

# **Kaareutuvien De Geer -moreenien morfologia Pohjan- maalla ja Etelä-Pohjanmaalla**

Tarkastelussa Laihia-Isokyrön ja Vöyrin De Geer -kentät

Maantiede

Pro gradu -tutkielma

Emilia Grönroos

4.6.2026

Turku

Pro gradu -tutkielma

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

**Tekijä:** Emilia Grönroos

**Otsikko:** Kaareutuvien De Geer -moreenien morfologia Pohjanmaalla ja Etelä-Pohjanmaalla – tarkastelussa Laihia-Isokyrön ja Vöyrin De Geer -kentät

**Ohjaajat:** Joni Mäkinen, Juulia Kautto

**Sivumäärä:** 62 sivua

**Päivämäärä:** 4.6.2026

De Geer -moreenit ovat jäätikkösyntyisiä maaperämuodostumia, jotka syntyvät subglasiaalissa olosuhteissa. Vaasan seudun De Geer -moreenit ovat poikkeuksellisen kaareutuvia, eikä samanlaisia kaareutuvia muodostumia ole aiemmin tutkittu. Tutkin Laihia-Isokyrön ja Vöyrin De Geer -kenttien morfologiaa ja vertailen kenttiä keskenään. Harjanneviivojen digitoinnin avulla selvitin selänteiden pituudet ja etäisyydet toisistaan. Otokohtina mittasin muodostumien korkeudet ja leveydet, sekä tarkastelin symmetrisyyttä. Aineistona hyödynsin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -aineistoa sekä korkeusmallia. Tulosten mukaan kenttien morfologia eroaa jonkin verran toisistaan. Vöyrin kentällä otoskohdat ovat keskiarvoltaan korkeammat kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Lisäksi eroa on myös selänteiden pituuksissa ja symmetrisyydessä. Molemmat kentät jakautuvat selvästi osiin, joissa selänteet ovat asettuneet eri suuntiin tai poikkeavat jollain tavalla muista osioista. Vöyrin kentän osa kolme on poikkeuksellisin kentällä ja ehdotan tulosten ja kirjallisuuden pohjalta, että muodostumat ovat railoihin puristuneita CSR-muodostumia. Molemmilla kentillä selänteiden morfologia viittaa railoissa syntyneisiin muodostumiin. Jäätikkö on todennäköisesti käyttäytynyt poikkeuksellisesti tutkimusalueellani, ja railojen muodostuminen ja jään lohkeaminen on tapahtunut pohjautumisvyöhykkeellä.

**Avainsanat:** De Geer -moreenit, jääkausi, Veiksel, railoutuminen, pohjautumisvyöhyke, LiDAR

Master's thesis

**Subject:** Geography

**Author:** Emilia Grönroos

**Title:** The morphology of curved De Geer moraines in Ostrobothnia and South Ostrobothnia – a study of the Laihia-Isokyrö and Vöyri De Geer fields

**Supervisors:** Joni Mäkinen, Juulia Kautto

**Pages:** 62

**Date:** 4.6.2026

De Geer moraines are glacial landforms formed in subglacial conditions. De Geer moraines in the Vaasa region are exceptionally curved, and similar landforms have not been studied previously. I studied the morphology of the De Geer fields in Laihia-Isokyrö and Vöyri and compared the fields with one another. By digitizing crestlines for the ridges, I determined the lengths of the ridges and their interdistances. At specific sample points, I measured the heights and widths of the landforms and examined their symmetry. The datasets utilized in this study include the Geological Survey of Finland's (GTK) glacial features dataset and a digital elevation model (DEM). Based on my results, the morphology of the fields differs to some extent. On average, the sample points in the Vöyri field are higher than those in the Laihia-Isokyrö field. Furthermore, differences also exist in the lengths and symmetry of the ridges. Both fields are clearly divided into sections where the ridges are oriented in different directions or otherwise deviate from the other sections. Section three of the Vöyri field is the most exceptional within the field, and based on the results and literature, I suggest that these landforms are crevasse squeeze ridges (CSRs). In both fields, the morphology of the ridges indicates that they formed within crevasses. The glacier has likely behaved exceptionally within my study area, with crevasse formation and calving taking place at the grounding zone.

**Keywords:** De Geer -moraines, ice age, Weichsel, crevasses, grounding zone, LiDAR

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Jääkaudet ja deglasiaatio</b>	<b>7</b>
2.1	<b>Veiksel-jääkausi ja deglasiaatio</b>	<b>7</b>
2.2	<b>Jäätikön dynamiikka ja proglasiaalinen vedensyvyys</b>	<b>8</b>
2.3	<b>De Geer -moreenit ja niiden aiempi tutkimus</b>	<b>11</b>
2.3.1	Aiempi tutkimus Suomessa	12
2.3.2	Tutkimukset muualla	13
2.3.3	De Geer -moreenien tutkitut syntytavat	14
<b>3</b>	<b>Tutkimusalue</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>Aineistot ja menetelmät</b>	<b>24</b>
4.1	<b>Aineistot</b>	<b>24</b>
4.2	<b>Menetelmät</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Tulokset</b>	<b>28</b>
5.1	<b>De Geer -moreenien morfologia</b>	<b>28</b>
5.1.1	Pääselänteiden pituudet	30
5.1.2	De Geer -moreenien väliset etäisyydet	31
5.1.3	Väliselänteet	32
5.1.4	De Geer -moreenien kaareutuvuus	33
5.1.5	Otosten korkeus, leveys ja symmetrisyys	34
5.2	<b>De Geer -moreenien suhde muihin muodostumiin</b>	<b>37</b>
5.3	<b>Kenttähavainnot</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Keskustelu</b>	<b>44</b>
6.1	<b>Vaihteleeko kaareutuvien De Geer -moreenien morfometriset ominaisuudet keskenään Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentillä?</b>	<b>44</b>
6.2	<b>Vaihteleeko De Geer -moreenien morfologia kenttien sisällä?</b>	<b>46</b>
6.3	<b>Millaisiin syntyolosuhteisiin kenttien morfologia ja morfometriset ominaisuudet viittaavat?</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>57</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>58</b>

## 1 Johdanto

Viimeisin jääkausi Veiksel alkoi noin 115 000 vuotta sitten, minkä aikana jää eteni vaihtelevasti Suomen alueella (Johansson ym. 2011). Jää kuljetti ja kasasi maa-ainesta mukanaan, muodostaen erilaisia moreenimuodostumia, joista De Geer -moreenit ovat yksi esimerkki. De Geer -moreenit löysi Gerard De Geer Ruotsista vuonna 1889. De Geer -moreenit ovat melko kapeita, usein hyvin suorina moreeniharjanteita, joiden pituus vaihtelee 20–500 metrin välillä, joissain tapauksissa yltäen jopa 2 kilometriin (Ojala ym. 2015: 306). Luonnossa ne erottuvat muuten tasaisemmasta maastosta muutaman metrin korkuisina harjanteina, joiden distaalipuoli on usein jyrkempi. Yleensä De Geer -moreenit muodostavat laajempia kenttiä, joiden sisällä yksittäisten De Geerien etäisyydet toisistaan ovat noin 60–180 m (Zilliacus 1989: 13).

De Geer -moreenien syntytavasta on useita eri mielipiteitä, mutta yleinen ymmärrys on, että ne ovat syntyneet vedenalaisissa ympäristöissä jäätikön reunan läheisyydessä (Bouvier 2015: 1). Niiden on esitetty olevan esimerkiksi päätemoreeneja, jäätikön pohjan railoissa syntyneitä muodostumia, sekä jään lohkeamisen johdosta aiheutuneita muodostumia (Bouvier 2015: 1). De Geer itse esitti näiden olevan päätemoreeneja, mutta esimerkiksi Zilliacus (1989: 315) on ehdottanut, että De Geer -moreenit eivät ole vuosittain syntyneitä päätemoreeneja, vaan ne olisivat syntyneet subglasiaalisissa olosuhteissa jään alla olevissa railoissa. Jään painautuessa maahan, sen alla oleva aines on puristunut railoihin (Rivers ym. 2023: 3).

Zilliacuksen ehdotukseen liittyy olennaisesti jäätikön sulamisvesien pääsy jään alle. Jään reunan on pitänyt päästä nousemaan sulamisvesien päälle kellumaan, jotta De Geer -moreenit voivat säilyttää muotonsa (Zilliacus 1989: 316). Tällöin jään reunan noustessa De Geer -moreenit olisivat muodostuneet kaikki samaan aikaan, jäätikön puodottaessa ne kerralla matkastaan. Sulamisvesien vaikutuksia ovat tutkineet myös Bradley ja Hewitt (2024), jotka tekivät mallin, joka kuvastaa veden vaikutuksia sen päästessä jäätikön alle. Vesi voi päästä kulkeutumaan jään alla jopa kilometrejä (Bradley & Hewitt 2024: 632). Myös maan topografia vaikuttaa siihen, miten jäätikkö pääsee nousemaan ja vesi pääsee tunkeutumaan sen alle.

De Geer -moreeneja on tutkittu Ruotsissa (esim. Lundqvist 2000, Bouvier ym. 2015), Norjassa (esim. Larsen ym. 1991), Iso-Britanniassa (esim. Bradwell ym. 2008), Pohjois-Amerikassa (esim. Sinclair ym. 2018) ja Suomessa (esim. Zilliacus 1989, Ojala 2016). Aiemmissä tutkimuksissa tarkastelussa olleet De Geer -moreenit ovat olleet yleensä melko suoria, tai hyvin loivasti kaareutuvia, mutta kaareutuvuus on tällöin ollut eri suuntaan kuin tutkimusalueellani. Pohjanmaalla ja Etelä-Pohjanmaalla De Geer -moreenit ovat poikkeuksellisen kaarevia pitkiä matkoja ja kaaret avautuvat jään menosuuntaan. Tutkielmassani tarkastelen nimenomaan kahta De Geer -kenttää, joiden muodostumat ovat pitkältä matkalta kaareutuvia. Kaareutuvista De Geer -moreeneista en ole löytänyt aiempaa tutkimusta, jossa kaareutuvuus olisi yhtä voimakasta kuin tutkimusalueellani. Tämän vuoksi on kiinnostavaa selvittää alueen De Geer -moreenien morfologiaa ja sitä kautta mahdollista syntytapaa ja tekijöitä, jotka selittäisivät niiden kaareutuvuutta.

Tutkin Etelä-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentillä De Geer -moreenien morfologiaa. Tavoitteena on tutkia, löytyykö kenttien väliltä eroavaisuuksia ja vaihtelua, sekä tarkastella myös mahdollisia eroja De Geer -moreeneissa kenttien sisällä. Tulosten avulla pyrin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Vaihtelee ko kaareutuvien De Geer -moreenien morfometriset ominaisuudet keskenään Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentillä?
2. Vaihtelee ko De Geer -moreenien morfologia kenttien sisällä?
3. Millaisiin syntyolosuhteisiin kenttien morfologia ja morfometriset ominaisuudet viittaavat?

Jos Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentät ovat samanlaisia keskenään, voidaan niiden olettaa myös muodostuneen samalla tavalla. Tällöin voin yleistää tuloksia myös mahdollisesti Merenkurkun saariston alueelle. Hypoteesina siis on, että jos mittausten perusteella Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentät ovat samankaltaiset, ne ovat syntyneet samalla tavalla. Oletuksena on, että kyseisellä alueella De Geer -moreenit eivät olisi päätmoreeneja, vaan ne olisivat syntyneet jäätikön railoissa ja vapautuneet sulamisvesien virratessa jäätikön alle.

## 2 Jääkaudet ja deglasiaatio

### 2.1 Veiksel-jääkausi ja deglasiaatio

Viimeisimmän jääkauden aikana jäätiköityminen oli voimakkaimmillaan Fennoskandiassa, Venäjän luoteisosassa, sekä Pohjois-Amerikassa (Koivula s.a.). Tällä hetkellä elämme jääkausien välissä olevaa lämpimämpää interglasiaalijaksoa. Jääkausissa on havaittavissa tietynlainen syklisyys noin 100 000 vuoden välein (Hobart ym. 2023). Ennen Veiksel-jääkautta viimeisin interglasiaalinen jakso oli Eem-vaihe, noin 115 000–130 000 vuotta sitten (Johansson ym. 2011: 108). Interglasiaalijakson jälkeen jään määrä alkoi jälleen kasvaa Skandeilla (Johansson ym. 2011: 107). Eem-meri oli viimeisin merivaihe Itämerellä ennen jääkauden alkua, jolloin se rajasi Fennoskandian alueen suureksi saareksi.

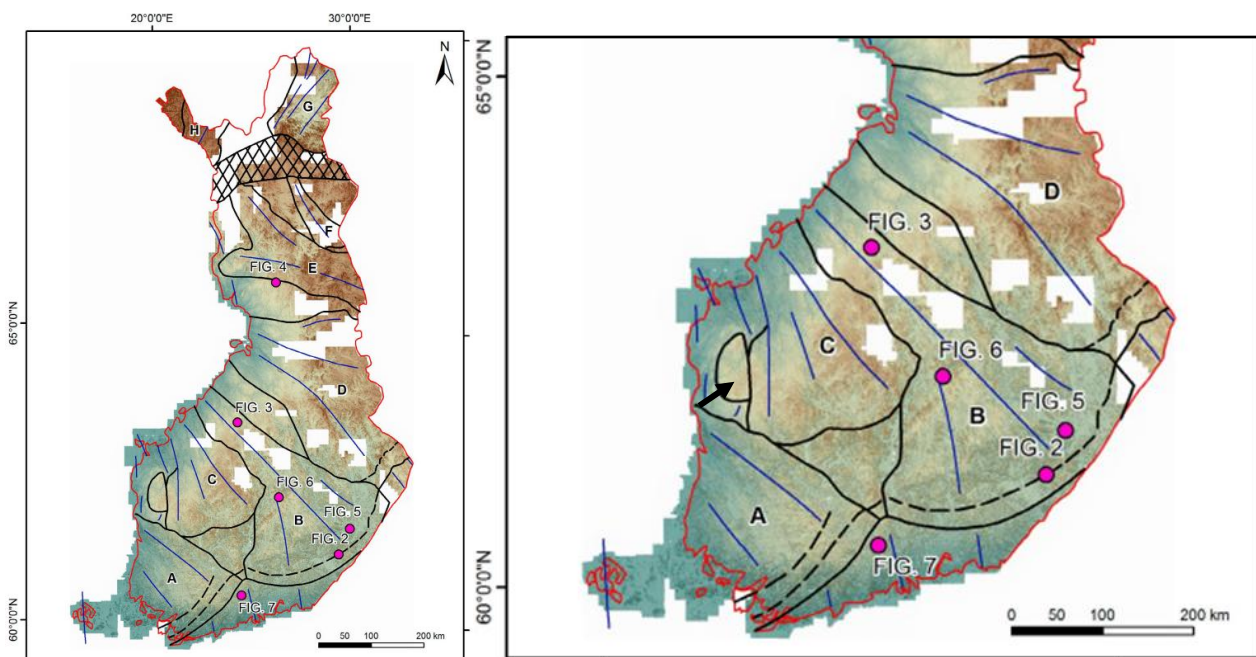
Jääkauden loppuvaiheessa noin 25 000–30 000 vuotta sitten koko Suomi oli jäätikön alla (Hakala & Karlsson 2018). Tätä ennen jääkauden alussa mannerjää ulottui Suomessa vain Lappiin asti, josta se eteni vaihtelevasti muualle Suomeen. Lämpenemisen seurauksena jäätikkö alkoi perääntyä noin 17 000 vuotta sitten, ja erityisen nopean sulamisvaiheen se saavutti noin 15 000 vuotta sitten. Nuoremmalla dryaskaudella jäätikön perääntyminen pysähtyi kylmyyden palattua, jolloin myös Salpausselät muodostuivat (Hakala & Karlsson 2018). Nuorempi dryaskausi päättyi noin 11 500 vuotta sitten, jonka jälkeen jäätikön vetäytyminen jatkui (Hakala & Karlsson 2018).

Mannerjää hioi Suomen kallioperästä noin 7 metrin kerroksen (Tikkanen 1994: 186). Jää muovasi Itämeren allasta, jonka suolapitoisuus on vaihdellut sen mukaan, miten Atlantilta on päässyt merivettä Itämeren alueelle. Nykyinen Itämeri on vain noin 3000 vuotta vanha. Itämeren vaiheet ovat olleet Baltian jääjärvi (alkaen ~16 000 vuotta sitten), Yoldiameri (~11 700 vuotta sitten), Ancylusjärvi (~10 700 vuotta sitten) sekä Litorinameri (~9800 vuotta sitten) (Andrén ym. 2011). Lopullisesti mannerjää suli Suomen alueelta noin 10 000 vuotta sitten (Johansson ym. 2011: 111). Merenkurkun saaristo oli viimeis-

sen jäätiköitymisen maksimivaiheessa jopa 2,5 km paksuisen jään peitossa, Fennoskandian mannerjäätikön keskipisteessä (Putkinen ym. 2026). Tutkimusalueeltani jää on siis sulanut viimeisenä, vasta tuolloin ~10 000 vuotta sitten.

## 2.2 Jäätikön dynamiikka ja proglasiaalinen vedensyvyys

Sulamisvaiheessa mannerjää oli jakautunut useaan kielekevirta-alueeseen (kuva 1A). Itämeren jääkieleke BSIL (*engl. Baltic Sea Ice Lobe*) ja Järvi-Suomen jääkieleke FLDIL (*engl. Finnish Lake District Ice Lobe*) peittivät Suomen eteläosat nuoremman dryaskauden aikana ja ne päättyivät Baltian jääjärveen (Lunkka ym. 2019: 120). Näiden lisäksi kaksi muuta kielekettä Etelä- ja Keski-Suomen alueella ovat Näsijärven jääkieleke NJIL (*engl. Näsijärvi Ice Lobe*) ja Pohjois-Karjalan jääkieleke NKIL (*engl. North Karelian Ice Lobe*). Etelä- ja Länsi-Suomessa aikaisessa jäätiköitymisvaiheessa jää on liikkunut lännestä idän suuntaan (Glückert 1974: 4). Myöhemmin jäätikön viimeisessä edistymisvaiheessa liikesuunta on ollut kaakkoon.



Kuva 1A. Jäätikön dynamiikka ja kielekevirrat Suomessa. (Lähde: Putkinen ym. 2017).

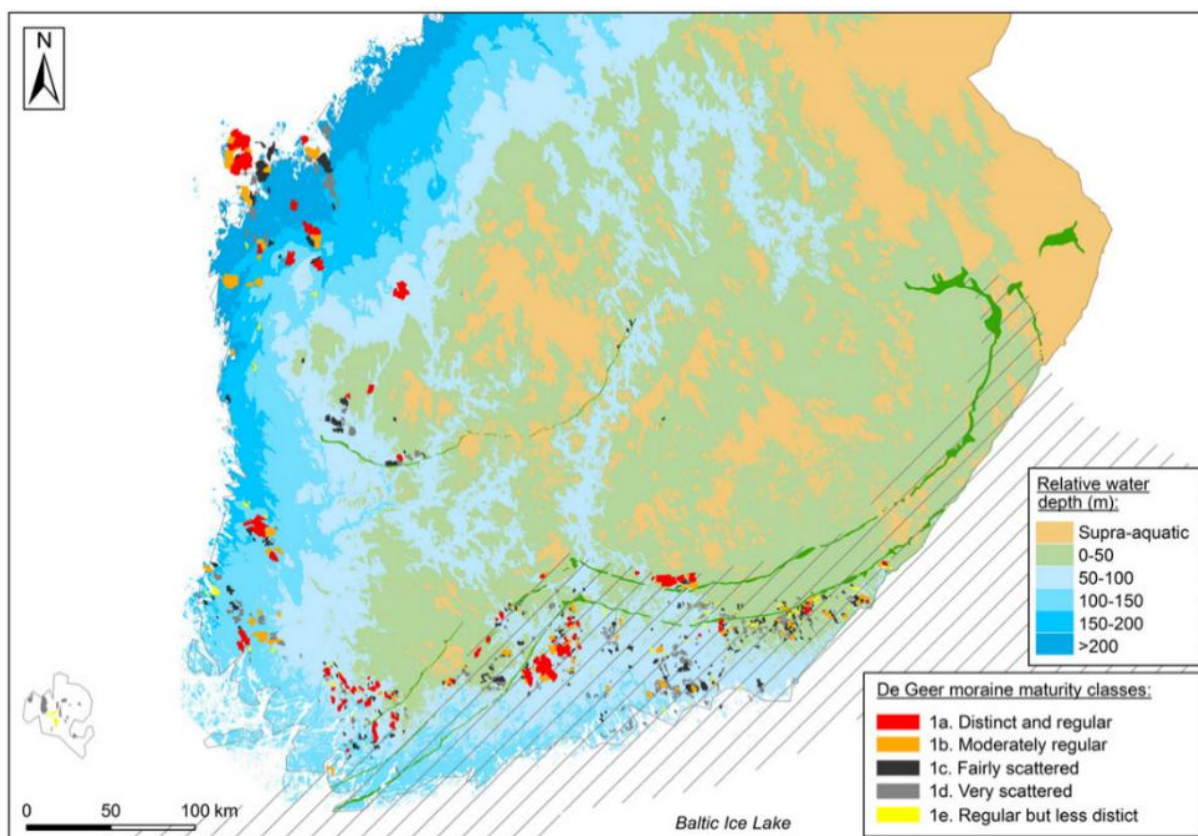
Kuva 1B. Kielekevirrat jäätikön sulamisvaiheessa Etelä- ja Keski-Suomessa. A) BSIL, B) FLDIL, C) NJIL, D) NKIL. (Lähde: Putkinen ym. 2017. Musta nuoli lisätty osoittamaan Suupohjan alueen).

Pitkäranta (2009 & 2013) on tutkinut Suomessa Suupohjan aluetta Itämeren ja Näsijärven jääkielekkeiden välissä (kuva 1B). Suupohjan alueella on vähän jäätikköperäisiä muodostumia ja ne ovat myös vanhempia verrattuna ympäröiviin alueisiin. Tämä saattaa osoittaa, että alueella on ollut kylmäpohjainen jää, jolloin jäätikkö on ollut pohjaan asti jäätyneet. Tällöin jään virtaus on estynyt Suupohjan alueella, minkä vuoksi vanhemmat moreenimuodostumat ja moreenipeitteiset harjut ovat säilyneet alueella yllättävän hyvin (Atkins 2013: 1). Kylmäpohjaiset jäämassat toimivat maanpinnan suojelejoina ja eroosion estäjänä (Atkins 2013: 1). Kylmäpohjaiset jäämassat voivat kuitenkin liikkua jonkin verran, jolloin on todettu, että ne voivat myös aiheuttaa eroosiota ja kasautumista. Jääkauden aikaisista muodostumista ja maaperästä saadun tiedon pohjalta on todettu, että Pohjois- ja Etelä-Suomessa jäätikkö käyttäytyi eri tavoin (Johansson ym. 2011: 107). Pohjois-Suomi oli jään peitossa jo Veikselin aikaisessa vaiheessa, mutta sama näyttöä ei ole Etelä-Suomesta. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että Skandeilta lähti kaksi eri jääkielekettä etenemään Suomen alueelle (Johansson ym. 2011: 107). Nämä jäämassat ovat siis käyttäytyneet itsenäisesti, hieman eri tavoin.

