



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## **MERETUULEPARGI TASUVUSE HINDAMINE ENERGYPRO TARKVARA ABIL**

### **PROFITABILITY ANALYSIS OF AN OFFSHORE WIND FARM USING ENERGYPRO SOFTWARE**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Risto Lillemäe

Üliõpilaskood: 194082EAAB

Juhendaja: Reeli Kuhi-Thalfeldt, vanemlektor

Tallinn 2021

# 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.

"....." ..... 2022

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 tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Risto Lillemäe (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Meretuulepargi tasuvuse hindamine energyPRO tarkvara abil,  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Reeli Kuhi-Thalfeldt,

(*juhendaja nimi*)

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.

18.05.2022 (*kuupäev*)

---

<sup>1</sup> 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 loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

## LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Risto Lillemäe

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Meretuulepargi tasuvuse hindamine energyPRO tarkvara abil

*Kuupäev:*  
18.05.2022

49 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt

*Töö konsultant (konsultandid):* -

*Sisu kirjeldus:*

Töö eesmärk on tutvuda erinevate olemasolevate meretuuleparkidega, hinnata meretuulepargi tasuvust ning võrrelda erinevate parameetrite mõju selle tasuvusele.

Eesmärk teostatakse luues energyPRO tarkvaras mudel, mille parameetriteks on tuuleressurss, elektri hind, elektri tarbimine, meretuulepargi investering ja tuuliku tehnilised andmed. Mudelit simuleeritakse 25 aastat.

Lõputöö tulemus annab ülevaate meretuulepargi tasuvuse analüüsile kasutades nüüdisväärtuse, sisemise tasuvusmäära ja tasuvusnäitaja meetodeid. Võrreldes meretuulepargi tasuvuse tulemusi erinevate parameetrite korral, leitakse nende mõju tasuvusele.

*Märksõnad:* meretuulepark, tuulik, taastuvenergia, roheline energia, tasuvus, tundlikkus.

## ABSTRACT

*Author:* Risto Lillemäe

*Type of the work:* Bachelor Thesis

*Title:* Profitability analysis of an offshore wind farm using energyPRO software

*Date:*  
18.05.2022

49 pages (the number of thesis pages  
including appendices)

*University:* Tallinn University of Technology

*School:* School of Engineering

*Department:* Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

*Supervisor(s) of the thesis:* senior lecturer Reeli Kuhi-Thalfeldt

*Consultant(s):* -

*Abstract:*

The aim of the work is to get acquainted with different existing offshore wind farms, to evaluate the profitability of an offshore wind farm and to compare the impact of different parameters on its profitability.

The goal is achieved by creating a model in the energyPRO software, with parameters of wind resource, electricity price, electricity consumption, offshore wind farm investment and wind turbine technical data. The model is simulated for 25 years.

The result of the dissertation provides a profitability analysis of an offshore wind farm using the methods of present value, internal rate of return and profitability indicator. Comparing the profitability results of the offshore wind farm with different parameters, gives their impact on profitability.

*Keywords:* offshore wind farm, wind turbine, renewable energy, green energy, profitability, sensitivity.

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Meretuulepargi tasuvuse hindamine energyPRO tarkvara abil</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Profitability analysis of an offshore wind farm using energyPRO software</b>
Üliõpilane:	<b>Risto Lillemäe, 194082EAAB</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika ja mehhatroonika</b>
Lõputöö liik:	<b>bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	2021/2022 Sügis
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>18.05.2022 k 15:00</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

---

Kaasjuhendaja (allkiri)

## 1. Teema põhjendus

Euroopa roheline kokkuleppe eesmärgiks on, et 2030. aastaks väheneks kasvuhoonegaaside netoheide vähemalt 55% võrra, võrreldes 1990. aasta tasemega ja 2050. aastaks puuduks kasvuhoonegaaside netoheide üldse. Kuna energia tootmine ja kasutamine põhjustab üle 75% Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside heitest, on taastuvatest energiaallikatest tootmise suurenemisel selle eesmärgi täitmiseks suur roll. Üheks roheline kokkuleppe meetmeks on taastuenergia strateegia, mille alla kuulub tuuleenergia. Käesoleval hetkel on Euroopas 120 meretuuleparki ehk 5566 elektrituulikut, koguvõimsusega 26 GW. Euroopa Liidu avamere taastuenergia strateegia kohaselt võiks 2030. aastaks tõusta meretuuleparkide võimsus 60 GW-ni ja 2050. aastaks 300 GW-ni.

Aastast 2017 on käimas Eesti mereala planeeringu koostamine, mis peaks valmima sellel aastal. Mereala planeeringuga pannakse paika meretuuleparkide rajamiseks sobilikud piirkonnad. Samuti on Eesti riiklikus energia- ja kliimakavas välja toodud 2030.

aasta tuuleenergia toodangu eesmärgiks 1200 MW. Eestis on arendamisel 8 meretuuleparki, mille summaarne võimsus võiks olla 13 GW. Esimesed neist võiksid valmis saada 2030. aastaks. Üks nendest on näiteks ELWIND, mis on Eesti ja Läti ühine meretuulepark. Meretuuleparkide rajamise suhtes on olnud skeptilised suure investeeringu tõttu. Riigilt oleks vaja garantiid, et elektri hinna langemisel alla nulli hüvitatakse investoritele see periood. Meretuuleparkide suure aktuaalsuse ja nendesse skeptilise suhtumise tõttu on selles lõputöös uuritud meretuuleparkide tasuvust.

## **2. Töö eesmärk**

Töö eesmärgiks on uurida, milline on hetkel meretuuleparkide rajamise tasuvus ning milliseks võib see tulevikus kujuneda.

## **3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:**

- Milline võiks olla Eestisse rajatava meretuulepargi tasuvus ning milliseks võiks see kujuneda tulevikus?
- Milline oleks meretuulepargi mõju Eesti elektrienergia bilansile?
- Millistest parameetritest meretuulepargi tasuvus kõige enam sõltub?

## **4. Lähteandmed**

Peamisteks lähteandmeteks töös on:

- Meretuuleparkide investeeringu maksumus
  - Tuulikud
  - Vundament
  - Paigaldus
  - Võrguühendus
  - Projekteerimine
- Tuuleenergia ressurss
- Pargi võimsus
- Kasutatavustegur
- Toetused
- Ehituse aeg

Töö lähteandmed võetakse töös olevatelt meretuuleparkide andmetest ja uuringutest. Tootmise modelleerimiseks ja tasuvuse hindamiseks kasutatavas energyPRO tarkvaras on sisenditeks lisaks elektrituulikute tehnilistele ja majanduslikele andmetele ka tuulekiiruse ja elektrituruhindade tunnipõhised mõõteandmed.

## **5. Uurimismeetodid**

Töö teoreetiline osa põhineb kirjanduse analüüsil, kus uuritakse erinevaid arenguplaane, teadusartikleid ning hiljuti rajatud meretuuleparkide andmeid. Kirjanduse analüüsist saadud lähteandmeid kasutatakse energyPRO tarkvaras mudeli loomisel, kus modelleeritakse meretuulepargi elektrituulikute toodangut ning meretuulepargi tasuvust. Tulemuste hindamiseks teostatakse tundlikkuse analüüs.

## **6. Graafiline osa**

Graafiline osa on peamiselt töö põhiosas. Olulisemateks joonisteks on energyPRO mudeli tulemused elektrienergia toodangu, tuulekiiruse, elektri tarbimise kohta. Samuti rahavoogude aruanded ja graafikud tundlikkuse analüüsi kohta.

## **7. Töö struktuur**

- Sisukord
- Lõputöö ülesanne
- Eessõna
- Sissejuhatus
- Ülevaade Eestisse planeeritavatest meretuuleparkidest
- Ülevaade Läänemere olemasolevatest meretuuleparkidest
- EnergyPRO mudeli tööpõhimõte
- Tasuvuse ja tundlikkuse arvutamise meetodika
- Ülevaade lähteandmetest (investeeringu maksumusest, kasutatavuse tegurist, püsi-, muutuvkuludest)
- EnergyPRO mudeli tulemused
- Tasuvuse analüüs
- Tundlikkuse analüüs
- Järeldused
- Kokkuvõte
- Kasutatud kirjandus

## **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

1. Eesti tuuleenergia assotsiatsioon. <https://tuuleenergia.ee>
2. Uuring Balti meretuuleenergiaalase koostöö kohta BEMIP raames.  
<https://op.europa.eu/et/publication-detail/-/publication/9590cdee-cd30-11e9-992f-01aa75ed71a1/language-en>
3. Eesti riiklik energia ja kliimakava aastani 2030.  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/ee\\_final\\_necp\\_main\\_ee.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/ee_final_necp_main_ee.pdf)



4. Technology Data – Energy Plants for Electricity and District heating generation.  
[https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/technology\\_data\\_catalogue\\_for\\_el\\_and\\_dh\\_-\\_0009.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/technology_data_catalogue_for_el_and_dh_-_0009.pdf)
5. Taastuenergia mõju tootmisele ja tarbimisele.  
[https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2017/11/Taastuenergeetika-mõju-tootmisele-ja-tarbimisele\\_Miller.pdf](https://www.riigikogu.ee/wpcms/wp-content/uploads/2017/11/Taastuenergeetika-mõju-tootmisele-ja-tarbimisele_Miller.pdf)
6. Euroopa tuuleenergia assotsiatsioon. <https://windeurope.org>

## **9. Töö etapid ja ajakava**

- Lähteandmete kogumine (01.01.2022)
- Teoreetilise osa kirjutamine (25.01.2022)
- Modelleerimise teostamine (19.02.2022)
- Uuringu tulemuste kirjeldamine (05.03.2022)
- Järelduste kirjutamine (09.03.2022)
- Kokkuvõtte koostamine (13.03.2022)
- Töö esimene versioon valmis (20.03.2022)
- Juhendajale läbilugemiseks saatmine (20.03.2022)
- Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (20.04.2022)
- Töö lõplik versioon valmis (01.05.20)

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE .....	4
ABSTRACT .....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	6
EESSÕNA .....	12
SISSEJUHATUS .....	13
1. ÜLEVAADE EESTISSE PLANEERITAVATEST MERETUULEPARKIDEST .....	14
1.1 Liivi lahe meretuulepark .....	16
1.2 Utilitas meretuulepargid .....	17
2. ÜLEVAADE LÄÄNEMERE OLEMASOLEVATEST MERETUULEPARKIDEST .....	18
2.1 Anholt meretuulepark [9] .....	19
2.2 EnBW Baltic 2 meretuulepark .....	19
2.3 Kriegers Flak meretuulepark .....	20
3. ENERGYPRO MUDELI TÖÖPÕHIMÕTE.....	21
4. MUDELI LÄHTEANDMED .....	23
4.1 Meretuulepark .....	23
4.1.1 Tuulikute valik.....	23
4.1.2 Tuuliku tehnilised andmed .....	23
4.1.3 Tuuleressurss .....	25
4.2 Elektriturg ja elektri tarbimine.....	27
4.3 Meretuulepargi investering .....	29
4.3.1 Tuulikute maksumus .....	30
4.3.2 Vundamendi kulud .....	30
4.3.3 Võrgu ühenduse maksumus .....	31
4.3.4 Hoolduskulud .....	32
4.3.5 Koguinvesteering .....	32
4.4 LÄHTEANDMETE KOKKUVÕTE .....	34
5. ENERGYPRO MUDELI TULEMUSED.....	35
6. TASUVUSE JA TUNDLIKKUSE ARVUTAMISE METOODIKA.....	37
6.1 Lihtne tasuvusaja meetod .....	37
6.2 Diskonteeritud tasuvusaja meetod .....	38
6.3 Nüüdisväärtuse meetod NPV .....	38
6.4 Sisemise tasuvusmäära meetod IRR.....	38
6.5 Tasuvusnäitaja meetod PI.....	39
6.6 Stohhastiline hindamine .....	39
6.7 Tundlikkuse analüüs.....	39
7. TASUVUSE ANALÜÜS.....	41

8.	TUNDLIKKUSE ANALÜÜS .....	43
8.1	Elektrihinna mõju meretuulepargi tasuvusele .....	43
8.2	Tuuleressurssi mõju meretuulepargi tasuvusele .....	44
9.	JÄRELDUSED.....	45
	KOKKUVÕTE .....	46
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	48

## **EESSÕNA**

Käesoleva lõputöö teema on valitud minu juhendaja Reeli Kuhi-Thalfeldti soovitusel. Meretuulepargid ja sellega seonduv on viimasel ajal olnud aktuaalne ka minu lähedaste seas, mis lisaks isiklikule huvile mängis samuti rolli selle teema kasuks otsustamisel. Töö koostati põhiliselt olemasolevate andmete analüüsil.

Soovin tänada Reeli Kuhi-Thalfeldti, kes mind antud teemat põhjalikumalt uurima suunas ning andis sisukaid soovitusi selle töö valmimiseks.

## SISSEJUHATUS

Euroopa Liidus 17. septembril 2020 esitleti 2030. aasta kliimaeesmärgi kava, kus peamiseks eesmärgiks on sätestatud vähendada 2030. aastaks kasvuhoonegaase vähemalt 55% võrreldes 1990. aastaga. See loob sammu järgmise eesmärgini saavutada 2050. aastaks kliimaneutraalsus. Eesmärkide ellu viimiseks on taastuvate energiaallikate toodangu osakaalu tõstmine, kuna energia tootmine ja kasutamine põhjustab üle 75% Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside heitest [1]. Taastuvate energiaallikate osakaalu saab suuresti mõjutada tuuleparkidega. Loogika ütleb, et mida suurem tuul ja rohkem tuulikuid, seda suurem toodang, kuid suured tuulepargid kasutavad ära palju maapinda ning tekitab elanikele muret.

