

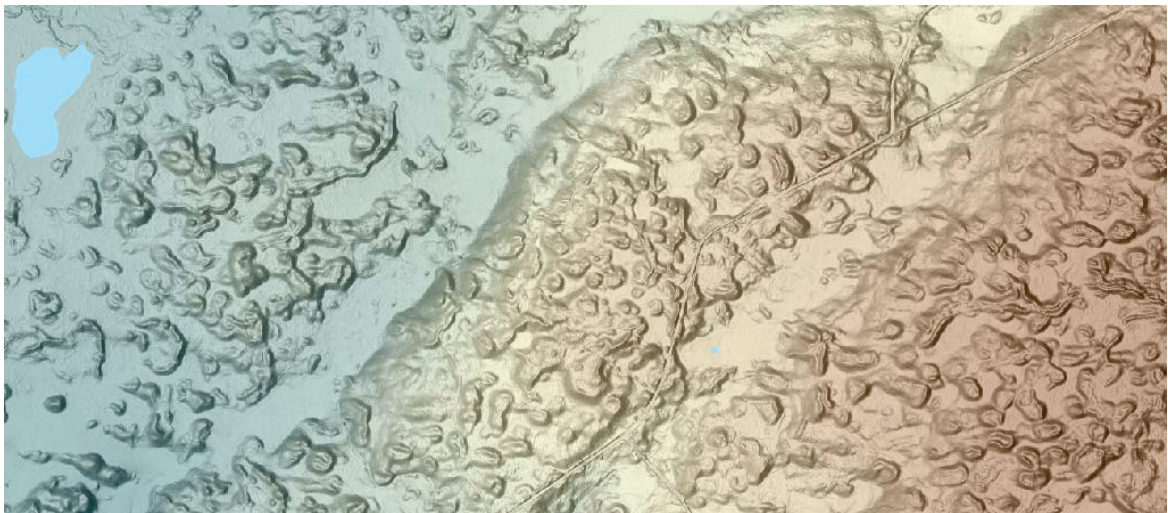
# RES TERRAE

Publications in Geosciences, University of Oulu  
Oulun yliopiston geotieteiden julkaisuja

Ser. B, No. 21  
2020

Pertti Sarala (toim.), Linnea Kaislo, Heta-Maria Korkala ja  
Markus Raatikainen

Maaperämuotojen ja rakenteiden LIDAR-pohjainen tulkinta malminetsinnän  
tukena Keski-Lapissa  
Loppuraportti



Pertti Sarala (toim.), Linnea Kaislo, Heta-Maria Korkala ja Markus Raatikainen

Maaperämuotojen ja rakenteiden LIDAR-pohjainen tulkinta malminetsinnän tukena Keski-Lapissa  
Loppuraportti

Res Terrae, Ser. B, No. 21, OULU, 2020



**RES TERRAE** - Publications in Geosciences, University of Oulu,  
Oulun yliopiston geotieteiden julkaisuja

Ser. A, Contributions, Ser. B, Raportteja - Reports, Ser. C, Opetusjulkaisuja -  
Teaching material

Ser. A	ISSN 0358-2477 (print)
Ser. A	ISSN 2489-7957 (online)
Ser. B	ISSN 0358-2485 (print)
Ser. B	ISSN 2736-9552 (online)
Ser. C	ISSN 0358-2493 (print)
Ser. B, No. 21	ISBN 978-952-62- 2837-2 (print)
Ser. B, No. 21	ISBN 978-952-62- 2838-9 (online)

Editorial board - Toimituskunta:  
Dr. Kirsi Luolavirta, Päätoimittaja - Editor-in-Chief

Julkaisu ja levitys - Published and distributed by:  
Oulu Mining School  
P.O. Box 3000, 90014 University of Oulu, Finland

E-mail: [kirsi.luolavirta@oulu.fi](mailto:kirsi.luolavirta@oulu.fi)  
www: <http://www.oulu.fi/resterr/>



*Kansikuva:*

Pulju-moreenimorfologiaa Sallan alueella LiDAR-korkeusmallissa.

Maaperämuotojen ja rakenteiden LIDAR-pohjainen  
tulkinta malminetsinnän tukena Keski-Lapissa  
Loppuraportti

Pertti Sarala (toim.), Linnea Kaislo, Heta-Maria Korkala ja  
Markus Raatikainen

Tämä dokumentti on loppuraportti K.H. Renlundin Säätiön rahoittamaan  
projektiin ”*Maaperämuotojen ja rakenteiden LIDAR-pohjainen tulkinta  
malminetsinnän tukena Keski-Lapin jäänjakajavyöhykkeessä*”.

*Viittaussuositus:*

Sarala, P. (toim.), Kaislo, L., Korkala, H.-M. ja Raatikainen, M., 2020.  
Maaperämuotojen ja rakenteiden LIDAR-pohjainen tulkinta malminetsinnän tukena  
Keski-Lapissa – Loppuraportti. Oulun yliopisto, RES TERRAE, Ser. B, No. 21, 17 s. +  
3 liitettä.

Kartta-aineistot (maastotietokanta ja LiDAR) © Maanmittauslaitos, avoin aineisto

## Sisällysluettelo

Johdanto .....	1
Kartoitusprojektin tulokset.....	3
Glasiaalilineaatiot.....	3
Moreenimuodostumat .....	6
Glasifluviaaliset muodostumat.....	8
Kallioperän rakenteita ja muotoja .....	9
Tor-muodostumat ja niihin liittyvät rapaumat .....	13
Kenttäosuus .....	14
Yhteenvedo .....	17
Projektin tulosten esittely ja julkaiseminen .....	19
Kiitokset.....	20
Lähteet.....	20

## Liitteet/erillisraportit

Linnea Kaislo: Kalliomuodot, Tor-muodostumat, glasifluviaaliset muodostumat sekä glasiaalilineaatiot LiDAR-pohjaisessa karttatulkinnassa

Heta-Maria Korkala: LiDAR-raportti 2018

Markus Raatikainen: Raportti Kittilä-Sodankylä – Maaperämuotojen ja -rakenteiden LiDAR pohjainen tulkinta malminetsinnän tukena

## Johdanto

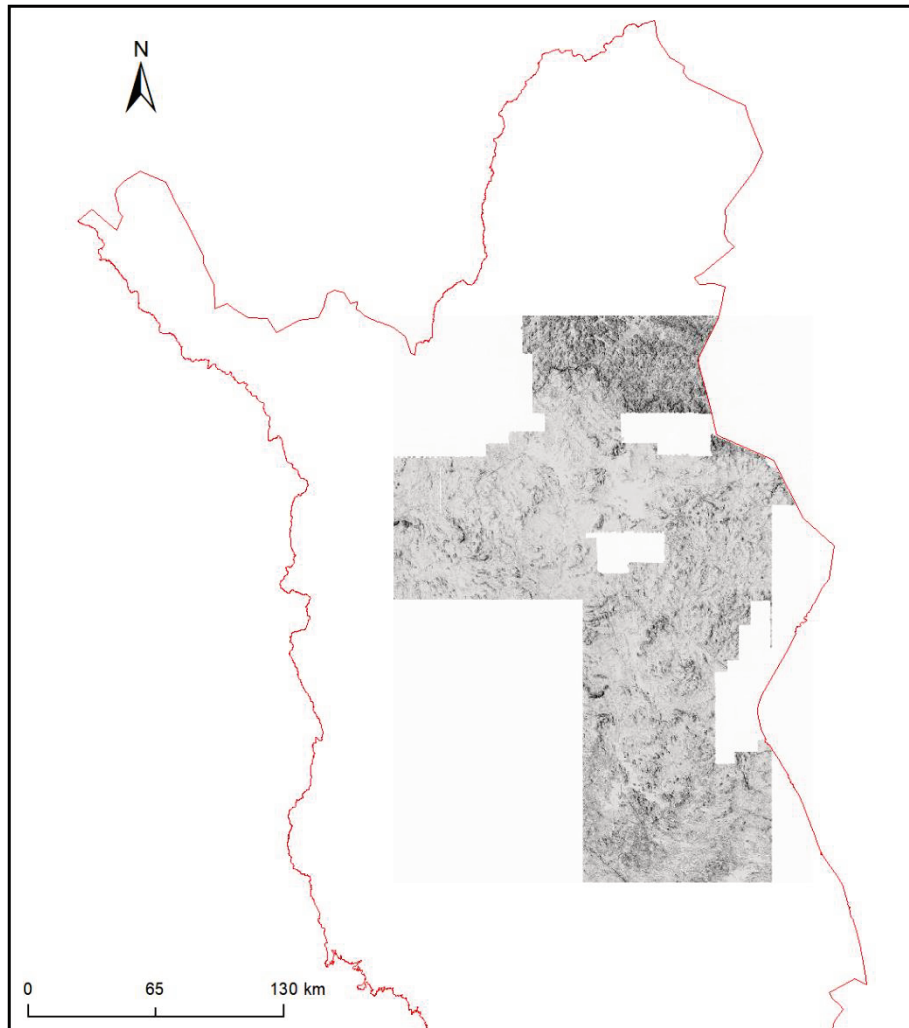
LiDAR-pohjainen (Light Detection And Ranging) maaperämuodostumien kartoitus ja tulkinta ovat muuttaneet geologisen kartoituksen luonnetta merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana (Ojala ja Sarala, 2017). Digitaalisuus, korkea resoluutio, varjostusten ja niiden suuntien helppo muunneltavuus sekä kasvipeitteen suodattaminen tekevät paikkatietosidonnaisesta LiDAR-datasta ylivoimaisen aineiston geologisten muodostumien ja rakenteiden tunnistamiselle. Aineiston hyvä kattavuus Suomessa on myös mahdollistanut LiDAR:n käytön valtakunnallisena maaperämuotojen ja erityisesti jäätikkösyntyisten muodostumien kartoituksessa (Putkinen et al., 2017).

K.H. Renlundin säätiön rahoittamassa, Oulun yliopiston projektissa ”Maaperämuotojen ja rakenteiden LiDAR-pohjainen tulkinta malminetsinnän tukena Keski-Lapin jäänjakajavyöhykkeessä” (24302814) oli tarkoituksena kartoittaa glasigeenisten muodostumien esiintymistä ja selvittää LiDAR-aineiston käyttöä kallioperän rakenteiden tunnistamisessa maapeitteen alta Keski- ja Itä-Lapissa. Kartoitettavia muotoja olivat jäätikön liikkeen synnyttämät lineaatiot, erilaiset moreenimuodostumat sekä glasifluvialiset muodostumat. Näiden lisäksi pyrittiin kartoittamaan ja ylipäänsä tunnistamaan erilaisia kallioperästä aiheutuvia muodostumatyyppisiä ja havaitsemaan kallioperän rakenteita maaperäkerrostumien alta. LiDAR-aineiston tukena käytettiin kallioperäkartoja ja havaintoaineistoja sekä geofysikaalisiin mittauksiin perustuvia aineistoja.

Maaperämuodostumien kartoituksessa käytettiin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) luomaa tietokanta- ja luokitusmallia (Putkinen et al., 2017). Projektissa tarvittavat aineistot (geologiset tausta-aineistot ja GTK:n muokkaama Maanmittauslaitoksen LiDAR-data) sekä perusteet ja ohjeistukset luokituksen käytölle saatiin myös GTK:sta. Tällä varmistettiin kartoitusaineiston yhdenmukaisuus valtakunnallisen kartoitustyön kanssa ja mahdollistettiin projektin tulosten liittäminen osaksi GTK:n maaperämuodostumatietokantaa. Koska tässä projektissa kartoitettiin myös kallioperämuotoja ja -rakenteita, joiden tiedonkeruulle ei vielä ollut luokitusta GTK:n tietokantarakenteessa, niin tätä varten luotiin oma luokitus kartoituksen aikana (ks. Korkalan erillisraportti).



Projekti toteutettiin Oulun yliopiston kaivannaisalan yksikössä professori Pertti Saralan vetämänä vuosien 2018-2019 aikana. Projektiin palkattiin kolme kaivannaisalan yksikön opiskelijaa, Linnea Kaislo, Heta-Maria Korkala ja Markus Raatikainen, jotka työskentelivät 15.5.-15.8.2018 välisenä aikana päätyönään muodostuma- ja rakennekartoitus Keski- ja Itä-Lapissa. Kartoitusalue (Kuva 1) valikoitui tuohon aikaan olemassa olleen LiDAR-aineiston perusteella painopisteenä Keski-Lappi ja sen ympäristö. Alue on malminetsinnällisesti erittäin potentiaalinen ja aktiivinen, ja tuolta alueelta ei ollut vielä LiDAR-kartoitusdataa olemassa. Muodostumien ja rakenteiden tulkinta tehtiin ArcGIS 10 -ohjelmistolla Oulun yliopistossa. Lisäksi elokuussa tehtiin muodostumien tarkistuksia ensin yhden viikon ajan Itä-Lapissa, Sallan suunnalla maaperäkartoituksen ja tutkimuskaivantojen avulla alueella tavattujen rengasmaisten moreenimuodostumien esiintymien, koostumuksen ja stratigrafian selvittämiseksi (ks. Korkalan erillisraportti). Toisella viikolla kierrettiin pohjoisempana Kittilän ja Sodankylän alueella tarkistamassa tulkintavaiheessa havaittuja mielenkiintoisia ja/tai epäselväksi jääneitä kohteita. Ekskursiolla perehdyttiin myös rapautumiskerrostumiin ja -jäänteisiin Vuotson alueella, Sodankylässä (ks. Kaislon erillisraportti). Lisäksi perehdyttiin kallioperässä LiDAR:lta havaittaviin siirroksiin sekä Kittilässä että Sodankylässä (ks. Raatikaisen erillisraportti).



Kuva 1: Kartoitusalueen sijainti Keski- ja Itä-Lapissa.

## **Kartoitusprojektin tulokset**

LiDAR-pohjaisessa muodostumakartoituksessa noudatettiin GTK:n kartoitusohjeita ja luokittelua glasifluviaalisista, glasiaalilineaatiosta ja moreenimuodostumista (Putkinen ym., 2017). Kalliokohteiden luokittelussa käytettiin projektin omaa jakoa, joka on kuvattu Korkalan erillisraportissa.

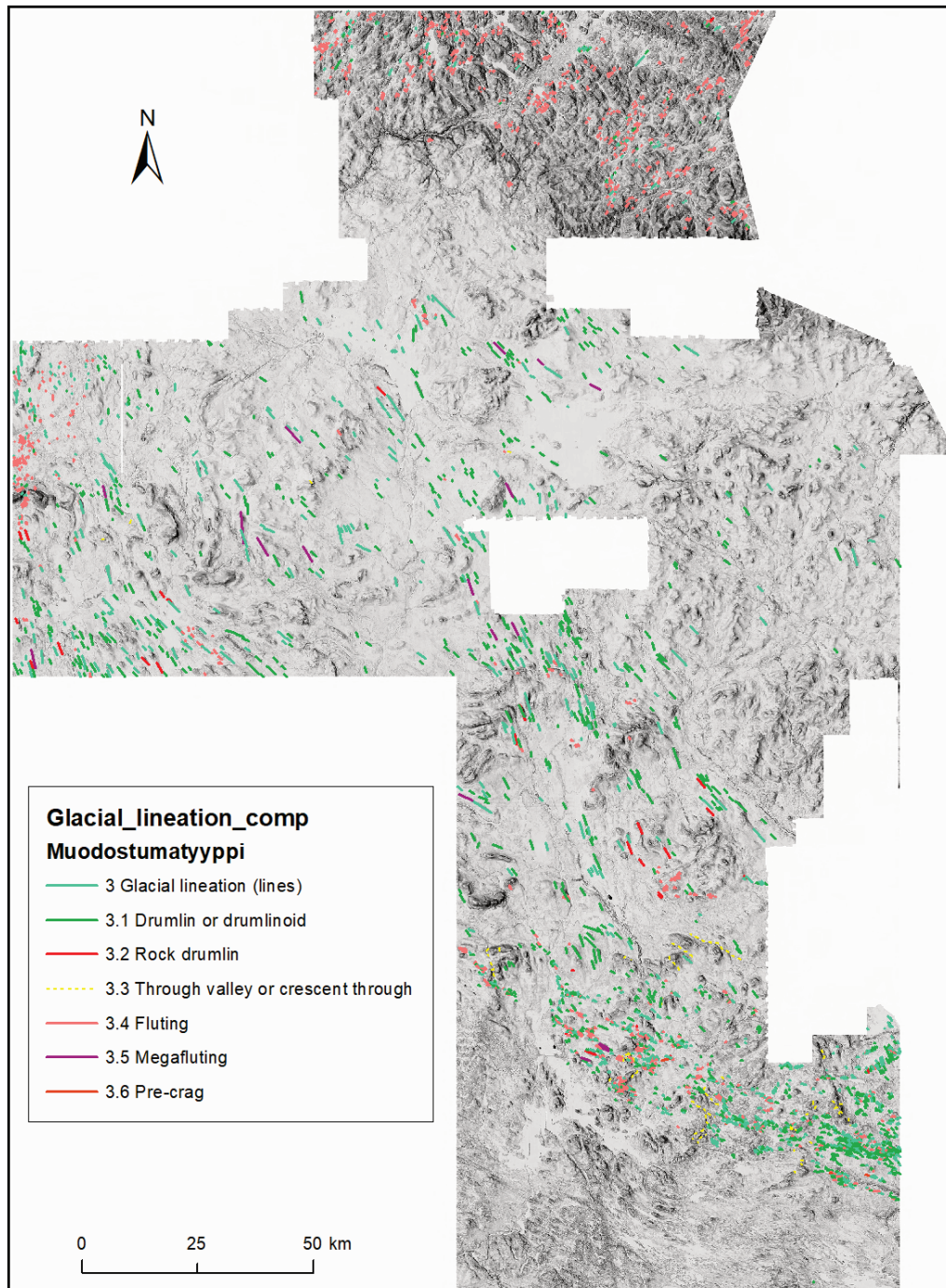
### **Glasiaalilineaatiot**

Taulukossa 1 on listattuna kartoitettujen lineaatioiden määrät ja kuvassa 2 voi nähdä kyseiset lineaatiot kartalla. Kapeiden ja matalien flutingien määrä on selkeästi suurin lineaatiomuodostumista, mikä on luonnollista niiden indikoidessa lyhytaikaisempaa

jäätikön liikettä ja moreenin kerrostumista. Jonkin verran mukana voi olla myös kalliorakenteista johtuvia muotoja varsinkin, jos ne sattuvat olemaan samassa linjassa jäätikön virtaussuunnan kanssa. Drumliinien määrä on myös kohtalaisen suuri johtuen aktiivisen Sallan kielekevirtauksen sijoittumisesta Salla-Savukoski-Sodankylä alueelle. Luokittelemattomien kohteiden kanssa yhteenlaskettuna lineaatioiden määrä nousee kartoitusalueella liki 4500 muodostumaan.

Taulukko 1: Yhteenveto kartoitetuista glasiaalilineaatioista, kuten drumliineista, flutingeista ja megaflutingeista.

3 Glacially lineated terrain (lines)	377+791
3.1 Drumlin	486+830
3.2 Rock Drumlin	24+6
3.3 Through valley and crescent through	4+38
3.4 Fluting	1371+500
3.5 Megafluting	14+5
3.6 Pre-crag	5
Yhteensä:	4451



Kuva 2: Kartoitusalueen glasiaalilineaatiot luokiteltuna eri tyyppeihin.

## Moreenimuodostumat

LiDAR-kartoituksessa käytettyyn moreenimuodostumaluokkaan kuuluvat erilaiset kumpumaiset moreenimuodostumat ja poikittain jäätikön liikesuuntaan sijoittuneet moreeniharjanteet. Tällaisia muodostumia syntyy jäätikön reunavyöhykkeessä sekä aktiivisen ja passiivisen jäätikön pohjassa eri etäisyyksillä jään reunasta. Näihin luokkiin kuuluvat esimerkiksi suuntautuneet reunamoreenit ja ribbed-moreenit sekä erilaiset kuolleen jään suuntautumattomat kumpumoreenit. Koska moreenikumpuja on usein vaikea rajata selkeästi toisistaan ja ne muodostavat laajoja kenttiä, joissa yksittäisiä muodostumia voi olla satoja tai jopa tuhansia, niin muodostumat esitetään usein miten muodostuma-alueina kartoituksen nopeuttamiseksi.

Taulukossa 2 on koottuna kartoituksessa havaitut moreenimuodostumat ja kuvassa 3 niiden esiintyminen kartalla.

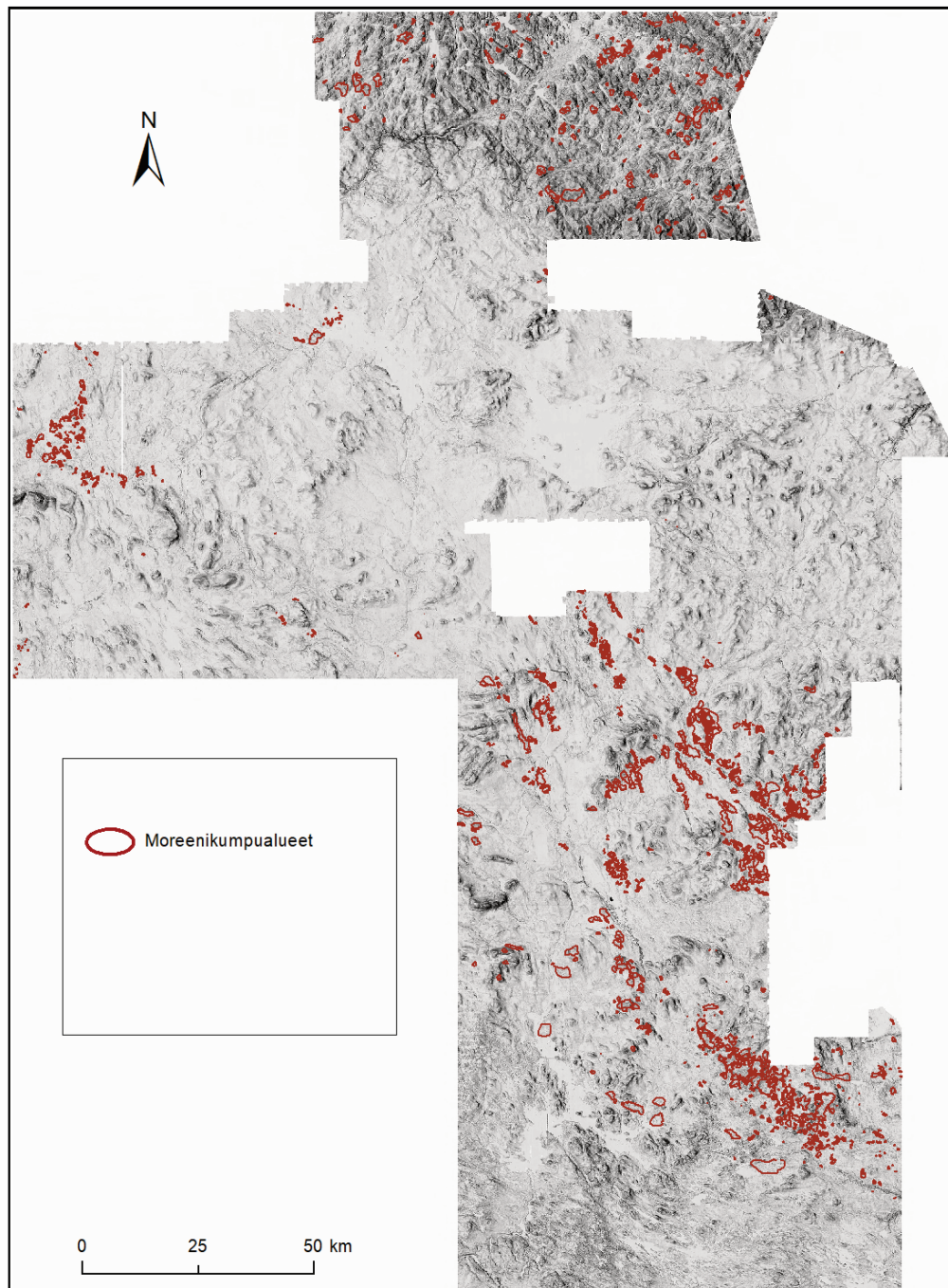
Taulukko 2: Yhteenveto kartoitetuista moreenimuodostumista.

4 Moraine	27+82
4.1 Ice marginal moraines (area)	1
4.3 Hummocky moraines (area)	137+27
4.3.2 Ice contact hummocky moraines (passive/partly active, proglacial/ice frontal) (area) (Pulju / Veiki)	424
4.4 Ribbed moraines (area)	85+19
4.4.1 Hummocky ribbed moraines (area)	6+2
4.4.2 Rogen moraines (area)	6
4.5 Hummocky moraine (single form)	581
4.6 Ribbed moraine (single form)	424
4.5.2 Ice contact hummocky moraine (passive ice/ proglacial) (single form) (Pulju / Veiki)	40
4.6.2 Rogen moraine (single form)	19
Yhteensä:	1880

Erytispiirteenä moreenimuodostumissa nousivat esille rengasmaiset moreenimuodostumat, joita tavattiin runsaasti Sallan seudulla ja jäänjakajavyöhykkeen pohjoispuolella Saariselän ympäristössä. Tämän tyyppisiä muodostumia on aiemmin



tavattu Suomessa vain Puljun alueella Kittilän pohjoisosissa ja Enontekiöllä ja siten tämän projektin tuloksena näistä muodostumista on saatu runsaasti sekä esiintymistietoa että stratigrafista tietoa aiempaa laajemmalla alueella. Tuloksista on kerrottu enemmän Korkalan erillisraportissa ja tulevassa, Oulun yliopistolle tehtävässä Pro gradu -opinnäytetyössä.



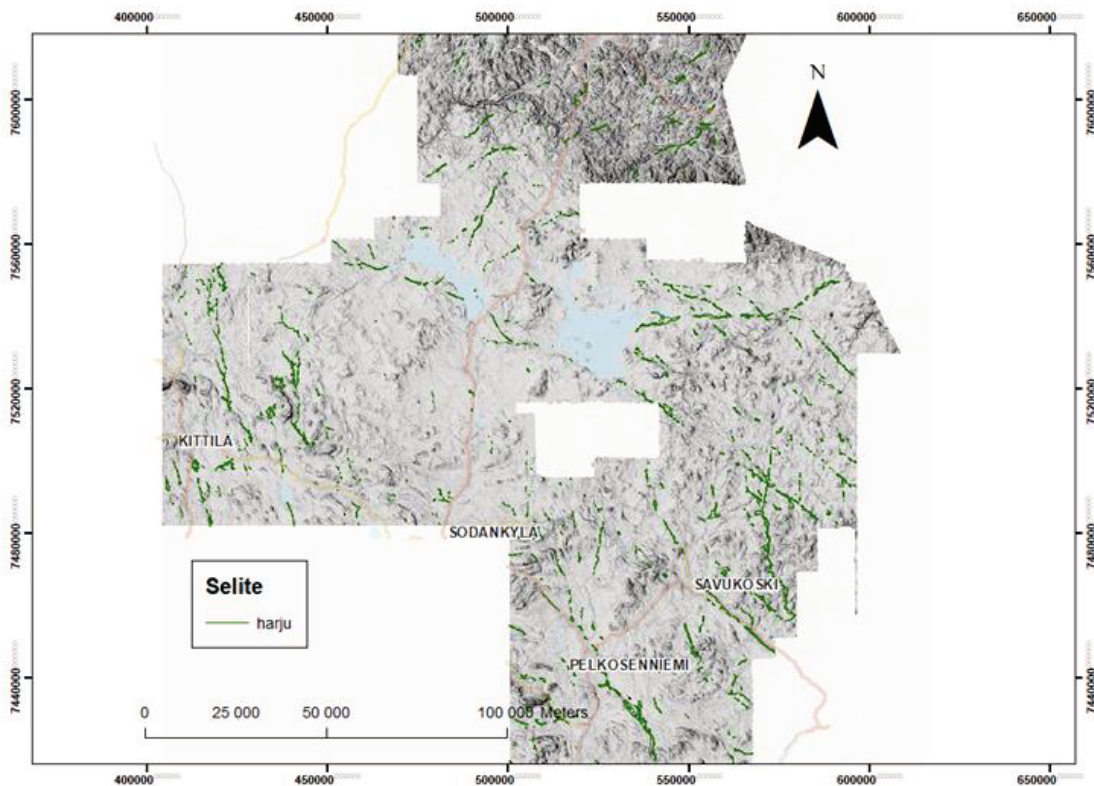
Kuva 3: Moreenimuodostumien sijainti tutkimusalueella.