Salpausselät muodostuivat Itämeren ja Järvi-Suomen kielekkeiden reunoille subakvaattisissa olosuhteissa, mutta paikoitellen Järvi-Suomen jääkieleke päättyi myös maalle. Salpausselät ovat muodostuneet noin 12 200–11 600 vuotta sitten, melko matalissa vesissä (Lunkka ym. 2019: 120). Tämä on pystytty määrittämään esimerkiksi lustokronologian ja hiiliajoitusten avulla. Järvi-Suomen kielekkeen edessä vedensyvyys oli alle 70 metriä ensimmäisen Salpausselän muodostuessa ja toisen Salpausselän muodostuessa vedensyvyys oli alle 50 metriä. (Lunkka ym. 2019: 133). Nuoremman dryaskauden aikana jääkielekkeiden edessä oleva vesi on ollut siis vain noin 50–70 metriä syvä.

Veden syvyys jäätikön etureunalla, eli proglasiaalinen vedensyvyys, vaihteli eri puolilla Suomea ja tietyt alueet säilyivät myös vedenpinnan yläpuolella. Proglasiaalinen vedensyvyys oli suurimmillaan Suomen länsiosissa (kuva 2). Länsi- ja Etelä-Suomessa ja erityisesti Pohjanlahden alueella perääntyvä jäätikkö päättyi Itämeren altaaseen, jossa vedensyvyys ylsi jopa 300 metriin (Ojala 2016: 16). De Geer -moreenit ovat tyypillisesti syntyneet syvien proglasiaaalisten vesien alueilla. Oheisessa kartassa on visualisoitu De

Geer -moreeneja yhdessä vedensyvyyden kanssa (kuva 2). Suomen länsiosassa vedensyvyys on yltänyt 200 metriin, mutta Etelä-Suomessa vesi on ollut noin 50–150 metriä syvä. Supra-akvaattiset alueet, eli vedenpinnan yläpuolella säilyneet alueet, sijoittuvat erityisesti Suomen itä- ja keskiosiin.



Kuva 2. Proglasiaalinen vedensyvyys De Geer -moreenien muodostumisen aikana. De Geer -moreenit on luokiteltu eri värein niiden kypsyyssluokkien mukaan. Baltian jääjärven alue merkitty harmailla viivoilla. (Lähde: Ojala 2016).

Railojen syntyminen, jäälauttojen lohkeaminen ja jään alle tunkeutuvat sulamisvedet ovat isossa roolissa De Geer -moreenien muodostumisessa. Jään pohjaan voi muodostua railoja, kun jää on lähellä kellumispistettä (Colgan ym. 2016: 130). Railoja voi muodostua myös jo kelluvien jäälauttojen pohjiin. Koska railojen oletettiin liittyvän jään kellumiseen, niiden ajateltiin olevan harvinaisia maa- tai kallioperään tukeutuvalla jäällä (Colgan ym. 2016: 130). Myöhemmin on kuitenkin todettu, että railoitumista edistäviä tekijöitä on useampia kuin aiemmin ajateltiin. Railoja voi muodostua jäätikköryntäysten yhteydessä ja niillä on suuri rooli jäälauttojen lohkeamisessa (Colgan ym. 2016: 130).

Jäätiköstä voi lohjeta lauttoja, kun joko jään pinnan railot tai pinta- ja pohjarailot molemmat lävistävät koko jään paksuuden (Colgan ym. 2016: 152–153). Kun jäätikön reuna ohenee, se alkaa kellua sulamisvesien päällä, mikä aiheuttaa jään taipumista. Tämä pakottaa jään pohjassa jo olevat railot repeämään koko matkalta. Kun pohjassa ja pinnalla olevat railot kohtaavat, jäälohkare pääsee irtoamaan ja putoaa mereen (Colgan ym. 2016: 153).

### **2.3 De Geer -moreenit ja niiden aiempi tutkimus**

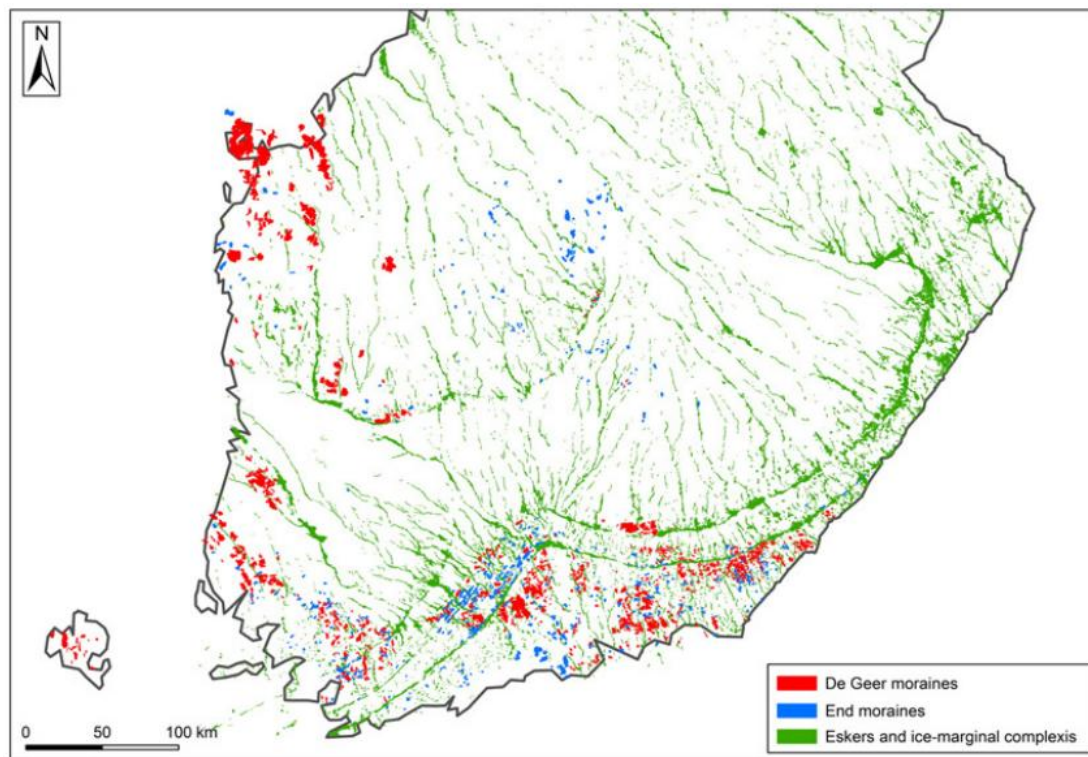
Jäätikön edetessä ja vetäytyessä eri vaiheissa jääkautta se keräsi ja kokosi maa-ainesta mukanaan. Sulamisvesien ja jään kuljettamaa maa-ainesta kasaantui erilaisiksi muodoiksi, joista jäätikön liikkeitä pystytään tulkitsemaan edelleen tänä päivänä. Esimerkkejä jääkauden muodostumista ovat reunamuodostumat, harjut, drumliinit, deltat ja De Geer -moreenit. De Geer -moreenit löydettiin Ruotsista vuonna 1889 Gerard De Geerin toimesta. De Geer tulkitsee niiden olevan päätmoreeneja, jotka kertovat jään reunan liikkeistä. Tämä loi perustan niiden tutkimukselle ja myöhemmin De Geerien syntyvästä on noussut esiin useita eri tulkintoja. Päätmoreenien lisäksi niiden on ehdotettu olevan esimerkiksi jäätikön railoissa syntyneitä muodostumia (Zilliacus 1989: 315). Molemmat näistä vaihtoehdoista viittaavat kuitenkin jäätikön reunan läheisyydessä, syvissä vesissä syntyneisiin muodostumiin.

Kaukokartoitusmenetelmien kehittyminen on mahdollistanut maanpinnan muotojen tarkemman tarkastelun, myös ilman kenttätöitä. Laserkeilaus eli LiDAR (*Light Detection and Ranging*) hyödyntää laserpulsseja, jotka mittaavat etäisyyttä maan pinnasta (National Ocean Service s.a.). Laserpulssien avulla saadaan tarkkaa dataa esimerkiksi pinnanmuodoista tai metsän rakenteesta. Tällöin LiDAR-aineiston avulla voidaan muodostaa tarkka 3D-malli ympäristöstä, mikä auttaa esimerkiksi De Geer -moreenien havaitsemisessa ja kartoittamisessa. Esimerkiksi Ojala (2016) ja Rivers ym. (2023) ovat tutkineet De Geer -moreeneja Suomessa LiDARin avulla. LiDAR on mahdollistanut De Geer -moreenien tarkan mittaamisen ja tarkastelun paikkatietomenetelmien avulla.

### 2.3.1 Aiempi tutkimus Suomessa

Suomessa De Geer -moreeneja on tutkittu jo 1970-luvulta eteenpäin. Aartolahti (1972) hyödynsi De Geer -moreeneja tulkitsemaan jään reunan sijaintia jäätikön vetäytymiseen liittyvässä tutkimuksessaan. Lisäksi De Geer -moreeneja ovat tutkineet Zilliacus (1987 & 1989), Ojala ym. (2015 & 2016) ja Rivers ym. (2023 & 2025). Zilliacus (1987) oli yksi ensimmäisistä, joka ehdotti De Geer -moreeneille erilaista muodostumistapaa.

De Geer -moreenit esiintyvät usein harjujen ja reunamuodostumien läheisyydessä (Bouvier ym. 2015: 6–7). De Geer -moreenit sijoittuvat selkeästi Suomen länsi- ja eteläosiin, ainoastaan muutamia yksittäisiä De Geer -moreeneja on merkitty Keski-Suomen alueelle (kuva 3). Salpausselkien yhteydessä De Geer -moreeneja esiintyy runsaasti ja Lounais-Suomen alueella on myös useita De Geer -kenttiä. Tutkimusalueellani Pohjanmaalla ja Etelä-Pohjanmaalla De Geer -moreenit ovat poikkeuksellisen kaareutuvia ja eroavat tämän vuoksi Suomen muista De Geer -kentistä. Kaareutuvuuden lisäksi selänteiden väliset etäisyydet ovat myös suurempia, erityisesti Merenkurkun saaristossa (Ojala 2016: 21).



Kuva 3. De Geer -moreenien sijoittuminen Suomessa. De Geerit merkitty punaisella, pääte-moreenit sinisellä ja harjut sekä reunamuodostumat vihreällä. (Lähde: Ojala 2016).

Ojala ym. (2015: 306) mukaan Suomessa De Geer -selänteet koostuvat yleensä samantyyppisestä moreenista alueen pohjamoreenin kanssa ja selänteiden pinnalla on tyypillisesti suurempia lohkareita. De Geer -selänteissä moreeni on löysemmin kasautunut, toisin kuin muualla ympäristössä, jossa se on usein pakkautunut tiiviimmin. Suuremmissa De Geer -moreeneissa lajittuneen sedimentin määrä on loogisesti myös suurempi. Suomessa De Geer -moreenien koot vaihtelevat paljon. Ojala ym. (2015: 306) koostavat harjanteiden korkeuden vaihtelevan 1–5 metrin välillä, leveyden 5–25 metrin välillä ja pituuden 20–1000 metrin välillä eri tutkimusten mukaan. Joissain tapauksissa pituus ylittää jopa kahteen kilometriin. De Geer -selänteiden väliset etäisyydet vaihtelevat 20–300 metrin välillä.

De Geer -moreenit esiintyvät yleensä joukoissa muodostaen suurempia De Geer -kenttiä, joihin selänteet keskittyvät. Kenttien ulkopuolella selänteitä havaitaan vähän. Kenttien koko vaihtelee 0,5–6,5 km<sup>2</sup> välillä, ja ne koostuvat yleensä noin 10–60 harjanteesta (Ojala ym. 2015: 306). De Geer -moreenien väliset etäisyydet vaihtelevat paljon ja on havaittu, että yleensä niiden välimatkat kasvavat jäätikön sulamisen suuntaan edetessä (Ojala ym. 2015: 315). Lisäksi on huomattu, että selänteiden väliset pituudet korreloivat proglasiaalisen vedensyvyuden kanssa. Syvässä vedessä muodostuneet De Geer -selänteet ovat usein kauempana kentän muista selänteistä. Niiden väliset etäisyydet ovat siis suuremmat ja muodostumat ovat myös monimutkaisempia verrattaessa matalammissa vesissä syntyneisiin De Geer -moreeneihin (Ojala ym. 2015).

### 2.3.2 Tutkimukset muualla

Suomen lisäksi De Geer -moreeneja on tutkittu paljon myös muualla. Tutkimuksia löytyy Ruotsista (esim. Bouvier ym. 2015), Norjasta (esim. Blake 2000 & Larsen ym. 1991), Iso-Britanniasta (esim. Bradwell ym. 2008), sekä Pohjois-Amerikasta (esim. Sinclair ym. 2018). Ruotsissa De Geer -moreeneja ovat tutkineet Bouvier ym. (2015), jotka ehdottivat De Geerien olevan päätemoreeneja. Selänteet olisivat muodostuneet talvella jäätikön edetessä. Bouvier ym. (2015: 1) mukaan säännölliset, tasaisin etäisyyksin sijoittuneet De Geer -moreenit olisivat tällaisia muodostumia. De Geer -moreenien muodot voivat

vaihdella suorasta hieman koveraan tai kuperaan ja alueen topografialla on joissain tapauksissa suuri vaikutus niiden suuntautumiseen (Bouvier ym. 2015: 7). Bouvier ym. (2015: 14) ehdottavat, että De Geer -moreeneilla on todennäköisesti useita eri syntyntapoja, eikä yhtä oikeaa vastausta ole sovellettavaksi kaikkialle.

Norjassa Blake (2000) on tutkinut De Geer -moreeneja Raudvassdalenissa. Blake tulkitsee tutkimuksessaan railoissa muodostuneet De Geer -moreenit epätodennäköiseksi syntyntavaksi. Tutkimuksessa todetaan, että todennäköisin vaihtoehto on, että ne ovat muodostuneet jäätikön pohjautumislinjan (engl. *grounding line*) kohdalla päätemoreeneina, vaikka niiden koostumus saattaakin vaihdella (Blake 2000: 633). Larsen ym. (1991) päätyivät tutkimuksessaan myös tulokseen, että De Geer -moreenit ovat Møren alueella päätemoreeneja. Iso-Britannian pohjoisosissa Bradwell ym. (2008) ovat tutkineet mannerjään dynamiikkaa viimeisimmän jääkauden ajalta. Tutkimuksessa hyödynnettiin merenpohjakuvia, joiden avulla saatiin dataa jäätiköiden käyttäytymisestä Britannian ja Fennoskandian alueella (Bradwell ym. 2008: 207). Bradwell ym. (2008) löysivät kuvien avulla De Geer -moreeneita ja muita geomorfologisia todisteita, joiden avulla pystyttiin tulkitsemaan jäätikön liikettä tarkemmin kuin aiemmin.

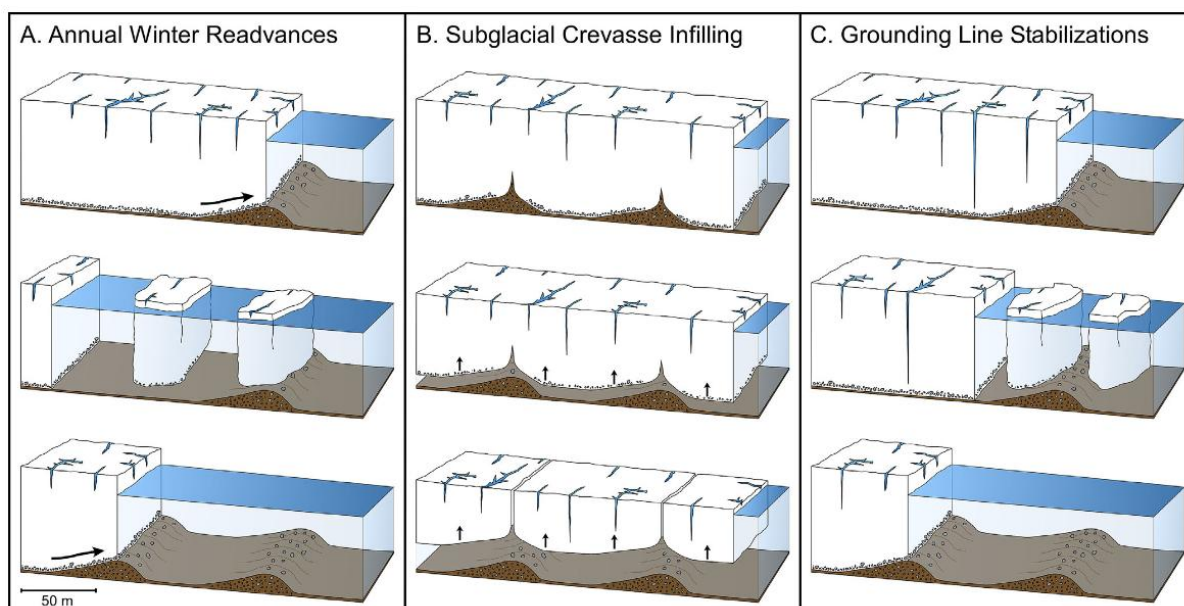
Sinclair ym. (2018) ovat tutkineet De Geer -moreeneja New Hampshiren rannikolla. Heidän tulkintansa mukaan tutkimusalueen De Geer -moreenit ovat vuosittain syntyneitä päätemoreeneja. Alueen De Geer -moreenit ovat noin 28 m leveitä, 1,7 m korkeita ja 1,2 km pitkiä. Selänteiden väliset etäisyydet ovat noin 104 m (Sinclair ym. 2018: 225). De Geer -moreenit ovat syntyneet jäätikön vetäytymisvaiheessa matalissa vesissä, ja ne sijoittuvat rannikkoalueille. Niiden tarkempi syntyprosessi on kuitenkin vielä tutkimuksen alla (Sinclair ym. 2018: 225).

### 2.3.3 De Geer -moreenien tutkitut syntyntavat

De Geer -moreenien syntyntavasta ei ole yhtä oikeaa vaihtoehtoa, joka olisi yleisesti hyväksytty ympäri maailmaa. Kuitenkin muutama tulkinta on toistuvasti esillä eri tutkimuksissa. Yleisimmät tulkinnat ovat vuosittain syntyneet päätemoreenit ja jään rai-

loissa syntyneet De Geer -moreenit. Keskenään eri tyyppisten De Geer -moreenien morfologia eroaa todennäköisesti toisistaan (Bouvier ym. 2015: 14). Tällöin myös niiden syntyvät ovat todennäköisesti erilaiset. Yhteistä kaikilla De Geer -moreenien syntyyn liittyvillä tulkinnoilla on kuitenkin se, että ne ovat syntyneet jäätikön reunan läheisyydessä, vedenalaisissa ympäristöissä (Bouvier 2015: 1). Gerard De Geer esitti De Geer -moreenien olevan vuosittaisia moreeneja. Myöhemmin uusien tulkintojen noustessa esille, Hoppe (1959) nimesi nämä muodostumat De Geer -moreeneiksi niiden löytäjän mukaan. Jos De Geer -moreenit ovat päätemoreeneja, niiden avulla pystytään tarkastelemaan hyvin jäätikön vuosittaista vetäytymistä. On todennäköistä, että alueilla, joilla selänneet ovat hyvin säännöllisesti asettuneita, De Geer -moreenit kuvaavat jäätikön vetäytymistä (Bouvier ym. 2015: 12).

Jääkauden sulamisvaiheessa De Geer -moreenit voivat syntyä jäätikön hetkellisessä etenemisessä talvella, kun jään reuna työntää maa-ainesta mukanaan (kuva 4, A). Kesällä jään vetäytyessä ja lohkeillessa De Geer -moreeni jää aloilleen. Näitä ovat vuosittaiset päätemoreenit (Sinclair ym. 2018: 228). Sama toistuu taas seuraavana talvena, jolloin jälleen uusi selänne muodostuu. Tällä tavalla syntyneiden De Geer -moreenien etäisyydet toisistaan kuvaavat matkaa, jonka jää on vetäytynyt yhden vuoden aikana (Sinclair ym. 2018: 228).



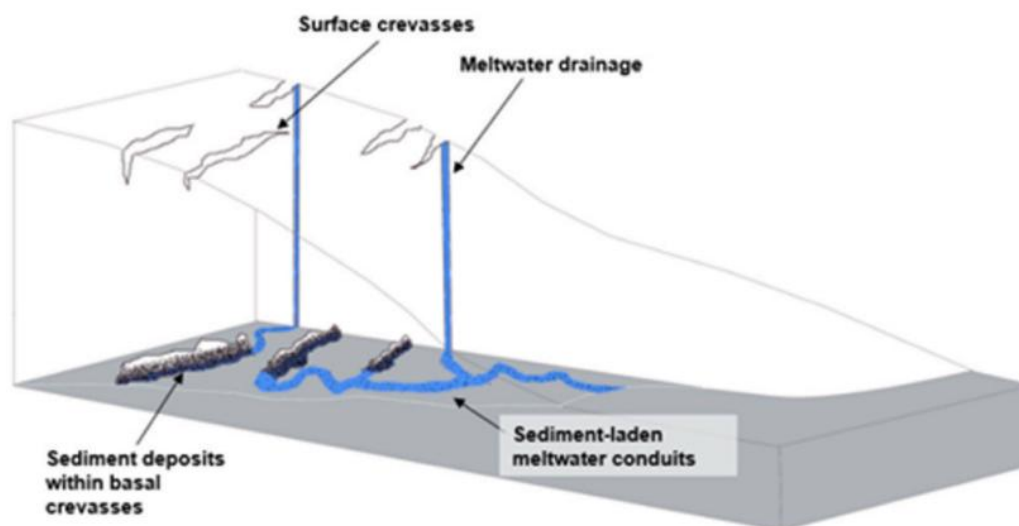
Kuva 4. De Geer -moreenien mahdolliset syntyvät. (Lähde: Sinclair ym. 2018).

Hoppe (1959), Strömberg (1965) ja Zilliacus (1989) olivat ensimmäisiä tutkijoita, jotka ehdottivat, että De Geer -moreenit ovat voineet syntyä jään pohjassa olevissa railoissa. Kun jää on paikoillaan, se painautuu maahan, jolloin maa-aines puristuu jään alla oleviin railoihin (kuva 4, B). Kun sulamisvedet pääsevät kulkeutumaan jään alle, sen reuna pääsee nousemaan ja lopulta kellumaan veden päälle, jolloin De Geer -moreenit vapautuvat jäästä. Jään kelluminen on oleellinen seikka, jotta De Geerit pystyvät säilyttämään muotonsa (Zilliacus 1989: 316). Jään pitää olla lohkeillut ja ohentunut, ja sen lisäksi vedensyvyyden on pitänyt olla riittävän suuri, jotta jää pääsee kellumaan sen alle tunkeutuvan veden päällä (Zilliacus 1989: 316). Tämän takia De Geer -moreenit voivat säilyttää muotonsa vain silloin, kun ne ovat syntyneet lähellä jään pohjautumislinjaa, jossa lohkeilu ja jään oheneminen on suurinta.

Näiden lisäksi yksi mahdollinen synty tapa on se, että jään ollessa aloillaan, sen pohjautumislinjalle kerääntyy sedimenttejä. Kun sulaminen edistyy, jäätiköstä irtoaa lohkoja ja pohjautumislinja siirtyy tällöin taaksepäin (Sinclair ym. 2018: 228). Tällöin pohjautumislinja on joka vuosi eri kohdassa, ja sedimentit kasaantuvat taas uudelle reunalle (kuva 4, C). On myös ehdotettu, että De Geer -moreenien pääselänteet voisivat kuvata talvella tapahtunutta jään edistymistä ja pienemmät, epämääräisemmät väliselänteet voisivat kuvastaa kesällä tapahtunutta liikettä (Bouvier ym. 2015: 4). Tällöin pääselänteet voivat kertoa jään vuosittaisesta liikkeestä. Möller on ehdottanut tätä teoriaa vuonna 1962, jonka jälkeen on tehty myös muita tutkimuksia, jotka tukevat teoriaa (Bouvier ym. 2015: 4).