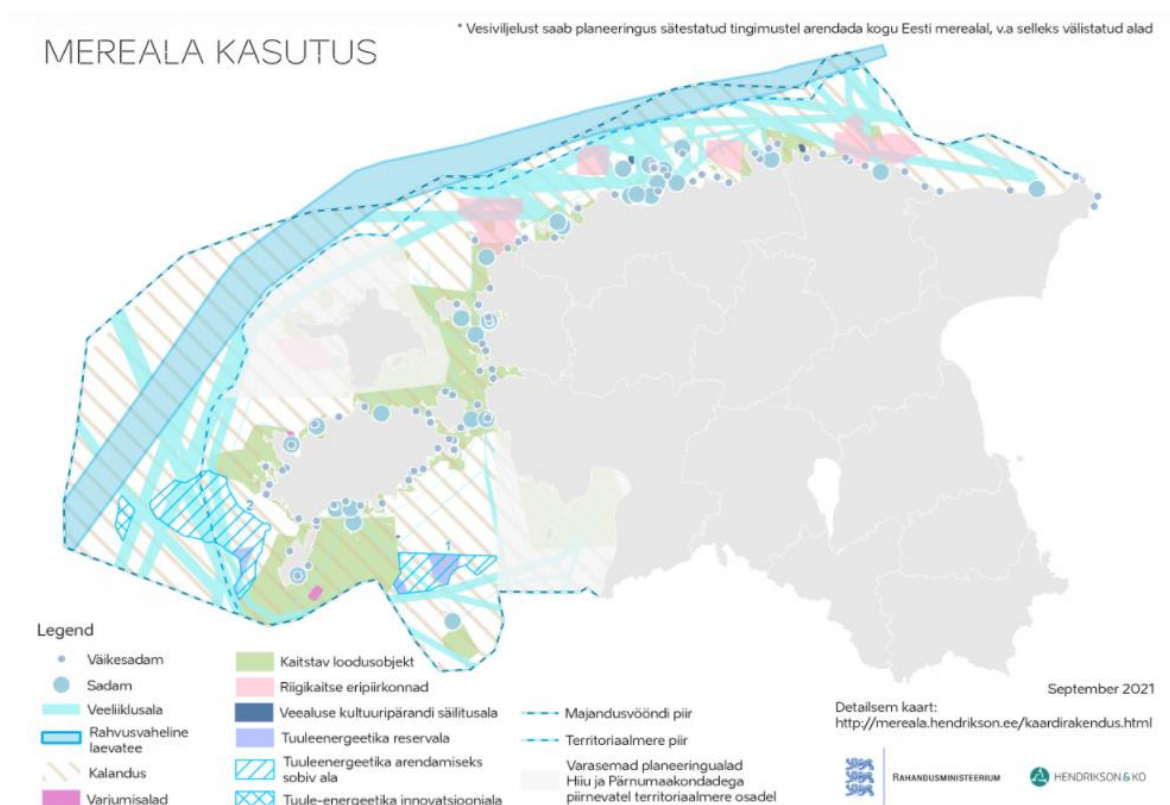
Üks hea koht tuulikute paigalduseks on meri, kuna seal on palju tuult ja vaba pinda. Aastal 2017 alustati Eesti mereala planeeringu koostamisega, mis kehtestati 12. mail 2022. Planeering määratleb erinevate inimtegevuste jaoks sobivad kohad ja tingimused merealal, eesmärgiga tagada nii mereressurssidest saadav majanduslik kasu, kui ka säilitada mere ja rannikuala kultuuriline väärtus. Tuuleenergeetika arendamiseks määrati kolm ala, millest üks asub Liivi lahes ning kaks Sõrve poolsaarest läänes. [2]

Meretuuleparkide rajamine on alati olnud aktuaalne. Eestis on meretuuleparkide projekte arendatud juba 2006. aastast, kuid mereala planeering andis sellele omakorda suure lükke ning väga paljude projektide hoonestusloa menetlus on algatatud. Kõige rohkem arendatud projektid võiksid valmida 2030. aastaks [3]. Nende põhjal on näha, et tegemist on väga pika protsessi ja suure investeeringuga. Selletõttu on paljudel inimestel meretuuleparkide vastu skeptiline suhtumine, mis tekitab küsimusi meretuulepargi tasuvuse ja selle mõjutamise osas.

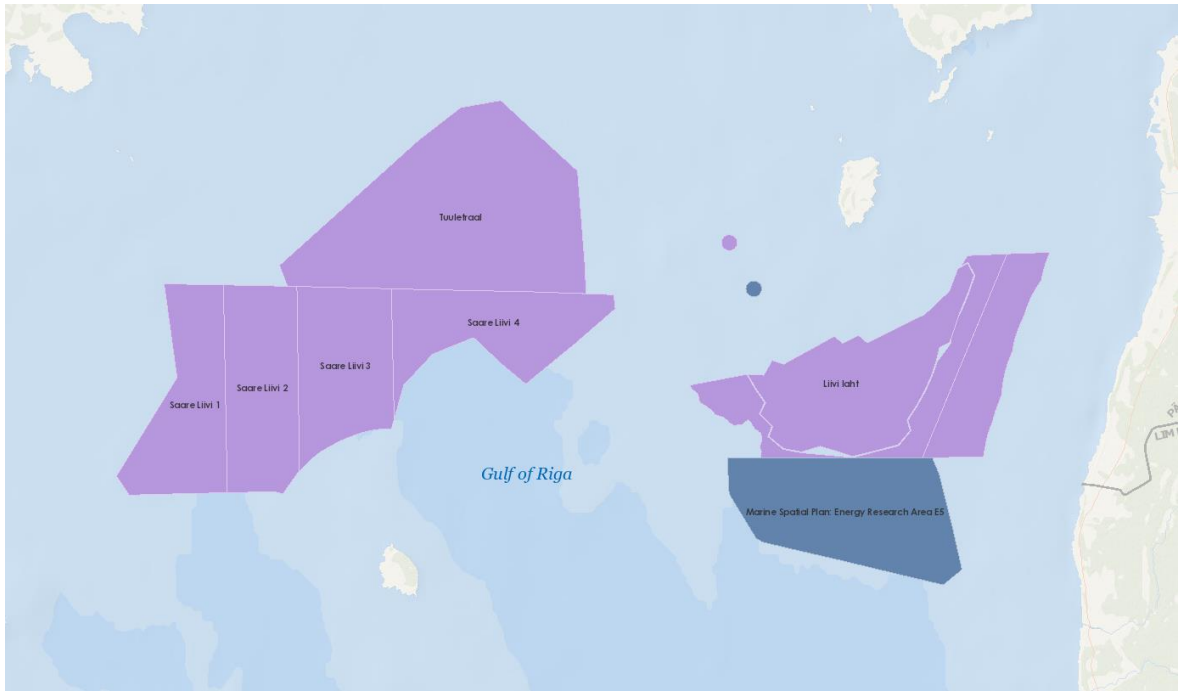
# 1. ÜLEVAADE EESTISSE PLANEERITAVATEST MERETUULEPARKIDEST

## MERETUULEPARKIDEST

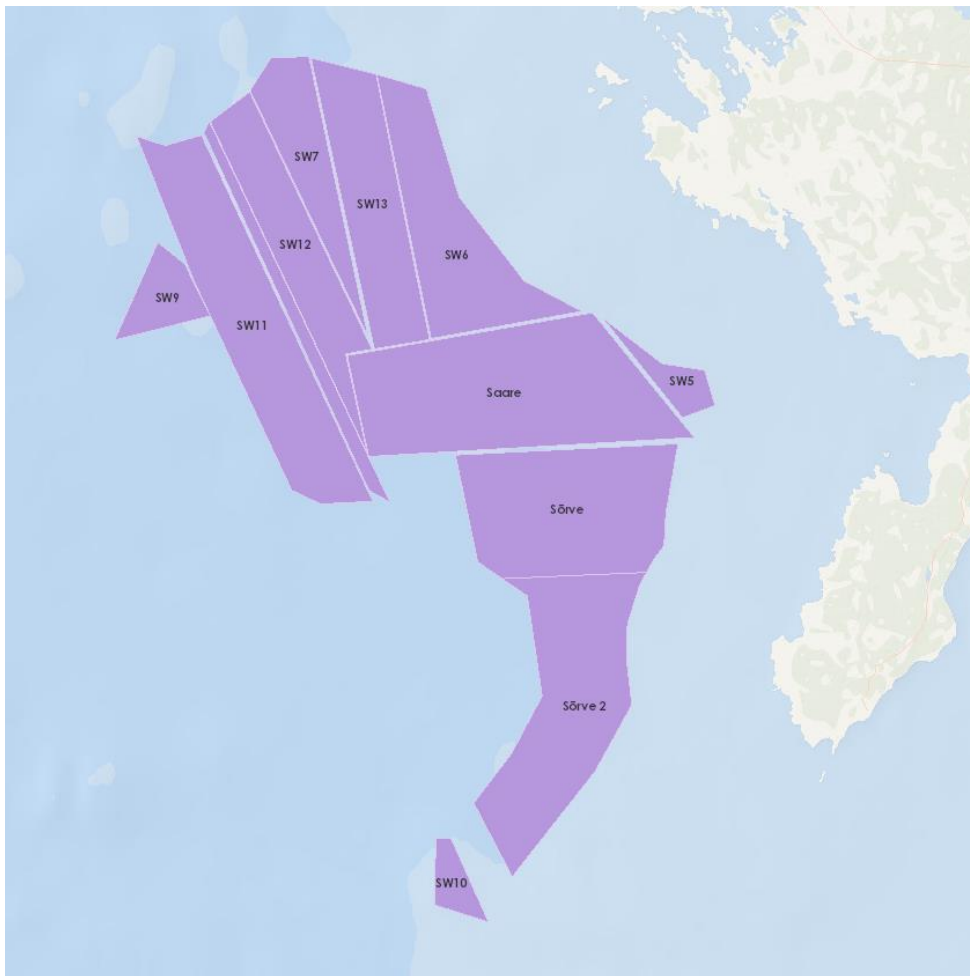
Antud peatükis antakse ülevaade Eestisse planeeritavatest meretuuleparkidest. Aastal 2017 alustati Eestis mereala planeeringut, mille eesmärk on määratleda, kus ja millistel tingimustel on merealal erinevate inimtegevuste elluviimine kõige otstarbekam. Mereala planeeringuga pandi paika ka meretuuleparkide rajamiseks sobilikud piirkonnad, mida on näha joonisel 1.1. [2]



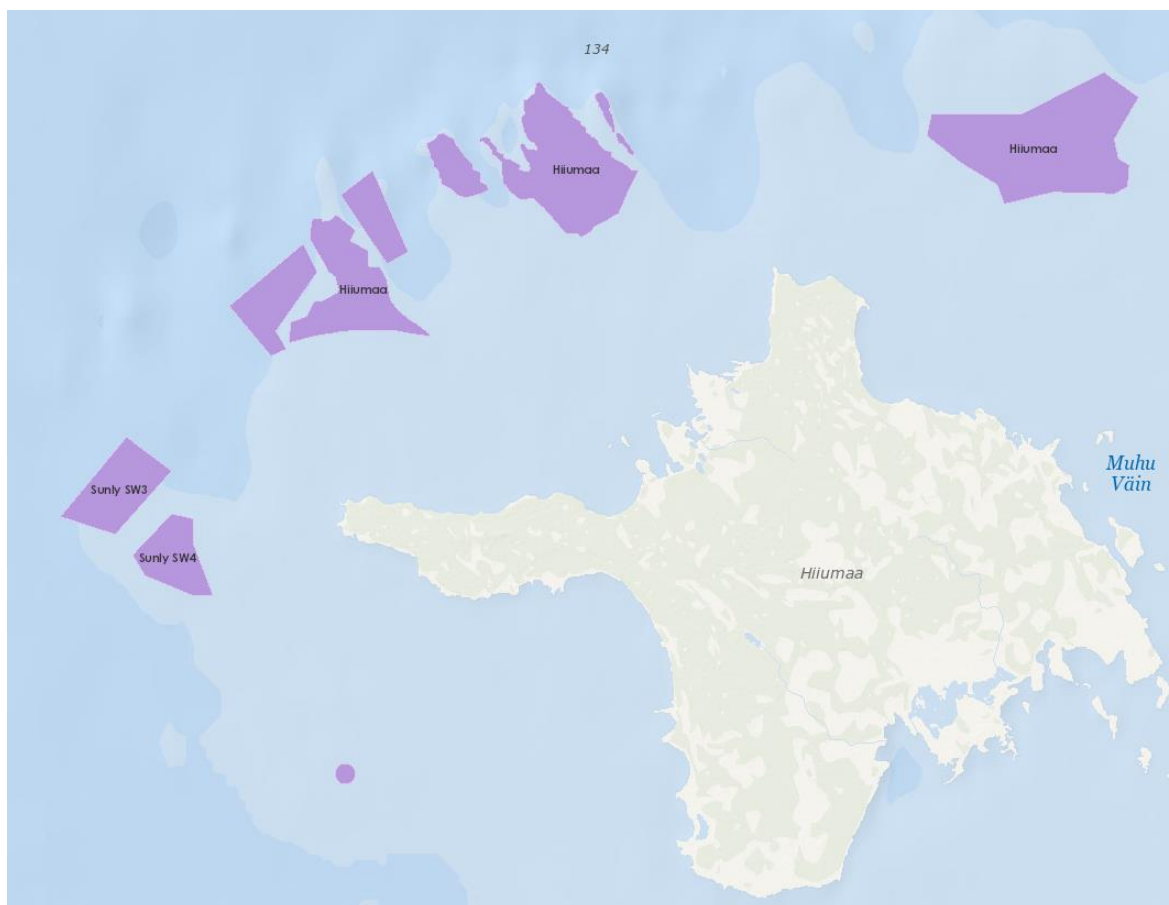
Joonis 1.1 Kaart merealplaneeringust tuuleenergeetika arendamiseks sobilike aladega [2]



Joonis 1.2 Liivi lahe tuuleenergeetika alad [4]



Joonis 1.3 Sõrve poolsaarest lääne pool asuvad tuuleenergeetika alad [4]



Joonis 1.4 Hiiumaa tuuleenergeetika alad [4]

Kokku on Eestis arendamisel 37 meretuuleparki (joonised 1.2 kuni 1.4), millest enamus on varajastes etappides. Kõige kaugemale arenenud projektid on hetkel keskkonnamõjude hindamisel [4]. Kaks nendest on näiteks Utilitase Liivi lahe ja Eesti Energia Liivi lahe meretuulepargid.