## Glasifluviaaliset muodostumat

Taulukossa 3 on koottuna kartoitettujen glasifluviaalisten muodostumien määrät ja kuvassa 4 kaikki kartoitetut glasifluviaaliset muodostumat tutkimusalueella. On huomattavaa, että näiden muodostumatyyppien kartoitus ei ollut projektin pääpaino, mutta ne olennaisesti palvelevat Keski- ja Itä-Lapin jääajakajavyöhykkeen glasiaalidynamiikan ymmärtämistä ja osoittavat myös deglasiation loppuvaiheen jään massan merkittävää vähenemistä, mikä heijastuu sulamisvesien synnyttämien muodostumien vähenemisenä ja koon pienenemisenä.

Taulukko 3: Yhteenveto glasifluviaalisten muodostumien kartoitetuista määristä.

1 Glaciofluvial	304
1.1 Esker	1294
1.3.1 Delta	4
1.8.3 Supposed buried glaciofluvial deposit	6
Yhteensä:	1608



Kuva 4: Kaikki glasifluviaaliset muodostumat kartoitetulla alueella (vihreät muodostumat).

## Kallioperän rakenteita ja muotoja

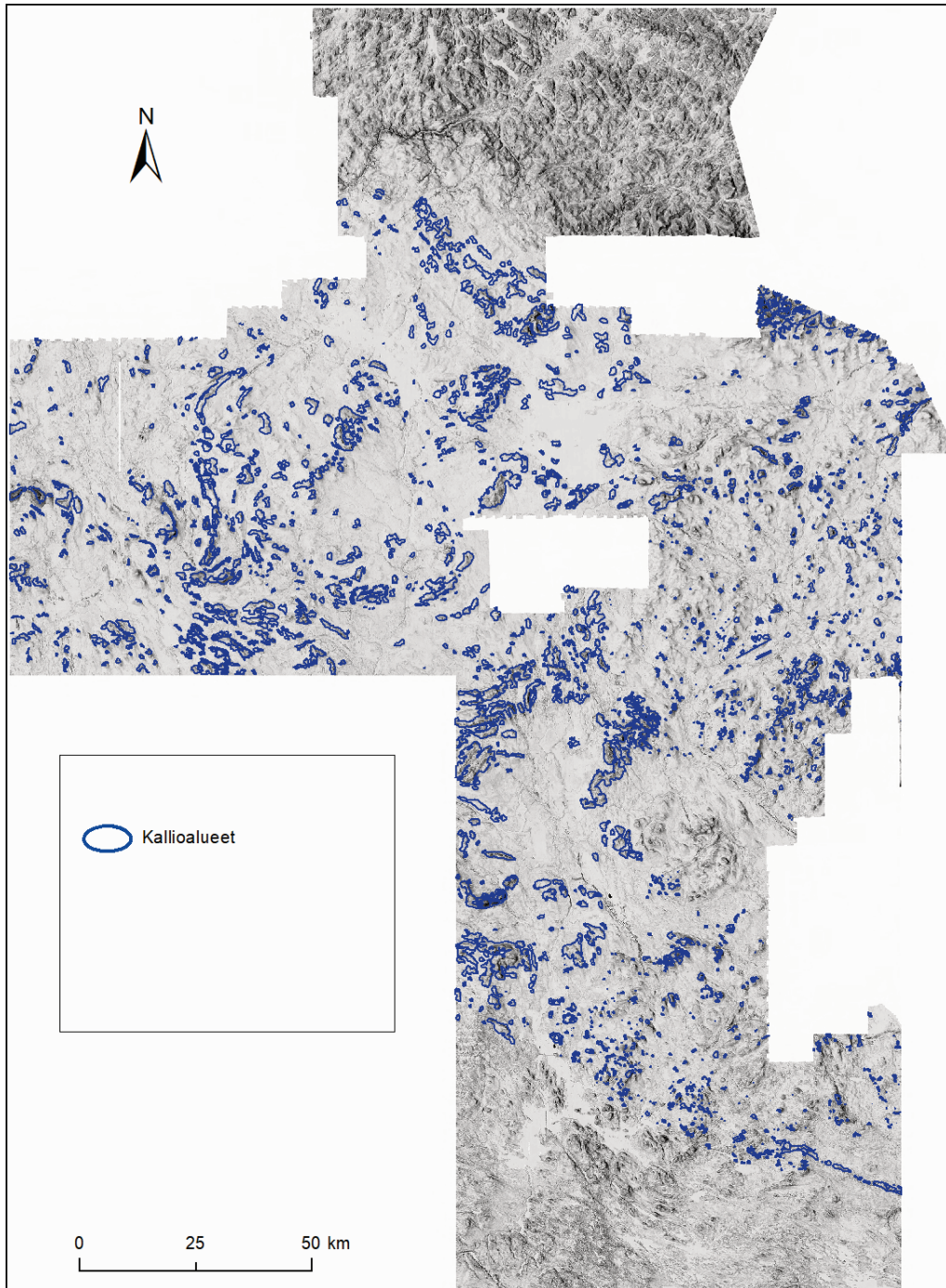
Projektin kannalta keskeinen aihe oli kallioperän rakenteiden kartoittaminen. Tutkimusalueelta kartoitettuja kallioperämuotoja on esitetty taulukossa 4 ja kuvassa 5.

Taulukko 4: Yhteenveto erilaisista kallioon liittyvistä muodostumista.

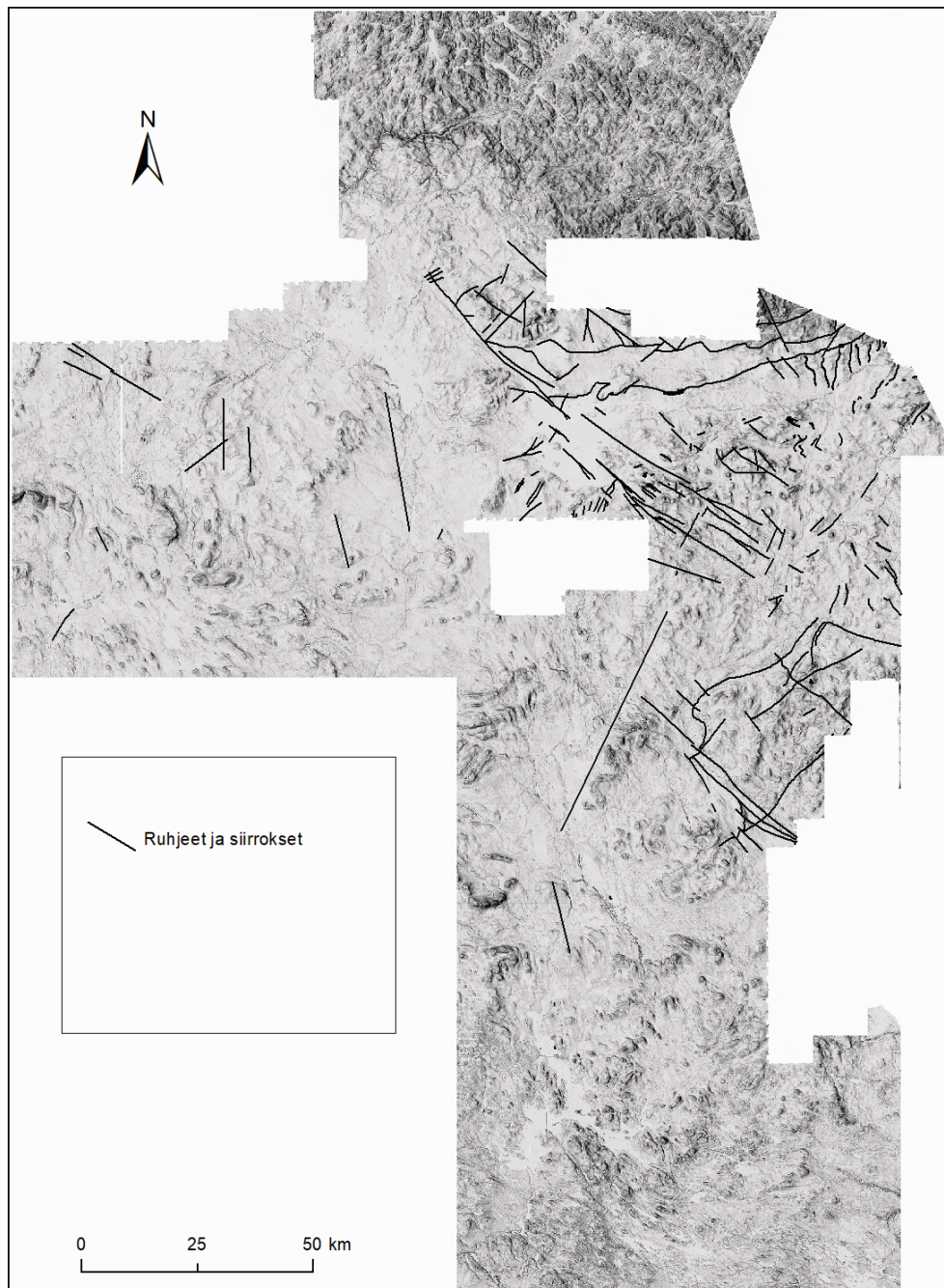
<b>Kalliomuoto</b>	<b>Määrä (kpl)</b>
8. Bedrock feature	332+330
8.1 Bedrock outcrop	1584+323
8.2 Bedrock, near surface	682+1868
8.3 Block fields	141
8.4 Glacial draw or crevasse	3+4
Faults	238

Tor-muodostumat	323
Graniittiset rapautumat	1868
Kalliomuodostumia	330
Kallion lineaatioita	685
Leikkaukset	4





Kuva 5: Kallio- ja ohuen moreenipeitteen alueiden esiintyminen Keski- ja Itä-Lapissa.



Kuva 6: Projektissa kartoitettujen kallioperän rakenteiden esiintyminen Keski- ja Itä-Lapissa.

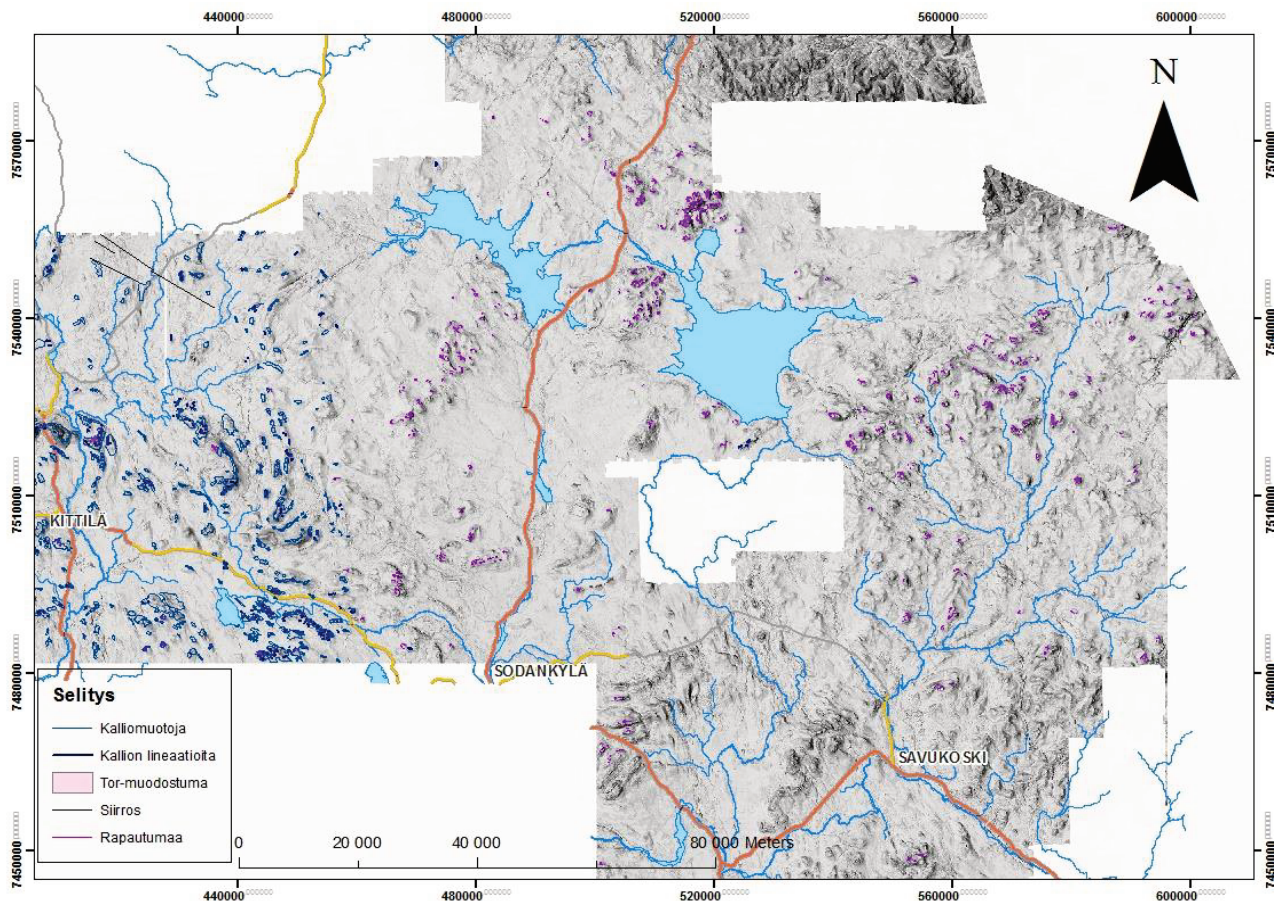
Usein miten Keski-Lapin vaarat ja tunturit ovat rakkakivikoiden ja ohuen moreenikerroksen verhoamia erityisesti lakiosistaan. Tällöin kallioperän rakenteet ja kivilajien vaihtelut näkyvät LiDAR-aineistossa selkeästi rosoisina ja teräväsärmäisinä muotoina (Kuva 5). Näissä tapauksissa kallioperästä johtuvat muodot on kuitenkin yleensä helppo tunnistaa esimerkiksi kallioperäkarttaa tai geofysikaalisia karttoja apuna käyttäen.



Mikäli kallioperän kivilajien kulku tai litologiset rakenteet ovat jäätikön liikesuunnan mukaisia, niin silloin tunnistaminen vaikeutuu ja monet muodot tulevat tulkituksi moreenimuodostumina (esim. fluting-muodostumina). Tämän vuoksi jäätikön liikesuuntien tuntemus ja kaikenlaisten kallioperästä kertovien kartta-aineistojen käyttö ovat ensiarvoisen tärkeitä muodostumatulkinnassa. Toisaalta kallioperän rakenteiden heijastuminen maapeitteen läpi on merkittävä tieto malminetsintätöiden suunnittelun kannalta, koska tällaisilla alueilla kalliopaljastumia on mahdollista havaita ja kallion pinta on tavoitettavissa helpoiten esim. tutkimuskaivantojen avulla.

Pitkät kallioperässä esiintyvät rakenteet, kuten siirrokset ja ruhjevyöhykkeet sekä post-glaciaalisiirrokset ovat LiDAR-aineistoissa kohtalaisen helppoja tunnistaa. Nämä ovat usein merkki vanhoista kallioperän rakenteista, joihin voi liittyä alkuaineiden rikastumista ja malmipotentialia (ks Raatikaisen erillisraportti). Esimerkiksi kuvan 7 pohjoisreunassa esiintyy useita pitkiä rakenteita, jotka indikoivat kallioperän vanhoja siirrosvyöhykkeitä. Usein jäätikön sulamisvedet vielä kuluttavat näistä rakenteista irtomaa-aineksen pois, jolloin kontrasti on terävämpi vinovalaistussa korkeusmallissa. Lisäksi jotkin kalliopaljastumat voivat olla holoseenikauden fluviaalisten prosessien paljastamia.

Keski-Lapin alueella esiintyy vielä Suomen olosuhteisiin nähden poikkeuksellisen laajoja pre-glaciaalisia rapautuma-alueita (Hall et al., 2015; Raatikainen, 2019), jotka näkyvät usein laajoina suoalueina tai sileinä, tasaisina pintoina alavilla kuivilla alueilla. Tällaisia on esim. laajat alavat alueet kuvan 7 itäosissa Sodankylän ja Porttipahdan välisellä alueella sekä Vuotson ympäristössä, tekojärvien pohjoispuolella. Näihin rapautumiin on todettu liittyvän kulta ja REE-malmipotentialia (mm. Sarapää & Sarala, 2013 ja Sarapää et al., 2013). Vanhoihin rapautumiin liittyy myös korkeilla paikoilla jäänjakajavyöhykkeessä esiintyvät Tor-muodostumat (kuva 7), joista seuraavassa kappaleessa lisää.



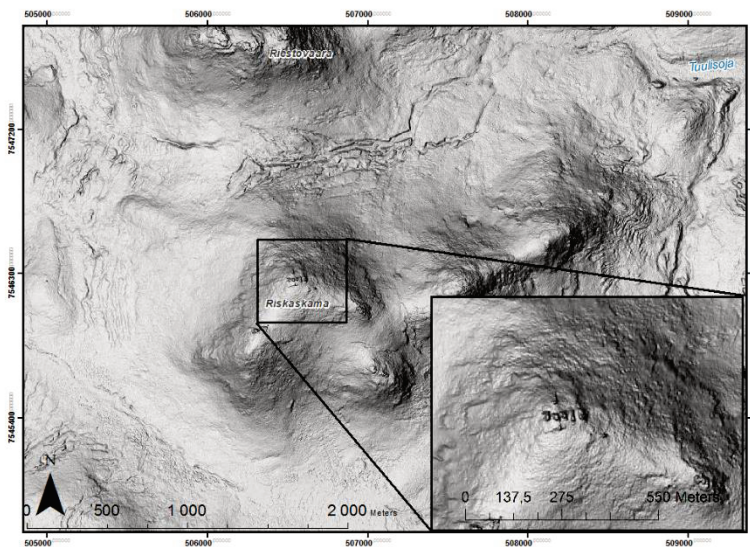
Kuva 7: Tor-muodostumien esiintymien Keski-Lapissa.

### Tor-muodostumat ja niihin liittyvät rapaumat

Tor-muodostumat ovat preglasiaalisia rapautumajäännöksiä, jotka tulevat esiin rapautuvan kallion kuluessa ympäriltä pois. Niitä tavataan erityisesti Lapin jääjakajavyöhykkeessä Sodankylän ja Savukosken alueilla (Johansson ja Kujansuu, 2005). Parhaiten tunnettuja tor-muodostumia lienevät Nattasien laella ja Vuotson eteläpuolen vaarojen (Riestovaara ja Riskaskama; kuva 8) päällä esiintyvät muodostumat. Tor-muodostumat ovat merkkejä heikosta glasiaalieroosiosta eli vähäisestä tai olemattomasta jäätikön liikkeestä. Yleensä näitä esiintyy graniittisilla kummuilla, koska graniitti on kestävä, mutta lohkeaa kuutiollisesti ja näin eroosion ja rapautumisen avulla syntyy pannukakkumaisia kerroksia.

Tämän projektin tuloksena Tor-muodostumia havaittiin kohtalaisen kattavasti koko Keski-Lapin alueella, viimeisimmässä jääjakajavyöhykkeessä. Kuvassa 7 on kuvattu kartalla sekä rapautuma-alueiden että Tor-muodostumien esiintymistä. Eniten Tor-muodostumia esiintyi Lokan tekojärven pohjois-, itä- ja eteläpuolella sekä Porttipahdan tekojärven lounaispuolella. Yksittäisen esiintymän koko vaihteli muutamasta metristä noin

kymmeneen metriin. Vaikka muodostumia löytyi pääasiassa kumpujen lakiosista, niin paikoin muodostumia tavattiin myös vaarojen etelä- ja itärinteiltä. Eroosion seurauksena rinteillä voi näkyä myös merkkejä kuutiollisesta rapautumisesta ennen Tor-muodostumien syntyä. Päällekkäisiä piparkakkuja muistuttava kuviointi on usein merkinä rapautumisen etenemisestä kohti tunturin tai vaaran ydintä. Kuvassa 8 on näkyvillä sekä rapautuvia rinteitä että Tor-muodostumien sijainti Riestovaaran ja Riskaskaman korkeimmilla huipuilla Vuotson kylän eteläpuolella, Sodankylän pohjoisosissa.

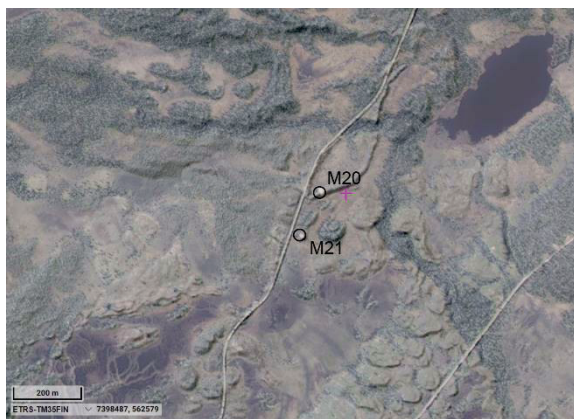
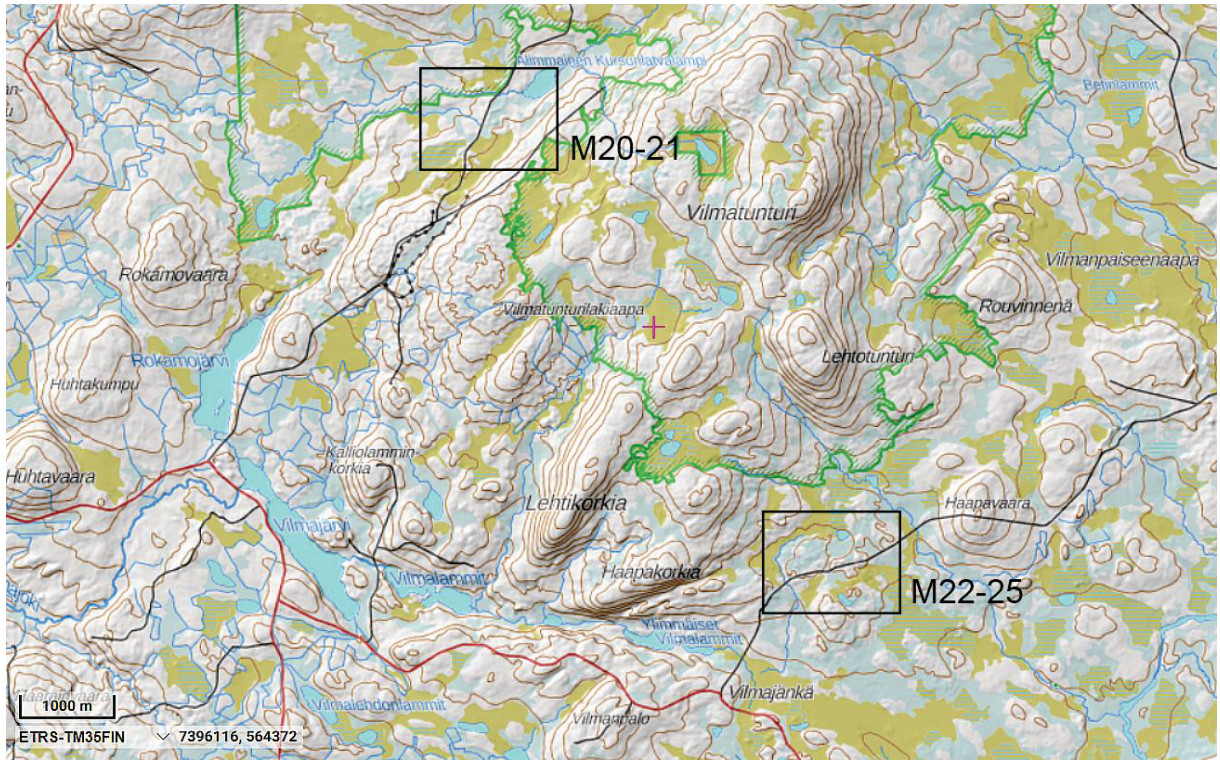


Kuva 8: Tor-muodostumia Riestovaaran ja Riskaskaman huipuilla sekä piparkakkumaisia eroosiorinteitä LiDAR-kuvissa.

## Kenttäosuus

Elokuun 2018 kahdella ensimmäisellä viikolla tehtiin kenttätutkimuksia LiDAR-pohjaisessa kartoituksessa esille nousseiden mielenkiintoisten muodostumatyyppien tarkemmaksi havainnoimiseksi. Ensimmäisen viikon aikana tutkimukset kohdentuivat Sallan alueella havaittuihin Pulju-moreenityyppisiin, rengasmaisiin moreenimuodostumiin. Niiden rakennetta ja koostumusta tutkittiin tutkimusmonttujen avulla kahdessa kohteessa Vilmantunturin ympäristössä (kuva 9). Kaikkiaan tutkimuskaivantoja tehtiin kuusi (POSS-2018-20 – POSS-2018-25).





Kuva 9: Tutkimuskaivantojen POSS-2018-20 – POSS-2018-25 sijainti Vilmatunturin ympäristössä, Itä-Lapissa. Maastotietokanta ja LiDAR-aineisto © Maanmittauslaitos.

Toisella viikolla tarkistettiin kartoituskohteita Kittilän lähetyvillä, Sodankylässä ja Saariselällä. Kittilässä tutustuttiin Levitunturin päällä olevia rakkakivikkoihin ja tunturin päältä avautuvaan maiseman yleispiirteisiin. Sen lisäksi kävimme tutustumassa Iso-Kuotkon alueella Suaspalon post-glasiialisiirroksen ja Ounasjoen jääjärven muodostamiin rantapintoihin Kuotkon vaaran rinteillä. Samalla tutustuttiin myös alueella meneillä oleviin Agnico Eaglen maaperän malminetsintätutkimuksiin ja tutkimuskaivannoista tavattaviin rapakallio- ja moreenikerrostumiin. Lisäksi tarkistettiin LiDAR-aineiston tulkinnessa epävarmaksi osoittautuneita Lismajoen alueen harjanteita, jotka glasifluviaalisesta luonteesta poiketen osoittautuivat olevan moreenimuodostumia. Kittilästä matka jatkui Pomokairan läpi nelostielle ja sieltä Saariselälle. Kaunispäällä käytiin katsomassa rinteillä olevia pieniä rengasmaisia moreenimuodostumia, jotka LiDAR-aineiston perusteella oli tulkittu Puljumoreeneiksi. Paluumatkalla etelään tutustuttiin Sodankylässä, Vuotson eteläpuolella vanhan lentokentän reunalla olevaan moreenipeitteiseen rapakallioleikkaukseen (saproliittia) ja Riestovaaran päällä oleviin Tor-muodostumiin (Kuva 10). Lähempänä Sodankylää pysähdyttiin katsomaan erikoista harjannemuodostumaa, jossa oli myös suppakuoppia. Harjanteiden aines vaikutti olevan moreenia, joten kyseessä lienee jonkinlainen reunamoreenimuodostuma. Sen sijaan Sodankylän eteläpuolella, Torvisen kylällä pohdittiin moreenipeitteisen glasifluviaalisen harjun syntyä ja ikää. OSL-ikämäärittysten perusteella sen aineksen iäksi on saatu Varhais-Veiksel (Auri et al. 2008), mutta terävän muotonsa ja suuntauksen perusteella harju kuitenkin vaikuttaisi edustavan viimeistä deglasiatiovaihetta.





Kuva 10: Tutkimusryhmän opiskelijat Linnea Kaislo, Heta-Maria Korkala ja Markus Raatikainen tutustumassa Riestovaaran päällä tor-muodostumiin. Taustalla näkyy vastaavia muodostumia Riskaskaman päällä. Kuva P. Sarala.

## **Yhteenveto**

Projektissa ”Maaperämuotojen ja rakenteiden LIDAR-pohjainen tulkinta malminetsinnän tukena Keski-Lapin jäänjakajavyöhykkeessä” tutkittiin LiDAR-korkeusmalliaineiston käytettävyyttä maaperägeologisessa malminetsintätutkimuksessa. Tutkimus toteutettiin vuosien 2018-2019 aikana Oulun yliopiston kaivannaisalan yksikössä, jossa varsinaisesta kartoitustyöstä ja kenttätutkimuksista vastasivat kolme opiskelijaa ohjaajana professori P. Sarala. Kartoitus- ja tutkimustyö fokuoitiivat Keski- ja Itä-Lappiin, josta uutta, tulkitsematonta LiDAR-aineistoa oli juuri projektin alkaessa saatavilla. LiDAR-aineisto ja tulkintaa tukeva geologinen aineisto saatiin projektin käyttöön Geologian tutkimuskeskuksesta (GTK). Maaperämuodostumatulkinta toteutettiin niin ikään GTK:n tietokantarakennetta noudattaen, jotta tehty muodostumatyö voitiin kartoituksen lopuksi sisällyttää osaksi kansallista maaperätietoaineistoa.

