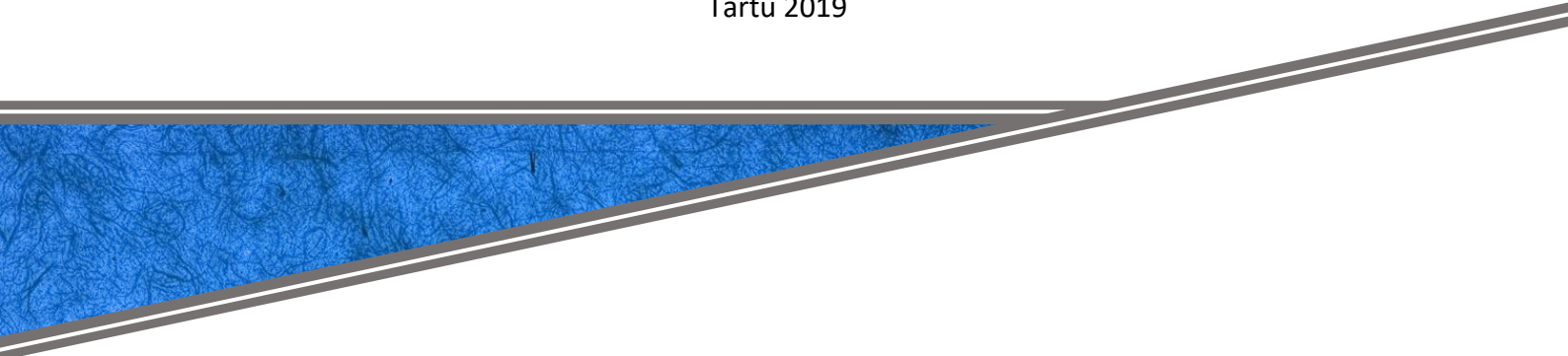


A decorative graphic element consisting of a blue textured paper-like shape that tapers from left to right, positioned at the top of the page.

Ekspertiisi aruanne

**Mereala majandusliku mõju mudeli
ekspertiisi läbiviimine –
tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis**

Tartu 2019

A decorative graphic element consisting of a blue textured paper-like shape that tapers from right to left, positioned at the bottom of the page.

Töö tellis Rahandusministeerium, töö telliti ja rahastati riigieelarvest.

TÖÖ AUTORID:

Kaidi Nõmmela, Tartu Ülikool
Kristjan Piirimäe, OÜ Roheline Rada

**TUULEENERGEETIKA
EKSPERDID:**

Viktor Joasaare, Enefit Green AS, taastuvenergia arendusjuht, koos teiste sama ettevõtte ekspertidega

Kuido Kartau, tuuleenergeetika ekspert

Ain Kull, Tartu Ülikool, loodusgeograafia vanemteadur

Ivo Palu, Tallinna Tehnikaülikool, elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi direktor

Töö autorid tänavad tuuleenergeetika eksperte, kelle antud sisend on ekspertiisi koostamise aluseks.

VIITAMINE: Nõmmela, K., Piirimäe, K. (2019). Mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiisi läbiviimine – tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis. Tartu Ülikool, OÜ Roheline Rada.

ISBN: 978-9985-4-1220-6 (pdf)

Sisukord

Sissejuhatus	4
Ekspertiisi metoodika	5
Ekspertiisi tulemused	6
1. Toodetav energiakogus aastas	6
2. Tulu elektrienergia tootjale	7
3. Tuulepargi rajamis- ehk investeeringukulud	8
4. Tuuliku käitus- ja hoolduskulud	9
5. Tuuliku likvideerimiskulud	10
6. Riigi tulu meretuuleenergia tootmise ja tarbimise maksustamisest	10
7. Riigi tulud tuuleparkide ehitamise ja käitamise kohalikest tuludest	10
8. Tuulikute ekspluateerimist piiravad ja suunavad tegurid	11
Ettepanekud mudeli arendamiseks	12
Ekspertiisi läbiviimise sisendid	14
Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm	15
Lisa 2. Lisamaterjal mudeli täiendamiseks	21

Sissejuhatus

Sihtasutus Poliitikauuringute Keskus Praxis töötas Rahandusministeeriumi tellimusel 2016. aastal välja merekeskkonna ressurside majandusliku kasu mudeli (edaspidi *meremajanduse mudel*). Mudeli eesmärgiks on suurendada Eesti mereala (nii territoriaalmeri kui majandusvöönd) kasutuse teadlikku juhtimist ja suunamist arvestades seejuures merealast saadavat võimalikku majanduslikku kasu. Meremajanduse mudeli abil on võimalik hinnata Eesti merealade kilomeeter-ruudustike majanduslikku kasu vajadusel sisendandmeid korrigeerides. Eialgu koostati mudel kolme põhilise mereala kasutava sektori kohta, milleks on kalandus, energeetika ja meretransport. Aasta hiljem täiendati mudelit vesiviljeluse andmetega ning uuendati tuuleenergeetika arvestamise andmeid ja põhimõtteid. (SA Praxis 2017)

Selle töö fookuses on tuuleenergeetika alammudel. Tuuleenergeetika alammudeli (edaspidi *mudel*) eesmärk on näidata Eesti mereala igal km²-l tuuleenergeetikast saadav riigi ja ettevõtja majanduslik kasu. Kuigi Eestis meretuulepargid veel puuduvad, on võimalik senise maismaatuuleparkide rajamise kogemuse ja välisriikide praktika abil hinnata merealadel perspektiivsete tuuleparkide majanduslikku kasu. Samas on tuuleenergeetika kiiresti arenev valdkond, mistõttu vajab mudeli struktuur ja sisu üle vaatamist tulenevalt nii tehnoloogilistest arengutest kui ka praktiliste kogemuste baasi suurenemisest.

Selle töö eesmärk on viia läbi mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiis tuuleenergeetika alammudelile. Töö tulemusena selgitatakse, kas tuuleenergeetika alammudelis esineb parandamist vajavaid komponente, ning tehakse ettepanekud, kuidas mudelit täiendada, et selle kasutamise tulemused täidaksid võimalikult täpselt mudelile seatud ülesannet, milleks on Eesti mereala ulatuses tuuleenergia majandusliku kasu varieeruvuse hindamine.

See dokument on tuuleenergeetika alammudeli ekspertiisi aruanne. Aruandes on kirjeldatud läbiviidud ekspertiisi meetodikat, ekspertiisi tulemusi tulu-kulu liikide ja parameetrite lõikes ning aruande lõpus on toodud mudeli parandus- ja täiendustettepanekud.

Ekspertiisi metoodika

Käesoleva ekspertiisi koostamise aluseks on tuuleenergeetika alammudeli ülevaade (Piirimäe, 2019) seisuga juuni 2019¹. Ülevaates on kirjeldatud tuuleenergeetika alammudeli detailset sisu ja struktuuri, välja on toodud kõik alammudeli komponendid, parameetrid, vaikeväärtused ja nende allikad. Samuti on ülevaates toodud täpne kirjeldus alammudeli modelleerimiskeskonnast, mudeli operatsioonidest, mudeli sisend- ja väljundandmetest.

Ekspertihinnangute kogumiseks moodustati tuuleenergeetika ekspertide rühm. Ekspertide rühma koostamise aluseks oli põhimõte, et kaasatud oleksid nii valdkonna esindajad erasektorist kui ka teadustöötajad ülikoolidest. Ekspertide rühma moodustasid:

- **Viktor Joasaare** – Enefit Green AS-i taastuvenergia arendusjuht, eksperthinnang anti koostöös kolleegidega samast ettevõttest;
- **Kuido Kartau** – tuuleenergeetika ekspert, omanik ettevõttes OÜ Kirsimäe, mis on ühtlasi osanik ettevõttes Saare Wind Energy OÜ;
- **Ain Kull** (PhD) – Tartu Ülikooli loodusgeograafia vanemteadur, osales eksperdina ka meremajanduse mudeli väljatöötamisel 2016. aastal;
- **Ivo Palu** (PhD) – Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi direktor.

