

# SAARE-LIIVI MERETUULEPARK

## TEHNILINE KIRJELDUS

2025

## SISUKORD

1.	MERETUULEPARGI TEHNILINE KIRJELDUS.....	3
1.1.	ELEKTRITUULIKUD .....	3
1.2.	VUNDAMENDI TÜÜP .....	4
1.3.	PARGI SISENE KAABELDUS JA MEREALAJAAM .....	6
1.4.	ÜHENDUSKAABEL .....	6
2.	MERETUULEPARGI RAJAMISE ERINEVAD ETAPID .....	8
2.1.	ETTEVALMISTAV ETAPP .....	8
2.2.	RAJAMISE ETAPP.....	9
3.	MERETUULEPARGI OPEREERIMISE ETAPP.....	22
4.	TEGEVUSE LÕPETAMISE ETAPP .....	25

# 1. MERETUULEPARGI TEHNILINE KIRJELDUS

## 1.1. ELEKTRITUULIKUD

Elektrituulik koosneb merepõhja paigaldatud vundamendil (bottom fix foundation) asuvast tornist koos gondliga (milles asuvad jõuülekandesüsteemid, elektrigeneraator jms) ja rootori labadest. Saare-Liivi meretuulepargis kasutatakse merepõhja paigaldatavaid vundamente, ujuvate vundamentide kasutamist ei kavandata. Saare-Liivi meretuulepargis kasutatavat konkreetset elektrituuliku marki ei ole veel valitud.

Avamere elektrituulikute tehnoloogia areneb jätkuvalt. Arendaja eeldab, et meretuulepargi ehitamise ajaks on suurimate, kasutamiseks valmis, elektrituulikute rootori diameeter 236-280 meetrit (elektrituulikud orienteeruva võimsusega 15-20MW) ning sellest tulenevalt maksimaalne tipukõrgus merepinnalt ca 275-310 meetrit. Laba otsa ja veepinna vaheliseks liikumisvaruks on u 30-40 meetrit.

Elektrituulikute, k.a tornide ja labade tüüpiliseks värviks on helehall. Vundamentide veest välja ulatuvad osad võivad kooskõlas rahvusvaheliste standarditega vajada kollase värviga märgistamist alatest merepinna tasemest kuni ca 15-25 meetri kõrguseni. Vundamentide külge paigaldatud konstruktsioonid (juurdepääsuredelid, platvormid jms), värvitakse enamasti samuti kas kollaseks või helehalliks. Täpsed märgistamisnõuded määratakse kindlaks kooskõlas ametiasutustega ning vastavalt riigisisestele ja rahvusvahelistele nõuetele. Reeglina varustatakse elektrituulikud valgustuse või märgistusega, et neid saaks tuvastada õhusõidukitelt ja laevadelt. Sõltuvalt meretuulepargi lõplikust paigutusest liiklustrasside suhtes võib esineda täiendavaid mereohutuse märgistusi. Elektrituulikud võidakse varustada lisaks radari, udusignaali ja automaatse identifitseerimissüsteemiga. Detailsed lahendused pannakse paika koostöös ametiasutustega pärast seda, kui on selgus tuulikute suuruse ja lõpliku paigutuse osas.

Meretuuleparki paigaldatavad elektrituulikud (olenemata nende valikust) on kaasaegsed kõrgtehnoloogilised seadmed, mis vastavad konkreetsetel ajahetkel kehtivatele nõuetele. Elektrituulikute labad on valmistatud komposiitmaterjalidest ja koosnevad umbes 70% klaaskiust ja 30% termokindlast plastikust<sup>10;11</sup> Elektrituulikud sisaldavad termoplastidest pärinevat plasti, mida tavaliselt leidub ka akrüülis, polüestris, polüpropüleenis, polüstüreenis, nailonis ja teflonis.

Elektrituulikute labad koosnevad eranditult klaaskiust, epoksiidliimist ja mõnel juhul ka süsinikkiust. Labad on elektrituuliku kõige enam kuluvad osad. Tuuleparkide teemalistes diskussioonides on spekulieritud, et tuuliku labadelt võib eralduda mikroplasti ja bisfenool-A-d12. Praeguste teadmiste kohaselt "lihvib" suurem elektrituulik aasta jooksul maha maksimaalselt 150 grammi materjali ja see on peamiselt värv. Tegemist on keemiliselt mitteaktiivsete polümeeriosakestega, mis ei eralda loodusesse kemikaale. Elektrituulikute väliskihid on konstrueeritud nii, et need ei sisalda epoksiidliimi, kuigi selle jälgi võib esineda. Elektrituuliku labad sisaldavad ainult mikroskoopilisi jälgi bisfenool A-st ja seega ei erita märkimisväärseid bisfenool A või mikroplastide koguseid keskkonda ega kujuta seega ohtu keskkonnale või inimestele.

Tuulikute ja tuuleparkide kesk- ning kõrgepinge elektrijaotusseadmetes on elektrilise isolatsiooni ja kaare kustutamise tagamiseks väheste mõõtmete tõttu senini peamiselt kasutatud elegaasi (SF6). Kuivõrd elegaas on tugev kasvuhoonegaas, siis on aina enam otsitud keskkonnasõbralikumaid lahendusi. Üheks neist on näiteks puhta õhu (nn dry air või clean air) lahendused, mis tagavad võrreldes elegaasi lahendustega sarnased isolatsiooniomadused sarnaste mõõtmetega. Saare-Liivi

meretuulepargi tuulikute ning kesk- ning kõrgepinge jaotlate valikul eelistatakse elegaasi vabu lahendusi.

## 1.2. VUNDAMENDI TÜÜP

Saare-Liivi tuulepargi ala vundamendi tüübi valikul lähtutakse teadaoleva info põhjal kolmest standardsest vundamendi lahendusest: gravitatsioonvundament, vaivundament ja sõrestikvundament.

**Gravitatsioonvundament** (gravity base, GB) koosneb mere põhja rajatud killustikust koosnevast aluspadjast ja sellele asetatavast vundamendist, mis peale merepõhja paigaldamist enamasti täidetakse lisaballastiga. Gravitatsioonilisi vundamente ehitatakse kas betoonist, terasest või kasutatakse mõlemat materjali korraga. Selle vundamenditüübi korral ei toimu merepõhja puurimist. Võrreldes vaivundamendiga nõuab gravitatsioonvundament oluliselt suuremat merepõhja pindala. Vundamendi diameeter võib ulatuda kuni 50 meetrini ning põhja pindala on ligikaudu 2000 m<sup>2</sup>. Lisaks vajavad gravitatsioonvundamendid suure ruumilise mahu ja kaalu tõttu sõltuvalt merepõhja iseloomust eelnevat merepõhja ettevalmistamist. Näiteks tuleb merepõhjust enne gravitatsioonvundamendi paigaldust eemaldada pehmed setted ja rändrahnud ning tasandada kõvem aluspind. Aluspinna tasandamiseks kasutatakse tavaliselt jämedat killustikku või kruusa. Vundamendi äärtele tuleb vajadusel pärast paigaldada ka täiendav kaitsev killustiku või kivide kiht, et takistada merepõhja hoovuste poolt vundamendi aluse pinnase ärauhumist.

Eristatakse ujutatavaid ja mitte-ujutatavaid gravitatsioonvundamente. Ujutatavad gravitatsioonvundamendid valmistatakse seest tühjana ning ujutatakse lõplikku asukohta, kus see siis ballastiga täidetakse, mille tulemusel vajub vundament merepõhja. Ballastina võib kasutada kivikillustikku, liiva või mõnda muud sobivat materjali.

Mitteujutatavad gravitatsioonvundamendid valmistatakse kaldal juba oma lõplikus kaalus ning transporditakse oma lõplikku asukohta parve või raskelastilaevaga ning tõstetakse kraanaga paika.

Betoonist gravitatsioonvundamendid tuleb nende suure kaalu tõttu valmistada võimalikult tuulepargi asukoha lähedal. Metallist vundamente saab valmistada ka kaugemal, eriti juhul, kui neid on võimalik kokku panna sektsioonidest. Sektsioonidest koosnevad vundamendid võimaldavad tööd jagada erinevate tootjate vahel ning sektsioone tuulepargi lähedal olevas sadamas kokku panna.

**Vaivundament** e toruvundament (monopile) on praegu maailmas kõige enam paigaldatav avamere elektrituulikute vundament. Tegemist on vundamendiga, mis ei vaja eelnevat merepõhja ettevalmistamist. Merepõhja paigaldatakse torukujuline teraskonstruksioon, mis süvistatakse merepõhja vastavalt vajadusele kümnete meetrite sügavusele. Põhjamere tingimustes on tüüpiline paigaldussügavus u 30-35 m. Suurimad vaivundamendid kaaluvad üle 2000 tonni ja on ca 110m pikad.

Vaivundamendi diameeter on arvestuslikult kuni 18 m. Senini projekteeritud 15 MW avameretuulikute jaoks on vaivundamentide diameeter olnud vahemikus 9-12 m, kuid seni projekteeritud vaivundamentide disainitingimused erinevad oluliselt Saare-Liivi tuulepargi disainitingimustest tulenevalt Saare-Liivi projektile iseloomulikust veesügavusest, keerulisematest jääoludest ning geotehnilistest tingimustest. Vaivundamendi lõplikud peamõõtmed määrataksegi merepõhja geoloogiliste omaduste, vee sügavuse, tuuliku mõõtmete ja lokaalsete laine-, jää- ning tuuleolude

poolt. Samuti võimaldab vaivundamendi peamõõtmete valimine optimeerida tootmise, transpordi ja paigaldamise hindasid.

Põhjapindala 9 m diameetriga vaivundamendi korral on ca 64 m<sup>2</sup> ja 18 m diameetriga vaivundamendi korral ca 254 m<sup>2</sup>.

Eristatakse rammitavaid ja puuritavaid vaivundamente.

#### Rammitavad vaivundamendid

Rammitavaid vaivundamente saab paigaldada merepõhja, mis võimaldab vaivundamendi tungimist läbi merepõhja kasutades selleks hüdrorammerit. Alternatiivina on võib kasutada ka vibrovasarat või vibro- ja löökvasara kombinatsiooni. Vaivundamendi paigaldamiseks on vaja teada väga täpselt merepõhja geoloogilisi ja geotehnilisi andmeid, et tagada vaivundamendi rammitavus.

