvootide kogus. Tootes rohkem kui lubatud piirmäär, tuleb maksta iga üleliigse CO₂ tonni kohta trahvi, kuid kui kvoote peaks üle jääma, siis tekib võimalus nendega kaubelda. See tõstab firmade huvi oma tooteüksuste heitgaase vähendada võttes kasutusele rohkem energiatõhusamaid või taastuvenergia tootmisüksuseid. [3] [13]

Eesti CO₂ heitkogused on märkimisväärselt madalamal Kyoto sihtarvust väärtusest. Tulevikus on kavas erinevad majanduslikult efektiivsed meetmed, et vähendada heitkoguseid, näiteks suurema osa taastuvate energiaallikate kasutuselevõtmisega. Eesti on emissioonikaubanduse võtmes pigem potentsiaalne müüja. On tõenäoline, et Eestil on võimalus teenida rahvusvahelisel emissiooniturul märkimisväärsed summasid, mida hilisemalt tagasi efektiivsematesse tootmisüksustesse ning rohelisematesse elektrijaamadesse investeerida. [3]

- ✘ 2017. aastal – 39 307 630 eurot.
- ✘ 2018. aastal – 139 888 650 eurot
- ✘ 2019. aastal – 142 647 935 eurot
- ✘ 2020. aastal – 142 263 965 eurot

Joonis 1.3. Eesti enampakkumistelt saadud riigieelarveline tulu [15]

Üldpildis muutuvad heitkogustele väljastatud kvootide piirid aina rangemaks. Kvootidega kaubeldes ning tasaarveldusi tehes väheneb siiski emissioonitase ning keskkonnakahju tasapisi leeveneb. Kaubeldes ja makstes igapäevaselt lubatud heitkoguse ühikutega, teenib süsteemi rakendav riik ka sellelt märgatava tulu.



Joonis 1.4. Emissioonikaubandus, vasakpoolsel tootjal on kvote üle, parempoolsel puudu ning nad vahetavad kvote raha vastu [14]

Näiteks aastatel 2018 – 2020 on Eesti riik ainult enampakkumise turult teeninud aastas keskmiselt 142 miljonit eurot. Tulu laekub riigieelarvesse ja võetakse kasutusele kooskõlas riigi enda eelarvestrateegiaga, mille eest vastutavad ministrid. Tänu sellele viiakse ellu erinevaid projekte, mille sihiks on energiasääst ning ökonoomsemate ja rohelisemate tootmisüksuste levik. Transpordisektoris investeeritakse alternatiivsete kütuste kasutuselevõttu ning eeldatakse sise põlemismootoritega autode kasutamise vähendamist ja uute rohesõidukite pealetulekut. [15]

1.4.3 Renewable portfolio standard ehk taastuvenergia standard

Standard näeb ette, et teatud kogus elektrit, mida müüakse või toodetakse teatud piirkonnas, peab pärinema taastuvenergia allikatest. Just selle standardiga üritatakse vähendada fossiilsetel kütustel toimivate elektrijaamade tootlikkust tänapäeva ühiskonnas. Antud standardit rakendatakse Ameerika Ühendriikides ning see standard on ka kättesaadav lõputöös käsitletavates elektrituru mängudes. Juhul kui elektrimüüja ei taga piisavalt taastuvenergiaallikatest toodetud elektrienergiat nagu süsteem nõuab, siis rakendatakse neile vastavad trahvid. [16]

1.4.4 Päritolutunnistus (GO)

Elektri päritolutunnistuse, inglise keeles Guarantee of origin (GO), eesmärk on tõendada, et elektritootja toodetud elekter on toodetud just taastuvatest energiallikatest või läbi tõhusa koostootmisprotsessi. Selleks, et tõestada tarbitud elektrienergia päritolu kasutatakse Eesti ja teistes Euroopa Liidu liikemesriikides päritolutunnistusi. Tegemist on elektroonilise dokumendiga, millega saab kaubelda. Üks päritolutunnistus vastab 1 MWh toodetud rohelisele elektri ning tunnistus aegub 12 kuu järel. Järelikult, kui on möödunud üks aasta päritolutunnistuse kehtimisest, siis ei ole sellega enam võimalik kaubelda. [21]

1.5 Energiasüsteemide õppeaine

Õppeaine eesmärgiks on tutvustada energiasüsteeme, energiasüsteemide talitluse analüüsi ning optimaaljuhtimise üldisi põhimõtteid. Lisaks sellele tutvustab õppeaine sageduse ja aktiivvõimsuse reguleerimise erinevaid meetodeid energiasüsteemides. Ülevaade antakse ka energiasüsteemide töö- ja häiringukindluse hindamise teoreetilisi aluseid ning energia julgeoleku suurendamise võimalusi, mis on tänapäeva ühiskonnas väga tuline teema. Samuti tutvustab Energiasüsteemide õppeaine elektrituru olemust, selle turuosalisi ning toimimise mehhanisme. Eesmärgiks on ka tudengitele tutvustada energiamajanduse põhimõtteid ja energeetika planeerimise peamisi probleeme, komponente ning nende sisendeid, väljundeid ning olekumuutujaid. [17]

Õppeaine läbinud üliõpilane teab energiasüsteemide eripära sellisel määral, et ta oskab analüüsida erinevate elektrijaamade koostööd energiasüsteemis. Samuti oskab tudeng analüüsida energiasüsteemi püsitalitluse juhtimisprotsessi ja oskab hinnata selle optimaalsust. Üliõpilane tunneb töö- ja häiringukindluse aluseid, olulisi näitajaid ja erinevaid kriteeriume ja oskab neid arvutada. Lisaks selle peaks õppeaine lõpetanud üliõpilane tundma põhilisi energiasüsteemide probleeme ning oskama anda üldisi soovitusi nende lahendamiseks. Õpilane peaks mõistma elektrituru ning energiamajanduse olemust ja eripära ning oskama selgitada bilansi hoidmise põhimõtteid. [17]

Energiasüsteemide õppeaine annab ülevaate energiasüsteemide ajaloost ning kirjeldab maailma energeetika olukorda ning selle arengu põhisuundi. Käsitletakse energiavajadust tänapäeva ühiskonna ning selle katkematus kriitilisust. Energiasüsteemide arendamisel esinevad erinevad ühiskondlikud väljakutsed ning sotsiaalsed ja eetilised kaalutlused, mida õppeaine läbiviimise käigus käsitletakse. Õppeaines selgitatakse eritüübiliste elektrijaamade sobivust energiasüsteemi ning tutvustatakse elektrisüsteemi stabiilsust. Lisaks sellele selgitatakse energiatootjate valiku kriteeriumi ja keskkonnakaitset, samuti ka geograafilisi piiranguid ning nende eripärasid. Elektrituru seisukohalt käsitletakse

energia reserve ja elektrienergia genereerimine optimeerimise võimalusi. Ülevaade antakse ka energiamajanduse alustest, elektrituru olemusest, turuosalistest ning elektribörsis. [17]

Elektrituru mõistmine ning sellel kauplemine on tähtis õppesuuna tudengile. Järk-järgult tuleb turule juurde taastuvenergia allikatel põhinevaid tootmisüksuseid, mis tasapisi fossiilsetel kütustel toimivad elektrijaamadele kõva konkurentsi pakuvad. Ühtlasi on taastuvenergia elektrijaamade pideva kasvu taga ka erinevad keskkonnapoliitilised arengukavad, mille eesmärk on CO₂ jalajälje oluline vähendamine. Olulise muutuse saavutamiseks tuleb ilmselgelt rakendada mitmeid erinevaid muudatusi, milleks on näiteks olemasolevate fossiil kütustel töötavate elektrijaamade, näiteks nagu põlevkivi elektrijaama, põlevkivi kütuse kasutamise efektiivsuse suurendamine (enam kui 75%). Arengukava ettevalmistavate uuringute käigus teostatud elektritootmise pikaajaliste stsenaariumide analüüsi põhjal väheneb otsepõletusel baseeruva põlevkivielektri konkurentsivõime järk-järgult. Suuresti on selle taga kasvavad CO₂ ja põlevkivi hinnad. [18] Neid muutujaid on võimalik ka rakendada elektrituru mängudesse. Just need funktsioonid teevadki elektrituru mängud parajalt keeruliseks ning annavad ka mängijale hea ülevaate nende mõjust elektriturule.

2 . PESD ENERGY MARKET MÄNG

Käesolevas peatükis antakse ülevaade esimesest vaadeldud elektrituru mängust. Vaadeldakse erinevaid mängu osalisi, uuritakse mängu võimalusi ja lisatavaid funktsioone, mõtestatakse lahti tootmisüksused ning nende roll mängus ja viimaks lahendatakse näidisharjutus.

Program and Energy and Sustainable Development at Stanford University (PESD) energiaturu mäng (edaspidi SEM) loodi selleks, et energiaturu regulaatorid, turuosalised ning õppivad tudengid saaksid paremini mõista kuidas elektriturud igapäevaselt toimivad. SEM simuleerib elektri hulgimüüki turgudel ning võimaldab mängijal täita erinevaid rolle energiaturul. Osaleda saab kas elektritootmisüksusi omava riigina, jaemüüjana, ettevõtjana või kauplejana. SEM arvestab turgu mõjutavaid keskkonnapoliitilisi tegureid nagu näiteks süsinikumaks, emissioonikaubandus, ülekandepiirangud ja päritolutunnuse kauplemisega. Antud lõputöös käsitletakse mängu Euroopa versiooni, kuid kõik funktsioonid on kasutatavad ka Ameerika Ühendriikide versioonis. Lisaks sellele toetab mäng ka taastuvenergia kvoote, et toetada tuule- ja päikeseenergia kasutamise arendamist.

Selles töös käsitletakse mängu baasversiooni, kus turu osalisteks on vaid riigid, kes omavad mingit tootmisüksuste portfooliot. Nende ülesanne on turul edukalt kaubelda samal ajal konkureerides teiste elektritootjatega. Lisades eelmainitud tegurid juurde mängu põhifunktsioonidele, siis muutub energiaturu simulatsioon üpris keerukaks ning taolisi lahendusi on väga raske teoreetiliselt analüüsida. Mängu loojad tõdevad, et nende mängu mängimine aitab tudengil ennast üha mugavamalt tunda energiaturul kaubeldes ning õppida paremini tundma, kuidas turud erinevatele muutustele reageerivad. SEM töötab veebiplatvormil, mis suudab simuleerida reaalseid elektri- ja hulgimüügiture. [19]

2.1 Mängu osalised

Elektrituru mängus on mitmed osalised. Saab osaleda kas elektritootjana, jaemüüjana, kauplejana või ettevõtjana. Üksikmängus on ka arvuti poolt mängitud *gamemaster* ehk mängujuht, kuid mitme mängijaga mängus on selles rollis inimene, selles töös eelistatult õppeaine õppejõud. Viimaks on veel mängus üks süsteemihaldur, keda esindab tehisintellekt ehk arvuti. Kõik mängus osalejad saavad ka kasutada ühist vestlusgruppi, kus osalejate vahel sõnumeid saata. Mängu osalistest on kirjeldatud järgnevates punktides. [20]

2.1.1. *Genco* ehk riik

Sõna *genco* on lühend inglise keelsest sõnast *generation company* ning see tähendab tõlkes energiatootmis firma. Energia tootmis firma alla kuuluvad mitmed üldjuhul erinevate tootmistehnoloogiatega tootmisüksused. Selles mängus on käsitletud neid firmasid kui mingit riiki. Edaspidi kasutame inglise keelse väljendi *genco* asemel sõna riik. Näiteks on üheks energia tootmis riigiks Austria, kelle omandis on neli erinevat elektritootmisüksust – kaks hüdroelektrijaama, gaasielektrijaam ning tuulepark. Firmade eesmärk on müüa elektrit hulgimüügiturule, kust seda saavad osta erinevaid jaemüüjad ning võrguettevõtted. Riikidel on SEM mängus järgmised võimalused: [20]

- Riigid saavad mängus müüa oma tooteüksuste toodetud elektrit hulgiturule. Elektri müügihinna kujundab süsteemioperaator. Hind kujuneb vastavalt elektri müügi oksjoni mudelile, kas *uniform price* ehk nõudluse ja pakkumise ristpunktis olev hind või *pay-as-bid* mudelil, ehk iga riik määrab ise oma müüdavale kogusele hinna ning juhul, kui nende pakkumine on väiksem või võrdne, kui turul kujunev hind teenib riik oma pakutud hinna väärtuses tulu
- Ehitada ning hävitada oma tooteüksuseid
- Saab kaubelda mis tahes kaubeldava sertifikaadiga ja sõlmida mis tahes finantstuletislepingut
- Saab müüa energiat ka otse võrguettevõttele eraldi diilina
- Saab müüa kogu elektrienergia ühest kindlast taastusenergia tootmisüksusest otse jaemüüjale läbi PPA lepingu (*Power Purchase Agreement*)
- Saab müüa oma võimsuslepinguid otse süsteemioperaatorile
- Üksikmängus saab riik mõned mängujuhi omadused, et tal oleks võimalik ilma arvuti abita mängu mängida ning juhtida
- Kui mängus on emissioonikaubandus, siis on sunnitud iga tootmisüksus, mis emiteerib CO₂ gaase loovutama ühe CO₂ kvoodi iga toodetud CO₂ tonni kohta. Vastasel juhul, tuleb maksta rahalist trahvi mängu lõpus.
- Kui mängus on süsinikumaks, siis tuleb igal riigil oma iga tootmisüksuse, mis toodab CO₂ gaase, maksta eelnevalt määratud tasu iga tonni emiteeritud CO₂ kohta.

2.1.2. Retailer ehk jaemüüja

Jaemüüjad saavad hulgimüügist osta elektrit ning müüa seda tarbijatele fikseeritud hinna eest. Eestis on jäemüüjaks näiteks Alexela Group OÜ ja 220 Energia OÜ. Jaemüüjate omadused SEM-is on järgnevad: [20]

- Saab kaubelda mis tahes kaubeldava sertifikaadiga ja sõlmida mis tahes finantslepingu, mida kaupleja saab.
- Saab mängu alguses luua ostupakkumisi oksjonile, et osta päev-ette lepinguid
- Võimaldab jaemüüjal välja kuulutada kriitilise perioodi (*CPR*) vabalt valitud mängu hetkel. Olles välja kuulutanud kriitiline perioodi, siis vähendatakse jaemüüja esialgset nõudlust juhusliku arvu võrra. Edaspidi maksab jaemüüja fikseeritud tasu iga MW/h kohta tegelikust nõudlusest, mis on väiksem, kui jaemüüja esialgne prognoositud nõudlus.
- Saab osta kogu müüdava energiakoguse mingist kindlasti taastuvenergia tootmisüksusest.
- Jaemüüja peab loovutama ühe taastuvenergia kvoodi iga müüdü MWh kohta, vastasel juhul karistatakse teda mängu lõpus trahviga.

2.1.3. Trader ehk kaupleja

Kauplejad ei osale otseselt energia hulgimüügiturgudel, kuid nad osalevad kvootide ning lepingutega seotud turgudel, mis on üks mängu osa. Baasversioonis seda funktsiooni lisatud ei ole. Kauplejate omadused mängus on järgnevad: [20]

- Kauplejad saavad osta ja müüa CO₂ kvote, taastuvenergiakvote ning ja erinevaid lepinguid.
- Kauplejad saavad nõuda välja ka trahve, mis tulenevad mitte täitmata jäänud nõuetest. Näiteks, kui riigil ei ole makstud kõikide toodetud MWh eest piisavalt CO₂ kvote, siis on võimalus kauplejal see trahv mängijale kehtestada.
- Juhul, kui mängus on emissioonikaubandus, siis on neil võimalik osaleda mängu alguses toimuval oksjonil, et osta omale mingi koguse CO₂ kvote või vabalt valitud lepinguid.

2.1.4. Vertically Integrated Utility ehk ettevõte

VIU (edaspidi ettevõte) on näiteks firma, kes omab nii tootmisüksusi, elektri ülekandevõrke, kui ka levitamise võrku – Eestis näiteks Elektrilevi. Ettevõtte omadused mängus on järgnevad: [20]

- Saab teha kõike, mida suudab riik ja kaupleja
- Saab sõlmida mistahes lepingu, mida suudab kaupleja
- Saab osaleda elektri hulgimüügiturul, kuid ei pea ning võib eksisteerida vaid kvootide ning lepingutega seotud turgudel
- Saab nii osta kui ka müüa energiat osalejatelt eraldi, mitte läbi hulgimüügituru. Selleks, et seda teha peab ettevõtte mängus leppima kokku ostetava energiakoguse ning hinna. Seda saab ettevõtja osta kas teistelt ettevõtjatelt või riikidelt.

2.1.5. Gamemaster ehk mängujuht

Mängujuhti on võimalik mängida ainult mitme inim mängijaga mängus, kus ta ülesanne on juhtida elektrituru mängu. Mängujuhi võimalused mängus on järgnevad: [20]

- Võimalus sisse ja välja lülitada erinevaid mängu funktsioone nagu näiteks: kas riigid saavad osta uue põlvkonna seadmeid, kas riigid saavad tootmisüksuseid sulgeda, kas mängijad saavad kaubelda erinevate sertifikaatidega või sõlmida omavahel uusi lepinguid
- Saab mängulauda sisse ja välja lülitada käsitsi, et pikkade simulatsioonide käigus tudengite tähelepanu mängust eemale hoida
- Saab käivitada mängu esimesed oksjonid ja hulgimüügiturud ning mängu lõppfaasis rakendada lõplikud taastuenergia sertifikaatide ning emissioonikaubanduse trahvid mängijatele
- Saab ülevaatlikult jälgida kõikide mängu osaliste tegevusi
- Saab muuta mängijate raha jääke ja CO₂ kvooti osalusi. Muudatusi saab teha eeskätt sellepärast, kui mängujuht on mängu alguses mänguosade jaotamisel millegigi eksinud või selleks, et karistada või hoiatada mängijat ebaseadusliku tegevuse eest

2.1.6. Independent system operaator (ISO) ehk iseseisev süsteemioperaator

ISO on sõltumatu süsteemioperaator mis koordineerib, juhib ja jälgib elektrivõrgu toimimist. ISO rollis on arvuti ning seda rolli ei saa tudeng mängida. Süsteemioperaatori teine ülesanne on olla vastaspooleks mängijate sõlmitud lepingutes. [20]

2.2 Mängu võimalused

Stanfordi energiaturu mäng on väga võimekas. Baasversioonile on võimalik lisada juurde mitmeid funktsioone mis võimaldavad mängu muuta väga kompleksiks. Mängu juhib mängujuht, kelle rollis võib olla kas inimene või arvuti. Kui hakata mängu kasutama õppetöök, siis võiks mängujuhi rolli täita õppejõud, kes mängu käiku juhib. Baasversioonis saab osalevad kuni 10 tiimi, kes esindavad erinevate riikide energia tooteüksusi. Igal riigil on oma tootmisüksuste portfoolio. Riikide rollis võib olla kas üksinda või mitmekesi, kuid esimesteks mängudeks soovitatakse koguneda võistkondadesse, et mängu käiku esialgu paremini mõista. Kui tudengid on jaotatud tiimidesse, siis saab mängujuht kõikidele osalistele registreerimiskoodi ning pin koodi oma tiimile. Järgnevalt tuleks jagada tiimidele riik, keda esindatakse. Igal riigil on erinevad tooteüksused, kellel rohkem, kellel vähem. Tooteüksusteks on põlevkivi elektri jaamad, päikesepaneelid, tuulegeneraatorid, gaasi elektri jaamad, hüdroelektri jaamad ja tuumaelektri jaamad. Kui iga tiim on saanud omale esindava riigi, siis on võimalik alustada mänguga. [20] Liitudes mänguga oled jõudnud mänguväljale, mis on kujutatud joonisel 2.1. Ülemise riba pealt leiad järgmised lahtrid: *Place bids* ehk panustamine, *View market results* ehk vaata turu tulemusi, *View capacity* ehk tootmisvõimsused, *Game conditions* ehk mängu seaded ja *Chat* ehk vestlusaken. Baasversioon mängust kestab 4. perioodi. Mängu eesmärk on õpetada mängijale kuidas käib kauplemine elektriturul. Riigid ja nende alla kuuluvad tooteüksused on üksteisest väga erinevad. Erinevused seisnevad just tootmisüksuste arvus, tootmisvõimsuses, tootmistehnoloogias ning tootmishinnas. Seega ei saaks mängijate edukust otseselt kasumi teenimisega hinnata. Küll aga saab hinnata nende võimet edukalt turule pääseda. Mängija eesmärk on oma riigiga elektriturul neljas voorus toimetulek.



Joonis 2.1. SEM mängu avaleht, millest mängija alustab. Viies lahtris on mängu põhitegevused: panustamine, tulemused, võimsused, mängu seaded ning vestlusaken [20]

Need samad 4. perioodi on jagatud ära ühele päevale, kus iga periood esindab 6. tundi ühest päevast. Esimene periood on 04:00 – 10:00, järgmine 10:00 – 16:00 ja nii edasi. Selle põhjal saavad mängijad ka eeldada, millistelt tootjatelt suuremat müüki oodata või vastupidi. Näiteks öösel, kui päikest ei ole, siis on ka päikesepaneelide tootlikkus olematu. Mängu seadete lahtrilt näeb mängija hetkel mängitava mängu baassätteid.