Ekspertiisi läbiviimiseks koostati tuuleenergeetika alammudeli ülevaate põhjal struktureeritud eksperthinnangu andmise vorm, kuhu oli märgitud tuuleenergeetika tulu-kulu liigid, sh toodetav energiakogus aastas, tulu elektrienergia tootjale, investeringukulu, tuuliku käitus- ja hooluskulud, tuuliku likvideerimiskulu, riigi tulu meretuuleenergia tootmise ja tarbimise maksustamisest, riigi tulud tuuleparkide ehitamise ja käitamise kohalikest tuludest, tuulikute ekspluateerimist piiravad ja suunavad tegurid, nende parameetrid, parameetrite liigid (st. muudetav, fikseeritud, arvutatav, mõõdetav või modelleeritud parameeter), parameetrite vaikeväärtused ja nende väärtuste allikad. Ekspertidel paluti hinnangu andmiseks töötada läbi etteantud alammudeli struktuur koos sisuga ning seejärel anda hinnang igale tulu-kulu liigile, nende parameetritele ja vaikeväärtustele ning arvutusvalemitele. Kokku andsid eksperdid hinnangu üle 100 erinevale etteantud komponendile. Lisaks edastati ekspertidele tuuleenergeetika alammudeli ülevaade (Piirimäe, 2019), mille kohta oli ekspertidel samuti võimalik tagasisidet anda.

Pärast eksperthinnangute andmist koondasid töö autorid saadud tagasiside lähtuvalt tulu-kulu liikidest, parameetrite liikidest ja hinnangute sisust. Tulemusena sünteesiti ekspertide hinnangute tulemusena koondhinnangud mudeli komponentidele ja mudelile tervikuna.

Tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis viidi läbi perioodil mai-juuni 2019.

¹ Lisaks tuuleenergeetika alammudeli ülevaatele on ülevaated koostatud ka meretranspordi, kalanduse ja vesiviljeluse alammudelite kohta seisuga juuni 2019 (Piirimäe, 2019).

Ekspertiisi tulemused

Lähtuvalt ekspertide hinnangutest ja nende põhjal tehtud analüüsist selgus, et kokkuvõttes on tuuleenergeetika alammudel kasulik vahend, mis on abiks argumenteeritud otsuste tegemisel, eeldusel et otsustajad mõistavad mudeli sisu. Ekspertid olid ühel meelel, et mudeli üldine ülesehitus ja struktuur on sobilikud ning üldjoontes on vajalikud komponendid mudelis esindatud. Alammudeli põhiloogikale põhimõttelisi muudatusettepanekuid ei tehtud. Lisaks toodi mudeli tugevusena välja selle modulaarset ülesehitust, mis võimaldab igat üksikut komponenti muuta ja täiendada lisanduvate parameetrite ja andmekihtide abil. Samas vajab mudel üle vaatamist eelkõige arvutusvalemite, puuduoleva komponendi (jääludega arvestamine) ja parameetrite väärtuste osas.

Järgnevalt on toodud ekspertide hinnangud igale tulu-kulu liigile. Neid parameetreid, mille kohta ekspertidel hinnangud puudusid, järgnevas osas ei kajastata².

1. Toodetav energiakogus aastas

Tuuleenergeetikast toodetav energia kogus sõltub tuulepargi võimsusest, tuuliku käigusoleku ajast ja tuule kiirusest. Ekspertide sõnul on mudelis toodud **toodetava energiakoguse arvutamise valem** ruumianalüüsi jaoks ebakorrektnel. Valemis tuleks ruumilise erinevuse kajastamiseks kasutada Rayleigh jaotuse asemel kaheparameetrilisel Weibulli jaotusel (vt lisas joonis 1) põhinevat tuuleenergia arvutust.³ Sellisel juhul vastaks mudelis mereala igas ruutkilomeetris tuule kiiruse sagedusjaotus erinevale kujuparameetrile, mis on oluline, kuna tuuleenergia on kujuparameetri suhtes väga tundlik.

Ekspertide sõnul on toodetava energiakoguse arvutamisel üheks oluliseks teguriks **tuuliku käigusoleku aeg** (h/a), mille suurendamisega avamere tuuleenergeetika tehnoloogia arendamises aktiivselt tegeletakse. Kuna merel on hooldusmeeskonna juurdepääs tuulikule palju keerulisem kui maismaal, nt tugeva lainetuse ja tuulega on hoolduslaevalt tuulikule saamine väga riskantne, püütakse viia hooldustööde korraldamine miinimumini (töid tehakse vaid erakorraliselt). Sellest tulenevalt soovivad eksperdid märkida mudelis tuuliku käigusoleku ajaks minimaalselt 95% (ranniku lähedal) ja kaugemal 98% (avamerele ehk alates 10km).

Tuuliku kasuteguri (C_p , ingl *power coefficient*) asemel tuleks ekspertide hinnangul toodetava energiakoguse arvutamise valemis kasutada **tuuliku kasutustegurit** (ingl *capacity factor*). Tuuliku

² Nendeks parameetriteks on tuuliku käitus- ja hoolduskulude komponendid: tööjõukulud, varuosad, transpordikulud; riigi tulud tuuleparkide ehitamise ja käitamise kohalikest tuludest komponendid: tööjõukulude osa tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu kuludest, kohalike tööjõukulude osakaal tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamisel; tuulepargi rajamise muudest kuludest saadavad tulud tööjõumaksudest; tuulepargi käitamisest saadavad tulud tööjõumaksudest; tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamisest saadavad tulud muudest kuludest; tuulepargi rajamise muudest kuludest saadavad tulud; tuulepargi käitamisest saadavad tulud muudest kuludest.

³ Lisaks on ekspertide sõnul praegusel juhul valemit valesti tõlgendatud: aasta keskmise tuule kiiruse (V) järgi leitud tuule kineetilist energiat on korrigeeritud tuule kiiruse sagedusjaotuse peegeldamiseks parameetriga „Rayleigh jaotuse väärtus”, kuid selle asemel kasutatud tüüpilise tuule sagedusjaotuse kujuparameetri väärtust ja kogu võrrandi sisu on korrutatud kogu mereala ulatuses läbi väärtusega 2. Rayleigh jaotus vastab Weibulli jaotuse erijuhule, kui jaotuse kujuparameetri väärtuseks on $k=2$. Teoreetiliselt on võimalik leida sellele kujuparameetrile vastav konstant, mis kogu võrrandi õigeks korrigeeriks, kuid ei lahendaks sisulist probleemi. Sisulise probleemi aitaks lahendada kaheparameetrilise Weibulli jaotusel põhinevat tuuleenergia arvutuse kasutamine.

kasutustegur näitab tegeliku toodangu suhet teoreetilisse maksimumtoodangusse aastas⁴. Tegur sõltub nii tuulikust kui selle asukohast (st tuuleoludest tuuliku asukohas). Tuuliku kasutusteguri tehnoloogia liigub järjest enam suurema kasutusteguri suunas, samas on sellel tasuvusest tulenevad piirangud. Euroopa suurimate avamere tuuleparkide kasutustegur oli ekspertide hinnangul 2018. aastal 0,37, mistõttu võib mudelis praegu olevat väärtust 0,47 pidada liiga kõrgeks. Samas väga heades oludes võivad tuulikute kasutustegurid ulatuda kuni 0,55ni, kuigi siiani ei ole Baltimaades ka maismaatuulikud 0,47ni jõudnud. Sellest tulenevalt teevad eksperdid ettepaneku muuta mudelis tuuliku kasutusteguri väärtuse dünaamilisena sõltuvalt tuulekiirusest vahemikus 0,37-0,50. Tuule kiiruse arvestamiseks tuleks kasutada üle-eestiliselt kohapõhist tuule kiiruse (Weibulli) sagedusjaotust koos ühetaolise võimsuskõveraga.