Projekti osoitti LiDAR-pohjaisen korkeusmallin olevan erittäin tehokas työkalu maaperämuodostumien ja erilaisten kallioperärakenteiden havainnoimisessa. Projektin tuloksena saatiin kartoitettua laajalta alueelta uusia jäätikkösyntyisiä muodostumia, joista

on hyötyä Keski- ja Itä-Lapin glasiaalidynamiikan tutkimuksessa. Esimerkiksi jäänjakajavyöhyke erottuu selkeästi Keski-Lapissa vähäisten muodostumien alueena. Sen eteläpuolelta voidaan erottaa selkeästi Sallan kielekevirtauksen lähtöalue eli ns. onset-alue ja virtauksen voimistumisen seurauksena syntynyt lähes pohjois-etelä-suuntainen drumliinikenttä Sodankylän itäosasta Kemijärvelle. Sallan kielekkeen päätyminen Kuusamon kielekevirtaukseen on myös hyvin nähtävissä Sallan-Kemijärven eteläpuolella, jossa on havaittavissa myös ennestään tuntematon, laaja rengasmaisten moreeniharjanteiden muodostuma-alue. Muodostumat ovat tulkittu ns. Pulju-moreenityypiksi moreenimuodostumiksi, joita on entuudestaan havaittu pelkästään jäänjakajavyöhykkeestä. Tämä on siis merkittävä uusi havainto ja muuttaa käsityksiä jäätikön keskusalueiden glasiaalidynamiikasta. Aiheen tutkimusta jatketaan opiskelija Heta-Maria Korkalan Pro gradu tutkimuksessa.

Malminetsinnällistä hyödynnettävyyttä pyrittiin arvioimaan kallioperän ja sen rakenteiden heijastumisena maanpinnan topografiassa tai näkymisenä maapeitteen alta. LiDAR-kartoituksen perusteella oli selkeästi nähtävissä, että erityisesti ohuiden maapeitteiden alueilla kallioperän topografia, kivilajivaihtelu ja erilaiset rakenteet olivat selkeästi hallitsevia piirteitä myös maanpinnan muodoissa. Tällaisia alueita ovat luonnollisesti korkeamman topografian alueet, kuten vaarojen ja tunturien laet sekä erityisesti alueet, joissa kallioperän kivilajikerrosten ja rakenteiden kulku on samansuuntainen jäätikön liikesuunnan kanssa. Myös suuremmat/pidemmät kallioperän siirrokset (esim. post-glasiaalisiirrokset) ja ruhjeet näkyvät LiDAR-aineistossa hyvin. Tällaisia on kuvattu esim. projektin tuloksena tehdyssä opiskelija Markus Raatikaisen kandidatkIELmassa. Mutta monin paikoin myös pienemmät rakenteet ovat havaittavissa ja näistä on hyötyä malminetsinnässä potentiaalisten heikkousvyöhykkeiden tulkinnassa. Malminetsinnän kannalta on myös etua, jos ohuiden maapeitteiden alueita voidaan tunnistaa ja sitä kautta voidaan löytää kohteita, joissa kallioperän pinta on helpoiten tavoitettavissa joko mahdollisina kalliopaljastumina tai tutkimuskaivantojen avulla.

Projekti osoitti myös, että LiDAR-tulkintaa voidaan käyttää myös kallioperän rapautumismuotojen havaitsemisessa tai syvempien rapautuma-alueiden esiintymisen arvioimisessa. Rapautumajäänteitä edustavat Tor-muodostumat tunturien ja vaarojen lakiosissa ja rapautumisprosessin etenemistä edustavat piparkakkumaiset rakenteet rinteissä ovat helposti tunnistettavissa LiDAR-kuvista. Sulamisvesitoiminta on merkittävä isompien siirrosten ja ruhjeiden esiintuoja, koska virtaava vesi pyrkii hakeutumaan

helpoiten erodoituviiin kohtiin maastossa. Sen sijaan laajat, syvälle rapautuneet kallioperäalueet, jotka edustavat pidempää rapautumiskehitystä, eivät näy korkokuvassa kovin helposti. Niiden olemassa oloa heijastavat Keski-Lapin topografiassa laajat tasaiset alueet, jotka ovat usein soiden peittämiä.

## **Projektin tulosten esittely ja julkaiseminen**

Tuloksia on esitelty seuraavissa tapahtumissa:

-20th INQUA Congress, Dublin, Irlanti 25-31.7.2019, jossa Sarala piti esitelmän. Julkaisu: Sarala, P., Kaislo, L., Korkala, H.-M. & Raatikainen, M., 2019. New geomorphological observations of changing subglacial conditions in the central part of SIS based on the LiDAR-based mapping. In: Abstract for the 20th INQUA Congress in Dublin, Ireland 25-31 July 2019, O-2144. Electronic publication, available at: <https://app.oxfordabstracts.com/events/574/program-app/submission/92098>

-INQUA PeriBaltic Working Group Meeting and Excursion, Greiswald, Saksa 7.-13.9.2019, jossa Sarala piti esitelmän.

Julkaisu: Sarala, P., Kaislo, L., Korkala, H.-M. & Raatikainen, M., 2019. LiDAR-based mapping of variable subglacial geomorphology in the central part of SIS. In: Börner, A., Hüeneke, H., Lorenz, S. (eds.), Field Symposium of the INQUA PeriBaltic Working Group "From Weichselian ice-sheet dynamics to holocene land use development in Western Pomerania and Mecklenburg": abstract volume, International Field Symposium of the INQUA PeriBaltic Working Group (Greifswald 2019), Potsdam : GFZ German Research Centre for Geosciences, Scientific Technical Report 19/01, p. 94. doi: 10.2312/GFZ.b103-19012

Lisäksi tiivistelmä lähetettiin INQUA Peribaltic Working Group Meetingiin 2020, joka piti järjestää 11.-15.5.2020 Latviassa ja Liettuassa. COVID-19 pandemiasta johtuen konferenssi peruttiin vuodelta 2020 ja päätettiin siirtää vuodelle 2021. Tiivistelmän tiedot ovat: Korkala, H.-M., Sarala, P. & Lunkka, J.P., Pulju moraines in central and eastern Finnish Lapland.

Projektin tuloksena on myös laadittu opiskelija Markus Raatikaisen kandidattikielma: Moreenin hienoainekseen vaikuttavat tekijät Keski-Lapissa. Oulun yliopisto,

kaivannaisalan yksikkö, 25 s., 2019. Sen lisäksi on valmisteilla opiskelija Heta-Maria Korkalan Pro gradu -tutkielma: Puljumoreenit ja niiden esiintyminen Suomessa.

## **Kiitokset**

Projekti on saanut rahoitusta K. H. Renlundin säätiöstä ja sitä ovat tukeneet Geologian tutkimuskeskus ja Oulun yliopiston kaivannaisalan yksikkö. Projektihenkilöstö tahtoo kiittää erityisesti Satu Putkista LiDAR-tulkinnan opastuksesta ja GTK:n aineistojen sekä glasiaalimuodostumien tietokannan irrotuksesta. Kiitokset kuuluvat myös professori Juha Pekka Lunkalle ja GTK:n tutkimusavustaja Jorma Valkamalle kenttätöissä avustamisessa ja mukana olosta.

## **Lähteet**

- Auri, J., Breilin, O., Hirvas, H. et al., 2008. Tiedonanto eräiden myöhäispleistoseenikerrostumien avainkohteiden ajoittamisesta Suomessa. *Geologi* 60, 68–74.
- Hall, A., Sarala, P. & Ebert, K., 2015. Late Cenozoic deep weathering patterns on the Fennoscandian shield in northern Finland: a window on ice sheet bed conditions at the onset of Northern Hemisphere glaciation. *Geomorphology* 246, 472–488. doi:10.1016/j.geomorph.2015.06.037
- Johansson, P. & Kujansuu, R., 2005. Pohjois-Suomen maaperä: maaperäkartojen 1:400 000 selitys. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 236 s.
- Ojala, A.E.K. & Sarala, P., 2017. Editorial: LiDAR-rapid developments in remote sensing of geological features. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 89, 61–66.
- Putkinen, N., Eyles, N., Putkinen, S., Ojala, A.E.K., Palmu, J-P., Sarala, P., Väänänen, T., Räisänen, J., Saarelainen, J., Ahtonen, N., Rönty, H., Kiiskinen, A., Rauhaniemi, T. & Tervo, T., 2017. High-resolution LiDAR mapping of glacial landforms and ice stream lobes in Finland. *Bulletin of the Geological society of Finland*. 89, 64–81. doi:10.17741/bgsf/89.2.001

- Raatikainen, M., 2019. Moreenin hienoainekseen vaikuttavat tekijät Keski-Lapin alueella. LuK-tutkielma, Oulun yliopisto, 25 s.
- Sarapää, O., Al Ani, T., Lahti, S.I., Lauri, L.S., Sarala, P. & Torppa, A., 2013. Rare earth exploration potential in Finland. *Journal of Geochemical Exploration* 133, 25–41. doi:10.1016/j.gexplo.2013.05.003
- Sarapää, O. & Sarala, P., 2013. Rare earth element and gold exploration in glaciated terrain – ex-ample from the Mäkärä area, Northern Finland. *Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis* 13, 131-143. doi:10.1144/geochem2012–136

Liitteet



**UNIVERSITY OF OULU**

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**Kalliomuodot, Tor-muodostumat, glasifluvialiset muodostumat sekä glasiaalilineaatiot  
LiDAR-pohjaisessa karttatulkinnassa**

17.6.2018-16.8.2018

Linnea Kaislo

Oulun yliopisto

2018

# Sisällysluettelo

Johdanto .....	1
Projektin perusteita .....	2
Esimerkkejä kartoituksesta .....	4
Glasifluvიაალისet muodostumat.....	4
Glasiaalilineaatiot.....	6
Moorenimuodostumia .....	9
Kallioperän rakenteita ja muotoja .....	12
Tor-muodostumat ja niihin liittyvät rapaumat .....	13
Kenttäosuus.....	17
Johtopäätöksiä.....	18
Kiitokset.....	18
Lähteet.....	19



## Johdanto

Karttoja on käytetty jo pitkään geologiassa tutkimuksen tukena, kuten esimerkiksi malminetsinnässä. NykYTEknologia on tuonut mukaan LiDAR-pohjaisen (Light Detection And Ranging) karttatulkinnan, jonka avulla voidaan nähdä maastosta pienimmätkin maaperän ja kallioperän reliefin muutokset, ilman kasvillisuutta. (Ojala ja Sarala, 2017) Professori Pertti Saralan vetämässä projektissa 24302814 tarkoituksena oli tutkia Keski-Lapin maastoa LiDAR-pohjaisista kartoista ja kartoittaa näiltä alueilta muun muassa jäätikön liikkeen aiheuttamia lineaatioita, moreenimuodostumia sekä glasifluviaalisia muodostumia. Pääpaino kesän projektissa oli kuitenkin kartoittaa alueen mahdolliset kallioesiintymät. Kallioita kartoitettiin vanhojen karttojen avulla ja tulkitsemalla LiDAR-pohjaisen kartan korkokuva, onko alueella mahdollisesti maaperän peittämää kalliota. Aikaisemmin GTK (Geologian tutkimuskeskus) on kartoittanut Suomessa muun muassa jäätikön aiheuttamia lineaatioita, ja nämä tiedot ja aineistot ovat toimineet pohjana ja teoriana projektin kartoitustyölle (Putkinen ym., 2017).

Tutkimme ja kartoitimme kesätöinä Heta Korkalan ja Markus Raatikaisen kanssa toukokuun puolesta välistä elokuun alkuun Oulun yliopiston tiloissa Lapin keskiosia. Elokuun kahdeksi ensimmäiseksi viikoksi pääsimme kenttätöihin tarkastelemaan luonnossa niitä muodostumia mitä olimme kartoittaneet kesän aikana. Kartoituksessa käytetty aineisto saatiin Maanmittauslaitokselta ja käytössämme oli heidän rinnevarjostusaineisto (5/2018) sekä taustakarttasarja-aineisto (5/2018). Kaikki alla olevat karttakuvat ovat näistä aineistoista.

Aluksi käsittelen projektin perusteita ja minkä pohjalta teimme kartoituksen. Tämän jälkeen esimerkkien avulla esittelen kartoittamiani aihealueita ja niihin liittyvää teoriaa. Projektin painotuksesta johtuen, käsittelen omassa kappaleessa kallioperän kartoitukset. Lopuksi käyn kartoitukseni tulokset läpi yhteenvedossa ja viimeisenä raportissani on kiitokset asianomaisille tahoille.

## Projektin perusteita

Taulukot 1-3 ovat tiivistettyjä versioita GTK:n kartoitusohjeista ja luokitteluista glasifluviaalisista, glasiaalilineaatiosta ja moreenimuodostumista (Putkinen ym., 2017). Taulukko 4 on yhdistelmä käyttämistä kallion luokitteluista ja kallion eri muodostumista, kuten esimerkiksi Tor-muodostumista. Taulukoissa 1-4 on mukana vain ne luokittelut, joita itse käytin kartoituksessani. Ne ovat myös projektin pohjana, joiden avulla kyseistä Keski-Lapin aluetta voitiin kartoittaa. Jokaisella luokalla on oma määrittelynsä siihen, kuinka niitä luokitellaan ja luokittelut saadaan GTK:n Glacier Dynamic databasesta. (Putkinen ym., 2017) Luokan 8 luokittelut kehitimme itse kesän aikana.

Taulukko 1: Glasifluviaalisten muodostumien luokittelu.

1	Glaciofluvial
1.1	Esker
1.3	Ice marginal glaciofluvial deposit
1.3.1	Delta
1.8	Buries glaciofluvial deposit
1.8.3	Supposed buried glaciofluvial deposit

Taulukko 2: Glasiaalilineaatioiden luokittelu

3	Glacially lineated terrain (lines)
3.1	Drumlin
3.2	Rock Drumlin
3.3	Through valley and crescent through
3.4	Fluting
3.5	Megafluting

Taulukko 3: Moreenimuodostumien luokittelu.

4	Moraine
4.1	Ice marginal moraines (area)
4.1.2	De Geer moraines (area)
4.2	Ice marginal moraine (single form)
4.2.2	De Geer moraines (single form)
4.3	Hummocky moraines (area)
4.4	Ribbed moraines (area)
4.4.1	Hummocky ribbed moraines (area)
4.5	Hummocky moraine (single form)
4.6	Ribbed moraine (single form)
4.6.2	Rogen moraine (single form)

Taulukko 4: Kalloperän luokittelut sekä muut kallioperän muodostumat.

8	Bedrock feature
	Tor-mudostumat
	Graniittiset rapautumat
	Kalliomuodostumia
	Kallion lineaatioita
	Kalliroleikkaukset

## Esimerkkejä kartoituksesta

Käyn lävitse jokaisen kartoittamani aihealueen Putkinen ym. (2017) luokittelun järjestyksen mukaisesti. Ensimmäisenä siis glasifluviaaliset muodostumat ja viimeisenä vielä virallista luokittelua vaille olevat kallioperän esiintymät ja muodot.

### Glasifluviaaliset muodostumat

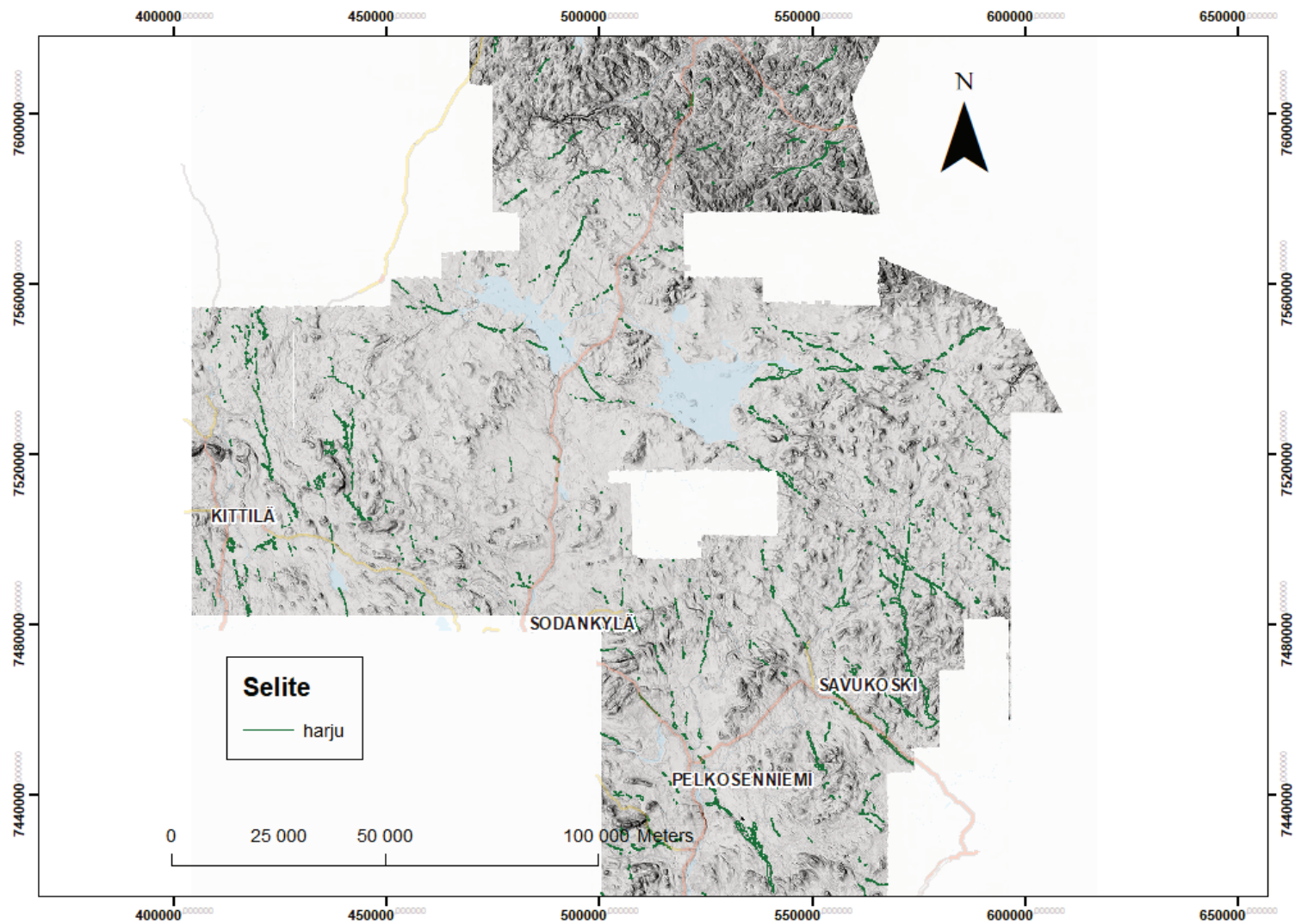
Deglasiatio jättää maaperään jälkiä, joita kutsutaan glasifluviaaliksi muodostumiksi, kuten harjuiksi. Harjuja voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi kartoittaessa viimeisimmän jäätikön perääntymistä, koska harjut kulkevat jäätikön virtausta vastakkaiseen suuntaan. Esimerkiksi Veikselin aikaiset subglasiaaliset muodostumat näyttävät suunnan jäätikön reunan perääntymisestä kohti silloisen jäätikön jäänjakajavyöhykettä, eli kohti Keski-Lappia. (Johansson ym., 2011)

Taulukossa 5 on lukumäärät kartoittamistani glasifluviaalisista muodostumista. Käytin luokkaa 1 silloin, kun en ollut aivan varma, onko kyseessä harju, mutta epäilin sen kuitenkin olevan glasifluviaalinen. Luokka 1.8.3 on siinä mielessä hankala, että näitä muodostumia arvioin täysin silmämääräisesti olettaen kyseisen muodostuman olevan jatkumoa toiselle glasifluviaaliselle muodostumalle. Kyseisistä tulkinnoista on tarkennus kuvassa 2.

Taulukko 5: Yhteenveto glasifluviaalisten muodostumien kartoitetuista määristä.

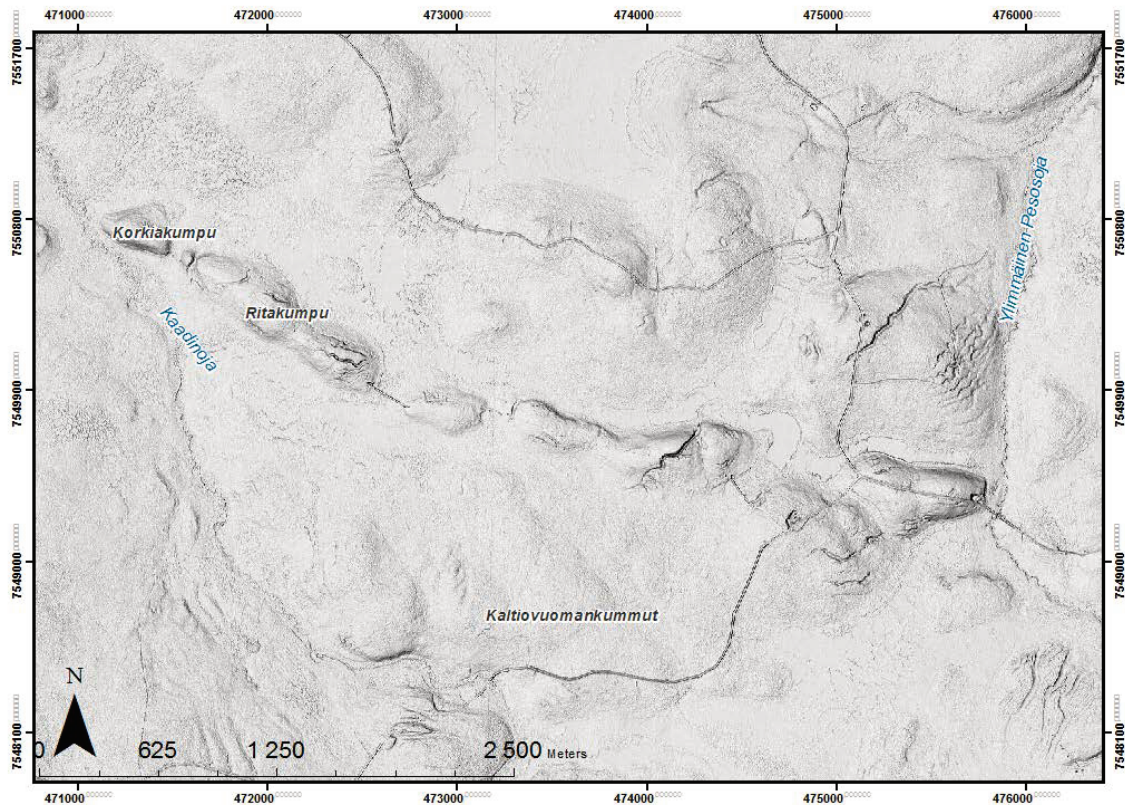
1 Glaciofluvial	304
1.1 Esker	1294
1.3.1 Delta	4
1.8.3 Supposed buried glaciofluvial deposit	6
Yhteensä:	1608

Kuvasta 1 voi nähdä kuinka suurimmalla osalla kartoitetuista harjuista on suhteellisen sama suunta. Kaikki eivät ole samansuuntaisia, koska osa muodostumista ei välttämättä ole viimeisimmän deglasiation jättämiä. Kuvassa 1 ei näy muita kuin pelkkiä harjuja, koska käytin kartassa vain vektoriaineistoa, jolla yleisesti reunustin muodostuman. Taulukon 5 lukemat tulevat pisteaineistosta, jolla tarkemmin luokittelin rajaamani alueen. Jos kartassa olisi mukana sekä viiva- että pisteaineisto, olisi kartta epäselvä.



Kuva 1: Kaikki glasifluviaaliset muodostumat kartoitetulla alueella (vihreät muodostumat).





Kuva 2: Esimerkkikuva harjusta, tarkemmin sanottuna mahdollisesta paksun moreenikerroksen peittämästä harjusta Porttipahdan tekoaltaan länsipuolella.

## Glasiälilineaatiot

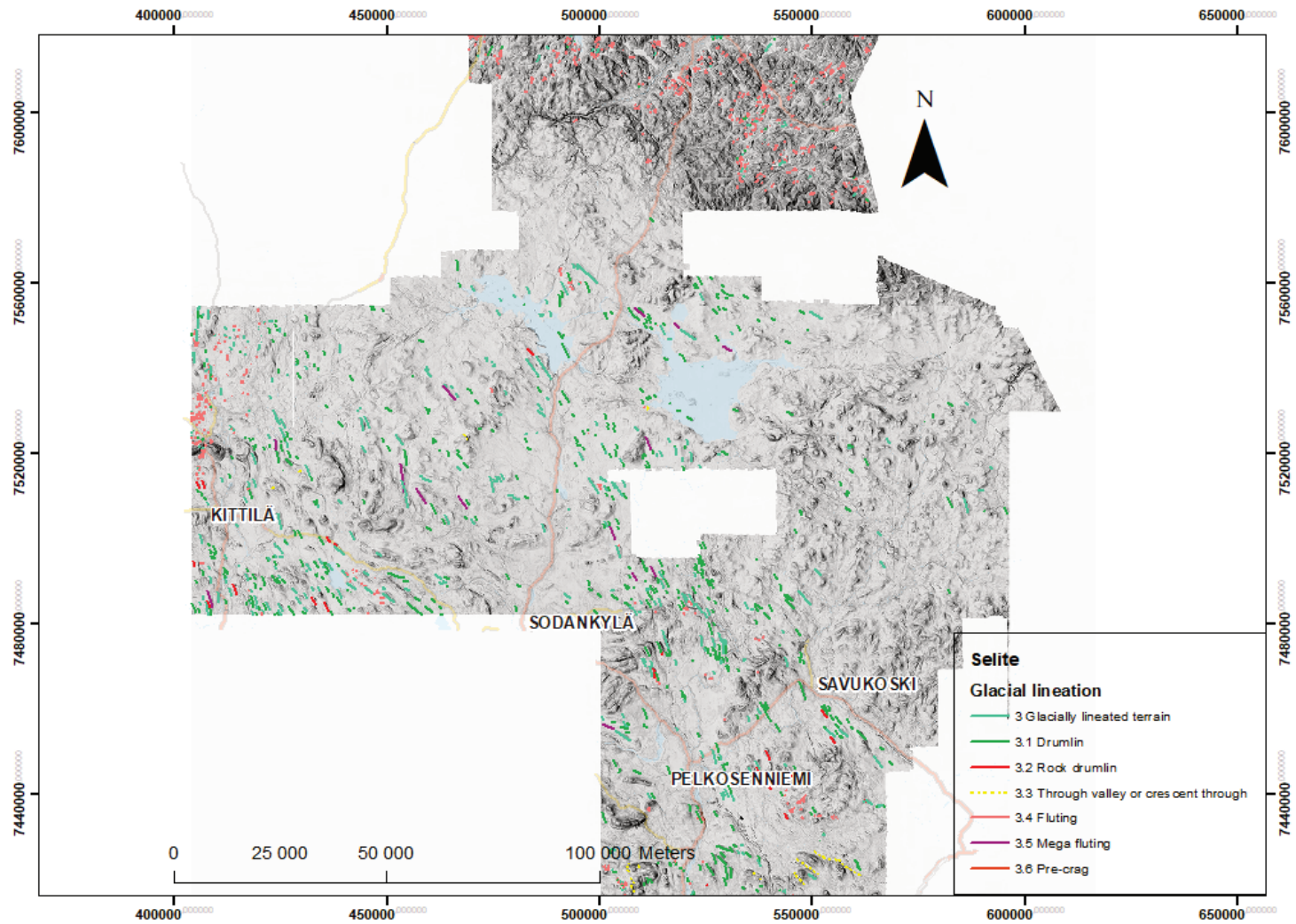
Glasiälilineaatiot ovat jäätikön virtauksesta maa- ja kallioperään syntyneitä jälkiä, kuten esimerkiksi drumliineja, silokallioita tai flutingeja. LiDAR-pohjaisen kartta-analyysin avulla voidaan arvioida jäätikön virtauksen vaiheita, subglasiälisiä olotiloja ja jäätikkökielekkeen massatasapainoa. Lineaatioiden pituudella voidaan myös arvioida jäätikön virtauksen nopeuden vaihteluita ja kuljetusmatkoja. (Ojala ja Sarala, 2017) Glasiälilineaatiot ovat siis aktiivisesti virtaavan jäätikön aiheuttamia muodostumia, jotka ovat jäätikön virtauksen suuntauksen mukaisia (Johansson ja Kujala, 2005).