## 1.1 Liivi lahe meretuulepark

Eesti Energia eesmärk on rajada Baltikumi esimene meretuulepark enne 2030. aastat. See pani alguse 2010. aastal Liivi meretuulepargi projektile, mis peale pikka arengut ja Ørsted'i kaasamise on 2022. aasta seisuga üks kõige kaugemale arendatud meretuuleparke Balti riikides. Hetkel toimub meretuulepargi keskkonnamõjude hindamine ja plaanide kohaselt võiks park valmis saada 2028. aastal. [5]

Seoses Pärnu maakonna piirneva mereala maakonnaplaneeringuga on meretuulepark kavandatud Liivi lahte, asudes Kihnu saarest 10 km, Häädemeestest 16 km ja Pärnu rannast 35 km kaugusel. Meretuulepargi hoonestusloa ala suurus on 183 m<sup>2</sup>, millele paigaldatakse 50-100 tuulikut. Tuulepargi liitumine tehakse Kilingi-Nõmme 330 kV



alajaama. Täpsem tuulikute ja alajaamade arv ning paiknemine selgub keskkonnamõjude hindamise tulemusel. [5]

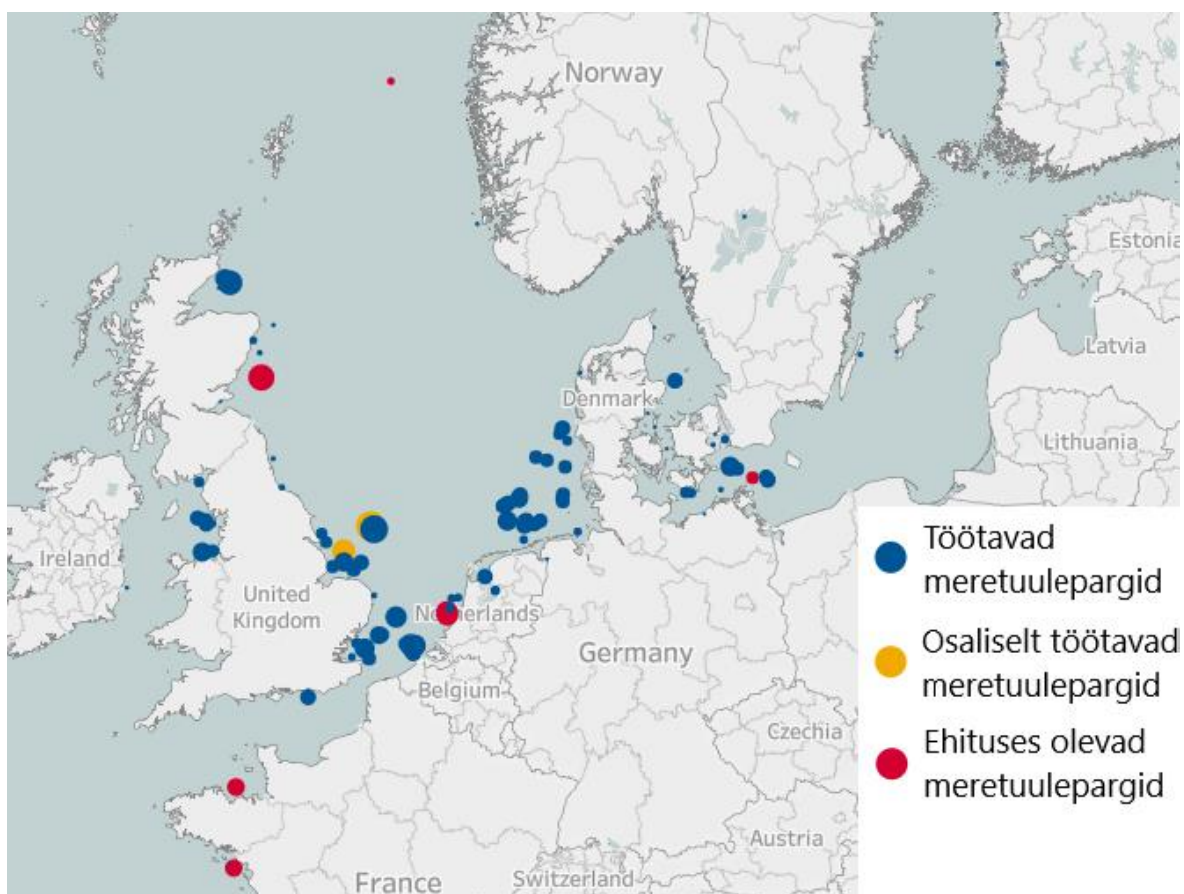
Liivi meretuulepargi 50-100 tuuliku koguvõimsuseks hinnatakse kuni 1000 MW, mis suudaks katta ligi pool Eesti elektri tarbimist ning aidata suuresti kaasa süsinikuneutraalsel teekonnal. Meretuulepargi kogumaksumuseks arvatakse ligi kaks miljardit eurot. [5]

## **1.2 Utilitas meretuulepargid**

Utilitas on Eesti suurim taastuvenergia tootja, kelle põhitegevuseks on soojuse ja elektri tootmine. Selle positsiooni säilitamiseks esitas 18. veebruaril 2021 Ettevõtte Liivi lahte hoonestusloa taotluse, mille menetlus alustati 23. detsembril, koos keskkonna mõjude hindamisega. Hoonestusloa eesmärk on rajada erinevatele Liivi lahe aladele meretuulepargid, mille koguvõimsus võiks olla 5908 MW, koosnedes 299 tuulikust. [6] Koostöös Eesti Energiaga on ettevõtted esitanud riigi eriplaneeringu algatamise taotluse, eesmärgiga rajada ühendused Liivi lahe meretuuleparkide ja põhivõrgu vahele. [7]

## 2. ÜLEVAADE LÄÄNEMERE OLEMASOLEVATEST MERETUULEPARKIDEST

Läänemeres püsitati maailma esimene meretuulepark aastal 1991. 11 tuuliku ja 5 MW võimsusega ei uskunud keegi, et meretuulepargid ennast ära tasuks. Selliseid esimesi projekte peeti pilootprojektiks ning vaadeldi pigem tehnilist teostavust kui kulusid. Jõudes tänapäeva on nendest pilootprojektidest toimunud suur areng, kus 500 kW tuulikutele on saanud kuni 20 MW tuulikud. [8]



Joonis 2.1 Euroopa meretuuleparkide kaart [9]

Jõudes tänapäeva, on 2020. aasta andmetel Euroopasse paigaldatud kokku 25 GW meretuuleparke, mis tähendab 5402 tuulikut 12 erineva riigi vahel. Koos maismaa tuuleparkidega toodavad meretuulepargid 15% Euroopa elektrist [9]. Kõiki Euroopas olevaid meretuuleparke näeb joonisel 2.1. Kuigi Euroopa meretuuleparke on palju siis selles peatükis uuritakse lähemalt kolme erinevat.

## 2.1 Anholt meretuulepark [10]

Anholt meretuulepark on suurim töötav meretuulepark Taanis. Tuulepark on ehitatud 88 m<sup>2</sup> pinnale, mis asub Djurslandi ja Anholti saare vahel Kattegat meres. Anholt meretuulepark suudab ära katta rohkem kui 400 000 Taani kodu elektrivajaduse ning 4% Taani kogu elektri tarbimisest.



Joonis 2.2 Anholt meretuulepargi asukoht

Taani valitsus kiitis Anholt meretuulepargi projekti heaks aastal 2008, millele tegi ettevõtte Ørsted aastal 2010 hanke ning võitis. Tänu heale planeerimisele ja projektijuhtimisele suutis ettevõtte projekti lõpuni viia ning aastal 2013 meretuulepargi valmis ehitada.

Anholt meretuulepargi võimsus on 400 MW, mille annavad 111 Siemens Gamesa SWT 3,6–120 tuulikut. Tuuliku nimes 3,6 näitab ühe tuuliku võimsust megavattides ning 120 tuuliku tiivikute diameetrit meetrites. Tuuliku rumm asub 81,6 meetri kõrgusel, mis koos tiivikutega annab kogupikkuseks 141,6 meetrit. 450 tonnine tuulik hakkab elektrit tootma tuulekiirusega 4 m/s. Maksimaalne elektritoodang toimub alates tuulekiirusel 13 m/s ja tuuliku „cut-out“ ehk seiskamine toimub 25 m/s juures.

## 2.2 EnBW Baltic 2 meretuulepark

EnBW Baltic 2 meretuulepark on Saksamaa suurim meretuulepark, mis asub Rügeni saarest 32 km põhja pool. Meretuulepark on paigaldatud 27 m<sup>2</sup> pindalale, kus mere

sügavus varieerub 23 ja 44 meetri vahel. Vastavalt vee sügavusele on paigaldatud tuulikud mastidele. Üksik terasmaste on kasutatud vee sügavusel alla 35 meetri ning üle selle on kasutatud teraskarkasskonstruktsioone.

Saksamaa Baltic 2 meretuulepark koosneb 80 Siemens SWT 3,6-120 tuulikust, mida kasutati ka Taani Anholti meretuulepargis. Tuulikute summaarne võimsus on 288 MW, tootes aastas 1,2 miljardit kWh. Selline toodang suudab ära katta ca 340 000 elamu ning kokku hoida 900 000 tonni CO<sub>2</sub> heitgaase.

## **2.3 Kriegers Flak meretuulepark**

Kriegers Flak on Taani ja Skandinaavia suurim meretuulepark, mis asub Taani ja Saksamaa vahel. EnBW Baltic 2 meretuulepargist asub Kriegers Flak vähem kui 30 kilomeetri kaugusel. See andis võimalused omavahel pargid ühendada, luues maailma esimese riikide vaheliste meretuuleparkide ühenduse. Mõlemate meretuuleparkide toodangud on riikide vahel jagatud ning lisaks kasutatakse ühendust ka ülejäänud elektrienergia transpordiks ja impordiks. [11]

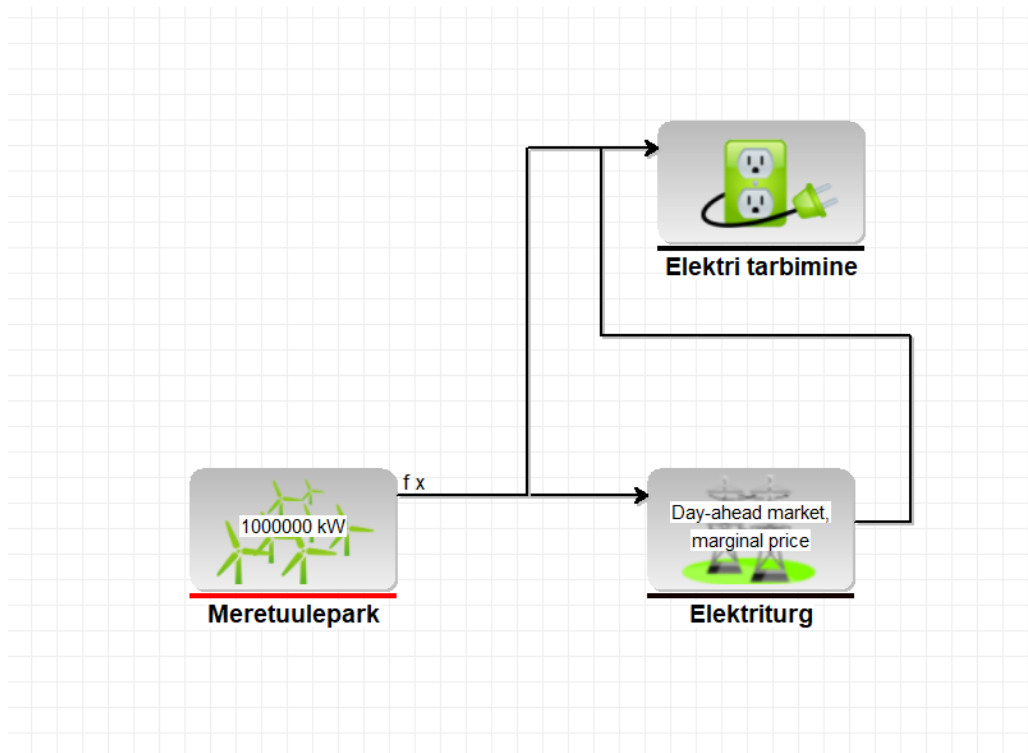
Meretuulepargi võimsus on 604 MW, mille annavad kokku 72 Siemens Gamesa 8,4 MW tuulikut. Pargi ehitust alustati 2017 aastal, esimene tuulik paigaldati 2020 ja lõplikult valmis meretuulepark 2021 suvel. [12]

### 3. ENERGYPRO MUDELI TÖÖPÕHIMÕTE

Tasuvuse ja tundlikkuse analüüsiks kasutatakse peamiselt süsteemimudelit. Võrrandite abil arvutatakse välja tegurid, mille järgi määratakse täpsemalt mudeli tasuvus ja tundlikkus. Mudeli tööpõhimõte sõltub sisenditest, tegevusest ja väljunditest. Muutes sisendeid saadakse erinevaid väljundeid ning väljunditest saadakse tagasisidet mudeli reageerimisest vastavalt sisenditele.

Sama tööpõhimõte kehtib ka meretuulepargi mudelil, kus sisenditeks on erinevad tegurid, näiteks tuuleressurs, tuulikute kõrgus, rummu kõrgus, labade diameeter, hellmanni eksponent ja võimsuskõver. Tegevuseks on tuule abil elektrienergia tootmine ja väljundiks meretuulepargi toodang. Lisades juurde ka tarbimise ja elektrihinna, saab võrrelda tuule abil saadud meretuulepargi toodangut tarbimisega ning arvutada läbi elektrihinna pargi tasuvuse. Muutes loetletud mudeli sisendeid ja jälgides väljundeid, saab analüüsida meretuulepargi tundlikkust.

Mudeli lihtsamaks, täpsemaks ja mahuvõimekamaks arvutamiseks kasutatakse arvutitarkvara. Selles töös on kasutusse võetud energyPRO tarkvara, mis on mõeldud keeruliste energiaprojektide modelleerimiseks ja analüüsimiseks. Energypro tarkvaraga saab projekteerida nii elektrienergia kui ka soojusenergia projekte. [13] Arvutitarkvaraga luuakse meretuulepargi mudel (joonis 3.1).



Joonis 3.1 EnergyPRO tarkvara mudel meretuulepargist

Jooniselt 3.1 on näha mudeli kolm komponenti, milleks on meretuulepark, elektriturg ja elektri tarbimine. Lisaks joonisel olevatele komponentidele tuleb ära määrata ka mudeli majanduslikud andmed ning modelleerimise aeg, milleks määratakse tavaliselt projekti eluiga. Meretuulepargi komponendi sisenditeks on näiteks tuuleressurss, tuule möötmise kõrgus, rummu kõrgus, hellmanni eksponent ja võimsusköver. Elektrituru sisend on ühe aasta elektri hinna andmed. Tarbimise sisend on elektri tarbimine, mida sisestatakse samuti ühe aasta tarbimise andmete alusel. Majanduslike andmete hulka kuuluvad tulud, kulud, investeeringud ja finantseerimine.

## 4. MUDELI LÄHTEANDMED

Selles peatükis antakse ülevaade mudeli lähteandmete valikust. Kolmandas peatükis loodud mudeli komponentide sisenditele on vaja leida väärtused, mida saab analüüsides olemasolevaid andmeid ning võrrelda neid mudelis loodud olukorraga. Väärtused on vaja leida meretuulepargi, elektrituru, elektri tarbimise ja majanduslikele sisenditele.