Järgmine oluline tegur toodetava energiakoguse arvutamisel on **tuuliku nimivõimsus**, mis muutub samuti lähtuvalt tehnoloogia arengutest. Ekspertide sõnul on praegune väärtus mudelis, milleks on 8 MW, tänastes oludes minimaalne. Pigem peaks nimiväärtuseks olema 10-12 MW või isegi 15 MW, mis oleks tulevikuperspektiivi arvestusega.

Tuule keskmine kiirus (m/s) on mudelisse lisatud tuulekaardina, kus tuule kiirus on modelleeritud ligikaudu 100m kõrguselt. Ekspertide hinnangul määrab tuule kiirus suuresti ära ka tuuliku kasutusteguri, mistõttu tuleks mudelis kasutada tuulekaarti, mis modelleerib tuule kiirust kõrgemalt arvestades tuulikute tehnoloogilisi arenguid. Tuule kiiruse modelleerimiskõrgus tuulekaardil peaks olema vähemalt 150m, kuna see tagaks tuule kiiruse arvestamisel täpsema tulemuse.

Tehnoloogiliste arengutega on seotud ka **tuulikute vahekauguse** (km) parameetri väärtuse määramine mudelis. Ekspertide sõnul on tuulikute vahekaugus seoses tuulikute võimsusest (eeskätt rootori diameetrist ehk laba pikkusest), kuid ka tuuleoludest tingituna gradiendil rannikuvöönd-avameri (lisas joonis 2). Seega, mida suuremaid tuulikuid ehitatakse, seda kaugemale üksteisest need ka paigutatakse, mistõttu peaks ka tuulikute vahekauguse lähteandmetes kõrguse kasvuga seotud tuule kiiruse/energia kasv kajastuma. Reaalses elus sõltub tuulikute vahekaugus ka tuulesuunast, st. põhituule suunas on vahekaugus suurem ja sellega risti olevas suunas väiksem. Mudelis oleks see võimalik lahendada tuulekiiruse vertikaalse profiili lisamise kaudu, mis omakorda on tuletatav Weibulli jaotuse k -parameetrist. Samas leidsid eksperdid, et mudelis on vahekaugusena piisav kasutada ka arvestuslikku keskmist. Hetkel on mudelis vahekauguseks 1 km, mis kehtib arvestuslikult 8 MW nimivõimsusega tuulikute puhul. Kui suurendada mudelis tuulikute nimivõimsust 10 MWni või rohkemgi, siis peaks ka vahekaugus olema suurem. Täpsemate vahekauguste muutuste leidmiseks on vajalik läbi viia täiendavad analüüsid.

Hetkel ei arvesta mudel tuulikute omavahelisest **varjutusest tingitud kaoga** (ingl *wake loss*), mis sõltub tuulikute vahekaugustest (tihedusest), C_p ja C_t teguritest (ingl *thrust coefficient*). Nt tuulepargis suurusega 8*8 MW ulatub varjutusest tingitud kadu ligikaudu 17% lähedale. Seega varjutuskadude puudumine mudelist võimaldab näidata majanduslikku tulu tegelikkusest 10-20% suuremana. Sellest tulenevalt tuleks mudelisse lisada ka tuulikute omavaheline varjutuskadu.

2. Tulu elektrienergia tootjale

Elektrienergia tootja tulu arvutamiseks mudelis korrutatakse toodetud energiakogus elektri hinna ja taastuvenergia toetusega. Ekspertide sõnul on kasutusel olev valem igati korrektne kasutades eelpool toodud parameetreid.

⁴ Energiatalgud: <https://energiatalgud.ee/index.php/M%C3%B5iste:Kasutustegur>

Elektri hinna puhul on hetkel mudelis kasutusel 2016. aasta NordSpool Spot keskmine hind (33,00 €/MWh), kuid seda tuleks ajakohastada. Ekspertide hinnangul ei ole korrektne lisada mudelisse vaid uuema aasta (nt 2018) keskmine hind, kuna elektri hinna kõikumine erinevatel aastatel on väga suur. Näiteks 2017. aastal oli keskmine hind 33,20 €/MWh ja 2018. aastal 47,07 €/MWh. Seetõttu tuleks mudelis kasutada elektri hinna väärtusena viimase kolme või viie aasta keskmist hinda Balti riikide ja Soome piirkonnas. Samuti tuleks tulevikuhinna puhul arvestada ka tavapärase inflatsioonilise hinnatõusuga, milleks on ligikaudu 2-3% aastas.

Lisaks on mudelis elektrienergia tootja tulude arvutamisel kasutatud komponendina **taastuenergia toetust**, mille järgi makstakse Eestis taastuvast allikast toodetud elektrienergia toetust 53,7 €/MWh. Ekspertide sõnul ei saa seda taastuenergia toetust meretuuleparkide puhul kasutada, kuna tulenevalt seaduse muudatusest ei mahu lisanduvad meretuulepargid senise taastuenergia toetusmehhanismi alla ning praeguse toetuse kasutavad enamasti ära maismaatuulepargid. Sellest tulenevalt võib komponent parameetrimudelis alles jääda, kuna seadused ja toetuskeemid võivad tulevikus muutuda, kuid selle väärtuseks tuleks märkida 0 €/MWh.

3. Tuulepargi rajamis- ehk investeringukulud

Tuulepargi rajamiskulud sõltuvad väga suuresti rajamise asukohast ja tingimustest (sh nii looduslikest ja tehnilistest kui ka majanduslikest ja finantsilistest). 2018. aastal oli Euroopas uue meretuulepargi rajamisel ühe MW kulu 1,6 miljonit eurot (Saksamaal) kuni 2,9 miljoni euroni (Suurbritannias) MW, mis tähendab, et hinnaerinevused on väga suured. Ekspertide hinnangul on Eestis tuulepargi rajamine kallim kui Saksamaal, eelkõige jääolude tõttu. Samas tuleb arvestada, et tehnoloogia areneb ja ka odavneb pidevalt. Eelnevast tulenevalt pakuvad eksperdid tuulepargi rajamiskuludeks Eestis 2-2,5 miljonit €/MW, millest **tuuliku alusrajatise ehitamise baaskulu** oleks ligikaudu 25% ning **muud kulud** ligikaudu 75%. Samas on mudelist hetkel puudu jääoludega arvestamise komponent, mis Eesti puhul on üheks määravaks kulu mõjutavaks teguriks. Seetõttu tuleks ekspertide hinnangul mudelisse lisada jääoludega arvestamise komponent, kuid kuna maksumuse/kulude sõltuvus jääoludes ei ole uuringute alusel teada⁵, võib selline arvestus jääda hinnanguliseks. Ekspertide sõnul võib mudelis kasutada ka minimaalset ja maksimaalset väärtust tuuliku alusrajatise ehitamise kulu hindamisel. Sel juhul peaks maksimaalne väärtus olema võimalik suur, kuna tuuleparki ehitav ettevõtte peab olema valmis vajadusel vundamenti ka ümber ehitama.

Tuuliku alusrajatise ehitamise kaugusest tulenev lisakulu on hetkel mudelis arvatud koefitsiendiga vastavalt kaugusest rannast ja sügavusest. Ekspertide hinnangul on mudelis tõlgendatud ebakorrektselt tuuliku rajamise kulu suurenemist võrreldes vee sügavuse ja kaugusega sadamast. Ekspertide sõnul peaks antud seos toimima koos ühe kaheparameetrilise funktsioonina: mida suurem on sügavus, seda enam vundamendikomponente tuleb laevale laadida ja sõitude arv suureneb, mis suure vahemaa korral tähendab olulist aja- ja kütusekulu. Lisaks tuleks ekspertide hinnangul lisakulu arvutamise puhul arvestada komponendina juurde ka kulu sõltuvus jääoludest, nt sügavusel 2-5 m on ehitusmaksumus suurem.