#### Puuritavad vaivundamendid

Kui merepõhja geoloogia ei võimalda vaivundamenti pinnasesse rammida, näiteks kõva aluskivimi korral, siis tuleb vaivundamendid paigaldamiseks kasutada puurimist. See paigaldusmeetod on palju aeglasem kui vaivundamentide rammimine, kuid võimaldab paigaldada vaivundamente sinna, kus rammimine ei ole võimalik. Lisaks on puurimise eeliseks oluliselt madalam müratase võrreldes rammimisega.

Vaivundamente toodetakse üldjuhul Euroopas, kust need tarnitakse Eestisse. Juhul, kui Euroopa tehastel esineb tarneraskuseid, on võimalik vaivundamente ka Aasiast tarnida.

**Sõrestikvundament** (*jacket foundation*) on sõrestikust teraskonstruktsioon, mille paigaldamiseks süvistatakse merepõhja ankurvaiad (pin piles), millega fikseeritakse sõrestikvundament merepõhja. Ankruvaiad võivad olla paigaldatud kas enne või pärast sõrestikvundamendi paigaldust. Sõrestikvundamendi paigaldamiseks vajaminevad ankruvaiad on tavaliselt 2-4 m läbimõõduga ja sõltuvalt pinnase iseloomust 10-60 m pikkused. Ankruvaiad saab sarnaselt vaivundamendiga paigaldada sõltuvalt pinnase omadustest, kas rammides või puurides. Oluliselt väiksema diameetri tõttu ei ole ankruvaiade rammimine nii mürarohke kui vaivundamendi rammimine.

Jääoludesse on sõrestikvundamendi paigaldus kõige keerulisem, kuna sõrestikvundamendi jäätakistus on kõige suurem.

### 1.3. PARGI SISENE KAABELDUS JA MEREALAJAAM

Meretuulepargi sisene kaabeldus on elektrivõrgustik, mille abil ühendatakse kõik elektrituulikud merel asuva alajaama või alajaamadega. Kaablite tehnilised parameetrid sõltuvad elektrituulikute nimivõimsusest ja nende kaugusest merealajaamast.

Üldjuhul on pargisiseste kaablite (*inner array cables*) nimipingeks 66 kV AC. Seoses suurema võimsusega tuulikute (15 – 20+ MW) turule toomisega on alustatud ka kõrgema pingega (kuni 132 kV AC) vahelduvvoolukaablite kasutamise võimalusi uurima. Kõrgema pingega vahelduvvoolu kasutamise eeliseks on madalam vool ja sellest tulenevalt ka madalam magnetväli, kuid seadmete puuduseks suuremad gabariidid ja ohutusvahemikud ning ka tehniliselt oluliselt keerukamad lahendused. Võimalusel ja tehniliste lahenduste olemasolul on eelistus kasutada kõrgemat pinget. Tulenevalt tehnilisest keerukusest ja kulude kokkuhoiust välditakse kaablite omavahelist ristumist. Kui ristumine on möödapääsmatu, siis võetakse kasutusele betoonmatt, kividest sild või muu sarnane tehnoloogia.

Kaablite keskmises olev merealajaam (ingl. k *OSS- Offshore Substation*) või merealajaamade asukoht on optimeeritud pargi siseste kaablite pikkuse ja elektrienergia kadudest lähtuvalt. Alajaamas tõstetakse nimipinget veelgi, sõltuvalt vajadusest võib see ulatuda kuni 330 kV-ni.

Eelduslikult rajatakse meretuuleparki kuni kolm alajaama, et tagada pidev varustuskindlus meretuulepargi ja maismaal asuva liitumispunkti vahel. Alajaama kohta on arvestatud üks või kaks trafot. Merealajaam on ühe või mitme tekiga platvorm, kuhu paigaldatakse kogu alajaama tehnika ja abiseadmed ning vajadusel helikopteri maandumiskoht. Eelduslikult võib ühe sellise merealajaama veepealse osa pindala olla 1000 m<sup>2</sup> ja kaal 2000 t. Veealuse osa puhul on enamlevinud vai- ja sõrestikvundament, kuid vajadusel kasutatakse ka gravitatsioonilist vundamenti. Vundament tuleb sarnaselt tuuleturbiinide vundamentidele kaitsta pinnase erosiooni eest. Alajaama paigaldusoperatsiooniks kasutatakse raskelastilaeva (HLV).

Alajaamade täpne arv, ülesehitus ja paigutus määratakse kindlaks tuulepargi projekteerimise käigus ning tugineb elektrituulikute suurusele ja arvule ning kaablite optimaalsele paigutusele.

Meretuulepargi alajaama veealuse osa ehitusalune pindala on u 2500 m<sup>2</sup> ning kaal näiteks meretuulepargi Horns Rev1 1200MW võimsusega meretuulepargi puhul on 4700 tonni.

### 1.4. ÜHENDUSKAABEL

Ühenduskaabel on elektripaigaldis, mille abil transporditakse meretuulepargis toodetud elektrienergia maismaal asuvasse liitumispunkti. Ühenduskaabli ehk eksportkaabli (*export cable*) tehnilised parameetrid erinevad pargi sisestest kaablitest, kuna korruga kantakse üle oluliselt suuremaid elektrienergia koguseid. Vähendamaks elektrienergia ülekandmisel tekkivaid kadusid, planeeritakse ülekandesüsteemi nimipinge kuni 330 kV, mis ühtlasi ühildub Eleringi põhivõrgu süsteemi nimipingega.

Kaablitrass koosneb kahest osast:

1. meretrass, mille ligikaudne pikkus merealajaamast oleks ca 31 km
2. maismaatrass, mille ligikaudne pikkus on ca 28 km

Ühenduskaablite arv sõltub meretuulepargi nimivõimsusest. Ühe ühenduskaabli läbilaskevõimeks on arvestuslikult 400 MW.

Meretrassil paigaldatakse ühenduskaabel vastavalt vajadusele merepõhja, kas pinnapealselt või pinnase sisse. Maismaatrassil paigaldatakse ühenduskaabel pinnase sisse. Valdavalt paigaldatakse kaabel pinnase sisse 1 meetri ulatuses, kuid maismaa lähedal ja paikades, kus kaablil on vaja täiendavat kaitset (nt laevateede lähedus), võib vajalikuks osutuda kaabli paigaldamine kuni 5 meetri sügavusele. Võimalikud kaabli paigaldamise viisid meretrassil on loetletud peatükis 2.2.4, maismaatrassi puhul toimub kaablite pinnasesse puurimine või lahtise kaevikuga matmine.

Meretuulepark ühendatakse maismaal asuva, 330 kV Harku – Sindi L503 õhuliinile planeeritava liitumisalajaama abil Eleringi põhivõrku. Eleringi ja meretuulepargi alajaama eelduslikuks asukohaks on valitud Pärnu linnas Malda külas asuv Kapa kinnistu.

## 2. MERETUULEPARGI RAJAMISE ERINEVAD ETAPID

### 2.1. ETTEVALMISTAV ETAPP

Enne merepargi projekteerimist ja ehitustööde algust viiakse läbi mitmed mereala väliuuringud. Väliuuringud on merepargi ehituse jooksul läbiv tegevus, kuna uuringute andmed aitavad tööde teostajal täpselt projekteerida merepargi ehitustöid. Uuringud viiakse läbi enne ja ka pärast ehitustööde teostamist, et hinnata teostatud tööde kvaliteeti ning veenduda, et saavutatud tulemus vastab soovitud. Uuringuid teostatakse tavaliselt spetsiaalsete uuringulaevade poolt, mis on varustatud vajaliku eritehnikaga.

Väliuuringud hõlmavad järgmist:

- Batümeetrilised uuringud
- Geofüüsikalised uuringud
- Geotehnilised uuringud

#### Batümeetrilised uuringud

Peamine seade batümeetriliste uuringute läbiviimiseks on lehvikonar (ingl. k *multi-beam echo sounder* ehk MBES), mis mõõdistab uuringulaevast merepõhja sügavust ja kuju. 100% katvuse saavutamiseks on vaja uuringujoonte väikest kattumist.

Neid andmeid saab kasutada vee sügavuse ja merepõhja kallete uurimiseks ning merepõhjas olevate objektide tuvastamiseks. Erinevatel ajahetkel läbi viidud batümeetriliste uuringute tulemusi saab võrrelda, et hinnata, kuidas merepõhi aja jooksul muutub.

#### Geofüüsikalised uuringud

Uuringuid tehakse pidevalt kogu projekti jooksul, et võimalikult täpselt planeerida ehitustöid. Tavapäraselt kasutatakse uuringute tegemiseks spetsiaalse tehnikaga varustatud laeva, mis ka merepargi ehituse ajal teostab täiendavaid geofüüsikalisi uuringuid, et ehituse teostuse kvaliteedist oleks pidev ülevaade. Olulisemad komponendid geofüüsikaliste uuringute teostamiseks on loetletud all.

Külgvaate sonar (ingl. k *side scan sonar* ehk SSS) on seadeldis merepõhja skaneerimiseks. Süsteem kasutab "kala", mis pukseeritakse püsival kõrgusel merepõhjust. Sonar kasutab kahte erinevat sagedust. Uuringute käigus moodustub mõlema sageduse väljasaadetud ja tagasipeegeldunud akustilistest signaalidest merepõhja tagasipeegelduvuse mosaiikpilt, mida saab kasutada merepõhja settetüüpide hindamiseks ja merepõhjas leiduvate objektide tuvastamiseks.

Magnetomeeter mõõdistab Maa magnetvälja. Magnetväljas olevad anomaaliad, mida süsteem jäädvustab, võivad näitlikustada inimtekkelisi objekte, mis on sattunud merepõhja (nt lõhkemata lahingumoon (UXO), kaableid, ankruid, kette ja vrakke). Olenevalt leitud objekti tüübist määratakse vajadus objekt eemaldada või tehakse otsus piirkonna vältimiseks.

