



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EESTI MEREAKADEEMIA
Merehariduskeskus

Lidia Mõsovski

Pakri pankranniku pikaajalised muutused ja nende põhjused

Magistritöö

Juhendaja: dotsent Inga Zaitseva-Pärnaste, PhD

Tallinn 2023

Olen koostanud töö iseseisvalt.

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

Lidia Mõsovski

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Üliõpilase kood: VAAM203833

Üliõpilase e-posti aadress: limoso@ttu.ee

Juhendaja: Inga Zaitseva-Pärnaste, PhD

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Itella Logistics OÜ juhatuse esimees, Meelike Paalberg

Lubatud kaitsmisele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Sisukord

Annotatsioon.....	5
Sissejuhatus	6
1 Rannikuala pikaajaliste muutuste seire Maailmas ja Eestis	8
1.1 Rannikuala.....	8
1.2 Eesti rannikuala	8
1.3 Fotogramm-meetria	9
1.3.1 Ortofoto.....	10
1.3.2 3D mudel.....	11
1.3.3 Satelliitnavigatsioonisüsteem	11
2 Metodoloogia	13
2.1 Pakri pankrannik.....	13
2.2 Meteoroloogilised ja hüdrooloogilised andmed	14
2.2.1 Paldiski rannikujaam ja Pakri meteoroloogiajaam	16
2.3 Andmete kogumine.....	17
2.4 Hüdrometeoroloogiliste andmete kirjeldus ja analüüs.....	17
2.4.1 Tuuled	17
2.4.2 Sademed	23
2.4.3 Veetemperatuur	24
2.4.4 Õhutemperatuur	25
2.4.5 Veetase.....	26
2.4.6 Lainetus.....	26
2.4.7 Jää	28
2.5 Ortofotode kirjeldus ja analüüs	29
2.6 Geoloogia	32
2.7 Ranniku muutuste ja hüdrometeoroloogiliste andmete võrdlus	34
3 Tulemused.....	35
3.1 Tulemuste analüüs	35
3.2 Järeldused.....	40
Kokkuvõte	43
Summary	45
Viidatud allikad	47
Lisa 1. Aastate 2004-2022 keskmiste tuulesuundade esinemise sagedus, %	50

Lisa 2. Aastate 2004-2022 keskmised tuule kiirused, m/s	51
Lisa 3. Aastate 2004-2022. keskmised tunni maksimum tuule kiirused, m/s	52
Lisa 4. Aastate 2004-2022 keskmised sademete summad, mm	53
Lisa 5. Aastate 2017-2022 keskmine merevee temperatuur, °C	54
Lisa 6. Aastate 2004-2022 keskmised õhutemperatuurid, °C	55
Lisa 7. 2017-2022. aastate keskmine veetase, cm	56
Lisa 8. Põhja-Eesti klindi geoloogiline seletus.....	57
Lisa 9. Üldine tabel olulistest hüdrometeoroloogilistest andmetest Pakri poolsaarel aastatel 2002-2022.....	58
Lisa 10. Üle 20 m/s maksimum tuulte esinemise sagedus vähemalt kaheksa tunni jooksul päevas	59

Annotatsioon

Pakri pankrannik on oluline ohutut navigatsiooni tagav piirkond ning atraktiivne turismipiirkond ja kõige varinguterohkem pank Eestis. Rannikuala on inimeste jaoks väga oluline koht nii elupaigana kui ka elatusallikana. Väga tähtis on teada ranna arengut ja rannajoone muutust ning millised looduslikud protsessid toimuvad rannikualal. Rannikuala uurimiseks on mitu erinevat võimalust. Tänapäeva tehnoloogia abil on võimalik saada esmast infot rannikuala muutustest kontorist väljumata kasutades ortofotosid. Ortofotode analüüsimine toimub mugavas ArcGIS Pro tarkvaras.

Hüdrooloogilised ja meteoroloogilised tingimused pidevalt muutuvad. Eesti rannikuala on väga tundlik kliimamuutustele ning rannikuala muutuste järgi saab teha järeldusi kliimamuutusest. Eesti rannikuerosioon on väga intensiivne. Üks torm võib muuta randa tundmatuseni. Kõige olulisemad tegurid, mis mõjutavad rannikualasi on geoloogilised tingimused, inimtegevus ja kokkupuude merega.

Pakri pankranniku taandumine on keskmiselt 25 cm aastas ning pankrannik taandus 275 aasta jooksul ligi 70 meetrit. Massiivsemate ülemkihtide varisemist soodustab panga allosas nõrgema vastupidavusega kihid, mille murrutus on intensiivsem. Pakri pangajärsakul toimuvad aeg-ajalt väiksemad ja suuremad varingud. Alla varisenud kivimid kaitsevad pankranniku jalamit aktiivse lainetuse eest peatades edasise erosiooni mitmeks aastaks.

Hüdrooloogiliste ja meteoroloogiliste andmete kogumine ja analüüsimine annab tõest informatsiooni kliimamuutustest. Mida rohkem on kogutud andmeid seda tõelisem on andmerida. Kogutud hüdrooloogilisi ja meteoroloogilisi andmeid kasutatakse igapäevaselt erinevate vajaduste jaoks.

Märksõnad: *Pakri pankrannik, ortofoto, ArcGIS, hüdrooloogiline ja meteoroloogiline andmerida.*

Sissejuhatus

Käesoleva magistritöö teema on Pakri pankranniku pikaajalised muutused ja nende põhjused. Magistritöö uurimisobjektiks on Pakri pankrannik, mis on kõige varinguterohkem pank Eestis. Tegemist on olulise ohutut navigatsiooni tagava piirkonnaga. Pakri pank on populaarne turismipiirkond. Oluline on uurida ranniku muutusi, võimaliku ohtu turistidele ja infrastruktuurile (Mõsovski 2020) ning millised hüdrometeoroloogilised mõjud põhjustavad neid muutusi. Pakri klindiasangul asuv Pakri tuletorn on mereajaloo oluline objekt ning kuulub kultuurimälestisena riikliku kaitse alla. (9496 Pakri tuletorn... 2004)

Eesti rannajoone kogupikkus on ligi 3800 km, mandri-Eesti rannajoone pikkus on 1242 km ning Soome lahe rannajooneks on 600 km (Eesti rannajoon 2011). Eesti rannikujoon on mitmekesine ja jaguneb viide kaldatüüpi: kaljud, astangud, liivane, kruusane ja mudane. Kaldatüübid ei ole jaotatud võrdseks, osa kaldatüüpe esineb kõigis ranniku piirkondades ning teisi ainult teatud Eesti osas. (Reiman *et al.* 2014)

Erosioon Eesti rannikualadel suureneb seoses läänetormine sagenemisele ja tugevnemisele, maailmamere taseme tõusuga ning talvise jääkatte vähenemisega ehk merejää ulatus ja paksus kahaneb. (Kliimamuutuste olemus 2022)

Karniisikujuline kuni 24 meetrine kolmest suunast merele avatud Pakri pankrannik on atraktiivne Pakri maastikaitseala koosseisus olev vaatamisväärsus Eesti looderannikul (Suuroja 2008). Pakri pankranniku paekivi erosioon on väga intensiivne ning panga taandumine toimub kiiresti. Klindiasangu ülemised ehk kõrgemad kihid on lubjakivimid ning alumised pehmemad kihid on liivakivimid ja sinisavi. Need kivimikihid murenevad erinevalt ning erineva kiirusega (Suuroja 2005). Suurem varing toimus 2008. aastal, kui merre kukkus 40 meetri laiune klinditükk (Einasto 2008), kõige viimane varing toimus 2021. aasta aprillis ning ei ole teada, millal ja kui suur tükk võib tulevikus järgmisena murenema hakata. (Pakri poolsaare tipus... 2021)

Antud magistritöö on jätk 2020. aastal kaitstud lõputööle Pakri pankranniku uurimise võimalustest. Eesti rannikuala on väga tundlik kliimamuutustele ning rannikuala muutuste järgi saab teha järeldusi kliimamuutusest.

Magistritöö peaesmärgiks oli välja selgitada kuidas Pakri pankranniku rannajoon on muutunud. Palju klindiasang on taandunud ning kuidas on muutunud rannajoon alates aastast 2002.

Rannajoone taandumist ja rannajoone muutust on võimalik analüüsida Esri ArcGis Pro programmi abil kasutades maa-ameti poolt valmistatud erinevate aastakäikude ortofotosid.

Eesmärgi täitmiseks olid püstitatud järgmised ülesanded:

- Hüdrometeoroloogiliste andmete uurimine ja analüüsimine
- Rannajoone märkimine eriaastate ortofotode ja ArcGIS Pro tarkvara abil
- Muutuste kirjeldamine ja analüüsimine

Magistritöö esimeses peatükis on ülevaade rannikualade tähtsusest inimkonna jaoks ning erinevatest võimalustest rannikualade seireks.

Teises peatükis on Pakri pankranniku kirjeldus ning hüdrometeoroloogiliste olukordade kirjeldamine nagu mereveetase, vee- ja õhutemperatuur, tuul, lainetus, jääolukord ja sademed. Meteoroloogiliste ja hüdroloogiliste vaatlusandmetena on kasutatud Keskkonnaagentuuri Paldiski rannikujaama ja Pakri meteoroloogiajaama 2004 – 2022. aastate andmeid. Andmete analüüsiks ja visualiseerimiseks on kasutatud Microsoft Excel programmi.

Magistritöö kolmandas peatükis on kirjeldatud tulemused. Pakri pankranniku varingute asukohti näidatakse läbi ArcGIS Pro tarkvara ning joonistatud joonte erinevate aastakäikude ortofotode abil.

Pakri pankrannikul varasemalt ei olnud tehtud sarnast uuringut. Varasemad läbiviidud uuringud olid teostatud geoloogide poolt (Saadre 2004) ning rekonstrueeritud 3D mudelit pankranniku monitoorimiseks Eesti Mereakadeemia tudengite poolt. (Kasepõld 2015, Mõsovski 2020)

1 Rannikuala pikaajaliste muutuste seire Maailmas ja Eestis

1.1 Rannikuala

Rannikuala on inimeste jaoks väga oluline koht nii elupaigana kui ka elatusallikana. Vanimad asulad olid paigutatud just veekogude ääres, kuna veekogust sai vett ja toitu ning veekogu oli looduslik ühendustee. Mereranda ehitatakse sadamaid ja piki randa infrastruktuure ehk mererannal on väga suur majanduslik väärtus. Mereäärseid ehitisi ja infrastruktuure peab kaitsma ning kindlustama, kuna rannavöönd on maismaa ja mere vaheline ala ehk kahe loodusjõu poolt mõjutatud ala. (Orviku 2018)

Sadamate ja infrastruktuuri ehitamiseks, kaitsmiseks ja kindlustamiseks peab teadma millised looduslikud protsessid toimuvad rannikualal. Väga tähtis on teada ranna arengut ja rannajoone muutust. Esimesed rajatised rannavööndis olid lihtsad ja kergesti teisaldatavad ning inimene oli kohanenud looduskeskkonna muutustega ja vastavalt rannajoone muutustele olid kolinud uude piirkonda. Tolleaegsed inimesed ei üritanud looduskeskkonda muuta ega pöörata enda kasuks vaid kohanesid vastavalt rannikeskkonnale. (*Ibid.*)

Rannavöönd on mere madalveeline osa koos maismaaribaga, mida mõjutab aktiivselt lainetuse tegevus. Meri ja maismaa ei püsi muutumatuna, mitmesuguste looduslike protsesside koosmõjul muutub nii maismaa reljeef kui ka mere sügavus. Meri kas tungib maismaale peale või vastupidi meri taandub, meri kuhjab randa setteid või viib neid minema, muutes ranna piirjooni ja rannajoone asendit. Mererand areneb ja muutub pidevalt. (*Ibid.*)

Selleks, et omada infot toimuvatest protsessides rannavööndis on vajalik pidev teaduslik uurimine, mis on tingitud praktilisest vajadusest. (*Ibid.*)

1.2 Eesti rannikuala

Eesti rannikuala on väga mitmekesine ning jaguneb viite kaldatüüpi. Rannikuala on atraktiivne koht puhkamiseks, spordi tegemiseks ning tähelepanuväärne vaatamisväärsus. Kõige populaarsem kaldatüüp Eestis on liivarand, mis seostub inimestel mereäärse puhkusega. Pankranniku kaldatüüpi eelistatakse matkamiseks ning kõrge astang annab paremat vaadet merele. Kaldatüüpide jaotus piki Eesti rannikut ei ole võrdne ning kõige olulisemad tegurid, mis mõjutavad

rannikualasi on geoloogilised tingimused, inimtegevus ja kokkupuude merega. (Reiman *et al.* 2014)

Kliimamuutuste tõttu on väga tõenäoline, et meretaseme tõusu, sagenevate läänetormide ning talvise merejää vähenemise tingimustes suureneb rannikualade erosioon ja üleujutusosalade pindala (Orviku 2003). Üksik torm võib ära viia suure koguse liiva ja ei ole teada kas järgmine torm toob selle tagasi ehk kas rand muutub kunagi endiseks või mitte. Peale tormi liivarand võib muutuda tundmatuseni (joonis 1).



Joonis 1. Muutunud Perakiüla rand peale tormi (Autor: Loogma, T. 6.11.2017)

1.3 Fotogramm-meetria

Fotogramm-meetria on teaduslik distsipliin, mis võimaldab määrata objektide kuju, mõõtmeid ja asendi fotode järgi, kus objektidega puudub füüsiline kontakt. Fotogramm-meetria areng sõltub teaduse ja tehnoloogia arengust. (Schenk 2005)

Fotogramm-meetria jaguneb kolmeks ja see sõltub kaamera asukohast pildistamise ajal ehk satelliit-, aero-, ja terestriiline fotogramm-meetria. Satelliitfotogramm-meetria ajal fotod tehakse satelliitidelt. Neid andmeid kasutatakse Maa pinna uurimiseks ning saadakse informatsiooni meteoroloogilisteks, geograafilisteks ja geoloogilisteks uuringuteks. Aerofotogramm-meetria ajal fotod tehakse lennuki või mehitemata õhusõiduki pardalt. Terestriilise fotogramm-meetria ajal fotokaameraga tehakse fotode seeria kindlast ja teadaolevast asukohast maapinnalt või selle läheduses. (Upadhyay 2014)

Fotograafia on protsess, mis muudab tegeliku kolmemõõtmelise maailma lamedaks kahemõõtmelisteks piltideks, fotogramm-meetria teisendab lamedad kahemõõtmelised pildid tagasi kolmemõõtmelisse tegelikku maailma. 3D piltide rekonstrueerimiseks vajatakse vähemalt kahte erinevat fotot, protsessi parendamiseks on võimalik teha rohkem ja suurema kattuvusega pilte objektist, mis annab paremat tulemust. (Basics of Photogrammetry 2017)

Fotogramm-meetria abil rannavööndi uurimine eriti raskesti ligipääsetavates kohtades nagu pankrannik on võimalik saada usaldusväärset infot rannavööndi arengust.

1.3.1 Ortofoto

Aerofotogramm-meetria meetod põhineb spetsiaalsete kaameratega varustatud lennukitega saadud piltidel. Õhust maapinnast tehtud pilt on aerofoto ning ortofoto on aerofoto, millelt on kõrvaldatud moonutused. Need moonutused tekivad maapinna reljeefist, kaamera kaldest maapinna suhtes pildistamise momendil ja kaamera joonprojeksioonist (Ortofoto tootmisluug 2019). Täpse ortofoto loomiseks on vaja digitaalset kõrgusmudelit, kuna kaamera või anduri ja maapinna erinevate punktide vahelisest erinevast kaugusest tingitud pildimoontusi tuleb korrigeerida. (Orthophoto Generation 2018)

Ortofotograafia annab ortofotole reaalse maailma koordinaadid (Aerial Photography... 2023) ning ortofotot saab kasutada tõeliste kauguste mõõtmiseks, kuna see kujutab täpselt Maa pinda, olles kohandatud topograafilise reljeefi, objektiivi moonutuste ja kaamera kalde järgi (Orthophoto Generation 2018). Piltide kogust, mis on koos geomeetriliselt korrigeeritud on võimalik koostada ortomosaiigi (Aerial Photography... 2023). Mitmete fotode kokkumonteerimisel suurema ala fotokaardi moodustamiseks leitakse üksikutel osaliselt katvatel ortofotodel parimad lõikejooned ja tasakaalustatakse fotode toonid. Kokkumonteerimise teel saadud kindlas mõõtkavas kaardiraamistiku järgi kaardilehtedest lõigatud pildid on ortofotokaardid. (Ortofoto tootmisluug 2019)

Ortofotol on fikseeritud ülelennu hetkel looduses esinenud situatsioon ehk millal toimus lend, mis on oluline info ortofoto kasutamisel. Digitaalse ortofoto valmistamise meetod kvaliteedi hindamisel on väga oluline, kuna meetodite vahe mõjutab fotode täpsust ja loetavust. Peab täpselt teadma kuidas foto on valmistatud, kas valmistatud analoogkaameraga ja siis skaneeritud või digitaalaerokaameraga. (*Ibid.*)

Digitaalsel ortofotol on kindel eraldusvõime ehk piksli suurus maapinnal, mis näitab väikseima jagamatu ülesvõetava ala suurust maapinnal. Aerofotograafias kasutatakse fotoseadmeid erineva eraldusvõimega ja see sõltub kaardistavast piirkonnast. Kaardilehel mõõtkavas 1:10 000 on kujutatud 5x5 km suurune maa-ala ning ortofotokaardi piksli suurus vastab 25-40 cm. Tiheasustusalade kaardilehel mõõtkavas 1:2 000 on kujutatud 1x1 km maa-ala ning piksli suurus on 10-16 cm. (Ortofoto tootmislugu 2019), (Suurna, Sisas 2010)

1.3.2 3D mudel

Teine aerofotogramm-meetria meetod põhineb spetsiaalsete kaameraga varustatud mehitamata õhusõidukist saadud piltidel. Pilte tehakse liikuva kaamera meetodil ehk uuritava objekti struktuur tuletatakse kaamera liikumisest (Metsoja 2018). Piirkonna foto-möödistamine toimub kõrvuti asuvatel liinidel. Foto-möödistamisel peab järgima, et fotode ülekate oleks piisav, möödistamist tehakse selgel päikesepaistelisel päeval nii, et ei tekkiks kontrastseid varjusid ning pildid peavad olema hea kvaliteediga ehk teravad, mitte udused. (Kasepõld 2015)

Enne 3D mudeli rekonstrueerimist on vajalik piltide töötlemine ehk piltidelt moonutuste ja liigse müra eemaldamine. Piltide moonutatud äärealad ei vasta tõelisele ruumilisele orientatsioonile ning liigne müra nagu autod ja inimesed ei ole vajalikud. Maapealsed kontrollpunktid on väga tähtsad ja neid peab olema piisavalt kogu piirkonna ulatuses. (Mõsoovski 2020)

3D mudelit on võimalik tänapäeval rekonstrueerida nii tasuta kui ka tasulise programmiga. Mõlemad variandid annavad hea tulemuse. Rekonstrueeritud 3D mudelil on võimalik eristada erinevaid kihte, uurida tekkinud lõhesid, kus tõenäoliselt tulevikus võib juhtuda varing, uurida ja mõõta erodeerinud kivimeid ning varingu ulatust. (*Ibid*)

Mehitamata õhusõiduki ja 3D mudeli abil piirkonna uurimine eeldab väljasõitu kohapeale, drooni koos kaameraga, 3D mudeli rekonstrueerimise tarkvarat ning kontoritööd.

