



Rengasmaiset moreenimuodostumat

Lauri Yliriesto

Kandidaatin tutkielma
Lauri Yliriesto
Oulu Mining School
Oulun Yliopisto
2023

Tiivistelmä

Kvartäärikausi alkoi 2,588 miljoonaa vuotta sitten, jolloin ilmasto-olosuhteet muuttuivat kylmien ja lämpimien ajanjaksojen vuorotteluun maapallolla. Kylmillä jaksoilla jääkaudet muokkasivat kallioperää ja synnyttivät maaperäkerrostumia- ja muotoja kallioperän päälle. Erilaiset jäätikön synnyttämät muodostumat ovat mielenkiintoisia, sillä ne ovat syntyneet eri tavalla ja heijastelevat erilaisia kerrostumisolosuhteita.

Tässä tutkielmassa keskitytään rengasmaisiin kumpumoreeneihin: Suomen Pulju-, Ruotsin Veiki- ja Kanadan Doughnut-moreeneihin. Ne esiintyvät pohjoisella pallonpuoliskolla, missä jäätiköt ovat kattaneet jääkausiaikoina laajoja alueita. Aiemmin rengasmaisia kumpumoreeneja pidettiin yhden syntyvän moreenimuodostumina, kunnes paljastui, että ne ovat syntyneet eri tavoilla jopa useamman jäätiköitymisvaiheen aikana.

Sisältö

1. Johdanto

- 1.1 Jäätiköt ja moreeni
 - 1.1.2 Ablaatiomoreenit ja pohjamoreenit
- 1.2 Eri moreenimuodostumia

2. Kumpumoreenit

- 2.1 Tyypillisten kumpumoreenien sijainnit
- 2.2 Kuolleen jään kumpumoreenit
- 2.3 Subglasiaalisesti syntyneet kumpumoreenit

3. Rengasmaiset moreenit

- 3.1 Pulju-moreenit
- 3.2 Veiki-moreenit
- 3.3 Doughnut-moraine

4. Tutkintamenetelmät

- 4.1 Glasiaaliympäristöjen tutkiminen
- 4.2 Karttaohjelmat
- 4.3 LiDar-kaukokartoitus

5. Yhteenveto

Lähdeluettelo

1. JOHDANTO

Maapallon ikä noin 4,6 miljardia vuotta ja se jaetaan lyhyempiin geologisiin aikakausiin. Niistä viimeisin ajanjakso - kvartaari, noin 2,588 miljoonaa vuotta kestänyt jakso on mielenkiintoinen. Se tunnetaan vaihtelevista ilmasto-olosuhteista ja ennen kaikkea jääkausi-aikana. Geologiassa stratigrafinen tutkimus on tärkeää ja kerrossarjojen avulla voidaan vertailla eri geologisten kerrostumien ja muodostumien ikäsuhteita ja rinnastaa niitä toisiinsa.

Maapallon ilmasto on vaihdellut historiansa aikana suuresti, mutta viimeisten miljoonien vuosien aikana huomattavasti kylmempään suuntaan. Viimeistään 750 000 vuotta sitten pohjoisella pallon puoliskolla alkoi laajojen mannerjäätiköiden kehittyminen Pohjois-Amerikassa, Pohjois-Euroopassa sekä Euraasiassa. Kvartaarikauden alusta lähtien, eli 2,588 miljoonaa vuotta ajanjaksoa ovat hallinneet kylmät jäätiköitymiskaudet ja niiden väliset lämpimät kaudet ympäri maapalloa. Näitä nimitetään glasiaaleiksi ja interglasiaaleiksi. Viimeisin jäätiköitymisvaihe, Veiksel, on vetäytynyt Suomesta noin 10 000 vuotta sitten. Nyt eletään lämmintä kautta, joka on nimetty holoseenikaudeksi. Myös glasiaaliseksi ja interglasiaalivaiheiden välissä saattaa olla lyhyitä kylmiä ja lämpimiä jaksoja eli stadiaali ja interstadiaalijaksoja.

Tässä työssä keskitytään jäätiköiden alla tai reunavyöhykkeessä syntyneisiin moreenimuodostumatyyppeihin, eli mitä moreenimuodostumia tunnetaan yleisesti sekä syvennytään rengasmaisiin kumpumoreeneihin ja lopuksi käsitellään vielä tutkimusmenetelmiä tämän aihepiirin osalta.

1.1 Jäätiköt ja moreeni

Geologinen tutkimus ja sen aineistot osoittavat, että jäätiköt ovat peittäneet useaan otteeseen suuren osan pohjoista pallonpuoliskoaa - Luoteis-Venäjää, Britteinsaaria ja koko Fennoskandiaa (Ojala ym., 2007). Mannerjäätiköt ovat kuluttaneet kallioperää ja muokanneet sitä lähtien pienistä uurteista ja päätyen silottamaan kokonaisia tuntureita ja vuoristoja. Jäätiköt ovat jättäneet jälkeensä maaperään erilaisia moreenimuodostumia maaperään, joiden avulla päästään tutkimaan jäätiköiden dynamiikkaa, ja sitä, kuinka ne ovat loppujen lopuksi syntyneet.

Moreeni on Suomen yleisin maalaji ja tyypillisesti se peittää laajoilla alueilla ensimmäisenä kallioperää. Se on jäätikön kuluttamaa, kuljettamaa ja kerrostamaa lajittumatonta maa-ainesta, joka sisältää kiviainesta karkeammasta hienompaan, lohkarista saveen. Sen väri johtuu yleensä sen kiviaineksen alkuperästä, mitä mineraaleja se sisältää, ja mikä sen raakoostumus on sekä siitä, miten se on kulkeutunut virranneen jäätikön mukana. Lisäksi väriin vaikuttaa moreenin kerrostumisen jälkeen tapahtuneet rapautumis- ja saostumisprosessit eri alueilla.

Moreenilla saatetaan tarkoittaa montaa asiaa yhtä aikaa: jäätikön kuljettamaa maa- ja kiviainesta, jäätikön kautta kerrostunutta ainesta tai luonnossa olevaa geomorfologista maaperämuotoa, joka on muodostunut moreenista (Johansson & Kujansuu, 2005). Englannin kielessä erotetaan *till* ja *moraine* erikseen: *till* on itse moreeniainesta ja *moraine* on kerrosmuodostuma maaperässä. Ennen moreeniaikseksi nimittämistä sekalajitteisesta aineksesta saatetaan käyttää myös nimeä diamiktoni. Diamiktonia käytettäessä ei oteta kantaa sen syntytapaan, vaan sillä kuvataan aineksen sekalajitteisuutta. Moreeni on tulkinnallinen nimitys jäätikkösyntyiselle sekalajitteiselle maalajille.

