



**TURUN
YLIOPISTO**

Maankohoamisen ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset Seilin etelärannalla

Maximilion Koort

30.4.2026

Turku

Turun yliopiston laatuja järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Tornitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Luonnontieteiden kandidaatti, maantiede

Tekijä: Maximilion Koort

Otsikko: Maankohoamisen ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset Seilin etelärannalla

Ohjaaja: Yliopistonlehtori, maantieteen dosentti Joni Mäkinen

Sivumäärä: 35 sivua

Päivämäärä: 30.4.2026

Saaristot sisältävät sekä monipuolisimpia että uhanalaisimpia elinympäristöjä. Itämerellä tehdyt rannikotutkimukset painottuvat kaupunkeihin. Ne eroavat geomorfologialtaan, ekologiaaltaan ja ihmistoiminnaltaan merkittävästi muusta saaristosta, kuten Saaristomerestä. Saaristomerellä on monia luonnonsuojelualueita, sisältäen monimuotoisia ympäristöjä, perinnebiotooppeja ja uhanalaisia lajeja. Tutkimuskohteena on siellä sijaitseva Seilin eteläranta.

Rannikoiden geomorfologia ja ekologinen kehityskulku voivat muuttua paljon maankohoamisen, ilmastonmuutoksen sekä niistä seuraavien ilmiöiden vuoksi. Tutkimuksen tarkoitus on selvittää mitä muutoksia Seilin etelärannalla on tapahtunut 1943–2025 sekä luoda ennustus mahdollisista muutoksista vuoteen 2100 mennessä. Aineistona yhdistetään useita Turun yliopiston kenttäkurssiraportteja, joista saadaan kairaus-, ruovikoitumis- ja lajihavaintoja sekä ilmastonmuutokseen liittyviä ennusteita RCP-ilmastoskenaarioissa. Näitä tuetaan viitekehysten muilla tutkimuksilla ja raporteilla Itämeren vedenkorkeuteen, tulevaisuuteen ja suojeluun liittyen.

Rantaviivan ja pinta-alan tarkastelussa käytetään myös Ilmatieteen laitoksen vedenkorkeustilastoja sekä Maanmittauslaitoksen historiallisten ilmakuvien arkistoa ja korkeusmallia. Paikkatietoa analysoidaan visuaalisesti ja rantaviivat sekä pinta-alat mallinnetaan ja lasketaan ArcGIS Pro -paikkatieto-ohjelmistolla. Kairaukset ja muut kenttäraporttiaineistot analysoidaan valmiiden analyysien lisäksi visuaalisesti.

Tutkimus osoittaa, että pinta-alaa on tullut lisää yli 16 000 m² maankohoamisen ansiosta. Tämä on luonut pohjan ruovikoitumiselle ja kasvillisuuden primäärisuknessiolle, joka on todistettusti edennyt rannalla niittyvyöhykkeen ja puurajan muutoksien perusteella. Kairausaineistosta nähdään, että sekundääristä maankohoamista esiintyy kairauspisteissä 16–28 cm, myötäillen muun muassa etelärannan suojaisuusvyöhykkeitä. Tapahtuneeseen geomorfologiseen kehitykseen kuuluu kahden tombolon ja rantavallin muodostuminen. Tulevaisuudessa merenpinta tulee todennäköisesti nousemaan, jopa 54 cm:iin N2000-korkeusjärjestelmässä, jolloin lähes kaikki 1943–2025 saatu pinta-ala peittyisi. Tulevaisuuden tilanne on vahvasti ihmistoiminnasta riippuvainen.

Avainsanat: maankohoaminen, geomorfologia, rannikkoprosessit, sedimentaatio, ruovikoituminen, suknessio, ilmastonmuutos, Itämeri, Saaristomeri, Seili

1	Johdanto	4
2	Rannikoiden muutokseen vaikuttavat tekijät saaristoympäristössä	6
2.1	Geomorfologiset prosessit	6
2.2	Maankohoaminen ja rantaviiva	7
2.2.1	Isostaattinen maankohoaminen	7
2.2.2	Sekundäärinen maankohoaminen ja ruovikoituminen	8
2.3	Ilmastonmuutos	9
2.4	Itämeri	10
2.5	Saaristomeri ja Seili	11
3	Aineistot ja menetelmät	15
3.1	Aineistot	15
3.1.1	Ilmakuvat	15
3.1.2	Kenttäraportit ja ilmastoskenaariot	16
3.2	Paikkatietoanalyysit ja visuaalinen tulkinta	18
4	Tulokset	20
4.1	Sedimentaatio ja sekundäärinen maankohoaminen	20
4.2	Maa-alan ja kasvillisuuden muutokset	22
4.2.1	Vuodet 1943–2025	22
4.2.2	Vuosi 2100	24
4.3	Geomorfologiset muodostumat	26
5	Pohdinta	28
5.1	Sekundäärinen maankohoaminen ja kasvillisuus	28
5.2	Geomorfologia ja rantaviiva	29
5.3	Jatkotutkimukset	30
6	Johtopäätökset	32
	Lähteet	33

1 Johdanto

Saaristot ovat jatkuvan muutoksen alaisia ympäristöjä, sillä niihin vaikuttavat samanaikaisesti useat nopeasti muuttuvat tekijät, kuten sääilmiöt, rannikkoprosessit, vedenpinnan vaihtelut ja virtausolosuhteet. Merenpinnan vaihtelua ja erityisesti sen tulevaisuuden ennusteita on ajankohtaisuutensa ja siihen liittyvien riskien vuoksi tutkittu laajasti maankohoamisen ja ilmastonmuutoksen kannalta (Pellikka ym. 2023). Vedenpinnan muutokset yksinäänkin vaikuttavat suoraan rannikoihin eroosio- ja sedimentaatioprosessien kautta.

Nouseva merenpinta voi uhata sekä rakennettua ympäristöä että luonnon ekosysteemejä erityisesti matalilla rannikoilla. Aiemmat tutkimukset Itämerellä ovat painottuneet Helsinkiin ja muihin suuriin rannikkokaupunkeihin, joilla on muun muassa merkittävää infrastruktuuria ja näihin liittyviä tulvariskejä. Kaikki Suomen rannikkoalueet eivät kuitenkaan reagoi muutoksiin samalla kaavalla, sillä niiden geomorfologia ja joskus paikallinen ilmastokin voi erota suuresti. Saaristomeren vyöhyke reagoi herkästi vedenkorkeuden muutoksiin, koska alueelle tyypilliset matalat ranta-alueet korostavat pieniäkin merenpinnanvaihteluita.

Luonnonprosessien lisäksi ihmistoiminta muokkaa alueen kehitystä. Saaristomerellä tutkimukset, turismi ja laidunnus muokkaavat ympäristöä ja ekologisia prosesseja. Suomen Saaristomeri on luontonsa ja historiansa vuoksi ainutlaatuinen ja se kuuluu Suomen perinnemaisemaan (Mussaari 2021). Siellä esiintyy monipuolisesti erilaisia luontotyyppisiä, perinnebiotooppeja sekä uhanalaisia, harvinaisia tai muuten erityisiä lajeja. Elinympäristöjä on hävinnyt Suomessa paljon, sillä esimerkiksi perinnebiotooppeja on Suomessa jäljellä vain noin 1 % verrattuna 1800-lukuun, minkä takia jäljellä olevien alueiden suojelu on erittäin tärkeää nyt (Raatikainen 2018). Seili ja suuri osa Saaristomerestä on suojeltua, mikä korostaa alueen merkitystä ja roolia luonnon monimuotoisuuden turvaamisessa (Natura 2000 -verkosto s.a.).

Monipuolisen lajiston lisäksi Saaristomerellä asuu vakituisesti kymmeniä tuhansia ihmisiä ja kesäisin ihmismäärä moninkertaistuu. Pelkästään Seilissäkin käy vuosittain tuhansia turisteja ja siellä toteutetaan myös tutkimuksia Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitoksessa. Alueen tutkimus ja suojelu ovat tärkeitä niin luonnon,

kulttuuriperinnön kuin sen käyttäjien näkökulmasta. Rannikot ovat tärkeitä elinympäristöjä myös globaalisti.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on analysoida rannan monimutkaista dynamiikkaa, mukaan lukien siihen liittyviä geomorfologisia prosesseja ja niistä seuraavia samanaikaisia ekologisia muutoksia, joita maankohoaminen aiheuttaa. Tutkimuksessa tarkastellaan näitä prosesseja ottaen huomioon ilmastonmuutoksen vaikutukset sekä Seilin etelärannan paikalliset erityispiirteet. Aineisto koostuu kenttäraporteista, ilmakuviista, kairauksista ja ilmastonmuutosskenaarioista, joiden avulla arvioidaan muun muassa maankohoamisen määrää sekä rantaviivan ja rantamuodostumien muutoksia. Tutkimuskysymyksiin vastataan hyödyntämällä toisiaan tukevia analyysimenetelmiä.

1. Mitä muutoksia Seilin etelärannalla on tapahtunut 1943–2025?
2. Mitä muutoksia voisi olla odotettavissa vuoteen 2100 mennessä?
3. Millaista sekundääristä maankohoamista rannalla on?

2 Rannikoiden muutokseen vaikuttavat tekijät saaristoympäristössä

2.1 Geomorfologiset prosessit

Geomorfologialla tarkoitetaan maanpinnanmuotoja ja niiden kehitystä erilaisten prosessien kautta. Rannikkoprosessit sisältävät kaikki ne prosessit, jotka liittyvät maa-aineksen muotoutumiseen ja liikkumiseen rannikoilla (Holden 2017: 584–623). Eroosio tarkoittaa sedimentin kulutusta ja kuljetusta, kun taas sedimentaatio sen kasautumista ja kerrostumista. Rannikoilla tavataan useita eroosivoimia, mutta tärkeimmät ovat hydrodynaamiset voimat, kuten aallot ja vuorovesi. Joillakin rannoilla myös eoliset prosessit ovat merkittäviä, esimerkiksi rantadyynien muodostuessa.

Rantamuodostumien kehitykseen vaikuttaa monet muutkin tekijät, kuten rannan kasvillisuus, suojaisuus, kaltevuus, pinta-ala, sedimenttityyppi ja valmiit geomorfologiset muodostumat.

Rannikkoalueiden geomorfologiassa rannat voidaan luokitella pieni- ja suurienergiiseen perusteella, kuinka voimakkaita rannikkoprosessien vaikutukset alueella ovat (Holden 2017: 584–623). Eroosion ja sedimentaation voimakkuuksien mukaan rannat jaetaan myös akkumulaatio- ja eroosiorantoihin. On myös akkumulaatio-eroosiorantoja, joissa akkumulaatio ja eroosio vuorottelevat. Suurienergiset rannikot ovat yleensä jyrkkiä ja kallioisia, sillä aallokko kuluttaa avointa rannikkoa voimakkaasti. Pienienergiset rannikot puolestaan ovat loivia ja sedimentaation takia maaperältään pehmeitä. Esimerkiksi niemet ja muut rantaviivasta ulkonevat alueet ovat usein enemmän kallioisia eroosiorantoja, kun taas suojaisat lahdet ja poukammat ovat tyypillisesti akkumulaatiorantoja. Suojaisuudella tarkoitetaan sitä, että luonnonvoimat kuten merivirrat eivät pääse kuluttamaan niin vahvasti kuin avoimemmilla rannoilla.

Sedimentaation ja virtausten ollessa otolliset, lähellä oleva pienempi saari voi kuroutua kiinni mantereeseen tai suurempaan pääsaareen, muodostaen tombolon (de Mahiques 2016). Tämä prosessi yleensä perustuu vedenvirtauksen refraktioon, jolloin veden virtaus lähestyessä saarta taittuu ja myötäilee saaren rantaviivaa. Virtaukset tulevat kohti rannikkoa saaren molemmilta puolilta, kohdaten toisensa saaren suojapuolella, mantereen tai pääsaaren rannalla, jossa virtaus hidastuessaan kerrostaa sedimenttiä. Ensin muodostuu ohuempi niemeke, joka kasvaessaan yhdistää maa-alueet.