1.3.3 Satelliitnavigatsioonisüsteem

Rannikualade seireks tänapäeval kasutatakse ka satelliitnavigatsioonisüsteeme koos maapealsete baasjaamadel tuginevate positsioneerivate mõõteseadmetega (RTK-GPS). Antud meetod võimaldab uurida rannikuala pinnavormide asendit nii horisontaal-kui ka vertikaalskaalal.

Randla pinnavormide kuhje või kulutuse intensiivsuse määramiseks peab läbi viima suure täpsusega korduvaid mõõdistusi, et edaspidisel andmete töötlemisel oleks võimalik toimunud looduslikke muutusi võrrelda. (Orviku 2018)

RTK-GPS-seadet kasutades kordusmõõdistamise käigus ei ole otseselt vajalik profiilivõrgustiku sidumine püsireeperitega. Tänapäeva seadmega on võimalik leida kõiki mõõdistuspunkte mõne sentimeetri täpsusega ning antud tööga saab hakkama üks inimene. (*Ibid.*)

2 Metodoloogia

Antud töös on kasutatud Paldiski rannikujaama mereveetaseme ja mereveetemperatuuri andmeid, Pakri meteoroloogiajaama tuulte kiiruste ja suundade, õhutemperatuuri ja sademete andmeid, maa-ameti poolt koostatud ortofotod ning keskkonnaagentuuri poolt koostatud jääkaardid.

2.1 Pakri pankrannik

Pakri pankranniku erosioon on väga intensiivne ning pankranniku taandumine on keskmiselt 25 cm aastas, mis teeb Pakri pankranniku kõige varisemisrohkeks pangaks. Pankrannik taandus 275 aasta jooksul ligi 70 meetrit. Pärast 2008. aasta varingut astang jõudis vana tuletorni vundamendini (Orviku *et al.* 2013). Pakri astangu eripäraks on avatus merele kolmest suunast, mis teeb panga vastuvõtlikumaks ilmastiku ja lainete mõjudele (Einasto 2008). Massiivsemate ülemkihtide varisemist soodustab panga allosas nõrgema vastupidavusega kihid, mille murrutus on intensiivsem (Suuroja 2005). Pakri pangajärsakul toimuvad aeg-ajalt ulatuslikud varingud, mille varisemise käigus murrutusjärsaku jalamile variseb palju eri suurusega paelahmakaid (Orviku 2018). Erodeerinud kivimid kaitsevad pankranniku jalamit aktiivse lainetuse eest peatades edasise erosiooni mitmeks aastaks. (Orviku *et al.* 2013)

Transpordiameti andmetel 2022. aasta seisuga Eestis on 55 töötavat tuletorni ning neli tuletorni/navigatsioonimärki, mis on kasutusest välja jäänud (Tuletornid 2022). Tavaliselt püsivaid navigatsioonimärke paigutatakse rannikualadele, silmapaistvale neemele või sadamate sissepääsudel, et tagada ohutut meresõitu (Orviku *et al.* 2013). Tuletorn on aktiivne abivahend navigeerimisel ning tuletornidel on oluline roll elude, vara, kaubanduse ja keskkonna kaitsmisel. (IALA... 2023)

Uuritaval Pakri pankrannikul asub põhjaranniku merepoolset serva ja laevateed märgistav Pakri tuletorn (Paldiski linn i.a). Pakri tuletorn ei ole esimene tuletorn poolsaarel, 17. sajandil oli ehitatud poolsaarele tuletorn, mis on tänapäeval varemetes ja asub pankranniku serval. Pankrannikut murrutav meri hakkas tuletornile lähenema ja tekkis vajadus uue tuletorni ehitamisest sisemaa poole (Suuroja 2005). Pakri tuletorn on enam kui kahe sajandi jooksul taganud Soome lahe rahvusvahelise laevasõiduohutuse (9496 Pakri tuletorn... 2004). Pidevalt tehtud uuringud kinnitavad, et Eesti rannik muutub tugevasti. Navigatsiooniohutuse seisukohalt on väga oluline jälgida muutusi rannikualadel, et omada ajakohast teavet võimalike ohtude kohta. (Orviku *et al.* 2013)

2.2 Meteoroloogilised ja hüdrooloogilised andmed

Eesti kliima rannikualadel erineb sisemaa kliimast. Eesti kliimat kujundab Eesti asukoht. Eesti paikneb Ida-Euroopa lauskmaa loodenurgas mereliselt kliimalt mandrilisele ülemineku vööndis. Suurem mõju Eesti kliimale on Atlandi ookeanil, kuid peamine mõju tuleneb Läänemerelt, mis jaguneb läänepoolseks läänemerelikuks kliimavaldkonnaks ja idapoolseks Sise-Eesti kliimavaldkonnaks. (Eesti kliima i.a)

Tuuled

Eesti aasta keskmine tuule kiirus rannikualadel on üle 6 m/s. Eesti tuuled sesoonselt muutuvad, tugevamad tuuled esinevad sügisel ja talvel, kevadel ja suvel on tuuled nõrgemad. Tuule kiirus on suurem detsembris, väiksem juulis. Keskmisest suurema sagedusega esinevad Eestis W ja S tuuled ehk lääne- ja lõunakaare tuuled, väiksema sagedusega E tuuled ehk idakaare tuuled. Rannikul ja saartel esineb tormituult keskmiselt 20 – 30 tormipäeva ning tormide sagedus on märgatavalt suurenenud viimastel aastakümnetel. (Eesti kliima i.a)

Soome lahe piirkonnas domineerivaks tuuleks on SW tuul ehk sagedaseim tuul puhub edelast. (Alenius 1998)

Sademed

Harilikult rannikuvööndis langeb kõige vähem sademeid, Eesti keskmine sademete aastasumma varieerub 550-800 mm piires. Rannikuvööndis kuivem aeg on kevadel ja suve esimesel poolel. Lumikattel Eesti eri paikades on suur territoriaalne ja ajaline muutlikus, lumikate rannikul on tavaliselt õhem, kui sisemaal (Eesti kliima i.a).

Veetemperatuur

Merevee temperatuur Soome lahes sõltub aastaajast. Talvel on veetemperatuur madal, suvel kõrgem. Soome lahe keskosas on vesi jahedam kui ranniku läheduses. Merevee temperatuuri ajutiselt mõjutab ka piki randa puhuv tuul. Tuulega tekitatud merehoovus viib ranna lähedalt pinnavee eemale ja tekib süvaveeerge. Süvaveeerge tekib Eesti rannikul idatuulega. (Soomere 2007)

Õhutemperatuur

Läänemeri hoiab sügisel ja talvel rannikualad soojemana ning kevadel rannikualad on jahedamad võrreldes ülejäänud Eestiga. Rannikul kõige külmem kuu on veebruar (Eesti kliima i.a). Peamine Läänemere pinnakihi kliimat ja selle muutlikust iseloomustav parameeter on merevee pinnatemperatuur. (Luhamaa *et al.* 2015)

Jääolud

Merejää kliimarežiimi saab iseloomustada olulisemate parameetritega nagu merejää ulatus, paksus ja jäähooaja pikkus. Läänemere jääkatte ulatus kõigub, iga aastased jääkatte parameetrid ei ole samad, on jäärikkad aastad ning ka jäävaesemad aastad. Viimaste aastate jääkate on vaene. Merejää kestus Eesti rannikualadel on lühem, jää teke on muutunud hilisemaks ja kadumine varasemaks. (Luhamaa *et al.* 2015)

Eestis jää olukorda on võimalik jooksvalt jälgida Keskkonnaagentuuri poolt koostatud jääkaartide abil. Jääkaart koostatakse perioodil, millal Eesti merealadel leidub jääd ning uuendatakse tööpäeviti hiljemalt kell 14:00. Kaugseirepõhine jääseiresüsteem võimaldab tuvastada erinevaid merejää tüüpe nagu kinnisjää, tihe jää, hõre jää, jää algliigid ning jäänähtuseid nagu rüsid ja lahvandused. Jääinfo olemasolu aitab talvisel navigatsiooniperioodil kurssi planeerida ning tagab ohutut liiklemist. (Jääkaart i.a., Keskkonnaagentuuri uudse ... 2021)

Veetase

Läänemere veetase sõltub pikaajalisest ja lühiajalisest teguritest. Pikaajaline tegur on jääaja jääkilbi kadumisest tingitud maapinna kerkimine ning maailmamere veetase. Lühiajalisi meretaseme tõuse põhjustab tsüklonitega kaasnev veekerge ning tugevast tuulest põhjustatud merevee kuhjumine rannikutsoonis koos lainetusega. (Luhamaa *et al.* 2015)

Tõusu ja mõõnade mõju veetasemele on väike, loodete kõikumine ei ületa 10 cm. Suurt mõju Läänemere veetasemele avaldab tuul. Tugeva ja pikaajalise läänetuulega kerkib veetase mere idaosas ja langeb lääneosas ning pikaajalise idatuulega vastupidi. Keskmise lainekõrgus on üks kuni kolm meetrit, tugeva tormi ajal võib avamerel lainekõrgus ulatuda 10 meetrini, Soome lahes kuni kuue meetrini. (Läänemeri 2017)

Läänemerel ja Soome lahes domineerib pikaajaline keskmine vastu kellaosuti liikumise suunda tsirkulatsioon. Läänemere tsirkulatsioonile avaldab olulist mõju jõgede sissevool ja veevahetus Põhjamerega. Hoovused sõltuvad olulisel määral tuule suunast ja tugevusest. Soome lahe piki lõunarannikut ehk piki Eesti rannikut hoovuste püsivus on intensiivsem ning Soome lahe piki põhjarannikut ehk piki Soome rannikut hoovuste püsivus nõrgem. Hoovuseid mõjutab oluliselt tuulemõju, mis näitab, et siinset hoovused on madala stabiilsusega. (Läänemeri 2017; Alenius *et al.* 1998).

2.2.1 Paldiski rannikujaam ja Pakri meteoroloogiajaam

Keskonnaagentuuri andmetel Eesti vaatlusvõrk koosneb 22 rannikujaamast ja 13 meteoroloogiajaamast.

Paldiski rannikujaam asub Harju maakonnas Lääne-Harju vallas Paldiski Põhjasadamas. Hüdroloogiliste vaatluste algus on alates 1923. aastast ning meteoroloogiliste vaatluste algus on 1865. aastast. 2012. aastal jaam automatiseeriti ehk mõõtetulemusi registreeritakse täisautomaatsete mõõteriistadega. Paldiski rannikujaama mõõdetavad parameetrid on tuule suund ja kiirus, veetase ning veetemperatuur. Merevee temperatuuri mõõdetakse kolme meetri sügavusel. (Paldiski rannikujaam i.a)

Pakri meteoroloogiajaam asub Harju maakonnas Lääne-Harju vallas Paldiski linnas Pakrineeme kordonis. Vaatluste algus on 1865. aastast. Mõõtetulemused registreeritakse automaatsete mõõteriistadega alates 2003. aastast. Pakri meteoroloogiajaama mõõdetavad ja vaadeldavad parameetrid on õhutemperatuur, õhuniiskus, õhurõhk, sademed, tuule suund ja kiirus, nähtavuskaugus ning atmosfäärinähtused. (Pakri meteoroloogiajaam i.a)

Ilmajaamade koordinaadid ja kõrgus merepinnast Euroopa kõrgussüsteemi ehk Amsterdamini nulli suhtes on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Pakri meteoroloogiajaama ja Paldiski rannikujaama andmed (Allikas: Vaatlusvõrk i.a)

Ilmajaam	Geograafiline laius	Geograafiline pikkus	Kõrgus merepinnast, EH2000, m
Pakri meteoroloogiajaam	N 59°20'59"	E 24°02'51"	2,3
Paldiski rannikujaam	N 59°23'22"	E 24°02'24"	23,12

2.3 Andmete kogumine

Paldiski rannikujaama ja Pakri meteoroloogiajaama andmete ning jääkaaride algallikas on Keskkonnaagentuur. Tuule, sademete, veetaseme, õhu- ja veetemperatuuri andmed olid esitatud Exceli tabelina.

Paldiski jaama veetemperatuuri andmerida algab alates 06.12.2016. aastast ning veetemperatuuri andmeid ei kontrollita ehk kasutatakse toorandmeid. Veetemperatuuri andmed määratud keskmise veetemperatuurina iga tunni kohta. Käesolevas töös kasutatud andmed alates 01.01.2017.

Rannikujaama ööpäevade veetaseme andmerida algab samuti 06.12.2016. aastast. Veetaseme andmed on esitatud tabelis keskmise veetasemena iga ööpäeva kohta. Antud töös kasutatud andmed alates 01.01.2017.

Pakri meteoroloogiajaama tuule andmerida algab 01.01.2004. aastast. Tuuleandmed on esitatud tabelis keskmise tuule kiirusena iga tunni kohta.

Pakri meteoroloogiajaama sademete andmerida algab 01.01.2004. aastast. Sademete andmed on esitatud ajalooliste andmete tabelis keskmise sademete summana iga tuuni kohta.

Jääkaarte koostatakse kasutades kaugseire andmeid ehk satelliidipilte. Jääkaartide andmed on esitatud ühe failina iga ööpäeva kohta, millal merealadel leidub jääd, tavaliselt novembrist aprillini. Jääkaartide failis on kõik info jää kohta nagu jääliik, jääulatus, jääpaksus. Magistritöös autor kasutas 2002-2022. aastate andmeid valides ühe faili iga aasta kohta, kus oli kõige suurem jääulatus Pakri poolsaare läheduses.

Ortofotode algallikas on maa-ameti geoportaal. Magistritöös kasutatud ortofotod mõõtkavas 1:10000 ja kaardilehe number on 63801. Autor kasutas 2005., 2007., 2008., 2009., 2010., 2012., 2014., 2016., 2018., 2020. ja 2022. aastate ortofotosi (Ortofoto 2023).

2.4 Hüdrometeoroloogiliste andmete kirjeldus ja analüüs

2.4.1 Tuuled

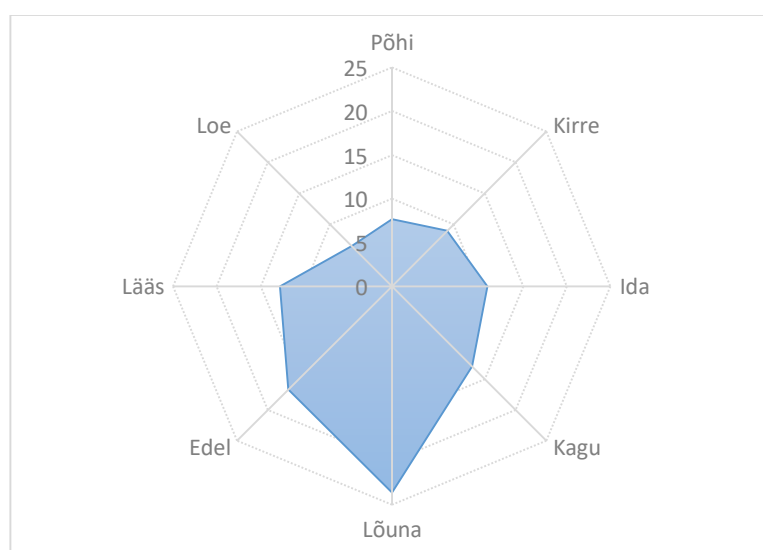
Tuule suundade iseloomustamiseks oli koostatud diagramm ehk tuuleroos. Tuuleroosi koostamiseks on kasutatud Excel programmi PivotTable liigendtabel tunni tuule suundade

tulemuste arvutamiseks. Exceli funktsiooniga „IF“ oli määratud tuulesuunad ning funktsiooniga „COUNTIF“ tuule esinemis sagedus tundides aastate lõikes ehk mitu tundi puhus konkreetne tuul. Tuulesuuna määramiseks tabelite väärtustele oli antud intervallid nimede teisendamiseks (tabel 2).