Taulukossa 6 on listattuna kartoitettujen lineaatioiden määrät ja kuvassa 3 voi nähdä kyseiset lineaatiot kartalla. Kuvassa 4 on lähikuva lineaatioista Sodankylän koillispuolelta. Vertaillessa määriä, flutingeja, joita kutsutaan myös vakoumiksi, on huomattavasti paljon enemmän kuin muita lineaatiota. Osa lineaatioista voi olla kallionrakenteista johtuvia muotoja varsinkin, jos ne sattuvat olemaan

samassa linjassa jäätikön virtaussuunnan kanssa. Flutingeja voi syntyä kerralla paljon, jolloin ne muodostavat ns. kilpialueen kalliokohoumien päälle. Niitä voi olla myös muiden glasiaalimuodostumien, kuten esimerkiksi drumliinin päällä, mutta myös omina pohjamoreenimuodostumina.

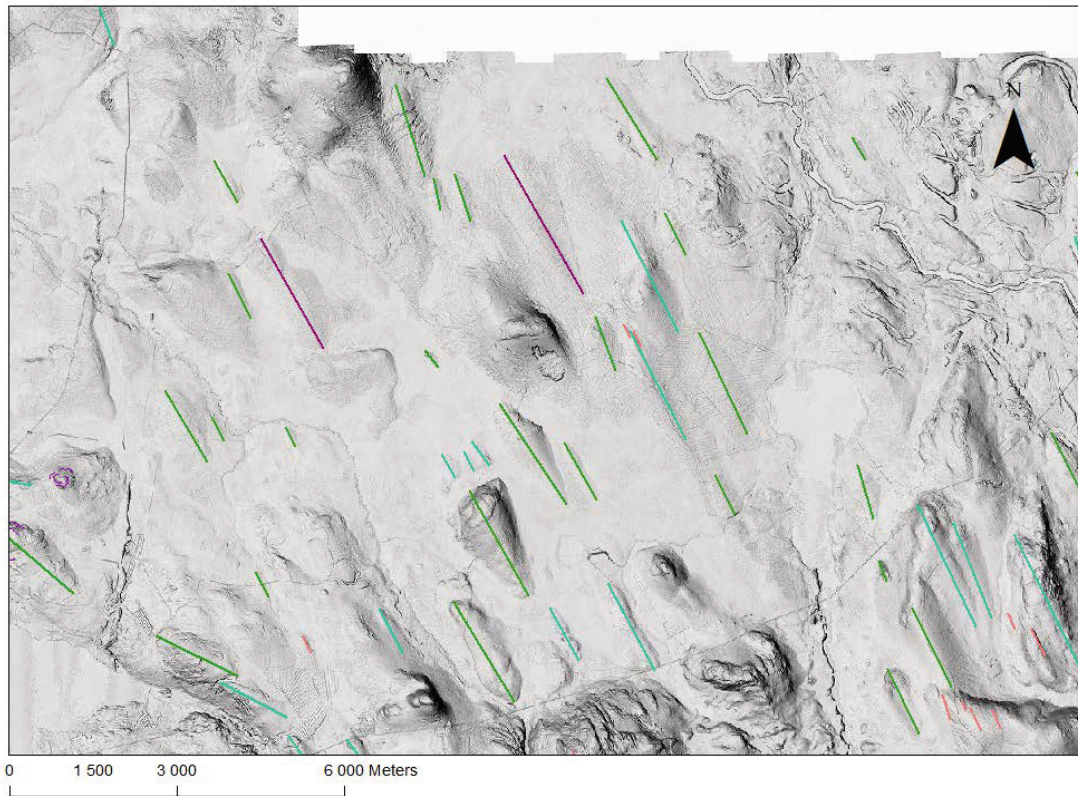
Taulukko 6: Yhteenveto kartoittamistani glasiaalilineaatioista, kuten drumliineista, flutingeista ja megaflutingeista.

3 Glacially lineated terrain (lines)	377
3.1 Drumlin	486
3.2 Rock Drumlin	24
3.3 Through valley and crescent through	4
3.4 Fluting	1371
3.5 Megafluting	14
Yhteensä:	2276



Kuva 3: Kartoittamani alueen glasiaalilineaatiot.





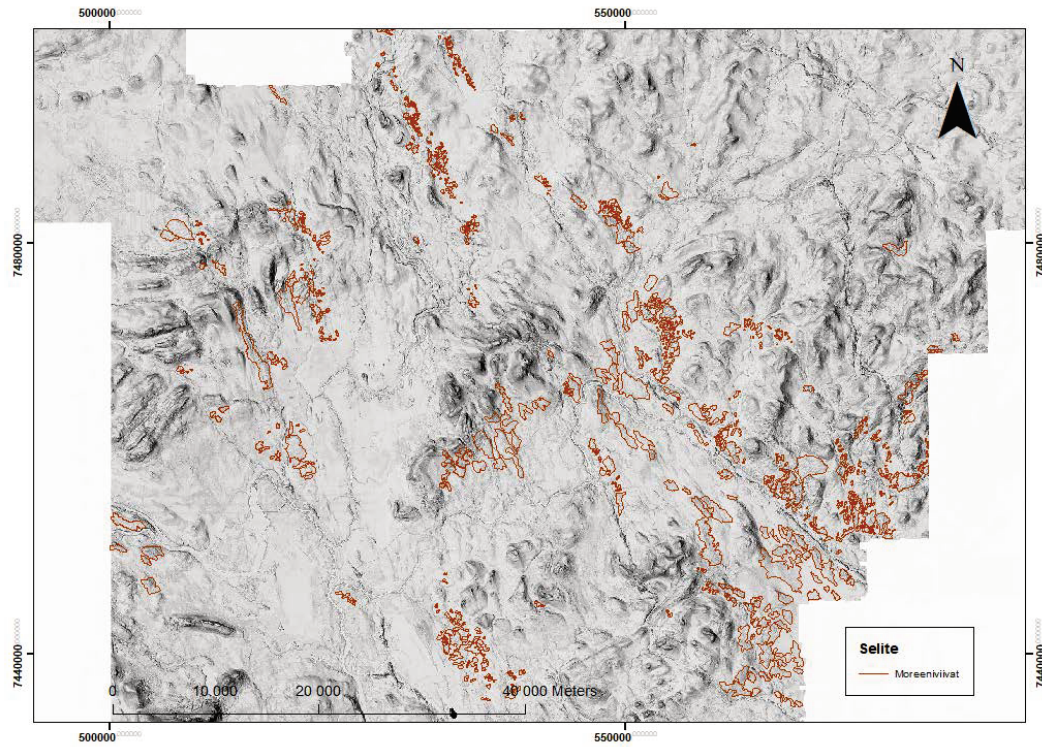
Kuva 4: Esimerkkik kuva drumliineista, megaflutingeista ja epäselvistä tapauksista Sodankylän koillispuolelta. Suuntaus lounas-kaakko-suuntainen.

## Moorenimuodostumia

LiDAR-kartoituksessa käytettyyn moreenimuodostuma-luokkaan kuuluu jäätikön reunavyöhykkeessä, passiivisen jään ja jäätikön reunalla syntyneet moreenimuodostumat. Näitä ovat muun muassa suuntautuneet ja suuntautumattomat moreenikummut. Kumpumoreenit syntyvät joko ablaatiomoreenista tai pohjamoreenista. (Johansson ja Kujansuu, 2005)

Kuvassa 5 on kartoittamani moreenimuodostumat, kuvassa 6 joitakin tarkennuksia ja taulukossa 7 yhteenveto kartoitetuista muodostumista. Kartoissa on merkitty vain yhdenlaisia muotoja, koska tarkennukset muodostumiin tehtiin pisteaineistolla. Taulukon 7 tiedot ovat koostettu kyseisestä pisteda-tasta.





Kuva 5: Alue, jolta kartoitin moreenimuodostumia. Muodostumien sijainti saa aikaan viuhkan näköisen muodon.



Kuva 6: Tarkennus ribbed-moreenityypin moreeniharjanteista, jotka voidaan luokitella kumpumaisiin ribbed-moreeneihin ja Rogen-moreeneihin.

Taulukko 7: Yhteenvedo kartoitetuista moreenimuodostumista.

4 Moraine	27
4.1 Ice marginal moraines (area)	1
4.3 Hummocky moraines (area)	137
4.4 Ribbed moraines (area)	85
4.4.1 Hummocky ribbed moraines (area)	6
4.4.2 Rogen moraines (area)	6
4.5 Hummocky moraine (single form)	581
4.6 Ribbed moraine (single form)	424
4.6.2 Rogen moraine (single form)	19
Yhteensä:	1286

## Kallioperän rakenteita ja muotoja

Projektin kannalta keskeinen aihe oli kallioperän rakenteiden kartoittaminen. Erilaisia kartoittamiani kallioperämuotoja on esitetty taulukossa 8 ja kuvassa 7.

Taulukko 8: Yhteenveto erilaisista kallioon liittyvistä muodostumista. Kalliomuodostumia sarake kertoo kuinka monta mahdollista kalliorakennetta ja muodostumaa kartoitin.

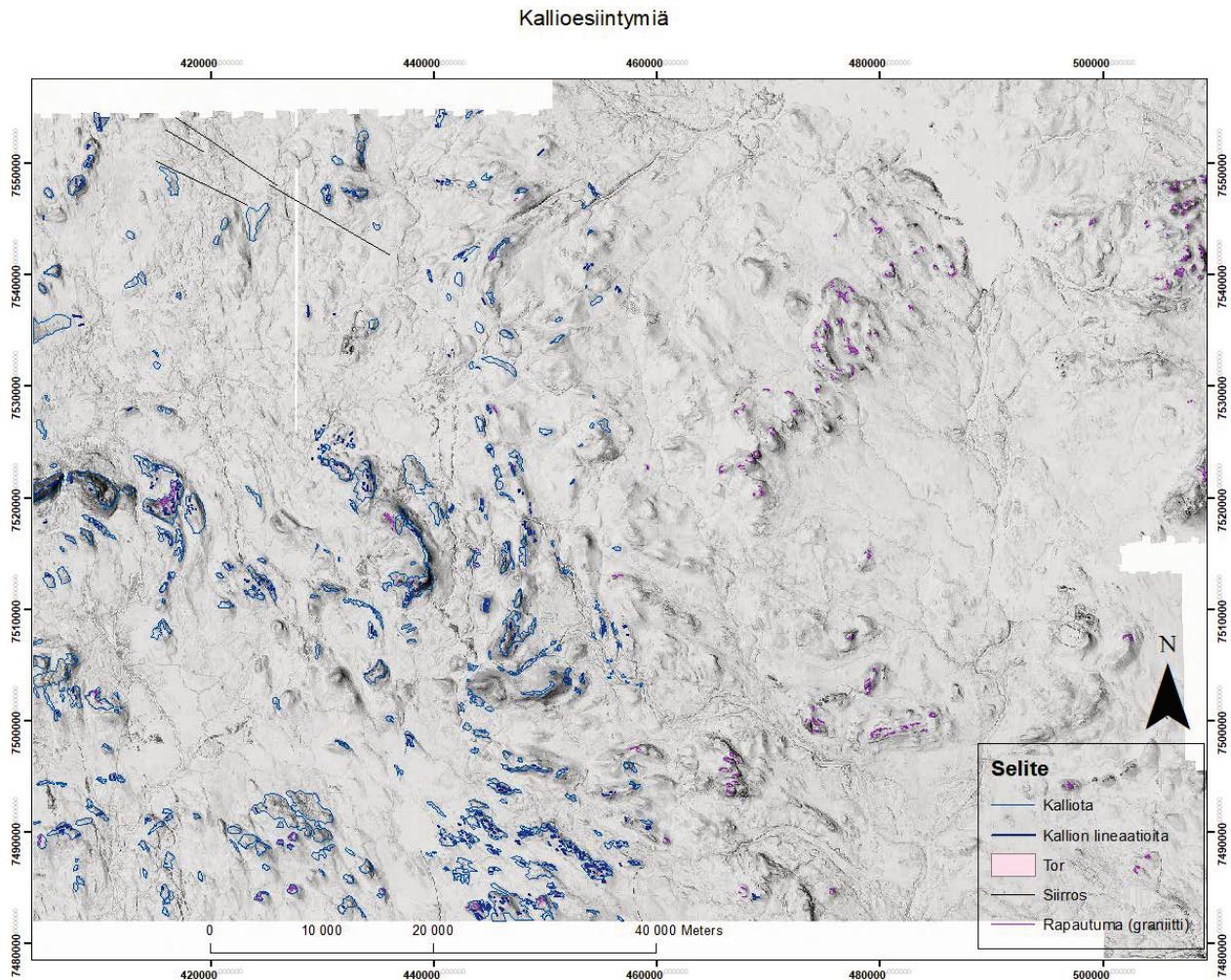
Tor-muodostumat	323
Graniittiset rapautumat	1868
Kalliomuodostumia	330
Kallion lineaatioita	685
Leikkaukset	4

Usein miten Keski-Lapin vaarat ja tunturit ovat rakkakivikoiden ja ohuen moreenikerroksen verhoamia erityisesti lakiosistaan. Tällöin kallioperän rakenteet ja kivilajien vaihtelut näkyvät LiDAR-aineistossa selkeästi rosoisina ja teräväsärmäisinä muotoina (Kuva 8). Näissä tapauksissa kallioperästä johtuvat muodot on kuitenkin yleensä helppo tunnistaa esimerkiksi kallioperäkarttaa tai geofysikaalisia karttoja apuna käyttäen. Mikäli kallioperän kivilajien kulku tai litologiset rakenteet ovat jäätikön liikesuunnan mukaisia, niin silloin tunnistaminen vaikeutuu ja monet muodot tulevat tulkituksi fluting-muodostumina. Tämän vuoksi jäätikön liikesuuntien tuntemus ja kaikenlaisten kallioperästä kertovien kartta-aineistojen käyttö ovat ensiarvoisen tärkeitä muodostumatulkinnassa.

Pitkät kallioperässä esiintyvät rakenteet, kuten siirrokset ja ruhjevyöhykkeet sekä post-glasiaalisiirrokset ovat LiDAR-aineistoissa kohtalaisen helppoja tunnistaa. Esimerkiksi kuvan 7 pohjoisreunassa esiintyy useita pitkiä rakenteita, jotka indikoivat kallioperän vanhoja siirrosvyöhykkeitä. Usein jäätikön sulamisvedet vielä kuluttavat näistä rakenteista irtomaa-aineksen pois, jolloin kontrasti on terävämpi vinovalaistussa korkeusmallissa. Lisäksi jotkin kalliopaljastumat voivat olla holoseenikauden fluviaalisten prosessien paljastamia.

Keski-Lapin alueella esiintyy vielä Suomen olosuhteisiin nähden poikkeuksellisen laajoja rapautuma-alueita, jotka näkyvät usein laajoina suoalueina tai sileinä, tasaisina pintoina alavilla kuivilla alueilla. Tällaisia on esim. laajat alavat alueet kuvan 7 itäosissa Sodankylän ja Porttipahdan välisellä alueella sekä Vuotson ympäristössä kuvan koillisnurkassa. Vanhoihin rapautumiin liittyy myös korkeilla paikoilla jäänjakajavyöhykkeessä esiintyvät Tor-muodostumat, joista seuraavassa kappaleessa lisää.



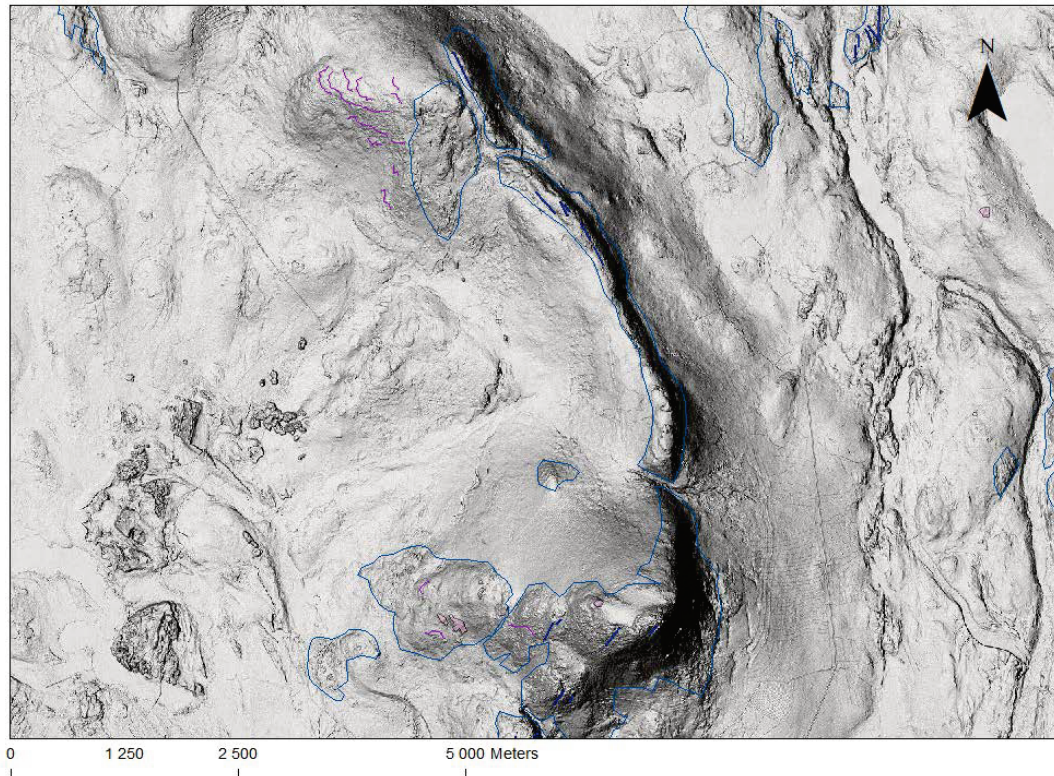


Kuva 7: Erilaisten kalliomuotojen tai -rakenteiden heijastuminen LiDAR-korkeusmallissa joko kal-  
liopaljastumana tai moreenipeitteen alla.

### Tor-muodostumat ja niihin liittyvät rapaumat

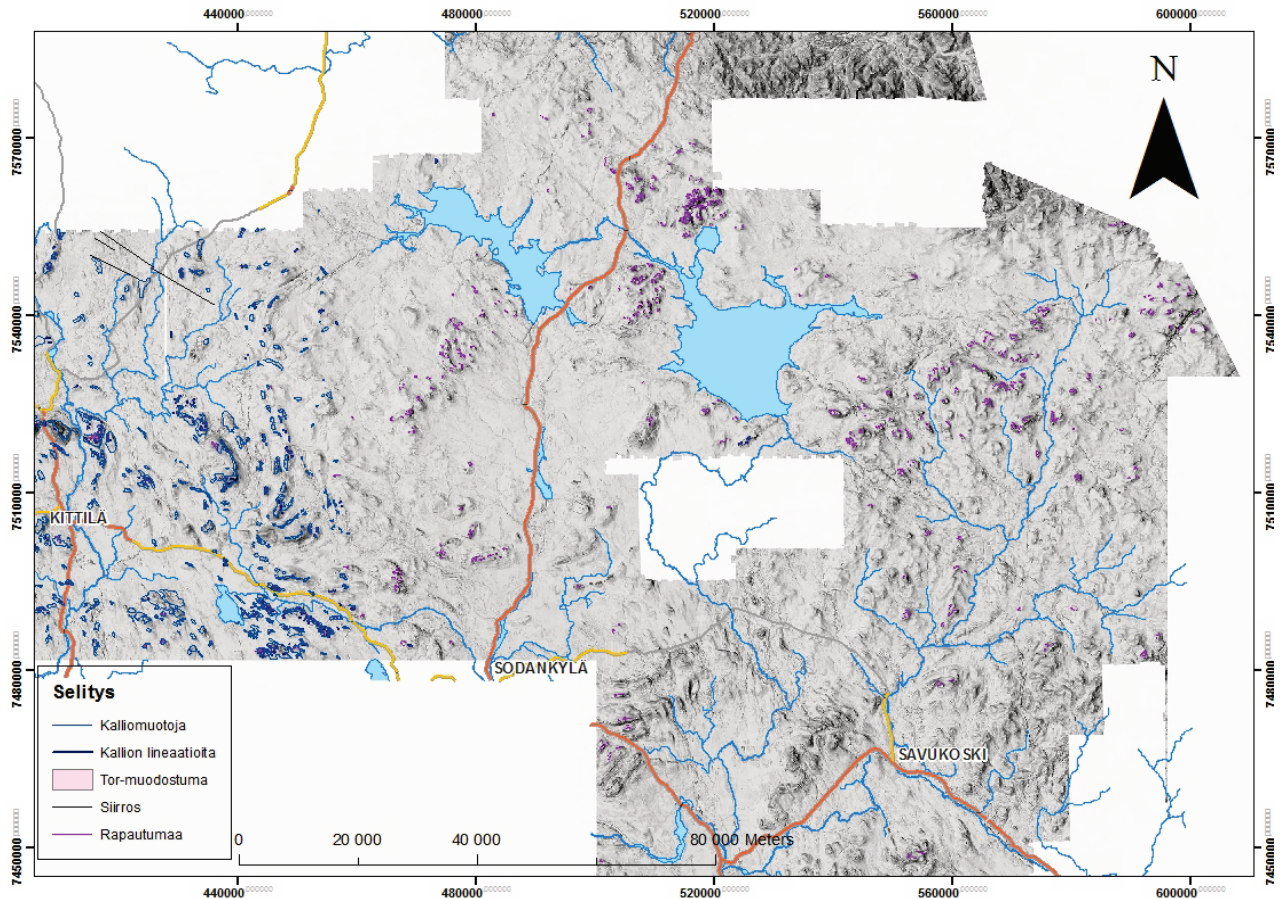
Tor-muodostumat ovat preglasiaalisia rapautumajäännöksiä, jotka tulevat esiin rapautuvan kallion kuluessa ympäriltä pois. Eniten niitä esiintyy Lapin jäänjakaja-alueella ja noin 100 km vyöhykkeellä siitä. (Johannson ja Kujansuu, 2005) Tor-muodostumat ovat merkkejä heikosta glasiaalieroosiosta eli vähäisestä tai olemattomasta jäätikön liikkeestä. Yleensä näitä esiintyy graniittisilla kummuilla, koska graniitti on kestävä, mutta lohkeaa kuutiollisesti ja näin eroosion ja rapautumisen avulla syntyy pannukakkumaisia kerroksia. (Darmody, 2008) Kartoitin rapautumat polyline-muotona, mutta Tor-muodostumat polygon-muotona, jonka takia näitä ei juuri suurimittakaavaisissa kartoissa näy.





Kuva 8: Pahkavaaran länsipuolella on selkeitä jäätikön liikkeen merkkejä ja tämä näkyy kallioperäsäkin. Varsinkin vaaran rinteillä ohuen moreenipeitteen alla, kalliomuodot näkyvät maanpinnalla kumpuina ja joillakin alueilla taas on tasaista. Kumpujen linjat menevät jotakuinkin kallioperän resistiivisyyden vaihteluiden mukaan. Ne kummut, joiden kohdalla ei ole merkittävää muutosta kallioperän resistiivisyydessä, ovat moreenimuotoja.

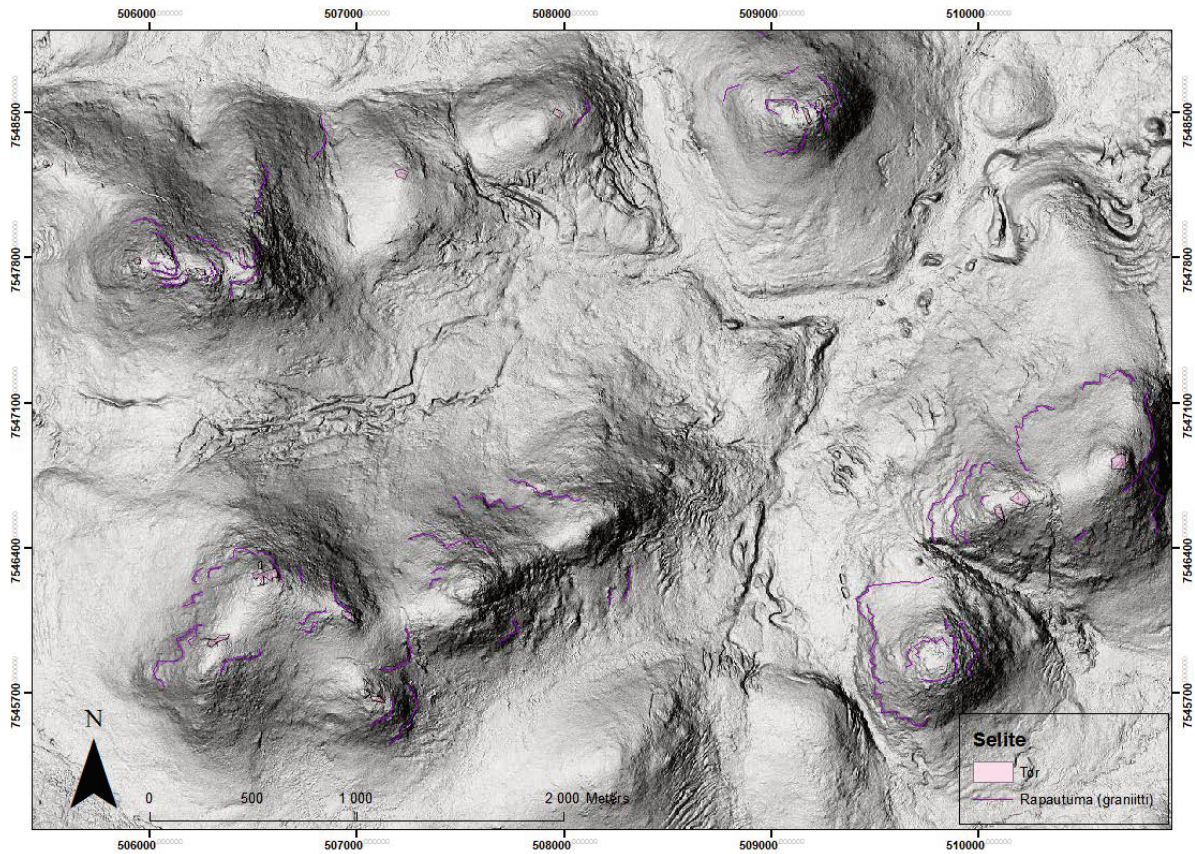
Kuvan 9 kartassa on vaaleanpunaisella värillä merkattu Tor-muodostumat, mutta kartan koosta johtuen, ei niitä juurikaan näe. Muodostumia kuitenkin esiintyy pääasiassa kartan keskiosassa, violettien rapaumaviivojen yhteydessä. Eniten Tor-muodostumia esiintyi Lokan tekojärven pohjois-, itä- ja eteläpuolella sekä Porttipahdan tekojärven lounaispuolella. Yksittäisen esiintymän koko vaihteli muutamasta metristä noin kymmeneen metriin. Vaikka muodostumia löytyi kumpujen lakiosilta, oli Tor-muodostumia välillä joidenkin kumpujen eteläisellä tai itäisellä puolella.



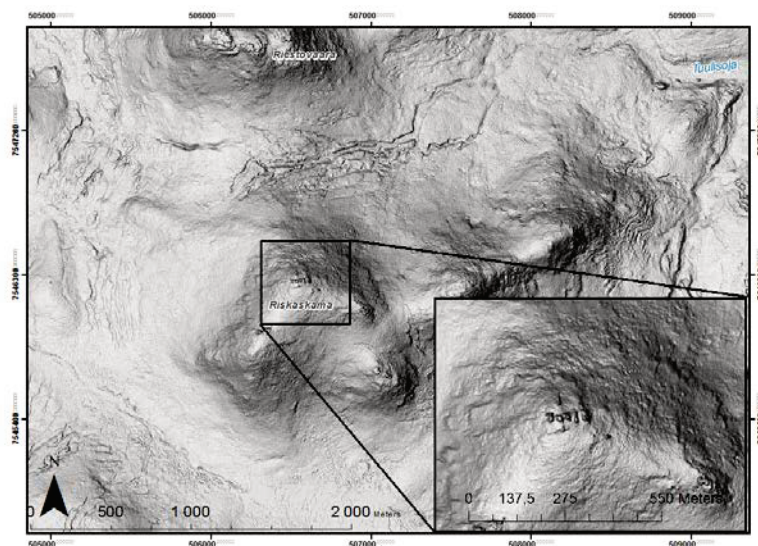
Kuva 9: Tor-muodostumien esiintyminen Keski-Lapissa. Muodot ovat yleisimpiä topografiassa korkeimmilla alueilla tunturien ja vaarojen lakiosissa.