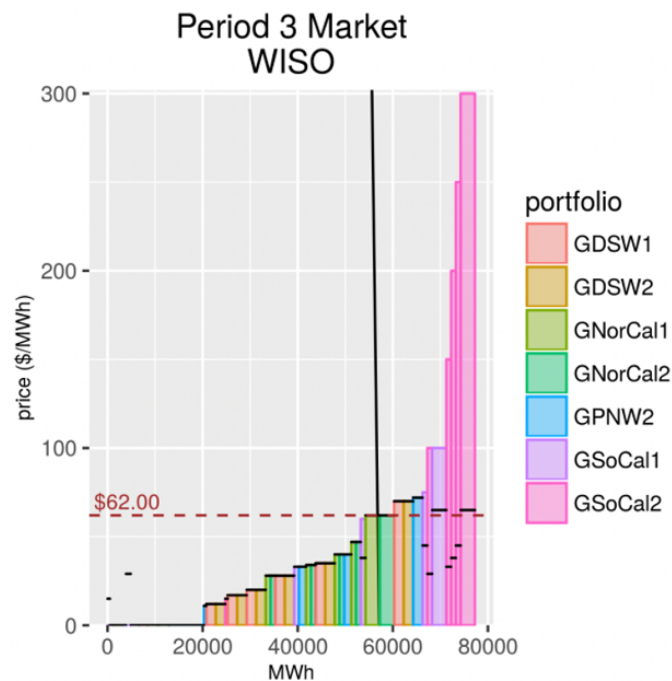
1	portfolio	plant	location	mw	fuelcost	varom	fixom	carbon	fuel_rate	firm_capacity_factor	fuel_type
2	Austria	42_hydro	Europe	150	0	1	500	0	0	1	hydro
3	Austria	43_hydro	Europe	200	0	0.5	600	0	0	1	hydro
4	Austria	44_gas	Europe	50	29	0.5	200	0.34	0	1	gas
5	Austria	45_wind	Europe	50	0	0	600	0	0	1	wind
6	UK	53_coal	Europe	100	15	1.5	200	0.6	0	1	coal
7	UK	54_gas	Europe	400	50	1.5	500	0.59	0	1	gas
8	UK	55_gas	Europe	600	27	0.5	1000	0.32	0	1	gas
9	UK	56_nuclear	Europe	500	7	3	2500	0	0	1	nuclear
10	UK	57_solar	Europe	100	0	0	1200	0	0	1	solar
11	UK	58_wind	Europe	200	0	0	2000	0	0	1	wind
12	UK	59_wind	Europe	300	0	0	3000	0	0	1	wind

Joonis 2.2. SEM mängu kahe riigi tootmisüksuste portfooliote näide, kus on välja toodud jaama tootmistehnika, koguvõimsus, kütuse hind ühe MWh tootmiseks, erinevad muutuvkulud ning CO₂ emissioonikogus ühe MWh tootmisel [20]

Lisaks sellele on võimalik ka vaadata teiste gencode tootmisüksuste portfoolioid ning energianõudluse tabelit. Tabelis on välja toodud erinevad muutujad. Muutujateks on energiaüksuse tootmisvõimsus, kütuse hind ühe toodetud MWh kohta, mis on tootmiskulu ühe MWh kohta (käivitus ja hoolduskulud), tootmisüksuse fikseeritud käivitus- ja hoolduskulud ühes perioodis olenemata kas üksus töötas või mitte ning CO₂ emissiooni kogus toodetud MWh kohta. Igal mängijal on mängu alguses 0 dollarit, kuid raha on võimalik teenida läbi elektrienergia müügi. Selleks, et elektrit müüa peab mängija panustama, mis hinnaga ta müüb elektrit turule igal perioodil ja iga oma tootmisüksuse kohta. [20]

Mängujuht saab mängu alguses valida oksjoni vormi, kuidas elektri hinda tootjale määratakse. On võimalik korraldada kahte tüüpi oksjoni – maksa-nagu-pakutud või ühtse hinnaga oksjon. Maksa-nagu-pakutud oksjonivormis teevad kõik tootjad oma pakkumised iga oma tooteüksuse kohta. Selleks minnakse „Place bids“ lahtrile ning sisestatakse iga tootmisüksuse taha hind, millega mängija oma elektrit müüb. Kui kõik mängijad on oma panused teinud, siis jätkab mängujuht mängu käiku, lõpetades esimese perioodi pakkumised ja avaldab esimese vooru tulemused. Selleks, et näha tulemusi tuleb minna „View market results“ lahtrile. Esimesel real näitab mäng sinu konto seisu. Kui oled oma

panused hästi teinud siis oled teeninud raha, kuid kui esimene voor nii positiivselt ei möödunud siis oled kaotanud raha ning oled võlas. Kerides alla poole näitab mäng ka teiste osaliste tulemusi ning panuseid. Maksa-nagu-pakutud oksjonivormis teenivad tootjad tulu vastavalt nende pakutud elektri hinnale ja kogusele. See tähendab, et kui tootja müüs 100 MW oma hüdro, tuule ja päikeseenergiat kõiki 1€/MWh ning kõik pääsesid turule, siis teenib ta iga müüdü MWh kohta 1€. See tähendab, et kui tootja on turule pääsenud, siis ta saab tulu täpselt nii palju, kui ta küsis.



Joonis 2.3. Börshinna kujunemise näide ühtse hinnaga oksjoni vormis. Vasakul teljel asub ühe MWh hind, paremal teljel MWh kogus ning graafikul erinevate firmade pakkumised [20]

Teine oksjonivorm on „Uniform price“ oksjon ehk ühtse hinnaga oksjon. Ühtse hinnaga oksjonivormi puhul teeb tootja sarnaselt pakkumise oma toodetava elektri eest. Vahe maksa-nagu-pakutud oksjoniga väljendub sellest, et pakkudes turule kogu oma elektri hinnaga 1€/MWh ning juhul, kui tootja pääseb ka turule, siis tootja tulu suurus sõltub elektri turuhinnast. Kui elektrit müüdi 62€/MWh siis teenib tootja iga turule pääsenud MWh eest 1€ asemel 62€.

Samuti on näha ka turuhind millega elektrit erinevatelt tootjatelt osteti. Kõige edukam igas voorus on see, kes kõige täpsema panuse oma müüdavale elektrile tegi. Minnes valikust tagasi lahtrile „View Projections“ näitab see mängitud perioodi taastuenergiaallikate tootlikkuse prognoosi.

Järgnevalt mängitakse läbi kõik neli perioodi ühe kaupa, kui mängijad on juba piisavalt iseseisvad ning nende arusaam mängust paraneb siis on võimalik mängida ka mitmeid perioode korraga. See kiirendab mängu käiku ning mängijate arenedes on võimalik lisada

ka juurde erinevaid funktsioone, mis turul toimetamist ja hinna prognoosimist raskendavad. Lisada on võimalik näiteks CO₂ emissioonimaks, muuta elektrienergia nõudlust käsitsi või muuta päikese ning tuule olemasolu väärtusi eelnevalt, enne kui uus voor algamas on.

2.3 Lisatavad funktsioonid

Elektrituru mäng võimaldab baasfunktsioonidele veel lisaks rakendada teisi keerukaid funktsioone, mis mängukäiku oluliseks raskendavad. SEM mängu saab lisada erinevaid keskkonnapoliitilisi funktsioone, mis leiduvad ka reaalsel elektriturgudel. Näiteks on võimalik lisada mängu süsiniku maksustamine või emissioonikaubanduse süsteem, mida rakendatakse tootmisüksustele. Jaemüüjatele on aga võimalus lisada RPS kohaselt tingimus, et nad peavad iga müüdud taastuenergiast pärit MWh kohta loovutama ühe taastuenergia kvoodi. [20]

2.3.1 Carbon tax ehk CO₂ tasu

Süsinikumaks kehtestatakse ainult riikidele. Olles süsinikumaksu kohustuslane, on mängija sunnitud maksma fikseeritud tasu iga tootmisüksuse toodetud CO₂ tonni kohta. Süsinikumaksu hinna määrab iga mängu alguses mängujuht ning see on mängijatele enne mängu algust teada. Süsinikumaksu hind mõjutab otseselt mängija käitumist turul. Seda on ka võimalik muuta enne iga uue perioodi algust. [20]

2.3.2 Cap-and-trade ehk emissioonikaubandus

Emissioonikaubanduses süsteemis jagatakse igale riigile, kes oma elektritootmise käigus eraldab CO₂, mingi teatud kogus tasuta CO₂ kvote. Jagamine võib toimuda kas ühtse hinnaga oksjoni kaudu või jagatakse need ilma tasuta riikidele välja. Selle, kuidas kvoodid jagatakse, otsustab mängujuht. Kui kvoodid on jagatud siis on võimalik nendega edaspidi kaubelda. Riigid peavad oma iga tootmisüksuse toodetud CO₂ tonni kohta loovutama ühe CO₂ kvoodi. Kui riikide toodetud CO₂ tonnide hulk ületab nende valduses olevate CO₂ kvootide hulga, siis peavad nad ületatud hulga eest mängu lõpus tasuma trahvi. Selleks, et trahvist hoiduda, on võimalik ka osta teistelt riikidelt CO₂ kvote. On võimalik, et osad mängijad ei kasuta ära kõiki oma CO₂ kvote ning see annab neile võimaluse lisatulu teenimiseks. Müües oma üle jäänud CO₂ kvoodid konkurentidele aitab see neile endile raha teenida, kuid samas annab see ka teistele riikidele võimaluse trahvist pääsemiseks. [20]

2.3.3 RPS ehk taastuenergia standard

RPS ehk *Renewable Portfolio Standard* ehk taastuenergia standard, on loodud selleks, et tõsta taastuenergia allikatest elektri tootmist nagu näiteks päike ja tuul ning sellega

asendada muud fossiil- ja tuumaelektri tootmisüksused. SEM mängus jagatakse selle kohaselt igale riigile taastuvenergia allikast toodetud MWh kohta üks REC, mis on taastuvenergia kvoot. Riikidel on võimalus aga nendega edaspidi kaubelda müües neid kauplejatele või jaemüüjatele. Sarnaselt emissioonikaubanduse süsteemile, tuleb ka jaemüüjatel, loovutada üks taastuvenergia kvoot iga müüdü MWh kohta. Mängu lõpus karistatakse jaemüüjaid, kes pole taganud piisavalt taastuvenergia kvoote oma müüdü energia kohta. [20]

2.3.4 Ülekandepiirangud

Üks huvitav lisafunktsioon SEM mängus on ülekandepiirangute rakendamine. See tähendab, et mingite kindlate riikide/piiride vahel on ühenduses kitsaskoht, kust on võimalik elektrit ühest piirkonnast teise transportida vaid läbi ühe ühenduse. See võib aga hakata kahe piirkonna vahelist ühendust piirama. Elektriliinidel on oma maksimaalne läbilaskevõime, milleni nad vastu peavad. Vastasel juhul võib piirkondade vaheline elektriühendus katkeda. [20]

2.4 Tootmisüksused

SEM mängus on igal riigil oma portfoolio, kuhu kuuluvad erinevad tootmisüksused. Tootjate portfooliotel on nii kivisöe, hüdro, maagaasi, päikese, tuule, õli ja tuumaelektrijaamad. Igal tootmisüksusel on ka oma eripärad. Näiteks on igal tootmisüksusel erinevad püsi- ja käivitamiskulud. Püsikulud tekivad igal hetkel olenemata kas tootmisüksus on tööl või mitte ning käivitamiskulud tekivad veel eraldi lisaks iga toodetud MWh kohta. Antud alapeatükk käsitleb *Zürich* mängu mudelis olevaid tootmisüksuseid ning nende eripärasid.

Iga toodetud MWh kohta eraldub ka mitte taastuvenergiaallikatel põhinevatel elektrijaamadel mingi kogus CO₂ gaasi, mille eest osades mängu versioonides tasu tuleb maksta. Lisaks sellele on riikidel võimalus osta enda portfooliosse uusi tootmisüksusi, kui ka neid maha kanda.

Samuti varieeruvad ka jaamade võimsused, alustades väikestest tuuleparkidest ning lõpetades suurte tuumajaamadega. Kõikide riikide tootmisüksuste koguvõimsus on 21 450 MW. Järgnevates alapeatükkides kirjeldatakse täpsemalt elektritootmisüksuste eripärasid SEM mängus.

2.4.1 Gaasielektrijaamad

Gaasielektrijaamu on kokku 14 tükki, need on esindatud kaheksas riigis kümnest ning nende koguvõimsus on 4250 MW. Elektrijaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 50-600 MW vahel ning kütusehinnad ühe toodetud MWh kohta \$21.5 – \$50 vahel. Ühe MWh

tootmiskulu jääb vahemikku \$0.5 - \$1.5 ning jooksevkulu ühes perioodis jääb vahemikku \$200 - \$1000. Jaama käitamiskulu on \$0 ning elektriyaam emiteerib ühe toodetud MWh kohta 0.25 – 0.59 tonni CO₂ gaase.

2.4.2 Kivisöeelektriyaamad

Kivisöeelektriyaamad on kokku üheksa tükki, need on esindatud seitsmes riigis kümnest ja nende koguvõimsus on 4050 MW. Elektriyaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 100 – 1000 MW vahel ning kütusehinnad ühe toodetud MWh kohta \$15 – \$25 vahel. Ühe MWh tootmiskulu on kõikidel elektriyaamadest \$0.5 - \$1.5 ning jooksevkulu ühes perioodis jääb vahemikku \$200 - \$1200. Tootmisüksuse käitamiskulu on \$0 ning elektriyaam emiteerib ühe toodetud MWh kohta 0.6 tonni CO₂ gaase.

2.4.3 Tuumajaamad

Tuumajaamu on kokku 10 tükki, need on esindatud kümnest riigist seitsme portfoolios ning nende koguvõimsus on 5550 MW. Elektriyaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 150-1000 MW vahel ning kütusehinnad ühe toodetud MWh kohta on \$4 – \$7.5 vahel. Ühe MWh tootmiskulu jääb vahemikku \$3 - \$4 ning jooksevkulu ühes perioodis jääb vahemikku \$800 - \$6000. Jaama käitamiskulu on \$0 ning samuti ei emiteeri tuumajaamad ka õhku CO₂ gaase, mistõttu põiklevad jaamad kõrvale ka süsinikumaksust.

2.4.4 Hüdrolelektriyaamad

Hüdrolelektriyaamu on kokku 13 tükki, need on esindatud üheksas riigis kümnest ja nende koguvõimsus on 3900 MW. Elektriyaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 50 – 650 MW vahel ning sellel tootmistehnoloogial puuduvad kütusehinnad, kuna tegemist on taastuvenergiaga. Ühe MWh tootmiskulu on kõikidel elektriyaamadest \$0.5 - \$1 ning jooksevkulu ühes perioodis jääb vahemikku \$200 - \$1500. Tootmisüksuse käitamiskulu on \$0 ning hüdrolelektriyaamas elektri tootmisel ei teki CO₂ heitmeid.

2.4.5 Tuulepargid

Tuuleparke on kokku 11 tükki, need on esindatud üheksas riigis kümnest ning nende koguvõimsus on 2500 MW. Elektriyaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 50 – 400 MW vahel ning sellel puudub kütusehind, kuna tuulegeneraatorid töötavad tuulega, mis on taastuvenergia allikas. Ühe MWh tootmiskulu on kõikidel elektriyaamadest \$0 ning jooksevkulu ühes perioodis jääb vahemikku \$600 - \$4000. Tootmisüksuse käitamiskulu on \$0 ning tuuleelektriyaamades elektri tootmisel ei teki CO₂ heitmeid.

2.4.6 Päikesepargid

Päikeseparke on kokku 7 tükki, need on esindatud seitsmes riigis kümnest ja nende koguvõimsus on 1200 MW. Elektriyaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 50 – 500 MW vahel ning sellel puudub kütusehind, kuna päikesepaneelid toodavad elektrit päiksest, mis on taastuvenergia allikas. Ühe MWh tootmiskulu on kõikidel elektriyaamadel \$0 ning jooksevkulu ühes perioodis jääb vahemikku \$600 - \$6000. Tootmisüksuse käitamiskulu on \$0 ning tuuleelektriyaamades elektri tootmisel ei teki CO₂ heitmeid.

2.5 Näidisharjutus

Näidisharjutuse viis läbi autor üksinda mängides „Zürich 1p stylized“ mängu, ehk üksikmängu Euroopa elektrituru versiooni. Mängu stsenaariumiks oli baasmäng ning kasutati Zürichi tootmisportfooliosid. Riigiks, keda autor esindab on Austria ning mängu kaastakse ka kõik teised võimalikud riigid.



Energy Trading Game

Create stylized games

Scenario: base_game

Portfolios: zurich

Team: Austria

Countries:

- Austria
- BeNeLux
- France
- Germany
- Italy
- Nordic
- Poland
- Spain
- Switzerland
- UK

Carbon tax: 0.00

- Demand is random
- Solar/wind (if any) are random

Seed: d3569781 ?

Computer agent behavior: default

Registration code:

Create game

Joonis 2.4. SEM mängu seadistamise leht enne näidisharjutuse algust [22]

Näidisharjutuses ei rakendatud süsinikumaksu funktsiooni ning ka nõudluse ja tuule- ning päikeseressurss pole suvaline. Mängu oksjoni tüübiks oli *uniform price* ehk hind kujunes nõudluse ja pakkumise ristumispunktis ning kõik pakkujaid, kelle pakkumine oli väiksem

või võrdne kujuneva turuhinnaga, teenivad tulu vastavalt turu hinnale. Samuti koostati ka portfooliote kokkuvõtte, kus oli näha kõikide mängus olevate riikide portfoolios olevad tooteüksused, nende võimsused, kulud ja heitmekogused.

SEM mängu mõte on õpetada tudengitele, kuidas ennast mugavamalt elektriturul kauplemisel tunda. Kogemuse saamiseks aitab elektrituru mäng, kust reaalsete turuandmetega kogemust omandada. Näidisharjutuses tuleks on jääda turule püsima kasumiga, mis ei ole antud mängus kõige lihtsam ülesanne. Turu nõudluse tagamise eest vastutavad 10 erinevat riiki, kellel kõigil mitmed erinevate võimsuste ja kuludega tootmisüksust. Mängu eesmärk on mitte minna oma vahenditega miinusesse.

Selleks, et tudeng saaks liituda õppejõu poolt loodud mänguga peab õppejõud edastama talle sisenemise interneti lingi. Selle saab mängjuht, kui ta on loonud mängu ja seadistanud selle oma nõudluste kohaselt ülesse. Järgnevalt avab tudeng saadud lingi ning ühineb mänguga, kust teda ootab ees mängu pealeht, mis on toodud joonisel 2.4. [22]

Selleks, et tudeng saaks liituda õppejõu poolt loodud mänguga peab õppejõud edastama talle sisenemise interneti lingi. Selle saab mängjuht, kui ta on loonud mängu ja seadistanud selle oma nõudluste kohaselt ülesse. Järgnevalt avab tudeng saadud lingi ning ühineb mänguga, kust teda ootab ees mängu pealeht, mis on toodud joonisel 2.5.



The screenshot displays a game interface for the SEM (Simulation of Electricity Market) game. At the top, there is a red and white flag representing Austria. Below the flag is a scenic image of a dam and a reservoir. A navigation bar at the bottom of the image contains five buttons: "Place bids", "Increment period", "View market results", "View capacity", and "Game conditions". Below the navigation bar, the text "Team: Austria / Current game: base_game / Current period: 1" is displayed in green. At the bottom left, the status "Cash: \$0.00" and "Messages: none" is shown.

Joonis 2.5. SEM mängu pealeht [22]

2.5.1 Mängu esimene voor

Autor esindab näidisharjutuses Austria riiki, kelle valduses on neli tootmisüksust koguvõimsusega 450 MW. Nendest kaks on hüdroelektrijaamad ning üksikud on tuulepark ja gaasielektrijaam. Esimese sammuna avab autor mängutingimuste lahtri, kust on

võimalik näha mängu tingimusi, ülevaadet teiste riikide portfooliotesse ning elektrituru nõudluse tabelit. Nõudluse põhjal on võimalik eeldada, kui tihe on konkurents erinevates voorudes kaubeldavale elektrile. Portfooliotest saab vaadata teiste riikide võimsusi ning tootmiskulusid ning selle põhjal eeldada nende pakkumisi.

Game conditions

Auction type: Uniform price
 Carbon cap: None
 Seed: 91550474
 Is demand random: False
 Are renewables random: False

Demand Table:

Period	Location	Load intercept	Load slope
1 (Day 1 4am)	Europe	9344	-2.0
2 (Day 1 10am)	Europe	12448	-2.54
3 (Day 1 4pm)	Europe	17757	-2.41
4 (Day 1 10pm)	Europe	15884	-2.54

Portfolios

[Portfolio spreadsheet](#)

Joonis 2.6. SEM mängu pealeht [22]

Selleks, et teha panuseid läheb autor „Place bids“ ehk tee panuseid lahtrile. Järgnevalt vajutatakse lahtrile „Period 1“, mis on esimene voor, kuhu saab sisestada esimese perioodi pakkumised. Joonisel 2.7. on välja toodud kuvatõmmis pakkumiste tabelist.

Team: Austria / Current game: base_game / Current period: 1

Period 1
Period 2
Period 3
Period 4

Column descriptions

MW = Expected capacity (MW)
PRICE = Bid price (\$/MWh)
\$X/ton = Marginal cost (\$/MWh) incorporating a carbon price of \$X
CO2 = CO2 emissions (tons) if plant runs at full capacity

PLANT	MW	PRICE	\$/ton	CO2	
45_wind	19		0.00	\$0.00	0
43_hydro	200	<input type="text" value="0.50"/>	\$0.50	0	
42_hydro	150	<input type="text" value="1.00"/>	\$1.00	0	
44_gas	50	<input type="text" value="29.50"/>	\$29.50	17	

Update (Must click "Update" to update bids)

Joonis 2.7. SEM mängu pakkumiste tegemise vahekaart [22]

Selgelt on eristatud riigi tootmisüksused, nende võimsused, pakkumise lahter, ühe MWh tootmise kulu ning mitu tonni CO₂ emiteeritakse ühe toodetud MWh kohta. Esimese käiguna avab autor riikide portfoolio tabeli, et välja selgitada kulu, mis tuleks igal juhul katta, et mitte kahjumisse langeda. Tabelist selgus, et Austria tootmisüksuste kulu ilma käitamiseta on \$1900. Käitamisel lisandub sellele veel kulu iga toodetud MWh kohta. Arvestada tuleb ka seda, et kõikide riikide kogutoodangust 21 450 MW tuleks katta umbes pool ehk 9344 MW ning Austria on teiste riikide kõrval pigem väiketootja 450 MW-ga ehk pakkumist tehes tuleks olla ettevaatlik. Eeldatava võimsuse tabelist näeb autor aga, et päikesepaneelide toodang on selles voorus 0, kuna esimene voor on kell 4:00 öösel.

portfolio	plant	location	mw	fuelcost	varom	fixom	startup	carbon	fuel_rate
Austria	42_hydro	Europe	150	0	1	500	0	0	0
Austria	43_hydro	Europe	200	0	0.5	600	0	0	0
Austria	44_gas	Europe	50	29	0.5	200	0	0.34	0
Austria	45_wind	Europe	50	0	0	600	0	0	0

Joonis 2.8. SEM mängu Austria riigi tootmisüksuste andmed [22]

Kõige kallim tootmisüksus on Austria gaasielektrijaam, mille kütusekulu on võrreldes teiste tootmistehnoloogiatega võrdlemisi kallis. Sellest võib autor eeldada, et gaasielektrijaamad selles voorus turule ei saa, mistõttu teeb autor gaasielektrijaama pakkumise turule täpselt sama hinna väärtuses, mis on selle jaama kütusekulu + jooksevkulu. See teeb ühe MWh hinnaks:

$$Hind = \$29 + \$0.5 + \left(\frac{\$200}{50}\right) = \$33.5$$

Halvimal juhul kaotab autor tehinguga jaama jooksevkulu \$200, kuid kui turuhind kujuneb kõrgemaks pakutust siis teenitakse kasumit. Sama meetodit rakendatakse ka mõlema hüdroelektrijaama pakkumisel ning mõlema tooteüksuse pakutavad hinnad kujunevad vastavalt 42_hydro \$4.5 ja 43_hydro \$3.5. Kui panused on lahtritesse sisse trükitud, siis tuleb vajutada nuppu „Update bids“ ehk uuenda pakkumisi ning ülevalt lahtrist „Increment period“ ehk käita vooru arvutused, vajutada nupule „Increment period, compute equilibrium prices and clear derivatives“ ehk arvuti hakkab vooru tulemusi looma. Sellega lõppeb ka esimene voor.