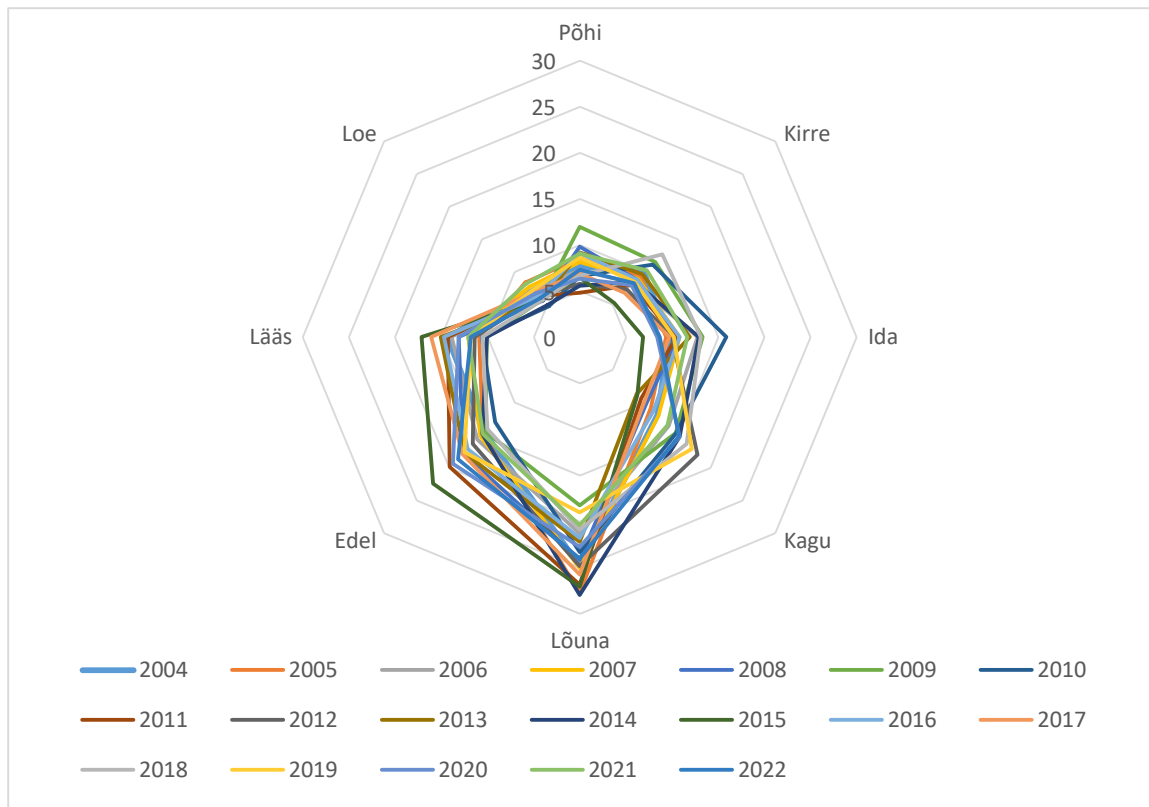
Tabel 2. Tuulesuuna määramise tabel

Intervall	Suund
337,5-360/0-22,5	Põhi
22,5-67,5	Kirre
67,5-112,5	Ida
112,5-157,5	Kagu
157,5-202,5	Lõuna
202,5-247,5	Edel
247,5-292,5	Lääs
292,5-337,5	Loe

Pakri meteoroloogia andmerea järgi Pakri poolsaarel on aastaringelt domineerivad lõunatuuled (Lisa 1, joonis 2, joonis 3). Põhjatuuete esinemissagedus on tagasihoidlik, teisel kohal võib märkida edela- ja läänetuule sagedus.

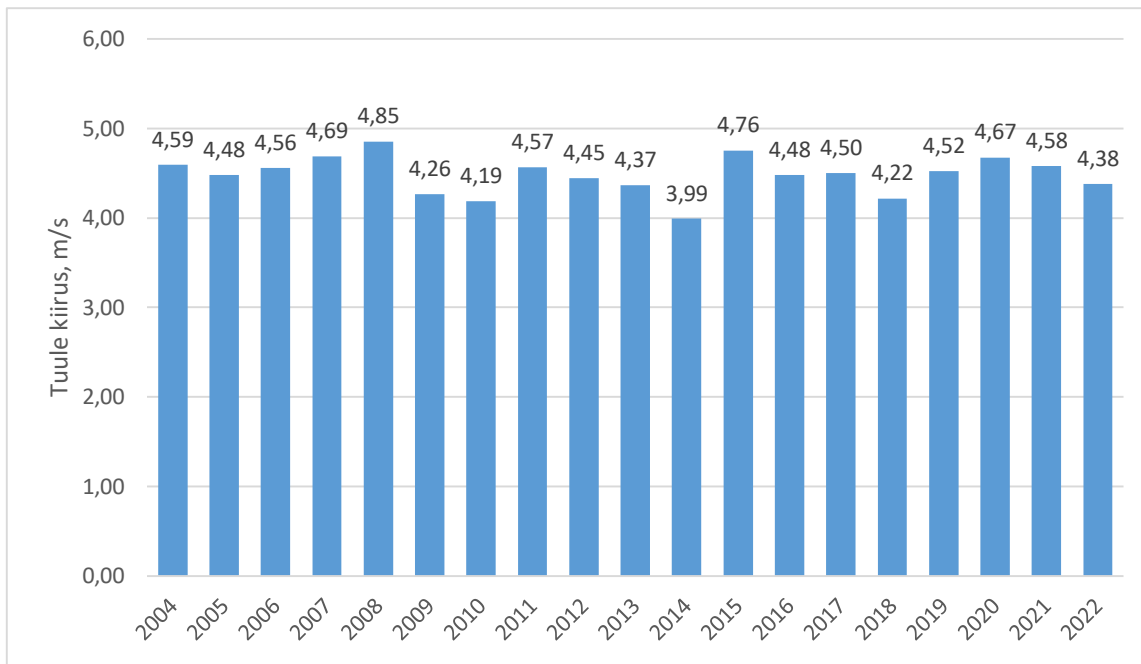


Joonis 2. Üldine tuule suundade graafik, Pakri meteoroloogiajaama 2004.-2022. aastate andmed



Joonis 3. Tuuleroos aastate lõikes

Pakri poolsaarel aastatel 2004-2022 ehk üheksateistkümne aasta keskmine tuule kiirus oli 4,48 m/s (Lisa 2). Kõige tugevam tuul esines Pakris 2008. aastal ja tuule kiiruseks oli 4,85 m/s, nõrgim tuul esines 2014. aastal ja tuule kiiruseks oli 3,99 m/s (joonis 4). Maksimaalne üheksateistkümne aasta tugevama ja nõrgima tuule kiiruse erinevus oli Pakri poolsaarel 18%. 2008. aasta ja üheksateistkümne aasta keskmise tuule kiiruse erinevus oli 8% ning 2014. aasta üheksateistkümne aasta keskmise tuule kiiruse vahe oli 11%.



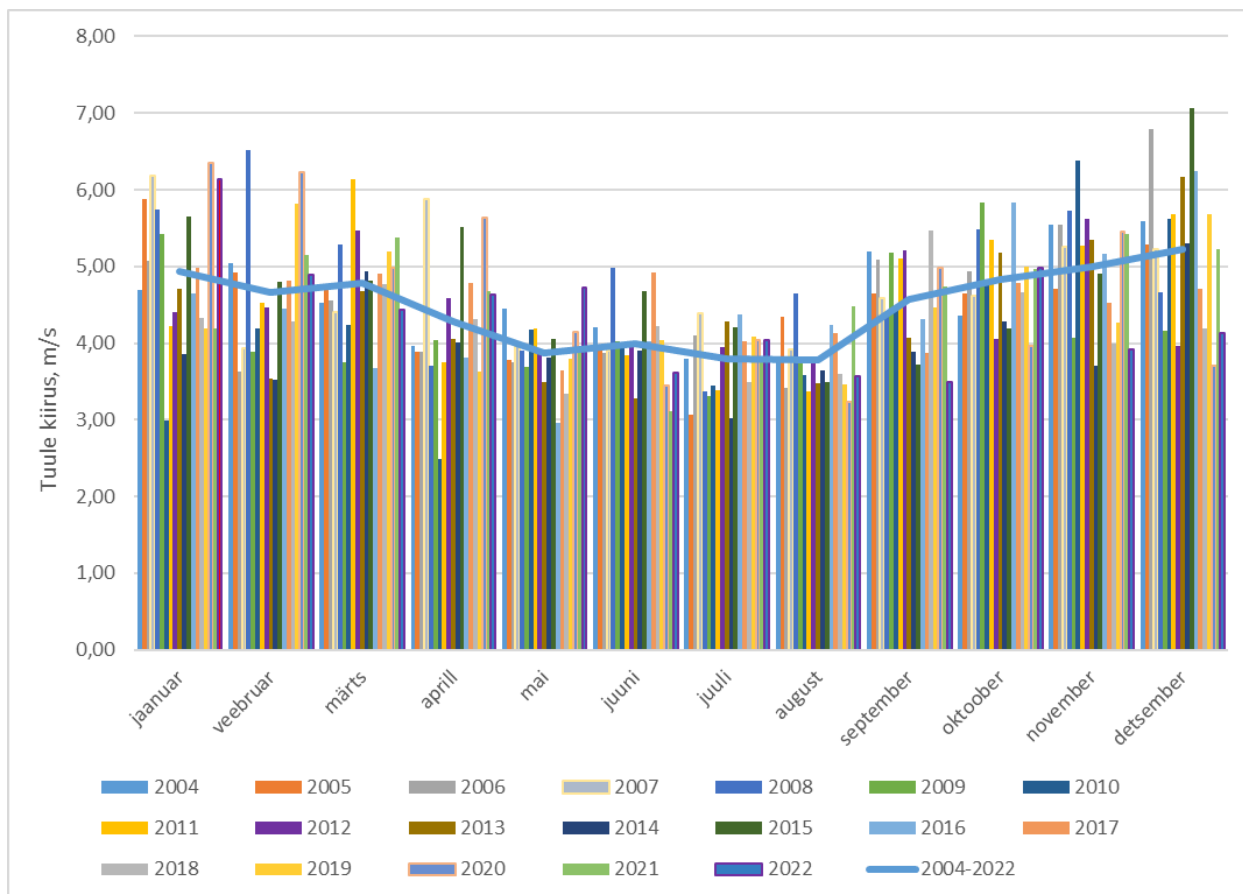
Joonis 4. 2004.-2022. aastate keskmised tuule kiirused Pakri poolsaarel

Kõige tihedamini olid esindatud tuuled Pakri poolsaarel kiirusega 2-3 m/s ning moodustasid 20% kõikidest tuultest (tabel 3).

Tabel 3. Tuule kiiruste esinemissagedus Pakri poolsaarel

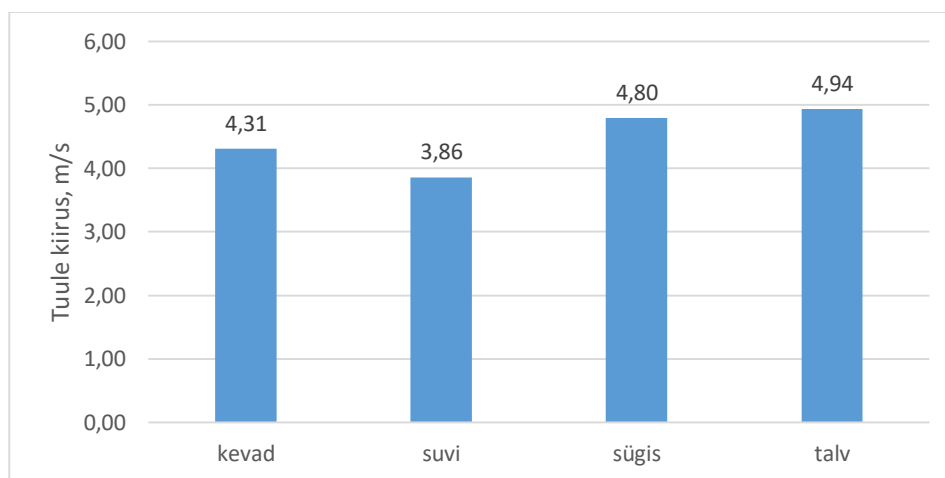
Tuule kiirus, m/s	Esinemissagedus	Esinemissagedus, %
0 - 1	5245	0,03
1 - 2	19667	0,12
2 - 3	33140	0,20
3 - 4	31589	0,19
4 - 5	22956	0,14
5 - 6	16020	0,10
6 - 7	11406	0,07
7 - 8	8349	0,05
8 - 9	6379	0,04
9 - 10	4363	0,03
10 - 11	3007	0,02
11 - 12	1872	0,01
>12	2567	0,02

Kõige tugevamad tuuled olid Pakri poolsaarel detsembrikuus, kui üheksateistkümneme aasta keskmine tuule kiirus oli 5,23 m/s ning kõige väiksema kiirusega tuuled olid augustikuus, kui keskmine tuule kiirus oli 3,79 m/s (joonis 5). Detsembri- ja augustikuu suurim erinevus oli 28%.



Joonis 5. Pakri poolsaare 2004-2022. aastate mõõdetud keskmised tuule kiirused kuude lõikes

Aastaaegade lõikes 2004-2022 aastate tugevamad tuuled Pakri poolsaarel olid esindatud talvekuudel, kui üheksateistkümne aasta keskmine tuule kiirus oli 4,94 m/s. Suvekuudel on kõige väiksem keskmine tuule kiirus, 3,86 m/s (joonis 6). Aastaaegade lõikes maksimaalne erinevus oli 22%.

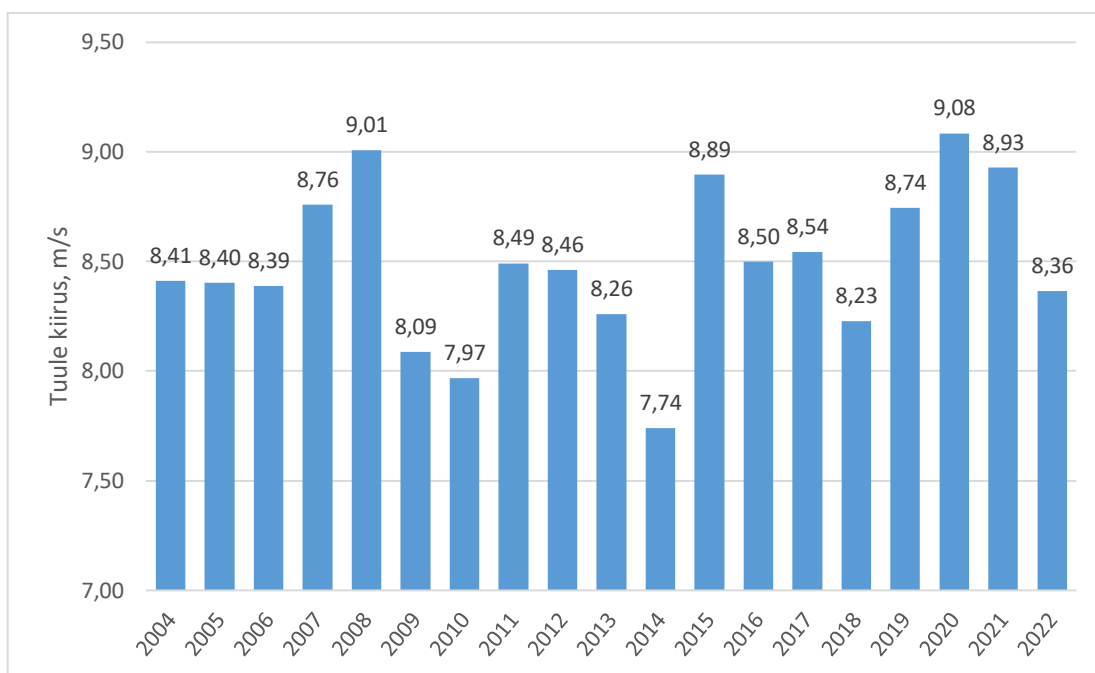


Joonis 6. Pakri poolsaare 2004-2022. aastate mõõdetud keskmised tuule kiirused aastaaegade kaupa

Kõige tugevamad keskmised tuuled Pakri poolsaarel talvekuudel olid 2008. (5,64 m/s) ja 2015. (5,84 m/s) aastatel. 2015. aastal detsembrikuu keskmine tuule kiirus oli üle 7 m/s ehk kõige tuulisem kuu üheksateistkümne aasta jooksul ning 2008. aastal veebruarikuu keskmine tuule kiirus oli 6,52 m/s.

Kõige tuulevaiksem kevad oli 2016. aastal, kui kevadkuude keskmine tuule kiirus oli 3,48 m/s, mis oli madalam kui sama aasta suvekuude keskmine tuule kiirus ehk 4,21 m/s. Kõige tuulevaiksem kevadkuu oli aprillis 2010. aastal ning tuulevaiksem talvekuu oli veebruaris samuti 2010. aastal, vastavalt 2,48 m/s ja 2,98 m/s.

Aastate 2004-2022. aasta keskmine maksimaalne tuule kiirus oli 2020. aastal, kui aasta keskmine maksimaalne tuule kiirus oli 9,08 m/s. Kõige vaiksem keskmine maksimaalne tuule kiirus esines 2014. aastal, tuule kiiruseks oli siis 7,74 m/s. Üheksateistkümne aasta keskmine maksimaalne tuule kiirus oli 8,49 m/s (Lisa 3, joonis 7).

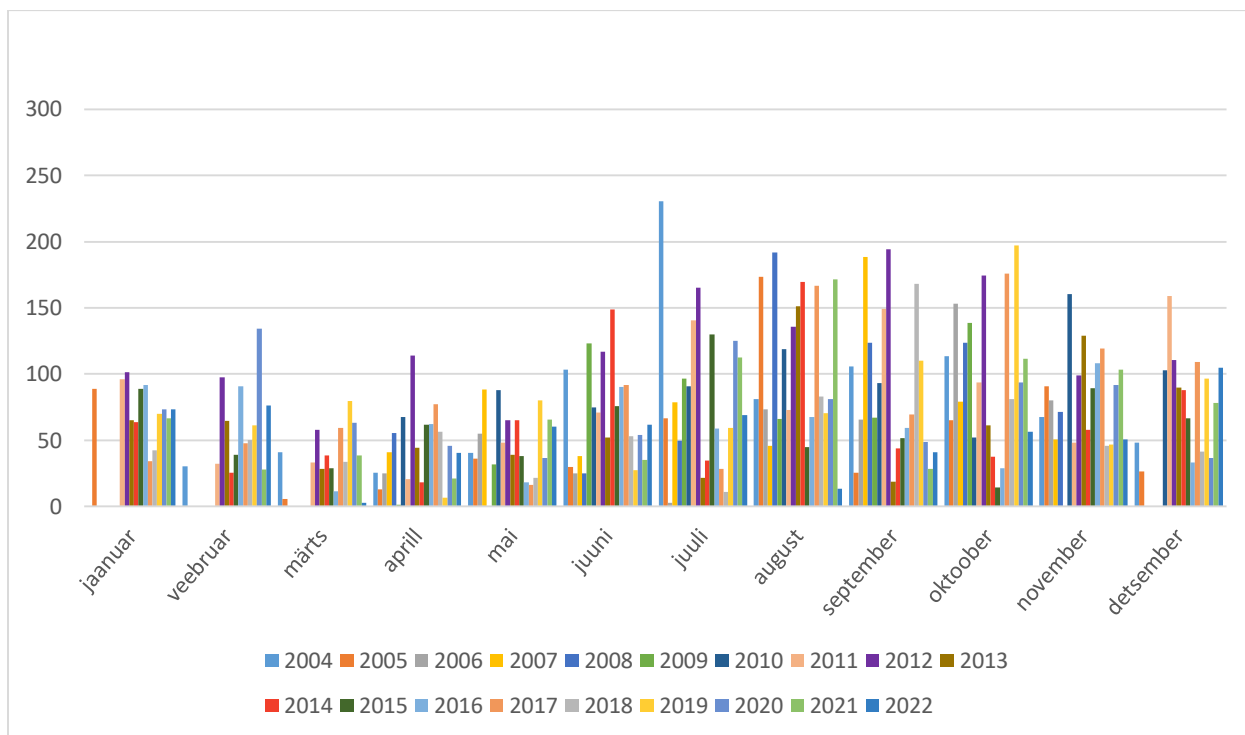


Joonis 7. Aastate 2004-2022. keskmised maksimum tuule kiirus aasta lõikes

2004-2022. aastate maksimaalne tuule kiirus tunnis oli 28. oktoobril 2006. aastal, kui tuule kiirus oli 34,2 m/s ning üle 20 m/s tuul puhus poolteist päeva. Tuule suunaks oli 223° – 310° ehk edela-lääne-loodetuul.