Tuuliku alusrajatise ehitamisel on ühenduseks maismaaga hetkel mudelisse lisatud neli Eesti **sadamat**: Paldiski, Saaremaa, Sillamäe ja Vana-Pärnu. Ekspertide hinnangul ei ole selge, millest tingituna on valitud just need sadamad. Nt. ehitusaegne baassadam peab võimaldama kuivdokus betoonist

⁵ Olemas on vaid üksikud eeluuringute aruanded. Samas, vajalikud füüsikalised parameetrid jää survetugevus, maksimaalne rüüsiää paksus eri merepiirkondades, vee sügavus jõuõla arvutamiseks on kättesaadavad.

valatavate ujutatavate gravitatsioonivundamentide valmistamist, omama kaisid enam kui 120 m pikkuste laevade vastuvõtmiseks ning kraanasid suurte raskuste tõstmiseks (8 MW tuuliku generaatoriruumi kaal on 375 tonni, iga tiivikulaba kaal 35 tonni). Lisaks on võimalik alusrajatise ehituskomponente transportimiseks kasutada ka naaberriikide sadamaid, nt Soome, Rootsi ja Läti (teatud juhtudel ka Taani ja Saksamaa sadamad). Seega tuleks mudeli täiendamisel töötada välja selgetest hindamiskriteeriumidest lähtuv baassadamate valimise tunnused.

Mere- ja maakaabli hind ja paigalduskulu on hetkel mudelis sõltuvuses tuulikute võimsusest. Ekspertide sõnul muutub merekaabli hind astmeliselt iga 400MW võimsuse kaupa (st. 400+400+400MW, sest põhivõrgu 330kV alajaama/liini liitumispunktid tuleb rajada 400MW ühikute kaupa). Lisaks on mudelis kasutatud 110 kV mere- ja maakaabli hindu, mis võimaldavad liita kuni 100 MW meretuulepargi. Samas tuuleenergeetika alammudeli ülevaates on toodud, et mudeli arvestuse aluseks on võetud minimaalselt 100 MW, mis tähendab, et ka kaablite puhul tuleks kasutada 330 kV ning arvestada nende hindu ja paigalduskulusid. Lisaks oli ekspertidele ebaselge, miks on võrguühenduste kulu arvutuste aluseks kasutatud kaugusfunktsiooni. Mudelis tuleks kajastada liitumispunktina lähimat 330 kV liini või alajaama (asuvad mandril).

Tuuliku kauguse ja täiendavate alajaamade väljaehitamise kulude arvestamisel tuleks eelnevalt tulenevalt arvestada kaugust 330 kW pingeliinist ning sellele lisanduvad ka alajaamade väljaehitamise kulud.

Lisaks on mudelis tuulepargi rajamiskulude seas ka **tasakaalustavate jaamade ehituskulud** (0,6-1,0 €/MW). Ekspertide hinnangul ei ole antud komponent mudelis vajalik, kuna Eesti seadusandlus ei kohusta ehitama tuuleparki koos salvestuse/kompenseeriva jaamaga. Elektrisüsteemi stabiilsuse ja tasakaaluga tegeleb süsteemihaldur (Eestis on selleks Elering), kes seab tootjatele ja tarbijatele liitumiseks vajalikud tingimused (sh liitumistasud). Tasakaalustamisega ei pea tegelema otseselt konkreetne tuuleelektrijaam, kuid jaam peab kandma tasakaalustamisega seonduvaid kulud. Tasakaalustav jaam, näiteks pump-hüdrojaam, on eraldiseisev elektritootja (ja tarbija), millel on iseseisev ärimudel. Tasakaalustamise teenust pakkuv ettevõtte rajab tasakaalustava jaama ja müüb sellega teenust. Tuulepargid saavad seda teenust osta ka nt välismaa ettevõttelt. Sellest tulenevalt ei ole sellise jaama maksumus otseselt tuulepargi ehituskulude komponendiks.

4. Tuuliku käitus- ja hoolduskulud

Tuuliku käitus- ja hoolduskulude üheks komponendiks on **tuuliku hooldussadama kaugusest sõltuvad käituskulud** (€/MWh). Ekspertide hinnangul tuleks modifitseerida kulud sõltuvalt tuuliku sügavusest ja lisada komponendina juurde jääoludega arvestamine. Sügavusel 2-5m on hooldusmaksumus kõrgem, samuti rüüsiää piirkonnas. Võimalusel tuleks jääoludega arvestamisel kasutada jääolude kaarti. Samas, kuna antud valdkonnas on varasemaid uuringud vähe, võivad need tulemused jääda hinnangulisteks. Ekspertidele jäi ka arusaamatuks, miks on hooldussadama kaugusest sõltuv käitluskulu kauguse ja tuulikupargi võimsuse või nominaalse võimsustiheduse (MW/km²) asemel sõltuvuses toodangu mahust (€/MWh).

Tuuliku fikseeritud käituskulud on hetkel mudelis arvestatud 31% kõigist käituskuludest ning esitatud €/MWh arvestuses. Ekspertide sõnul tuleks fikseeritud käituskulud lahutada toodangu kogusest, sest Eesti rannikul on meretuuleparkidel keskmisest pigem väiksem toodang võimsuse ühiku kohta. Sellest tulenevalt tuleks esitada toodangust sõltumatud käituskulud MW kohta. Samuti tuleks parameetri väärtust diferentseerida Eesti mereala ulatuses proportsionaalselt vastavalt jääkatte kestusele ning

jääklassiga ja tavalise laeva rendimäära suhtele. Ilma seda arvestamata ei kajastaks tulemus adekvaatselt mereala ruumilisi suhteid tulude/kulude osas.

5. Tuuliku likvideerimiskulud

Tuuliku likvideerimiskuluna on mudelis toodud 130 000 €/MW. Ekspertide sõnul puuduvad mahukad teadusuuringud meretuuleparkide likvideerimise kohta, samuti puuduvad selle kohta arvestatavad praktikad. Kuna tuuliku likvideerimine sõltub väga paljudest teguritest, sh tuuliku vundamendist, suurusest, turuolukorrast jne, siis võib sama töö eest erinevatel aegadel tasuda erinevaid hindu. Tänapäeval on praktikaid, kus aastaid töötanud meretuuleparki uuendatakse võimsamate tuulikutega ning sellisel juhul on vanade seadmete likvideerimiskulu osaks uue pargi ehituskuludest. Sellest tulenevalt hindavad eksperdid tuuliku likvideerimiskulu hinna määramist tänases oludes väga spekulatiivseks. Samas, Keskkonnaministeeriumi tellitud uuringu⁶ kohaselt on meretuuleparkide likvideerimiskulu suurusjärgus 1% rajamiskulust, mis on väiksem kui mudelis toodud number.

6. Riigi tulu meretuuleenergia tootmise ja tarbimise maksustamisest

Tuuleenergeetika alammudel arvestab riigi tuludena nii elektri toomisest kui ka tarbimisest saadavat kasu. Ekspertide hinnangul tekitab selline arvestus mudeli loogikas segadust, kuna elektri tarbimine ja sellest saadav kasu riigile tekib nii või naa ja ei sõltu otseselt meretuulepargi rajamisest. See tähendab, et elanikud tarbivad elektrit olenemata, kas rajatakse meretuulepark või mitte, ning sellelt tarbimiselt laekub riigile aktsiis ja käibemaks. Aktsiisi ja käibemaksuga maksustatakse tarbimist, mitte tootmist ning seetõttu ei ole mudelis [elektriaktsiis](#) ja [käibemaks](#) toodetud elektri siseriiklikust tarbimisest vajalikud komponendid. Lisaks mida rohkem tuuleparke rajatakse, seda enam on suund energia ekspordile.

