

# Lääne-Saaremaal Sõrve poolsaare rannikul asuva planeeritava tuulepargi ala geoloogiline taust ja seismilisus



RAKVERE 2025

Kaanefoto: Kollaaž.

Soovituslik viitamine: Tuuling, I., Suuroja, S., Veski, A., Soosalu, H., Karpin, V. 2025. Lääne-Saaremaal Sõrve poolsaare rannikul asuva planeeritava tuulepargi ala geoloogiline taust ja seismilisus. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

KINNITATUD Eesti Geoloogiateenistuse Teadusnõukogu otsusega

# Lääne-Saaremaal Sõrve poolsaare rannikul asuva planeeritava tuulepargi ala geoloogiline taust ja seismilisus

Aruanne

Autorid: Igor Tuuling, Sten Suuroja, Anu Veski, Heidi Soosalu, Vladimir Karpin

Töörühma juht: Sten Suuroja

Eesti Geoloogiateenistuse direktor: Sirli Sipp Kulli

**RAKVERE 2025** 

### Sisukord

Tabelite nimekiri5						
Annotatsioon8						
1. Tuulepargi ala geoloogiline taust 10						
1.1. Sissejuhatus						
1.3. Merepõhja morfoloogia ja substraat 13						
1.4. Aluspõhi						
1.4.1. Tuulepargi polügoonil avanev aluspõhja kompleks 22						
1.4.2. Aluspõhja reljeef Lääne-Saaremaa rannikul ja tuulepargi ala ümbruses						
1.5. Pinnakate						
1.5.1. Chirp-tüüpi saatjaga kogutud seismoakustiliste profiilide võrk tuulepargi polügooni alal 32						
1.5.2. Raskused aluspõhja ja moreenipinna eristamisel						
1.5.3. Tuulepargi ala ümbruse chirp-tüüpi profiilide seismostratigraafiliste üksuste						
interpreteerimine						
1.5.4. Näited interpreteeritud seismoakustilistest profiilidest ja erinevate stratigraafiliste üksuste						
reljeefi ja paksuste kaardid 35						
1.6. Järeldused ja soovitused Sõrve poolsaare rannikule planeeritava tuulepargi ala edasisteks						
geoloogilisteks uuringuteks						
2. Ülevaade seismilisusest Sõrve poolsaare rannikule planeeritava tuulepargi ala piirkonnas. 53						
2.1. Sissejuhatus						
2.2. Maavärinad uuringuala piirkonnas						
2.3. Seismilise ohu hinnang uuringualal 58						
2.4. Järeldused seismilisuse osas planeeritava tuulepargi ala piirkonnas Sõrve poolsaarest läänes 59						
Kokkuvõte						
Viited						
Lisa 1						

### **Tabelite nimekiri**

Tabel 1. Maavärinate nimekiri	piirkonnas 56,5–59,5°N	, 18–26°E	56

### Jooniste nimekiri

Joonis 1. Planeeritava tuulepargi polügooni asukoht Eesti merekaardil 11
Joonis 2. Tuulepargi ala batümeetria kaart, mis tugineb chirp-tüüpi saatja seismoakustilistel
andmetele
Joonis 3. Lehviksonari andmetel põhinev batümeetria kaart 15
Joonis 4. Tuulepargi ala lehviksonari andmetel põhinev batümeetria kaart koos meresügavuse
väärtustega16
Joonis 5. 3D kujutis tuulepargi ala merepõhja reljeefist
Joonis 6. Lehviksonari andmetel põhinev tuulepargi polügooni batümeetria kaart ja sellest tehtud
suurendatud väljavõtted illustreerimaks merepõhja geomorfoloogilisi struktuure
Joonis 7. Lehviksonari andmestikul põhinev tuulepargi ala batümeetria kaart koos merepõhjas
tuvastatud rahnudega19
Joonis 8. Tuulepargi ala merepõhja substraadi kaart, mis põhineb lehviksonari tagasihajumise
intensiivsuse andmetel. Merepõhjas avanevad pehmed Läänemere setted ja aluspõhja kivimid
ilmnevad vastavalt heledatel ja tumedatel aladel
Joonis 8A. Lehviksonari impulsi tagasihajumise andmestiku põhjal koostatud suurendatud väljavõte
joonisest 8, näitamaks täpsemalt tuulepargi ala merepõhja substraati. Pehmed Läänemere setted
ja kõvad kivimid/setted (aluspõhja kivimid, mis on vähemal või suuremal määral kaetud
savimoreeniga) avanevad merepõhjas vastavalt heledates ja tumedates toonides
Joonis 9. Saaremaa lääneranniku geoloogilis-stratigraafiline läbilõige, mis tugineb Lääne-Saaremaa
puursüdamikes eristatatud siluri formatsioonide (Fm) ja kihistike (Mb) korrelatsioonile merealal
eristatud seismiliste reflektoritega $S_8$ - $S_{13c}$ (täiendatud Nestor, 1997 järgi). Jaagarahu-Ohesaare
profiili asukoht vt joonised 11 ja 12 22
Joonis 10. Paleobalti siluri basseini fatsiaalne mudel (allpool) ja paleogeograafia koos fatsiaalsete
vööndite paiknemisega Saaremaa suhtes Jaagarahu-Rootsiküla ajal (ülal) (Tuuling & Flodén, 2011)
Joonis 11. Saaremaa lääneranniku geoloogiline kaart koos tuulepargi polügooni asukohaga (täiendatud
. Tuuling ja Flodén, 2011 järgi). Siluri lademete indeksid jn - Jaani lade, jg - Jaagarahu lade, rk
Rootsiküla lade, pd - Paadla lade, kr - Kuressaare lade, kg - Kaugatuma lade, oh - Ohesaare lade.
Seismiliste reflektorite stratigraafilist paiknemist vt joonis 9
Joonis 12. 1990. aastate algul Rootsi–Eesti ühisprojekti käigus tehtud seismilised (õhukahuri) profiilid,
Saaremaa läänerannikul koos planeeritava tuulepargi polügooni kontuuriga
Joonis 13. Interpreteeritud seismiline profiil 93-02. Profiili asukoht vt. joonis 12
Joonis 14. Interpreteeritud seismiline profiil 91-07. Profiili asukoht vt. joonis 12

Joonis 15. Interpreteeritud seismiline profiil 93-01. Profiili asukoht vt. joonis 12
Joonis 16. Interpreteeritud seismiline profiil 95-34. Profiili asukoht vt. joonis 12
Joonis 17. Interpreteeritud seismiline profiil 93-17. Profiili asukoht vt. joonis 12
Joonis 18. Interpreteeritud seismiline profiil 95-35. Profiili asukoht vt. joonis 12
Joonis 19. Interpreteeritud seismiline profiil 91-12. Profiili asukoht vt. joonis 12
Joonis 20. Interpreteeritud seismiline profiil 91-11. Profiili asukoht vt. joonis 12
Joonis 21. Seismoakustiliste (Chirp) profiilide võrk ja interpreteeritud profiilide asukohad Sõrve
poolsaare rannikul
Joonis 22. Chirp-tüüpi saatja interpreteerimata (A) and interpreteeritud (B) profiil näitamaks Sõrve
poolsaare rannikul tuulepargi polügooni põhjaosa seismoakustilisi üksusi. Sellel profiilil tungib chirp-
tüüpi saatja impulss moreeniüksusesse ja eraldab mõnel pool aluspõhja pinna. Profiili asukoht vt profiil
1 joonisel 21
Joonis 23. Problemaatilise seismoakustiliselt läbitungimatu moreeni/aluspõhja pinna reljeefi kaart
tuulepargi polügoonil ja selle ümbruses
Joonis 24. Problemaatilise seismoakustiliselt läbitungimatu moreeni/aluspõhja pinna reljeefi 3D
kujutis tuulepargi polügoonil ja selle ümbruses
Joonis 25. Probleemse moreeni/aluspõhja pinda katvate jääajajärgsete setete paksuste kaart
tuulepargi piirkonnas
Joonis 26. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht
vt profiil 2 joonisel 21
39
Joonis 27. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht
vt profiil 3 joonisel 21
Joonis 28. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht
vt profiil 4 joonisel 21
Joonis 29. Interpreteeritud chirp-tuupi seismoakustiline profiil, mis asub lubjakiviplatool tuulepargi
pohjapiirist valjaspool. Profiili asukoht vt profiil 5 joonisel 21
Joonis 30. Interpreteeritud chirp-tuupi seismoakustiline profiii tuulepargi pohjaosast. Profiii asukont
vt profili 6 joonisel 21
Joonis 31. Interpreteeritud chirp-tuupi seismoakustiline profiil tuulepargi pohjaosast. Profiili asukoht
vt profili / joonisel 21
Joonis 33. Interpreteeritud chirp-tuupi seismoakustiline profili tuulepargi keskosast. Profilii asukont vt
profili 9 joonisel 21
Joonis 35. Interpreteentud chirp-tuupi seismoakustiine profili tuulepargi keskosast. Profilii asukont vt
promi 11 joonisel 21
profiil 12 ioonicol 21
promi 12 joonisel 21
profiil 13 ioonisel 21
promit 15 jooniser 21

Joonis 38. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi lõunaosast. Profiili asukoht
vt profiil 14 joonisel 21 45
Joonis 39. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil, mis katab tuulepargi lõunaosas asuvat
lubjakivi platood. Profiili asukoht vt profiil 15 joonisel 2145
Joonis 41. Tuulepargi polügooni ümbruse kvaternaari setete kaart. Balti jääjärve viirsavi üksus avaneb
aluspõhja nõo ja orundite piires. Kõrgemal asuva aluspõhja reljeefiga aladel avaneb valdavalt
savimoreeni kiht
Joonis 42. Tuulepargi polügooni savimoreeni paksuste kaart
Joonis 43. Balti Jääpaisjärve viirsavide paksuste ja leviku kaart tuulepargi polügooni piirkonnas 49
Joonis 44. Tuulepargi ala savimoreeni ülemise pinna reljeef 50
Joonis 45. Teadaolevate maavärinate epintsentrid planeeritava tuulepargi ala piirkonnas aastatel
1375–2023
Joonis 46. Euroopa seismilise ohumudeli 2020 kaart, mis näitlikustab keskmist suurimat maapinna
kiirendust 475 aasta pikkuse perioodi vältel (Danciu jt, 2024)

### Annotatsioon

Käesolevas aruandes käsitletakse Sõrve poolsaarest umbes 10–40 km kaugusele Lääne-Saaremaa rannikule planeeritava 7-kujulise avamere tuulepargi ala (polügooni) geoloogilist tausta ja hinnatakse selle seismilisust. Geofüüsikalisi uuringuid aruande koostamise raames ei teostatud, vaid kõik esitatud kirjeldused ja järeldused ala geoloogilise tausta kohta tuginevad kahe varasema seismoakustilise andmekogumi tõlgendustele: 1) 1990. aastate alguses Rootsi-Eesti koostöös madalsagedusliku (250–500 Hz) suruõhu kahuri abil kogutud profileerimise andmestik ja 2) Veeteede Ameti poolt aastatel 2017–2024 kogutud merepõhja kaardistamise andmestik, kasutades lehviksonarit ja chirp-tüüpi (2–9 kHz) seismoakustilist saatjat.