Plant	Capacity	Output	MC (\$0/ton)	Bid price	Market price	Fixed costs	Profits w/o CO2	CO2
45_wind	14	14	\$0.00	\$0.00	\$16.50	\$600.00	-\$369.00	0
43_hydro	200	200	\$0.50	\$3.50	\$16.50	\$600.00	\$2,600.00	0
42_hydro	150	150	\$1.00	\$4.50	\$16.50	\$500.00	\$1,825.00	0
44_gas	50	0	\$29.50	\$33.50	\$16.50	\$200.00	-\$200.00	0

Joonis 2.9. SEM mängu Austria riigi esimese vooru tulemused [22]

Järgnevalt valides lahtri „View market results“ ehk vaata turu tulemusi, on võimalus tutvuda esimese vooru tulemustega. Lehelt selgub, et autori pakkumised on mingil määral vilja kandnud ning teenitud on tulu \$3856.0 võrra. Elekrituru hinnaks kujunes \$16.50, mis tähendab, et turule pääsesid kõik tootmisüksused peale gaasi, mida autor ka eeldas. Sellise turuhinna juures õnnestus kasumit teenida mõlemal hüdroelektrijaamal, kes kahe peale kokku teenisid kasumit \$4425. Tuulepargi jooksevkulu on \$600, mistõttu tuulepargi \$231 suurune tulu aitas vaid leevendada kahjumit. Samuti teenis kahjumit gaasielektrijaam \$200 võrra. Pooled riigid läksid esimese vooruga kahjumisse ning teine pool teenisid kasumit. Teiste riikide tulemused on toodud lisas 2.

2.5.2 Teine voor

Teise vooru toimub kell 10 hommikul ning elektrinõudlus on esimesest voorust pea 3000 MW võrra suurem ehk 12 448 MW. „View capacity“ ehk vaata eeldatavat tootlikkust, lahtrist näeme eeldatava toodangu jagunemise. Sellest saab autor eeldada, et tuuleparkide toodang on 25% juures ning päikesepaneelide toodang kasvab selles voorus. Taastuvenergiaallikate osalus väiksem on kogupakkumises väiksem.

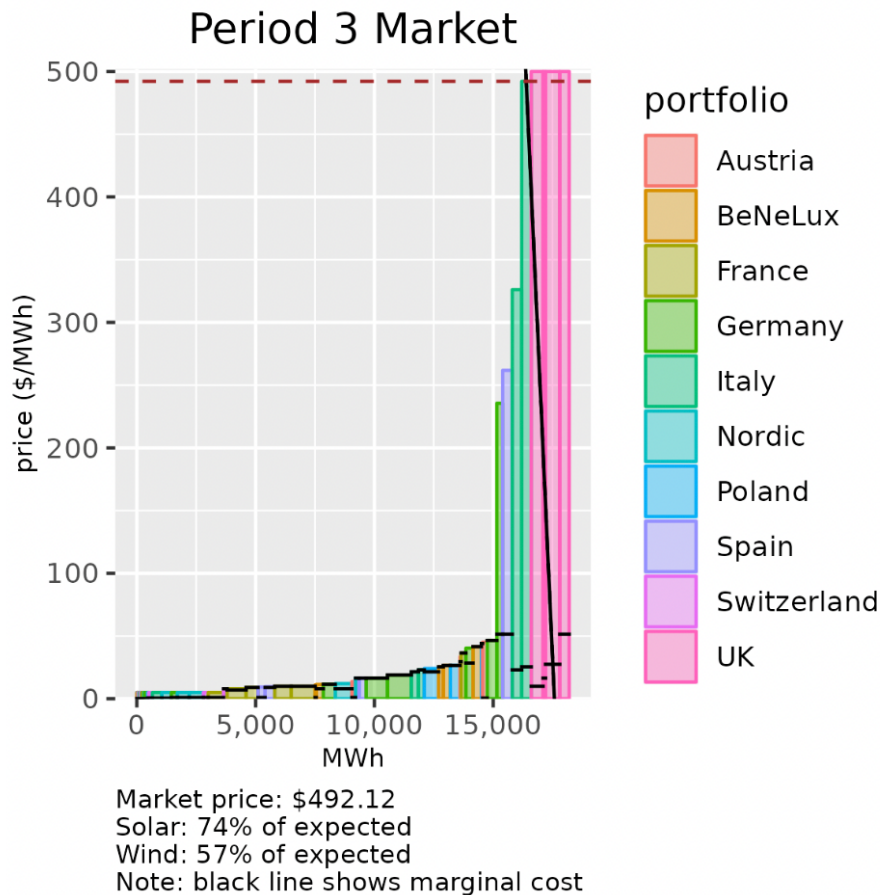
View expected capacity (MW)				
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 4
Coal	4,050	4,050	4,050	4,050
Gas	4,250	4,250	4,250	4,250
Hydro	3,900	3,900	3,900	3,900
Nuclear	5,550	5,550	5,550	5,550
Solar	0	377	377	0
Wind	942	308	308	942
Total	18,692	18,435	18,435	18,692

Joonis 2.10. SEM mängu kõikide nelja vooru eeldatavad tootmismahud iga tootmisüksuse kohta eraldi [22]

Teises voorus on nõudlus suurem, kuid ilmselt mitte piisavalt, et riigid peaksid kätama oma gaasielektrijaamu. Sestap teeb autor ka oma pakkumised sarnaselt esimesele voorule. Hüdroelektrijaamade ühe MWh hinnaks määratakse \$3.5 ning \$4.5 ja gaasielektrijaama ühe MWh hinnaks määrab autor \$33.5. Järgnevalt käitatakse programm, et kuvada teise vooru tulemused. Avades tulemuste lahtri on rahakotti kogunenud juba arvestatav summa \$10 631. Selgub, et ka see voor on hästi õnnestunud ning elektri turuhinnaks kujunes \$25.50. Päikest selles voorus oli rohkem, kui varem ehk 103%, kuid tuul sootuks 0%. Gaasielektrijaamaga pääsesid turule kaks riiki, kellest üks ka minimaalse kasumi teenis ning teine väikese kahjumi. See-eest suudeti aga turult eemale jätta mitu kivisõjaama, üks hüdroelektrijaam ning üks tuumaelektrijaam.

2.5.3 Kolmas voor

Kolmas voor toimub kell 16:00 päeval. Vastavalt joonisele 2.10. on eeldatav toodang sarnane eelnevale. Muutuda võivad vaid taastuvenergiaallikatest toodetav tuule- ja päikeseparkide osakaal turul.



Joonis 2.11. SEM mängu eeldatavad tootmismahud [22]

See-eest on aga tarbimine kõige suurem just selles voorus – 17 757 MW. Autor eeldab, et tuule- ja päikeseparkide mõju jääb koguvõimsuses 3700 MW-st prognoositud 600 MW juurde. Seega eelduste kohaselt jääb turult eemale umbes 1000 MW koguses elektrienergiat, mis annab võimaluse katsetada turu hinda tõsta. Seda on autoril plaanis teha just hüdroelektrijaamadega, millele riskiaste on madalama tootmiskulu juures kõige väiksem. Selleks, et oma kahjumit ennetada teeb autor esimese pakkumisena oma odavaima hüdroelektrijaamaga ning pakkudes sellega hinda, mis kataks ära kõikide riigi tootjate tootmiskulud, mida on \$1900 jagu, millele lisaks \$150 oma jaama tootmiskulu. Seega teeb autor oma esimese pakkumisena 42_hydro elektrijaama 150 MW hinnaga \$13.7. Gaasielektrijaama hinna jätab autor samaks nagu eelnevalt \$33.5. Viimaks proovitakse teise hüdroelektrijaama elektri eest küsida kõrgemat hinda kui tavaliselt. Eeldusel, et kõik gaasielektrijaamad pääsevad turule ning kõige kallima kütusega

gaasielektrijaama kulud ühe MWh tootmiseks on maksimaalselt \$52.75, siis proovib autor pakkuda hinda mis oleks sellest veidike madalamal, kuna kaks gaasielektrijaama, mis sellise hinnaga oletatavalt turule müüvad suudavad katta tuhandest MWh-st 800 MW. Autor pakub viimaks oma 200 MW hüdroelektrijaama toodangut hinnaga \$44.99 ühe MWh kohta. Halvimal juhul kaotab riik \$1900. Järgevalt käitatakse simulatsioon ning kuvatakse tulemused. Kolmanda vooru hinna kujunemise graafik on toodud joonisel 2.11.

Nagu selgub ka graafikult, siis läks pea kõikidel riikidel selles voorus väga hästi ning ühe MWh elektri hind tõusis oodatult kõrgele - \$492.12. Töö koostaja pangasaldo kerkis \$205 330 juurde ning tuleb tõdeda, et kasum on võrreldes eelnevate voorudega meeletu. Turult jäi välja 1600 MW jagu Inglismaa elektrit, kes pakkus seda \$500 ühe MWh eest.

2.5.4 Neljas voor

Neljas voor on ühtlasi ka viimane mängu voor. Arvestada tuleb, et voor on kell 22:00 õhtul, mis eeldaks päikeseparkide minimaalset- või isegi mittetootlikkust. Seni on pakkumised väga edukalt läinud ning ollakse kasumis. Viimane voor võiks piltlikult sarnaneda esimese vooruga, kus samuti päikesesaamade osakaalu turul polnud, kuid tuulepargid töötasid pea 75% juures. Eeldades, et kõik saadav taastuvenergia pääseb turule ning sellele järgnevad täismahus tuumaelektrijaama toodang ja samuti ka kivisöest elekter siis oleks kaetud 15 884 MW-st 15 950 MW. See on eeldusel, et tuuleressurss on 100%. Mida väiksem tuleb eesoleva perioodi tuuleressurss seda suurem võimalus on gaasielektrijaamadel turule pääseda. Samas tasub jälgida ka teiste gaasielektrijaamade kulusid ning nendest väljendub, et autori gaasielektrijaam on teistega võrreldes keskmise kuluga, mis eeldaks odavamate gaasielektrijaamade soosimist turule pääsemiseks. Seega tehakse hüdroelektrijaamadega panused veidikene madalamad, kui kõige odavama gaasielektrijaamaga, mis on Hispaanial hinnaga \$24.5. Mõlema hüdroelektrijaama ühe MWh hinnaks määratakse \$24 ning gaasielektrijaama ühe MWh hinnaks \$33.5.

Tulemuseks kujundas elektri hinna Inglismaa gaasielektrijaam, mis pakkus oma 400 MWh hinnaga \$322.44 ühe MWh kohta. Turult jäid välja üks Itaalia gaasielektrijaam ning 6 prantsusmaa tootmisüksust, millest neli olid tuumaelektrijaamad. Autor teenis viimase vooruga \$133 734 kasumit ning lõpetas mängu kokkuvõttes \$339 065 kasumiga.

2.5.5 Kokkuvõte

Kokkuvõtteks jäädi kümnest riigist kõige väiksema kasumiga viimasele kohale. See-eest oli aga autori esindatud Austria riik ka kõige väiksema koguvõimsusega portfoolio 450 MW, seega ei saaks kasumeid võrreldes kaotust väljendada. Küll aga oleks hea võrdluseks tuua keskmine teenitud kasum ühe müüdud MWh kohta. Selleks koondati teenitud kasumid ning tootmisvõimsused kokku ühte tabelisse ning arvutati keskmine MWh müügihind. Tabelist

2.1. selgub, et kõige suuremat tulu ühe MWh müügiga teenis Šveitsi riik, kelle keskmiseks kasumiks ühe MWh müügil oli \$759. Teisel kohal oligi Austria riik \$753. Kõige madalama keskmisega oli Inglismaa, mida võiks ilmselt põhjendada sellega, et kolmandas vooorus, kus elektrituruhind MWh kohta oli suurim, jäädi välja seitsmest nelja suurtootjaga ning oluline kasum jäi teenimata.

Tabel 2.1. Autori poolt arvatatud iga riigi keskmine MWh müügihind

Riik:	Tootmisvõimsus, MW	Kogukasum, \$	Keskmine MWh hind, \$
Germany	4 800	2 933 878	611
Nordic	2 650	1 992 716	752
France	4 250	1 923 303	453
Italy	2 050	1 179 052	575
Spain	1 900	1 147 776	604
BeNeLux	5 150	942 606	183
Poland	1 200	859 212	716
UK	2 200	493 998	224
Switzerland	550	417 418	759
Austria	450	339065	753

Šveitsi edu võiks ka osaliselt põhjendada nende efektiivsete ning madalate hooldus- ja käivituskuludega tootmisüksustega. Kokku neljast jaamast kolm töötavad taastuvenergiaallikatel ning ainukese tuumajaama kütusehind ühe MWh tootmiseks on kõigest \$5.

Kuna näidisharjutus sai läbi mängitud arvuti vastu, mis üritab simuleerida päris inimese käitumist ning pakkumisi, siis oleksid siiski tulemused ilmselt erinevad, kui mängida kauplemiskogenematute kaastudengite vastu. Mängu tulemustega jäi autor väga rahule.

3 . ROLEPLAY ELECTRICITY MARKETS MÄNG

Roleplay electricity markets (edaspidi REM) on loodud Taanis Aarhus Ülikooli professor Marta Victoria poolt. Mäng loodi eesmärgiga, et tekitada tudengites rohkem huvi iseseisvalt elektriturul majandamiseks. Tegu on üsna primitiivse mänguga, sellel pole eraldi veebilehte ega ei pea alla laadima mõnda muud erialalist tarkvara, vaid kõik tegevus toimub Excelis. REM-is olevad tootmisvõimsused ning turu nõudlused pärinevad Taani energiasüsteemist, seega imiteerib mäng vägagi reaalselt elektrituru käiku. Mäng viiakse läbi viies erinevas lõikes, mis moodustavad kokku ühe päeva. Enne igat lõiget saavad mängijad ette ilmastiku prognoosi ning eeldatava elektrikoguse nõude. Selle põhjal hakatakse tegema panuseid iga päeva lõike kohta eraldi. Näiteks antakse ette esimese lõike panustamiseks järgnevad andmed: Tuule ressurss 20%, külm ilm, päikeseintensiivsus 10% ning eeldatav elektrinõudlus 3000 MWh. [23]

3.1 Mängu osalised

REM mängu alguses jagatakse igale mängijale kätte paber, millel on kirjeldatud tema tooteüksus ning võimsus. Igat rolli mängib kaks mängijat, mõlema käsutuses on pool kogu tootja toodetud energiast. Erinevaid elektritootjaid on 6, kelleks on kivisöejaam, gaasielektriyaam, hüdroelektriyaam, maismaatuulepark, avameretuulepark ja päikeseelektriyaam. Samuti on igal tootjal omad eripärad ning kulud. Näiteks tuulegeneraatoritel ning päikesepaneelidel puudub käitamis ning jooksevkulu, kuna tegemist on taastuenergia allikatega – küll on aga suuremad kulud näiteks kivisöejaamal, kus oluliseks kuluks on kütus. Kõige madalam hind millega oma võimsust on võimalik müüa on 0€ ning maksimaalne hind 180€ - see kehtib kõikidele elektritootjatele. [24]

3.1.1 Kivisöejaam

Kivisöest elektritootja kogu tootmisvõimsus on 2400 MW, mille müügi eest vastutavad kaks mängijat. Mõlemal on võimalus müüa maksimaalselt poolt kogu tootmisvõimsusest. Mängija eesmärk on teha oma tootmisvõimsusest mingi hulga või terve hulga pakkumine võimalikult lähedale turuhinnale ning sellest kasumit teenida. Võimalus on ka oma tootmisvõimsuse müüki lahterdada mitmeks osaks, millel on erinevad hinnad. Tootes elektri põlevkivist, tuleks silmas pidada ka elektri tootmishinda, kuna tootmisel kulub kütust ning samuti arvestatakse tootmise hinna sisse ka hoolduskulud. Konkreetset näitel teeb see elektri tootmishinnaks(muutuvkulu?) 30€/MWh kohta. Näiteks müües 1000 MWh turule hinnaga 50€/MWh, on tuluks $1000 \times 50€ - 1000 \times 30€ = 20\ 000€$. Enne lõiget esitatud prognoos võib ennustada ka põlevkivi elektriyaama rikkeid, mis maksimaalset kogutoodangut võib mõjutada.

3.1.2 Gaasielektriijaam

Gaasist elektritootja kogu tootmisvõimsus on 2200 MW, samuti vastutavad ka selle eest kaks mängijat, kelle käsutuses on pool kogu tootmisvõimsusest. Mängijad saavad müügil teha mitmetest osadest koosnevaid pakkumisi. Müüa on võimalik mingi osa toodetud elektrist, näiteks on võimalik 1100 MW-st müüa 1000 MW hinnaga 80€/MWh ning juhul kui hind turul tõuseb 100€/MWh-ni, siis müüa ka järelejäänud 100 MWh selle hinnaga. Gaasist elektri tootmiseks kulub 50€/MWh.

3.1.3 Hüdrolektriijaam

Hüdroenergia kogu tootmisvõimsus on 2000 MW, mille müüki juhivad samuti kaks mängijat. Ühe MWh elektri tootmiseks kulub hüdrolektriijaamal 20€, mis on märkimisväärselt väiksem, kui gaasielektriijaamal. Erinevalt teistest tootmisüksustest on hüdrolektriijaamal reservuaaris vett piisavalt, et toota maksimaalselt 3000 MWh elektrit. Samuti on ka osadel hüdrolektriijaamadel „Pumped Hydro Storage“ süsteem, mis võimaldab pumbata vett kõrgemal olevasse reservuaari just siis, kui elektri hind turul on madal. Kui hind turul on stabiliseerunud või kõrgem, kui ostuhetkel, siis on võimalik reservuaar läbi turbiinide tühjaks lasta ning müüa elekter kallimalt turule tagasi. Maksimaalne kogus vett mida on võimalik pumbata on võrdväärne 300 MWh-le.

3.1.4 Maismaatuulepark

Mandri tuulepargi kogutoodang on 3800 MW, seda majandavad kaks mängijat. Kuna tuulegeneraatorid toimivad tänu tuulele ning hoolduskulud on väga madalad, siis ei arvestata neid arvutustel. See tähendab, et kogu müügi tulu on kasum. Enne igat lõiget annab mängujuht kõikidele osalejatele ilmastiku prognoosi ning eeldatava elektritarbimise koguse. Kuna tuul kiirus ja suund on ajas pidevalt muutuvad siis ei saa ka igal aja hetkel tuulepargi kogutoodangut ka kasutada. Vastavalt prognoosile saab mängija arvestada, kui suurt kogust saab ta maksimaalselt oma kogutoodangust müüa.

3.1.5 Avameretuulepark

Avamere tuulepargi kogutoodang on 1200 MW, mida juhivad kaks mängijat. Sarnaselt eelnevale punktile on kütuse ja hoolduskulud olematud ehk kogu müügi tulu jääb mängijale kätte. Vastavalt mängujuhilt saadud prognoosile tuleb mängijatel teha pakkumisi oma elektrienergia müügist. Ilma prognoos näitab kui mitu protsentsi on võimalik kasutada mängijal kogu tuulepargi toodangust.

3.1.6 Päikeseelektrijaam

Päikese elektrijaama kogutoodangu müüki juhivad kaks mängijat ning jaamade kogutoodang on 800 MW. Sarnaselt tuuleparkidele on varasemalt tehtud investeering päikesepargi loomiseks ning hoolduskulud on nii marginaalsed, et neid arvesse ei võeta – seega on suurem osa müügi tulu kasumlik. Enne igat lõiget esitab mängujuht mängijatele ilma prognoosi ning eeldatavad elektrinõudmise, mille põhjal tuleb oma panus teha. Päikese elektrijaama ennustuses võib leida kas päikese eeldatava koguse protsentides, kiirgustiheduse protsendi või ilmaolu.

3.2 Mängu käik

Eelnevalt mängule seletab mängujuht kõikidele osalistele mängu käiku. Kõik osalejad saavad A4 paberi millel on nende tootmisüksuse kirjeldus ning tabel kuhu tuleb lisada tootmisüksuse eeldatav elektritoodang ning selle eest nõutud hind. Nagu ka eelnevalt mainitud siis on võimalik teha pakkumine ka mitmes osas kombineeritult – näiteks olles 300 MW võimsusega tuulepark on sul võimalik pakkuda 200 MW hinnaga 10€ ning ülejäänud 100 MW hinnaga 20€ . Vahetult enne iga vooru algust avaldab õppejõud turu elektri nõudluse koguse ning ilma ennustuse. [24]

Market-clearing instances

1st instance: 06:00

Cold weather, wind resource at 20%, irradiance at 10%
Demand forecast 3,000 MWh.

2nd instance: 11:00

The sun is shining, solar resource at 90%, but it is also windy, wind resource at 50%
Demand forecast 4,000 MWh.

3rd instance: 17:00

Solar resource at 20% and wind at 10%
A coal power plant has a problem, reducing available coal capacity by 500 MW.
Demand forecast 4,500 MWh.

4th instance: 20:00

Solar resource 20%, wind resource 80%.
Peak demand forecast 5,500 MWh.

5th instance: 04:00

Solar resource 0%, wind resource 100%
Demand forecast 2,000 MWh.

Joonis 3.1. REM mängu iga vooru ilmastiku ning elektrinõudluse prognoosi andmed [24]

Kui on mängitud esimene voor ning pakkumised on privaatselt paberile kirjutatud, algatatakse ning läbitakse ka järgnevad voorud. Kui kõik tootjad on oma pakkumised teinud siis korjab õppejõud tulemused kokku ning sisestab need Exceli tabelisse.