Kallioperää peittää sitä mukaillen suurimmaksi osaksi tiukkaan pakkautunut pohjamooreeni, jonka päällä kerrostumiskuvassa on jäätiköstä vapautunut pintamooreeni. Moreeni-alueilla olevat louhikot ja kivikot, joita kansankielellä kutsutaan rakaksi, syntyvät routimisen takia. Routimisprosessi nostaa suurempia kiviä moreeniaineksesta maan pintaan, koska moreenialueilla pohjaveden pinta voi olla hyvinkin korkealla. (Johansson & Kujansuu, 2005)

Suomen nykyiset moreenit ovat suurimmaksi osaksi syntyneet Veiksel-jääkauden aikana noin 115 000–11 500 vuotta sitten eri vaiheissa. Jääkauden aikana Suomessa syntyneistä moreeneista suurin osa on kahta tyyppiä: ablaatiomoreenit ja pohjamooreenit. Myös Veiksel-kautta edeltävää jääkautta olevan Saale-jääkauden moreeneja on säilynyt Suomessa. (Heikkilä, 2018)

1.1.2 Ablaatiomoreenit ja pohjamoreenit

Ablaatiomoreenit ovat yksinkertaisuudessaan jäätikössä (alla, sisällä ja päällä) olevaa moreenia (Kuva 1), joka jäätikön sulamis- eli deglasiatiovaiheessa kerrostuu alla olevien kerrostumien päälle tai muodostaa omanlaisiaan moreenimuodostumia, kuten moreenikumpuja tai selänteitä (Soukka, 2021). Ablaatiomoreenien rakenne on karkeampaa, huokoista ja löyhää johtuen siitä, että niiden kerrostumisvaiheessa on paljon sulamisvettä mukana ja ne huuhtoutuvat jään pintaosissa sekä moreeniaines ei ole niin kulunutta materiaalia kuin pohjamoreeni (Heikkilä, 2018).

Pohjamoreeni syntyy liikkuvan mannerjäätikön pohjajään kuluttamasta ja louhimasta maa- tai kallioperän aineksesta. Moreeni on hienompaa ja tiiviimpää ainesta sekä levittäytynyt laajalle alueelle muutaman metrin paksuisena (Kuva 1) samalla peittäen kallioperää (Heikkilä, 2018). Pohjamoreeniaines on paljon suuntautuneempaa kuin ablaatiomoreeni, koska se on kerrostunut liikkuvan jään alla. Pohjamoreeni peittää kallioperää laajoilla alueilla Suomessa kattaen yli 50 prosenttia maan pinta-alasta. Pohjamoreenit jaetaan syntyvän ja sen ominaisuuksien mukaan pohjan kerrostumismoreeniin (engl. lodgement till) sekä sulamismoreeniin (engl. basal melt-out till). Kerrostumismoreeni on massiivisempaa rakenteeltaan toisin kuin sulamismoreeni, joka on löyhempää ja siitä voi nähdä kerrostuneisuutta sekä hiekkaraitaisuutta (Palmu, 1999).



Kuva 1. Kuvassa näkyy jään alle kerrostunutta pohjamoreenia ja jäätikön päällä sekä sisällä olevaa moreeniainesta. Piirros: Kutvonen, Harri GTK (2004)

1.2 Eri moreenimuodostumia

Moreenimuodostumien syntytavat voidaan jakaa kolmeen eri pääluokkaan: 1. aktiivisesti virtaavan jäätikön alla syntyneisiin virtaviivaisiin muotoihin, 2. jäätikön reunavyöhykkeessä syntyneisiin suuntautuneisiin tai suuntautumattomiin moreenikumpuihin, 3. jäätikön reunassa syntyneisiin reuna- ja pintamoreeneihin. Aktiivisen jään muodostamat moreenikummut, drumliinit ja flutingit eroavat passiivisen jään muodostamista kumpumoreeneista ja kames-topografiasta (jäätikön sulavesitoiminnan aikaansaamiin kasaantumismuotoihin kuuluvat harjut) niiden suuntautuneisuuden vuoksi (Johansson & Kujansuu, 2005). Aktiivisen jäätikön muodostamat moreenialueet ovat myös ns. glasigeenisitä, eli jäätikkö kuluttaa kallioperää ja saa aikaan uuresuuntia. (Kemiläinen, 1976).

Siellä, missä moreenimuodostumia esiintyy samalla alueella runsaasti, niitä kutsutaan joko provinsseiksi, kentiksi tai alueiksi. Jos jäätikön voimakkaan virtauksen alueella on ollut paljon kallio- ja maaperän kohoumia, alueelle on syntynyt paljon drumliineja ja muita muodostumia. Silloin lineaatiomuodostuma-alueesta voidaan käyttää nimitystä drumliinikenttä. Vastaavassa tapauksessa kumpumoreeneissa käytetään esimerkiksi kumpu- tai kumpumoreenialue. (Palmu, 1999)

Drumliinit syntyvät, kun aktiivinen, virtaava jäätikkö kulkee kalliokohouman päältä louhien kalliota ja tuoden mukanaan myös materiaalia, jolloin kallion vastapuolesta tulee jyrkkä ja suojapuolesta taasen loiva Drumliinit voivat muodostua myös moreeniaineksen kasautumisen seurauksen ilman kalliodyntä (Aario 1977 ja Aario & Peuraniemi 1992). Drumliinit esiintyvät usein parvissa, siellä missä jäätikkö on virrannut voimakkaasti (Heikkilä, 2018). Drumliinien loppupäässä saattaa myös olla runsaasti lajittunutta soraa ja hiekkaa. Drumliineihin liittyvät myös fluting-selänteet, vakoumat. Flutingit ovat drumliineja matalampia harjanteita, joiden pituus vaihtelee kuitenkin kymmenistä metreistä satoihin metreihin (Johansson & Kujansuu, 2005).

Ribbed-moreenit, suomeksi juomumoreenit, ovat geomorfologisia aktiivisen jään muodostelmia, mitkä ovat jään kulkusuuntaan olevia poikittaisia valleja. Suomessa niitä esiintyy suurina kenttinä Etelä-Lapissa ja Pohjanmaalla (Heikkilä, 2018). Ne syntyvät

subglasiaalisesti deglasiatiovaiheessa ja voivat olla kymmeniä metrejä korkeita ja satoja metrejä pitkiä. Ribbed-moreenikenttiä on esiintynyt Skandinavian ja Pohjois-Amerikan mannerjäätiköiden alueilla. Keski-Ruotsissa esiintyvät Rogen-moreenit ovat yksi ensimmäisistä ribbed-moreenimuodostumatyypeistä ja niitä on tutkittu paljon (esim. Lundqvist 1969, Aario 1977, Sarala 2003). Rogen-moreenit rinnastetaan yleensä Pohjois-Amerikassa oleviin ribbed-moreeneihin, jotka ovat samanlaisia geomorfologialtaan. Ribbed-moreeniselänteiden päällä esiintyy usein fluting-muodostumia indikoimassa jäätikön aktiivista liikettä niiden syntyprosessin aikana (Johansson & Kujansuu, 2005).