Meresügavus uuringualal suureneb Sõrve säärest Läänemere keskosa suunas. Sügavused varieeruvad tuulepargi alal 12 m-lt ala kaguosas kuni loodeosa 45 m-ni. Merepõhja reljeefi iseloomu kui ka geoloogilist ehitust silmas pidades eristub kaks selgelt erinevat piirkonda. Madalad merealad (kuni 30 m a.m.p), mis kerkivad katkendlikult piki 7-kujulise tuulepargi polügooni servi, kujutavad endast ala idast ja põhjast ümbritseva lubjakiviplatoo kõrgemaid osasid. Sügavam mereala (> 30–35 m a.m.p) jääb kergesti erodeeritavatesse Kuressaare, Kaugatuma ja Ohesaare lademe savikatesse lubjakividesse kulutatud aluspõhja nõo alale. Aluspõhja sügavus tuulepargi lubjakiviplatoo ning nõlva-nõo aladel jääb vastavalt enamasti 25–35 m ja 40–60 m a.m.p, aga võib aluspõhjalistes orgudes ületada isegi 80 m.

Chirp-tüüpi saatjaga kogutud seismoakustilised andmed ei võimalda tuvastada, kas seismilisele impulsile läbimatu pind markeerib moreenikihi või aluspõhja pealispinda. Õhukahuri ja chirbi andmete põhjal esineb moreeni tuulepargi ala ümbruses mitmel pool. Seismoakustilise impulsi alusel on tuulepargi alal eristatavad kaks seismoakustilist üksust. Läbitungimatu moreeni/aluspõhja pinnal lasuva üksuse seismiline signatuur meenutab savimoreeni, savikat kompleksi mis sisaldab rohkelt kruusa ja veerisid. Sellel lasub omakorda Balti jääjärve viirsavide kompleks. Aluspõhja/moreeni pinda kattev savimoreen levib sisuliselt kõikjal tuulepargi ala piires, kuigi selle paksus aluspõhja platoo piires, kus see kiht avaneb, võib kohati kahaneda nullini. Tuulepargi alla jääva aluspõhja nõo ning selle nõlva piires, kõigub savimoreeni paksus suuresti 4–6 m piires, ulatudes tuulepargi ala lõunatipu ümber ligi 10 m. Selleks et kontuurida tuulepargi alal moreenikihi levikut ning fikseerida ühemõtteliselt selle ülemine pind tuleb piirkond katta seismo-akustiliste profiilide võrguga, kus lisaks *chirp*-tüüpi saatjale kasutatakse samaaegselt ka *boomer*-tüüpi saatjat, mille impulss läbib enamasti moreenikihi.

Tuginedes seismo-akustilistel profiilidel ja lehviksonari kaardil esile tulevatele virgmärgi laadsetele struktuuridele, ilmneb, et viirsavide avamusalal on merepõhi laialdaselt kaetud tänapäevaste liivakate setetega, mis on hoovuste ja lainetuse poolt kergesti liigutatavad. Lehviksonari kaardil tulevad tuulepargi idapiiril esinevatel lubjakivi platoo laikudel merepõhjas esile arvukad, suuremad ja väiksemad rändrahnud.

Kuna Eesti piirkond asub geoloogiliselt stabiilsel alal, on ka seismilisuse tase tagasihoidlik. Tüüpiline on väiksemate (magnituudiga < 3) maavärinate juhuslik esinemine. Sellise madala aktiivsusega piirkonnas on seismilisusest keeruline saada terviklikku ülevaadet. Vaja oleks pikema ajaperioodi jooksul kogutud andmeid, kuid ajaloolised andmed on lünklikud ja mõnevõrra ebatäpsed. Alles viimastel aastakümnetel rajatud seismojaamad võimaldavad täpsemat lokaliseerimist ning suudavad registreerida ka väiksemaid sündmusi. Varasemate aegade kohta on olemas ainult makroseismilised vaatlused, st maavärinate suurust ja asukohta hinnatakse inimestele, hoonetele ja maastikule avalduva mõju põhjal.

Tuulepargi ala ümbruses on täheldatud mõningaid väikeseid maavärinaid, nii ajaloolisi kui ka instrumentaalselt registreerituid. Eeldatav seismilise ohu tase on piirkonnas pigem madal, kuigi andmete vähesuse tõttu pole võimalik teha kaugele minevaid järeldusi.

# 1. Tuulepargi ala geoloogiline taust 1.1. Sissejuhatus

Ülemaailmselt eskaleeruv energiakriis koos hüppeliselt tõusvate elektrikuludega on drastiliselt suurendanud nõudlust roheliste ja jätkusuutlike energiaallikate järele. Arvestades rannajoone pikkust ja ulatuslikke madalaid avamerealasid, peetakse tuult üheks Eesti kõige perspektiivsemaks energiaallikaks. Seetõttu on algatatud mitmeid tuuleparkide projekte, mis viimase paarikümne aasta jooksul on ellu viidud peamiselt Mandri-Eesti rannikulähedastes piirkondades. Kuid nagu teiste riikide kogemused on näidanud, on avamerealadel palju suurem ja stabiilsem tuulepotentsiaal, tuulikud häirivad seal vähem inimeste igapäevaelu ja seetõttu võivad merealad olla veelgi parem valik tuuleparkide rajamiseks. Sobiva koha leidmine avamerel on keeruline protsess, mis lisaks keskkonna-, navigatsiooni-, kalapüügi- jne ohtude/komplikatsioonide hindamisele eeldab kahtlemata häid teadmisi piirkonna merepõhja geoloogiast. Mistahes piirkonna geoloogiline ehitus (kivimite vanus ja tüüp, setete ja kivimite paksus, rikete olemasolu jne) sõltub globaalsest laamtektoonilisest taustast läbi geoloogilise ajaloo. See määrab ka praeguse tektoonilise ja seismilise aktiivsuse tõenäosuse ning võimalike maavärinate ohu Eestis.

Regulaarsete meregeoloogiliste uuringutega hakati tegelema 1973. aastal, kui Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudis loodi meregeoloogia uurimisrühm. Sellest ajast alates on Eesti rannikualade madalatelt merealadelt kogutud suurel hulgal erinevat liiki geoloogilist teavet. Tänapäeval põhinevad meregeoloogilised uuringud peamiselt erinevatel seismoakustilistel meetoditel. Neid meetodeid on Eestis üha enam ja tõhusamalt rakendatud alates 1980. aastate lõpust. Lisaks geoloogilistele uuringutele alustas Veeteede Amet 1990. aastate alguses Eesti territoriaalvetes merepõhja kaardistamist, kasutades erinevaid sonaripõhiseid meetodeid (külgvaate- ja mitmekiireline sonar, seismoakustiline profileerimine chirp-tüüpi saatjaga). Nii on Eesti avamerealadelt enam kui 40 aasta jooksul kogutud mahukas ja erineva kvaliteediga seismoakustiline andmestik.

ELWIND on Eesti ja Läti riikidevaheline projekt meretuulepargi rajamiseks Läänemerre (https://elwindoffshore.eu/et/elwind/). Projekti arendaja on Keskkonnainvesteeringute Keskus, projekti partnerid Kliimaministeerium Eestist ja Majandusministeerium Lätist. Ametliku arengustrateegia kohaselt peetakse Saaremaast läänes asuvat madalat mereala üheks perspektiivsemaks piirkonnaks tuuleparkide rajamiseks Eesti rannikule. Tuginedes kõigile olemasolevatele andmetele, mis on kogutud Lääne-Saaremaa ümbruses ja avamerel, on käesoleva aruande eesmärk võtta kokku Sõrve poolsaarest umbes 10–40 km lääne-edelas paikneva tuulepargi ala (WFA) geoloogiline taust (joonis 1). Kuna ELWIND merertuulepargi arendusala kuju meenutab 7-kujulist (meenutab numbrit seitse) polügooni, saab alal eristada kahte ristuva orientatsiooniga lõiku. Põhjaosa umbes 3–8 km laiune ja 20 km pikkune avamere suunas laienev ida-läänesuunaline lõik ristub umbes 1–5 km laiuse ja 30 km pikkuse kirde-edelasuunalise rannalähedase lõiguga, mis järgib suures osas Sõrve poolsaare rannajoont.



Joonis 1. Planeeritava tuulepargi polügooni asukoht Eesti merekaardil

# 1.2. Kasutatud geoloogilised materjalid/andmed

Tuulikute aluse maapõue võib litoloogiliselt jagada laias laastus kaheks segmendiks, millel on väga erinevad geotehnilised parameetrid. Paleosoikumi aluspõhja kivimeid katavad kvaternaarse pinnakatte konsolideerimata pehmed setted, millel on erinev paksus ja koostis. Saaremaal ja selle ümbruse avamerealadel paljanduv aluspõhi koosneb väga varieeruva savisisalduse ja erosioonikindlusega siluri lubjakividest. Saaremaa geoloogia kohta on avaldatud palju materjali. Suurem osa meie teadmistest põhineb geoloogilisel kaardistamisel või spetsiifilistel teaduslikel uuringutel, mida on läbi viinud vastavalt Eesti Geoloogiakeskus ja Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituut 20. sajandi teisel poolel. Lisaks paljudele teaduslikele artiklitele käsitlevad Saaremaa ümbruse siluri aluspõhja kaks monograafiat (Kaljo, 1970; 1977), kvaternaari setete kompleksi kohta on ilmunud arvukaid publikatsioonide/monograafiaid (nt Raukas, 1978; Tavast & Raukas, 1982). Kogu sellekohane info on kokku võetud ka Eesti geoloogiat ja maavarasid käsitlevas monograafias (Raukas & Teedumäe, 1997).

Kuigi varasemaid meregeoloogilisi uuringuid tehti Eestis juba 1970.–1980. aastatel (Lutt & Raukas, 1993), algas süstemaatiline seismoakustiline profileerimine järk-järgult paraneva aparatuuri ja salvestuskvaliteedi paranemisega alles siis, kui 1990. aastate alguses algatati Rootsi-Eesti koostööprojekt. Projekt tugines analoog meetodile ja kuna selles keskenduti suuresti aluspõhja geoloogiale, kasutati seismilise impulsi tekitamiseks peamiselt suruõhu kahurit (PAR-600 õhukahur sagedusvahemikus 250–500 Hz) mille madalsageduslik impulss tungis kõvadesse lubjakividesse. Mitmed selle projekti käigus tehtud seismilised profiilid katavad ka Sõrve poolsaarest läänes asuvat ELWIND tuulepargi ala (joonis 1; vt ka joonis 12). Projekti tulemused on avaldatud arvukates artiklites, millest paljud kirjeldavad alal levivate siluri üksuste geoloogilist tausta ja nende korrelatsiooni lähedal asuvate Saaremaa puursüdamike lõikudega (Tuuling & Flodén, 2009, 2011, 2013). Seega põhinevad käesoleva aruande aluspõhja puudutavad järeldused suuresti Rootsi-Eesti teadusprojekti käigus kogutud teabel.