Merepõhja profileerija (ingl. k *sub-bottom profiler* ehk SBP) abil saab koguda teavet merepõhja all leiduvate setete kohta. Sellisest uuringust saadud info annab ülevaate merepõhja ülemistest kihtidest, eriti setest. Tavapäraselt on profileerijate võimekus illustreerida aluskivimit või ka moreeni vägagi

piiratud ning üldiselt kasutatakse neid süsteeme ülemise 10–20 m uurimiseks. Profileerija abil on võimalik ka tuvastada mattunud rahne ja muid sarnaseid takistusi.

Seismouuringu (ingl. k *seismic*) abil on võimalik profileerida merepõhja all leiduvaid setteid ja kivimikihte tunduvalt sügavamale kui vaid profileerijat kasutades. Boomer ja sparker tüüpi süsteeme on võimalik kasutada nii ühe kui ka mitme hüdrofoniga. Mitme hüdrofoniga (ingl. k *multi-channel*) uuringu eesmärk on suurendada signaali osakaalu tagasipeegelduvas akustikas, mis võimaldab parendada seadme resolutsiooni ja paremini esile tuua sügavamaid kivimikihte.

## Geotehnilised uuringud

Geotehnilise ehk pinnaseuuringu eesmärk on anda ruumiline ülevaade mereala erinevatest pinnasetüüpidest ning nende geotehnilistest omadustest. See teave on oluline tuulikuvundamentide projekteerimiseks ning saadud teave aitab kindlaks määrata vundamentide eelistatud ehitus- ja paigaldusmeetodika.

Koonuse penetratsiooni test (ingl. k *CPT- Cone Penetration Test*) on geotehnilises inseneriteaduses laialdaselt kasutatav kohapealne uuringumeetod, mille abil määratakse pinnase geotehnilised omadused ja hinnatakse aluspinnase seisundit. Uuringu tulemusena saadakse teada pinnase stratigraafia, suhteline tihedus, kandevõime ja merepõhja pinnase tugevusparameetrid. Uuringute tegemiseks kasutatakse koonus-penetromeetrit, mis on paigaldatud spetsialistele uuringulaevale või allveerobotile (ingl. k *ROV- Remotely Operated Vehicle*).

Teine viis merepõhja uurimiseks on puuraukude puurimine ja puursüdamike võtmine, mille eesmärgiks on saada füüsilisi proove merepõhja setetest ja kivimikihtidest. Uuringu tulemusena saadakse üksikasjalik teave pinnase ja kivimite tüüpide, tugevuse, tiheduse ja muude geotehniliste omaduste kohta. Laborikatsete tulemusena saab andmeid pinnase kokkusurutavuse, nihketugevuse ja muude parameetrite kohta. Töid teostatakse puurseadmetega, mis on paigaldatud uurimislaevadele või jack-up platvormidele. Saadud pinnaseproovid viiakse erinevate katsete läbiviimiseks laborisse. Katsete eesmärgiks on analüüsida merepõhja proovide füüsikalisi ja mehaanilisi omadusi. Samuti saadakse teada üksikasjalikud andmed pinnase ja kivimite omaduste kohta ning sealhulgas näiteks pinnase terasuuruse jaotuse, Atterbergi piirid ja nihketugevuse parameetrid ning palju muud projekteerimiseks olulist infot.

Geofüüsikaliste uuringuandmete ja geotehniliste uuringutulemuste korreleerimine aitab luua mereala pinnasemudeli. Enne kõikide tuulikuvundamentide detailset projekteerimist, viiakse iga tuuliku asukohas läbi täiendavad geotehnilised uuringud, et välja selgitada iga tuuliku asukoha geotehnilised projekteerimise parameetrid.

## 2.2. RAJAMISE ETAPP

### Merepargi rajamise tööetapid

- Geofüüsikalised ja geotehnilised uuringud: kestus 6-12 kuud
- Vundamentide aluse merepõhja ettevalmistustööd: kestus u 12 kuud
- Vundamentide paigaldamine: kestus 3-6 kuud
- Kaablite paigaldamine (merepargi sise- ja ekspordikaablid): kestus 3-6 kuud

- Tuulikute paigaldamine: kestus 6-12 kuud. Tuulikute ehitussadamas kokkupanek, merealale transport ja paigaldus.
- Pargi käivitamine: kestus 3-6 kuud. Merepargi süsteemide testimine, võrguühenduste lõpuleviimine ja pargi käituskatsetus.
- Merepargi töötamine ja hooldus: kestus 25+ aastat (tööfaas)
- Demonteerimine: kestus 1-2 aastat (tööea lõpus). Tuulikute, vundamentide ja kaablite eemaldamine. Merepõhja taastamine looduslikku olekusse või selle ümberkujundamine muuks otstarbeks.

Saare-Liivi meretuulepargi rajamine (vundamentide, kaablite ja tuulikute paigaldamine) kestab hinnanguliselt läbi kahe aasta tingituna eelkõige talvistest oludest, mis raskendavad ehitamist aastaringselt.

### Merepargi ehituse järjekord

- Merepõhja ettevalmistavad tööd vundamentide paigaldamiseks
- Vundamentide paigaldamine
- Merepargi sisekaablite paigaldamine
- Ekspordikaablite paigaldamine
- Meretuulepargi alajaama paigaldamine
- Tuulegeneraatorite paigaldamine
- Merepargi käikulaskmine

### Peamiste komponentide tootmine ja ehitussadamasse transport

- **Tuulegeneraatorid (tornid, generaatorid, labad).** Toodetakse peamiselt Euroopas (Saksamaa, Taani, Hispaania), Aasias (Hiina, Lõuna-Korea) ja USAs. Komponente transporditakse ehitussadamasse spetsiaalsete kaubalaevade ja pargastega.
- **Vundamendid.** Toodetakse peamiselt Euroopas (Belgia, Holland, Suurbritannia), Aasias (Lõuna-Korea, Hiina) ja USAs. Transpordiks kasutatakse spetsiaalseid raskeveolaevu ja pargaseid. Komponente transporditakse sageli sektsioonidena.
- **Kaablid (sise- ja ekspordikaablid).** Toodetakse Euroopas (Saksamaa, Norra, Itaalia), Aasias (Jaapan, Lõuna-Korea) ja USAs. Transpordiks on võimalik kasutada kaubalaevu, kui kaablid on keritud paraja suurusega trumlitele, mida on võimalik kraanaga lastida/lossida. Levinud on ka lähenemine, kus projektis kasutatav kaablipaigalduslaev kerib kaabli kaabliootja sadamas laevale ning transpordib kaabli otse merealale, kus paigaldab kaabli ettenähtud asukohta.
- **Meretuulepargi alajaamad.** Toodetakse Euroopas (Holland, Saksamaa), Aasias (Hiina, Lõuna-Korea) ja USAs. Transporditakse raskeveolaevadel sektsioonidena või täielikult komplekteerituna ning viiakse enamasti otse merealale koheseks paigaldamiseks.

#### 2.2.1. Meretuuleparkide ehitus- ja töölaevad

Meretuuleparkide ehitamine tugineb suuresti spetsiaalsetele laevadele, mis on loodud konkreetsete ülesannete täitmiseks, alustades pargi ehitamisest ning lõpetades hooldamisega. Need laevad on olulised tuuleturbiinide ja nendega seotud infrastruktuuri transpordiks, paigaldamiseks ja hooldamiseks. Peamised meretuuleparkide ehitamisel kasutatavad laevad on järgmised:

- **Geofüüsikaliste uuringute laevad:**
  - Laevu kasutatakse tuulepargi arendamise varases staadiumis merepõhja tingimuste kaardistamiseks. Need laevad on varustatud sonari ja seismilise uuringu seadmetega, et kaardistada merepõhi ja selle all olevad pinnasekihid. Kogutud andmed on olulised turbiinide paigaldamiseks, kaablitrasside ja vundamentide parimate asukohtade määramiseks. Geofüüsikalised uuringud aitavad riske vähendada, tuvastades potentsiaalsed geoloogilised ohud ja tagades optimaalse asukohavaliku.
  
- **Geotehniliste uuringute laevad:**
  - Laevu kasutatakse merepõhja pinnase ja kivimite proovide kogumiseks ja analüüsimiseks, et hinnata merepõhja sobivust turbiinide vundamentide jaoks. Need laevad on varustatud puurimistehnika ja proovivõtuseadmetega, et teostada puurimist ja kohapealseid katseid. Kogutud andmed on vundamentide projekteerimiseks kriitilise tähtsusega.
  
- **Süvenduslaev (ingl. k *Dredger*):**
  - Need laevad mängivad meretuuleparkide ehitamisel olulist rolli, eriti merepõhja ettevalmistamisel vundamentide ja kaablite paigaldamiseks. Laevad on varustatud erinevate seadmetega, nagu imemistorud ja lõikepead, et eemaldada setted, kivimid ja muud veealused jäätmed. Süvenduslaevadega ehitatakse stabiilne ja tasane merepõhi, mis on oluline turbiinide vundamentide kindlaks paigaldamiseks ja kaablite nõuetekohaseks paigaldamiseks.
  
- **Kaablipaigalduslaev (ingl. k *CLV- Cable lay Vessel*):**
  - Need laevad on mõeldud veealuste kaablite paigaldamiseks, mis ühendavad tuuleturbiine üksteisega ja maismaavõrguga. Kaablite paigaldamise laevad on varustatud dünaamilise positsioneerimise süsteemiga, et säilitada tööde ajal laeva täpne asukoht. Laev on varustatud spetsiaalsete seadmetega kaablite paigaldamiseks ja merepõhja matmiseks.
  
- **Turbiinide ja vaivundamentide paigalduslaevad (ingl. k *WTIV- Wind Turbine Installation Vessel*):**
  - Need on väga spetsiifilised laevad, mis on varustatud suurte kraanadega ning mis suudavad tõsta raskeid turbiinikomponente. WTIV-d on sageli varustatud 4 või 6 nn. „jalaga“ ning tõstemehhanismiga (ingl. k *Jack-up*), mis võimaldab neil end veepinnast kõrgemale tõsta, tagades turbiini paigaldustöödeks stabiilse platvormi. Nende suur tekiala võimaldab transportida mitut turbiiniosa korraga, sealhulgas labasid, generaatoreid ja torne.
  - **Raskelastilaevad (ingl. k *HLV- Heavy Lift Vessel*)** on sarnased WTIV-dele, kuid tavaliselt kasutatakse raskemate komponentide, nagu alajaamade ja betoonvundamentide paigaldamiseks. Need laevad on varustatud äärmiselt võimsate kraanadega, et käsitleda väga suuri raskusi.
  