Eelnevalt tulenevalt sõltuks riigi tulu meretuuleenergia maksustamise komponent vaid tuulepargi alla jääva mereala hinnast, mis sõltub tootmismaa Eesti keskmisest hinnast ja tuulepargi hoonestusõiguse tasu määrest.

7. Riigi tulud tuuleparkide ehitamise ja käitamise kohalikest tuludest

Tuuleparkide ehitamise ja käitamise puhul saab riik tulu peamiselt [tööjõumaksudelt](#) (nii alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamise kulud, tuulepargi käitamise kulud kui ka muud tööjõukulud, mis on seotud tuulepargi rajamise ja käigus hoidmisega). Tööjõumaksud on mudelisse lisatud arvestades Suurbritannia meretuuleparkide kulukomponentide jagunemise analüüsi, mis ei ole küll üks-üheselt Eestile ülekantav. Ekspertide hinnangul on kasutatud valemid korrektsed, kuid võrdlusena tuleks kasutada Eesti maismaatuuleparkide andmeid ja proportsioone, lisades sinna otseselt merel/sadamates töötamisega seotud personali osakaalu.

Uue soovitava komponendina töid eksperdid välja [dividendidelt makstava tulumaksu](#), mille tuulepargi omanik peab tasuma riigile. Praeguses mudelis seda parameetrit ei ole, mis võib tekitada arvamuse, et meretuulepargi rajamisel ei ole võimalik kasumit teenida.

⁶ Veemaa, J., Mardiste, P., Kiisel, M., Aksen, M., Trumm, E., Hõrak, H., Vahaste-Pruul, S., Puolokainen, T., Karlõševa, A., Pajupuu, S., Vipp, M. (2018) Finantsgarantii vahendid kui keskkonnastutuse tööriistad. Tartu: Tartu Ülikool. Lk 82 (viidatud Tuuleenergia Assotsiatsioonile)

8. Tuulikute ekspuaterimist piiravad ja suunavad tegurid

Mudelis on tuulikute ekspuaterimist piiravate ja suunavate teguritena käsitletud mere maksimaalset ja minimaalset sügavust tuulikutele (m), tuuliku minimaalset kaugust rannajoonest (m), kaabli maksimaalset mahtu (MW), tuuliku ekspuaterimise aega (aasta) ja tuulikute hooldamiseks kasutatavaid sadamaid. Piiravad ja suunavad tegurid olid ekspertiisi läbiviimisel ühed kõige enam erihinnanguid tekitavaid parameetreid.

Mere maksimaalse sügavusena on hetkel mudelis määratud väärtusega 40 m. Ekspertide hinnangud mere maksimaalsest sügavusest tuulikute paigaldamiseks olid erinevad, mistõttu ei anna ekspertiisi tulemused selles osas konkreetset vastust. Ühelt poolt arvati, et kuna rahvusvahelise praktika kohaselt rajatakse tuuleparke ka 50 m sügavusele, siis ei ole põhjust, miks Eestis peaks piirduma vähemaga. Samas arvestades piirkonna eripära (eelkõige jääolud), siis oli teistpidi arvamus, et maksimaalne sügavus peaks väiksem olema, nt 35 m. Kuna jääoludega arvestamise komponendi puudumist on ka mitmes varasemalt toodud parameetri arvestamise juures olulise puudusena välja toodud, siis tasuks kaaluda uuringu läbiviimist analüüsima jääolude mõjusid meretuuleparkide rajamisel ja käitamisel.

Mere minimaalse sügavusena on hetkel mudelis määratud väärtuseks 2 m, mis on ekspertide hinnangul liiga vähe. Suurte tuulikute (nt 8 MW, rääkimata 10 MW) püstitamiseks kasutatakse erilaevaid ning nende süvis ei võimalda teostada töid 2 m sügavusel vees (erilaevade süvis on ligikaudu 5 m). Sellest tulenevalt soovivad eksperdid mere minimaalseks sügavuseks määrata mudelis vähemalt 4 m.

Mudelis on **tuuliku minimaalseks kauguseks rannajoonest** märgitud hetkel 0 m. Ekspertiisi tulemused ei anna konkreetset vastust parameetri väärtuse sobivuse kohta. Ühelt poolt oli hinnang, et sotsiaalse rahu tagamiseks peaks miinimumväärtus olema vähemalt 3000 m kuni 12 000 m. Teiselt poolt arvati, et praegune väärtus on sobilik. Kuna antud parameeter ei ole otseselt seotud majanduslike aspektide ega sellest põhjustavate piirangutega, siis tuleks antud juhul sobiva väärtuse välja selgitamisel lähtuda sotsiaalsetest hinnangutest ja nende analüüsist, mida see ekspertiis ei käsitlenud.

Kaabli maksimaalse mahuna on mudelis hetkel määratud 100 MW. Ekspertide sõnul peaks meretuulepargi liitumiskulu kompenseerimiseks rajatav meretuulepark olema oluliselt suurem kui 100 MW, maksimaalseks piiriks hinnati olevat 1600 MW. Teise variandina arvati, et mudel peaks võimaldama ka paralleelsete kaablite paigaldamist. Sel juhul võiks ühe kaabli maksimaalne maht olla 600 MW.

Tuuliku ekspuaterimise ajana on mudelis hetkel 20 aastat. Arvestades tehnoloogia arengut ja senist rahvusvahelist praktikat, siis hindasid eksperdid vastavaks ajaks pigem rohkem, nt 25-30 aastat.

Tuulikute hooldussadamate puhul on mudelis kasutatud sadamaid sügavusega üle 2 m (kokku 32 sadamat). Kuigi tuulikute hooldamine sõltub konkreetsetest tingimustest (nt mõnede tuulikute puhul on vajalik kasutada hooldamisel erilaevaid, mis on suurema süvisega kui 2 m), siis üldiselt pidasid eksperdid antud väärtust sobilikuks.

Ettepanekud mudeli arendamiseks

Ekspertiisi tulemusena selgus, et tuuleenergeetika majandusliku kasu mudel on oma põhiloogikalt korrektne ning mudeli üldine ülesehitus ja sisu sobilikud. Samas, mudeli eesmärgipäraseks kasutamiseks, milleks on Eesti mereala ulatuses tuuleenergia majanduslik kasu varieeruvuse hindamine, on vajalik viia läbi mõningad parandus- ja täiendustegevused, on võimaldavad parandada mudeli tulemuste kvaliteeti ja ajakohasust. Mudeli täiendamiseks on vajalik arvutusalgoritmide ümbertegemine ja lähteandmete kogumine koos parameetrite valideerimisega. See tõstaks mudeli usaldusväärsust poliitikakujundamise ja otsuste tegemise alusena.

Järgnevalt on toodud tuuleenergeetika mudeli ekspertiisi tulemusena tehtud parandus- ja täiendusettepanekud vajalike tegevuste lõikes. Ekspertide detailsed soovitusel mudeli täiendamiseks parameetrite lõikes koos näidetega on toodud eelmises peatükis mudeli ekspertiisi tulemuste kirjelduses.

- **Põhivalemite kontroll ja parandamine**

Ekspertide hinnangul tuleks mudeli põhivalemid üle kontrollida ning nende sisu vajadusel täiendada/täpsustada, kuna praegusel juhul on mudelis kasutatud mõningatel juhtudel ebakorrektsed valemeid. Nt vajavad parandamist tuuleenergia potentsiaalse toodangu (MWh/aastas) ja sügavuse ja kauguse mõju rajamiskuludel valemeid.

- **Parameetrite väärtuste ajakohastamine**

Mudelis on muudetavate väärtustena hetkel märgitud mitmed tänaseks vananenud väärtused, mis vajavad uuendamist tulenevalt tehnoloogilistest arengutest, samuti tänu lisandunud kogemustele ja praktikale. Sellisteks parameetrite väärtusteks on nt tuuliku käigusoleku aeg, tuuliku nimivõimsus, tuulikute vahekaugus, elektri hind, jmt.