Võrreldes suhteliselt hästi uuritud siluri kihtidega on tuulepargi ala katvate kvaternaari setete kohta käiv info tagasihoidlik. Seda eelkõige seetõttu, et Rootsi-Eesti projekti käigus kasutatud õhukahuri impulsi lahutusvõime ei olnud piisav kvaternaari kompleksi liigestamiseks ja üksikasjalikumaks uurimiseks. Transpordiameti poolt viimastel aastatel läbi viidud Eesti rannikulähedaste alade merepõhja kaardistamine on aga andnud hulgaliselt kõrge lahutusvõimega seismoakustilisi (chirp-tüüpi saatja ja lehviksonari) andmeid Sõrve poolsaare lähedase mereala kvaternaari jääajajärgse Läänemere setete kompleksi kohta. Seega tugineb käesolevas aruandes esitatud ülevaade kvaternaarisetete kompleksist tuulepargi alal ja selle ümbruses suurel määral chirp-tüüpi saatjaga kogutud seismoakustilistele andmetele. Lehviksonar annab aga väärtuslikku teavet merepõhja reljeefi üksikasjade kohta, samuti merepõhja substraadi (võimalikud kivimite ja setete tüübid) iseloomu kohta.

# **1.3. Merepõhja morfoloogia ja substraat**

Transpordiameti poolt kogutud chirp-tüüpi seismoakustiliste ja lehviksonari andmete põhjal (joonis 21) koostati tuulepargi ala batümeetria- ja tagasihajumise intensiivsuse kaardid (joonised 2–8, 8A).

Sügavusandmeid koguti Transpordiameti hüdrograafiliste uuringute käigus aastatel 2017–2024 uurimislaeva Jakob Prei pardal, kasutades Reson 7125 ja Reson T50 lehviksonareid, mis töötasid sagedusel 400 kHz ja kasutasid 256–512 võrdnurkset kiirt, lehvikulaiusega 130° kuni 140°. Laeva kiirus oli 12 sõlme ning naaberliinide kattumine oli umbes 10%.

Sügavusandmeid salvestati ja töödeldi ettevõttesisese tarkvara RAN/AEGIR abil, kasutades ettevõttesisest vormingut. Töödeldud andmeid eksporditi XYZ-vormingus ja generaliseeriti ümber Qimera 2 tarkvara abil kõrgusmudeliks, kus ruudu külje suurus oli 2,5 m.

Tagasihajumise andmeid koguti koos sügavusandmetega. Tagasihajumise andmete töötlemiseks ja generaliseerimiseks kasutati ja Meridata MDPS tarkvara. Väljundiks sai tagasihajumise mudel ruudu külje suurusega 2,5 m.

Nagu näha Eesti merekaardil (joonis 1), suureneb uuringuala meresügavus pea korrapärase intervalliga idast läände Läänemere keskosa suunas. Sama meresügavuste suurenemise tendents ilmneb ka tuulepargi polügooni batümeetria kaartidel, kus mere sügavus varieerub umbes 12 m ala kagunurgas kuni loodenurga 45 m-ni (joonised 2–7). Tuulepargi polügooni 3–8 km laiusel ja 20 km pikkusel idaläänesuunalisel põhjapoolsel lõigul suureneb mere sügavus 27–28 kuni 45 meetrini (joonis 4). Tuulepargi polügooni 1–5 km laiuses ja 30 km pikkuses kirde-edelasuunalises rannikupoolses lõigus jääb meresügavus suures osas 25–35 m piiresse (joonis 4). Selle lõunaosas asub neemelaadne (tõenäoliselt aluspõhjaline) kõrgendik, kus merepõhi tõuseb -12 m kõrgusele (joonised 2–7).



Joonis 2. Tuulepargi ala batümeetria kaart, mis tugineb chirp-tüüpi saatja seismoakustilistel andmetele

Põhjareljeefi üldilmelt eristuvad tuulepargi alal kaks eraldiseisvat piirkonda (joonis 3). Piir tasase ja liigestatud merepõhja vahel langeb suures osas kokku -30 ja -35 m sügavusjoonega, mis paikevad vastavalt 7-kujulise tuulepargi polügooni kirde-edela ja ida-läänesuunalises segmendis (joonis 2). Merepõhja morfoloogia erinevus on tõenäoliselt tingitud aluspõhja reljeefist (kõrgusest) ja merepõhjas avanevate setete/kivimite tüübist. Sügavamal kui 30-35 m asuvates piirkondades on ulatuslik aluspõhjaline nõgu täidetud jääajajärgsete pehmete savikate Läänemere setetega. Chirp-tüüpi saatjaga kogutud seismoakustilistele andmetele (mida käsitletakse lähemalt kvaternaari peatükis) tuginedes esindavad neid setteid Balti jääjärve viirsavid ja savimoreen. Aladel, kus aluspõhi kerkib kõrgemale (ehk -35 ja -30 m sügavusjoontest vastavalt põhja ja ida pool) ehk aluspõhja nõgu ümbritseval lubjakivi platool on Läänemere savikate setete esinemine vähene või kohati olematu. Seetõttu avaneb piki tuulepargi ala ida- ja põhjaserva merepõhjas moreen, kohati ka siluri kivimid. Seda võib jälgida ka lehviksonari- ja merepõhja substraadi kaartidel (joonised 8, 8A).



Joonis 3. Lehviksonari andmetel põhinev batümeetria kaart

Kõige paremini ilmneb liigestatud põhjareljeef tuulepargi polügooni kirde-edela suunas kulgeva lõigu lõunaosas, kus merepõhi tõuseb kõrgusele 12 m a.m.p. (joonised 3-7). Teine liigestatuma põhjareljeefiga ala esineb tuulepargi polügooni kirdenurga ümbruses ja paiguti piki ida läänesuunalist lõiku, kus lehviksonari tagasihajumise andmetel avaneb paiguti ilmselt lubjakivi või moreen mida katab õhuke kiht jääajajärgseid savikaid setteid (tõenäoliselt savimoreen, mida käsitletakse kvaternaari peatükis) (joonised 6-8, 8A). Nende madalmere aladele jäävate aluspõhjakivimite/moreeni ja savimoreeni avamuste ümber esineb märkimisväärne arv erineva suurusega rahne (joonised 6, 7). Üleminekualal liigestatud reljeefilt tasasele merepõhjale esineb jäämägede künnivaondeid, virgmärgi laadseid struktuure ja erosiooni jälgi (joonis 6; vt ka joonised 22, 28). Virgmärgid tõendavad, et aladel, kus levivad Balti jääjärve viirsavid, katab merepõhja õhuke, kergesti liigutatavate setete kiht. Sarnased morfoloogilised struktuurid merepõhjas on selles piirkonnas väga levinud ja hästi uuritud (Karpin et al., 2021).



Joonis 4. Tuulepargi ala lehviksonari andmetel põhinev batümeetria kaart koos meresügavuse väärtustega



Joonis 5. Tuulepargi ala merepõhja reljeefi 3D kujutis



**Joonis 6.** Lehviksonari andmetele põhinev tuulepargi polügooni batümeetria kaart ja sellest tehtud suurendatud väljavõtted illustreerimaks merepõhja geomorfoloogilisi struktuure



Joonis 7. Lehviksonari andmestikul põhinev tuulepargi batümeetria kaart koos merepõhjas tuvastatud rahnudega



**Joonis 8.** Tuulepargi ala merepõhja substraadi kaart, mis põhineb lehviksonari tagasihajumise intensiivsuse andmetel. Merepõhjas avanevad pehmed Läänemere setted ja aluspõhja kivimid ilmnevad vastavalt heledatel ja tumedatel aladel



Joonis 8A. Lehviksonari impulsi tagasihajumise andmestiku põhjal koostatud suurendatud väljavõte joonisest 8, näitamaks täpsemalt tuulepargi ala merepõhja substraati. Pehmed Läänemere setted ja kõvad kivimid/setted (aluspõhja kivimid, mis on vähemal või suuremal määral kaetud savimoreeniga) avanevad merepõhjas vastavalt heledates ja tumedates toonides

# 1.4. Aluspõhi

### 1.4.1. Tuulepargi polügoonil avanev aluspõhja kompleks

Saaremaa lääneranniku siluri ladestu üksikasjalik litostratigraafiline alajaotus ja korrelatsiooniskeem on välja töötatud arvukate maismaal leiduvate puursüdamike/paljandite põhjal (joonis 9). Litoloogiliste ja paleontoloogiliste andmete põhjal jääb Saaremaa epikontinentaalse Siluri settebasseini kirdenurka, kus domineerivad madalmerelised (avašelfi, madalmere, paiguti isegi laguuni) faatsiesed (joonised 9, 10). Vastavalt seismilise korrelatsiooni skeemile levivad madalmere fatsiaalsed vööndid koos neis Lääne Saaremaal eristatud formatsioonidega üle tuulepargi ala Läänemere keskosa suunas (joonised 9-11). Nii avanevad Sõrve poolsaare rannikul merepõhjas siluri Paadla, Kuressaare, Kaugatuma ja Ohesaare kihistud (joonis 11).