Sen lisäksi, että kartoitin Tor-muodostumia kalliokummuilta, etsin ja kartoitin mahdollisia rapautumien linjoja, jotka ovat tavallaan Tor-muodostumien alku. Kun jossain vaiheessa päällä olevat muodostumat kuluvat pois, voi graniittisesta kalliokummusta tulla eroosion ja rapautumisen edetessä esiin uusia Tor-muodostumia, koska kuutiollista rapautumaa on syvemmilläkin kuin vain siinä kummun päällä näkyvissä (Kuva 10). Rinteet ovatkin usein erodoituneet päällekkäisiä piparkakkuja muistuttavaksi kuvioinniksi merkinä rapautumisen etenemisestä kohti tunturin tai vaaran ydintä. Mahdollisia röpelöisiä rapautumalinjoja saattoi nähdä useammalla kummulla, mutta Tor-muodostumia ei välttämättä kyseisellä kummulla ollut ollenkaan. Kuvassa 10 on näkyvillä sekä rapautuvia rinteitä että Tor-muodostumien sijainti korkeimmilla huipuilla. Kuvassa 11 vielä tarkempi kuva Riskaskaman Tor-muodostumista ja.





Kuva 10: Tor-muodostumia Vuotson kylän eteläpuolella korkeimpien tunturien ja vaarojen huipuilla. Vasemmassa alanurkassa Riskaskama, vasemmalla ylhäällä Riestovaara ja oikealla reunalla Pahtavaara.



Kuva 11: Tor-muodostuma Riskaskaman huipulta. Piparkakkumaiset eroosiorinteet erottuvat selkeästi LiDAR-kuvassa.



## Kenttäosuus

Elokuun kahdella ensimmäisellä viikolla tutkimme käytännössä kartoittamiemme alueita. Vietimme viisi päivää Sallan alueella tehden tutkimusmonttuja ja kivilaskuja moreenimuodostumista. Toisella viikolla kävimme Kittilän lähetyvillä, Sodankylässä ja Saariselällä tutustumassa tarkemmin muodostumiin, jotka olivat aiheuttaneet mietteitä kartoittaessa. Esimerkiksi kartoitin LiDAR-aineiston pohjalta Kittilän pohjoispuolella olevan Lismajoen alueen muodostumat sekä glasifluviaalisiksi harjuiksi, että moreenimuodostumiksi. Alueen lähempi tarkastelu kuitenkin osoitti, että ne olivat todennäköisesti kaikki moreeniainesta tai ainakin paksusti moreenipeitteisiä. Kävimme Saariselän Kaunispäällä tutkimassa rinteillä olevia pieniä moreenimuodostumia, Riestovaaran päällä olevia Tor-muodostumia (Kuva 12) sekä Levitunturin päällä olevia rakkakivikkoja. Sen lisäksi kävimme tutustumassa Vuotson lähetyvillä olevaan moreenipeitteiseen rapakallioleikkaukseen (saproliittia).



Kuva 12: Selfie Tor-muodostumien edessä Riestovaaran päältä.

## Johtopäätöksiä

Keski-Lapin alueella tehty maaperämuodostumien ja kallioperärakenteiden kartoitus ja tulkinta osoittaa LiDAR-pohjaisen korkeusmallin olevan erittäin tehokas työkalu muodostumien havainnoimisessa. Eri suunnista valaistu korkeusmalli auttaa hahmottamaan mataliakin koho- tai painaumamuotoja erilaisissa topografisissa ympäristöissä. Tarkka resoluutio tuo myös hienosti esille pienetkin yksityiskohdat, mistä on apua esim. glasiaalilineaatioiden havaitsemisessa ja ohuen moreenipeitteen alueella kallioperän rakenteita etsiessä.

Kesän aikana on tullut monesti esille, että muodostumien tulkitseminen ja maaperämuotojen erottaminen kallioperän muodoista ja rakenteista vaatii useiden eri aineistojen käyttämistä yhtä aikaa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Esimerkiksi maastokartoille kartoitetut kalliopaljastumat ja kallioperähavainnot antavat hyviä viitteitä kalliomaiden esiintymisestä, mutta useassakin kohdassa on ilmeistä että osaa ohuen maapeitteen verhoamista kallioperämuodoista ei ole havaittu. On myös ilmeistä, että Keski-Lapinkin alueella kallioperämuodostumat ovat pääosin moreenikerroksen peittämiä. Monen kallionkummun perässä on moreenihäntä, mikä epäilemättä johtuu jäätikön liikkeestä. Lisäksi kallioperän suuntautuneet muodot ja jäätikön liikkeestä syntyneet muodostumat ovat suhteellisesti runsaita samoilla alueilla. Olisiko kallion kohoumat mahdollisesti sulattaneet virtaavan jäätikön pohjaa ja siten aiheuttanut myös matalien, virtaviivaisten moreenimuodostumien syntymisen?

On kuitenkin selvää, että mikäli kallioperän kivilajikerrosten ja rakenteiden kulku on samansuuntainen jäätikön liikesuunnan kanssa, niin kallion muodot ja paljastumat ovat suuntautuneet jäätikön liikkeiden mukaisesti. Tällöin kallioperän rakenteet ovat nähtävissä parhaiten rinteillä ja poikittaisten rakenteiden erodoitumisena. Sulamisvesitoiminta on merkittävä isompien siirrosten ja ruhjeiden esiintuoja, koska virtaava vesi pyrkii hakeutumaan helpoiten erodoituviin kohtiin maastossa. Laajat, syvälle rapautuneet kallioperäalueet sen sijaan erottuvat korkokuvassa huonosti tai muodostaen laajempia yhtenäisiä tasaisia alueita, jotka ovat usein soiden peittämiä.

## Kiitokset

Haluaisin kiittää tästä projektista ja sen antamista mahdollisuuksista ja opeista professori Pertti Saralaa, Oulun yliopistoa, Geologian tutkimuskeskusta GTK, K. H. Renlundin säätiötä sekä projektissa työkavereina olleita Heta-Maria Korkalaa ja Markus Raatikaista.



## Lähteet

Darmody, R.G., 2008. Age and weathering status of granite tors in Arctic Finland (~ 68 N). *Geomorphology*, 94(1), 10-23.

Johansson, P. ja Kujansuu, R., 2005. Pohjois-Suomen maaperä: maaperäkarttojen 1:400 000 selitys. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 236 s.

Johansson, P., Lunkka, J.P. ja Sarala, P., 2011. The Glaciation of Finland. *Developments in Quaternary Science*, 15, 105-116.

Ojala, A.E.K. ja Sarala, P., 2017. Editorial: LiDAR-rapid developments in remote sensing of geological features. *Bulletin of the Geological society of Finland*. 89, 61-66.

Putkinen, N., Eyles, N., Putkinen, S., Ojala, A.E.K., Palmu, J-P., Sarala, P., Väänänen, T., Räisänen, J., Saarelainen, J., Ahtonen, N., Rönty, H., Kiiskinen, A., Rauhaniemi, T. ja Tervo, T., 2017. High-resolution LiDAR mapping of glacial landforms and ice stream lobes in Finland. *Bulletin of the Geological society of Finland*. 89, 64-81.



**UNIVERSITY OF OULU**

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**LiDAR-raportti 2018**

Heta-Maria Korkala, Geotieteet 2015

Heta-Maria.Korkala@student oulu.fi

23.11.2018

**SISÄLLYSLUETTELO**

<b>1. JOHDANTO</b>	<b>3</b>
<b>2. YLEISTÄ MERKINNÖISTÄ SEKÄ ALUEESTA</b>	<b>4</b>
<b>3. KUMPUMOREENIT, PULJU-MOREENIT JA VEIKI-MOREENIT SEKÄ NIIDEN LUOKITUS</b>	<b>6</b>
<b>4. JÄÄTIKKÖSYNTYISET LINEAATIOT</b>	<b>22</b>
<b>5. KALLIOMUODOSTUMAT</b>	<b>30</b>
<b>6. JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>35</b>

**LÄHDELUETTELO**

Aineisto: Geologian tutkimuskeskus, Kokkola sekä Maanmittauslaitos.

Muokannut Heta-Maria Korkala, Oulun yliopisto, 2018

## 1 JOHDANTO

LiDAR (Light Detection and Ranging) -projekti kohdistuu Keski-Lapin alueelle kesällä 2018. Aluetta on kartoitettu LiDAR-ilmakuva aineiston avulla. Korkeusmalliaineistosta koostuva LiDAR-aineisto on luotu lentokoneella suoritettujen luotausten yhteydessä. LiDAR-aineisto näyttää kartalla kolmiulotteiselta, ja väritys riippuu käytettyjen karttatasojen ulkoasusta. Yleisin sävy on harmaa. LiDAR-aineistosta tunnistetaan kallioperäalueita, maaperämuodostumia, jäätikön liikesuuntia ja kielekevirtauksia.

Kartoitus Keski-Lapin aineistosta tapahtui ESRI:n ArcGIS-ohjelmiston avulla. LiDAR-dataan pystytään lisäämään ohjelmiston avulla dataa kerroksina kartta-aineiston päälle. Aineistoon voidaan lisätä rasteridataa tai vektorimuotoista dataa. Aineisto lisätään myöhemmin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Internetissä toimivaan Maankamara-verkkopalveluun. Aineisto on saatu projektiin Geologian tutkimuskeskuksesta Kokkolasta (GTK Kokkola). Lisäksi aineistoa on Maanmittauslaitoksen (MML) aineistosta.

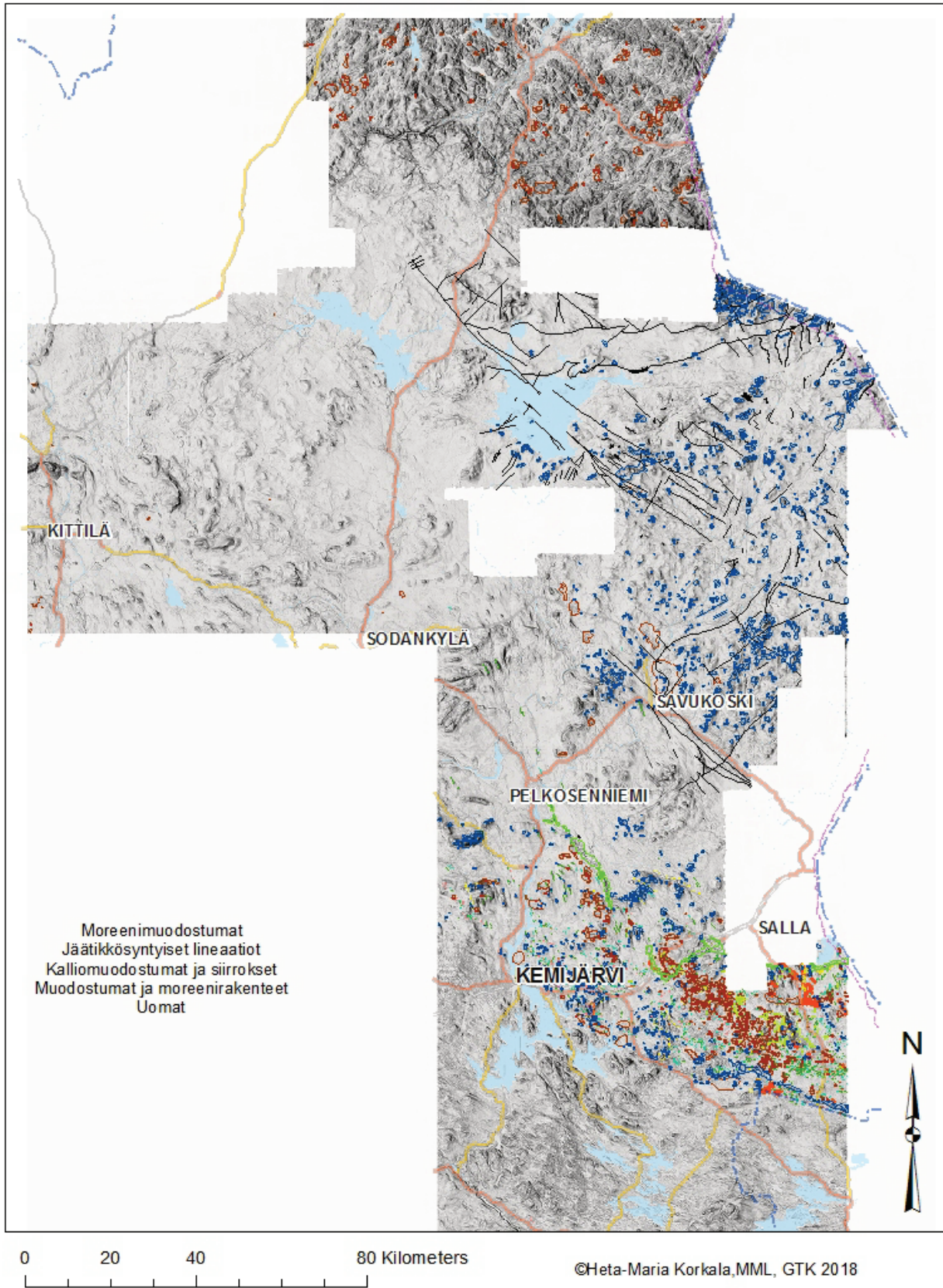
Tutkimusalueena toimi Keski-Lappi sekä erityisesti Kemijärvi-Salla alueen Pulju-moreenikenttä. Tutkimusalueeseen kuului myös alue idästä Sallan pohjoispuolelta, josta kartoitettiin muun muassa kalliomuodostumia. Alue sijaitsee tunnetun Lokan tekojärven itäpuolella. Lisäksi moreenien osalta on tutkittu Keski-Lappia vertailun mahdollistamiseksi, ja laajemman näkökulman saamiseksi. Esimerkiksi pohjoisosissa Keski-Lappia sijaitsevat Pulju-moreenit toimivat hyvinä vertailun kohtina Kemijärvi-Sallan Puljuille.

## 2 YLEISTÄ MERKINNÖISTÄ SEKÄ ALUEESTA

Aineistossa jäätikkösyntyiset lineaatiot ja siirrokset on merkitty viivalla. Moreenit, kalliot sekä Pulju-moreenien sisäiset harjanteet on merkitty alueina. Lisäksi on merkitty muutamia uomia Kemijärvi-Salla alueelta. Alueiden sisälle on merkitty erilaisilla väreillä pisteitä, joiden tarkoituksena on ilmaista, mistä muodostumasta on kysymys. Pisteet on merkitty Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) voimassa olevien luokitusperiaatteiden mukaisesti. Kallioluokitus on täysin uusi ja se on luotu kesän 2018 aikana. Luokituksen on luonut geotieteiden opiskelija, LuK Heta-Maria Korkala.

Tutkimusalue on Suomen Keski-Lapissa, johon sijoittuvat Kemijärvi, Sodankylä, Kittilä, Salla sekä Inari (Saariselän alue). Keski-Lappi tunnetaan monipuolisesta geologiasta, ja malminetsinnästä sekä kaivostoiminnasta. Kartassa (kuva 1) on merkitty tutkimusalueen moreenimuodostumat, kalliomuodostumat, siirrokset, uomat ja glasifluviaalisia muotoja sekä muita moreenimuotoja.

# Keski-Lappi



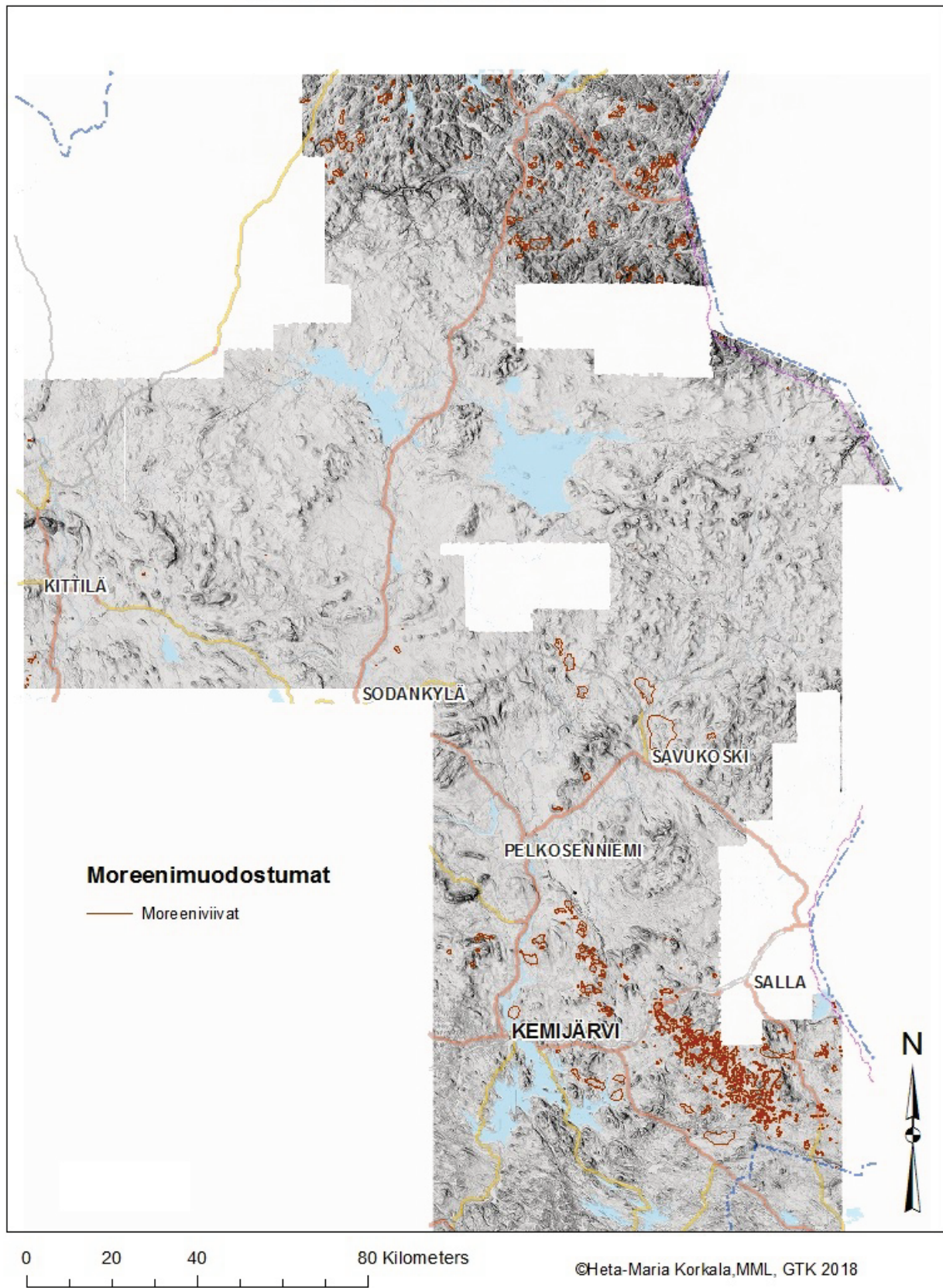
**Kuva 1.** Tutkimusalue (Korkala 2018).



### **3 KUMPUMOREENIT, PULJU-MOREENIT JA VEIKI-MOREENIT SEKÄ NIIDEN LUOKITUS**

Tässä projektissa tutkittiin kumpumoreenia, ja erityisesti kumpumoreenien erikoistyyppiä Pulju-moreenia. Moreenimuodostumia on kuvattu alueen osalta kartassa (kuva 2), ja Kemijärvi-Salla -alueen Pulju-moreenit kartassa (kuva 3). Johansson, Sahala ja Virtasen (2000, s. 56–58) mukaan kumpumoreeneita esiintyy miltei koko Suomen alueella. Keski-Lapin tutkimusalueella kumpumoreeneiksi luokiteltavia moreenimuodostumia esiintyy erityisesti Kemijärvi-Salla alueella, Sallan kielekevirtauksen alueella, ja Kemijärven länsi- ja lounaispuolella. Myös pohjoisimmassa osassa esiintyy kumpumoreeneita. Kumpumoreenit esiintyvät laajoina kenttinä, joissa vuorottelevat jäätikön liikesuuntaan nähden pitkittäiset ja poikittaiset selänteet, sekä suuntautumattomat selänteet sekä kummut.

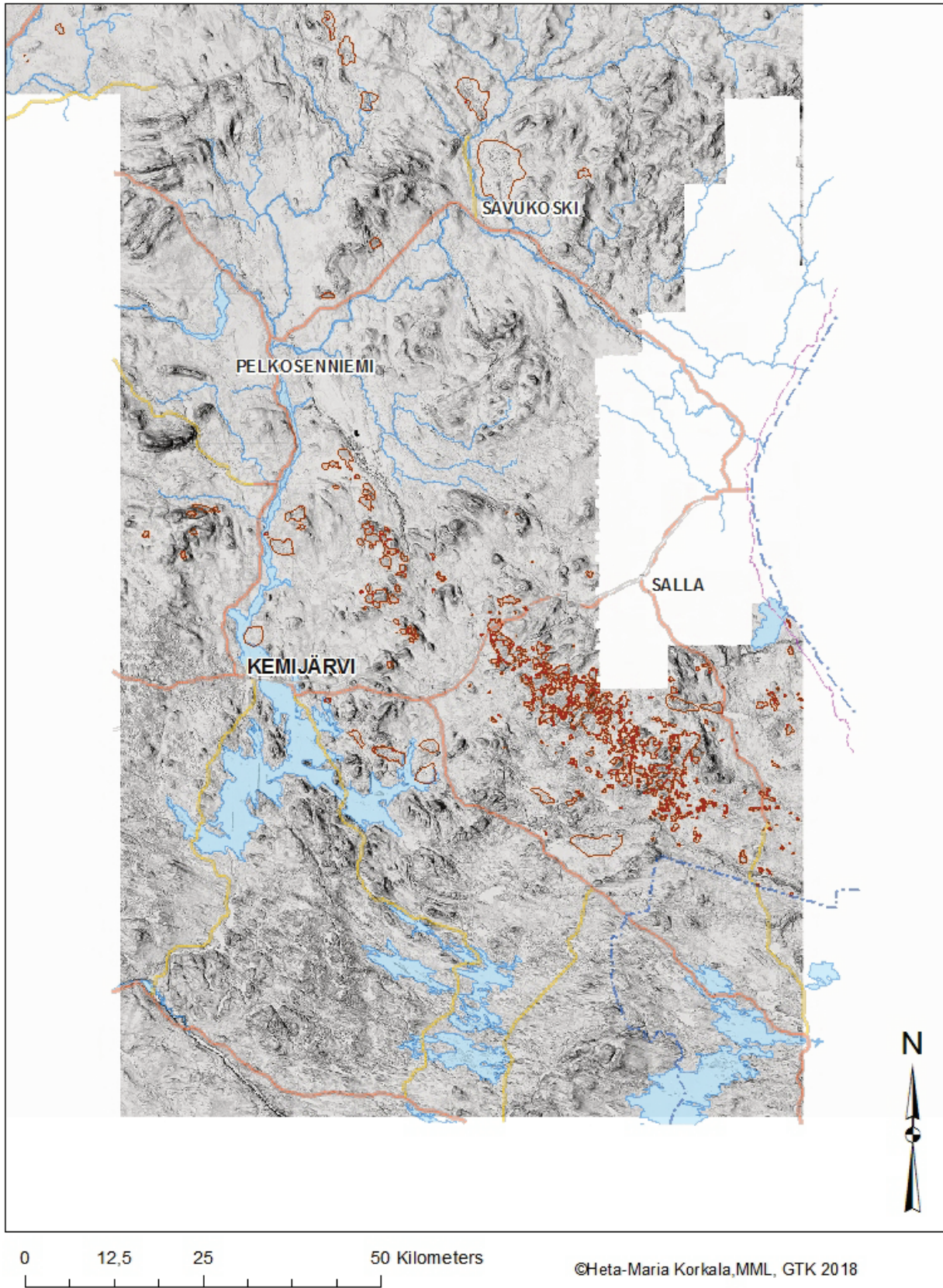
## Moreenimuodostumat



**Kuva 2.** Moreenimuodostumat, selkeä suuntaus NW-SE (Korkala 2018).



## Kemijärvi-Salla Puljut



**Kuva 3.** Kemijärvi-Salla -alueen Pulju-moreenit, selkeä suuntaus NW-SE (Korkala 2018).

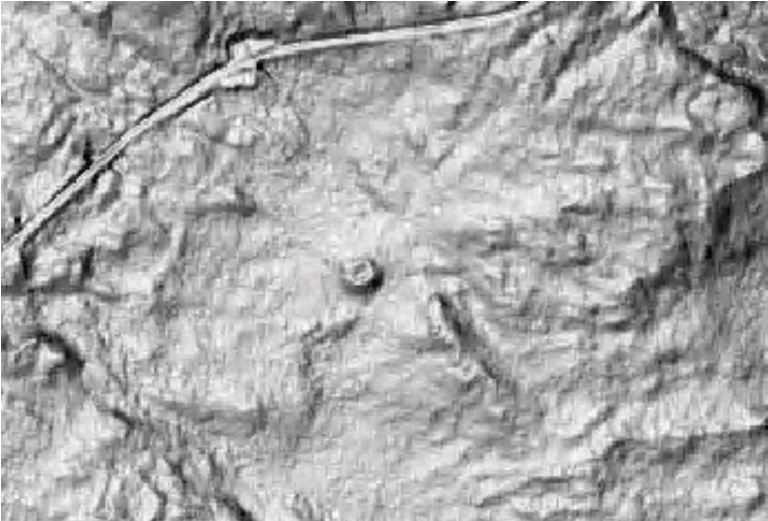
Mäkinen, Palmu, Teeriaho, Rönty, Rauhaniemi ja Jarvan (2007, s.36,38) mukaan varsinainen kumpumoreeni on syntynyt vedenkoskemattomilla alueilla, tai matalan veden oloissa jään sulaessa paikalleen. Toinen kumpumoreenityyppi on jäätikön pohjalla jäätikön suuntaan nähden poikittaisesti syntynyt juomumoreeni. Interlobaattisesti kumpumoreeneita syntyy myös jäätikkökielekkeiden saumoissa. Kumpumoreenin synnylle tärkeää on stagnaatio, jolloin jäätikön liike hidastuu ja pysähtyy. Uloin osa jään reunasta muodostaa esteen, ja ohjaa jäätikön liikkeen ylöspäin vapauttaen kiviaineksen jään pintaan. Myöhemmin jäätikön pinnalta kiviaines kerrostuu ja kasautuu alustalle jään sulaessa. Kiviaines voi vapautua myös subglasiaalisesti eli vapautumalla jäätikön pohjasta kerrostuen. Kumpujen korkeus on alle 10 metriä, vaihdellen 5–25 metrin välillä. Kumpukentät ovat jäätikön virtaussuunnan mukaisia kenttiä. Usein ne ovat laaksoalueilla isojen drumliinien välissä. Kumpumoreenialueilla kumpujen osuus vaihtelee koko kentän pinta-alasta 5–50 %. Johansson *et al.* (2000, s.51) rajaavat kumpumoreenin morfologiseksi nimitykseksi erilaisille kummuille ja selänteille. Synnyltään aines on ablaatiomoreenia tai pohjamoreenia.

Pulju-moreenit ja Veiki-moreenit merkitään luokkiin 4.3.2 Ice contact hummocky moraines (passive/partly active, pro-glacial/ ice frontal) (*area*), ja 4.5.2 Ice contact hummocky moraines (passive/partly active, pro-glacial/ ice frontal) (*single form*). Kumpumoreeneita esiintyy laajasti alueilla, joissa on tapahtunut jäätiköitymistä. Kumpumoreeneita esiintyy laajasti esimerkiksi Pohjois-Ruotsissa, Irlannissa sekä Saksassa. Geologian tutkimuskeskuksen moreeniluokitus on jaettu yleisesti aluetyypisiin sekä yksittäisiin moreenikohteisiin (taulukko 1). Tässä tutkimustyössä on perehdytty erityisesti Pulju-moreeneiden sekä muiden kumpumoreeneiden, kuten Veiki-moreeneiden löytämiseen.

