

Laihian ja Vöyrin seudun murtoot ja potentiaaliset paleoblisterit

Maantiede

Pro gradu -tutkielma

Essi Lappi

20.5.2026

Turku

Pro gradu -tutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Maantiede, Filosofian maisteri, Maantieteen linja

Tekijä: Essi Lappi

Otsikko: Laihian ja Vöyrin seudun murtoot ja potentiaaliset paleoblisterit

Ohjaaja: Joni Mäkinen

Sivumäärä: 69 sivua + 1 liitesivu

Päivämäärä: 20.5.2026

Viimeisin jääkausi Veiksel sekä jäätikön sulaminen jääkauden lopussa ovat synnyttäneet Suomessa monenlaisia geomorfologisia muodostumia. Kehittyneen LiDAR-tekniikan (*light detection and ranging*) avulla on viime vuosien aikana pystytty jo tunnettujen muodostumien lisäksi tunnistamaan uudenlaisia geomorfologisia muodostumia, kuten kolmion tai V-kirjaimen muotoisia murtoita ja pyöreähköjä painanteita, paleoblisteriteitä. Murtoot ovat yhteydessä jäänalasiin sulamisvesijärjestelmiin, ja niiden tutkiminen tarjoaa järjestelmistä uutta tietoa. Murtoilla saattaa olla yhteys myös paleoblistereihin.

Tutkielman tavoitteena on tutkia murtoiden ja potentiaalisten paleoblisterien sijoittumista tutkimusalueella Laihian ja Vöyrin seudulla sekä sitä, millainen suhde näillä muodostumilla on ympäristöönsä. Tutkimuksessa käytin aineistoina esimerkiksi rinnevarjosteaineistoa, korkeusmalliaineistoa, aineistoa jäätikkösyntyisistä maaperämuodostumista sekä aineistoa jäänalaisista sulamisvesireiteistä. Käsittelin aineistoja erilaisin paikkatietomenetelmin. Kävin myös tutkimusalueella tekemässä kairauksia potentiaalisessa paleoblisterissä.

Löysin tutkimusalueelta 17 murtoota, 35 epäselvää murtoota ja kolme potentiaalista paleoblisteriä. Murtoot ja potentiaaliset paleoblisterit sijaitsivat melko korkealla ympäristöönsä nähden, ja kaikki muodostumat olivat sijoittuneet murtoisiin liittyvien sulamisvesireittien läheisyyteen. Osa epäselvistä murtoista sijaitsi harjujen alkupäiden lähistöllä, ja kaikki potentiaaliset paleoblisterit sijaitsivat De Geer -moreenikenttien reunojen läheisyydessä.

Epäselvien murtoiden esiintyminen harjujen lähellä voi viitata siihen, että murtooreitit edustavat kanavoituneiden ja hajautuneiden sulamisvesireittien välisiä, puolihajautuneita sulamisvesireittejä. Paleoblisterieillä on luultavasti jonkinlainen yhteys murtoisiin, sillä kolmesta potentiaalisesta paleoblisteristä kahden läheisyydessä esiintyi murto tai epäselvä murto. Potentiaalisten paleoblisterien sijainti De Geer -moreenikenttien reunoilla voi viitata siihen, että paleoblisterit ovat yhteydessä myös De Geer -moreeneihin.

Saamani tulokset murtoista ja potentiaalisista paleoblisterieistä vastaavat melko hyvin aikaisempia tutkimustuloksia. Lisää tutkimusta murtoista ja paleoblisterieistä kuitenkin tarvitaan, sillä se voi auttaa ymmärtämään nykyajan jäätiköiden dynamiikkaa ilmaston lämmetessä.

Avainsanat: murto, paleoblisteri, sulamisvesijärjestelmä, glasiaalidynamiikka, deglasiaatio

Master's thesis

Subject: Geography

Author: Essi Lappi

Title: Laihian ja Vöyriin seudun murtoot ja potentiaaliset paleoblisterit

Supervisor: Joni Mäkinen

Number of pages: 69 pages + 1 appendix page

Date: 20.5.2026

The last ice age, the Weichsel, and the melting of the glacier at the end of the ice age have created a variety of geomorphological formations in Finland. In addition to already known formations, advanced LiDAR technology (light detection and ranging) has made it possible to identify new types of geomorphological formations in recent years, such as triangular or V-shaped murtoos and roundish depressions, paleoblister. Murtoos are connected to subglacial meltwater systems, and studying them provides new information about the systems. Murtoos may also be connected to paleoblister.

The aim of this study is to investigate the location of murtoos and potential paleoblister in the study area in Laihia and Vöyri regions and the relationship between these formations and their environment. In the study I used, for example, hillshade data, elevation model data, data from glacial formations and data from subglacial meltwater routes. I processed the data using various geospatial analysis methods. I also visited the study site to do some drillings in a potential paleoblister.

I found 17 murtoos, 35 unclear murtoos and three potential paleoblister in the study area. The murtoos and potential paleoblister were located quite high in relation to their surroundings, and all the formations were located near the meltwater routes associated with murtoos. Some of the unclear murtoos were located near the beginnings of eskers, and all the potential paleoblister were located near the edges of De Geer moraine fields.

The presence of unclear murtoos near eskers may indicate that murtoo routes represent semi-distributed meltwater routes between channelized and distributed meltwater systems. Paleoblister probably have a connection to murtoos, as two of the three potential paleoblister had murtoos or unclear murtoos in their vicinity. The location of the potential paleoblister at the edges of De Geer moraine fields may indicate that the paleoblister are also connected to De Geer moraines.

My results on murtoos and potential paleoblister are quite consistent with previous research results. However, more research on murtoos and paleoblister is needed, as it may help to understand the dynamics of modern glaciers as the climate is warming.

Keywords: murtoo, paleoblister, meltwater system, glacial dynamics, deglaciation

Sisällysluettelo

1	Johdanto	6
2	Teoriatausta	8
2.1	Veiksel-jäätiköityminen ja deglasiaatio	8
2.2	Jäätikön dynamiikka Suomessa	10
2.3	Sulamisvesijärjestelmät	11
2.4	Murtoot	13
2.4.1	Morfologiset piirteet	13
2.4.2	Luokittelu	16
2.4.3	Synty tapa	18
2.4.4	Esiintyminen Suomessa	19
2.4.5	Yhteys muihin geomorfologisiin muodostumiin	20
2.5	Paleoblisterit	21
2.5.1	Morfologiset piirteet	21
2.5.2	Synty tapa	22
2.5.3	Esiintyminen Suomessa	23
2.5.4	Yhteys muihin geomorfologisiin muodostumiin	25
2.6	Muut jääkauden aiheuttamat muodostumat	25
3	Tutkimusalue	27
4	Aineistot ja menetelmät	31
4.1	Aineistot	31
4.2	Menetelmät	31
5	Tulokset	35
5.1	Murtoot	35
5.1.1	Alueellinen jakautuminen	35
5.1.2	Jakautuminen murtootyyppeihin	36
5.2	Potentiaaliset paleoblisterit	41
5.3	Murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden yhteys topografiaan	48
5.4	Murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden yhteys geomorfologiaan	52
6	Keskustelu	58

6.1	Murtoot	58
6.2	Potentiaaliset paleoblisterit	60
6.3	Yhteys topografiaan ja geomorfologiaan	61
6.4	Tutkimuksen epävarmuustekijät ja rajoitteet	62
6.5	Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimustarpeet	63
7	Johtopäätökset	64
	Kiitokset	65
	Lähteet	66
	Liitteet	70
	Liite 1. Epäselvien murtoiden koordinaatit	70

1 Johdanto

Jäätiköitymisellä ja deglasiaatiolla on ollut merkittävä vaikutus Suomen luontoon ja geomorfologiaan (Mäkinen ym. 2007: 24), ja Suomesta löytyykin monenlaisia jääkauden aiheuttamia muodostumia (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007). Kun LiDAR-teknologia (*light detection and ranging*) on viime vuosien aikana kehittynyt (Putkinen ym. 2017: 65), sen avulla on voitu tunnistaa uudenlaisia geomorfologisia muodostumia, kuten murtoita (Mäkinen ym. 2017) ja paleoblistereitä (Mäkinen ym. 2023b).

Jäätikön sulaessa sulamisvedet muodostavat jään alle sulamisvesireittejä, jotka voidaan jaotella hajautuneisiin ja kanavoituneisiin reitteihin (Werder ym. 2013: 2140). Eräänlaisia jäänalaisia sulamisvesireittejä ovat murtooreitit, joiden varrella esiintyy murtoita (Ahokangas ym. 2021: 4). Tällaiset sulamisvesireitit saattavat yhdistää kanavoituneet ja hajautuneet sulamisvesijärjestelmät toisiinsa (Mäkinen ym. 2017: 52). Murtookenttien läheltä on löydetty paleoblistereitä, jotka liittyvät mahdollisesti murtoisiin (Hannula ym. 2024: 97).

Tutkielman tutkimusalue Laihian ja Vöyrin seudulla on murtoiden suhteen poikkeuksellinen, sillä se sijaitsee alueella, jonka päällä on sijainnut sekä aktiivisen että passiivisen jäätikön alueet. Passiivisen jäätikön alueella murtoita esiintyy vähemmän, mutta murtooreittejä on tutkimusalueen passiivisen jään alueelta löydetty (Ahokangas ym. 2021: 3, 17).

Murtoiden ja paleoblistereiden tutkiminen on tärkeää ja ajankohtaista, sillä molemmat muodostumatyyppit on löydetty äskettäin, ja niitä on tutkittu Suomessa vasta hyvin vähän. Lisäksi paleoblistereitä ei ole kartoitettu tutkimusalueeltani aikaisemmin. Tutkimus lisää tietoa murtoista ja paleoblistereistä sekä glasiaalidynamiikasta laajemmin, ja mahdollisesti myös murtooreittien yhteydestä kanavoituneisiin ja hajautuneisiin sulamisvesijärjestelmiin. Murtoiden ja paleoblistereiden tutkimus on tärkeää myös erityisesti sen vuoksi, että se voi auttaa ymmärtämään nykyajan jäätiköiden dynamiikkaa ja muutoksia lämpenevässä ilmastossa (Ojala ym. 2021, 2022a; Hannula ym. 2024).

Tutkielman tavoitteena on tutkia, millaisia murtoita ja potentiaalisia paleoblistereitä Laihian ja Vöyrin seudulla on, ja miten ne ovat jakautuneet alueellisesti. Tavoitteena on

myös tutkia, millainen suhde näillä muodostumilla on toisiinsa ja alueen muihin jääkauden aiheuttamiin muodostumiin sekä alueen glasiaalidynamiikkaan.

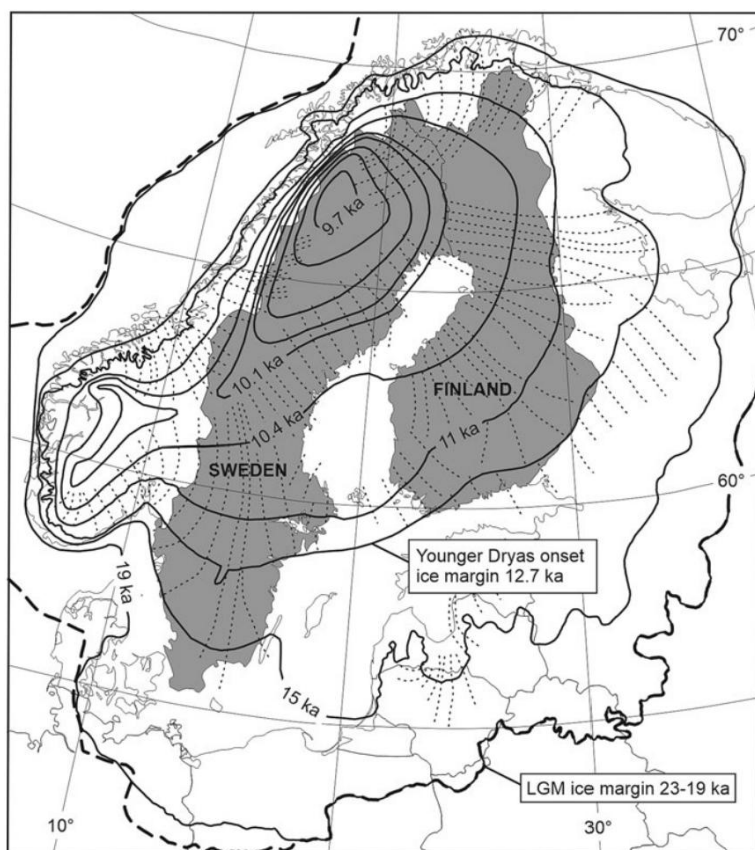
Tutkielman tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten tutkimusalueen murtoot ovat jakautuneet alueellisesti ja eri murtootyyp-
pien välillä?
2. Miten tutkimusalueen potentiaaliset paleoblisterit ovat jakautuneet alueelli-
sesti?
3. Mikä on tutkimusalueen murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden suhde
alueen topografiaan, muuhun geomorfologiaan sekä glasiaalidynamiikkaan?

2 Teoriatausta

2.1 Veiksel-jäätiköityminen ja deglasiaatio

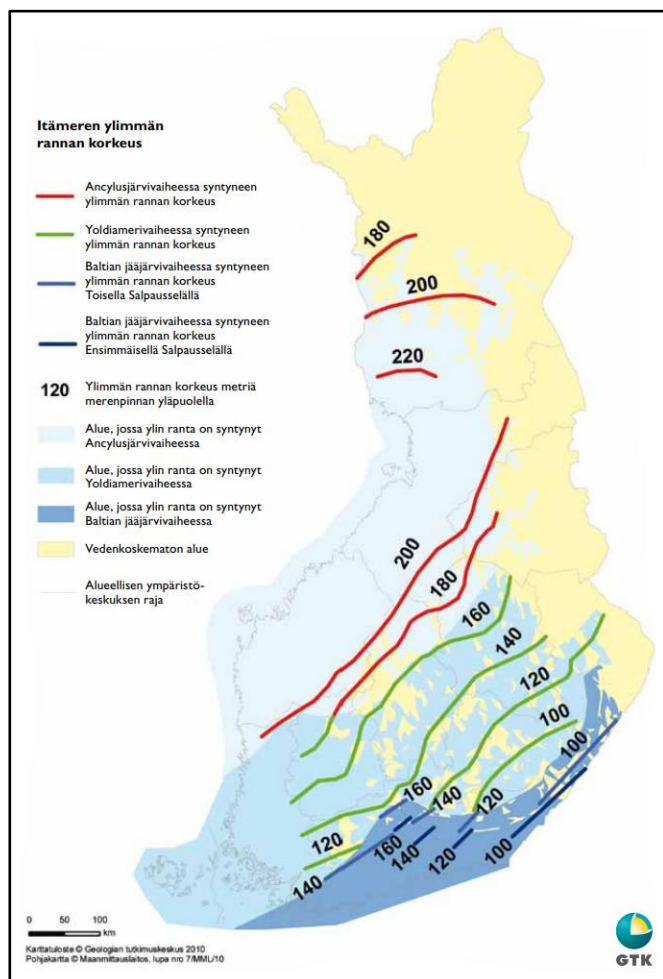
Pohjois-Euroopan viimeisin jääkausi Veiksel alkoi noin 115 000 vuotta sitten (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 10). Noin 30 000–25 000 vuotta sitten jäätikkö peitti koko Suomen, ja jääkauden huippukohdan aikaan noin 23 000–19 000 vuotta sitten jäämassa peitti koko Fennoskandian ja ulottui jopa Luoteis-Venäjälle ja Pohjois-Saksaan asti (kuva 1) (Ojala ym. 2022b: 2878). Jään arvioidaan olleen paikoittain jopa kolmen kilometrin paksuista (Patton ym. 2015: 1064).



Kuva 1. Fennoskandian mannerjäätikön laajuus ja deglasiaation vaiheet Veiksel-jääkauden loppuvaiheessa tuhansina vuosina (ka). (Lähde: Ojala ym. 2019: 117)

Veiksel-jääkauden deglasiaatio eli jäätikön sulaminen alkoi noin 17 000 vuotta sitten, ja noin 12 700 vuotta sitten sulaminen pysähtyi, kun kylmyys lisääntyi äkillisesti (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 10). Tämä vaihe on nimeltään Nuorempi Dryas, ja Veiksel-jääkauden katsotaan päättyneen, kun Nuorempi Dryas noin 11 500 vuotta sitten päättyi. Noin 10 000 vuotta sitten viimeisimmätkin jäät olivat vetäytyneet pois Suomesta.

Ylimmällä rannalla tarkoitetaan Itämeren pinnan tasoa deglasiation aikana, kun jään sulaessa maa-alueita jäi veden alle jäätikön reunan edustalla (Mäkinen ym. 2011: 41). Ylin ranta sijaitsee Suomessa eri korkeuksilla alueesta riippuen sen vuoksi, että se on syntynyt vaihteittain ajan kuluessa (kuva 2). Ylimmän rannan alueella sijaitsee usein esimerkiksi lohkareikkoja ja pirunpeltoja.



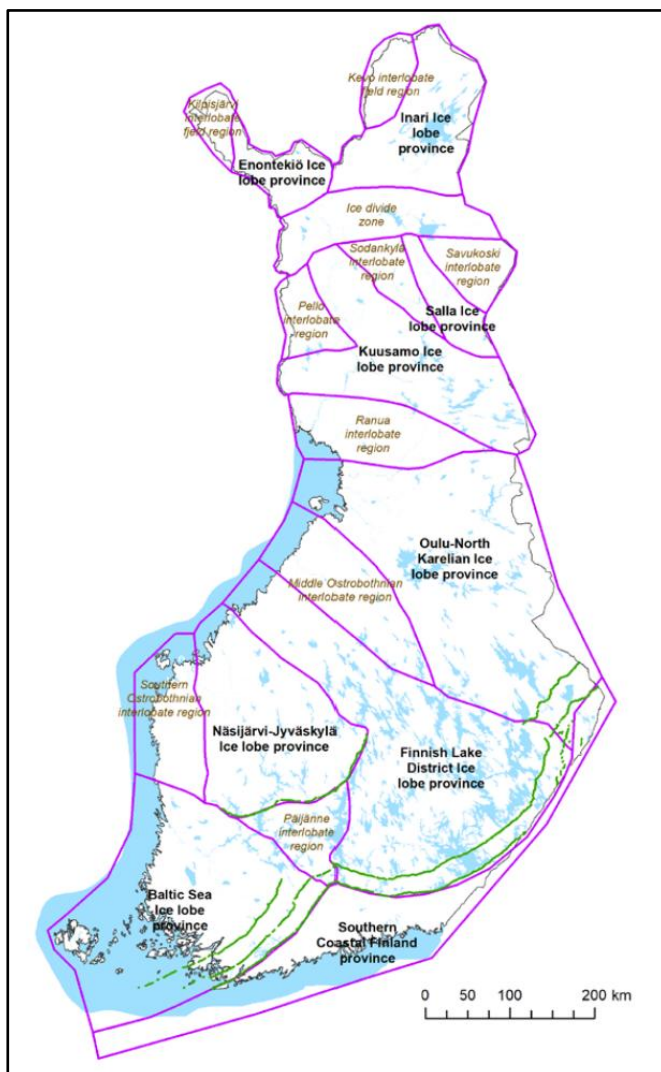
Kuva 2. Deglasiation aikana Itämeren peitossa olleet alueet ja ylimmän rannan korkeudet. (Lähde: Mäkinen ym. 2011: 48)

Mannerjäätikön valtava paino aiheutti sen, että maankuori on tälläkin hetkellä kohoamassa takaisin jääkautta edeltävään tilaansa, jolloin puhutaan maankohoamisesta (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 10). Suomessa maankohoaminen on suurinta Merenkurkussa, jossa kohoamista tapahtuu sadassa vuodessa lähes metri. Pienintä maankohoaminen taas on Kaakkois-Suomessa, jossa se on alle 20 senttimetriä sadan vuoden aikana.

2.2 Jäätikön dynamiikka Suomessa

Glasiiaalidynamiikalla tarkoitetaan jäätikön ja sen sulamisvesien liikkeitä (Tuunainen ym. 2021). Mannerjäätikkö voi olla joko lämmin- tai kylmäpohjainen (Ballantyne ym. 2006; Atkins 2013). Lämminpohjainen jäätikkö tarkoittaa sitä, että sen pohjassa on sulaa vettä, eli se ei ole jäänyt kokonaan pohjaan asti (Ballantyne ym. 2006: 2053–2054). Kylmäpohjaisella jäätiköllä taas tarkoitetaan vastaavasti sitä, että jäätikön ja maaperän välissä ei ole sulaa vettä, eli jäätikkö on jäänyt alustaansa kiinni (Atkins 2013: 1).

Deglasiaation aikana jäätikkö vetäytyi eri osissa Suomea hieman eri suuntiin, ja tämän perusteella Suomi voidaan jakaa yhdeksään jäänkielekevirta-alueeseen ja yhdeksään kielekkeidenväliseen alueeseen eli interlobaattialueeseen (*interlobate region*) (kuva 3) (Ahokangas ym. 2021: 3–4; Ojala ym. 2022a: 2878). Tämä jako perustuu esimerkiksi laajojen jään reunavyöhykkeiden sekä harjujärjestelmien sijaintiin (Tikkanen 2002: 28). Jäänkielekevirta-alueita rajaavat reunoilta yleensä harjut ja erilaiset moreenimuodostumat, ja niiden distaaliosat päättyvät usein reunamuodostumiin, jotka muodostuvat deltoista, sandureista ja moreeniseläntheistä (Ahokangas ym. 2021: 4).



Kuva 3. Jäänkielekevirta-alueet Suomessa. Salpausselät ja muut merkittävät reunamuodostumat on merkitty vihreällä. (Lähde: Palmu ym. 2021: 125, muokattu)

Interlobaattialueilla jäätikön liike on ollut vähäistä (Ahokangas ym. 2021: 4). Osa tällaisista alueista on ollut kylmäpohjaisia, ja jään liike on viereisiin jäänkielekevirta-alueisiin verrattuna ollut passiivista. Jäänkielekevirta-alueiden ja interlobaattialueiden lisäksi Suomesta löytyy Lapin jäänjakaja-alue, jossa jäätikkö ei juurikaan liikkunut, mutta sen ulkopuolella jää on virrannut alueesta pois (Mäkinen ym. 2007: 31, 83).

2.3 Sulamisvesijärjestelmät

Jäätiköiden sulamisvesijärjestelmä voidaan jakaa supra-, en- ja subglasiaaliseen järjestelmään (Eyles 2006: 257). Näillä tarkoitetaan jään päällä, sisällä ja alla kulkevia sulamisvesiä. Jään päällä vesi kerääntyy supraglasiialisiin järviin, lampiin, puroihin ja jokiin (Smith ym. 2015: 1001). Jäätikön sisällä kulkevat eli englasiialiset sulamisvedet saavat

alkunsa jään päältä, ja liikkuvat jään sisällä esimerkiksi jäätikkökaivoja ja railoja pitkin. Jäätikkökaivot ovat pystysuoria tunneleita, jotka kulkevat jäätikössä sen koko matkalta (Hannula ym. 2024: 89). Ne voivat olla kartion tai sylinterin muotoisia tai monimutkaisempia, ja leveydeltään ne ovat muutamien senttimetrien ja kymmenien metrien välillä. Jäätikkökaivon muoto ja rakenne vaikuttavat siihen, miten paljon vettä sinne voi varastoitua: mitä suurempi ja yksinkertaisempi reitti, sitä nopeammin vesi kulkee jäätikön pinnalta sen pohjalle.

Jäänalainen eli subglasiaalinen sulamisvesijärjestelmä voidaan edelleen jakaa nopeisiin kanavoituneisiin (*channelized*) ja hitaisiin hajautuneisiin (*distributed*) sulamisvesireitteihin (Werder ym. 2013: 2140). Kanavoituneita sulamisvesireittejä ovat esimerkiksi R-kanavat eli Röthlisberger-kanavat (Röthlisberger 1972; Boulton ym. 2009: 621). Ne ovat ympyrän tai puoliympyrän muotoisia tunneleita, jotka kulkevat jäätikön alla (Werder & Funk 2009: 902). Harjut syntyvät R-kanaviin (Ahokangas ym. 2021: 1).

Hajautuneita sulamisvesireittejä taas edustavat esimerkiksi N-kanavat eli Nye-kanavat (Nye 1973; Hewitt 2011: 303). N-kanavien tapauksessa jään alla oleva kallioperä kuluu veden virtauksen seurauksena, ja kanava ikään kuin kaivautuu kallioon (Eyles 2006: 259). Hajautuneiden ja kanavoituneiden reittien välissä olevan sulamisvesiverkoston muodostumistapa on kuitenkin pääosin tuntematon (Ahokangas ym. 2021: 1).

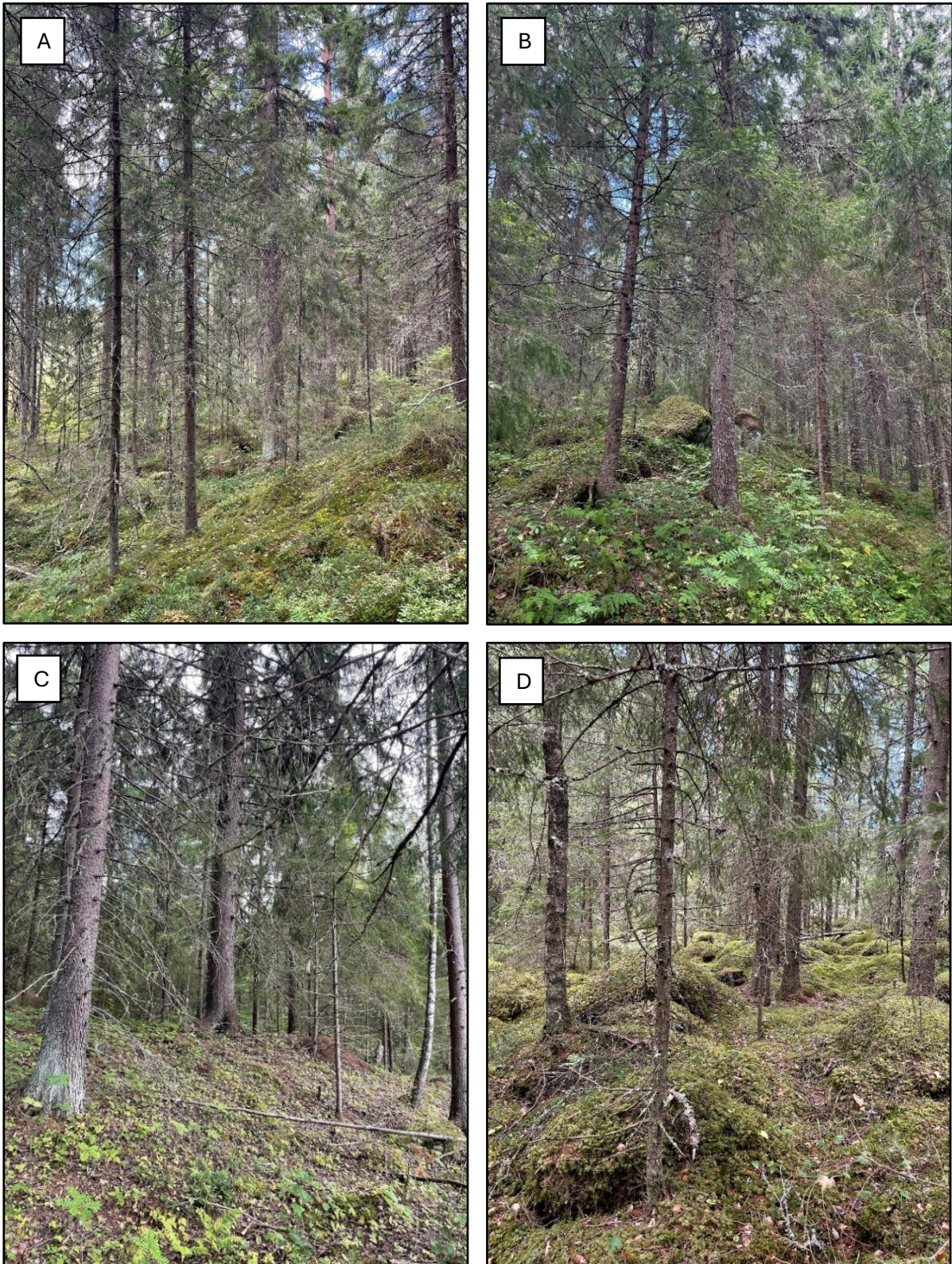
Jääkauden aiheuttamiin geomorfologisiin muodostumiin liittyviä subglasiaalisia sulamisvesireittejä ovat esimerkiksi murtooreitit ja kumpumaisista muodostumista koostuvat reitit (*hummocky routes*) (Ahokangas ym. 2021: 4). Murtooreitit ovat sulamisvesireittejä, joiden varrella esiintyy murtoita sekä murtoisiin liittyviä muodostumia. Kumpumaisista muodostumista koostuvat reitit taas ovat sulamisvesireittejä, joissa esiintyy epä-säännöllisiä, kumpumaisia muodostumia. Molemmat reitit voivat olla jopa muutamien kilometrien levyisiä. On ehdotettu, että murtooreitit edustaisivat eräänlaista siirtymävaihetta kanavoituneiden ja hajautuneiden sulamisvesijärjestelmien välillä (Mäkinen ym. 2017: 52). Murtooreitit edustaisivat tällöin niin sanottuja puolihajautuneita (*semi-distributed*) sulamisvesireittejä, ja kumpumaisista muodostumista koostuvat reitit yhdistäisivät nämä puolihajautuneet reitit kanavoituneisiin järjestelmiin (Ahokangas ym. 2021: 17).