**Joonis 9.** Saaremaa lääneranniku geoloogilis-stratigraafiline läbilõige, mis põhineb Lääne-Saaremaa puursüdamikes eristatatud siluri formatsioonide (Fm) ja kihistike (Mb) korrelatsioonile merealal eristatud seismiliste reflektoritega S<sub>8</sub>-S<sub>13c</sub> (täiendatud Nestor, 1997 järgi). Jaagarahu-Ohesaare profiili asukoht vt joonised 11 ja 12

	Tallinn						
Shoutern sl	ope of the Baltic Shield						
Stockholm							
	$\langle \rangle^{-}$						
Saaremaa							
Gotlandszw							
	5						
	Τ',//π /						
B A S	$\mathbf{I} = \mathbf{N} + \mathbf{N}$						
	4 2-3 1						
	Polorussian Mazurian						
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Antoclico						
	Antecise						
$ extsf{TT}_{ extsf{TT}}$ dolomitic argillaceous mud $ extsf{X}$ y skeletal gra	avel and sand $\overline{\top  op}$ calcareous-argillaceous mud						
calcareous mud with skeletal debris	reenish mud						
shoreline present erosional bound	laryfacies boundary margin of craton						
Southern slope of the Baltic Shield	Baltic Syneclise						
Ladoon (1) Shoal (2) Open she	Basinal slope Deep-shell (basinal slope Deep	<u>sin)</u> 5)					
	sea level sea level						
55 55 bioturbated argillaceous dolomites							
Contraction contraction of the second							
$_{\bigcirc}$ skeletal, oolitic and pelletal grainstones							
stratiform stromatolites	ceous dolomites						
bioherms, carbonate mounds nodular biomicrit	ic limestones gray graptolite mudstone	_					
$\boxed{\frown}$ bioturbated clayey wackstones $\boxed{\bigcirc}$ marlstones with	limestone nodules discontinuity surface						

Joonis 10. Paleobalti siluri basseini fatsiaalne mudel (allpool) ja paleogeograafia koos fatsiaalsete vööndite paiknemisega Saaremaa suhtes Jaagarahu-Rootsiküla ajal (ülal) (Tuuling & Flodén, 2011)

Litoloogiliste/paleontoloogiliste andmete kohaselt esindavad Paadla kihistut biomikriitsed kuni jämepurdsed bioklasilised lubjakivid ja dolomiidid, milles esineb mergli, korall-stromatopooridest biohermide ja kehvli vahekihte. Kuressaare ja Kaugatuma kihistud moodustusid Paleobalti basseini sügavamas avašelfi fatsiaalses vööndis (joonised 9, 10). Neid esindavad savikamad ja kergesti erodeeritavad biomikriitilised/bioklastilised lubjakivid ja merglid. Avašelfi tingimustes moodustunud Ohesaare kihistu koosneb suures osas savikatest dolomiitidest-merglitest või õhukeste lubjakivi vahekihtidega lubimerglist.



**Joonis 11.** Saaremaa lääneranniku geoloogiline kaart koos tuulepargi polügooni asukohaga (täiendatud Tuuling ja Flodén, 2011 järgi). Siluri lademete indeksid *jn* - Jaani, *jg* - Jaagarahu, *rk* -Rootsiküla, *pd* - Paadla, *kr* - Kuressaare, *kg* - Kaugatuma, *oh* - Ohesaare. Seismiliste reflektorite stratigraafilist asendit vt joonis 9

## 1.4.2. Aluspõhja reljeef Lääne-Saaremaa rannikul ja tuulepargi ala ümbruses

Lehviksonari impulsi tagasihajumise intensiivsuse andmetel tulevad tuulepargi ala ida- ja põhjapiiril ilmekalt esile aluspõhja avamusalad, mis on kaetud õhukese (savi)moreeni või pärastjääaegsete jääjärve savikate setete kihiga (joonised 8, 8A). Mõningase ettekujutuse aluspõhja avamustest tuulepargi polügooni madalaveelisemal idaserval võib saada ka mõnedelt chirp-tüüpi seismoakustilistelt profiilidelt, mida käsitletakse pinnakatte peatükis 1.5. Siiski tuleb rõhutada, et chirp-tüüpi saatja seismoakustiline impulss levib tavaliselt ainult moreeni pinnani (ei tungi sellesse kihti) ega võimalda seetõttu aluspõhja pinda tuvastada ega jälgida.

Ainsad konkreetsed aluspõhja andmed tuulepargi ala kohta pärinevad 1990. aastate algusest, kui Rootsi-Eesti koostööprojekti raames uuriti Läänemere keskosa aluspõhja kompleksi analoogmeetodil, kasutades saatjana madala sagedusega (250–500 Hz) suruõhu kahurit. Kuid õhukahuri andmestiku küsitava kvaliteedi tõttu (seismilise impulsi keerukas konfiguratsioon, madalas vees tekkinud korduspeegeldused jne) võivad profiilide salvestisel aluspõhja sügavuse määrangud olla ebatäpsed (paiguti isegi enam kui 5 m). Madalaveelistel merealadel Lääne-Saaremaa rannikualal, oli aluspõhja pinna täpne jälgimine korduspeegelduste tõttu isegi võimatu. Kuna sel ajal kasutati navigatsioonisüsteemi DECCA, võis viga positsioneerimisel merel piki profiile ulatuda kohati isegi üle 50 m. Sellegipoolest annavad 1990. aastate alguse profiilid meile seni parimaid, kuigi ligikaudsed aluspõhja sügavuse väärtusi ja seega üldise ülevaate tuulepargi ala piirkonna aluspõhja reljeefist.

Kokku läbivad/katavad kaheksa 1990. aastate alguse profiili ka Sõrve poolsaare lähedal asuvat tuulepargi polügooni (joonised 12–20). Tuulepargi polügooni aluspõhja reljeef Saaremaa lääneranniku üldise merealuse ala aluspõhja reljeefi taustal ilmneb kõige paremini kolmel pikal profiilil (9301, 9107 ja 9302), mis põhja-lõuna suunas ulatuvad üle kogu Saaremaa lääneranniku (joonised 12–15). Nii kerkib Saaremaa läänerannikul esile kaks ulatuslikku aluspõhja reljeefi üksust: 1) põhjas suhteliselt tasane (kergelt lainjas), umbes 30–40 km laiune paekiviplatoo 2) lõunas, Sõrve poolsaare lähedal eristuv aluspõhja nõgu ning sellesse laskuv nõlvaala. Lainjas paeplatoo, mis jääb geoloogilisel kaardil suures osas reflektorite S<sub>7</sub> (tähistab ka Siluri klindi asukohta joonistel 13 ja 15) ja S<sub>12</sub> (joonis 11) vahele, on suures osas moodustunud Jaagarahu, Rootsiküla ja Paadla lademete kõvadest, erosioonikindlatest lubjakividest. Lõuna suunas laskuv aluspõhja nõlv ja nõgu on aga kulutatud Kuressaare, Kaugatuma ja Ohessaare lademete savikatesse pehmetesse ja kergesti erodeeritavatesse lubjakividesse (joonised 9–11). Lehviksonari impulsi tagasihajumise intensiivsuse kaart (joonised 8 ja 8A) toetab viimast väidet, kuna kõva merepõhja substraadiga (lubjakivi/moreeni paljandid mis võivad olla kaetud õhukese savimoreeni kihiga) alad, mis avanevad piki tuulepargi polügooni põhjaserva, jäävad suures osas merepõhjas avaneva Paadla lademe kivimite piirkonda (joonis 11).



Joonis 12. 1990. aastate algul Rootsi–Eesti ühisprojekti käigus tehtud seismilised (suruõhu kahuri) profiilid Saaremaa läänerannikul koos planeeritava tuulepargi polügooni kontuuriga

Paekiviplatoo lõunapiir, mis on kontuuritud nappide suruõhu kahuri andmete põhjal (joonis 12), näitab, et tuulepargi ala põhjaserv asub piirkonnas, kus aluspõhja platoo läheb üle lõuna suunas süvenevale aluspõhja nõlva laadsele struktuurile. Tuulepargi polügooni umbes 3–8 km laiune ja 20 km pikkune ida-läänesuunaline põhjapoolne segment asub suuresti lõuna suunas laskuva aluspõhja nõlva alal, mis on mattunud õhukese, lõuna poole pakseneva kvaternaari settekompleksi alla. Seda on näha enamikel interpreteeritud suruõhu kahuri profiilidelt (joonised 13-20) ning seda kinnitavad ka kvaternaari peatükis esitatud chirp-tüüpi seismoakustilised andmed. Kergelt lainja pinnareljeefiga aluspõhja nõlv mis on kohati liigestatud orulaadsete süvenditega (joonised 16, 17 ja 20), laskub ilmselgelt lõuna pool asuvasse suuremasse aluspõhja nõkku. Viimane ilmneb profiilil 95-35 (joonis 18) ja on osaliselt näha profiilidel 93-02, 91-07, 95-34 (joonised 13, 14 ja 16). Tuulepargi alast põhja pool asuva õhukese (kuni 5 m) moreenikihi või savimoreeniga kaetud lubjakivi platoo absoluutne kõrgus jääb enamasti sügavusvahemikku umbes 20–30 m a.m.p. (joonised 13–15). Üleminek aluspõhja platoolt nõlva-alale toimub suures osas umbes sügavusel 40 m a.m.p. Nõlva piires sügavneb aluspõhja pind järk-järgult lõuna suunas, ulatudes aluspõhjalise nõo äärmises lõunaosas kuni 80–90 m a.m.p. (profiil 91–07 joonisel 14). Erandina ilmneb sama sügavus ka nõlva piiresse erodeeritud üksikus sügavas aluspõhja orus, mis jääb tuulepargi ida-läänesihilise segmendi lõunapiirile (profiilid 95-34 and 93-17 joonistel 16, 17

Nagu ilmneb ka lehviksonari tagasihajumise intensiivsuse kaardilt (joonised 8 ja 8A), on lõunasuunas laskuvale nõlvale järgnev aluspõhja nõgu erinevalt seda ümbritsevast lubjakiviplatoo aladest mattunud jääajajärgsete Balti jääjärve viirsavide alla. Aluspõhja nõo suunas laskuvate nõlva alade ning sellesse lõikunud aluspõhja orgude tõttu võib aluspõhja kõrgus tuulepargi alal märkimisväärselt varieeruda. Nõlva-alal varieerub see suuresti vahemikus 40–60 m a.m.p. Lubjakiviplatoo lõunaserval asuvas tuulepargi polügooni põhjaosas, võib aluspõhja pind tõusta 35–40 m a.m.p. (joonised 15, 18 ja 20). Aluspõhi laskub kõige sügavamale (> 80 m a.m.p.) aga üksiku oru põhjas tuulepargi polügooni ida-läänesuunalise segmendi lõunaserva ümbruses (joonised 16 ja 17). Suruõhu kahuri profiilid näitavad, et kvaternaari setete paksus lõunasuunas laskuval nõlval jääb suures osas 20 m piiresse. Kvaternaarse pinnakatte kogupaksus tuulepargi polügooni ida-läänesuunalise segmendi lõunaserva asuvas toulepargi alast lõunasse jääval aluspõhja nõos võib aga ulatuda umbes 40 meetrini, nii nagu ka tuulepargi polügooni ida-läänesuunalise segmendi lõunaservas asuvates orulaadsetes süvendites (joonised 16 ja 17).