Painautumisteorian (kuva 4, B) lisäksi myös jään pohjassa kulkevat sulamisvedet voivat toimia maa-aineksen kasaajana (Sinclair 2018: 228). Sulamisvedet kulkevat jään pinnan railojen kautta sen alle, jossa vesi kasaa maa-ainesta (kuva 5) (Rivers ym. 2023: 4). Sedimentit kerrostuvat jään pohjan railoihin sulamisvesikanavien kautta. Sharp (1985) on tutkinut CSR-muodostumia (engl. *Crevasse-Squeeze Ridges*, CSR), jotka ovat toisenlaisia railoissa syntyneitä moreenimuodostumia. Jäätikköryntäyksen aikana jään pohjaan muodostuu railoja ja aktiivisen vaiheen jälkeen jään ollessa aloillaan, se painuu maahan. Tällöin maa-aines puristuu jään railoihin, muodostaen CSR-muodostumat. Rai-

loissa syntyneiden De Geer -moreenien ja CSR-muodostumien syntyvät ovat samantapaiset, mutta eroja ilmenee niiden alueellisessa sijoittumisessa ja jakautumisessa (Rivers ym. 2025: 2).



Kuva 5. De Geer -moreenien muodostuminen sulamisvesien kuljettamana. (Lähde: Rivers ym. 2023).

Strömberg (1965) on tutkinut Ruotsissa De Geer -moreeneja. Hän päätyi siihen tulokseen, että on epätodennäköistä, että kaikki selänteet olisivat päätemoreeneja hänen tutkimusalueellaan. Selänteet voivat olla morfologisesti samankaltaisia, mutta hän ehdottaa, että osa selänteistä voi silti olla muodostunut railoissa ja osa päätemoreeneina. Toinen vaihtoehto on, että kaikki De Geer -moreenit ovat syntyneet alueella jään pohjan railoissa (Strömberg 1965: 81). Tulosten perusteella De Geer -selänteiden materiaali ei osoita, että ne olisivat voineet muodostuneet vain vuosittain (Strömberg 1965: 76). Vaikka De Geer -moreenit olisivat asettuneet jään reunan suuntaisesti, se ei silti tarkoita, että ne ovat vuosittaisia päätemoreeneja (Strömberg 1965: 78). Tämän vuoksi Strömberg (1965: 81) ehdottaa, että railohypoteesia olisi hyvä harkita myös alueilla, joilla selänteet asettuvat jään liikkeen suuntaisesti.

De Geer -moreeneille on ehdotettu useita eri syntytapoja, mutta niillä kaikilla on yhteistä se, että ne ovat muodostuneet pohjautumislinjan läheisyyteen, jolloin alueen sulamisvesien syvyys on ollut suuri (Bouvier ym. 2015: 5). Suomessa monet De Geer -kentät sijaitsevat kielekevirtausalueilla, joilla sulamisvedet ovat olleet runsaat ja jää on sen

vuoksi virrannut nopeasti (Zilliacus 1989: 315). De Geer -moreenien välimatkat korreloivat usein vedensyvyyden kanssa. Selänteiden etäisyydet toisistaan ovat yleensä noin kaksi kertaa suuremmat kuin proglasiaalinen vedensyvyys alueella (Ojala ym. 2015: 317; Ojala 2016: 23). Morfologialtaan monimutkaisimmat De Geer -moreenit ovat syntyneet usein juuri tällaisilla alueilla, joilla vedensyvyys on ollut hyvin suuri (Ojala ym. 2015: 317).

Myös Bouvier ym. (2015: 7) havaitsivat korrelaatiota vedensyvyyden ja De Geer -moreenien pituuden kanssa. Lisäksi he havaitsivat, että kerrostuneen maa-aineksen määrä on suurempi alueilla, jotka ovat kauempana korkeimman rantaviivan sijainnista ja joilla vedensyvyys on ollut myös suurempi (Bouvier ym. 2015: 7). Matalassa vedessä syntyneet De Geer -moreenit ovat yleensä matalampia, mutta jatkuvampia sivusuunnassa (Rivers ym. 2025: 18). Syvässä vedessä syntyneet selänteet ovat taas korkeampia, mutta epäjatkuvampia sivuttaissuunnassa (Rivers ym. 2025: 18). Veden syvyydellä on vaikutus De Geer -moreenien morfologiaan, mutta muun muassa saatavilla olevan sedimentin määrä, jään virtausdynamiikka ja alueen topografia vaikuttavat myös De Geer -moreenien syntyyn (Rivers ym. 2023: 15).

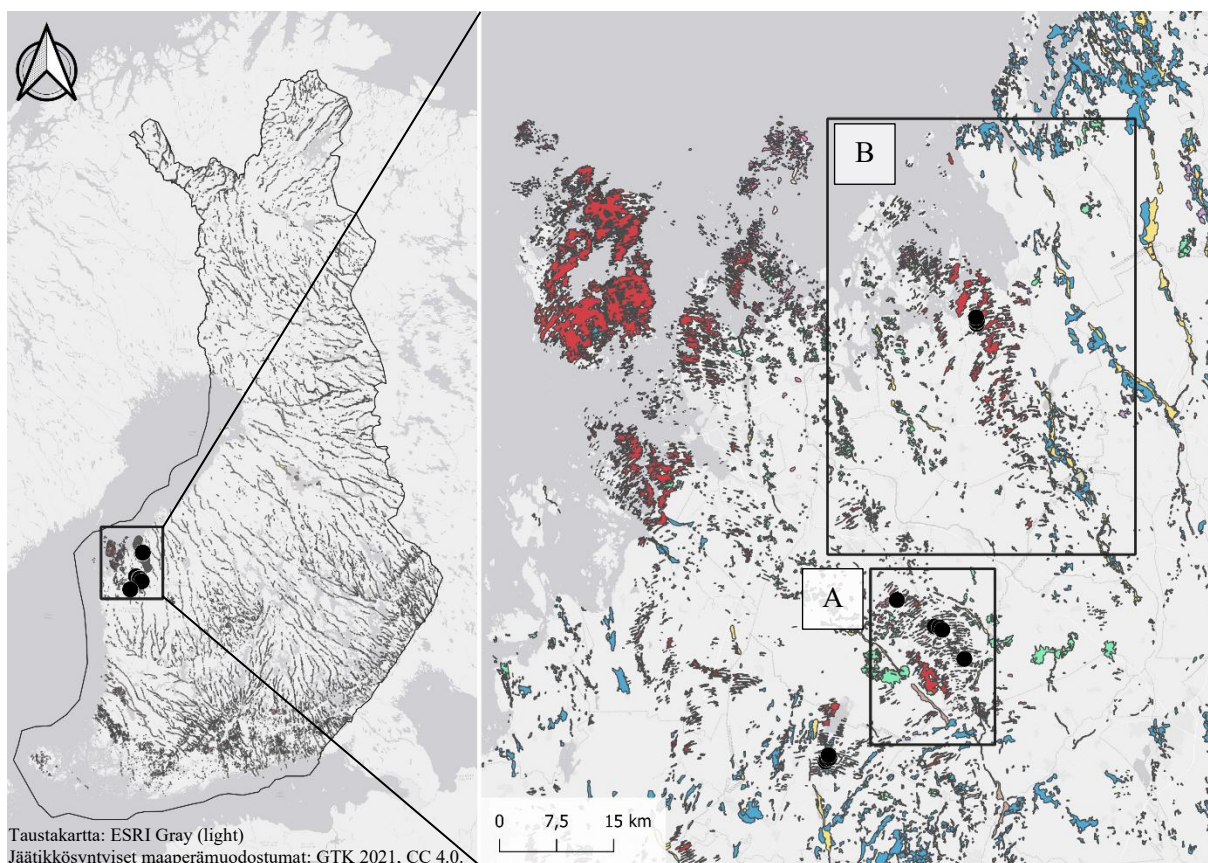
De Geer -moreeneja on sekoitettu muihin jäätikköperäisiin muodostumiin, kuten pyykkilautamoreeneihin (engl. *washboard moraines*), kumpumoreeneihin (engl. *hummocky moraines*) ja juomumoreeneihin (engl. *ribbed moraines*). Näillä kaikilla on yhteisiä piirteitä De Geer -moreenien kanssa, minkä takia muodostumia on sekoitettu keskenään. Vaikka ne muistuttavat toisiaan, muodostumilla on eroja esimerkiksi rakenteessa ja syntytavassa. Pyykkilautamoreenit ovat matalia moreenimuodostumia, jotka muistuttavat kuvioltaan pyykkilautaa (Nielsen 1969: 4). Ne voivat ylittää esimerkiksi drumliineja ja harjuja, ja ne ovat sijoittuneet saman suuntaisesti muiden pyykkilautamoreenien kanssa. Pyykkilautamoreenit on joskus sekoitettu myös juomumoreeneihin ja De Geer -moreeneihin (Nielsen 1969: 41). Pyykkilautamoreenien rakenne ei viittaa siihen, että ne kulkisivat saman suuntaisesti alueen jään virtaussuunnan kanssa. Nämä Nielsenin (1969: 42) havainnot viittaavat siihen, että pyykkilautamoreenit eivät ole välttämättä syntyneet subglasiaalisissa olosuhteissa.

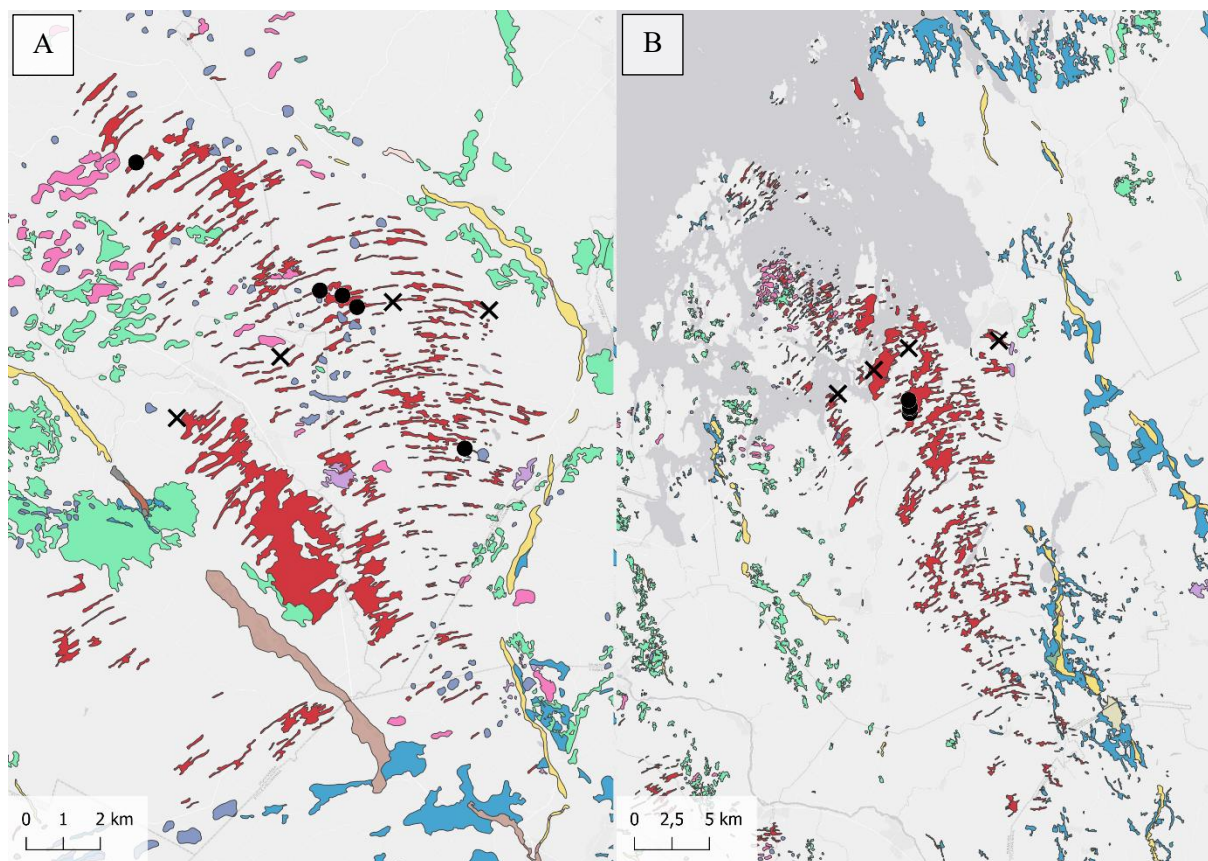
Kumpumoreenit koostuvat lähekkäisistä kummuista ja painanteista, joiden korkeus vaihtelee metristä 25 metriin asti (Eyles ym. 1999: 166–167). Ne ovat muodostuneet jään reunan läheisyydessä saattavat ilmenevät yhdessä pyykkilautamoreenien kanssa (Eyles ym. 1999: 163). Kumpumoreenit ovat syntyneet todennäköisesti subglasiaalisissa olosuhteissa ja käyneet läpi monta deformaatiovaihetta virtaavan jäätikön alla. Osa niistä on voinut myös muodostua jään pinnalla (Eyles ym. 1999: 173). Juomumoreenit taas koostuvat useista moreeni-kerroksista. Niiden pohjakerrokset ovat vanhaa pohjamoreenia ja päällimmäiset kerrokset koostuvat isommista kivistä ja lohkareista (Sarala 2006: 389). Juomumoreenit ovat syntyneet kerrostamalla subglasiaalisissa olosuhteissa. Moreenien alimmat kerrokset ovat usein melko tasaisia, tai ne voivat nousta loivasti jäätikön virtaussuuntaan (Sarala 2006: 393). Ne ovat yleensä 50–100 m leveitä, 2–10 m korkeita ja 100–500 m pitkiä vaihdellen niiden sijainnin mukaan (Sarala 2006: 389). Juomumoreenien rakenteessa ei kuitenkaan ilmene viitteitä työnnöstä, mikä on tyypillistä De Geer -moreeneilla. Harjujen ja reunamuodostumien lisäksi De Geer -moreeneja esiintyy myös muiden muodostumien kanssa. De Geer -moreeneja voi esiintyä drumliinien ja Rogen-moreenien päällä, mikä viittaa siihen, että De Geer -moreenit ovat muodostuneet vasta näiden jälkeen (Bouvier ym. 2015: 6–7).

### 3 Tutkimusalue

Tutkimusalueeni sijoittuu Suomen länsirannikolle, Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueelle. Tarkastelen Laihia-Isokyrön ja Vöyrin De Geer -kenttiä, jotka on rajattu tarkemmin oheisessa kartassa (kuva 6). Ensimmäinen tarkempi tutkimusalueeni on Laihia-Isokyrön kenttä (A), joka jakautuu lähes puoliksi kyseisten kuntien alueille. Toinen tarkasteltava alue on Vöyrin kenttä (B), joka alkaa rannikolta Vöyristä ja jatkuu myös Isokyrön puolelle. Selkeyden vuoksi kutsun kenttää kuitenkin Vöyrin kentäksi.

Olen valinnut nämä alueet tarkasteluun, sillä De Geer -moreenien muodot ovat näissä kohteissa poikkeuksellisen kaareutuvat, ja ne eroavat muista Suomen De Geer -moreeneista tämän vuoksi. Merenkurkun saariston alueella De Geer -moreenit ovat myös todella kaarevia, mutta tämä alue on kuitenkin jätetty tutkimusalueen ulkopuolelle, jotta työmäärä pysyy kohtuullisena. Keskusteluosiossa pohdin tulosten yleistettävyyttä myös Merenkurkun alueelle.





### Selitteet

- Kenttäkohteet
- ✕ Symmetrisyyden tarkastelu

#### Jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat:

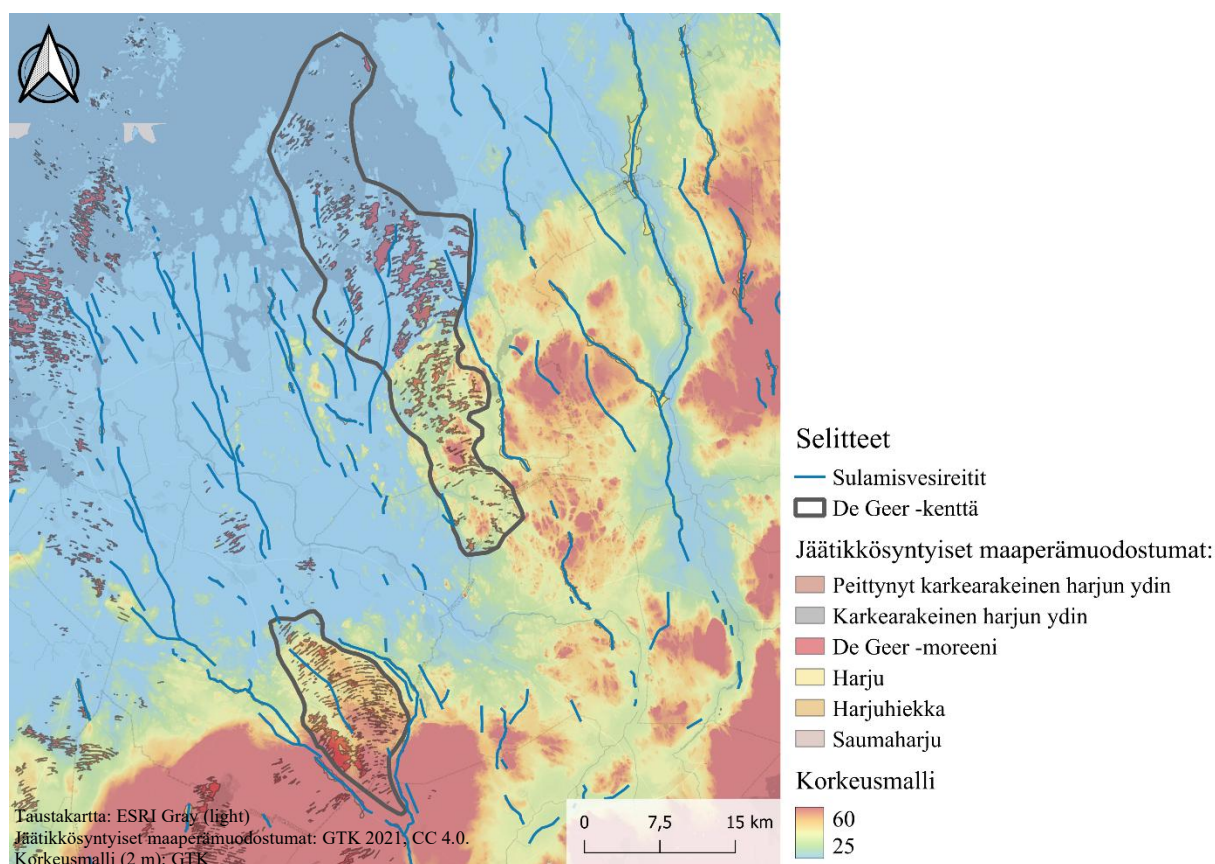
- Peittynyt karkearakeinen harjun ydin
- Peittynyt glasiaalifluviaalinen kerrostuma
- Karkearakeinen harjun ydin
- De Geer -moreeni
- Delta
- Harju
- Harjuhiekkä
- Jäätikköjokikerrostuma
- Jäätikköjokieroosioalue

- Kumpumoreeni
- Kumpuileva juomumoreeni
- Jäätikön reunan kumpumoreeni
- Reunamoreeni
- Saumaharju
- Rantakerrostuma
- Pieni perääntymismoreeni
- Moreenimuodostuma
- Juomumoreeni
- Rogen-moreeni
- Jäätikönalainen kumpumoreeni
- Oletettu peittynyt glasiaalifluviaalinen kerrostuma

Kuva 6: Tutkimusalueen rajaus. Taustalla on GTK:n Jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat (2021), jonka visualisointia olen muokannut. Kartalla näkyy (A) Laihia-Isokyrön kenttä ja (B) Vöyrin kenttä.

Maaperän koostumus vaihtelee molemmilla kentillä. Laihia-Isokyrön De Geer -kentän alueella maaperä koostuu pääosin sekalajitteista maalajista, turvekerroksesta ja savesta (GTK 2010). Lisäksi alueella on kalliomaata ja liejuista hienorakeista maalajia. Vöyrin kentällä sekalajitteinen ja liejuinen hienorakeinen maalaji peittää valtaosaa alueesta. Kentän keski- ja eteläosassa turvekerrosta ja kalliomaata esiintyy enemmän (GTK 2010).

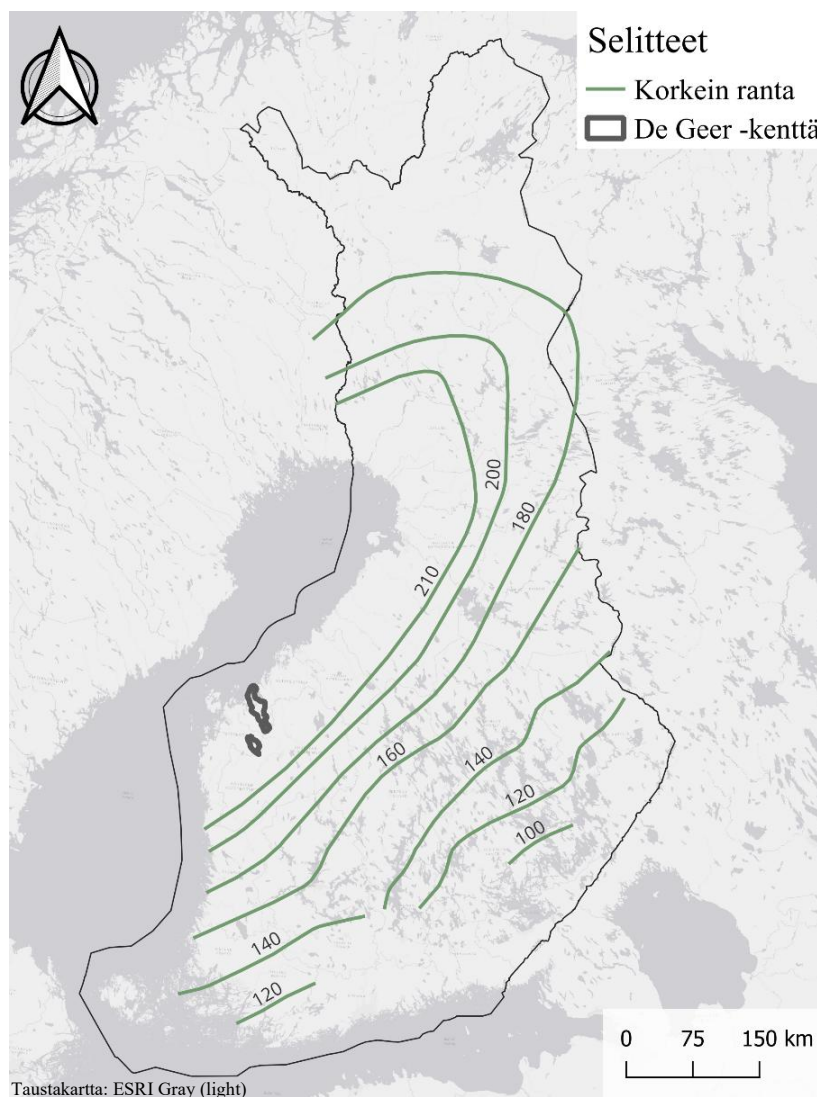
Tutkimusalueeni rajautuvat melko hyvin Ahokangas ym. (2021) sulamisvesireitteihin. Erityisesti Laihia-Isokyrön kenttä rajautuu hyvin tarkasti reittien sisään (kuva 7). Yksi reitti kulkee myös kentän halki. Vöyrissä sulamisvesireitit kulkevat hieman sekalaisemmin, mutta erityisesti kentän itäreunalla sulamisvesireitti rajaa De Geer -kentän reunaa hyvin. Toisella reunalla reitit ovat katkonaisempia, mutta ne kulkevat samaa linjaa De Geer -kentän laidalla. Myös Vöyrissä useampi sulamisvesireitti kulkee kentän läpi ja näillä reitillä ei esiinny yhtä lailla De Geer -moreeneja.