Sedimentaation jatkuessa tombolo myös laajenee. Tombolo vakiintuu hitaasti, kun sen korkeus kasvaa ja esimerkiksi kasvillisuus leviää sen alueelle, sitoen sedimenttiä paikoilleen.

Tomboloja voi syntyä myös esimerkiksi aallonmurtajien tai muiden rakennettujen esteiden yhteyteen. Useampien tomboloiden syntyessä samalle rannikolle voi myös muodostua laguuneja tai osittain eristäytyneitä vesialtaita. Aaltojen kulutuksesta ja kasaamisesta syntyy myös rantavalleja, tyypillisesti silloin, kun vedenpinta laskee tai maanpinta nousee hitaasti. Valli muodostuu rantaviivan suuntaisesti, kun aallot huuhtovat rantahiekkaa tai muuta sedimenttiainesta ja kerrostaa sen kauemmas rantaviivasta. Rantavallitkin voivat muodostaa eristäytyneitä vesialtaita.

2.2 Maankohoaminen ja rantaviiva

2.2.1 Isostaattinen maankohoaminen

Tällä hetkellä eletään kvartaarisen jääkauden aikaa, jonka viimeisin glasiaali- eli jäätiköitymisjakso, Veiksel-jääkausi, alkoi noin 110 000 vuotta sitten Eem-interglasiaalin eli -lämpökauden päätyttyä (Johansson ym. 2011). Veiksel-jääkausi päättyi noin 11 700 vuotta sitten, minkä jälkeen alkoi uusi interglasiaali nimeltään holoseeni, joka on nykyinen geologinen epookki. Jäätikköä kuitenkin oli holoseenin alkuvaiheessa edelleen jäljellä Fennoskandiassa.

Veikselin mannerjäätikkö ulottui huipussaan laajalle alueelle Pohjois-Euroopassa ja sen paksuus oli arviolta yli kaksi kilometriä Skandinaviassa (Siegert ym. 2001). Jäämassan suuren painon alla maankuori painui alaspäin satoja metrejä. Jäätikön sulaessa ja täten painon hävitessä, maankuori alkoi palata takaisin isostasiaan. Isostasia tarkoittaa Maan kiinteän kuoren tasapainotilaa muovautuvampien vaippakerrosten päällä, mitä voi verrata hydrostaattiseen tasapainoon. Isostasia on perustana maankohoamisilmiössä, jolla on suuri vaikutus entisten jäätikköalueiden, kuten Itämeren, geomorfologisessa kehityksessä. Maankohoamista tutkittiin vuosisatojen ajan rantaviivan siirtymisenä ennen kuin ymmärrettiin sen tieteellistä syytä (Maannousu s.a.).

Isostaattinen eli primäärinen maankohoaminen on voimakkainta siellä, missä maankuori painui eniten alas, eli siellä missä jäämassa oli suurin.

Maankohoamisnopeus muodostaa Itämerellä gradientin, jossa voimakkain maankohoaminen tapahtuu Perämerellä, jossa jäätikkö oli paksuimmillaan ja painavimmillaan. Maankohoamisessa erotetaan absoluuttinen ja suhteellinen kohoaminen. Absoluuttinen maankohoaminen mitataan suhteessa maan keskipisteeseen, kun taas suhteellinen maankohoaminen mitataan suhteessa merenpintaan. Seilin alueella nykyinen absoluuttinen maankohoamisnopeus on noin 5,5 mm vuodessa ja suhteellinen maankohoaminen on viimeisen sadan vuoden aikana 1925–2025 ollut keskimäärin noin 3,3 mm vuodessa (Maannousu s.a.; Vedenkorkeusjärjestelmien... s.a). Vuosien 1943–2025 suhteellinen maankohoaminen on keskimäärin 3,0 mm vuodessa. Suhteellisen maankohoamisen nopeus vaihtelee joskus ennalta arvaamattomien merenpinnan muutosten takia, eikä siis etene aina lineaarisesti. Nopeutuva merenpinnan nousu hidastaa suhteellisen maankohoamisen nopeutta.

2.2.2 Sekundäärinen maankohoaminen ja ruovikoituminen

Rantaviivan siirtyminen on rannikoiden yksi näkyvimmistä pitkäaikaisista muutoksista. Muutoksien taustalla on isostaattisen maankohoamisen lisäksi rannikkoprosessit, jotka voimistuvat ilmastonmuutoksen myötä. Maankohoamiseen kuuluu sekundäärinen maankohoaminen, jonka voimakkuutta, vaikutuksia tai osuutta maankohoamisen kokonaisuudessa ei ole tutkittu yhtä syvästi kuin pelkkää isostaattista eli primääristä maankohoamista.

Sekundäärinen maankohoaminen tarkoittaa sedimentaation aiheuttamaa maanpinnankorkeuden kasvua. Sedimentin kerääntyminen on erityisen voimakasta ruovikossa ja muilla matalilla tai heikentyvän vedenvirtauksen alueilla. Rantahiekka, juurakot sekä niiden väliset sedimenttikerrokset kuuluvat sekundääriseen maankohoamiseen, jota nopeuttaa ruovikoituminen.

Järviruoko (*Phragmites australis*) on Suomen ainoa ruokolaji, ja sitä esiintyy lähinnä alle metrin syvyisessä vedessä (Kurri ym. 2024). Järviruoko on nopeasti leviävä, mikä voi olla haitaksi paikallisille lajeille muodostaessaan tiheän kasvuston, joka estää muiden lajien itämisen (Weis 2016). Toisaalta ruovikot tarjoavat myös monille lajeille ainutlaatuisen elinympäristön (Sustainable utilisation... 2021). Kiihtynyt ja laajalle levinnyt

ruovikoituminen on seurausta sekä luonnollisesta rantakehityksestä että ihmistoiminnan vaikutuksista, kuten vesivessojen yleistymisestä 1940-luvulla ja laidunnuksen vähentymisestä 1900-luvun lopulla (Kurri ym. 2024). Se toimii myös yhtenä merkinä rannan nykytilan ja tulevan kehityksen arvioinnissa. Ruovikon juurakon kuoppainen kasvupohja luo uutta maapohjaa, hidastaen virtausta ja sitomalla sedimenttiä tehokkaasti.

Maankohoamisen seurauksena paljastuva maa luo perustan myös kasvillisuuden primäärisuknessiolle. Sukkessio on ekologinen ilmiö, jossa kasvit ja muu eliöyhteisö ottaa elinympäristökseen täysin uuden maa-alueen, jonka yleisin syntymistapa on maankohoaminen. Ruovikko voi olla primäärisen sukcession ensimmäinen vaihe (Järvelä ym. 2025). Tutkimusten mukaan jo harvahkot ruovikot voivat vaikuttaa veden virtauksiin, eroosioon ja sedimentin kerrostumiseen.

Ruovikoitumista voidaan kuitenkin ohjata ihmistoiminnalla, kuten laidunnusta ja niittämistä lisäämällä. Ruovikoita hoidetaan paikoin aktiivisesti, sillä laajat, hoitamattomat kasvustot voivat aiheuttaa umpeenkasvua ja heikentää alueen lajiston monimuotoisuutta. Hoito perustuu pääasiassa biomassan poistamiseen. Niitto on tehokkainta loppukesällä, jolloin ravinnepitoisuus on suurimmillaan ja biomassan poisvieminen ehkäisee ravinteiden palaamista veteen (Sustainable utilisation... 2021). Ruovikoitumisen eteneminen ja hoito vaikuttaa sekä ekologisiin että geomorfologisiin prosesseihin.

2.3 Ilmastonmuutos

Maapallon ilmasto muuttuu ja lämpenee pitkällä aikavälillä luonnollisesti, mutta ihmisen voimistama kasvihuoneilmiö nopeuttaa näitä muutoksia radikaalisti. Voimistunut ilmastonmuutos tuo mukanaan voimistuneita ja yleistyviä luonnon ääri-ilmiöitä, joista monet vaikuttavat myös rannikoihin ja rannikkoprosesseihin, kuten myrskyjä ja tulvia. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa luonnollisiin muutostrendeihin, kuten maankohoamiseen, sukcessioon ja yleisesti elinympäristöjen kehitykseen liittyen.

Vaikutusten voimakkuus tulevaisuudessa riippuu pääasiassa siitä, kuinka tehokkaasti ihmiskunta saa vähennettyä päästöjä ja tehtyä muita ympäristön suojele- ja

ennallistamistoimia. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia on mallinnettu monin tavoin, mutta yleisimmät ovat IPCC:n eli kansainvälisen ilmastopaneelin hyväksymät ilmastomuutosskenaariot (Pellikka ym. 2023; Kivirinne ym. 2024). Ne perustuvat erilaisiin trendeihin kasvihuonekaasupäästöjen laskusta tai kasvusta.

Pariisin ilmastopoliittisen mukainen ja ympäristön kestävyyskannalta paras RCP-skenaario (Representative Concentration Pathway) (RCP2.6) on sellainen, jossa päästöt käännetään laskuun jo 2020-luvulla ja ne ovat vuoteen 2100 mennessä nettonollatasolla, jolloin ilmaston lämpeneminen pysyy alle 2 °C:ssa verrattuna esiteolliseen aikaan (Pellikka ym. 2023). Huonoimmassa skenaariossa (RCP8.5) fossiilisia polttoaineita käytetään jatkossakin runsaasti, päästöjen määrä nousee tulevaisuudessa nopeasti ja kasvihuonekaasupäästöjä ei ole leikattu vuoteen 2100 mennessä. Sen mukaan ilmasto lämpenee vuoteen 2100 mennessä yli 4 °C. Nykyisten päästöjen ja säädösten tekemisen ja noudattamisen jatkuessa todennäköisintä on välimaasto RCP2.6:n ja RCP4.5:n välillä, jolloin lämpötilan nousu olisi 2.2–2.7 °C (Teske 2025). Ihmiskunnan on vielä mahdollista parantaa tätä kehityskulkua.

2.4 Itämeri

Itämeren allas on geologisesti nuori verrattuna muihin merialueisiin, sillä sen nykyinen murtovesitila vakiintui vasta Veiksel-jäätikön sulettua. Ennen nykyistä tilaa allas on kuitenkin käynyt läpi useita järvi- ja merivaiheita, mikä on muovannut sen hydrologiaa, topografiaa ja eliöstöä pitkällä aikavälillä. Itämeren erityisiin ominaispiirteisiin kuuluu vähäsuolainen murtovesi, osittainen jäätyminen talvisin, vuoroveden lähes kokonainen puuttuminen sekä Tanskan salmien kautta tulevien suolaisten valtameriveden pulssien epäsäännöllisyys. Nämä fysikaaliset ominaisuudet tekevät Itämerestä rakenteellisesti ja ekologisesti poikkeuksellisen herkän muutoksille.