2.4 Murtoot

2.4.1 Morfologiset piirteet

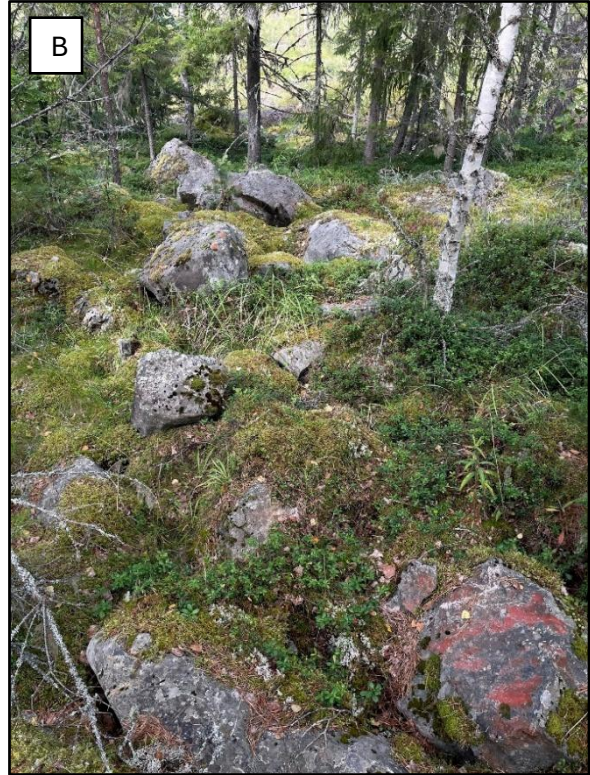
Murtoot ovat mannerjäätikön sulaessa syntyneitä geomorfologisia muodostumia (Mäkinen ym. 2017; Ojala ym. 2022a). Ne ovat useimmiten kolmion tai V-kirjaimen muotoisia ja niiden kärjet osoittavat jäätikön liikkeen suuntaa kohti. Murtoot ovat yleensä noin 30–300 metriä leveitä ja noin 40–300 metriä pitkiä (Ojala ym. 2021: 1104). Useimmiten ne ovat yhdestä viiteen metriä korkeita (Ojala ym. 2022a: 208), mutta myös jopa 15 metrin korkuiset murtoot ovat mahdollisia (Ojala ym. 2019: 119).

Murtoiden reunat voivat olla melko jyrkkiä, jopa 20–30 astetta (kuva 4A-C) (Mäkinen ym. 2017: 40). Murtoot koostuvat pääosin hiekka- ja sorapitoisista kerroksista ja diamiktoneista. Diamiktonilla tarkoitetaan moreenimaisia, sekalajitteisia maalajeja (Mäkinen ym. 2007: 26). Murtoot ovat pinnastaan usein runsaslohkareisia (kuvat 4D ja 5A–D), ja niissä voi olla satunnaisia suurempia siirtolohkareita (Mäkinen ym. 2017: 40).



Kuva 4. Kolmio-typin murto maastossa Laihialla. A. Kärjestä katsottuna murtoon vasen sivu, B. kärjestä katsottuna murtoon oikea sivu, C. murtoon kärki, D. lohcareita murtoon päällä.

(Lähde: Essi Lappi 21.8.2025)

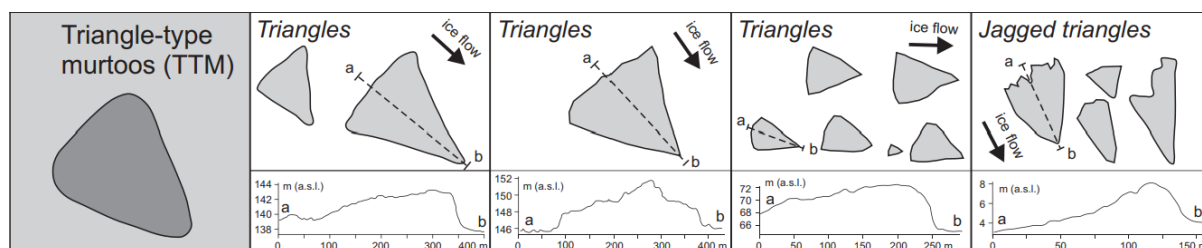


Kuva 5. A–D. Murtoiden päällä olevia, halkaisijaltaan noin 50–100 cm lohkareita maastossa Laihiällä. (Lähde: Essi Lappi 21.8.2025)

Murtoot voidaan muotonsa perusteella luokitella kolmeen pääryhmään: kolmio-tyyppin murtoisiin (*triangle-type murtoo*, TTM), chevron-tyyppin murtoisiin (*chevron-type murtoo*, CTM) ja pyöreäkärkisiin murtoisiin (*lobate-type murtoo*, LTM) (Ojala ym. 2021). Murtoiden lisäksi on tunnistettu myös harjanteita ja jyrkänpartaita (*murtoo-related ridges and escarpments*, MRE) sekä polymorfisia kumpuja ja harjanteita (*polymorphous mounds and ridges*, PMR), jotka liittyvät monesti murtoisiin ja esiintyvät niiden lähetyvillä. Murtoiden yhteydessä esiintyy usein myös sellaisia muodostumia, jotka edustavat eri murtootyyppien välimuotoja tai joissa on piirteitä eri murtootyypeistä.

2.4.2 Luokittelu

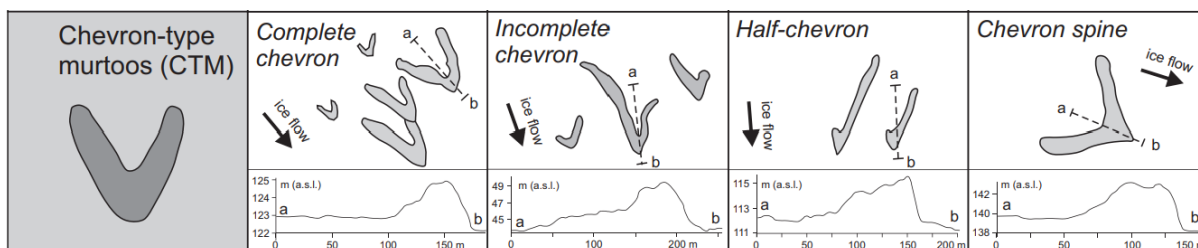
Kolmio-tyyppin murtoot ovat nimensä mukaan kolmion muotoisia, ja niillä on terävähkö kärki (kuva 6) (Ojala ym. 2021: 1099–1100). Kolmio-tyyppin murtoille on tyypillistä, että distaali- eli jäätikön reunan puoleinen rinne on jyrkempi kuin proksimaalirinne eli pois-päin jäätikön reunasta oleva rinne. Tällaisen murtoon reunat ovat usein suorja ja teräviä. Yleensä kolmiotyyppin murtoon leveys ja pituus ovat keskenään suunnilleen samat. Kolmio-tyyppin murtookentissä murtoot saattavat esiintyä osittain päällekkäin ja muodostaa toisiinsa lomittuvia muodostelmia.



Kuva 6. Piirrettyjä esimerkkejä tyypillisistä kolmio-tyyppin murtoista sekä muodostumien korkeusprofiilit. (Lähde: Ojala ym. 2021: 1101, muokattu)

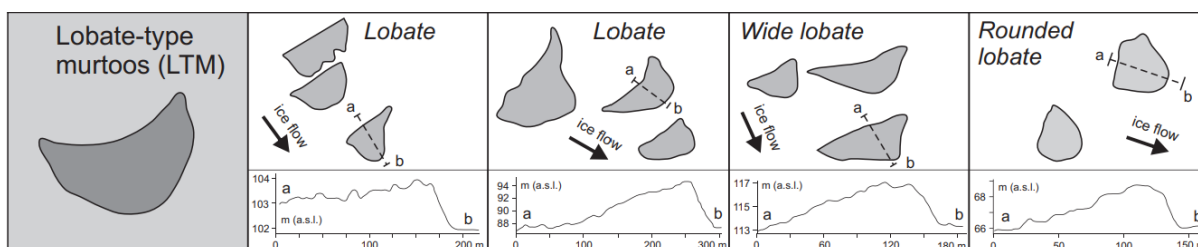
Chevron-tyyppin murtoot ovat usein V-kirjaimen tai bumerangin muotoisia (kuva 7) (Ojala ym. 2021: 1100–1101). Niiden sivut ovat yleensä selvärajaiset, mutta niiden sisäosissa ei ole jäätikkösyntyisiä sedimenttejä. Kolmiotyyppin murtoiden tapaan myös chevron-murtoiden leveys ja pituus ovat usein keskenään suunnilleen samat. Chevron-tyyppin murtoiden toinen sivu saattaa olla lyhyempi kuin toinen, jolloin voidaan puhua 'osittaisesta' chevronista (*incomplete chevron*), tai toinen sivu voi puuttua kokonaan, jolloin

murto on 'puoli-chevron' (*half-chevron*). Kuten kolmio-tyyppin murtoiden tapauksessa, myös chevron-tyyppin proksimaalirinne on yleensä loivempi kuin distaalirinne.



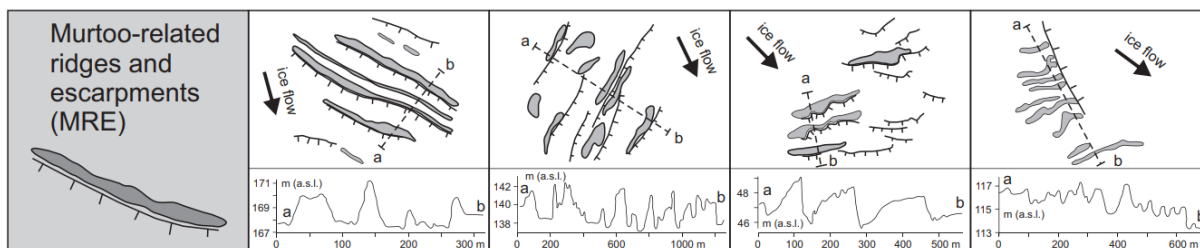
Kuva 7. Piirrettyjä esimerkkejä tyypillisistä chevron-tyyppin murtoista sekä muodostumien korkeusprofiilit. (Lähde: Ojala ym. 2021: 1101, muokattu)

Pyöreäkärkisten murtoiden kärki on nimensä mukaan pyöristynyt (kuva 8), toisin kuin kolmio- ja chevron-tyyppin murtoilla (Ojala ym. 2021: 1101–1102). Pyöreäkärkisten murtojen proksimaaliosa on usein kovera ja huomattavasti loivempi kuin distaaliosa, ja niiden reunat ovat pyöreät ja sileät. Jään virtaussuuntaan osoittavat reunat ovat kuitenkin jyrkempiä. Pyöreäkärkisten murtojen muoto ja leveys vaihtelevat merkittävästi.



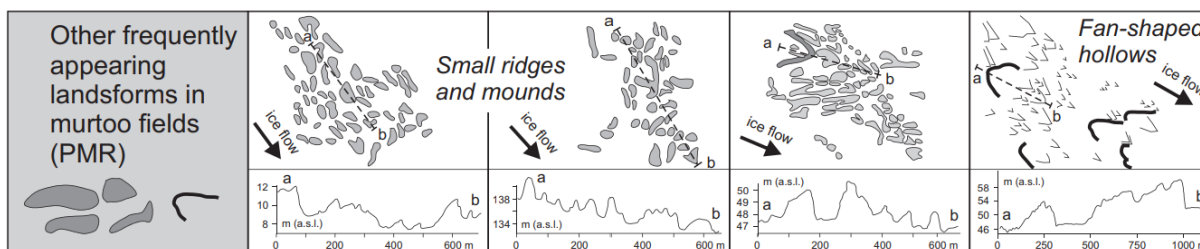
Kuva 8. Piirrettyjä esimerkkejä tyypillisistä pyöreäkärkisistä murtoista sekä muodostumien korkeusprofiilit. (Lähde: Ojala ym. 2021: 1101, muokattu)

Harjanteet ja jyrkänpartaat ovat muodoltaan pitkänomaisia, ja ne voivat olla hieman kaarevia (kuva 9) (Ojala ym. 2021: 1102–1103). Pituudeltaan ne ovat muutamasta sadasta metristä jopa useisiin kilometreihin. Vierekkäisten harjanteiden ja jyrkänpartaiden välinen etäisyys on yleensä noin 30–80 metriä, ja niiden välissä on tyypillisesti merkkejä paikallisista sulamisvesireiteistä. Harjanteet ja jyrkänpartaat eivät yleensä ole suuntauneet jäätikön liikesuunnan mukaisesti, mutta ne noudattavat subglasiaalisten sulamisvesireittien suuntaa. Kuitenkin jos ne esiintyvät laaksoissa suojanpuoleisella sivulla, ne ovat usein jäätikön liikesuuntaan nähden kohtisuorassa.



Kuva 9. Piirrettyjä esimerkkejä tyypillisistä harjanteista ja jyrkänpartaista sekä muodostumien korkeusprofiilit. (Lähde: Ojala ym. 2021: 1101, muokattu)

Polymorfiset kummut ja harjanteet ovat vaihtelevan kokoisia ja pituudeltaan ja leveydeltään usein viidestä sataan metriin (kuva 10) (Ojala ym. 2021: 1103). Ne ovat suuntautuneet joko satunnaisesti tai läheisten murtoiden suuntaisesti. Polymorfisia kumpuja ja harjanteita löytyy useimmista murtookentistä, ja niiden etäisyys toisistaan on epäsäännöllinen. Ne saattavat muistuttaa murtoita, mutta ne ovat usein niin heikosti kehittyneitä, että niitä on vaikea luokitella kuuluvaksi mihinkään murtootyyppiin.



Kuva 10. Piirrettyjä esimerkkejä tyypillisistä polymorfisista kummuista ja harjanteista sekä muodostumien korkeusprofiilit. (Lähde: Ojala ym. 2021: 1101, muokattu)

2.4.3 Syntytapa

Fennoskandian murtoot ovat muodostuneet, kun Veiksel-jääkauden lopulla jäätikkö on alkanut sulaa, ja sulamisvedet ovat kasanneet maa-ainesta lämminpohjaisen jäätikön alla (Ojala ym. 2022a: 207). Näiden sulamisvesien paine on jäätikön painon vuoksi ollut valtava, ja vesi on täyttänyt jäässä olleita onkaloita sedimenteillä ja näin muodostanut murtoita. Sulamisvedet ovat luultavasti ensin kasanneet murtoita ja sen jälkeen muodostaneet suuria sulamisvesitunneleita tai R-kanavia (Ojala ym. 2019: 124).

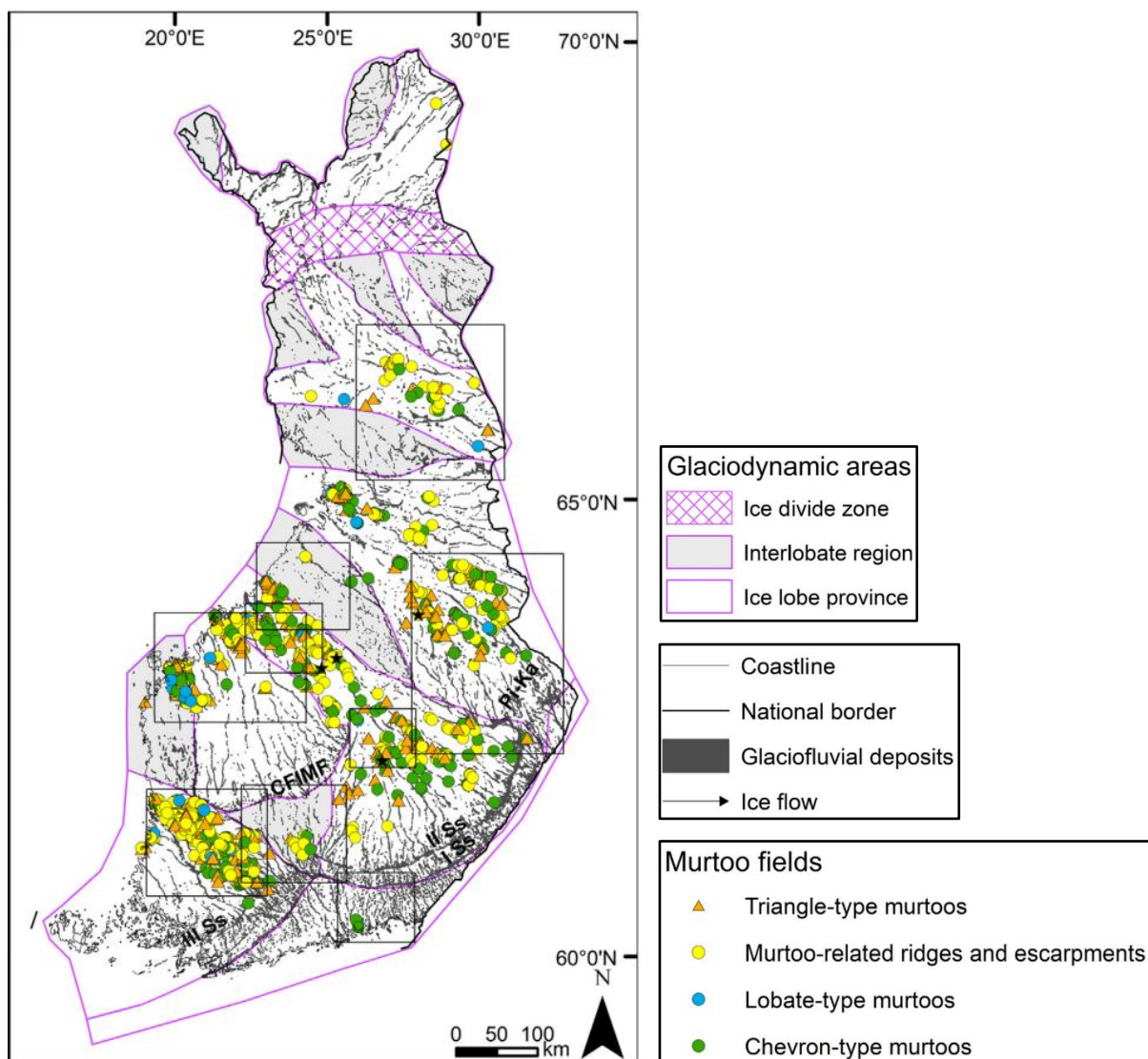
Murtoot ovat muodostuneet noin 40–60 km päässä perääntyvän jäätikön reunasta (Hepburn ym. 2024: 4873) jään reunan nopean vetäytymisen aikana (Ojala ym. 2019: 124),

jolloin jää oli niin paksua, että olosuhteet eivät olleet suotuisia harjujen muodostumiselle (Ojala ym. 2022a: 207). Murtoita on voinut syntyä mahdollisesti myös supraglasi-aalisista järivistä peräisin olevien sulamisvesien muodostamina (Ojala ym. 2019: 124). Murtooreittien muodostumiselle on ollut tärkeää, että jään reunan edessä olevan veden syvyys on oikeanlainen: ihanteellisen vedensyvyyden on arvioitu olevan noin 100 metriä (Ahokangas ym. 2021: 15; Hovikoski ym. 2023: 3). Tästä seuraa, että murtoiden syntyhetkellä jäätikön reunan edessä olevan veden eteen muodostuva ylin ranta on noin 100 metriä korkeammalla kuin kyseiset murtoot.

2.4.4 Esiintyminen Suomessa

Murtoot on havaittu vasta äskettäin (Mäkinen ym. 2017) ja erotettu kumpumoreeneista omaksi muodostumakseen LiDAR-teknologian ja sen pohjalta muodostettavan digitaalisen korkeusmallin avulla (Mäkinen ym. 2023a: 2172). Murtoot on nimetty ensimmäisen murtoon löytöpaikan, Pirkanmaalla sijaitsevan Murtoonjärven, mukaan (Ojala ym. 2022b: 2877).

Murtoot esiintyvät usein yhtenäisinä kenttinä (Ahokangas ym. 2021: 4), ja kenttien sisällä esiintyy erityyppisiä murtoita (Ojala ym. 2021: 1109). Murtoita saattaa yksittäisen kentän sisällä olla muutamista murtoista muutamiin kymmeneen (Ojala ym. 2019: 119). Suomessa murtoita on löydetty lähes jokaiselta jäänkielekevirta-alueelta (kuva 11) (Ahokangas ym. 2021: 3). Murtoot ovat keskittyneet jäänkielekevirta-alueiden keskiosiin, joissa jään virtaus on ollut nopeinta. Tällaisilla alueilla jään sulaminen ja sedimentin liikkuminen on ollut suurempaa, mikä on olennaista murtoiden muodostumiselle. Murtooreittejä ja murtoita esiintyy jossain määrin myös passiivisen jään alueella. Murtoot esiintyvät useimmiten laaksoissa ja tasaisilla alueilla (Ojala ym. 2019: 120).



Kuva 11. Murtookentät sekä jäänkielekevirta- ja interlobaattialueet Suomessa. (Lähde: Ahokangas ym. 2021: 3, muokattu)

2.4.5 Yhteys muihin geomorfologisiin muodostumiin

Murtooreitit näyttävät seuraavan jossain määrin harjujen sijaintia (Ahokangas ym. 2021: 14), ja pituussuunnassa murtoita esiintyy jäätikön virtaussuuntaan nähden ennen harjuja (Ojala ym. 2019: 120, 122). Joissain tapauksissa harjut ylittävät murtoita, mikä viittaa siihen, että harjut ovat muodostuneet murtoiden jälkeen.

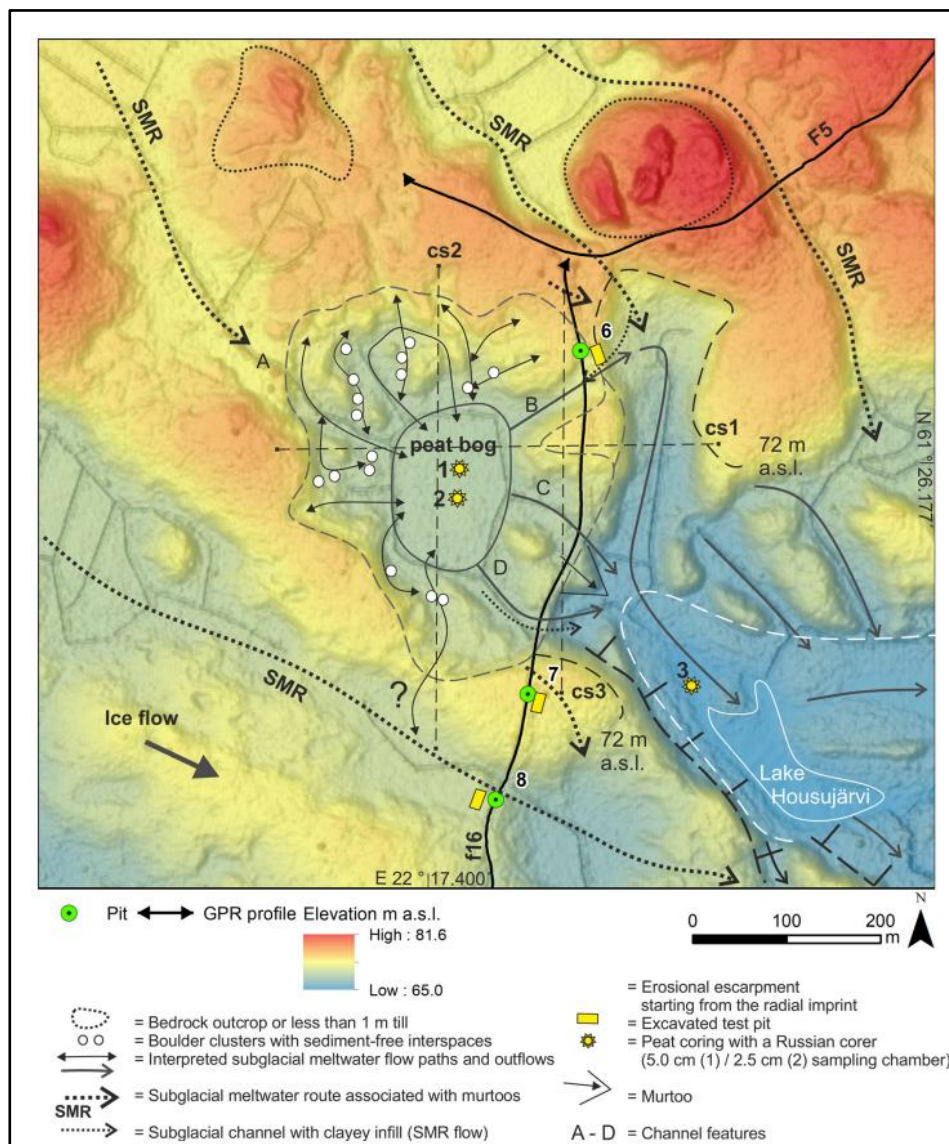
Murtooreittejä sijaitsee esimerkiksi suurten drumliinikenttien reunoilla, ja ne kulkevat usein myös juomumoreenikenttien poikki (Ahokangas ym. 2021: 14). Esiintyessään juomumoreenien yhteydessä murtoot katkaisevat niitä, mikä osoittaa juomumoreenien

syntyneen ensin (Ojala ym. 2021: 122). Murtoot saattavat lisäksi olla yhteydessä paleoblistereihin, sillä on havaittu, että joidenkin potentiaalisten paleoblistereiden läheisyydessä on sijainnut murtookenttiä (Hannula ym. 2024: 97).