Kuva 7. Sulamisvesireittien keskiviivat tutkimusalueellani. (Sulamisvesireittien lähde: Ahokangas ym. 2021).

Molempien De Geer -kenttien reunoilla sijaitsee potentiaaliset paleoblisterit kenttien yläosassa, niiden lounaispuolella (Lappi 2026). Blisterit sijaitsevat sulamisvesireiteistä murtooreittien kohdalla (Ahokangas ym. 2021). Blisterit syntyvät, kun jään päälle kerääntyneet sulamisvedet pääsevät kulkemaan ja kasaantumaan jään alle (Mäkinen ym. 2023). Kun blisteri laajenee, se pakottaa jään nousemaan ylöspäin. Kun vesi pääsee virtaamaan blisteristä sulamisvesikanaviin, eroosion määrä kasvaa ja vedet kuljettavat paljon sedimenttiä mukanaan (Mäkinen ym. 2023: 1543).

Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentillä korkein ranta on ollut lähellä 220 metriä (kuva 8). Kun korkein ranta tiedetään, voidaan tästä vähentää alueen korkeus, jolloin saadaan selville vedensyvyys. Laihia-Isokyrön kentän keskikorkeus on 49,93 metriä ja Vöyrin kentän keskikorkeus on 17,36 metriä. Tällöin Laihia-Isokyrön kentän alueella vedensyvyys on ollut ~170 metriä ja Vöyrin kentällä syvyys on ollut ~203 metriä.



Kuva 8. Korkein ranta. (Korkein ranta -aineiston lähde: GTK Ancient shorelines 2013).

Tutkimusalueellani Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentät jakaantuvat jääkielekealueiden välimaastoon (Ahokangas ym. 2021: 3). Laihia-Isokyrön kenttä on lähempänä kylmäpohjaisen jään alueella ja Vöyrin kenttä sijaitsee hieman pohjoisemmassa, lähempänä aktiivisesti virtaavaa Näsijärven jääkielekettä (Ahokangas ym. 2021: 3). Jäätikön kielekevirtojen väliin jäänyt alue on saattanut käyttäytyä poikkeuksellisesti, mikä voi vaikuttaa De Geer -moreenien muodostumiseen.

## 4 Aineistot ja menetelmät

### 4.1 Aineistot

De Geer -moreenien kartoituksessa hyödynsin GTK:n (2021) Jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -aineistoa, jonka visualisointia muokkasin itselleni sopivaksi. Suomessa on ollut vuodesta 2008 lähtien saatavilla Maanmittauslaitoksen ylläpitämä avoin laserkeilausaineisto, jota hyödynsin De Geer -moreenien kartoituksessa. Käytin GTK:n rinnevarjostetta ja korkeusmallia, joka perustuu Maanmittauslaitoksen dataan. Lisäksi tein kartat sulamisvesireiteistä ja korkeimmasta rannasta. Sulamisvesireitit perustuvat Aho-kangas ym (2021) tutkimukseen ja korkein ranta on GTK:n (2013) tuottamaa aineistoa.

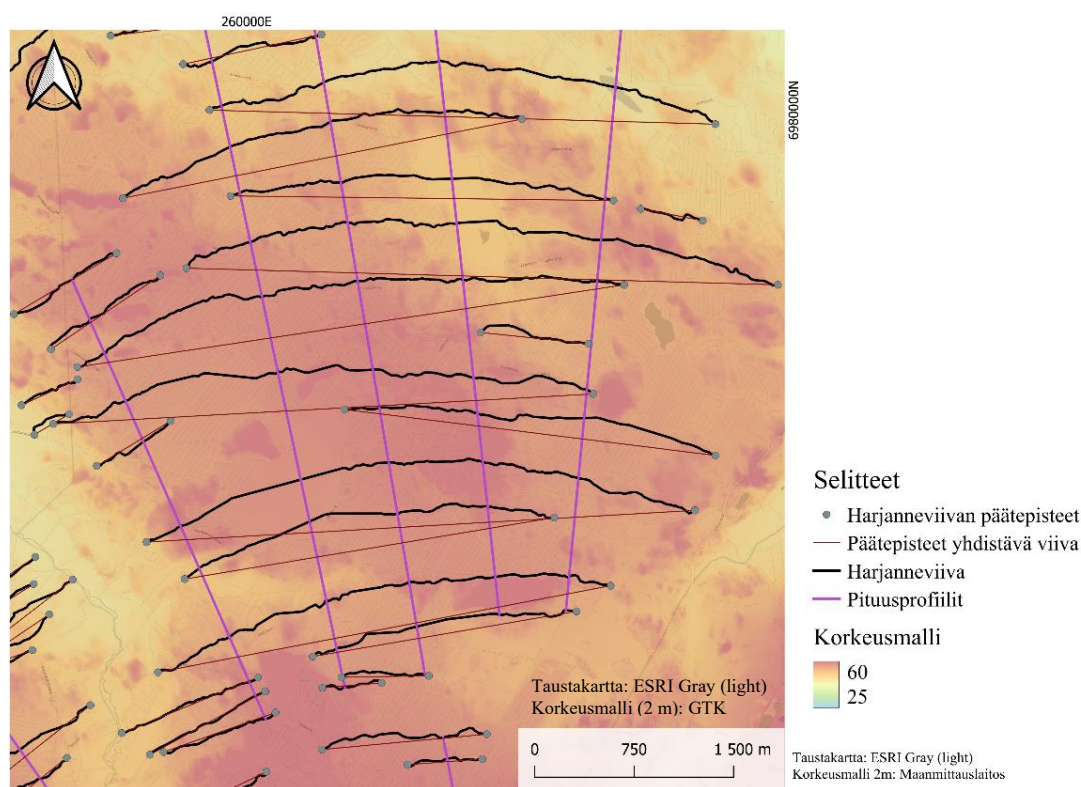
Syksyllä 2025 ja keväällä 2026 suoritin kenttätyöt Laihian ja Vöyrin alueella. Tarkastelin viittä eri De Geer -selännettä Laihialla ja kolmea Vöyrissä. Tein havaintoja ja muistiinpanoja De Geer -moreeneista ja otin kuvia, joita pystyn hyödyntämään tutkielmassani. Kuvat toimivat tukena hahmottamaan, miltä tarkasteltavat De Geerit näyttävät luonnossa. Kenttätöiden lisäksi hyödynsin syksyllä järjestetyltä LiDAR based approach on glacial landscapes -kurssilta saatua dataa De Geer -moreenien kaivuista Laihian kentältä. Lisäksi käytössäni oli Laihian selännteistä dronekuvia, joita otettiin kurssilla.

### 4.2 Menetelmät

Korkeusmallin ja rinnevarjosteen avulla tunnistin De Geer -moreeneja tutkimusalueeltani QGIS-sovelluksessa. Tässä apuna toimi myös GTK:n Jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -aineisto, joka helpotti hahmottamaan kenttien sijaintia. GTK:n aineisto ei ole kuitenkaan kovin tarkka, joten LiDARin rooli oli yksittäisten selännteiden kartoituksessa tärkeämpi. Otin mallia erityisesti Rivers ym. (2023) artikkelista morfologisiin mittauksiin. Piirsin De Geer -selännteitä pitkin niille harjanneviivat (engl. *crestline*) silmämääräisesti selännteen korkeimpaan kohtaan, rinnevarjostusta hyödyntäen. Harjanneviivoja piirtäessä tulkitsin De Geer -moreenin jatkuvaksi niin kauan, kun pystyn seuraamaan sitä maastossa. Jos De Geer -selänne näytti päättyvän suohon, järveen, tai mereen, mutta jatkui selkeästi sen toisella puolella, tällöin päätin selännteen jatkuvan

myös esimerkiksi kyseisen suon alla. Jos De Geer -selänne päättyi esimerkiksi muihin jääkauden muodostumiin, eikä se jatkunut muodostumien päällä, tällöin katkaisin harjanneviivan. Harjanneviivojen avulla pystyin mittaamaan pääselänteiden pituudet niiden korkeimmasta kohdasta. Digitointivaiheessa De Geer -moreenien jatkuvuuden tulkinta on tärkeää, sillä välillä ne voivat olla vaikeasti havaittavissa.

Harjanneviivojen valmistuttua rajasin Laihia-Isokyrön ja Vöyrin De Geer -kentät ja mittasin niiden pinta-alat. Tämän jälkeen rajasin molemmat kentät vielä pienempiin osiin, sillä harjanneviivojen avulla havaitsin eroja selänteiden suunnissa. Tämän jälkeen piirsin Laihia-Isokyrön ja Vöyrin De Geer -kentille pystysuunnassa pituusprofiilit, jotka sijoitin säännöllisin välimatkoin (noin 1 km välein) siten, että ne kulkivat kohtisuoraan harjanneviivoja kohden (kuva 9). Pituusprofiilien avulla mittasin etäisyyksiä



Kuva 9. Esimerkkikuva Laihia-Isokyrön kentän pituusprofileista, harjanneviivoista ja niiden päätepisteet yhdistävistä viivoista.

yksittäisten De Geer -selänteiden väleillä. Jaoin pituusprofiilit harjanneviivojen avulla pienempiin osiin QGIS:in Split with lines -toiminnolla. Tällöin pituutta mitattaessa mittasin vain De Geer -selänteiden väliset osuudet pituusprofileista.

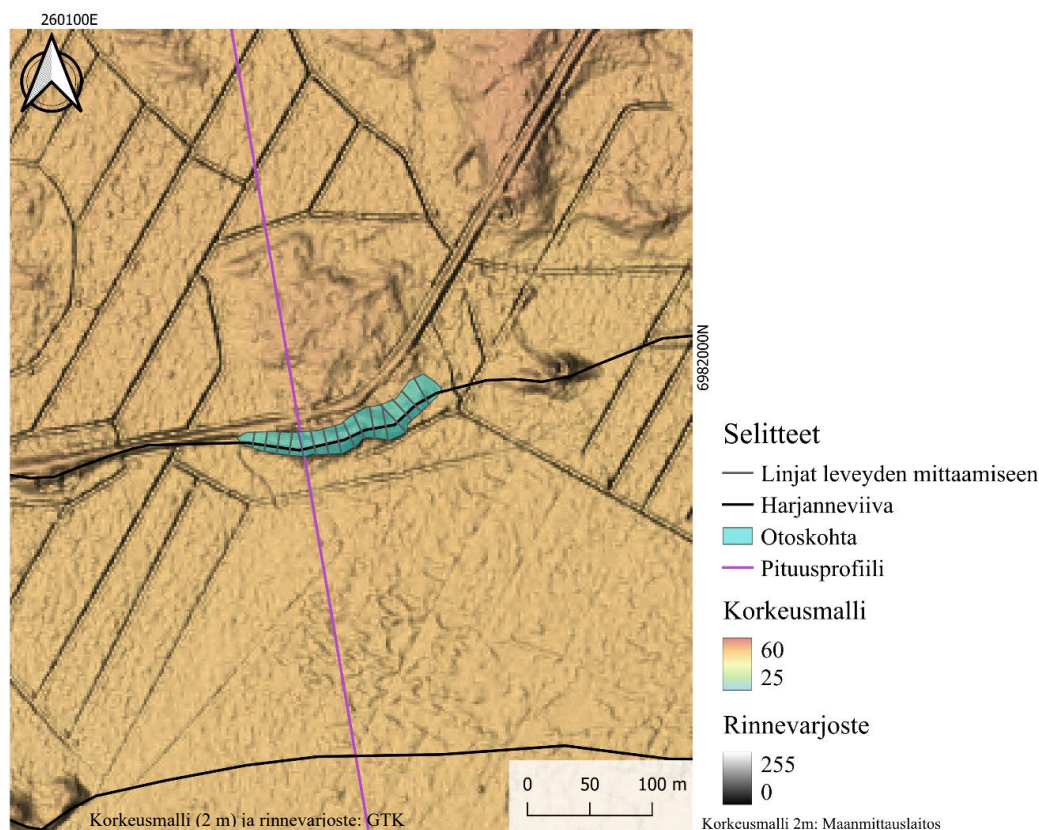
De Geer -moreenien kaareutuvuutta mittasin harjanneviivojen avulla. Tein niille päätepisteet, joiden välille tein suoran viivan linnuntietä pitkin (kuva 9). Tämän jälkeen yhdistin harjanneviivat ja suoran viivan yhteen tasoon ja laskin niiden mutkitteluun (engl. *sinuosity*) jakamalla harjanneviivan pituuden suoran viivan pituudella. Mitä suurempi tulos on, sitä suurempaa on harjanneviivan mutkittelu. Mutkittelu laski ainoastaan kuinka paljon pidempi harjanneviiva oli suoraan viivaan verrattuna. Tämän vuoksi laskin kaareutuvuutta lisäksi mittaamalla harjanneviivan kauimman etäisyyden suorasta viivasta. Tekoälyn avulla sain tarvittavan funktion kaareutuvuuden laskemiseen QGIS:issä haluamallani tavalla (kuva 10). Tämän avulla pystyin hahmottamaan paremmin kaareutuvuutta koko selänteen matkalta mutkittelun sijaan. Lisäksi hyödynsin tekoälyä (Gemini 1.5 Pro, OpenAI ChatGPT, GPT-5.5) tuntemattomien termien suomentamisen ja ymmärtämisen apuna.

```
hausdorff_distance( $geometry, make_line( start_point($geometry),
end_point($geometry) ) )
```

Kuva 10. Tekoälyn tuottama funktio.

Seuraavaksi digitoin otoskohdat tutkimusalueeltani. Laihia-Isokyrön kentältä otoksia tein 20 kappaletta ja Vöyrin kentältä 45 kappaletta. Valitsin otoskohteet niin, että pystyn tutkimaan yksittäisten De Geer -selänteiden symmetrisyyttä. Näin pystyn selvittämään, onko kaareutuva De Geer -moreeni samanlainen päästä päähän, vai vaihteleeko sen morfologia. Valitsin otokset mahdollisimman tasaisesti kentiltä pituusprofiilien kohdalta, seuraten vaakatasossa suunnilleen De Geer -selänteen linjaa (vaikka se katkeaisikin osiin matkalla). Jos pituusprofiili halkaisi digitoidun harjanneviivan kohdalta, jossa De Geer -moreenia ei ollut, mutta olin tulkinnut selänteen jatkuvaksi, digitoin otoskohdan siitä, mistä selänne taas jatkui. Tällaiset otoskohdat olivat kuitenkin hyvin lähellä pituusprofiileja. Otoskohdat sijoittuvat tasaisesti kentille, noin 3000–3500 metrin päähän edellisistä otoksista. Kenttien leveimmistä kohdista valitsin otoskohdat suunnilleen joka toisen pituusprofiilin kohdalta. Käytin jälleen apuna QGIS:in profile tool -työkalua otosten digitoinnissa, varsinkin niiden leveyden sekä symmetrisyyden hahmottamisessa.

Seuraavaksi mittasin otoskohdille leveyden ja korkeuden, sekä tarkastelin niiden symmetrisyyttä. Tein harjanneviivalle Transect at fixed distance -työkalulla linjat 10 metrin välein, kohtisuorassa harjanneviivaan (kuva 11). Tähän otin mallia Rivers ym. (2023: 9) tutkimuksesta, jossa he ovat mitanneet otoskohtien leveyttä tällä tavalla. Tein linjoista Laihia-Isokyrön kentillä 30 metriä pitkät ja Vöyrin kentällä 50 metriä pitkät, jotta ne olivat riittävän pitkät jokaisen otoskohdan leveyden mittaamiseen. Poistin linjat, jotka ylsivät viereisestä selännteestä otoskohdan alueelle, sekä turhan pienet linjat, jotka johtuivat otosten polygonien huonosta mallista. Tällöin ne eivät haittaa leveyden laskemista. Tämän jälkeen rajasin linjat otoskohtien mukaan, ja laskin niille pituudet (eli otoskohdan leveyden). Korkeuden laskin korkeusmallin avulla, laskemalla digitoidun otoskohdan maksimikorkeuden ja minimikorkeuden erotuksen.

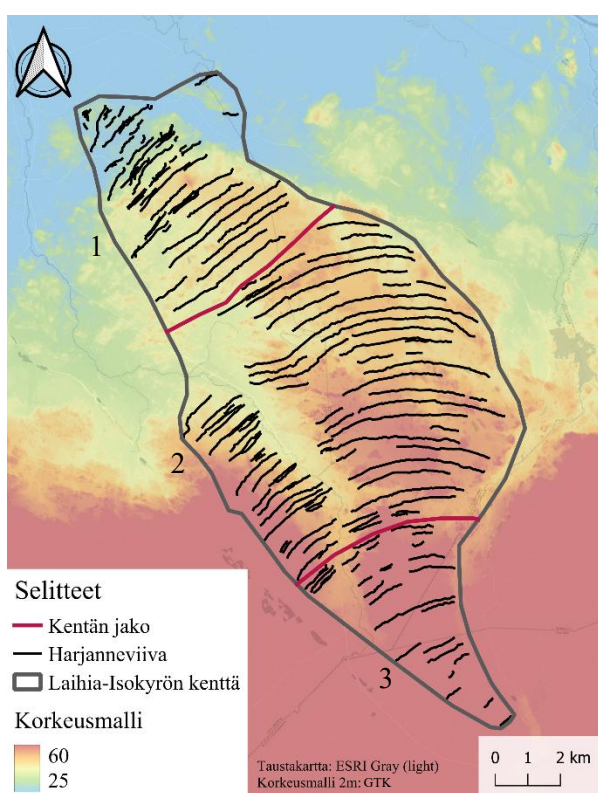


Kuva 11. Esimerkkikuva otoskohdasta Laihia-Isokyrön kentällä.

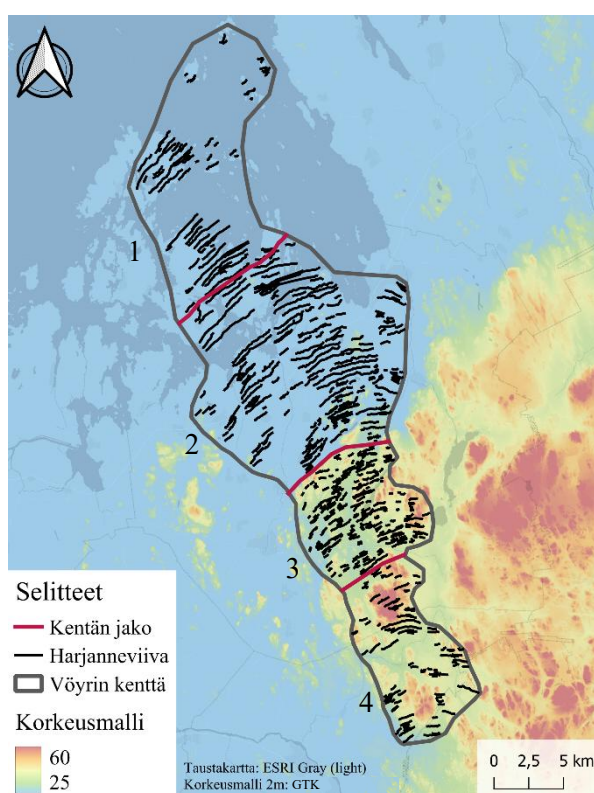
## 5 Tulokset

### 5.1 De Geer -moreenien morfologia

De Geer -moreenien kaareutuvuus on selkeästi havaittavissa Laihia-Isokyrön kentällä (kuva 12). Kaareutuvimmat selänteet sijaitsevat kentän keskiosassa. Kentän alku- ja loppupäässä De Geer -moreenit ovat suurempia ja hajanaisempia. Tämän vuoksi jaoin kentän kolmeen alueeseen helpottamaan seuraavia mittauksia. De Geer -kentän pinta-ala on noin 135 km<sup>2</sup>. Kentän sisällä pystyy havaitsemaan vaihtelua De Geer -moreenien pituudessa ja yhtenäisyydessä jo pelkkien harjanneviivojen avulla.



Kuva 12. Laihia-Isokyrön De Geer -kenttä.

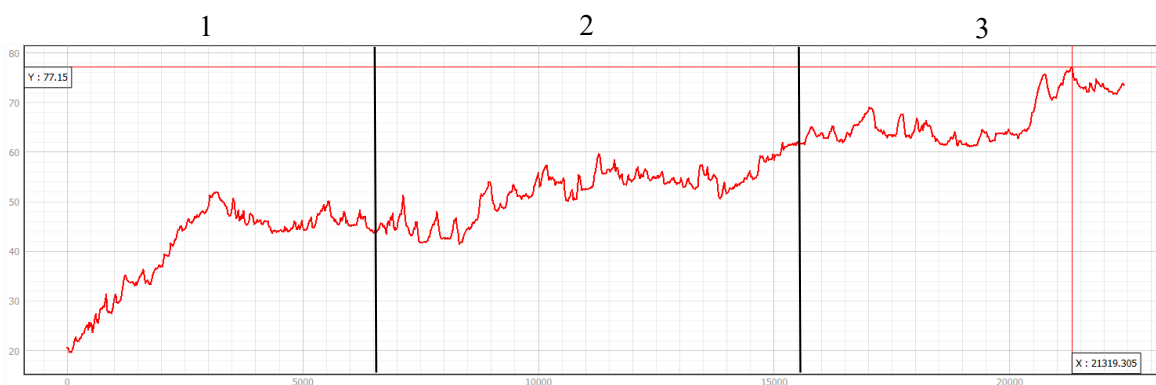


Kuva 13. Vöyrin De Geer- kenttä.

Vöyrin kenttä sijoittuu suunnilleen saman suuntaisesti Laihia-Isokyrön kentän kanssa, luoteesta kaakkoon (kuva 13). Vöyrin kentän pinta-ala on noin 483 km<sup>2</sup>, eli se on paljon suurempi kuin Laihia-Isokyrön kenttä ja jatkuu pidemmälle päättyen mereen. Jaoin myös tämän kentän pienempiin osiin, sillä digitoinnin jälkeen selänteiden asettumisessa oli selkeitä eroja. Vöyrin kentällä De Geer -moreenit ovat paljon hajanaisempia kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Vöyrissä selänteet eivät ole yhtä jatkuvia, minkä vuoksi digitointivaiheessa oli vaikea saada yhdistettyä selänteitä samalla tavalla kuin Laihiassa.