Itämeri kuuluu matalimpiin merialueisiin maailmassa, sillä sen keskisyvyys on 54 metriä ja Saaristomerellä vain noin 20 metriä (Itämeri numeroina s.a.; Saaristomeri... s.a). Matalat piirteet korostavat sekä meriveden pinnankorkeuden vaihteluiden että ilmastomuutoksen vaikutuksia, sillä pienetkin muutokset vedenpinnan tasossa voivat siirtää rantaviivaa huomattavia matkoja. Yhteys Atlantiin käy kapeiden ja matalien Tanskan salmien kautta, joiden keskisyvyys on vain noin 14 metriä. Tästä syystä

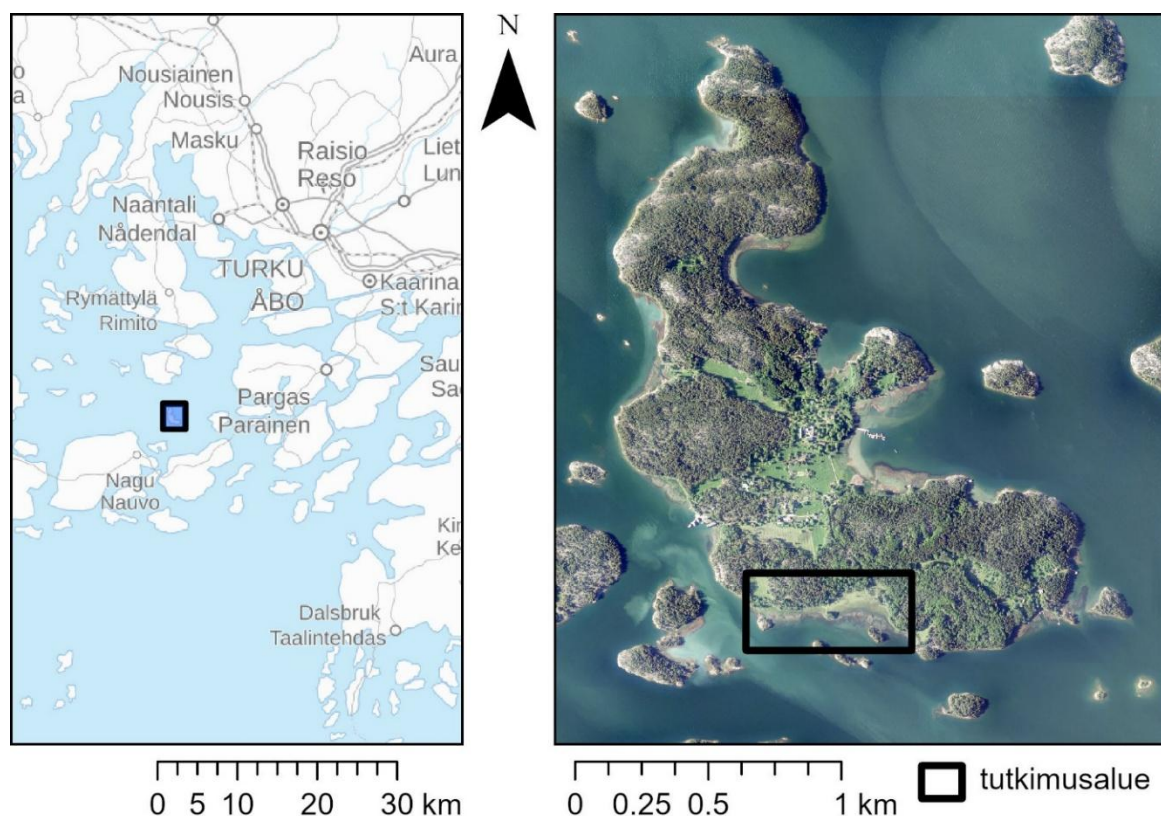
suolapulssit eli virtaukset suolaisempaa ja raskaampaa merivettä, ovat kooltaan pieniä, harvinaisia ja epäsäännöllisiä. Suolapulssien kehittyminen edellyttää samanaikaisesti niille suotuisia vedenkorkeuksia, oikeansuuntaisia tuulia sekä Atlantin puoleista virtausta. Myös vuoroveden puutteen takia Itämeren vesi ei vaihdu tai sekoitu kovinkaan tehokkaasti.

Suolaisen veden pulssien ja kerrostuneisuuden yhteisvaikutukset voivat muuttaa merialtaan fysikaalisia olosuhteita nopeasti. Halokliini eli suolapitoisuuden jyrkkä harppauskerros estää vesimassojen pystysuuntaisen sekoittumisen. Tämän seurauksena syvänteisiin ei kulkeudu riittävästi happea, mikä voi johtaa pitkäkestoisiin happikatoihin ja altistaa pohjaeliöstön kuolemalle tai kaikkoamiselle. Ympäristön herkkyyttä lisää myös se, että Itämeren valuma-alue on yli neljä kertaa suurempi kuin itse meriallas, mikä tekee siitä alttiin ravinnekuormitukselle ja saasteille (Itämeri numeroina s.a.).

2.5 Saaristomeri ja Seili

Suomen Saaristomereen katsotaan kuuluvan saaristoinen merialue Ahvenanmantereen alueen sekä Suomen lounaisrannikon välillä. Se muodostuu noin 40 000 saaresta, joista kuitenkin noin 16 000 on alle aarin kokoisia (Saaristomeri... s.a.). Se on Euroopan laajin saaristo, ja saarimäärältään maailman suurin, kun pienemmätkin saaret lasketaan mukaan. Otollisen aineiston saatavuuden perusteella tutkimusalueeksi rajautui Saaristomereltä Seilin eteläranta, joka on pituudeltaan noin 500 metriä (kuva 1). Seili sijaitsee Paraisten kaupungissa, noin 27 km lounaaseen Turun keskustasta.

Saaristomerellä suurin osa rannoista ovat pienienergisiä etenkin väli- ja sisäsaaristossa, ja Seilin eteläranta edustaa niitä selvästi. Eteläranta on muotoutunut pitkän ajan kuluessa maankohoamisen, maaston muotojen, kasvillisuuden, virtausten ja aallokon suunnan yhteisestä dynamiikasta.



Kuva 1. Seilin sijainti suhteessa rannikkoon ja tutkimusalue Seilissä. Lähde: MML (muokattu)

Saaristomeren alueelle on tyypillistä monipuolinen elinympäristöjen kirjo, johon kuuluu kallioiset rannat, savikot, rantaniityt, lehdot, kangasmetsät, perinnebiotoopit ja soistuneet painanteet, joiden sisällä esiintyy useita suojelullisesti merkittäviä lajeja (Mussaari 2021). Perinnebiotoopeilla tarkoitetaan perinteisten maatalous-, laidunnus- ja niittotoimien aikaansaamia erilaisia elinympäristöjä, kuten niittyjä, laitumia ja ketoja (Raatikainen 2018). Ne ovat runsaslajisimpia ja monimuotoisimpia elinympäristöjä, mutta myös uhanalaisimpia, sillä 90 %:a perinnebiotooppien luontotyypeistä on joko äärimmäisen tai erittäin uhanalaisia. Näiden biotooppien häviäminen johtuu perinteisten elinkeinojen vähenemisestä, eivätkä alueet säily ilman jatkuvaa hoitoa tai esimerkiksi laidunnusta.

Saaristomeri on myös kansainvälisesti tunnustettu luonto- ja kulttuurialue, sillä suuri osa siitä kuuluu Yhdistyneiden kansakuntien kasvatus-, tiede- ja kulttuurijärjestön eli UNESCO:n biosfäärialueeseen (Archipelago Sea Area s.a.; Biosfääri-alueet s.a.).

Biosfäärialueisiin kuuluu monimuotoisuuden suojelun lisäksi luonnonvarojen kestävä käyttö sekä ympäristötutkimus. Seilin saaristo, joka sisältää varsinaisen Seilin saaren

ohella useita pienempiä saaria, kuuluu monien muiden Saaristomeren alueiden tavoin lähes kokonaisuudessaan Euroopan unionin Natura 2000 -alueverkostoon (Natura 2000 -verkosto s.a.). Seili on suojeltu sekä luontodirektiivin mukaisena erityisten suojelutoimien alueena (SAC, Special Areas of Conservation) että lintudirektiivin erityisenä suojelualueena (SPA, Special Protection Areas). Seili on myös luokiteltu perinnemaisemana maakunnallisesti arvokkaaksi kohteeksi (M+) ja prioriteetiltaan se kuuluu luokkaan ”tärkeimmät hoitokohteet ja kiireellimmät kunnostuskohteet” (Mussaari 2021). Suojeluverkoston tavoitteena on turvata alueen luonnon monimuotoisuus, erityisesti uhanalaisten lajien ja luontotyyppien elinvoimaisuus sekä ylläpitää saariston kulttuuriperinteisiin sidoksissa olevia perinneympäristöjä.

Seilissä tavataan muun muassa kiireellisesti suojeltavaa peltomaitikkaa (*Melampyrum arvense*), jonka elinympäristö koostuu pääosin perinnebiotoopeista, kuten kedoista ja pellonreunoista (Mussaari 2021). Seilissä elää myös lukuisia muita saaristoelinympäristöihin sopeutuneita eliölajeja. Erityisen huomion kohteena Seilissä on myös etelärannan läheisyyden niittyverkoston ennallistaminen pikkuapollon (*Parnassius mnemosyne*) elinympäristön turvaamiseksi (Järvelä ym. 2025). Alueella toteutetaan aktiivista luonnonhoitoa ja metsänhallintaa perinteisin menetelmin, kuten kaulaamalla puita ja laiduntamalla lehmiä kesäisin.

Saaristoalueita tutkiessa ei siis saa unohtaa ihmistoiminnan paikallista, alueellista sekä globaalia vaikutusta. Saaristomerellä asuu vakituisesti noin 30 000 ihmistä ja kesäkaudella väkimäärä moninkertaistuu, alueittain jopa viisinkertaiseksi (Saaristomeri... s.a.; Tunnuslukuja väestöstä... 1990–2024). Ihmisten aiheuttama kuormitus on korkea saaristossa, etenkin siis kesäkaudella. Vaikka alueet ovat luonnonsuojelualueita ja ohjeita eettiseen liikkumiseen ja luonnon kunnioittamiseen on paljon, roskaa, päästöjä ja melua syntyy silti, mikä voi aiheuttaa pahimmillaan lajiston kuolemista, kaikkoamista tai veden rehevöitymistä. Seili on merkittävä matkailukohde, jossa on vierailut vuosittain jopa noin 18 000 ja esimerkiksi Saaristomeren kansallispuistossa yli 70 000 (Käyntimäärät maastossa 2018–2024). Korkea kävijämäärä luo painetta ympäristölle, mutta samalla tekee alueen tunnetuksi ja lisää tutkimuksellisia mahdollisuuksia.