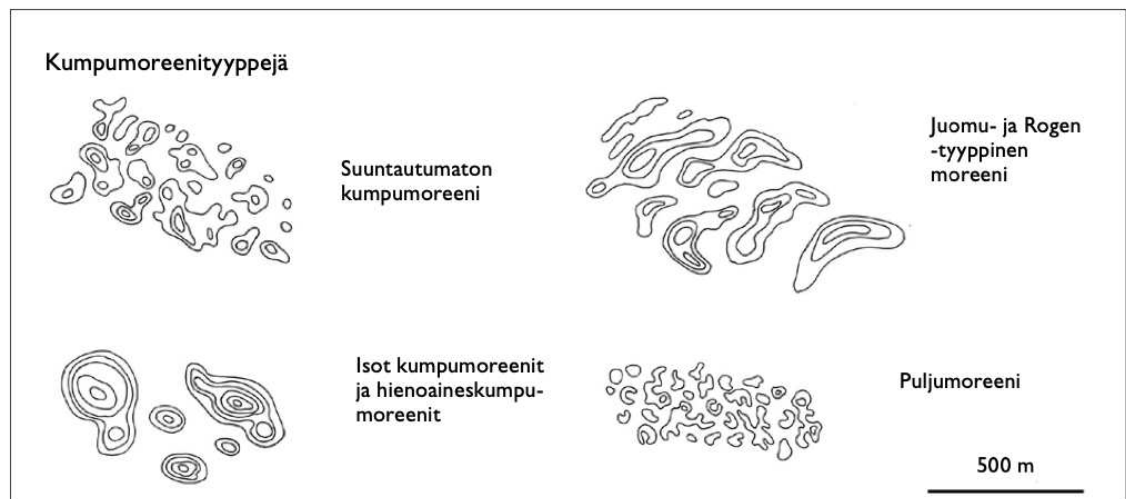
Reunamoreeni tai muut moreenivallit muodostuvat jäätikön reunalle, missä tapahtuu massaliikuntoja. Keskikokoiset ja isot reunamoreenit ovat syntyneet jäätikön pysähtyessä ja kerrostaessa ainesta pitempään eteensä. Pääosin ainekset ovat jäätikköjokisyntyisiä ja koostuvat moreenista sekä paikoin lajittuneista aineksista. Suomessa mittavia reunamuodostumia ovat kolme Salpausselkää. Muita pienempiä reunamuodostumia sanotaan pääte-, vuosi-, de Geer-, tai pyykkilautamoreeneiksi, mitkä esiintyvät eräänlaisina moreenimuodostumakenttinä jäätikön eteenpäin virtaamisen sekä takaisin päin perääntymisen vuorottelussa. Tätä jäätikön edestakaisin virtausta kutsutaan oskillaatioksi. (Palmu, 1999)

2. KUMPUMOREENIT

Kumpumoreenien syntymiselle tärkeää on voimakas stagnaatio, eli jäätikön pysähtyminen tai hidastuminen reunaosissa. Jäätikön reunassa on tapahtunut liikehdintää ylöspäin, ja jäätikön alla pohjaosissa kiviainesta on joutunut samalla ylöspäin. Myöhemmin, kun jäätikkö on sulanut, kiviainesta on vapautunut ja noussut sekä kerrostunut maahan tai jäätikön pinnalle. Kumpumoreeneilla esiintyy kaksi päätyyppiä: 1. varsinaiset kumpumoreenit, jotka ovat syntyneet vedenkoskemattomilla alueilla, ylemmän rannan yläpuolisilla alueilla tai matalan veden alueilla, missä jää on sulanut paikoilleen. 2. Juomumoreenit, jotka syntyvät jäätikön liikkeeseen nähden poikittain. Juomumoreenit ovat jään pohjalla syntyviä moreeneja (Mäkinen ym., 2007).

Kumpumoreenit ovat oletetusti ablaatiomoreenin muodostamia geomorfologisia muodostumia. Muodostumien yhteneväisyydessä on vähäinen hienoaines ja runsaasti kiviä. Kumpujen rinteiden kaltevuus on riippuvainen siitä, kuinka vettä läpäisevää kumpareessa oleva aines on. Jos läpäisevyys on suuri, rinne on jyrkempi, koska se todennäköisesti sisältää paljon enemmän karkeaa maa-ainesta kuin hienoainesta, joka valuisi alas massalii-kunnoissa (Rauhaniemi ym., 2004). Kumpuja syntyy, kun jää sulaa ja jään pinnalla tai sisällä oleva moreeniaines kerrostuu niille sijoilleensa.

Kumpumoreenien syntytaapa vaihtelee. Ne voivat syntyä supraglasiaalisesta eli jäätikön pinnalla kulkeutuneesta aineksesta tai pohjamoreenista eli subglasiaalisesta aineksesta. Kumpumoreenialueet havaitaan hyvin usein laajoina kenttinä, missä voidaan tarkemmin huomata jäätiköiden liikesuuntaan olevia nimenomaisia kumpuja tai seläniteitä sekä toisi-naan myös poikittaisia muodostumia. Pitkittäisiä poikkileikkaavia moreenimuodostumia kutsuttiinkin nimenomaan juomumoreeneiksi (Kuva 2). Maastoa tarkastellessa huomaa, että näin syntyy verkkomainen kuvio. Kumpujen maalaji saattaa välillä vaihdella hyvin lajittuneeseen soraan ja hiekkaan moreenikerrostumien välissä tai sekoittuneena itse moreeniin (Johansson & Kujansuu, 2005).