2.4.2 Sademed

Sademetesummade andmetöötlus oli teostatud PivotTabel'i liigendtabeli abil. Andmetabeli tunni sademete summad olid arvutatud kuu keskmisteks sademete summadeks ning visualiseeritud Exceli diagrammi abil (joonis 8).



Joonis 8. Kuu keskmised sademete summad, Pakri meteoroloogiajaama 2004.-2022. aastate andmed

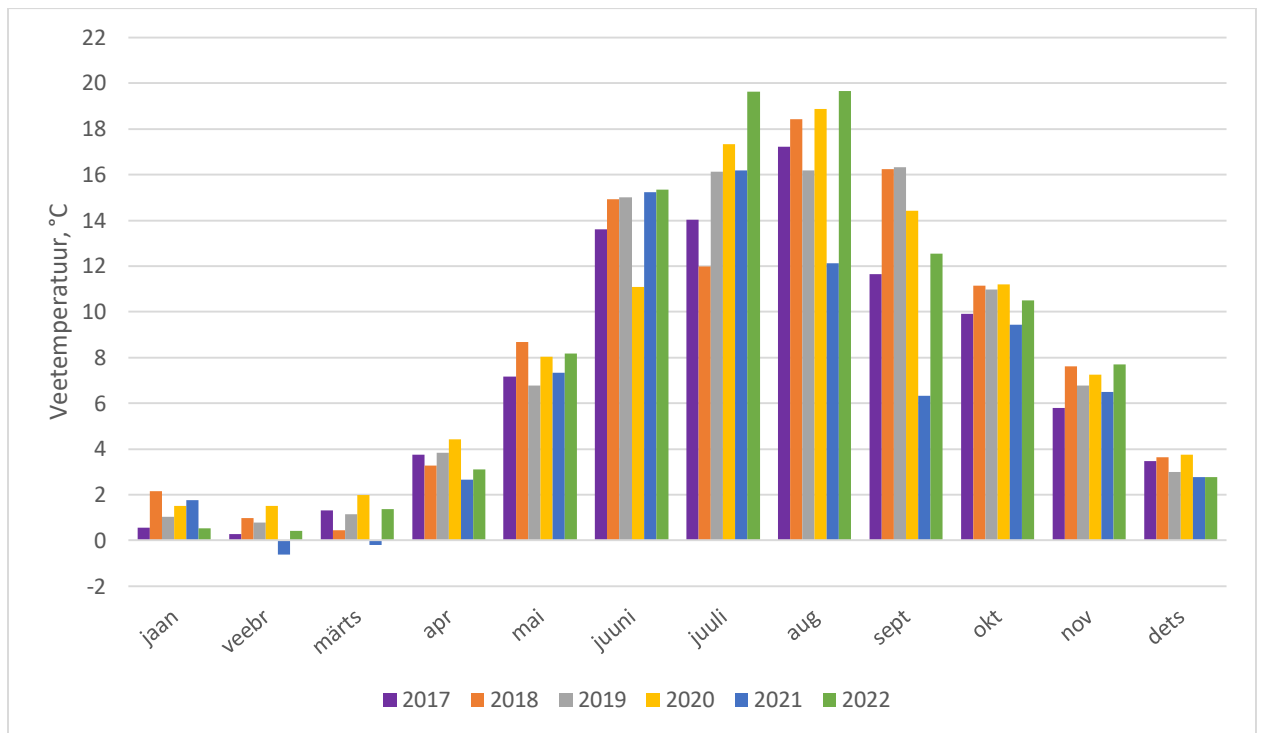
Tabeliandmete töötlemisel selgus, et mõnede kuude andmerida puudub. Puuduvad andmed: 2004. aasta jaanuari kohta; 2005. aasta veebruari kohta; 2006. aasta jaanuari, veebruari, märtsi ja detsembri kohta; 2007. aasta jaanuari, veebruari, märtsi ja detsembri kohta; 2008. aasta jaanuari, veebruari, märtsi ja detsembri kohta; 2009. aasta jaanuari, veebruari, märtsi, novembri ja detsembri kohta; 2010. aasta jaanuari, veebruari ja märtsi kohta. Andmete puudumise kohta info puudub.

Mõne kuu sademete andmerida puudumise tõttu aasta keskmised sademete summad aastatel 2004-2010 ei võetud arvesse (Lisa 4). Kõige sademete rohke oli 2012. aasta, kui aasta keskmine sademete hulk oli 1432 mm. Kõige vähem sadas 2022. aastal, ainult 650 mm. Maksimaalse ja minimaalse aastate keskmiste sademete summade vahe on 55%. Kuude lõikes kõige rohkem sadas augustikuus, augustikuude 2004-2022. aastate keskmine sademete hulk oli 104 mm. Kõige vähem kuude lõikes sadas aprillikuus, 42 mm. Kõige suurem sademete hulk ühes kuus oli 2004. aasta

juulikuus, kui keskmine kuu sademete hulk ulatus 231 mm. Kõige suurem sadu esines juulist novembrini ning kõige väiksem sadu oli kevadkuudel ja suve alguses.

2.4.3 Veetemperatuur

PivotTabel'i liigendtabeli abil oli arvatud merevee temperatuuri kuu keskmised väärtused ning visualiseeritud diagrammi abil (joonis 9). 2021. aasta 24.09-5.10. puudub andmerida merevee temperatuuri kohta.

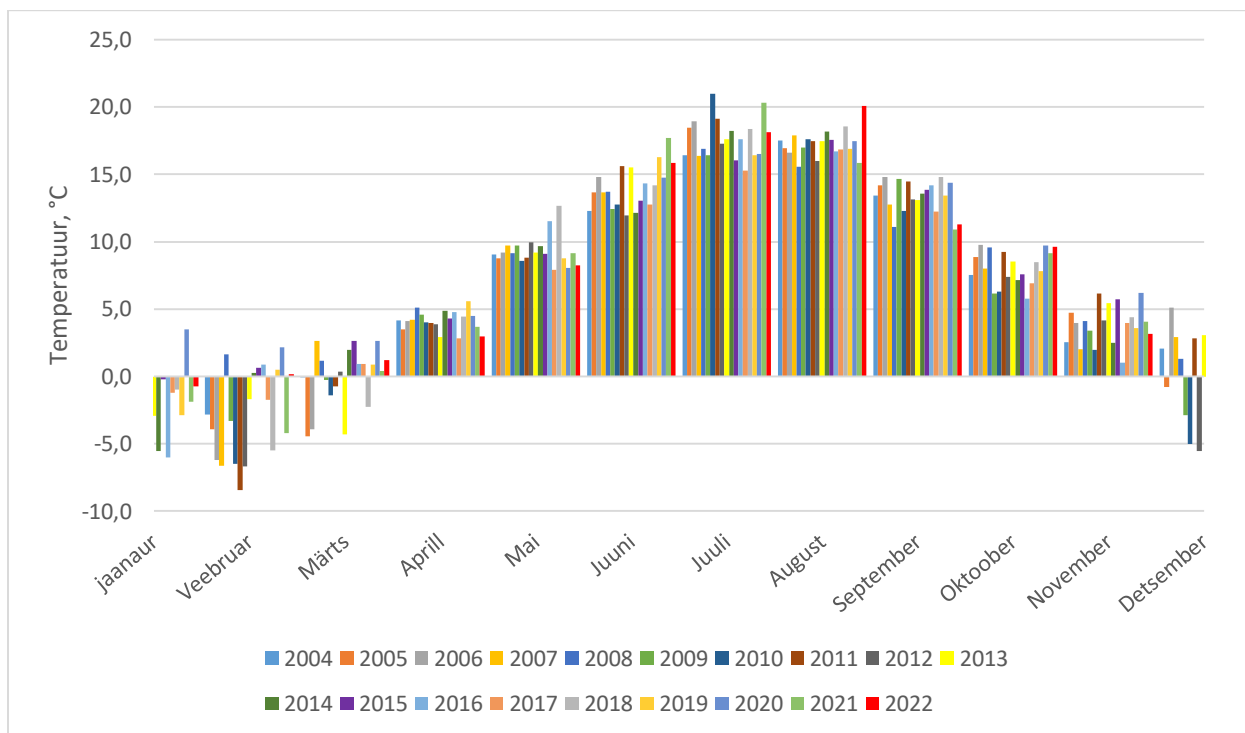


Joonis 9. Kuu keskmine merevee temperatuur, Paldiski rannikujaama 2017-2022. aastate andmed

Merevee temperatuur sõltub aastaajast ehk õhutemperatuurist. Pakri lahe aastate 2017-2022. keskmine merevee temperatuur oli 7,9 °C (Lisa 5). Kõige külmem keskmine veetemperatuur oli 2021. aastal 6,6 °C ning kõige külmemad kuud olid veebruar ja märts, mis tingitud sellega, et septembrist oktoobri alguseni andmerida puudus. Veebruarikuu keskmine veetemperatuur oli -0,6 °C ning märtsikuu veetemperatuur oli -0,2 °C. Kõige soojem merevesi oli 2020. ja 2022. aastal, kui keskmine merevee temperatuur oli 8,5 °C. Kuude lõikes kõige külmemad kuud olid veebruarikuud, kui keskmine veetemperatuur oli ainult 0,6 °C. Kõige soojem merevesi oli augustikuudes, keskmine mereveetemperatuur oli 17,1 °C. Juulikuude jahe merevesi võib olla mõjutatud süvaveekergetega. Süvaveekergete esinemisel veetemperatuur võib langeda 4,0 °C ja olla 4-6 °C juures mõned päevad.

2.4.4 Õhutemperatuur

Kuu keskmise õhutemperatuuri andmetöötlus toimus PivotTabel'i liigendtabeli abil, kus tunni keskmise õhutemperatuuri väärtused olid arvatatud kuu keskmiseks õhutemperatuuriks ning visualiseeritud diagrammi abil (joonis 10).

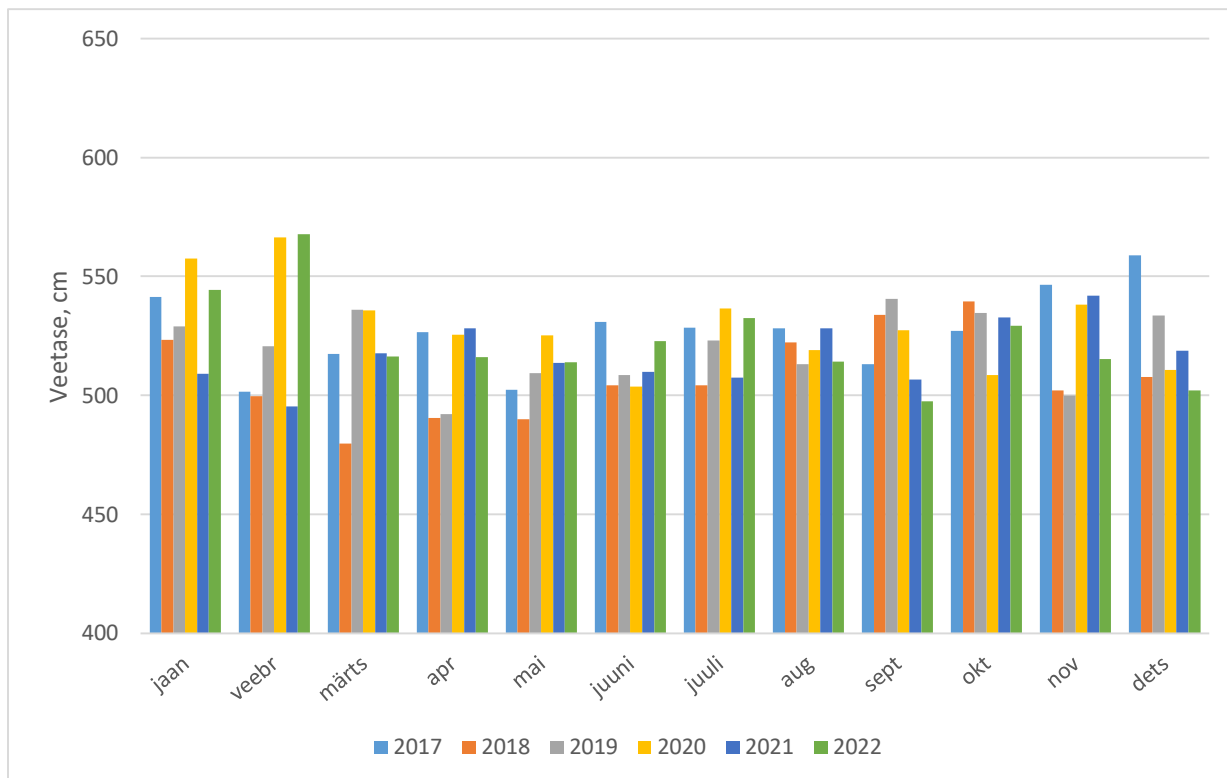


Joonis 10. Kuu keskmine õhutemperatuur, Pakri meteoroloogiajaama 2004-2022. aastate andmed

Õhutemperatuur Pakri neemel nagu ka mujal Eestis sõltub aastaajast. Suvekuud on kõige soojemad ning talvekuud on kõige külmemad (Lisa 6). Kõige jahedam aasta oli 2010, kui aasta keskmine õhutemperatuur oli 5,3 °C. Kõige soojem oli 2020. aasta, kui aasta keskmine õhutemperatuur oli 8,4 °C. 2004-2022 aastate keskmine õhutemperatuur oli 7,0 °C. Külmema ja soojema aasta temperatuuri erinevus oli 37%. Kuude lõikes kõige külmemad kuud olid veebruarikuud ning juulikuud olid kõige soojemad kuud. Veebruarikuude keskmine temperatuur oli -2,7 °C ning juulikuude keskmine temperatuur oli 17,7 °C. 2004-2022 aastate kõige külmem kuu oli veebruar 2011. aastal, kui veebruarikuu keskmine õhutemperatuur oli -8,4 °C. Kõige soojem veebruarikuu oli 2020. aastal, 2,2 °C. Kõige soojem juulikuu oli 2010. aastal, kui keskmine õhutemperatuur oli 21,0 °C ning kõige külmem juulikuu oli 2017. aastal, kui keskmine õhutemperatuur oli ainult 15,3 °C. Õhutemperatuur tõuseb märtsi lõpus, aprillis ning langeb oktoobrikuus.

2.4.5 Veetase

Keskmise veetaseme arvutamiseks oli samuti kasutatud PivotTabel liigendtabel ning visualiseeritud Exceli diagrammi abil (joonis 11).



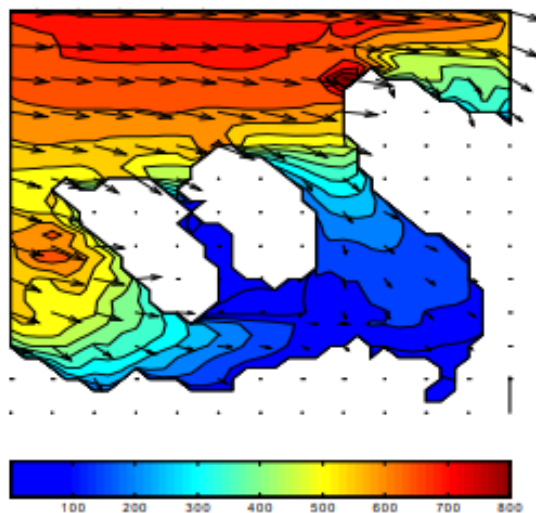
Joonis 11. Üldine kuu keskmine veetase, Paldiski rannikujaama 2017-2022. aastate andmed

Pakri lahe kuueaastane keskmine veetase oli 521 cm (Lisa 7). Kõige kõrgem aasta keskmine veetase oli 2020. aastal, kui keskmine veetase oli 529 cm ning kõige madalam aasta keskmine veetase oli 2018. aastal, 508 cm. Maksimaalne kuu keskmine veetase oli 2022. aastal veebruarikuus, kui veetase oli 568 cm. Minimaalne kuu keskmine veetase esines 2018. aastal märtsikuus, kui veetase oli 480 cm. Maksimaalne päeva keskmine veetase Pakri lahes oli 590 cm 21.02.2020. aastal. Minimaalne päeva keskmine veetase oli 457 cm 31.03.2018 aastal. Kuude lõikes jaanuarikuudel keskmine veetase on kõige kõrgem, 534 cm, maikuudel veetase kõige madalam, 509 cm.