**Taulukko 1.** Moreeniluokitus (Putkinen *et al.* 2017, muokattu Korkala 2018).

4. Moraine
4.1 Ice marginal moraines ( <i>area</i> )
4.1.1 Large diamicton-dominated dump-moraine in end moraine complex ( <i>area</i> )
4.1.2 Der Geer moraines ( <i>area</i> )
4.1.3 Minor recessional moraines ( <i>area</i> )
4.2 Ice marginal moraine ( <i>single form</i> )
4.2.1 Large diamicton-dominated ridges in end moraine complexes ( <i>single form</i> )
4.2.2 De Geer moraine ( <i>single form</i> )
4.2.3 Minor recessional moraine ( <i>single form</i> )
4.3 Hummocky moraines ( <i>area</i> )
4.3.1 Subglacial hummocky moraines (active ice) ( <i>area</i> )
4.3.2 Ice contact hummocky moraines (passive/partly active, pro-glacial/ice frontal) ( <i>area</i> )
4.4. Ribbed moraines ( <i>area</i> )
4.4.1 Hummocky ribbed moraines ( <i>area</i> )
4.4.2 Rogen moraines ( <i>area</i> )
4.4.3 Minor ribbed moraines ( <i>area</i> )
4.5 Hummocky moraine ( <i>single form</i> )
4.5.1 Subglacial hummocky moraine (active ice) ( <i>single form</i> )
4.5.2 Ice contact hummocky moraine (passive ice/ proglacial) ( <i>single form</i> )
4.6 Ribbed moraine ( <i>single form</i> )
4.6.1 Hummocky ribbed moraine ( <i>single form</i> )
4.6.2 Rogen moraine ( <i>single form</i> )
4.6.3 Minor ribbed moraine ( <i>single form</i> )
4.7 Empty hole

Pulju-moreeneissa on hevosenkenkää muistuttava muoto, sillä ne koostuvat mutkittelevista selänteistä sekä kumpareista. Sulkeutuvat moreenimuodot ovat harvinaisia (kuva 4). On mahdollista, että selänteiden väliin muodostuu soita ja lampia. Pääasiassa Pulju-moreeni koostuu pintamoreenista. Pohjalla löytyy lodgement-moreenia (kerrostunut pohjamoreeni) sekä melt-out tyyppin moreenia (sulamisvesimoreeni).



**Kuva 4.** Pulju-moreenin harvinainen täysin sulkeutunut hevoskenkämuoto (Korkala 2018).

Kuvassa 5 näkyy Kemijärvi-Salla alueen tyypillistä Pulju-moreenin rakennetta. Pulju-moreenin harjanteet ovat matomaisia, joiden seassa esiintyy Pulju-moreenille tyypillisiä hevoskenkämuotoja (kuva 6). Kittilän alueella Pulju-moreeneista esiintyy yksittäisiä muotoja, jotka voidaan luokitella omaksi luokakseen (kuva 7). Pulju-moreenissa voi tapahtua myös hevoskenkämuotojen yhdistymistä ja haarautumista (kuva 8).

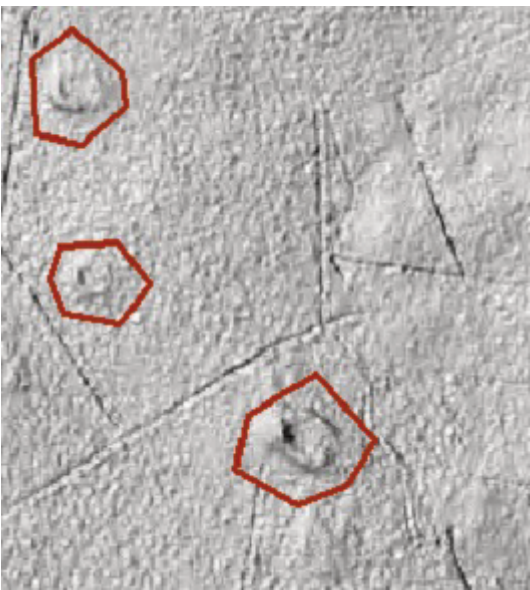


**Kuva 5.** Pulju-moreenin avonaisia muotoja (Korkala 2018).





**Kuva 6.** Hevosenkenkä rakenne (Korkala 2018).

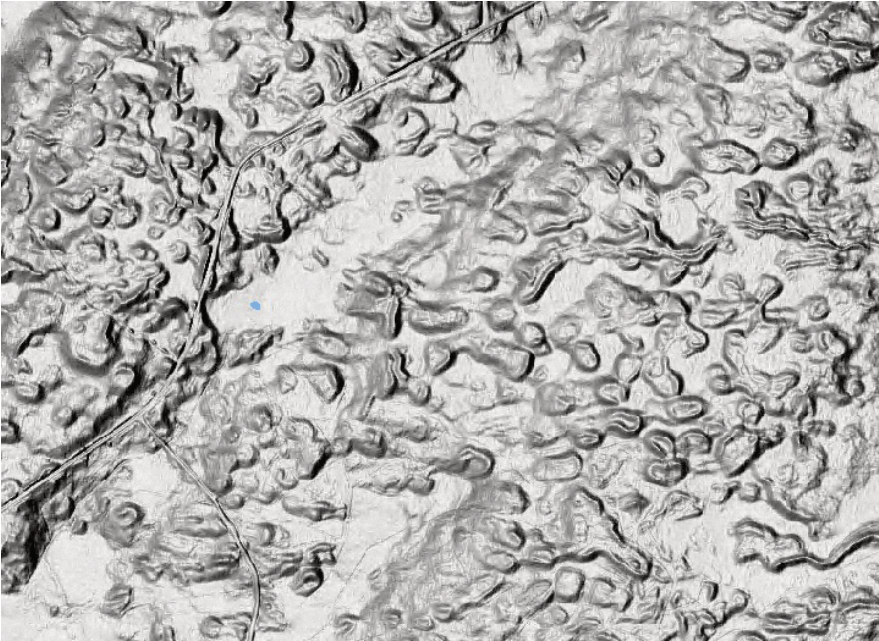


**Kuva 7.** Kittilän Pulju-moreenia (Korkala 2018).

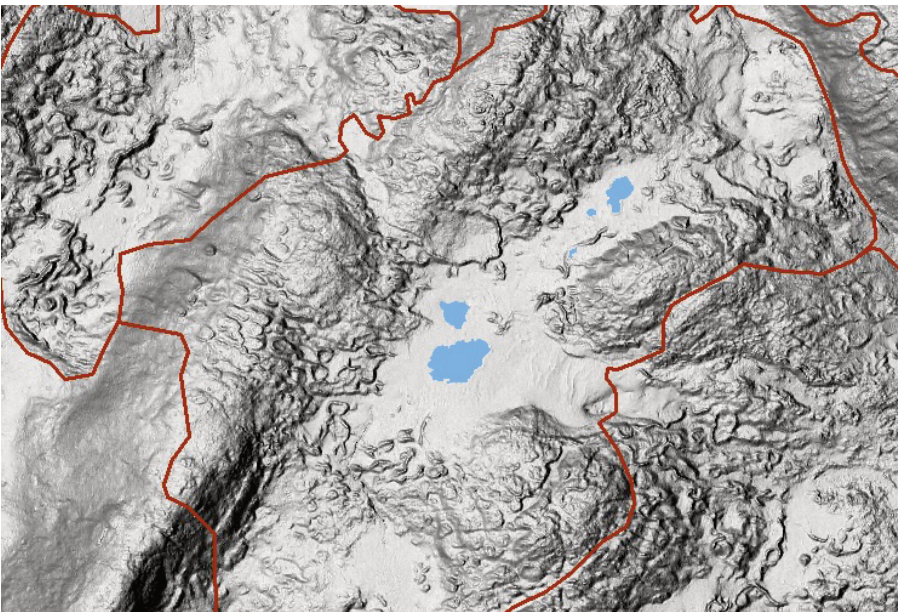


**Kuva 8.** Pulju-moreenin haarautunut hevosenkenkämuoto (Korkala 2018).

Pulju-moreenin yhteydessä olevat matomaiset muodot on kartoitettu, ja alueella on myös harjuja, flutingparvi sekä yleisluokan muodostumia. Pulju-moreenille tyypillistä Kemijärvi-Salla seudulla on moreenin häivytyks syvänteiden ja vesistöjen läheltä. Muodostuma jatkuu kuitenkin selkeänä ja samankaltaisena (kuva 9, kuva 10).



**Kuva 9.** Pulju-moreenia (Korkala 2018).



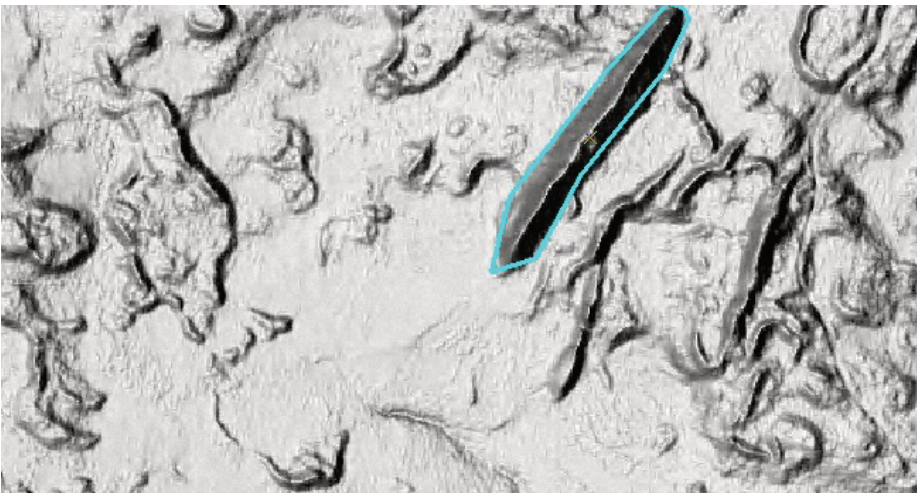
**Kuva 10.** Vesistön vaikutus Pulju-moreenin esiintymiseen (Korkala 2018).



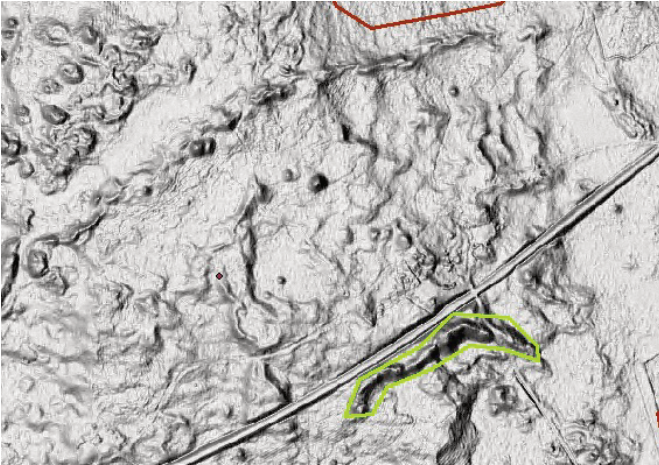
Kuvassa 11 näkyy selkeästi vaihettumisen tapahtuma. Kuvassa esiintyy selkeää Pulju-moreenia, mutta myös enemmän Ribbed-moreenia muistuttavaa ainesta. Moreenin seassa on myös harjanteita, joiden rakenteesta tai koostumuksesta ei ole tietoa (kuva 12). Harjanteiden ulkoasu vaihtelee jyrkkyyden sekä muotojen suhteen (kuva 13). Erityisesti hyvin on tutkittava selkeät harjumaiset harjanteet. Lisäksi Pulju-moreeneista näkee selkeästi suuntautunutta rakennetta.



**Kuva 11.** Vaihettumista moreenissa (Korkala 2018).



**Kuva 12.** Pulju-moreenin harjanne (Korkala 2018).



**Kuva 13.** Suuntausta sekä Pulju-moreenin harjanne (Korkala 2018).

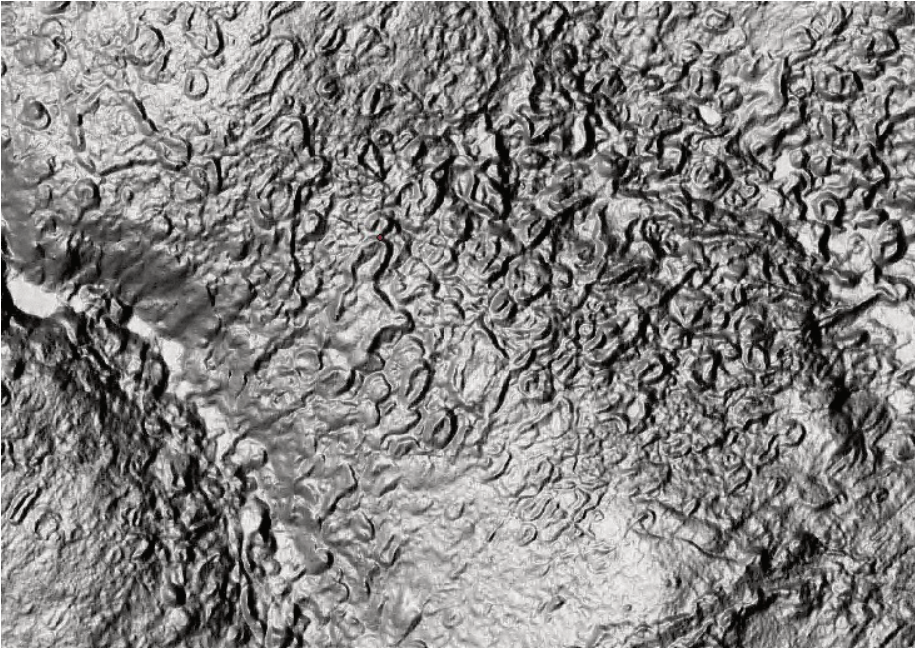
Kemijärvi-Salla alueen Pulju-moreeni alueen moreeni koostuu tasaisesta moreenivyöhykkeestä. Moreeneita esiintyy kuitenkin yksittäisinä kohteina vyöhykkeen pohjois- ja länsipuolilla (kuva 14).



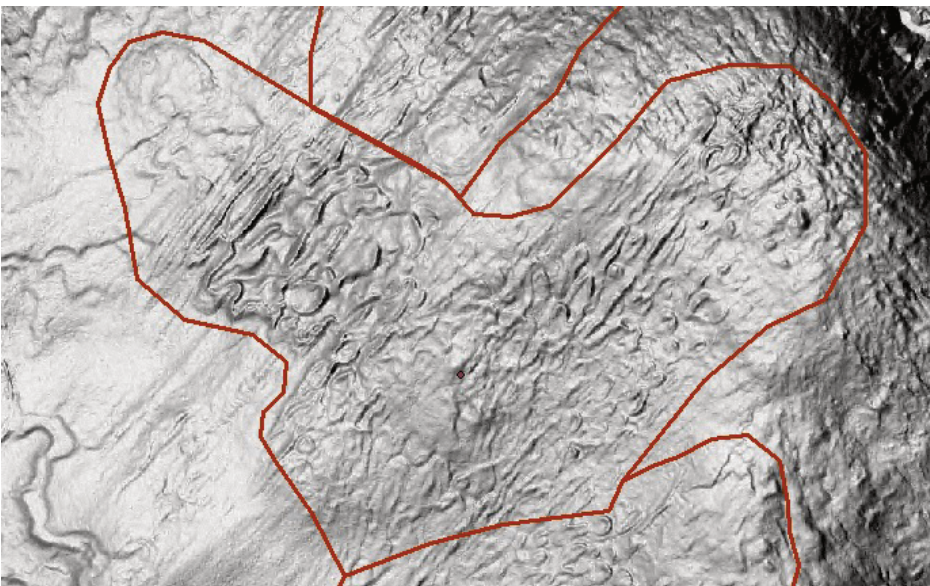
**Kuva 14.** Pulju-moreenialue (Korkala 2018).

Pohjoisen Keski-Lapin alueen Pulju-moreenit eroavat Kemijärvi-Salla alueen Pulju-moreeneista selkeästi. Alueella sijaitsevat Saariselkä, Ivalo sekä Raja-Jooseppi. Pulju-moreeneita tavataan erityisesti kallioperäalueilla sekä eroosiolaaksomaisissa olosuhteissa (kuva 15). Moreenin harjanteen muoto poikkeaa hieman Kemijärvi-Salla alueen Pulju-moreeneista. Lisäksi alueella esiintyy Puljumaisia moreenimuotoja, joiden rakenteessa näkyy selkeitä jäätikön dynamiikasta sekä ympäristöstä johtuvia piirteitä (kuva 16).





**Kuva 15.** Pohjoisen Keski-Lapin Pulju-moreeni (Korkala 2018).



**Kuva 16.** Pohjoisen Keski-Lapin moreenia lineaatioiden yhteydessä (Korkala 2018).

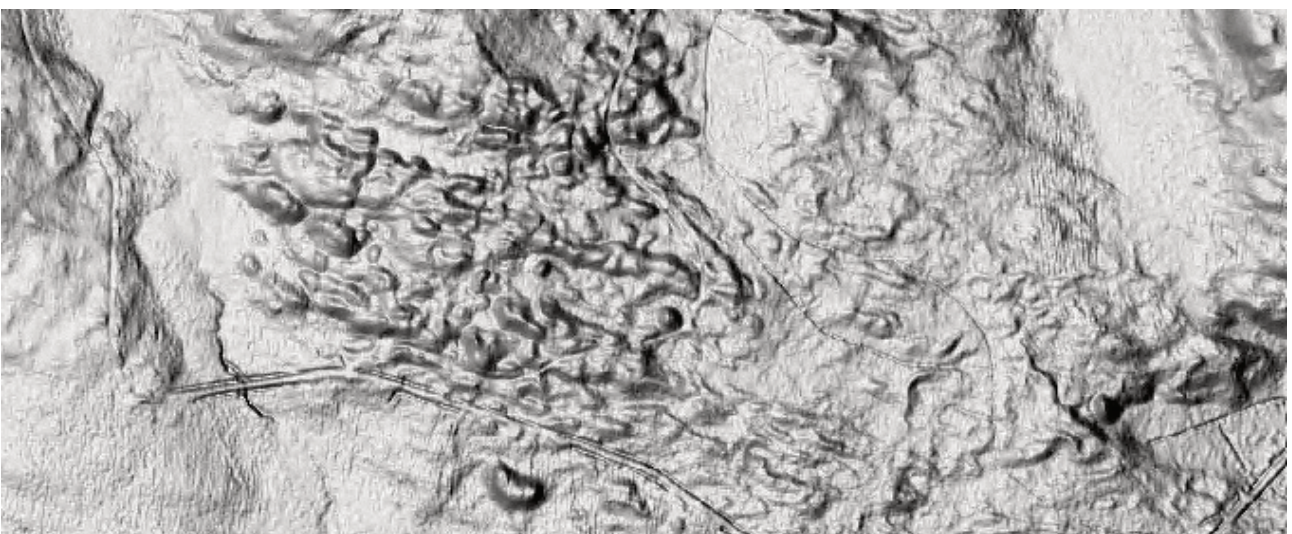
Keski-Lapin alueella esiintyy myös yksityiskohtia, joissa ulkoasu muistuttaa Pulju-moreenia. Esimerkiksi kasvillisuus voi muodostaa LiDAR-aineistossa puljumaisia luikeroita, jotka on rajattu mustalla kuvaan selkeyden vuoksi (kuva 17). Myös soiden rimmet saavat toisinaan aikaan matomaisen ulkoasun. Kasvillisuuden ja ei puljujen tunnistamiseksi voidaan selvittää maaperän koostumus. Verrattaessa oikeaan moreenimuodostumaan eroavaisuudet ovat yleensä selkeitä sekä hahmotettavissa. Moreenimuodostuma on yleensä vahvemmin nähtävissä kuin esimerkiksi pajukot, rimmet ja kasvillisuus.





**Kuva 17.** Puljumaisia rakenteita suolla (Korkala 2018).

Kumpumoreenialueilla ei ole riittävästi irtainta maaperää, ja esimerkiksi Keski-Lapissa on alue, jossa kumpumoreenit ovat harvinaisia. Tämä näkyy selkeästi LiDAR-aineistossa, jossa kumpumoreeneiden määrä vähenee siirryttäessä Keski-Lapissa jäänjakaja vyöhykkeeseen. Keski-Lapin jäänjakaja vyöhykkeessä esiintyy vähän moreenimuodostumia, ja alueella esiintyy pienimuotoisesti lähinnä Ribbeb-tyypin moreeneita. Siirryttäessä Kemijärvi-Salla alueelta pohjoiseen kohti jäänjakajaa tapahtuu selkeää Pulju-moreeneiden vaihtumista Ribbed-moreeneiden kanssa. Kyseisissä ”vaihtumis”-moreeneissa löytyy selkeitä piirteitä kummastakin moreenityypistä, joka vaikeuttaa moreenin luokituksen antamista (kuva 18).



**Kuva 18.** Vaihtuvaa Pulju-moreenia, suunta NW-SE (Korkala 2018).

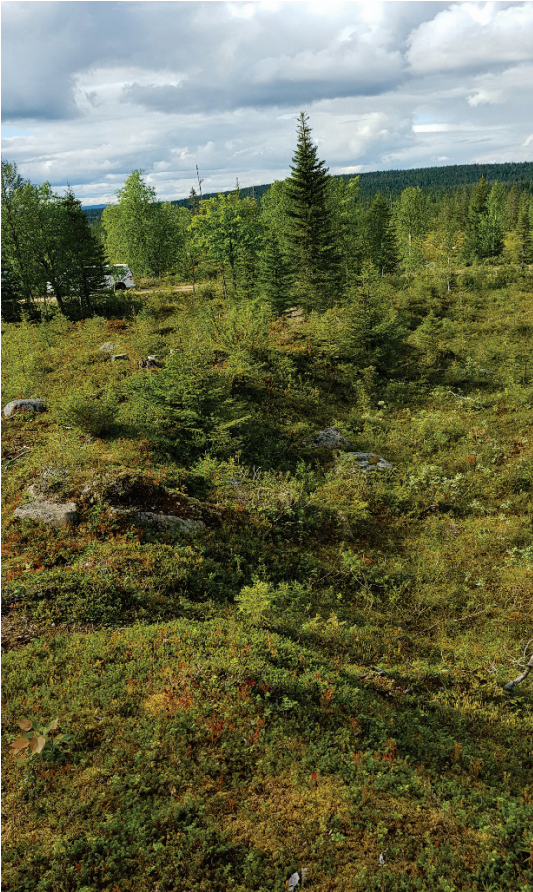


Kemijärvi-Salla alueen Pulju-moreeneiden seassa esiintyy myös hajanaisia Veiki-tyyppisiä moreeneita (kuva 19). Veiki-moreenit ovat Pulju-moreenimaisia moreenimuodostumia, jotka ovat täyttyneet maa-aineksella. Laajat Veiki-moreenit muistuttavat kuviomaita, ja ne ovat helposti tunnistettavissa. Veiki-moreeneita esiintyy erityisesti Pohjois-Ruotsissa. Tutkimusalueella Veiki-moreenit ovat pienimuotoisia. Kuvasta 19 näkee hyvin, kuinka pyöreämuotoinen moreenirengas on täyttynyt. Eron Veiki-moreenin sekä Pulju-moreenin välillä näkee Pulju-moreenin rakenteen maa-aineksen määrästä.



**Kuva 19.** Veiki-moreenia Kemijärvi-Salla alueella (Korkala 2018).

Selkeästi harjannemainen rakenne näkyy kuvassa 20. Pulju-moreenimuodostuma luonnossa on kuvassa 21, ja siitä näkyy selkeästi maastossa hevosenkenkämäinen muoto sekä siihen vaikuttavat kasvillisuuden olosuhteet. Pulju-moreenit voivat olla myös heikosti maastosta erotettavissa (kuva 22), jos kasvillisuutta on runsaasti. Heikosti luonnosta erottuvat muodostumat tulevat esille LiDAR-menetelmällä.



**Kuva 20.** Pulju-moreenimuodostuma luonnossa (Korkala, 2018).



**Kuva 21.** Pulju-moreenin hevosenkentä, joka avautuu ulospäin (Korkala, 2018).





**Kuva 22.** Luonnosta heikosti erottuva Pulju-moreeni (Korkala, 2018).

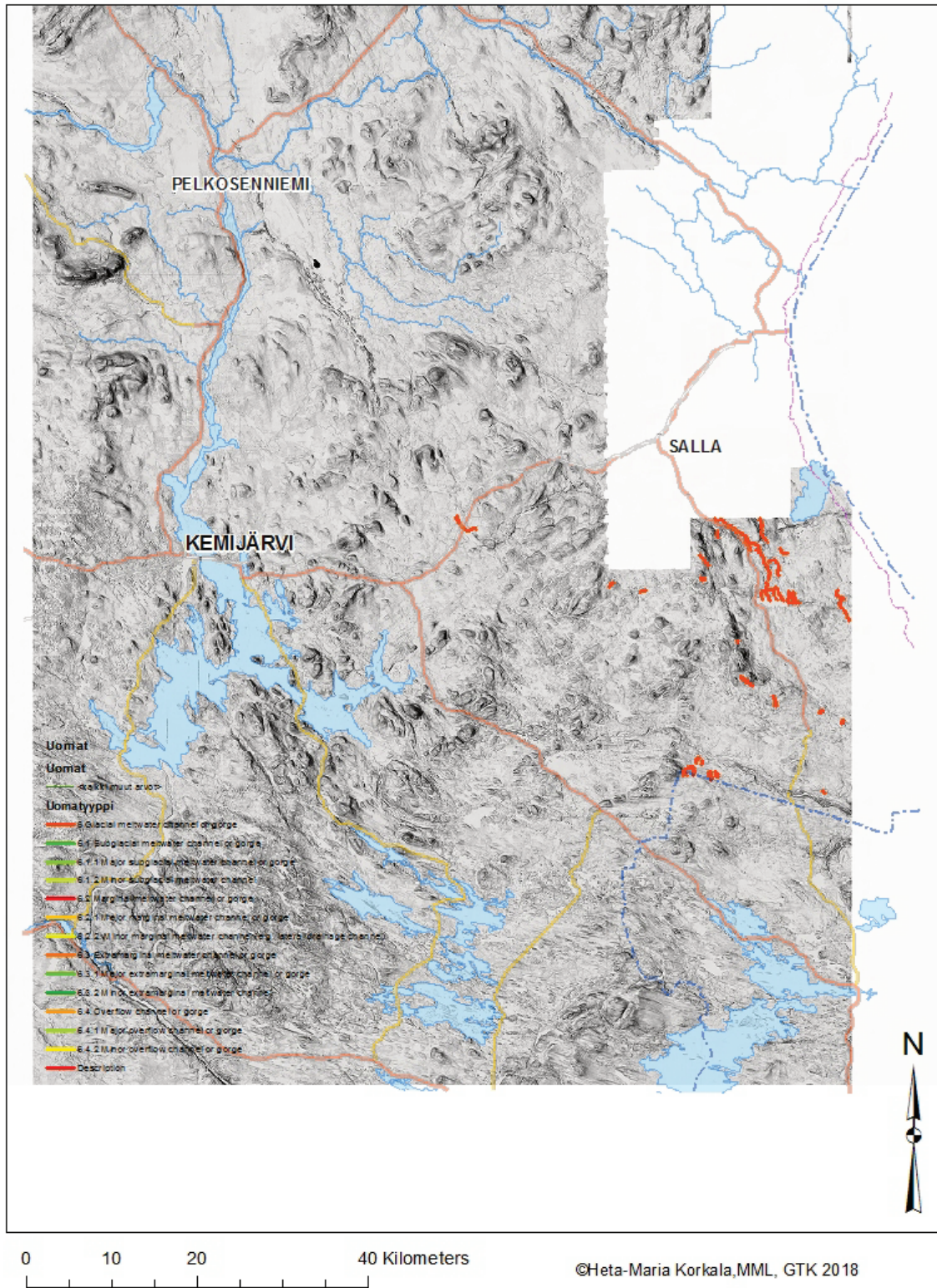
Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on järjestelty kaikki moreenimuodostumat lukumäärän mukaan. Moreenimuodostumia on yhteensä 594 kappaletta.

