



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EESTI MEREAKADEEMIA  
Merehariduskeskus

Martin Nässi

**Meretuuleparkide nähtavuse hinnang meresõiduohutuse tagamiseks  
Eestis**

Lõputöö

Juhendaja: dotsent Inga Zaitseva- Pärnaste

Tallinn 2023

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Martin Nässi

.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 193127VDVR

Üliõpilase e-posti aadress: marnas@taltech.ee

Juhendaja dotsent Inga Zaitseva-Pärnaste

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Inga Zaitseva-Pärnaste

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

# Sisukord

|   |    |
|---|----|
| Annotatsioon.....                                 | 4  |
| Sissejuhatus .....                                | 5  |
| 1. Teoreetiline osa.....                          | 6  |
| 1.1 Rohepööre.....                                | 6  |
| 1.2 Meretuulepark.....                            | 7  |
| 1.2.1 Tuuleenergeetika areng Eestis .....         | 8  |
| 1.3 Meresõiduohutus .....                         | 9  |
| 1.4 Nähtavuskauguse määramine .....               | 10 |
| 1.4.1 ArcGis pro .....                            | 12 |
| 1.5 Eesti kliima .....                            | 13 |
| 2. Nähtavuskauguse analüüsi metoodiline osa ..... | 14 |
| 2.1 Objekt .....                                  | 14 |
| 2.2 Tuulikud.....                                 | 15 |
| 2.3 Horisontaalne nähtavuskaugus .....            | 16 |
| 2.4 Laevaliikluse muster valitud piirkonnas.....  | 17 |
| 3. Tulemused .....                                | 19 |
| 3.1 Ideaalne nähtavus .....                       | 19 |
| 3.2 Halb nähtavus .....                           | 22 |
| 3.3 Simulatsioon .....                            | 22 |
| Kokkuvõte .....                                   | 26 |
| Võõrkeelne lühikokkuvõte .....                    | 27 |
| Kasutatud kirjandus .....                         | 28 |

## **Annotatsioon**

Antud töös uuris autor, kuidas tuulepargi rajamine mõjutab navigatsioonimärgistuse nähtavust ning kuidas tuulikud on märgatavad meresõiduohutuse vaatepunktist erinevates ilmastiku oludes. Nähtavuskauguse analüüs ja modelleerimine teostati ArcGis Pro tarkvaraga. Lisaks kasutades reaalaaja simulatsioone (joonised 17-22) vaadeldi Kihnu tuletorni tule nähtavust tuulepargi ala erinevatest nurkadest. Halvimate olukordade analüüsimiseks vaadeldi, kui kiiresti triivib juhitavuse kaotanud laev avarii ohtlikusse olukorda. Sellest järeldati, et ühe meremiili kauguselt triivib laev kokkupõrke ohuni umbes 45-50 minutiga.

Uuringu raames lisati ka soovitusi ja tähelepanekuid ohutuse parandamiseks ja loomiseks planeeritava tuulepargi alal.

Märksõnad: tuulepark, nähtavuskaugus, meresõiduohutus, navigatsioonimärgistus, ArcGis Pro, simulaator.

## Sissejuhatus

Maailm liigub aina rohkem süsiniku neutraalsuse suunas. Selle saavutamiseks on vaja teha mitmeid olulisi muudatusi energia tootmises, tarbimises ja üldises elustiilis. Seda kõike on vaja selleks, et ka näiteks paarisaja aasta pärast oleks meie tulevaselt põlvkondadel täisväärtuslik elupaik. Juba praegu näeme muutusi maailmas, millel ei ole leevenemise märke. Olgu siis selleks näiteks ilmastiku ebastabiilsus üle kogu planeedi. Seda näitab näiteks tormide tugevnemine, suviste põudade tihenemine ja talvede soojused.

Vaadata energeetikat, tuleks asendada reostav energia tootmine rohelisega. Tuulepargid on selleks heaks alternatiiviks. Eestigi on võtnud suuna meretuuleparkide ja väikese tuumajaama kasutusele võtmiseks. (Valitsus, Rohepoliitika, 2023)

Eesti mereala planeeringuga kehtestas riik rannikumerre kolm ala, kuhu rajatakse meretuulepargid. Meretuulepargid on potentsiaalsed ohud laevaliiklusele ning antud töös uurib autor meretuuleparkide nähtavust laevade jaoks erinevatel ilmatingimustel. Uuringu käigus vaatleb autor kuidas laevad tuulikuid märkavad erinevate ilmastikuolude käigus ning kuidas erinev tuulikute märgistus on visuaalselt eristatav laevade poolt.

Nende punktide uurimiseks kasutab autor ArcGis Pro tarkvara, Mereakadeemia simulaatorit ja Keskkonnaagentuuri poolt saadud hüdro meteoroloogilisi andmeid. Uuringutes lähtub autor visuaalse mõju hindamise juhendist, mis on välja antud konkreetselt Eesti meretuuleparkide seadusi ja nõudmisi arvestades. Lisaks kasutab autor ka soovitusi erinevatest sarnastest töödest üle maailma.

# 1. Teoreetiline osa

## 1.1 Rohepööre

Rohepööre on oluline ja muutub aina olulisemaks seetõttu, et kliimamuutused, ületarbimine, keskkonnaseisundi halvenemine, raiskav eluviis on inimkonna selleni viinud. Rohepööre ei kao kuhugi, vastupidi iga aastaga muutub aina aktuaalsemaks, sest võimalikud tagajärjed on katastroofilised, kui sellega ei tegeleta. Juba praegu on näha tagajärgede algeid. (Komisjon, 2022) Tagajärgede vähendamiseks ning võimalusel pöördumatute protsesside ära hoidmiseks on Euroopa Liit koostanud „Rohelise Kokkuleppe“ (Valitsus, Rohepoliitika, 2023). Selle kokkuleppe eesmärk on muuta Euroopa 2050. aastaks kliimanetraalseks ja jätkusuutlikuks. Sarnaseid leppeid on tehtud ka mujal riikides üle maailma, kuid paljud riigid ei ole sellega liitunud, ega seadnud endile eesmärke kliimanetraalsuse saavutamiseks. (Komisjon, 2022)

Euroopa kliimalepe sisaldab juhtnöore ja näpunäiteid, kuidas seatud eesmärkideni jõuda. Näiteks energia tootmise muutmist fossiilselt ja saastavalt roheliseks ning jätkusuutlikuks; hoonete energiatõhususe parandamist, rannikualade kaitset, säästvat transporti ja väiksema tarbimisjäljega ühiskond. Selleks, et motiveerida riike kliimaleppe nimel pingutama on eesmärke saavutanud riikidel mõeldud suuremad toetused ja võimalused arendada projekte, milleks muidu vahendeid ei jagu. (Komisjon, 2022)

Eesti oli mitmeid aastaid energeetika kohalt paigalseisus - piirati tuuleparkide ehitusi nii riigi kui eraomanike jaoks. Lisaks ei olnud kindlat strateegiat edasi liikumiseks. Viimse paari aastaga on viga parandatud ning nüüd liigub Eesti riik oma strateegias jõudsalt edasi. Oma tõuke rohepöörde kiirendamisele on andnud ka sõda Ukrainas. Hetkestrateegia kohasel on plaan ehitada mitmeid meretuuleparke, mis kataksid keskmise võimsusega Eesti tarbimise ära ka mitmete aastate pärast. Lisaks on planeeritud tühimikude täiteks rajada väike tuumajaam 2030. aastaks ning toetada eraomandite päikeseenergia tootmist omatarbeks. (Valitsus, Rohepoliitika, 2023)