- **Kivipuistelaevad (ingl. k *RIV- Rock Installation Vessel*):**
  - Kivipuistelaevu kasutatakse kivide paigutamiseks merepõhja, et tekitada kaitse ja stabiliseerida veealused kaablid ja vundamid. Need laevad on varustatud täpse kivide merepõhja paigaldamise süsteemidega, et tagada täpne ja kontrollitud puiste. See on oluline, et vältida turbiinide vundamentide ja kaablite ümbruses merepinna erosioon.

- **Teeninduslaevad (ingl. k *SOV- Service Operation Vessel*):**
  - SOV-d kasutatakse nii meretuuleparkide ehitamise kui ka eksploateerimise etappides. Ehituse ajal on SOV enamasti ka ehitaja jaoks nn. „välistaap“. Need laevad pakuvad majutust ja logistilist tuge turbiinidel töötavatele tehnikutele. SOV-d on varustatud laeva liikumist kompenseerivate trappidega (ingl. k *motion compensated gangway*), et tagada tehnikute ja varustuse ohutu ülekanne laeva ja turbiinide vahel ning seda isegi tormise ilmaga.
- **Tehnikute transfeerlaevad (ingl. k *CTV- Crew Transfer Vessel*):**
  - CTV-d on väiksemad, kiired katamaraanid, mis on mõeldud tehnikute ja kerge varustuse või varuosade transpordiks meretuulepargi alale ja tagasi. Need laevad on igapäevaste operatsioonide ja hooldustööde jaoks pakkudes kiiret ja tõhusat juurdepääsu turbiinidele.
- **Mitmeotstarbelised laevad (ingl. k *MPSV- Multipurpose Support Vessel*):**
  - Need on mitmekülgsed laevad, mis suudavad täita mitmesuguseid ülesandeid nagu varuosade/kaupade transporti ning erinevate uuringute ja inspekteerimisoperatsioonide läbiviimist. Mitmeotstarbelised laevad on sageli varustatud kraanade, kaugjuhitavate sõidukite (ROV-de) ning muude spetsiaalsete süsteemidega.
- **Valve-päästelaevad (ingl. k *Standby Vessel*)**
  - Projektides kasutatakse valve-päästelaevu, et tagada meretuulepargi ala ohutus ja turvalisus ehitustööde ajal. Need laevad julgestavadehitusala, et kiiresti reageerida eri- ja hädaolukordade tekkimisel kaitsmaks inimelu ja merekeskkonda. Valve-laevad on varustatud sidesüsteemidega, et vajadusel tagada ohutusprotokollide järgimine ning koordineerida võimalike otsinugu- ja päästeoperatsioone.
- **Multicat laevad (ingl. k *Multicat vessel*):**
  - Multicat laevad on väga mitmekülgsed töölaevad, mida kasutatakse meretuuleparkide ehitamise käigus mitmesugusteks ülesanneteks. Need laevad on varustatud kraanade, vintside ja suurte tekialadega, muutes need sobivaks pukseerimiseks, ankrute käsitlemiseks ja väikeses koguses kauba transportimiseks. Selle laeva mitmekülgsus ja manöövervusvõime teeb sellest suure väärtusega toetuslaeva.

### 2.2.2. Ehituse algusoperatsioonid

Enne meretuulepargi ehituse algust tuleb merepõhi komponentide paigaldamiseks ette valmistada.

Tavaliselt alustatakse merepõhja puhastamisest. Seda viiakse lihtsustatult läbi merepõhja lastud ankruga, mida lohistatakse näiteks Multicat laeva järel (ingl. k *PLGR- Pre lay Grapnel Run*). Sellisel moel puhastatakse merepõhi näiteks mahajäetud kalavõrkudest või laevade poolt kaotatud terasvaieritest jms. Merepõhja puhastamise pindalaline ulatus sõltub vundamendi valikust ning vundamendi poolt hõivatava ala suuruselt. Näiteks gravitatsioonvundamendi puhul puhastatakse vundamendi aluspadjandi suurune ala. Esmajärjekorras puhastatakse tuulepargi kaablitrassid, et vältida

paigaldamise ajal kaablite võimalikke kahjustusi. Olenevalt merepõhja pinnasest, valitakse sobiv PLGR taglastus (nt ketid, vaierid, seeklid jne), mis võimaldab kontrollida, kui sügavale pinnasesse saab järeelvetav ankur kaevuda.

Merepõhja puhastamisele järgnevad põhja ettevalmistavad tasandus- või süvendustööd. Süvenduslaev tasandab merepõhja selliselt, et oleks võimalik vundamente paigaldada. Kaablite ohutuse tagamiseks võib osutada vajalikuks kaablite merepõhja süvendamine ja pinnasega katmine. Veel võib osutada vajalikuks merepõhja ettevalmistamine paigalduslaevade (WTIV) tuulikute asukohtades, et laev saaks turvaliselt nn. „jalad“ põhja toetada, et end veest välja tõsta.

Merepõhja ettevalmistavaks osaks on ka rändrahnude eemaldamine, kui neid kaablitrassidel vundamendi asukohas ei ole võimalik vältida. Liivi lahes võib leiduda suuremaid rändrahne, mida tuleb tuulepargi planeerimisel arvesse võtta. Kui rändrahnud kujutavad endast kaablite või vundamendi asukohtades ehitusriski, eemaldatakse enne vundamentide või kaablite paigaldamist rändrahnud. Töödeks kasutakse paljudel juhtudel MPSV-d, mis lohistab merepõhjas enda järel sahka (ingl. k *plough*), mis suunab rändrahnud kaablitrassilt eemale. Kasutatakse ka haaratsit, millega tõstetakse rändrahn teise asukohta. Allpool merepõhja asuvate rändrahnude tuvastamiseks kasutatakse 3D aluspõhja profileerijat.

### 2.2.3. Vundamendid

#### Gravitatsioonvundament

Gravitatsioonvundamentide ehituseks sadamas on vajalik piisav ruum, juurdepääs merele, toorainetele ning piisav ehitusplatsi kandevõime. Arvestades näiteks raudbetoonist gravitatsioonvundamendi kaaluga 7000 tonni ning vundamentaluseks pinnaks 2000 m<sup>2</sup> (D=50 m), siis on ehitusplatsi kandevõimeks vaja minimaalselt 4 t/m<sup>2</sup>. Arvestades, et iga raudbetoonist ehitatava gravitatsioonvundamendi juurde tuleb paigaldada ka tornkraana, siis on nt 80 vundamendi samaaegseks valmistamiseks vajalik pindala umbes 40-50 ha. Antud pind peab olema võimalikult tasane ning takistustevaba. Samuti peab olema tagatud piisava tööjõu olemasolu.

Eesti oludes on sisuliselt ainukeseks võimalikuks variandiks gravitatsioonvundamentide ehituseks Paldiski sadam. Paldiski sadamasse ehitatakse hetkel mitmeotstarbelist suure kandevõimega kaid, mida saaks kasutada nii gravitatsioonvundamentide ehitamiseks kui ka tuulikukomponentide ladustamiseks tuulikute paigalduse ajal. Samuti on Paldiskis olemas raudteejuurdepääs, mis lihtsustaks ka suurtes kogustes gravitatsioonvundamendi ehituseks vajalike toormaterjalide kohaletoomist.

Gravitatsioonilise vundamendi ehitamiseks läheb tarvis betooni ja terasarmatuuri. Arvestades raudbetoonist gravitatsioonvundamendi kaaluks ca 5000-7000 tonni on vaja kuni 3000 m<sup>3</sup> betooni ja eeldatavasti kuni 500 t terasarmatuuri.

Merepõhja ettevalmistus gravitatsioonvundamendi paigaldamiseks sõltub täpsest asukohast, kuhu tuulikut soovitakse rajada, kuid kõige olulisem tehniline piirang gravitatsioonvundamendi paigaldamisel on merepõhja piisav kandevõime. Setete olemasolul ei ole suure tõenäosusega võimalik piisavat kandevõimet tagada ning seetõttu tuleb setted vundamentide alt eemaldada. Saare-Liivi meretuulepargi alal on setete paksus väga erinev, kuid eeldatavasti on tehniliselt ja majanduslikult otstarbekas eemaldada kuni 4 meetri paksused setted. Kui arvestada, et tuuliku vundamendi alune

pindala on umbes 2000 m<sup>2</sup>, ja et setted tuleb eemaldada veidi suuremalt alalt, siis teeb see kokku ligikaudu 10 000 m<sup>3</sup> setteid ühe vundamendi kohta. Enamasti on tegemist muda või savi setetega, aga olenevalt aluskivimite omadustest võib tekkida tarvidus eemaldada piiratud koguses ülemise kivimikihi kihte. Kuna muda- ja savisetted on osa juba olemasolevast merepõhjast, siis võib need kaadata ka vahetult vundamendi kõrvale. Peale setete eemaldamist tuleb merepõhi tasandada, eemaldada nende olemasolul rändrahnud ning rajada aluspind (so kruusa- või killustikpadi), millele saab paigaldada gravitatsioonvundamendi. Peamiselt kasutatakse aluspinnana kruusa või killustikku, kuna nende kandevõime on piisav ning neid materjale on võimalik suhteliselt väikese fraktsiooni tõttu ka lihtsasti tasandada.

**TABEL 1. GRAVITATSIOONIVUNDAMENTIDE PAIGALDAMISEL VAJAMINEVA PINNASE EEMALDAMISE JA TÄITMISE EELDATAVAD MAHUD**

Tüüp	Kogus	Ala suurus (m <sup>2</sup> ) üks vundament	Maht (m <sup>3</sup> ) üks vundament	Kaal (t) üks vundament
<b>Gravitatsioonvundament</b>	80	2000		3000-7000
<b>Kruusa- või killustikpadi (1 m paksune)</b>	80	2500	2500	3750
<b>Eemaldatav pinnas (ca 4 m paksusena)</b>	80	2500	10 000	15 000

Enne vundamendi merepõhja asetamist tuleb merepõhi süvenduslaeva (*dredger*) abil tasandada ja ühtlaselt kivipuistelaeva (RIV) abil katta ca 1 m paksuse kivimikihiga, et luua vundamendile stabiilne ning kandev aluskiht. Alternatiivina kasutatakse ka painduva langetoruga kivipuistelaevu (ingl. k *FFPV-Flexible Fallpipe Vessel*). Tulenevalt vundamendi disainis sätestatud nõutele võib tekkida tarvidus kasutada ka vee all opereeritavaid buldoosereid, et tasandada lisatud kivimitest moodustunud aluspadi. Selline merepõhja ettevalmistamine on vajalik nii tavalisele kui ka ujuvale gravitatsioonvundamendile.