**Taulukko 2.** Moreenimuodostumat lukumäärän mukaan (Korkala 2018).

Luokka	Määrä (kpl)	
4 Moraine	82	13,80%
4.3 Hummocky moraines ( <i>area</i> )	27	4,55%
4.3.2 Ice contact hummocky moraines (passive/partly active, proglacial/ice frontal) ( <i>area</i> ) (Pulju / Veiki)	424	71,38%
4.4 Ribbed moraines ( <i>area</i> )	19	3,20%
4.4.1 Hummocky ribbed moraines ( <i>area</i> )	2	0,34%
4.5.2 Ice contact hummocky moraine (passive ice/ proglacial) ( <i>single form</i> ) (Pulju / Veiki)	40	6,73%

Tutkimusalueelta kartoitettiin myös Kemijärvi- Salla alueella olevia uomia. Uomia alueelta kartoitettiin 42 kappaletta. Tämä voidaan selittää sulamisvesivirtojen sekä subglasiaalisen toiminnan avulla (kuva 23).

## Uomat



**Kuva 23.** Kemijärvi-Salla alueen uomia (Korkala 2018).

## 4 JÄÄTIKKÖSYNTYISET LINEAATIOT

Geologian tutkimuskeskuksen lineaatioluokittelun tarkoituksena on helpottaa eri tyyppisten maaperämuotojen sekä jäätikön synnyttämien lineaatioiden luokittelua. Lineaatioluokitus on ollut käytössä myös tässä kartoitustyössä. Kyseistä luokittelua käytetään virallisesti Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartoitustietokannassa (GDdatabase) jäätikkösyntyisten yksittäisten muodostumien osalta seuraavasti:

3. Glacially lineated terrain (single lines) (yleisluokka):

3.1 Drumlin (drumliini)

3.2 Rock drumlin or drumlinoid (kalliodrumliini tai drumlinoidi)

3.3 Through valley or crescent through (eroosiolaakso tai kaariallas)

3.4 Fluting (fluting)

3.5 Megafluting (megafluting)

3.6 Pre-crag drumlins (pre-crag drumliinit)

(GTK 2017: Lineaatioluokittelu ja kartoitusohje 28.11.2017:NP edit, muokattu)

Lisäksi on olemassa erillinen luokittelu drumliini- ja flutingkentille eli

2. Glacially lineated terrain (area polygons) (yleisluokka)

2.1 Fluted terrain (area) (flutingparvi)

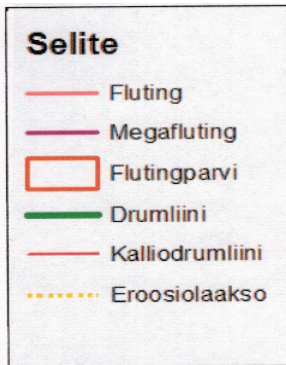
2.2 Drumlin upland (area) (drumliinikenttä)

(GTK 2017: Lineaatioluokittelu ja kartoitusohje 28.11.2017:NP edit, muokattu)

Aineistossa esiintyi jäätikkösyntyisiä maaperän lineaatioita, joita ei voida laittaa mihinkään edellä mainittuihin luokkiin. Silloin otetaan käyttöön Glacially lineated terrain -luokka, tai muodostuma jätetään kokonaan kartoittamatta. Kartoittamatta jätetään myös alueet, joista ei ole varmuutta.



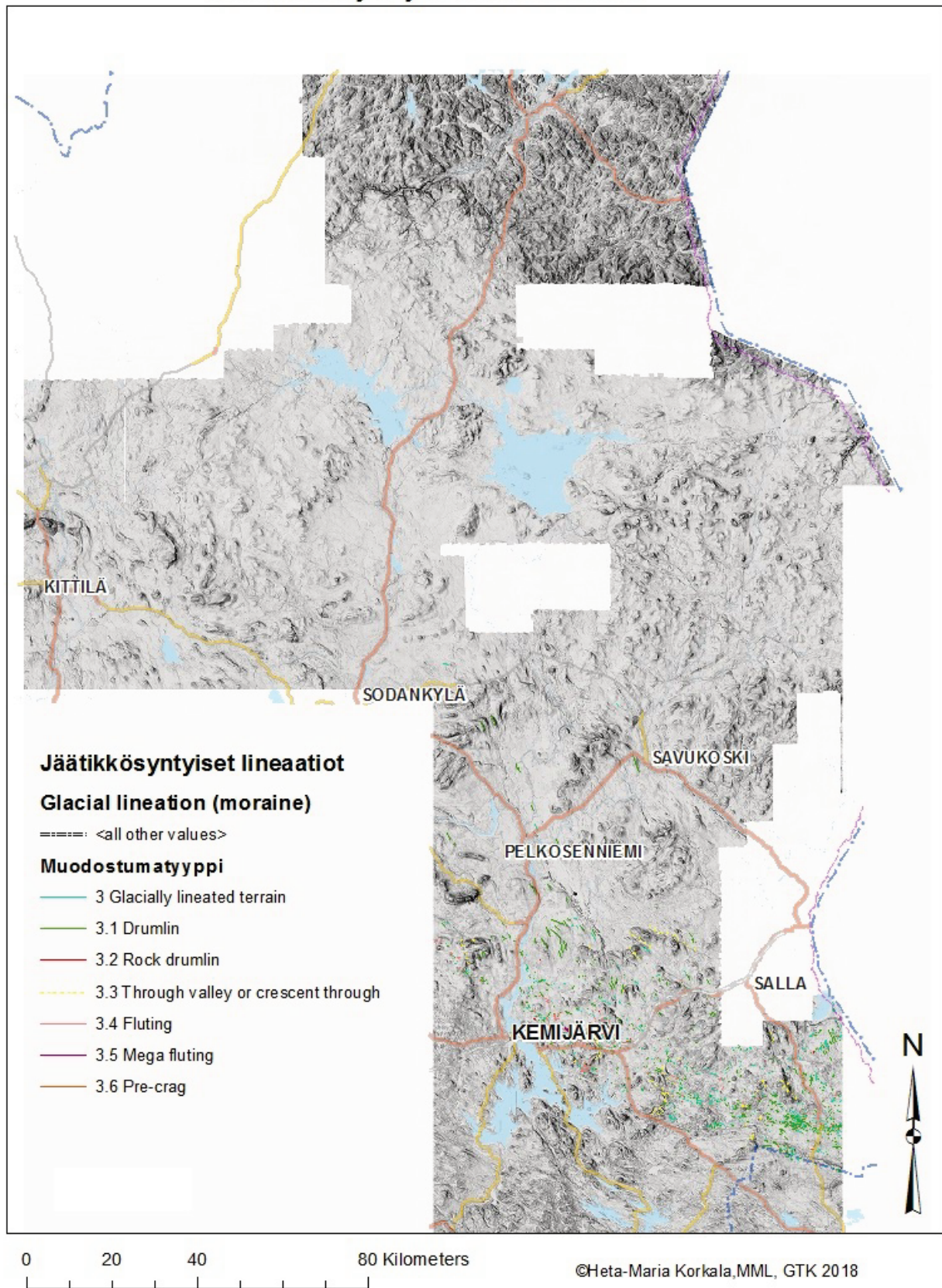
Jäätikkösyntyisiä lineaatioita merkitään karttaan seuraavilla symboleilla (kuva 24). Glacially lineated terrain -luokka merkitään turkoosilla, ja pre-crag-drumliinit oranssilla. Drumliinikentät merkitään flutingparvien mukaisesti, mutta merkintä tapahtuu lehdenvihreällä värillä.



**Kuva 24.** Selitteet (GTK 2017: Lineaatioluokittelu ja kartoitusohje 28.11.2017:NP edit)

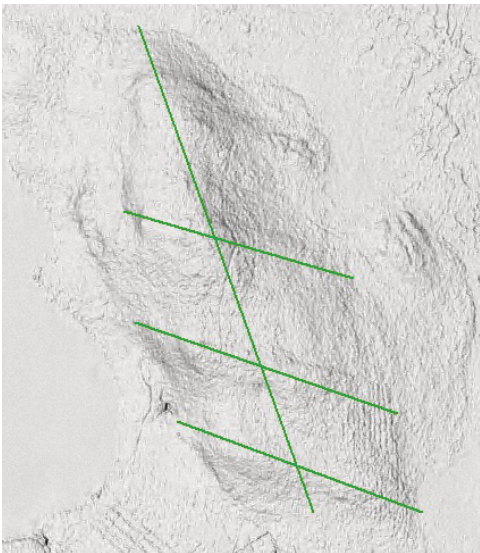
Tutkimusalueen jäätikkösyntyiset lineaatiot (kuva 25) on merkitty Kemijärvi-Salla alueelta. Kemijärvi-Salla alueen jäätikkösyntyiset lineaatiot ovat moreenipeitteisiä drumliineja tai flutingeja. Alueelta löytyy myös eroosiolaaksoja sekä kaariallas. Kaarialtaan alueella näkyy jäätikön liikkeen eri suunnat. Tämä on ensiarvoisen tärkeää, kun tutkitaan alueen eri aikakausien jäätiköitymisiä.

## Jäätikkösyntyiset lineaatit



**Kuva 25.** Jäätikkösyntyiset lineaatit (Korkala 2018).

Jäätikkösyntyisissä lineaatioissa tavataan useampia ikäsuhteita. Tämä kertoo alueen jäätikkösyntyisten lineaatioiden syntyhistoriasta. Ikäsuhteet Geologian tutkimuskeskuksessa jaetaan seuraavasti: nuorin, vanhempi, vielä vanhempi sekä vanhin. Kemijärvi-Salla alueella tavataan jokaista ikäsuhdetta. Ikäsuhteet näkyvät kartalla jäätikkösyntyisten lineaatioiden suuntana vaihdellen horisontaalisesta nuorimmasta länsi-itäsuunnasta vanhimpaan pohjois-eteläsuuntaan. Suuntaukset ovat varsin selkeitä, mutta alueelta löytyy myös muutamia epäselvempiä tapauksia. Lisäksi luokitus on varsin yleispiirteinen, ja tämä vaikuttaa lineaatioiden ikäsuhteiden antamiseen. Esimerkkinä voidaan pitää tilannetta, jossa mietitään vanhimman, ja vielä vanhemman eroa. Ero ikäsuhteissa voi olla minimaalinen. Tämä on otettava huomioon johtopäätöksiä tehdessä. Ikäsuhteiden merkitseminen tulee kyseeseen, kun jäätikön suuntia on useampia, ja ne voivat leikata toisensa (kuva 26).

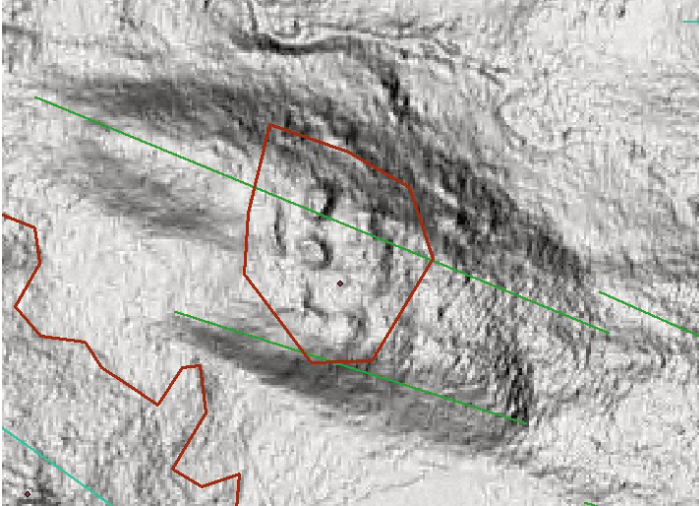


**Kuva 26.** Risteäviä vanhempia ikäsuhteita vielä vanhemman drumliinin pinnalla (Korkala 2018).

Drumliinit ovat jäätikön edetessä jään alle syntyneitä maaperämuodostumia. Drumliinit tunnistaa helposti kyynelmäisestä muodosta sekä mahdollisesta kallioytimeistä. Tämän kaltaisia ns. oppikirjan mukaisia drumliineita ei löytynyt alueelta, vaan drumliinit olivat lähes soikean mallisia. Drumliinien proksimaaliosa on korkeampi kuin drumliinin distaaliosa, joka kapenee loppua kohden. Drumliinien muoto johtuu jäätikön liikkeistä sekä vallinneista paineoloista. Alueen drumliineista erottaa selkeästi korkeammat alueet. Drumliineita esiintyy erityisesti suoalueilla, ja Kemijärvi-Salla alueella myös Pulju-moreeneiden yhteydessä. Pulju-moreenialueilla Pulju-moreenit kulkevat drumliinin tai jonkun muun jäätikkösyntyisen lineaation päältä. Vaikka lineaatio leikkaakin Pulju-moreenialueen, pysyy Pulju-moreenit rakenteeltaan selkeänä myös drumliinin päällä (kuva 27). Drumliineita esiintyy erityisesti Kemijärvi-Sallavyöhykkeen itäosissa. Drumliinit ja muut jäätikkösyntyiset lineaatiot



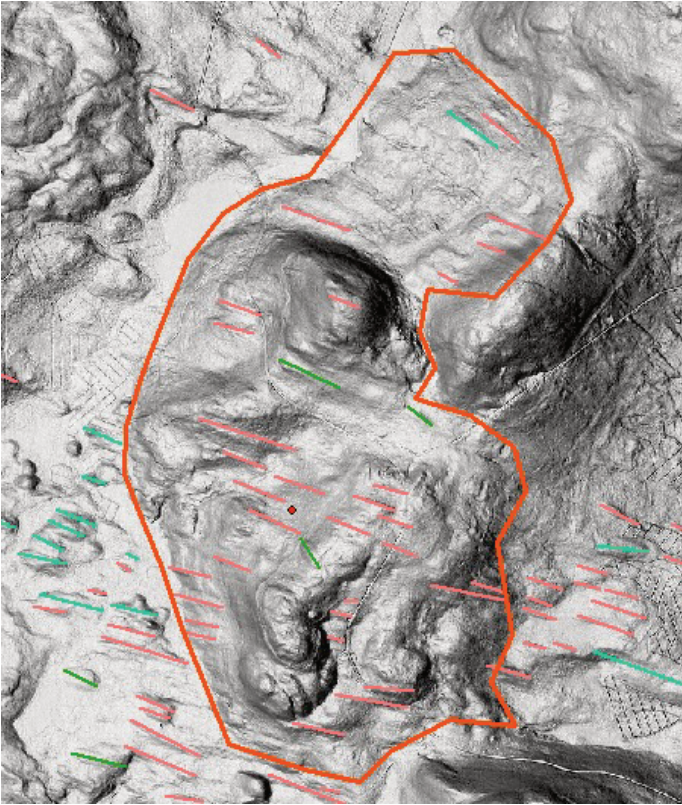
idässä muodostavat Pulju-moreenien kanssa jatkuvan linjan idästä lievästi kohti länttä. Pulju-moreenit vaihtuvat pohjoiseen mentäessä Ribbeb-tyypin moreeneiksi, ja jäätikkösyntyiset lineaatiot ovat vallitsevammat. Osassa jäätikkösyntyisistä lineaatioista esiintyy myös kallioperää.



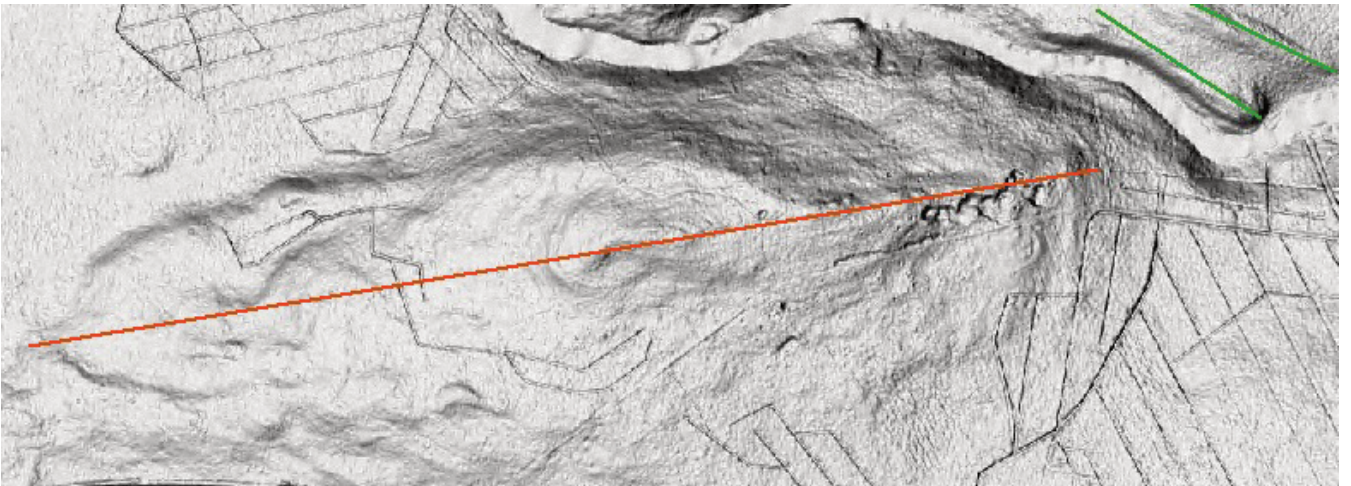
**Kuva 27.** Pulju-moreenia kahden drumliinin päällä (Korkala 2018)

Flutingit ovat yleensä hyvin kapeita sekä pitkänomaisia lineaatioita, jotka usein muistuttavat drumliineja. Haastavissa kartoituskohdeissa joudutaan pohtimaan, mistä lineaatiosta on kysymys. Tilanteessa auttaa pituuden ja leveyden suhteen vertailu esimerkiksi drumliineiden kanssa. Joissakin tapauksissa drumliineiden ja flutingien ero voi olla hyvin pieni. Flutingit voivat esiintyä parvissa sekä olla muodoltaan pyöreähköjä ja hyvin lyhyitä. Flutingin muotoon vaikuttaa erityisesti jäätikön massa, nopeus sekä painesulamisolosuhteet.

Alueen flutingit esiintyvät erityisesti lähellä Kuusamonkielekkeen rajaa. Alueen flutingeilla on taipumusta esiintyä samassa paikassa, ja yleensä parvimaisesti (kuva 28). Flutingien pituus vaihtelee, mutta muodostumat pysyvät selkeinä flutingeina. Alueella on myös pre-crag muodostumia (kuva 29). Kalliodrumliinit ovat drumliinimuodostumia, joissa esiintyy erityisen runsaasti kalliota sekä kivenlohkareita. Niissä on mukana jäätikön muokkaamaa moreenia, joka johtuu jäätikön toiminnasta. (kuva 30).

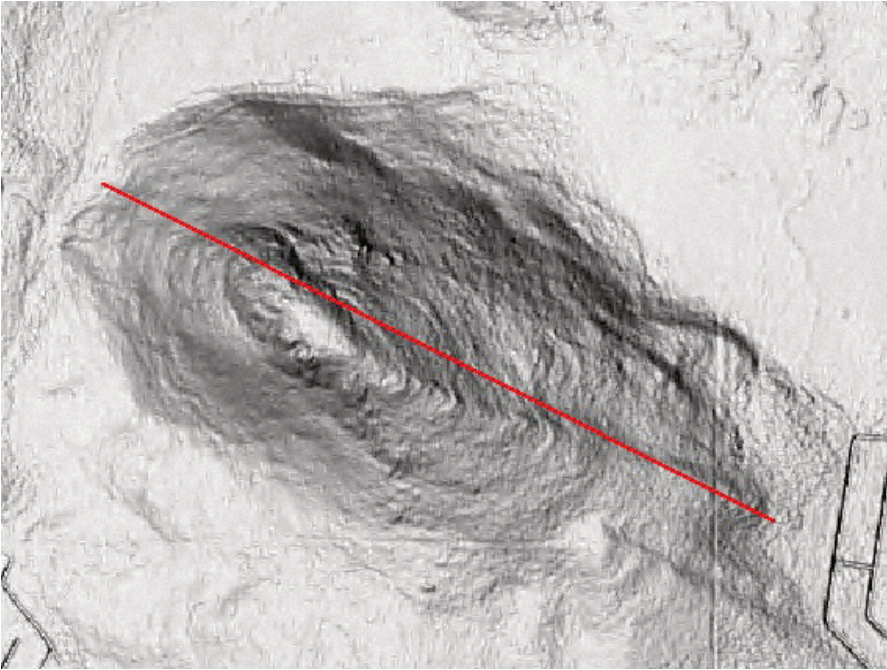


**Kuva 28.** Flutingparvi (Korkala 2018).



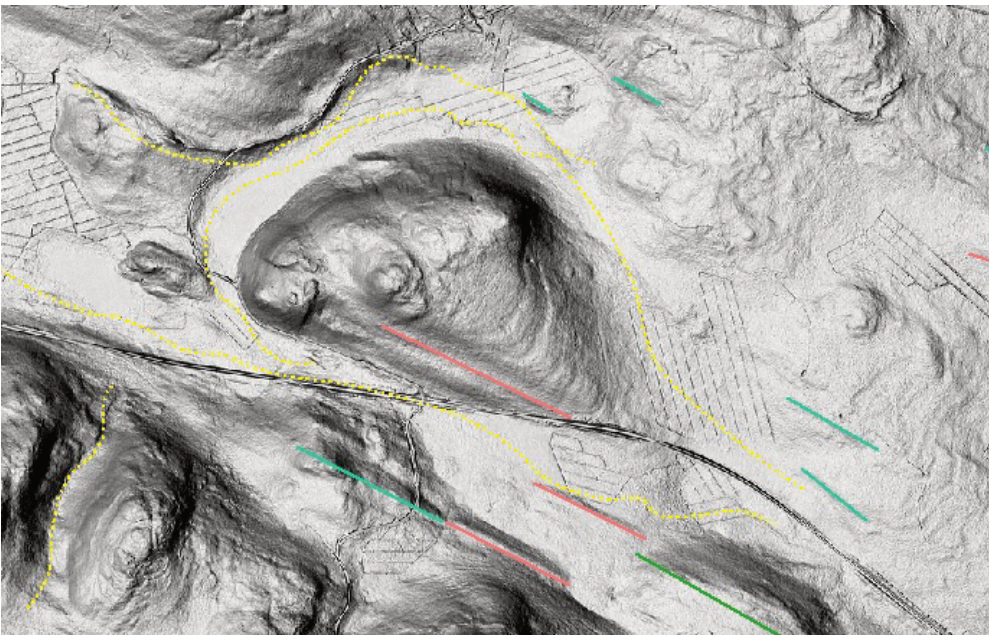
**Kuva 29.** Pre-crag muodostuma (Korkala 2018).





**Kuva 30.** Kalliodrumliini Kemijärvi-Salla alueella (Korkala 2018).

Lähellä Kuusamonkielekkeen rajaa sijaitsee runsaasti eroosiolaaksoiksi luokiteltavia alueita. Alueella sijaitsee myös kaariallas, joka voidaan luokitella samaan luokkaan. Eroosiolaaksot ja kaarialtaat merkitään kartalle keltaisella katkoviivalla (kuva 31). Kuvasta näkee selkeästi uudemman ja vanhemman jäätikön virtauksen suunnan sekä eroosionmuotojen risteävät ikäsuhteet.



**Kuva 31.** Kaariallas lähellä Kuusamonkielekettä, jossa myös lineaatioita (Korkala 2018).

Jäätikkösyntyisten lineaatioiden määrä on kuvattu taulukossa (taulukko 3) eli niitä on 2175 kappaletta. Lisäksi on yksi Fluted terrain (*area*), eli flutingparvi.

**Taulukko 3.** Jäätikkösyntyisten lineaatioiden määrä (Korkala 2018).

Luokka	Määrä (kpl)
3 Glacially lineated terrain	791 36,37%
3.1 Drumlin	830 38,16%
3.2 Rock drumlin	6 0,27%
3.3 Trough valley or crescent through	38 1,75%
3.4 Fluting	500 22,99%
3.5 Mega fluting	5 0,23%
3.6 Pre-crag	5 0,23%

Ikäsuhteiden määrä (taulukko 4) on 2175 kappaletta. Eroosiolaaksot ja muut kohteet, joista ei voida ikäsuhdetta suoraan määrittää (0 ikäsuhde) on 33 kpl eli 1,52% .






**Taulukko 4.** Ikäsuhteet (Korkala 2018).

Ikäsuhde	Määrä (kpl)
Nuorin	792 36,41%
Vanhempi	955 43,91%
Vielä vanhempi	327 15,03%
Vanhin	68 3,13%
0 ikäsuhde	33 1,52%

## 5 KALLIOMUODOSTUMAT

Keski-Lapin alueelta tutkittiin erityyppisiä kalliomuodostumia. Geologian tutkimuskeskuksen tekemää luokitusta täydennettiin lisäämällä luokitus kalliomuodoille (kuva 32). Luokituksen pohjalta kalliomuotojen tutkimus sekä tunnistaminen helpottuvat. Kallioluokituksessa noudatetaan samaa periaatetta, kuin Geologian tutkimuskeskuksen aikaisemmissa luokituksissa jakaen kalliomuodot eri luokkiin. Ensimmäinen luokka toimii yleisluokkana koko luokitukselle. Yleisluokka toimii samalla tavalla, kuin esimerkiksi jäätikkösyntyisten lineaatioiden Glacially lineated terrain- luokka. Kyseisen luokan alle voi lisätä kalliomuotoja, jotka ei sovellu muihin luokkiin, tai niiden tyypistä ei ole varmuutta.

### Kalliopisteet

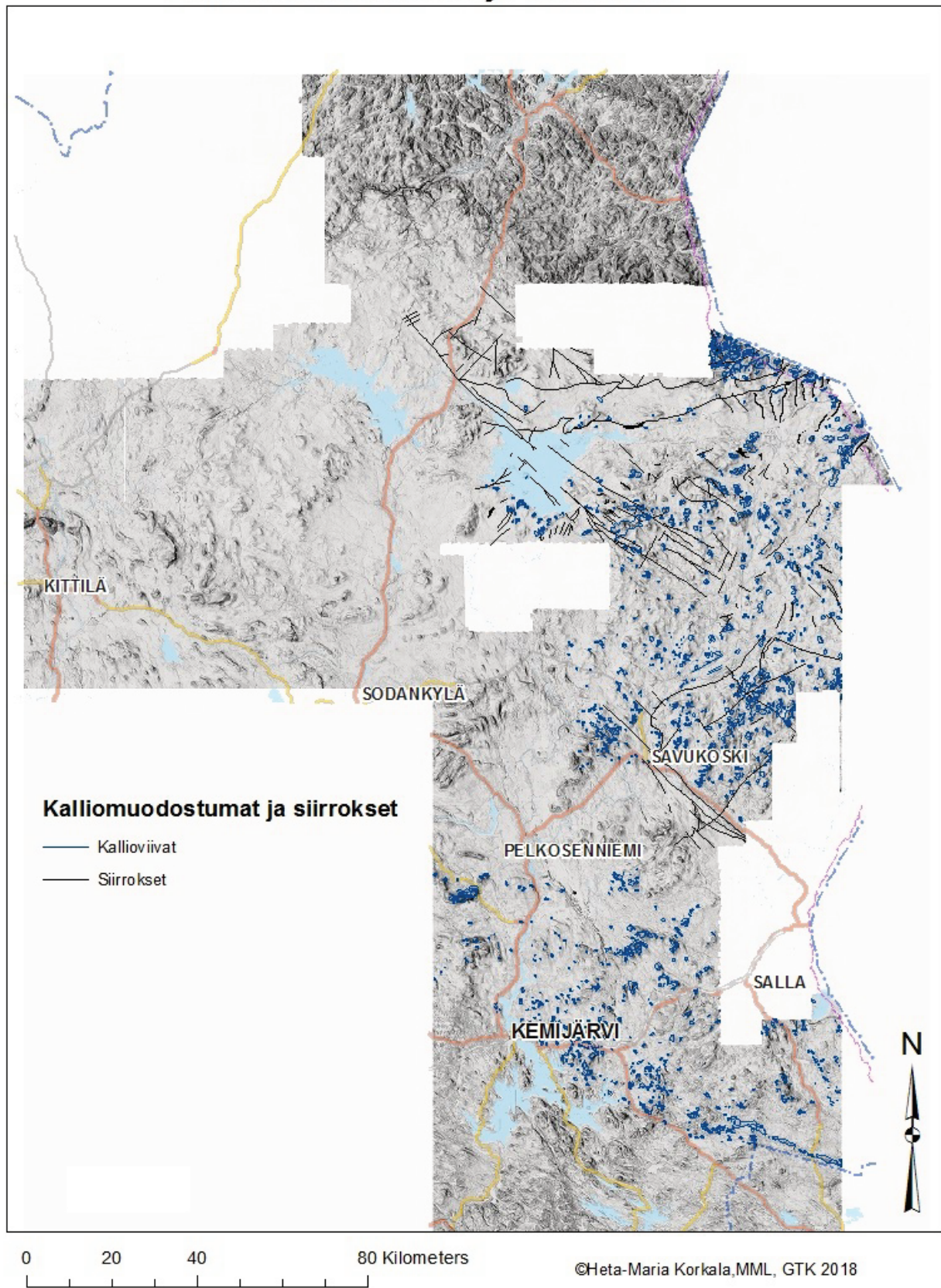
-  8 Bedrock feature
-  8.1 Bedrock outcrop
-  8.2 Bedrock, near surface
-  8.3 Block fields
-  8.4 Glacial draw or crevasse

**Kuva 32.** Kallioluokitus (Korkala 2018).

Tutkimusalueen aineistoon on merkitty siirrokset ja kalliolineaatiot, sekä kalliorakenteet. Kalliomuodostumia löytyy laajasti ympäri Keski-Lappia (kuva 33) .