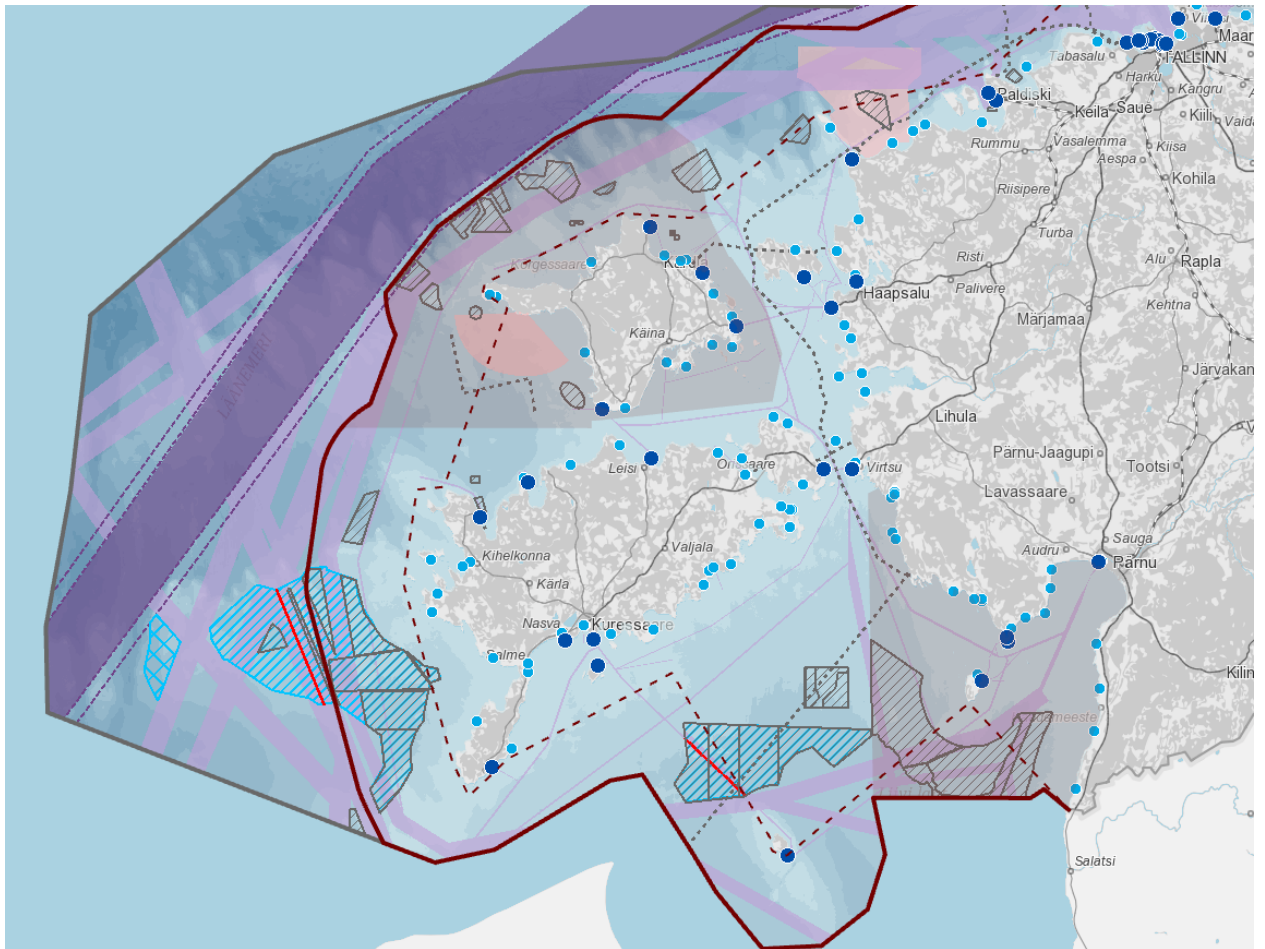
## 1.2 Meretuulepark

Meretuulepark on meres asuv kindlaks määratud ala, kuhu on püstitatud elektritootmiseks määratud seadmed. Meretuuleparkide rajamine on 2020 aasta seisuga üks prioriteete Pariisi kliimaleppe täitmiseks Euroopa Liidus ja Eestis endale seatud kliimanetraalsuse eesmärkide saavutamiseks. Meretuulepargid on teadaolevalt küllaltki väikse keskkonnamõjuga ja majanduslikult tasuvamad, kui mitmed teised elektrienergia tootmise viisid. (Rahandusministeerium, n.d)

Tuuleparkide rajamine on majanduslikult kasulik nii töö tellijale kui ka riigile. Lisaks tunneb nende rajamise vastu huvi aktiivselt ka erasektor. Samas tuleb meretuulikuparkide rajamisel vältida liigse negatiivse mõju põhjustamist maastikule, loodusressurssidele ja inimese tajukogemusele maastikest (haarates nii mere, maa kui ka linna ruumi). Lisaks tuleb planeerimisel arvestada ka tekkiva müraga. Ala määramisel ja piiritlemisel tuleb kindlasti arvestada kohalike kaluritega ning püügitsoonidega. (Hiob, 2020) Seepärast on meretuulikuparkide rajamise tingimuste selgitamine päevakajaline teema ja käesolev töö asjakohane ning vajalik.

Meretuuleparkide visuaalse mõju hindamise juhendi autorid on oma töös välja toonud ka puudujääke Eesti seadustes ja ainulaadsust maailmas. Puudujääkidest tuuakse välja, et ei ole ühtseid meetodikaid ning visuaalse mõju hindamise dokumente. Lisaks ka on vaja arvestada teatavate subjektiivsete teguritega. Ainulaadsusega antakse mõista, et selliseid projekte maailmas ei ole. (Hiob, 2020)

## 1.2.1 Tuuleenergeetika areng Eestis



Joonis 1 Eesti merealade planeering

Joonisel 1 on näha Eesti merealade avaliku ruumilist planeerimist. Halliga värvitud alad on eelneva seadusega kooskõlastatud planeeringu alad. Alad mis ei ole värvitud halliga on uue seaduse raames vastuvõetud. Roheliste piiriga alad on arengualad, kuhu on esitatud hoonestusloa taotlus seisuga mai 2021. Sinised alad on innovatsiooni ja tuuleenergeetika alad, kus hoonestusloa taotlused ja kooskõlastused puuduvad mai 2021 seisuga. Lillad jooned on veeliiklusalad, mis on kinnitatud Transpordiameti poolt. Punased jooned on planeeritavad läbipääsu koridorid laevade jaoks. Hele ja tumesinised täpid on suuremad ja väiksemad registreeritud sadamad. Jooniselt on näha ka roosakat sektorit Hiiumaa ja Osmussaare lähistel. Need on riigikaitse jaoks mõeldud sektorid, mis 2019 aasta seisuga peavad olema vabad. Kogu info merealade planeeringu kohta on vabavarana kättesaadav veebist. (Valitsus, Eesti mereala planeering, 2022)



### 1.3 Meresõiduohutus

Meresõiduohutus on väga lai mõiste. Selle alla kuuluvad näiteks meremärgid, ohutu sõidu võtted, erinevad radarisüsteemid, meresõiduohutuse seadus jne. Suur osa meresõiduohutusel on ka treenitud/kogenud meeskonnal, üksteise mõistmisel ja laevade korrasolekul (Riigikogu, 2023).

Uuringu käigus keskendub autor eelkõige meremärkidele. Nähtavusnõuded, märkide kujud ja -iseloomad on paika pandud IALA ja IHO poolt, kuid jäetakse võimalus ka märke vastavalt soovitudele korrigeerida oludele ja vajadustele vastavaks. Eestis tegeleb meremärkide haldamisega ning uute veeteede projekteerimisega Transpordiamet. Töös kasutab autor meresõiduohutuse jaoks peamiselt 3 soovitus/juhist, seadust (IALA G1162) (Authorities, 2021) ja (IHO O-117) (Organization, 2004) ja Eesti Vabariigi meresõiduohutuse seadus. (Riigikogu, 2023)

Meresõiduohutuse seaduse kohaselt tuleb kõik vees asetsevad ohtlikud objektid märgistada või valgustada vastavalt nõuetele. Valgustamine on vajalik lennu ja laevasõidu ohutuse tagamiseks. Samas tuulikute valgustamine tähendaks päevasel ajal visuaalse mõju suurenemist ning öisel ajal valgusreostuse teket. Seda on õnneks võimalik ka leevendada võttes kasutusele näiteks radari sensoriga valgustid, mis lülituvad sisse ainult siis, kui sõiduk on lähedal või infrapunavalgustid mida ilma spetsiaalsete vahenditeta ei ole võimalik näha. Üks suurimaid firmasid, mis on spetsialiseerunud meretuuleparkide valgustamisega on Sabik. Nende terviklahendusi kasutatakse näiteks Saksamaal, Inglismaal ja Taanis. (Hiob, 2020) (Riigikogu, 2023)

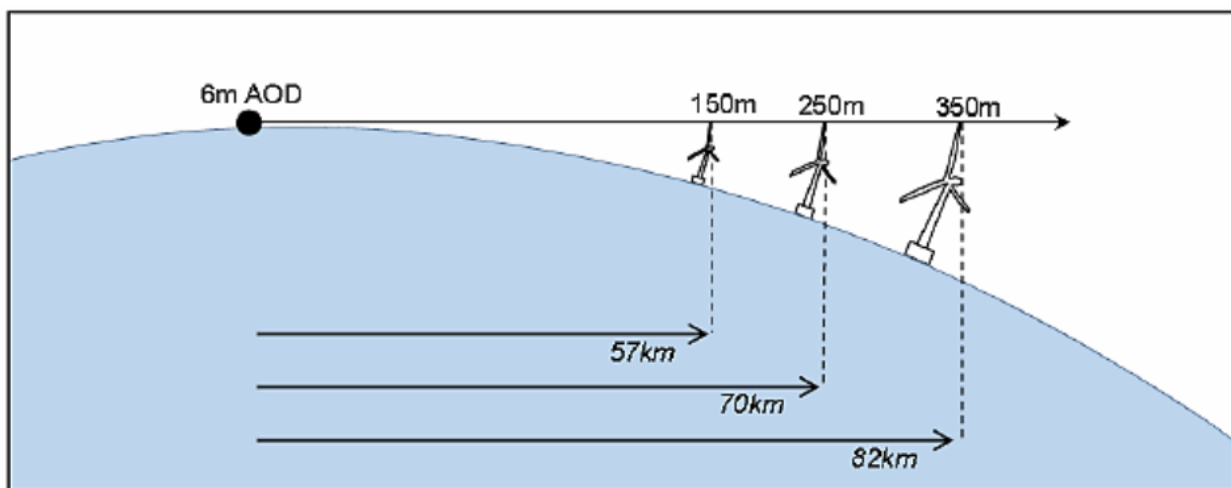


Joonis 2 Virtuaalreaalsuse meretuulepark öösel

## 1.4 Nähtavuskauguse määramine

Nähtavuskauguse määramisel võetakse arvesse erinevaid tegureid. Nende hulgas on näiteks ilmastik, tuulikute suurus, maa kumerus ja objekti kaugus. (Hiob, 2020)