Hinnanguliselt ei ületa Saare-Liivi meretuulepargi tuulikuvundamentide aluspind 50 m × 50 m, kuid kivimikihi ala võib olla veidi suurem. Eeldatavasti tuleb seetõttu eemaldada kõikide vundamentide peale kokku kuni 800,000 m<sup>3</sup> pehmet pinnast ja asendada see umbes 400,000 m<sup>3</sup> jämeda kruusaga.

Eeldusel, et Saare-Liivi projekti merealadel on tulenevalt ilmastikust ratsionaalne planeerida ehitustegevust vahemikus märts-oktoober, toimuks merepõhja ettevalmistamine vundamentide jaoks kahe aasta jooksul ning nõuaks 2-4 süvenduslaeva samaaegset tegevust sõltuvalt merepõhja omadustest ja lõplikest nõuetest mere põhja kandevõimele.

Eristatakse kahte peamist gravitatsioonilise vundamendi tüüpi, millest sõltub ka nende paigaldamistehnoloogia (vt ptk 1.2). Gravitatsioonvundament (GBS) transporditakse tuulepargi merealale pargasel või raskelastilaeval (HLV), seevastu ujuvat gravitatsioonvundamenti pukseeritakse sadamast puksiirlaeva abil merealale. Esimesel juhul tõstetakse vundament rasketõstekraana abil tuuliku asukohta ning täidetakse tugilaevade abil seest ballastmaterjaliga (nt. liiv või killustik). Lisaks puistatakse vundamendi perimeetri ümber ballastmaterjal ja erosioonikaitse mis kätkeb endast erinevate tihedustega kruusa. Selleks kasutatakse enamasti langetoruga kivipuiste laevu (ingl. k *FFPV-*

*Flexible Fallpipe Vessel*). Ujuva gravitatsioonivundamendi merepõhja asetamisel täidetakse vundamendi tühjad ballasttankid sarnaselt tavalisele GBS vundamendile ballastiga, misjärel vajub vundament kontrollitult ettevalmistatud kivimikihile.

Gravitatsioonivundamendi kandevõimet ja peamõõtmeid võib vajadusel optimeerida kasutades kas tihvt- või imivaiasid (vt. Sõrestik vundamendi kirjeldust). Pehme pinnase puhul on võimalik kaaluda ka imikessoon lahendust, mille puhul gravitatsioonivundamendi põhja alla ulatuvad äärised mis surutakse gravitatsioonivundamendi enda massi ja merevee hüdrostaatilise surve abil pinnasesse. Ääraste pikkus sõltub pinnase omadustest ja võib ulatuda kuni 30 m sügavusele.

### Vaivundament

Vaivundament e toruvundament (ing k. *monopile*) on praegu maailmas kõige enam paigaldatav avamere elektrituulikute vundament.

Eristatakse rammitavaid ja puuritavaid vaivundamente (vt ptk 1.2). Rammimine toimub hüdrovasara abil. Alternatiivina võib kasutada rammimisel vibratsiooni või vibratsiooni ning rammimise kombinatsiooni. Rammimistehnoloogia kasutamiseks vaivundamendi paigaldamisel on vaja teada väga täpselt merepõhja geoloogilisi ja geotehnilisi andmeid. Teades mereala pinnasestruktuuri, saab tuuleparki projekteerides sellised asukohad välja selgitada, kus vaia rammimine ei ole võimalik pinnase kõvaduse tõttu või kus vai võib maapinna alusesse tühimikku vajuda. Kuna vaivundament on torukujuline, siis jääb pinnas vaiade rammimise korral vaia sisse. Vaivundamente rammitakse enamasti WTIV laevalt, kuid saab kasutada ka HLV laevu.

Vaivundamentide rammimisel tekib veealune müra, millel võib olla kahjulik mõju lähedalasuvale mereelustikule, kui ei rakendata leevendusmeetmeid. Keskkonnamõju vähendamiseks vaiatööde ajal kasutatakse tavaliselt akustilisi heidutusseadmeid. Akustiline heidutusseade on seade, millega tõrjutakse ennetavalt merefauna ehitusplatsilt eemale kasutades spetsiaalseid akustilisi signaale. Seda võib võrrelda näiteks lennujaamades kasutatavate lindude peletamise lahendustega.

Lisaks heidutustegevusele on eesmärk vaivundamentide rammimise ajal vähendada veealust mürataset nii palju kui vähegi võimalik. Selleks on olemas mitmeid meetodeid ja neid kasutatakse sageli samaaegselt. Üks enamlevinuid meetodeid on ka mullikardin, mida tänapäeval kasutatakse juba kahekordsena. Mullikardina tekitamiseks kasutatakse düüsidega varustatud voolikud, mis paigaldatakse ühes või kahes ringis merepõhja ümber paigalduslaeva. Seejärel pumbatakse sinna suruõhku, mis mullidena voolikust väljub ning summutab veealuse heli levikut. Õhukardinate tekitamiseks kasutatakse mitmeotstarbelist laeva (MPSV).

Kui merepõhja geoloogia ei võimalda vaivundamenti pinnasesse rammida, näiteks kõva aluskivimi korral, siis tuleb vaivundamentid paigaldamiseks kasutada puurimist. See paigaldusmeetod on palju aeglasem kui vaivundamentide rammimine, kuid võimaldab paigaldada vaivundamente sinna, kus rammimine ei ole võimalik. Lisaks on puurimise eeliseks oluliselt madalam müratase võrreldes rammimisega. Vertikaalsete šahtide puurimiseks ja terasest paalide paigaldamiseks raskesti läbistatavates muldades on mitu tehnikat, mis jagunevad leevenduspuurimiseks ja vertikaalseteks vundamendipuurideks.

#### Müraleevenduspuurimine pealpuuriga või "Drive-Drill-Drive" meetodil

Leevenduspuurimist kasutatakse siis, kui vaia ei saa täielikult paigaldada ainult rammimise teel. Juhul kui rammimine peatub kõvema pinnasekihi tõttu, siis eemaldatakse vasar ning vaivundamenti

sisestatakse puur, mis eemaldab vaia seest kõvema pinnase. Pärast puurimist jätkatakse vaivundamendi rammimist. See meetod on siiski aeganõudev kuna hüdrovasara ja puurseadme vahetamine võtab mitmeid tunde.

#### Vaivundamendi puurimine koos manteltoruga

Kui puurimist kasutatakse vaia peamise paigaldusmeetodina, mitte varu- või täiendava tehnikana, on soovitatav kasutada mantelтору. Mantelтору stabiliseerib puurauku ja tagab puurmasina jäikuse. Pärast sihtsügavuse saavutamist ja puurmasina eemaldamist toimib mantelтору hülsina, kuhu sisestatakse vaivundament. Seejärel eemaldatakse mantelтору ning samal ajal täidetakse vaia ja puuraugu vaheline tühimik seguga. Betoneerimine fikseerib vaia tugevalt pinnasesse. Mõnedel juhtudel jäävad manteltorud pinnasesse kogu vundamendi elueaks.

**TABEL 2. VAIVUNDAMENTIDE PAIGALDAMISEL VAJAMINEVA PINNASE EEMALDAMISE JA TÄITMISE EELDATAVAD MAHUD**

Tüüp	Kogus	Ala suurus (m <sup>2</sup> ) ühe vundamendi kohta	Maht (m <sup>3</sup> ) ühe vundamendi kohta	Kaal (t) ühe vundamendi kohta
<b>Vaivundament</b>	80	250	500	4000
<b>Vundamendi kaitse</b>	80	2000	3000	10000
<b>Eemaldatav pinnas (so puurimise puhul väljapuuritav materjal)</b>	80	250	5000	9000

#### **Sõrestikvundament**

Sõrestikvundament (ingl. k *Jacket foundation*) koosneb merepõhja paigaldatud terasest võrestruktuuridest, millele paigaldatakse tuulegeneraator. Sõrestikvundament fikseeritakse merepõhja tihvtvaiade (ingl. k *pin-piles*) või imivaiade (ingl. k suction piles/suction bucket/suction anchors) abil. Tihvtvaiu saab merepõhja rammida või puurida. Kui pinnasetingimused võimaldavad, on tehniliselt kõige lihtsam ja kiirem tihvtvaiad merepõhja lüüa. Tihvtvaiu saab paigaldada kas enne või pärast sõrestikvundamendi paigaldamist. Selliste vaiade läbimõõt on paar meetrit (2-4 m) ja nende pikkus on tavaliselt 10-60 meetrit.

Kui pinnase tingimused on sobivad, saab tihvtvaiu merepõhja rammida hüdrovasara abil. Tihvtvaiade täpse paigutuse tagamiseks kasutatakse spetsiaalset merepõhja asetatavat metallist sõrestikraami. Sõrestikraam on kordvukasutatav ning võimaldab paigaldada korraga kõik tihvtvaiad, nii et sõrestikvundament sobib täpselt vaiadele. Need tihvtvaiad on tavaliselt läbimõõduga 2–4 meetrit ja pikkusega 10–60 meetrit. Tihvtvaiade aga ka sõrestikvundamendi tihvtvaiadele paigaldamist saab teostada nii HLV kui ka WITV laevaga.

Juhul kui pinnase tingimused ei võimalda tihvtvaiade rammimist, siis saab vaiu paigaldada ja betoneerida (ingl. k *grouting*) eelpuuritud aukudesse. Sarnaselt eelpool kirjeldatule, kasutatakse ka puurimisel sõrestikraam tehnoloogiat. Raam tagab puuraukude ja tihvtvaiade täpse paigutuse. Puurimiskiirus sõltub suuresti pinnase tingimustest ja kivimite omadustest. Puurimine ja tihvtvaiade paigaldamine võib igal asukohal kesta mitu päeva.