### 4.1 Meretuulepark

Esimeseks ja kõige tähtsamaks mudeli komponendiks on meretuulepark, mille sisendite väärtuseid saab leida valides tuulepargi jaoks sobilikud tuulikud ja sobilik tuuleressurssi mõõtejaam.

#### 4.1.1 Tuulikute valik

Läänemeres olemasolevatest meretuuleparkides on näha trendi tuulikute valikul. Kõige rohkem on kasutatud ettevõtte Siemens Gamesa tuulikuid, mida on toodetud erinevate tehniliste andmetega ja suurustena. Peatükis 2 on välja toodud kahes meretuulepargis Anholt ja EnBW Baltic 2 kasutusel olevad Siemens Gamesa SWT 3,6 – 120 tuulikud. Varasemalt väiksemate parkide puhul on kasutatud ka madala võimsusega tuulikuid, mida leiab nii Rootsi, Saksamaa kui ka Taani meretuuleparkidest.

Pidev meretuuleparkide ehitamine erinevate riikide poolt on näidanud tugevat tehnoloogia arengut tuulikute osas, mis võimaldab väiksemate tuulikute arvuga suuremaid elektrienergia toodanguid. Näiteks võrreldes Taani kahte meretuuleparki Anholt ja Kriegers Flak, on näha, et seitsme aastaga on tuulikud arenenud 3,6 MW pealt 8,4 MW peale. Tuulikute võimsused tulenevad tiivikute suurusest, mis 3,6 MW tuuliku puhul on 120 ning 8,4 MW puhul 167.

Eesti Energia poolt Liivi lahte ehitatava meretuulepargi eesmärk on 50-100 tuulikuga saavutada koguvõimsuseks 1000 MW, siis peaks ühe tuuliku võimsus olema 10-20 MW. Utilitase poolt planeeritava meretuuleparki on projekteeritud 299 tuulikud, mis annab orienteeruvaks summaarseks võimsuseks 5980 MW. Seega peaks ühe tuuliku võimsus olema 20 MW.

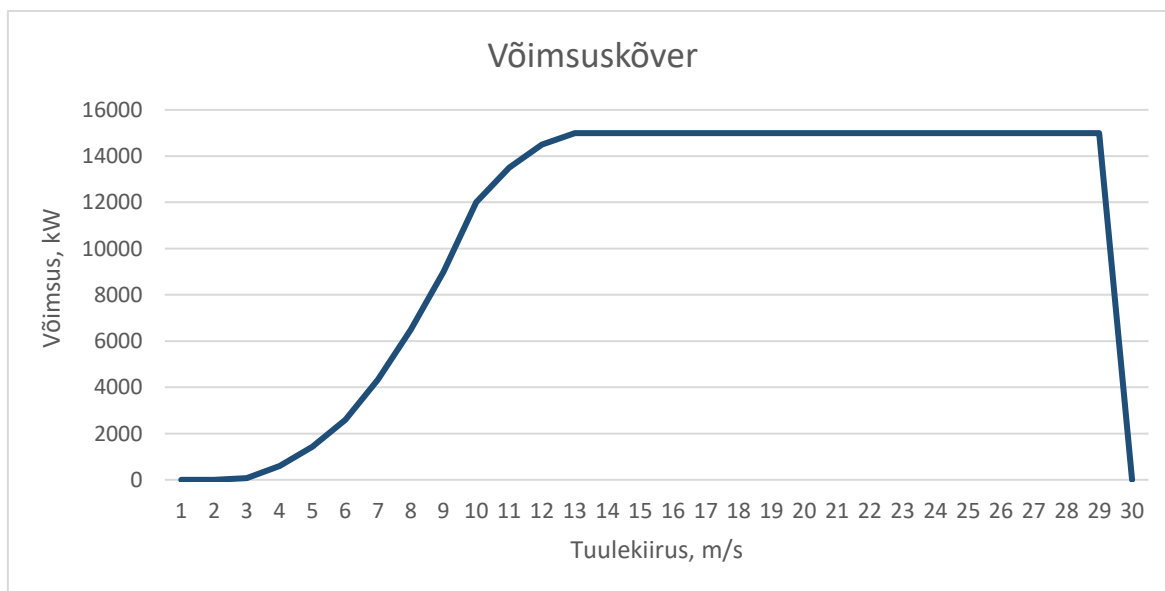
#### 4.1.2 Tuuliku tehnilised andmed

Hetkel veel ühtegi 20 MW tuulikut ehitatud pole. Selletõttu on töös kasutusse võetud üks suurima võimsusega tuulik V236-15,0 MW. Vestase poolt loodud tuuliku nimivõimsus on 15 MW ja rootori diameeter 236 meetrit, andes tuulikule 43742 m<sup>2</sup> pöörlemispindala. Rummu kõrgus valitakse vastavalt projekteeritavale tuulepargile.

Selles töös rummu kõrguseks 150 meetrit. Tuulik hakkab elektrienergiat tootma tuulekiirusel 3 m/s ja saavutab nominaalse võimsuse 13 m/s juures. Jõudes tuulekiiruseni 30 m/s lülitab tuulik ennast välja, vältimaks kahjude tekkimist. [14] Nende andmete põhjal luuakse tuuliku võimsuskõver (joonis 5.1), mille järgi tuulik elektrienergiat toodab lähtudes tuuleressursist.

Tabel 4.4.1 Vestase V236-15,0 MW tuuliku tehniliste andmete tabel [14]

Nimivõimsus	15,0 MW
Tööle hakkamise („cut in“) tuule kiirus	3,0 m/s
Tuule nimikiirus	13,0 m/s
Väljalülituse („cut out“) tuule kiirus	30,0 m/s
Rootori diameeter	236,0 m
Rummu kõrgus	150 m

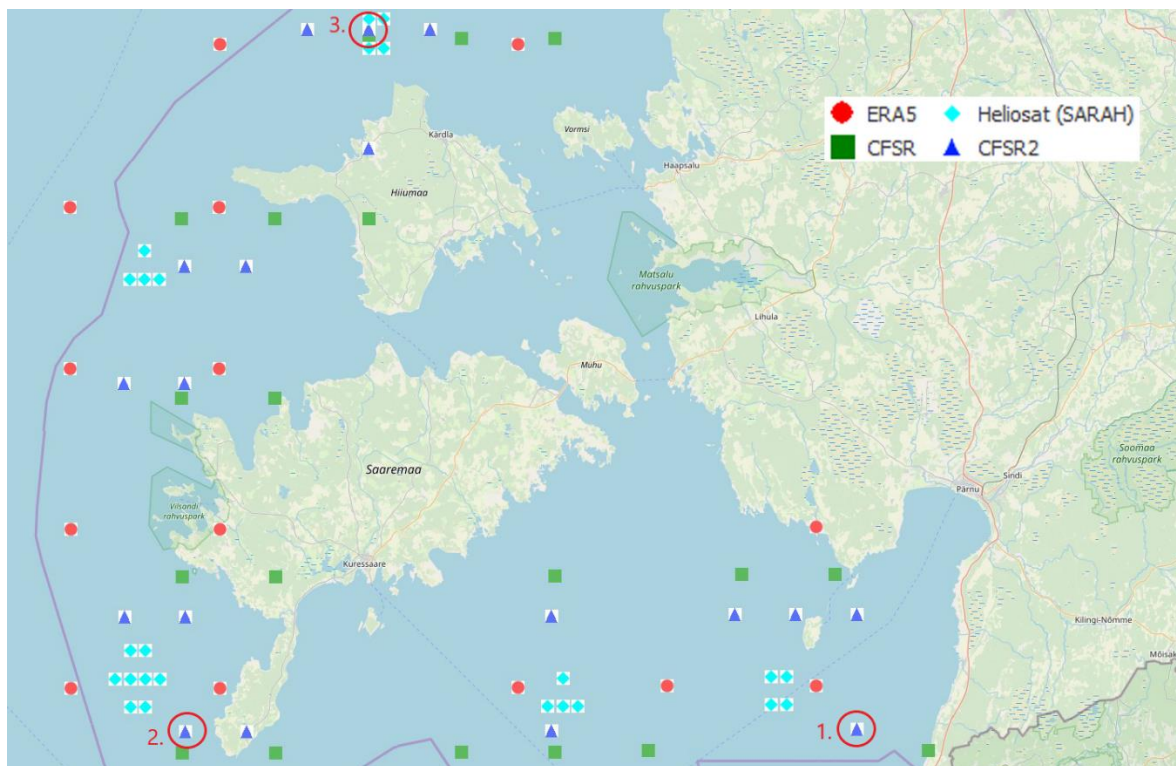


Joonis 4.1 Tuuliku V236 – 15,0 MW võimsuskõver



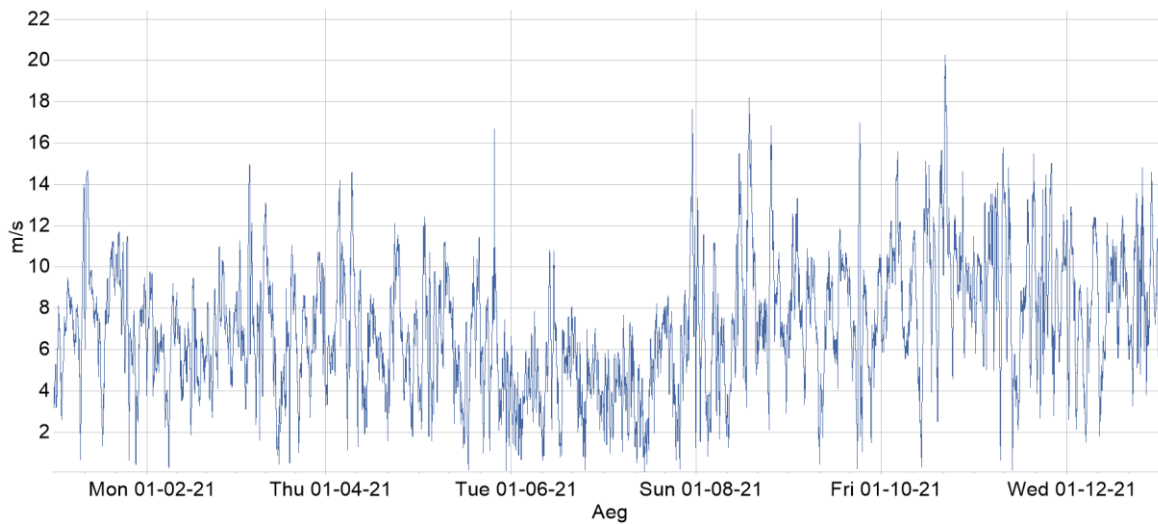
### 4.1.3 Tuuleressurss

Kuna Eestisse planeeritavad meretuulepargid on erineva asukohaga on hea võrdlusesse võtta mitmete mõõtejaamade tuuleressurssi andmed, lähtudes planeeritavatest meretuuleparkide asukohtadest.

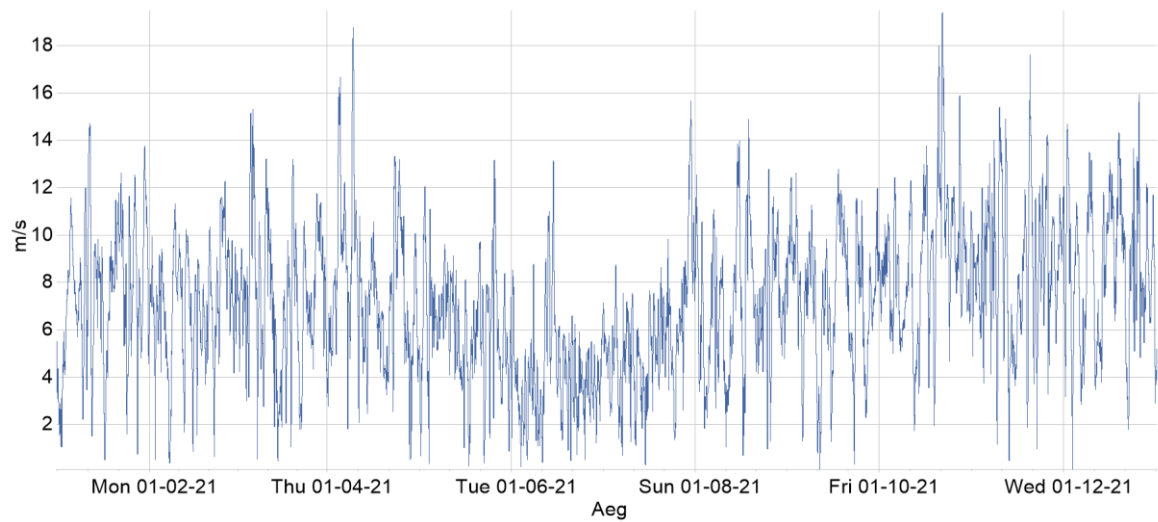


Joonis 4.2 EnergyPRO kaart Eesti saari ümbritsevatest mõõtejaamadest. Punased ringid on ümber tehtud analüüsitavaile mõõtejaamadele

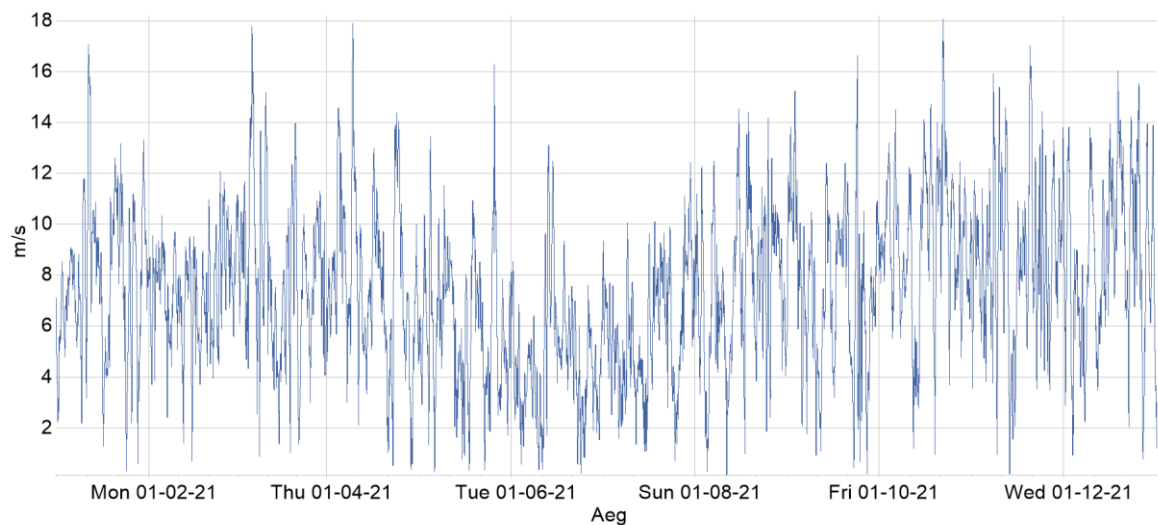
Jooniselt 4.2 on näha mitmeid erinevaid mõõtejaamu Läänemeres. Kuna mereala planeeringutest on paika pandud Liivi lahe ja Sõrve poolsaarest lääne pool asuvad tuuleenergeetika alad siis on mõistlik analüüsiks valida need piirkonnad. Lisaks kahele lõuna pool asuvatele mõõtejaamadele võetakse ka Hiiumaa üleval asuv mõõtejaam. Kasutatakse CFSR2 mõõtejaamade 2021. aasta andmeid ja eeldatakse, et mõõtmised on tehtud 10 meetri kõrgusel. Tulemusi on näha joonistel 4.3 kuni 4.5 ja tabelil 4.2.