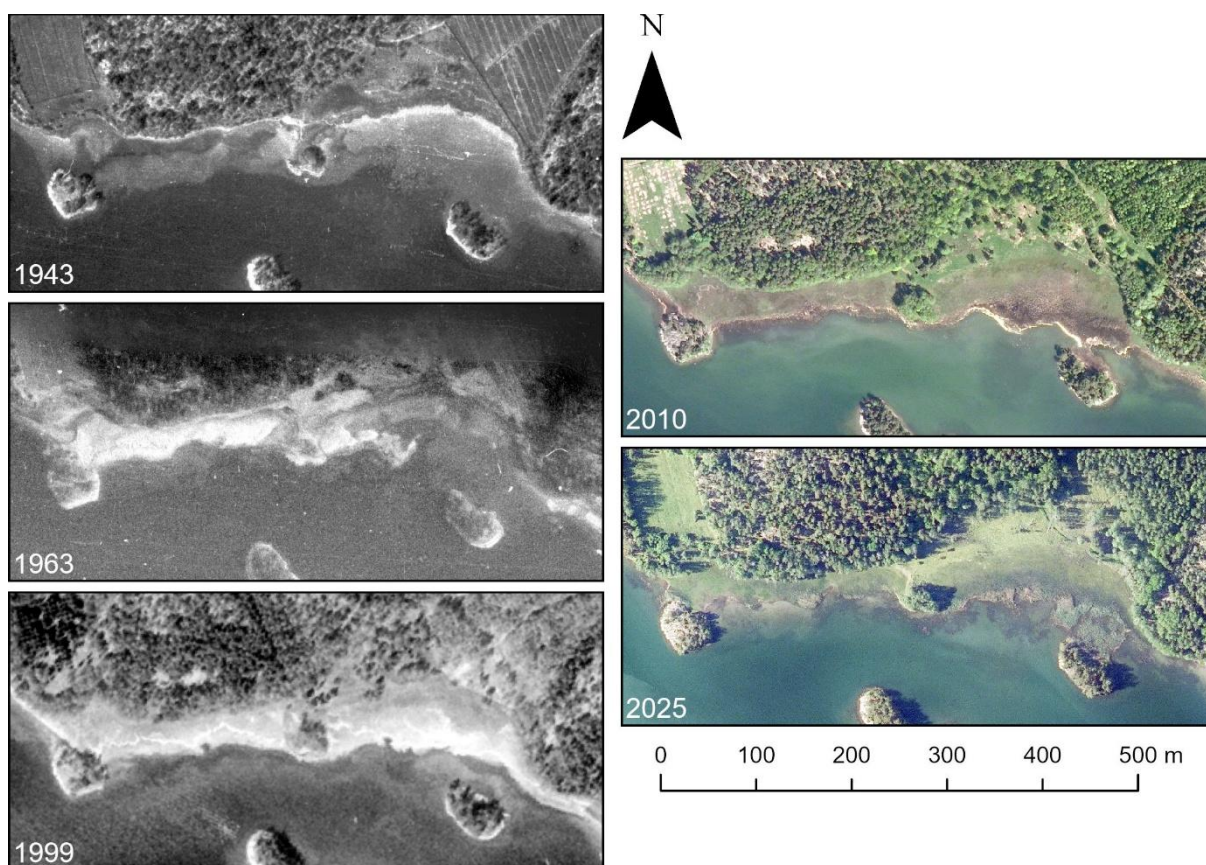
Seilin historia on poikkeuksellinen osa suomalaista saaristokulttuuria. Saari toimi 1600-luvulta 1900-luvulle lepra- ja myöhemmin mielisairaalapotilaiden hoitopaikkana, ja historialliset rakennukset, kuten alkuperäinen potilashuone, ovat yhä nähtävillä (Seilin saaren historia s.a.). Nykyisin saarella toimii matkailuyritys VisitSeili sekä Turun yliopiston Saaristomeren tutkimuslaitos, joka tuottaa alueesta pitkäaikaista ympäristötietoa erityisesti Itämeren ekologisen tilan ja rannikkoprosessien näkökulmasta. Mielisairaala lakkautettiin vuonna 1962, minkä jälkeen tutkimuslaitos aloitti toimintansa vuonna 1964. Tämä yhdistelmä kulttuurihistoriaa, matkailua ja tutkimustoimintaa tekee Seilistä monitieteisesti arvokkaan ympäristön, jossa ihmistoiminnan ja luonnon vuorovaikutus on erityisen näkyvää.

3 Aineistot ja menetelmät

3.1 Aineistot

3.1.1 Ilmakuvat

Yksi tärkeimmistä aineistoista menneisyyden tutkimisessa tässä tutkimuksessa on Maanmittauslaitoksen historiallisten ilmakuvien arkisto. Ilmakuvia yhdistettiin uudempiin ilmakuviin rantaviivan ja pinta-alan muutoksien aikajanan luonnissa (Historialliset ilmakuvat 1943–2025). Tutkimusalueelta vanhin saatavilla oleva ilmakuva on vuodelta 1943 ja uusin vuodelta 2025 (kuva 2). Tähän tutkimukseen valittiin mahdollisimman tasaisin väliajoin saatavat ja suhteessa parhaimman laatuiset kuvat, jotka kattavat koko tutkimusalueen. Tutkimusvuosiksi valikoituivat 1943, 1963, 1999, 2010 ja 2025.



Kuva 2. Ilmakuvat Seilin etelärannan tutkimusalueelta vuosilta 1943, 1963, 1999, 2010 ja 2025. Lähde: ilmakuvat MML (muokattu)

Osa vanhoista ilmakuvista täytyy tarkentaa georeferoimalla uudempien ilmakuvien avulla, sillä vanhoilla kuvilla voi olla ollut eri kuvauskorkeus, -kulma tai sensori, mikä voi

aiheuttaa pieniä sijaintieroja (Historialliset ilmakuvat 1943–2025). Vertaamalla kallioelementteihin uusissa ilmakuvissa sijaintierot niiden välillä ovat georeferoinnin jälkeen minimaalisia. Kuvien resoluutio ei parane suoraan suhteessa vuosilukuun, sillä esimerkiksi vuoden 1943 kuva on tarkempi kuin monet sen jälkeen alueelta saatavat kuvat ennen värikuvia. Vanhemmat ilmakuvat ovat mustavalkoisia, mikä hankaloittaa rajojen määrittämistä. Vanhemmista kuvista, joista ei ole saatavilla merenpinnan korkeustietoja, ei ole eroteltu ruovikkoa muusta maa-alasta, vaan pelkkä vesiraja. Vuoden 1963 ilmakuva on laadultaan huonoin valitusta aineistosta, mutta vesiraja on kuitenkin erotettavissa.

Alkaen 2010 alueen ilmaortokuvat ovat saatavilla myös väärävärinä, mikä auttaa erottamaan ruovikon nurmesta. Vääräväriortokuvissa värikanavat ovat yhdistetty erilaisilla kuin luonnollisessa värikuvassa, minkä avulla voidaan tuoda paremmin esille erot kasvillisuuden kunnossa ja maaperän tilassa. Kaikkien käytettävissä olevien ilmakuvien suhteen ongelmana on, että kaikkea tietoa ei ole saatavilla, kuten päivämäärää milloin kuva on otettu. Vuodenajalla on paljon väliä merenpinnan korkeuden, ruovikkovyöhykkeen koon ja kasvillisuuden laadun suhteen. Ilmakuvat ovat kuitenkin maanpeitteen ja kasvillisuuden perusteella keväällä tai kesällä otettu, eli keskenään sen mukaisesti vertailtavissa. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että vuosittaiset erot voivat poiketa pitkän aikajanan trendistä.

3.1.2 Kenttäraportit ja ilmastoskenaariot

Tässä tutkimuksessa yhdistetään useampaa Turun yliopiston maantieteen kenttäkurssin tutkimusraporttia. Kahdesta raportista, ”Seilin rantaviivan muutokset 1600-luvulta nykypäivään” ja ”Maankohoamisrannan dynamiikka – kerroksellisuus ja vyöhykkeisyys Seilin etelärannalla”, hyödynnetään kenttähavaintoja sekä kairaus- ja vaaitusaineistoa (Hagren ym. 2024; Järvelä ym. 2025). Näiden lisäksi hyödynnetään ilmastonmuutoksen ja IPCC:n ilmastoskenaarioiden näkökulman raporttia, ”Rantaviivan siirtyminen Saaristoympäristössä”, tulevaisuuden arvioihin liittyen (Kivirinne ym. 2024).

Kahden tutkimuksen tekemistä kairauksista hyödynnetään valikoidusti sekundääriseen maankohoamisen kannalta tärkeimpiä pisteitä, jotka ovat lähimpänä rantaviivaa ja

joiden kuvat ovat parhaiten tulkittavissa. Valitut kairaukset ovat kaikki otettu 50 cm pitkällä kairalla ja näytteet ovat noin 37–50 cm. Raporteista on saatavilla kairausaineistoa kolmelta vaaituslinjalta, jotka sijaitsevat sopivasti tasaisin välimatkoin rannalla, kaikilta kolmelta tomboloiden rajaamilta alueilta (kuva 3). Näiden tueksi tutkimuksessa käytettiin ilmatieteen laitoksen N2000-järjestelmän mukaisia tilastoja vedenkorkeudesta, joiden avulla myös laskettiin keskiarvot ja ääriarvot tutkimusvuosilta ja niiden kevät-kesäkausilta. Tarkkoja vedenkorkeustilastoja on saatavilla vuodesta 1971 asti. Aineisto ladattiin olennaisilta vuosilta eli 2025, 2010 ja 1999. Havaintoja oli yli 500 000 vuodelta 2025 eli minuutin välein, kun taas vuosilta 2010 ja 1999 tunnin välein, eli noin 8 700 vuodessa. Molemmat soveltuvat tutkimuksen tarkoituksiin.



Kuva 3. Kairausten sijainti etelärannalla. Lähde: ilmakekuva MML 2025 (muokattu), Hagren ym. 2024 ja Järvelä ym. 2025 (muokattu)

Tulevaisuuden mallintamiseen käytetään Kivrinteen ym. (2024) kenttäraportin lisäksi Pellikan ym. (2023) tutkimuksen RCP-ilmastoskenaarioiden perusteella tehtyjä merenpinnan muutosarvioita Turun alueelta. Käytetyt RCP-skenaariot ovat RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5 eli vastaavasti niin sanotusti matalien, keskimääräisten ja korkeiden päästöjen skenaariot.

Skenaarioiden merenpinnankorkeuksiin yhdistetään Maanmittauslaitoksen 2 m korkeusmallia, joka myös on sidottu N2000-korkeusjärjestelmään, niin kuin muutkin aineistot tässä tutkimuksessa. Korkeusmallin pikselikoko on 2 metriä, pistetiheys vähintään 0,5 pistettä neliömetrille ja korkeustarkkuus keskimäärin 0,3 metriä

(Korkeusmalli 2 m s.a.). Korkeusmalli on tutkimusalueella rajallinen, sillä sen mallintama vedenpinnankorkeus on 0,103 metriä N2000-korkeusjärjestelmässä, joten alle 10,3 cm:n korkeuksia ei voida visualisoida rannalla. Koska kaikki korkeudet tässä tutkimuksessa on pyöristetty yhden cm:n tarkkuuteen, korkeusmalli soveltuu suuntaa antavasti kuitenkin vielä 10 cm:n vedenkorkeuden arviointiin.

3.2 Paikkatietoanalyysit ja visuaalinen tulkinta

Rantaviivan muutokset mallinnetaan ArcGIS Pro -paikkatieto-ohjelmistolla korkeusmallin sekä ilmakuviin perusteella. Mallinnuksen avulla lasketaan rantaviiva- ja pinta-alamuutokset, kuitenkin huomioiden mahdolliset epätarkkuudet. Rantaviivan ja kasvillisuusvyöhykkeiden etäisyyksien laskeminen tehdään käyttäen Near-laskenta-algoritmia, joka laskee jokaisen viivan pisteen etäisyyden lähimpään toisen viivan pisteeseen. Täytyy huomioida, että Near-laskennassa luodaan ensin viivasta pistetaso, jossa syntyy pisteitä joskus enemmän mutkiin kuin suurempiin kohtiin, sillä pisteet perustuvat viivan vertex-pisteisiin. Tämä voi hieman vääristää tuloksia, mutta kaikki rantaviivojen laskut tehdään verraten samoihin 1943 pisteisiin eli tulokset ovat verrattavissa toisiinsa. Tuloksien vääristymistä minimoiden, pisteiden etäisyyksiä säädettiin manuaalisesti lisäämällä pisteitä tasoittamaan välejä tarpeen mukaan. Vuoden 2025 mukaisesti rajattuja tomboloiden entisiä saaria ei laskettu rannan pinta-aloihin. Tutkimuksessa hyödynnetään myös muita yleisiä alueellisia analyysimenetelmiä ArcGIS Pro-ohjelmistolla.