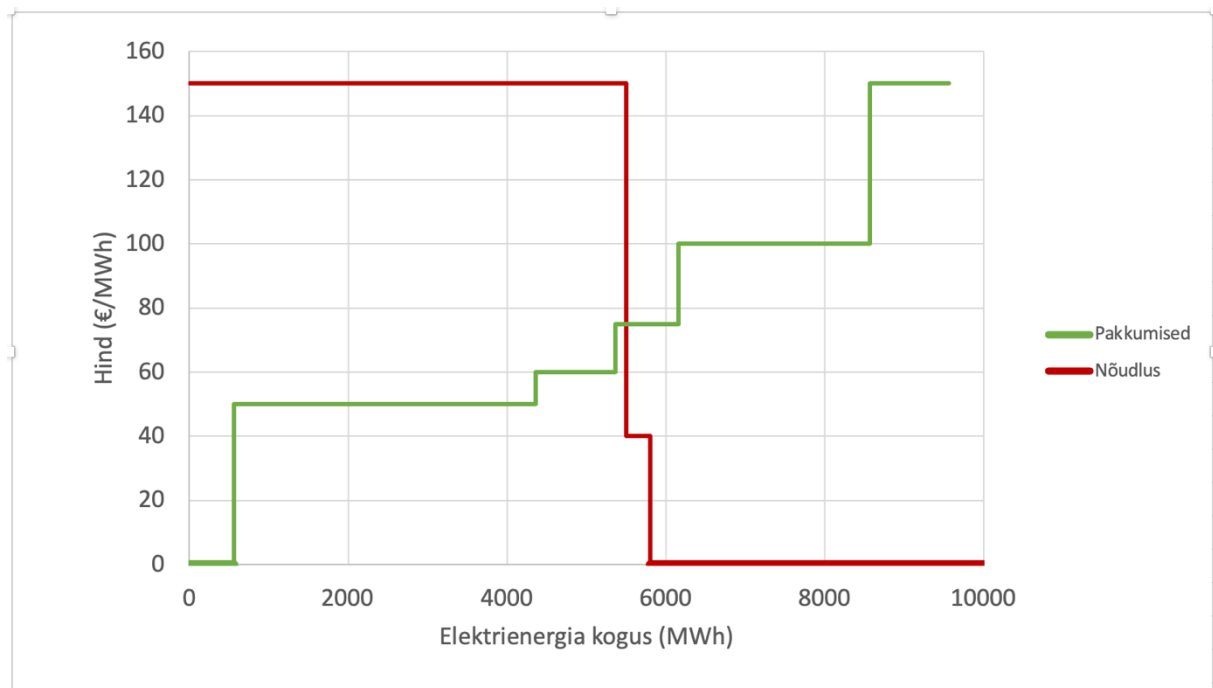
Unit:

Name(s):

Offers:	Amount (MWh)	Price €/MWh	Other offers
Round 1 - 06:00			
Round 2 - 11:00			
Round 3 - 17:00			
Round 4 - 20:00			
Round 5 - 04:00			

Joonis 3.2. REM mängu inglise keelne pakkumiste tabel, kuhu on võimalik teha nii üksik, kui liitpakkumisi

Mängu looja poolt loodud Exceli fail loob sisestatud andmete põhjal reaalse elektrituru hinna kujunemise graafiku, millel on näha pakkumise ja nõudluse kõverad. Pakkumised on märgistatud rohelise ning nõudlus punase värviga. Nende ristumispunktis kujunebki turu hind. Graafikud luuakse iga vooru kohta eraldi.



Joonis 3.3. REM mängu näidis elektribörsihinna kujunemise graafik nõudluse ja pakkumise ristpunktis [24]

3.3 Mängu tulemused

Mängu tulemustest koostab iga üliõpilane aruande, mille sisuks on valitud strateegia analüüs ning mängu tulemuse kirjeldus. Saadud info põhjal saab õppejõud koostada omakorda kokkuvõtva arutluse, kus tudengid näevad ka teiste kasutatud strateegiaid ning pakkumisi. Arutluses selguvad iga perioodil kujunenud elektri hind ning samuti turule pääsejad. Samuti arvutatakse ka kokku iga mängija teenitud tulu eelpool mainitud meetodil. Ideaalis võiks mängu läbi mängida kahel erineval päeval. Esmasel mängimisel kuluvad esimesed voorud mänguga tutvumiseks, mistõttu ühe mängupäeva kohta põhjapanevaid järeldusi teha poleks korrektne.

3.4 Näidisharjutus

Näidisharjutuse viis läbi juhendaja Reeli Kuhi-Thalfeldt õppeaines AEK0230 – Energiasüsteemid kursuse 10.ndal nädalal. Tudengid jagati kahe- ja kolmeliikmelistesse gruppidesse ning iga grupp vastutas ühe elektri jaama mingi osa tootmiskoguse müügi eest. Kogus jagati võrdselt kahe mängija vahel pooleks. Kokku loodi 12 gruppi, kes esindasid kuute erinevat tootmisüksust. Tootmisüksused jagati aja kokkuhoidmise tõttu soovijate vahel gruppidele suvaliselt laiali. Võimalik oleks ka korraldada oksjon igale tootmisüksusele eraldi, mis muudaks osalejatele mängu alguse keerulisemaks, kuid annaks samuti ka eelise osalistele, kes on varem sarnase elektri jaamaga kaubelnud. [25]

Igale grupile jagati paberil pakkumiste tabel, mis on kujutatud joonisel 3.4. Õppejõud näitas projektoriga seinale iga kauplemisperioodi kohta prognoosi, kus kujutati päikese ja tuule olemasolu, kogunõudlust või mõne elektri jaama riket ja selle mõju. Prognoos loeti ette vahetult enne igat pakkumisperioodi ning tudengid pidid sellest lähtuvalt tegema oma pakkumised turule pääsemiseks. Peale igat vooru luges iga grupp ette oma pakutud elektri koguse ning hinna, õppejõud sisestas saadud andmed REM-i loodud Exceli tabelisse ning kandis tulemused projektoriga seinale. Nähes, kuidas kujunes turul hind ja millised olid teiste tudengite pakkumised, aitab see järgnevatiks voorudeks oma strateegiat kohandada, et edaspidi edukam olla. Uurides tootmisüksuseid eraldi saab tuletada iga jaama miinimumhinna, millega elektrit müüakse. Võttes näiteks maagaasielektri jaama, kus kulud ühe MWh tootmiseks on 50 € saab eeldada, et nemad turule oma pakkumist alla 50 € ei tee. Kivisöeelektri jaama kulud ühe MWh tootmiseks on 30 €, ehk ka neilt ei oodata väiksemat pakkumist turule.

Elektrijaama tüüp: Avameretuulepark

Oled ühe avameretuulepargi omanik ning sinu jaama tootmisvõimsus on 600 MW.

Pead turule tegema pakkumise - teatud koguse elektrit teatud hinnaga:

- võimsuse vahemik 0 – 600 MW (NB! Kontrolli, kas on piisavalt tuult)
- hinna vahemik 0 – 180 €/MWh.

Sinu elektrijaama elektri tootmise muutuvkulud on 0 €/MWh.
Igat pakumist tehes jälgi hoolega ilmaprognoosi. Tuuleressurss 50% tähendab, et sinu tuulepark on võimeline selles tunnis tootma vaid 300 MWh.

Kasumi arvutamine:

Kui tuuleressurss oli 50%, tegid pakkumise tootmiseks 300 MWh hinnaga 30 €/MWh, siis turuhinna 50 €/MWh juures on:

- sinu müügitulu on 300 MWh x 50 €/MWh = 15 000 €
- sinu tootmiskulu on 0 €
- sinu kasum on 15 000 € – 0 € = 15 000 €

Harjutuse aruande jaoks pane sellele paberile kirja iga etapi kohta eraldi esialgsed mõtted:

- Pakkumise koostamise strateegia - Miks tegite pakkumise just sellele kogusele ja hinnale? Mida eeldasite konkurentide kohta jne.
- Miks läks nii? Kas olite rahul tulemusega ja mida teeksite teisiti?

Elektrijaama tüüp:

Meeskonna liikmed:

Pakkumine	Kogus (MWh)	Hind €/MWh	Muud pakkumised
I voor – kell 06:00			
II voor – kell 11:00			
III voor – kell 17:00			
IV voor – kell 20:00			
V voor – kell 04:00			

Joonis 3.4. REM mängu eestikeelne lähteülesanne koos pakkumiste tabeliga [25]

Viimaks on hüdroelektrijaama kuludeks 20 € ühe MWh tootmiseks ning nende miinimumpakkumine võiks jääda üle 20 €. Teistel jaamadel tootmiskulud puuduvad ning nad võivad elektrit müüa ka turule 0 € / MWh eest, seega võivad nad teiste turule pääsemisel väga suurt rolli mängida. [25]

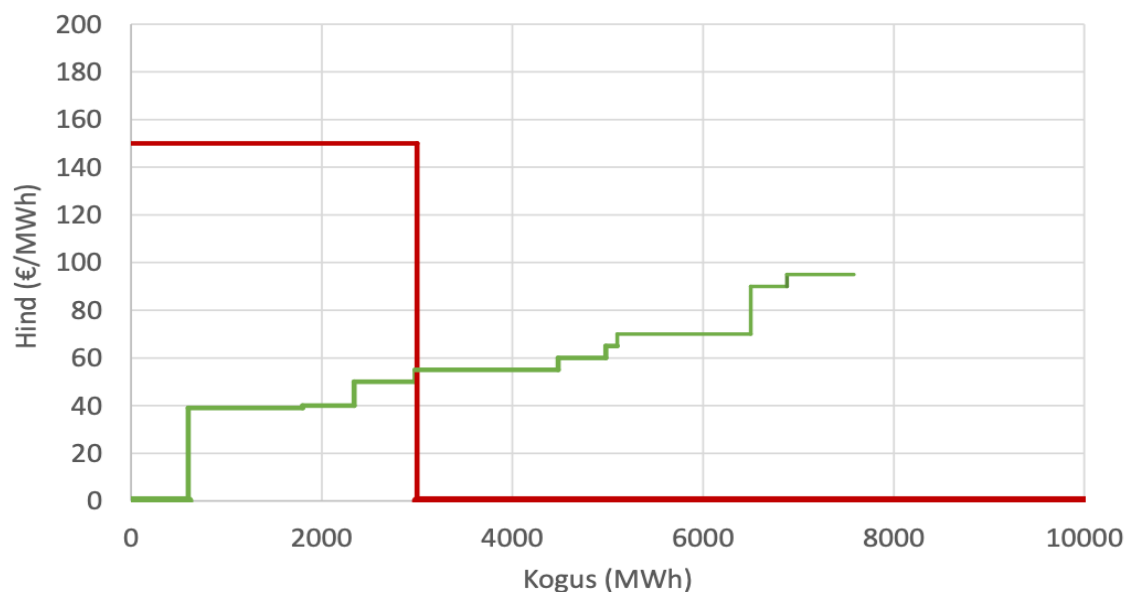
3.4.1 Esimene voor

Esimeses voorus oli tarbimine 3000 MWh, ilm oli külm, tuuleressurss 20% ning päikesekiirgus 10% maksimaalsest. Tehtud pakkumised on näha joonisel 3.5. Turule pääsesid kõik elektrijaamad. Minimaalne pakkumine oli 0 € / MWh ja pakuti 600 MW ning suurim pakkumine 95 € / MWh ja pakuti 700 MW.

€/MWh	Kivisöe- jaam	Maagaasi- jaam	Hüdro- elektrijaam	Maismaa- tuulepark	Avamere- tuulepark	Päikesepark	Kokku
0	0	0	600	0	0	0	600
39	1 200	0	0	0	0	0	1 800
40	0	0	0	380	120	40	2 340
50	600	0	0	0	0	40	2 980
55	400	1 100	0	0	0	0	4 480
60	0	500	0	0	0	0	4 980
65	0	0	0	0	120	0	5 100
70	200	600	600	0	0	0	6 500
90	0	0	0	380	0	0	6 880
95	0	700	0	0	0	0	7 580
Kokku	2 400	2 900	1 200	760	240	80	7 580

Joonis 3.5. REM mängu harjutuse esimese vooru pakkumised [25]

Hind kujunes pakkumise ja nõudluse kõvera ristumisel ning turu hinnaks kujunes 55 € / MWh. Selles voorus teenis kõige rohkem kasu Kivisöejaam 55 000 € ning kõige vähem teenis päikesepark 4400 €. Seda oli ka eeldada, kuna taastuvenergia ressursid olid juba prognoosis üsna kesised ning sealt ei olnud ka suurt panust hinna kujunemisse oodata.



Joonis 3.6. REM mängu harjutuse esimese vooru hinna kujunemine. Rohelisega on kujutletud elektri hinnapakkumised ning punasega elektrituru nõudlus. [25]

3.4.2 Teine voor

Teises voorus oli tarbimine 4000 MWh, päike paistab ja on tuuline, tuule ressurss 50% ja päikesekiirus 90% maksimaalsest. Tehtud pakkumised on näha joonisel 3.7. Turule kõik elektrijaamad seekord ei pääsenud. Minimaalne pakkumine oli jällegi 0 € / MWh ja pakuti 600 MW ning suurim pakkumine 65 € / MWh ja pakuti 600 MW. On näha, et pakkumised on muutunud. Oli eeldada, et taastuvenergia allikad võiksid suuremas osas oma kogusega turule saada. Turu 4660 MWh nõudlusest on täitnud umbes 75% taastuvenergia allikad ning ülejäänud 25% on kaetud kivisöejaamal. Arvestades, et sellel tooteüksusel on

tootmiskulu 30 € MWh kohta ja turu hind on 35 € siis teenis antud jaam tulu vaid 6000 € eest mis on ühtlasi ka kõige väiksema kasumiga tooteüksus selles voorus. Kõige kasumlikum olid aga Maismaatuulepargi omanikud, kes teenisid voorus kahe grupi peale 66 500 €.

€/MWh	Kivisöe-jaam	Maagaasi-jaam	Hüdro-elektrijaam	Maismaatuulepark	Avamere- tuulepark	Päikesepark	Kokku
0	0	0	600	0	0	0	600
15	0	0	0	950	0	0	1 550
20	0	0	0	0	300	0	1 850
30	0	0	0	0	300	360	2 510
31	1 200	0	0	0	0	0	3 710
35	0	0	0	950	0	0	4 660
40	600	0	700	0	0	0	5 960
50	400	500	0	0	0	360	7 220
51	0	750	0	0	0	0	7 970
60	200	0	0	0	0	0	8 170
65	0	600	0	0	0	0	8 770
Kokku	2 400	1 850	1 300	1 900	600	720	8 770

Joonis 3.7. REM mängu harjutuse teise vooru pakkumised [25]

3.4.3 Kolmas voor

Kolmandas voorus oli elektri tarbimine 4500 MWh, ilm oli taastuvenenergiaallikatele pigem karm, tuuleressurss 10% ning päikesekiirgus 20% maksimaalsest. Peale selle oli ka kivisöejaamadel probleem, mis vähendas mõlema kivisöegrupi tootmisvõimsust 500 MW võrra. Seega võis kiire arvutusega välja nuputada, et 4500 MWh tarbimise katmiseks on kogutootmine maksimaalselt 5660 MW. See tähendab, et turule pääsemise võimalus on suur ja ilmselt on võimalik küsida ka elektri eest kõrgemat hinda kui eelnevates voorudes.

€/MWh	Kivisöe-jaam	Maagaasi-jaam	Hüdro-elektrijaam	Maismaatuulepark	Avamere- tuulepark	Päikesepark	Kokku
0	0	0	600	0	0	0	600
10	0	0	0	0	60	0	660
30	700	0	0	0	0	0	1 360
35	0	0	0	190	0	0	1 550
39	700	0	0	0	0	0	2 250
45	0	0	0	190	0	80	2 520
50	0	0	1 000	0	0	80	3 600
60	0	0	0	0	60	0	3 660
69	0	1 000	0	0	0	0	4 660
70	0	1 000	0	0	0	0	5 660
Kokku	1 400	2 000	1 600	380	120	160	5 660

Joonis 3.8. REM mängu harjutuse kolmanda vooru pakkumised [25]

Kui pakkumised olid tehtud ja tulemused tabelisse pandud selgus, et elektrituru hinnaks kujunes 69 € / MWh. Turule said kõik pakkumised välja arvatud teise grupi maagaasielektrijaam, kelle hinna nõudlus oli vaid 1 € madalam teisest grupist. Sellele vaatamata oli kolmanda vooru kõige edukam hüdroelektrijaam, kus kaks jaama kokku teenisid 78 400 € kasumit ning kõige madalam kasu oli avameretuulepargil, kes teenisid kahe grupi peale 8260 € kasumit.

3.4.4 Neljas voor

Neljanda vooru elektri tarbimine on 5500 MWh, tuuleressurss 80% ja päikesekiirgus 20% maksimaalsest. Maismaatuulepark on kõikide tootmisüksuste hulgast kõige suurema maksimaalse tootmisvõimsusega – 3800 MW. Kahe tuulepargi peale on kogu tootmisvõimsus 5000 MW, millest hetkel on kasutada 4000 MW. Seega on võimalik enne pakkumiste tegemist eeldada, et selles voorus on nad turule pääsemas hea pakkumise korral.

€/MWh	Kivisöe-jaam	Maagaasi-jaam	Hüdroelektrijaam	Maismaatuulepark	Avameretuulepark	Päikesepark	Kokku
0	0	0	600	0	0	0	600
10	0	0	0	0	480	0	1 080
25	0	0	0	1 520	0	0	2 600
30	1 200	0	0	1 520	0	0	5 320
31	1 200	0	0	0	0	0	6 520
35	0	0	0	0	0	80	6 600
45	0	0	0	0	0	80	6 680
50	0	0	700	0	480	0	7 860
55	0	1 100	0	0	0	0	8 960
57	0	500	0	0	0	0	9 460
Kokku	2 400	1 600	1 300	3 040	960	160	9 460

Joonis 3.9. REM mängu harjutuse neljanda vooru pakkumised [25]

Turu hinnaks kujunes 31 € / MWh. Kogutarbimisest 6520 MW-st katsid umbes poolega ära maismaatuulepargid 3040 MW, kes olid ka ühtlasi suurima kasumiga – 94 240 €. Selles voorus ebaõnnestusid täielikult maagaasijaama pakkumised, kes jäid turult sootuks välja oma kõrge hinnannõudluse tõttu.

3.4.5 Viies voor

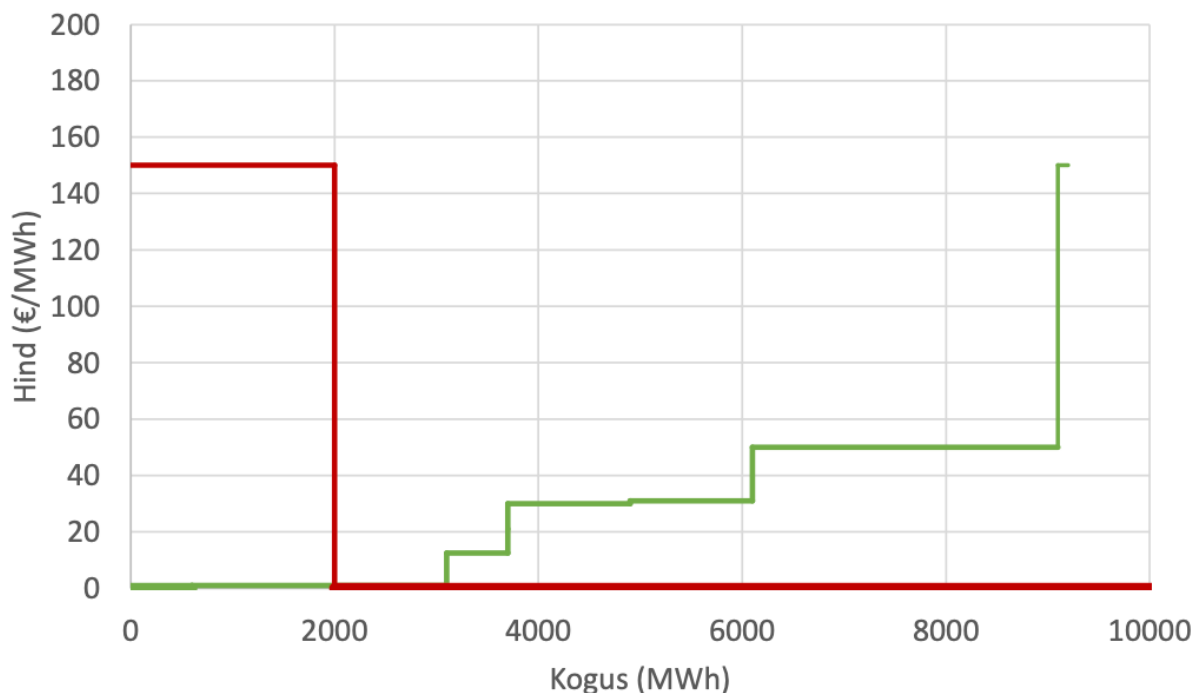
Viiendas ehk ka viimases voorus oli elektri nõudlus sootuks madal 2000 MWh. Ilmastik oli väga tuuline ehk tuuleressurss 100% ja päikesekiirgus 0% ehk olematu. Väikene tarbimine ja suur tuuleressurss mängis kätte väga head kaardid tuuleparkidele, kelle kogutootmisvõimsus on 5000 MW juures. Arvestades, et kõik teised tootjad peale

tuuleparkide ei tule turule alla oma kasumliku hinna siis võiks eeldada, et just neil kahel tuulepargil on kandev roll selle vooru tarbimine katta.

€/MWh	Kivisöe-jaam	Maagaasi-jaam	Hüdro-elektrijaam	Maismaa-tuulepark	Avamere-tuulepark	Päikese-park	Kokku
0	0	0	600	0	0	0	600
1	0	0	0	1 900	600	0	3 100
12,5	0	0	0	0	600	0	3 700
21	0	0	0	0	0	0	3 700
30	1 200	0	0	0	0	0	4 900
31	1 200	0	0	0	0	0	6 100
50	0	1 100	0	1 900	0	0	9 100
150	0	100	0	0	0	0	9 200
150	0	0	0	0	0	0	9 200
150	0	0	0	0	0	0	9 200
Kokku	2 400	1 200	600	3 800	1 200	0	9 200

Joonis 3.10. REM mängu harjutuse viienda vooru pakkumised [25]

Pakkumist ei saanud teha teine grupp hüdroelektrijaamast, kes oli juba kogu oma reservuaaris olevast veest ära kasutanud ning selles voorus osaleda ei saanud. Kuna üks grupp hüdroelektrijaamast otsustas oma strateegiale kindlaks jääda ja „bluffides“ igas voorus paisata müüki oma hüdroelektrijaama toodang 0 € hinnaga siis läksid nad selles voorus kahjuks miinusesse.