Joonis 13. Interpreteeritud seismiline profiil 93-02. Profiili asukoht vt. joonis 12



Joonis 14. Interpreteeritud seismiline profiil 91-07. Profiili asukoht vt. joonis 12



Joonis 15. Interpreteeritud seismiline profiil 93-01. Profiili asukoht vt. joonis 12



Joonis 16. Interpreteeritud seismiline profiil 95-34. Profiili asukoht vt. joonis 12



Joonis 17. Interpreteeritud seismiline profiil 93-17. Profiili asukoht vt. joonis 12



Joonis 18. Interpreteeritud seismiline profiil 95-35. Profiili asukoht vt. joonis 12



Joonis 19. Interpreteeritud seismiline profiil 91-12. Profiili asukoht vt. joonis 12



Joonis 20. Interpreteeritud seismiline profiil 91-11. Profiili asukoht vt. joonis 12

# 1.5. Pinnakate

# **1.5.1.** Chirp-tüüpi saatjaga kogutud seismoakustiliste profiilide võrk tuulepargi polügooni alal

Aastatel 2017–2024 kattis Transpordiamet Sõrve poolsaare lähedusse, sellest läände jääva mereala tiheda seismoakustiliste profiilide võrguga (joonis 21), kasutades 2–9 kHz sagedusel töötavat chirp-tüüpi saatjat. Need seni interpreteerimata kvaliteetsed digitaalsed andmed andsid võimaluse uurida täpsemalt kvaternaari settekompleksi levikut, liigestust ja paksust planeeritaval tuulepargi alal. Üldjuhul peegeldub chirp-tüüpi saatja impulss nii Eesti mandri- kui ka merelalal aluspõhja katavalt moreenipinnalt pea täielikult tagasi. Seetõttu võimaldab see meetod enamasti üksnes tuvastada moreeni kihi pealispinda ja uurida sellel lasuvaid nooremaid jääajajärgseid Läänemere (Balti Jääpaisjärv, Joldiameri, Antsülusjärv ja Litoriinameri) setteid.



**Joonis 21.** Chirp-tüüpi saatjaga kogutud seismoakustiliste profiilide võrk ja joonistel 22-40 toodud interpreteeritud profiilide asukohad Sõrve poolsaare rannikul

### 1.5.2. Raskused aluspõhja ja moreenipinna eristamisel

Juhul kui moreenikiht puudub või on väga õhuke, fikseerib Chirp-tüüpi saatja impulss moreenipinna asemel hoopis seismoakustiliselt samuti läbitungimatu aluspõhja ülemise piiri. Sel juhul ei saa me olla üheselt kindlad, kumb kahest pinnast (aluspõhja või moreeni pealispind) seismoakustilistel profiilidel esile kerkib. Tuginedes lehviksonari impulsi tagasihajumise ja ka chirp-tüüpi profiilide andmetele puuduvad mitmel pool tuulepargi polügooni piires tõenäoliselt tüüpiline moreeni kiht. See puudutab peamiselt kõrgema aluspõhja reljeefiga alasid ehk varem kirjeldatud aluspõhja nõgu ümbritsevat lubjakiviplatood ja selle servaalasid. Sarnased alad võivad siiski esineda ka aluspõhja nõo sisemuses, kuigi mõnedelt suruõhu kahuri ja chirbi profiilidelt võib välja lugeda moreeni olemasolu sügavamal paikneva aluspõhja nõo piires. Et saada usaldusväärset teavet moreenikihi võimaliku leviku ja paksuse varieerumise kohta tuulepargi polügooni piirkonnas, on vaja teostada täiendav uuring, kus samaaegselt on töös nii chirp- kui ka boomer-tüüpi saatja (mille impulss tungib läbi moreenipinna). Nende kahe saatja salvestiste kõrvutamine aitaks eristada ja eksimatult määrata moreeni ja aluspõhja pindu ning järgida moreenikihi paksust. Kuna antud töös võib chirp-tüüpi saatja impulss peegeldada nii aluspõhja kui moreeni ülemist pinda, käsitletakse seda käesolevas aruandes moreeni/aluspõhja pinnana.

### 1.5.3. Tuulepargi ala ümbruse chirp-tüüpi profiilide seismostratigraafiliste üksuste interpreteerimine

Harvadel juhtudel võib chirp-tüüpi saatja impulss tungida läbi moreenikihi ja jõuda aluspõhjani. Selline juhtum tuleb ilmselt esile tuulepargi ala põhjaossa jääval profiilil 1, kus moreenipinna all on paiguti tuvastatav aluspõhja reflektor (joonis 22). Lisaks võimalikele aluspõhja- ja moreenipindadele on sel profiilil näha veel kaks vähem selget reflektorit, mis eristavad erinevaid litoloogilisi üksusi markeerivaid seismilisi signatuure. Neist ülemise reflektori, mis laialdasel alal järgib merepõhja reljeefi, stratigraafiline asend on kergesti äratuntav ja tähistab Balti jääjärve viirsavide üksuse ülemist piiri (joonis 22). Teine, tugevalt lainetav reflektor viirsavide kihi all tähistab moreeni/aluspõhja kohal asuva probleemse üksuse ülemist piiri. Normaalse või laialtlevinud läbilõike korral peaks moreenikihil lasuma Balti jääjärve viirsavide kompleks, mis jääb aga siin hoopis selle problemaatilise kihi peale. Kuna Sõrve poolsaare rannikul puuduvad puurimisandmed, jääb selle üksuse täpne genees ja litoloogiline koostis ebaselgeks. Erinevalt moreenist läbib chirp-tüüpi saatja impulss seda probleemset üksust, mille seismoakustiline signatuur meenutab savimoreeni kihti. Erinevalt klassikalisest moreenist sisaldab savimoreen rohkem savi ja vähem jämepurdset materjali, kruusa/veeriste fraktsioone. Seega võib see probleemne kiht tõenäoliselt kujutada endast savimoreeni kompleksi, mis on tekkinud liustikest eraldunud jääpangastest aset leidnud savika ja jämepurdese materjali settimisel. Sarnane üksus on eraldatud Liivi lahe lääneosa seismoakustilistel profiilidel (Tsyrulnikov et al., 2012) ja kaardistatud ka Väinameres (Tuuling et al., 2022). Virgmärgid saviüksuse peal, mida võib täheldada paljudel profiilidel (joonised 22, 28) tõestavad, et merepõhi WFA aluspõhja nõgude piirkonnas on laialdaselt kaetud lahtise, kergesti liigutatava liivaka sette kompleksiga.



Joonis 22. Chirp-tüüpi saatja interpreteerimata(A) and interpreteeritud (B) profiil näitamaks Sõrve poolsaare rannikul tuulepargi polügooni põhjaosa seismoakustilisi üksusi. Sellel profiilil tungib chirp-tüüpi saatja impulss moreeniüksusesse ja eraldab mõnel pool aluspõhja pinna. Profiili asukoht vt profiil 1 joonisel 21

# **1.5.4.** Näited interpreteeritud seismoakustilistest profiilidest ja erinevate stratigraafiliste üksuste reljeefi ja paksuste kaardid

Lehviksonari ning suruõhu kahuri andmetele tuginedes (joonised 6–8, 8A, 13 ja 15) jäävad tuulepargi polügooni E-W ja NE-SW orientatsiooniga lõikude põhja- ja idaserva alad, kus kvaternaari setted on õhukesed või puuduvad hoopis. Seega avaneb nendel aladel aluspõhi mis on kaetud õhukese moreeni või savimoreeni kihiga. Lisaks lehviksonari impulsi tagasihajumise intensiivsuse kaardile (joonised 8 ja 8A) on õhukese pinnakattega alad suurepäraselt eristatavad ka probleemse moreeni/aluspõhja pinnreljeefi kaardil ja 3D-mudelil (joonised 23 ja 24) ning chirbi andmete põhjal koostatud jääajajärgsete setete paksuste kaardil (joonis 25). Nendele kaartidele tuginedes valiti chirp-tüüpi seismoakustiliste profiilide asukohad (joonis 21), demonstreerimaks kvaternaarse pinnakatte, eelkõige selle jääajajärgse osa alajaotusi, nende levikut ja paksusi tuulepargi erinevates piirkondades (joonised 26–40).



Joonis 23. Problemaatilise seismoakustiliselt läbitungimatu moreeni/aluspõhja pinna reljeefi kaart tuulepargi polügoonil ja selle ümbruses



**Joonis 24.** Problemaatilise seismoakustiliselt läbitungimatu moreeni/aluspõhja pinna reljeefi 3D kujutis tuulepargi polügoonil ja selle ümbruses



Joonis 25. Probleemse liustikumoreeni/aluspõhja pinda katvate jääajajärgsete setete paksuste kaart tuulepargi piirkonnas

Vastavalt chirp-tüüpi profiilide seismostratigraafilisele alajaotusele (joonis 22) katavad tuulepargi polügooni ja selle ümbruses moreeni/aluspõhja pinda kaks olulist jääajajärgset pinnakatte üksust (joonised 26–40). Mõlemad savikad üksused, nii vähese kruusa-veeristiku fraktsiooniga savimoreen, kui ka sellel lasuv viirsavide kompleks tekkisid ilmselgelt jääjärvelistes tingimustes. Kuigi õhukese kvaternaari kattega aladel (kõrge aluspõhja reljeefiga lubjakivi platoo piirkonnad) on sageli raske tuvastada savimoreeni, on see tuulepargi polügooni piirkonnas suhteliselt laialt levinud. Merepõhjas avanev Läänemere jääjärve viirsavide üksus levib vaid sügavama aluspõhja reljeefiga piirkondades ehk aluspõhja nõgudes ja orgudes. See ilmneb kõigil interpreteeritud seismoakustilistel profiilidel (joonised 26-40), samuti tuulepargi ala kvaternaari setete kaardil (joonised 42 ja 43). Neilt nähtub et tuulepargi alal võib savimoreeni paksus varieeruda peaaegu nullist (kõrge aluspõhja reljeefiga aladel, kus paljandub aluspõhi, joonisel 27) kuni 10 m-ni (madalas aluspõhja nõos tuulepargi ala lõunanurga piirkonnas, joonised 38, 42). Balti jääjärve viirsavid puuduvad suuresti õhukese pinnakattega aluspõhja platoo alal. Nende paksus

tuulepargi polügooni põhjaserva lähedal ja lõunanurga ümbruses asuvates sügavamates aluspõhja nõgudes ja orgudes võib aga ulatuda üle 10 m (joonised 27, 38, 40 ja 43). Savimoreeni üksuse ülemine pind, mis väljaspool paljanduvate viirsavide ala (joonis 41) langeb suures osas kokku merepõhjaga, jääb aluspõhja nõlva-nõo piirkonnas suuresti sügavusvahemikku 40–50 m a.m.p (joonis 44).