Tässä tutkimuksessa käytetään ilmakuviin visuaalista analyysia tueksi korkeusmalliin, arvioimaan myös ruovikon ja muiden kasvillisuusvyöhykkeiden osuutta pinta-alasta. Ruovikko on vyöhykkeenä gradienttimainen, joten sen rajaa on vaikea löytää ja määrittää. Raja katsotaan siis analysoinnin helpottamiseksi olevan veden välittömässä vaikutuksessa olevan niin sanotusti tuoreemman ruovikkoalueen alussa, vaikka vettä sekä ruovikon kasvua ja juurakkoa esiintyy myös ennen sitä. Ilmakuviin ajankohdan sekä ruovikon olennaisuuden takia tämä tutkimus keskittyy osittain kevät-kesäaikaan.

Kaikkien tutkimusajankohtien vesirajat ovat analysoitu visuaalisesti ilmakuviin.

Vesirajalla tarkoitetaan sitä viivaa, joka on ilmakuviin erotettavissa veden rajaksi.

Termiä rantaviiva ei käytetä vuosista, joilla on myös ruovikon raja, koska rantaviivan

käsite on hieman epäselvä niiden osalta, sillä veden vaikutus jatkuu ruovikossa yli vesirajan. 1943 rantaviivan tulkintaa vaikeuttaa keskellä olevan osittain muodostuneen tombolon epäselvät rajat, minkä takia se on tässä tutkimuksessa tulkittu vain osittain muodostuneeksi maa-alueeksi. Rantaviiva on erotettavissa ilmakuvasa tombolon halki (kuva 2), minkä mukaisesti se on tässä tutkimuksessa kartoitettu ja mitattu. Vuoden 1999 ruovikkovyöhykkeen raja on selvitetty suuntaa antavasti kevät-kesäkauden vedenkorkeuden sekä korkeusmallin ja ilmakuvan yhdistelmällä. Vuosien 2010 ja 2025 vesirajat ovat selvitetty ilmakuvien mukaan ja ruovikkovyöhykkeen raja väärävärικuvien avulla.

Kairausaineistoa analysoidaan valmiiden analyysien ja kuvauksien lisäksi visuaalisesti kuvien avulla. Kairauksia analysoidessa tulee ottaa huomioon, että kairausnäytteet ovat vain 5 cm leveitä, eli ohuimmat kerrostumat voivat olla vain paikallisia. Joitakin tarvittavia ja tässä tutkimuksessa analysoitavia kerroksia kairausnäytteistä ei kentällä ollut avattu tai analysoitu tarkemmin, joten niitä analysoidaan vain visuaalisesti, jos vain mahdollista.

4 Tulokset

4.1 Sedimentaatio ja sekundäärinen maankohoaminen

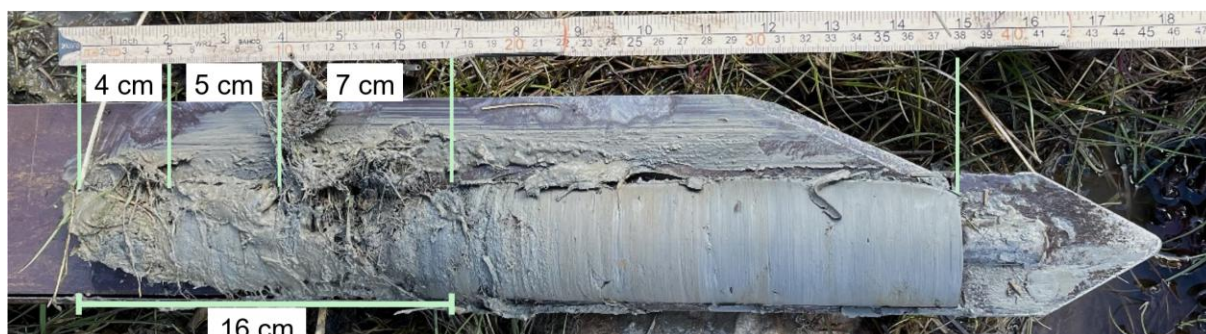
Rannan sekä ruovikkovyöhykkeen kehitys muodostaa lieju-, savi- ja orgaanisen aineksen kerroksia, jotka näkyvät kairausprofiileissa. Sedimenttikerrosten paksuus kairauskuvista arvioidaan visuaalisen analyysin epätarkkuuden takia tässä tutkimuksessa cm:n tarkkuudella. Kairausnäyte pisteessä 1 on otettu Hagrenin ym. (2024) työryhmän toimesta etelärannan länsipäästä rannan vesirajasta (kuva 3).

Näytteessä pinnalla on 21 cm löyhempää hiekkaa, jonka seassa on savea sekä ruovikon jäljiltä pääosin ruo'on vartta ja juuria, minkä alla alkaa tiukka savi (kuva 4).



Kuva 4. Pisteessä 1 kairausnäyte. Lähde: Hagren ym. 2024 (muokattu)

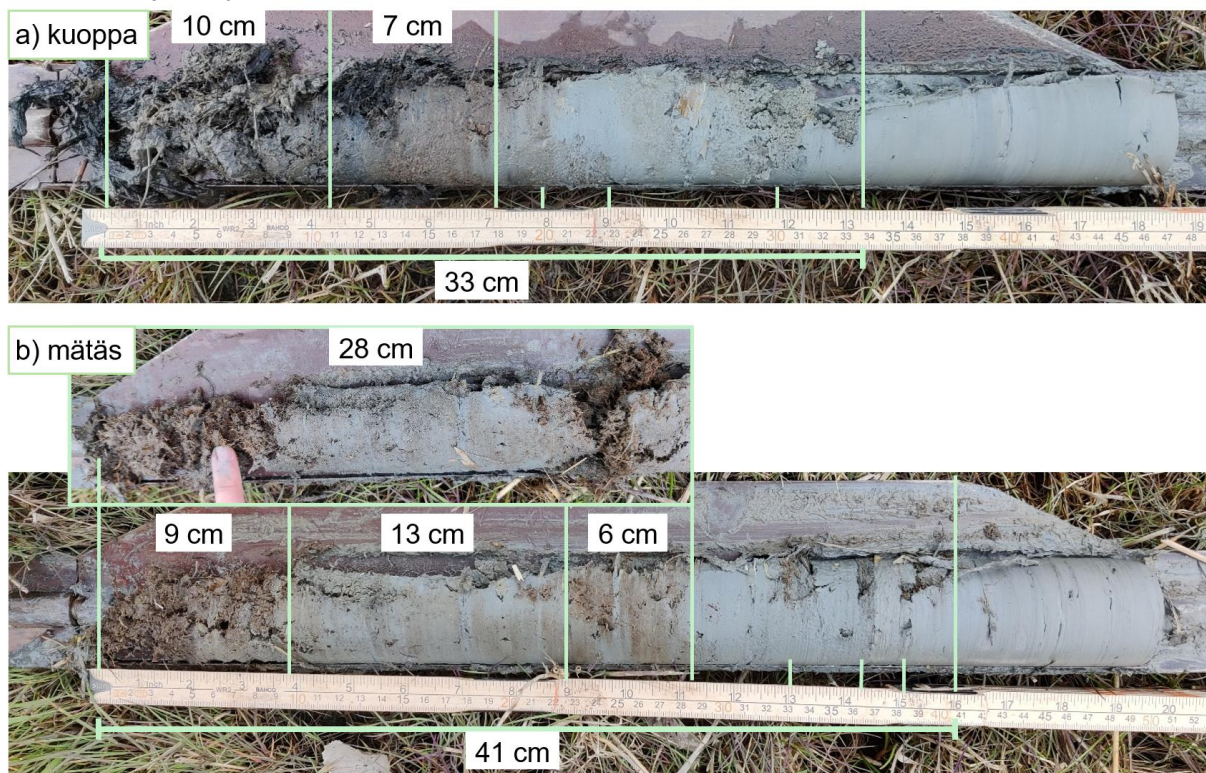
Kairausnäyte pisteessä 2 oli otettu Järvelän ym. (2025) tutkimuksessa etelärannan keskiosasta, ruovikosta lähellä niittyvyöhykkeen rajaa (kuva 3). Ruovikon juurakkoa ja muuta kasvustoa on vetisessä ja liejuisessa 4 cm paksussa pintakerroksessa, jonka alla on 5 cm löyhää savista sedimenttiä (kuva 5). Näiden alla on 7 cm:n kerros vanhaa järviruo'on juurihuovastoa, jonka alla on reilu 1 cm hiekkaa. Pisteessä ennen viimeisintä ruovikoitumisvaihetta maanpinta on ollut siis jopa 16 cm alempana. Ruovikon peitti silloin 5 cm:n savinen sedimenttikerros, ennen kuin ruovikko kasvoi pisteeseen kohdalle uudelleen.



Kuva 5. Pisteessä 2 kairausnäyte. Lähde: Järvelä ym. 2025 (muokattu)

Pisteessä 3 sijaitsee kaksi kairausnäytettä Järvelän ym. (2025) tutkimuksesta, toinen kuoppaisen ruovikon mättään päältä ja toinen veden täyttämästä kuopasta mättäiden välistä (kuva 6). Näytteet ovat siis otettu vain muutaman kymmenen cm:n etäisyydellä toisistaan, mutta absoluuttinen syvyys eroaa jonkin verran, mikä otetaan huomioon näitä vertaillessa. Kairauspiste sijaitsee etelärannan itäisen puolen ruovikossa lähellä vesirajaa (kuva 3).

Kairausnäytteet piste 3.



Kuva 6. Piste 3 kairausnäytteet ruovikon a) vetisestä kuopasta ja b) mättäältä. Lähde: Järvelä ym. 2025 (muokattu)

Vesikuopasta otettu näyte sisältää erittäin löyhän, vetisen ja liejuisen 10 cm:n pintakerroksen, jonka alla on 7 cm hiekkaista savea ja orgaanista ainesta (kuva 6a). Orgaanisen aineksen osuus ja kerrosalue on vaikea arvioida tarkemmin. Näytteessä on nähtävillä 17–33 cm:n syvyydessä vaihtelevia ohuempia kerroksia tiukkaa savea ja hiekkaa. Selkeimmät hiekkaiset kerrokset ovat 19 cm:n, 22 cm:n ja 29 cm:n syvyyksissä. Nämä kerrokset ovat syntyneet vaihtelevan virtausvoimakkuuden mukaan, sillä savi laskeutuu paljon hitaammassa virtauksessa kuin hiekka.

Ruovikon mättään päältä otettu näyte sisältää selkeät kaksi juurihuovastoa (kuva 6b). Viimeisimmän ruovikkovaiheen juurikerros on 9 cm paksu näytteen pinnalla ja edellinen juurakko on 22–28 cm:n syvyydessä. Näiden kahden juurihuovaston alla on vaihtelevia kerroksia tiukkaa ja hieman vetistä savea sekä orgaanista ainesta. Kerroksittain karkeakin orgaanista ainesta on nähtävillä reilun cm:n kerroksina 33 cm:n, 36 cm:n ja 38 cm:n syvyydellä. Koska kuvasta ei näe millaisia kerrokset ovat avattuna, ne voivat olla todellisuudessa esimerkiksi yhtä samaa juurihuovastoa tai mätästä, jonka väleihin on kerrostunut sedimenttiä. Orgaanisen aineksen kerrostumia verratessa vesikuopasta otettuun näytteeseen voidaan päätellä, että kairauksien korkeusero on noin 11 cm.

Sekundääristä maankohoamista on havaittavissa kaikissa tutkimuksen pisteissä. Länsipuolella sitä on 21 cm, keskimaillla 16 cm ja itäpuolella 28 cm. Isostaattista maankohoamista on tapahtunut 82 vuodessa 1943–2025 noin 25 cm suhteessa merenpintaan, kun taas absoluuttista maankohoamista noin 45 cm (Maannousu s.a; Vedenkorkeusjärjestelmien... s.a).