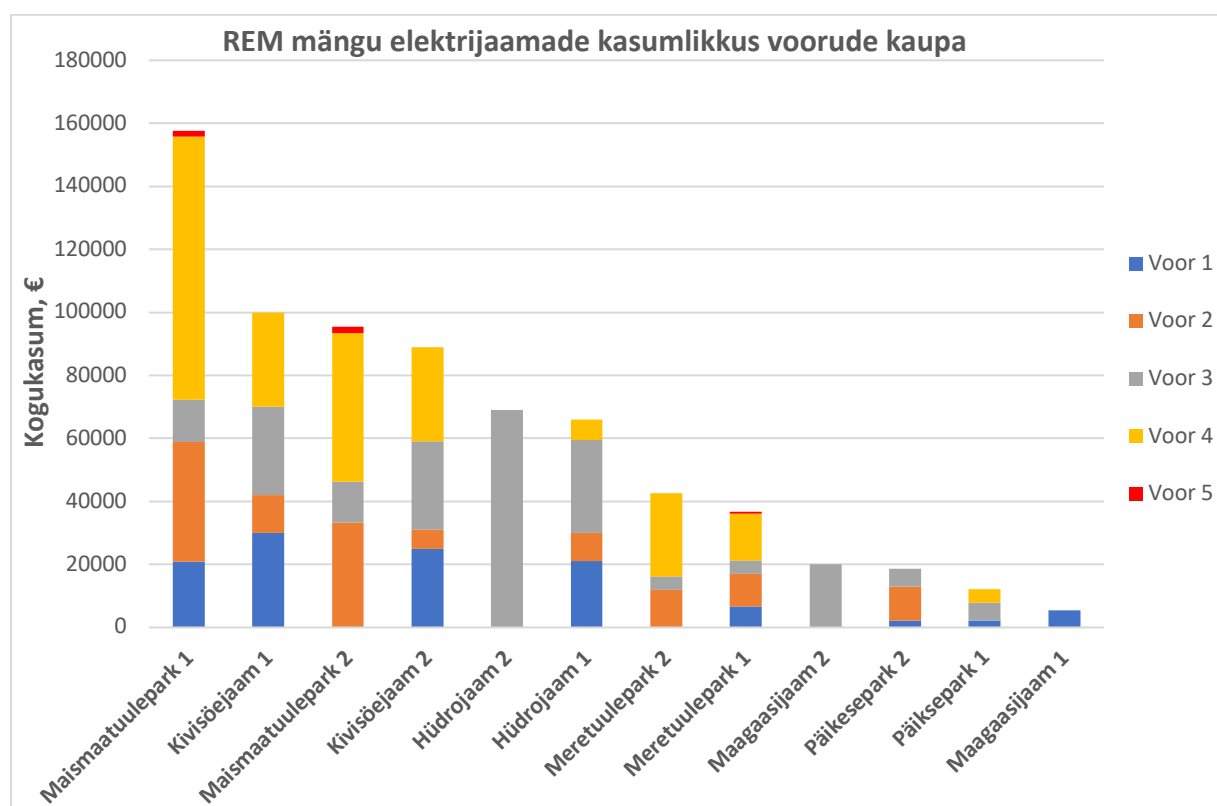
Joonis 3.11. REM mängu harjutuse viienda vooru elektrihinna kujunemise graafik, kust on näha olukorda kus madala nõudluse ning suure taastuvenergia koguse tõttu on hind elektriturul märkimisväärselt madal [25]

Üks grupp mõlemast tuulepargist pani müüki oma kogutoodangu 1 € hinnaga ning kuna see täitis koos hüdroelektrijaama pakkumisega kogunõudluse siis jäigi elektri hinnaks selles voorus 1 € / MWh. Kõige rohkem teenis kasumit selles voorus maismaatuulepark 1900 € ning kõige ebaedukam oli grupp hüdroelektrijaamast, kes viienda vooruga 11 400 € kahjumisse langesid. Viimase vooru tulemuste põhjal joonistus välja ka väga mittetavapärane hinna kujunemise graafik mis on näha joonisel 3.11.

3.4.6 Kokkuvõte

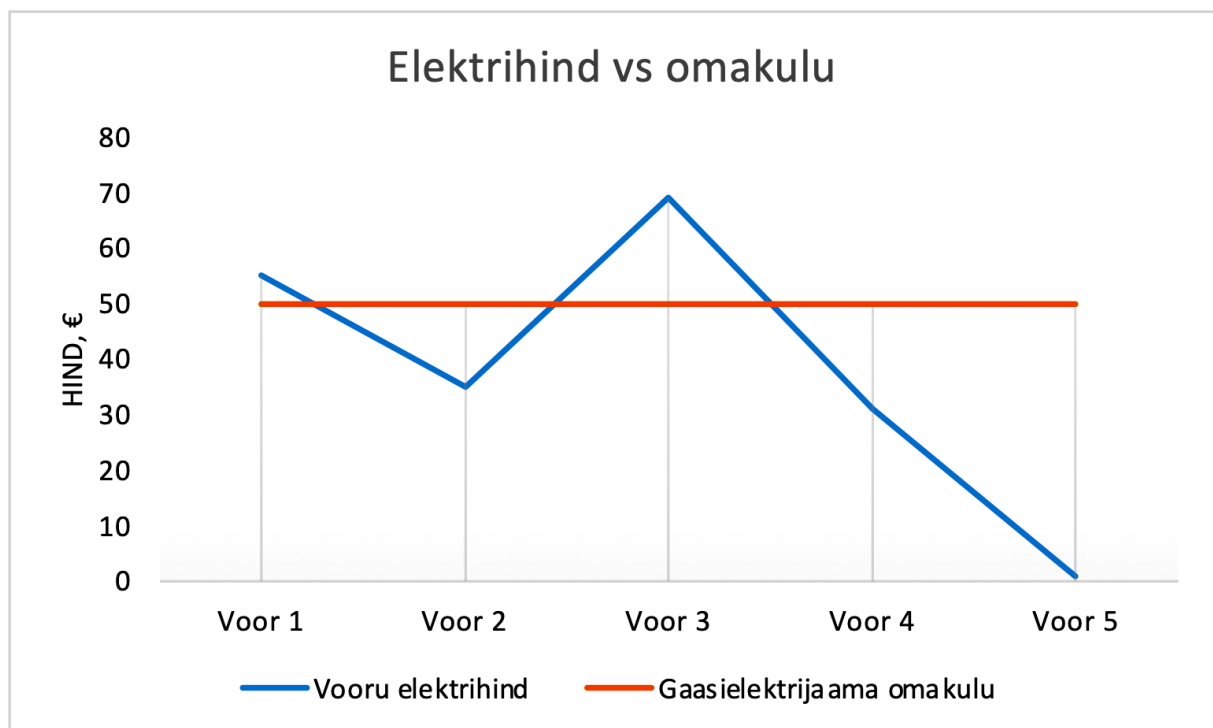
Näidisharjutuse viimaseks ülesandeks oli kokku võtta oma viie mängu tulemus ning kirjeldada oma kogemusi läbi mängu käigu. Kuna elektrijaamade kulud, võimsused ja väärtused on väga erinevad siis ei saa ülesande kohaselt õpilaste edukust läbi teenitud tulu võrdsest hinnata, kuigi selles harjutuses on võetud see võrdlemise aluseks.

Selles harjutuses oli suur osakaal kogu tarbimise katmiseks taastuenergiaallikatel toimivatel elektrijaamadel. Kuna neil kas puudus või oli minimaalne elektritootmise kulu siis oli ka neil suurem võimalus nõudluse katmisel tulu teenida. Kuigi vaadates joonist 3.12. selgub, et kõige väiksemat tulu teenisid just kaks päikeselektrijaama ning esimene maagaasijaam.



Joonis 3.12. REM mängu teenitud kasumid iga tootmisüksuse kohta eraldi ning samuti eraldi iga vooru kohta. Erineva värviga on märgitud erinevad voorud. Detailsem joonis on leitav lisas 1

Päikeseelektrijaamade koguvõimsus kahe jaama peale oli kokku 1200 MW. Ilmastikutingimused soodustasid tootmist vaid ühes voorus, kui päikeseintensiivsus oli 90%, kolmes voorus oli protsent alla 20ne ning ühes voorus oli sootuks 0%. Kuna päikesepargid olid ka koguvõimsuselt kõige nõrgemad siis võis ka eeldada nendelt väiksemat kasumit. Maagaasijaamade madalat kasumit võiks põhjendada kõrge omakuluga. Ühe MWh tootmiseks kulus jaamal 50 €, mis eeldas, et kasumi teenimiseks ka energiat kallimalt kui 50 € müüakse. Joonisel 3.13. on kujutatud viie vooru elektriinna kujunemist ning gaasielektrijaama omakulu suhet. Sellelt on selgelt näha, et turu madal hind soosis elektri müümist vaid kahes voorus – 1. ja 3. voor. Isegi kõrge hinna puhul on raske suuremat kasumit teenida. Järgnevalt on üsna sarnase kasumiga mõlemad meretuulepargid. Mõlemate tulu ringles 40 000 € juures ning kasum on voorude vahel suhteliselt võrdselt teenitud. Ilmastikuolud valdavalt soosisid tuuleparkide tööd eksisteerides protsentuaalselt 20%, 50%, 10%, 80% ja 100% viies voorus. Hüdrolektrijaamade kasumi teenimine oli väga ebaühtlane, kus teisel grupil õnnestus turule pääseda vaid ühel korral, kuid väga edukalt. Selle ühe vooruga teeniti rohkem tulu, kui esimene hüdrolektrijaam kõigi viie vooru peale kokku. Tuleks ka mainida, et viimases voorus ebaõnnestus esimese hüdrolektrijaama grupi pakkumine ning elektri tootmise eest maksti hoopis 11 400€ kahjumit.



Joonis 3.13. REM mängu elektri börsihinna ja gaasielektrijaama omakulude võrdlev joonis. Sellelt on näha gaasielektrijaama potentsiaalset kasumi perioodi vaid kahes voorus.

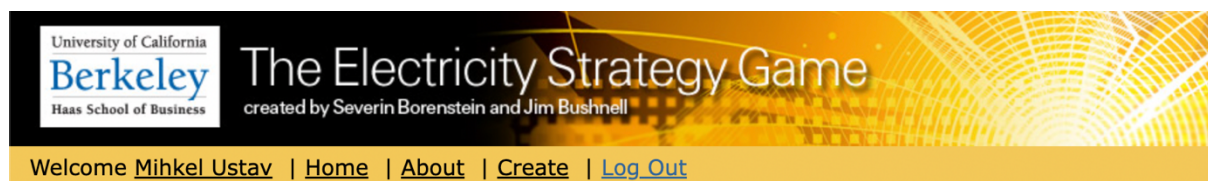
Viimaks on jäänud neli edukaimat elektrimüüjat, kelleks on maismaatuulepargid ning kivisöejaamad. Kivisöejaamadel ning teise grupi maismaatuulepargil õnnestus üsna

sarnases koguses kasumit teenida. Kiita tuleks eeskätt kivisöejaamu, kelle ühe MWh tootmiskulu oli 30€ ning mõlemad grupid on kaubelnud turul valdavalt edukalt ja mõlema tulu varieerud 90 000€ ja 100 000€ vahel. Turule on pääsetud neljas voorus viiest ning kõik tehingud on olnud kasumlikud. See-eest aga kõige kasumlikum grupp oli esimene maismaatuulepargi võistkond. Edukalt pääseti turule igas voorus, kus kõige kasumlikuks osutus neljas voor, millega teeniti 83 600€.

Viis vooru REM mängu näitas, et kõige edukamad olid just maismaatuulepargi grupid. Kui korraldada mängu uuesti, siis soovitab autor korraldada mängu alguses oksjoni, kus erinevaid tootmisüksused oksjoni käigus välja müüakse ning piltlikult öeldes mängu võlgadest alustatakse. See tasandab mängu käiku ning mängu lõpptulemused kasumlikkuse seisukohast võiks stabiliseeruda.

4 . ELECTRICITY STRATEGY MÄNG

The Electricity Strategy Game (edaspidi ESG) on loodud California Berkeley Haas äriülikoolis ning selle loojateks on kaks majandusteadlast samast ülikoolist – Jim Bushnell ja Severin Borenstein. Mängu esimene versioon loodi juba aastal 2006. kuid viimase parandatud versioon pärineb aastast 2012. Mängijad saavad oma sisendeid sisestada mängu veebilehelt ning samuti näha ka sealt oma tulemusi. Mängu kood jookseb aga STATA programmis, mida peab käitama ning reaalajas haldama mängu juht. STATA tarkvara kasutamine on tasuline. ESG jäljendab igapäevast elektriturul kauplemist ning on loodud üliõpilastele selleks, et õpetada neile praktikas kuidas elektriturul igapäevane majandamine käib. Mängijate eesmärgiks on välja töötada strateegia, kuidas oma varasid kauplemisel kasutada, samal ajal jälgides ka oma tootmisportfelli tootmis- ja jooksevkulusid. Lõputöö autor sai ligipääsu mängu õpetusele läbi eduka meilivestluse ühe mängu loojatest - Severin Borenstein. Õppematerjal pole avalikkusele saadaval, seega puudub töö autoril ka võimalus viidata mängu õpetuse allikale.



University of California
Berkeley
Haas School of Business

The Electricity Strategy Game

created by Severin Borenstein and Jim Bushnell

Welcome [Mihkel Ustav](#) | [Home](#) | [About](#) | [Create](#) | [Log Out](#)

Game Taltech Details

About

Two Letter Code: TA
Status: Locked [Click here to Unlock](#)
Current Period: 0 [Increment](#) | [Decrement](#) | [Reassign Team Portfolios](#)
Created On: 4/13/2022 12:52:02 AM
Created By: Mihkel Ustav

Period Results (Public)

Team Home Pages (Restricted)

[Arrow](#) [Becker](#) [Coase](#) [Debreu](#) [Friedman](#) [Heckman](#) [Krugman](#)
(Big_Coal) (Big_Gas) (Bay_Views) (Beachfront) (East_Bay) (Old_Timers) (Low_Fossil)

[ESG Home](#) | [Assign Team Portfolios](#) | [Download Bids](#) | [Edit Team Bids](#) | [Upload Results](#)

Copyright © 1996-2022 | [University of California, Berkeley](#) | [Haas School of Business](#)

Joonis 4.1. ESG kodulehe mängijate avaleht koos võistkondade nimedega [26]

Baasmängus saavad osalevad kuni seitse erinevat võistkonda mida võib esindada individuaalselt või grupiga. Nende eesmärk on teha pakkumisi oma portfellis olevate tootjate toodetud elektri müügil. Mängijad saavad oma pakkumisi teha mängu kodulehel ning samuti saavad nad ka voo tulemusi vaadata samast allikast. Sarnaselt ka eelnevatele mängudele, on ka siin päev jagatud neljaks erinevaks vooruks. [26]

4.1 Mängu osalised

ESG mängus on kaks mängu osalist. Üheks on mängujuht, kelle ülesanne on mängu läbiviimine ning teised on turuosalised ehk antud mängus elektrifirmad. Mõlema mängu osalise rolli kirjeldatakse järgenvates punktides.

4.1.1 Mängujuht

Mängujuhi rollis on antud ülesandes õppejõud, kes peab pidevalt mängu koodi redigeerima. Muutmine tuleneb tudengite pakkumistest ning nõuetest. Mängujuhil on võimalus ka muuta ja rakendada erinevaid lisa funktsioone mängule. Tema roll on samuti korraldada mängu alguses oksjon, et jagada osaliste vahel ära kõik tootmisportfoolid. Esimesel oksjoni ringil osalevad kõik seitse osalejat, teises ringis juba kuus ja nii edasi. Viimase portfoolio saav mängija peab selle eest maksma eelnevalt kokku lepitud tasu. Seega alustavad kõik mängijad mängu tegelikult kahjumiga.

4.1.2 Elektrifirma

Elektrifirmade rollis saavad mängida kuni seitse võistkonda. Igas võistkonnas võib osaleda kas üksinda või mitmekesi. Vastavalt mängujuhi korraldustele jagatakse portfellid oksjoni käigus elektrifirmadele. Ühes portfellis on kuni kaheksa tootmisüksust. Igal elektrifirmal on mingi hulk tootmisüksusi, mille müügi eest nad vastutavad. Pakkumisi on võimalik teha neljas erinevas voorus ning need tehakse oma maksimaalsete tootmisvõimsuste kohta. Pakkumistabel on kujutatud joonisel 4.2.

Plant Name	Hour 1	Hour 2	Hour 3	Hour 4
Four Corners	0.00	0.00	0.00	0.00
ALAMITOS_7	0.00	0.00	0.00	0.00
HUNTINGTON_BEACH_1-2	0.00	0.00	0.00	0.00
HUNTINGTON_BEACH_5	0.00	0.00	0.00	0.00
REDONDO_5-6	0.00	0.00	0.00	0.00
REDONDO_7-8	0.00	0.00	0.00	0.00

Joonis 4.2. ESG elektrifirmade panustamise leht [27]

4.2 Tootmisüksused

Iga elektritootja portfellis on 5 kuni 8 erinevat tootmisüksust, mille maksimaalsed tootmisvõimsused varieeruvad 2000 MW ja 4000 MW vahel. Mängus kasutatavad andmed on reaalsed suurused, mis on võetud California elektriturult aastal 2000. Kuna andmed pärinevad üsna vanast allikast ning sel hetkel Ameerika Ühendriikides taastuenergia lahendused veel nii populaarsed ei olnud (va hüdroelektrijaamad), siis ka tänapäeval moodsamaid päikeseparke ega tuuleparke mängus käsitletud pole. Igas portfellis on erinevate tootmistehnoloogiatega tootmisüksused ning neil kõigil on fikseeritud käivitus- ning hoolduskulud. Erinevad vaid elektri tootmiseks minev kütusekulu. Elektri tootmisel peab iga üksus maksma muutuvat kulu, mis väljendub kütuse kulus ning tootmisüksuse hooldus ja käitamiskulust. Hoolduskulud esinevad tootmisjaamal isegi siis, kui seda ei rakendata tööle.

Igal fossiil kütusel töötaval jaamal on CO₂ emissiooni limiit mida ületades tuleb tasuda vastavat CO₂ maksu. Seda arvestatakse enamasti iga emiteeritud tonni CO₂ kohta. See ei rakendu aga tuuma- ja hüdroelektrijaamadele, kuna nende elektri tootmisel CO₂ heitmeid ei teki. Kahes portfoolios kaheksast on kasutusel ka hüdroelektrijaamad, mis asuvad jõel ning neil puuduvad tootmiskulud. See-eest ei saa nad aga toota rohkem elektrit, kui jõel on voolu ehk nende tootlikkus on piiritletud.

Mängus on esindatud suuresti kolm elektritootjate gruppi: soojus-(gaasi ja kivisöe), tuuma- ning hüdroelektrijaamad. Erinevaid elektrijaamu on mängus kokku 43 ning nende koguvõimsus on 22 050 MW. Primaarselt on tegu gaasielektrijaamadega, lisaks nendele on veel üks tuumaelektrijaam, üks kivisöeelektrijaama ning kaks hüdroelektrijaama. Tasub ka märkida, et erinevad elektrifirmad asuvad kas Põhja- või Lõuna-Ameerika regioonides mis hakkab rolli mängima siis, kui on rakendatud elektri ülekandepiirangud. [27]

4.2.1 Gaasielektrijaamad

Gaasielektrijaamu on kokku 38 tükki, vähemalt üks üksus on esindatud igas portfoolios ning nende koguvõimsus on 18 050 MW. Elektrijaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 100-950 MW vahel ning kütusehinnad ühe toodetud MWh kohta \$15 – \$62 vahel. Ühe MWh tootmiskulu jääb vahemikku \$0.5 - \$1.5 ning jooksevkulu ühes perioodis jääb vahemikku \$0 - \$3750. Jaama käitamiskulu on \$0 ning elektrijaam emiteerib ühe toodetud MWh kohta 0.25 – 0.73 tonni CO₂ gaase.

4.2.2 Kivisöeelektrijaamad

Kivisöeelektrijaamu on üks ja selle võimsus on 1900 MW. Kütuse hind ühe tonni kohta on \$17.5. Ühe MWh tootmiskulu on elektrijaamal \$1.5 ning jooksevkulu ühes perioodis \$2000.

Tootmisüksuse käitamiskulu on \$0 ning elektrijaam emiteerib ühe toodetud MWh kohta 0.55 tonni CO₂ gaasi.

4.2.3 Tuumajaamad

Tuumajaamasid on ainult üks ja selle võimsus on 1000 MW. Kütuse hind ühe tonni kohta \$7.5. Ühe MWh tootmiskulu on elektrijaamal \$4 ning jooksevkulu ühes perioodis \$5000. Tootmisüksuse käitamiskulu on \$0 ning tuumajaam ei emiteeri elektri tootmisel CO₂ heitgaasi, mistõttu ei pea need ka kinni pidama emissioonikaubanduse süsteemist ega süsinikumaksu tasumisest.

4.2.4 Hüdroelektrijaamad

Hüdroelektrijaamu on kokku 2 tükki ja nende koguvõimsus on 1800 MW. Elektrijaama põhiselt varieeruvad nende võimsused 800 – 1000 MW vahel ning sellel tootmistehnoloogial puudub kütuse hind, kuna kütuseks kasutatakse taastuvenergia allikat. Ühe MWh tootmiskulu on elektrijaamadel \$0 - \$0.5 ning jooksevkulu mõlemal jaamal on \$3750. Tootmisüksuse käitamiskulu on \$0 ning hüdroelektrijaamas elektri tootmisel ei teki CO₂ heitmeid.

4.3 Muud tegurid

Mängu on võimalik rakendada erinevaid mängu raskendavaid funktsioone. Selle mängu põhiliseks eeliseks on mängus olevate tootmisüksuste geograafiline asukoht ning sellest tulenevad võrguülekanne kitsendused. Mängu alguses peetava oksjoni tõttu alustatakse mängu kahjumiga, see teeb mängu keerukamaks, kuid olukorda on võimalik leevendada laenu taotlusega mängujuhilt. Sarnaselt eelnevatele mängudele on ka ESG mängus emissioonikaubanduse süsteem, mis piirab ja vajadusel maksustab toodetud CO₂ emissioone.

4.3.1 Firmade oksjon

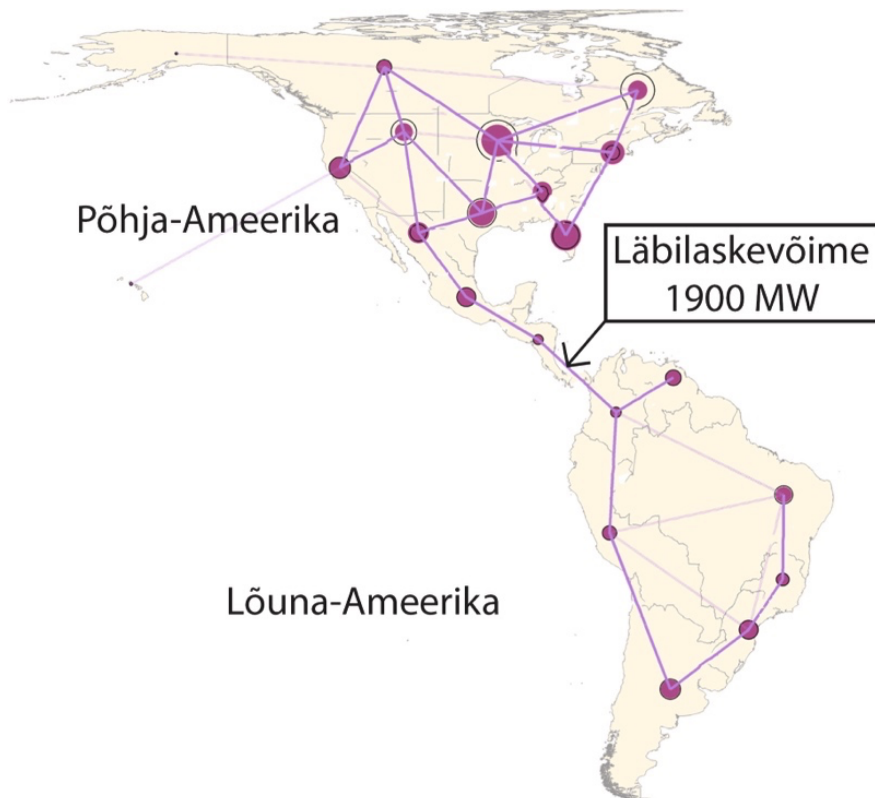
Firmade portfooliote oksjonit võib läbi viia kas õpperuumis või eelnevalt interneti teel kodus. On võimalik korraldada avalik oksjon, kus ruumis kõrgeima pakkumise teinud tudengid omale soovitud tootmisportfoolio saavad. Teine võimalus on korraldada suletud oksjonit, mille käigus tehakse panused näiteks paberile, kuid teiste pakkumisi ei avaldata ning soovitud portfelli võidab kõrgeim pakkumine. Võimalus on ka jagada juhusliku valiku alusel tootmisportfoolid laiali ilma tasu küsimata.