Maa kumeruse tegur lühidalt seletades tähendab, et tuulikute nähtavusel on ülemine piir, kus tuulik jääb silmapiiri taha. Maa kumeruse tegur avaldub meretuulikutele pika vahemaa, enam kui 50 km kauguselt. Tavapärasel olukorras määrab nähtavuskauguse pigem ilmastik ja inimese nägemisteravus (Rahandusministeerium, n.d). Siiski võivad tuulikud tänu maa kumerusele paista oluliselt madalamad. Järgnevalt jooniselt on näha, et 350 m täiskõrgused tuulikud peaksid asuma vähemalt 82 km kaugusel, et neid ei oleks näha 6 m kõrguselt rannikult. Samas hindab see joonis võimalikku nähtavust üle, sest liikuvate labade nähtavus on selgelt väiksema ulatusega kui generaatoriga torni nähtavus. (University, N.D)



Joonis 3 Maa kumeruse mõju nähtavusele

Ilmastikutingimused mõjutavad eelkõige õhu läbipaistvust, mida tuntakse ka kui nähtavuse selgust. Nähtavuse selgus omakorda mõjutab vaatleja võimalust hinnata objekti kaugust ja suurust. Nähtavuse iseloomustamiseks on loodud meteoroloogide poolt nähtavuskauguse tabel. (Hiob, 2020)

Tabel 1. Nähtavuse rahvusvaheline teema

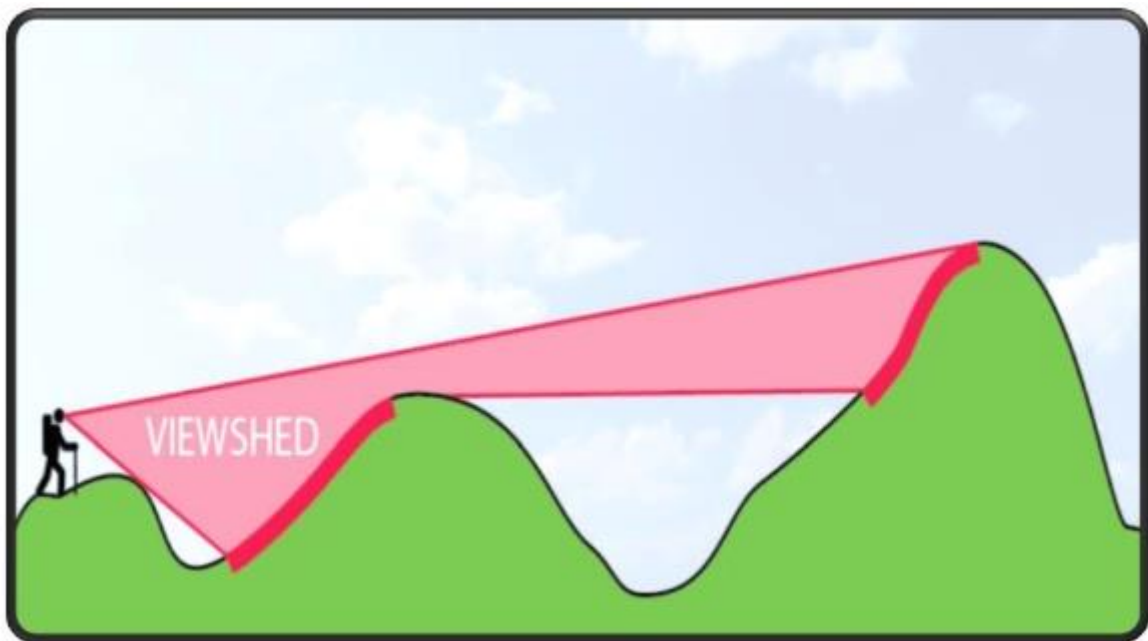
| <i>Nähtavuse iseloomustus</i> | <i>Nähtavuskaugus</i> |
|-------------------------------|-----------------------|
| Väga halb                     | Vähem kui 50 m        |
|                               | 50 – 200 m            |
|                               | 200 – 500 m           |
| Halb                          | 500 m – 1 km          |
|                               | 1 – 2 km              |
| Keskmine                      | 2 – 4 km              |
|                               | 4 – 10 km             |
| Hea                           | 10 – 20 km            |
| Väga hea                      | 20 – 50 km            |
| Erakordne                     | 50 km ja enam         |

Tuulikute suurused ei ole veel 100% paika pandud, kuid keskelt läbi jäävad need, rootori diameetriga kuni 240 meetrit ja tipukõrgusega kuni 270 meetrit (Saare-Liivi ja Saare Wind meretuuleparkide näitel). Kui võtta arvesse ainult maa kumerust siis (vt joonis 1) võiks selliste mõõtmetega tuuliku nähtavus kaugus olla umbes 74 km. (Utilitas, 2022)

## 1.4.1 ArcGis pro

Oma töös kasutab autor nähtavuskauguse analüüsimiseks ArcGis pro tarkvara. Tarkvaras kasutatakse tööriista Viewshed. Tööriist töötab sisend rasteri, objektide asukohtade ning Maa parameetreid arvesse võttes. Metaandmeteks kasutatakse projektlaeva juhtimissilla kõrgust, tuulikute eeldatavaid suurusid ning alas asuvaid navigatsioonimärke. Eesmärk on analüüsida erinevate ilmastikuolude käigus navigatsioonimärkide nähtavust laevade jaoks. Töös kasutab autor Saare-Liivi tuulepargi ja Keskkonnaagentuuri Kihnu meteoroloogiajaama andmeid. (Sándor Jombach, 2010)

Töö käigus joonistatakse programmi planeeritava tuulepargi piirid ning piiride sisse lisatakse reeglistike arvestades tuulikud. Järgmise etapina lisatakse navigatsioonimärgid ja võimalikud alguspunktid, millest lõpptulemusi analüüsitakse. Nendeks punktideks on näiteks peamised laevateed. Pärast baastulemuste saamist, muudetakse parameetreid vastavalt ilmastikutingimustele ning tehakse uus analüüs. Sama protsessi korratakse mitmeid kordi, et oleks võimalik kirjeldada ja analüüsida üldpilti. (Esri, 2022)



Joonis 4 Viewshed tööpõhimõte

## 1.5 Eesti kliima

Eesti asub Ida-Euroopa lauskmaa loodenurgas ja kuulub mereliselt kliimalt mandrilisele ülemineku vööndis. Suur geograafiline laius põhjustab siinsele kliimale iseloomuliku päikesekiirguse ja õhutemperatuuri tunduva aastaajalise kõikumise. (Entsüklopeedia, 2012)

Samuti erineb aastaajati ka valge ja pimedaja pikkus, näiteks suvisel pööripäeval on Lõuna-Eestis päeva pikkus 18 tundi ja Põhja-Eestis enam kui 18,5 tundi, talvel aga vastavalt 6,5 ning 6 tundi.

Eesti kliimat mõjutavad mitmed tegurid nendeks on näiteks Atlandi ookean, Põhja-Atlandi hoovus ja Islandi miinimum. Viimane kujutab endast tsüklonite kujunemise piirkonda, kus keskmine õhurõhk on naaberaladest madalam (Entsüklopeedia, 2012). Valitsevad läänetuuled toovad niiskust Atlandi ookeanilt ka kaugele mandri siseosasse, mis toob kaasa külmal poolaastal tunduvalt soojema, soojal poolaastal aga mõnevõrra jahedama ilma. (Keskkonnaagentuur, Kliima Eesti maakondades, N.D) Eesti rannikul on aasta keskmine tuule kiirus üle 6 m/s ja tuule kiirusel on selge sesoonsus. Sügisel ja talvel on tuul tugevam kui kevadel ja suvel. Tuule kiirus on suurim detsembris, väiksem juulis, sisemaal ka augustis. Tuuleroosides väljenduvad keskmisest suurema sagedusega lääne- ja lõunakaarte tuuled, väiksema sagedusega aga idakaarte tuuled. (Entsüklopeedia, 2012)

Sisemaal esineb tormituult harva, vaid mõni kord aastas, kuid rannikul ja saartel esineb keskmiselt 20-30 tormipäeva aastas. Viimastel aastakümnetel on tormide esinemissagedus märgatavalt suurenenud. Aasta keskmine pilvisus on Eestis ligikaudu 7 palli, kõige pilvisemad kuud on november ja detsember (8–9 palli), kõige selgemad aga mai ja juuni (5–6 palli). Rannikuvööndis on pilvisus märgatavalt väiksem kui sisemaal. (Entsüklopeedia, 2012)

Eesti tuuleparkide rajamisel peab kindlasti silmas pidama ka jäätumist, mis on piirkonna jaoks pea iga talvine eripära. Vastavalt tuulikute rajamise ja hoolduse nõuetele tuleb luua hooldus ja tugilaevastik. Probleem selles peitub, et seni ei ole meretuuleparke rajatud jäätumisohuga piirkondadesse.