Imivaiad integreeritakse üldjuhul vundamendi primaarstruktuuri ja paigaldatakse koos vundamendiga. Imivai on üldjuhul silindrilise kujuga alt lahtine struktuur mille diameeter, sõltuvalt pinnase omadustest, on 2-15 meetrit ja pikkus 5-15 meetrit. Vundamendi mere põhja tõstmisel vajuvad imivaiad osaliselt merepõhja pinnase sisse vundamendi enda raskuse mõjul. Seejärel tekitakse võimsate pumpadega imivaia sisse alarõhk ning merevee hüdrostaatilise surve koostoimel imeb vai end pinnase sisse disainsügavuseni.

## VUNDAMENDI KAITSE

Liikuvad veemassid põhjustavad merre paigaldatud konstruktsioonide ümbruses pinnase erosiooni. Erosiooni vältimiseks paigaldatakse tuulikuvundamentide ümber erosioonikaitse. Selle kaitse vajalikkus sõltub merepõhja tüübist ja keskkonnatingimustest (nt. lainetus, hoovused, tormid). Näiteks peetakse kivist merepõhja piisavalt jäigaks, et pidada vastu erosioonijõududele ning seetõttu pole konstruktsioonide ümber eraldi erosioonikaitset vaja. Samas aga liivane merepõhi vajab erosioonikaitset, et tagada vundamendi stabiilsus kogu selle eluea jooksul. Näiteks tugevate hoovustega piirkondades võivad erosioonikaitseta vaivundamentide ümber tekkida väga sügavad erosioonid, mis vähendavad vaivundamentide stabiilsust.

Erosioonikaitse on lihtsustatult merepõhja paigaldatud kruusakiht, millele järgneb suuremate kivide kiht. Kihid paigutatakse ümber vundamendi. Kruusakiht takistab suuremate kivide vajumist merepõhja. Tugevate hoovuste või tormide ajal jääb aga suuremate kivide kiht stabiilseks. Erosioonikaitse ruumiline ulatus on sama, mis kruusa- või killustikupadjal (vt tabel 1). Saare-Liivi merepargi asukoha hüdrodünaamilised uuringud näitavad, et merepõhja lähedal on hoovuste nihkejõud väike. Seetõttu on Saare-Liivi merepargi tuulikuvundamentide ümber erosioonikaitse vajadus tõenäoliselt minimaalne.

## Merejää toime vastane kaitse

Liivi laht on talvel vähemalt osaliselt jääga kaetud. Sõltuvalt talvest ja valitsevatest tuulesuundadest ja -tugevustest võib Saare-Liivi merepargi asukohas esineda nii paak- kui ka triivjää. Samuti esinevad jää liikumisele omased rüsi- ja ladejää moodustised. Vundamentide kaitsmiseks merejää ja merejää moodustiste vastu lisatakse vundamendi konstruktsioonile jäävöö ja jäätugevdustega tsoonid. Jäätugevdused integreeritakse vundamendi primaartasandi konstruktsioonidesse ning plaadistusele lisatakse piisav erosiooni- ja korrosioonilisa tagamaks nõutud eluiga jää abrasiivse toime vastu.

Vundamentide disainis arvestatakse ka sekundaarsete ja tertsiaarsete struktuuride toimimist ning võimalikke purunemismehhanisme ekstreemsetes jääoludes, et tagada primaarsete struktuuride terviklikkus. Samuti arvestatakse vundamendi ja merejää dünaamilist koostoimet.

### 2.2.4. Meretuulepargi sisene kaabeldus

#### Merekaablite paigaldamiseks vajalikud ettevalmistused

Enne kui saab alustada merekaablite paigaldamisega, tuleb merepargi kaablitrassidel teostada plahvatusohtlike esemete (ingl k. *UXO- Unexploded Ordnance*) ja objektide (nt. rahnud, muud takistused) tuvastamise uuringud. Merepõhja puhastamiseks viiakse merepõhja nn. ankur (ingl. k. *pre-lay grapnel run*) ning ankrut laeva järel lohistades teostatakse üks või siis vajadusel ka mitu puhastusoperatsiooni. UXOd kas eemaldatakse merepõhjust ja lõhatakse kuskil mujal või siis

merepargi projektis hoopis välditakse neid asukohti, kus UXOd asuvad. Need sammud on vajalikud, et kaablite paigaldamise ajal oleks ohutus tagatud.

### Merekaablite paigaldamine

Merekaablite paigaldamine toimub spetsiaalsete laevade abil, mis suudavad kaableid täpselt planeeritud asukohta paigaldada ning seejuures merepõhja kahjustamata. Tavaliselt kasutatakse kaabli paigaldamiseks kaablipaigaldus laeva (CLV). Merekaablid võivad kaaluda üle 100 kg meetri kohta ja olla läbimõõduga 150 kuni 300 mm.

Kaablite paigaldamise kiirus on enamasti vahemikus 200 kuni 600 meetrit tunnis, sõltuvalt kaabli tüübist, kaablitrassi marsruudist ja mere- ning ilmastikutingimustest.

### Merekaablite matmine

Kaablite kahjustamise riski vähendamiseks kalapüügi või lähedal asuva laevaliikluse tõttu võib kaableid merepõhja matta. Matmiseks kasutatakse sageli spetsiaalseid tööriistu. Kaablite paigaldamisel merepõhja on arvestatud, et kõvematel pinnastel (nt moreen) kasutatakse atra ning pehmete setete korral veejuga. Ader on mehhaaniline seade, mida veetakse laeva järel mööda merepõhja. See lõikab pinnasesse vaokese, paigaldab kaabli sellesse ning katab seejärel kaabli tagasi pinnasega. Veejoa tehnoloogia kasutab kõrge rõhuga survet, et muuta merepõhja pinnas pehmemaks, võimaldades kaablil vajuda pinnasesse raskusjõu mõjul.

Üheks veejoa tehnoloogiat kasutavaks näiteks on kaugjuhitav allveerobot "Dig-It".

Dig-It on roomik-tüüpi kaugjuhitav allveerobot (ROV), mis on spetsiaalselt loodud kaablite matmiseks. ROV lastakse tavaliselt vette eraldi laevalt, et matmisoperatsioon ei segaks kaablipaigalduslaeva tegevust.

„Dig-It“ tööpõhimõtte on merepõhjas kaabli all olevat pinnase kõrgsurve veejugadega ära uhtumine, peale mida kaabel vajub oma raskuse tõttu süvendatud kraavi. Kui pinnas on liiga kõva ning seda ei saa ära uhtuda, võib ROV-le paigaldada kettsaemooduli (ingl. k *CCM- Chain Cutter Module*). CCM kaevab läbi kaabli aluse pinnase, et luua kraav, kuhu kaabel juhitakse. Kraav kattub ise pinnasega ja matab kaabli. Kaablite matmise sügavus määratakse projektis konkreetsete matmisnõuete järgi. Näiteks Põhjameres on matmissügavused tavaliselt vahemikus 1,5 kuni 3 meetrit, kuid Saksamaa Läänemere osas on matmissügavused vahemikus 1 kuni 1,5 meetrit.

Kui pinnas on oodatust siiski keerulisem või vajalikku matmissügavust ei saavutata, tuleb kaableid muul moel kaitsta. Enamus juhtudel kaetakse kaablid kivimikihiga, kuid osadel juhtudel kaetakse kaablid ka nn. betoonmadratsitega (ingl k. *concrete mattresses*).

Kaabli kõrgsurve veejugadega aga ka CCM meetodil matmisoperatsioonide ajal suudab seade näidata kaabli kraavi langetamise sügavust. Selline matmisega samaaegne uuring aitab teha reaajas kohandusi, et saavutada kaabli õige matmissügavus. Pärast matmise lõpetamist tehakse tavaliselt matmisejärgne uuring, et kontrollida kaabli lõplikku matmissügavust.

Eemaldatava või kaadatava materjali kogus selgub hilisemas faasis, kuid eeldatavalt võib see ulatuda kuni 5 m<sup>3</sup>/m.



**Foto 1.** Kaablite paigaldamise seade „Mod Jet“ (laeva tõmmatav hüdroader). **Allikas:** <https://eta-ltd.com/jetting-sleds-for-subsea-power-cable-laying/>

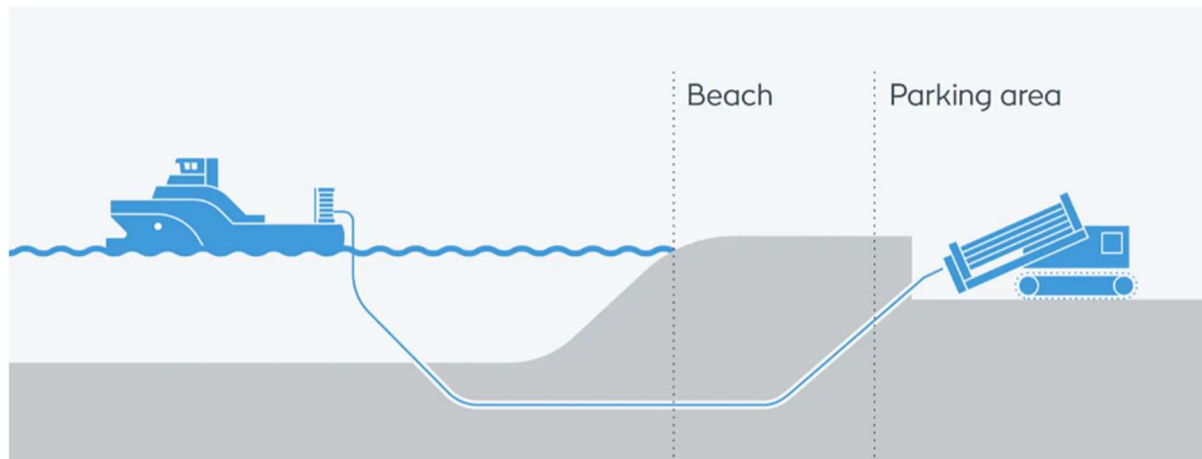


**Foto 2.** Kaablite paigaldamise seade „Trencher Deep DIG-IT“ (kaugjuhitav). **Allikas:** <https://www.vanoord.com/en/updates/van-oord-completes-cable-installation-crosswinds-hollandse-kust-noord-offshore-wind-park/>

## ÜHENDUSKAABLID

Meretuulepargi elektri põhivõrguga ühendavad eksportkaablid maetakse eelnevalt mainitud spetsiaalsete kaablite paigaldamise seadmete abil. Kaldalähedases madala veega piirkonnas võib eksportkaablite paigaldamine olla keeruline laevade ligipääsu ja võimalike keskkonnapiirangute tõttu. Nendes piirkondades võib vajalikuks osutuda kaabli paigaldamine kinnisel meetodil suundpuurimisega, et vähendada mõju looduskaitsele tundlikule alale. Suundpuurimise käigus puuritakse maismaalt

vajalikus suunas puur auk, mis kulgeb ranna ja merepõhja all kuni puurpea väljub nõutud kaugusel merepõhjast. Seejärel tõmmatakse läbi puuraugu kaablitoru läbi mille on omakorda võimalik merekaabel maismaale tõmmata. Hetkel on kaasaegsete suundpuurimise tehnoloogiatega võimalik kontrollitud suunas jätkuvalt puurida kuni 1,5 km kaugusele puurimise alguspunktis.