Joonis 4.3 Liivi lahe ehk 1. CFSR2 tuuleressurssi andmed aastal 2021.



Joonis 4.4 Sörve poolsaarest läänes asuva ehk 2. CFSR2 tuuleressurssi andmed aastal 2021.



Joonis 4.5 Hiiumaast põhja pool asuva ehk 3. CFSR2 tuuleressurssi andmed aastal 2021.

Tabel 4.2 Mõõtejaamade tuuleressurssi tulemused kuude lõikes

	1. mõõtejaama tuul, m/s	2. mõõtejaama tuul, m/s	3. mõõtejaama tuul, m/s
Jaanuar	5498,52	5549,59	5781,11
Veebruar	4135,82	4723,15	4919,21
Märts	5119,14	5408,71	5962,06
Aprill	4880,29	5564,69	5637,17
Mai	4585,1	4489,64	4476,64
Juuni	3215,54	2979,52	3365,76
Juuli	3727,34	4152,08	4332,94
August	5655,46	5300,39	5516,48
September	5486,07	5320,73	5403,09
Oktoober	7183,48	6627,33	6930,85
November	6453,86	6247,56	6279,07
Detsember	6163,12	6346,36	6455,54
Kokku	62 103,74	62 709,75	65 059,92
Tunni keskmine	7,09	7,16	7,43

Võrreldes jooniseid 4.3 kuni 4.5 on näha, et igas mõõtejaamas on tuulerohked kuud september kuni detsember. Vähem tuuleressurssi on suveperioodidel. Samuti on märgata, et rohkem tuult on joonisel 4.5. Seda kinnitab tabeli 4.2 tulemused, kus aasta ja tunni keskmiseid tuuleressursse võrreldes on näha, et kõige suurema tuuleressurssiga on 3. mõõtejaam, mis asub Hiiumaa põhjas mere alal. Kõige väiksema tuuleressurssiga on 1. mõõtejaam, mis asub Liivi lahes. Kuna mõõtejaamad 1 ja 2 on rannikule lähemal siis võib oletada, et mida kaugemal rannikust mõõtejaam on, seda suurem on tuuleressurss.

Töös on otsustatud baasalternatiiviks võtta Liivi lahe tuuleressurss ehk 1. mõõtejaama andmed, kuna kindlam on arvestada väiksemate tulemustega.

## 4.2 Elektriturg ja elektri tarbimine

Mudelis on ka välja toodud elektriturg ja elektri tarbimine. Elektriturg on oluline osa mudelist, et realiseerida meretuulepargi toodang, leides tasuvuse analüüsiks toodangust saadud tulu läbi tunnipõhise elektri hinna. Elektri tarbimine on oluline, et võrrelda meretuulepargi toodangut reaalse tarbimise olukorraga.

Elektrituru ja elektri tarbimise puhul sooritatakse analüüs kolme erineva aasta andmete põhjal, et teha sobiv valik mudeli lähteandmete valikuks. Teostatakse võrdlus aastate

2017, 2019 ja 2021 andmete vahel, mis saadakse Elering AS ja Nord Pool AS kodulehelt. Tulemused on näha tabelis 4.3 ja 4.4.

Tabel 4.3 Eesti elektri turuhinna võrdlus kolme aasta vahel [15]

	2021 elektri hind, €/MWh	2019 elektri hind, €/MWh	2017 elektri hind, €/MWh
Jaanuar	39 817,23	40 684,73	24 621,62
Veebruar	39 772,14	31 149,78	23 027,27
Märts	32 359,57	29 186,5	22 458,96
Aprill	31 371,87	30 007,18	21 952,88
Mai	36 030,44	31 108,29	22 399,8
Juuni	51 562,04	30 807,97	21 669,04
Juuli	62 355,85	35 989,4	25 149,77
August	64 721,21	36 135,89	26 472,64
September	88 134,12	34 167,83	26 585,24
Oktoober	78 654,91	34 965,33	24 581,76
November	84 006,41	32 470,19	24 119,99
Detsember	150 838,93	28 431,5	23 626,38
Kokku	759 624,72	395 104,59	286 665,35
Tunni keskmine	86,72	45,86	33,19

Tabel 4.4 Eesti elektri tarbimise võrdlus kolme aasta vahel [16]

	2021 elektri tarbimine, MWh	2019 elektri tarbimine, MWh	2017 elektri tarbimine, MWh
Jaanuar	844 182,40	866 408,23	828 202,89
Veebruar	803 685,50	727 845,29	737 515,97
Märts	784 749,50	762 455,61	760 580,47
Aprill	666 999,90	651 187,72	680 884,95
Mai	648 042,00	634 937,31	637 377,02
Juuni	578 632,80	568 373,07	577 659,97
Juuli	589 485,80	568 558,16	568 688,70
August	620 409,50	603 471,43	609 514,94
September	633 296,00	617 786,81	625 028,45
Oktoober	655 790,40	709 822,75	719 745,29
November	744 339,20	693 991,00	753 864,74
Detsember	858 092,10	694 823,90	787 442,85
Kokku	8 427 705,10	8 099 661,29	8 286 506,25
Tunni keskmine	962,18	937,46	947,25

Vaadates tabelit 4.3 on näha, et 2021. aasta elektri hind on aasta esimesel poolel samas suurusjärgus, mis ülejäänud aastad, kuid aasta teisel poolel tõuseb hüppeliselt.

Võrreldes 2021. aasta keskmist tunnihinda teiste aastatega on näha järsku tõusu. 2017. aasta keskmine tunnihind oli 33,19 €/MWh, kuid 2021. aastal 86,72 €/MWh. Nende andmete põhjal saab järeldada, et elektri hind kasvab aastate jooksul kõrgemaks, kuid reaalsuses hinna muutust ette aimata ei osata. Seetõttu on tõsise valitud 2021. aasta elektri turuhind, mis on aasta algul madal ning aasta lõpus kõrge, et töösse tuua erisusi. Elektri hinna suure muutuse ja etteaimamatuse tõttu on vajalik ka tundlikkuse analüüs.

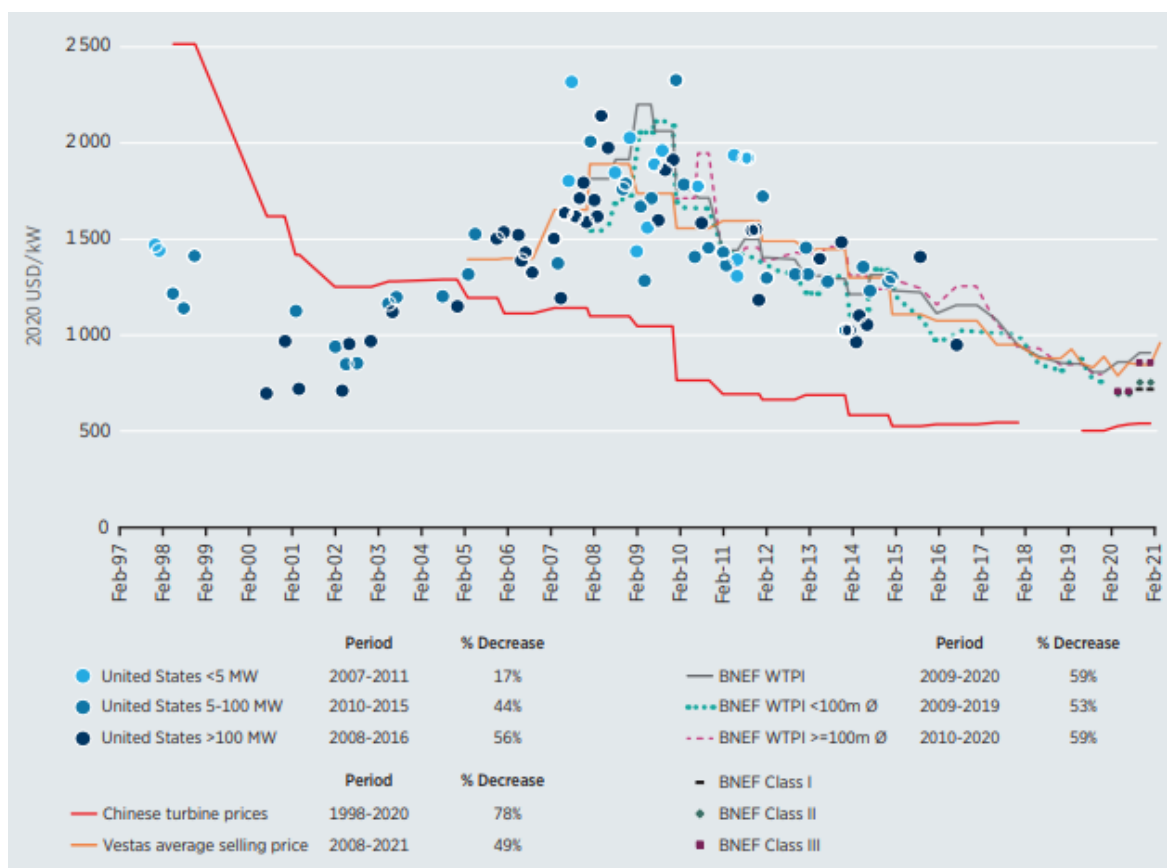
Vaadates tabelit 4.3 on näha aga iga aastast stabiilset tarbimist. Nelja aasta tarbimise vahe on 14,93 MWh, mis pole märkimisväärne. Tabelist on näha ka korrapärasust tarbimist suve ja talvekuudel. Suvel on tarbimine igal aastal madalam ning talvel kõrgem. Nende andmete põhjal võib järeldada, et iga aasta on mudelisse viimiseks sobilik, kuid valitakse 2021. aasta, et luua korrapärasus võrreldes teiste sisenditega.

### **4.3 Meretuulepargi investering**

Meretuulepargi mudeli majanduslikud sisendid koosnevad tuludest, kuludest, investeringutest ja finantseerimisest. Peatükis 4.2 on välja toodud, et mudeli tulud leitakse kasutades 2021. aasta elektri turuhinda. Kuna aga investeringud ja kulud koosnevad erinevatest osadest nagu tuulikud, vundamendid, võrku ühendus, püsikulud ja muutuvkulud, siis on need selles peatükis ühe kaupa lahti selgitatud.

### 4.3.1 Tuulikute maksumus

Tuulikute hinnad, nagu meretuulepargi puhul muude komponentide hinnad, sõltuvad võimsusest. Mida suurema võimsusega tuulik, seda suurem ja vastupidavam ta peab olema. Töösse valitud Vestase tuulikute hindu kirjeldab hästi joonis 4.8.



Joonis 4.6 Tuulikute hinnaindeksid ja hinnatrendid aastast 1997 kuni 2021 [17]

Vaadeldes joonist 4.8 on näha, et tuulikute tootja Vestas hinnad on perioodil 2008 kuni 2021 langenud 49%. Aastal 2008-2009 oli Vestase tuulikute hinnatipp, mis küündis hinnani 1800 \$/kW. Aastate jooksul on hind langenud ning jõudnud 2020. aasta andmete põhjal ligikaudsele 900 \$/kW ehk 852 €/kW.

### 4.3.2 Vundamendi kulud

Suurt rolli mängib meretuuleparkide ehituses vundamendi osa, kuna see sõltub suuresti mere sügavusest ja maismaa kaugusest. Aastal 2007 ja 2014 on läbi viidud uuringud, mille järgi leiti järgmised tulemused:

Tabel 4.5 Vundamendi kulud erinevatel veesügavustel. [18]



Eestisse planeeritavad meretuulepargid on võimsusvahemikus 1000-5999 MW ning jäävad maismaast kaugustele 20 kuni 50 kilomeetrit. See tähendab, et Eesti puhul tuleks kindlasti seda summat tõsta.

#### **4.3.4 Hoolduskulud**

IRENA 2020 andmetel lähtutakse olemasolevate meretuuleparkide hoolduskuludest. Vaadeldakse 2019 aasta Ørsted ja Stehly andmeid. Ørsted 2019 meretuulepargi fikseeritud hoolduskulud on 60700 €/MW/aastas. Stehly 2019 meretuulepargi fikseeritud hoolduskulud on 63 410 € MW/aastas. [17]

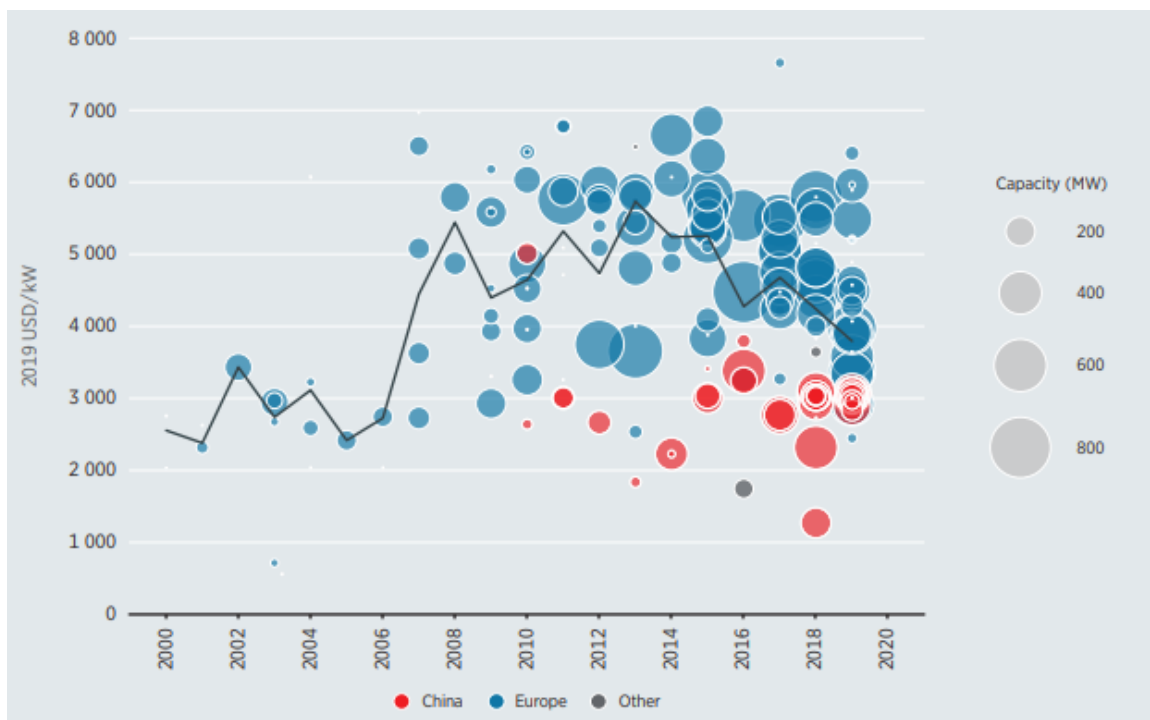
Aastal 2016 tegi Taani energiaagentuur ennustuse, mis võiksid olla hoolduskulude hinnad tulevikus. Leiti, et aastaks 2020. võiksid fikseeritud hoolduskulud olla 41 260 €/MW/aastas ja muutuvkulud 3,06 € MWh kohta. [18]

Võrreldes reaalseid hoolduskulusid prognoositavatega on näha reaalsete hindade tõusu. Selle järgi võib ka oletada, et projekteeritavate meretuuleparkide hind on ligidale 70 000 €/MW/aastas või rohkemgi.