Tuulik ise jää poolt oluliselt mõjutatud ei saa. Sama ei saa öelda laevastiku kohta, mis peab omama jääklassi. Senistel hoolduslaevade jääklassi ei ole. Üks võimalus oleks kasutada pidevalt jäämurdja teenuseid, kuid see on kallid. Lahenduseks võiks olla uue laevastiku loomine, millega oma teenuseid sarnasest piirkondades pakkuda. Eesti saaks olla selles rajanäitaja oma Botnicaga, mis on maailmas ainulaadne.

## 2. Nähtavuskauguse analüüsi metoodiline osa

### 2.1 Objekt



Joonis 5 Objekti ala

Uurimuse alaks on valitud antud töös Saare-Liivi arendusala, kuid uuringu tulemusi saab ka teisendada teistele meretuuleparkide aladele. Hetkel on hoonestusluba olemas kahel arendajal Utilitas ja Eesti Energia. Utilitase kavandatav Saare- Liivi pargi asukohaks on Liivi laht. Ala asub 10 km Kihnu saarest, 30 km Ruhnust, 40 km mandrist ja 60 km Saaremaast. Sügavused piirkonnas on küllaltki konstantsed va. üks piirkond kust sügavused on madalamad. Üldjoones jäävad sügavused vahemiku 7-35 m. Navigatsioonimärke on ala läheduses minimaalselt. Alale lähim on Kihnu madalat tähistav poi. Objekti alal on 7 mitteohtliku vrakki, mis asuvad enamasti 20+m sügavuses. Tuledest on lähim Kihnu tuletorn. Lisaks võib nähtav veel olla Ruhnu tuletorn ja Häädemeeste siht. Lähiajal lisandub alale juurde täiendavalt ka Saare *Wind* arendusala mis külgneb Saare-Liivi arendusalaga. (Utilitas, 2022)

## 2.2 Tuulikud

Tuulikud ehitamiseks tehakse valik 3 firmat pakkumistest: SiemensGamesa, Vestas ja GE Renewable Energy. Antud tootjad on ainukesed kellel on Euroopas kehtivatele nõuetele vastavad ja sertifitseeritud avameretuulikute ehitamise teadmise, arendus ja kogemused. Tuulikute ehitamisel võetakse kindlasti arvesse ka Läänemerele omast kliimat ja tingimusi. (Utilitas, 2022) Hetkel ei ole tuulikute suurused ja võimsused 100% kinnitatud kuna ehitamiseks läheb alles mõne aasta pärast. Enne hanke välja kuulutamist on tõenäoliselt tehnoloogiaga edasi liigutud. Hetkel planeeritava võimsusega tuulikud, mida need tootjad pakuvad:

Vestas V236-15.0 MW<sup>TM</sup>, rootori diameetriga 236 meetrit, tipukõrgusega 270m ja võimsusega 15 MW,

SiemensGamesa SG 14-236 DD, rootori diameetriga 236 meetrit, tipukõrgusega 270 meetrit ja võimsusega 14 MW,

GE Haliade-X 14 MW, rootori diameetriga 220 meetrit, tipukõrgusega 270 meetrit ja võimsusega 14 MW.

Tegelik tuulikute arv, mudel ja paigutus selgub hoonestusloa menetluse, sh KMH ning tööprojekti koostamise käigus. Arenduse esimeses etapis on planeeritud püstitada, vastavalt põhivõrguettevõtte poolt väljastatud tehnilistele tingimustele, ligikaudu 80 tuulikut koguvõimsusega 1200 MW, mille iga-aastane eeldatav elektritoodang ületab 5 TWh, mis esialgselt peaks ära katma, koos teiste vahenditega, terve Eesti vajaduse. Hilisemalt kui tuulikud juba täismahus paigas loodetakse katta ära kogu Eesti vajadus mitmekordselt. (Utilitas, 2022)

## 2.3 Horisontaalne nähtavuskaugus

Meteoroloogilise mõõtmise teostab Eesti Keskkonnaagentuur. Agentuur tegeleb lisaks ilma ning kliimastiku mõõdistamisele ka keskkonnaseirega, analüüsidega ja muude Eesti keskkonda puudutavate projektidega. Uuringu käigus keskendub autor eelkõige ilmastikule.

Ilmastiku üheks oluliseks jälgimise kategooriaks on nähtavuskaugus. Nähtavuskaugust mõõdetakse eelkõige transpordi ohutuse ja ilmastiku kirjeldamiseks, erinevate olukordade mõistmiseks ning statistika jaoks.

Horisontaalset nähtavuskaugust mõõdetakse meetrites iga päev 10 minutit enne täistundi. Mõõtmine toimub automaatselt (vt joonis 6) ja päevas tehakse 24 mõõtmist. Eesti läänerannikul (Saaremaal, Hiiumaal ja Liivi lahes) on Eesti keskkonnaagentuuril viis ilmajaama – Kihnu, Ruhnu, Ristna, Sõrve ja Vilsandi, mille andmetel on Eesti rannikul (nii merel kui maismaal) üle keskmise hea nähtavusega päevi võrdlemisi palju. (Keskkonnaagentuur, Nähtavuskaugus, 2019)

Üle 15% tundidest on tegemist erakordse nähtavusega ehk enam kui 50 km. 65% tundidest on tegemist vähemalt väga hea nähtavusega ehk enam kui 20 km. Enam kui 80% tundidest on tegemist vähemalt hea nähtavusega ehk enam kui 10 km. (Hiob, 2020)

Keskkonnaagentuurist saadud nähtavuse andmete järgi on detsembrikuu olnud viimase 5 aasta jooksul kõige sagedasem halva nähtavusega kuu. Kõige parema nähtavusega kuu on august. Andmed pärinevad Kihnu mõõdistusjaamast. Järeldused on tehtud Keskkonnaagentuuri andmetest, mis autorile päringu käigus lubati. Andmed koosnesid 2016-02.2023 mõõdistatud nähtavuskauguse andmeid.

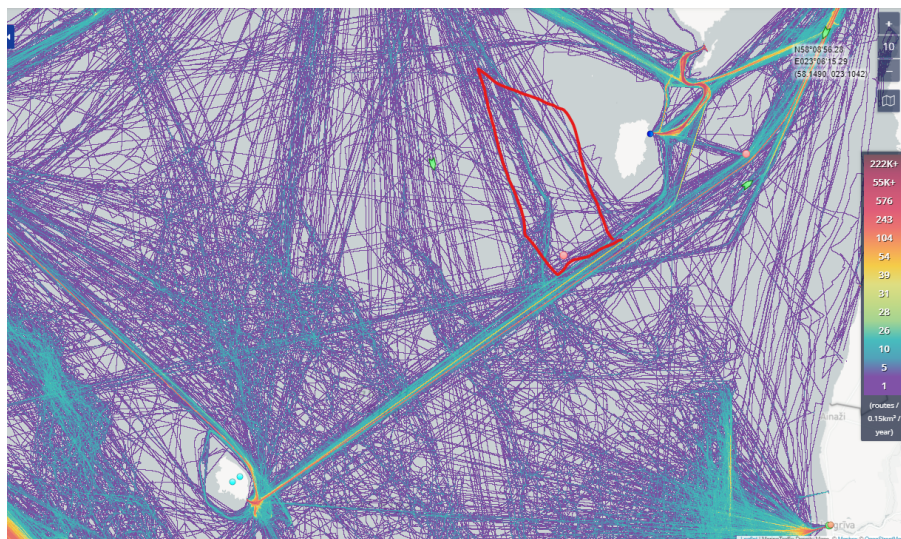


Joonis 6 Nähtavuskauguse mõõdistus instrument

Joonisel 6 on näha nähtavuskauguse mõõdistamisinstrument. Instrument töötab valguse hajumismeetodil. Üks sensor tekitab valguskiire ning teine püüab selle kinni. Mida rohkem valgus mõõtmise ajal hajub seda halvem nähtavus. Nähtavust mõõdetakse numbrilisel skaalal.