4.3.2 Kasvuhoonegaaside regulatsioon

Üks tavapärane funktsioon, mida on võimalik ka siia mängu lisada on emissioonikaubanduse süsteem. Selle kohaselt eraldatakse mängijatele valitud kogus tasuta CO₂ kvoote ning määratakse eelnevalt ühe kvoodi hind. Kui kvoote ei eraldata siis maksab tootja iga emiteeritud CO₂ tonni kohta teatud tasu. Kuna see pole mängu veebilehe ega tarkvara funktsioonidesse lisatud siis tuleb sellel järke pidada iseseisvalt paberi ja pliiaatsiga. Nelja vooor lõpus korjatakse kogused kokku ning mängujuht määrab maksmisele kuuluva summa. Kuna valdav osa mängu tootmisüksustest eraldab märgatava koguse CO₂ emissioone elektrit tootes ja mängus on väga väike osa taastuvenergia tootmisüksustel, siis leiab autor, et seda funktsiooni tuleks ka igas mängus rakendada.

4.3.3 Geograafiline turg

ESG mängus on kaks geograafilist regiooni – Põhja ja Lõuna. Tootmisportfoolios olevad tootmisüksused on aga kõik samas regioonis. Portfooliote asukohad teatakse oksjoni käigus. Piltlikult öeldes on põhja ja lõuna regiooni vahel üks ülekandeliin, mille läbilaskevõimet seab ja kontrollib mängujuht. Sellega on võimalik tekitada elektrile kaks hinnapiirkonda ning see piirab müüjate kauplemist turul. Kui mängujuht otsustab läbilaskevõimet mitte piirata, siis on hind kahes regioonis sama.



Joonis 4.3. Põhja- ja Lõuna-Ameerika vaheline ülekandeliin, pilt on illustratiivne ning ei kujutle reaalseid ülekandeliine ega läbilaskevõimeid

4.3.4 Tegevuste finantseerimine

Iga firma alustab mängu ilma rahata, kuid neil on võimalus raha laenata mängujuhilt 5% päevase baasintressiga. Üks päev antud mängus võrdub nelja panustamise vooruga. Loomulikult on võimalik intressimäära mängujuhil muuta. Peale igat vooru on mängijal võimalik tutvuda oma finantsilise seisuga mängu veebilehel.

4.4 Näidisharjutus

Näidisharjutuse mängis läbi lõputöö autor. Mängu mängimise eelduseks on personaalse arvuti olemasolu. Mängujuht teeb mängijatele kättesaadavaks kausta, milles on harjutuse õpetus ning kõikide elektrifirmade portfoolid koos tootmisvõimuste, kulude, heitgaaside kogustega ja tootmistüüpidega. Mängus osalevad 7 erinevat elektrifirmat ning mängu rakendatakse ka emissioonikaubanduse süsteemi funktsioon. Funktsioon lisatakse selleks, et soosida elektritootjaid, kelle tootmisportfoolios on taastuvenergia allikatel põhinevaid elektrijaamu ning samuti selleks, et suunata fossiilkütustel töötavaid elektrijaamu oma tehnoloogiaid keskkonnasõbralikumaks tegema või sootuks välja vahetama. Kuna valdav osa tootmisüksustest eraldavad elektri tootmisel siiski märgatava koguse CO₂ heitmeid, siis hoitakse süsinikumaksu tasu madalal ehk \$5 ühe tonni CO₂ heitmete kohta. Mängu esialgne kood näeb ette, et mängu neljast voorust kaks mängitakse maksa-nagu-pakutud oksjoni vormiga ning ülejäänud kaks ühtse hinnaga oksjoniga. Sellele vaatamata muudab autor kõik voorud siiski ühtse hinnaga oksjonivormiks, et näidisharjutus sarnaneks teistele näidisharjutustele. Mängu eesmärk on püsida kasumis ning proovida pakkumistega oma rahakotis tasakaalu luua. Mänguks on välja lülitatud elektrijaamade müük ja ostmise, portfooliote valik toimus kinniste kaartidega. Autor valis suvaliselt omale elektrifirmaks firma nimega Old Timers. [27]

4.4.1 Esimene voor

Enne esimese vooru pakkumisi tutvub autor elektrifirmade portfooliotega ning analüüsib nende võimsusi, kulusid ja emissioone. Lähtudes nendest teeb ka autor hiljem oma pakkumised. Vaadates autori enda Old Timersi tootmisportfooliot selgub, et elektrifirmal on kolm erinevat tootmistehnoloogiat kasutavat elektrijaama - kaks gaasi- ja kivisöejaama ning üks hüdroelektrijaam.

UNIT NAME:	Fuel	Capacity MW	Fuel Price \$/MMBTU	Fuel Cost \$/MWh	Var O&M \$/MWH	Total Var Cost \$/MWH	Carbon tons/MWH	O&M/Day (\$)	Heat Rate (MMBTU/	Location
Old Timers										
BIG CREEK	Hydro	1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	\$15 000	0,00	South
MOHAVE 1	Coal	750	3,00	30,00	4,50	34,50	0,94	\$15 000	10,00	South
MOHAVE 2	Coal	750	3,00	30,00	4,50	34,50	0,94	\$15 000	10,00	South
HIGHGROVE	Gas	150	4,50	49,11	0,50	49,61	0,58	\$0	10,91	South
SAN BERNADINO	Gas	100	4,50	53,44	0,50	53,94	0,63	\$0	11,88	South
Totals		2750						\$45 000		

Joonis 4.4. Elektrifirma Old Timers tootmisportfoolio ESG mängus [27]

Nagu on näha ka jooniselt 4.4. siis viie jaama kogutoodang on 2750 MW ning päevane hooldus- ja käitamiskulu (H&K kulu) \$45 000. See on teiste elektrifirmadega võrreldes kõige suurem. Maksimaalse tootmisvõimsuse poolest ollakse aga keskmikus.

Kõige madalama hooldus- ja käitamiskuluga 8 000 \$ on Big Gas elektrifirma, kelle valdusesse kuuluvad seitse gaasielektrijaama koguvõimsusega 3600 MW. Järgnevalt arvutab töö autor kokku minimaalse MWh müügihinna iga tootmisüksuse kohta eraldi. Seda läheb vaja teada, et mitte oma müügi kahjumisse sattuda. Arvutamisel on eeldatud, et kõik saadav võimsus ühe jaama poolt läheb müüki. Arvutuskäik on järgmine:

$$MWh\ Hind = \frac{Kütus + H\&K\ kulu + P\grave{a}evane\ elektri\ jaama\ kulu + (CO_2\ emissioonid \cdot s\ddot{u}sinikumaks)}{Koguv\ddot{o}imsus}$$

$$= \frac{0,0 \$ + 0,0 \$ + 15\ 000 \$ + (0 \cdot 5)}{1000} = 15 \$$$

Arvutusetulemused teiste tootmisüksuste kohta on välja toodud tabelis 4.1. Lisaks sellele on sooritatud arvutused ka teiste elektrifirmade jaamade kohta ning see on kättesaadav lisa 3.

Tabel 4.1. Elektrifirma Old Timersi kokkuvõtlik portfoolio tabel ja autori arvutatud miinimum MWh hind iga tootmisüksuse kohta eraldi

	Võimsus	Kütuse hind	H&K	CO ₂ emissioonid tonni	H&K päevane	Miinimum hind ühe toodetud MWh kohta
Tootmisüksus	MW	\$/MWh	\$/MWh	Tonni/MWh	\$	\$/MWh
BIG CREEK	1000	0,00	0,00	0,00	3 750	4
MOHAVE 1	750	15,00	4,50	0,47	3 750	27
MOHAVE 2	750	15,00	4,50	0,47	3 750	27
HIGHGROVE	150	34,00	0,50	0,40	0	52
SAN BERNADINO	100	37,00	0,50	0,44	0	56

Kuna mängus on ka rakendatud ka emissioonikaubanduse süsteem, siis jagati mängijate vahel ära võrdses koguses CO₂ kvote. Neid on mängus kokku 18 200 tükki ning jagades selle seitsme elektrifirma vahel ära jääb kõigile kätte 2600 kvooti. Järgnevalt alustatakse esimese vooru pakkumistega. Esimese vooru nõudlus on Põhja regioonis 4020 MW ning lõuna regioonis 7035. Kuna mängujuht valis kahe regiooni vahele lõpmatu läbilaskevõime siis võib järeleda, et kahe regiooni tarbimist saavad katta kõik elektrifirmad. Seetõttu arvestab töö autor, et tarbimine on 11 055 MW ning potentsiaalselt kõigi firmade peale on koguvõimsus 22 050 MW. Autor eeldab, et turule pääsevad kindlasti taastuvenergia üksused ning tuumajaamad, mis kataksid potentsiaalselt ära 2800 MW. Järele jääb 8 255 MW. Uurides lisa 3 leiab autor, et tema kaks gaasielektrijaama on hetkel kõige odavama tootmishinnaga üksused, seega pakutakse turule 1500 MW hinnaga \$27 / MWh. Järele on jäänud katta veel 6 755 MW. Jälgides teiste portfooliod ning nende miinimum hindu siis leiab autor, et pakkumisi mis tehakse alla 52 \$ ühe MWh kohta on suurusjärgus 14 850

MW. Mistõttu tundub ka ebatõenäoline oma järelejäänud kahe gaasielektriijaamaga proovida turule kasumlikult jõuda. Pakkumine tehakse siiski nende miinimumhinna eest, kuid turule pääsemist autor ei eelda.

Kui mängujuht on esimese vooru tulemused kinnitanud siis on aeg vaadata ka esimese mänguvooru tulemusi. Ühtse hinnaga oksjonil on kujunenud ühe MWh hinnaks \$29,05. See tähendab, et elektrifirmadest pääsesid lõõgile kaks gaasielektriijaama ning hüdroelektriijaam. Kokku teeniti kasumit \$32 125 ning ühtlasi tuli loovutada 704 tonni CO₂ heidete eest 704 kvooti. Old Timers oli selle vooru kõige edukam elektrifirma.

4.4.2 Teine voor

Teise vooru elektritarbimise prognoosiks on 15 075 MW. Alles on 1 896 CO₂ kvooti ning veel pole keegi kaubelnud ühegi CO₂ kvoodiga. Kogu lubatud emissiooni piirangust on täidetud 17%, seega võib eeldada, et viimase vooru eel läheb kvootidega suuremaks kauplemiseks. Sarnaselt ka eelnevale voorule eeldab autor, et taastuenergia ning tuumaelektriijaam katavad ära 2 800 MW jagu tarbimisest ja autori odavad gaasijaamad lisavad sellele veel 1500 MW ehk ülejäänud jaamadel jääb tagada 10 775 MW võimsust. Kuna järgnevates voorudes on nõudlus pidevalt tõusmas, siis üritab autor selles voorus veidike CO₂ kvote säästa ning paneb järelejäänud kahe kallima gaasielektriijaamade võimsuse müüki kallimalt kui muidu. Hinnaks määratakse \$105 ühe MWh kohta ning kolme esimese tooteüksuse panused jäetakse samaks nagu eelmises voorus. Mängujuht kinnitab teise vooru pakkumised ning avaldab tulemused.

Eelduste kohaselt elektri hind paljuski ei muutunud. Hinnaks kujunes \$31.15. Old Timers pääses jällegi turule oma kolme odavaima tootmisüksusega ning teenis sealt \$37 375 kasumit. Loovutamisele kulub taas 704 CO₂ kvooti. Autori elektrifirma hoiab seni esimest kohta kasumi edetabelis. Teisel kohal on \$66 060 Fossil Light firma, kelle tootmisüksuste hulgast leiab kolm gaasielektriijaama, ühe tuuma- ja ühe hüdroelektriijaama.

4.4.3 Kolmas voor

Nagu ka eelnevalt mainitud siis hakkab viimastes voorude elektri nõudlus kasvama. Selle vooru eeldatav nõudlus on 21 417 MW. See tähendab, et turult jääb välja vaid 663 MW. Kuna Old Timersi portfoolios on võimsust 2750 MW jagu siis tundub potentsiaalne oma pakkumistega turu maksimumhinda otseselt mõjutada. Seega tehakse kõikide tootmisüksustega taas baaspanused ning ühe 750 MW gaasielektriijaamaga proovitakse turuhinda kergitada ning elekter pakutakse turule hinnaga \$499 / MWh.

Järgnevalt lõpetab mängujuht kolmanda vooru ning STATA tarkvara arvutab vooru tulemused. MWh hinnaks kujunes \$65.77. Selgus, et nõudlus oli veidike väiksem, kui oli

eeldada ning turult jäi välja vaid üks elektriijaam ja see oli autori firmast Old Timers gaasielektriijaam nimega Mohave 2. Sellega tegi autor märkimisväärse eksimuse ning kaotas üldliidri koha. See-eest õnnestusid aga teised panused ning elektrifirma kasum on enne viimast vooru \$166 235 ning järgi on veel 736 CO₂ kvooti.

4.4.4 Neljas voor

Viimases voorus on nõudlus siiani kõrge 18 841 MW. Kokku on loovutatud 18 200st CO₂ kvoodist 14 479 ehk 79.6%. Ainuüksi kolmandas voorus loovutati 6 970 kvooti ning kuna viimase vooru elektri nõudlus on suur siis võib eeldada ka korralikku trahvimist mängu lõpus. Neljandas voorus võib autor eeldada, et kõik tema tootmisüksused saavad turule, juhul kui keegi oma võimsust kahjumiga ei müü. Loovutada on ka veel 736 CO₂ kvooti, mis eeldaks 68 kvoodi puudujääki, kui pääsetaks turule kogu elektrifirma võimsusega. Kuna ESG mängus on mängujuhil ise võimalus määrata lõplik CO₂ kvoodi hind, siis tehti see vastavalt näidisharjutust sooritatud päeval. Vastavalt 22.04.2022 seisuga on Euroopas 89.6€ ehk \$82.9 ühe tonni emiteeritud CO₂ kohta. [19] [20] See tekitaks elektrifirmale lisakulu \$5 637 eeldusel, et kõik toodetud energia ka turule pääseb. Seega tehakse ka vastavad pakkumised ning lastakse mängujuhil viimane voor lõppenuks kuulutada.

Neljanda vooru elektrituru hinnaks kujunes \$38.55. Autori elektrifirmast jäi turult eemale kaks väiksemat gaasielektriijaama. Teised tootjad pääsesid turule, olid kasumlikud ning nende arvelt tuli loovutada veel 704 CO₂ kvooti. Terve mängu jooksul tootsid kõik firmad kokku 20 181 tonni CO₂ emissioone, mis 110.9% väljastatud kvootidest.

Tabel 4.3. Elektrifirmade CO₂ heitmete kogus kõikides voorudes [27]

Actual cumulative CO2 emissions	20,181 tons
Actual cumulative CO2 emissions as % of cap	110.9%
Period 1	
Period 1 Carbon Emissions	3,103 tons
Period 1 Carbon Price	no trades
Period 1 Cumulative Emissions	17.0% of cap
Period 2	
Period 2 Carbon Emissions	4,406 tons
Period 2 Carbon Price	no trades
Period 2 Cumulative Emissions	41.3% of cap
Period 3	
Period 3 Carbon Emissions	6,970 tons
Period 3 Carbon Price	no trades
Period 3 Cumulative Emissions	79.6% of cap
Period 4	5,702 tons
Period 4 Carbon Price	no trades
Period 4 Cumulative Emissions	110.9% of cap

See eeldab, et hetkel on nõudlus üle jäänud kvootidele. Autor paneb müüki oma üle jäänud 32 kvooti. Hinnaks määratakse turuhinnast madalam hind \$50, et teistel firmadel ostuhuvi oleks. Samuti panevad ka teised firmad oma ülejäänud kvoodid turule müüki. Kõige rohkem jäi kvote üle Fossil Light firmal, kes tõi turule 2 218 kvooti hinnaga \$75 tükk. Lisaks sellele pakub Old Timers 43 kvooti hinnaga \$60 ja East Bay 86 kvooti hinnaga \$60. Müüdavatest kvootidest ostab kõik Fossil Lighti firma kvoodid \$75 eest ning säästab selle tulemusel väikese osa oma kahjumist. Big Gas ostab 86 kvooti East Baylt ning müüb nendest 12 edasi \$80 hinnaga Big Coalile.

4.4.5 Kokkuvõte

Mängu kokkuvõttest selgub, kui esialgu edukalt lõpetanud Big Coal firma on peale CO₂ kvootide tasaarveldust tabeli põhjas ja sootuks miinusega pangakontol. Antud neli vooru näitasid selgelt, kuidas võiks mõjuda emissioonikaubanduse süsteem väga CO₂ emissiooni intensiivsele turule. Mängust lõpetas suurima kasumiga Fossil Light elektrifirma, kelle tootmisüksustest domineerisid tuuma- ja hüdroelektrijaam. Samuti oli firma süsiniku jalajälg teistega võrreldes kõige väiksem. See tagas ka neile edukad kauplemisvoorud ning mängu lõppfaasis suure tulu kvootide müügil. Kokkuvõtte mängu tulemustest on kujutatud tabelis 4.2.

Tabel 4.2. ESG mängu kõikide elektrifirmade lõpparvestus

Portfolio	Cumulative profits, \$	Total generation costs, \$	Carbon allowances deficit	Carbon price,\$	CO₂ penalty,\$	Overall profit, \$
Fossil Light	392 036	118 106	0	82,9	0	392 036
Old Timers	223 627	156 305	0	82,9	0	223 627
Bay Views	149 091	270 391	135	82,9	- 11 192	137 900
Big Gas	130 392	242 008	0	82,9	0	130 392
East Bay	120 918	238 032	0	82,9	0	120 918
Beachfront	150 084	327 824	873	82,9	- 72 372	77 712
Big Coal	64 749	304 811	973	82,9	- 80 662	-15 913

Sarnaselt ka Stanfordini energiaturu mängu peatükile, ei oleks täielikult ratsionaalne ka siin mängija edukust kasumi näol mõõta. Kõik tootmisportfoolid erinesid üksteisest ning samuti erinesid ka nende koguvõimsused. Antud mängus oli eelis firmadel, kes omasid taastuvenergia allikatel toimivaid tootmisüksustel ning sarnaselt omasid eelist tuumaelektrijaama omavad elektrifirmad. Kokkuvõttes ei ole mängude eesmärk olla kõige edukam mängija vaid arendada välja mängija oskusi turul kauplemiseks. Mõnel korral võib just võimalikult madala riskiga panustades suuremat kasumit teenida.

5 . MÄNGUDE VÕRDLEV ANALÜÜS

Mudelite objektiivseks võrdlemiseks lähtutakse võrdluses erinevatest punktidest. Selle eesmärk on tuua välja iga mängu tugevad ning nõrgad küljed ning lõppkokkuvõttes leida kõige sobivam mudel mida just energiasüsteemide õppeaines kasutamiseks rakendada. Analüüsi lähtepunktid on koondatud eraldi tabelisse 5.1. Sealt saab nendest kiire ja põgusa ülevaate ning punktid seletatakse järgnevalt ka põhjalikult lahti. Peatüki lõpus võetakse tulemused kokku ning luuakse kokkuvõtte.

Tabel 5.1. Elektrituru mängude võrdleva analüüsi autori hinnangud. SEM mängu näol on tegemist teises peatükis käsitletud mänguga, REM on kolmanda peatüki mäng ning ESG on neljanda peatüki elektrituru mäng

	SEM	REM	ESG
1. Populaarsus ja kättesaadavus	Väga hea	Halb	Halb
2. Läbiviimise kiirus	Kiire	Keskmine	Aeglane
3. Mängu kaasaegsus	Kaasaegne	Kaasaegne	Vanamoodne
4. Kasutusmugavus õppejõu seisukohalt	Väga mugav	Ebamugav	Ebamugav
5. Kasutusmugavus tudengi seisukohalt	Väga mugav	Mugav	Mugav
6. Keerukus	Keskmine	Lihtne	Keskmine
7. Kasutamise lihtsus ja arusaadavus	Hea	Väga hea	Hea
8. Funktsioonide lisamise võimalus	Väga hea	Puudub	Hea
9. Sisendite muutmise võimalus	Puudub	Võimalik	Võimalik
10. Individuaalne harjutamise võimalus	Olemas	Puudub	Puudub
11. Visuaalne kasutajaliides	Hea	Puudub	Hea
12. Nutitelefoniga osalemise võimalus	Olemas	Mäng on paberil	Puudub
13. Töökindlus	Keskmine	Hea	Keskmine
14. Liitpakkumise tegemise võimalus	Puudub	Olemas	Puudub

Populaarsus ja kättesaadavus

Esmalt lähtuti mängude populaarsuse hindamisel nende kättesaadavust internetist. Otsides internetist märksõna „*Electricity market game*“ on esimeseks vastuseks SEM mäng. Üks Stanfordi mängu juhtivatest programmeerijatest tõdes OpenMod foorumis, et nende serveril on ligi 1000 registreeritud mängijat. See number võib reaalsuses veel suurem olla, kuna eelmisest aastast vahetati ka domeeni ning uuel veebilehel pole eelregistreerimist tudengitel vaja, seega on raskem uut statistikat hetkel luua. Samast Openmod foorumist on leitud ka REM mäng. Mujalt pole õnnestunud autoril seda sama mängu võtmesõnadega üles leida, samuti pole ka otsest infot selle mängu kasutajaskonna kohta [21]. Lõputöö autor pidas seda ebapopulaarseks. Kuna ESG mäng on algselt loodud vaid California Berkeley Ülikooli raames kasutamiseks, siis avalik ligipääs sellele puudub. Peale korduvat kirjavahetust ühe mängu autoritega saadi lõpuks ligipääsukood kodulehele, seega peeti ka seda mängu ebapopulaarseks. Samuti tuleb ka märkida, et töö kättesaadavuse teeb veel keerulisemaks asjaolu, et mängu koodi peab jooksutama läbi kolmanda tasulise tarkvara rakenduse. Seda on võimalik saada nädalaseks prooviperioodiks tasuta kooli arvutitesse, kuid see nõuab võrreldes teiste mängudega märgatavalt rohkem lisaaega ning õppejõud peab õppima tarkvara kasutust.