2.4.6 Lainetus

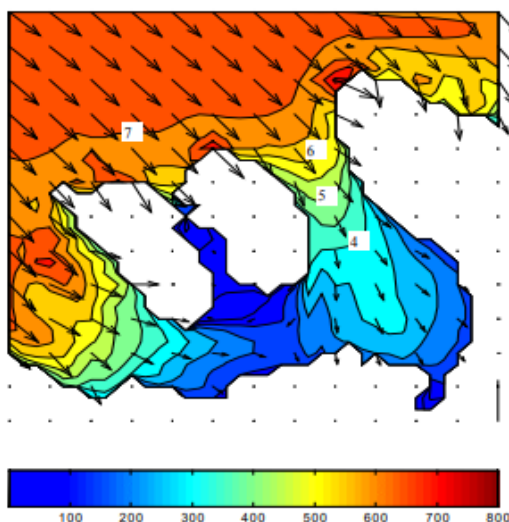
Igapäevaselt ei mõõdeta lainetust Pakri ega Paldiski jaamas. 2007. aastal OÜ E-KONSULT-i uuringu „Paldiski Lõunasadamasse lainemurdja rajamise keskkonnamõju hindamine“ raames konstrueeriti vähendatud sammuga Läänemere lainetuse mudelit TTÜ Meresüsteemide Instituudis

(TTÜ MSI) Pakri saarte ja lahe piirkonna jaoks. Rekonstrueeriti kaks mudelit, kus eeldati, et tuul puhub keskmise kiirusega 25 m/s kaheksa tunni vältel läänest ning sama kaua ja sama tugevusega tuul puhub loodest. Tulemused näitasid, et läänetuule korral avamerel lainekõrgus ulatus 7,5 meetrini ning lainekõrguse maksimum oli Pakri neeme piirkonnas, kui lainekõrgus ulatus 8,73 meetrini (joonis 12). (KMH aruanne 2007)



Joonis 12. Rekonstrueeritud lainetuse mudel Pakri saarte piirkonnas, läänetuul kiirusega 25 m/s (KMH aruanne 2007)

Loodetuule korral avamerel lainekõrgus ulatus natukene üle seitsme meetri ning lainekõrguse maksimum oli Pakri neeme piirkonnas, kui lainekõrgus ulatus 7,64 meetrini (joonis 13). (*Ibid.*)

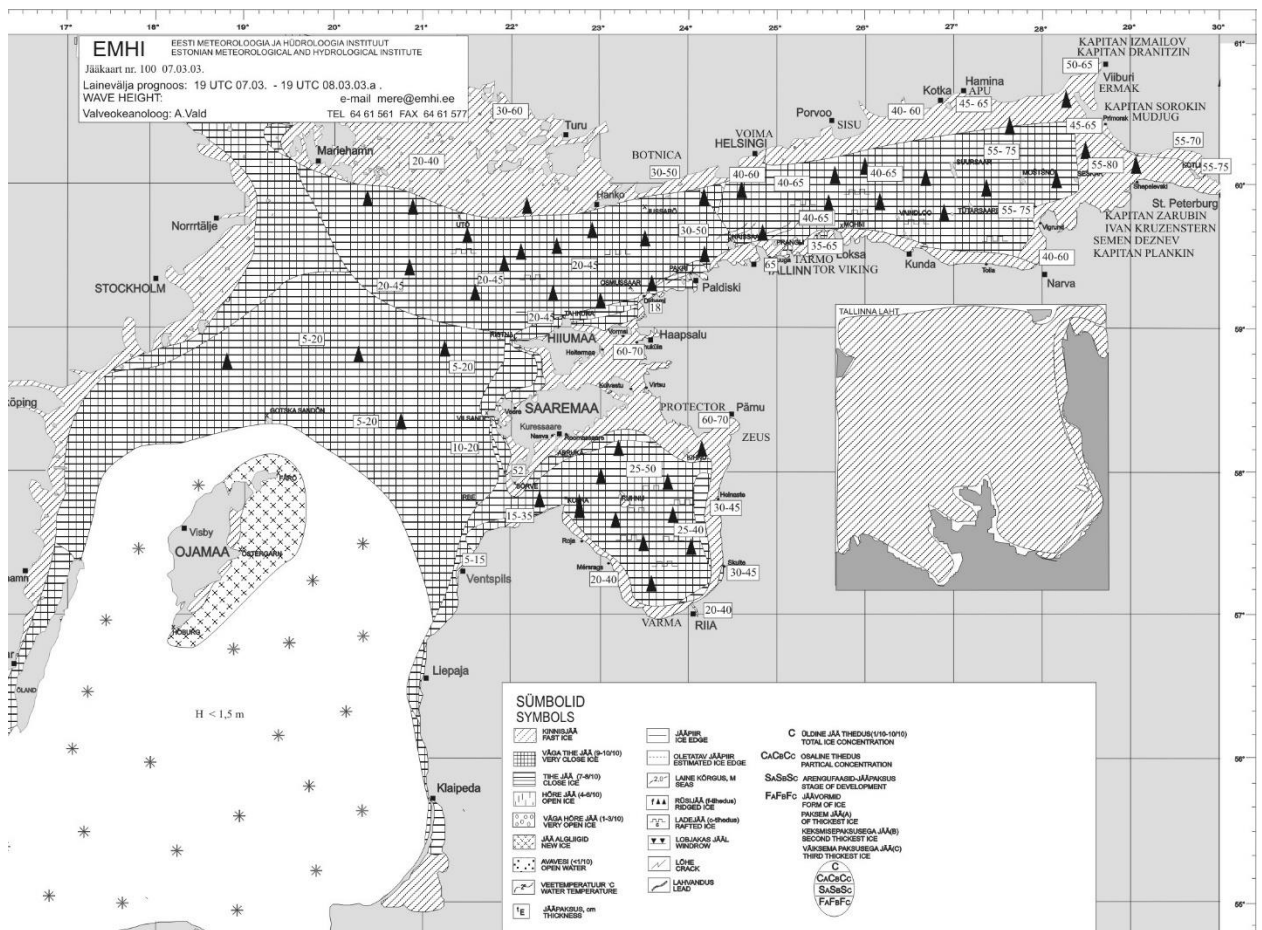


Joonis 13. Rekonstrueeritud lainetuse mudel Pakri saarte piirkonnas, loodetuul kiirusega 25 m/s (KMH aruanne 2007)

Mõlema mudeli puhul on lainekõrguse maksimumid esinevad Pakri neeme piirkonnas ning selline lainekõrguste maksimumide põhjuseks võib-olla tingitud lainete refraktsioonist (*Ibid.*). Kõige kõrgemad lained esinevad Pakri neeme piirkonnas lääne- ja loodetuultega.

2.4.7 Jää

Pakri poolsaare läheduses kõige ulatuslikum jääulatuse oli märtsikuus 2003. aastal, kui terve Soome laht oli jäätunud (joonis 14). Poolsaare ümbruses oli kinnisjää. Sel aastal jää algliigid tekkisid poolsaare ümbrusesse juba jaanuari lõpus (30.01.2003) ning jää püsis kuni aprilli lõpuni. 2019/2020 talvel ei tekkinud peaaegu üldse jääd ja selle tõttu ei olnud koostatud ühtegi jääkaarti (Lõppenud talv ... 2021). Viimati oli jää Pakri poolsaare ümbruses 2018. aasta märtsikuus, kui esines hõre või väga hõre jää ja jää kestvus oli viis päeva.



Joonis 14. Jääulatuse 2008. aastal, jääkaart nr.100 (Allikas: Keskkonnaagentuur)

Jääkaarte analüüsidest selgus, et Pakri poolsaare lähedusse eriti ei tekki jääd. Mõnedel aastatel oli jää tekkinud kuid jää ei püsinud eriti kaua, külmemal talvel maksimaalselt paar nädalat, kuid tavaliselt püsib jää ainult mõned päevad. Viimastel aastatel talved olid pehmed ja jääd ei esinenud.

2.5 Ortofotode kirjeldus ja analüüs

Ortofotod maa-ameti geoportaalil on salvestatud GeoTIFF formaadis. TIFF on paindliku struktuuriga formaat pildilise info ja sinna juurde kuuluvate andmete haldamiseks ühes failis. GeoTIFF formaat pöimib vastavas formaadis andmestikele juurde georefereerimiseks vajaliku informatsiooni. (Suurna, Sisas 2010)

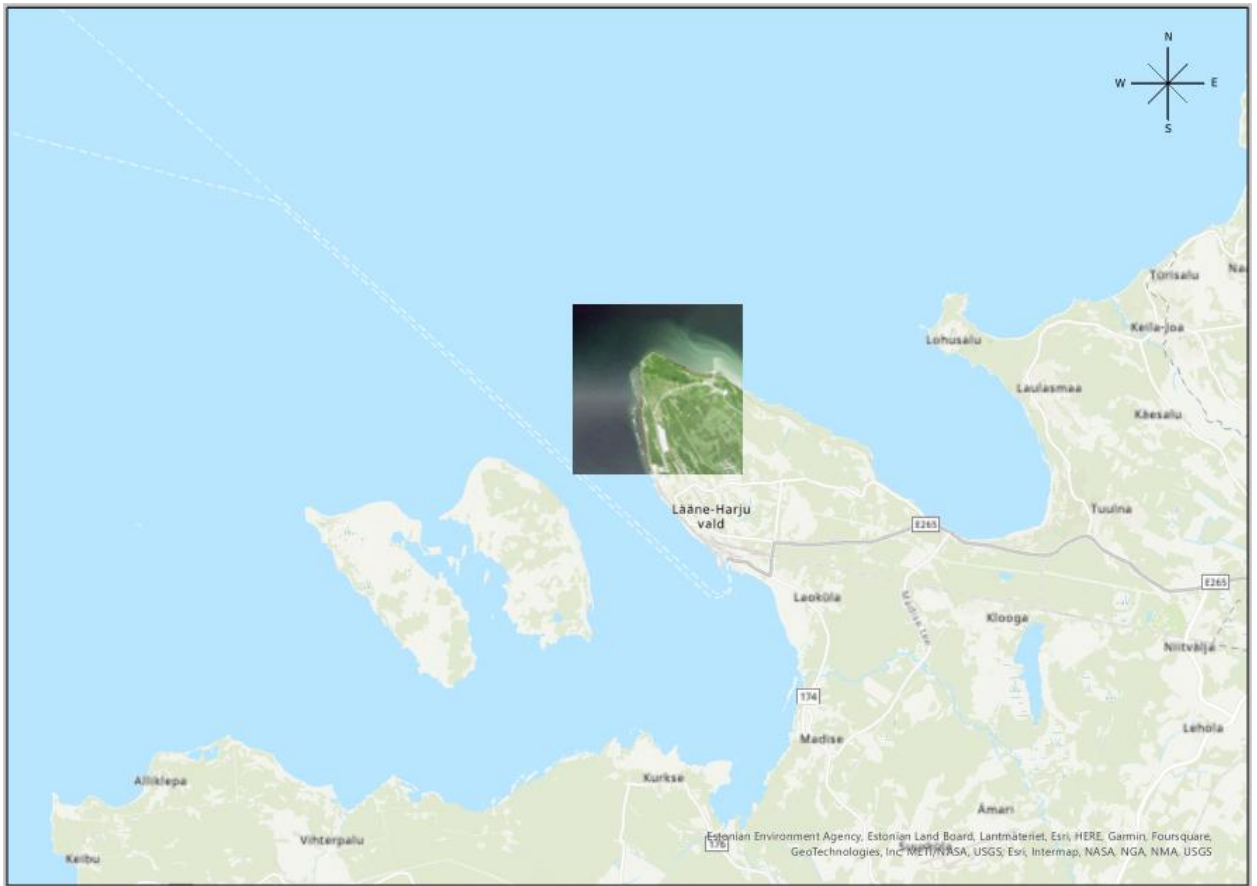
Ortofotode kirjeldamiseks ja analüüsimiseks oli kasutatud ESRI ArcGIS tarkvara. ArcGIS on ESRI (*Environmental System Research Institute*) poolt toodetud GIS-tarkvara (Geographic Information System) ning ESRI on maailma juhtiv GIS-tarkvara tootja. ESRI läheneb probleemide lahendamisele geograafiliselt läbi kaasaegne GIS-tehnoloogia. (About Esri i.a)

GIS on süsteem, mis loob, haldab, analüüsib ja kaardistab igat tüüpi andmeid. GIS ühendab andmed kaardiga, integreerides asukohaandmed igat tüüpi kirjeldava teabega ehk näitab kus asjad asuvad ja millised asjad seal on. See loob aluse kaardistamiseks ja analüüsiks, mida kasutatakse tänapäeval teaduses ja paljudes tööstusharudes. GIS aitab kasutajatel mõista mustreid, suhteid ja geograafilist konteksti. (What is GIS? i.a)

ArcGIS Pro on rikkaliku funktsionaalsusega ja universaalne arvuti töölaua geograafilise infosüsteemi tarkvara, mis võimaldab geoandmete koostamist ja visualiseerimist, ruumianalüüsides teostamist, tabelandmete sidumist kaardimaterjaliga, 2D/3D/4D kaardiakende kooskasutust, erinevate avaandmete ja teenuste lihtsat kaasamist. (ArcGis Pro i.a)

TalTech Eesti Mereakadeemia tudengite jaoks ArcGIS tarkvara kasutamine on tasuta. Tudeng peab olema registreeritud ning litsentsi kasutamine kooskõlastatud vastava õppejõuga. ArcGIS tarkvara kasutamiseks peab olema interneti ühendus.

Ortofotode andmetöötlus ArcGIS tarkvaraga algab projekti faili loomisega. Pärast projekti loomist ja faili avamist on võimalik ortofotode lisamine peakaardile lohistades neid kaustast otse kaardile. Kuna ortofotod on salvestatud GeoTIFF formaadis ei pea eraldi paigutama fotod õigesse kohta, see toimub automaatselt (joonis 15).



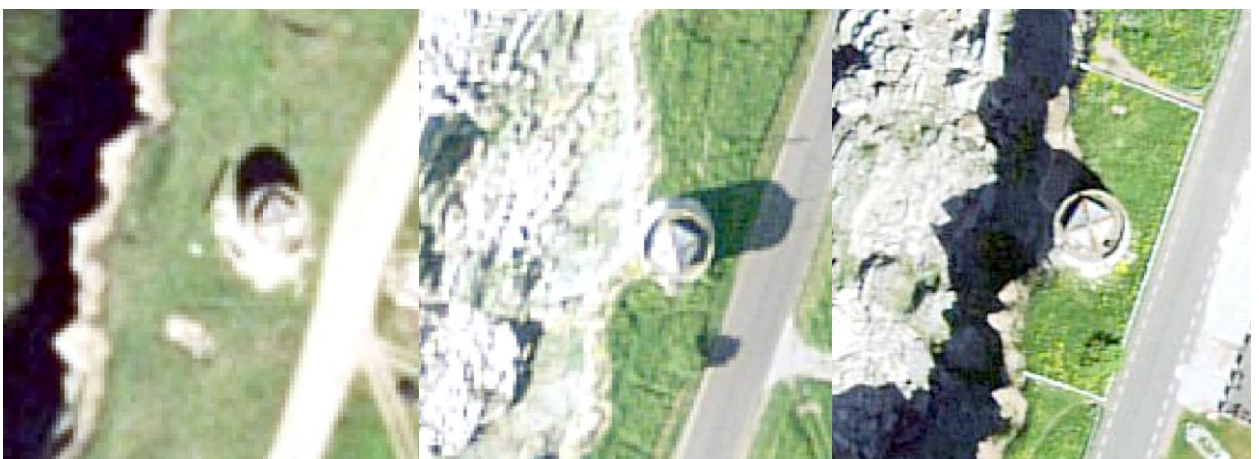
Joonis 15. Ortofoto lisamine ArcGIS programmi

Pärast ortofotode lisamist peakaardile oli võimalik alustada pankranniku serva märkimist vastavalt igale aastale. Selle jaoks oli loodud eraldi kiht nimega „rannajoon“ ning pankranniku serva märkimine käis funktsiooniga „joon“. Erinevate aastate ortofotode järgi joonistatud rannajooned on esitatud joonisel 16, kokku pankranniku serva joonistatud jooni on 11. Uuritava ala joone pikkuseks oli umbes 650 meetrit ja joone pikkus sõltus aastast. Kõige lühem joon oli 2005. ja 2007. aastal, kõige pikem aga 2022. aastal. Varingute ulatuse märkimiseks oli kasutatud funktsioon „polügoon“ ning ArcGIS tarkvara arvutas automaatselt polügooni pindalat ehk varingu ulatuse.



Joonis 16. Ortofotode järgi joonistatud rannajooned vastavalt igale aastale

Rannajoone märkimise käigus peamiseks probleemiks osutus ortofotode kvaliteet (joonis 17). Erinevatel aastatel maa-ala pildistamiseks kasutati erinevaid seadmeid. Seadmest ja ortofoto liigist sõltub foto resolutsioon ehk foto pikslite arv.



Joonis 17. Ortofotode kvaliteet, vasakult paremale: 2005. a., 2014. a., 2022. a.

Informatsioon ortofotode kohta on esitatud tabelis 4. Esitatud andmetes olulisem on ortofotode resolutsioon, kuna resolutsioonist sõltub ortofoto kvaliteet, mida väiksem resolutsioon seda parem

on pildi kvaliteet. Ortofotode kvaliteet muutub pildi suurendamisel, mis raskendab oluliselt pankranniku serva märgistamist.