2.5 Paleoblisterit

2.5.1 Morfologiset piirteet

Paleoblisterit ovat mannerjäätikön sulaessa syntyneitä geomorfologisia muodostumia (Mäkinen ym. 2023b; Hannula ym. 2024). Ne näkyvät maastossa usein pyöreäköinä painanteina, joista lähtee säteittäisiä purkautumiskanavia eri suuntiin (kuva 12) (Hannula ym. 2024: 88–89). Paleoblisterit ovat usein saven ja turpeen peittämiä ja hiekkamoreenin ympäröimiä. Tämän lisäksi paleoblistereitä yhdistää purkautumiskanavissa ja paleoblisterin reunoilla esiintyvä, huuhtoutunut lohkarikko. Paleoblistereiden halkaisijan on tutkittu olevan muutamia satoja metrejä, ja niiden läheisyydessä on usein havaittavissa jäätikön liikkeen suuntaisia geomorfologisia muutoksia.



Kuva 12. Rinnevarjoste ensimmäisestä löydetyistä paleoblisteristä. (Lähde: Mäkinen ym. 2023b: 1533)

2.5.2 Synty tapa

Paleoblisterit ovat syntyneet, kun vettä on valunut jäätikön päältä jäätikkökaivoja pitkin (Mäkinen ym. 2023b; Hannula ym. 2024). Vettä kerääntyy jäätikkökaivojen kautta jäätikön päällä olevista jääjärvistä jään alle suurella voimalla, ja vesi kaivertaa maaperään painanteen. Kun veden paine jään alla kasvaa tarpeeksi, vesi purkautuu blisteristä muodostaen purkautumiskanavia. Näistä kanavista suurimmat osoittavat sinne suuntaan, missä jäätikön reuna on ollut, eli usein kaakkoon. Paleoblisterin syntyprosessi on ha-

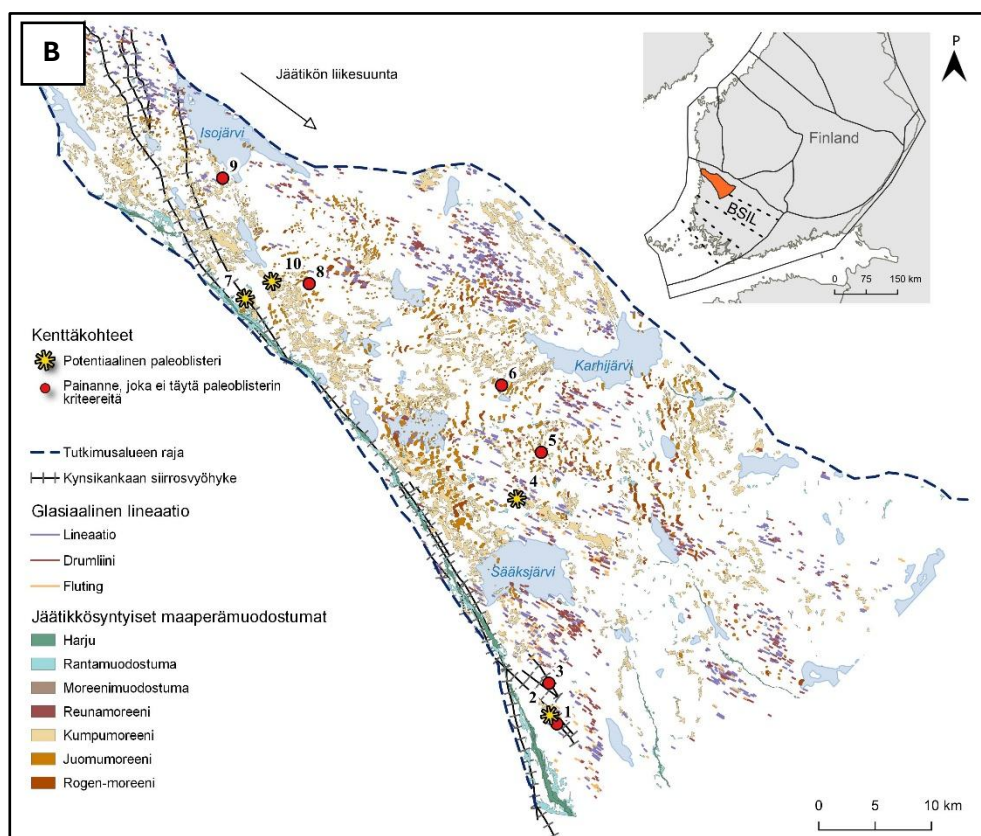
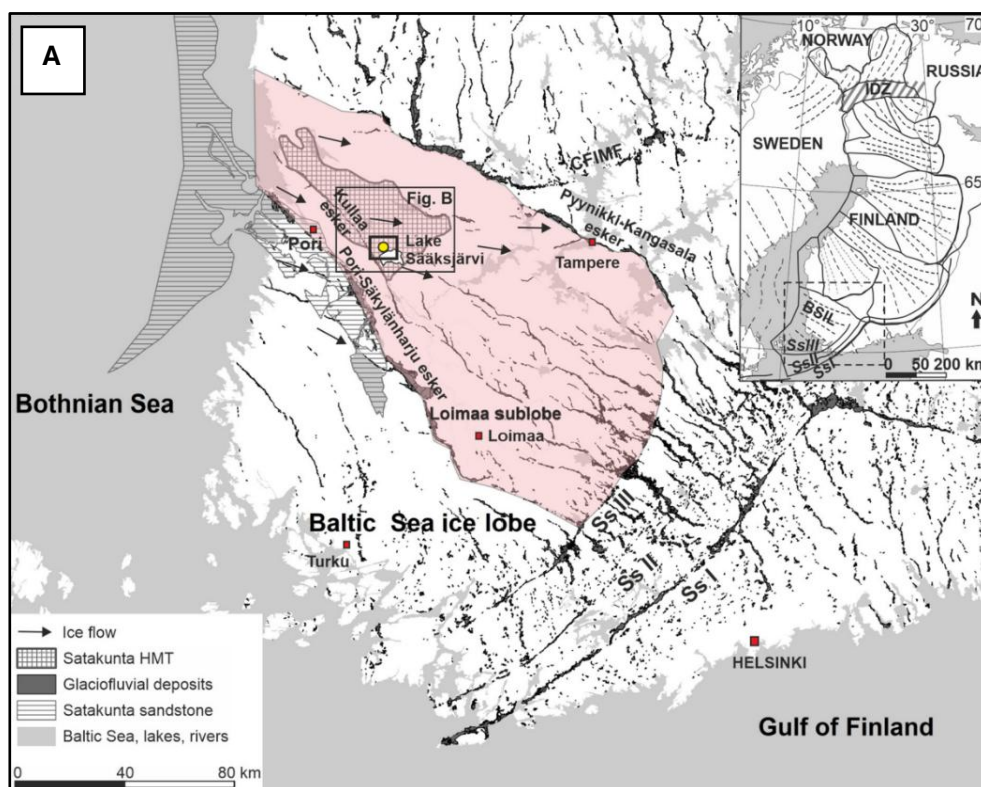
vaittu Grönlannissa vuonna 2008, kun supraglasiaalinen järvi tyhjeni jäätikkökaivoa pitkin jäätikön alle ja nosti jäätikköä noin metrin, minkä jälkeen jäätikkö laskeutui takaisin alas (Das ym. 2008).

Paleoblisterit ovat todennäköisesti syntyneet sellaisina ajankohtina, kun ilmasto on deglasiaation aikana ollut erityisen lämmin (Hannula ym. 2024: 96–97). Tällöin sulamisvettä on virrannut jäätikkökaivoja pitkin enemmän, toisin kuin kylmempinä ajanjaksoina. Myös vuodenaikojen vaihtelu on luultavasti vaikuttanut sulamisvesien määrään ja kana-voitumiseen. Jos jäätikkökaivoa pitkin virtaavan sulamisveden määrä ja paine ovat olleet pienemmät, maaperään on voinut syntyä paleoblisterin kaltainen painanne, jolla ei ole havaittavissa selkeitä purkauskanavia. Vielä ei kuitenkaan ole varmuutta siitä, miten paljon vettä paleoblisterin syntymiseen vaaditaan.

2.5.3 Esiintyminen Suomessa

Murtoiden tavoin myös paleoblisterit on havaittu vasta äskettäin: ensimmäinen paleoblistereihin liittyvä tieteellinen julkaisu Suomesta on vuodelta 2023 (Mäkinen ym. 2023b). Muodostumien englanninkielinen nimi on *water blister mark*, ja suomen kielessä ne on nimetty paleoblistereiksi (Mäkinen ym. 2023b; Hannula ym. 2024).

Ensimmäinen paleoblisteri on löydetty Satakunnan alueelta, läheltä Sääksjärveä Itämeren jäänkielekevirta-alueelta (BSIL) (kuvat 12 ja 13A) (Mäkinen ym. 2023b: 1530). Tämän lisäksi paleoblisteriä on havaittu myös laajemmin Satakunnan alueella (kuva 13B) (Hannula 2024: 89). Paleoblisteriä on löydetty myös Järvi-Suomen jäänkielekevuirran alueelta (FLDIL) (Kautto ym. 2026: 17). Parhaiten havaittavissa olevia paleoblisteriä löytyy todennäköisesti subglasiaalisten sulamisvesireittien yhteydestä alueilta, joilla jäätikkö on sulanut voimakkaasti, ja sulamisvesiä on valunut paljon jäätikön päällä olevista järvistä jäätikön pohjalle (Hannula ym. 2024: 89). Hannulan ym. (2024) tutkimustuloksien perusteella paleoblisterit sijaitsevat ympäristöönsä nähden korkealla paikalla tai sellaisen lähistöllä.



Kuva 13. A. Ensimmäisen Suomesta löydetyn paleoblisterin sijainti, B. Satakunnan alueelta myöhemmin löydettyjen potentiaalisten paleoblisterien sijainteja. (Lähteet: kuva A. Mäkinen ym. 2023b: 1531, kuva B. Hannula ym. 2024: 90)

2.5.4 Yhteys muihin geomorfologisiin muodostumiin

Paleoblistereitä on tutkittu vasta niin vähän, että niiden yhteydestä muihin geomorfologisiin muodostumiin ei ole paljoa tietoa. Paleoblistereillä saattaa kuitenkin olla yhteys murtoisiin, ja murtoot ovat mahdollisesti muodostuneet samankaltaisissa olosuhteissa kuin paleoblisterit, supraglasiaalisen järven tyhjentymisen seurauksena (Hannula ym. 2024: 97). Potentiaalisia paleoblistereitä on löydetty myös drumliinien läheisyydestä (Kautto ym. 2026: 17).

Paleoblisterit voivat murtoiden tapaan olla yhteydessä myös puolihajautuneisiin sulamisvesireitteihin, sillä sellainen on löydetty ensimmäisen Suomessa havaitun paleoblisterin yhteydestä (Mäkinen ym. 2023b: 1542). Tämä sulamisvesireitti on todennäköisesti ollut olemassa jo ennen paleoblisterin syntyä, ja se koostui luultavasti matalista ja leveistä kanavista.

2.6 Muut jääkauden aiheuttamat muodostumat

Murtoiden ja paleoblistereiden lisäksi Suomessa esiintyy myös muita Veiksel-jääkauden muovaamia geomorfologisia muodostumia, kuten harjuja, kumpumoreeneja, reuna-muodostumia ja drumliineja (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007). Harjut ovat pääasiassa sorasta ja hiekasta koostuvia harjanteita (Dewald ym. 2021: 1), ja ne voivat olla jopa kymmenen kilometrin pituisia (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 24). Leveydeltään harjut ovat muutamista metreistä pariin sataan metriin ja korkeudeltaan muutamasta metristä kymmeneen metriin (Frydrych ym. 2025: 8–9). Harjut ovat syntyneet, kun maa-ainesta on jäätikön sulamisvesien mukana kulkeutunut ja kasautunut subglasiaaliin sulamisvesitunneleihin tai jään pintaan asti kulkeviin railoihin jäätikön liikkeen suuntaisesti (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 25) lähellä jäätikön reunaa (Boulton ym. 2009: 622).

Kumpumoreenit ovat pitkänomaisia, pyöreähköjä tai epäsäännöllisen muotoisia moreeni-muodostumia, ja niiden korkeus on yleensä noin 5–25 metriä (Mäkinen ym. 2007: 36–41). Kumpumoreenit voivat olla jäätikön virtauksen tai reunan suhteen suuntautuneita, suuntautumattomia tai jotakin siltä väliltä. Varsinaiset kumpumoreenit ovat muodostu-

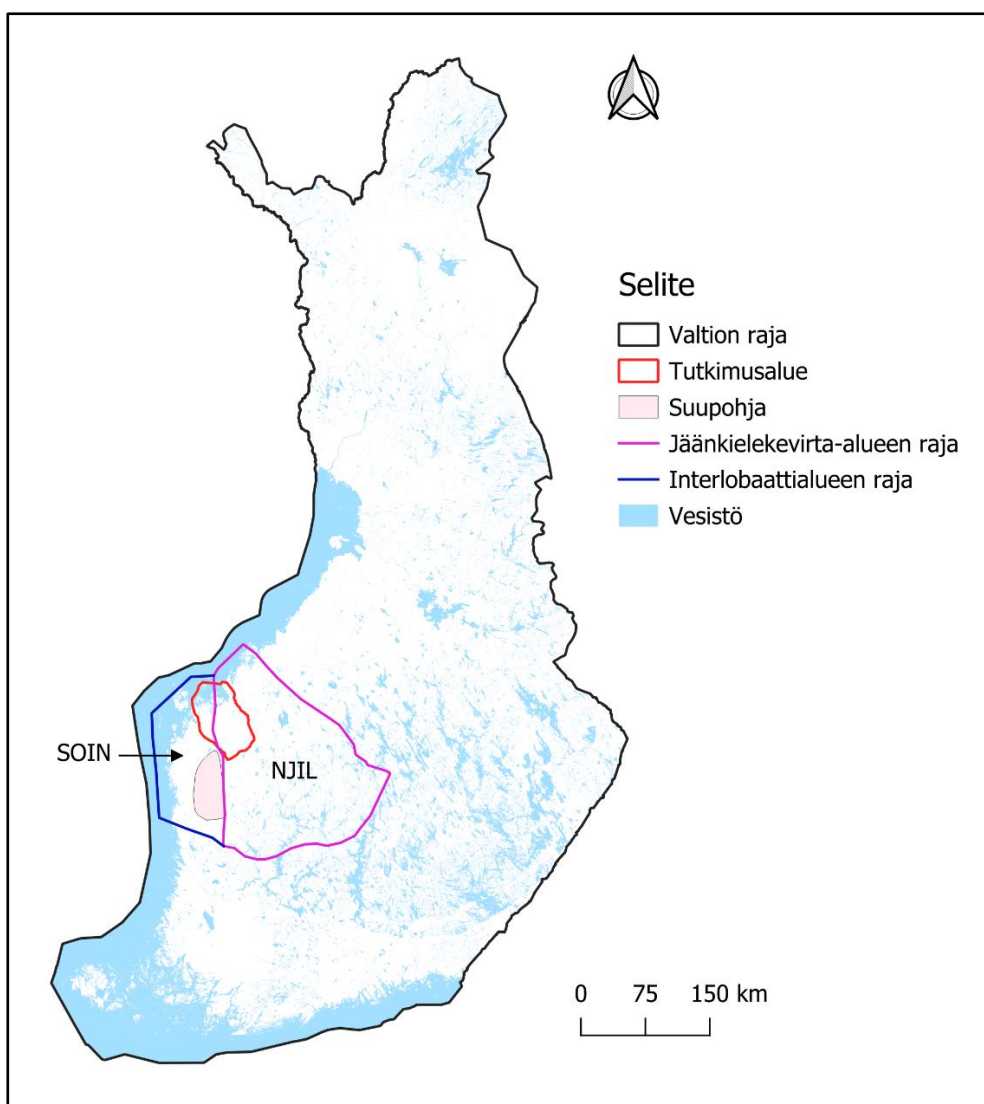
neet jäätikön vedenkoskemattomilla alueilla, jotka ovat olleet ylimmän rannan yläpuolella tai matalassa vedessä. Kumpumoreenit ovat syntyneet, kun jäätikön reuna on hidastunut ja pysähtynyt, jolloin puhutaan stagnaatiosta. Tällöin pysähtyneen jäätikön reunan takaa tullut, vielä liikkeessä oleva jää on joutunut nousemaan ylöspäin, mikä on nostanut kiviainesta jäätikön pohjasta ylös. Jäätikön lopulta sulaessa jään päällä ja sisällä ollut kiviaines on kasautunut kumpumoreenimuodostumiksi. Erilaisia kumpumoreenityyppejä ovat varsinaisen kumpumoreenin lisäksi esimerkiksi isot kumpumoreenit, Pulju-moreenit, Sevetti-moreenit sekä ribbed- eli juomumoreenit.

Reunamuodostumat ovat jäätikön reunan suuntaisia pitkänomaisia muodostumia, jotka ovat pituudeltaan noin 20–500 metriä, leveydeltään noin 5–25 metriä ja korkeudeltaan tyypillisesti metristä viiteen metriin (Mäkinen ym. 2007: 47–49). Erilaisia reunamuodostumia ovat esimerkiksi isot reunamoreenit, reunamoreenikompleksit, De Geer -moreenit sekä laaksojäätikön päätemoreenit. Reunamuodostumat ovat syntyneet, kun jäätikkö on vuorotellen edennyt ja perääntynyt ja kasannut maa-ainesta jään reunan eteen. Reunamuodostumat ovat mahdollisesti voineet muodostua myös jäätikön pohjassa oleviin railoihin. Hiekka- ja soravaltaiset reunamuodostumat ovat muodostuneet syvään veteen, ja reunamoreenit puolestaan kuivalle maalle.

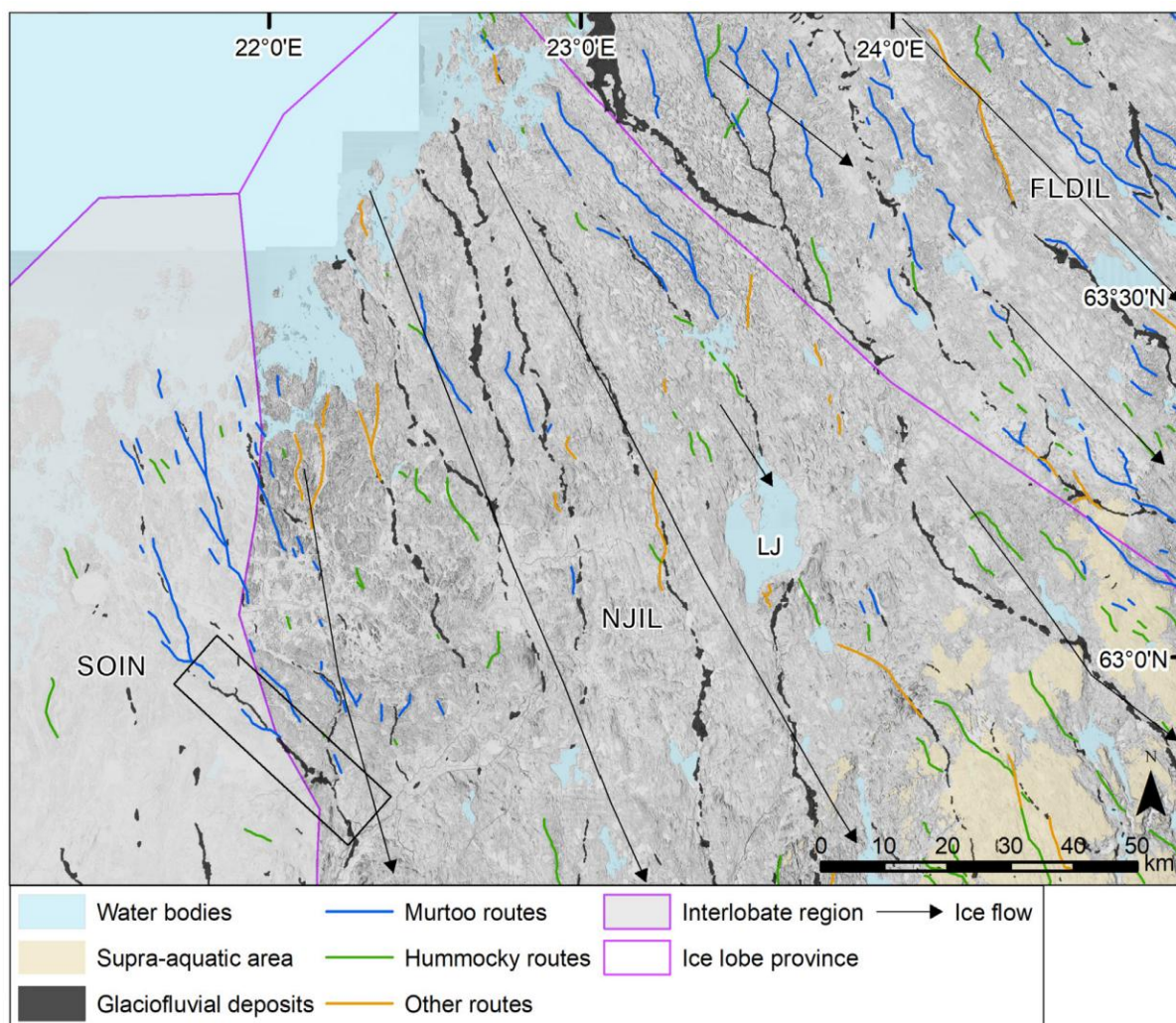
Drumliinit ovat jäätikön liikkeen suuntaisia pitkänomaisia muodostumia, ja niiden pituus vaihtelee 100 metrin ja seitsemän kilometrin välillä (Mäkinen ym. 2007: 29–31). Leveydeltään ne ovat 50 metrin ja neljän kilometrin välillä ja korkeudeltaan 1–200 metriä. Moreenista koostuvien drumliinien ydin on yleensä kalliota, joka voi olla paljas drumliinin proksimaaliosassa tai keskellä (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007: 20). Erilaisia drumliinityyppejä ovat esimerkiksi crag-and-tail-drumliinit, pre-crag-drumliinit, drumliinikilvet ja flutingit (Mäkinen ym. 2007: 30–31). Drumliinit ovat muodostuneet jäätikön pohjalle luultavasti siten, että pitkäaikainen jään liike on kuluttanut ja kerrostanut maa-ainesta, ja ne ovat syntyneet noin 10–30 kilometrin päässä jään reunasta. Drumliinien syntyprosessia kutsutaan drumlinisaatioksi.

3 Tutkimusalue

Tutkielmani tutkimusalue sijaitsee Laihian ja Vöyrin sekä näiden lähikuntien seudulla Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan maakuntien alueella (kuva 14), josta on löydetty useita murtooreittejä (kuva 15) ja -kenttiä (Ahokangas ym. 2021: 3). Tarkemmin tutkimusalue sijaitsee Näsijärvi-Jyväskylä-jäänkielekevirta-alueen (NJIL) ja Etelä-Pohjanmaan interlobaattialueen (SOIN) välissä. Tutkimusalueen valinta ja rajaus perustuvat Veiksel-jääkauden jälkeiseen deglasiatioon liittyvään glasiaalidynamiikkaan ja geomorfologiaan.

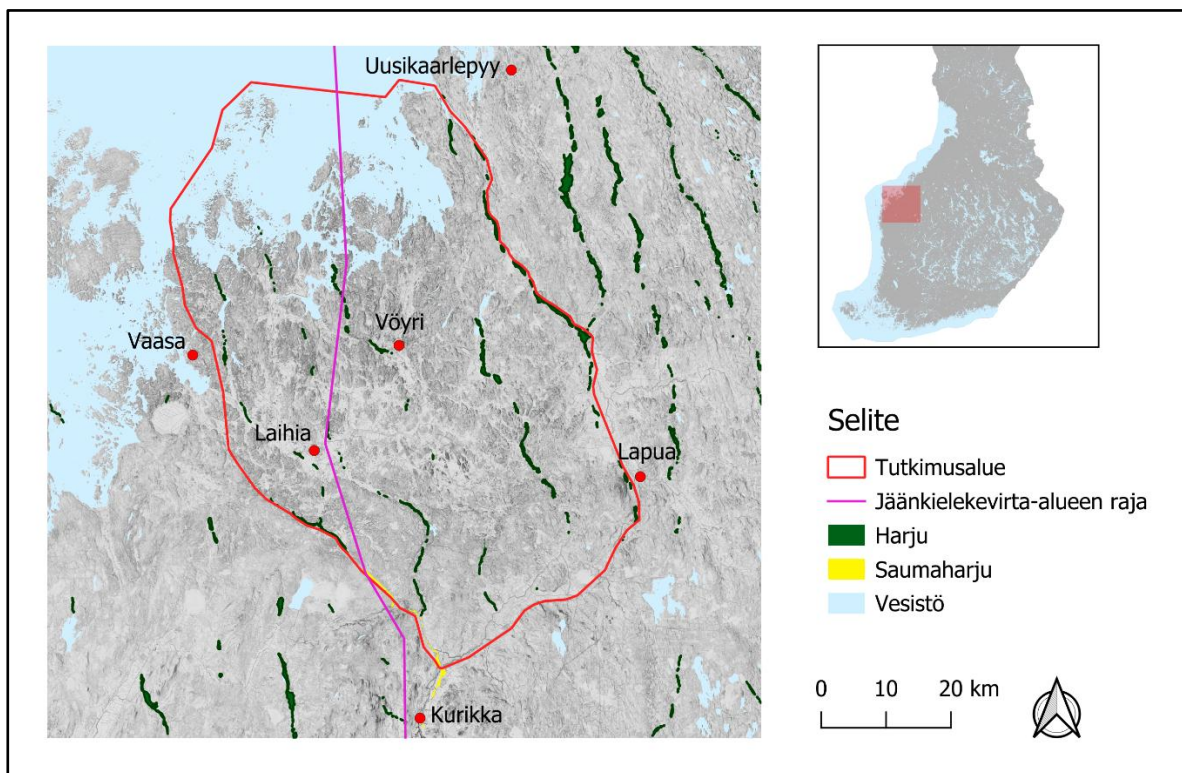


Kuva 14. Tutkimusalueen sijainti sekä Etelä-Pohjanmaan interlobaattialue (SOIN) ja Näsijärvi-Jyväskylä-jäänkielekevirta-alue (NJIL). (Pohjakartan aineistolähteet: Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos, jäänkielekevirta-alueet Ahokangasta ym. 2021 mukailten ja Suupohjan alue Putkista ym. 2017 mukailten)



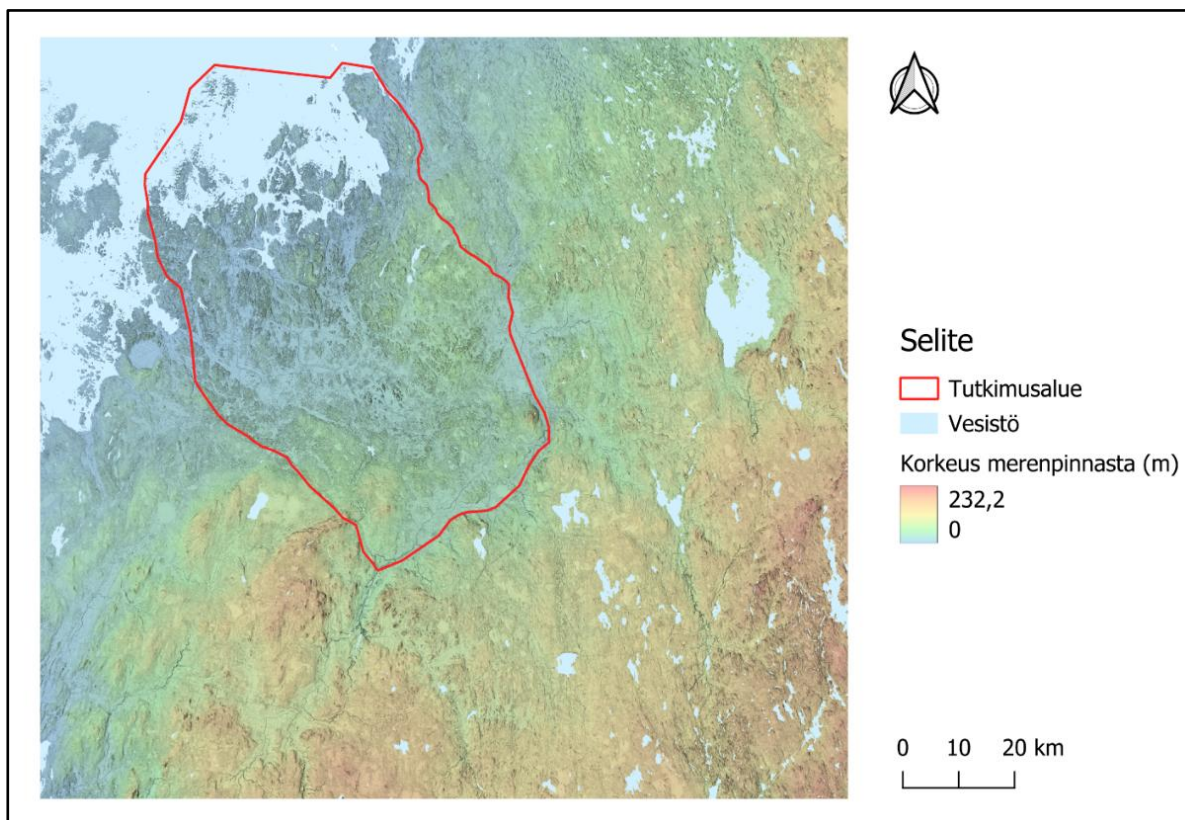
Kuva 15. Sulamisvesireittejä Etelä-Pohjanmaan interlobaattialueella (SOIN), Näsijärvi-Jyväskylän-jäänkielekevirta-alueella (NJIL) ja Järvi-Suomen jäänkielekevirta-alueella (FLDIL). Murtooreitit on merkitty sinisellä. (Lähde: Ahokangas ym. 2021: 11)

Tutkimusalueita rajaa koillisessa Uusikaarlepyyn alueelta alkunsa saava harju, joka päättyy Lapuan seudulle (kuva 16). Kaakossa tutkimusalue rajautuu Lapuan ja Kurikan välillä kulkevaan laaksoon, ja lounaassa aluetta rajaa Laihian kaakkois- ja eteläpuolelta Vaasaan päin kulkeva harju. Tutkimusalueen harjut kulkevat Lapuan ja Kurikan välisen laaksoalueen kautta Pohjankankaan saumarajalle. Luoteessa tutkimusalue rajautuu meren rantaviivaan. Tutkimusalueen pinta-ala on 4086 km².