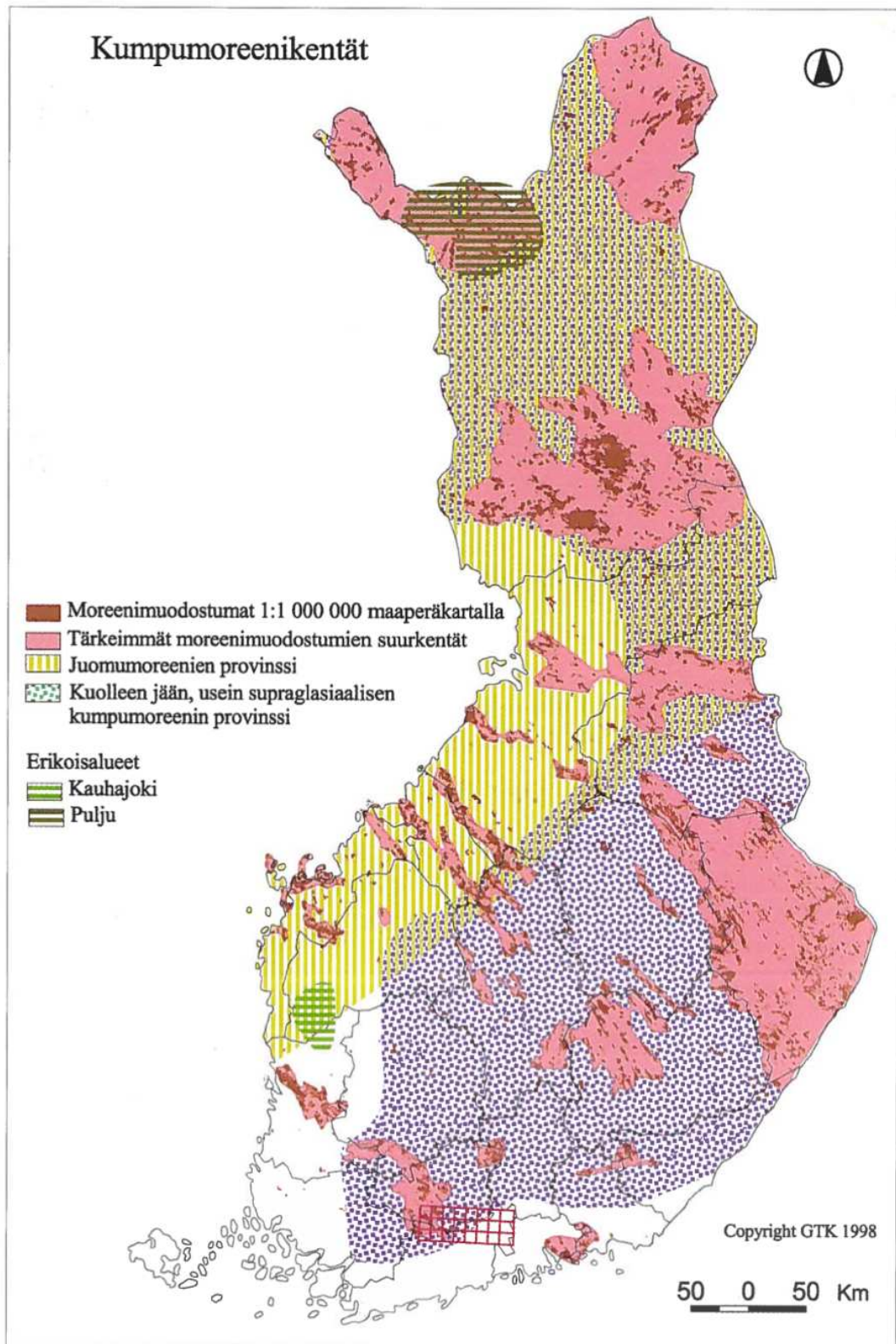


Kuva 2. Eri kumpumoreenityyppejä. Piirros: Rönty, Hannu GTK (2007)

2.1 Tyypillisten kumpumoreenien sijainti

Oli kumpumoreenien synty tapa supraglasiaalinen tai subglasiaalinen, niin kumpumoreenien puuttuminen on harvinaista Suomessa. Kumpumoreenien puuttumista nähdään alueilla, joilla maapeitteessä ei ole ollut tarpeeksi irrotettavaa maa-ainesta jäätikölle, jolloin kumpumoreenien syntyprosessit eivät ole olleet mahdollisia. Näitä alueita tavataan rannikkoseuduilla eteläisessä Suomessa (Kuva 3) Muutoin melkein koko Suomi on täynnä erilaisia kumpumoreenimuodostumia (Mäkinen ym., 2007).

Kumpukenttiä on syntynyt laaksoalueille pitkinä kenttinä virtaussuuntien mukaisesti drumliinien väliin (Mäkinen ym., 2007). Rogen-tyyppisissä moreeniselänteissä on usein myös jäätikön virtauksen suunnan mukaisia muotoja. Oletettavasti ne syntyivät aiemmin kuin kylmäpohjainen alustaansa jäätyneet jäätikkö, jolloin se alkoi sulaa ja liukua, jolloin jäätikön pohjaan syntyi voimakas vetojännitys (Lundgvist 1989, Aario 1990, Sarala 2006).



Kuva 3. Kumpumoreenit Suomessa Palmun (1999) mukaan.

2.2 Kuolleen jään kumpumoreenit

Kuollut jää on jäätikkö, joka ei enää liiku ja sulaa paikalleen (Palmu, 1999). Ennen jäätikön passiivista vaihetta jäätikkö puskee edessään maassa olevaa kiviainesta, joka rikastuu joko jäätikön sisään tai pintaan. Tällöin jäätikkö kuljettaa maasta louhimaansa ainesta mukanaan niin kauan, kunnes jäätikkö sulaa ja moreeni kerrostuu erilaisiksi kuolleen jään kumpumoreenimuodostumiksi. Tätä jään sisässä tai pinnalla kulkeutunutta moreenia kutsutaan supraglasiaaliseksi ainekseksi (Johansson & Kujansuu, 2005).

2.3 Subglasiaalisesti syntyneet kumpumoreenit

Lähtökohtana on ollut, että kumpumoreenit syntyvät automaattisesti supraglasiaalisesti, mutta teoria on kumottu (Johansson & Kujansuu, 2005). Kumpumoreenien kartoituksessa on huomattu, että moreenimuodostumien synty tapa ja aineskoostumus oli vaihtelevaa. Toinen vaihtoehto kumpumoreenien syntymiselle on subglasiaalisesti eli pohjamoreenien kautta. Nämä ovat juomumoreeneja (ribbed-moreeneja), jotka kuuluvat subglasiaalisesti syntyneisiin selänmäisiin kumpumoreeneihin tai muita aktiivisen jäätikön suuntautumattomia moreenimuotoja.