4.2 Maa-alan ja kasvillisuuden muutokset

4.2.1 Vuodet 1943–2025

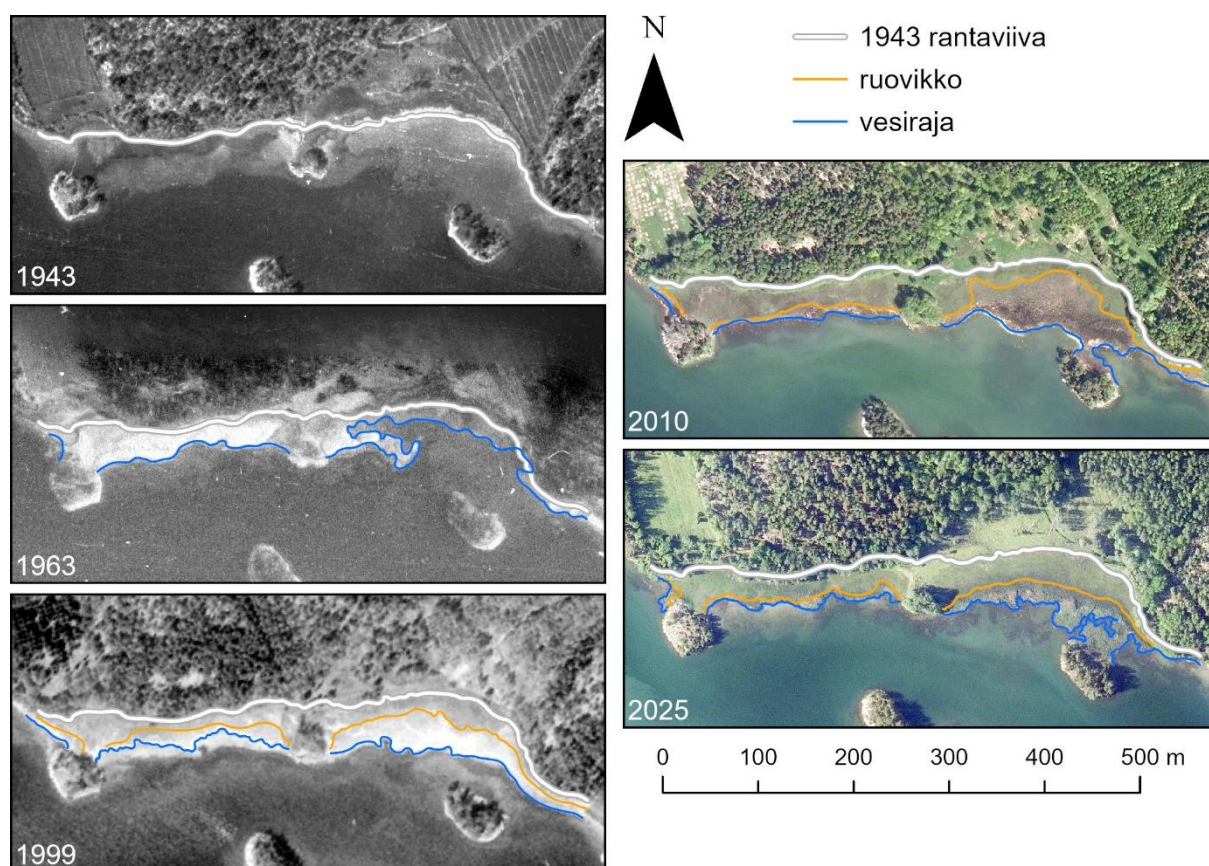
Vedenkorkeus poikkeaa keskimäärin koko vuoden arvosta jopa 10 cm:llä kevät-kesäkaudella (1.4.–31.8.), jolloin ilmakuvat ovat oletettavasti otettu (taulukko 1).

Vuosien 1943 ja 1963 tarkkoja vedenkorkeustietoja ei ollut saatavilla. Koko vuoden 2010 vedenpinta oli keskimäärin yli 10 cm alempana, kuin vuosina 2025 sekä 1999, kun taas kesäajalla se oli enemmän lineaarisesti asettautunut muihin verrattuna.

Taulukko 1. Vedenkorkeudet saatavilta vuosilta sekä vuosien kevät-kesäkausilta. Luvut pyöristetty yhden cm:n tarkkuuteen. Lähde: Laskettu Ilmatieteen laitoksen tilastoista

	2025	2010	1999
vuoden vedenkorkeus	(cm)	(cm)	(cm)
keskiarvo	19	7	21
minimi	-28	-50	-20
maksimi	69	68	125
1.4.–31.8. vedenkorkeus	(cm)	(cm)	(cm)
keskiarvo	16	12	11
minimi	-28	-15	-15
maksimi	62	46	66

Ilmakuvien visuaalisesta analyysistä sekä paikkatiedosta saadaan selville, että rannan pinta-alaa on tullut paljon lisää vuodesta 1943 (kuva 7). Vuodesta 1943 vuoteen 2025 mennessä maapinta-alaa on tullut noin 16 700 m², kun taas näkyvää kokonaispinta-alaa on tullut yli 24 000 m², josta siis melkein 8 000 m² eli noin kolmasosa (32 %) on nykyistä ruovikkoa (taulukko 2). Vuonna 2010 pinta-alaa oli vuoteen 1943 verrattuna enemmän kuin 2025, mikä ehkä selittyy vuoden alemmalla merenpinnan korkeudella, joka on antanut ruovikolle mahdollisuuden levitä pidemmälle (taulukko 1). Täten myös etäisyydet vesirajaan vuonna 2010 ovat poikkeuksellisen suuria. Tulosten tarkkuuden huomioiden 2010 ja 2025 pinta-alat ovat lähellä toisiaan. Ne eivät kuitenkaan ilmakuviista nähden olleet täysin samaa aluetta, etenkin rannan itäpuolen poukamassa. Ruovikon osuus uudesta pinta-alasta on edelleen suuri, mutta vuosina 1999 ja 2010 se oli lähes yhtä suuri kuin maapinta-ala.



Kuva 7. Tutkittavien vuosien ilmakuvat visualisoitu käytetyillä rantaviivoilla, vesirajoilla ja ruovikon rajoilla. Lähde: ilmakuvat MML (muokattu)

Taulukko 2. Vyöhykkeiden pinta-alojen ja rajojen muutokset verrattuna vuoteen 1943. Pinta-alat kymmenen m²:n tarkkuudella ja etäisyydet metrin tarkkuudella. Kaikki vuoden 1963 luvut eivät ole saatavilla ja puurajan ero laskettiin vain vuodelle 2025.

	2025	2010	1999	1963
Muutokset vuodesta 1943	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)
maapinta-ala	16 670	15 580	12 220	-
ruovikko	7 760	11 040	9 890	-
yhteensä	24 430	26 620	22 110	14 670
ruovikon osuus (%)	32	41	45	-
etäisyys vesirajaan	(m)	(m)	(m)	(m)
keskiarvo	36	43	36	19
minimi	7	7	11	1
maksimi	59	70	58	43
etäisyys ruovikkovyöhykkeen alkuun	(m)	(m)	(m)	
keskiarvo	27	24	19	-
minimi	7	4	6	-
maksimi	50	49	39	-
puurajan siirtyminen	(m)	(m)	(m)	
keskiarvo	13	-	-	-
minimi	7	-	-	-
maksimi	21	-	-	-

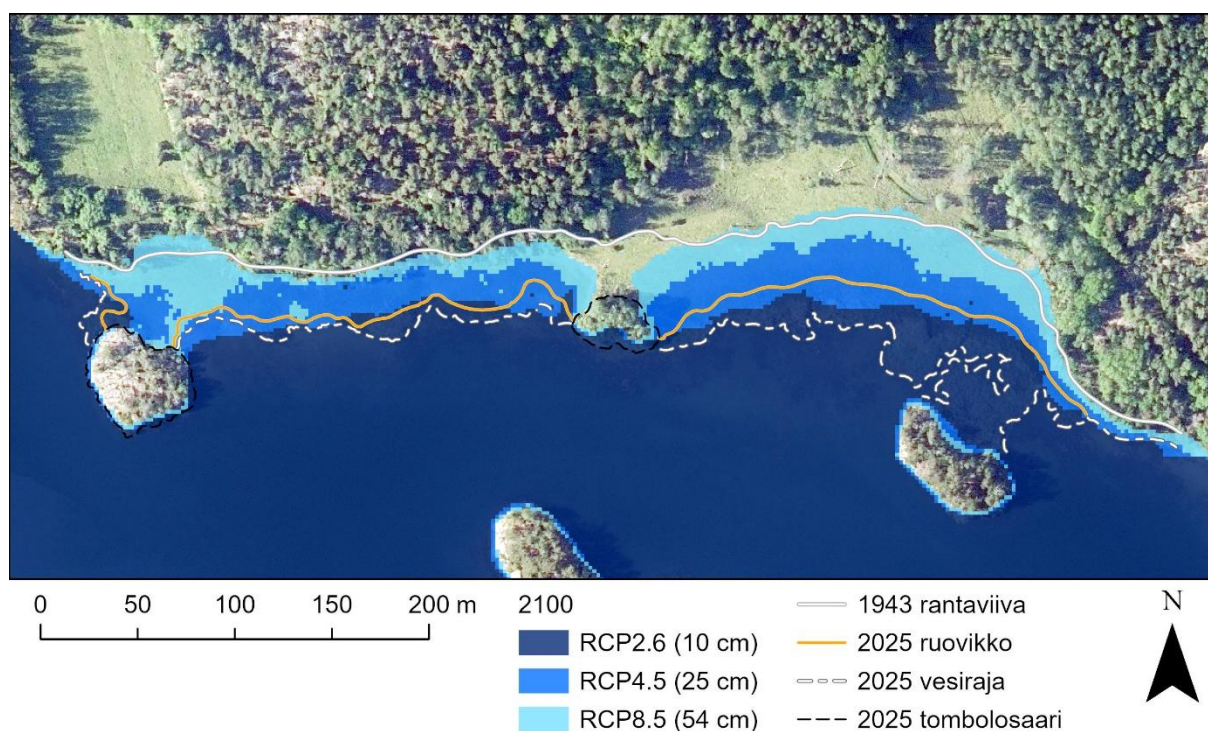
Etäisyys vuoden 1943 rantaviivasta vuoden 2025 vesirajaan on keskimäärin 36 metriä, mutta suurin etäisyys on 59 metriä (taulukko 2). Etäisyys ruovikkovyöhykkeen alkuun, eli rajaan, jossa veden välitön vaikutusalue alkaa, on keskimäärin 27 metriä ja maksimi 50 metriä. Etäisyys ruovikkovyöhykkeen alkuun on odotetun mukaisesti keskimäärin kasvanut 8 metriä vuosina 1999–2025. Näiden vuosien kevät-kesäkauden ruovikon määrä on laskenut suhteellisesti 45 %:sta 32 %:iin. Puuraja on siirtynyt keskimäärin 13 metriä kohti merta kahdella tarkastelukaistalla, joissa puuraja oli vuonna 1943 vesirajassa kiinni; itäreunalla sekä kahden tombolon välissä. Kasvillisuusvyöhykkeiden muutokset ovat merkki primäärisukcessiosta.

4.2.2 Vuosi 2100

Tulevaisuuden vertausaikana käytetään vuotta 2100 (taulukko 3) ja merenpinnan korkeudet kuvataan N2000-järjestelmän mukaisesti (Pellikka ym. 2023). RCP2.6-skenaarion mukaan merenpinnankorkeuden arvioidaan olevan 10 cm (kuva 8). RCP4.5-skenaarion vedenkorkeus on 25 cm ja RCP8.5-skenaarion 54 cm. Vuodesta 2025 merenpinta voi siis laskea 6 cm tai nousta jopa 38 cm.