#### **4.3.5 Koguinvesteering**

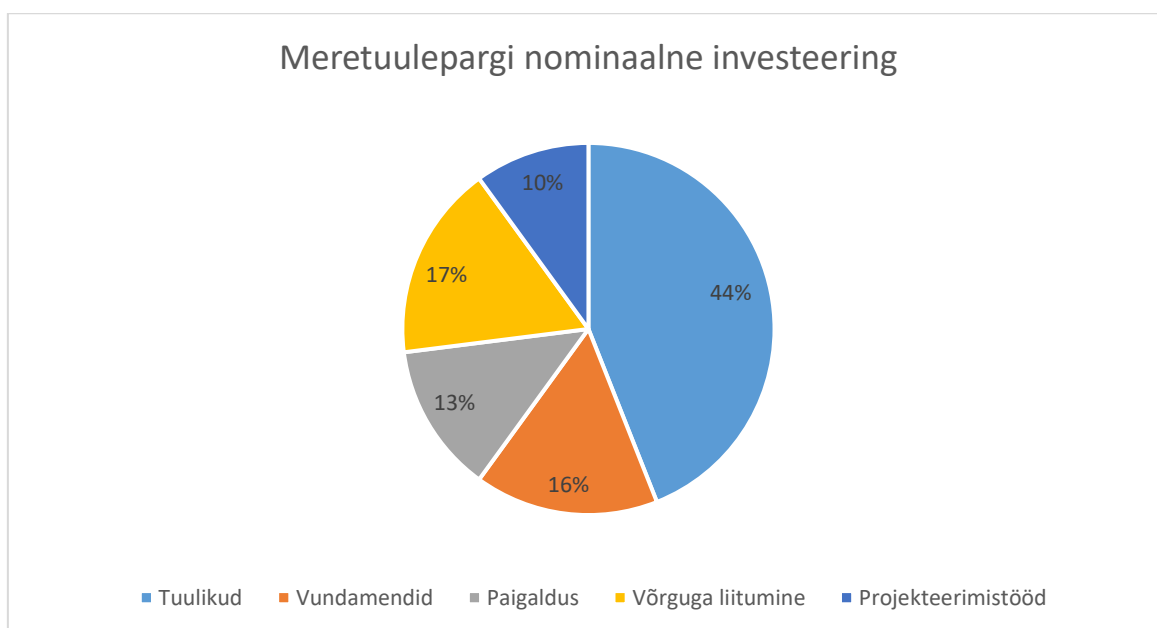
Aastal 2000 kuni 2006 oli ülemaailmne keskmine meretuulepargi maksumus 2000-3000 \$/kW, kuid 2008. aastal tõusis hind 5500 \$/kW, kuhu ta ka seitsmeks aastaks kõikuma jäi. Sellel perioodil hakati rohkem projekteerima meretuuleparke rannikust kaugemale ja sügavamale vette. Peale 2015. aastat hakkas meretuuleparkide hind langema ning 2020. aastaks saavutas ta väärtuse 3185 \$/kW ehk 2914 €/kW. See summa koosneb erinevate riikide meretuuleparkide statistikast, näiteks nagu Hollandi, Taani ja Hiina.





Joonis 4.8 Paigaldatud meretuuleparkide ühikmaksumus aastast 2000 kuni 2020

Joonisel 4.7 on näha meretuuleparkide ühikmaksumuse andmeid aastast 2000 kuni 2020. Tähtis on ära märkida, et Hiina ja Taani meretuuleparkide kogumaksumusest on välja jäetud võrku ühendamine, kuna seal olevad võrguühenduse varad kuuluvad avalik-õiguslikele isikutele või põhivõrgu omanikule, mis odavdab kogumaksumust. Seda on ka näha joonisel 3.2, kus punased ringid tähistavad Hiinat ja sinised ülejäänud Euroopat. [17]



Joonis 4.9 Meretuuleparkide kulude jaotus

Meretuuleparkide kulud saab jaotada osadeks nagu näidatud joonisel 3.1. Suurim osakaal on tuulikute maksumus, mis on ligidale 44% koguinvesteeringust. Sellele järgneb võrguga liitumine, mis on ca 17% koguinvesteeringust. Vundamentide osakaal jääb samasse suurusjärku nagu võrguga liitumine (16%). Üle jäävad veel paigaldus ja projekteerimistööd, mis katavad ära kõige väiksema osa osakaalust (13% ja 10%). [19]

Taani tehnoloogiaandmete kataloogi „Tehnoloogilised Andmed Elektri ja Kaugkütte Tootmiseks“ järgi on meretuulepargi koguinvesteering 2,12 M €/MW, kus tuulikud maksavad 0,85 M€/MW, vundament 0,44 M€/MW, võrku ühendamine 0,45 M€/MW ja projekteerimistööd 0,38 M€/MW. Püsikulud arvestatakse 50 000 €/MW/aastas ja muutuvkulud 5 €/MWh [20]. Kuna need on kõige hilisemad andmed, mida pidevalt uuendatakse on töös otsustatud neid kasutada.

## 4.4 LÄHTEANDMETE KOKKUVÕTE

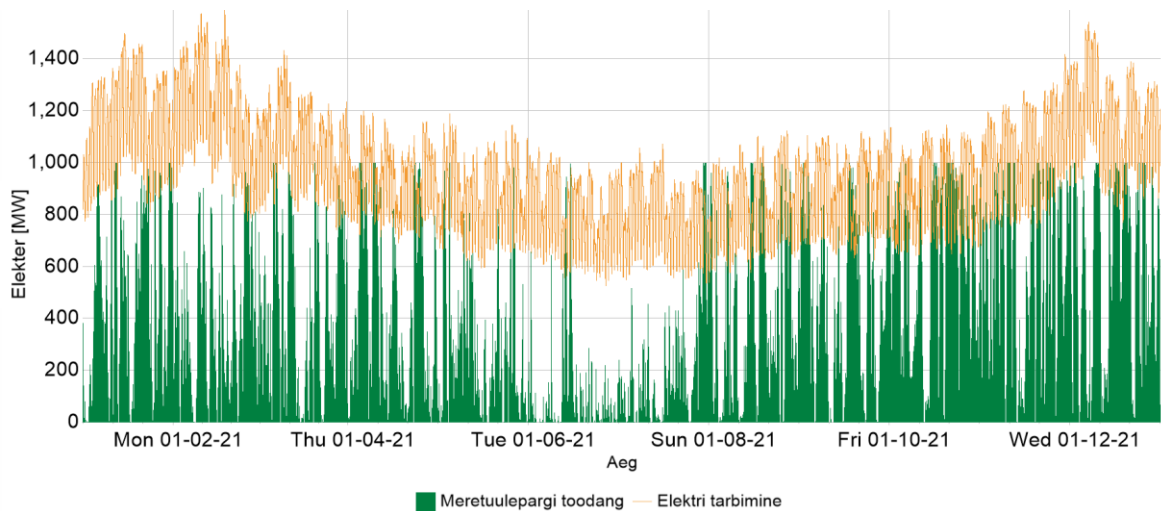
Eestisse planeeritavate meretuuleparkide võimsused on erinevates suurustes. Esimeses peatükis toodud meretuulepargid on vahemikus 1000 – 5999 MW. Selletõttu on otsustatud uurida meretuuleparki võimsusega 1000 MW. Võimsus saavutatakse Vestas V236-15,0 MW tuulikutega, mida tuleb paigaldada 67 tükki. Meretuulepargi koguinvesteeringuks määratakse 2 120 000 000 €, millest 520 000 000 € on elektrivõrguga liitumine. Püsikulud on väärtuses 50 000 000 € aastas ja muutuvkulud 5 €/MWh. Projektile on ka määratud laen kogu investeeringu väärtuses 25. aastaks, intressiga 7%. Meretuulepark kasutab Liivi Lahe 2021. aasta tuuleressurssi ja 2021. aasta Eesti elektri hindu. Võrdluseks on toodud ka 2021. aasta Eesti elektri tarbimine.

Tabel 4.6 Kokku võetud lähteandmete tabel

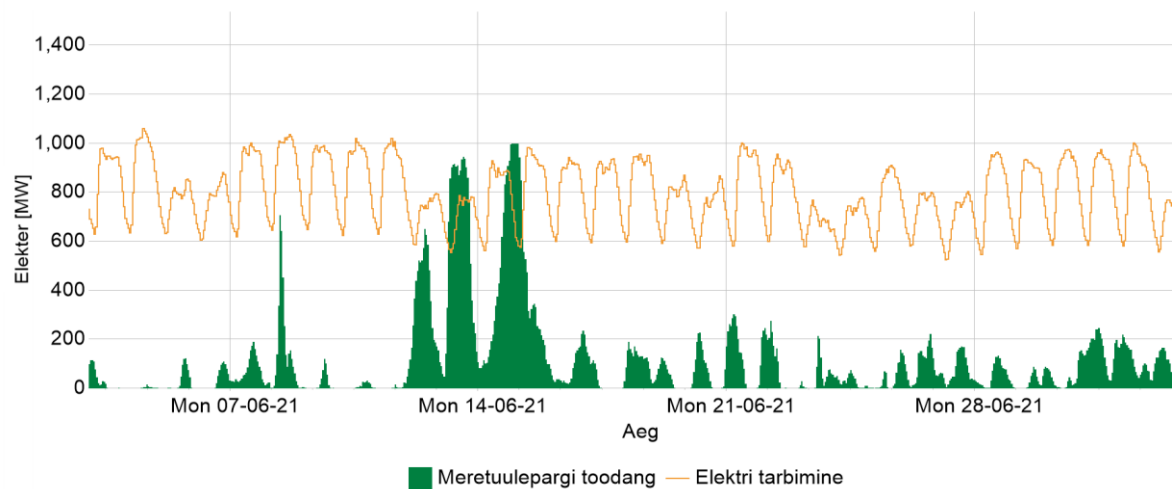
Tuulikud	V236-15,0 MW
Koguinvesteering	2 120 000 000 €
Püsikulud	50 000 000 €/aastas
Muutuvkulud	5 €/MWh
Tuuleressurss	2021. Liivi lahe tuuleressurss
Elektri hind	2021. Eesti elektri hind

## 5. ENERGYPRO MUDELI TULEMUSED

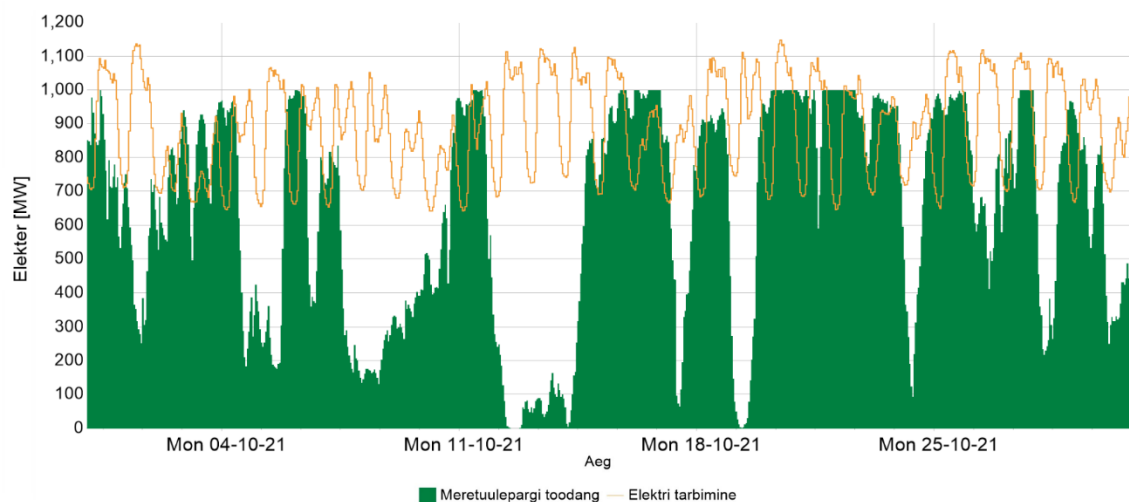
Selles peatükis antakse ülevaade kolmandas peatükis kirjeldatud meretuulepargi mudeli modelleerimise tulemustest. Kokku töötab simulatsioon 25 aastat, mis annab tulemused lähtudes neljandas peatükis toodud sisenditest. Meretuulepargi tulemused on toodud joonistel 5.1 kuni 5.3 ja tabelil 5.1.