## 2.4 Laevaliikluse muster valitud piirkonnas

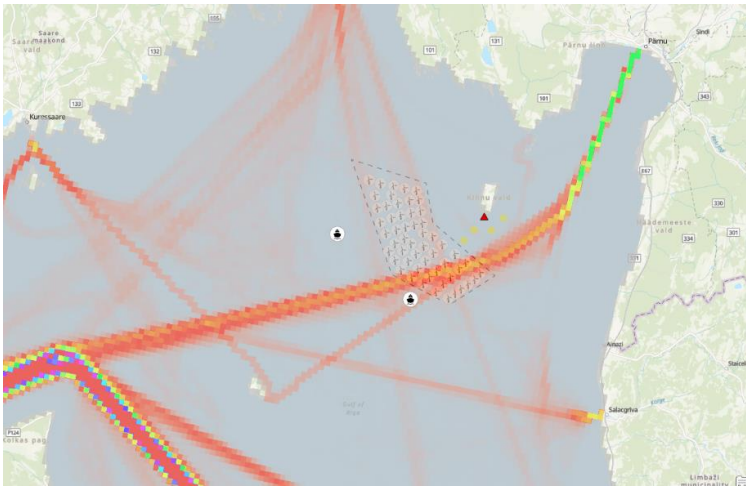


Joonis 7 2021 laevade sõitmise tiheduse kaart MarineTraffic

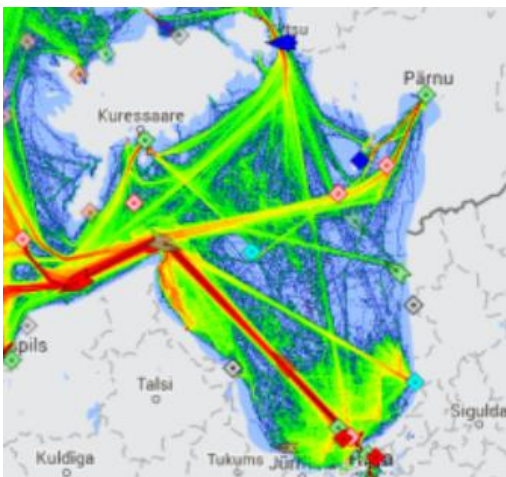
Joonis 7 laevaliikluse tiheduse kaart on võetud MarineTraffic veebilehelt. Kaart on koostatud 2022 aasta jooksul kogutud AIS andmetest. (MarineTraffic, 2022)

AIS on automaatne identifitseerimise süsteem, mis sisselülitatuna saadab pidevalt laeva andmeid süsteemi. Jagatavateks andmeteks on näiteks kiirus, kurss, sihtkoht, väljumiskoht ja laeva nimi. Tänu süsteemi olemasolule on võimalik kasvõi igaühel jälgida soovitud laeva asukohta reaalajas. (Center, 2021) Kõige populaarsem koht selleks on MarineTraffic. Detailsemaid andmeid on võimalik saada HELCOM lehelt, kuid nende vaatlemiseks on vaja programmi (ArcGis, QGis). Programmi olemasolul on võimalik nendest andmetest välja lugeda mis tüüpi laevad peamiselt sõidavad alas ning võrrelda erinevate aastate andmeid. 30.05.2023 seisuga leiab sealt 2006-2020 aastate AIS andmed. (Environment, 2022)

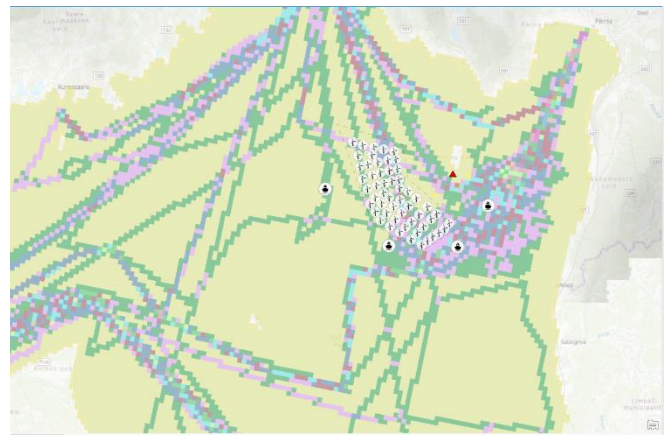
Joonisel 7 ja 8 on näha, et enamasti toimub laevaliiklus Ruhnu saarest Pärnu ja Kuressaare suunaliselt. Harvem on liiklus ka Riia, Salacgriva ja Pärnu vahel. Vahetult läbi või riivates tulevase planeeritud tuulepargi ala. Enamasti liiguvad sellel joonel Ruhnu saart ühendav praam, mõned väiksemad teeninduslaevad ning kuni 145m pikkusega kaubalaevad, mis tuli välja HELCOM andmeid analüüsid. Jooniselt 9 on võimalik näha eriotstarbeliste laevade liiklustihedust. Eskiisid 11 ja 12 näitavad kalalaevade ja muude laevade liikumisi aastatel 2020.



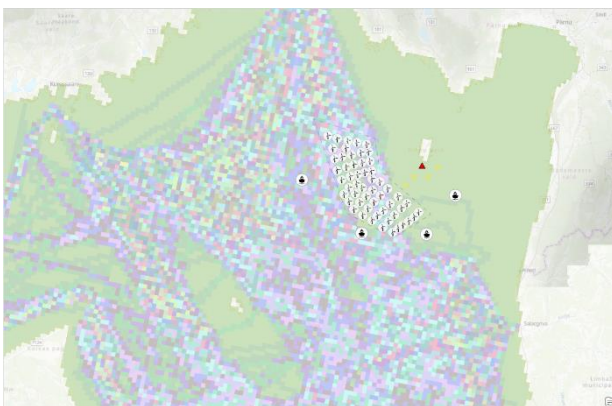
Joonis 8 HELCOM kaubalaeva liikluse tiheduse kaart



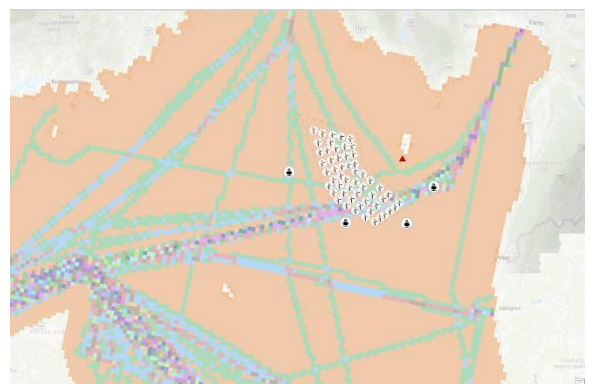
Joonis 10 Liivi lahe laevaliiklus tihedus aastal 2020