Läbiviimise kiirus

Mängu läbiviimise kiiruse all mõistetakse ühe mängupäeva kestust. Autor omab kogemust kõigi kolme mängu mängimisel ning REM mängust on ka õppejõul reaalne kogemust tudengitel testimise kiirusest. Võrdlemisel on võetud aluseks, et mängu peaks läbi viima kahe akadeemiline tunni jooksul ehk 90 minuti jooksul. Kõige kiirem on SEM mudel, kuna kõik tegevused toimuvad veebilehel ning ka kõik tulemused kuvatakse sinna. Puuduvad välised sisendid ja väljundid, mis soodustavad oluliselt mängukäigu kiirust. REM mudeli kiirust hinnati keskmiselt, kuna programm jookseb õppejõul arvutis ning sisendid kirjutatakse üles paberile ning tulemuste saamiseks on need vaja uuesti käsitsi tarkvarasse sisendada. Tulemused saab kuvada projektoriga seinale. ESG mängu läbiviimise kiirust võiks esmapilgul hinnata samuti kiirega, kuid tegelikult on tegu väga vanamoelise ettevõtmisega. Kuigi sisendeid on võimalik sisestada läbi arvuti siis oluliselt kulutab aega mängujuhi roll need arvutisse alla laadida, siis eraldiseisvasse programmi sisestada ning tulemused uuesti lehele laadida ja sama protsessi kõigil neljal voorul läbi korrata.

Mängu kaasaegsus

Mängu kaasaegsuse punktis võrreldakse sisendite, funktsioonide ning tarkvarade tänapäevalisust. SEM mängu puhul toimub kõik internetis – sisendite sisestamine, funktsioonide sisse ja väljalülitamine on lihtne ning tarkvara kiirus on hea. Samuti on

mängus kasutatavad tootmisüksused rohelisemad ning nende osakaal on oluliselt suurem kui ESG mängus. REM mäng töötab samuti Exceli baasil, mis on väga uudne ning kasutus- ja jooniste kuvamise kiirus on hea. Sarnaselt eelnevale mängule on ka nende tootmisüksused kaasaegsed. See-eest on aga ESG mängu tootmisjaamad vanamoelised ning mitmekümnest elektritootjast on vaid mõned taastuvenergia allikatel põhinevad elektrijaamad. Kuigi andmete sisestamiseks kasutatakse interneti lehte mis on üpris kiire, siis kaasaegsuse puudumine väljendub just mitme erineva programmiga mitte sünkroniseeritult töötamises.

Kasutusmugavus õppejõu seisukohalt

Kõige ajamahukam on ESG mänguga töötamine. Sisendite allalaadimine, kõrvalisse programmi sisestamine, sealt uuesti alla laadimine ning uuesti veebilehele üles laadimine peale igat vooru on väga ajakulukas ja tülikas. Sama lugu on ka REM mänguga, kus aeganõudev on sisendite ühekaupa sisestamine. Näidisharjutus näitas ka, et sisendite sisestamisel tekivad ka inimlikud eksimused, kus andmed sisestati kogemata valedele ridadele. Kõige kasutajamugavamaks valis autor SEM mängu. Õppejõu ülesanne baasmängus on vaid uue perioodi väljakuulutamise. Paralleelselt on võimalik tulemusi projektoriga seinale kuvada, et tudengid saaksid uute panuste tegemisel lähtuda eelmistest tulemustest.

Kasutusmugavus tudengi seisukohalt

Tudengite seisukohalt hinnati just nende mugavust sisendite kirjutamisel ning nende vabadust andmetega tutvumisel. SEM mängus on võimalik tutvuda mängu reeglitega, teiste panustega, eelnevate voorude tulemuste ja muude teguritega vabalt ühel veebilehel ilma kõrvaliste rakenduste kasutamisetä. Seetõttu hinnati ka seda kõige kõrgemalt. Mugavaks hinnati ka REM mängu, kuna tudengite ainsaks ülesandeks oli paberile panuste kirjutamine ning mängimiseks pole vaja arvuti ega nutitelefoni olemasolu. Mugavalt hinnati ka ESG mängu, kus panuste tegemiseks kasutatakse veebilehte ning ka tulemuste kuvamine on sealt võimalik.

Keerukus

Mängu keerukust hinnati mängu baasversioonide järgi. Kõige lihtsamaks mänguks peab töö autor REM mängu. Enne igat vooru kantakse ette tuleva vooru nõudluse ja ilmastiku prognoos ning vastavalt teiste mängijate tootmisvõimsustele tehakse ka panused voorul kauplemiseks. Veidi keerukam on aga mängides SEM ja ESG mängu. Enne vooru saadakse küll prognoosid elektri nõudlusele, kuid mitte ilmastiku tingimustele. Ebapiisav eelinfo teeb

taastuenergia allikatel põhinevatele tootmisüksustele tootlikkuse prognoosi keeruliseks. Eeldusi tuleb teha vastavalt kellaajale ning oletatavale tarbimistüübi prognoosile.

Kasutamise lihtsus ja arusaadavus

Kõige lihtsam on kasutada REM mängu. Tudengi ülesanne on vaid sisestada panused ning muu kauplemise võimalus puudub. Pigem lihtne on ka SEM mängu kasutamine. Kõik toimub ühe veebilehel, kuid tegureid ja tulemusi mida pingsalt jälgida on oluliselt rohkem, kui REM mängus. Sestap ka hindas autor selle kasutamise lihtsust pigem lihtsaks. Samuti hinnati ka ESG mängu.

Funktsioonide lisamise võimalus

Erinevaid tegureid mis ümbritsevad elektriturgu on palju ning sellest sõltub ka elektriturul kauplemise keerukus. Lisatavad funktsioonid on näiteks emissioonikaubanduse süsteem, süsinikumaks, ülekande limiit ja taastuenergia kvoodid. Just need on osad lisatavatest funktsioonidest mis on SEM mängus rakendatavad, mis teeb ühtlasi ka sellest kõige täiuslikuma mängu antud aspektis. Samuti on võimekas ESG mäng, kuid selles puudub näiteks taastuenergia kvootide rakendamise võimalus. Siiski sai ESG selles kategoorias hea skoori. Kõige kehvemad võimalused on REM mängus. Funktsioone on võimalik lisada, kuid see peaks käima manuaalselt. Hetkel pole veel mängust uuendatud versiooni välja antud, kuid potentsiaal on mudel kindlasti olemas.

Sisendite muutmise võimalus

Selles kategoorias on kõige paindlikum REM mäng. Kuna panustamine käib paberil ja pliiatsil ning andmetöötlus programmis Excel, siis on ka lihtne elektrijaamade võimsuste, kulude ja muude näitajate muutmise. Sarnane, kuid keerukam võimalus on ka ESG mängus, kuid õige koodirea leidmiseks võib tihtipeale kuluda liialt palju aega. Siiski on see võimalus mängul olemas. Muutmise võimalus puudub SEM mängul, kuna andmed on veebilehele eelnevalt sisestatud ning ligipääs nendele puudub. Seetõttu saab ka SEM mäng selles kategoorias madalaima skoori.

Individuaalne harjutamise võimalus

Antud funktsioon on tegelikult esmatähtis tudengite ja õppejõu seisukohalt. Individuaalne võimalus harjutada elektriturul kauplemist ilma kõrvaliste programmidega on vaid SEM mängus. Tehniliselt on võimalik mängida kõiki mängu ka üksinda, kuid võrreldes SEM mänguga on see võrdlemisi keeruline. Autori hinnangul on kõige kasutajasõbralikum ja suurema potentsiaaliga SEM mäng, mis võimaldab arendada kasutaja individuaalseid oskusi elektriturul kauplemisprotsessis.

Visuaalne kasutajaliides

Visuaalse kasutajaliidese all mõeldakse mängija rahulolu ja mugavust mängu mängides. ESG ning SEM mängud on mõlemad sarnase disainiga ning need on lihtsasti kasutatavad. SEM mängu on visuaalselt veidi raskesti loetavad, kuid mitte midagi arusaamatut. REM mängul puudub koduleht, seega ei saa seda võrdlusesse tuua. Küll aga on võimalik hinnata visuaalselt mängu graafikuid ning tabeleid mis, on võrdlemisi ülevaatlikud ja arusaadavad.

Nutitelefoniga osalemise võimalus

Selles kategoorias saab tunnustuse vaid SEM mäng, mis teeb selle kõige kättesaadavamaks õpperuumis. Seda mängu on võimalik mängida sisestades andmed paberile ning õppejõud sisestab need mängu. Samuti on võimalus liituda mänguga läbi personaalse arvuti või nutitelefoniga. ESG mängu kasutamiseks on vajalik isiklik arvuti või sobib ka paber ja pliats lahendus. REM mängu läbiviimine on ainult paberil.

Töökindlus

Üheks võrdluspunktiks on mängude töökindlus. Autor leiab, et mida rohkem on käske mida täita, seda suurem on ka eksimusvõimalus. Näitena saab tuua REM mängu, mida viis läbi õppejõud oma kursuse tudengitega. Probleeme tekitas Excelisse andmete sisestamisel tekkinud vead. Sama võib ka juhtuda teistes mängudes, kuid siinkohal võetakse üheks hindamise aluseks väikseim andmete sisestuse kordus. Sama probleem tuli ette ka töö autoril SEM mänguga, kui erinevatel päevadel erinevaid funktsioone testides mitmel korral veebileht mõneks minutiks kokku jooksis. Sellest võib kujuneda oluline risk, kui sama peaks korduma just õppetunnil, kus aeg on piiratud. ESG mudeli katsetamise käigus ei tekkinud probleeme mängu tööga. Sellele vaatamata said keskmise hinde SEM ja ESG mäng ning hea hinde REM mäng.

Liitpakkumise tegemise võimalus

Viimaseks võrdluspunktiks on võimalus teha liitpakkumisi turul. See annab võimalust mängijal panna müüki ühe tootmisüksuse elektrienergia mitmes erinevas hinnaklassis. Seda võimaldab vaid REM mäng. Selle funktsiooni puudust tundis autor ESG mängu kolmandas voorus, kus ühe tooteüksuse erinevate hinnaklassidega müüki panemise võimalus oleks suure tõenäosusega kasumit oluliselt tõstnud. Analoogne Funktsioon puudub ka SEM mängus.

5.1 Parima õppemängu valimine

Mängude hindamisel oli näha, et kõikidel mudelitel olid omad tugevused, riskid ja tähistamist vajavad funktsioonid. Selleks, et valida parim mudel koostas töö autor lihtsama hindamisskaala, mis võimaldas analüüsida töös käsitletud kolme elektrituru mängude hindamist erinevates kategooriates. Kõige paremini skooritud tulemused saavad 3. punkti, keskmine tulemus 2. punkti ning kõige nõrgem tulemus võrdub 1. punktiga. Selleks teisendati eelnev tabeli 5.1. ümber punktiskaalaks ning uus tabel on nähtaval tabelis 5.2.

Tabel 5.2. Elektrituru mängude võrdleva analüüsi hinnang punktides

	SEM	REM	ESG
1. Populaarsus ja kättesaadavus	3 Punkti	1 Punkt	1 Punkt
2. Läbiviimise kiirus	3 Punkti	2 Punkti	1 Punkt
3. Mängu kaasaegsus	3 Punkti	3 Punkti	1 Punkt
4. Kasutusmugavus õppejõu seisukohalt	3 Punkti	1 Punkt	1 Punkt
5. Kasutusmugavus tudengi seisukohalt	3 Punkti	2 Punkti	2 Punkti
6. Keerukus	2 Punkti	3 Punkti	2 Punkti
7. Kasutamise lihtsus ja arusaadavus	2 Punkti	3 Punkti	3 Punkti
8. Funktsioonide lisamise võimalus	3 Punkti	1 Punkt	2 Punkti
9. Sisendite muutmise võimalus	1 Punkt	3 Punkti	3 Punkti
10. Individuaalne harjutamise võimalus	3 Punkti	1 Punkt	1 Punkt
11. Visuaalne kasutajaliides	2 Punkti	1 Punkt	2 Punkti
12. Nutitelefoniga osalemise võimalus	3 Punkti	1 Punkt	1 Punkt
13. Töökindlus	2 Punkti	3 Punkti	2 Punkti
14. Liitpakkumise tegemise võimalus	1 Punkt	3	1 Punkt
Lõppskoor	34 Punkti	28 Punkti	23 Punkti

Sellest on näha, et SEM mäng skooris kõrgeimad punktid kaheksas erinevas kategoorias. REM mäng suutis seda teha viies erinevas ning ESG mäng vaid kahes kategoorias. Halvima tulemuse sai SEM mäng vaid kahe kategoorias, REM kuues ning ESG mäng seitsmes kategoorias. Keskmise tulemuse sai SEM neljas, REM kahes ning ESG viies erinevas kategoorias. Summeeritud skoori põhjal saab järeldada, et madalaima skoori sai ESG mäng, järjekorras teisele tulemusele tuli REM mäng ning parimaks tulemuseks hindas lõputöö autor SEM mängu.

SEM mäng on valikust kõige enam õpieesmärki täitev elektrituru mäng. Autor leiab, et antud mängu võiks leida kasutust ka mõnes teises energiaturge käsitlevates õppeainetes. Näitena tooks autor välja õppeaine Energiaturgud (ainekood: EES5230), mille õpiväljundites on loetletud mitmed mängu rakendatavad funktsioonid. Üheks neist on õpilase võime hinnata emissioonikaubanduse rolli ja mõju energiaturgudel. Samuti käib energiaturgude õppeaines läbi energia pärtiolutunnistus, ülekandevõimsused ning erinevad turulepingud, mida on ka SEM mängus võimalik rakendada. [29]

Autor kiidab Stanfordi elektrituru mängu selle kasutajamugavuse ja kiireloomulisuse poolest. Lisaks toob ta ka välja, et üheks väga heaks funktsiooniks on individuaalse mängimine võimalus, kus harjutamiseks pole vaja rohkem liikmeid kui üks. Olles lõputöö raames kõige hinnatum mäng analüüsis, otsustas autor ka selle kohta Energiasüsteemide õppeaine harjutusülesanne koostada. Harjutusülesanne koos juhendiga on välja toodud lisa 4.

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö raames võrreldi erinevaid elektrituru mängu, mida energiasüsteemide õppeaine õpingutest edaspidiselt aktiivselt kasutada. Töös tutvuti esmalt elektrituru üldise toimimisega, börsihinna kujunemisega, erinevate elektriturgu mõjutavate keskkonnateguritega ning energiasüsteemide õppeainega. Tutvudes lähemalt õppeainega, mõistis töö autor, et elektrituru börsihinna kujunemist võiks praktikas hästi õpetada just elektrituru mängu abil, kus igal mängijal on võimalik mõjutada elektri börsihinna kujunemist.

Kolmes sisupeatükis tutvustati erinevaid elektrituru mängu ning viidi end kurssi mängude mudelitega. Alapeatükkides mõtestati lahti mängu osalised, mängus rakendatavad funktsioonid, analüüsiti kasutusel olevaid tootmisüksusi ning uuriti mängu protsessi. Peale mudelitega sisukat tutvumist läbiti ka kõikide mudelitega näidisharjutus. Sellest kujunes võrdluse alus ning töö viimases peatükis koostati kolme erineva elektrituru mängu kohta võrdlev analüüs. Võrdlemisel lähtuti erinevatest mängu aspektidest alustades populaarsusest ning lõpetades keerukate funktsioonide lisamise võimalustega.

Võrdlevast analüüsist selgus, et parima visuaalse hinnakujunemise ja kõige paremini kasutatavaks mudeliks sobiks energiasüsteemide õppeainesse just Stanfordini PESD instituudi elektrituru mäng. Teiste mudelite osadeks puudusteks osutusid osaliselt tasuline tarkvara, ülesande läbimiseks kuluva aja nõudlikkus, puuduv individuaalne mängimisvõimalus ning mängujuhi poolne mängu läbiviimise keerukus. Töö viimaseks ülesandeks oli välja töötada harjutusülesanne ja selle juhend, mida energiasüsteemide õppeainesse ka rakendada. Harjutusülesanne koostati SEM mängu kohta ning töö juhendisse lisati ka mängu läbiviimise juhend.

Autor leiab, et elektrituru mängude kasutamine arendab tudengite oskusi ja võimekust turgudel kauplemisel. Puudusena toob autor välja elektrituru mängude ebapiisavat kättesaadavust. Eksisteerib veel mitmeid sisukaid turumänge, kuid enamus neist on välja töötatud erinevate ülikoolide endi õppetöö raames ning need ei ole kättesaadavad avalikkusele. On ka mängu mille kasutamine on tasuline ning see piirab nende kasutamise võimalusi õppeprotsessis.

Lõputöö autor näeb elektrituru mängul suurt potentsiaali leida kasutust ka teistes õppeainetes, kus käsitletakse elektriturge, näiteks energiaturgude õppeainetes. Stanfordini elektrituru mäng on väga võimekas ning sellel on mitmeid erinevaid variatsioone, mis

võimaldavad simuleerida keerulisi turu olukordi, mida ka energiaturgude õppeainetes käsitletakse.

SUMMARY

In the framework of the present master's thesis, various electricity market games were compared to each other in order to find a suitable game that could be actively used in Power Systems studies. General functioning of the electricity market, the formation of the stock exchange price, various environmental factors affecting the electricity market and the subject of Power Systems were first introduced. After getting to know the subject better, the author realized that the formation of the electricity market price could be well taught in practice with the help of electricity market games, where every player can affect the development of the electricity market price.

In three chapters of the thesis, various electricity market games and the game models were introduced. The subchapters decipher the player roles in the game, the applicable functions in the game, analyzing the electricity production units in use and study of the game process. After a thorough acquaintance with the game models, a sample exercise was conducted one by one with all of the games. This formed the basis of the comparison and a comparative analysis was compiled in the last chapter of the thesis. The comparison was based on various aspects of the game, starting with popularity and ending with the option to add complicated functions to the game.

The comparative analysis showed that the Stanford PESD Institute's electricity market game would be the best fitting exercise to be used to Power Systems studies. This was due to its ability to create the best visual effect of how the prices on the market form. Some of the disadvantages of the other models were paid software, the time demand required to complete a game, lack of individual playing opportunities and the difficulty of hosting the game as a lecturer. The last task of the thesis was to develop an exercise with instructions, which can later be applied to the Power Systems subject. The exercise was compiled with SEM's game and the instructions for the game were added to the work guide.

The author finds that the use of electricity market games develops students skills and abilities to manage his/hers trading in the electricity markets. The author points out the insufficient availability of different electricity market games. There are still many electricity market games out there, but most of them have been developed by Universities who use the games themselves and they are not available to the public. There are also games that require the user to pay for its use which limits their usefulness for University studies.

The author of the thesis sees great potential in electricity market games to find use in other subjects that come to grip with electricity markets such as Energy Markets subject.

Stanford's electricity market game is highly capable of creating different complex market situations which are being also used in Energy Markets studies.

KASUTATUD KIRJANDUS

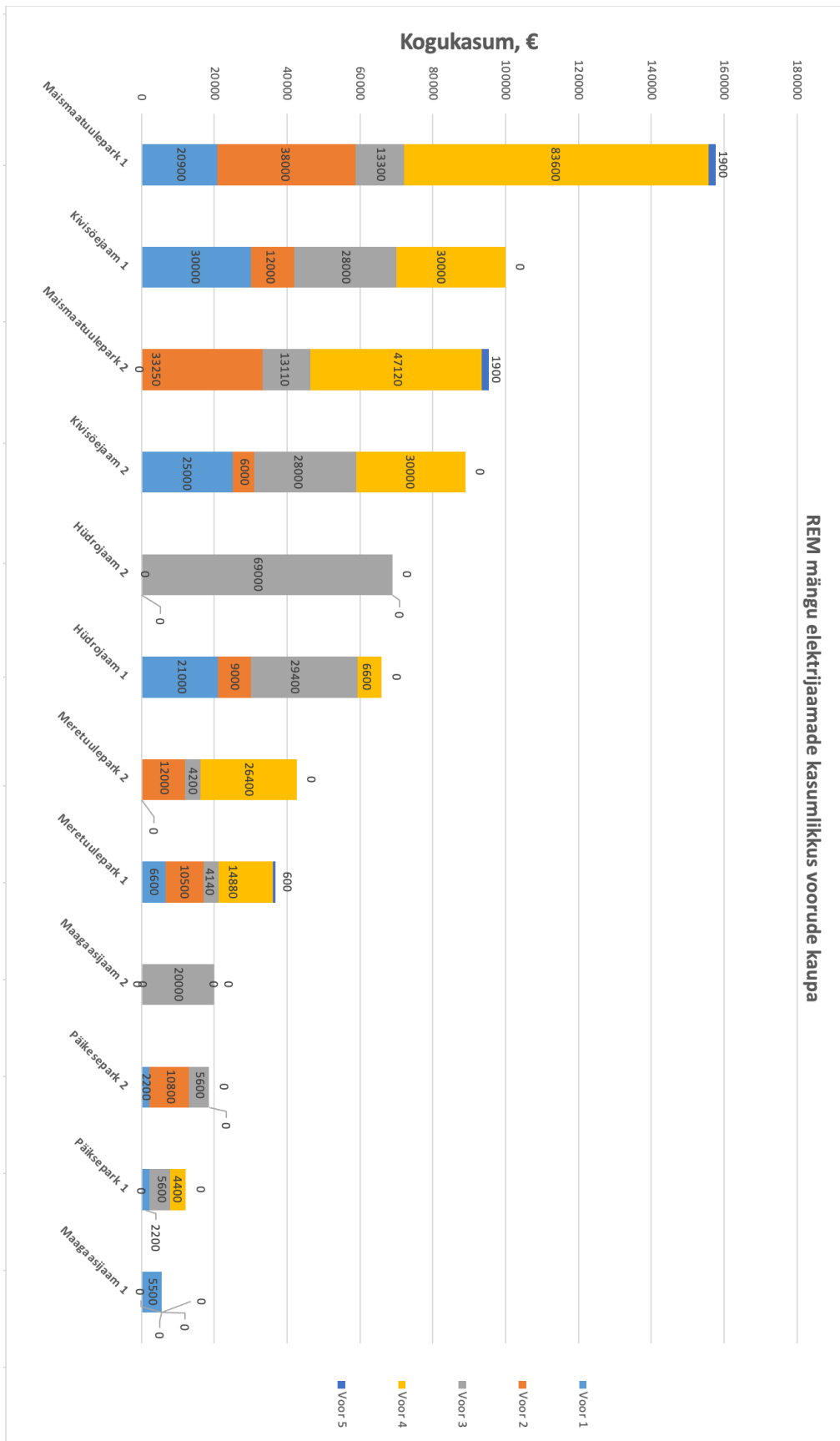
- [1] Euroopa Parlament, "Energia siseturg", [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/et/FTU_2.1.9.pdf. [Kasutatud 30.03.2022]
- [2] Euroopa Liidu Teataja, "Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EL) 2019/943", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?qid=1581587333688&uri=CELEX:32019R0943> [Kasutatud 30.03.2022]
- [3] Energiatalgud, "Emissioonikaubandus", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://energiatalgud.ee/Emissioonikaubandus>. [Kasutatud 12.05.2022]
- [4] Energiatalgud, "Elektriturg", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://energiatalgud.ee/Elektriturg>. [Kasutatud 02.05.2022]
- [5] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, "Energiamajanduse arengukava aastani 2030", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.valitsus.ee/media/323/download>. [Kasutatud 21.04.2022]
- [6] Explainer, "US Electricity markets 101", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.rff.org/publications/explainers/us-electricity-markets-101/>. [Kasutatud 02.05.2022]
- [7] Federal Energy Regulatory Commission, "Electric Power Markets", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ferc.gov/electric-power-markets>. [Kasutatud 02.05.2022]
- [8] Eesti Energia, "Elektriturg", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.energia.ee/era/elekter/elektriturg>. [Kasutatud 02.05.2022]
- [9] Congressional Budget Office, "Effects of a Carbon Tax on the Economy and the Environment", [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.cbo.gov/sites/default/files/113th-congress-2013-2014/reports/Carbon_One-Column.pdf. [Kasutatud 04.05.2022]
- [10] The EconoFact Network, "Carbon Taxes: What Can We Learn From International Experience", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://econofact.org/carbon-taxes-what-can-we-learn-from-international-experience> [Kasutatud 30.04.2022]
- [11] Tax Foundation, "Looking Back on 30 Years of Carbon Taxes in Sweden", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://files.taxfoundation.org/20200929121706/Looking-Back-on-30-Years-of-Carbon-Taxes-in-Sweden-re.pdf>. Kasutatud [22.04.2022]
- [12] Akio Yamazaki, "Jobs and climate policy: Evidence from British Columbia's revenue-neutral carbon tax", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069617301870>. [Kasutatud 18.04.2022]