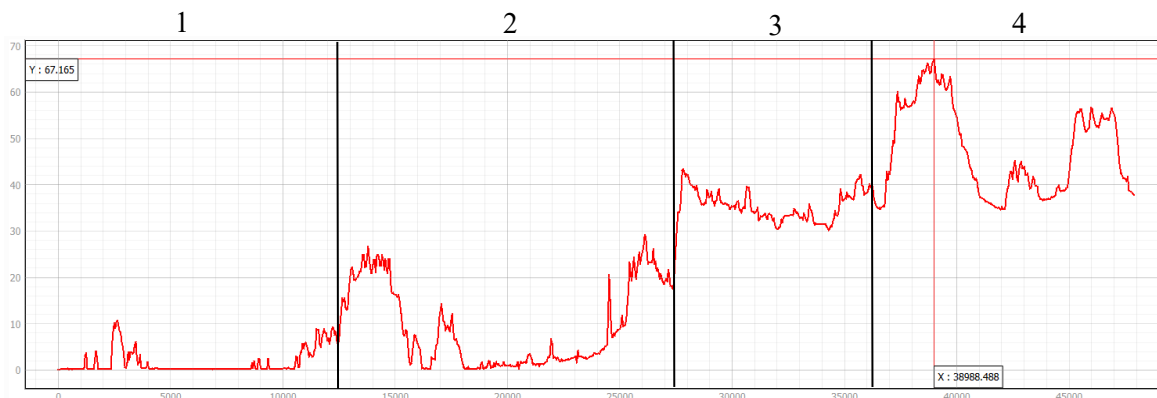
Vöyrin kentällä voi havaita kaareutuvuutta erityisesti kentän toisessa osassa, mutta selänneet ovat paljon katkonaisempia. Tämän vuoksi Vöyrin kentällä kaareutuvuuden mittaaminen saattaa olla vaikeaa tehdä samalla tavalla kuin Laihia-Isokyrön kentällä.

Laihia-Isokyrön kenttä kulkee suurin piirtein luoteesta kaakkoon päin ja eri puolilla kenttää topografia vaihtelee jonkin verran. Luoteesta päin lähdettäessä maaston korkeus nousee lähes koko kentän matkalla. Lähtöpisteessä korkeus on noin 24 metriä merenpinnasta ja kentän toisessa päässä korkein kohta nousee hieman yli 77 metriin (kuva 14). Laihia-Isokyrön kentällä De Geer -moreeneista suurin osa on siis sijoittunut ylämäkeen.



Kuva 14. Kaavio Laihia-Isokyrön kentän topografian muutoksista. Kaavio tehty QGIS Profile Toolin avulla. Mustat viivat rajaavat kentän eri osiin.

Myös Vöyrin kentällä on paljon vaihtelua topografiassa. Kenttä loppuu mereen, joten matalin kohta on 0 metriä ja korkein kohta nousee noin 67 metriin (kuva 15). Myös Vöyrin kentällä maaston korkeus nousee kaakkoon päin siirryttäessä, mutta se tapahtuu porrastetummin kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Kaaviosta erottuu hyvin suuremmat topografiset muutokset, joiden kohdalla havaitsin myös eroja De Geer -moreenien muodoissa ja asettumisessa. Tämän vuoksi jaoin myös Vöyrin kentän osiin. Topografian muutokset osuvat juuri niihin kohtiin, joissa muutosta esiintyy myös De Geer -selänneissä.



Kuva 15. Kaavio Vöyrin kentän topografian muutoksista. Kaavio tehty QGIS Profile Toolin avulla. Mustat viivat rajaavat kentän eri osiin.

### 5.1.1 Pääselänteiden pituudet

Laskin molemmille kentille harjanneviivojen minimi- ja maksimipituudet, keskiarvot ja mediaanit metreinä (taulukko 1). Laihia-Isokyrön kenttä on pienempi, mutta myös yhtenäisempi, mikä selittää harjanneviivojen määrää. Vöyrin kenttä on pinta-alaltaan paljon suurempi, mutta kentällä selänteet ovat myös epäjatkovampia, minkä vuoksi niitä tuli digitoitua paljon. Laihia-Isokyrön kentällä selänteiden pituuden keskiarvo on ~1282 metriä, Vöyrissä keskiarvo on ~712 metriä. Vöyrissä myös selänteiden minimi- ja maksimipituus, sekä mediaani ovat selkeästi Laihia-Isokyröä pienemmät. Selänteiden maksimipituudessa tutkimillani kentillä on eroa ~2532 metriä.

Taulukko 1. Harjanneviivojen tilastot. Pituudet, keskiarvot ja mediaanit metreinä.

#### Harjanneviivat Laihia-Isokyrö

Yhteensä (kpl)	Pituus min	Pituus max	Keskiarvo	Mediaani
183	43,8	7897,2	1282,4	838,9

#### Harjanneviivat Vöyri

Yhteensä (kpl)	Pituus min	Pituus max	Keskiarvo	Mediaani
675	9,6	5365,3	711,5	390,4

Laskin lisäksi erikseen harjanneviivojen pituuden Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentän eri osille (taulukko 2). Näin pystyn paremmin tarkastelemaan selänteiden jatkuvuutta kenttien eri osissa. Vöyrin kentällä selänteet ovat selkeästi lyhyemmät muuhun kenttään verrattuna. Kenttien 1. osa on molemmilla kentillä sen pohjoisin osio.

Taulukko 2. Harjanneviivojen pituuden keskiarvo (m) kenttien eri osilla.

<b>Laihia-Isokyrö</b>		<b>Vöyri</b>	
	Keskiarvo		Keskiarvo
Osa 1	881,42	Osa 1	1199,76
Osa 2	1822,73	Osa 2	1102,85
Osa 3	782,58	Osa 3	350,75
		Osa 4	536,99

### 5.1.2 De Geer -moreenien väliset etäisyydet

Pituusprofiilien ja harjanneviivojen avulla laskin De Geer -selänteiden välisiä etäisyyksiä toisistaan (taulukko 3). Laihia-Isokyrön kentällä profiileja oli 232 etäisyyksien laskemiseksi ja Vöyrissä määrä oli lähes kaksinkertainen. Laihia-Isokyrön kentällä maksimietäisyys selänteiden välillä on noin 1607 metriä. Minimietäisyys on 35 metriä. Vöyrissä maksimietäisyys on noin 2957 metriä ja minimi noin 19 metriä. Etäisyyksien keskiarvot ovat kuitenkin melko lähellä toisiaan: Laihia-Isokyrössä keskiarvo on noin 400 metriä ja Vöyrissä noin 443 metriä.

Vöyrin kentällä minimietäisyys on pienempi kuin Laihia-Isokyrön kentällä, mutta maksimietäisyys on suurempi. Tätä voi selittää Vöyrin kentän rikkonaisuus, jolloin osa digitoituista selänteistä voi olla väliselänteitä pääselänteiden sijaan. Myös mereen loppuva osio koostuu hajanaisemmista selänteistä. Vöyrin kentän neljännessä osassa taas etäisyydet selänteiden välissä ovat suuremmat, sillä alueella esiintyy De Geer -moreeneja hyvin harvassa ja epäsäännöllisesti. Tulee kuitenkin huomioida, että Vöyrin kenttä on pinta-alaltaan myös huomattavasti suurempi.

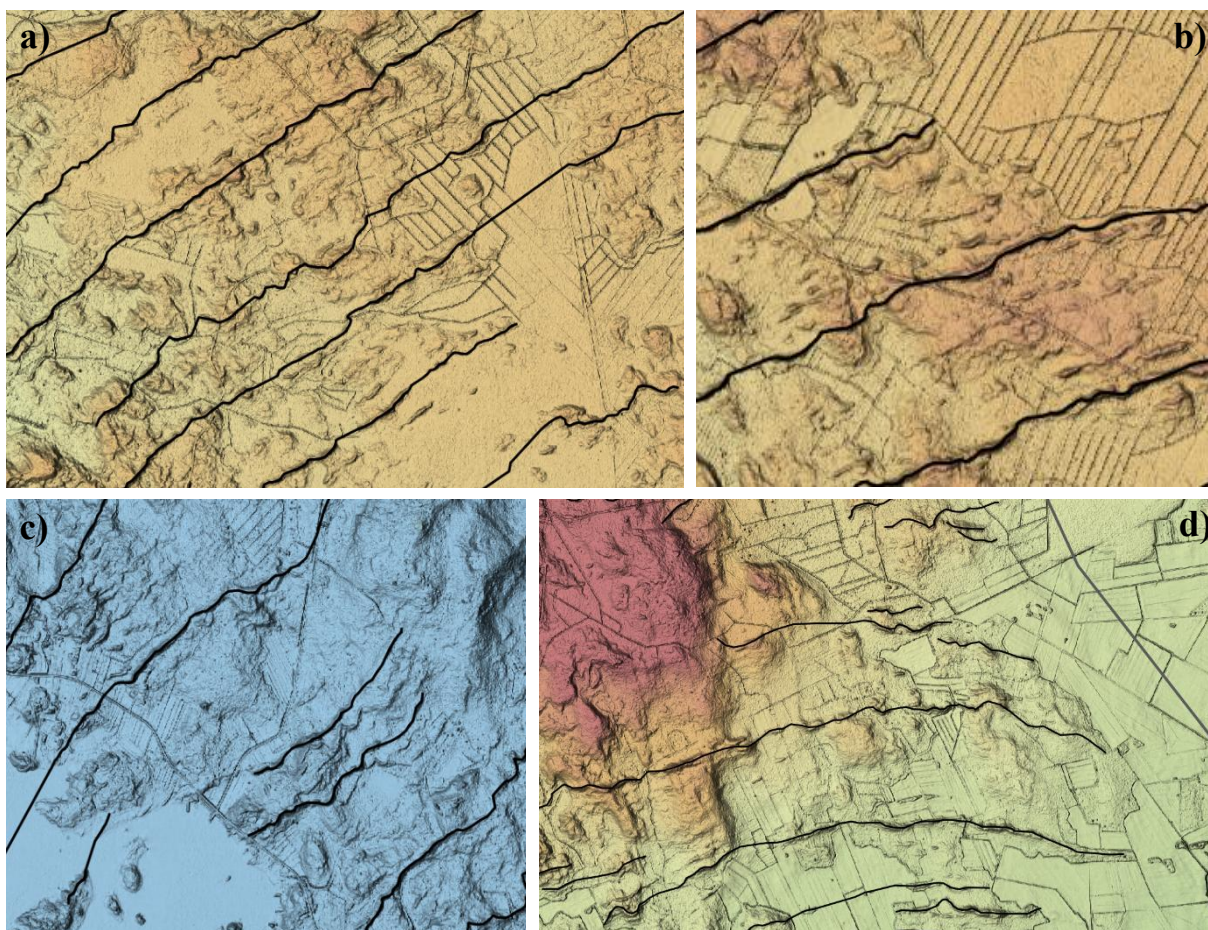
Taulukko 3. Pituusprofiileiden avulla mitatut etäisyydet. Etäisyydet, keskiarvot ja mediaanit metreinä.

<b>Etäisyydet Laihia-Isokyrö</b>				
Yhteensä (kpl)	Etäisyys min	Etäisyys max	Keskiarvo	Mediaani
232,00	35,02	1607,13	401,26	340,14

<b>Etäisyydet Vöyri</b>				
Yhteensä (kpl)	Etäisyys min	Etäisyys max	Keskiarvo	Mediaani
438,00	19,31	2956,90	442,65	321,13

### 5.1.3 Väliselänteet

De Geer -kentillä pääselänteiden välissä on havaittavissa myös pienempiä, epäjatku-  
vampia väliselänteitä. Näitä löytyy molemmilta kentiltä vaihtelevasti. Laihia-Isokyrön  
kentän ensimmäisessä osassa väliselänteitä on paljon, muuta kentän keskiosassa niitä  
esiintyy vielä runsaammin (kuva 16 a, b). Kentän kolmannessa osiossa väliselänteitä on  
hyvin vähän. Vöyrin kentän ensimmäisessä osassa väliselänteitä esiintyy jonkin verran  
(kuva 16 c). Väliselänteet todennäköisesti jatkuvat myös meren alla, samoin kuin  
pääselänteet. Kentän toisessa osassa esiintyy myös väliselänteitä vaihtelevasti, joissain  
kohdissa enemmän, mutta osa on vaikeasti havaittavissa muuten vaihtelevasta maas-  
tosta. Seuraavan osion kaikki selänteet ovat asettuneet hyvin sekalaisesti, joten välis-  
elänteitä on vaikea havaita muiden digitoitujen selänteiden välissä. Vöyrin kentän nel-  
jännessä osiossa väliselänteitä on vähän (kuva 16 d).



Kuva 16. Väliselänteet: a) Laihia-Isokyrö 1. osa, b) Laihia-Isokyrö 2. osa, c) Vöyri 1. osa, d) Vöyri 4. osa.  
Kuvakaappaukset QGIS:istä. Taustalla GTK:n korkeusmalli (2 m) ja rinnevarjoste, harjanneviivat mus-  
talla.

#### 5.1.4 De Geer -moreenien kaareutuvuus

De Geer -moreenien kaareutuvuutta laskin kahdella eri tavalla. Mutkitteluvoisuus oli hie-  
man suurempaa Vöyrin kentällä (taulukko 4). Koska mutkitteluvoisuus laskettiin jakamalla  
harjanneviivan päätepisteiden välinen viiva ja harjanneviiva, mutkitteluvoisuus kertoo  
kuinka paljon pidempi harjanneviiva on. Laihia-Isokyrön kentällä kaareutuvuus vaikuttaa  
voimakkaammalta kuin Vöyrissä, mutta mutkitteluvoisuuden arvo on silti Vöyrissä suu-  
rempi. Tämä voi selittyä sillä, että Vöyrin kentällä De Geer -moreeneissa oli havaitta-  
vissa paljon ”aaltoilua” (kuva 17). Myös Laihia-Isokyrön kentän selänteissä on tällaista  
aaltomaista muotoa, mutta Vöyrin kentällä aaltoilu on hieman voimakkaampaa.

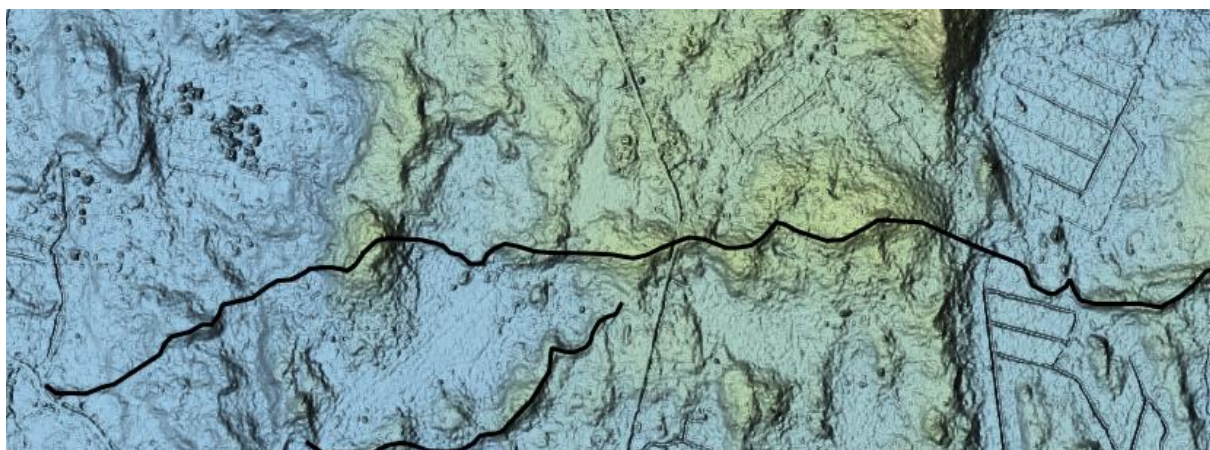
Taulukko 4. Mutkitteluvoisuus (sinuosity).

##### Mutkitteluvoisuus Laihia-Isokyrö

Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
1	1,49	1,06	1,06

##### Mutkitteluvoisuus Vöyri

Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
0,95	1,66	1,08	1,07



Kuva 17. De Geer -selänteiden aaltoilevuus Vöyrin kentällä. Kuvakaappaus QGIS:istä. Taustalla GTK:n korkeusmalli (2 m) ja rinnevarjoste, harjanneviivat mustalla.

Kaareutuvuuden tulokset kertovat kuitenkin koko selänteiden kaareutuvuudesta parem-  
min (taulukko 5). Laihia-Isokyrön kentällä kaareutuvuus on selkeästi voimakkaampaa.  
Kaareutuvuuden maksimitulos on kentällä yli 941 metriä ja keskiarvo on lähes 90 met-  
riä. Vöyrin kentällä kaareutuvuus oli suurimmillaan 532 metriä. Vöyrin kentällä kuitenkin

poistin yhden De Geer -moreenin kaareutuvuuden laskusta, sillä selänteen kaareutuvuuden luku oli liian suuri (1127 m) ja se erosi todella paljon kentän muista De Geer -moreeneista (toiseksi suurin ja selkeästi kaareutuvampi selänne 532 m). Kyseisen selänteen digitoinnissa on saattanut tapahtunut jokin virhe, jolloin kaareutuvuuden laskeminen ei onnistunut selänteelle. Vöyrissä on myös kaareutuvuutta havaittavissa pitkiltä matkoilta, jos selännteitä saisi yhdistettyä. Kentän rikkonaisuuden takia tämä oli kuitenkin vaikeaa.

Taulukko 5. Kaareutuvuus (suurin etäisyys).

**Kaareutuvuus Laihia-Isokyrö**

Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
0	941,74	89,34	45,74

**Kaareutuvuus Vöyri**

Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
0	532,04	50,93	32,92

### 5.1.5 Otosten korkeus, leveys ja symmetrisyys

Vöyrin kentällä otokset ovat selkeästi korkeampia kuin Laihia-Isokyrön kentällä (taulukko 6). Keskiarvoissa kentillä on eroa lähes 1,5 metriä ja Vöyrillä maksimikorkeus on myös huomattavasti suurempi. Laskin lisäksi otosten keskikorkeudet kenttien eri osaluueille, jotta voin tutkia korkeuden vaihtelua kenttien sisällä (taulukko 7). Korkeimmat otokset sijoittuvat Vöyrin kentän kolmanteen osioon.

Taulukko 6. Otosten korkeus (m).

**Laihia-Isokyrö otosten korkeus**

Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
1,22	5,67	2,69	2,64

**Vöyri otosten korkeus**

Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
1,86	12,09	4,15	3,69

Taulukko 7. Otosten keskikorkeus (m) kenttien eri osa-alueilla.

Laihia-Isokyrö		Vöyri	
	Keskiarvo		Keskiarvo
Osa 1	2,16	Osa 1	4,17
Osa 2	2,49	Osa 2	4,32
Osa 3	3,60	Osa 3	4,47
		Osa 4	3,39

Vöyriin kentällä otokset ovat myös leveämpiä, mutta niiden minimileveys on pienempi kuin Laihia-Isokyrön kentällä (taulukko 8). Otosten keskileveydet ovat lähellä 20 metriä molemmilla kentillä. Laihia-Isokyrön kentällä maksimileveys on noin 40 metriä ja Vöyriin kentällä noin 56 metriä.

Taulukko 8. Otosten leveys.

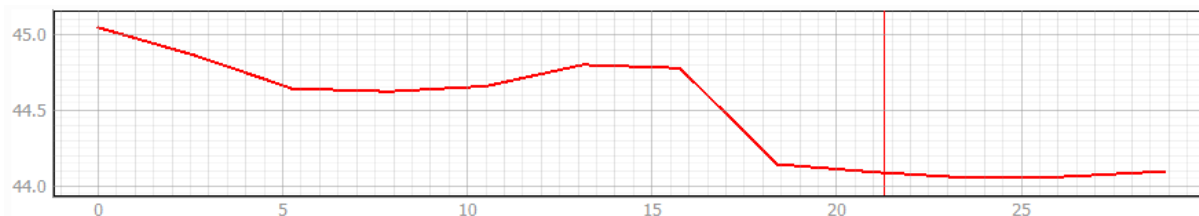
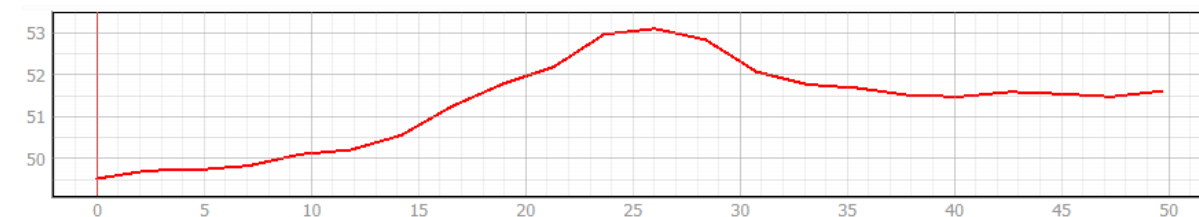
**Laihia-Isokyrö otosten leveys**

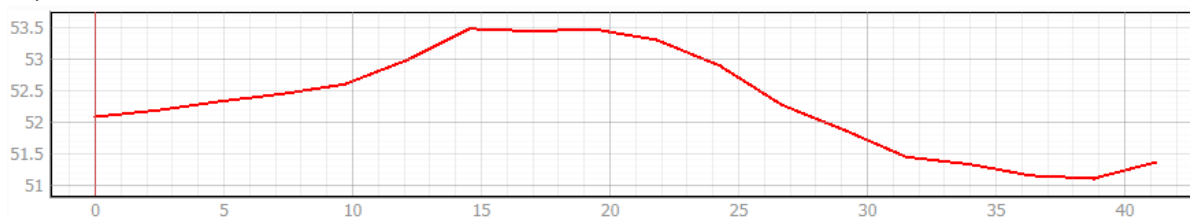
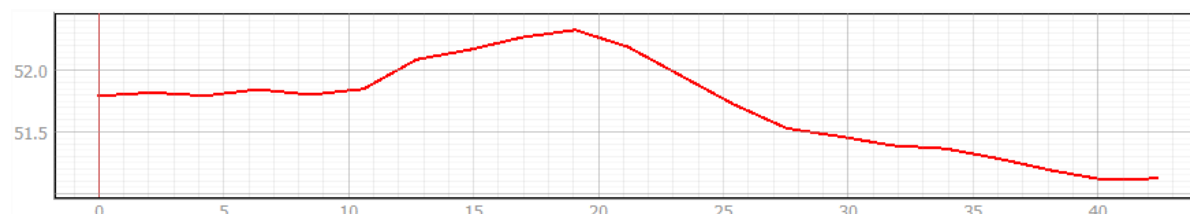
Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
7,59	39,69	19,19	18,54

**Vöyri otosten leveys**

Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Mediaani
6,43	55,95	22,03	21,22

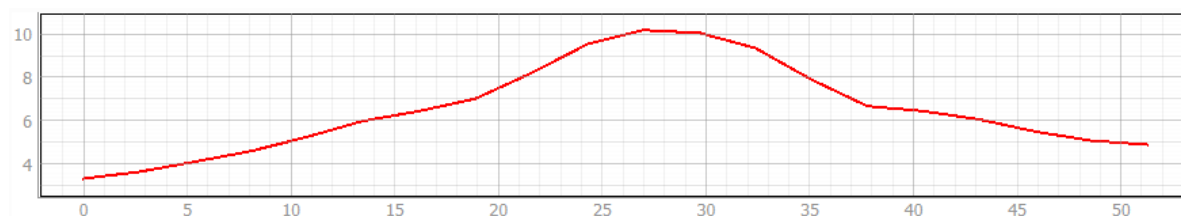
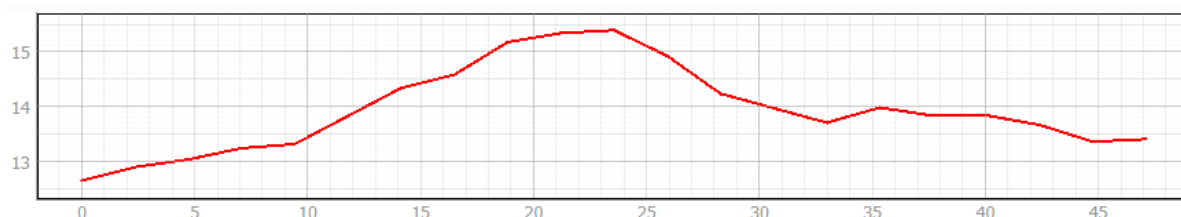
Muodostumien symmetrisyyttä tarkastelin kentän eri osioiden otoskohdista. Laihiolla otoksia oli 20 kappaletta. Kentän toisen osion otoskohtien symmetrisyydessä ei ole kyseisen selänteen kohdalla mitään selkeää kaavaa (kuva 18, otoskohdat kuva 6). Otoskohdat ovat kentän vasemmasta reunasta (a), keskeltä (b, c) ja oikeasta reunasta (d). Otoskohdan d) muoto on näistä symmetrisin.