Joonis 5.1 Meretuulepargi elektri toodang võrreldes elektri tarbimisega aastal 2021



Joonis 5.2 Meretuulepargi elektri toodang võrreldes elektri tarbimisega juunis aastal 2021



Joonis 5.3 Meretuulepargi elektri toodang võrreldes elektri tarbimisega oktoobris aastal 2021

Tabel 5.1 Meretuulepargi elektri toodang võrreldes tarbimisega aastal 2021

Kuu	Elektri toodang, MWh	Elektri tarbimine, MWh
Jaanuar	361 755	844 182
Veebruar	275 884	803 686
Märts	328 017	784 750
Aprill	322 541	667 000
Mai	219 156	648 042
Juuni	83 981	578 633
Juuli	163 791	589 486
August	318 187	620 410
September	349 945	633 296
Oktoober	474 595	655 790
November	446 753	744 339
Detsember	438 179	858 092
Kokku	3 782 785	8 427 705

EnergyPRO tarkvara näitab, et meretuulepark läheb tööle aastas 75 korda, töötades kokku 3782 tundi. Nende töötundidega toodab meretuulepark 3 782 785 MWh, mis katab tarbimisest ära 44,89%. Jagades töötunnid aastas olevate tundidega ning teisendades protsendiks saame kasutatavusteguri 43%, mida loetakse meretuuleparkide puhul heaks tulemuseks.

Joonisel 5.1 ja tabelis 5.1 on näha meretuulepargi aastast toodangut kuude lõikes. Nende järgi näeb ära, et kõige toodangurikkam on meretuulepark sügisel ja talvel ning kõige madalam toodang on suvekuudel. Vaadates lähemalt jooniseid 5.2 ja 5.3 on näha, et oktoobris on toodang väga kõrge ning meretuulepark töötab maksimum võimsusel mitu korda kuus. Juunis, kus toodang on kõige madalam, jõuab maksimum võimsuseni meretuulepark ainult üks kord. Mõlemal joonisel on ka näha kohti, kus tarbimine on kaetud ning vähesel määral eksporditakse elektrit.

## 6. TASUVUSE JA TUNDLIKKUSE ARVUTAMISE METOODIKA

Tasuvuse arvutamisel lähtutakse investeeringute hindamisest, mille puhul on vaja majanduslikke näitajaid. Tasuvuse arvutamisel võrreldakse meretuulepargist saadud tulusid projekti maksumusega. [21]

Investeeringute hindamiseks kasutatavaid meetodeid jagatakse kolmeks:

- Diskonteerimata rahakäibest lähtuvad meetodid,
- Diskonteeritud rahakäibest lähtuvad meetodid,
- Stohhastilised meetodid. [21]

### 6.1 Lihtne tasuvusaja meetod

Enimkasutatud diskonteerimata rahakäibest lähtuvatest meetoditest on tasuvusaja meetod, mis on lihtne, piltlik, hästi mõistetav ja ei nõua keerukaid ajaldusarvutusi. Kuigi ei võimalda see meetod arvestada tulude ja kulude muutumist projekti eluea vältel, siis on see sobilik lühikese elueaga projekti tasuvusarvutamiseks või suuremate projektide variantide võrdlemiseks. [21]

Tasuvusaeg on ajavahemik, mille jooksul projektist saadud tulu katab ära alginvesteeringu, nagu näha võrrandis:

$$-P + \sum_{t=1}^T F_t = 0,$$

kus  $F_t$  – maksed,

$T$  – tasuvusaeg,

$P$  – alginvesteering. [21]

Tulemusena saadud tasuvusaega  $T$  võrreldakse tasuvusaja normiga  $T_{norm}$ . Projekt on tasuv, siis kui  $T > T_{norm}$ . Energeetikas on tavaliselt tasuvusaja norm 8-10 aastat. [21]

## 6.2 Diskonteeritud tasuvusaja meetod

Diskonteeritud tasuvusaja meetod põhineb lihtsa tasuvusaja meetodil, kuid kõik rahavood on diskonteeritud. Seda meetodit arvutatakse võrrandiga [21]:

$$-P + \sum_{t=1}^T \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0$$

Nagu ka lihtsa tasuvusaja meetodi puhul, võrreldakse ka diskonteeritud tasuvusaja meetodi tasuvusaega T tasuvusaja normiga  $T_{norm}$ . Projekt on tasuv, kui  $T < T_{norm}$ . [21]

## 6.3 Nüüdisväärtuse meetod NPV

Puhta nüüdisväärtuse ehk ajaldatud tulu meetod seisneb projekti eluea jooksul tulude ja kulude vahe ajaldamine praegusele hetkele. Nüüdisväärtust arvutatakse valemiga:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n (B_t - C_t) \left( \frac{P}{F}, i, t \right) = \sum_{t=0}^n F_t \left( \frac{P}{F}, i, t \right) = -P + \sum_{t=1}^n F_t \left( \frac{P}{F}, i, t \right)$$

kus  $B_t$  ja  $C_t$  – vastavalt kogutulud ja -kulutused aastal t,

n – projekti eluiga,

i – diskontomäär,

P – esialgne investeering. [21]

Projekt loetakse tasuvaks siis kui  $NPV > 0$  ja projekti diskonteeritud tulevised tulud ületavad esialgse maksumuse. [21]

## 6.4 Sisemise tasuvusmäära meetod IRR

Tasuvusmäära ehk sisemise kasuminormi meetod põhineb diskontomäära ehk sisemise tasuvuslääve  $i^*$  leidmises, kus nüüdisväärtus on null, kuna samade rahavoogude nüüdisväärtus väheneb diskontomäära suurenedes. Sisemine tasuvusläävi on leitav võrrandist, mis lahendatakse tavaliselt iteratiivselt või graafiliselt [21]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i^*)^t} = \sum_{t=0}^n (B_t - C_t) \left( \frac{P}{F}, i^*, t \right) = 0$$

Nagu ka lihtsas tasuvusaja meetodis, on ka sellel meetodil diskontomäär norm  $i_0$ , mis sõltub investeerimispoliitikast ja teistest alternatiivsetest investeerimisprojektidest. Projekt on tasuv, kui  $i^* > i_0$ . [21]

## 6.5 Tasuvusnäitaja meetod PI

Tasuvusnäitaja ehk pühasnüüdisväärtuse indeks on tuleviku maksete ja investeeringu nüüdisväärtuste suhe, mis näitab investeerimisprojekti efektiivsust. Indeksit arvutatakse valemiga [21]:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t}}{P}$$

Projekt on tasuv, kui  $PI > 1$ . NPV ja PI on omavahel seotud, mis tähendab, et kui  $PI > 1$ , siis peab ka  $NPV > 0$  ja vastupidi. [21]

## 6.6 Stohhastiline hindamine

Stohhastiline hindamine arvestab lähteinfo määramatust ja ebatäpsust läbi majandusliku analüüsi. Stohhastilist hindamist teostatakse läbi nelja tüüpi [21]:

- Tundlikkuse analüüs, kus analüüsitakse tasuvust erinevate parameetrite väärtuste puhul.
- Kulu-tulu bilansi analüüs, millega leitakse variandi parameetrite vahemik, kus variant on tasuv ja mittetasuv.
- Variantide järkjärgulise hindamise meetod, kus täpsustatakse kõige tähtsamate parameetrite väärtusi ning teostatakse projekti hindamine mitmete arvutustega.
- Tõenäosuslik analüüs ehk riski analüüs, millega antakse majanduslik hinnang läbi tõenäosusliku jaotuse, lähtudes parameetrite tõenäosuslikule infole.

Kõige olulisem on tundlikkuse analüüs, mida kasutatakse praktiliselt alati. Tõenäosuslik analüüs on väga mahukas, mis vajab kasutuseks vastavat arvutitarkvara. [21]

## 6.7 Tundlikkuse analüüs

Tundlikkuse analüüsi kasutatakse, et hinnata parameetrite mõju investeeringu analüüsile ja leida investeeringu hindamise näitajale suurima mõjuga parameeter.

Aluseks võetakse kõige tõenäosem baasvariant  $P_b$ , millega hakatakse võrdlema erinevaid parameetri väärtusi  $P_i$  valemiga:

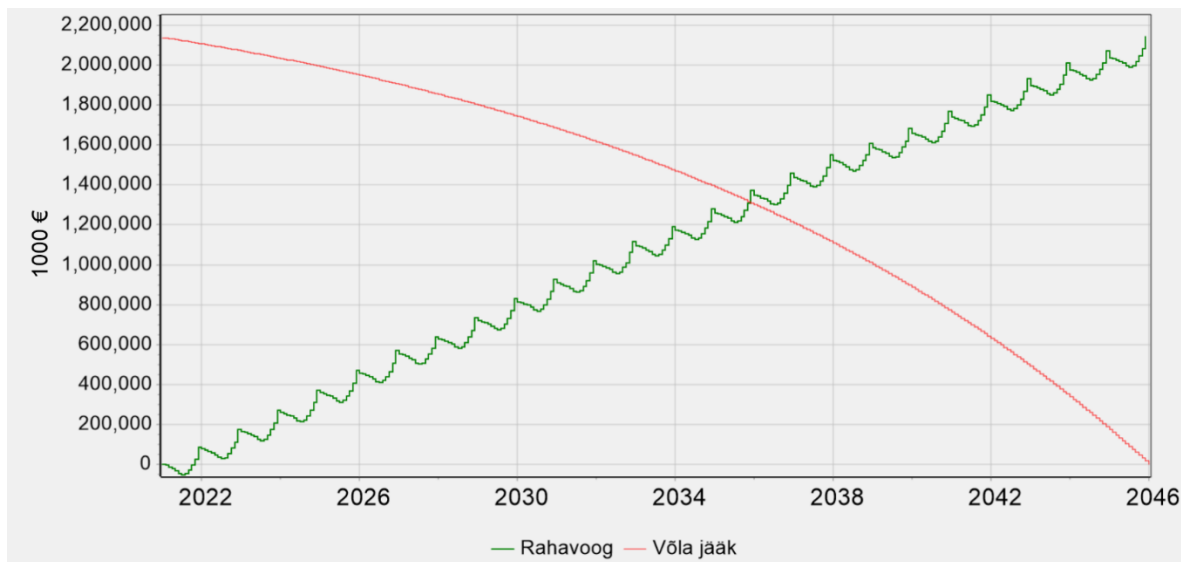
$$\delta_k = \frac{P_i - P_b}{P_b},$$

kus  $i$  – muutuste hulk. [21]



## 7. TASUVUSE ANALÜÜS

Antud peatükk annab ülevaate meretuulepargi mudeli tasuvuse analüüsist. Tulemused on arvutatud energyPRO tarkvaraga kasutades kolmandas peatükis kirjeldatud mudelit ja neljanda peatüki lähteandmeid. Peamiselt vaadeldakse tasuvuse analüüsis tasuvuse aega, nüüdisväärtust, sisemist tasuvusmäära ja tasuvusnäitajat. Diskontomääraks on valitud 10%. Tulemused on toodud joonisel 7.1, tabelis 7.1 ja tabelis 7.2.



Joonis 7.1 Meretuulepargi 25. aasta rahavoog

Tabel 7.1 Nüüdisväärtuse arvutamine

Tulud	3 344 557 331 €
Tegevuskulud	-654 494 801 €
Tegevusmaksed kokku	2 690 062 530 €
Investeering	-2 140 000 000 €
Tegevusmaksed ja investeering kokku	550 062 530 €
Finantseering	418 298 324 €
Maksud	-148 898 174 €
Kõik maksed kokku	819 462 679 €

Tabel 7.2 Meretuulepargi 25 aasta tasuvuse tulemused

Nüüdisväärtus (NPV)	819 462 679 €
Sisemine tasuvusmäär (IRR)	13,30 %
Tasuvusaeg	14a ja 10k
Tasuvusnäitaja	3,2

Joonisel 7.1 on näha meretuulepargi 25. aasta rahavoogu. Punane joon kirjeldab võla jääki, mis aastal 2021 on 2,14 miljardit ehk meretuulepargi koguinvesteering. Roheline joon kirjeldab rahavoogu ehk toodangust saadud tulu, millest on maha võetud kõik kulud. Jooned kattuvad 14. aasta ja 10. kuu peal, mis tähendab, et sellel hetkel on alginvesteering tasa teenitud ning edaspidi teenib meretuulepark kasumit.

Tabel 7.1 kirjeldab NPV ehk nüüdisväärtuse arvutamist. Kõikide projekti eluea jooksul saadud tulude ja kulude vahe on ajaldatud praegusele hetkele. Nüüdisväärtuseks on 819 462 679 €, mis leitakse lahutades tulust tegevuskulud, investeering ja maksud. Saadud tulemusele liidetakse finantseerimise väärtus.

Tabelis 7.2 on toodud kõikide tasuvusmeetodite väärtused. NPV näitab, et 25 aasta jooksul teenib meretuulepark 819 462 679 € tulu. Sisemine tasuvusmäär 13,30% põhineb diskontomääral, kus seatakse nüüdisväärtus nulliks. Samade rahavoogude nüüdisväärtus väheneb diskontomäära suurenedes. Tasuvusaeg näitab, et peale 14. aastat ja 10. kuud hakkab meretuulepark kasumit tootma. Tasuvusnäitaja 3,2 kirjeldab investeerimisprojekti efektiivsust. Kõik näitajad vihjavad tasuvale projektile.

Võttes 25 aasta ehk projekti eluea kõik meretuulepargi kulud ja jagades selle kogu toodanguga saab välja arvutada ka meretuulepargi toodangu keskmise elektrihinna. Meretuulepargi kogukulud on kokku 2 943 392 975 € ja kogutoodang on 94 569 625 MWh. Jagades omavahel tulemused saab toodangu keskmiseks elektri hinnaks 31,12 €/MWh, mis on 2021. aasta keskmisest elektri hinnast väiksem.

## 8. TUNDLIKKUSE ANALÜÜS

Tundlikkuse analüüs teostatakse kasutades peatükis 4.7 toodud meetodit, kus baasalternatiiviga võrreldakse erinevate parameetrite mõju meretuulepargi tasuvusele. Baasalternatiiviks valitakse kolmandas peatükis kirjeldatud mudel. Muudetavateks parameetriteks on valitud elektri hind ja tuuleressurss.

### 8.1 Elektri hinna mõju meretuulepargi tasuvusele

Esmalt võrreldakse elektri hinna mõju meretuulepargi tasuvusele. Baasalternatiivil muudetakse ainult elektri hinda ning võrreldakse tasuvuse näitajaid. Peatükis 4.2 leiti, et Eesti 2021. aasta keskmine elektri turuhind on 86,72 €/MWh, mille puhul NPV väärtus on 819 462 679 €, IRR 13,30% ja tasuvusaeg 14 aastat ja 9 kuud. See võetakse baasalternatiiviks, millega hakatakse võrdlema erineva keskmise elektri hinnaga alternatiive. Tulemused on toodud tabelis 8.1.