- [13] Environmental Defense Fund, "How cap and trade works", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.edf.org/climate/how-cap-and-trade-works>. [Kasutatud 25.04.2022]
- [14] CRS, „A Brief Comparison of Two Climate Change Mitigation Approaches: Cap-and-Trade and Carbon Tax (or Fee), [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.waterwired.org/2019/02/crs-in-focus-report-a-brief-comparison-of-two-climate-change-mitigation-approaches-cap-and-trade-and.html>. [Kasutatud 25.04.2022]
- [15] Keskkonnaministeerium, "Heitkogustega kauplemine", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://envir.ee/heitkogustega-kauplemine>. [Kasutatud 02.04.2022]
- [16] National Conference of State Legislatures, „State Renewable Portfolio Standards and Goals“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ncsl.org/research/energy/renewable-portfolio-standards.aspx>. [Kasutatud 16.04.2022]
- [17] Tallinna Tehnika Ülikool, "Energiasüsteemid (AEK0230)", [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ois2.ttu.ee/uusois/aine/AEK0230>. [Kasutatud 31.03.2022]
- [18] Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, "Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030 (REKK 2030), [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ee_final_necp_main_ee.pdf. [Kasutatud 10.04.2022]
- [19] PESD at Stanford University, „Energy Market Game“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.energymarketgame.org/> [Kasutatud 31.03.2022]
- [20] PESD at Stanford University, „Features of the Energy Market Game“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.energymarketgame.org/pdf/features-of-the-energy-market-game.pdf>. [Kasutatud 31.03.2022]
- [21] Elering, „Elektri päritolutunnistused“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://elering.ee/elektri-paritolutunnistused>. [Kasutatud 03.05.2022]
- [22] PESD at Stanford University, „Create stylized Games“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://fsi-pesd.stanford.edu/game/stylized_1.6.0/cgi-bin/create_stylized_game.py?form=zurich_1p_stylized. [Kasutatud 15.04.2022]
- [23] M. Victoria, „Roleplay Electricity Markets“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://github.com/martavp/roleplay-electricity-market>. [Kasutatud 01.04.2022]
- [24] M. Victoria, „Roleplay Electricity Markets Instruktsions“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://github.com/martavp/roleplay-electricity-market/blob/main/Instructions/Roleplay_electricity_market.pdf. [Kasutatud 01.04.2022]
- [25] Reeli Kuhi-Thalfeldt, „Elektrituru mängu näidisharjutuse materjalid“. Allikale puudub avalik juurdepääs.

- [26] S. Borenstein, J. Bushnell, „The Electricity Strategy Game”, [Võrgumaterjal].
Saadaval: <https://esg.haas.berkeley.edu/Home/About>. [Kasutatud 31.03.2022].
- [27] S. Borenstein, J. Bushnell, „The Electricity Strategy Game - Game Details”,
[Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://esg.haas.berkeley.edu/Game/Details/610>
[Kasutatud 13.04.2022]
- [28] Riigi Teataja, „Elektrituruseadus”, [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.riigiteataja.ee/akt/113032019045>. [Kasutatud 03.05.2022]
- [29] Tallinna Tehnika Ülikool, “Energiaturud (EES5250)”, [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://ois2.ttu.ee/uusois/aine/EES5230>. [Kasutatud 05.05.2022]

LISAD

LISA 1 – REM mänguelektriijaamade kasumlikkus igas voorus suur graafik



LISA 2 – SEM mangu esimese vooru mangujate tulemsud täies mahus

portfolio	cum.profits	cum.profits	per.elect sold	portfolio.cost	total.generation.costs	elect.profits	elect sold	low.bid.1	avg.bid.1	high.bid.1	mkt.price.1	elect.generated.1	generation.costs.1	net.payment.from.ISO.1	tot.profits.1
Nordic	\$19,770	\$8.53	\$0	\$18,461	\$19,770	2,317	\$0.00	\$7.90	\$16.50	\$16.50	2,317	\$18,461	\$38,230	\$19,770	
France	\$4,832	\$1.61	\$0	\$44,750	\$4,832	3,005	\$0.00	\$12.41	\$36.50	\$16.50	3,005	\$44,750	\$49,582	\$4,832	
Austria	\$3,856	\$10.59	\$0	\$2,150	\$3,856	364	\$0.00	\$7.37	\$33.50	\$16.50	364	\$2,150	\$6,006	\$3,856	
Switzerland	\$3,000	\$8.57	\$0	\$2,775	\$3,000	350	\$0.00	\$6.87	\$21.06	\$16.50	350	\$2,775	\$5,775	\$3,000	
Spain	\$265	\$0.33	\$0	\$13,100	\$265	810	\$0.00	\$29.02	\$82.45	\$16.50	810	\$13,100	\$13,365	\$265	
Italy	-\$838	-\$1.96	\$0	\$7,900	-\$838	428	\$0.00	\$17.89	\$25.50	\$16.50	428	\$7,900	\$7,062	-\$838	
Poland	-\$1,438	-\$18.44	\$0	\$2,725	-\$1,438	78	\$0.00	\$22.81	\$44.00	\$16.50	78	\$2,725	\$1,287	-\$1,438	
BelNetherlands	-\$1,498	-\$3.83	\$0	\$7,950	-\$1,498	391	\$0.00	\$24.19	\$41.50	\$16.50	391	\$7,950	\$6,452	-\$1,498	
UK	-\$8,123	-\$58.86	\$0	\$10,400	-\$8,123	138	\$0.00	\$28.46	\$51.50	\$16.50	138	\$10,400	\$2,277	-\$8,123	
Germany	-\$10,524	-\$9.16	\$0	\$29,482	-\$10,524	1,149	\$0.00	\$21.05	\$51.50	\$16.50	1,149	\$29,482	\$18,958	-\$10,524	

LISA 3 – ESG mängu tootmisüksuste andmed

UNIT NAME	Fuel	Capacity MW	Fuel Price \$/MMBTU	Fuel Cost \$/MWh	Var O&M \$/MWH	Total Var Cost \$/MWH	Carbon tons/MWH	O&M/Day (\$)	Location	Kogu müüdava koguse minimum hind \$	Minimum hind per MWH \$
Big Coal											
FOUR CORNERS	Coal	1900	3,00	17,50	1,50	36,50	0,55	\$2 000	South	76575	40
ALAMITOS 7	Gas	250	4,50	50,00	1,50	73,72	0,59	\$0	South	19168	77
HUNTINGTON BEACH 1&	Gas	300	4,50	27,00	1,50	40,50	0,32	\$500	South	13130	44
HUNTINGTON BEACH 5	Gas	150	4,50	45,00	1,50	66,50	0,53	\$500	South	10873	72
REDONDO 5&6	Gas	350	4,50	28,00	1,50	41,94	0,33	\$750	South	16008	46
REDONDO 7&8	Gas	950	4,50	28,00	1,50	41,94	0,33	\$1 250	South	42665	45
Totals		3900	25,50	195,50	9,00	301,11	2,65	\$20 000			
Big Gas											
EL SEGUNDO 1&2	Gas	1900	4,50	30,00	1,50	44,83	0,35	\$250	South	88758	47
EL SEGUNDO 3&4	Gas	250	4,50	27,50	1,50	41,22	0,32	\$250	South	10956	44
LONG BEACH	Gas	300	4,50	36,00	0,50	52,50	0,42	\$500	South	16880	56
NORTH ISLAND	Gas	150	4,50	45,00	0,50	65,50	0,53	\$0	South	10223	68
ENCINA	Gas	350	4,50	28,50	0,50	41,67	0,34	\$500	South	15678	45
KEARNY	Gas	950	4,50	62,00	0,50	90,06	0,73	\$0	South	89020	94
SOUTH BAY	Gas	1900	4,50	30,00	0,50	43,83	0,35	\$500	South	87108	46
Totals		3600	31,50	259,00	5,50	379,61	3,04	\$8 000			
Bay Views											
MORRO BAY 1&2	Gas	335	4,50	26,50	0,50	38,78	0,31	\$500	North	14010	42
MORRO BAY 3&4	Gas	665	4,50	25,00	0,50	36,61	0,29	\$1 000	North	26311	40
MOSS LANDING 6	Gas	750	4,50	21,50	1,50	32,56	0,25	\$2 000	North	27354	36
MOSS LANDING 7	Gas	750	4,50	21,50	1,50	32,56	0,25	\$2 000	North	27354	36
OAKLAND	Gas	150	4,50	42,00	0,50	61,17	0,50	\$0	North	9550	64
Totals		2650	22,50	136,50	4,50	201,67	1,60	\$22 000			
Beachfront											
COOLWATER	Gas	650	4,50	29,00	0,50	42,39	0,34	\$500	South	29158	45
ETIWANDA 1-4	Gas	850	4,50	28,50	1,50	42,67	0,34	\$2 000	South	39712	47
ETIWANDA 5	Gas	150	4,50	42,50	1,50	62,89	0,50	\$250	South	10058	67
ELLWOOD	Gas	300	4,50	52,00	0,50	75,61	0,61	\$0	South	23598	79
MANDALAY 1&2	Gas	300	4,50	26,00	1,50	39,06	0,31	\$250	South	12432	41
MANDALAY 3	Gas	150	4,50	35,00	1,50	52,06	0,41	\$250	South	8366	56
ORMOND BEACH 1	Gas	700	4,50	26,00	0,50	38,06	0,31	\$1 750	South	29474	42
ORMOND BEACH 2	Gas	700	4,50	26,00	0,50	38,06	0,31	\$1 750	South	29474	42
Totals		3800	36,00	265,00	8,00	390,78	3,13	\$27 000			
East Bay											
PITTSBURGH 1-4	Gas	650	4,50	28,00	0,50	40,94	0,33	\$625	North	28311	44
PITTSBURGH 5&6	Gas	650	4,50	25,00	0,50	36,61	0,29	\$625	North	25365	39
PITTSBURGH 7	Gas	700	4,50	41,00	0,50	59,72	0,48	\$1 000	North	44486	64
CONTRA COSTA 4&5	Gas	150	4,50	40,00	0,50	58,28	0,47	\$250	North	9344	62
CONTRA COSTA 6&7	Gas	700	4,50	27,00	0,50	39,50	0,32	\$1 500	North	30270	43
POTRERO HILL	Gas	150	4,50	48,00	0,50	69,83	0,57	\$0	North	10903	73
Totals		3000	27,00	209,00	3,00	304,89	2,46	\$16 000			
Old Timers											
BIG CREEK	Hydro	1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	\$3 750	South	3750	4
MOHAVE 1	Gas	750	3,00	15,00	4,50	19,50	0,47	\$3 750	South	20138	27
MOHAVE 2	Gas	750	3,00	15,00	4,50	19,50	0,47	\$3 750	South	20138	27
HIGHGROVE	Gas	150	4,50	34,00	0,50	49,61	0,40	\$0	South	7742	52
SAN BERNADINO	Gas	100	4,50	37,00	0,50	53,94	0,44	\$0	South	5614	56
Totals		2750	15,00	101,00	10,00	142,56	1,78	\$45 000			
Fossil Light											
HUMBOLDT	Gas	150	4,50	32,50	0,50	47,44	0,38	\$0	North	7402	49
HELMS	Hydro	800	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	\$3 750	North	4150	5
HUNTERS POINT 1&2	Gas	150	4,50	33,00	1,50	49,17	0,39	\$250	North	7918	53
HUNTERS POINT 4	Gas	250	4,50	51,50	1,50	75,89	0,61	\$250	North	19985	80
DIABLO CANYON 1	Nuclear	1000	7,50	7,50	4,00	11,50	0,00	\$5 000	North	16500	17
Totals		2350	21,00	124,50	8,00	184,50	1,38	\$37 000			

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Harjutusülesanne õppeaines

AEK0230

ELEKTRITURU MÄNG

Tallinn 2022

1. Ülesande kirjeldus

Tere tulemast elektrituru mängu. Oled ühe Euroopa riigi elektriettevõtte omanik, kelle omandis on erinevate võimsuste ning tootmistehnoloogiatega elektri tootmisjaamad. Õppejõud loosib riigid, mida grupid esindama asuvad. Sinu ülesanne on teha igas mänguvoorus turule pakkumine oma müüdava elektrienergia koguse ning pakutud hinna üle. Mängus on neli erinevat vooru, mille jooksul pakkumine teha.

1.1. Mängu sisenemine ja baasfunktsioonid

- Selleks, et siseneda mängu saadab õppejõud mängu sisenemiseks interneti lingi. Järgnevalt tuleb valida listist oma grupi esindatav riik, mis on kujutletud joonisel 1.1.



Joonis 1.1. Riikide list

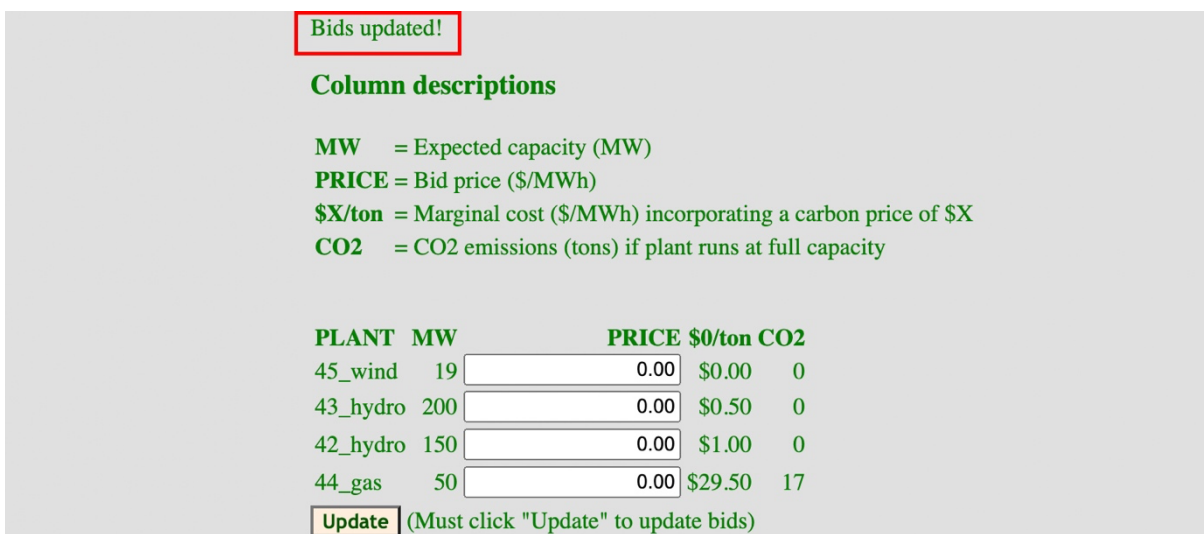
- Tutvu mängu avaekraaniga ning veendu, et ekraani vasakul üleval nurgas oleks just sinule valitud riigi nimi
- „Place bids“ lahtrile vajutades on võimalik teha pakkumisi
- „View market results“ lahtrilt on võimalik peale lõpetatud vooru tutvuda vooru tulemustega
- „View capacity“ lahtrilt leiad eeldatava tootluse iga tootmistehnoloogia kohta ja iga vooru kohta eraldi
- „Game conditions“ lahtrilt leiad mängu tingimused, turu elektrinõudluse iga vooru kohta eraldi ning sama teiste riikide tootmisportfoolid. Pea meeles, et korrastatud ja tõlgitud tabel on esitatud ka Moodle keskkonnas
- „Chat“ lahtris on võimalik kõikide mängu osalistega osaleda vestluses, seda võib igal ajal mängu jooksul kasutada

1.2. Nipid enne mängu alustamist

- Tutvu enda tootmisüksustega ning selgita endale välja nende eripärad ja
- Tutvu põhjalikult teiste riikide tootmisportfooliotega, selgita välja nende odavaimad ning kalleimad tootmisüksused ja oletage mis mahtude ning hindadega turule pääseda proovitakse
- Tutvu põhjalikult ka tulevate voorude turu oletatava nõudlusega. See aitab kaasa elektri müügihinna valiku tegemisel
- Pakkumisi on võimalik teha vahemikus \$0 - \$500
- Loo eelnevalt strateegia, millega elektriturule pakkumisi tegema hakkad
- Mängus rakendatakse *Uniform price* oksjonit, ehk elektri hinna määrab viimane turule pääsenud tootmisüksus
- Sinu müügitulust arvutatakse maha ka elektri jaama kulud ning kätte jääb kasum

1.3. Mängu käik

- Kui oled kätte saanud oma grupi riigi, siis annab õppejõud sulle materjaliga tutvumiseks aega
- Kui kõik grupid on valmis mängu alguseks, siis algavad esimese vooru pakkumised
- Sisesta oma iga tootmisüksuse pakkumise hind ning vajuta nuppu *Update* - joonis 1.2.



Bids updated!

Column descriptions

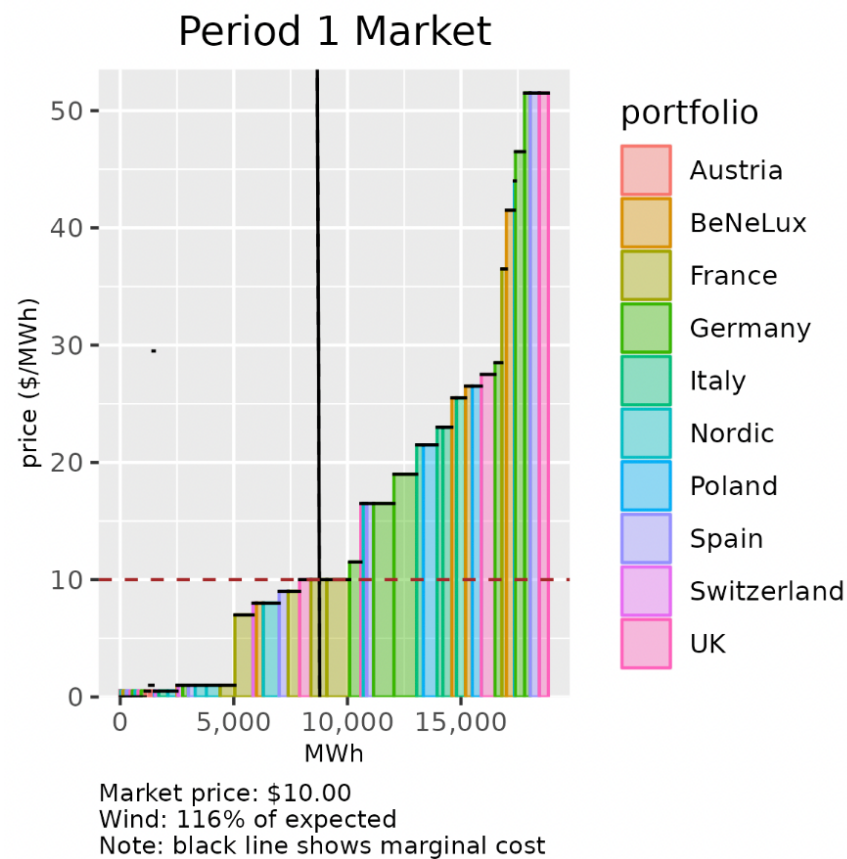
MW = Expected capacity (MW)
PRICE = Bid price (\$/MWh)
\$X/ton = Marginal cost (\$/MWh) incorporating a carbon price of \$X
CO2 = CO2 emissions (tons) if plant runs at full capacity

PLANT	MW	PRICE	\$/ton	CO2
45_wind	19	<input type="text" value="0.00"/>	\$0.00	0
43_hydro	200	<input type="text" value="0.00"/>	\$0.50	0
42_hydro	150	<input type="text" value="0.00"/>	\$1.00	0
44_gas	50	<input type="text" value="0.00"/>	\$29.50	17

Update (Must click "Update" to update bids)

Joonis 1.2. Pakkumiste näide – veendu, et kui oled pakkumised teinud ning vajutanud nuppu „Update“, siis tekib ülesse märke „Bids updated!“

- Kui kõigil gruppidel on oma pakkumised tehtud siis loeb õppejõud vooru lõppenuks ning sulgeb esimese vooru pakkumised
- Tulemuste nägemiseks tuleb minna lahtrile „View market results“
- Esimeselt realt leiab iga mängija oma hetkelise kontoseisu
- Kerides lehelt edasi on võimalik tutvuda teiste tehtud pakkumistega, elektrituru hinna kujunemise graafikuga ning teiste finantsilise seisuga



Joonis 1.3. Illustratiivne näide elektrituru hinna kujunemise graafikust, millelt näeb kuidas hind kujuneb pakkumise ja nõudluse ristpunktis

- Järgnevalt korratakse sama protsessi veel kolmel korral, kuni kõik voorud on mängitud
- Mängu lõpus võetakse kõikide gruppide tulemused kokku ning võrreldakse neid omavahel
- Mängu edukamaks grupiks peetakse võistkonda, kelle keskmine kasum ühe müüdü MWh kohta oli suurim. Keskmise Kasumi arvutamisekäik:

$$\frac{\text{Kogukasum}}{\text{Kokku müüdüd MW}} = \text{Keskmine kasum } \$ / \text{MWh}$$

1.4. Koosta aruanne

Harjutustunni viimaseks ülesandeks on koostada aruanne läbitud elektrituru mängu kohta. Aruandes kirjuta välja oma iga vooru tulemused eraldi ning koonda kokku ka mängu lõpptulemus.

Aruandes võiks olla kirjeldatud järgmised punktid:

- Selgita oma pakkumise koostamise strateegiat – Miks tegid pakkumised just selliste hindadega?
- Selgita, mis olid eeldused teiste konkurentide pakkumistele ning miks sa just nii arvad?
- Milline oli sinu keskmine kasum ühe müüdud MWh kohta?
- Kas jäite harjutusmängu tulemusega rahule – miks läks nii?