**a)****b)**

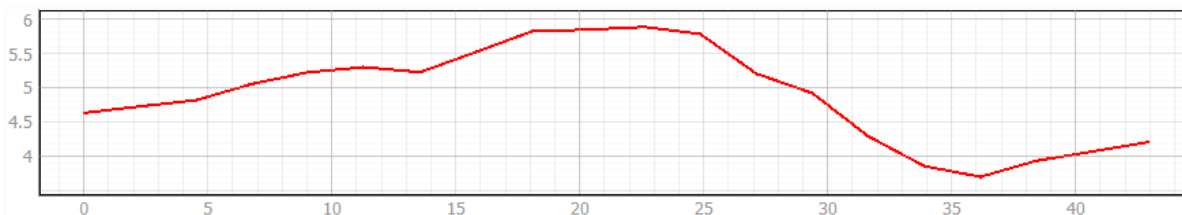
**c)****d)**

Kuva 18. Kaaviot Laihia-Isokyrön kentän 2. osion otosten symmetrisyydestä. Tehty QGIS:n Profile Toolin avulla.

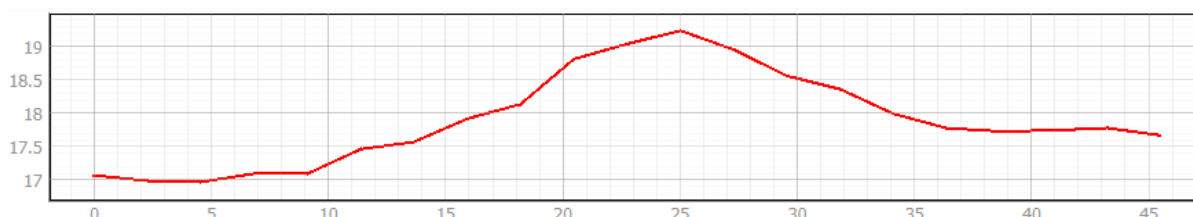
Myös Vöyrin kentällä De Geer -moreenien muodot vaihtelevat paljon, ainoastaan otoskohdat b) ja d) ovat melko samanlaisia keskenään (kuva 19, otoskohdat kuva 6). Vöyrin kentällä valitsin kentän leveimmästä osiosta selänteen symmetrisyyden tarkempaan tarkasteluun. Vöyrin kentän eri osissa tarkastelin symmetrisyyttä 45. otoskohdan kohdalta, ja Vöyrin kentällä otokset ovat symmetrisempiä kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Vöyrin kentän kolmannen osion selänteet ovat paljon katkonaisempia, ja niiden suunta poikkeaa myös osittain muista kenttien osioista. Tällä osiolla selänteiden muodot ovat hyvin symmetrisiä ja osa on hyvin samanlaisia keskenään.

**a)****b)**

c)



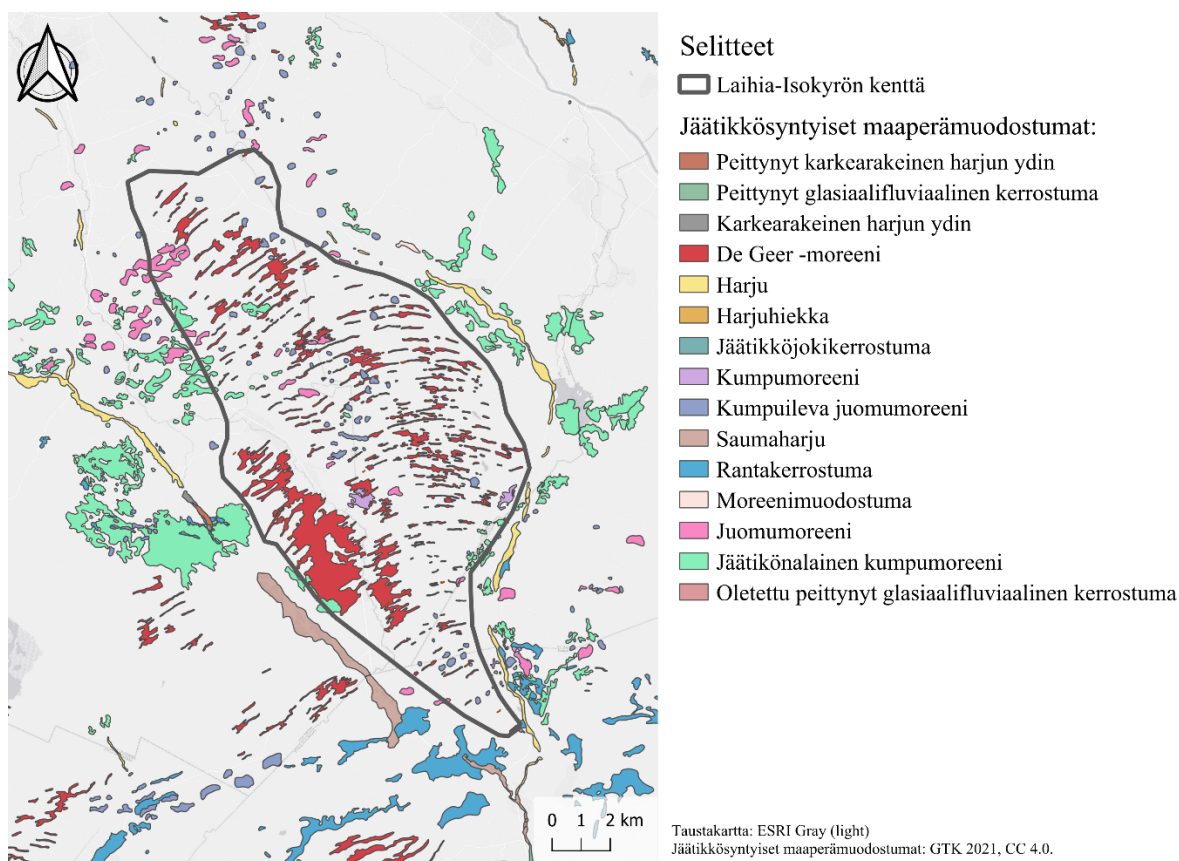
d)



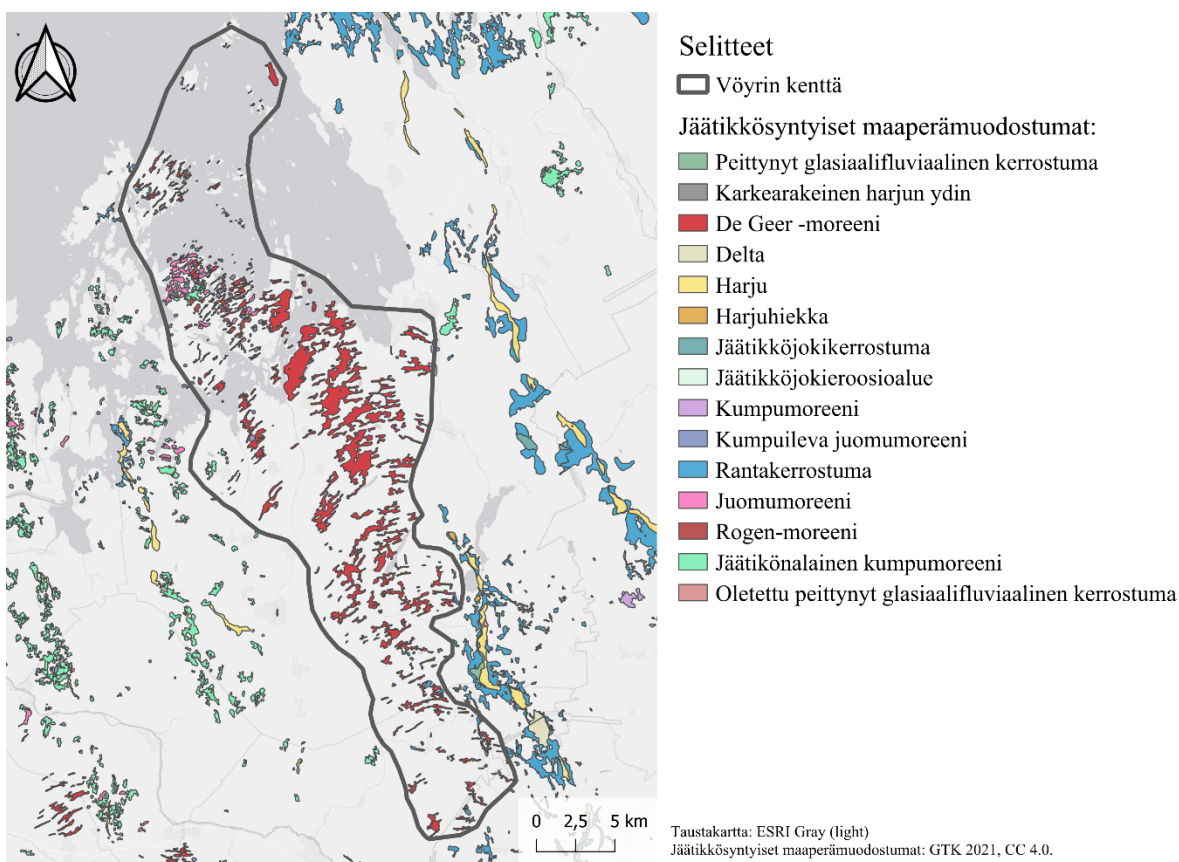
Kuva 19. Kaaviot Vöyrin kentän 2. osion otosten symmetrisyydestä. Tehty QGIS:n Profile Toolin avulla.

## 5.2 De Geer -moreenien suhde muihin muodostumiin

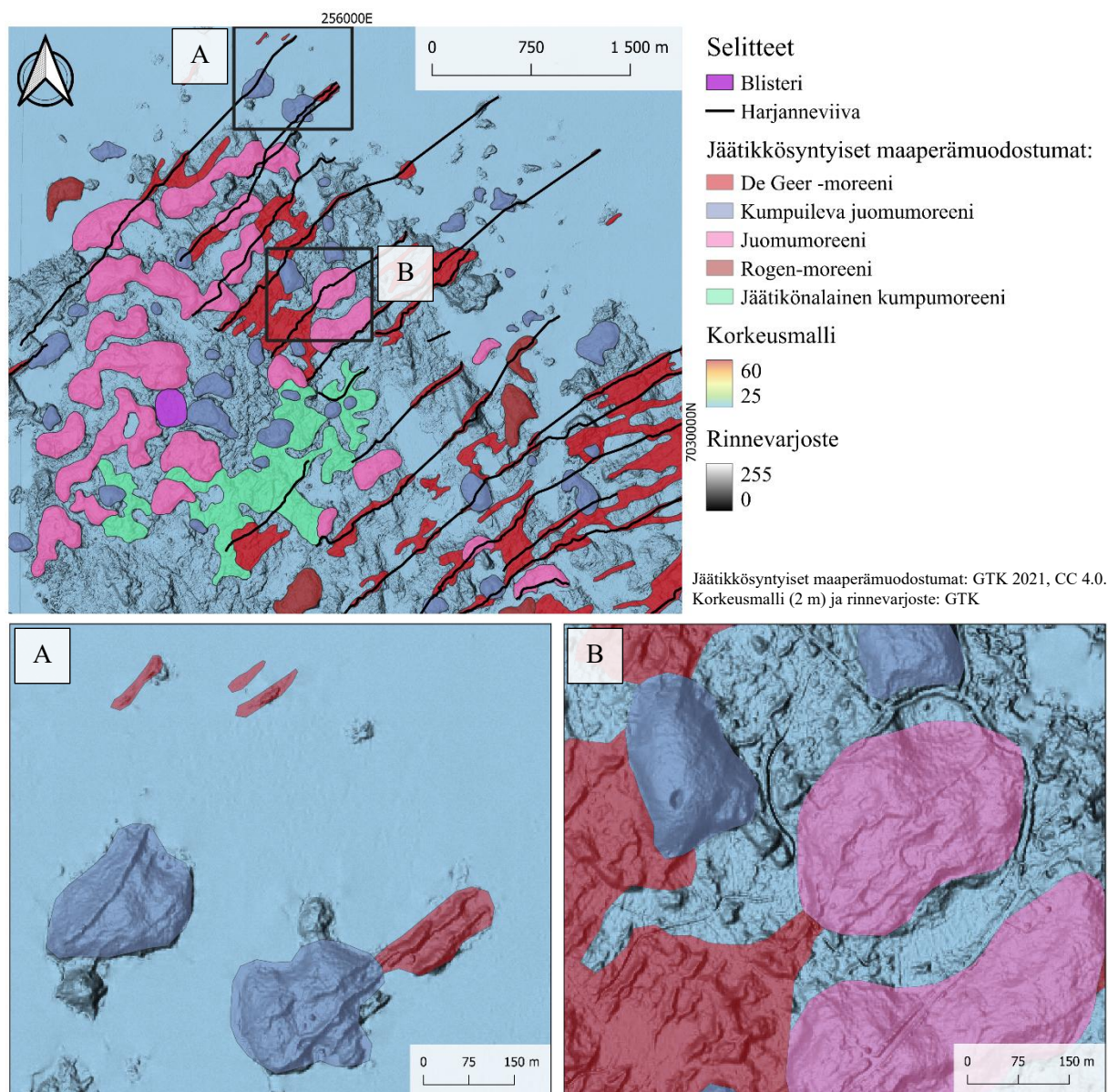
Laihia-Isokyrön kenttää rajaa ympärillä harjut ja kumpumoreenit (kuva 20). Aikaisemmassa kartassa (kuva 7) näkyi sulamisvesireitit, jotka kulkevat kumpumoreenien ja harjujen kanssa linjassa. De Geer -kenttä rajautuu tarkasti kumpumoreenialueeseen, sekä harjuihin, eivätkä De Geer -selänteet jatku niiden toiselle puolelle. Harjujen lisäksi Laihia-Isokyrön kentän eteläosassa rantakerrostumat alkavat myös melko tarkasti De Geer -kentän reunalta. Juomumoreeneja esiintyy myös De Geer -moreenien lomassa. Kentän keskeltä kulkee myös sulamisvesireitti (kuva 7). Myös Vöyrin kentällä harjut ja rantakerrostumat rajaavat osin kenttää, mutta ne eivät ole kaikkialla täysin kentän rajoilla kuten Laihia-Isokyrössä. De Geer -moreeneja tai muita muodostumia ei kuitenkaan ilmene De Geer -kentän ja harjujen välillä. Kartalla näkyy harjun lisäksi kumpumoreenivyöhykettä, jonka yli De Geer -moreenit eivät jatku (kuva 21). Vöyrin kentän pohjoisimmassa sekä eteläisessä kärjessä De Geer -selänteiden lomassa on rantakerrostumia, mutta muualla Vöyrin kentällä ei ilmene paljon muita muodostumia selänteiden seassa. Ainoastaan kentän luoteisosassa juomumoreenit sekä kumpumoreenit sekoittuvat De Geer -selänteiden sekaan (kuva 21). De Geer -moreenit kulkevat joissain tapauksissa osittain juomu- ja kumpumoreenien päällä, mikä viittaa siihen, että De Geer -moreenit ovat muodostuneet näiden jälkeen.



Kuva 20. De Geer -moreenien suhde ympäröiviin jäätikkösyntyisiin muodostumiin Laihia-Isokyrön kentällä.



Kuva 21. De Geer -moreenien suhde ympäröiviin jäätikkösyntyisiin muodostumiin Vöyrin kentällä.



Kuva 22. De Geer -moreenien suhde ympäröiviin jäätikkösyntyisiin muodostumiin Vöyrin kentällä. (Blisterin lähde: Lappi 2026).

Molempien kenttien laidalla sijaitsee blisterit De Geer -selänteiden vieressä. Vöyrin kentällä blisteri on sijoittunut juomu- ja kumpumoreenialueen keskelle (kuva 22). Myös Laihia-Isokyrön kentällä blisteri sijaintsee juomumoreenialueen vieressä. Blisterien asettuminen De Geer -kenttien laidolle on mielenkiintoista, sillä blisterit liittyvät vahvasti sulamisvesiin. Kun sulamisvedet pääsevät jään alle ja muodostavat blisterin, paine jään alla kasvaa ja kerääntyvä vesi aiheuttaa jään kohoamista (Mäkinen ym. 2023: 1543)

### 5.3 Kenttähavainnot

Laihia-Isokyrön kolme keskimmäistä kenttäkohdetta sijaitsevat kentän toisessa osiossa (kuva 23). Hakkuuaukeilla sijaitsevat De Geer -moreenit erottuvat hyvin ympäröivästä maastosta. Kaikilla kohteilla De Geer- selänteiden päällä on paljon suuria lohkareita. Kohteen b) lohkareiden alla on esillä hienompaa hiekkaa ja soraa (Kuvat 24 ja 25). Kuvassa c) näkyy De Geer -moreenin distaalipuoli, johon usein suuremmat lohkareet ovat asettuneet. Kyseisen selänteen distaalipuoli on todella jyrkkä ja toinen puoli oli taas haastavaa erottaa maastosta.



Kuva 23. Laihia-Isokyrön kenttäkohteita. Taustakartta: ESRI Gray (light), Korkeusmalli (2 m) ja rinnevarjoste: GTK. (Kenttäkuvien lähde: Emilia Grönroos, 22.8.2025).



Kuvat 24 ja 25. Kuvissa näkyy selänteen b) kohdalta soraa ja hiekkaa kasvillisuuden ja lohkkareiden alla. (Lähde: Emilia Grönroos, 22.8.2025).

LiDAR-kurssin kenttähavaintojen perusteella kaivuukohteilla De Geer -moreeneissa havaittiin merkkejä työnnöstä. Vaihtelut sedimentologiassa sekä irtolohkkareiden määrässä ja asettumisessa viittaavat kuitenkin erilaisiin syntytapoihin. Kaivuukohteilla havaittiin, että De Geer -moreenit koostuvat pääosin lajittumattomasta moreenimaisesta maa-aineksesta, jossa suurempia kiviä on asettuneena sekalaisesti hienorakeisemman aineksen sekaan (Mäkinen 2026). Muodostumien proksimaalipuolella sekä keskiosassa esiintyy myös savi-hiesuosueita, hierto- ja deformaatorakenteita, jotka viittaavat jään työntöön. Selänteen matalimmassa keskiosassa näkyy paremmin kerrostuneita ja lajiteltuja sedimenttejä, jotka ovat osittain deformatuneet jään työntön vuoksi (Mäkinen 2026). Kurssin dronekuvista kenttäkohteen De Geer -moreenit erottuvat hyvin muusta maastosta hakkuuaukealla (kuva 26).



Kuva 26. Dronekuva Laihiasta LiDAR-kurssin kenttäkohteesta. (Lähde: Kari Kajuutti, 1.10.2025).



Vöyrin kentällä kenttäkohteita on neljä, joista kaikki sijoittuvat kentän toiseen osioon (kuva 27). Kartalla näkyvä pohjoisin kohde (a) on metsän keskellä, ja vaikeasti erotettavissa maastossa. Alueella on kuitenkin jonkin verran suurempia lohkareita, joita on myös tien varrella, jonne ne on oletettavasti nostettu syrjään tietä tehdessä. Korkeuden vaihtelu ja lohkareet ovat ainoat tekijät, joiden vuoksi selänne erottuu maastosta kyseisellä kohdalla. Seuraava kohde (b) on hyvin korkea selänne, joka erottuu hyvin puustottomalta alueelta. De Geer -selänteen päällä on todella suuria kiviä (kuva 28). Kasvillisuuden ja lohkareiden alla on soraa, kiviä ja hiekkaa (kuva 29). Selänteen vieressä on

myös pienempi selänne, joka ei erotu paljoa maastosta, mutta lohkareisuus jatkuu sieläkin. Viimeinen selänne (c) sijoittui metsän reunustaan, josta se erottui lohkareiden avulla, mutta selänne ei ollut yhtä selkeä tai korkea kuin edellinen.



Kuva 28. Vöyrin kenttäkohde b). Valtavat lohkareet erottuvat De Geer -moreenin pinnalta hyvin. (Lähde: Emilia Grönroos, 3.4.2026).



Kuva 29. Vöyrin kenttäkohde b). Hieman isompia kiviä, soraa ja hiekkaa. (Lähde: Emilia Grönroos, 3.4.2026).

## 6 Keskustelu

### 6.1 Vaihtelee ko kaareutuvien De Geer -moreenien morfometriset ominaisuudet keskenään Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentillä?

Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentällä De Geer -selänteet pituuksissa on eroja. Laihia-Isokyrön kentällä selänteiden keskipituus on noin 1280 metriä, kun Vöyrin kentällä arvo on noin 710 metriä. Vöyrin kenttä on paljon rikkonaisempi ja selänteet ovat asettuneet monimutkaisemmin kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Rikkonaisuuden takia digitointivaiheessa oli vaikea hahmottaa, mitkä De Geer -moreeneista olivat pääselänteitä ja mitkä väliselänteitä. Tämän vuoksi osa digitoiduista selänteistä voi olla myös pienempiä väliselänteitä erityisesti Vöyrin kentällä.

Selänteet ovat tutkimusalueellani melko pitkiä. Laihia-Isokyrön kentällä maksimipituus on lähes 8000 metriä ja Vöyrin kentällä noin 5360 metriä. Aikaisempien tutkimusten mukaan De Geer -selänteiden pituudet ovat vaihdelleet noin 20–1000 metrin paikkeilla, välillä yltäen jopa 2 kilometriin (Ojala ym. 2015: 306). Pituuden tarkastelussa on tärkeää huomioida tulkinnanvaraisuus selänteiden jatkuvuudesta. Eri tutkimuksissa voi olla eri kriteerit sille, mitkä selänteet lasketaan yhdeksi selänteeksi. Tässä tutkielmassa tulkitsin De Geer -selänteiden jatkuvaksi niin kauan, kun pystyin seuraamaan selännettä samassa linjassa. Jos selänne näytti katkeavan esimerkiksi järven tai suon kohdalla, mutta jatkui sen toisella puolella, tulkitsin selänteiden jatkuvaksi. De Geer -moreeni jatkui todennäköisesti järven tai suon alla, mutta ei ollut näkyvässä LiDAR-aineistossa.