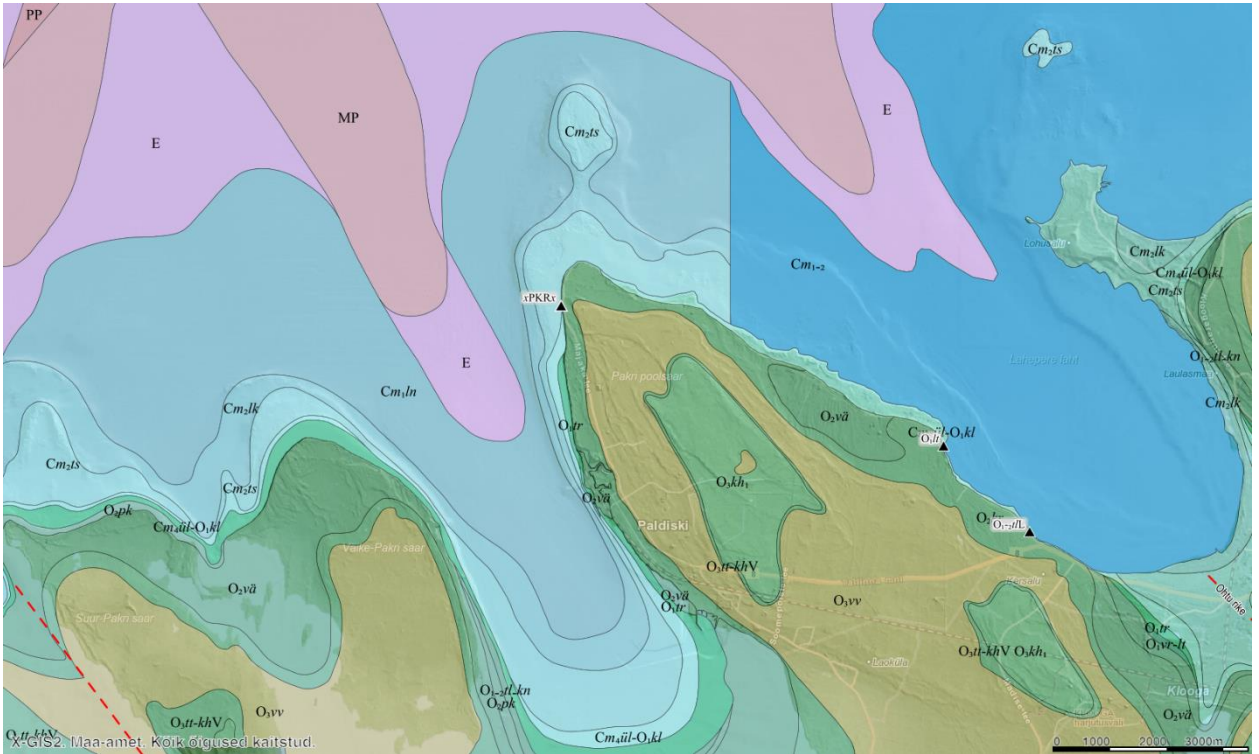
Tabel 4. Ortofotode informatsioon: ortopildistamise kuupäev, kvaliteet, seadmed (Allikas: maaamet)

Kuupäev	GSD	Ortofoto liik	Kasutatud aerokaamera
15.06.2022	GSD 25	metsanduslik lend	Leica ADS100-SH100
25.04.2020	GSD 20	aerolend	Leica ADS100-SH100
29.05.2018	GSD 25	metsanduslik lend	Leica ADS100-SH100
21.04.2016	GSD 25	aerolend	Leica ADS100-SH100
09.07.2014	GSD 40	metsanduslik lend	Leica ADS40-SH52
01.05.2012	GSD 25	aerolend	Leica ADS40-SH52
10.07.2010	GSD 40	metsanduslik lend	Leica ADS40
03.05.2009	GSD 25	aerolend	Leica ADS40
26.05.2008	GSD 25	rannajoon, metsanduslik lend	Leica ADS40
04.08.2007	GSD 25	aerolend	Leica ADS40
21.05.2005	GSD 40, 50	aerolend	analoog RC30

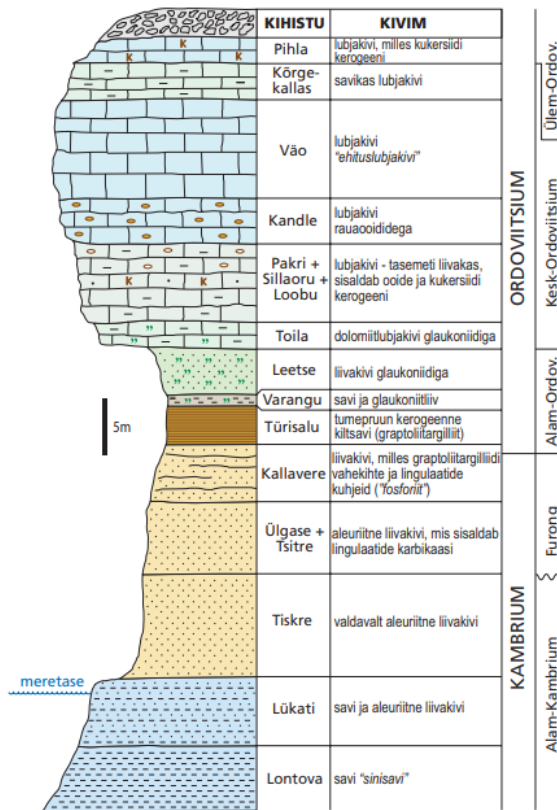
2.6 Geoloogia

Pakri neem on osa ligi 100 km pikkusest Lääne-Harju klindilõigust ja on keskne osa Balti klindist (Põhja-Eesti klint 2008). Vertikaalne otse vette laskuv karniisikujuline klindias tang koosneb erineva tugevusega kivimitest (Lisa 8, joonis 18). Astangut kujunevad kivimilasundit, mille ülaosas on kõvad Ordoviitsiumi lubjakivid ning jalamis pehmemad Alam-Ordoviitsiumi ja Kambriumi liivakivid ning sinisavi (Einasto 2008). Põhja-Eesti klindi läbilõikes on näha kuidas paiknevad erinevad kihid (joonis 19).

Kui panga alumised kihid on pehmemast materjalist, siis pealmised kihid on tugevatest paekividest, mis on teineteisega risti läbitud diaklassilõhedega ehk maakoore tektoonilistest pingetest tekitatud ulatusliku lõhesüsteemi vorm kompaktses kivimis (Pirrus 2007, Einasto 2008). Kuna lõhesüsteem on ulatuslik siis ei ole täpselt teada millal ja millises ulatus toimub uus varing.



Joonis 18. Pakri panga geoloogiline uuring, baaskaart 1:50 000 (Allikas: Maa-amet 2023)



Joonis 19. Põhja-Eesti klindi läbilõige (Soesoo, Miidel 2006)

2.7 Ranniku muutuste ja hüdrometeoroloogiliste andmete võrdlus

Pakri neemel toimuvad pidevalt nii väiksemad kui ka suuremad muutused ehk varingud. Väiksemad muutused toimuvad igapäevaselt ja neid on raske märgata. Suuremad muutused on silmaga märgatavad ja need muutused ei ole igapäevased.

Veepiiril asuvaid pehmemaid liiva- ja savikihte uuristav lainetus kiirendab panga jalami kulutusprotsessi, moodustades murrutuskoopaid. Kõige pehmem ja pudedam kiht on roheline glaukoniitliivakivi. Glaukoniitliivakiht taandub aasta-kahega, tuues esile paekivikihte. Paekivikihtide lõhesüsteemi kaudu sademevesi uuristab olemasolevaid lõhesid suuremaks. Karsti arenedes lõhed laienevad ning pinnavesi jõuab liiva- ja savikihtideni niisutades neid. Laienenud lõhedesse viib sademevesi ja tuul peenikest pinnast. Kevadisel sulamisajal ja pehmel sademerohkel talvel lõhedes olev läbivettinud pinnas muutub libedaks. Öistel miinuskraadidel külmub niiske pinnas laienedes veelgi lõhesid ja viies pinnast lõhe põhja. Raskete lubjakivimite all asuvad niisked ja libedateks muutunud liiva- ja savikivimid annavad järele ning külmumata ja tormine meri soodustavad varingute teket. (Einasto 2008)



Joonis 20. Pakri neem kevade alguses (Autor: Kalda, K., märts 2018)

Joonisel 20 on näha glaukoniitliivakihi taandumist, neeme jalamis kulutusprotsessi ja murrutuskoobaste moodustamist, külmunud sademevett, mis on pankranniku paekivimite lõhedest tilkunud ja esindatud jääpurikatena pankranniku seinal.

Külmunud meri kaitseb mererannikut tugevate läänekaare tuulte tekitatud murrutava lainetuse eest, kui meri on jäävaba ei ole võimalik kaitsta mereranda loodusjõudude eest. (Mardiste, Vahter 2008)

3 Tulemused

Antud peatükis peale andmete analüüsimist oli võimalik võrrelda tulemusi tänapäeva situatsiooniga ning jõuda järeldusele, kas oli toimunud pankrannikul muutusi ja kui oli, siis millised ja kus need muutused esinesid. Analüüsitakse muutusi ja miks need muutused esinesid ehk uuritakse hüdro meteoroloogilisi tingimusi enne muutuste esinemist.

3.1 Tulemuste analüüs

Tulemuste analüüsimiseks autor kasutas ArcGIS Pro programmi. Peale rannajoone märkimist vastavalt igale aastale kaardile oli võimalik alustada joonte omavahelist võrdlemist, et välja selgitada, kas oli antud aastatel Pakri neemel muudatusi või ei olnud. Kui muudatusi esines, siis tehti põhjalikum analüüs hüdro meteoroloogilistes andmetes välja selgitamiseks kas enne varinguid oli Pakri neeme piirkonnas ekstreemseid olukordi.

Tulemuste analüüsimine toimus kahe järjestiku aasta vahel, ortofotosi ei olnud tehtud Pakri neeme piirkonnas igal aastal. Esimene analüüs oli tehtud 2005. ja 2007. aasta ortofotode põhjal joonistatud joonte vahel. Joonte põhjal ei olnud erilisi muudatusi märgatud, väiksemaid varinguid esines kindlasti, kuid ortofotode abil neid ei olnud võimalik näha.

Autor tegi teise analüüsi 2007. ja 2008. aasta ortofotode põhjal joonistatud joonte vahel. 2008. aastal Pakri poolsaarel toimus väga suur varing, kui varises suur klindiasangu tükk. Varing toimus vana tuletorni vundamendi juures (joonis 21). Varingu ulatus oli ligi 14 meetrit lai ja 70 meetrit pikk. Enne varingut astang laskus otse vette, peale varingut erodeerus suur kogus kivimeid, mis nüüd kaitsevad pankranniku jalamit lainetuse eest.

Ilmastiku olud olid 2008. aastal mitte väga soodsad. 2008. aasta oli kõige tuulisem aasta Pakri poolsaare piirkonnas 2004-2022. aastate andmetel. Aasta keskmine õhutemperatuur oli keskmisest soojem. Kiirusega üle 10 m/s tuuled puhusid edelast ja loodest, üle 15 m/s tuuled puhusid läänest, mõni päev ka põhjast. Kõige vaiksem tuul puhus lõunast ja idast, suvekuudel põhjast.

Õhutemperatuur ka talvekuudel oli soojem, keskmine jaanuarikuu õhutemperatuur oli ainult -0,1 °C, muudel talvekuudel keskmine kuu õhutemperatuur oli plussis. Meri Pakri piirkonnas ei olnud jääs ja klindiasang oli avatud tormilainetusele. 2008. aastal jääd ei tekkinud poolsaare piirkonda mitte kordagi. Öistel tundidel õhutemperatuur oli miinuses ning klindilõhedes sademete vesi

külmus, kuid päeva soojakraadi juures vesi sulas, sademevee pidev sulamine ja jäätumine laiendab klindilõhesid. Tavaliselt öö ja päeva temperatuuride erinevus esineb kevadkuudel ilma soojenemisel, kuid pehmel talvel ööpäevased õhutemperatuuride erinevused esinesid kogu talve jooksul.



Joonis 21. Pakri neeme varingu ulatus vana tuletorni vundamendi juures 2008. aastal

Järgmine suurem varing toimus Pakri poolsaarel analüüsides 2012–2014. aasta ortofotode põhjal joonistatud jooni. Varing ei olnud nii suur nagu 2008. aastal. Panga servast mitte väga kaugel vana tuletorni vundamendist alla varises suur klindiplokk (joonis 22)



Joonis 22. Pakri neeme varingu ulatus vana tuletorni vundamendi juures 2012-2014.a

2012. aasta oli keskmisest külmem aasta, 2013. ja 2014. aasta olid keskmiselt soojad aastad. 2012. aastal märtsi alguses Pakri piirkonda tekkis hõre jää ning jää kestvus oli ainult mõni päev. 2013. aastal märtsi lõpus tekkis Pakri neeme piirkonda tihe jää, ka selle jää kestvus ei olnud väga pikk, ainult mõni päev. 2014. aastal jää algliigid tekkisid Pakri poolsaare piirkonda ning jää kestvus oli mõni päev. Ei saa öelda, et 2012-2014. aastatel Pakri neem oli kaitstud talvel lainetuse eest.

2014. aasta oli kõige tuulevaiksem aasta ning kolmest aastast kõige tugevamad tuuled puhusid 2012. aastal. Kõik kolm aastat olid pikaajalisest keskmisest vaiksemad. 2013. aastal talvekuudel puhusid kõige tugevamad tuuled. Võrreldes 2007. ja 2008. aastatega on aastatel 2012.-2014. tuuled puhusid sarnaselt ehk üle 15 m/s tuuled puhusid läänest ja edelast, vaiksemad tuuled lõunast, idast ja põhjast. 2013. aastal detsembri keskel 14 tunni jooksul puhus tuul kiirusega üle 12m/s ulatudes 21,8 m/s ning tuuled puhusid edelast ja läänest. Lääne- ja edelatuultega tõuseb ka meretase ning lainetus ulatub kõrgemate pankranniku kihtideni. Idatuultega meretase langeb ning idatuultega tormid ei ole pankranniku jaoks ohtlikud.

Kõige sademete rohke oli 2014. aasta, kui sademeid esines kaks korda rohkem keskmisest.

Mõned väiksemat varingut toimusid 2014-2016, 2016-2018 ja 2020-2022 aastatel (joonis 23).

Võrreldes 2014. aastat ja 2016. aastat siis uus varing toimus vana vundamendi läheduses ja vana tuletorni vundamendi all. Uued alla varisenud kivimid kaitsevad pankranniku jalamit veel mõned aastad kuni kõrge vesi ja tormilainetus ei vii neid kaugele merre. Aastatel 2015-2016. jääd ei ole tekkinud Pakri neeme piirkonnas, 2014. aastal tekkisid neeme piirkonda jää algliigid ning jää kestvus oli mõni päev. 2015. aasta oli kõige tuulisem aasta ning kõige tuulisem kuu oli detsember. Detsembrikuus puhusid tuuled läänest ja edelast üle 10 m/s ligi kolm päeva ning maksimaalsed keskmised tuulepuhangud olid ligi 17 m/s. Pakri neeme loode piirkond on eriti tundlik lääne ja edela tuulele ja lainetusele.

Kõige soojem õhutemperatuur oli 2015. aastal ning aasta oli keskmisest soojem, 2014. ja 2016. aasta oli keskmisega võrdsed. Kevadised ning soojema talve ööpäeva temperatuuri erinevused võivad olla uute varingute põhjuseks.

2017. aastal oli sademeid keskmisest rohkem. 2018. aasta märtsi lõpus tekkis hõre jää Pakri neeme piirkonnas. 2017. aastal jääd ei tekkinud. 2018.aasta oli tuulevaiksem kui 2016. aasta ja 2017. aasta. Tuulevaikne ja jahe aasta soodustab ka jää tekkimist. 2017.aasta oli keskmisest külmem aasta, 2018. aasta keskmises soojem.

Jää algliigid tekkisid Soome lahes Pakri neeme piirkonnas veebruarikuus 2021. aastal, 2020. aastal ei olnud tehtud ühtegi jääkaarti. 2022. aastal jääd ei tekkinud ning veetemperatuur oli keskmisest soojem. Kolmest aastast kõige soojem õhutemperatuur oli 2020. aastal ning kõige külmem õhutemperatuur 2021. aasta.

2020. aasta oli kõige tuulisem ehk aasta keskmine tuule maksimum oli 9,08 m/s, pikaajaline keskmine on 8,49 m/s, ning see oli üheksateistkümnne aasta rekord, kui aasta keskmine tuule maksimum oli nii tugeva tuulega. Kõige tuulevaiksem aasta oli 2022, kui aasta keskmine oli 8,36 m/s.



Joonis 23. Pakri neeme varingu ulatus vana tuletorni vundamendi juures 2014-2016.a., 2016-2018. a., 2020-2022. a.

Kõige rohkem varinguid aastatel 2002-2022 on toimunud vana tuletorni vundamendi läheduses (joonis 24). Erinevatel aastatel varingu ulatus oli väga erinev mõnel kümne ruutmeetrilt kuni üle tuhande tuurmeetrini (tabel 5). See on kõige tundlikum ala kogu pankranniku ulatuses. Uute varingute tõenäosus on väga suur ja varing võib toimuda juba varsti kuna on näha, et mitmes kohas paeklindis lõhed on päris suured ning mõned kivimid on juba eraldunud panga seinast. Eraldunuid kivimeid on hästi näha ka ortofotodel. Tormilainetus ja pehmemate kivimite kiire erosioon on muutnud pankranniku kõige varinguterohkemaks alaks Eestis. Millal juhtub uus varing ja kui suurelt on raske ennustada.

Tabel 5. Erinevate aastate varingute ulatus, autori koostatud (Allikas: ArcGIS Pro)

Aasta	Varingu ulatus, m ²
2007-2008	1047
2012-2014	212
2014-2016	36
2016-2018	114+61
2020-2022	38+11



Joonis 24. Pakri neeme varingu ulatus vana tuletorni vundamendi juures 2005-2022.a

3.2 Järeldused

Pakri pankranniku taandumist ning varingute ulatust ja aega ei ole võimalik ennustada. Klindias tang on geoloogiliselt läbitud lõhesüsteemidega, avatud tuultele ja lainetusele ning ka inimtegevus on jätnud oma jälje pankranniku arengusse.

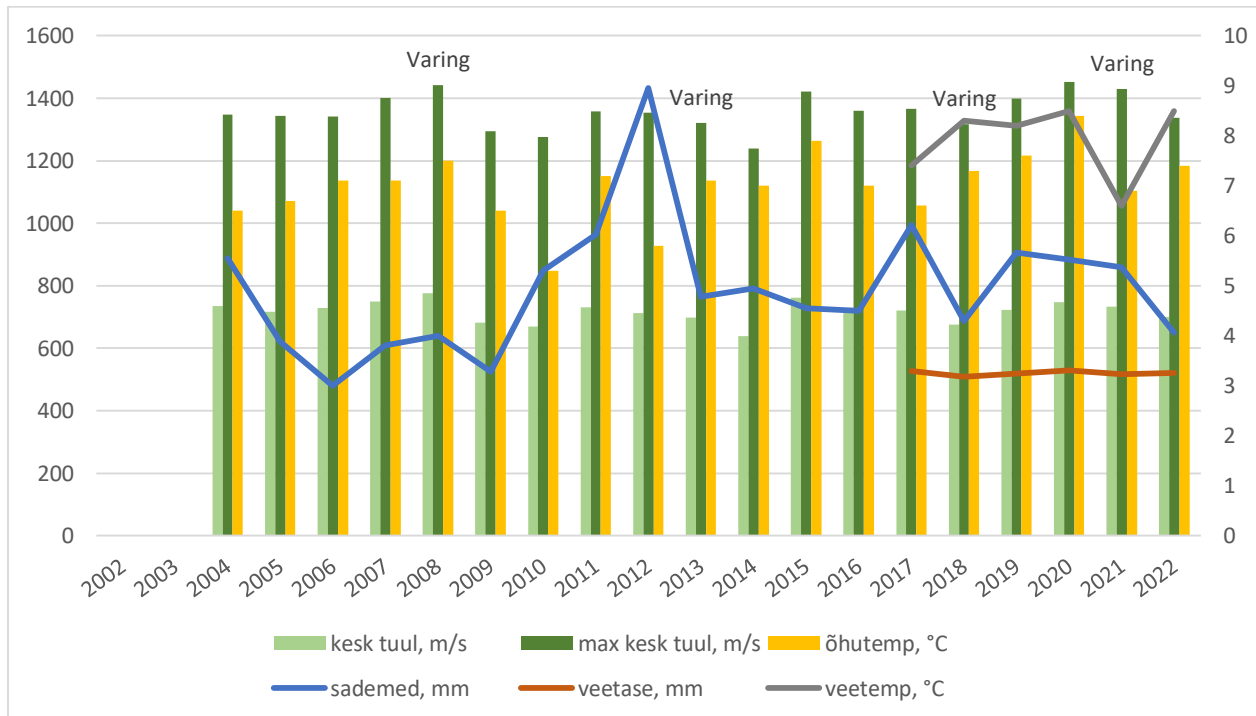
Geoloogilist protsessi ei ole võimalik ei muuta ega peatada. Pankranniku moodustamise areng on väga pikaajaline protsess, mis kestis miljoneid aastaid. Geoloogilises mõttes klindias tang aitab aru saada varasemalt toimuvast kuna igal kihil on oma ajalugu.