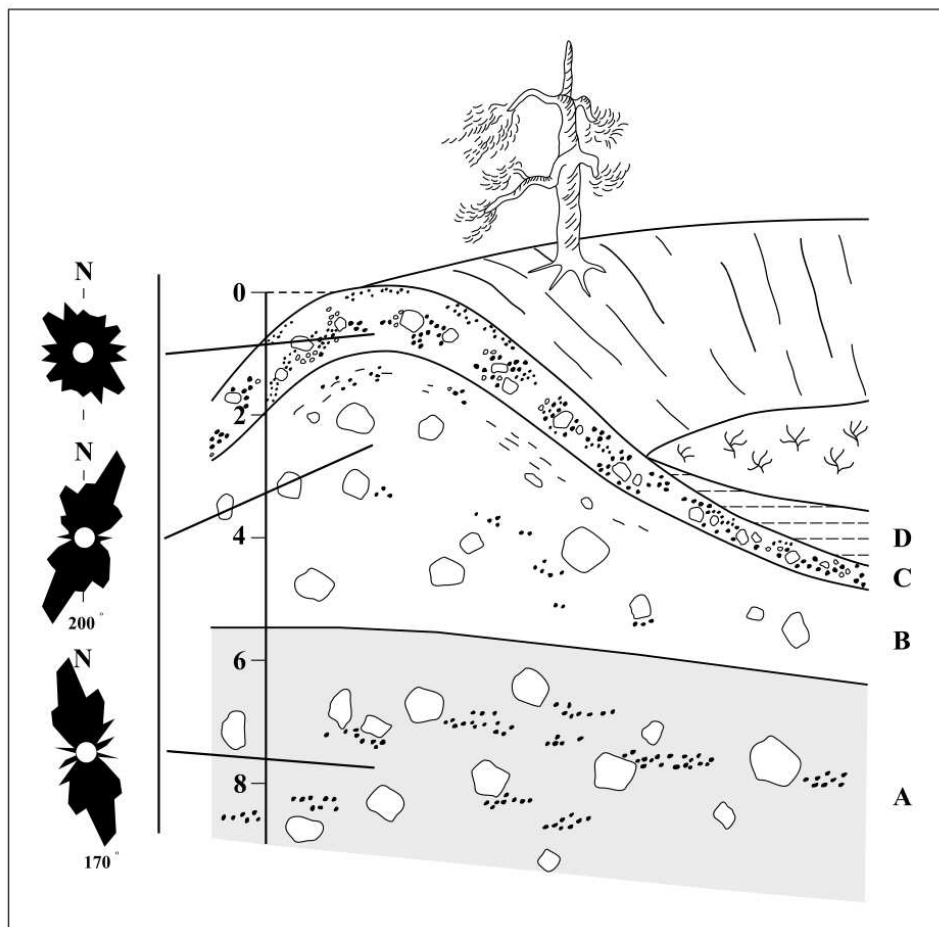
3. RENGASMAISET MOREENIT

Suomessa on eripuolilla havaittu maastosta rengasmaisia moreenimuodostumia, jotka voivat olla läpimitaltaan kymmenistä satoihin metreihin, mutta korkeus on kuitenkin usein alle kymmenen metriä. Nämä rengasmaiset muodostumat ovat suuntautumattomia, kaarenmuotoisia tai nauhamaisia ilmakuviasta katsottuna (Johansson & Kujansuu, 2005). Tunnetuimpia rengasmoreeniesiintymiä ovat Pulju-moreenit Suomessa Kittilässä ja Enontekiöllä (Kujansuu 1969, Aario 1990), Veiki-moreenit Ruotsissa Lainion moreenimuodostumakentällä (Hoppe 1952, Lagerbäck 1988) ja Kanadassa, Albertan pohjoisosassa donitsi-moreenimuodostumat (engl. *doughnut moraine*) (Eyles ym., 1999).

3.1 Pulju-moreenit

Kittilän kunnan pohjoisimman kylän, Puljun lähistöllä, noin 7 kilometriä kylästä pohjoiseen on kartoitettu erikoisia moreenimuodostumia, jotka on nimetty löydetyin paikan mukaan, Pulju-moreeneiksi (Kujansuu 1967, Johansson & Nenonen 1990, Aario 1994). Nämä eivät ole kuitenkaan ainoita kyseisiä moreenimuodostumia Suomessa. Pulju-moreeneja tavataan supra-akvaattisen deglasiation alueilla, viimeisen jäänjakaja-alueen ympäristössä, missä viimeisin jäätikkö on vetäytynyt ja jakautunut kahtia (Korkala, 2020). Enontekiöllä on Suppivuoma-alue, joka kumpumoreenialueena on laajuudeltaan noin 30 km². Alueella on kumpuja, jotka myös näyttävät olevan Pulju-moreeneja Raimo Kujansuun (1967) kuvauksen mukaisesti, mutta ne ovat alueella läpimitaltaan paljon suurempia, n. 500 m. Puljutunturin läheisyydessä olevat muodostumat ovat läpimitaltaan noin 20–150 m. Suppivuoman Pulju-moreenin kraatterimaiset muodostumat ovat laeltaan tasaisia ja muuten muistuttavat muodoltaan patovallia, sisäkehällä loivempi rinne ja ulkokehällä jyrkempi. Pulju-moreenit eivät ole isolohkareista, vaan vähäkivistä maastoa, missä kasvaa mänty- ja koivumetsää lakien päällä (Johansson & Kujansuu, 2005).

Pulju-moreenien stratigrafiasta käy ilmi (Kuva 4), että selänteet koostuvat kolmesta moreeniyksiköstä ja alin on pohjamoreenia. Alimman yksikön on kerrostanut myöhäis-Veikselkauden jäätikkö, joka virtasi etelästä pohjoiseen. Yksikkö on kerrostanut ennen deglasiatiota. Keskimmäisen yksikön on tutkittu syntyneen viimeisimmän deglasiation pohjamoreenista, joka on puristunut jäätikön halkeamiin ja vakoumiin. Ylin moreeniyksikkö on syntynyt jäätikön stagnaatiosta, yksikön kivistä puuttuu selvästi selkeä suuntaus (Kuva 4). Moreeniaines on pudonnut tai valui jäätikön pinnalta maan pinnalle.



Kuva 4. Pulju-moreenin stratigrafia ja kiviaineksen suuntausta. Kuva Johansson & Kujansuu (2005) mukaan.

3.2 Veiki-moreenit

Jällivaaran lähistöllä, Norrbottenin keskiosissa sijaitsee kaarenmuotoinen Lainion moreenimuodostuma-alue, missä on samantapaisia kumpumoreeneja kuin Enontekiön Suppiuoman Pulju-moreenit (Johansson & Kujansuu, 2005). Moreenimuodostumat ovat korkeudeltaan muutamasta metristä noin 20 metriin ja ovat ympyrän muotoisista harjanteista mutkitteleviin selänteisiin. Muodostuma-alueiden reunamilla yleensä on reunamoreeneja (Lindqvist, 2020). Ruotsin puolen Veiki-moreenien nimi tulee moreenien sijaintipaikasta, Veiki. Veiki-moreeneja on tutkittu kohtalaisen paljon ja niille on esitetty montaa syntyteoriaa.

Hoppen (1952) tekemien stratigrafisten arviointien mukaan Veiki-moreenit olisivat syntyneet subglasiaalisissa olosuhteissa, koska moreeniaineksessa olevat kivet ovat yhden-suuntaisia ulkorinteen vieton suhteen. Kummuissa on havaittu todisteita myös drumlinisaatiosta, joka tarkoittaa sitä, että jäätikön on ollut pakko virrata Veiki-moreenien yli. Siis moreenimuodostuma on pitänyt syntyä joko valumisen tai jäätikön puskemisen aikana.