Joonis 9 eriotstarbeliste laevade liiklustihedus



Joonis 11 kalapaatide liiklustihedus

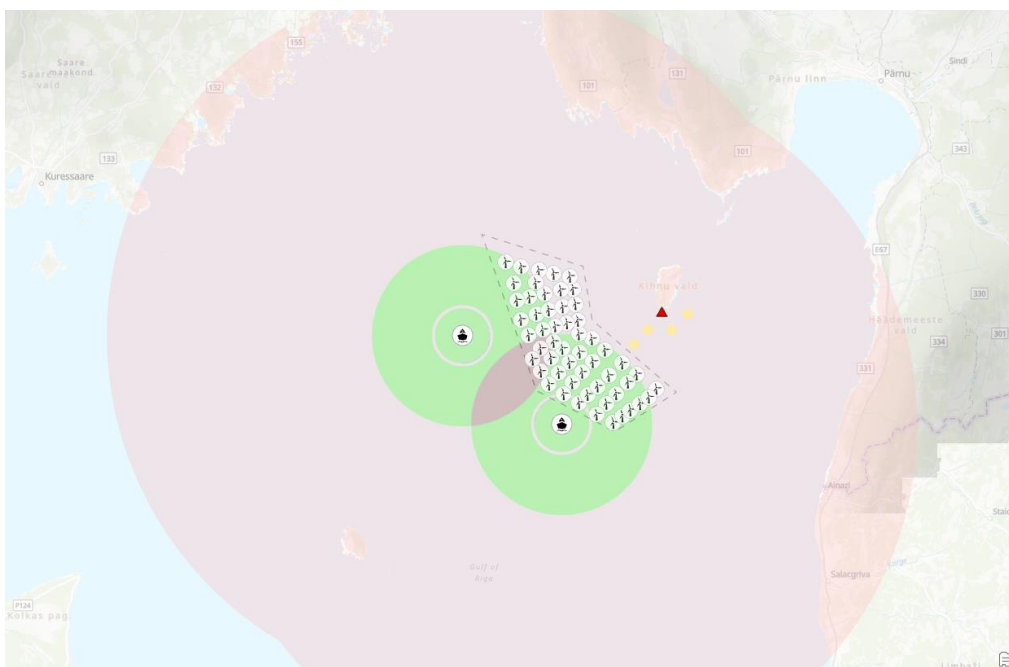


Joonis 12 muude laevade liiklustihedus

## 3. Tulemused

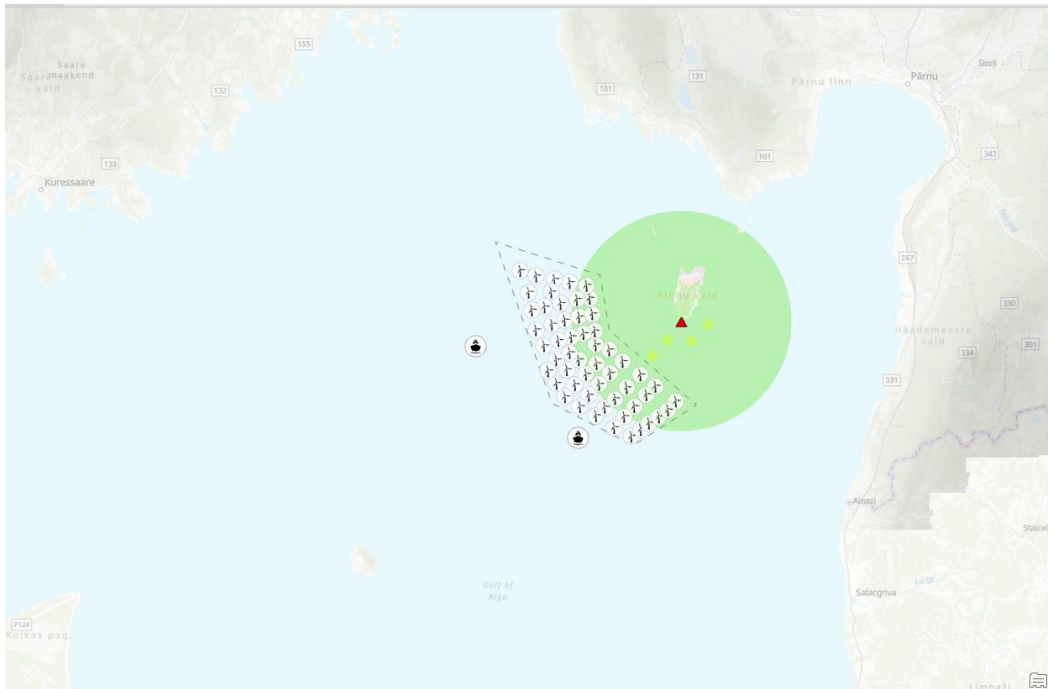
### 3.1 Ideaalne nähtavus

Ideaalsete nähtavus tingimustega on Kihnu tuletorni tuli näha 11. meremiili kaugusele. Kilomeetrites teeb see 17,7. Planeeritav tuulepark nihutab olemasoleva laevatee mõned kilomeetrid kaugemale. Projekti järgi võiks uue laevatee kaugus Kihnu tuletornist olla umbes 25 km. See omakorda tähendab seda, et ideaaltingimuste korral ei ole inimsilmal võimalik tuletorni tuld näha. Ainult abivahenditega ning seda siis kui tead kust ja mida otsida. Laevade asukohad on valitud vastavalt liiklustihedusele. Alumine laev asub kaubalaevade põhilisel liikumistrajektoril. Ülemine asub eriotstarbeliste ja muude laevade liikumisteedekonnal.



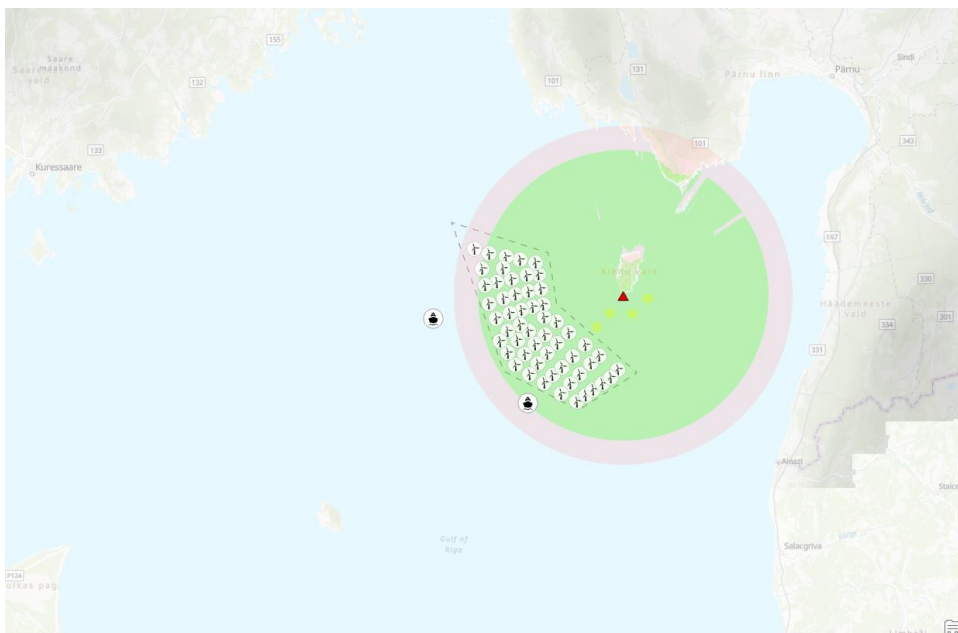
Joonis 13 Ideaal nähtavus tingimustega nähtavuse prognoos

Joonisel 13 on välja toodud kaks laeva asukohta sillakõrgusega 10 m. Ringid nende ümber tähistavad nähtavust. Roheline tähistab, et kõik mis on selle ala sees on nähtav vaatlejale. Kahe laeva vaheline punane ala näitab kattuvust, mis ei ole selle töö kontekstis oluline. Suur punane ovaal tähistab ala mis ei ole vaatleja jaoks nähtav. Kollased täpid tähistavad Kihnu madala kardinaalmärke. Joonisel 14 on näha Kihnu tuletorni tuld ideaalsetes tingimustes.

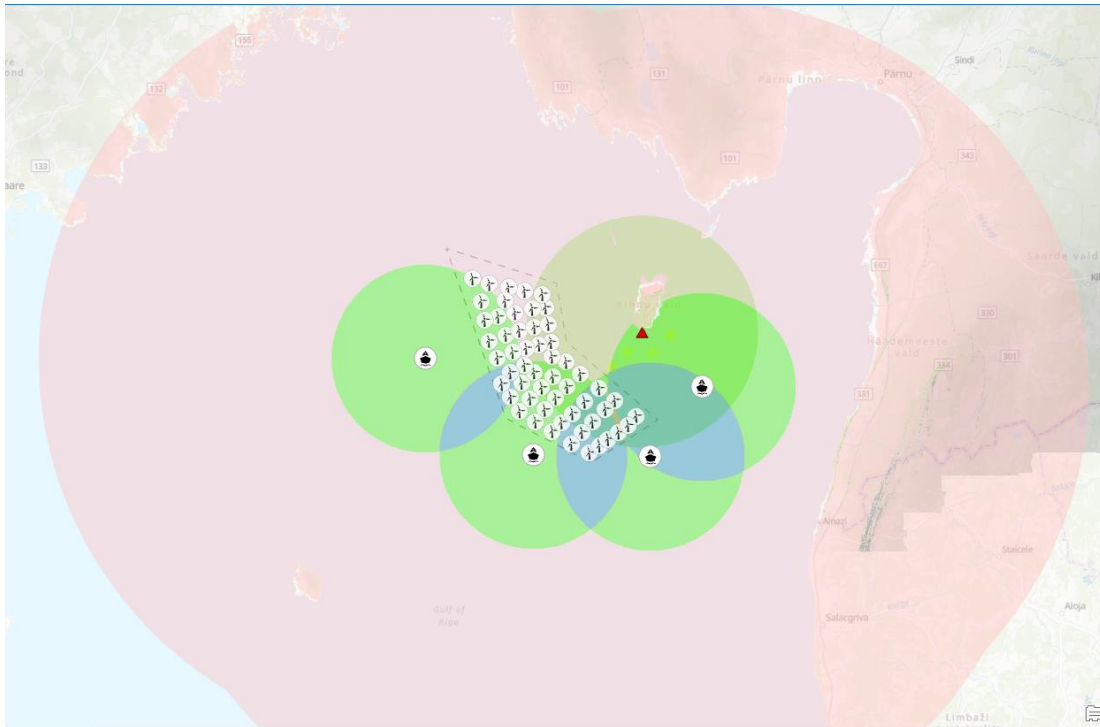


Joonis 14 Kihnu tuletorni tule nähtavus ideaal tingimustes

Selleks et tuletorni tuld oleks võimalik laevadel näha on võimalusi kaks. Esimene võimalus oleks suurendada tule ulatust vähemalt 25 kilomeetrini (joonis 15) või teine variant oleks teha uus ja kõrgem tuletorn, mis ei oleks majanduslikult kasulik. Selliste programmi jooniste puhul tuleb kindlasti arvesse võtta ka laeva liikuvust. Olenevalt tuletornide paigutusest võib tekkida efekt, kus laev näeb tuletorni ja mõne sekundi pärast enam ei näe.



Joonis 15 Kihnu tuletorn võimsama tulega



Joonis 16 Kihnu tuletorni tuli neljast vaatepunktist

Joonisel 16 on näha Kihnu tuletorni neljast vaatepunktist. Kaks Kihnule lähimat laeva on paigutatud Pärnusse suunduvate laevade trajektoorile. Kihnule lähim laev ideaalsetes ilmatingimustes näeb tuletorni tuld ilma probleemideta ka palja silmaga. Tema all tuulepargi nurga peal paiknev laev jääb napilt silmanähtavus alast välja ning vajab abivahendeid tule nägemiseks. Sellise olukorra puhul tuleks kasuks suurendatud ulatusega valgustus. Joonisel roheline on nähtav, sinine märgistab kattuvust mis ei ole oluline selle uuringu kontekstis.

## 3.2 Halb nähtavus

Halb nähtavus on enamasti udu, vihma ja pilvisemate ilmade korral. Halvema kui erakordse nähtavuse korral (tabel 1) võib praeguste parameetritega tule nähtavusest jääda väheseks ka abivahendeid kasutades. Eriti halva nähtavuse korral ei oleks näha isegi tuulikuid, mis juhtimisvõime kaotusel võib olla katastroofiline. Kõige tõenäolisem aega selleks juhtumiks on detsember- märtsi algus. Kus aastate keskmine nähtavuskaugus on umbes 4 meremiili, üksikutel päevadel võib see olla ka lausa alla ühe meremiili.