Joonis 26. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht vt profiil 2 joonisel 21



Joonis 27. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht vt profiil 3 joonisel 21



Joonis 28. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht vt profiil 4 joonisel 21



Joonis 29. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil, mis asub lubjakiviplatool tuulepargi põhjapiirist väljaspool. Profiili asukoht vt profiil 5 joonisel 21



Joonis 30. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht vt profiil 6 joonisel 21



Joonis 31. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht vt profiil 7 joonisel 21



Joonis 32. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi põhjaosast. Profiili asukoht vt profiil 8 joonisel 21



Joonis 33. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi keskosast. Profiili asukoht vt profiil 9 joonisel 21



Joonis 34. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi keskosast. Profiili asukoht vt profiil 10 joonisel 21



Joonis 35. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi keskosast. Profiili asukoht vt profiil 11 joonisel 21



Joonis 36. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi keskosast. Profiili asukoht vt profiil 12 joonisel 21



Joonis 37. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi keskosast. Profiili asukoht vt profiil 13 joonisel 21



Joonis 38. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi lõunaosast. Profiili asukoht vt profiil 14 joonisel 21



Joonis 39. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil, mis katab tuulepargi lõunaosas asuvat lubjakiviplatood. Profiili asukoht vt profiil 15 joonisel 21



Joonis 40. Interpreteeritud chirp-tüüpi seismoakustiline profiil tuulepargi lõunaosast. Profiili asukoht vt profiil 16 joonisel 21



**Joonis 41.** Tuulepargi polügooni ümbruse kvaternaari setete kaart. Balti jääjärve viirsavi üksus avaneb aluspõhja nõo ja orundite piires. Kõrgemal asuva aluspõhja reljeefiga aladel avaneb valdavalt savimoreeni kiht



Joonis 42. Tuulepargi polügooni savimoreeni paksuste kaart



Joonis 43. Balti jääjärve viirsaviüksuse paksuste ja leviku kaart tuulepargi polügooni piirkonnas



Joonis 44. Tuulepargi ala savimoreeni ülemise pinna reljeef

## **1.6. Järeldused ja soovitused Sõrve poolsaare** rannikule planeeritava tuulepargi ala edasisteks geoloogilisteks uuringuteks

1. Geoloogiline teave antud alal põhineb suuresti kahel varasemal seismoakustilisel uuringul. 1990. aastate alguses kogutud suruõhu kahuri abil kogutud profiilide andmestik (mis võimaldab jälgida aluspõhja sügavust ja reljeefi) ja aastatel 2017–2024 chirp-tüüpi seismoakustilise saatjaga salvestatud andmestik (võimaldab detailsemalt uurida merepõhja reljeefi ja pärastjääaegset pinnakatte läbilõiget).

2. Planeeritava tuulepargi alal levivad siluri ladestu kivimid, mida esindavad suures osas Paadla, Kuressaare, Kaugatuma ja Ohesaare lademete varieeruva savisisaldusega lubjakivid (joonis 11).

3. Saaremaa lääneranniku aluspõhja reljeefis võib eristada kaks piirkonda: 1) selle põhjaossa jääb paeplatoo kus paljanduvad Jaagarahu, Rootsiküla ja Paadla lademete kõvad erosioonikindlad lubjakivid (joonis 11) ja 2) lõunaosas, Sõrve sääre ranniku lähedal läheb paeplatoo sujuva nõlvaga üle aluspõhja nõoks kus paljanduvad savikad Kuressaare, Kaugatuma ja Ohesaare lademete lubjakivid.

4. Aluspõhja sügavus varieerub umbes 20–30 m a.m.p. lubjakiviplatoo alal (joonised 13 ja 15) ja 40–60 m a.m.p. vahemikus aluspõhja nõlva-nõo alal (joonised 13–20). Mõned suruõhu kahuri profiilid näitavad siiski, et aluspõhja pind võib üksikus orundis ületada isegi 80 m (joonised 16 ja 17).

5. Nii lehviksonari reljeefi kui ka selle impulsi tagasihajumise intensiivsuse andmed näitavad, et tuulepargi polügooni N- ja E-servad paiknevad osaliselt madalaveelisema lubjakiviplatoo alal, kus kvaternaari setete paksus on õhuke või puudub (joonised 6–8 ja 8A).

6. Kuna chirp-tüüpi saatja seismoakustiline impulss peegeldub enamasti moreenikihi pinnalt täielikult tagasi, võimaldab see uurida vaid jääajajärgseid kvaternaari setteid. Moreenikihi puudumisel ei võimalda see meetod ühemõtteliselt tuvastada, kas seismilisele impulsile läbimatu pind markeerib moreenikihi või aluspõhja pealispinda. Seetõttu on seismoakustiliselt läbitungimatut pinda selles aruandes tõlgendatud moreeni/aluspõhja pinnana (joonised 26–40).

7. Chirp-tüüpi saatja genereeritud seismoakustilistel profiilidel kerkivad esile kaks iseloomulikku jääajajärgset kvaternaari üksust: 1) probleemne (savikas?) kiht, mis lasub moreeni/aluspõhja pinnal, mida on tõlgendatud savimoreenina ja 2) mis on omakorda kaetud Balti jääjärve viirsavidega (joonised 22 ja 26–40).

8. Mõlemad üksused on kujutatud tuulepargi ala katvate kvaternaarisetete kaardil (joonis 41). Savimoreen avaneb õhukese pinnakattega kõrgemal asuva aluspõhjaga aladel, mis ilmnevad selgelt ka lehviksonari ja selle impulsi tagasihajumise intensiivsuse kaartidel (joonised 6–8 ja 8A), samuti aluspõhja/moreenipinna reljeefi kaartidel (joonised 23–25). Balti jääjärve viirsavid aga lasuvad ja avanevad sügavamal asuva aluspõhjaga aladel, st aluspõhja nõos ja selle nõlval (joonis 41).

9. Savimoreeni üksuse paksus varieerub praktiliselt nullist (aluspõhja avamuste piirkondades) kuni 10 m aluspõhjalistes orgudes. Balti jääjärve viirsavide üksuse paksus, mis kõrgema aluspõhjaga aladel puudub, ulatub aluspõhja nõos 10 m-ni. Seega kasvab jääajajärgsete kvaternaari setete kogupaksus aluspõhja/moreenipinna kohal tuulepargi alal nullist peaaegu kuni 20 meetrini tuulepargi polügooni lõunanurgas (joonis 25).

10. Tuulepargi ala merepõhi on laialdaselt kaetud liivakate lahtiste setetega, mis on lainete ja põhjahoovuste poolt kergesti liigutatavad. Seda demonstreerivad virgmärgi laadsed struktuurid, mida on näha lehviksonari kaardil, samuti chirp-tüüpi seismoakustilistel profiilidel (joonised 6, 22 ja 28).

11. Lehviksonari kaardi tulevad tuulepargi polügooni kirde-edelasuunalise segmendi idaservas esinevate lubjakivi platoo laikude ümbruses, kus meresügavus väheneb kuni 12 m, merepõhjas esile arvukad rändrahnud (joonised 6 ja 7).

12. Aluspõhja pinna täpsemaks kontuurimiseks ja moreenikihi olemasolu, selle leviku ja paksuste väljaselgitamiseks on vaja teha lisauuringuid, et oleks võimalik võrrelda samaaegselt käitatud boomerja chirp-tüüpi saatjatega tehtud seismoakustilisi profiile. Aluspõhja-/ moreenipinnal lasuva probleemse küsimärgiga savimoreeni kihi geneesi ja koostise täpsustamiseks oleks vaja puursüdamiku olemasolu.

# 2. Ülevaade seismilisusest Sõrve poolsaare rannikule planeeritava tuulepargi ala piirkonnas

# 2.1. Sissejuhatus

Ida-Euroopa platvormi põhjaäärel asuva Eesti piirkonna settekivimid lasuvad stabiilse Fennoskandia kilbi kaguosal (nt Tuuling ja Flodén, 2016). Tulenevalt geoloogilistest tingimustest on Eesti ala seismilisus tagasihoidlik. Eesti Geoloogiateenistuse (EGT) poolt teostatud seismilise seire ja viimaste aastakümnete andmete baasil on Eesti ja selle akvatooriumi puhul iseloomulik, et leiavad aset üksikud väikesed maavärinad (magnituud < 3). Kuna potentsiaalne tuulepargi ala asub EGT seireala edelaosas, valiti käesoleva uuringu jaoks kaugemale läände ja lõunasse ulatuv vaatlusala koordinaatidega 56,5–59,5°N, 18–26°E (Joonis 45). Põhiline allikas tabelis 1 esitatud maavärinatele on Helsingi Ülikooli Seismoloogia Instituudi poolt hallatava FENCAT-i ehk Fennoskandia ja Baltikumi maavärinakataloogi 2014. aasta versioon (Ahjos ja Uski, 1992; FENCAT, 2014). Antud kataloog on praegu uuendamisel (Uski jt, 2025), mistõttu mõnede siin esitatud maavärinate magnituudi võivad hiljem täpsustuda. Mõnede tabelis 1 esitatud sündmuste osas on tehtud märkused, et tekkepõhjusteks on tõenäoliselt olnud mingid muud nähtused kui tektoonilised liikumised (Korja jt, 2019). Nimekirja on lisatud EGT poolt lokaliseeritud Eesti maavärinad ajavahemikus 2015–2023.

## 2.2. Maavärinad uuringuala piirkonnas

Tagasihoidliku seismilisusega piirkondade puhul on võrdlemisi väljakutseline moodustada tervikpilti aktiivsuse taseme kohta. Kuna maavärinad korduvad päris pikkade vaheaegadega, oleks vaja teha vaatluseid mitme sajandi vältel. Kui arvestatakse ülestähendusi kaugel minevikus toimunud sündmuste kohta, on informatsioon paratamatult ebatäpne. Ajalooliste maavärinate asukohti ja suuruseid saab määrata vaid makroseismiliselt, st selle baasil, kuidas maavõnked ja muud kaasnevad nähtused mõjutasid inimesi, ehitisi ja maastikku. Pealegi võivad erinevad sündmused nagu pakase pragin, äikeseilmad või meteotsunamid olla tekitanud tektoonilisi maavärinaid meenutavaid nähtuseid. Andmestikus võib esineda ajaliselt pikki lünkasid, mille põhjuseks on miski muu kui tõeline seismilisuse puudumine. On ka tõenäoline, et kaugel asustatud aladest paiknevate merealade ajaloolise seismilisuse taset on alahinnatud.

Tabeli 1 kaks esimest sisendit magnituudidega 4,0 ja 4,3 on pärit Gotlandi saarelt aastatest 1374 ja 1540. Nendesse, eriti varasemasse, tuleks suhtuda ettevaatlikult. Peale selle, esimene mandri-Eestist teadaolev maavärin magnituudiga 3,9 ja asukohaga Pärnu lähedal veebruaris 1670 oli tõenäoliselt pakase poolt tekitatud sündmus. Esimene veenev teave ehtsa maavärina kohta Eestis pärineb Haapsalu piirkonnast 1827. aasta septembrist, mil mürisevat häält kuuldi mitmes asukohas ja paiguti tunti maa võnkumist (Doss, 1909). Käesoleva uuringu jaoks on eriti huvipakkuv 18.05.1857 toimunud ajalooline maavärin magnituudiga 2,6, mille asukohaks on määratud Kura kurk (Doss, 1909). Tuulepargi alale võrdlemisi lähedal asuvad teised üksikud epitsentrid. Need on ebatäpsemate andmetega magnituudiga 3,5 ajalooline maavärin Ventspilsi lähedal Lätis 31.10.1785 (Doss, 1909), instrumentaalselt registreeritud magnituudiga 2,3 maavärin Lätis Kuldīgast põhjas 02.06.1982 ning magnituudiga 1,6 Kirbla maavärin Lääne-Eestis 28.01.2004. Peale seda pole maavärinaid tuulepargi ala lähipiirkonnas täheldatud.