Kuva 16. Tutkimusalue rajattuna punaisella, harjut kuvattu vihreällä. (Pohjakartan ja harjujen aineistolähteet: Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos)

Tutkimusalueen korkein kohta on 137,4 metriä merenpinnan yläpuolella ja matalin kohta nolla metriä eli merenpinnan tasossa. Tutkimusalueen keskikorkeus merenpinnasta on 25,0 m. Tutkimusalue sijaitsee rannikolla, josta maanpinnan korkeus kasvaa sisämaahan päin mentäessä (kuva 17). Tutkimusalueen maasto on melko tasaista, ja sen etelä- ja kaakkoisosien korkeus merenpinnasta on alhaisempi kuin alueen ympärillä tutkimusalueen ulkopuolella. Tutkimusalueella sijaitsee paljon metsää ja peltoalueita sekä muutamia pieniä järviä ja lampia. Valtaosa tutkimusalueen maaperästä koostuu sekalajitteisesta maalajista, hiekkamoreenista ja savesta.



Kuva 17. Tutkimusalueen lähiseudun yleinen topografia. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Tutkimusalue sijaitsee alueella, joka on ollut aktiivisen ja passiivisen jäätikön liikkeen välissä. Alue on Suomessa glasiaalidynaamisesti poikkeava, sillä se sijaitsee osittain passiivisen jään alueella, jossa murtoita esiintyy yleensä vähemmän (Ahokangas ym. 2021: 17). Tutkimusalue myös sijaitsee lähellä SOIN-interlobaattialueen eteläosassa sijaitsevaa Suupohjan aluetta (kuva 14), joka on ollut kylmäpohjainen.

4 Aineistot ja menetelmät

4.1 Aineistot

Aineistoina tutkielmassa käytin Geologian tutkimuskeskuksen korkeusmalliaineistoa (horisontaalinen tarkkuus 2 x 2 m ja vertikaalinen tarkkuus 0,3 m), rinnevarjosteaineistoa, maaperäaineistoja (1:20 000 ja 1:200 000), jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -aineistoa, Maanmittauslaitoksen maastokarttaa (1:10 000), rinnevarjosteaineistoa (tarkkuus 2 m) ja hallintorajat (1:10 000) -aineistoa sekä Ahokankaan ym. (2021) tutkimuksen aineistoa Suomen subglasiaalisista sulamisvesireiteistä ja murtookentistä.

Maaperäaineistot ja jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -aineisto ovat avoimesti ladattavissa Geologian tutkimuskeskuksen Hakku-latauspalvelusta, ja maastokartta sekä hallintorajat-aineisto ovat avoimesti ladattavissa Paituli-latauspalvelusta. Geologian tutkimuskeskuksen rinnevarjosteaineiston ja korkeusmallin sekä aineiston sulamisvesireiteistä ja murtookentistä sain käyttööni väitöskirjatutkija Juulia Kautolta. Maanmittauslaitoksen rinnevarjosteaineisto on avoimesti käytettävissä Paikkatietoikkuna-verkkopalvelussa.

Lisäksi sain käyttööni Turun yliopiston vuoden 2025 *LiDAR-based approach on glacial landscapes* -kurssin ryhmän 1 kenttätyöraportin potentiaalisen paleoblisterin kairauksesta syys-lokakuussa 2025. Kurssin aikana kairauksia suoritettiin yhteensä neljä Tripaisen potentiaalisessa paleoblisterissä.

4.2 Menetelmät

Käytän tutkielmassa termiä ”potentiaalinen paleoblisteri”, sillä ei voida varmuudella tietää, ovatko kartoittamani potentiaaliset paleoblisterit tosiasiassa paleoblisteriä, ennen kuin niitä tutkitaan maastossa. Pelkästään käyttämieni aineistojen perusteella ei nimittäin voida määrittää maaperän tarkkaa koostumusta eikä lohcareiden esiintymistä yksittäisiä lohcareita tarkemmin.

Rajasin QGIS-paikkatietosovelluksessa ensin tutkimusalueen näkyviin ja loin ruudukon, jonka jokainen ruutu oli neliökilometrin laajuinen. Kävin tutkimusaluetta läpi ruutu ruu-

dulta ja etsin murtoita sekä potentiaalisia paleoblistereitä Geologian tutkimuskeskuk-
sen rinnevarjosteaineiston avulla. Digitoin löytämäni murtoot ja potentiaaliset paleo-
blisterit visuaalisen tarkastelun perusteella polygoneiksi *Add polygon feature* -työka-
lulla.

Käytin murtoiden tunnistamisessa apuna Ojalan ym. (2021) kriteerejä murtoista. Määri-
tin kartoitettaviksi murtoiksi sellaiset muodostumat, jotka olivat jyrkkäreunaisia ja joilla
oli selkeä murtoomainen muoto. Lisäksi muodostumilla tuli olla murtoille tyypillinen
korkeusprofiilin muoto. Potentiaalisten paleoblistereiden tunnistamisessa hyödynsin
Hannulan ym. (2024) kriteerejä paleoblistereistä: 1) pyöreä tai soikea painanteen
muoto, 2) useampia säteittäisiä purkauskanavia, joista ainakin yksi on sijoittunut luo-
teesta kaakkoon päin ja 3) lähistöllä murtoita ja/tai niihin liittyviä muodostumia, etenkin
jäätikön liikesuunnassa alavirtaan. Paleoblistereiden tunnistamisessa käytin apuna
myös Mäkisen ym. (2023b) rinnevarjostekuvaa ensimmäisenä löydetyistä paleobliste-
ristä (kuva 12).

Luokittelin löytämäni murtoot Ojalan ym. (2021) mukaisesti kolmio-typin murtoisiin,
chevron-typin murtoisiin ja pyöreäkärkisiin murtoisiin heti digitoimisen yhteydessä. Vi-
suaalisoin erilaiset murtoot QGIS:ssä eri värein ja muodostin oman luokan myös epäsel-
ville murtoille. Määrittelin epäselvän murtoon siten, että se oli joko tyypillisen muotoi-
nen ja selvärajainen tai sen korkeusprofiili oli murtoille tyypillinen, mutta molemmat
näistä kriteereistä eivät täytyneet. Vaikka joissakin murtoissa oli näkyvissä hieman
eroosion merkkejä, määrittelin kyseiset muodostumat murtoiksi enkä epäselviksi mur-
toiksi sen vuoksi, että niiden muoto oli yleisesti ottaen selkeä.

Ensimmäisen digitointikierron jälkeen kävin läpi löytämäni muodostumat määrit-
täkseni, mitkä niistä todennäköisesti ovat oikeasti murtoita ja potentiaalisia paleoblis-
tereitä ja mitkä eivät. Murtoiden varmistamisessa käytin apuna Maanmittauslaitoksen
rinnevarjosteaineistoa, korkeusmalli-aineistoa sekä korkeusprofiilia, jonka loin *Terrain
profile* -työkalulla. Lisäsin jokaisen muodostuman keskikohtaan erilliseen pistetasoon
kuuluvan pisteen *Add point feature* -työkalulla. Vertasin tämän jälkeen löytämiäni koh-
teita maaperäaineistoihin saadakseni tietää, mitä maalajia kunkin muodostuman koh-
dalla esiintyy.

Mittasin *Oriented minimum bounding box* -työkalun avulla murtoiden leveyden ja pituuden sekä potentiaalisten paleoblistereiden pisimmän halkaisijan. Seitsemälle murtoolle loin suorakulmiot käsin *Rectangle from 3 points (distance)* -työkalulla, sillä *Oriented minimum bounding box* -työkalu ei suoraan toiminut niiden kohdalla oikealla tavalla. Näiden seitsemän murtoon pituuden ja leveyden mittasin suorakulmioiden luomisen jälkeen *Oriented minimum bounding box* -työkalulla.

Loin murtoiden sekä potentiaalisten paleoblistereiden tasojen attribuutiotaulussa pinta-alasarakkeet kyseisille muodostumille $\$area/10000$ -lausekkeella ja määritin näin muodostumien pinta-alat hehtaareina. Laskin murtoiden korkeudet määrittämällä jokaisen polygonin korkeuden vaihteluvälin (*range*) *Zonal statistics* -työkalulla ja loin kolmelle esimerkkimurtoole korkeusprofiilit *Terrain profile* -työkalulla. Määritin kaikille muodostumille x- ja y-koordinaatit pistetasojen attribuutiotauluissa $x(\$geometry)$ ja $y(\$geometry)$ -lausekkeilla ja muutin ne DMS-koordinaattimuotoon (*degrees, minutes, seconds*) Maanmittauslaitoksen Paikkatietoikkunan Koordinaattimuunnos-työkalulla. Laskin murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden mitoille keskiarvot Excel-taulukko-ohjelmassa. Päätin selkeyden vuoksi määrittää epäselvistä murtoista ainoastaan niiden koordinaatit.

Tämän jälkeen tutkin murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden topografiaa eli sitä, millä korkeudella ne sijaitsevat. Ensin poistin korkeusmalliaineistosta merellä esiintyvät negatiiviset korkeusarvot *Raster calculator* -työkalulla. Loin satunnaispisteitä *Random points in extent* -työkalulla ja rajasin ne tutkimusalueelle *Extract by location* -työkalulla. Pisteitä oli tutkimusalueella yhteensä 12 596 kappaletta. Määritin tutkimusalueen korkeimman ja matalimman kohdan sekä keski korkeuden satunnaispisteitä hyödyntäen *Sample raster values* -työkalulla. Sen jälkeen laskin murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden maksimikorkeudet merenpinnasta *Zonal statistics* -työkalulla. Laskin Excel-ohjelmalla näistä korkeuksista myös keskiarvot.

Vertasin kartoittamiani muodostumia niiden lähialueen topografiaan luomalla ensin murtoille ja potentiaalisille paleoblistereille yhden kilometrin säteiset puskurivyöhykkeet *Buffer*-työkalulla. Tämän jälkeen määritin *Zonal statistics* -työkalulla puskurivi-

vyöhykkeiden korkeimman ja matalimman kohdan merenpinnasta sekä korkeuden vaihteluvälin. Tutkin murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden suhdetta ympäristöönsä vertaamalla kyseisten muodostumien korkeuksia merenpinnasta juuri laskemiini puskurivyöhykkeiden korkeimpiin ja matalimpiin arvoihin sekä tarkastelemalla korkeusmallin avulla muodostumien laajempaa sijaintia suhteessa muuhun maastoon. Loin *Terrain profile* -työkalulla korkeusprofiilit kahden murtoon sekä yhden potentiaalisen paleoblisterin ympäristöstä.

Tutkin myös sitä, miten kartoittamani muodostumat ovat yhteydessä lähialueen muihin geomorfologisiin muodostumiin. Etsin murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden lähistöltä muita muodostumia tarkastelemalla jokaisen kartoittamani muodostuman ympäristöä yhden kilometrin säteellä, mihin käytin aiemmin luomiani puskurivyöhykkeitä. Tässä hyödynsin jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -aineistoa, maaperä 1:20 000 -aineistoa sekä sulamisvesireittiaineistoa, jotka asetin samanaikaisesti näkyviin. Tutkin myös koko tutkimusalueen mittakaavassa kaikkien murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden yhteyttä jäätikkösyntyisiin muodostumiin, sulamisvesireitteihin sekä murtookenttiin asettamalla näkyviin yhden muodostumatason kerrallaan. Digitoin lopuksi Ahokankaan ym. (2021) käyttämän jäänkielekevirta-alueiden rajauksen pohjalta SOIN-interlobaattialueen ja NJIL-jäänkielekevirta-alueen rajat.

Kävin tekemässä elokuussa 2025 kenttätutkimuksia Laihialla, jossa havainnoin yhtä potentiaalista paleoblisteriä. Otin Trippaisen potentiaalisesta paleoblisteristä valokuvia ja suoritin siellä kolme kairauspisteet. Kairauspisteet sijaitsivat paleoblisterin keskiosassa 8,6 metrin säteellä toisistaan. Lisäksi otin kenttätöiden yhteydessä kolmesta läheisestä murtoosta valokuvia.

5 Tulokset

5.1 Murtoot

5.1.1 Alueellinen jakautuminen

Kartoitin tutkimusalueelta yhteensä 17 murtoota ja 35 epäselvää murtoota. Murtoiden pituus vaihteli 48,0 ja 233,7 metrin välillä ja oli keskiarvoltaan 100,1 metriä (taulukko 1).

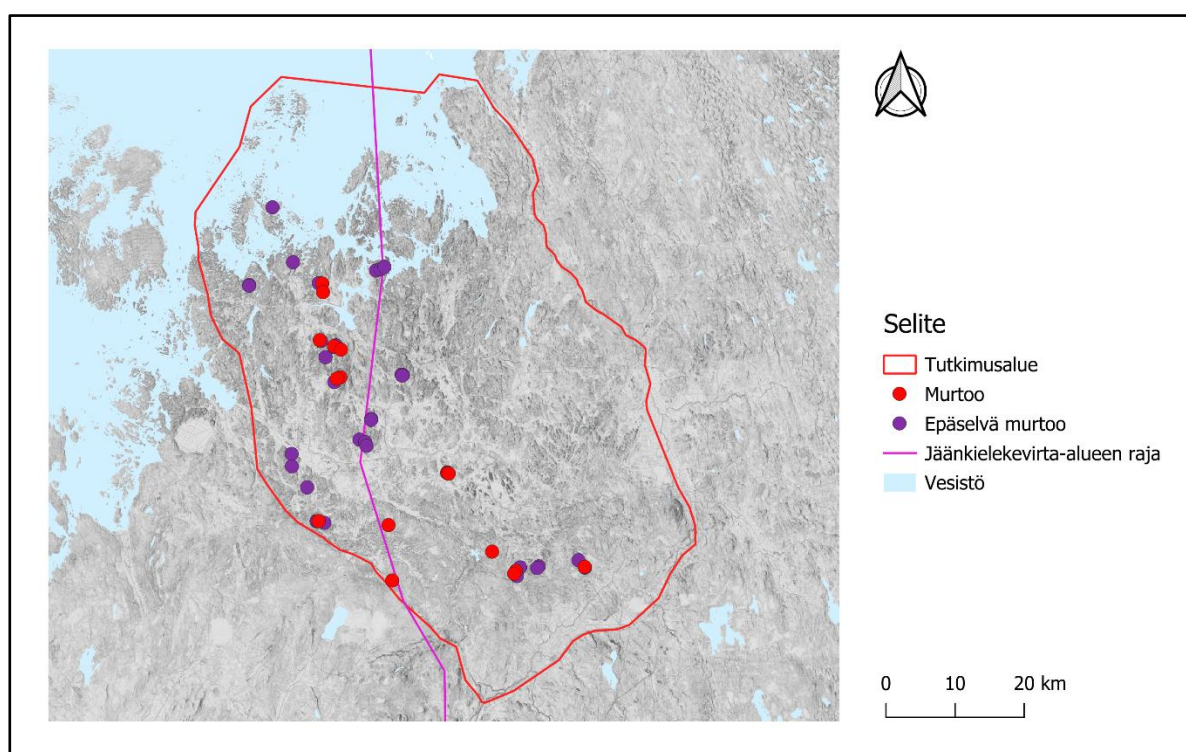
Murtoiden leveys vaihteli 46,3 ja 154,8 metrin välillä ja oli keskiarvoltaan 85,5 metriä.

Murtoot olivat korkeudeltaan 2,0 ja 6,6 metrin välillä, ja keskikorkeus oli 4,1 metriä. Pie- nin murto oli pinta-alaltaan 0,2 hehtaaria ja suurin 2,0 hehtaaria, ja pinta-alojen kes- kiarvo oli 0,6 hehtaaria. Kaikki murtoot koostuivat hiekkamoreenista tai sekalajitteisesta maalajista.

Taulukko 1. Murtoiden avainlukuja. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Muodostuman numero	Murto- tyyppi	Pituus (m)	Leveys (m)	Korkeus (m)	Pinta- ala (ha)	Koordinaatit (N)	Koordinaatit (E)
1	kolmio	85,48	69,38	2,51	0,44	63° 12' 56,10"	21° 54' 18,80"
2	kolmio	102,00	73,10	4,42	0,32	63° 12' 16,71"	21° 54' 34,22"
3	kolmio	109,48	61,26	3,43	0,41	63° 08' 31,52"	21° 54' 40,40"
4	pyöreä- kärkinen	67,59	115,92	6,56	0,53	63° 08' 08,55"	21° 57' 11,48"
5	kolmio	94,78	67,98	4,04	0,46	63° 07' 55,43"	21° 58' 26,31"
6	pyöreä- kärkinen	83,52	99,71	5,75	0,52	63° 05' 46,95"	21° 58' 41,60"
7	kolmio	77,07	46,34	3,69	0,27	63° 05' 39,11"	21° 58' 07,27"
8	chevron	91,44	72,91	2,71	0,28	62° 58' 59,63"	22° 18' 11,23"
9	chevron	91,37	61,81	2,91	0,24	62° 58' 57,77"	22° 18' 17,11"
10	kolmio	58,87	72,41	4,08	0,25	62° 58' 57,07"	22° 18' 28,04"
11	kolmio	70,50	76,25	4,17	0,34	62° 54' 30,18"	21° 56' 54,44"
12	chevron	80,17	113,29	4,66	0,36	62° 54' 36,25"	22° 08' 52,12"
13	kolmio	149,98	126,50	6,25	1,4	62° 53' 07,93"	22° 26' 49,56"
14	kolmio	233,69	154,79	5,73	2,01	62° 52' 26,94"	22° 42' 44,56"
15	kolmio	149,48	79,81	4,27	0,81	62° 51' 45,74"	22° 31' 05,69"
16	kolmio	107,83	96,93	2,95	0,7	62° 51' 32,47"	22° 30' 50,48"
17	pyöreä- kärkinen	48,04	65,30	1,95	0,23	62° 50' 19,91"	22° 10' 12,30"

Kartoittamani murtoot ja epäselvät murtoot olivat keskittyneet tutkimusalueen länsi- ja lounaisosiin molemmille puolin SOIN-interlobaattialueen ja NJIL-jäänkielekevirta-alueen välistä rajaa (kuva 18). Tutkimusalueen koillis- ja itäosissa murtoita ei esiintynyt lainkaan. Murtoot olivat jakautuneet kahteen rykelmään: pohjoisemmassa rykelmässä murtoot sijaitsivat lähempänä toisiaan, kun taas eteläisemmässä rykelmässä murtoot olivat hajautuneet laajemmalle alueelle. Näiden rykelmien välissä sijaitsi epäselviä murtoita, kuten myös pohjoisimpien murtoiden pohjoispuolella (liite 1). Kaikkiaan murtoot ja epäselvät murtoot sijaitsivat kohtalaisen lähellä toisiaan ja muodostivat melko yhtenäisen kuvion.

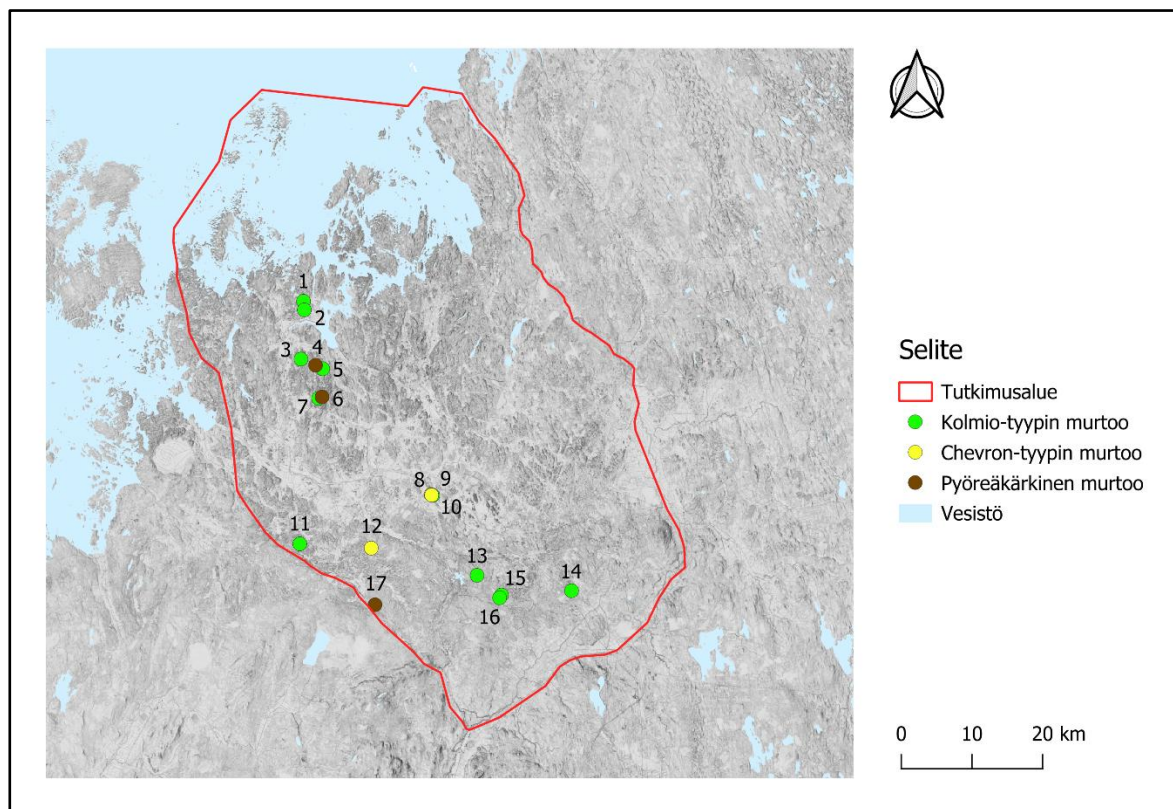


Kuva 18. Murtoiden ja epäselvien murtoiden sijainti tutkimusalueella. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

5.1.2 Jakautuminen murtootyyppeihin

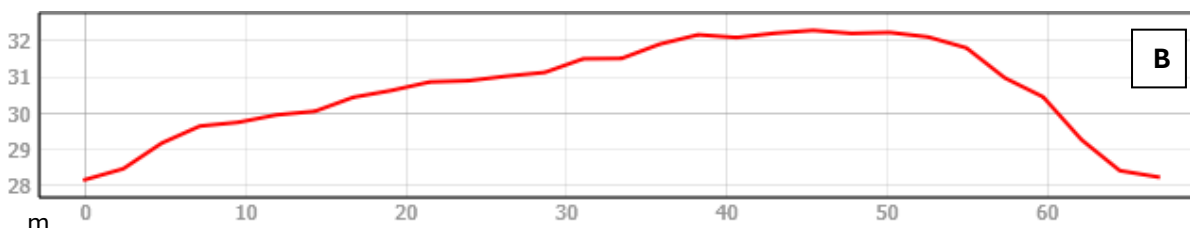
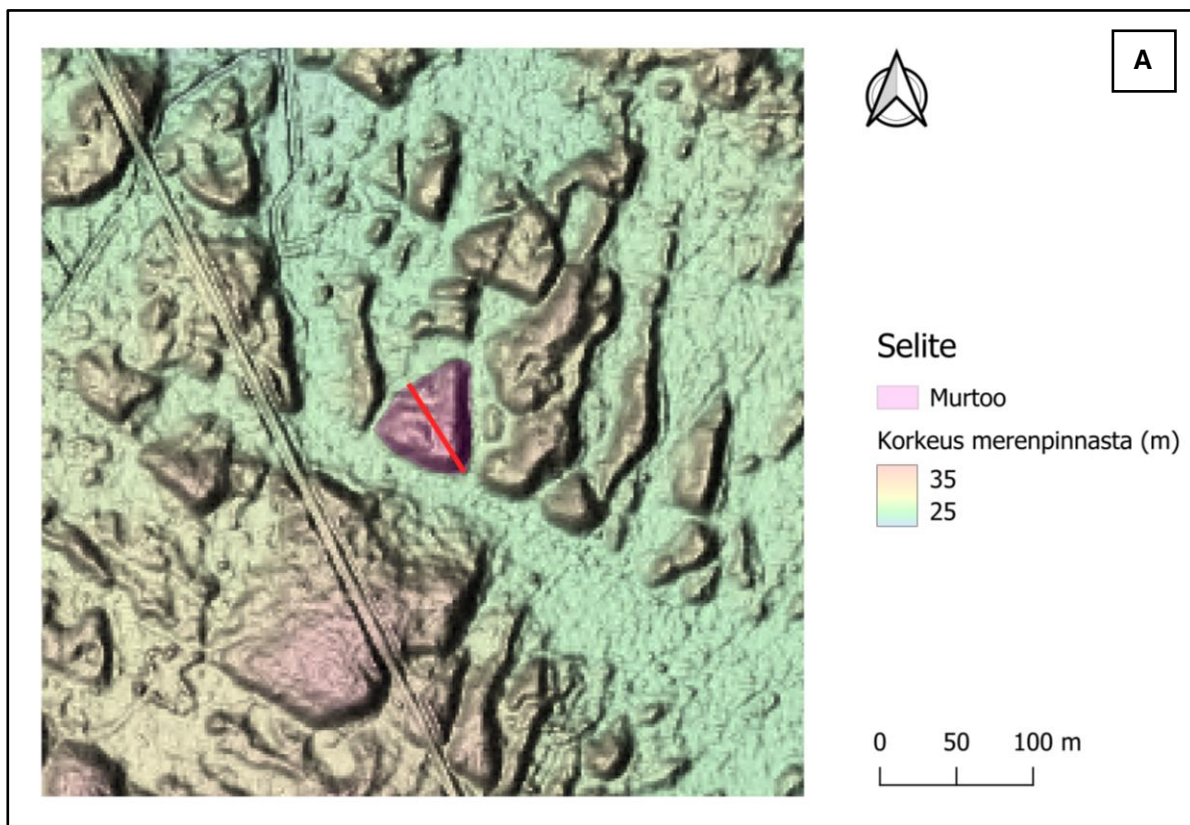
Murtoista eniten oli kolmio-tyyppin murtoita, 11 kappaletta, ja chevron-tyyppin murtoita sekä pyöreäkärkisiä murtoita oli kumpiakin kolme kappaletta (taulukko 1). Murtoot olivat jakautuneet eri murtootyyppeihin tutkimusalueella siten, että pohjoisimmat ja kaakkoisimmat murtoot edustivat kolmio-tyyppiä, kun taas chevron-murtoot eli muodostu-

mat numero 8, 9 ja 12 esiintyivät murtoorykelmän keskiosissa (kuva 19). Kaksi pyöreäkärkisistä murtoista esiintyi kolmio-murtoiden lähetyillä, ja yksi erillään muista murtoista tutkimusalueen lounaisreunan läheisyydessä. Rykelmässä sekä pohjoisimpana että itäisimpänä sijaitsevat murtoot olivat kolmio-typin murtoita.