- **Parameetrite väärtuste dünaamiliseks muutmine**

Hetkel on mudelis enamasti rakendatud parameetritel konstantseid väärtusi. Samas, kui mudeli eesmärgiks on leida Eesti merealalt tuuleenergeetika jaoks kasumlikumad ja vähemtulusamad piirkonnad, siis tuleks võimalikult palju arvestada keskmiste asemel lokaalseid tegureid (nt tuule kiiruse ja -energia sõltuvus pinnakaredusest ehk kaugusest rannikust, jääolud, kaugus ehitus- ja hooldussadamatest ning 330 kV põhivõrgust), mis võimaldavad GIS-põhisel mudelil võimalikult täpselt optimaalseimate asukohtade ruumiliselt identifitseerida.

- **Jääoludega arvestamise komponendi lisamine**

Ekspertide hinnangul on jääoludega arvestamine Eesti merealal vältimatu, mistõttu tuleks mudelisse kindlasti lisada jääoludega arvestamise komponent. Jääolud mõjutavad mitmeid tuuleenergia majandusliku kasu arvestamise komponente, mistõttu tekitab komponendi väljajäämine kõrge veaprotsendi. Jääolud mõjutavad tuulepargi rajamis- ehk investeeringukulud, tuulikute käitus- ja hoolduskulud ning tuulikute rajamiseks maksimaalse sügavuse määramist. Jääoludega arvestamise

komponendi puudumine mõjutab oluliselt summaarse majandusmudeli kasutatavust ja kallutab tulemust ebaproportsionaalselt Väinamere, Soome lahe idaosa ning Liivi lahe kasuks ning kahandab ebaõigelt Läänemere avaosa ning Soome lahe lääneosa tulemust. Jääoludega arvestamise kohta meretuuleparkide rajamisel puuduvad piirkondlikud teaduslikud uuringud ning olemas on füüsilised näitajad. Seetõttu tasuks kaaluda uuringute tellimist, mis võimaldaks jääoludega arvestamise komponendi mudelisse lisada.

- **Parameetrite lisamine ja väljajätmine**

Lisaks jääoludele tuleks kaaluda mudelisse uue parameetrina dividendidelt makstava tulumaksu lisamist riigi tulude juurde. Samas on mudelis hetkel üleliigsed taastuenergia toetuse parameeter, mis tänases seadusandluses oleks 0 väärtusega, kuid mis võib siiski parameetrina alles jääda (juhuks kui regulatsioonid peaksid muutuma), ning tasakaalustavate jaamade ehituskulud, mis ei ole otseselt tuuleparki rajava ettevõtte kuluks.

- **Tundlikkuse analüüsi läbiviimine**

Mudeli parandamisel tuleks kindlasti kaaluda sisendparameetrite tundlikkuse analüüsi läbiviimist, mis võimaldab pöörata suuremat tähelepanu muutujatele, mille mõju mudeli tulemustele on suurem ja leppida täpsemate andmete nappusel vähemmõjutavate tegurite puhul üldistavate väärtustega. Tundlikkuse analüüsi läbiviimine võimaldab oluliselt suurendada mudeli kasutuskõlblikust ning parandada sellega saadavate tulemuste väärtust.

Ekspertiisi läbiviimise sisendid

- Ekspertide hinnangud:
 - a. Viktor Joasaare – eksperthinnang esitatud 7. juuni 2019.
 - b. Kuido Kartau – eksperthinnang esitatud 7. juuni 2019.
 - c. Ain Kull – eksperthinnang esitatud 21. juuni 2019.
 - d. Ivo Palu – eksperthinnang esitatud 21. juuni 2019.
- Piirimäe, K. (2019). Ülevaade Eesti mereala majandusliku kasu mudeli alammudelitest: tuuleenergeetika, kalandus, meretransport, vesiviljelus. Tartu Ülikool, OÜ Roheline Rada
- SA Poliitikauuringute Keskus Praxis (2017). Merekeskkonna ressursside majandusliku kasu mudel. Ametlik kodulehekülg: [<http://www.praxis.ee/tood/merekeskkonna-ressursside-majandusliku-kasu-mudel/>]

Mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiisi läbiviimine –
tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis
Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm

Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm

Tulu/Kulu liik	Parameeter	Parameetri liik	(Vaike)väärtus	Allikas	Juba tehtud parandusettepanek	Ekspert hinnang parameetritele, selle vaikeväärtusele ja/või arvutusvalemile
Toodetav energiakogus aastas ($\frac{1}{2}\rho * A * V^3 * C_p * 8760 * \text{Rayleigh jaotuse väärtus}$)	Tuuliku käigusoleku aeg, h/a	Muudetak parameeter	8060 ehk 90%	Intervjuud: Üldjuhul lähtutakse, et tuulik peab töökorras püsima vähemalt 90-95%	ranniku lähedal 95% ja avamerel (alates 10 km) 98%	
	Tuuliku kasutegur (0 – 1)	Muudetak (ja tuulekiirusest sõltuv) parameeter	0,47	Euroopa tuuleenergia assotsiatsioon WindEurope, 2017; intervjuud	Kasutegur määrata dünaamilisena – sõltuvalt tuulekiirusest	
	Tuuliku nimivõimsus, MW	Muudetak parameeter - (sh tuuliku laba pikkusest sõltuv - vt eraldi leht)	8	Desmond, et al (2016), Description of an 8 MW reference wind turbine. Journal of Physics: Conf. Ser. 753 092013		
	Tuule keskmine kiirus, M/s	Mõõdetav ja modelleeritud parameeter	-	Tuulekaart, kus on modelleeritud 103 nm kõrgusele		
	Rayleigh jaotuse väärtus (Põhja-Euroopa keskmine tuultele avatud kohtades)			2		
	Tuulikute tihedus (vahekaugus), km	Muudetak parameeter		1	Intervjuud: Ain Kull TÜst ning Tuuliki Kasonen ja Siim Paist Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioonist.	
Tulu elektrienergia tootjale (kogus*hind ja toetus)	<i>Toodetav energiakogus aastas</i>	Arvutatav parameeter				
	Elektri hind, EUR/MWh	Muudetak parameeter	33	NordSpool Spot 2016 keskmine hind	Asendada 2018 aasta keskmise hinnaga	
	Taastuenergia toetus, EUR/MWh	Muudetak parameeter	53,7			

Mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiisi läbiviimine –
tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis
Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm

Investeeringukulud	Tuuliku alusrajatise ehitamise baaskulu, EUR/MW	Muudetav parameeter	1480000	Smart, et al, 2016, IEA Wind Task 26 – Offshore Wind Farm Baseline Documentation; Jääolude mõju osas uurimused puuduvad; Kitzing ja Morthorst 2015; Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon		
	Tuuliku alusrajatise ehitamise kaugusest tulenev lisakulu (kaugust teenindavast sadamast)	Mõõdetav ja arvutatav parameeter	vt leht "Rajamise kulu kaugus sügavus"	Green ja Vasilakos, 2011 tabeli alusel	Modifitseerida sügavusest sõltuvust ja lisada jääoludest sõltuvus - 2-5 m on ehitusmaksumus kõrgem; jääoludest (kasutada jääolude kaarti) sõltuvalt on ehitusmaksumus kõrgem	
	Tuulikute alusrajatiste ehitamiseks kasutatavad sadamad	Sisendandmed	Paldiski lossimiskoht, Saaremaa, Sillamäe, Vana-Pärnu			
	Tuuliku rajamise muud kulud, EUR/MW	Muudetav parameeter	1850000	Kitzing ja Morthorst 2015; IRENA, 2012		
	Merekaabli hind ja paigalduskulu, EUR/m	Muudetav parameeter	1300	AS Eleringi hinnang		
	Maakaabli hind ja paigalduskulu, EUR/m	Muudetav parameeter	600	AS Eleringi hinnang		
	Kaugus põhivõrgust/alajaamast	Mõõdetav parameeter	-		Arvestada kaugust 330kW kõrgepingeliinist, lisanduvad alajaamade väljaehitamise kulud	
	Täiendavate alajaamade väljaehitamise kulud	Arvutatav parameeter	-			
	Tasakaalustavate jaamade ehituskulud, eurot /MW	Muudetav ja arvutatav parameeter	600000-1000000	Kruus 2011	Lisada mudelisse (kuigi määramatus suur)	
Tuuliku käitus- ja hoolduskulud	Tuuliku hooldussadama kaugusest sõltuvad käituskulud, EUR/MWh	Muudetav parameeter	24,15	IRENA, 2012	Modifitseerida sõltuvalt sügavusest ja jääoludest- 2-5 m on hooldus-maksumus	

Mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiisi läbiviimine –
tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis
Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm

					kõrgem; jääoludest (rüsijää) sõltuvalt on hooldusmaksumus kõrgem	
	sh tööjõukulud, EUR/MWh (7% kõigist käitluskuludest)	Muudetav parameeter	2,45			
	sh varuosad, EUR/MWh (20% kõigist käitluskuludest)	Muudetav parameeter	7			
	sh. transpordikulud, EUR/MWh (42% kõigist käitluskuludest)	Muudetav parameeter	14,7			
	Tuuliku fikseeritud käitluskulud (31% kõigist käitluskuludest)	Arvutatav parameeter	-			
Tuuliku likvideerimiskulu	Tuuliku likvideerimiskulu, EUR/MW	Muudetav parameeter	130000	Kaiser, M.J. and B. Snyder (2011). Offshore Wind Energy Installation and Decommissioning Cost Estimation in the U.S. Outer Continental Shelf. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Regulation and Enforcement, Herndon, VA. TA&R study 648. 340 pp		
Riigi tulu meretuuleenergia tootmise ja tarbimise maksustamisest	Tuulepargi alla jääva mereala hind = a*b	Arvutatav parameeter	-			
	a) Tootmismaa Eesti keskmise väärtuse alusel arvutatud hind, EUR/m2	Muudetav parameeter	1,09	Kehtiv 2001.a. korralise maa hindamise tulemus		
	b) Tuulepargi hoonestusõiguse tasu määr, %	Muudetav parameeter	7			
	Elektriaktsiis toodetud elektri siseriiklikust tarbimisest = a*b*c	Arvutatav parameeter	-			
	a) Elektriaktsiisi määr, eurot MW/h	Muudetav parameeter	447%			
	b) Meretuuleparkides toodetud elektri siseriikliku tarbimise osakaal, %	Muudetav parameeter	0%		Või arvestada Eesti elektrienergia väliskaubanduse bilansi proportsiooni.	

Mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiisi läbiviimine –
 tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis
 Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm

	c) Tuulepargis toodetud elektrienergia summaarne hind	Arvutatav parameeter	-			
	Käibemaks toodetud elektri siseriiklikust tarbimisest = $a*b*(c+d)$	Arvutatav parameeter	-			
	a) Käibemaksu määr (0 – 1)	Muudetav parameeter	0,2			
	b) Meretuuleparkides toodetud elektri siseriikliku tarbimise osakaal, %	Muudetav parameeter	0%			Või arvestada Eesti elektrienergia väliskaubanduse bilansi proportsiooni.
	c) Tuulepargis toodetud elektrienergia summaarne hind	Arvutatav parameeter	-			
	d) Tuulepargis toodetud elektrienergia summaarne aktsiis	Arvutatav parameeter	-			
Riigi tulud tuuleparkide ehitamise ja käitamise kohalikest tuludest	Tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamisest saadavad tulud töötajumaksudest = a) Tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamise kulud*b) Tööjõukulude osa tuulepargi rajamise kuludest (0 -1)*c) Kohalike töötajukulude osakaal tuulepargi rajamisel*d) Töötajumaksude määr, sh tulu- ja sotsiaalmaks (0 -1)	Arvutatav parameeter	-	BVG Associates 2010		
	b) Tööjõukulude osa tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu kuludest (0 -1), %	Muudetav parameeter	20			
	c) Kohalike töötajukulude osakaal tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamisel, %	Muudetav parameeter	20			
	Tuulepargi rajamise muudest kuludest saadavad tulud töötajumaksudest = a) Tuulepargi rajamise muud kulud*b) Tööjõukulude osa tuulepargi rajamise muudest kuludest (0 -1)*c) Kohalike töötajukulude osakaal tuulepargi rajamisel*d) Töötajumaksude määr, sh tulu- ja sotsiaalmaks (0 -1)	Arvutatav parameeter	-			
	b) Tööjõukulude osa tuulikut rajamise muudest kuludest (0 -1), %	Muudetav parameeter	45			

Mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiisi läbiviimine –
 tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis
 Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm

c) Kohalike tööjõukulude osakaal tuulepargi rajamise muudest kuludest, %	Muudetav parameeter	10			
Tuulepargi käitamisest saadavad tulud tööjõumaksudest = a) Tuulepargi käitamise kulud*c) Kohalike tööjõukulude osakaal tuulepargi käitamisest*d) Tööjõumaksude määr, sh tulu- ja sotsiaalmaks (0 -1)	Arvutatav parameeter	-			
c) Kohalike tööjõukulude osakaal tuulepargi käitamise muudest kuludest, %	Muudetav parameeter	21			
Tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamisest saadavad tulud muudest kuludest = a) Tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamise kulud*b) Muude kulude osa tuulepargi rajamise kuludest (0 -1)*c) Kohalike muude kulude osakaal tuulepargi rajamisest*d) Käibemaksu määr (0 -1)	Arvutatav parameeter	-			
b) Muude kulude osa tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu kuludest (0 -1), %	Muudetav parameeter	80			
c) Kohalike kulude osakaal tuulepargi alusrajatise ja ülekandevõrgu rajamise muudest kuludest, %	Muudetav parameeter	30			
Tuulepargi rajamise muudest kuludest saadavad tulud muudest kuludest = a) Tuulepargi rajamise muud kulud*b) Muude kulude osa tuulepargi rajamises muudes kuludest (0 -1)*c) Kohalike muude kulude osakaal tuulepargi rajamise muudest kuludest *d) Käibemaksu määr (0 -1)	Arvutatav parameeter	-			
b) Muude kulude osa tuulikute rajamise muudest kuludest (0 -1), %	Muudetav parameeter	55			
c) Kohalike muude kulude osakaal tuulepargi rajamise muudest kuludest, %	Muudetav parameeter	30			

Mereala majandusliku mõju mudeli ekspertiisi läbiviimine –
 tuuleenergeetika alammudeli ekspertiis
 Lisa 1. Ekspert hinnangu andmise vorm

	Tuulepargi käitamisest saadavad tulud muudest kuludest = a) Tuulepargi käitamise kulud)*c) Kohalike muude kulude osakaal tuulepargi käitamisel*d) Käibemaksu määr, sh tulu- ja sotsiaalmaks (0 -1)	Arvutatav parameeter	-			
	c) Kohalike muude kulude osakaal tuulepargi käitamise muudest kuludest, %	Muudetav parameeter	36			
Tuulikute ekspuuteerimist piiravad ja suunavad tegurid	Mere maksimaalne sügavus tuulikule, m	Muudetav parameeter	40			
	Tuuliku minimaalne kaugus rannajoonest, m	Muudetav parameeter	0			
	Kaabli max maht, MW	Muudetav parameeter	100			
	Tuuliku ekspuuteerimisaeg, a	Muudetav parameeter	20	Bulder, B., van Roermund, M. (2016), Lifecycle and decommissioning offshore wind. ECN		
	Mere minimaalne sügavus tuuliku rajamiseks, m	Fikseeritud parameeter	2			
	Tuulikute hooldamiseks kasutatavad sadamad		Sadamad sügavusega üle 2m - kokku 32 sadamat			

Lisa 2. Lisamaterjal mudeli täiendamiseks

Weibull Distribution:

$$p(U) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

$$F(U) = \int_0^U p(U') dU' = 1 - \exp\left[-\left(\frac{U}{c}\right)^k\right]$$

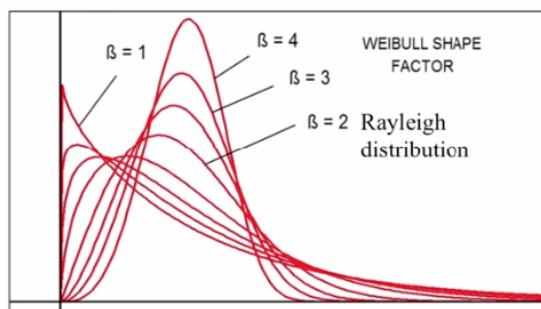
Probability of wind speed at or lower than U .