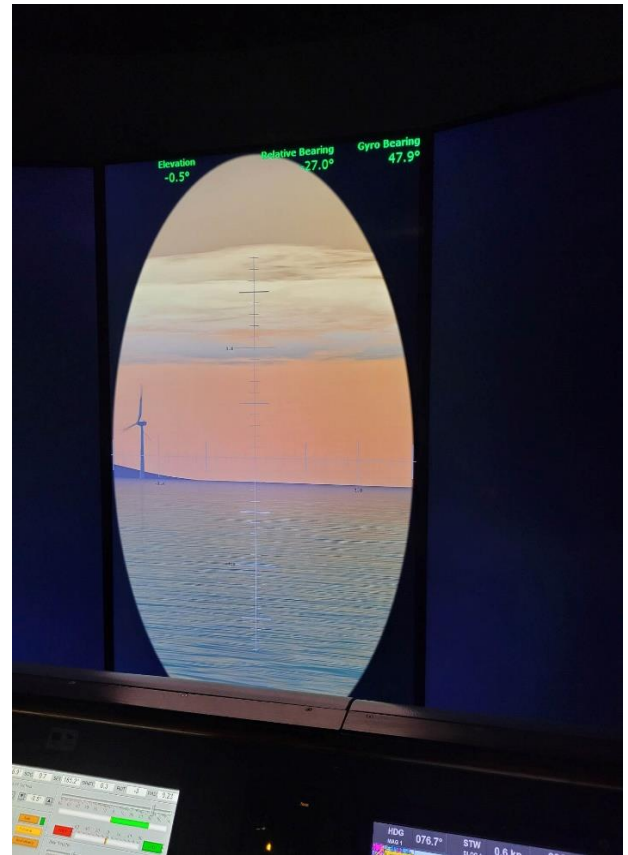
Udu korral jääb nähtavus tavaliselt kuni ühe meremiili ümbrusesse mis on tabel 1 järgi väga halb nähtavus. Abivahenditest navigatsioonimärkide vaatamiseks kasu ei ole. Vihma puhul oleneb palju vihma tugevusest ja kaasnevatest nähtustest. Tugevamate sadude korral võib nähtavus jääda 1-5 meremiili ümbrusesse, mida rahvusvaheliselt loetakse halvaks nähtavuseks. Nõrgemate sadude käigus nähtavuskaugus erakordsest oluliselt ei halvene.

## 3.3 Realaja simulatsioonid ~~Simulatsioon~~

Simulatsioonide käigus vaadeldi Kihnu tuletorni nähtavust erinevate ilmastiku olude käigus tuulepargi projekti arvesse võttes. Selgelt tuli välja, et erakordsetes tingimustes inimsilm ilma abivahenditeta torni tuld ei tuvasta (joonis 13). Lisaks oli näha ka, et tuulikud tekitasid nähtavusel probleeme. Nimelt laeva liikumise käigus tekkis efekt, kus tuletorni oli näha ja mõne kümne sekundi pärast enam ei olnud ning paari sekundi pärast tuli taas nähtavale. Simulatsioonis katsetati ära ka kõige halvema olukorra stsenaarium, kus laev on juhitud kaotanud tormise ilma käigus ning triivib tuulepargi suunda. Selle eesmärk oli vaadata, kui kaua on pääsemeeskonnal olukorra lahendamiseks aega. Ühe meremiili kauguselt tuulepargist, planeeritavalt laevateelt juhitud kaotanud laev triivis lainete ja tuule mõjul 45 minutiga avariiolekorda. Ankrut kasutamisel on võimalik võita aega juurde, aga enamasti juhtudel isegi ankur ei suutnud laeva pargist eemal hoida. Kõige halvemal juhul on aega 45-50 minutit, mis on kahjuks ebapiisav taolisteks olukordadeks. Piltidel 17-22 on näha simulaatoris tehtud pilte tuletorni tule nähtavuse kohta erinevatest asukohtadest ja tingimustest. Tuulikud ise olid nähtavad iga ilmastiku korral v.a udu. Kus olenevalt udu kihi kõrgusest oli näha ainult kas tuuliku labasid või mitte midagi.

Joonis 17 Tuletorni nähtavus abivahenditega

Joonisel 13 esimeselt laeva positsioonilt ideaalsetes tingimustes vaadates abivahenditega tuletorni tuld on näha väga väikese täpina, mida on raske ümbrusest eristada. Päevasel ajal ei ole sedagi näha kuna valgust liiga palju, et torni ümbritsevast eristada. Lisaks ei ole võimalik tuvastada Kihnu madala kardinaalmärke.



Joonis 18 Tuletorni nähtavus simulaatoris

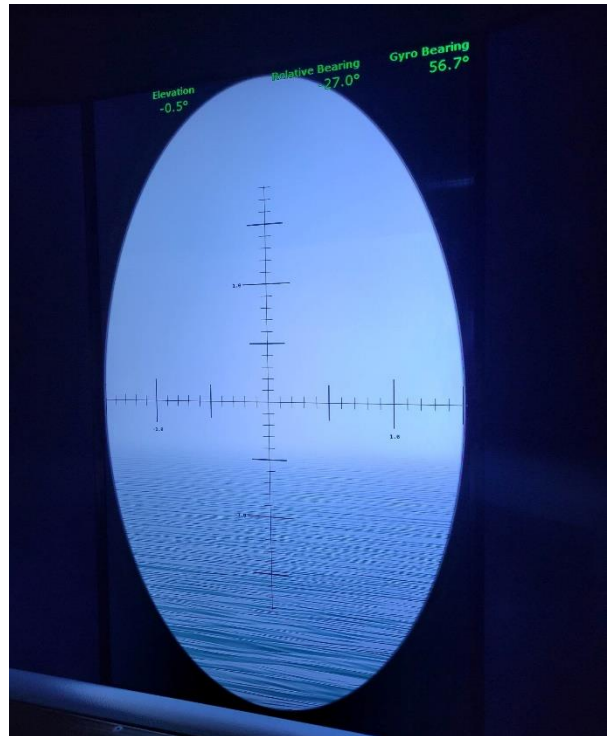
Joonisel 13 esimeselt laeva positsioonilt ideaalsetes nähtavustingimustes tuletorni tuld ei ole võimalik inimsilmaga tuvastada.



Joonis 19 Nähtavus udus abivahenditega

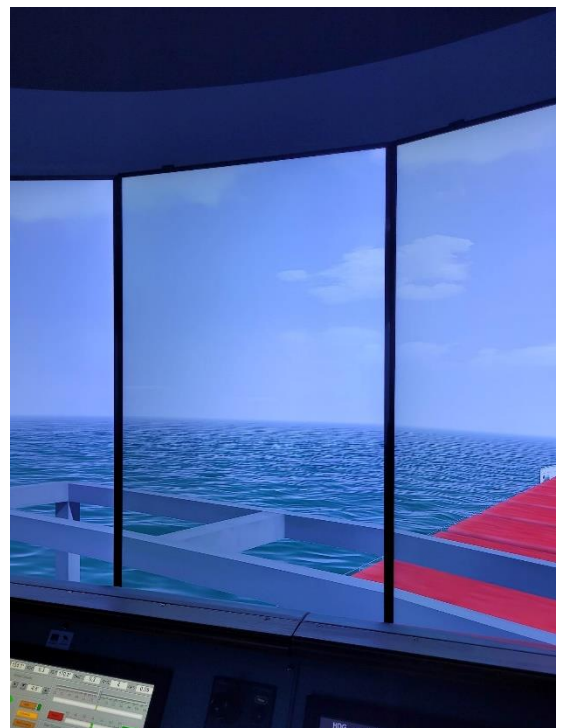
Joonisel 13 teiselt laeva positsioonilt vaade Kihnu tuletornile abivahenditega. Pildil on selgelt näha, et läbi udu ei ole võimalik tuvastada torni tuld ei päeval ega öösel.

Tuulikutel on näha ainult pöörlevate labade tipud.



Joonis 20 Tuletorni nähtavus udus

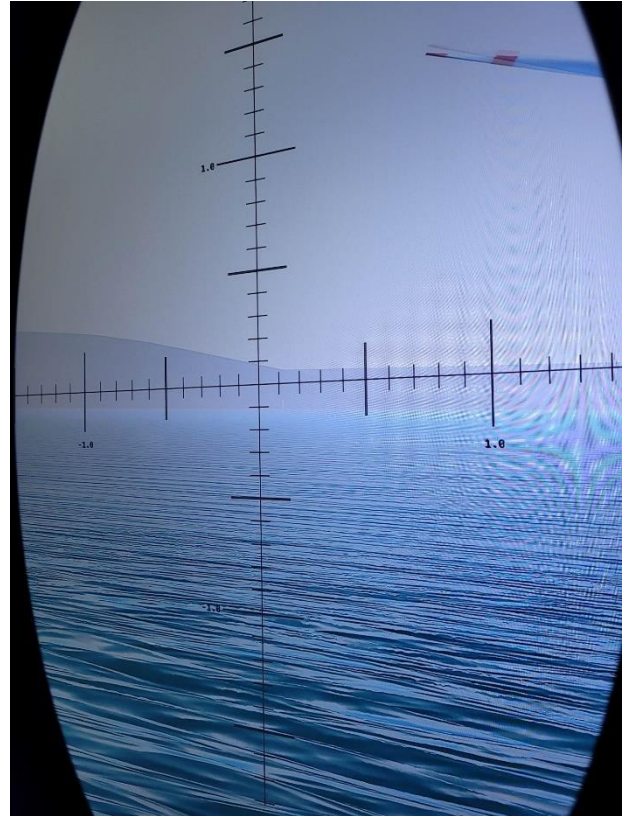
Joonisel 13 teiselt laeva positsioonilt inimsilmaga vaade Kihnu tuletornile. Alale olev udu takistab tuletorni tuld nägemast. Samuti on halvasti näha tuulikuid. Näha on ainult pöörlevate labade tippe.