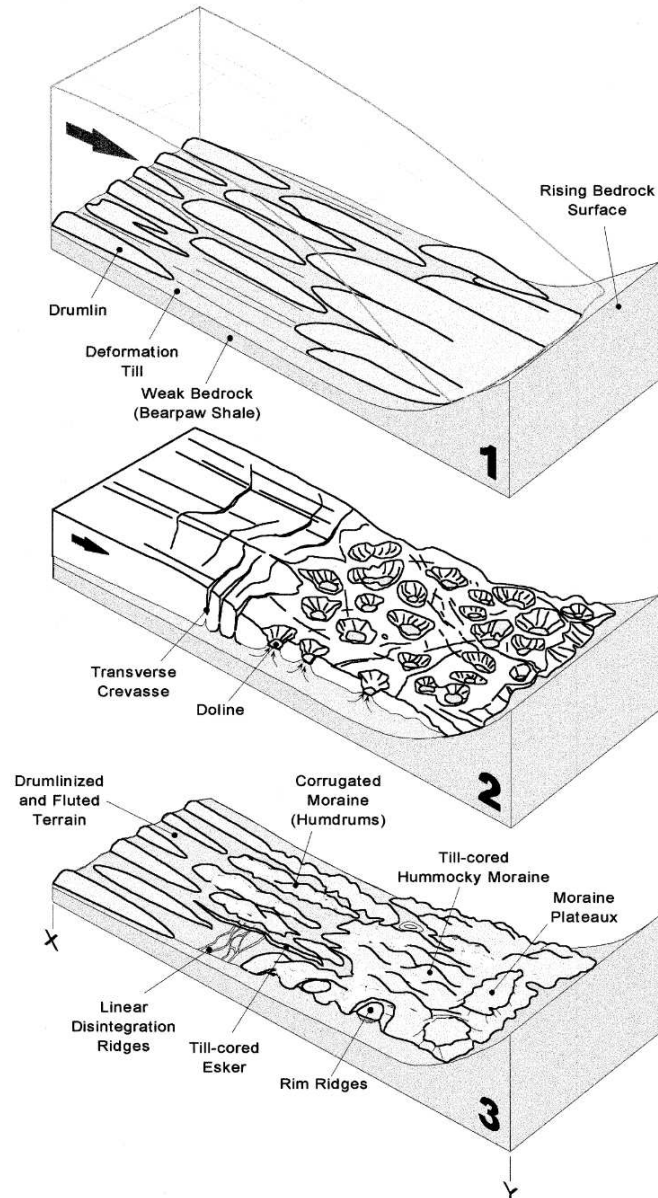
Minell (1979) puolestaan pitää teorianaan deglasiaatiota. Veiki-moreenit ovat viimeisimpään deglasiaatioon liittyviä supraglasiaalisia moreenimuodostumia, jotka olisivat hänen mukaansa syntyneet jäätikön pinnalle kerääntyneestä moreeniaineksesta, ablaatiomoreenista, sen virratessa ja kerrostuessa kuolleen jään vesialtaisiin. Rengasmainen muoto tulee altaiden reunoista, minne moreeniaines on joutunut tai pudonnut (Lagerbäck 1988).

Lagerbäckin (1988) teorian mukaan Lainion Veiki-moreenit ovat syntyneet varhais-Veiksel-kaudella, viimeisimmän jääkauden aikaan. Hänen mukaansa tämän todistaa orgaaninen aines, jota löytyy useista kummuista, joita löytyy myöhäis-Veikselkauden moreeni-
peitteen alta. Orgaanisen aineksen radiohiiliajoitus määrittelee ne yli 45 000 vuoden ikäiksi ja luminesenssijoituksella moreenikerrostumat Kortejärvellä olisivat noin 37 000–42 000 vuotta vanhoja (Lindqvist, 2020).

3.3 Doughnut-moreenit

Doughnut- eli donitsimoreeneja (engl. Doughnut moraine) löytyy esimerkiksi Kanadan Albertan pohjoisosista. Ne ovat Pohjois-Amerikan mannerjäätikön synnyttämiä kumpumoreenin erityismuotoja. Kumpumoreenimuodot vaihtelevat 1–2 metrin korkuisista, lähes huomaamattomista pohjamoreenivalleista (ground moraine) korkeampiin 25 metriin kumpuihin. Moreenikummut ovat enemmän tai vähemmän suuntautuneita, kuten esimerkiksi pyykkilautamoreenit ovat poikittaisia jäätikön kulkusuuntaan nähden (Eyles ym., 1999). Keskimantereen kumpumoreenit ovat kuolleen jään tuotosta, missä sulavan jään sisällä ja pinnalla oleva maa-aines on vajonnut maan pinnalle (Parizek, 1969). Rengasmaisten muodostumien syynä on supraglasiaalisen aineksen painuminen ja kerääntyminen kuolleessa jäässä oleviin reikiin ja niiden sivuseinämiin (Kuva 5). Donitsimoreenit

ovat keskeltä reunoja myöten täynnä järvisedimenttejä, kun jäätikö virrannut yli kuljettamansa aineksen kanssa (Eyles ym., 1999).



Kuva 5. Pohjois-Amerikan kumpumoreeni mallinnuskuva (hummocky moraine) Eyles ym. (1999) mukaan.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT

Pääasiallisesti moreenien tutkiminen tapahtuu stratigrafian, maastokartoituksen ja LiDAR-tulkinnan (lyhenne engl. light detection and ranging) avulla. Korkeusmalleista (LiDAR) ja karttojen avulla voidaan päätellä jään dynamiikkaa – minne, miten ja millä tavalla se on liikkunut. Jään aiheuttamat isoimmat viirut kallioperään, moreenimuodostumista drumliinit ja flutingit ovat olleet suurimmat indikaattorit, joista nähdään kvartaari-kauden tapahtumia. (Sarala ym., 2020)

4.1 Glasiaaliympäristöjen tutkiminen

Koska tiedetään, että Suomi on ollut jäätikön peittämää ja muokkaamaa maaperää, on alettu mallintaa sulaneita mannerjäätiköitä ja niiden glasiaalidynamiikkaa. Mannerjäätiköiden rekonstruktion ansiosta saadaan analogista tietoa nyt oleville mannerjäätiköille, Grönlannille ja Antarktikselle, jotka sulavat ilmaston lämpenemisen vuoksi. Metsien, soiden ja jokien ympäröivät jäätikkösyntyiset maisemat antavat geologista tietoa globaaliossa mielessä. (Tuunainen ym., 2021)

Maaperän tutkimus onnistuu erilaisten leikkausten avulla, esimerkiksi valmiiksi kaiveutuissa sora- ja maanontuissa tai porausten kautta. Lisäksi geofysiikassa on omat tutkimusmenetelmänsä. Onnistuneilta monttuleikkauksilta tai muista tutkimusmittauksista saadut kattavat tulokset voivat johtaa siihen, että maaperää saadaan 3D-mallinnettua erilaisilla ohjelmistoilla.