Selänteiden väliset etäisyydet ovat Vöyrin kentällä suuremmat. Maksimietäisyys on kentällä yli 2950 metriä ja keskiarvo on noin 440 metriä. Vöyrin kentällä myös minimietäisyys on kuitenkin pienempi kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Tätä voi selittää myös mahdolliset digitoidut väliselänteet. Laihia-Isokyrön kentällä maksimietäisyys on noin 1600 metriä, eli selänteiden väliset etäisyydet ovat tutkimusalueellani suuret. Molemmilla kentillä etäisyyksien keskiarvot ovat yli 400 metriä. Ojala ym. (2015) mukaan pisimmät selänteiden väliset etäisyydet ja monimutkaisimmat De Geer -moreenit esiintyvät alueilla, joilla proglasiaalinen vedensyvyys on ollut jopa 200 metriä syvä. Etäisyydet myös

kasvavat usein jään sulamissuuntaan kuljettaessa (Ojala 2016: 21). Yleensä De Geer -moreenien väliset etäisyydet ovat ~160–300 metriä, mutta Vaasan saariston alueella etäisyydet ovat jatkuvasti yli 300 metriä (Ojala 2016: 21). On myös huomattu, että selänteiden välisten etäisyyksien keskiarvo on suurin piirtein kaksinkertainen vedensyvyyteen verrattuna (Ojala ym. 2015: 317). Selänteiden välisten etäisyyksien keskiarvo siis korreloi vedensyvyyden kanssa myös tutkimusalueellani. Etäisyyksiin vaikuttaa vedensyvyyden lisäksi kuitenkin useat eri tekijät, kuten jään vetäytymisnopeus ja alueen topografia (Ojala ym. 2015: 315).

Vöyrin kentällä otosten keskikorkeus on noin 1,5 metriä suurempi kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Yleisesti De Geer -moreenien korkeus vaihtelee 1–5 metrin välillä (Ojala ym. 2015: 306). Laihia-Isokyrön kentällä De Geer -moreenien korkeudet osuivat melko tarkasti tälle välille, mutta Vöyrin kentällä maksimikorkeus on kuitenkin paljon korkeampi (12,1 m). Ojala ym. (2015: 306) mukaan De Geer -moreenien leveys vaihtelee 5–25 metrin välillä ja tutkimusalueellani leveyksien keskiarvot osuvat myös tälle välille. Vöyrin kentällä otosten leveydet ovat hieman suurempia kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Vöyrin kentällä selänteiden välisten etäisyyksien, otosten korkeuden ja leveyden minimi- ja maksimiarvoissa on paljon enemmän vaihtelua kuin Laihia-Isokyrön kentällä.

Bouvier ym. (2015: 6) mainitsevat, että harjujen läheisyydessä De Geer -moreenien muoto voi poiketa yleisestä jään liikesuunnasta. Erityisesti Laihia-Isokyrön kentällä harjut rajaavat kentän todella tarkasti ja kentän De Geer -moreenit ovat kaareutuvampia sekä jatkuvampia kuin Vöyrin kentällä. Laihia-Isokyrön kentällä kaareutuvuuden keskiarvo on noin 89 metriä (Vöyrin kentällä noin 51 m). Mutkittelevuuden keskiarvot ovat kentillä hyvin lähellä toisiaan, mutta suurempi maksimiarvo on Vöyrin kentällä. De Geer -selänteissä on havaittavissa ”aaltoilua” molemmilla kentillä, mikä selittää mutkittelevuuden arvoja. Vöyrin kentällä on myös havaittavissa kaareutuvuutta, vaikka se ei ole yhtä voimakasta kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Vöyrin kaareutuvuuden arvoihin vaikuttaa myös se, että selänteet ovat epäjatkuvampia. Jos selänteet saisi yhdistettyä ja kaareutuvuuden mitattua tästä uudelleen, arvot voisivat olla suuremmat.

Bouvier ym. (2015: 7) aineiston mukaan säännöllisin välein asettuneet, sivusuunnassa laajat De Geer -moreenit esiintyvät usein tasaisella, vähäisten korkeuserojen maastossa. Tutkimusalueellani korkeus nousee Laihia-Isokyrön kentällä 57 metriä ja Vöyrin kentällä 67 metriä. Kun maaston korkeus nousee, myös De Geer -moreenien muodossa ja/tai suuntauksessa tapahtuu muutoksia. Tämä viittaa siihen, että tutkimusalueellani topografialla on suuri vaikutus De Geer -moreenien suuntautumiseen. Myös Bouvier ym. (2015: 7) totesivat topografian vaikuttavan De Geer -moreenien muotoon. Topografia yhdessä vedensyvyyden, ja myös mahdollisesti harjujen, kanssa ovat voineet vaikuttaa Laihia-Isokyrön kentän selänteiden kaareutuvuuteen. Topografialla on myös vaikutusta railojen syntyyn. Paikalliset kuormitusalueet voivat aiheuttaa railojen avautumista, kun jäämassa liikkuu esimerkiksi kallioperän kumpujen yli (Colgan ym. 2016: 121). Railojen välimatkat liittyvät todennäköisesti niiden syvyyteen sekä jään paksuuteen. Kun jää liikkuu kallioperän kumpareen yli, se murtuu osiin säännöllisesti kumpareen kohdalla, kun jännitys kasvaa liian suureksi (Colgan ym. 2016: 130).

Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kenttien morfologiassa on vaihtelua. Kentät ovat samankaltaiset, mutta selänteiden pituuksissa, niiden välisissä etäisyyksissä, kaareutuvuudessa sekä otoskohtien korkeudessa on eroja. Laihia-Isokyrön kenttä on paljon yhtenäisempi ja selkeämpi ja kaareutuvuus on kentällä paremmin havaittavissa. Vöyrin kenttä on taas paljon rikkonaisempi ja selänteet ovat asettuneet sekalaisemmin, mutta kaareutuvuutta on myös havaittavissa kentän toisessa osiossa.

## **6.2 Vaihtelee De Geer -moreenien morfologia kenttien sisällä?**

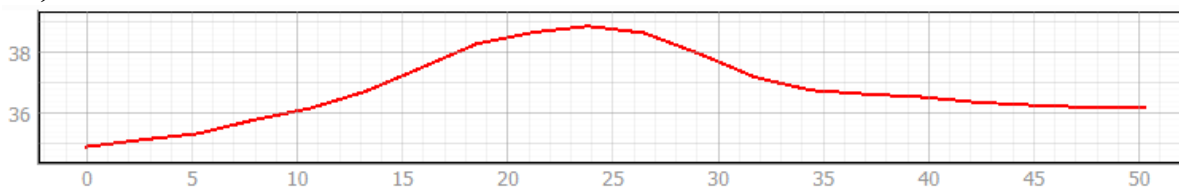
De Geer -selänteiden suunnissa on kentillä selkeitä eroja, jonka vuoksi jaoin kentät osiin. Laihia-Isokyrön kentän ensimmäisessä ja kolmannessa osiossa selänteet ovat paljon suuremmat kuin kentän keskiosassa. Selänteet kulkevat ensimmäisessä osiossa koillis-lounaissuunnassa, toisessa osiossa (kaareutuvuuden vuoksi vaihtelevasti) enemmän itä-länsisuunnassa ja kolmannessa osiossa koillis-lounaissuunnassa. De Geer -selänteet ovat selkeästi pisimmät ja kaareutuvimmat kentän keskiosiossa. Vöyrin kentällä ensimmäisen ja toisen osion selänteet kulkevat lähes saman suuntaisesti Laihia-Isokyrön kentän ensimmäisen osion kanssa. Vöyrin kentällä kolmas osio on hyvin

sekalainen ja selänteet ovat asettuneet eri suuntaisesti osion sisällä. Viimeisessä osiossa selänteet kulkevat enemmän itä-länsisuunnassa. Vöyrin kentän toinen osio on kentän kaareutuvin, vaikkakin rikkonainen.

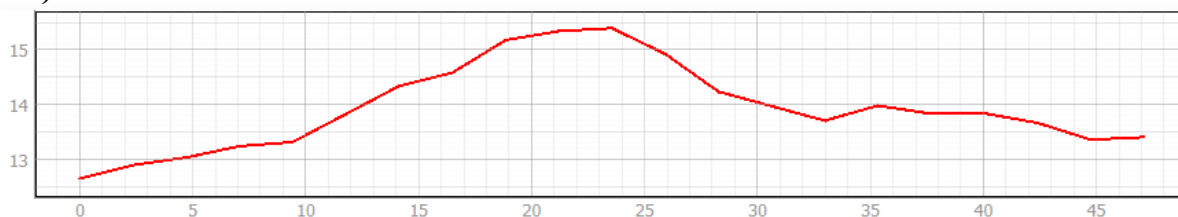
Laihia-Isokyrön kentällä De Geer -selänteiden keskipituudet olivat lyhimmat kolmannessa osiossa. Valtavaa eroa ei kuitenkaan ole ensimmäisen ja kolmannen osion selänteiden välillä (~880 m ja ~780 m). Selkeästi pisimmät selänteet sijoittuvat kentän keskiosaan, jossa keskipituus on yli 1800 metriä. Laihia-Isokyrön kentän otoskohtien korkeudessa ei ole suurta vaihtelua kenttien eri osilla. Kentän ensimmäisen ja toisen osion otosten keskikorkeudet ovat molemmat 2–2,5 metrin välillä. Viimeisimmän osion otosten keskikorkeus on 3,6 metriä. Kentän De Geer -moreenit ovat hyvin epäsymmetrisiä, eikä niiden muodossa näytä olevan mitään kaavaa. Kentän keskiosissa ja reunoilla, sekä sen eri osioissa selänteiden muodot vaihtelevat paljon.

Vöyrin kentällä ensimmäisen ja toisen osion selänteiden keskipituudet ovat hyvin lähellä toisiaan (~1100 m). Kahden viimeisimmän osion selänteet ovat kuitenkin huomattavasti lyhyemmät. Erityisesti kolmannen osion selänteet ovat lyhyitä, niiden keskipituus on vain 350 metriä. Tässä ero edellisen osion keskiarvoon on yli 750 metriä. Vöyrin kenttä on siis hyvin erilainen sen alku- ja loppupäässä. Otosten keskikorkeudet ovat selkeästi Laihia-Isokyrön kenttää korkeammat, mutta Vöyrin kentän otosten korkeudessa ei ole suurta vaihtelua kentän sisällä. Kaikki paitsi neljännen osion otoskohdat ovat keskiarvoltaan yli 4 metriä korkeat. Korkeimmat otoskohdat löytyvät kolmannesta osiosta. Vöyrin kentän otoskohdat ovat yhtenäisempiä ja symmetrisempiä kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Kentän toisen osion otoskohdat eivät ole kuitenkaan täysin symmetrisiä, vaikka toiseen kenttään verrattuna symmetrisyys on vahvempaa. Tarkastelin satunnaisesti kentän kolmannen osion muodostumia enemmän, sillä tämä osio on kaikista poikkeavin Vöyrin kentällä. Kaikki valitsemani selänteet olivat hyvin symmetrisiä verrattaessa muiden osioiden muodostumiin (kuva 30).

**a)**



b)



Kuva 30. Symmetrisyyden vertailu Vöyrin kentällä. a) on 3. osion hyvin symmetrinen muodostuma, b) on 2. osion epäsymmetrinen muodostuma.

De Geer -moreenien morfologia vaihtelee molempien kenttien sisällä, mutta Vöyrin kentällä vaihtelu eri osioiden välillä on suurempaa. Laihia-Isokyrön kentällä selkein ero on keskiosan De Geer -selänteiden kaareutuvuudessa ja pituudessa. Vöyrin kentällä erityisesti selänteiden keskipituuksissa tapahtuu valtava harppaus toisen ja kolmannen osion välillä. Molemmilla kentillä otosten keskikorkeus vaihtelee vain ~1–1,5 metriä. Vöyrin kentällä symmetrisyydessä on havaittavissa eroa kentän eri osioiden sisällä, toisin kuin Laihia-Isokyrön kentällä, jossa symmetrisyydessä ei ollut selkeää kaavaa. Vöyrin kentän keskiosassa selänteet ovat melko epäsymmetrisiä, mutta ensimmäinen ja neljäs osio ovat hieman symmetrisempiä. Kaikkein symmetrisin alue on kuitenkin kolmas osio, jossa erityisesti poikkeukselliseen suuntaan asettuneet selänteet ovat hyvin symmetrisiä.

Laihia-Isokyrön kentällä tehtyjen kaivuiden perusteella muodostumien pohjalla oli savea tai savirikas moreenikerros. Zilliacuksen (1989: 312) tutkimuksen mukaan Suomen De Geer -moreenit koostuisivat pääosin hiekasta ja heikosti lajittuneesta moreenista. Muodostumien keskiosissa maa-aines on hienompaa ja paremmin lajittunutta, mutta savea selänteissä on hyvin vähän, yleensä vähemmän kuin ympäröivässä maaperässä (Zilliacus 1989: 312). Laihia-Isokyrön kaivuudata poikkeaa siis Zilliacuksen (1989) havainnoista. Rivers ym. (2025: 696) tutkimuksessa kaivuukohteilla havaittiin myös savi-kerroksia De Geer -moreeneissa, ja yhtäläisyydet LiDAR-kurssin kaivuudatan kanssa tukevat työnnöstä johtuvaa muodostumistapaa. Kurssin kaivuuhavainnoissa eroa huomattiin sedimentologiassa myös muodostuman distaali- ja proksimaalipuolilla, samoin kun Rivers ym. (2025) tutkimuksessa.

Yhdysvalloissa Sinclair ym. (2018) tutkimuksen mukaan alueen De Geer -moreenit ovat vuosittain syntyneitä päätemoreeneja. De Geer -moreenit ovat noin 28 m leveitä, 1,7 m korkeita ja 1,2 km pitkiä, ja selänteiden väliset etäisyydet ovat noin 104 m. Tutkimusalueellani selänteiden etäisyydet ovat neljä kertaa suuremmat kuin Sinclair ym. (2018) tutkimuksessa. Myös korkeudessa on merkittävää eroa, varsinkin Vöyrin kentällä. Sinclair ym. (2018: 225) tutkimuksessa selänteiden keskileveys on kuitenkin suurempi. He ovat tulkinneet alueen De Geer -moreenit vuosittain syntyneiksi päämoreeneiksi, mutta morfologialtaan omat tulokseni eivät ainakaan suoraan korreloi näiden havaintojen kanssa.

### **6.3 Millaisiin syntyolosuhteisiin kenttien morfologia ja morfometriset ominaisuudet viittaavat?**

Tutkimusalueeni sijoittuu Näsijärven jääkielekkeen ja interlobaattialueen välimaille. On vaikea sanoa, missä kohtaa tarkalleen näiden raja on kulkenut ja sekin on saattanut muuttua sulamisvaiheen aikana. Aktiivisesti virtaavien jääkielekkeiden väliin jäämästä interlobaattialueesta osa on Suupohjan kylmäpohjaista jäätä, jonka virtaus pohjaa pitkään on estynyt. Näiden väliin jäänyt alue on todennäköisesti ollut poikkeuksellinen käytökseltään, sillä virtaava Näsijärven jääkieleke on liikkunut nopeasti, ja vieressä passiivinen jää on liikkunut hitaasti. Ahokangas ym. (2021) rajaamien kielekevirta-alueiden mukaan molemmat tutkimusalueeni kentät sijaitsisivat Näsijärven jääkielekkeen alueella. Kentät ovat kuitenkin aivan interlobaatti- ja kielekevirta-alueen rajalla, jossa jään käyttäytyminen on ollut todennäköisesti monimutkaisempaa.

Railoissa syntyneiden muodostumien kannalta jään kelluminen on oleellista. Useissa jäätiköihin liittyvissä tutkimuksissa puhutaan pohjautumislinjasta, jossa jää alkaa kellumaan sen alle tunkeutuvan veden päällä. Uusien tutkimusten mukaan kyseessä voisi olla ennemminkin laajempi pohjautumisvyöhyke linjan sijaan (Bradley & Hewitt 2024, Parizek 2024). Bradley & Hewitt (2024) loivat mallin, joka interpoloi laajemman pohjautumisvyöhykkeen perinteisen pohjautumislinjan molemmille puolille.

Vyöhykkeet voivat olla kilometrien pituisia koko jään leveydeltä (Parizek 2024: 1). Vesi voi päästä tunkeutumaan jään alle jopa kilometrien matkalta, millä on suuri vaikutus

pohjautumisvyöhykkeen jään sulamiseen (Bradley & Hewitt 2024: 632). Sulamisen seurauksena pohjautumisvyöhykkeet laajenevat. Kun vyöhykkeellä on enemmän vettä, se aiheuttaa enemmän sulamista. Tämä johtaa voimakkaampiin virtausnopeuksiin, mikä taas vaikuttaa matkaan, jonka vesi pääsee tunkeutumaan jään alle (Bradley & Hewitt 2024: 632). Tutkimusalueellani molemmilla kentillä sulamisvaiheessa jää on vetäytynyt alamäkeen. Tämä on helpottanut veden pääsyä jään alle, sillä pohjautumisvyöhykkeen topografialla on suuri vaikutus veden kulkeutumiseen, ja painovoiman ansiosta vesi kulkeutuu helpommin alamäkeen (Bradley & Hewitt 2024: 633).

McGrath ym. (2012: 11) tutkivat Etelämantereella jään railoja ja miten ne kehittyvät lähellä lohkeilevaa jäätikön reunaa. Voimistuva alueellinen paine saa aikaan pohjan railoja (McGrath ym. 2012: 14). Pohjan railot ovat laaja-alaisia rakenteellisia heikkouksia, jotka voivat kontrolloida sulamisveden kertymistä jään alle sekä aiheuttaa pinnan halkeilua (McGrath ym. 2012: 10). Pinnan railot syntyvät siis osittain pohjan railojen vaikutuksesta, venyvän virtauksen (engl. *extensional flow*) ja taipumisen kasvaessa (McGrath ym. 2012: 16). Kun pinnan railoihin kerääntyy sulamisvesiä, vesi laajentaa ja syventää näitä halkeamia entisestään. Tämä lisää painetta railon yläosaan, jolloin se saattaa haljeta koko jään matkalta, jolloin lopulta jää lohkeaa kokonaan irti (McGrath ym. 2012: 10). Edellä mainituissa tutkimuksissa kyseessä on merivesi, joka tunkeutuu jään alle, mutta käytäntö säilyy samana myös makean veden kanssa. Suomen tilanteessa jään reunan eteen on muodostunut Ancyclusjärvi, jolloin jään alle tunkeutuva vesi on suolattonta sulamisvettä.

Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentän ensimmäisen osion laidalla sijaitsevat blisterit ovat vaikuttaneet alueilla jään käyttäytymiseen. Kun sulamisvedet pääsevät kulkemaan jään pinnalta sen pohjalle esimerkiksi jäätikkökaivojon kautta, blisterin muodostuessa paine jään pohjalla kasvaa ja jää voi nousta jopa metrin ylös (Das ym. 2008: 779). Blisterit sijaitsevat molemmilla kentillä sulamisvesireittien läheisyydessä, mikä on saattanut vaikuttaa blisterin kokoon (Mäkinen ym. 2023: 1544). Blisterin sulamisvedet ovat voineet kasata maa-aineksen railoihin kenttien ensimmäisissä osioissa. Laihia-Isokyrön kentällä selänteiden symmetrisyys vaihtelee todella paljon, myös yhden selänteen varrella sen eri kohdissa. Selänteiden epäsymmetrisyys on myös kallellaan

eri suuntiin, eli niissä ei ole selkeää kaavaa. Yleensä työnnön vaikutuksesta selänteet ovat epäsymmetrisiä ja sen vuoksi De Geer -moreenien toinen reuna on jyrkempi, kun taas vastakkainen reuna on laajempi ja loivempi. Tällöin kuitenkin muodostumien luulisi olevan samaan suuntaan epäsymmetrisiä. Jos selänteet ovat muodostuneet railoissa sulamisvesien kasaamina, tämä saattaa selittää vaihtelua muodostumien symmetrisyydessä.

Jään venyvän virtauksen alueilla olosuhteet ovat otolliset poikittain jään liikesuuntaan nähden asettuneiden railojen syntyyn. Tämä venyvä virtaus voi johtua esimerkiksi maaperän kuperasta profiilista tai jäätikön levenemisestä, jotka saavat vaakasuoraan suuntautuvat nopeudet kasvamaan ja pystysuoran nopeuden pienenemään alavirran suuntaan mentäessä (Colgan ym. 2016: 128). Yhdysvalloissa Worthingtonin jäätiköllä tehdyssä tutkimuksessa jään pinnalla havaittiin virtaussuuntaista puristusta ja sivuttaissuuntaista venytystä, kun taas syvemmillä tilanne oli päinvastainen (Colgan ym. 2016: 129). Virtaussuunnat ovat siis monimutkaisia ja voivat vaihdella myös jäätikön sisällä, mutta Laihia-Isokyrön kentällä mahdollinen railokuvio viittaa enemmän jään venyvään virtaukseen. Alueella De Geer -kentät ovat rajautuneet tarkasti, eikä niiden ulkopuolella esiinny selänteitä. Jääputoukset, joissa virtausnopeukset ovat poikkeuksellisen suuret, voivat aiheuttaa railokentän nopean alkamisen ja päättymisen, sillä sisään virtaava jää on poikkeuksellisen voimakkaan venytyksen alaisena (Colgan ym. 2016: 128).

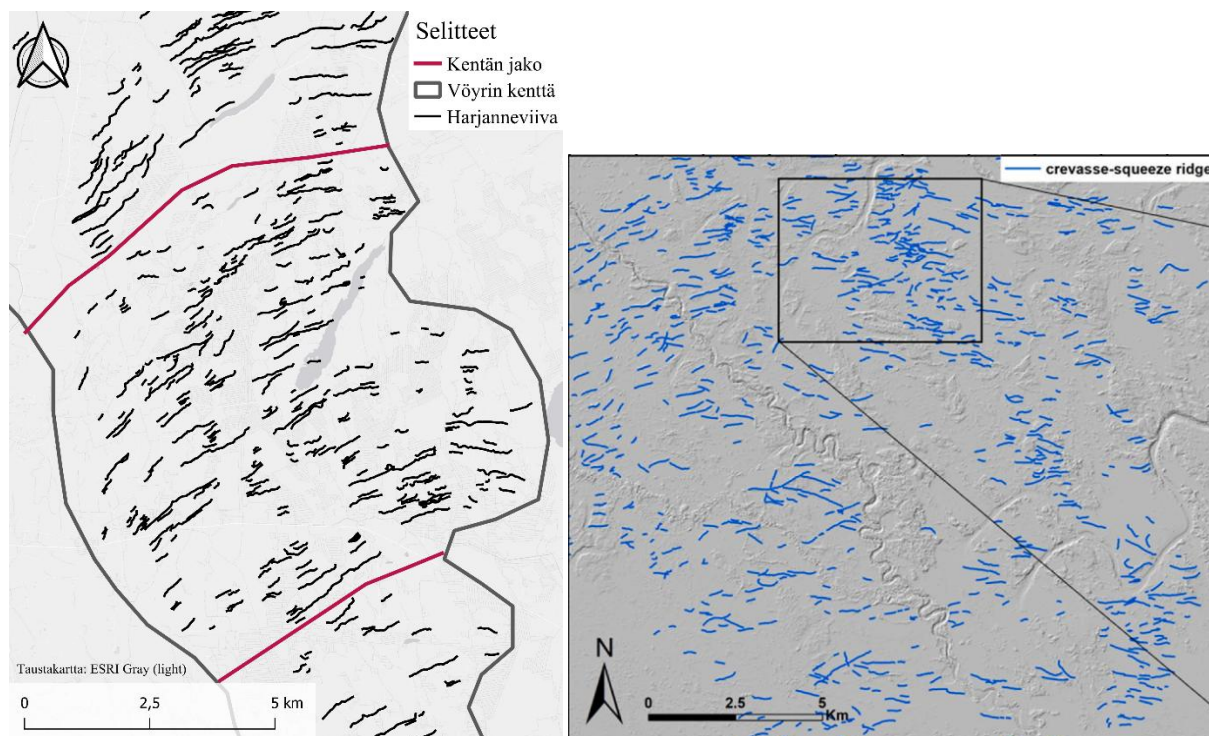
Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentällä selänteet ovat poikkeuksellisen kaareutuvia, erityisesti kenttien toisen osion kohdalla. Colgan ym. (2016: 153) mukaan paikallinen jään murtuminen ja avautuminen voivat aiheuttaa kiertoa ja kaareutuvuutta railoihin (Colgan ym. 2016: 153). Erityisesti Laihia-Isokyrön kenttä on selkeästi kaareutuva, jolloin jään käyttäytyminen on saattanut muodostaa alueelle kaareutuneen railokuvion. Bouvier ym (2015: 6) kirjoittavat, että myös harjujen läheisyys voi saada De Geer -moreenien asettumisen poikkeamaan alueen jään virtaussuunnasta. Erityisesti Laihia-Isokyrön kentän toisessa ja kolmannessa osiossa harjut rajaavat kentän lähes täydellisesti. Kentän reunoilla kulkeneet sulamisvesireitit ovat siis rajanneet kentän tarkasti. Kentän keskellä on myös kulkenut sulamisvesireitti, jonka läheisyydessä De

Geer -moreenien päädyt kaareutuvat. Harjut saattavat vaikuttaa selänteiden suuntaukseen, mutta ne eivät yksinään selitä kaareutuvuutta koko kentällä.