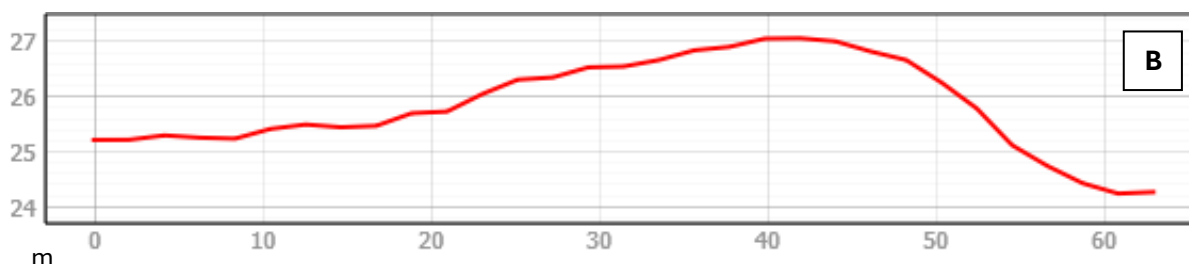
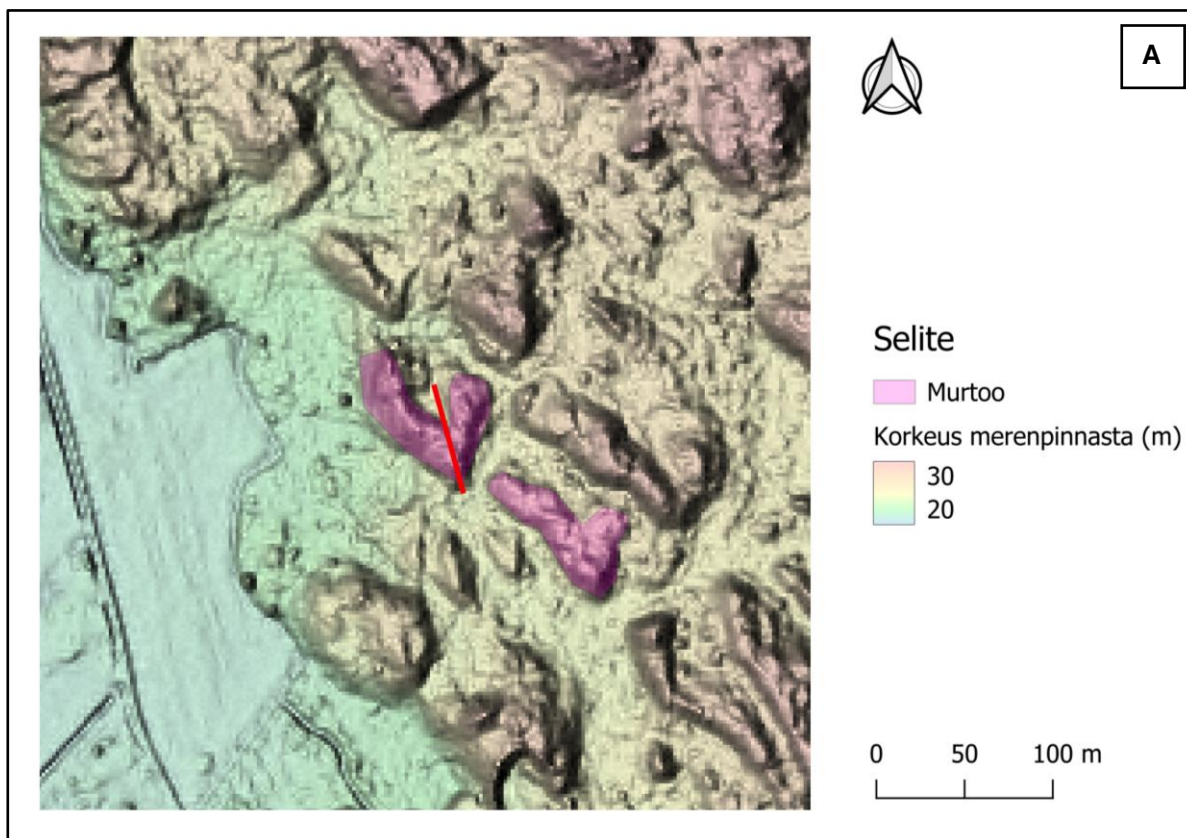
Kuva 19. Murtojen sijainti tutkimusalueella murtoityypeittäin. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Kolmio-typin murtojen pituus oli keskiarvoltaan 112,7 metriä, leveys 84,1 metriä, korkeus 4,1 metriä ja pinta-ala 0,7 hehtaaria. Kolmio-typin murtoot olivat keskimääräiseltä pituudeltaan sekä pinta-alaltaan murtoista suurimpia. Korkeuden ja leveyden keskiarvoiltaan kolmio-typin murtoot asettuivat chevron-typin ja pyöreäkärkisten murtojen väliin. Lisäksi suurimmat pituuden, leveyden ja pinta-alan yksittäiset arvot olivat kolmio-typin murtoon (taulukko 1). Toisaalta myös pienin leveyden yksittäinen arvo oli kolmio-typin murtoon. Kolmio-typin murtoot vaihtelivat muodoltaan hieman, mutta kaikissa oli havaittavissa selviä murtoon piirteitä. Valtaosan murtoista pituus oli suurempi kuin leveys. Selkein kolmio-typin murtoista oli muodostuma numero 11, joka oli muodoltaan selvärajainen kolmio (kuva 20A). Murtoon proksimaalipuoli oli korkeusprofiilin perusteella loivempi kuin distaalipuoli (kuva 20B).



Kuva 20. A. Esimerkki kartoitetusta kolmio-typin murtoosta, muodostuma numero 11, punainen viiva osoittaa korkeusprofiilin sijainnin. B. Murtoon numero 11 korkeusprofiili sivulta katsottuna. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

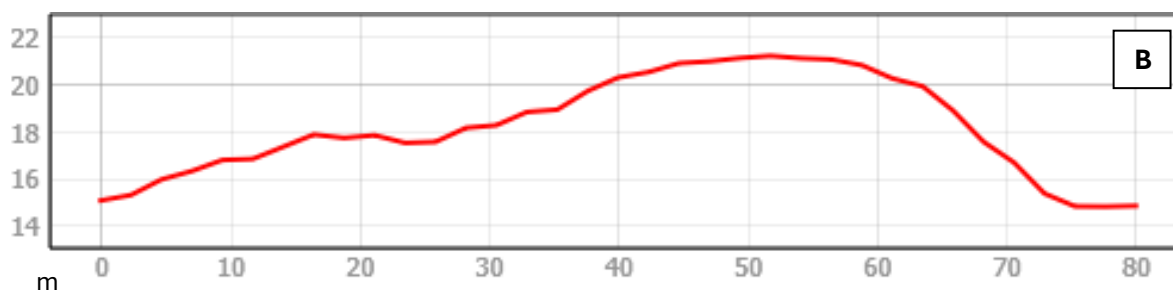
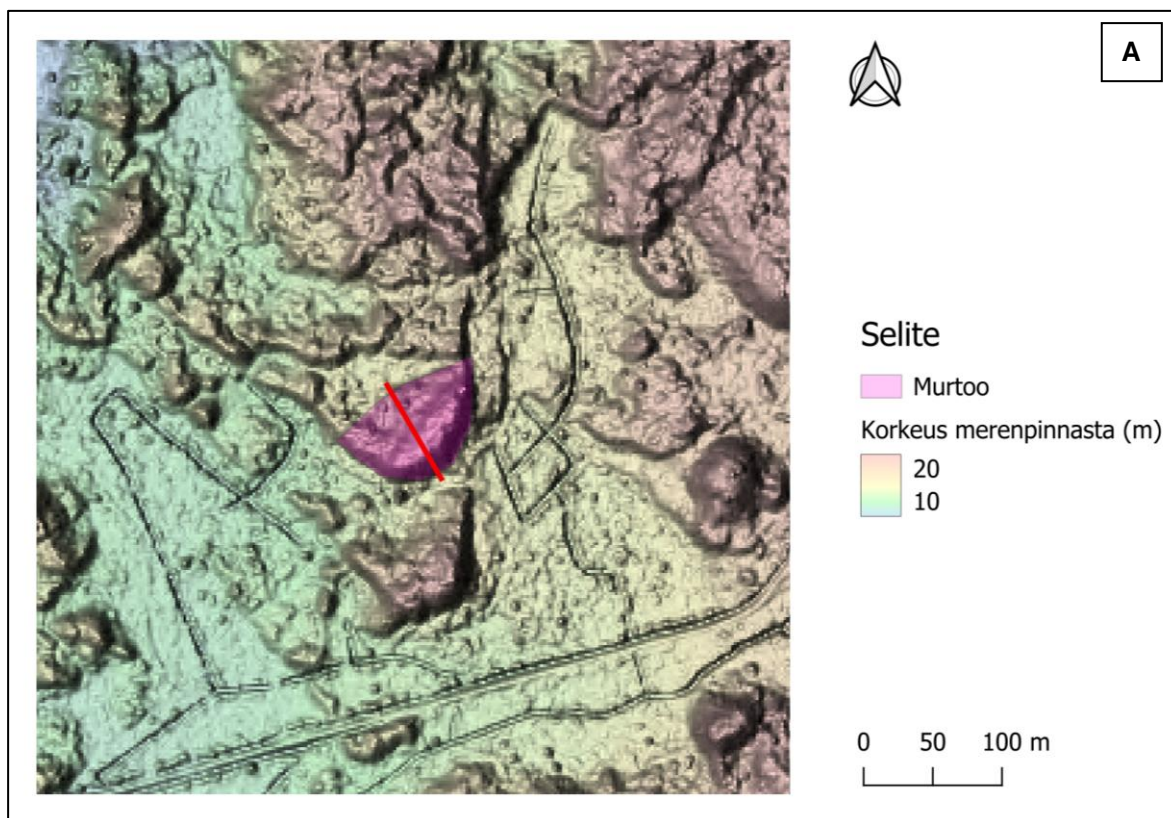
Chevron-tyyppin murtoiden pituus oli keskiarvoltaan 87,7 metriä, leveys 82,7 metriä, korkeus 3,4 metriä ja pinta-ala 0,3 hehtaaria. Chevron-tyyppin murtoot olivat keskimääräiseltä leveydeltään, korkeudeltaan sekä pinta-alaltaan murtoista pienimpiä, ja pituuden keskiarvoltaan ne asettuivat kolmio-tyyppin ja pyöreäkärkisten murtoiden väliin. Chevron-tyyppin murtoot vaihtelivat muodoltaan hieman, mutta kaikissa oli havaittavissa selviä murtoon piirteitä. Kahden kolmesta murtoosta pituus oli suurempi kuin leveys. Selkein chevron-tyyppin murtoista oli muodostuma numero 8, joka oli muodoltaan 'osittainen' chevron (kuva 21A). Murtoon proksimaalipuoli oli korkeusprofiilin perusteella loivempi kuin distaalipuoli (kuva 21B).



Kuva 21. A. Esimerkki kartoitetusta chevron-typin murtoosta, muodostuma numero 8, punainen viiva osoittaa korkeusprofiilin sijainnin. Kuvassa näkyy myös murto numero 9. B. Murtoon numero 8 korkeusprofiili sivulta katsottuna. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Pyöreäkärkisten murtoiden pituus oli keskiarvoltaan 66,4 metriä, leveys 93,6 metriä, korkeus 4,8 metriä ja pinta-ala 0,4 hehtaaria. Pyöreäkärkiset murtoot olivat keskimääräiseltä leveydeltään sekä korkeudeltaan murtoista suurimpia ja keskimääräiseltä pituudeltaan pienimpiä. Pinta-alan keskiarvoltaan ne asettuivat kolmio-typin ja chevron-typin murtoiden väliin. Lisäksi pienimmät pituuden, korkeuden sekä pinta-alan yksittäiset arvot olivat pyöreäkärkisen murtoon (taulukko 1). Toisaalta myös suurin korkeuden yksittäinen arvo oli pyöreäkärkisen murtoon. Pyöreäkärkiset murtoot vaihtelivat muo-

doltaan hieman, mutta kaikissa oli havaittavissa selviä murtoon piirteitä. Kaikkien kolmen murtoon leveys oli suurempi kuin pituus. Selkein pyöreäkärkisistä murtoista oli muodostuma numero 4, jonka kärki oli selvästi pyöreä (kuva 22A). Murtoon proksimaalipuoli oli korkeusprofiilin perusteella loivempi kuin distaalipuoli (kuva 22B).



Kuva 22. A. Esimerkki kartoitetusta pyöreäkärkisestä murtoosta, muodostuma numero 4, punainen viiva osoittaa korkeusprofiilin sijainnin. B. Murtoon numero 4 korkeusprofiili sivulta katsottuna. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

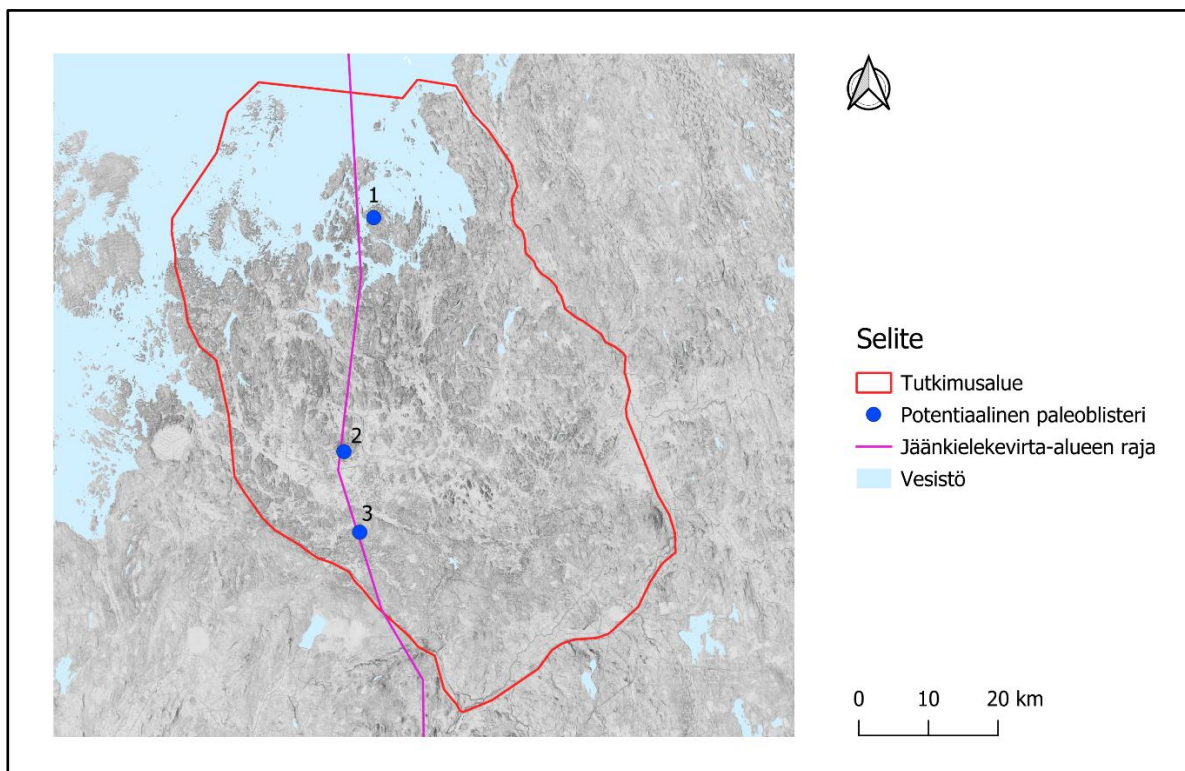
5.2 Potentiaaliset paleoblisterit

Kartoitin tutkimusalueelta yhteensä kolme potentiaalista paleoblisteriä. Potentiaalisten paleoblistereiden halkaisija vaihteli 226,1 ja 290,8 metrin välillä ja oli keskiarvoltaan 268,7 metriä (taulukko 2). Pinta-alat vaihtelivat 2,4 ja 5,8 hehtaarin välillä, ja keskiarvo oli 4,4 hehtaaria.

Taulukko 2. Kartoitettujen potentiaalisten paleoblistereiden avainlukuja. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Muodostuman numero	Halkaisija (m)	Pinta-ala (ha)	Koordinaatit (N)	Koordinaatit (E)
1	289,23	5,79	63° 18' 57,87"	22° 05' 59,71"
2	226,06	2,43	63° 00' 45,66"	22° 03' 58,43"
3	290,82	4,97	62° 54' 38,50"	22° 07' 41,74"

Kartoittamani potentiaaliset paleoblisterit olivat jakautuneet tutkimusalueella siten, että ensimmäinen muodostuma sijaitsi tutkimusalueen pohjoisosassa, Oxxangarin saarella (kuva 23). Loput kaksi potentiaalista paleoblisteriä sijaitsivat kohtalaisen lähellä toisiaan tutkimusalueen länsi- ja lounaisosassa, noin 12 km etäisyydellä toisistaan. Kaikki muodostumat sijaitsivat melko suorassa linjassa toisiinsa nähden hyvin lähellä SOIN-interlobaattialueen ja NJIL-jäänkielekevirta-alueen välistä rajaa, rajan itäpuolella eli NJIL-alueella.

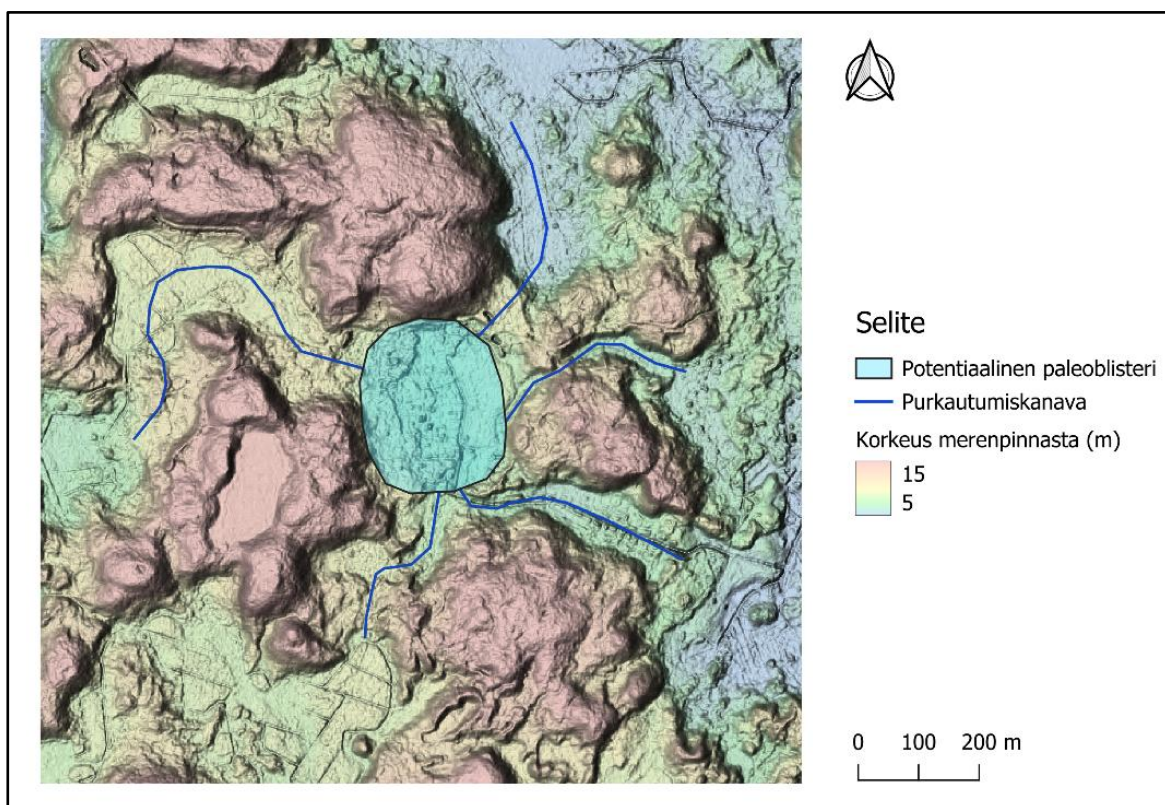


Kuva 23. Potentiaalisten paleoblisterien sijainti tutkimusalueella. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

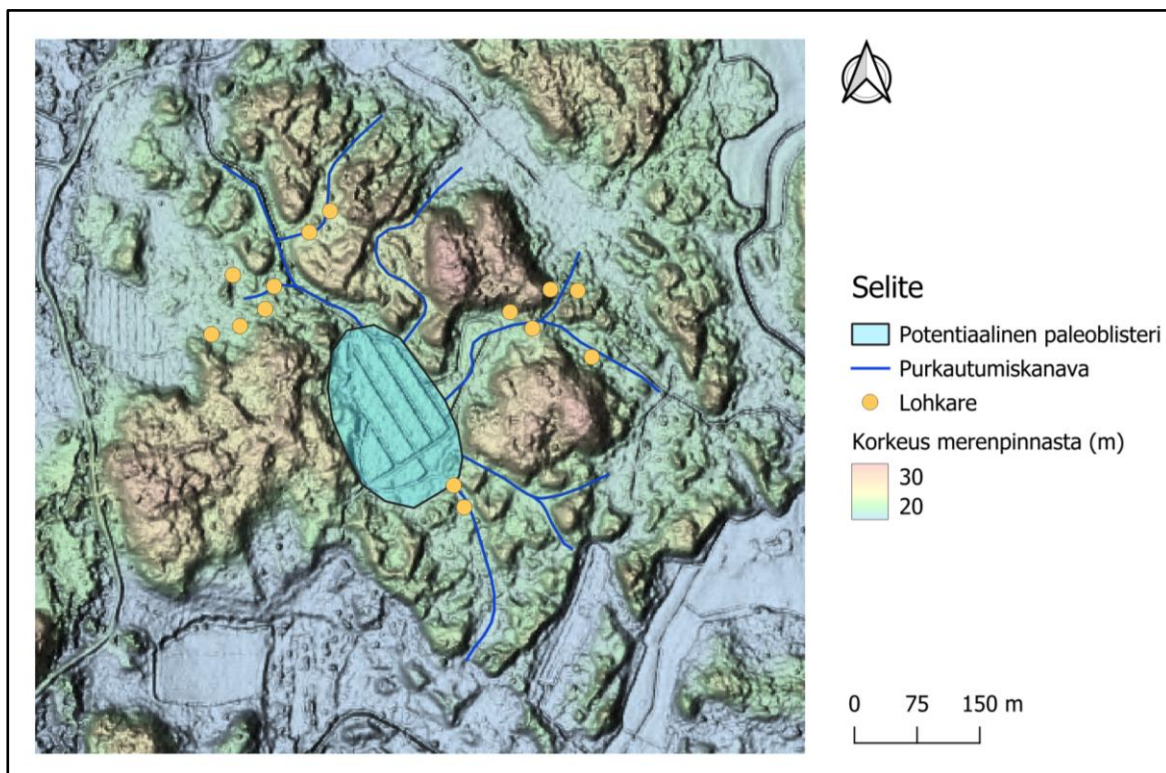
Ensimmäinen potentiaalinen paleoblisteri oli muodoltaan melko pyöreä soikio, ja siitä lähti viisi selkeää purkautumiskanavaa, joista yksi lähti jään reunan suuntaan (kuva 24). Purkautumiskanavat eivät haarautuneet, eikä niissä ollut havaittavissa lohkaraita. Jäätikön liikesuunnassa alavirtaan paleoblisteristä oli havaittavissa kumpumoreenia sekä polymorfisia kumpuja ja harjanteita (PMR). Paleoblisterin alueella maaperä oli hiekkamoreenin, liejun ja rahkaturpeen peittämää, ja sen ympärillä oli hiekkamoreenia.

Potentiaalinen paleoblisteri numero 2 oli muodoltaan pitkänomainen soikio, ja siitä lähti viisi purkautumiskanavaa, joista kaksi lähti jään reunan suuntaan (kuva 25). Kolme purkautumiskanavasta haarautui pienemmiksi sivuhaaroiksi, ja kolmessa oli maastokartan perusteella havaittavissa lohkaraita. Jäätikön liikesuunnassa alavirtaan paleoblisteristä oli havaittavissa polymorfisia kumpuja ja harjanteita (PMR), harjanteita ja jyrkänpartaita (MRE) sekä yksi epäselvä murtoo. Paleoblisterin alueella maaperä oli hiekkamoreenin ja rahkaturpeen peittämää, ja sen ympärillä oli hiekkamoreenia.