Mererannik on väga tähtis mere ääres olevate riikide jaoks. Meri ja veekogu on looduslik tee ning toidu allikas. Mererannik on väga tundlik ala. Halvad või väga tormilised ilmatingimused võivad muuta mereäärset ala nii, et seda ei saa enam kasutada. Kõrge vesi ja lainetus kas toovad kaasa setteid või vastupidi viivad ära osa ranniku materjalist. Jäävaba meri, pehmed talved, tugevad

tuuled ja väga suur hulk sademeid kiirendavad pankranniku taandumist ning uusi varinguid (Lisa 9), (joonis 25).

Pankranniku taandumist ei saa vaadata ühe aasta jooksul. Varingud toimuvad erinevate tingimuste koosmõjul pikema perioodi jooksul. Need tingimused võivad olla väga erinevad, nagu kõrge õhutemperatuur ja suure sademete hulka koosmõju. Suur hulk vihasademeid uuristab klindi lõhesid laiemaks ja sügavamaks. Lumi ja sademed niisutavad sinisavikihte muutes neid pehmemateks ning libisevateks kiirendades nende erosiooni.

Tugevad keskmised ja maksimaalsed keskmised tuuled SW, W ja NW suundades põhjustavad ajutise veetõusu ja lainetust uuristades murrutuskoopaid klindi jalamisse ning lainetus võib ulatuda ka pankranniku kõrgemate kihtideni. Tormid esinevad tavaliselt sügisel ja talvisel ajal ning talvise tormi ajal jäävaba meri tõttu ei ole klindiastangul kaitset lainetus eest. MSI poolt modelleeritud mudel tõestas, et W ja NW tuulte korral maksimaalne lainetus just Pakri neeme piirkonnas. Üle 20 m/s maksimum tuulte esinemise sagedus vähemalt kaheksa tunni jooksul päevas põhjustab kõrget lainetus panga piirkonnas. Nii tugevate tuulte esinemise sagedus vähemalt kaheksa tunni jooksul päevas esineb mitu korda aastas, tavaliselt sügis- ja talvekuudel (Lisa 10).



Joonis 25. Üldine graafik olulistest hüdrometeoroloogilistest andmetest Pakri poolsaarel aastatel 2002-2022

Pankranniku jalamil olevaid varisenud kivimeid meri vaikselt purustab ja viib minema vabastades klindi jalamit. Peale igat tormi olukord muutub pankranniku ümbruses. Vana tuletorni vundament

ja ka vaatamisplatvorm on täna juba pankranniku servas ning erosioon viib minema vundamentide alt pinnast.

Liivarand võib muutuda peale igat tormi, seal toimuvad kas liiva kuhjumine või liiva ära viimine. Kõrgel pankrannikul erosioon toimub aeglasemalt ehk läheb aastaid kui juhtub suur varing.

Kokkuvõte

Käesolevas töös autor uuris kuidas on muutunud Pakri pankranniku rannajoon. Esimeses peatükis käsitleti rannikuala tähtsust inimeste jaoks ja rannikuala pikaajaliste muutuste monitoorimise võimalustest. Teises peatükis kirjeldatud ja analüüsitud hüdrometeoroloogilised andmed ning saadud tulemused visualiseeritud diagrammide abil. Kolmandas peatükis tulemuste kirjeldamine.

Analüüsis selgus, et tõese andmerea abil on võimalik saada head tulemused pikaajalise muutuste monitoorimiseks. Head tulemused on aluseks tõelise olukorra peegeldamiseks. Analüüs näitas, et viimase 20-ne aasta jooksul talved muutusid pehmemateks ning merejää tekkib väga harva ja ainult mõneks päevaks. Õhutemperatuurid on tõusnud ning lääne ja edela tormid sagenenud. Mereveetase tõus kompenseeritud maakerkega.

Pakri neem on meretuultele avatud kolmest suunast, mis teeb pankrannikut tormilainetusele paremini kättesaadavamaks. Pakri neeme erinevad kivimid taanduvad erinevalt, pehmemad kivid taanduvad paari aastaga ning ülemised paekivimid jäävad ootama oma aega kuni ükskord varisevad suurte jõududega. Paekihtide varingud sõltuvad looduslikust lõhelisusest, kui siin aitavad sademed ja ööpäevased õhutemperatuuri kõikumised. Pehmed talved ja keskmisest soojemad keskmised aastased õhutemperatuurid tõestavad, et Eesti kliimatingimused ei ole enam endised. Analüüsis selgus, et suuremad varingud toimuvad iga 5-7 aasta tagant. Tuulte analüüs näitas, et tuule tugevamad keskmised kiirused esinevad samuti 5-7 aasta tagant ning seos tormide ja varingute vahel on tõenäoline.

Kõige rohkem varinguid on toimunud vana tuletorni vundamendi läheduses ning pankranniku serv jõudis juba tuletorni varemete vundamendi alla. MSI poolt rekonstrueeritud tormilainetuse mudel näitas, et lainetuse maksimum lääne- ja loodetuulte korral on Pakri neeme läheduses.

ArcGIS tarkvaraga on võimalik saada head informatsiooni varingute asukohtade kaardistamise jaoks. Sellised kaardistamised on väga olulised, et omada õigeaegset informatsiooni muutuste kohta. Pakri neem on atraktiivne vaatamisväärsus ja aktiivse puhkuse koht. Panga serva lähedal asuvad erinevad infrastruktuurid ning õigeaegne informatsioon on väga oluline õnnetuste vältimiseks.

Varasemate aastate ortofotode kvaliteet ei ole kõige parem, kuid aastatega ortofotode resolutsioon ja pildi kvaliteet on läinud väga heaks. Tehnoloogia arenedes saab teha detailseimad ja

kvaliteetsemaid uuringuid. GeoTIFF andmetega varustatud ortofotod oluliselt lihtsustavad tööd ArcGISis, kuna ei pea eraldi paigutama ortofotod oma kohale vaid antud protsess toimub automaatselt.

Pakri pankrannikut kindlasti tuleb uurida edasi, teostada erinevaid moodsusi ning jätkata andmete kogumist.

Summary

Long-term changes of Pakri cliff and their causes

Lidia Mõsovski

The author investigated how coastal area of Pakri cliff has changed. In the first chapter discussion goes about the importance of the coastal area for the humans and about the possibilities of the monitoring long-term changes in the coastal area. In the second chapter is described and analyzed hydrometeorological data and obtained results using visualized diagrams. In the third chapter results describing.

In the analytics was found, that with the true data row is possible to get good results for the monitoring long-term changes. Good results are the basics for reflecting the real situation. Analytics showed, that for the last 20 years winters became softer and sea ice forms very rarely. Air temperatures have grown and west and east storms increased. Sea level rise compensated by land cover.

Pakri cape is open from three sides, which makes cliff more accessible for the storms. Pakri cape`s different rocks fall of differently, softer rocks fall off faster, for the few years, the upper limestones wait till they can fall off with the great force. Collapses of earth layers also depend on natural fissures, where precipitation and air temperature fluctuations help. Analytics showed, that bigger collapses happen every 5-7 year. Wind analytics showed, that wind`s faster average speed are performing also every 5-7 year and the connection of the storms and collapses is probable.

The most collapses have occurred near the foundation of the old lighthouse and the edge of the cliff has already come under foundation. The storm surge model reconstructed by MSI showed that the maximum surge in westerly winds is near Pakri cape.

With the ArcGIS software it is possible to get good information for mapping the location of the collapses. Such mappings are really important to have perfect timed information about changes. Pakri cape is an attractive place and an active place of recreation. Near the edge of the cliff are located various infrastructures and well-timed information is important to avoid an accident.

Earlier ortophotos quality is not the best but with years ortophotos became better quality and resolution. As technology advances we can make more detailed studies with the better quality. GeoTIFF data orthophotod make working with ArcGIS easier, you don't need to pin orthophotos to their places, photos go there automatically.

We need to explore Pakri cliff more in the future to find out different formations amd collect data.

Viidatud allikad

About Esri. ESRI. <https://www.esri.com/en-us/about/about-esri/overview>, (21.02.2023)

Aerial Photography vs Orthophotography: What's the Difference? GISGeography. <https://gisgeography.com/aerial-photography-vs-orthophotography/>, (16.03.2023)

Alenius, P., Myrberg, K., Nekrasov, A., 1998. The physical oceanography of the Gulf of Finland: a review. Boreal Environment Resaearch. 3, lk 97–125

ArcGIS Pro. AlphaGis. <https://www.gisbaltic.eu/et-ee/product/arcgis-pro/overview#liSwitcher>, (20.02.2023)

Basics of Photogrammetry. (2017). Geodetic Systems. <https://www.geodetic.com/basics-of-photogrammetry/>, (12.03.2023)

Eesti kliima. Eesti Entsüklopeedia. http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_kliima (9.02.2023)

Eesti rannajoon. (2011). Eesti entsüklopeedia: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_rannajoon, (06.02.2023)

Einasto, R. (2008). Miks Pakri pank variseb? - Eesti Loodus, 2008/4

IALA HERITAGE LIGHTHOUSES. (2023). IALA. <https://heritage.iala-aism.org/lighthouses/>, (16.02.2023)

Jääkaart. Keskkonnaagentuur. <https://www.ilmateenistus.ee/meri/jaakaart/#zoomableStaticMap/>, (13.02.2023)

Kasepõld, K. (10. juuni 2015). Paldiski pankranniku 3D mudeli rekonstrueerimine. <https://digikogu.taltech.ee/et/item/8428a09b-0252-4cdf-97f0-420aa88554bb>

Keskkonnaagentuuri uudse jääkaardi abil on võimalik jälgida kogu Eesti jääinfo. Keskkonnaagentuur. <https://keskkonnaagentuur.ee/uudised/keskkonnaagentuuri-uudse-jaakaardi-abil-voimalik-jalgida-kogu-eesti-jaainfot>, (13.02.2023)

Kliimamuutuste olemus. Keskkonnaministeerium. <https://envir.ee/kliima/kliimamuutused#proгноos>, (13.02.2023)

Luhamaa, A., Kallis, A., Mändla, K., Männik, A., Pedusaar, T., Rosin, K. (2015). Eesti tuleviku kliimastenaariumid aastani 2100. Keskkonnaagentuur, lk 12-13

Läänemeri. Mereviki. <https://mereviki.vta.ee/mediawiki/index.php/L%C3%A4%C3%A4nemeri>, (13.02.2023)

- Lõppenud talv möödus korraliku jääkihiga. (16.04.2021). Keskkonnaagentuur.
<https://www.ilmateenistus.ee/2021/04/loppenud-talv-moodus-korraliku-jaakihiga/?fbclid=IwAR1WLjASlkmzdKQmOYRDpYd5vNm9rXEQ9Y4tjwBPue7mWL8cqJIM9SyX42w>, (2.03.2023)
- Mardiste, H., Vahter, R. (2008). Vähima jääkattega talv Läänemerele. Eesti loodus, 2008/12
- Metsoja, K. (2018). Fotokaamerate ja tarkvarade võrdlus lähifotogramm-meetriliste 3D mudelite loomisel. Eesti Maaülikool. <https://dspace.emu.ee/bitstream/handle/10492/4177>
- Mõsoovski, L. (9. juuni 2020). Pakri pankranniku 3D mudeli rekonstrueerimine kasutades ODM tarkvara. <https://digikogu.taltech.ee/en/Item/fed7c145-ce07-4d30-844e-e60b2e948c9e>
- Orthophoto Generation. (2018). TriCAD Design Consultants (P) LTD.
<https://tricadinfo.com/services/orthophoto-generation/>, (20.03.2023)
- Ortofoto tootmislugu. (18.11.2019). Maa-amet.
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Ortofotod/Tootmislugu-p189.html>
- Ortofoto. Maa-amet. https://geoportaal.maaamet.ee/index.php?lang_id=1&page_id=610,
 (16.02.2023)
- Orviku R. (2018). Rannad ja rannikud. Tallinn: Tallinna Ülikooli Kirjastus, lk 7-14/162/98/81
- Orviku, R. (2003). Tormid lõhuvad Eestimaa liivarandu. Eesti loodus, 2003/12
- Orviku, K., Tõnisson, H., Kont, A., Suuroja, S., Anderson, A. (2013). Retreat rate of cliffs and scarps with different geological properties in various locations along the Estonian coast. Journal of Coastal Research, SI 65, lk 552-557.
- Pakri meteoroloogiajaam. Keskkonnaagentuur.
<https://www.ilmateenistus.ee/meist/vaatlusvork/pakri-meteoroloogiajaam/>, (13.02.2023)
- Pakri poolsaare tipus varises merre suur klinditükk. www.ERR.ee.
<https://www.err.ee/1608189088/pakri-poolsaare-tipus-varises-merre-suur-klinditukk>,
 (07.02.2023)
- Paldiski linn. MTÜ Paldiski 360. http://paldiski360.ee/?page_id=2651, (16.02.2023)
- Paldiski Lõunasadamasse lainemurdja rajamise keskkonnamõju hindamine. KMH aruanne. OÜ E-Konsult töö nr E1123, 2007
- Paldiski rannikujaam. Keskkonnaagentuur.
<https://www.ilmateenistus.ee/meist/vaatlusvork/paldiski-rannikujaam/>, (13.02.2023)

- Põhja-Eesti klint osana Balti klindist. (2008). Põhja-Eesti Klint - Eesti looduse sümbol. Looduskalender.
- Pirrus, E. (2007). Karts Eestis. MTÜ GEOGuide Baltoscandia.
- Reimann, M., Ehrlich, Ü., Tõnisson, H. (2014). Regional differences in recreational preferences of Estonian coastal landscapes. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 70, pp. 420-425
- Saadre, T. (2004). Pakri pank on varinguohtlik.- Loodusesõber, 1/2004. Tallinn: MTÜ Loodusajakiri.
- Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry. The Ohio State University, Columbus
- Soesoo, A., Miidel, A. (2006). Põhja-Eesti klint. Põhja-Eesti klint. MTÜ GEOGuide Baltoscandia, Tallinn, lk 18
- Soomere, T. (2007). Vesi meres kerkib ja vajub. Eesti loodus, 2007/8
- Suurna, R., Sisas, E. (2010). GIS JA KARTOGRAAFIA ALUSED. http://www.ekk.edu.ee/vvfiles/0/GIS_loeng.pdf, lk 62-63
- Suuroja, K. (2005). Põhja-Eesti klint. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda, lk 31-32/38-39/98-99
- Suuroja, K. (2008). Balti klint – loodus ja ajalugu. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda, lk 73/102-103/186
- Tuletornid. (2022). Transpordiamet. <https://transpordiamet.ee/tuletornid>, (08.02.2023)
- Upadhyay, N. (2014). Basic of Photogrammetry. GIS Resources. http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry_2/, (13.03.2023)
- Vaatlusvõrk. Keskkonnaagentuur. <https://www.ilmateenistus.ee/meist/vaatlusvork/>, (17.02.2023)
- What is GIS? Esri. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, (21.02.2023)
- 9496 Pakri tuletorn, 1889.a. (2004). Kultuurimälestiste register. <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=9496>, (16.02.2023)

Lisa 1. Aastate 2004-2022 keskmiste tuulesuundade esinemise sagedus, %

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Põhi	8	9	7	8	10	12	7	5	6	9	6	6	9	7	7	9	6	9	7
Kirre	10	9	8	9	9	12	11	8	7	10	8	5	9	7	13	8	8	10	8
Ida	10	9	13	11	11	13	16	10	10	12	13	7	11	10	13	10	8	12	9
Kagu	12	11	14	12	10	15	15	9	18	9	15	9	11	10	16	17	15	13	15
Lõuna	25	28	21	25	24	18	23	27	25	22	28	27	22	26	21	19	23	20	24
Edel	15	15	16	15	18	14	13	20	16	18	15	22	17	18	14	18	19	15	19
Lääs	14	11	14	12	13	10	11	14	11	15	10	17	15	16	11	12	13	12	12
Loe	7	8	7	8	6	6	5	6	6	6	5	6	6	7	6	7	7	8	6

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 2. Aastate 2004-2022 keskmised tuule kiirused, m/s

kuu	2004-2022	Jaanuvar	Veebruar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Oktoober	November	Detsember
2004	4,59	4,70	5,05	4,53	3,97	4,45	4,21	3,80	3,80	5,20	4,36	5,54	5,58
2005	4,48	5,88	4,92	4,75	3,89	3,78	3,93	3,07	4,34	4,64	4,64	4,71	5,28
2006	4,56	5,07	3,62	4,56	3,89	3,74	3,87	4,10	3,42	5,09	4,93	5,55	6,79
2007	4,69	6,18	3,93	4,40	5,88	3,98	3,90	4,39	3,92	4,58	4,62	5,26	5,22
2008	4,85	5,74	6,52	5,28	3,70	3,91	4,98	3,36	4,65	4,34	5,48	5,73	4,66
2009	4,26	5,42	3,88	3,75	4,04	3,68	4,02	3,31	3,79	5,18	5,84	4,07	4,16
2010	4,19	2,98	4,20	4,24	2,48	4,17	3,97	3,45	3,58	4,46	4,78	6,38	5,62
2011	4,57	4,22	4,52	6,13	3,75	4,19	3,84	3,38	3,37	5,10	5,35	5,27	5,68
2012	4,45	4,41	4,47	5,46	4,59	3,92	4,01	3,94	3,77	5,20	4,05	5,61	3,97
2013	4,37	4,71	3,53	4,68	4,06	3,49	3,28	4,28	3,47	4,07	5,17	5,35	6,16
2014	3,99	3,85	3,52	4,94	4,00	3,81	3,90	3,02	3,65	3,88	4,27	3,70	5,30
2015	4,76	5,66	4,80	4,81	5,51	4,05	4,67	4,21	3,49	3,71	4,19	4,90	7,07
2016	4,48	4,65	4,45	3,67	3,81	2,96	4,02	4,38	4,24	4,31	5,83	5,16	6,25
2017	4,50	4,99	4,81	4,90	4,79	3,65	4,92	4,02	4,13	3,87	4,78	4,52	4,71
2018	4,22	4,33	4,27	4,77	4,30	3,34	4,23	3,49	3,60	5,47	4,66	3,99	4,19
2019	4,52	4,19	5,82	5,19	3,63	3,79	4,05	4,08	3,46	4,47	4,99	4,26	5,68
2020	4,67	6,35	6,22	4,99	5,64	4,14	3,45	4,05	3,24	4,99	3,96	5,45	3,70
2021	4,58	4,19	5,15	5,38	4,67	3,91	3,10	3,78	4,47	4,73	4,97	5,43	5,22
2022	4,38	6,14	4,90	4,43	4,64	4,72	3,62	4,04	3,57	3,49	4,98	3,92	4,14
Keskmine	4,48	4,93	4,66	4,78	4,28	3,88	4,00	3,80	3,79	4,57	4,83	4,99	5,23