Tabel 8.1 Elektri hinna mõju meretuulepargi tasuvusele

Keskmine elektri hind €/MWh	NPV, €	IRR, %	Tasuvusaeg
20	-1 655 399 818	-15,83	Puudub
30	-1 295 001 488	-8,00	Puudub
40	-934 603 158	-0,17	Puudub
50	-574 204 828	2,795	Puudub
60	-213 806 498	5,76	Puudub
70	139 240 960	8,23	22a ja 10k
<b>86,7</b>	<b>819 462 679</b>	<b>13,30</b>	<b>14a ja 9k</b>
90	928 251 601	14,14	13a ja 9k
100	1 037 040 523	14,98	12a ja 11k
110	1 328 769 364	17,13	11a ja 9k
120	1 620 498 204	19,28	9a ja 9k
130	1 912 227 045	21,43	8a ja 9k
140	2 203 955 885	23,57	7a ja 9k

Vaadates tabelit 8.1 on näha, et elektri hinnal on suur mõju pargi tasuvusele. Vähendades elektri hinda 20 €/MWh võrra, muutub meretuulepark mittetasuvaks ja jääb 213 806 498 € võrra kahjumisse. Tõstes aga elektri hinda 20 €/MWh võrra lüheneb tasuvusaeg 2 aasta võrra, samuti tõuseb NPV ja IRR väärtused. Elektri hind mängib

olulist rolli meretuulepargi tasuvusel ning tuleb kindlasti arvestada selle languse ja tõusuga.

## 8.2 Tuuleressurssi mõju meretuulepargi tasuvusele

Teisena võrreldakse meretuulepargi tasuvust vastavalt tuuleressursile. Baasalternatiiviks võetakse sama 3 782 785 MWh aastase toodanguga mudel, mille mõõtejaam asub Liivi lahes, kuid tuuleressurssi mõju võrdlusele lähenetakse teistmoodi kui elektri hinnale ning luuakse ainult kaks alternatiivi erinevate mõõtejaamadega.

Esimene alternatiiv kujutab suuremat tuuleressurssi võrreldes baasalternatiiviga. See on saavutatud võttes tuulekiiruse andmed mõõtejaamast, mis asub Taani lähedal meres. Mõõtejaama asukoht on analoogne Taani meretuulepargi Kriegers Flak asukohaga. Teine alternatiiv kujutab väiksemat tuuleressurssi võrreldes baasalternatiiviga. Tuuleressurssi andmed on võetud Eesti rannikuäärsest mõõtejaamast.

Tabel 8.2 Tuuleressurssi mõju meretuulepargi tasuvusele

	Baasalternatiiv	Alternatiiv I	Alternatiiv II
Aasta toodang	3 782 785 MWh	4 212 482 MWh	3 254 881 MWh
Kasutatavustegur	43%	48%	37%
NPV	819 462 679 €	1 031 205 697€	456 033 124€
IRR	13,30%	14,52%	10,61%
Tasuvus	14a ja 9k	12a ja 11k	18a ja 9k

Esimese alternatiivi aasta toodang on baasalternatiivi omast suurem 429 697 MWh võrra. Kasutatavustegur tõuseb 48%-ni ja NPV väärtus on 211 743 018 € suurem. IRR väärtus on 1,22% suurem. Tasuvust lühendab tuuleressurssi lisamine kahe aasta võrra.

Teise alternatiivi aasta toodang on vähem baasalternatiivi omast 527 904 MWh võrra. Kasutatavustegur langeb 37% peale, NPV väärtus langeb poole võrra ning IRR väärtus on 3% vähem. Tasuvuse aeg tõuseb 4 aastat.

## 9. JÄRELDUSED

Tulemuste põhjal on näha, et meretuulepark on enamasti tasuv. Suuresti mõjutab meretuulepargi tasuvust elektri hind ja vähesemal määral tuuleressurss. Baasalternatiivi tulemused näitavad, et park toodab aastas ligi 3,8 TWh elektrienergiat ja suudab ära katta Eesti tarbimisest ligi 45%. See toodang on meretuulepargi kohta hea ning peaaegu poole Eesti tarbimise katmisest aitab suuresti kaasa rohepöördele. Kasutatavustegur on 43%, mis on meretuulepargi puhul üsna hea näitaja. Meretuulepargi tasuvusaeg on 14 aastat ja 9 kuud, mis on üle energeetika tasuvusnormi, kuid siiski hea tulemus. Eluea jooksul suudab meretuulepark toota 819 462 679 € kasumit, mida näitab NPV väärtus.

Elektrihinna muutmisest meretuulepargis on näha suur mõjutust. Mida kõrgem on elektrihind, seda suurem on kasum ning lühem tasuvusaeg. Tõstes ja madaldades elektrihinda muutuvad ka suuresti tasuvuse tulemused. Mida rohkem elektri hind tõuseb, seda kiiremini meretuulepark ennast ära tasub. Näiteks tõstes elektri hinda 10% võrra, langeb tasuvusaeg ühe aasta võrra. Elektrihinna langemisel aga on suur oht meretuulepargi mittetasuvusele. Isegi väike elektrihinna vähenemine mõjutab meretuulepargi tasuvust traagiliselt. Näiteks 10% elektrihinna madaldamine tõstab tasuvusaega 10 aasta võrra.

Meretuulepargi tasuvust mõjutab ka tuuleressurss. Tõstes tuuleressurssi tõuseb ka meretuulepargi toodang ja kasum. Suurendades aastast toodangud 429 697 MWh võrra, tõuseb kasutatavustegur 5% ja NPV väärtus 211 743 018 €. Tuuleressurssi lisamine suutis tasuvust lühendada kahe võrra ehk 12 aasta 11 kuu peale. Tuuleressurssi vähendades langeb ka kõvasti kasutatavustegur. Saades tuuleressurssi andmed rannikuäärsest alast langeb toodang 527 905 MWh ja kasutatavustegur 6% võrra. Tasuvust tõstab tuuleressurssi vähendamine 4 aastat.

Kindlasti mängib olulist rolli tuuleressurssi mõjul tasuvusele meretuulepargi asukoht. Mida rohkem ranniku lähedal meretuulepark asub, seda vähem on tema toodang. Mida kaugemal rannikust meretuulepark asub, seda suurem on tema toodang.

## KOKKUVÕTE

Antud töö koostati meretuulepargi analüüsi tasuvuse hindamiseks energyPRO tarkvara abil. Lisaks tasuvusele oli töö eesmärk ka hinnata tasuvusi mõjutavaid parameetreid ning neid omavahel võrrelda.

Töö alguses anti ülevaade Eestisse arendavatest meretuuleparkidest, millest üks kõige kaugemale arendatud meretuuleparke Balti riikides on Liivi lahte planeeritav Eesti Energia ja Ørsted'i koostöös Liivi lahe meretuulepark. Hetkel toimub meretuulepargi keskkonnamõjude hindamine ja plaanide kohaselt võiks park valmis saada 2028. aastal.

Samuti anti ülevaade Euroopas olevatest meretuuleparkidest, millest välja toodi Anholt, EnBW Baltic 2 ja Kriegers Flak meretuulepargid. Anholt ja Kriegers Flak on Taani meretuulepargid, millest Kriegers Flak on Skandinaavia suurim meretuulepark. Meretuulepargi võimsus on 604 MW, mille annavad kokku 72 tuulikut võimsustega 8,4 MW. Pargi ehitust alustati 2017 aastal, esimene tuulik paigaldati 2020 ja lõplikult valmis meretuulepark 2021 suvel. EnBW Baltic 2 on Saksamaa meretuulepark, mis asub Kriegers Flak tuulepargi kõrval. Pargid on omavahel ühenduses ning toodangud on riikide vahel jagatud. Lisaks kasutatakse ühendust ka ülejäänud elektrienergia transpordiks ja impordiks.

Järgnevalt koostati energyPRO tarkvaras meretuulepargi mudel, millele lähtuvalt Eestisse planeeritavatest meretuuleparkidest võeti võimsuseks 1000 MW, mida täidetakse Vestas V236-15,0 MW tuulikutega. Lähtuvalt ka planeeritavatest meretuuleparkidest tehti valik tuuleressursi osas, milleks valiti Liivi lahe mõõtejaama 2021. aasta tuuleressursi andmed. Mudel koosneb kolmest tähtsast osast, milleks on meretuulepark, elektriturg ja elektri tarbimine. Elektrituru ja tarbimise kohta teostati analüüs, et valida sobivad andmed mudelis arvutamiseks. Analüüsist valiti 2021. aasta Eesti elektri turuhinnad ja elektri tarbimine. Meretuulepargi investeringuks määrati Taani tehnoloogiaandmete kataloogi järgi 2,12 miljardit eurot, millest 85 miljonit eurot on tuulikud, 44 miljonit eurot on vundamendid, 45 miljonit eurot on võrguga ühendus ja 38 miljonit eurot on projekteerimistööd.

Sisendandmete põhjal teostati mudeliga 25. aasta modelleerimine, kuna seda peetakse meretuulepargi elueaks. Tulemusteks saadi, et meretuulepark läheb tööle aastas 75 korda, töötades kokku 3782 tundi. Nende töötundidega toodab meretuulepark 3 782 785 MWh, mis katab tarbimisest ära 44,89%. Tuulepargi kasutatavustegur on 43%.

Meretuulepargi tasuvusaeg on 14 aastat ja 10 kuud, tekitades 25 aastaga NPV väärtuses 819 462 679 eurot. Sisemine tasuvusmäär on 13,30% ja tasuvusnäitaja on 3,2.

Teostades veel tundlikkuse analüüsi ehk võrreldes elektri hinna ja tuuleressurssi mõju tasuvusele leiti, et väga olulist rolli mängib meretuulepargi tasuvusel elektri hind. Tõstes elektri hinda 10% võrra, langeb pargi tasuvus umbes aasta võrra aga langetades elektri hinda 10% võrra, tõuseb pargi tasuvus 10 aasta võrra. Selletõttu tuleb kindlasti arvestada, et elektri hinna langemisel langeb ka meretuulepargi tulu suurel määral.

Vähesemal määral mõjutab meretuulepargi tasuvust tuuleressurss, mille kohta tehti analüüs kahe erineva alternatiivi põhjal võrdluseks baasalternatiiviga. Leiti, et mida lähemal meretuulepark rannikualale on, seda väiksem on toodang ning mida kaugemal meretuulepark rannikualast asub, seda suurem on tema toodang.

Meretuulepargi rajamine on väärt investeering, kui elektri hinnad püsivad kõrged. Kuna pidevalt mõeldakse uut tehnoloogiat välja, mis lubab väiksema tuulikute arvuga saavutada suuremaid võimsusi siis tulevikus muutub meretuuleparkide rajamine veelgi odavamaks. Probleemiks võib tekkida aga tuulikute poolt odav toodangu hind. Töös välja arvatud toodangu keskmine elektri hind on 31,12 €/MWh, mis on 2021. aasta keskmisest elektri hinnast ligi 40% odavam. See tähendab, et rohkete meretuuleparkide püstitamise viib elektri turuhinna madalaks.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] K. peadirektoraat, „Euroopa Komisjoni veebisait,” [Võrgumaterjal]. Available: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_et](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_et). [Kasutatud 14 Mai 2022].
- [2] Rahandusministeerium, „Rahandusministeerium,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fin.ee/riik-ja-omavalitsused-planeeringud/ruumiline-planeerimine/mereala-planeering>. [Kasutatud 16 Mai 2022].
- [3] Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon, „Tuuleenergia Assotsiatsioon,” WordPress, [Võrgumaterjal]. Available: <https://tuuleenergia.ee>. [Kasutatud 28 november 2021].
- [4] TGS Company, „4C Offshore,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.4coffshore.com/windfarms/estonia/>. [Kasutatud 1 Aprill 2022].
- [5] Eesti Energia, „Liivi lahe meretuulepark,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://liivimeretuulepark.ee>. [Kasutatud 5 Veebruar 2022].
- [6] PM Majandus, „Utilitas tahab Liivi lahte oma tuuleparki 229 tuulikuga,” *Postimees*, 2021.
- [7] Energiakontsern Utilitas, „Utilitas,” 28 Detsember 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.utilitas.ee/ttja-algatas-utilitase-taotluse-alusel-hoonestusloa-menetluse-meretuulepargi-rajamiseks-parnumaa-merealale-liivi-lahe/>. [Kasutatud 14 March 2022].
- [8] Ørsted A/S, „Ørsted,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://orsted.com/en/about-us/whitepapers/making-green-energy-affordable/1991-to-2001-the-first-offshore-wind-farms>. [Kasutatud 20 04 2022].
- [9] WindEurope asbl/vzw, „Wind Europe,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://windeurope.org>. [Kasutatud 17 Mai 2022].
- [10] Ørsted, „Anholt Offshore Wind Farm”.
- [11] ENGINET, „ENERGINET,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://en.energinet.dk/Infrastructure-Projects/Projektliste/KriegersFlakCGS>. [Kasutatud 11 4 2022].
- [12] VATTENFALL, „VATTENFALL,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://group.vattenfall.com/what-we-do/our-energy-sources/wind-power>. [Kasutatud 11 4 2022].
- [13] EMD International A/S, „EMD International,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.emd-international.com/energypro/>. [Kasutatud 19 Aprill 2022].
- [14] Vestas Wind Systems A/S, „Vestas,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.vestas.com/en/products/offshore/V236-15MW>. [Kasutatud 21 Aprill 2022].
- [15] NORD POOL AS, „NORD POOL,” 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/#/nordic/table>. [Kasutatud 22 Aprill 2022].
- [16] Elering AS, „Elering Live,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://dashboard.elering.ee/et>. [Kasutatud 17 Mai 2022].
- [17] IRENA, „Renewable Power Generation Costs in 2020,” International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2021.
- [18] Danish Energy Agency, Energinet, „Technology Data - Energy Plants for Electricity and District heating generation,” Danish Energy Agency and Energinet, 2016.
- [19] IRENA, „RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES,” IRENA, Abu Dhabi, 2012.



- [20] C. W. F. Gamborg, „Technology Data for Generation of Electricity and District Heating,” The Danish Energy Agency, Märts 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-generation-electricity-and>. [Kasutatud Aprill 2022].
- [21] J. Valtin, „ENERGIASÜSTEEMIDE ÖKONOOMIKA,” Tallinn, 2005.
- [22] S. Matt, „KAART ) Vaadake, kas teie kodukanti on kavas tuulepark,” *Pärnu Postimees*, 2022.
- [23] Siemens, „Siemens Gamesa Renewable Energy,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/products-and-services/offshore>. [Kasutatud 4 4 2022].
- [24] IRENA - International Renewable Energy Agency, „IRENA - International Renewable Energy Agency,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Wind-Power#:~:text=The%20global%20weighted-average%20cost,%2FkWh%2C%20without%20financial%20support>. [Kasutatud 25 Aprill 2022].