Tutkimusalueellani selänteiden asettuminen eri tavalla kenttien osa-alueilla ja epäsymmetrisyyden vaihtelu viittaa siihen, että muodostumat ovat voineet syntyä jään railoissa. Jään lohkeamiseen vaikuttaa vahvasti sulamisvedet ja pinnan railojen avautuminen (McGrath ym. 2012: 10). Lohjenneet jääkappaleet romahtavat jakaen jään pienempiin epävakaasiin osiin. Myös topografialla on vaikutusta jaksolliseen jään lohkeamiseen (Kneib-Walter 2021: 10). Laihia-Isokyrön kentällä De Geer -moreenit ovat voineet muodostua railoihin painautumalla tai sulamisvesien kasaamana. Laihia-Isokyrön kentällä sulamisvesireitit ja harjut rajaavat De Geer -kentän hyvin tarkasti, joten sulamisvaiheessa alue on saattanut olla erillisenä jääalueena. Tämä on voinut osittain romahtaa alas ja painautunut maahan, jolloin De Geer -moreenit olisivat muodostuneet jään pohjan railoihin. Kaivuudatan merkit työnnöstä voivat selittyä sillä, että jää on jatkanut liikettä romahtamisen jälkeen, esimerkiksi takaa etenevän jäämassan työnnöstä johtuen. Rivers ym. (2023: 15) mainitsevat, että CSR-muodostumien kohdalla on huomioitava, että muodostumat voivat painautua railoihin, minkä jälkeen ne saattavat siirtyä vielä jään kuljettamana. Laihia-Isokyrön kenttä on lähempänä passiivisen jään ja Suupohjan aluetta, mikä on voinut vaikuttaa jään käyttäytymiseen alueella. Jos virtaava jää törmää paikoillaan olevaan jäämassaan, tämä saattaa vaikuttaa jään lohkeiluun ja railojen muodostumiseen. Suupohjan alue on kuitenkin huonosti tunnettu, ja olosuhteet ovat alueella voineet muuttua sulamisvaiheessa.

Vöyrin kentällä De Geer -selänteet ovat asettuneet sekalaisemmin kentän eri osissa. Kolmas osio on poikkeavin alue kentällä, joten otin sen tarkempaan tarkasteluun. Selänteet ovat paljon lyhyempiä kuin muualla kentällä ja niiden suunnat vaihtelevat myös osion sisällä. Koko kolmannen osion muodostumat muistuttavat todella paljon Rivers ym. (2023) tutkimia CSR-muodostumia (kuva 31). Vöyrin kentällä selänteet kulkevat osin ristiin tai hyvin eri suunnassa viereisten muodostumien kanssa, mitä havaitaan myös Rivers ym. (2023) tutkimuksessa. Sharp (1985: 213, 219) kuvaili CSR-muodostumia noin 5 m korkuisiksi ja 400 m pituisiksi, joiden kuvio ja asettuminen

poikkeavat muista selännteistä, jotka ovat muodostuneet jään reunalla tai sen suuntaisesti.



Kuva 31. Vasemmalla Vöyrin kentän osa 3, oikealla CRS-muodostumia Kanadassa (Lähde: Rivers ym. 2023: 6, kuvaa rajattu).

Aktiivisen jään alueilla, joilla tapahtuu jäätikköryntäyksiä, syntyy helpommin railoja jään pohjaan (Sharp 1985: 219). Tämän jälkeen jään ollessa paikoillaan, se painuu alas ja CSR-muodostumat puristuvat railoihin. Sharpin (1985: 219) mukaan CSR-muodostumat voivat painautua railoihin puristuvan virtauksen (engl. *compressive flow*) alueilla, eli jään virtauksessa on voinut tapahtua tässä kohdalla muutosta. Vöyrin kentällä otoskohtien keskikorkeudet ovat selkeästi korkeammat kuin Laihia-Isokyröllä, kaikilla kolmella ensimmäisellä osiolla yltäen yli 4 metriin (3. osiossa ~4,5 m). Kentän kolmannessa osiossa selännteiden keskipituus oli vain ~350 metriä. Korkeus ja pituus tässä osiossa ovat hyvin lähellä Sharpin (1985) kuvaamia kokoja. Rivers ym. (2023: 10) kirjoittavat, että CSR-muodostumat ovat yleensä leveämpiä, korkeampia ja symmetrisempiä kuin De Geer -moreenit. CSR-muodostumat ovat myös paljon lyhyempiä ja päättyvät äkkinäisesti (Rivers ym. 2023: 14). Tämän vuoksi ehdotan, että Vöyrin kentällä osa selännteistä olisikin CSR-muodostumia.

Mahdollisten CSR-muodostumien osion kohdalla kentän topografiassa tapahtuu valtava harppaus (kuva 13 ja 15). Topografia vaikuttaa jään pohjan railojen avautumiseen (Colgan ym. 2016: 145), joten selänteiden alueellinen sijoittuminen kentällä viittaa jälleen CSR-muodostumiin. Alueella jää on saattanut lohkeilla osissa eri kokoisina ja suuntaisina paloina, minkä vuoksi CSR-muodostumat ovat asettuneet hyvin sekalaisesti ja eri suuntiin. CSR-muodostumien alueellinen jakautuminen voi tuoda ilmi virtaavan jään pohjan ominaisuuksiin liittyviä tekijöitä, kuten saatavilla olevan sedimentin määrää ja topografiaa, mitkä vaikuttavat jään jännitystiloihin, murtumisprosesseihin sekä hydrologisiin paineisiin jäätikön sisällä ja sen alla (Rivers ym. 2023: 15). Vöyrin kentällä jää on todennäköisesti käyttäytynyt eri tavoin erityisesti topografian muutoskohdilla.

Myös Vöyrin kentällä eri muodostumistavat ovat mahdollisia. Kentän eri osa-alueiden selänteet näyttävät erilaisilta ja ne ovat myös suuntautuneet eri tavoin. Kentän kolmas ja neljäs osio ovat topografialtaan korkeampaa maastoa, kun taas kentän alkupuolisko on lähempänä merenpintaa (0-20 m). Tällöin myös vedensyvyys on ollut suurempi kentän alkupuoliskolla. Syvissä vesissä muodostuneet De Geer -moreenit ovat usein monimutkaisimpia (Ojala ym. 2015), joten tämä voi selittää kentän kaareutuvien selänteiden sijaintia tällä alueella. On mahdollista, että osa Vöyrin kentän selänteistä olisi CSR-muodostumia ja osa muulla tavalla muodostuneita De Geer -moreeneja. Jos kolmannen osion selänteet ovat CSR-muodostumia, tästä voisi päätellä, että alueen muutkin muodostumat olisivat syntyneet railoissa. Vöyrin kentän ensimmäisen osion reunalla on blisteri minkä vuoksi railoihin sulamisvesien kasaamana muodostuneet De Geer -moreenit voisivat olla mahdollisia myös Vöyrin kentällä, samalla tavalla kuin Laihia-Isokyrön kentän ensimmäisessä osiossa.

Tutkimusalueeni sijoittuu kielekevirtojen väliseen maastoon, jossa jään on käyttäytynyt todennäköisesti erillisenä palana kielekkeiden välissä. Merenkurkun saaristo sijaitsee interlobaattialueen puolella, jossa jään käyttäytyminen on todennäköisesti ollut vielä Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kenttää poikkeuksellisempi. Tämän vuoksi en pysty yleistämään tuloksiani Merenkurkun alueelle, sillä jo tutkimusalueellani kentät käyttäytyvät

hieman eri tavoin. Laihia-Isokyrön kentällä kaareutuvuus on voimakasta, mutta Merenkurkun alueella selänneet ovat vielä Laihia-Isokyrön kenttää kaareutuvammat.

Strömbergin (1965: 81) mukaan De Geer -moreenien ja jäätiköiden pinnan railojen asetukset ovat hyvin samankaltaiset keskenään, ja pohjan railojen voidaan olettaa olevan samanlaiset pinnan railojen kanssa. Railoissa muodostuneet De Geer -moreenit kuvastaisivat tällöin jäätikön pohjan railojen asettumista hyvinkin tarkasti. McGrath ym.

(2012) mukaan railojen etäisyydet toisistaan vaihtelevat 0,5–2 kilometrin välillä, eivätkä ne muutu systemaattisesti linjan pituudella. Lisäksi jään pohjan railot ovat melko kapeita, noin 20–70 metriä (McGrath ym. 2012: 13), mikä korreloi hyvin De Geer -moreenien leveyden kanssa. Zilliacus (1987) on kuvannut, että otolliset olosuhteet railoissa syntyneille De Geer -moreeneille ovat jäätikköryntäysten alueilla, interlobaattialueiden läheisyydessä, ja syvien sulamisvesien alueella. Kaikki nämä kriteerit täyttyvät tutkimusalueellani.

Tutkimuksen tulosten ja edellä mainittujen havaintojen perusteella tutkimusalueen selänneet ovat voineet muodostua railoissa eri tavoin. Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentän ensimmäisissä osiossa potentiaalisen paleoblisterin lähellä olevat De Geer – moreenit saattavat olla sulamisvesien kasaamia. Laihia-Isokyrön kentän toisessa osiossa maa-aines on voinut kasaantua sulamisvesien toimesta railoihin, jonka jälkeen jää on vielä liikkunut eteenpäin ja työntänyt maa-ainesta mukanaan railoissa. Tämä muodostumistapa selittäisi kenttäkurssin kaivuudatasta havaitut sedimenttikerrostumat, jotka viittaavat sulamisvesiin, mutta samalla myös jään työntöön.

Vöyrin kentän kolmannen osan ehdotan olevan CSR-muodostumia, jotka muistuttavat railoissa syntyneitä De Geer -moreeneja, mutta ovat kuitenkin morfologialtaan hieman erilaisia. Jos Vöyrin kentällä ainakin osa selänneistä on CSR-muodostumia, jään virtaus on saattanut vaihdella puristuvan ja venyvän virtauksen välillä eri tavalla kuin Laihia-Isokyrön kentällä. Vöyrin kentän toisen ja kolmannen osion välillä topografiassa tapahtuu suuri muutos, jolloin toinen osio, eli kaareutuv ja levein osio, on muodostunut myös syvempien proglasiaalisten vesien alueella. Topografian muutoskohdalla jään virtaus on

saattanut vaihtua puristuvasta venyvään virtaukseen, jonka lisäksi jää on virrannut kentän reunoilla ja keskiosiossa eri nopeudella. Tämä voi mahdollistaa railojen synnyn kaareutuvaan muotoon (Colgan tm. 2016: 153). Samalla alueen topografiassa tapahtuu suuri muutos, mikä voi lisätä jään lohkeilun monimutkaisuutta. Jos jää on lohkeillut pienempiin osiin kentän alueella tämä selittäisi Vöyrin kentän toisen osion kaareutuvuutta, mutta myös selänteiden sekalaista asettumista.

Havaintoni tukevat osin railoissa syntyneitä muodostumia, mutta merkkejä on myös työnnöstä aiheutuneesta muodostumisesta. Morfologia ja Laihia-Isokyrön kentältä saatu kaivuudata eivät kuitenkaan suoraan viittaa joko päätemoreeneihin tai railoissa muodostuneisiin moreeneihin, jolloin useiden eri syntytapojen yhdistelmät voivat olla mahdollisia alueella. Sedimentologiset havainnot ovat kuitenkin peräisin vain yhdestä De Geer -selänteestä Laihia-Isokyrön kentän keskiosassa, joten laajempia sedimentologisia tutkimuksia tarvittaisiin myös kenttien eri osa-alueilta muodostumien kerrostumisprosessien selvittämiseen. Tutkimusalueellani moreeniselänteet poikkeavat muista tutkimuksista kaareutuvuudellaan. Jää on käyttäytynyt alueella todennäköisesti poikkeuksellisesti ja alueella on voinut olla pohjautumisvyöhyke linjan sijaan. Lisäksi kenttien osa-alueilla selänteet ovat selkeästi asettuneet eri tavoin, mikä viittaa siihen, että niiden muodostumistavassa on myös jotain eroa. Alueellani mahdollinen pohjautumisvyöhyke on saattanut käyttäytyä poikkeuksellisella tavalla, jolloin alueen selänteet eivät välttämättä ole muodostuneet millään aiemmin tunnetulla tavalla.

## 7 Johtopäätökset

- Laihia-Isokyrön ja Vöyrin kentät ovat samankaltaiset, mutta morfologiassa on eroja kenttien välillä. Myös kenttien sisällä niiden eri osissa on eroja selänteiden suuntautumisessa, pituudessa ja korkeudessa.
- Selänteet ovat voineet syntyneet jään pohjan railoissa, ensin sulamisvesien kaasaamana, jonka jälkeen jää on työntänyt maa-ainesta railojen sisällä.
- Vöyrin kentällä erityisesti kolmannen osion muodostumat saattavat olla CSR-muodostumia De Geer -moreenien sijaan.
- Tutkimusalueellani jää on käyttäytynyt poikkeavalla tavalla, ja kyseessä on ollut mahdollisesti pohjautumisvyöhyke pohjautumislinjan sijaan. Lisää sedimentologisia tutkimuksia tarvitaan molempien kenttien osa-alueilta tarkemman syntyävan määrittämiseen.

## Lähteet

- Aartolahti, T. (1972) On deglaciation in Southern and Western Finland. *Fennia - International Journal of Geography*, 114(1). <https://fennia.journal.fi/article/view/40776>
- 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, 107854.
- Andrén, T., Björck, S., Andrén, E., Conley, D., Zillén, L., & Anjar, J. (2011) The development of the Baltic Sea Basin during the last 130 ka. In *The Baltic Sea Basin* (pp. 75-97). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_4)
- Blake, K. (2000) Common origin for De Geer moraines of variable composition in Raudvassdalen, northern Norway. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 15(6), 633–644.  
[https://doi.org/10.1002/1099-1417\(200009\)15:6<633::AID-JQS543>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1099-1417(200009)15:6<633::AID-JQS543>3.0.CO;2-F)
- Bouvier, V., Johnson, M., & Pässe, T. (2015) Distribution, genesis and annual-origin of De Geer moraines in Sweden: insights revealed by LiDAR. *GFF*, 137(4), 319–333. <https://doi.org/10.1080/11035897.2015.1089933>
- Bradley, A. & Hewitt, I. (2024) Tipping point in ice-sheet grounding-zone melting due to ocean water intrusion. *Nature Geoscience*, 17(7), 631–637.  
<https://doi.org/10.1038/s41561-024-01465-7>
- Bradwell, T., Stoker, M., Golledge, N., Wilson, C., Merritt, J., Long, D. & Mathers, H. (2008) The northern sector of the last British ice sheet: maximum extent and demise. *Earth-Science Reviews* 88, 207–226.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.01.008>
- Colgan, W., Rajaram, H., Abdalati, W., McCutchan, C., Mottram, R., Moussavi, M., & Grigsby, S. (2016) Glacier crevasses: Observations, models, and mass balance implications. *Reviews of geophysics*, 54(1), 119-161.  
<https://doi.org/10.1002/2015RG000504>

- 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. DOI:10.1126/science.1153360
- Eyles, N., Boyce, J. I., & Barendregt, R. W. (1999). Hummocky moraine: sedimentary record of stagnant Laurentide Ice Sheet lobes resting on soft beds. *Sedimentary Geology*, 123(3-4), 163-174. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(98\)00129-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(98)00129-8)
- Glückert, G. (1974) Map of glacial striation of the Scandinavian ice sheet during the last (Weichsel) glaciation in northern Europe. *Bull. Geol. Soc. Finland*, 46, 1-8. [https://www.geologinenseura.fi/sites/geologinenseura.fi/files/sgs\\_bt\\_046\\_1\\_pages\\_001\\_008.pdf](https://www.geologinenseura.fi/sites/geologinenseura.fi/files/sgs_bt_046_1_pages_001_008.pdf)
- GTK (s.a.) *Jäätikköjokimuodostumat*. GTK Tietoaaineistot. [http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/jaatikkojoki\\_deltat.htm](http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/jaatikkojoki_deltat.htm)
- GTK (2010) Maaperä 1:200 000 (maalajit). <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>
- GTK (2013) *Ancient shorelines*. <https://hakku.gtk.fi/en/locations?id=78>
- Hakala, A. & Karlsson, T. (2018) *Jääkausien sykli – Eemistä Veikseliin*. Geologia.fi. <https://www.geologia.fi/eemista-veikseliin/>
- Hakala, A. & Karlsson, T. (2018) *Harjut ja Salpausselät*. Geologia.fi. <https://www.geologia.fi/harjut-ja-salpausselat/>
- Hobart, B., Lisiecki, L., Rand, D., Lee, T. & Lawrence, C. (2023) Late Pleistocene 100-kyr glacial cycles paced by precession forcing of summer insolation. *Nature Geoscience*, 16(8), 717-722. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01235-x>
- Hoppe, G. (1959). Glacial morphology and inland ice recession in northern Sweden. *Geografiska Annaler*, 41(4), 193-212. <https://doi.org/10.1080/20014422.1959.11907951>
- Johansson, P., Lunkka, J. P., & Sarala, P. (2011) The glaciation of Finland. *Developments in Quaternary sciences*, Vol. 15, pp. 105-116. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00009-X>
- Karlsson, T. (s.a.) *Maanjäristykset*. Geologia.fi. <https://www.geologia.fi/maanjaristykset/>
- Karlsson, T. (2026) *Salpausselät ovat maailmanluokan jääkausimuodostuma – uusi GTK:n raportti kokoaa vuosikymmenten tutkimustiedon*. Geologia.fi,

25.1.2026. <https://www.geologia.fi/salpausselat-ovat-maailmanluokanja-kausimuodostuma-uusi-gtkn-raportti-kokoaa-vuosikymmenten-tutkimustiedon/>

Killinger, D. (2014) Lidar (light detection and ranging). In *Laser spectroscopy for sensing* (pp. 292–312). Woodhead Publishing.

<https://doi.org/10.1533/9780857098733.2.292>

Kneib-Walter, A., Lüthi, M., Moreau, L., & Vieli, A. (2021) Drivers of recurring seasonal cycle of glacier calving styles and patterns. *Frontiers in Earth Science*, 9, 667717. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.667717>

Koivula, H. (s.a.) *Maannousu*. Maanmittauslaitos. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/maannousu>

Lappi, E. (2026) *Laihian ja Vöyrin seudun murtoot ja potentiaaliset paleoblisterit*. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto, maantieteen laitos.

Larsen, E., Longva, O. & Follestad, B. (1991) Formation of De Geer moraines and implications for deglaciation dynamics. *Journal of Quaternary Science* 6, 263–277.

Lundqvist, J. (2000) Palaeoseismicity and De Geer Moraines. *Quaternary International*, 68, 175-186. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(00\)00042-2](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(00)00042-2)

Lunkka, J., Nikarmaa, T., & Putkinen, N. (2019) Baltic Ice Lake levels and a LiDAR/DEM-based estimate of the glacio-isostatic uplift gradient of the Salpausselkä zone, SE nor. <https://doi.org/10.17741/bgsf/91.1.005>

McGrath, D., Steffen, K., Scambos, T., Rajaram, H., Casassa, G., & Lagos, J. (2012) Basal crevasses and associated surface crevassing on the Larsen C ice shelf, Antarctica, and their role in ice-shelf instability. *Annals of glaciology*, 53(60), 10-18.

Mäkinen, J., Dow, C., Ahokangas, E., Ojala, A., Kajuutti, K., Kautto, J. & Palmu, J. (2023) 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, J. (2026) Sedimentologiasta. Henkilökohtainen sähköpostiviesti E. Grönroosille. 4.6.2026.

- National Ocean Service (s.a.) What is lidar? <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> 25.3.2026
- Nielsen, D. (1969) Washboard moraines in northeastern North Dakota. University of North Dakota <https://commons.und.edu/theses/210/>
- Ojala, A. (2016) Appearance of De Geer moraines in southern and western Finland—Implications for reconstructing glacier retreat dynamics. *Geomorphology*, 255, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.005>
- Ojala, A., Putkinen, N., Palmu, J., & Nenonen, K. (2015) Characterization of De Geer moraines in Finland based on LiDAR DEM mapping. *GFF*, 137(4), 304–318. <http://dx.doi.org/10.1080/11035897.2015.1050449>
- Pitkäranta, R. (2009) Lithostratigraphy and age estimations of the Pleistocene erosional remnants near the centre of the Scandinavian glaciations in western Finland. *Quaternary Science Reviews*, 28(1–2), 166–180. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.10.003>
- Pitkäranta, R. (2013) Lithostratigraphy and age of pre-Late Weichselian sediments in the Suupohja area, western Finland.
- Putkinen, N., Eyles, N., Putkinen, S., Ojala, A. E., Palmu, J. P., Sarala, P., ... & 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).
- Putkinen, N., Tervo, T., Hall, A., Lunkka, J., Sarala, P., Breilin, O., & Nenonen, J. (2026) Weichselian history of the Fennoscandian Ice Sheet centre, Kvarken archipelago, western Finland—flow shifts, thermal regime and deglaciation. *Boreas*. <https://doi.org/10.1111/bor.70064>
- Sarala, P. (2006) Ribbed moraine stratigraphy and formation in southern Finnish Lapland. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 21(4), 387–398. <https://doi.org/10.1002/jqs.995>
- Sharp, M. (1985) “Crevasse-fill” ridges—a landform type characteristic of surging glaciers?. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 67(3-4), 213–220. <https://doi.org/10.1080/04353676.1985.11880147>
- Sinclair, S., Licciardi, J., Campbell, S. & Madore, B. (2018) Character and origin of De Geer moraines in the Seacoast region of New Hampshire, USA. *Journal of Quaternary Science*, 33(2), 225–237.

- Strömberg, B. (1965) Mappings and geochronological investigations in some moraine areas of south-central Sweden. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 47(2), 73–82. <https://doi.org/10.1080/04353676.1965.11879715>
- Tikkanen, M. (1994) Suomen pinnanmuodot. *Terra*, 106(3), 175–180.
- Zilliacus, H. (1987) De Geer moraines in Finland and the annual moraine problem. *Fennia - International Journal of Geography*, 165(2), 145-239. <https://fennia.journal.fi/article/view/9047>
- Zilliacus, H. (1989) Genesis of De Geer moraines in Finland. *Sedimentary geology*, 62(2-4), 309-317. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.utu.fi/science/article/pii/0037073889901218?via%3Dihub>