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 3. Aastate 2004-2022. keskmised tunni maksimum tuule kiirused, m/s

Keskmine kogusumma Tunni maksimum tuule kiirus m/s	Veerusildid												Üldkokkuvõte
Reasildid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Üldkokkuvõte
2004	8,61	9,18	7,64	6,66	7,77	7,23	7,14	7,08	9,98	8,41	10,77	10,56	8,41
2005	10,81	9,42	8,14	6,87	6,66	7,11	5,73	8,45	8,87	9,06	9,64	10,15	8,40
2006	9,44	7,00	8,27	7,34	6,83	6,92	7,51	6,18	8,98	9,54	10,24	12,27	8,39
2007	11,64	7,84	7,72	9,89	7,08	6,88	7,85	7,67	9,11	8,76	10,35	10,28	8,76
2008	11,30	11,29	9,77	6,61	6,81	8,54	6,36	8,75	8,09	10,58	10,93	9,11	9,01
2009	10,10	7,62	7,24	7,28	6,82	7,37	6,36	7,39	9,79	10,65	8,26	8,12	8,09
2010	5,94	7,98	7,66	6,21	7,25	7,11	6,57	6,77	8,45	9,88	11,46	10,39	7,97
2011	7,77	8,00	10,71	6,65	7,50	7,15	6,44	6,66	9,74	10,14	9,78	11,29	8,49
2012	8,76	8,53	9,19	8,41	7,15	7,32	7,51	7,25	10,00	8,34	10,57	8,56	8,46
2013	9,25	6,55	8,64	7,65	6,38	6,29	8,12	6,60	7,81	9,76	10,29	11,58	8,26
2014	7,82	7,45	9,08	7,18	6,97	7,04	5,74	7,81	7,24	8,74	7,52	10,20	7,74
2015	10,83	9,24	9,01	9,04	7,53	8,51	8,02	6,61	7,33	8,07	9,88	12,68	8,89
2016	9,13	8,83	7,07	7,42	5,45	7,43	7,92	8,42	8,02	10,77	10,22	11,30	8,50
2017	9,47	8,80	9,05	8,67	6,36	8,60	7,29	8,18	7,53	9,26	9,33	9,99	8,54
2018	8,83	8,07	8,72	7,70	6,10	7,96	6,51	7,38	10,51	9,53	8,65	8,82	8,23
2019	9,73	11,00	9,91	6,81	7,07	7,62	7,45	6,74	9,15	9,67	9,02	10,90	8,74
2020	11,57	11,93	9,55	10,15	7,68	6,54	7,78	6,26	9,88	8,56	10,75	8,46	9,08
2021	8,71	9,35	10,00	8,90	7,39	6,02	7,52	8,93	9,34	10,24	10,53	10,22	8,93
2022	11,26	9,65	7,88	8,27	8,27	6,67	7,98	7,21	6,94	9,52	8,15	8,59	8,36
Üldkokkuvõte	9,53	8,84	8,70	7,78	7,00	7,28	7,15	7,39	8,78	9,45	9,81	10,18	8,49

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 4. Aastate 2004-2022 keskmised sademete summad, mm

Aasta	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Kuu keskmised
jaanuar		89						96	101	65	63	89	92	34	43	70	73	66	74	73
veebruar	30							32	98	64	26	39	91	48	50	61	134	28	76	60
märts	41	6						33	58	28	38	29	11	59	34	80	63	39	3	37
aprill	26	13	25	41	55	1	67	21	114	44	18	62	62	77	57	7	46	21	40	42
mai	40	36	55	88	0	32	88	48	65	39	65	38	18	16	22	80	37	65	60	47
juuni	103	30	25	38	25	123	75	71	117	52	149	76	90	92	53	27	54	35	62	68
juuli	231	67	3	79	49	97	91	140	165	22	35	130	59	28	11	60	125	112	69	83
august	81	174	73	46	192	66	119	73	136	151	170	45	67	167	83	71	81	172	13	104
september	106	25	66	189	124	67	93	149	194	19	44	52	59	69	168	110	49	28	41	87
oktoober	114	65	153	79	124	138	52	94	174	61	37	15	29	176	81	197	93	112	56	97
november	68	91	80	50	71		160	48	99	129	58	89	108	119	46	47	92	103	51	84
detsember	48	27					103	159	111	90	88	67	33	109	41	96	37	78	105	79
Kokku	888	622	480	610	640	525	848	964	1432	764	791	729	720	995	688	906	884	860	650	

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 5. Aastate 2017-2022 keskmine merevee temperatuur, °C

Keskmine kogusumma Water Temperature [°C]	Veerusildid						
Reasildid	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Üldkokkuvõte
jaan	0,6	2,1	1,0	1,5	1,8	0,5	1,3
veebr	0,3	1,0	0,8	1,5	-0,6	0,4	0,6
märts	1,3	0,4	1,2	2,0	-0,2	1,4	1,0
apr	3,7	3,3	3,8	4,4	2,7	3,1	3,5
mai	7,2	8,7	6,8	8,0	7,3	8,2	7,7
juuni	13,6	14,9	15,0	11,1	15,2	15,3	14,2
juuli	14,0	12,0	16,1	17,3	16,2	19,6	15,9
aug	17,2	18,4	16,2	18,9	12,1	19,7	17,1
sept	11,7	16,2	16,3	14,4	6,3	12,5	13,2
okt	9,9	11,1	11,0	11,2	9,4	10,5	10,6
nov	5,8	7,6	6,8	7,2	6,5	7,7	6,9
dets	3,5	3,6	3,0	3,8	2,8	2,8	3,2
Üldkokkuvõte	7,4	8,3	8,2	8,5	6,6	8,5	7,9

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 6. Aastate 2004-2022 keskmised õhutemperatuurid, °C

Keskmine kogusummast Õhutemperatuur °C	Veerusildid																				
Reasildid	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Üldkokkuvõte	
jaanuar	-5,0	0,1	-2,8	0,4	-0,1	-0,8	-9,3	-2,7	-3,4	-2,9	-5,5	-0,2	-6,0	-1,2	-1,0	-2,9	3,5	-1,9	-0,7	-2,2	
Veebruar	-2,8	-3,9	-6,2	-6,6	1,6	-3,3	-6,5	-8,4	-6,7	-1,7	0,3	0,6	0,9	-1,7	-5,5	0,5	2,2	-4,2	0,2	-2,7	
Märts	-0,1	-4,4	-3,9	2,6	1,2	-0,2	-1,4	-0,7	0,4	-4,3	2,0	2,6	0,9	0,9	-2,2	0,9	2,6	0,4	1,2	-0,1	
Aprill	4,2	3,5	4,1	4,2	5,1	4,6	4,0	4,0	3,9	2,9	4,9	4,3	4,8	2,8	4,4	5,6	4,5	3,7	3,0	4,1	
Mai	9,0	8,8	9,2	9,7	9,2	9,7	8,6	8,8	10,0	9,2	9,7	9,1	11,5	7,9	12,7	8,8	8,1	9,1	8,3	9,3	
Juuni	12,3	13,7	14,8	13,7	13,7	12,4	12,8	15,6	12,0	15,5	12,1	13,0	14,3	12,8	14,2	16,3	14,7	17,7	15,8	14,1	
Juuli	16,4	18,5	18,9	16,4	16,9	16,4	21,0	19,1	17,3	17,6	18,2	16,1	17,6	15,3	18,4	16,4	16,5	20,3	18,1	17,7	
August	17,5	16,9	16,6	17,9	15,6	17,0	17,6	17,4	16,0	17,5	18,2	17,6	16,7	16,8	18,6	16,9	17,5	15,9	20,1	17,3	
September	13,4	14,2	14,8	12,8	11,1	14,6	12,3	14,5	13,1	13,1	13,6	13,9	14,2	12,2	14,8	13,4	14,4	10,9	11,3	13,3	
Oktoober	7,6	8,9	9,7	8,0	9,6	6,2	6,3	9,2	7,4	8,5	7,2	7,6	5,8	6,9	8,5	7,8	9,7	9,1	9,6	8,1	
November	2,5	4,7	4,0	2,0	4,1	3,4	2,0	6,2	4,2	5,5	2,5	5,7	1,0	4,0	4,4	3,6	6,2	4,0	3,2	3,8	
Detsember	2,1	-0,8	5,1	2,9	1,3	-2,9	-5,0	2,8	-5,5	3,1	0,9	3,9	1,7	2,1	-0,7	3,1	0,8	-2,8	-1,8	0,5	
Üldkokkuvõte	6,5	6,7	7,1	7,1	7,5	6,5	5,3	7,2	5,8	7,1	7,0	7,9	7,0	6,6	7,3	7,6	8,4	6,9	7,4	7,0	

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 7. 2017-2022. aastate keskmine veetase, cm







Keskmine kogusummast H [cm]	Veerusildid						
Reasildid	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Üldkokkuvõte
jaan	541	523	529	558	509	544	534
veebr	502	500	521	566	495	568	525
märts	517	480	536	536	518	516	517
apr	527	491	492	525	528	516	513
mai	502	490	509	525	514	514	509
juuni	531	504	508	504	510	523	513
juuli	528	504	523	536	508	532	522
aug	528	522	513	519	528	514	521
sept	513	534	540	527	507	498	520
okt	527	539	535	508	533	529	529
nov	547	502	500	538	542	515	524
dets	559	508	533	511	519	502	522
Üldkokkuvõte	527	508	520	529	518	522	521

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 8. Põhja-Eesti klindi geoloogiline seletus

LEGEND

LADESTU System	LADESTIK Series	LADE Stage	LITOSTRATIGRAAFI- LINE ÜKSUS Lithostratigraphical unit	INDEKS Index	KIVIMI KIRJELDUS Rock description	
KVATERNAAR QUATERNARY				Q	Kvaternaari setted (amult läbõlõgetel 0-100 m) Quaternary deposits (only on cross-sections 0-100 m)	
ORDOVITSIUM ORDOVICIAN	ÜLEM- UPPER	KEILA	KAHULA 2	O ₃ kh ₂	Savikas lubjakivi (12-15 m) Argillaceous limestone	
		HALJALA	KAHULA 1	O ₃ kh ₁	Savikas lubjakivi mergli vahekihtidega (10-12 m) Argillaceous limestone with interbeds of marl	
			TATRUSE-VASAVERE	O ₃ st-kh ₁ V	Savikas lubjakivi, K-bentoniit (1-3 m) Argillaceous limestone, K-bentonite	
	KESK- MIDDLE	KUKRUSE	VIIVIKONNA	O ₃ vv	Lubjakivi, kerogeenne lubjakivi (8-10 m) Limestone, kerogenic limestone	
		UHAKU	KÕRGEKALDA	O ₂ kr	Savikas lubjakivi, mergel (2-3 m) Argillaceous limestone, K-bentonite	
			LASNAMÄE	VÄO	O ₂ vä	Detritne lubjakivi, lubjakivi, dolokivi (7-9 m) Bioclastic limestone, limestone, dolostone
			ASERI	KANDLE, PAKRI, SILLAORU, LOOBU, TOILA	O ₁₋₂ tl-kn	Glaukonitlubjakivi, ooidlubjakivi, lubjakivi (3-4 m) Glauconite limestone, oolite limestone, limestone
	KUNDA					
	VOLHOLVI					
	ALAM- LOWER	BILLINGENI	HUNNEBERGI VARANGU	VARANGU, LEETSE	O ₁ vr-lt	Glaukonitliivakivi (4 m) Glauconite sandstone
PAKERORDI						
BILLINGENI						
HUNNEBERGI VARANGU		TÜRISALU	O ₁ tr	Diktioneemakilt (4-5 m) Dictyonema shale		
KAMBRIMUM CAMBRIAN	FURONG FURONGLIAN	PAKERORDI	ÜLGASE, TSITRE, KALLAVERE	Ca ₃ ül- O ₁ kl	Biodetrüiti sisaldav oobolusliivakivi (3-5 m) Bioclastic quartzose sandstone	
	ALAM- LOWER	DOMINOPOLI	TISKRE	Ca ₁ ts	Kvartshivakivi (18-22 m) Quartzose sandstone	
			LÜKATI	Ca ₁ lk	Aleuriitne savi liivakivi vahekihtidega (10-14 m) Silty claystone with interbeds of sandstone	
		LONTOVA	LONTOVA	Ca ₁ ln	Sinisavi (65-80 m) Blue clay	
EDIACARA (VEND) EDACARAN (VENDIAN)	VALDAI	KOTLINI	KROODI KIHTKOND KROODI GROUP	V ₂ kr	Liivakivi (40-60 m) Sandstone	
MESOPROTEROSOIKUM MESOPROTEROZOIC			NAISSAARE MASSIIV	MP	Rabakivilaadne graniit (>250 m) Rapakivi-like granite	
PALEOPROTEROSOIKUM PALEOPROTEROZOIC			TALLINNA TSOON	PP	Moondekivimid: gneissid, amfiboliidid (>250 m) Metamorphic rocks: gneisses, amphibolites	
			LÄÄNE-EESTI TSOON			

-  Paljanduv astang aluspõhja kivimeis
Exposed escarpment in bedrock
-  Mattunud astang aluspõhja kivimeis
Buried escarpment in bedrock
-  Labilõikejoon ja tähised
Cross-section line and markers
-  Puurauk
Borehole
-  Litostratigraafilise üksuse stratotüübi asukoht
Stratotype of the lithostratigraphical unit
-  Lademe stratotüübi asukoht
Stratotype of the stage

Ca ₁	Alam-Kambriumi kivimite avamus merepõhjas Lower Cambrian outcrop on sea bottom
V ₂	Ediacara ladestu (Vendi kompleksi) avamus merepõhjas Ediacaran (Vendian) outcrop on sea bottom

Allikas: Maa-amet 2023

Lisa 9. Üldine tabel olulistest hüdro meteoroloogilistest andmetest Pakri poolsaarel aastatel 2002-2022

ortofoto aasta	aasta	kesk tuul, m/s	max kesk tuul, m/s	õhutemp, °C	sademed, mm	veetemp, °C	veetase, mm	
	2002							
	2003							
	2004	4,59	8,42	6,5	888			
21.05.2005	2005	4,48	8,4	6,7	622			
	2006	4,56	8,39	7,1	480			
04.08.2007	2007	4,69	8,76	7,1	610			
26.05.2008	2008	4,85	9,01	7,5	640			varing
03.05.2009	2009	4,26	8,09	6,5	525			
10.07.2010	2010	4,19	7,97	5,3	848			
	2011	4,57	8,49	7,2	964			
01.05.2012	2012	4,45	8,46	5,8	1432			
	2013	4,37	8,26	7,1	764			varing
09.07.2014	2014	3,99	7,74	7	791			
	2015	4,76	8,89	7,9	729			
21.04.2016	2016	4,48	8,5	7	720			
	2017	4,5	8,54	6,6	995	7,4	527	
29.05.2018	2018	4,22	8,23	7,3	688	8,3	508	varing
	2019	4,52	8,74	7,6	906	8,2	520	
25.04.2020	2020	4,67	9,08	8,4	884	8,5	529	
	2021	4,58	8,93	6,9	860	6,6	518	varing
15.06.2022	2022	4,38	8,36	7,4	650	8,5	521	

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lisa 10. Üle 20 m/s maksimum tuulte esinemise sagedus vähemalt kaheksa tunni jooksul päevas

Aasta	Kuu	Suund
2004	Veebruar November November	Kirre Lääs, Loe Kirre
2005	Jaanuar Jaanuar Oktoober November Detsember	Lääs Edel, Lääs, Loe Loe, Põhi Edel, Lääs Lääs, Loe
2006	September Oktoober November	Loe Lääs, Loe Põhi
2007	Jaanuar Jaanuar Oktoober	Edel Loe Kirre
2008	Jaanuar Veebruar Veebruar Veebruar November Detsember	Lääs Lääs Loe, Põhi Lääs Põhi Loe, Põhi
2009	Jaanuar Oktoober Oktoober	Edel Lääs, Loe Kirre
2010	September Oktoober November Detsember Detsember Detsember	Kirre Põhi, Loe Ida Põhi Ida Kirre
2011	Jaanuar Veebruar Märts September November Detsember	Loe Loe, Põhi Lääs, Loe Edel Edel, Loe Edel, Lääs
2012	Jaanuar November November	Põhi Lääs Ida

Tabeli jätk

2013	Jaanuar Oktoober November November Detsember Detsember	Ida, Kirre Põhi, Loe Lääs, Loe Lääs, Loe Põhi Lääs, Loe
2014	-	-
2015	Jaanuar Veebruar November Detsember Detsember	Lääs, Loe Põhi Lääs Edel, Lääs Edel, Loe
2016	Jaanuar September Oktoober Detsember	Edel Edel Kirre Põhi
2017	Jaanuar Märts Aprill Oktoober Detsember	Kirre Ida Kirre Põhi Loe
2018	Jaanuar September September Oktoober Detsember	Loe, Lääs Edel Edel, Lääs Kirre Lääs
2019	Jaanuar Veebruar Oktoober November	Põhi Loe Lääs, Edel Kirre
2020	Veebruar September September November	Edel Lääs Loe Edel, Lääs
2021	Oktoober November	Edel Lääs
2022	Jaanuar Jaanuar Märts Aprill Detsember	Lääs, Loe Põhi Loe, Põhi Lääs Kirre

Autori koostatud tabel. Allikas: Keskkonnaagentuur

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Lidia Mõsovski:

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Pakri pankranniku pikaajalised muutused ja nende põhjused/*Long-term changes of Pakri cliff and their causes*“, mille juhendaja on Inga Zaitseva-Pärnaste:

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

17.05.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti