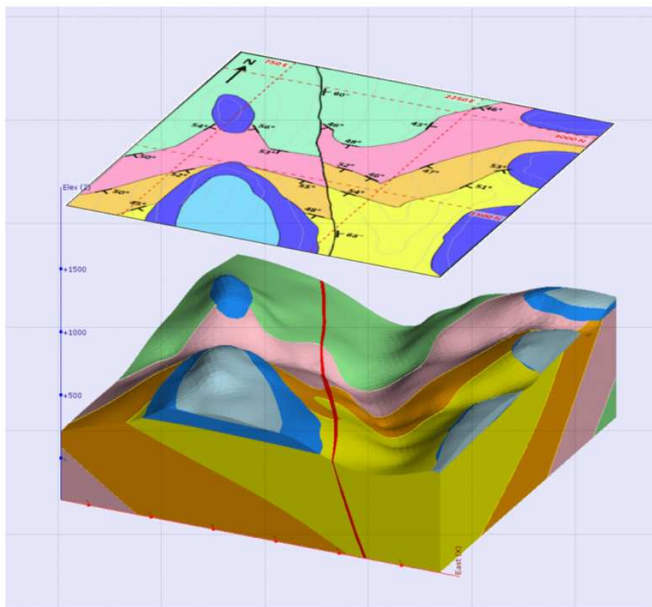
4.2 Karttaohjelmat

Karttaohjelmat ja karttakuvat ovat geofysiikan puolelta tuttua monessa projektissa. Ne auttavat tutkimusta paikan päällä ennen, siinä hetkessä ja sen jälkeen tulosten päättelyssä. Usein käytetään erilaisia GIS-ohjelmistoja (*geographical information system*), paikkatietojärjestelmiä, missä käytetään, tuotetaan, muokataan ja tallennetaan maantieteelliseen paikkaan sidottua tietoa matemaattisesti ja tilastotieteellisesti (funktioina).

Maastokartoista on helppoa lähteä liikkeelle, koska tiedetään mistä haetaan ja mitä haetaan. Maastokarttojen korkeuskäyristä nähdään jo myös suoraan, missä on minkäkinlaista maastoa, ja voidaan verrata sitä muihin karttoihin tai kuviin. Maastokartat myös ovat pakollinen varuste kentällä, kun etsitään jotain ja merkitään paikkoja. Nykyaikana myös GPS-laitteet ovat käytössä tätä varten.

Ilmakuvien avulla voidaan lähteä siitä, että kartoitetaan ja rajataan mielenkiintoisimmat vastaantulevat paikat, jotka ovat helposti maaperägeologisesti tunnistettavissa. Rajatuista alueista tehdään tarvittavat maastotyöt ottaen huomioon mahdolliset tutkittavat leikkaukset maaperästä sekä talvella kairaukset. Ilmakuvistakin voidaan tällöin mallintaa tietoa yleiskartalle, että missä on mitäkin (Johansson & Kujansuu, 2005).

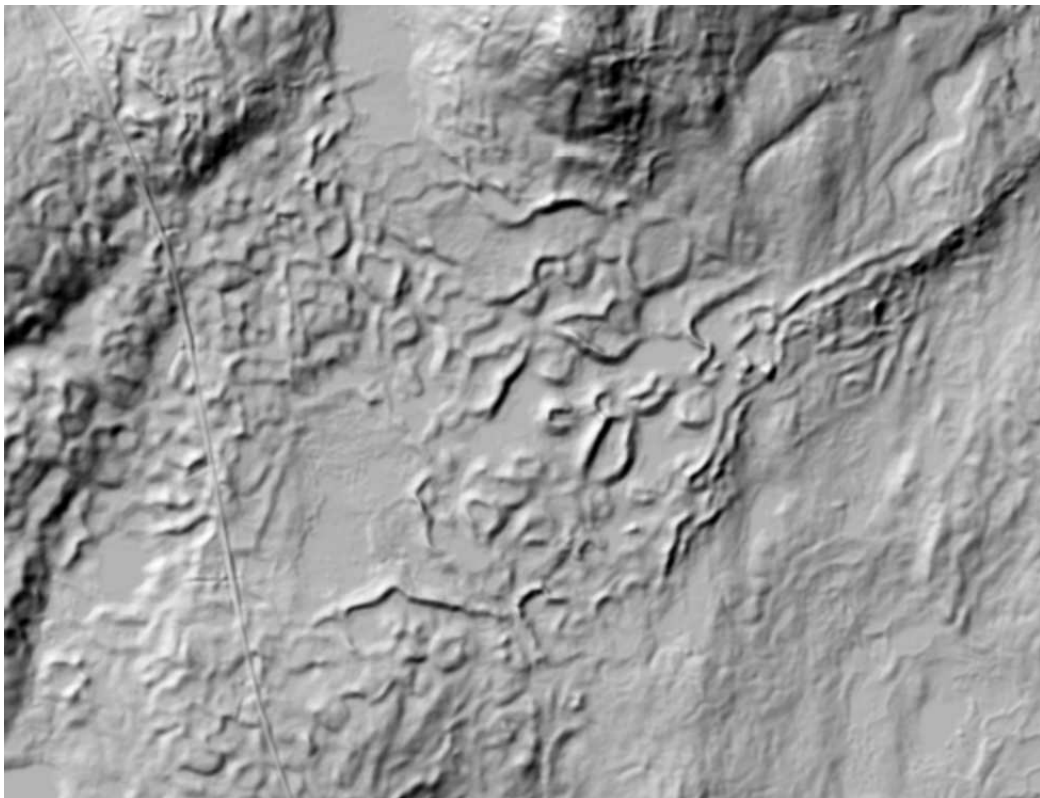
Paikkatieto-ohjelmistojen käyttö on arkipäivää tietokoneteknologian parissa. GIS-ohjelmistojen käyttäminen perustuu paikkatietojen ja numeeristen aineistojen käsittelyyn. Pääsy näihin ohjelmistoihin on kenellä tahansa riippuen vähän ohjelmistosta (esim. ArcGIS, GRASS, QGIS, GMT), eli toisiin ohjelmiin tarvitaan lisenssit ja toisiin ei, mutta yksittäisellä tutkijalla on käytännössä kaikki mahdollisuudet tarkastella, analysoida ja muokata haluamaansa paikkaa. (Salonen, 2008)



Kuva 6. GIS-ohjelmiston avulla 2D-kartasta muokattu 3D geologinen malli. (*3D geological mapping | From 2D GIS maps to 3D modelling - Seequent, 2023*)

4.3 LiDAR-kaukokartoitus

LiDAR-kaukokartoitus on visuaalinen tutkimustapa, vinovalovarjostus (Kuva 6). Valonlähteellä maaperään syötetään laserpulseja halutun tuloksen mukaan joko kaakonsuuntaisesti tai useimmin luoteeseen, jolloin saadaan realistinen kolmiulotteinen mallinnus tietyn alueen topografiasta. Valonlähteen sijoittamalla kaakon suuntaan tulos tulee päinvastaisena, moreenimuodostumien tutkimisessa mahdolliset reunamuodostumat, drumliinit, kummut ja ynnä muut näkyvät kuoppina ja painaumina mallinuksessa. LiDAR-menetelmä avaa mahdollisuuksia nähdä uusia pinnanmuotoja maastossa ja se on todella käyttökelpoinen aineisto, koska kartoissa suodatetaan pinnan yläpuolinen kasvillisuus pois. (Seitsonen, 2019)



Kuva 7. Pulju-moreenit rinnevarjostuskarttapohjalla Puljutunturin lähistöltä. Karttakuva: (Paikkatietoikkuna, 2023)

5. YHTEENVETO

Kumpumoreeni on yleisnimitys erilaisille kumpumaisille moreenimuodostumille, joita voi syntyä aktiivisen ja passiivisen jäätikön alla tai jäätikön reunaosassa. Niiden syntymekanismit vaihtelevat subglasiaalista supraglasiaaliin. Tässä tutkielmassa keskityttiin erityisesti kumpumoreenien rengasmaisiin moreenimuodostumiin, niiden esiintymiseen ja niiden syntymekanismeihin. Edelleen jää avoimia kysymyksiä, kuten miksi samalla mantereellakin toiset ympyrän muotoiset moreenimuodostumat ovat suurempia kuin toiset. Tätä kuitenkin tutkitaan, koska tutkimusmenetelmien kehittyminen on todella iso harppaus tieteellisellä kentällä myös, ja koska Suomessakin voidaan vaikuttaa ihan kansainväliseen ilmastotutkimukseen ja kestävään kehitykseen.

Lähdeluettelo

- Aario, R. 1977. Associations of flutings, drumlins, hummocks and transverse ridges. *GeoJournal* 1:65–72.
- Aario, R. 1994. Lapin omaleimaiset moreenimuodostumat, Puljumoreeni ja Sevettimoreeni. *Terra* 106:3, 258-266.
- Aario, R., Peuraniemi, V. 1992. Glacial dispersal of till constituents in morainic landforms of different types. *Geomorphology* 6, 9–25.
- 3D geological mapping | From 2D GIS maps to 3D modelling - Seequent. (2023, toukokuuta 23). <https://www.seequent.com/3d-geological-mapping-from-2d-gis-maps-to-3d-modelling/>
- 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)
- Heikkilä, O. 2018. Moreenien geotekniset ominaisuudet Suomessa. Oulun Yliopisto.
- Johansson, T. P., & Kujansuu, R. 2005. Pohjois-Suomen maaperä. Geologian tutkimuskeskus. www.gtk.fi
- Johansson, P. & Nenonen, J. 1991. Till stratigraphical studies in the Pulju area in northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 12, 131-134.
- Kemiläinen, H. 1976. Raportti geomorfologisten ja kasvistollisten tekijöiden vaikutuksesta pu-rosedimentteihin. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/064_4412_4424_77.pdf
- Korkala, H.-M. 2020. Pulju-moreenit Suomen Keski- ja Itä-Lapissa. Oulun yliopisto.
- Kujansuu, R. 1967. On the deglaciation of western Finnish Lapland. *Bulletin de la Commission Geologique de Finlande* 232, 98 s.
- Lindqvist, M. 2020. Kortejärvi Veiki moraine plateau – a key to the glacial history of northern Sweden [The Arctic University of Norway]. <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/18227/thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lundqvist, J. 1969. Problems of the so-called Rogen moraine. *Sver. Geol. Unders.* 648, 32 s.
- Mäkinen, K., Palmu, J.-P., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T., & Jarva, J. 2007. Valtakunnallisesti arvokkaat moreenimuodostumat, 14 s. Ympäristöministeriö.
- Ojala, A. E. K. (toim.), Alestalo, M., Tuomenvirta, H., Lunkka, J. P., Forsstöm, P.-L., Mäkilä, M., & Pajunen, H. 2007. Jääkausiajan muuttuva ilmasto ja ympäristö. *Opas* 52, 13–16.
- Paikkatietoikkuna. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/> (viitattu 23.5.2023).
- Palmu, J.-P. 1999. Suomen ympäristö moreenimuodostumien inventointis. Ympäristöministeriö, Alueidenkäytön osasto, 1 s.

- Rauhaniemi, T., Jarva, J., & Palmu, J.-P. 2004. Moreenimuodostumien inventointiprojekti Etelä-Pohjanmaalla: Geologia ja aluerajaukset. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/p31_4_043.pdf
- Salonen, S. 2008. Paikkatieto-ohjelmistoja geologiseen tutkimukseen. *Geologi* 60, 185–189.
- Sarala, P. 2003. Ribbed-moreenit – jäätikön liikesuunnan poikittaiset indikaattorit. Summary: Ribbed moraines – transverse indicators of the ice flow direction. *Geologi* 55 (9-10), 250-253.
- Sarala, P. (toim.), Kaislo, L., Korkala, H.-M. & Raatikainen, M. 2020. Maaperämuotojen ja rakenteiden LIDAR-pohjainen tulkinta malminetsinnän tukena Keski-Lapissa – Loppuraportti. Oulun yliopisto, RES TERRAE, Ser. B, 21, 17 s. + 3 liitettä.
- Seitsonen, O. 2019. Lidar-kaukokartoitus arkeologien apuna. *Positio*, 19–20. <https://helda.helsinki.fi/>
- Soukka, T. 2021. Lapin platinaryhmän mineraalihippujen koostumus ja synty. Oulun yliopisto.
- Tuunainen, A., Palmu, J.-P., Putkinen, S., Valkama, M., & Väänänen, T. 2021. Glasiaalidynamiikkaa kaikille – uudistunutta ja avointa maaperätietoa voi soveltaa moniin käyttötarpeisiin. Geologian tutkimuskeskus. <https://www.gtk.fi/ajankohtaista/glasiaalidynamiikkaa-kaikille-uudistunutta-ja-avointa-maaperatietoa-voi-soveltaa-moniin-kayttotarpeisiin/> (viitattu 15.5.2023).