Joonis 21 Tuletorni nähtavus abivahenditega

Joonisel 16 tuulepargi Pärnu poolsest nurgast abivahenditega vaade Kihnu tuletornile ideaalsetes tingimustes. Tuletorni on abivahenditega näha ka päeval, kuid üsna väiksenä. Öösel on selgemini näha torni ja tuld. Nähtavuskauguse muutudes torni päeval näha ei ole.



Joonis 22 Tuletorni nähtavus pargi nurgast suunaga Pärnu poole

Joonisel 16 tuulepargi Pärnu poolsest nurgast vaade Kihnu tuletornile ideaalsetes tingimustes. Inimsilmale ei ole nähtav ei torni ega tuli. Öösel sõites Pärnu poole tekib tule nähtavus üsna kiirelt. Konkreetset valitud punktist tuld näha ei olnud, aga pidevas liikumises olles paranes tule nähtavus iga paari saja meetri järel.



## Kokkuvõte

Antud töös uuris autor, kuidas meretuuleparkide nähtavus muutub erinevate ilmastiku olude käigus ning kuidas parkide rajamine mõjutab navigatsioonimärgistuse nähtavust. Uuringu käigus leiti, kuidas mõõdetakse ning hinnatakse horisontaalset nähtavuskaugust, teostati nähtavuskauguse analüüsi, miks tuuleparke luuakse, kuidas on liiklustihedus projekti alal ning teostati reaalse simulatsioone.

Töö käigus selgus, et tuulepargi planeeritava paigutusel ei oleks laevade jaoks Kihnu tuletorni enam näha. Meresõiduohutuse kohalt tuleb täita mitmeid parameetreid. Näiteks tuleks tõsta Kihnu tuletorni tule nähtavuse kaugust ning viia projektiga külgnev laevatee tuulepargi alalt kaugemale, et tagada turvalisus liiklemisel. Seda kõike tehes tuleb arvestada ka navigatsioonimärgistuste nähtavuse muutusi liikuva objekti jaoks. Ohutuse tagamiseks prooviti läbi ka halvima olukorra stsenaarium, kus laev oli torni tõttu kaotanud juhitavuse ning triivis tuulepargi suunas. Sellest saab järeldada palju on päästemeeskonnal ligikaudselt aega reageerimiseks ning õnnetuse ärahoidmiseks. Lisaks vaadeldi Kihnu tuletorni tule nähtavust tuulepargi erinevatest nurkadest, kus kahel juhul ei olnud tuletorni tuld ilma abivahenditeta ideaalse nähtavuskauguse korral näha. Ühel juhul on torni näha abivahenditega, kuid edasi liikudes tuli nähtavale torn ka ilma abivahenditeta ideaalse nähtavuse korral. Viimasel juhul oli torn ja tuli nähtavad ka ilma abivahenditeta.

Eesmärgid said autori hinnangul täidetud. Tööd edasi arendada saaks paari aasta pärast, kui on teada rohkemaid detaile tuulikute valgustuse valiku, tornide paigutuse ja laevakoridoride paiknevuse kohta.

## Võõrkeelne lühikokkuvõte

In this study, the author investigated how the visibility of Offshore Wind Farms changes under different weather conditions and how the construction of these farms affects the visibility of navigation marks. During the study, the measurement and evaluation of horizontal visibility distance were examined, visibility range analyses were conducted, the reasons for building wind farms were explored, the traffic density in the project area was assessed, and real-time simulations were performed.

During the work, it became clear that the Kihnu lighthouse would no longer be visible to ships in the planned layout of the wind farm. In terms of maritime safety, several parameters must be met. For example, the visibility distance of the light of the Kihnu lighthouse should be increased, and the waterway adjacent to the project should be moved further away from the wind farm area to ensure traffic safety. While doing all this, the visibility changes of navigation markings for a moving object must also be taken into account. To ensure safety, the worst-case scenario was also tested, where the ship had lost controllability due to the storm and drifted towards the wind farm. It can be concluded that the rescue team has approximately enough time to react and prevent an accident. In addition, the visibility of the light of the Kihnu lighthouse was observed from different angles of the wind farm, where in two cases the light of the lighthouse could not be seen without the aid of an ideal visibility distance. In one case, the tower can be seen with aids, but as we moved forward, the tower came into view even without aids in perfect visibility. In the latter case, the tower and light were visible even without aids.

According to the author, the objectives were met. The work could be developed further in a couple of years, when more details are known about the choice of lighting for the wind turbines, the arrangement of the towers and the location of the ship corridors.

## Kasutatud kirjandus

- Authorities, I. A. (2021). *G1162 The Marking of offshore man-made structures*. Allikas: <https://www.iala-aism.org/product/g1162/>
- Center, N. S. (2021). *AIS*. Allikas: [https://shipping.nato.int/nsc/operations/news/2021/ais-automatic-identification-system-overview#:~:text=The%20Automatic%20Identification%20System%20\(AIS,both%20vesels%20and%20shore%20stations.](https://shipping.nato.int/nsc/operations/news/2021/ais-automatic-identification-system-overview#:~:text=The%20Automatic%20Identification%20System%20(AIS,both%20vesels%20and%20shore%20stations.)
- Entsüklopeedia, E. (2012). *Eesti kliima*. Allikas: [http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti\\_kliima](http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_kliima)
- Environment, B. M. (2022). *HELCOM*. Allikas: <https://helcom.fi/>
- Esri. (2022). *Viewshed tööriista ja vaatluspunktide kasutamine*. Allikas: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/using-viewshed-and-observer-points-for-visibility.htm>
- Hiob, K. O. (2020). *Meretuulikuparkide arendamise edendamiseks visuaalse mõju hindamise meetodiliste soovitude juhendmaterjal*. Tartu: AB Artes Terræ.
- Keskkonnaagentuur, E. (2019). *Nähtavuskaugus*.
- Keskkonnaagentuur, E. (N.D). *Kliima Eesti maakondades*. Allikas: <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/ulevaated/>
- Komisjon, E. (2022). Allikas: Rohepööre: [https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/green-transition\\_et](https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/green-transition_et)
- MarineTraffic. (2022). *AIS density map*. Allikas: <https://www.marinetraffic.com/>
- Organization, I. H. (2004). *The marking of offshore windfarms edition 2*. Allikas: [https://legacy.iho.int/mtg\\_docs/com\\_wg/CSPCWG/CSPCWG2/CSPCWG%20-INF%20%20Annex%20A.pdf](https://legacy.iho.int/mtg_docs/com_wg/CSPCWG/CSPCWG2/CSPCWG%20-INF%20%20Annex%20A.pdf)
- Rahandusministeerium. (n.d). *Meretuuleparkide visuaalse mõju hindamise juhend*. Allikas: [www.fin.ee](http://www.fin.ee)
- Riigikogu. (2023). *Meresõidu ohutuse seadus RT1*. Allikas: Riigi teataja: <https://www.riigiteataja.ee/akt/MSOS>
- Sándor Jombach, D. D. (2010). *Using GIS for Visibility Assessment of a Wind Farm in Perenye*. Allikas: [https://www.researchgate.net/publication/265062751\\_Using\\_GIS\\_for\\_Visibility\\_Assessment\\_of\\_a\\_Wind\\_Farm\\_in\\_Perenye\\_Hungary](https://www.researchgate.net/publication/265062751_Using_GIS_for_Visibility_Assessment_of_a_Wind_Farm_in_Perenye_Hungary)
- University, R. I. (N.D). *Visual impact assessment- offshore wind*. Allikas: <https://www.crc.uri.edu/download/Perkins.pdf>

Utilitas. (2022). *Saare-Liivi tuulepark*. Allikas: <https://saareliivituulepark.ee/>

Valitsus, V. (2022). *Eesti mereala planeering*. Allikas: Määrus nr 146: <https://mereala.hendrikson.ee/>

Valitsus, V. (2023). Allikas: Rohepoliitika: <https://www.valitsus.ee/valitsuse-eesmargid-ja-tegevused/rohepoliitika>

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina Martin Nässi

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Meretuuleparkide nähtavuse hinnang meresõiduohutuse tagamiseks Eestis

mille juhendaja on Inga Zaitseva-Pärnaste

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.

06.06.2023 (kuupäev)