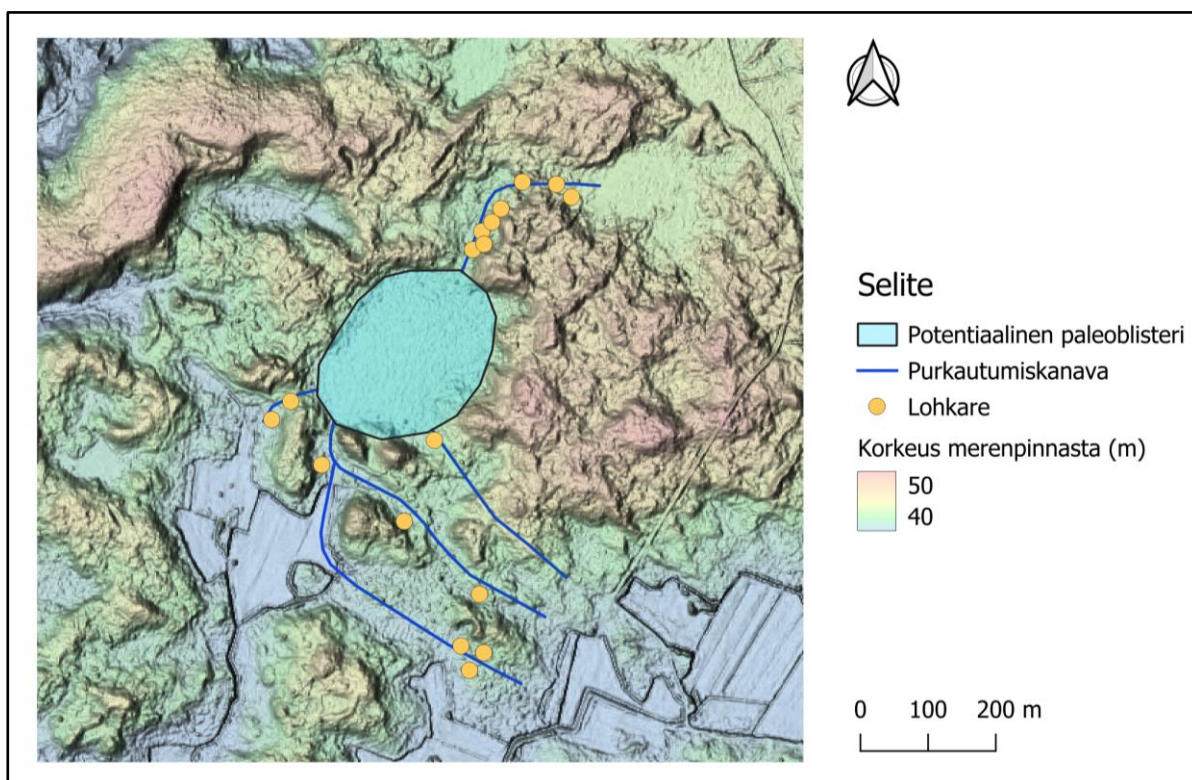
Kolmas potentiaalinen paleoblisteri oli muodoltaan melko pyöreä soikio, ja siitä lähti neljä purkautumiskanavaa, joista kaksi lähti jään reunan suuntaan (kuva 26). Yksi purkautumiskanavista haarautui. Kaikissa purkautumiskanavissa oli maastokartan perusteella havaittavissa lohkarkeitä. Jäätikön liikesuunnassa alavirtaan paleoblisteristä oli havaittavissa polymorfisia kumpuja ja harjanteita (PMR) sekä yksi chevron-tyypin murtto. Paleoblisterin alueella maaperä oli hiekkamoreenin ja rahkaturpeen peittämää, ja sen ympärillä oli hiekkamoreenia.



Kuva 24. Potentiaalinen paleoblisteri numero 1. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

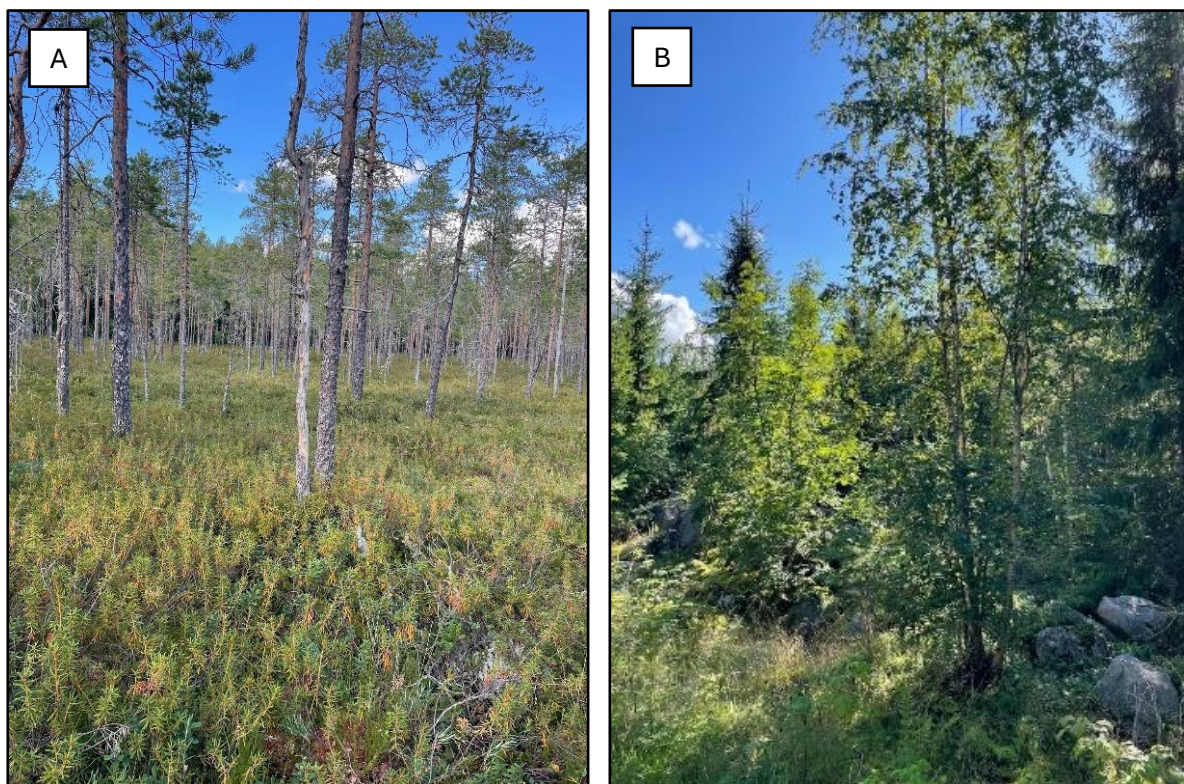


Kuva 25. Potentiaalinen paleoblisteri numero 2. (Pohjakartan ja lohkareiden sijainnin aineistolähteet: Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos)



Kuva 26. Potentiaalinen paleoblisteri numero 3. (Pohjakartan ja lohkareiden sijainnin aineistolähteet: Geologian tutkimuskeskus, Maanmittauslaitos)

Potentiaallinen paleoblisteri numero 3 sijaitti Trippainen-nimisellä suolla (kuva 27A). Suolla kasvoi enimmäkseen mäntyä sekä suopursua. Suo oli melko kuiva, eikä sitä ollut ojitettu. Paleoblisterin läntisimmässä purkautumiskanavassa oli havaittavissa lohkaraita (kuva 27B).



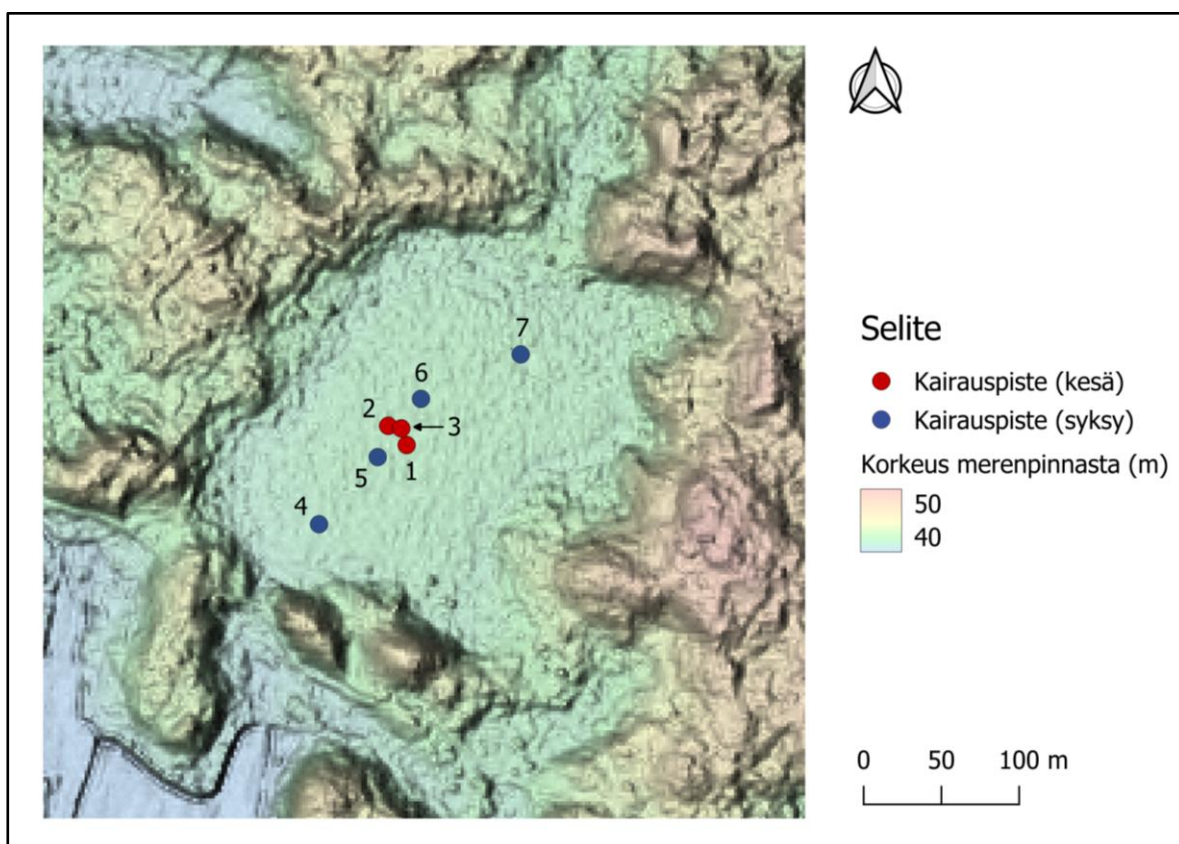
Kuva 27. A. Potentiaallinen paleoblisteri numero 3 (Trippainen) maastossa, B. lohkaraitaa potentiaalisen paleoblisterin numero 3 purkautumiskanavan läheisyydessä. (Lähde: Essi Lappi 21.8.2025)

Potentiaalisen paleoblisterin numero 3 ensimmäisessä kairauksessa (kuva 28) pääsin 3,55 m syvyyteen, kunnes kaira osui kiveen. Pohjan maa-aines oli kosteaa turvetta ja liejua. Pohjassa oli myös hieman liejusavea kairan viimeisen 20 senttimetrin matkalta.

Toisessa kairauksessa (kuva 28) pääsin 5,25 m syvyyteen, enkä päässyt syvemmälle, sillä kaira loppui kesken. Kairaan tarttui aluksi turvetta ja savea, joka oli pohjasta hiekkaisa (kuva 29). Tämän jälkeen pääsin kairalla vielä syvemmälle, jolloin hiekkaisen saveen alla olleen hiekan alta paljastui vetistä liejua.

Kolmannessa kairauksessa (kuva 28) pääsin 5,25 m syvyyteen, enkä päässyt syvemmälle, sillä kaira loppui kesken. Kairaan tarttui aluksi hienoa, hiekkaisa savea noin 15

cm verran, ja pohjaa kohden maa-aines muuttui hiekkaisemmaksi. Hiekkaisen saven alla oli toisen kairauksen tapaan vetistä liejua.

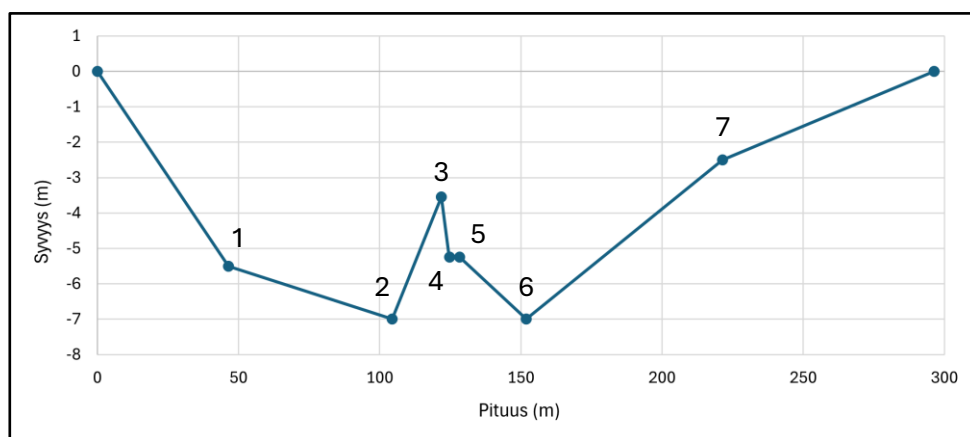


Kuva 28. Potentiaalisen paleoblisterin numero 3 kairauspisteet numeroituna kairausjärjestyksen mukaan. Pisteet 1–3 osoittavat itse kesällä suorittamieni kairausten sijainnit ja pisteet 4–7 *LiDAR*-based approach on glacial landscapes -kurssin kenttätutkimuksien syksyn kairauksien sijainnit. (Aineistolähteet: Geologian tutkimuskeskus, *LiDAR*-based approach on glacial landscapes -kurssin ryhmän 1 raportti)



Kuva 29. Toinen kairaus potentiaalisessa paleoblisterissä numero 3, kairassa savea sekä turvetta. (Lähde: Essi Lappi 21.8.2025)

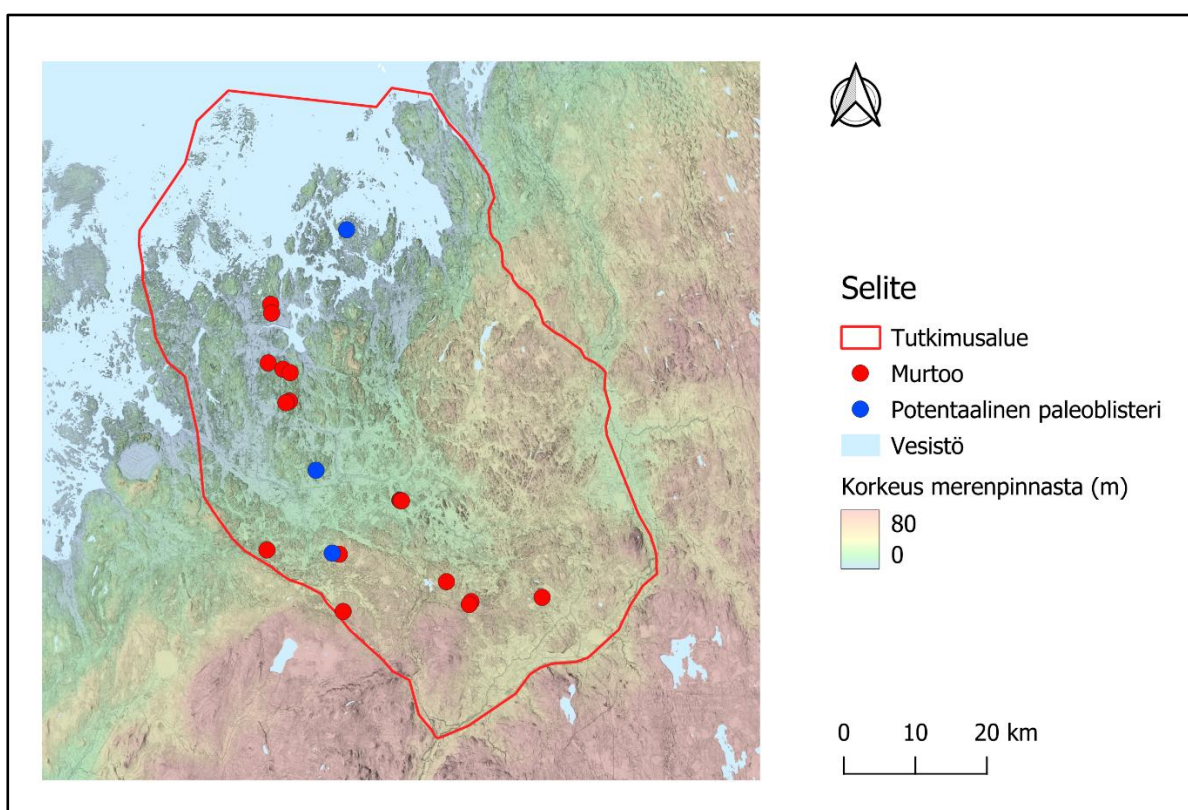
Turun yliopiston *LiDAR -based approach on glacial landscapes* -kurssin kenttätutkimuksien kairauksien (ryhmä 1) perusteella Trippainen eli potentiaalinen paleoblisteri numero 3 on kairauspisteen 4 kohdalta (kuva 28) 5,5 metriä syvä, pisteen 5 kohdalta 7,0 metriä syvä, pisteen 6 kohdalta vähintään 7,0 m syvä ja pisteen 7 kohdalta 2,5 metriä syvä (kuva 30). Kairauksissa havaittiin, että maa-aines koostui turpeesta, savesta, hiekkaisesta savesta sekä hiekkasta, minkä alla oli kallioperä. Pisteissä 5 ja 6 havaittiin hiekkaisen savikerroksen tai hiekkakerroksen ja kallioperän välissä pohjavettä 4–7 metrin syvyydessä. Lisäksi paleoblisterin läntisimmässä purkauskanavassa havaittiin lohka-reita.



Kuva 30. Trippaisen eli potentiaalisen paleoblisterin numero 3 syvyysprofiili kairauksien perusteella, kairauspisteet numeroitu. (Käytetyn pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

5.3 Murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden yhteys topografiaan

Murtoita esiintyi sekä rannikkoa lähellä olevilla matalilla korkeuksilla että kauempana rannikosta olevassa korkeammassa maastossa (kuva 31). Murtoiden korkeus merenpinnasta vaihteli 11,7 ja 58,2 metrin välillä (taulukko 3). Keskimääräinen korkeus merenpinnasta oli 32,9 metriä. Suurin maaston korkeuden vaihteluväli 1 km säteellä murtoosta oli 30,1 m ja pienin vaihteluväli 14,9 m, eli maasto oli suhteellisen tasaista. Lähes kaikki murtoot sijaitsivat kilometrin säteellä olevaan ympäristöönsä nähden melko korkealla ja muutama korkeuden keskivaiheilla.

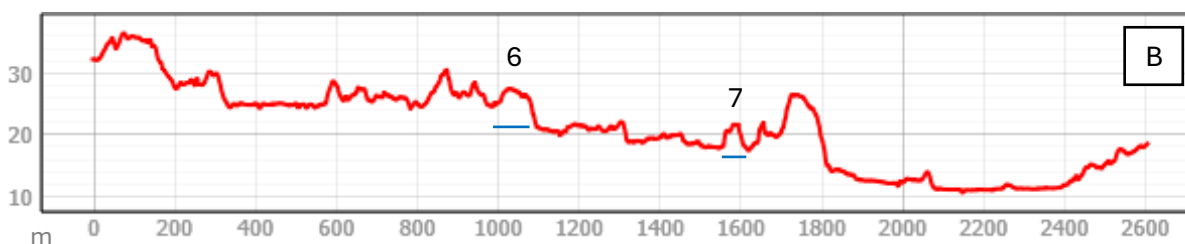
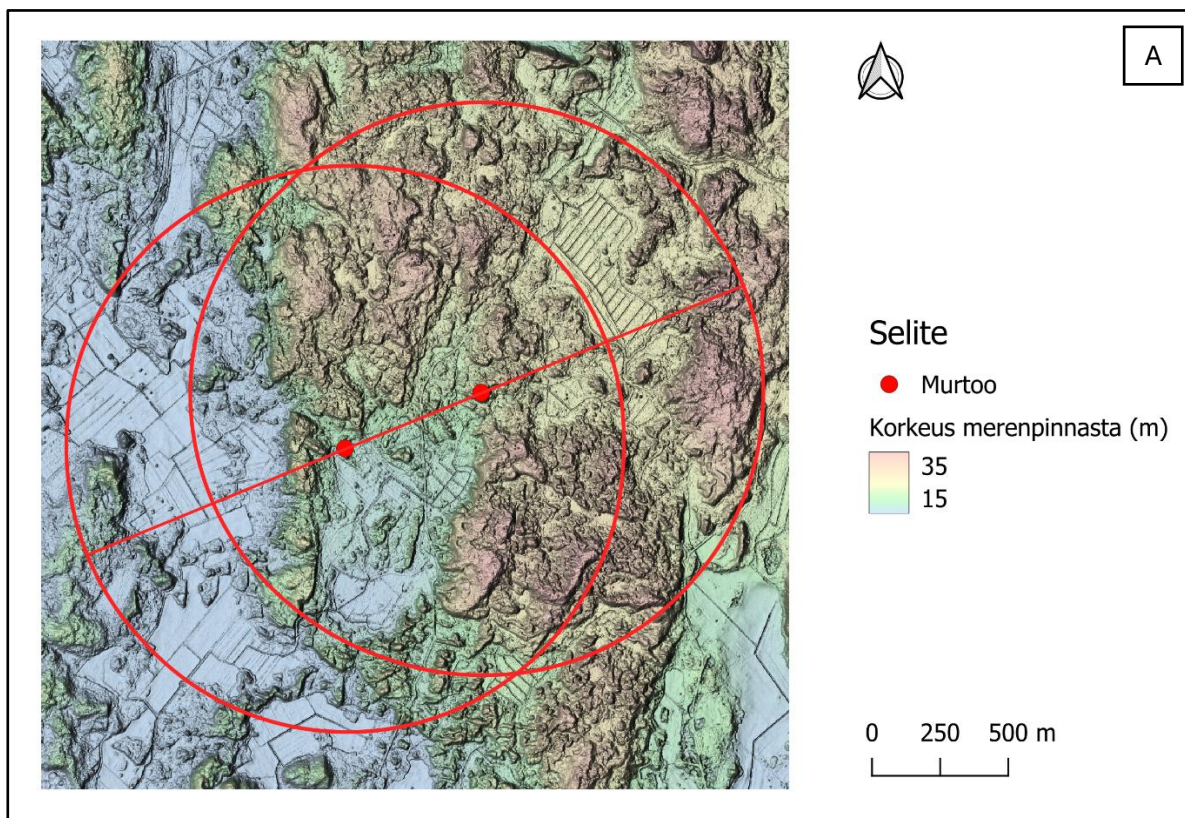


Kuva 31. Murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden suhde alueen topografiaan. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Taulukko 3. Murtoiden korkeus merenpinnasta suhteessa lähialueeseensa. (Korkeustietojen aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Muodostuman numero	Murto-tyyppi	Korkeus merenpinnasta (m)	Minimikorkeus (m) 1 km säteellä	Maksimikorkeus (m) 1 km säteellä	Korkeuden vaihteluväli (m) 1 km säteellä
1	kolmio	14,70	0,00	24,95	24,95
2	kolmio	11,69	0,00	22,26	22,26
3	kolmio	15,68	1,25	24,26	23,01
4	pyöreäkärkinen	21,84	6,47	31,22	24,75
5	kolmio	22,23	6,65	32,01	25,36
6	pyöreäkärkinen	29,01	10,23	40,37	30,14
7	kolmio	22,48	8,04	37,88	29,84
8	chevron	29,35	19,63	35,75	16,12
9	chevron	27,77	19,63	35,75	16,12
10	kolmio	29,29	19,68	35,75	16,07
11	kolmio	32,49	22,71	40,21	17,50
12	chevron	47,07	37,08	51,93	14,85
13	kolmio	48,42	34,61	56,11	21,51
14	kolmio	50,28	39,54	56,65	17,10
15	kolmio	49,99	38,19	58,53	20,34
16	kolmio	49,54	40,08	60,81	20,73
17	pyöreäkärkinen	58,23	35,88	65,09	29,21

Suurin osa murtoista sijaitsi korkeamman kohdan reunalla (kuva 32A). Kolme murtoota sijaitsi kahden korkeamman kohdan välissä, yksi korkeamman kohdan lähetyvillä ja yksi sellaisen päällä. Moni murtoista sijaitsi alaspäin viettävässä rinteessä (kuva 32B).



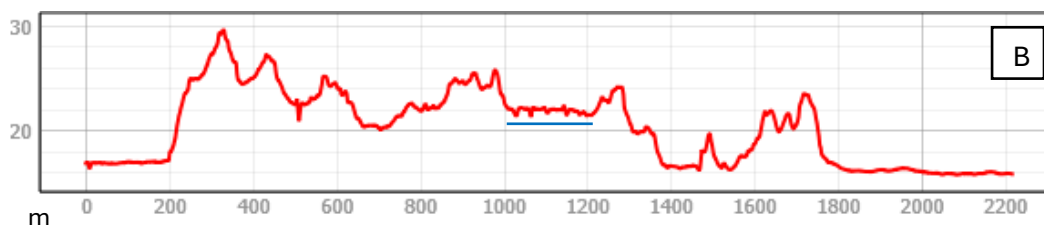
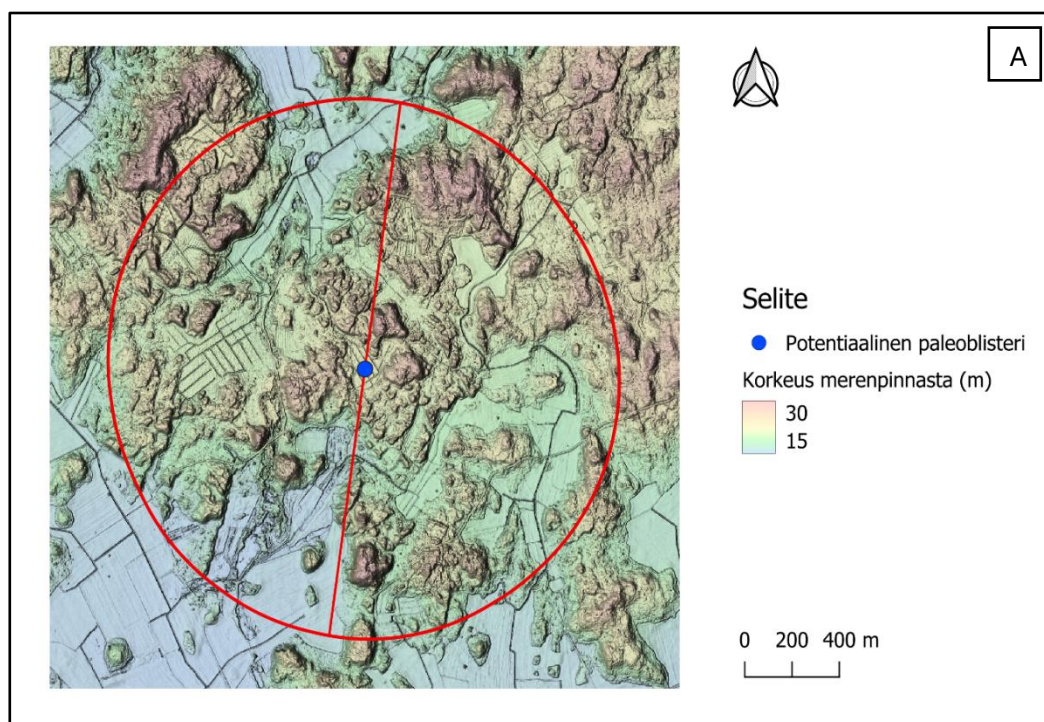
Kuva 32. A. Esimerkki murtoiden suhteesta ympäristön topografiaan, kuvassa oikealla puolella murto numero 6 ja vasemmalla numero 7. Punaisella rajattuna puskurivyöhyke, jonka säde on 1 km, ja punainen viiva osoittaa korkeusprofiilin sijainnin koillisesta lähtien. B. Murtoiden 6 ja 7 lähialueen korkeusprofiili. Murtoiden sijainti merkitty sinisellä viivalla. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Potentiaalisten paleoblisterien korkeus merenpinnasta vaihteli 11,7 ja 44,2 metrin välillä (taulukko 4). Keskimääräinen korkeus merenpinnasta oli 26,7 metriä. Suurin maaston korkeuden vaihteluväli 1 km säteellä potentiaalisesta paleoblisteristä oli 23,9 m ja pienin vaihteluväli 19,3 m, eli maasto oli suhteellisen tasaista. Potentiaalinen paleoblisteri numero 3 sijaitsi kilometrin säteellä olevaan ympäristöönsä nähden korkealla, ja loput kaksi paleoblisteriä korkeuden keskivaiheilla.