$k \sim 2$: shape factor

$c \sim \bar{U}$: scale factor

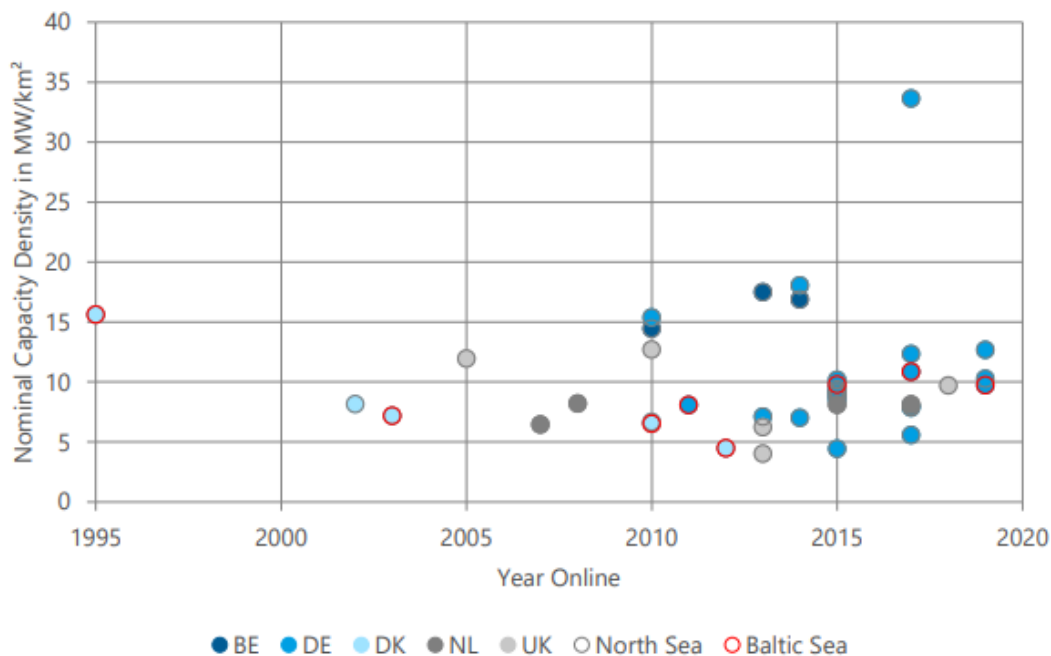
$$p(U) = \frac{dF(U)}{dU}$$

$$p(U)dU = dF(U)$$



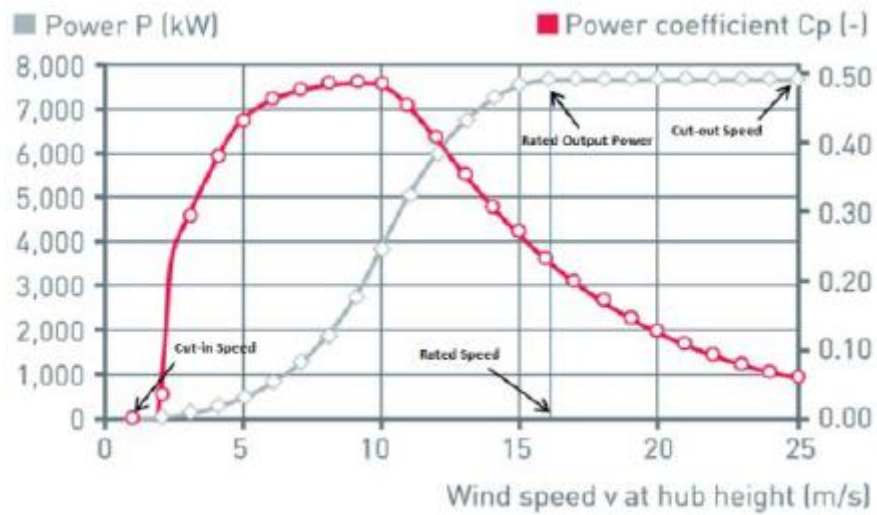
Joonis 1. Weibulli jaotuse erijuhtumiks on Rayleigh jaotus juhul kui jaotuse kujuparameeter $k=2$ (antud joonisel kujuparameeter k tähistatud β)

Allikas: Weibull Rayleigh distribution (<https://www.coursera.org/lecture/wind-for-renewable-energies/weibull-rayleigh-distribution-gwGjy>), välja otsitud eksperdi poolt



Joonis 2. Läänemere tuulikuparkide tüüpiline nominaalne võimsustihedus (MW/km^2) jääb 5- 10 MW/km^2 vahele, varieerudes vähem kui Põhjamere arendusaladel

Allikas: Deutsche WindGuard GmbH, 2018, välja otsitud eksperdi poolt



Joonis 3. Tuuliku võimsus kõver ja Cp kõver sõltuvalt tuule kiirusest.

Allikas: Power curve of wind turbine (Enercon ltd), välja otsitud eksperdi poolt

Wind speed [m/s]	Power [kW]	Cp [-]	Thrust [kN]	Ct [-]
4	110	0.13	190	0.92
4.5	350	0.3	232	0.88
5	600	0.37	273	0.85
5.5	850	0.39	324	0.83
6	1140	0.41	381	0.82
6.5	1490	0.42	440	0.81
7	1900	0.43	505	0.8
7.5	2370	0.43	573	0.79
8	2900	0.44	648	0.78
8.5	3500	0.44	723	0.77
9	4155	0.44	800	0.76
9.5	4870	0.44	876	0.75
10	5630	0.44	945	0.73
10.5	6420	0.43	1014	0.71
11	7150	0.42	1052	0.67
11.5	7610	0.39	1028	0.6
12	7865	0.35	972	0.52
12.5	7940	0.31	905	0.45
13	7970	0.28	847	0.39
13.5	8000	0.25	801	0.34
14	8000	0.23	765	0.3
14.5	8000	0.2	730	0.27
15	8000	0.18	700	0.24
15.5	8000	0.17	668	0.22
16	8000	0.15	644	0.19
16.5	8000	0.14	624	0.18
17	8000	0.13	604	0.16
17.5	8000	0.12	587	0.15
18	8000	0.11	571	0.14
18.5	8000	0.1	557	0.13
19	8000	0.09	542	0.12
19.5	8000	0.08	528	0.11
20	8000	0.08	516	0.1
20.5	8000	0.07	505	0.09
21	8000	0.07	497	0.09
21.5	8000	0.06	486	0.08
22	8000	0.06	476	0.08
22.5	8000	0.05	472	0.07
23	8000	0.05	461	0.07
23.5	8000	0.05	454	0.06
24	8000	0.04	445	0.06
24.5	8000	0.04	442	0.06
25	8000	0.04	437	0.05

Note: Cp – Power coefficient.
 Ct – Thrust coefficient.

Joonis 4. Vestas V-164 (8MW) prototüübi võimsuskõver, Cp ja Ct kõver sõltuvalt tuule kiirusest

Allikas: välja otsitud eksperdi poolt