Taulukko 3. Ennustetut muutokset vuoteen 2100 mennessä kolmessa RCP-skenaariossa. Merenpinnan keskimääräiset korkeudet cm:n tarkkuudella, pinta-alamuutokset kymmenen m²:n ja suhteelliset muutokset pinta-alassa yhden %:n tarkkuudella. Lähde: 2100 merenpinta Pellikka ym. 2023

2100	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
merenpinta	(cm)	(cm)	(cm)
N2000	10	25	54
kevät-kesästä 2025	-6	9	38
pinta-alan muutos	(m ²)	(m ²)	(m ²)
vuodesta 1943	19 230	8 990	880
vuodesta 2025 (ml. ruovikko)	-5 210	-15 450	-23 560
vuodesta 2025 (maa)	2 550	-7 690	-15 800
suhteessa vuoteen 2025 (maa) (%)	15	-46	-95



Kuva 8. Vedenkorkeuksien mukaiset rajat vuonna 2100 kolmessa eri RCP-skenaariossa verrattuna vuosiin 1943 ja 2025. Lähteet: ilmakehäkuva ja korkeusmalli MML (muokattu)

RCP2.6-skenaariossa maapinta-alaa tulisi vuoteen 2025 verrattuna lisää noin 2 500 m² eli noin 15 %. Korkeusmallinnuksen mukaan pinta-alaa tulisi lisää pääosin rannan itäpuolelle. Jos merenpinnan korkeus on tulevaisuudessa 25 cm RCP4.5-skenaarion mukaisesti, maapinta-alaa lähtee yli 7 000 m² eli noin puolet (46 %) verrattuna vuoteen 2025 (kuva 8). RCP8.5-skenaarion mukaan vuodesta 2025 pinta-alaa peittyisi yli 23 000 m² eli määrällisesti lähes yhtä paljon, kuin mitä vuodesta 1943 sitä on saatu (95 %). Paikoittain vesi menisi myös 1943 rantaviivan yli, erityisesti rannan länsipäässä. Lähes

ainoa veden yläpuolelle jäävä alue uudesta pinta-alasta on keskelle vakiintunut tombolo, joka on noin 1 200 m².

4.3 Geomorfologiset muodostumat

Rannan loiva profiili ja suojainen sijainti sekä poukamamainen muoto edesauttavat sedimentin kertymistä ja maankohoamisen näkyvyyttä, mikä tekee alueesta geomorfologisesti nopeasti muuttuvan. Paljastuva maa-ala luo pohjan primäärisukessiolle. Rannalle on kerrostunut rantavalleja, ja kaksi lähintä pientä saarta ovat muotoutuneet tomboloiksi.

Keskelle vakiintunut tombolo on vahvistanut etelärannan itäisen puolen poukamamaista luonnetta, mikä on nopeuttanut umpeenkasvua ja sedimentin kerääntymistä. Tombolot ovat jakaneet etelärannan erilaisten virtaus- ja sedimentaatioolosuhteiden vyöhykkeiksi. Näiden vyöhykkeiden eroja tukee havaitut sekundäärinen maankohoamisen erot eri kairauspisteissä. Merivirtojen tulokulmat ja nopeudet etelärannalla ovat pääsyy sedimentin määrän jakautumiseen havaitulla tavalla. Rannan edessä sijaitsee muutama pieni saari, joiden takia merivirtaukset kääntyvät kohti rannan keskiosaa, joka on täten voimakkaimpien virtaus- ja eroosiovoimien vaikutuksen kohteena. Sedimentti ei siis pysty laskeutumaan siihen yhtä helposti kuin suojaisessa itäpuolen loivassa poukamassa, jota suojaa myös sen edessä sijaitseva pieni saari. Virtaus hidastuu voimakkaasti tullessaan poukaman matalalle rannalle.

Läntinen eli nuorempi tombolo on korkeusmallin mukaan suurimmaksi osin vain 20–30 cm korkea, minkä takia se on altis pienemmällekin vedenpinnan nousulle ja tulville. Se voi siis tulevaisuudessa merenpinnan noustessa hävitä, ellei sekundäärinen maankohoaminen pidä sitä vedenpinnan yläpuolella. Tässä tutkimuksessa käytetyissä skenaarioissa se jää paljolti veden alle jo RCP4.5-skenaariossa ja RCP8.5-skenaariossa kokonaan, jolloin sekundäärinen maankohoaminen ei luultavasti voi pitää sitä pinnan yläpuolella (kuva 8).

Keskimmäinen tombolo oli jo osittain muodostunut vuonna 1943. Se on korkeusmallin perusteella nykyään korkeudeltaan 70–80 cm, minkä takia se ei painu veden alle vuoteen 2100 mennessä edes suurimman merenpinnan nousun skenaariossa. Rannan

ilmakuvien perusteella syntyy trendi kohti uuden tombolon muodostumista etelärannan itäpuolella, sillä vuosina 2010 ja 2025 se oli jo ruovikoitunut umpeen.

Kaksi rannalla olevaa rantavallia ovat matalia, ja peittääkseen ne molemmat veden tulisi nousta yli metrin (Hagren ym. 2024; Järvelä ym. 2025). Vanhempi rantavalli rannan itäisellä puolella oli jo muodostunut vuonna 1943, jolloin rantaviiva oli siinä kiinni. Jotta länsipuolen rantavalli peittyisi, veden tulisi nousta noin 0,5 metriä, mikä käy toteen skenaariossa RCP8.5. Itäpuolella oleva rantavalli sijaitsee keskellä olevan tombolon vieressä itäpuolella, ja RCP8.5-skenaarion toteutuessa vesiraja liikkuu siihen takaisin kiinni.

5 Pohdinta

5.1 Sekundäärinen maankohoaminen ja kasvillisuus

Kasvillisuuden muutokset sukcession myötä sekä uudet maa- ja ruovikkoalueet yleisesti ovat luoneet elinympäristön monille lajeille. Maa-alan hävitessä veden noustessa myös elinympäristö katoaa, jolloin lajisto joutuu siirtymään muualle, esimerkiksi rantaviivan mukana sisämaata kohti tai täysin uusille alueille ja toisille saarille.

Tällaisia muutoksia tulee tapahtumaan myös tutkimusalueen ulkopuolella. Silloin muutokset ovat vielä merkittävämpiä, sillä sopivan elintilan löytäminen voi tulla haasteelliseksi tutkimusalueelta pois muuttaville, koska Saaristomeren saaret ovat keskimäärin pieniä. Ihmistoiminnalla on mahdollisuus muuttaa rannan tulevaisuutta, esimerkiksi kasvillisuuden ohjauksen avulla, jos merenpinnan nousu ei peitä rantaa. Seilin tapauksessa näillä toimilla voi olla vaikutuksia suojeltujen lajien, kuten pikkuapollon (*Parnassius mnemosyne*), ympäristöille. Tulevaisuudessa uhanalaisia tai muuten suojelua tarvitsevia lajeja voi olla elinympäristön muutosten takia myös runsaasti enemmän, minkä vuoksi ihmisten tekemien suojelutoimien tarve myös kasvaa entisestään.

Sekundäärinen maankohoaminen on pääasiassa tapahtunut silloin, kun alue on veden ja sen virtauksen vaikutuksen alla. Ilman sedimenttianalyysiä voidaan ajoittaa vain se hetki, jolloin sedimentaatio päättyi, eli kun alue nousi pysyvästi veden yläpuolelle. Tehokkain sedimentaatio kuitenkin tapahtuu matalassa alle muutaman metrin vedessä, kun aallokon virtausenergia on tarpeeksi vähäinen. Pienen raekoon aines, kuten savi ja siltti, laskeutuu vasta hyvin hitaassa virtauksessa, kun taas suuremman raekoon aines, kuten hiekka, laskeutuu jo hieman voimakkaammassakin virtauksessa. Pieni hiekkakerros kairauspisteessä 2 kertoo hiekkarantavaiheesta, jolloin ruovikko on pisteen kohdalle levinnyt, mutta tarkkaa ajoitusta ei tämän tutkimuksen aineistolla saa.

Kairaukset, muut ympäristöhavainnot ja ilmakuvatkin tukevat sitä, että Seilin etelärannalla tapahtuu sukcessiota, mutta se ei etene kaikkialla tasaisesti tai luonnontilaisena. Muun muassa suojelutoimet ovat muokanneet kasvillisuuden vaiheita etenkin viime vuosikymmeninä. Seilin saaren ihmistoiminnan muutokset tutkimuksen

aikajanan sisällä 1960-luvulla, kun sairaalatoimet lopetettiin ja tutkimuslaitoksen toiminta aloitettiin, ovat voineet vaikuttaa saaren maankäyttöön ja luonnonhoitoon.

Rantaviivan läheisyydessä kasvillisuus ja rannan primäärisukcession ensimmäinen vaihe tällä maankohoamisrannalla koostuvat kosteutta kestävästä ja ajoittain tulvivan ympäristön lajistosta, pääosin ruovikosta. Ruovikko muuttuu hitaasti niityksi, mikä näkyy ruovikon aluemuutoksissa (kuva 7, taulukko 2). Kauempana sisämaassa alkavat tyypilliset erilaiset metsäalueet eli tervalepikkö, pähkinäpensaslehto ja havumetsä (Järvelä ym. 2025). Rantaviiva oli vuonna 1943 lähes puurajassa, eikä ruovikkoa näyttänyt juurikaan esiintyvän. Itäpuolella maa-alue oli paljolti puuton, nähtävästi ruohikko- ja niittyaluetta, niin kuin vuonna 2025. Vuoteen 2025 mennessä ruovikkoa on muuttunut paljon niittyvyöhykkeeksi eli myös vakiintuneemmaksi maa-alaksi etenkin rannan itäpuolella. Puuraja on siirtynyt jopa 21 metriä. Jos vesi nousee 54 cm, vain puurajan muutokset jäävät selvästi näkyviin verrattuna vuoteen 1943. Välissä olevat sukcession vyöhykkeet voivat kadota kokonaan jäädessään vedenpinnan alle.

5.2 Geomorfologia ja rantaviiva

Etelärannan suojainen muoto ja sijainti on keskeinen lähtökohta rannan kehityksen tarkastelulle. Rantaviiva ei ole aina edennyt lineaarisesti vuosien varrella, mikä johtuu monista vaihtelevista ilmasto- ja meri-ilmiöistä, joilla on vaikutusta etenkin aaltojen voimakkuuteen ja merenpinnan korkeuteen. Tombolot sekä rannan edustalla sijaitsevat saaret vaimentavat ja ohjaavat aalto- ja virtausenergiaa, minkä seurauksena avoimille rannikoille tyypilliset vesiprosessit eivät vaikuta alueella yhtä intensiivisesti. Tämä luo positiivisen takaisinkytkentäilmiön, jossa tomboloiden synty, ruovikoituminen ja sedimentaatio voimistavat toisiaan ja sen kautta itseään.

Suojaisa vesialue itäisen reunan poukamassa saarten välissä voi tulevaisuudessa täyttyä ruovikolla ja sedimentillä laajemmin. Tulevaisuuden skenaarioissa vedenkorkeuden noustessa tarpeeksi, kolmatta tomboloa ei kuitenkaan synny, tai se tulee olemaan lyhytikäinen. Tämä riippuu vedenkorkeuden lisäksi sekundäärisen maankohoamisen tehokkuudesta ja täten myös ruovikkoalueen kehityksestä, joka puolestaan riippuu osittain ihmistoiminnasta. Alhaisimman merenpinnannousun skenaariossa (RCP2.6) tombolo luultavasti muodostuu, ellei ruovikon määrä vähene

merkittävästi, jolloin sedimentaatiokin hidastuisi. Todennäköisintä on jokin RCP2.6:n ja RCP4.5:n välillä, jolloin rantaviiva siirtyisi kohti sisämaata, mutta korkeintaan 46 % maasta peittyisi (Teske 2025).

Tulevaisuudessa tulvien aikaan vedenpinnan korkeus voi ajoittain tulviessaan nousta usean metrin verran (Kivirinne ym. 2024). Tällöin myös korkeampi rantavalli jäisi ajoittain veden alle, ja ilmastonmuutoksen voimistuessa voimistuvien ja yleistyvien tulvien ja merivirtausten mukana murtovetä voi jäädä enemmän rantavallin takana sijaitsevaan tulva-altaaseen. Suolaisuuden kasvu altaassa voi vaikuttaa sen lajistoon. Allas on ennestään luultavasti täyttynyt myös sen viereisellä rinteellä sijaitsevan lähteen vedellä (Järvelä ym. 2025).

Ruovikon suuri pinta-ala vuonna 2010 ja sitä ennen kertoo siitä, ettei maanpinta ole ollut kauan merenpinnan yläpuolella, kun taas sen jälkeen ruovikkoaluetta on vakiintunut kiinteämmäksi maa-alaksi, mikä on edistänyt suknessiota. Kurrin ym. tutkimusraportin (2024) asiantuntijahaastattelussa myös mainitaan, että ruovikoitumiseen on puututtu vasta viime vuosikymmeninä. Tulevaisuuden ilmastoskenaarioiden mukaan merenpinta ei laske vaan pysyy vähintään suunnilleen nykyisellä tasolla suhteessa maahan. Tämä tarkoittaa, ettei ruovikko enää muunnu niityksi samalla tavoin, sillä vyöhyke pysyy veden vaikutuksen alaisena pidempään. Sukcession vaiheiden kehityksen jatkumisesta tai nopeudesta ei siis ole varmuutta.

Rannikkoprosessit, voimakkaat myrskyt ja rankkasateet voivat hävittää sedimentaatiomuodostumia tai vaikuttaa myös kasvillisuuteen. Pitkän ajan kuluessa ne kuuluvat rannan dynamiikkaan, mutta tulevaisuuden arvioissa tulee ottaa huomioon, että ilmastonmuutoksen arvioidaan voimistavan myrskyjä ja muita sään ääri-ilmiöitä entisestään. Tämä voi vaikuttaa ennalta arvaamattomilla tavoilla rannan muotoutumiseen, esimerkiksi estämällä uusien muodostumien, kuten tombolon, synnyn tai muuttamalla rantaviivaa voimistamalla eroosiota.

5.3 Jatkotutkimukset

Monien epävarmuustekijöiden sekä aineiston puutteiden takia tutkimus osoittaa tarpeen jatkotutkimuksille erityisesti sekundäärisen maankohoamisen ajoituksen

puolesta. Luotettavamman ja yleistettävän kokonaiskuvan saavuttamiseksi tutkimusaluetta olisi perusteltua laajentaa Saaristomerellä, tai muille rannikkoalueille, kuten Selkämerelle, Perämerelle tai Suomenlahdelle, joissa ilmasto, maankohoamisnopeus ja rannikkoprosessit poikkeavat toisistaan.

Laajempi kairausdatan kerääminen olisi tärkeää esimerkiksi useammilta saarilta tai geomorfologisesti ja biologisesti erilaisilta rannoilta monipuolisemman tutkimuksen ja vertailun vuoksi. Tähän tutkimukseen valitut saatavilla olleet kairauspisteet sijaitsivat nykyisen rantaviivan alueella, mutta sekundäärinen maankohoamisen tarkempi tutkiminen edellyttäisi tarkempia näytteitä myös muualta rantavyöhykkeeltä.

Kairausaineistoa voitaisiin analysoida yksityiskohtaisemmin erilaisten sedimenttianalyyseiden avulla, jolloin voitaisiin saada tarkempia arvioita sekundäärinen maankohoamisen nopeudesta ja sen mahdollisista vaikutuksista esitettyihin tulevaisuudenkuviin.

Kairausdataa ja esimerkiksi lajihavaintoja voisi käyttää myös ekologisen aiheen näkökulmassa, jos halutaan tutkia esimerkiksi sukessiota tai ruovikoitumista tarkemmin. Meren syvyysaineiston tai vesinäytteiden kerääminen auttaisi sedimentaation ja ruovikoitumisen ajoituksen ja jatkumisen tutkimuksessa.

Tulevaisuudessa tulee olemaan entistä tarkempaa korkeusmalliaineistoa, jonka avulla tämän tutkimuksen analyysit voitaisiin suorittaa uudestaan (Korkeusmalli 2 m s.a.).

6 Johtopäätökset

- Seilin etelärannalla on tapahtunut suuria pinta-alamuutoksia sekä muita geomorfologisia ja ekologisia muutoksia. Rannalle on muotoutunut kaksi tomboloa. Vuoteen 2025 mennessä maapinta-alaa on tullut yli 16 000 m² ja ruovikkovyöhyke oli vuonna 2025 yli 7 000 m², kun taas vuonna 1943 kunnollista ruovikkovyöhykettä ei ollut.
- Maankohoaminen, ruovikoituminen ja pinta-alamuutokset ovat saaneet aikaan primäärisuknessiota, jolloin ruovikkoinen uusi pinta-ala on muuttunut niityksi, ja puuraja on siirtynyt keskimäärin 13 metriä ja paikoittain jopa 21 metriä kohti rantaviivaa.
- Tulevaisuudessa on odotettavissa merenpinnan korkeudeksi 10–54 cm (N2000). Jos merenpinnan nousu ja maankohoaminen ovat suunnilleen yhtä suuret (RCP2.6), suknessio jatkuu ja sekundäärinen maankohoaminen sekä ruovikoituminen voivat jatkuu. Rannalle syntyy tällöin mahdollisesti myös kolmas tombolo. Voimakkaimman (RCP8.5) merenpinnan nousun tapahtuessa vuodesta 1943 saatu pinta-ala jää lähes kokonaan veden alle, ylittäen paikoittain myös 2025 puurajan. Tällä hetkellä todennäköisintä on, että maata jää veden alle, mutta korkeintaan 46 % (RCP2.6–4.5).
- Sekundääristä maankohoamista on nähtävissä kaikissa kolmessa kairauspisteessä, länsipäässä 21 cm, keskialueella 16 cm ja itäpuolella 28 cm. Määrät ovat muun muassa rannan suojaisuusvyöhykkeiden ja rantaviivan siirtymisnopeuden mukaisia. Kerrokset koostuvat pääosin ruovikon jäänteistä ja niiden väliin jääneestä sedimentistä.

Lähteet

- Archipelago Sea Area (s.a.) Man and the Biosphere Programme (MAB). UNESCO, Pariisi.
<https://www.unesco.org/en/mab/archipelago-sea-area> 29.4.2026.
- Biosfääri-alueet ovat kestävän kehityksen mallialueita (s.a.) Ympäristöministeriö, Helsinki. <https://ym.fi/biosfaarialueet> 29.4.2026.
- de Mahiques, M.M. (2016). Tombolo. *Kennish, M.J. (eds) Encyclopedia of Estuaries. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_349
- Hagren, J., Tiilikka, M., Kurvinen, T. & Koskinen, V. (2024) Seilin rantaviivan muutokset 1600-luvulta nykypäivään. Maantieteen kenttäkurssi, Turun yliopisto.
- Historialliset ilmakuvat 1943–2025. Maanmittauslaitos, Helsinki.
- Holden, J. (2017) An Introduction to Physical Geography and the Environment. 4. p. Pearson Education Limited, Lontoo. 584–623.
- Itämeri numeroina (s.a.) Suomen ympäristökeskus. <https://itameri.fi/luonto-ja-sen-muutos/itameri-numeroina/> 20.1.2026.
- Johansson, P., Lunkka, J. P. & Sarala, P. (2011) The Glaciation of Finland. *Developments in Quaternary Sciences, Elsevier*. 15/2011, 105-116. <https://doi-org.ezproxy.utu.fi:2443/10.1016/B978-0-444-53447-7.00009-X>
- Järvelä, A., Karppinen, N., Koort, M., Korpela, K. & Seppälä, I. (2025) Maankohoamisrannan dynamiikka – kerroksellisuus ja vyöhykkeisyys Seilin etelärannalla. Maantieteen kenttäkurssi, Turun yliopisto.
- Kivirinne, L., Leksis, I., Rummukainen, V. & Viljanen, S. (2024) Rantaviivan siirtyminen Saaristoympäristössä: Seilin saaren rantaviivan siirtyminen 2100-luvulle mennessä eri ilmastonmuutosskenaarioissa. Maantieteen kenttäkurssi, Turun yliopisto.
- Korkeusmalli 2 m (s.a.) Maanmittauslaitos, Helsinki.
- Kurri, M., Kähärä, T. & Hillgén, K. (2024) Ruovikoituminen ja maisemanhoito Seilin saaren alueella. Maantieteen kenttäkurssi, Turun yliopisto.
- Käyntimäärät maastossa 2018–2024. Metsähallitus, Vantaa.
<https://www.metsa.fi/vapaa-aika-luonnossa/kayntimaarat/kayntimaarat-maastossa/> 18.1.2026.

Maannousu (s.a.) Maanmittauslaitos, Helsinki.

<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/maannousu> 18.1.2026.

Mussaari, M. (2021) Luonnonhoidon kokonaissuunnitelma Saaristomeren luonnonsuojelualueille. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja C 176. Metsähallitus, Vantaa.

Natura 2000 -verkosto (s.a). Ympäristöministeriö, Helsinki. <https://ym.fi/natura-2000-verkosto> 18.1.2026.

Pellikka, H., Johansson, M., Nordman, M. & Ruosteenoja, K. (2023) Probabilistic projections and past trends of sea level rise in Finland. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 23(4): 1613–1630. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1613-2023>.

Raatikainen, K. (2018) *Tavoitteet teoiksi! Metsähallituksen Luontopalvelujen suuntaviivat perinnebiotooppien hoidolle 2025*. Metsähallitus, Vantaa. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisu/tavoitteet-teoiksi-metsahallituksen-luontopalvelujen-suuntaviivat-perinnebiotooppien-hoidolle-2025/> 7.4.2026.

Saaristomeri – ainutlaatuinen maailmassa (s.a.) Varsinais-Suomen liitto, Turku. <https://varsinais-suomi.fi/varsinais-suomi/saaristomeri/> 29.1.2026.

Seilin saaren historia (s.a.) Luontoon, Metsähallitus, Vantaa. <https://www.luontoon.fi/fi/kohteet/seili/historia> 20.1.2026.

Siegert, M. J., Dowdeswell, J. A., Hald, M. & Svendsen, J.-I. (2001) Modelling the Eurasian Ice Sheet through a Full (Weichselian) Glacial Cycle. *Global and Planetary Change*, 31 (1–4), 367–385. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00130-8).

Sustainable utilisation of coastal reedbeds (2021) Coastal Reed Project, John Nurminen Foundation.

Teske, S. (2025) Earth is heading for 2.7°C warming this century. We may avoid the worst climate scenarios – but the outlook is still dire. *The Conversation*, Pariisi. <https://doi.org/10.64628/AA.chn95vddq>

Tunnuslukuja väestöstä alueittain, 1990–2024. Tilastokeskus, Helsinki.

Vedenkorkeusjärjestelmien muunnosluvut (s.a.) Ilmatieteen laitos, Helsinki. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/muunnosluvut> 8.4.2026.

Vedenkorkeus, merihavainnot (s.a.) Ilmatieteen laitos, Helsinki. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus> 2.3.2026.

Weis, J.S. (2016). Invasive Species. Kennish, M.J. (toim.) *Encyclopedia of Estuaries*.
Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_20