Taulukko 4. Potentiaalisten paleoblisterien korkeus merenpinnasta suhteessa lähialueeseensa. (Korkeustietojen aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Muodostuman numero	Korkeus merenpinnasta (m)	Minimikorkeus (m) 1 km säteellä	Maksimikorkeus (m) 1 km säteellä	Korkeuden vaihteluväli (m) 1 km säteellä
1	11,67	0,23	21,05	20,83
2	24,04	14,34	33,68	19,34
3	44,24	26,84	50,73	23,89

Kaikki kolme potentiaalista paleoblisteriä sijaitsivat paikallisen korkeamman kohdan päällä (kuva 33A–B). Paleoblisterien 1 ja 2 tapauksessa korkeampi kohta ei ollut kovin laaja-alainen, kun taas paleoblisteri numero 3 sijaitsi laajemman korkean alueen päällä lähellä sen reunaa.



Kuva 33. A. Esimerkki potentiaalisen paleoblisterin suhteesta ympäristön topografiaan, kuvassa muodostuma numero 2. Punaisella rajattuna puskurivyöhyke, jonka säde on 1 km, ja punainen viiva osoittaa korkeusprofiilin sijainnin pohjoisesta lähtien. B. Potentiaalisen paleoblisterin numero 2 lähialueen korkeusprofiili. Paleoblisterin sijainti merkitty sinisellä viivalla. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

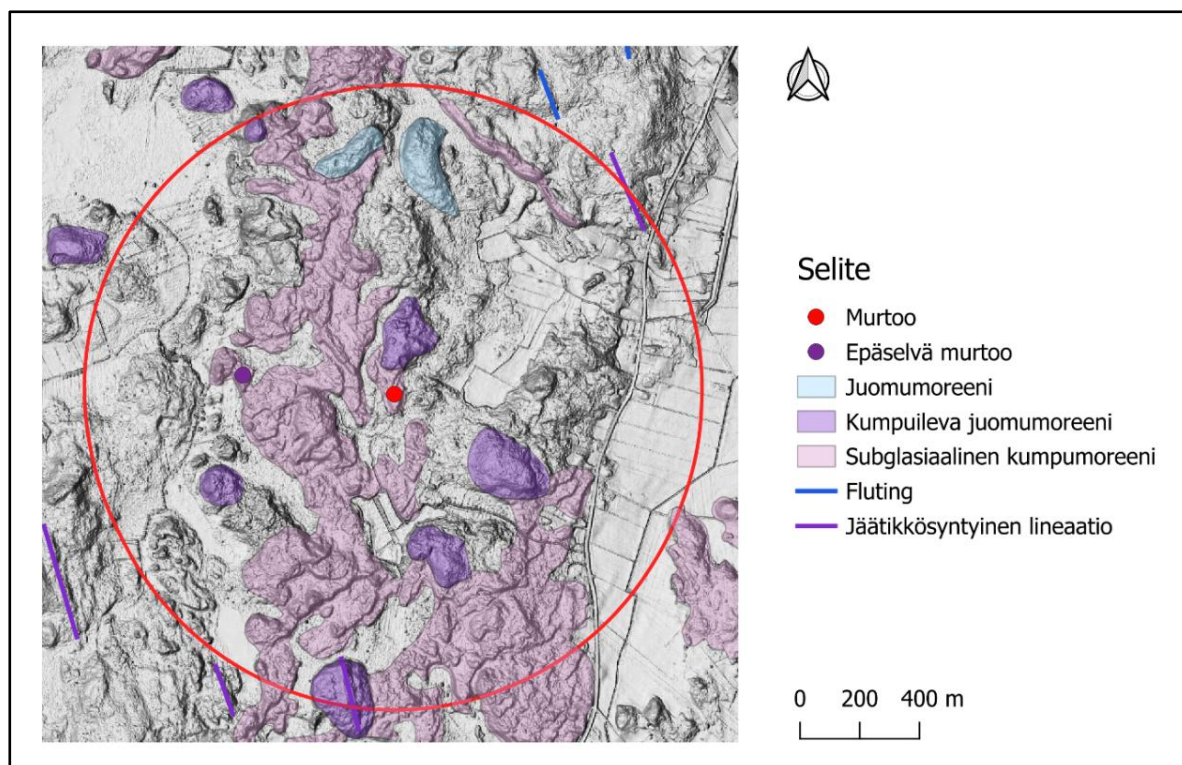
5.4 Murtoiden ja potentiaalisten paleoblistereiden yhteys geomorfologiaan

Murtoiden läheisyydessä, yhden kilometrin säteellä, esiintyi subglasiaalisia kumpumoreeneja, juomumoreeneja, jäätikkösyntyisiä lineaatioita, harjuja, kumpumoreeneja, eroosiolaaksoja, drumliini, flutingeja, De Geer -moreeneja, potentiaalinen paleoblisteri, rantakerrostumia, peittynyt karkearakeinen harjun ydin, toisia murtoita, epäselviä murtoita, polymorfisia kumpuja ja harjanteita (PMR), harjanteita ja jyrkänpartaita (MRE) sekä murtooreittejä (taulukko 5).

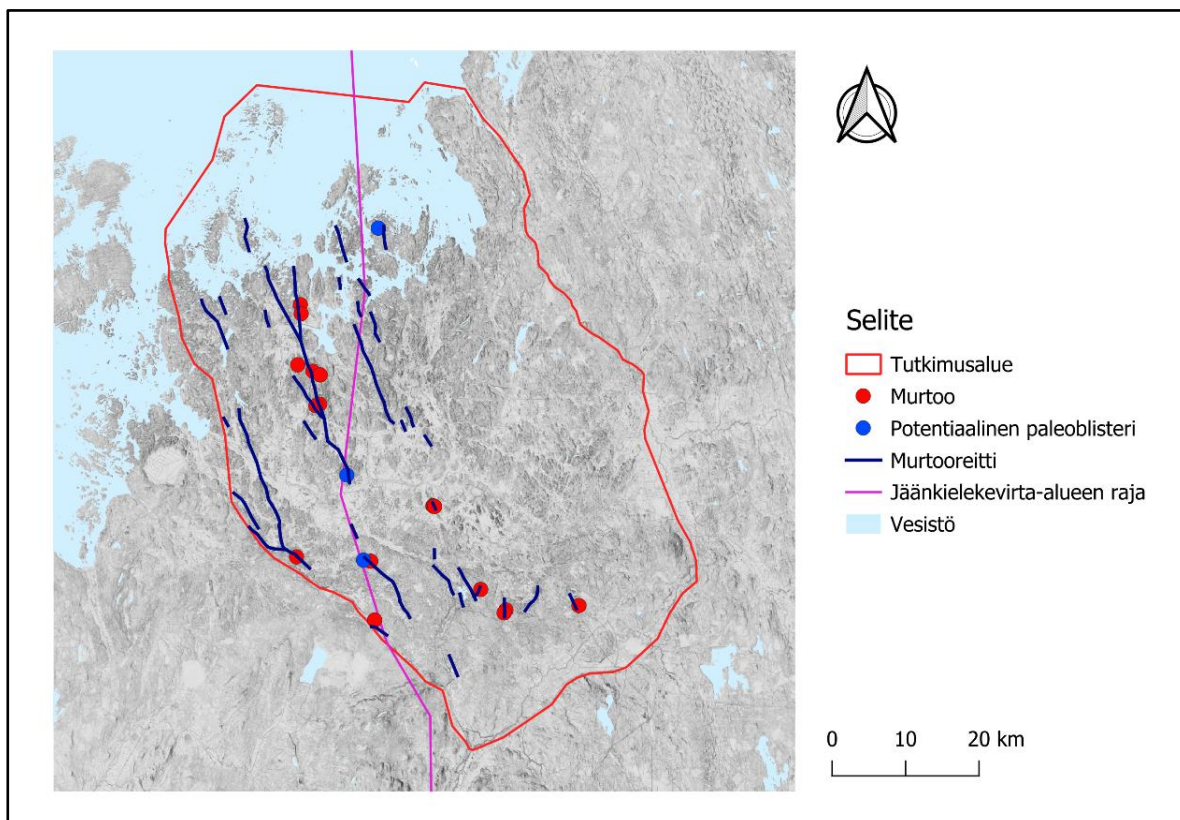
Taulukko 5. Murtoiden suhde ympäristöönsä. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Muodostuman numero	Murto-tyyppi	Läheiset muodostumat
1	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, epäselvä murto, murtooreitti
2	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, jäätikkösyntyinen lineaatio, murtooreitti
3	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, epäselvä murto
4	pyöreäkärkinen	subglasiaalinen kumpumoreeni, epäselvä murto, harju, kumpumoreeni, murtooreitti
5	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, kumpumoreeni, harju, eroosiolaakso, fluting
6	pyöreäkärkinen	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, kolmio-typin murto, murtooreitti
7	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, pyöreäkärkinen murto, epäselvä murto, murtooreitti
8	chevron	chevron-typin murto, kolmio-typin murto epäselvä murto, murtooreitti
9	chevron	chevron-typin murto, kolmio-typin murto, epäselvä murto, murtooreitti
10	kolmio	chevron-typin murto, epäselvä murto, murtooreitti
11	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, epäselvä murto, PMR, MRE, murtooreitti
12	chevron	De Geer -moreeni, juomumoreeni, potentiaalinen paleoblisteri, drumliini, fluting, murtooreitti
13	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, fluting, murtooreitti
14	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, kumpumoreeni, epäselvä murto, murtooreitti
15	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, kolmio-typin murto, epäselvä murto, fluting, murtooreitti
16	kolmio	subglasiaalinen kumpumoreeni, kolmio-typin murto, epäselvä murto, fluting, jäätikkösyntyinen lineaatio, murtooreitti
17	pyöreäkärkinen	subglasiaalinen kumpumoreeni, rantakerrostuma, peittynyt karkearakeinen harjun ydin, De Geer -moreeni, murtooreitti

Kaikkien paitsi neljän murtoon läheisyydessä yhden kilometrin säteellä esiintyi subglasiaalista kumpumoreenia, ja 11 murtoon läheisyydessä sijaitti epäselviä murtoita (kuva 34). Murtoista kuuden lähellä sijaitti juomumoreeneja, viiden lähellä flutingeja, kahden lähellä harjuja ja kahden lähellä De Geer -moreeneja. Kaikkien paitsi kahden murtoon läheisyydessä, yhden kilometrin säteellä muodostumasta, sijaitti murtooreitti (kuva 35). Kyseiset kaksi murtoota sijaittivat kuitenkin 1,3 km säteellä murtooreiteistä.

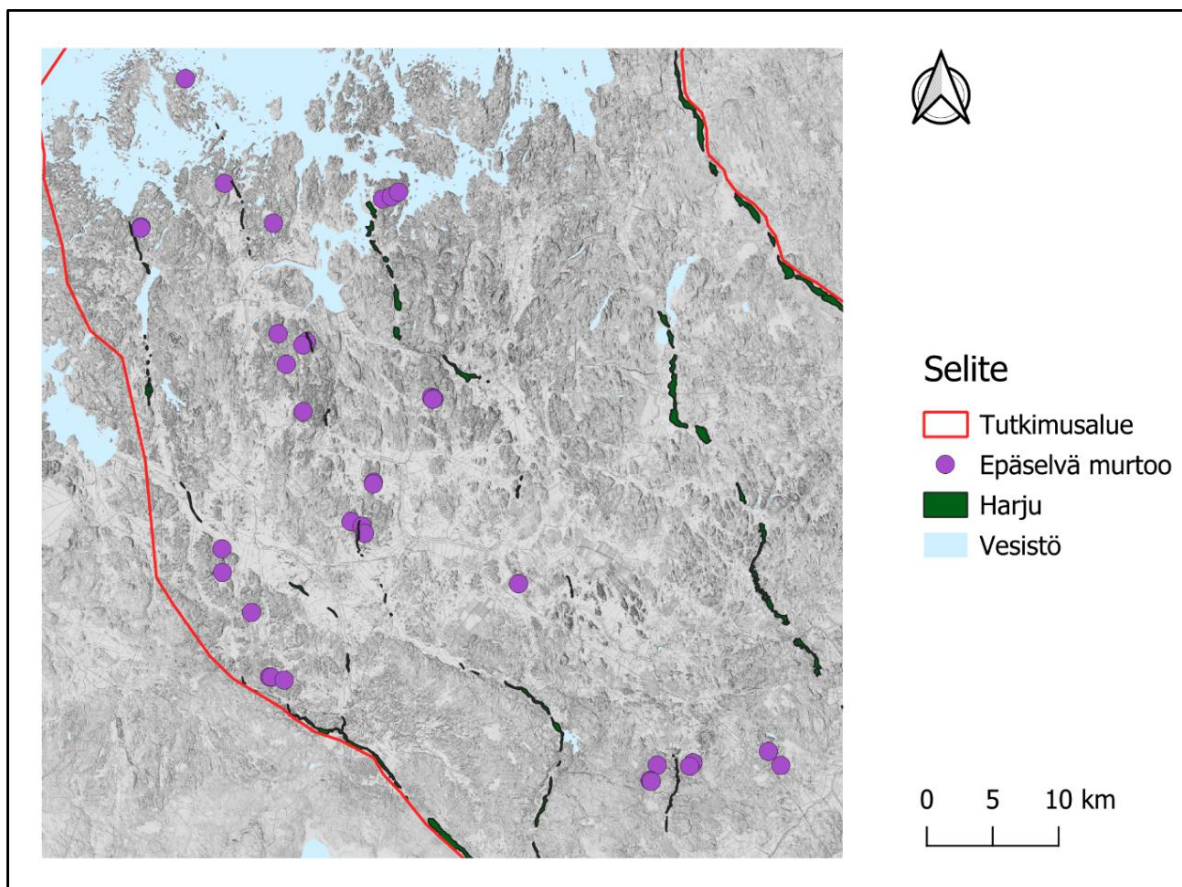


Kuva 34. Esimerkki kartoitetun murtoon ympäristössä olevista jäätikkösyntyisistä geomorfologisista muodostumista, kuvassa murto numero 1. Punaisella rajattuna puskurivyöhyke, jonka säde on 1 km. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)



Kuva 35. Murtoiden, potentiaalisten paleoblastereiden sekä murtooreittien sijainti tutkimusalueella. (Pohjakartan aineistolähde Geologian tutkimuskeskus, sulamisvesireittien aineistolähde Ahokangas ym. 2021)

Epäselvien murtoiden sijainnit näyttivät seuraavan jonkin verran harjujen sijainteja: epäselviä murtoita sijaitsi seitsemän harjun alkupään lähistöllä (kuva 36). Varsinaisilla murtoilla ei näyttänyt olevat yhtä selkeää yhteyttä harjuihin, ja ne esiintyivät pääasiassa pitkittäissuunnassa harjujen välissä. Lisäksi murtoot ja epäselvät murtoot sekä juomumoreeni näyttivät esiintyvän keskenään monilta osin samassa osassa tutkimusaluetta, itäisiä murtoita lukuun ottamatta.

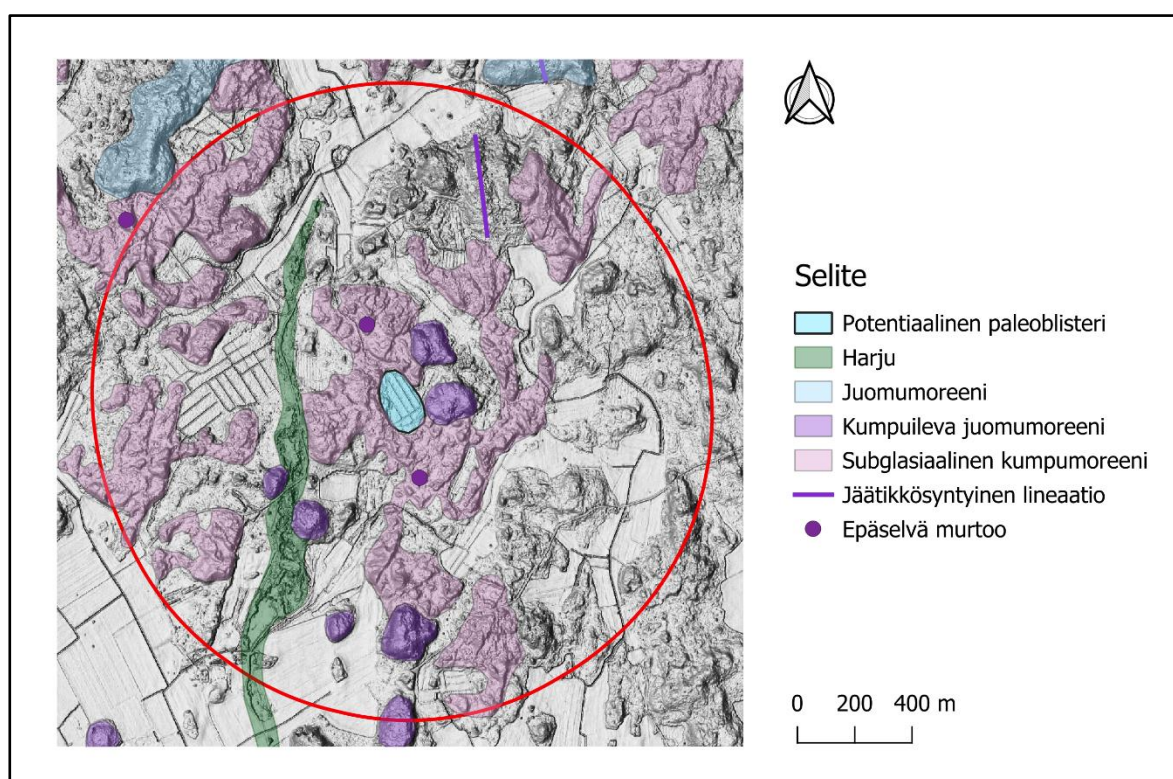


Kuva 36. Harjujen ja epäselvien murtoiden sijainti tutkimusalueella. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

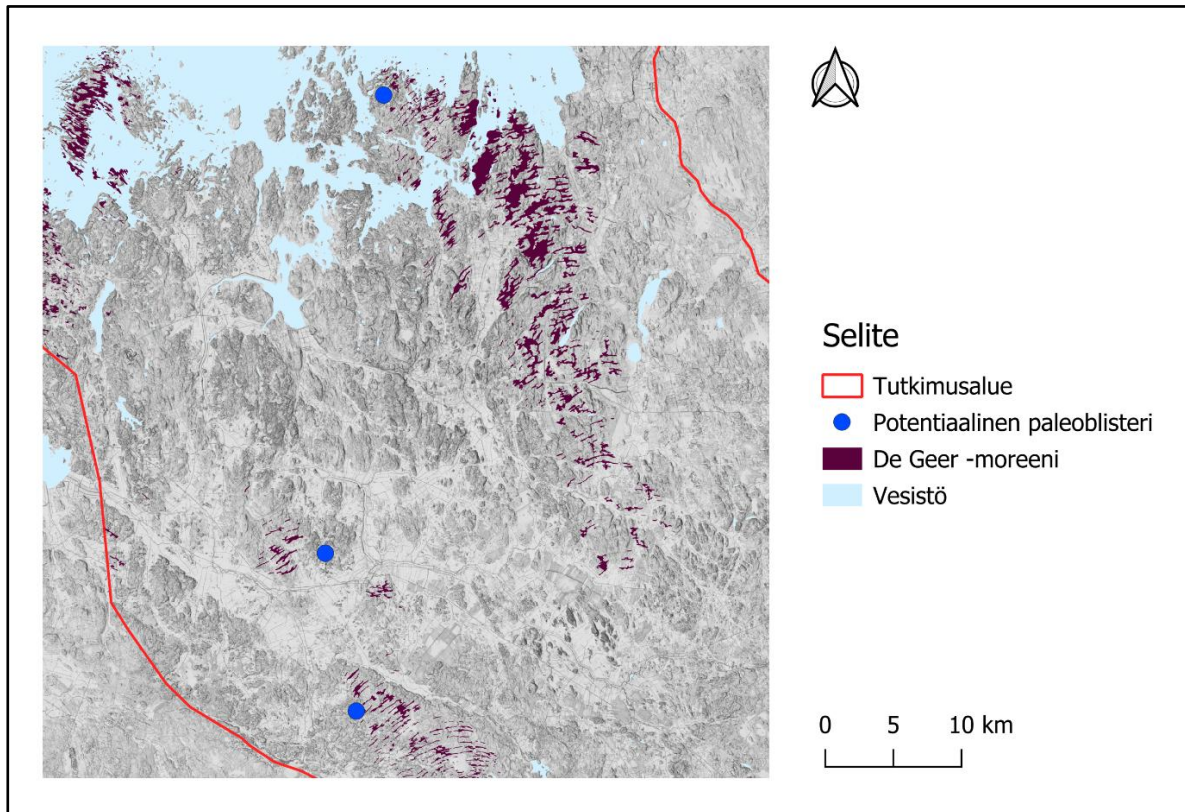
Potentiaalisten paleoblistereiden läheisyydessä, yhden kilometrin säteellä, esiintyi subglasiaalisia kumpumoreeneja, juomumoreeneja, De Geer -moreeneja, harju, jäätikkösyntyinen lineaatio, muinaisranta, chevron-tyypin murto, epäselviä murtoita sekä murtooreittejä (taulukko 6). Yhden kilometrin säteellä kaikista potentiaalisista paleoblistereistä esiintyi subglasiaalista kumpumoreenia sekä juomumoreenia (kuva 37), ja kahden lähistöllä De Geer -moreenia. Kaikki potentiaaliset paleoblistetit sijaitsivat De Geer -moreenikenttien reunoilla, korkeintaan kahden kilometrin päässä niistä (kuva 38). Kaikki kolme muodostumaa sijaitsivat myös murtooreittien varrella (kuva 35).

Taulukko 6. Potentiaalisten paleoblisterien suhde ympäristöönsä. (Aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

Muodostuman numero	Läheiset muodostumat
1	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, De Geer -moreeni, murtooreitti
2	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, harju, jäätikkösyntyinen lineaatio, epäselvä murto, murtooreitti
3	subglasiaalinen kumpumoreeni, juomumoreeni, De Geer -moreeni, muinaisranta, chevron-tyypin murto, murtooreitti



Kuva 37. Esimerkki kartoitetun potentiaalisen paleoblisterin ympäristössä olevista jäätikkösyntyisistä geomorfologisista muodostumista, kuvassa potentiaalinen paleoblisteri numero 2. Punaisella rajattuna puskurivyöhyke, jonka säde on 1 km. (Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)



Kuva 38. De Geer -moreenikenttien sijainti potentiaalisten paleoblastereiden läheisyydessä.

(Pohjakartan aineistolähde: Geologian tutkimuskeskus)

6 Keskustelu

6.1 Murtoot

Murtoiden ja murtooreittien puuttuminen tutkimusalueen koillis- ja itäosista voi viitata esimerkiksi siihen, että kyseisellä alueella jäätikkö on saattanut olla liian ohut (Ahokangas ym. 2021: 17). Tällöin jää ei ole saavuttanut riittävää painetta murtoiden muodostumiselle. Vaihtoehtoisesti murtoiden puuttuminen tutkimusalueen itäosista voi johtua siitä, että jäätikön sulamisvedet ovat ohjautuneet SOIN-interlobaattialueen ja NJIL-jäänkielekevirta-alueen rajalle, jonne murtoita on muodostunut. On myös mahdollista, että NJIL-alue on alun perin rajattu hieman väärin tai että SOIN- ja NJIL-alueiden välinen raja on siirtynyt deglasiation aikana esimerkiksi sulamisvesitoiminnan tai topografian vuoksi, jolloin voisi olla niin, että koko tutkimusalueeni olisi ollut NJIL-jäänkielekevirta-alueen ja aktiivisen jäätikön peittämää. SOIN- ja NJIL-alueiden välinen raja on saattanut tosiasiaassa esimerkiksi seurata Pohjankankaan saumaharjua kaakosta luoteeseen eli Kurikasta Vaasaan, tutkimusalueen lounais- ja länsirajan mukaisesti. Tämä voisi selittää murtoiden ja murtooreittien esiintymisen tutkimusalueen länsiosassa, SOIN-interlobaattialueen passiivisen jäätikön alueella.

Kolmio-tyyppin murtoita löytyi tutkimusalueelta enemmän kuin muita murtootyyppisiä, mikä vastaa Ojalan ym. (2021) tutkimuksen tuloksia siitä, että kartoitettujen murtookenttien joukossa oli eniten sellaisia kenttiä, jotka muodostuivat pääosin kolmio-tyyppin murtoista. Tämä voi mahdollisesti osoittaa, että kolmio-tyyppin murtoot ovat yleisempiä kuin muut murtootyypit. Eri murtootyyppien alueellinen jakautuminen tutkimusalueella vaikutti sattumanvaraiselta, eivätkä tietyn tyyppiset murtoot olleet sijoittuneet pelkästään samaan paikkaan keskenään. Tämä johtuu luultavasti siitä, että usein yhden murtookentän sisällä sijaitsee erityyppisiä murtoita (Ojala ym. 2021: 1109).

Tutkimusalueelta löytyi selvästi enemmän epäselviä murtoita kuin varsinaisia murtoita. Lisäksi vain osa murtoista sijaitti toisten murtoiden kanssa samassa murtookentässä. Varsinaisten murtoiden pienempi määrä voi johtua esimerkiksi siitä, että jää on saattanut pysyä kyseisessä kohdassa vain lyhyen aikaa tai jäätikön sulaminen ei ole ollut tarpeeksi voimakasta, jolloin murtoista on tullut heikommin havaittavia. Lisäksi jäätikön

liike murtoiden muodostumisen jälkeen ja eroosivoimat deglasiaation loputtua ovat voineet muokata murtoita ja kasata niiden päälle maa-ainesta tai kuluttaa sitä pois. Kartoittamani epäselvät murtoot saattavat olla seurausta tästä. Lisäksi siihen, että SOIN-interlobaattialueella murtoot sijaitsevat melko lähellä toisiaan ja NJIL- jäänkielekevirta-alueella ne ovat hajaantuneet enemmän, ovat voineet vaikuttaa erot jään liikkeessä. Vain vähän liikkuva passiivinen jää SOIN-alueella on siis saattanut synnyttää murtoot vain pienelle alueelle, kun taas enemmän liikkuva jää NJIL- jäänkielekevirta-alueella on levittänyt murtoita laajemmalle alueelle.