Joonis 45. Teadaolevate maavärinate epintsentrid planeeritava tuulepargi ala piirkonnas aastatel 1375– 2023

Põhja-Euroopa kohalikke maavärinaid registreerivate seismojaamade arv on järk-järgult kasvanud 20-nda sajandi teisel poolel. Eestis on maavärinaid instrumentaalselt mõõdetud 21-nda sajandi algusest saadik. Silmatorkavaks ja ootamatuks erandiks on magnituudiga 4,5 Osmussaare maavärin, mis leidis aset 25.10.1976 (Tabel 1, Slunga 1979). Antud sündmus on erakordselt suur siinsete geoloogiliste tingimuste kohta ning näitlikustab, et märkimisväärsete maavärinate toimumine stabiilsetel mandrialadel pole välistatud. Siiski on oodata, et selliseid toimub väga harva, võib-olla kord mitme sajandi vältel.

Perioodil peale instrumentaalsete mõõtmiste alustamist siinses piirkonnas viimaste aastakümnete jooksul, on võimalik kätte saada detailsem pilt seismilisuse kohta. Tuvastatakse väiksemate magnituudidega sündmuseid ning nende epitsentrid ja sügavused on määratud usaldusväärsemalt. Sündmuste näiliselt suurem arv tuleneb sellest, et tuvastamislävend on varasemaga võrreldes madalam (uuringuala raames praegu tinglikult magnituud 1,5).

Kuupäev yyyymmdd	Aeg (UTC) hhmmss	°N	°E	Sügavus km	Magni- tuud	Märkused M – makroseismiline, I - instrumentaalne
1274	2	<b>67 6</b>	10 E	10	4.0	NA küsitev
1574	:	57.5	10.5	-	4.0	
1540	?	57.7	18.7	5	4.3	M
16700201	22	58.4	24.5	8	3.9	M, võib-olla pakane, mitte tektooniline maavärin
178303	?	56.9	23.4	?	?	М
17851031	00	57.3	21.5	?	3.5	М
18070223	01	56.9	24.1	?	2.9	Μ
18210220	??	56.7	25.3	0	2.5	Μ
18270928	09	59.0	23.5	14	3.4	М
18440112	22	58.6	23.7	6	2.5	M, võib-olla pakane, mitte tektooniline maavärin
18530121	0130	59.3	18.1	1	2.7	M, võib-olla pakane, mitte tektooniline maavärin
18530204	2345	56.8	25.7	?	3.5	М
18530205	?	56.8	25.7	?	2.9	М
18530326	0130	59.5	24.7	5	1.2	M, võib-olla mitte tektooniline maavärin
18531229	?	56.9	24.1	?	3.5	М
18540105	?	56.9	24.1	?	2.9	М
18570518	09	57.8	22.2	1	2.6	М
18580115	1110	59.3	22.6	8	3.0	M, ehk meteotsunami, mitte tektooniline maavärin
18690215	00	59.5	24.7	6	2.1	М
18700206	0245	56.9	24.1	0	3.5	М
18700206	0320	56.9	24.1	0	2.9	М
18771016	0225	59.0	23.5	10	2.6	M, eeltõuge
18771016	0225	59.0	23.5	10	3.0	M, peamine tõuge
18960920	13	56.7	23.7	?	3.5	М
19041020	?	59.3	18.1	4	2.2	M
19090602	0830	58.4	25.6	7	1.5	M

Tabel 1. Maavärinate nimekiri piirkonnas 56,5–59,5°N, 18–26°E

Kuupäev yyyymmdd	Aeg (UTC) hhmmss	°N	°E	Sügavus km	Magni-	Märkused
					tuud	M – makroseismiline, I - instrumentaalne
19310712	22	59.4	25.3	5	2.1	М
19761025	083945	59.26	23.39	10	4.5	I, tunti, peamine tõuge
19761025	0849	59.3	23.5	?	3.0	M, järeltõuge
19761025	0907	59.3	23.5	?	2.6	M, järeltõuge
19761108	101707	59.33	23.47	?	3.0	I, tunti, järeltõuge
19761122	121442	59.3	23.5	13	2.1	I, tunti, järeltõuge
19800109	012452	58.91	22.99	?	2.3	1
19800524	030252	58.8	18.3	?	2.4	I
19810426	000453	58.53	18.40	7	1.8	I
19810622	192737	59.45	22.66	7	2.4	Ι
19820602	075817	57.04	21.94	?	2.3	Ι
19870408	1921	58.4	26.1	7	3.0	М
19880429	153652	56.97	19.53	1	3.3	Ι
20030112	114347	59.398	23.419	10	1.2	I
20040128	154000	58.792	23.851	10	1.6	l, tunti
20050927	035539	57.318	18.193	2	1.3	1
20060524	232722	59.327	18.079	0	2.2	1
20130204	201754	58.921	23.522	4	1.0	l, tunti
20140708	021651	59.122	18.543	11	2.1	1
20170322	030027	59.342	24.356	4	1.2	I
20170715	080150	59.048	22.961	11.4	2.0	I
20180304	012144	58.925	23.692	3.5	1.7	l, tunti
20220613	031053	59.286	23.760	4.0	2.3	I, tunti, peamine tõuge
20220628	173454	59.283	23.761	4.0	1.4	I, tunti, järeltõuge
20220903	023612	59.302	25.588	2.4	1.1	I

# 2.3. Seismilise ohu hinnang uuringualal

Seismiline oht (*seismic hazard*) on maavärina poolt tekitatud loodusnähtus (nt maavõnked, rebenemine murrangus, pinnase veeldumine) ja seismiline risk (*seismic risk*) tähendab inimeste ja ehitiste ohustamist seismilise ohu poolt (nt Wang 2009). Euroopas on hinnatud seismilist ohtu kasutades terve maailmajao vastavate asutuste andmeid. Hiljuti on ilmunud ohukaardi värske versioon (Danciu jt, 2024: Joonis 46). Kaardi Fennoskandia piirkonna osas kasutati FENCAT-kataloogi 2014. aasta versiooni (Uski jt, 2025).

Seismiline oht esitatakse suurima maapinna kiirendusena (*Peak Ground Acceleration*, PGA), mis kujutab endast maksimaalset maapinna kiirendust maa võnkudes maavärina käigus teatud asukohas. PGA võidakse esitada g osadena (standardne Maa raskusjõust tingitud kiirendus, gravitatsioonijõud, 1 g = 9,81 m/s2). Joonisel 46 on näha keskmine PGA 475 aasta perioodi vältel. See näitlikustab, et seismiline oht on käesoleval uuringualal tagasihoidlik ning küünib väärtusteni umbes 0,02–0,03 g.



ESHM20

**Joonis 46.** Euroopa seismilise ohumudeli 2020 kaart, mis näitlikustab keskmist suurimat maapinna kiirendust 475 aasta pikkuse perioodi vältel (Danciu jt, 2024)

# **2.4. Järeldused seismilisuse osas planeeritava tuulepargi ala piirkonnas Sõrve poolsaarest läänes**

Olemasolevad vaatlused viitavad sellele, et seismiline aktiivsus on tagasihoidlik plaanitava tuulepargi asukoha lähipiirkonnas Sõrve poolsaarest läänes ja selle ümbruses. Asjaolu on stabiilse kristalse aluskorra alale iseloomulik. Ajaloolised andmed ulatuvad mitme sajandini, aga varasemaid ülestähendusi tuleb käsitleda ettevaatusega. Kuigi on võimalik, et mõnel juhul on mingid muud loodusnähtused ekslikult tõlgendatud tõenditeks ajaloolistest maavärinatest, on kindlasti toimunud ka ehtsaid maavärinaid. Eeldatavasti on andmestikus pikki ajalisi lünkasid, eriti merealade osas. Andmestik on usaldusväärsem 19-ndast sajandist alates ning viimaste aastakümnete kohta on olemas päris täpseid instrumentaalseid vaatluseid. Tinglikult on maavärinate tuvastamislävendiks praegusel ajal magnituud 1,5.

Kuigi andmestiku puudulikkuse tõttu pole võimalik teha kaugeleulatuvaid järeldusi, võib nentida, et uuringuala seismilisus on tagasihoidlik. Vastavalt võidakse ka seismilist ohtu pidada tagasihoidlikuks.

### Kokkuvõte

Käesolevas aruandes käsitletakse Saaremaa läänerannikule, Sõrve poolsaarest ~10–40 km läände planeeritava perspektiivse, 7-kujulise avamere tuulepargi ala (polügooni) geoloogilist ehitust ja hinnatakse selle seismilisuse tausta. Ala geoloogilise ehituse kirjeldus tugineb suuresti kahele seismo-akustilise andmestiku kogumile: 1) 1990 aastate alguses Rootsi-Eesti koostöös madalsagedusliku (250–500 Hz) suruõhu kahuri abil kogutud profileerimise andmestik, mis annab ettekujutuse tuulepargi alla jääva ala aluspõhja sügavusest ja reljeefist, 2) aastatel 2017–2024 Eesti Transpordi (Veeteede) Ameti poolt selles piirkonnas lehviksonari ja *chirp*-tüüpi saatja (2–9 kHz) abil läbi viidud merepõhja kaardistamise andmestik, mis aitab detailiseerida merepõhja reljeefi ja aluspõhjal lasuva pinnakatte läbilõiget.

Meresügavus, mis üldjoontes suureneb Sõrve säärest Läänemere keskosa suunas, varieerub tuulepargi alal vahemikus 12 m selle rannalähedases lõunaosas kuni ligi 45 m rannikust eemale jäävas läänesopis. Merepõhja sügavusjoon(ed) 30 ja 35 m eristavad nii põhjareljeefi iseloomu kui ka geoloogilist ehitust silmas pidades kaht selgelt erinevat piirkonda. Esimesest sügavusjoonest ida ja teisest põhjasuunas jääb liigestatud põhjareljeefiga, õhukese (kohati olematu) pinnakattega madalveelisem lubjakivi platoo. Nimetatud sügavusjoontest läände ja edelasse jääb kergesti erodeeritavatesse Kuressaare, Kaugatuma ja Ohesaare lademe savikatesse lubjakividesse erodeeritud aluspõhja nõgu. Erinevalt madalveelisest, sisuliselt olematu pinnakattega lubjakivi platoost, kus tõenäoliselt kohati paljandub ka aluspõhi (õhukese moreeni või savimoreeniga kaetud aluspõhi), on aluspõhja nõgu ja selle nõlvaala mattunud pärast jääaja sette kompleksi alla. Seetõttu on merepõhi tuulepargi ala selle sügavamas avamere poolses osas tasane. Aluspõhja sügavus tuulepargi lubjakivi platoo ning nõlva-nõo aladel jääb suuresti vastavalt 25–35 m ja 40–60 m alla poole merepinda, aga võib üksikus suruõhu kahuri profiilil esile tulevas orundis ületada isegi 80 m.

Kuna chirp-tüüpi saatja seismo-akustiline impulss peegeldub enamasti täielikult tagasi pea et kõikjal Eestis aluspõhja katvalt moreenikihi pinnalt, siis moreenikihi puudumisel ei võimalda see meetod ühemõtteliselt tuvastada, kas seismilisele impulsile läbimatu pind markeerib moreenikihi või aluspõhja pealispinda. Selline juhtum esineb ilmselt tuulepargi alal, mis ei võimalda lisaks moreeni kihile fikseerida ühemõtteliselt ka selle ülemist pinda, mistõttu seismo-akustiliselt läbimatut taset käsitletakse aruandes aluspõhja-moreeni pealispinnana. Sellel pinnal lasuv Kvaternaari kompleks jaguneb selgelt kaheks, seismo-akustilise signatuuri järgi ilmselt savirikkaks üksuseks, mis mõlemad on tõenäoliselt ladestunud liustikujärve tingimustes. Aluspõhja-moreeni pinnal lasub ilmselt savimoreen (savirikas, üksikuid kive ja kruusatükke sisaldav kiht) ja sellel omakorda Balti jääjärve viirsavide kompleks. Aluspõhja-moreeni pinda kattev savimoreen levib sisuliselt kõikjal tuulepargi ala piires, kuigi selle paksus aluspõhja platoo piires, kus see kiht avaneb, võib kohati kahaneda nullini. Tuulepargi alla jääva aluspõhja nõo ning selle nõlva piires kõigub savimoreeni paksus suuresti 4–6 m piires, ulatudes tuulepargi ala lõunatipu ümber ligi 10 m. Balti jääjärve viirsavid tuulepargi alal on ladestunud üksnes aluspõhja nõos ja selle nõlval, kus see kiht, mille paksus kõigub 2–6 m piires, avaneb kõikjal ka mere põhjas. Selleks et kontuurida tuulepargi alal moreenikihi levikut ning fikseerida ühemõtteliselt selle ülemine pind tuleb see piirkond katta seismoakustiliste profiilide võrguga, kus lisaks chirp-tüüpi saatjale kasutatakse samaaegselt ka boomer-tüüpi saatjat, mille impulss läbib enamasti moreenikihi.

Tuginedes seismo-akustilistel profiilidel ja lehviksonari kaardil esile tulevatele virgmärgi laadsetele struktuuridele, ilmneb, et viirsavide avamusalal on merepõhi laialdasel alal mattunud tänapäevaste liivakate setetega, mis on hoovuste ja lainetuse poolt kergesti liigutatavad. Lehviksonari kaardi tulevad tuulepargi idapiiril esinevatel lubjakivi platoo laikudel merepõhjas esile arvukad, suuremad ja väiksemad rändrahnud.

Kuna Eesti piirkond asub geoloogiliselt stabiilsel alal, on ka seismilisuse tase tagasihoidlik. Viimaste aastakümnete instrumentaalsete mõõtmiste baasil on ootuspärane, et aeg-ajalt toimuvad erinevates asukohtades väikese magnituudiga (< 3) maavärinad. Tuulepargi jaoks vaadeldi ala, mis ulatub Eestist läände ja lõuna, piiridega 56,5–59,5°N, 18–26°E. Põhiliseks andmestikuks oli 2014. aasta versioon kataloogist FENCAT, mis hõlmab Põhjamaade ja Baltikumi seismilisust ja mida haldab Helsingi Ülikooli Seismoloogia Instituut. Lisatud on ka Eesti Geoloogiateenistuse poolt Eestis lokaliseeritud maavärinad ajavahemikus 2015–2023.

Tagasihoidliku seismilisuse piirkondade osas on väljakutseks, et aktiivsuse kohta on raske kätte saada tervikpilti. Selleks oleks vaja vaatluseid sajandite vältel, aga kahjuks on ajaloolised andmed ebatäpsed ja lünklikud. Alles viimastel aastakümnetel on hakatud rajama seismojaamu, mis võimaldavad täpsemat lokaliseerimist ning suudavad registreerida ka väiksemaid sündmuseid (antud piirkonnas tinglikult kuni magnituudini 1,5).

Uuringuala raames on silmatorkavaks sündmuseks magnituudiga 4,5 maavärin Osmussaare lähedal 25.10.1976. Juhtum näitlikustab, et ka geoloogiliselt rahulikes piirkondades pole võrdlemisi suured maavärinad välistatud. Siiski on seda laadi sündmuseid oodata harva, eeldatavasti kord mitme sajandi vältel.

Olemasoleva maavärinate nimekirja ning hiljuti publitseeritud Euroopa seismilise ohu kaardi (European Seismic Hazard Map 2020) baasil saab tõdeda, et eeldatav seismilise ohu tase on piirkonnas pigem madal, kuigi andmete vähesuse tõttu pole võimalik teha kaugele minevaid järeldusi.

### Viited

- Ahjos, T. & Uski, M., 1992. Earthquakes in northern Europe in 1375–1989. Tectonophysics, 207(1–2), 1– 23. https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90469-M
- Danciu, L., Giardini, D., Weatherill, G., Basili, R., Nandan, S., Rovida, A., Beauval, C., Bard, P.-Y., Pagani, M., Reyes, C. G., Sesetyan, K., Vilanova, S., Cotton, F. & Wiemer, S., 2024. The 2020 European Seismic Hazard Model: overview and results. NHESS, 24(9), 3049–3073. https://doi.org/10.5194/nhess-24-3049-2024
- Doss, B., 1909. Die historisch beglaubigten Einsturzbeben und seismisch-akustischen Phänomene der russischen Ostseeprovinzen. Beiträge zur Geophysik X, 1–124 (in German).
- FENCAT, 2014. The 2014 release of the Fennoscandian earthquake catalogue FENCAT. Institute of Seismology, University of Helsinki. https://www.seismo.helsinki.fi/bulletin/list/catalog/Scandia\_2014.html
- Kaljo, D., (ed.), 1970. The Silurian of Estonia. Valgus, Tallinn, 343 pp. (in Russian with English summary).
- Kaljo D., (ed.), 1977. Facies and fauna of the Baltic Silurian. Tallinn, 286 pp. (in Russian with English summary).
- Karpin, V., Heinsalu, A. & Virtasalo, J. J., 2021. Late Pleistocene iceberg scouring in the north-eastern Baltic Sea, west of Estonia. Marine Geology, 438, 106537. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106537
- Korja, A., Kihlman, S. & Oinonen, K. (eds), 2019. Seismic source areas for seismic hazard assessment in Central Fennoscandia. Institute of Seismology, University of Helsinki, Report S-66, 228 pp.
- Lutt, J. & Raukas, A. (eds), 1993. Geology of the Estonian shelf. Estonian Geological Society, Tallinn, 178 pp. (in Estonian with English summary).
- Nestor, H., 1997. Silurian. In: Raukas, A. & Teedumäe, A. (eds), Geology and Mineral Resources of Estonia. Estonian Academy Publishers, Tallinn, pp. 89–105.
- Raukas, A., 1978. Pleistocene deposits of the Estonian SSR. Valgus, Tallinn, 310 pp. (in Russian with English summary).
- Raukas, A. & Teedumäe, A., (eds), 1997. Geology and mineral resources of Estonia. Estonian Academy Publisers, Tallinn, 436 pp.
- Tavast, E. & Raukas, A., 1982. The bedrock relief of Estonia. Valgus, Tallinn, 192 pp. (in Russian with English summary).
- Tsyrulnikov, A., Tuuling, I., Kalm, V., Hang, T. & Flodén, T., 2012. Late Weichselian and Holocene seismostratigraphy and depositional history of the Gulf of Riga, NE Baltic Sea. Boreas, 41(4), 673–689.
- Tuuling, I. & Flodén, T., 2009. The Llandovery lowermost Wenlock sequence in the Baltic Sea between Saaremaa and Gotland; subdivision, thicknesses and correlation, based on marine seismic studies. Marine Geology, 267(1–2), 55–70.

- Tuuling, I. & Flodén, T., 2011. Seismic stratigraphy, architecture and outcrop pattern of the Wenlock-Přidoli sequence offshore Saaremaa, Baltic Sea. Marine Geology, 281(1–4), 14–26.
- Tuuling, I. & Flodén, T., 2013. Silurian reefs offshore Saaremaa and their extension towards Gotland, central Baltic Sea. Geological Magazine, 150, 923–936.
- Tuuling, I. & Flodén, T., 2016. The Baltic Klint beneath the central Baltic Sea and its comparison with the north Estonian Klint. Geomorphology 263, 1–18. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.03.030
- Tuuling, I., Suuroja, S. & Ausmeel, M., 2022. The outlines of the bedrock relief and the Quaternary cover between the Estonian mainland and the islands of Muhu and Saaremaa in the West Estonian Archipelago. Estonian Journal of Earth Sciences, 71(2), 111–126. https://doi.org/10.3176/earth.2022.08
- Uski, M., Oinonen, K., Lund, B., Soosalu, H., Ottemöller, L., Sørensen, M. B., Voss, P. & Korja, A., 2025. Submitted to Geophysical Journal International.
- Wang, Z., 2009. Seismic Hazard vs. Seismic Risk. Seismol. Res. Lett., 80, 673–674.

### Lisa 1

#### Failide nimekiri (.shp):

Seismoakustilised (Chirp) profiilid Glatsiaalse moreeni/aluspõhja pinna samasügavusjooned Postglatsiaalsete setete samapaksusjooned Savimoreeni samapaksusjooned Balti jääpaisjärve viirsavide samapaksusjooned Savimoreeni pinna samasügavusjooned Kvaternaarisetted tuulepargi polügooni ümbruses

#### Failide nimekiri – ESRI grid (raster):

Glatsiaalse moreeni/aluspõhja pinna reljeef Postglatsiaalsete setete paksus Savimoreeni paksus Balti jääpaisjärve viirsavide paksus Savimoreeni pinna reljeef

### Failide nimekiri – Backscatter: elwind\_backscatter\_a0.TIFF

#### Failide nimekiri – Batümeetria:

elwind\_bathymetry\_clipped.TIF