**Joonis 1. Suundpuurimise skeem, (Ørsted)**

Eksportkaablid ühendavad tuulepargi merel olevad alajaamad maismaa alajaamaga (Pärnu linnas Malda külas asuv Kapa kinnistu). Kaabli maksimaalseks ülekandevõimsuseks on hetkel arvestatud 400 MVA, kuid täpne paralleelsete kaablite arv, tüüp ja nendega seonduvad laiuse ja pindalalised väärtused selguvad hilisemas faasis. Kaadatava materjali eeldatav kogus on sarnaselt pargisisesele kaabeldusele kuni 5 m<sup>3</sup>/m.

Paralleelselt paigaldatud ühenduskaablite minimaalne vahekaugus meretrassil on 100 meetrit ja maismaatrassil 2 meetrit. Sellest johtuvalt on kolme paralleelse merekaabli puhul kaabliraja üldlaius umbes 200 m. Ühe kaabli lokaalseks matmiseks arvestatakse umbes ühe meetri laiust koridori, kuid ehitustööde käigus võib sõltuvalt kasutatavatele alustele ja tehnoloogiatele ehitustegevus mõjutada mere põhja kuni 20-30 m raadiuses.

### 2.2.5. Elektrituulikute paigaldus

#### **Tuulegeneraatori (ingl. k *WTG- Wind Turbine Generator*) paigaldamine.**

Tuulikute paigalduslaev (WITV) võib vedada 4-8 WTG-d reisi kohta sõltuvalt nende suuruselt ja tüübist. WTG komponendid pannakse valmis enne või veetakse juba laadimise ajal kai ääres seisva WITV laeva peakraana ette, et laeva kraana ulataks tööd tegema. Laev positioneerib end paralleelseks laadimiskaiga ning tõstab end veest välja jalgadele õigesse asendisse. Seejärel vabastatakse kraana ja komponendi tõsteseade ühendatakse nii kraana kui ka tõstetava WTG komponendiga. Pärast tõsteseadmete kontrollimist tõstetakse komponent laeva pardale ning kinnitatakse merereisi ajaks. Iga komponendi jaoks (laba, generaator, torn) on ettenähtud oma, spetsiaalselt väljatöötatud tõsteseadmed.

Enne meresõidu algust kinnitatakse kõik komponendid kinnitustugedele või spetsiaalsete raamidega. WTG labad lastitakse ja transporditakse tavaliselt virnastatud viisil ja seda spetsiaalsel raamil, mis on

laevale ehitatud. Kui kõik WTG komponendid on nõuetekohaselt kinnitatud, eemaldatakse laeva trapp ja laev suundub mereparki.

Tuuliku paigalduskohta saabumisel positsioneeritakse laev täpselt juba eelnevalt paigaldatud WTG vundamendi kõrvale kasutades dünaamilise positsioneerimise (ingl. k *DP- Dynamic Positioning*) süsteemi. DP seadistamine ja kontrollimine toimub iga kord kui laev siseneb paigaldusalasse. Kui paigalduslaev (WTIV) on soovitud asukohta manööverdatud, algab jalgade merepõhja langetamise operatsioon. Pärast jalgade lõplikke langetamise protseduure tõstetakse laev veest välja operatsioonikõrgusele ja kraana tõstetakse üles. Selle protsessi käigus jaotab tõstesüsteem automaatselt laeva koormuse nelja jala vahel. Kogu operatsioon on täpsust ja aega nõudev ning olenevalt merepõhja pinnase omadustest võib aega võtta 2-4 tundi.

Kui WITV on tõstetud operatsioonikõrgusele WTG vundamendi kõrval, paigaldatakse laevalt WTG vundamendi platvormile käimistrapp. Töötajad pääsevad seejärel platvormile, et alustada ettevalmistustöid vundamendil, mis hõlmavad järgmist:

- Vundamendi ajutise katte eemaldamine ja selle tagasi WITV-le viimine.
- Vundamendi flantsi kontrollimine kahjustuste või korrosiooni suhtes ning flantsi puhastamine.
- Paigaldustöödeks laevalt WTG vundamendile toiteallika (jõukaabli) ühendamine.

Pärast ettevalmistustööde lõpetamist lahkuvad töötajad vundamendilt.

### Paigaldusoperatsioonid

Tuulegeneraatori komponentide paigaldamise eest vastutab tavaliselt turbiini tarnija järgides nende tööjuhendit. Paigaldatakse peamised komponendid, sealhulgas:

- Torn
- Generaator
- Kolm laba

Enne komponentide vabastamist merikinnitusest kontrollitakse neid visuaalselt kahjustuste suhtes. Laeva tekilt viiakse kogu vajalik varustus vundamendi väliplatvormile.

#### *Torni paigaldamine*

Pärast torni merikinnituse vabastamist juhendab tõstmisoperatsioonide juht kraanaoperaatorit, et alustada torni hiivamist ning asetada see ettevalmistatud WTG vundamendi üleminekuosale (ingl. k *TP- Transition Piece*). Tavaliselt kinnitatakse torn poltühendusega ja paigaldatakse ühe tõstega, kuigi mõnikord paigaldatakse see projekti eripärade tõttu 2-3 osana.

#### *Generaatori paigaldamine*

Pärast torni paigaldamist tõstetakse generaator ning kinnitatakse torni külge samuti poltühendusega. Kuna tänapäevaste tuulikute tornid on suured ja kõrged, siis on need varustatud väikese liftiga, et tehnikud pääseksid lihtsamalt torni tippu.

#### *Labade paigaldamine*

Esimese laba paigaldamiseks tuleb esmalt pöörata tuulegeneraatori rumm sellisesse asendisse, et selle flants oleks 90-kraadise nurga all laba suhtes. Kui rumm on õiges asendis, juhendab

tõstmisoperatsioonide juht kraanaoperaatorit, et tõsta laba laeval olevast hoidikust generaatori kõrvale paigalduskõrgusele, kus see kinnitatakse poltühendusega. Pärast WTG komponentide paigaldamist teostatakse kogu tuuliku sisemine visuaalne kontroll ja kõik kõrvalekalded dokumenteeritakse.

Pärast kõigi WTG komponentide paigaldamist liigub laev järgmise vundamendi asukohta.

Pärast ülal nimetatud ehitustööde lõpetamist ning enne laeva veeskamise operatsioonidega alustamist viiakse läbi rida olulisi kontrole. Need hõlmavad viimase ilmateate ülevaatamist, ebasoodsa ilmastikuplaani hindamist, pardal oleva reaajas ilmastikuandmete jälgimist ja lainepoide andmete analüüsi. Nende kontrollide eesmärk on tagada, et laeva veeskamisega on ohutu jätkata. Oluline on arvestada keskkonnatingimusi nagu hoovused, nähtavus ja lainetus, et olla kindel, et pärast veeskamist saab laev turvaliselt WTG vundamendist eemalduda ning järgmisesse asukohta liikuda. Väljaspool meretuuleparki, kui asutakse tagasiteele ehitussadamasse, tõmmatakse jalad täielikult laevakere sisse.

#### *Tuulegeneraatorite paigaldamine Saare-Liivi meretuulepargis*

Saare-Liivi meretuulepargi ehituseks ei ole veel valitud ühegi tootja tuulikut. Praegu on kaalumisel 15-20 MW võimsusega turbiin, maksimaalse tipu kõrgusega 310 meetrit ja generaatori kõrgusega 150-170 meetrit. Paigaldamine toimub tõenäoliselt WITV paigalduslaeva abil ning komponentide laadimised toimuvad veel määratlemata sadamas. 2025. aastal on Paldiski Lõunasadamas valmimas meretuulepargi ehituste jaoks sobilik kai. Samuti on mereparkide ehitusele sobiliku sadamala väljaarendamist plaanimas Ljepaja sadam Lätis.

### 3. MERETUULEPARGI OPEREERIMISE ETAPP

Meretuulepargi opereerimise aeg on vähemalt 25 aastat, kuid üldine trend on opereerimisaja pikendamine, mistõttu võib see olla ka 30 või isegi 35 aastat. Elekrituulikud ja alajaam(ad) on tavapärase käitamise ajal kaugjärelevalve all ja mehitamata. Elekrituulikute regulaarset hooldust teostatakse tavapäraselt ühe aastase regulaarsusega.

Peale meretuulepargi valmimist algab pargi opereerimise etapp. Opereerimine tähendab kogu merepargi taristu töö pidevat reaajas jälgimist, regulaarset hooldust ja aeg-ajalt remonti, et tagada tõhus ja usaldusväärne energiatootmine. Siin on üksikasjalik ülevaade opereerimisetapi erinevatest aspektidest, keskendudes eriti hooldusele:

#### 3.1. Tuulepargi hooldus

##### **Tuulegeneraatorite regulaarne hooldus:**

- **Sagedus:** Tavaliselt üks kord aastas iga tuuliku kohta.
- **Ulatus:** Hõlmab ülevaatusi, määrimist, kulunud osade vahetust ja tarkvarauuendusi.
- **Hoolduse tüübid:**
  - **Ennetav hooldus:** Ajakava alusel tootja soovitude ja ajalooliste andmete põhjal.
  - **Paranduslik hooldus:** Teostatakse kui kaugjälgimise kaudu avastatakse rike.