Kolmio-tyyppin murtoon numero 11 ja pyöreäkärkisen murtoon numero 4 korkeusprofiilit olivat kyseisille murtootyypeille hyvin tyyppisiä (kuvat 20B ja 22B). Molempien kohdalla korkeusprofiili oli proksimaaliosastaan loiva ja distaaliosastaan jyrkempi. Pyöreäkärkisen murtoon kohdalla proksimaaliosa oli lisäksi hiukan kovera. Chevron-murtoon numero 8 korkeusprofiili taas oli kyseiselle murtootyypille vähemmän tyyppinen, sillä siinä ei esiintynyt jyrkkää nousua juuri ennen murtoon korkeinta kohtaa (kuva 21B). Tämä voi olla seurausta siitä, että murtoon keskiosaan on myöhemmin kasautunut maa-ainesta, minkä vuoksi proksimaalirinne on tavallista loivempi.

Tutkimukseni tulokset murtoiden sijoittumisesta murtooreittien läheisyyteen vastaavat aiempia tutkimuksia, ja myös tutkimusalueen harjut näyttävät jonkin verran seuraavan murtooreittejä. Murtoiden sijainti vastaa melko hyvin Ahokankaan ym. (2021) kartoittamien murtookenttien sijainteja. Tutkimukseni perusteella yksittäisissä murtookentissä ei kuitenkaan ollut kovin paljoa murtoita, etenkin varsinaisia murtoita. Osa murtookentistä oli laajuudeltaan myös melko pieniä.

Murtoiden muoto ja koko saavat tukea aikaisemmista tutkimuksista. Kaksi murtoista oli kuitenkin korkeudeltaan yli kuusi metriä tavanomaisesta 1–5 metristä poiketen. Murtoiden on tutkittu voivan saavuttaa jopa 15 metrin korkeus (Ojala ym. 2019: 119), joten yli kuuden metrin korkeudet ovat täysin mahdollisia. Murtoiden päälle on myös myöhemmin saattanut kasautua maa-ainesta. On kuitenkin mahdollista, että esimerkiksi erittäin suuret lohkat voivat johtaa suurempiin korkeuksiin korkeusmalliaineistossa. Suuren korkeustuloksen syynä voi mahdollisesti olla myös murtoon epätarkasta rajaamisesta johtuva virhe.

6.2 Potentiaaliset paleoblisterit

Kaikki potentiaalisista paleoblistereistä sijaitsivat aivan SOIN-interlobaattialueen ja NJIL-jäänkielekevirta-alueen välisen rajan tuntumassa, mikä voi olla merkki siitä, että alueiden välinen raja on vaikuttanut paleoblistereiden syntyyn. SOIN- ja NJIL-alueiden liikkeiden väliset erot ovat saattaneet johtaa siihen, että kielekkeiden väliin on syntynyt railoja tai jäätikkökaivoja, joita pitkin supraglasiaalisten järvien vesi on voinut liikkua jään pohjalle ja näin muodostaa paleoblisteriä.

Kahden potentiaalisen paleoblisterin, muodostumien numero 2 ja 3, purkautumiskanavissa esiintyi peruskartan mukaan lohkaraita, toisin kuin potentiaalisen paleoblisterin numero 1 kohdalla. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita sitä, etteikö purkautumiskanavissa tosiasiaa esiintyisi esimerkiksi sellaista pienempää lohkaraitaa, jota ei merkitä peruskarttaan. Vaihtoehtoisesti on mahdollista, ettei kyseisen potentiaalisen paleoblisterin purkautumiskanavissa esiinny lainkaan lohkaraitaa. Tämä voi johtua siitä, että kyseisen paleoblisterin purkautumiskanavista kaksi on erityisen leveitä, mikä taas saattaa tarkoittaa, että vesi on purkautunut blisteristä valtavalla voimalla ja kuljettanut lohkaraita kauemmas.

Itse tekemiäni kairauksien tulokset vastaavat maa-aineksen suhteen kenttäkurssin kairauksien havaintoja. Syvyyksien osalta tulokset kuitenkin hieman eroavat toisistaan, sillä kairauspisteiden 1–3 eli omien kairauksieni tulokset, 3,55–5,25 m, ovat pienempiä kuin läheisimpien kenttäkurssin kairauspisteiden 5 ja 6 tulokset, vähintään 7 m. Kenttätutkimuksien pohjalta pääteltiin, että Trippaisen potentiaalinen paleoblisteri on koveran muotoinen, mutta omat kairaustulokseni eivät täysin tue tätä johtopäätöstä. Omissa kairauksissani kaira loppui kuitenkin kahdessa pisteessä kesken, joten on mahdollista, että paleoblisteri on tosiasiaa kyseisissäkin pisteissä vähintään 7 m syvä. On myös mahdollista, että paleoblisterissä on turpeen, saven ja hiekan seassa suurempia kiviä, mikä selittäisi ensimmäisen kairauspisteen tuloksen 3,55 m.

Potentiaalisten paleoblistereiden kokoluokka, muoto ja purkautumiskanavat paleoblisterin numero 1 puuttuvia lohkaraita lukuun ottamatta saavat tukea Mäkisen ym. (2023b) ja Hannulan ym. (2024) tuloksista. Myös paleoblistereiden ja niiden ympäristön maape-

rän koostumus vastaa maaperäaineistojen perusteella aikaisempia tuloksia. Trippaisessa eli potentiaalisessa paleoblisterissä numero 3 tehtiin kairauksia ja havaittiin, että ainakin yhdessä purkautumiskanavista oli lohkariekkoo. Myös kairauksien tulokset paleoblisterien maaperän koostumuksesta ovat yhteneväisiä Mäkisen ym. (2023b) sekä Hannulan ym. (2024) tuloksien kanssa, minkä perusteella voidaan tehdä johtopäätös siitä, että Trippaisessa todennäköisesti sijaitsee paleoblisteri.

6.3 Yhteys topografiaan ja geomorfologiaan

Lähes kaikki murtoot sijaitsivat ympäristöönsä nähden melko korkealla, vaikka maasto olikin yleisesti ottaen tasaista. Tämä tulos vastaa aikaisempia tutkimuksia sen suhteen, että murtoot sijaitsivat usein tasaisilla alueilla (Ojala ym. 2019: 120). Ojalan ym. (2019) mukaan murtoot esiintyvät tasaisten alueiden lisäksi laaksoissa, ja kolme kartoittamistani murtoista sijaitsikin pienissä laaksoissa kahden suuremman korkeamman kohdan välissä. Lisäksi saamani tulokset potentiaalisten paleoblisterien sijainnista ympäröivään maastoon nähden korkealla vastaavat Hannulan ym. (2024) tuloksia. Tällaiset korkeammat kohdat ovat saattaneet johtaa jäätikön halkeiluun ja jäätikkökaivojen syntyyn sekä sitä kautta myös paleoblisterien muodostumiseen.

Subglasiaalista kumpumoreenia esiintyi lähes kaikkien kartoittamieni muodostumien lähellä. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -aineiston subglasiaalinen kumpumoreeni -taso sisältää myös murtookenntiä sekä harjanteita ja jyrkänpartaita (MRE) ja polymorfisia kumpuja ja harjanteita (PMR), jotka usein esiintyvät keskenään lähekkäin.

Murtoiden ja epäselvien murtoiden sijainnit seurasivat selvästi murtooreittejä, eikä murtoita esiintynyt reittien ulkopuolella. Kahden murtoon kohdalla murtooreitti oli murtoosta yli kilometrin päässä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kyseiset murtoot eivät liittyisi murtooreitteihin, sillä aineiston murtooreittejä kuvaavat viivat kertovat vain reitin keskikohdan, mutta reitti voi olla muutamiakin kilometrejä leveä (Ahokangas ym. 2021: 6). Kyseiset kaksi murtoota esiintyivät melko lähekkäin saman murtooreitin eri puolilla, mikä kertoo siitä, että reitti on kyseisessä kohdassa leveä.

Paleoblistereillä on luultavasti yhteys murtoisiin, sillä yhden potentiaalisen paleoblisterin läheisyydessä esiintyi chevron-tyyppin murto ja toisen tapauksessa epäselvä murto. Ainoastaan potentiaalisen paleoblisterin numero 1 yhteydessä ei esiintynyt murtoita, mutta paleoblisterin lähellä sijaitti murtooreitti sekä murtoisiin liittyviä polymorfisia kumpuja ja harjanteita (PMR). Paleoblistereiden sijainti murtoiden ja murtooreittien lähistöllä voi johtua siitä, että murtoot ovat voineet saada alkunsa paleoblisterin syntymisen seurauksena purkautuvien sulamisvesien muovaamina (Hannula ym. 2024: 97).

Murtoilla tai potentiaalisilla paleoblistereillä ei ollut vahvaa yhteyttä harjuihin, mutta sen sijaan epäselviä murtoita sijaitti harjujen alkupäiden lähellä. Murtoot voivat siis liittyä harjuihin, joita on mahdollisesti muodostunut murtookenttien läheisyyteen. Murtoiden onkin havaittu esiintyvän harjujen alkupäiden lähellä (Ojala ym. 2019: 120, 122). Tämä tulos voisi viitata siihen, että kanavoituneisiin sulamisvesireitteihin liittyvien harjujen edustalla esiintyvät murtoot ja murtooreitit tosiaan edustaisivat puolihajautuneita sulamisvesireittejä.

Kaikki kolme potentiaalista paleoblisteriä sijaittivat De Geer -moreenikenttien reunoilla, mikä voi viitata siihen, että muodostumat ovat yhteydessä toisiinsa. Paleoblisterit ovat mahdollisesti muodostuneet ensin, sillä De Geer -moreenit ovat luultavasti syntyneet jään reunan läheisyydessä (Rivers ym. 2025: 687) ja paleoblisterit samanlaisissa olosuhteissa murtoiden kanssa kauempana jään reunasta (Hannula ym. 2024: 97; Hepburn ym. 2024: 4873). On siis mahdollista, että paleoblistereiden sijainti on vaikuttanut De Geer -moreenien muodostumiseen ja sijaintiin. Drumliineihin potentiaaliset paleoblisterit eivät olleet selkeästi yhteydessä.

6.4 Tutkimuksen epävarmuustekijät ja rajoitteet

Tutkimuksessani on mahdollisia epävarmuustekijöitä. Minulta saattoi jäädä digitoimatta kohteita sen vuoksi, että en itse pitänyt niitä tarpeeksi selvinä, vaikka ne tosiasiasa olisivatkin olleet murtoita tai potentiaalisia paleoblistereitä. Paleoblistereiden kohdalla tunnistamista saattoi vaikeuttaa myös se, että paleoblisterit voivat säilyä heikosti (Hannula ym. 2024: 88). Lisäksi tutkimusalueen savikerrostumat ovat mahdollisesti voineet peittää geomorfologisia muodostumia alleen.

Lisäksi murtoiden luokittelu aiheutti hieman haasteita, sillä toisinaan oli vaikeaa määrittellä kuuluisiko murto pyöreäkärkisiin vai kolmio-tyyppin murtoisiin, ja osassa kolmio-tyyppin murtoista oli myös chevron-tyyppin murtoille ominaisia piirteitä. Välillä murtoon ja epäselvän murtoon erottaminen toisistaan oli hieman haastavaa. LiDAR-teknologian pohjalta luotu korkeusmalli ja rinnevarjoste ovat yleisesti ottaen tarkkoja ja luotettavia, mutta virheet ja katvealueet niissä ovat myös mahdollisia.

Laajemmat kenttätyöt olisivat voineet tarjota tarkempia tuloksia. Esimerkiksi potentiaalisen paleoblisterin numero 1 purkauskanavien lohkareisuus olisi mahdollista varmistaa luotettavasti pelkästään kenttätöiden avulla, ja myös muiden potentiaalisten paleoblisterien kuin Trippaisen kairaaminen olisi mahdollistanut potentiaalisten paleoblisterien maaperän vertailun. Valokuvat kartoittamistani murtoista olisivat myös tuoneet lisäarvoa tutkimukselle. Tässä tutkimuksessa resurssit eivät kuitenkaan riittäneet laajempiin kenttätutkimuksiin.

6.5 Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimustarpeet

Tutkimuksen tulokset tarjoavat mahdollisesti lisää todisteita murtoiden ja puoli hajautuneiden sulamisvesijärjestelmien välisestä yhteydestä. Tuloksien perusteella voidaan myös sanoa, että ne tarjoavat lisää tietoa siitä, että murtoita esiintyy myös passiivisen jään alueilla, mutta murtookentät eivät välttämättä ole yhtä selviä tai laajoja kuin aktiivisen jään peittämällä alueilla. Lisäksi tulokset viittaavat aikaisemmin tuntemattomaan yhteyteen paleoblisterien ja De Geer -moreenien välillä.

Lisää tutkimusta murtoista ja etenkin paleoblisteriestä tarvitaan, sillä se voi sulamisvesireittien paremman tuntemuksen ansiosta lisätä ymmärrystä myös nykyajan jäätiköiden dynamiikasta (Ojala ym. 2021, 2022a; Hannula ym. 2024). Lisäksi kun paleoblisteriä kartoitetaan lisää, niiden kriteerit tarkentuvat, ja niiden syntyolosuhteista, syntyneeseen tarvittavista vesimääristä sekä yhteydestä muihin geomorfologisiin muodostumiin voidaan saada tarkempaa tietoa. Erityisesti olisi syytä tutkia sitä, esiintyykö murtoita ja paleoblisteriä myös muiden interlobaattialueiden ja jäänkielekevirta-alueiden välisen rajan lähistöllä. Tämän tutkimuksen tutkimusalue oli rajallinen, ja murtoiden sekä paleoblisterien kartoitus tutkimusalueen ympäriltä laajentaisi ymmärrystä alueen glasi-aalidynamiikasta.

7 Johtopäätökset

- Murtoiden sijoittumiseen tutkimusalueella on voinut vaikuttaa jäätikön paksuus, sulamisvesien kerääntyminen interlobaatti- ja jäänkielekevirta-alueen väliselle rajalle tai kyseisen rajan mahdollinen sijainti tosiasiasa eri kohdassa kuin missä sen on ajateltu kulkevan.
- SOIN-alueen passiivisen jään liikkeen ja NJIL-alueen aktiivisen jään liikkeen väliset erot ovat alueiden rajalla mahdollisesti vaikuttaneet tutkimusalueen potentiaalisten paleoblistereiden syntyyn ja sijaintiin.
- Paleoblistereihin liittyy luultavasti murtoita, ja paleoblisterit ovat mahdollisesti yhteydessä myös De Geer -moreeneihin. Epäselvien murtoiden yhteys harjuihin viittaa siihen, että murtoot liittyvät puolihajautuneisiin sulamisvesireitteihin.
- Lisää tutkimusta tarvitaan erityisesti murtoiden ja paleoblistereiden suhteesta muihin geomorfologisiin muodostumiin sekä sulamisvesireittien dynamiikasta aktiivisen ja passiivisen jäätikön välisillä alueilla.

Kiitokset

Kiitokset tutkielman ohjaajalle Joni Mäkiselle tuesta, kannustuksesta ja neuvoista tutkielman teon aikana.

Lähteet

- Ahokangas, E., Ojala, A., Tuunainen, A., Valkama, M., Palmu, J., Kajuutti, K. & Mäkinen, J. (2021) The distribution of glacial meltwater routes and associated murtoo fields in Finland. *Geomorphology* 389 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107854>
- Atkins, C. (2013) Geomorphological evidence of cold-based glacier activity in South Victoria Land, Antarctica. *Geological Society, London, Special Publications* 381(1) 299–318. <https://doi.org/10.1144/SP381.18>
- Ballantyne, C., McCarroll, D. & Stone, J. (2006) Vertical dimensions and age of the Wicklow Mountains ice dome, Eastern Ireland, and implications for the extent of the last Irish Ice Sheet. *Quaternary Science Reviews* 25(17–18) 2048–2058. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.01.026>
- Boulton, G., Hagdorn, M., Maillot, P. & Zatsepin, S. (2009) Drainage beneath ice sheets: groundwater–channel coupling, and the origin of esker systems from former ice sheets. *Quaternary Science Reviews* 28(7–8) 621–638. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.05.009>
- Das, S., Joughin, I., Behn, M., Howat, I., King, M., Lizarralde, D. & Bhatia, M. (2008) Fracture propagation to the base of the Greenland Ice Sheet during supraglacial lake drainage. *Science* 320(5877) 778–781. <https://doi.org/10.1126/science.1153360>
- Dewald, N., Livingstone, S. & Clark, C. (2022) Subglacial meltwater routes of the Fennoscandian Ice Sheet. *Journal of Maps* 18(2) 382–396. <https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2071648>
- Eyles, N. (2006) The role of meltwater in glacial processes. *Sedimentary Geology* 190(1–4) 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2006.05.018>
- Frydrych, M., Ahokangas, E., Mäkinen, J. & Lejzerowicz, A. (2025) Morphological characteristics of eskers in areas with soft and hard bed: Examples from Poland and Finland. *Quaternary International* 717 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2024.109649>
- Haavisto-Hyvärinen, M. & Kutvonen, H. (2007) Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuskeskus.

- Hannula, M., Korhonen, K., Rytteri, S., Virtanen, V., Mäkinen, J. & Ojala, A. (2024) Jäätikön sulamisvesien jäljet Satakunnan kumpumoreenialueella: potentiaalisten paleoblisterien kartoitus. *Geologi* 76 88–101.
- Hepburn, A., Dow, C., Ojala, A., Mäkinen, J., Ahokangas, E., Hovikoski, J., Palmu, J. & Kajuutti, K. (2024) The organization of subglacial drainage during the demise of the Finnish Lake District Ice Lobe. *The Cryosphere* 18(10) 4873–4916.
<https://doi.org/10.5194/tc-18-4873-2024>
- Hewitt, I. (2011) Modelling distributed and channelized subglacial drainage: the spacing of channels. *Journal of Glaciology* 57(202) 302–314.
<https://doi.org/10.3189/002214311796405951>
- Hovikoski, J., Mäkinen, J., Winsemann, J., Soini, S., Kajuutti, K., Hepburn, A. & Ojala, A. (2023) Upper-flow regime bedforms in a subglacial triangular-shaped landform (murtoo), late Pleistocene, SW Finland: Implications for flow dynamics and sediment transport in (semi-)distributed subglacial meltwater drainage systems. *Sedimentary Geology* 454 1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106448>
- Kautto, J., Mäkinen, J. & Ojala, A. (2026) Morphometry and characteristics of subglacial meltwater corridors within the Finnish Lake District Ice Lobe of the former Fennoscandian Ice Sheet—Implications for subglacial hydrology and ice lobe dynamics. *Geomorphology* 505 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2026.110319>
- Mäkinen, J., Kajuutti, K., Palmu, J., Ojala, A. & Ahokangas, E. (2017) Triangular-shaped landforms reveal subglacial drainage routes in SW Finland. *Quaternary Science Reviews* 164 37–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.024>
- Mäkinen, J., Kajuutti, K., Ojala, A., Ahokangas, E., Tuunainen, A., Valkama, M. & Palmu, J. (2023a) Genesis of subglacial triangular-shaped landforms (murtoos) formed by the Fennoscandian Ice Sheet. *Earth Surface Processes and Landforms* 48(11) 2171–2196. <https://doi.org/10.1002/esp.5606>
- Mäkinen, J., Dow, C., Ahokangas, E., Ojala, A., Kajuutti, K., Kautto, J. & Palmu, J. (2023b) Water blister geomorphology and subglacial drainage sediments: an example from the bed of the Fennoscandian Ice Sheet in SW Finland. *Journal of Glaciology* 69(278) 1529–1545. <https://doi.org/10.1017/jog.2023.37>

- Mäkinen, K., Palmu, J., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T. & Jarva, J. (2007) Valtakunnallisesti arvokkaat moreeni muodostumat. *Suomen ympäristö* 14 1–120.
- Mäkinen, K., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T. & Sahala, L. (2011) Valtakunnallisesti arvokkaat tuuli- ja rantakerrostumat. *Ympäristöministeriö*. 32 1–185.
- Nye, J. (1973) The motion of ice past obstacles. Teoksessa Whalley, E., Jones, S. & Gold, L. (toim.) *Physics and chemistry of ice*, 387–395. Royal Society of Canada, Ottawa.
- Ojala, A., Peterson, G., Mäkinen, J., Johnson, M., Kajuutti, K., Palmu, J., Ahokangas, E. & Öhrling, C. (2019) Ice-sheet scale distribution and morphometry of triangular-shaped hummocks (murtoos): a subglacial landform produced during rapid retreat of the Scandinavian Ice Sheet. *Annals of Glaciology* 60(80) 115–126.
<https://doi.org/10.1017/aog.2019.34>
- Ojala, A., Mäkinen, J., Ahokangas, E., Kajuutti, K., Valkama, M., Tuunainen, A. & Palmu, J. (2021) Diversity of murtoos and murtoo-related subglacial landforms in the Finnish area of the Fennoscandian Ice Sheet. *Boreas* 50(4) 1095–1115.
<https://doi.org/10.1111/bor.12526>
- Ojala, A., Mäkinen, J., Hovikoski, J., Palmu, J., Ahokangas, E., Kajuutti, K., Soini, S., Kautto, J., Kuukka, A., Porkka, J., Johnson, M., Peterson Bercher, G., Öhrling, C., Hepburn, A. & Dow, C. (2022a) Murtoot – mitä ne ovat? *Geologi* 74(6) 204–218.
- Ojala, A., Mäkinen, J., Kajuutti, K., Ahokangas, E. & Palmu, J. (2022b) Subglacial evolution from distributed to channelized drainage: evidence from the Lake Murtoo area in SW Finland. *Earth surface processes and landforms* 47(12) 2877–2896.
<https://doi.org/10.1002/esp.5430>
- Palmu, J., Ojala, A., Virtasalo, J., Putkinen, N., Kohonen, J. & Sarala, P. (2021) Classification system of superficial (quaternary) geological units in Finland. *Developments in Map Data Management and Geological Unit Nomenclature in Finland* 412 115–169. <https://doi.org/10.30440/bt412.4>
- Patton, H., Andreassen, K., Bjarnadóttir, L., Dowdeswell, J., Winsborrow, M., Noormets, R., Polyak, L., Auriac, A. & Hubbard, A. (2015) Geophysical constraints on the dynamics and retreat of the Barents Sea ice sheet as a paleobenchmark for models of marine ice sheet deglaciation. *Reviews of Geophysics* 53(4) 1051–1098.
<https://doi.org/10.1002/2015RG000495>

- Putkinen, N., Eyles, N., Putkinen, S., Ojala, A., Palmu, J., Sarala, P., Väänänen, T., Räisänen, J., Saarelainen, J., Ahtonen, N., Rönnty, H., Kiiskinen, A., Rauhaniemi, T. & Tervo, T. (2017) High-resolution LiDAR mapping of glacial landforms and ice stream lobes in Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 89(2) 64–81. <https://doi.org/10.17741/bgsf/89.2.001>
- Rivers, G., Storrar, R., Ojala, A., Mäkinen, J., Holmroos, C. & Holmes, N. (2025) De Geer moraine internal architecture based on sedimentological and geophysical investigations and implications for ice-marginal reconstructions. *Boreas* 54(4) 687–710. <https://doi.org/10.1111/bor.12692>
- Röthlisberger, H. (1972) Water pressure in intra- and subglacial channels. *Journal of Glaciology* 11(62) 177–203. <https://doi.org/10.3189/S0022143000022188>
- Smith, L., Chu, V., Yang, K., Gleason, C., Pitcher, L., Rennermalm, A., Legleiter, C., Behar, A., Overstreet, B., Moustafa, S., Tedesco, M., Forster, R., LeWinter, A., Finnegan, D., Sheng, Y. & Balog, J. (2015) Efficient meltwater drainage through supraglacial streams and rivers on the southwest Greenland ice sheet. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(4) 1001–1006. <https://doi.org/10.1073/pnas.1413024112>
- Tikkanen, M. (2002) The changing landforms of Finland. *Fennia* 180(1–2) 21–30. <https://fennia.journal.fi/article/view/3761>
- Tuunainen, A., Palmu, J., Putkinen, S., Valkama, M. & Väänänen, T. (2021) Glasiaalidynamiikkaa kaikille – uudistunutta ja avointa maaperätietoa voi soveltaa moniin käyttötärpeisiin. Geologian tutkimuskeskus 16.2.2021. <https://www.gtk.fi/ajankoh-taista/glasiaalidynamiikkaa-kaikille-uudistunutta-ja-avointa-maaperatietoa-voi-soveltaa-moniin-kayttotarpeisiin/> 4.5.2026
- Werder, M. & Funk, M. (2009) Dye tracing a jökulhlaup: II. Testing a jökulhlaup model against flow speeds inferred from measurements. *Journal of Glaciology* 55(193) 899–908. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000157399>
- Werder, M., Hewitt, I., Schoof, C. & Flowers, G. (2013) Modeling channelized and distributed subglacial drainage in two dimensions. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 118(4) 2140–2158. <https://doi.org/10.1002/jgrf.20146>

Liitteet

Liite 1. Epäselvien murtoiden koordinaatit

Muodostuman numero	Koordinaatit (N)	Koordinaatit (E)
1	63° 18' 32,04"	21° 44' 41,82"
2	63° 12' 21,57"	21° 41' 47,36"
3	63° 12' 18,20"	21° 41' 46,81"
4	63° 14' 24,16"	21° 48' 59,54"
5	63° 12' 56,85"	21° 53' 42,23"
6	63° 14' 16,43"	22° 03' 23,20"
7	63° 14' 24,30"	22° 04' 09,80"
8	63° 14' 36,67"	22° 04' 46,68"
9	63° 08' 28,06"	21° 54' 54,90"
10	63° 08' 13,61"	21° 57' 31,28"
11	63° 08' 05,12"	21° 57' 12,81"
12	63° 07' 14,80"	21° 55' 52,35"
13	63° 05' 22,42"	21° 57' 43,00"
14	63° 06' 21,46"	22° 09' 09,94"
15	63° 06' 19,46"	22° 09' 23,32"
16	63° 06' 17,17"	22° 09' 17,28"
17	63° 02' 43,82"	22° 04' 31,89"
18	63° 02' 39,51"	22° 04' 31,05"
19	63° 01' 03,59"	22° 02' 47,05"
20	63° 00' 53,94"	22° 03' 48,47"
21	63° 00' 37,24"	22° 04' 04,36"
22	62° 59' 31,99"	21° 51' 24,86"
23	62° 58' 34,53"	21° 51' 36,99"
24	62° 57' 02,42"	21° 54' 30,50"
25	62° 54' 28,72"	21° 56' 33,53"
26	62° 54' 28,61"	21° 56' 43,71"
27	62° 54' 23,74"	21° 57' 54,88"
28	62° 52' 03,51"	22° 31' 46,69"
29	62° 51' 25,20"	22° 31' 12,50"
30	62° 51' 22,78"	22° 31' 20,41"
31	62° 52' 15,09"	22° 34' 56,49"
32	62° 52' 06,42"	22° 34' 41,22"
33	62° 52' 55,72"	22° 41' 36,71"
34	62° 52' 23,42"	22° 42' 49,14"
35	62° 59' 02,32"	22° 18' 13,10"