##### **Vundamentide regulaarne hooldus:**

- Sagedus: Vastavalt disaini spetsifikatsioonile, detailide väsimusklassidele või pärast ekstreemseid koormamisi
- Ulatus: Hõlmab vundamendi, teenindusplatvormide ja -seadmete inspeksiooni ja testimist. Samuti kulunud või hävinenud osiste taastamise.
- Hoolduse tüübid:
  - Ennetav hooldus: Ajakava või kulumisastme järgi teostatav hooldus (nt. värv- või pinnakatte uuendamine või ohverdatavate anoodide asendamine)
  - Paranduslik hooldus: Kahjustunud osade parandamine või uutega asendamine. Väsimuspragude parandamine või detailide uuendamine.
  - Testimine ja sertifitseerimine: Tõsteseadmete ja platvormide turvalise töökoormuse kontrollimine ja tagamine. Käigu- ja põgenemisteede kontroll ja vajadusel testimine.

## SOV või CTV strateegia

### Teeninduslaev (SOV):

- **Eesmärk:** Toimib ujuva hotellina/baaslaevana, kus hooldusmeeskonnad elavad pikemat aega.
- **Eelised:** Sobib suurtele tuuleparkidele, mis asuvad kaugemal rannikust; vähendab transpordiaega ja suurendab töö efektiivsust.
- **Mahutavus:** Tavaliselt mahutab 40-60 inimest ja kannab varuosi ja tööriistu.
- **Kasutamine:** Tehnikud transporditakse tuulikutesse või alajaama läbi laeva liikumist kompenseeriva trapi (ingl. k *motion compensated gangway*). Selline süsteem tagab tehnikute ja varustuse ohutu ülekande laevalt turbiinile ning seda isegi tormise ilmaga. Lisaks on SOV varustatud enamasti ahtris asuva CTV-de dokkimisplatvormiga (ingl. k *boat landing platform*), mille kaudu saavad tehnikud mugavalt CTV-le ja CTV-lt juba turbiinile või alajaama edasi liikuda.

### Tehnikute transpordilaev (CTV):

- **Eesmärk:** Transpordib hooldustehnikuid igapäevaselt sadamast tuuleparki ja tagasi.
- **Eelised:** Kuluefektiivne väiksemate tuuleparkide või rannikule lähemal asuvate parkide puhul.
- **Mahutavus:** Tavaliselt mahutab 12-24 tehnikut.

### Merepargi personal:

Tuulepargi puhul, kus on 80 tuulikut ja võimsus 1200 MW võib arvestada järgmisega:

- **Personal:**
  - **Maismaa tugimeeskond:** 10-20 inimest, sealhulgas insenerid, andmeanalüütikud ja logistikakoordinaatorid.
  - **Tuulikute hooldusmeeskond:** 40-60 tehnikut ja inseneri, sõltuvalt hooldusstrateegiast (SOV või CTV).
- **Laevad:**
  - **SOV strateegia:** 1-2 SOV-i, mis katavad kogu tuulepargi. Laevameeskond 26-36 inimest kahes vahetuses 14 päeva tööl/vaba, ühel laeval.
  - **CTV strateegia:** 3-5 CTV-d, et transportida tehnikuid igapäevaselt, arvestades vajadust, et katta kõik tuulikud. Laevameeskond 4-6 inimest kahes vahetuses, 14 päeva tööl/vaba, ühel laeval.

Saare-Liivi meretuulepargi praeguses etapis ei ole hoolduslaevade strateegia osas veel otsust tehtud. Strateegia otsustamiseks on vaja teha analüüs, millel sisendiks on muuhulgas pargi suurus, valitud hooldussadam, erinevate laevatüüpide opereerimiskulu jpm.

Hooldusbaasi (ingl. k *O&M- Operation and Maintenance*) asukoht:

- **Optimaalne asukoht:** Hooldusbaas peaks asuma tuulepargile lähedal asuvas sadamas, et minimeerida transpordiaega. CTV-ga pargi teenindamiseks loetakse optimaalseks sõidule kuluvaks ajaks 1h. Seetõttu võiks Saare-Liivi merepargi hooldussadamaks sobida Virtsu, Munalaid, Pärnu ja Salacgriva. SOV-ga pargi optimaalseks teenindamiseks loetakse neid sadamaid, mis asuvad merepargist 100 meremiili raadiuses. Muidugi on eelduseks, et sadamasse peab mahtuma laev, mille süvis on ca 6 m.
- **Vajalikud rajatised:** O&M hoone lähedal peaks asuma kai SOV või CTV teenindamiseks, tuulikute varuosade ja hooldusseadmete hoiuruumid, kontoriruumid maismaa tugimeeskonnale ning vajadusel ka majutusvõimalused tehnikutele.

### Tuulikute hooldus talvel

#### Väljakutsed:

- **Jää moodustumine:** jää võib takistada laevade liikumist ja juurdepääsu tuulikutele.
- **Ilmastikutingimused:** rasked talvised ilmastikutingimused võivad hooldustegevust keerulisemaks muuta.

#### Strateegiad:

- **Jääklassiga laevad:** kasutatakse jääklassiga SOV-d või CTV-d, mis on võimelised jääd murdma.
- **Helikopteriga transport:** kui jäätõngimused takistavad laevade liikumist, saab pargis kiiret remonti vajavatel juhtudel meeskondi transportida helikopteritega.
- **Jälgimine ja planeerimine:** jäätõngimuste ja ilmaprognooside pidev jälgimine hooldustegevuse tõhusaks planeerimiseks.

Saare-Liivi meretuulepargi tõhusa töö tagamiseks võib kasutada kombineeritud SOV- ja CTV-strateegiat, sõltuvalt konkreetsetest tingimustest ja logistilistest kaalutlustest. Hooldusbaas on lähedalasuvas sadamas ning talveperioodil tuleb jäähoolduseks kasutada spetsiaalseid meetmeid, sealhulgas jääklassiga laevu ja vajadusel helikoptereid.

## 4. TEGEVUSE LÕPETAMISE ETAPP

Eeldatakse, et meretuulepark on umbes 30 aasta pärast jõudnud opereerimise lõpule. Elekrituulikud, vundamendid, alajaamad ja muud rajatise osad demonteeritakse ning transporditakse maismaale. Vundamentide asukohad taastatakse mõistlikus ulatuses.

Demonteerimine toimub põhimõtteliselt vastupidiselt ehitusaegse tegevusega, milleks kasutatakse sarnaseid laevu. Elekrituuliku labade, gondli ja torni demonteerimist teostatakse *jack-up* laevaga, mis eemaldab iga detaili, asetab need transpordialusele ja viib sobivasse sadamasse.

Maismaale viidud tuulikute komponendid taaskasutatakse ja utiliseeritakse vastavalt sel ajal kehtivatele nõuetele ning normidele. Oluline on märkida, et taaskasutusvõimalustele mõeldakse täna oluliselt rohkem kui näiteks mõni aastakümme tagasi. Laialdaselt diskuteeritav tuulikulabade keeruline taaskasutus tuleneb labadest, mis on toodetud umbes 20 aastat tagasi, kus ümbertöötlemisele ei pööratud olulist tähelepanu. Täna rakendavad kõik juhtivad tuulikute tootjad meetmeid, mis võimaldavad aastakümnete pärast lihtsamat labade ümbertöötlemist.

Vundamentide eemaldamisel on lähenemine, et merest eemaldatakse see osa, mis on tehniliselt võimalik ja samas mõistlik. Üldjuhul kehtib põhimõte, et rajatised demonteeritakse, kui nende üksikute struktuuride eemaldamine ei too kaasa suuremat keskkonnanahäiringut kui nende alles jätmine. Näiteks on paarkümmend aastat tagasi rajatud gravitatsioonvundamente tehniliselt võimalik merepõhjast üles tõsta. Samas võib olla tekkinud vundamentidele väärtuslik mereökosüsteem, mida ei lubata kahjustada, sest need toimivad kunstlike riffidena.

Vaivundamentide puhul on ratsionaalne eemaldada veesambas olev osa, kuid pinnases olev osa jätta mere põhja (kuna selle välja tõmbamisega võib põhjustada olulisi keskkonnanahäiringuid ning inertne metallist objekt merepõhja pinnases ei tekita negatiivset keskkonnamõju). Vaivundamendi (ja ka sõrestikvundamendi) eemaldamiseks lõigatakse vaivundamendi sein (mõni meeter merepõhja pinnast madalamalt) läbi ja tõstetakse transpordialusele ning viiakse sadamasse. Metallist vaivundamenti saab hõlpsasti nii taaskasutada kui ka utiliseerida. Sarnaselt muudele tööstusettevõtetele on ka meretuulepargi demonteerimine meretuulepargi omaniku kohustus.

Merealuste kaablite puhul oleneb lammutusprojektist, kas kaablid jäetakse merepõhja või eemaldatakse. Teatud juhtudel võib kaablite merepõhja jätmine olla eelistatav, kui see toob kaasa väiksema keskkonnamõju. Üks peamisi argumente kaablite merepõhja jätmise kasuks on see, et kaabli eemaldamine võib häirida merepõhja ökosüsteemi, mis on aastate jooksul kaabli ümber stabiliseerunud. Teisalt on kaablites kasutatavad materjalid, nagu alumiinium, vask ja teras, väärtuslikud ning nende eemaldamine võimaldab taaskasutada olemasolevaid ressursse. Merealuseid kaableid on võimalik täies mahus merepõhjast eemaldada, viies läbi paigaldusmeetodile vastupidise protsessi. Kaablidisaini valikud võivad parandada hilisemat materjalide eraldamist ja taaskasutuse kvaliteeti. Traditsiooniliste materjalide nagu alumiiniumi, vase ja terase taaskasutus on juba praegu kõrge efektiivsusega ning laialt levinud, kuid võimalik on taaskasutuse kvaliteeti ja efektiivsust tõsta ka läbi kaabli südamikku ümbritseva metallist veetõkke eemaldamise.