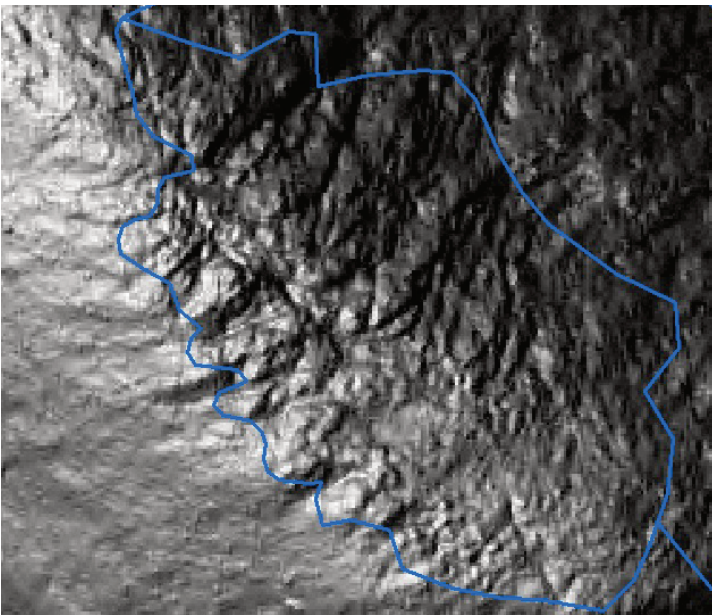


## Kalliomuodostumat ja siirrokset

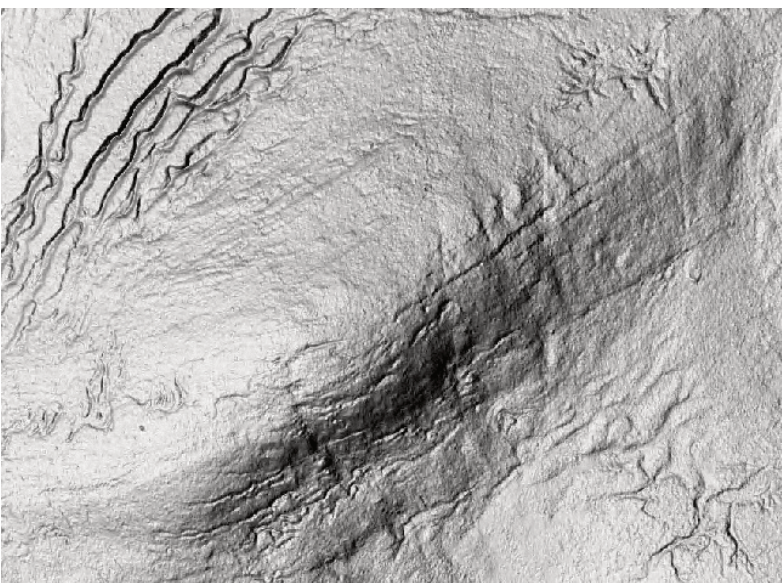


**Kuva 33.** Kalliomuodostumat ja siirrokset (Korkala 2018).

Kalliopaljastumia esiintyy alueilla, joissa eroosio on päässyt kosketuksiin (kuva 34). Rakka-alueita esiintyy laajasti erityisesti pohjoisosassa Keski-Lappia. Rakat sekä kalliopaljastumat ovat läheisesti sidoksissa tuntureihin sekä muihin vastaaviin kalliomuodostumiin. Rakat ovat syntyneet fysikaalisen pakkasrapautumisen seurauksena. Huomioitavaa erityisesti on, että moreeni peittää suurimmanosan kalliomuodoista, ja pohjoisosissa on mahdollisuus rapakallioesiintymiin (kuva 35). Moreenipeitteisillä alueilla monet kohteet ovat hyvin lähellä varsinaista maanpintaa. Sallan alueella idässä Lokan tekojärven itäpuolella esiintyy myös erityisen runsaasti uomia. Uomien määrä ja suunta kertoo jäätikön suhteista muuhun ympäristöön (kuva 36).

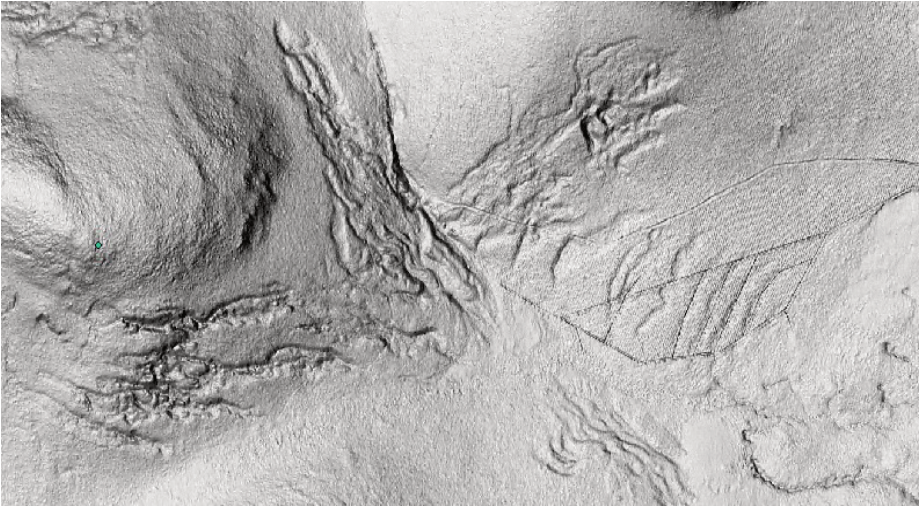


**Kuva 34.** Kalliopaljastuma (Korkala 2018).



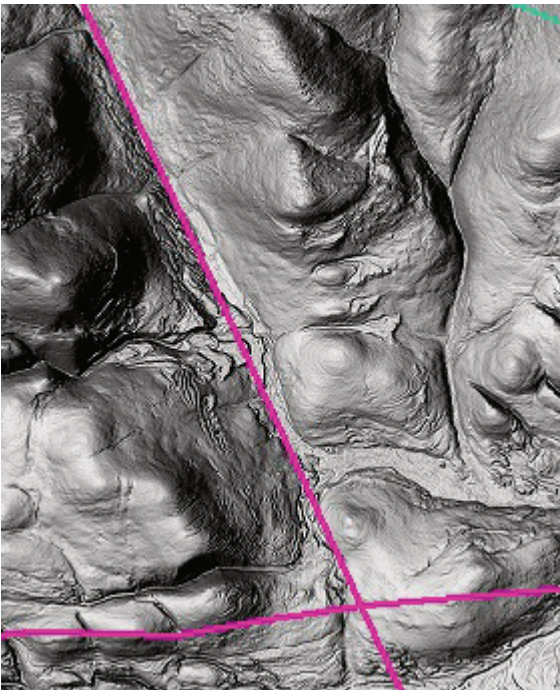
**Kuva 35.** Moreenin peittämää kallioperää (Korkala 2018).





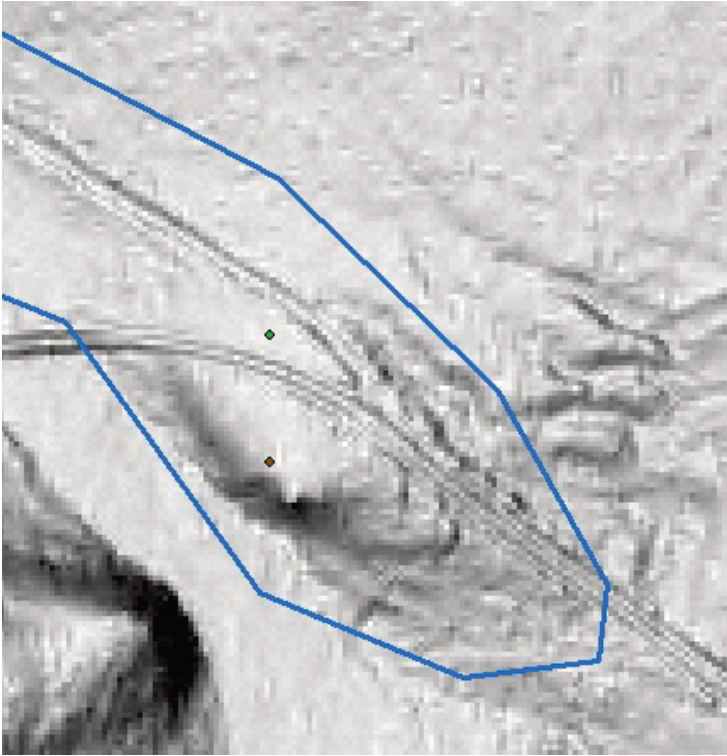
**Kuva 36.** Rakkaa (vasemmalla) ja uomia Keski-Lapissa (Korkala 2018).

Pohjoisosissa yleistä on jäätikön synnyttämät uurteet sekä siirrokset. Siirroksien pituus vaihtelee, ja ne vaihtelevat useiden kilometrien välillä (kuva 37).



**Kuva 37.** Siirros Pohjoisessa Keski-Lapissa, kuvassa myös uurteita (Korkala 2018).

Kuvassa 38 näkyy bedrock feature- luokkaan kuuluva kalliomuodostuma. Kyseinen muodostuma luokitellaan epämääräisen pienen kallioesiintymän vuoksi kyseiseen luokkaan. Ei ole tarkkaa tietoa, onko kyseessä paljastuma, vai moreenin peitossa oleva kohde. Turvallisinta on merkitä kohde yleisluokkaan, tai jättää merkitsemättä. Tutkimusalueella on kyseisen luokan kalliikohteita.



**Kuva 38.** Bedrock feature, yleisluokan kalliomuodostuma (Korkala 2018).

Taulukossa 5 on kerätty yhteenvetona kalliomuodostumiin liittyvien kohteiden kappalemäärät. Yhteensä kalliomuodostumia on 2742 kpl, ja siirroksia 238 kpl. Yhteensä muodostumia on 2980 kpl, joista kalliomuodostumien osuus on 92,01%.

**Taulukko 5.** Kalliomuodostumien määrä (Korkala 2018).

Kalliomuoto	Määrä (kpl)
8. Bedrock feature	332 11,14%
8.1 Bedrock outcrop	1584 53,15%
8.2 Bedrock, near surface	682 22,89%
8.3 Block fields	141 4,73%
8.4 Glacial draw or crevasse	3 0,10%
Faults	238 7,99%

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kemijärvi-Salla alueen Pulju-moreenien harjanteiden osalta on suoritettu maastotutkimuksia. Alueen Pulju-moreenien seassa esiintyy selkeitä harjumaisia seläniteitä. Tarkoituksena on selvittää, miksi Pulju-moreenien joukossa on enemmän matomaisia muotoja, jotka haarautuvat varsinaisista Pulju-moreeni muodoista. Lisäksi selvitetään, mistä Pulju-moreenille tyypillisten donitsien ja hevosenkenkien rakenne johtuu. LiDAR-aineistosta on oma aineisto puljujen harjanteille. Pulju-moreeni muodostumasta on tarkoitus tehdä tutkimuksia ja montutuksia. Lisäksi saadaan tietoa alueen stratigrafiasta ja post-glasiaalisiirroksista.

Pulju-moreenien osalta on suunniteltu jatkotutkimusta opinnäytetyön muodossa. Pulju-moreenien olemassaolo on tiedetty. Niiden laajuus on suurempi kuin alun perin on tiedetty. Lisäksi Pulju-moreenien rakenteellinen ero Saariselän ja Kemijärvi-Salla alueen välillä on merkittävä. Kemijärvi-Salla alueen Pulju-moreenien seassa olevien harjanteiden rakenteiden ja stratigrafian selvitys ovat merkittävässä asemassa Pulju-moreenien synnyn kannalta. Lisäksi saadaan selville glasiaalidynamiikasta johtuvia piirteitä.

Projektin aikana LiDAR-menetelmä osoittautui toimivaksi tavaksi etsiä sekä hahmottaa geologisia muodostumia. Vanhat muodostumat pystyttiin varmentamaan sekä näkemään kokonaisuutena. Tämä ominaisuus korostui erityisesti Pulju-moreenien kohdalla, kun Kemijärvi-Salla muodostumaa tutkittiin. LiDAR:in avulla pystytään löytämään uusia kohteita, joita vanhoilla menetelmillä ei ole pystytty todentamaan. Uusimman teknologian myötä jopa pienimmätkin kohteet, kuten esimerkiksi kivet ja kasvillisuus näkyvät hyvin kuvissa. Haastavakulkuisten alueiden kohdalla on helpompi tutkia alue ensin LiDAR-menetelmän avulla, ja laajentaa tutkimuksia maastoon.

LiDAR-aineistossa näkee korkeussuhteet sekä ihmisen luoman infrastruktuurin. Esimerkiksi kaivokset ja tiet näkyvät erittäin hyvin aineistossa. Jäätikkösyntyisten lineaatioiden osalta nähdään useampi jäänsuunta helposti, joka helpottaa suuntauslaskujen suorittamista. LiDAR-aineistoa voidaan myös muokata, ja käsitellä helpommin kuin perinteistä ilmakuvaa. Ilmakuvissa osa pienimmistä kohteista voi jäädä kartoittamatta. LiDAR-menetelmän rajoittava tekijä on se, että aineistoa jokaisesta alueesta ei ole vielä saatavilla menetelmän uutuuden vuoksi. Esimerkiksi Keski-Lapin alueella oli tyhjiä alueita, joiden geologiasta ei ole tietoa aineistossa. Kokonaisuudessaan LiDAR on toimiva menetelmä geologisten kohteiden tutkimukseen.

## LÄHDELUETTELO

GTK 2017. Lineaatioiden luokittelu ja kartoitusohje 28.11.2017: NP edit. Sähköposti 18.5.2018: Putkinen S, GTK.

Johansson, P., Sahala, L. & Virtanen, K. 2000. Rantamerkit, tuulikerrostumat ja moreenimuodostumat geologisina luontokohteina. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 151. Kuopio: Savonkopiokeskus Oy. 76 s.

Mäkinen, K., Palmu, J-P., Teeriaho, J., Rönty, H., Rauhaniemi, T. & Jarva, J. 2007. Valtakunnallisesti arvokkaat moreenimuodostumat. Suomen ympäristö 14/2007. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38399/SY\\_14\\_2007.pdf?sequence=14&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38399/SY_14_2007.pdf?sequence=14&isAllowed=y). [viitattu 2.9.2018] ISSN 1796-1637 (verkkojulkaisu). 120 s.

Putkinen, N., Eyles, N., Putkinen, S., Ojala, A.E.K., Palmu, J-P., Sarala, P., Väänänen, T., Räisänen, J., Saarelainen, J., Ahtonen, N., Rönty, H., Kiiskinen, A., Rauhaniemi, T. & Tervo, T. 2017. High-resolution LiDAR mapping of glacial landforms and ice stream lobes on Finland. Electronic Appendix B. [verkkodokumentti]. Saatavissa: [http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume89/Putkinen\\_et\\_al\\_Electronic\\_Appendix\\_B.pdf](http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume89/Putkinen_et_al_Electronic_Appendix_B.pdf). [viitattu 10.9.2018]. (verkkojulkaisu). 2 s.

### Aineisto

Geologian tutkimuskeskus, Kokkola sekä Maanmittaus laitos.  
Muokannut Korkala, H-M. 2018. Oulun yliopisto.

Korkala, H-M.2018. Kallioluokitus. Oulun yliopisto.

### Kuvat

Korkala, H-M. 2018





**UNIVERSITY OF OULU**

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# RAPORTTI KITTILÄ-SODANKYLÄ

Maaperämuotojen ja -rakenteiden LiDAR-pohjainen  
tulkinta malminetsinnän tukena

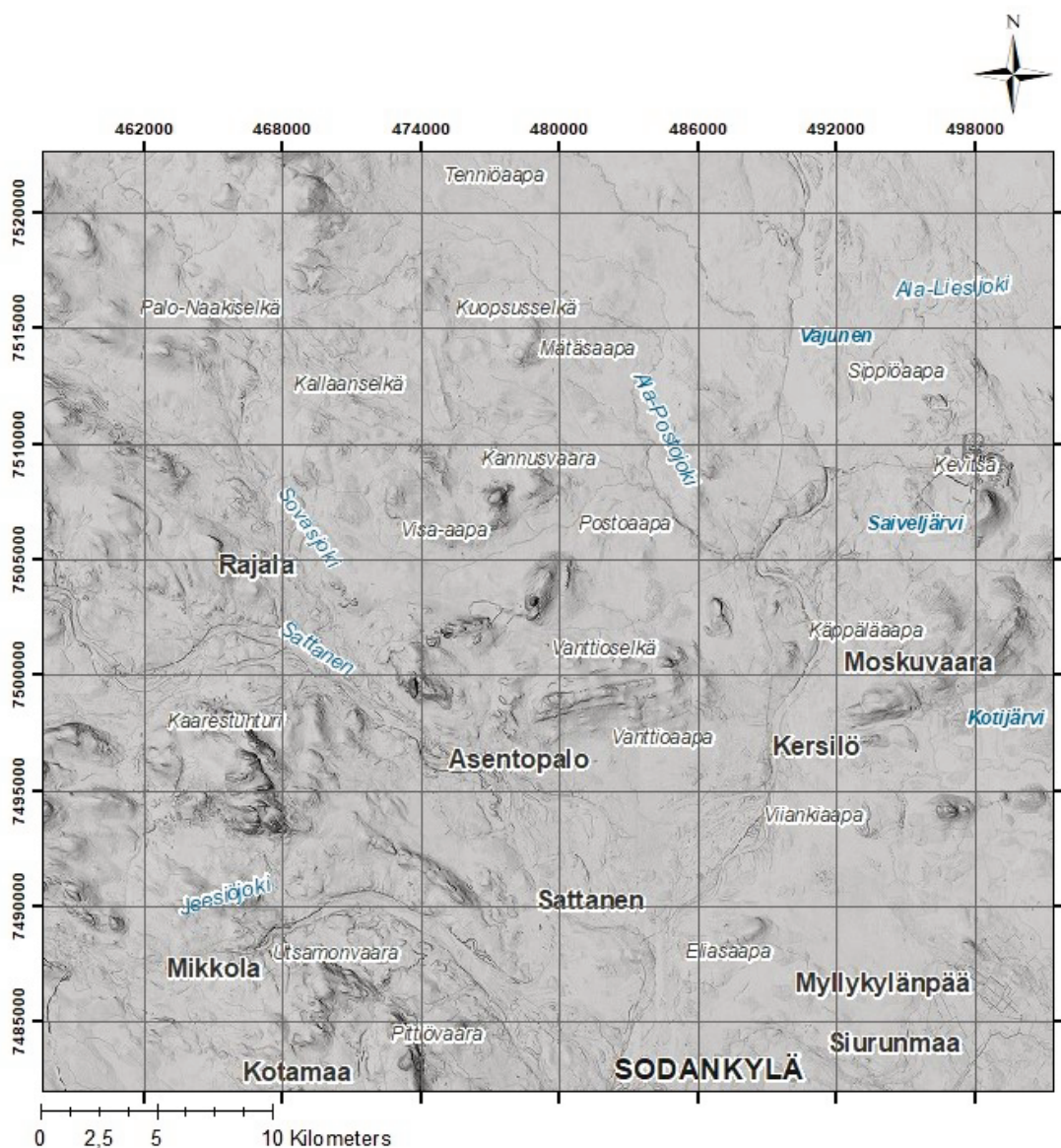
Markus Raatikainen  
markus.raatikainen@student oulu.fi

## Sisällys

1. Työn kuvaus.....	1
2. Työn suoritus .....	2
3. Havainnot.....	3
3.1. Härkäjoen potentiaalinen alue.....	3
3.2. Pohjois-etelä suuntainen lineaatio.....	6
4. Yhteenveto .....	8
Viitteet .....	9
Liitteet .....	11

# 1. Työn kuvaus

Työssä Geologian tutkimuskeskuksesta (GTK) ja Maanmittauslaitokselta saadulla aineistolla, pääasiassa LiDAR-korkeusmallilta, tutkittiin Keski-Lapin pinnanmuotoja. LiDARin lisäksi GTK:sta saatiin käyttöön esimerkiksi magneettisuuskartta, resistenssikartta ja ns. linjamoreeniaineistoa. Työtä oli tekemässä kolme henkeä Linnea Kaislo, Heta-Maria Korkalo ja Markus Raatikainen, jokaisella oli oma työnkuva. Omani oli ensin etsiä rajatulta alueelta (Kuva 1) syvempiä rapautumia. Myöhemmin laajensin aluetta muuhun



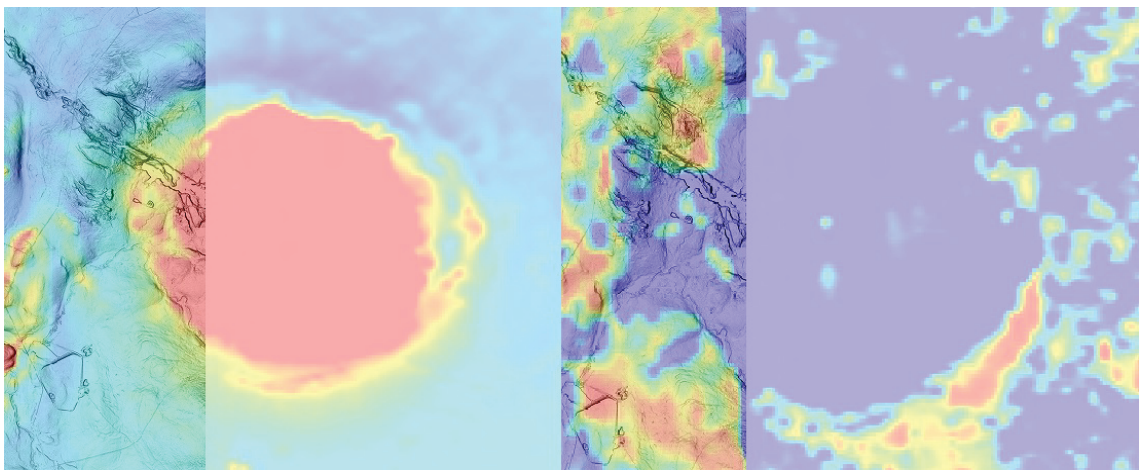
Kuva 1. Kuvassa kandityössä käsiteltävä alue Keski-Lapista. Tässä projektissa syvempien rapautumien, "kalliomaa-alueiden", kallio lineaatioiden ja ruhjeiden etsintä alkoi omalta osalta tältä alueelta.

tutkimusalueeseen. Myöhemmin kartoitin ”kalliomaa-alueita”, joissa siis maa-aineskerros kallionpäällä on oletettavasti matala, sekä kallion lineaatioita, oletettavia ruhjeita/ruhje alueita sekä kalliopaljastumia.

## 2.Työn suoritus

Työ tehtiin ArcGIS-ohjelmaa käyttäen. Ohjelmaan syötettiin GTK:sta saatu aineisto. Pohjakarttana toimi Maanmittauslaitoksen LiDAR-aineisto. Ensimmäistä tehtävää lähettiin suorittamaan käyttäen hyväksi GTK:n geofysikaalisia magneettista ja resistiivisyyskartoitusaineistoa, linjareenidatata ja kalliopisteiden aineistoa. Lisäksi käyttöön saatiin GTK:n pistemäinen alueellisen moreenigeokemian aineisto alueelta. Myöhemmin pisteaineisto muutettiin tiheyskartaksi ioGAS-ohjelmaa hyödyntäen. Referenssialueena käytettiin Soklin muodostumaa (Kuva 2). Eli ensin kartoitettiin paikkoja, jotka olivat voimakkaasti magneettisia, sekä matalan resistiivisyyden omaavia eli voimakkaasti sähköä johtavia. Myöhemmin etsittiin alueita, jotka eivät täysin täyttäneet Soklin tunnusmerkkejä (Kuva 3, Liite 1).

Myöhemmin pinnanmuotoja katsomalla kartoitettiin, joitain pitkiä linjamaisia muodostumia. Osa vaikutti ruhjemaiselta, osassa vaikutti olevan viivasuoria harjanteita (Kuva 4, Liite 2). Viimeisiä kartoituksia olivat niin sanottujen kalliomaa-alueiden (Bedrock near surface) (Kuva 6) sekä kalliolineaatioiden etsiminen (Kuva 4). Lisäksi täydennettiin kalliopaljastumia alueille, joissa näytti sellainen alue olevan (Liite 1).



Kuva 2. Kuvat Soklin rapautumasta. Vasemmanpuoleisessa (2A) on rapautuma aeromagneettisena kuvana. Oikeanpuoleisessa (2B) Sokli esitettyinä resistiivisyyden osalta.



### 3. Havainnot

Alueelta löytyi runsaasti potentiaalisia kalliomaa-alueita sekä kalliopaljastumia (Liite 1). Muutama potentiaalinen alue erosi joukosta, kuten kuvan 3 alue, liitteen 1 Sodankylän pohjoispuolelle jäävä laajempi ympäröity alue ja kuvan 6 alareunan alue. Näillä alueilla magneettisuus ja resistiivisyys yhdessä maalajin ja syvyyden kanssa oli huomiota herättävä. Liitteen 1 ja kuvan 6 tilanteessa huomiota herätti maapeitteen syvyys sekä maaaines. Kuvassa 3 esitellystä alueesta, joka vaikuttaa otollisimmalta, on edempänä esimerkkinä laajempi kokonaisuus. Kalliomaa-alueet olivat hyvä indikaattori sille, että potentiaalista aluetta ei kohdalla ole.

Kalliolineaatioita löytyi runsain määrin ja pidempiä lineaatioita muutamia (Liite 2). Kalliolineaatiot ovat yleensä indikaatio kallioperän yksiköiden ja kerroksellisuuden suunnista. Pidemmät lineaatiot ovat malminetsintää ja malmipotentialia ajatellen otollisia, sillä ne heijastelevat kallioperän siirroksia tai ruhjevyyhykkeitä. Näihin voi liittyä mineralisaatiota ja syvempiä rapaumia. Yksi tällainen on myöhemmin esimerkkinä käsiteltävä lineaatio, jonka eteläosassa on kohonneita kupari- ja muita metallipitoisuuksia moreenissa ja rapakalliossa (Kuva 4).

#### 3.1. Härkäjoen potentiaalinen alue

Kuvan 3 alueelta löytyi potentiaalinen kohde, noin 20 kilometriä Pelkosenniemeltä pohjoiseen. Kohteessa on Soklista poiketen jokseenkin matala magneettisuus ja jokseenkin korkea resistiivisyys. Soklissa arvot johtunevat ultramafisten kivien, rautapitoisista mineraaleista kuten magnetiitti ja ilmeniitti, ja niiden rapautumisen tuotteista (Vartiainen ja Paarma, 1979, Siiramaa, 2009).

Kuvassa 3 on muutamia syitä, miksi alue voi olla potentiaalinen syvemmälle rapautumalle. Kohde näyttäisi olevan sijoittunut laakson pohjalle. Tällöin potentiaali syvemmälle rapautumiselle nousisi, koska vettä olisi kertynyt alueelle helposti. Veden yhteyteen liittäessä lämpö olisi kemiallinen rapautuminen ollut erittäin aktiivista. Osa magneetti-

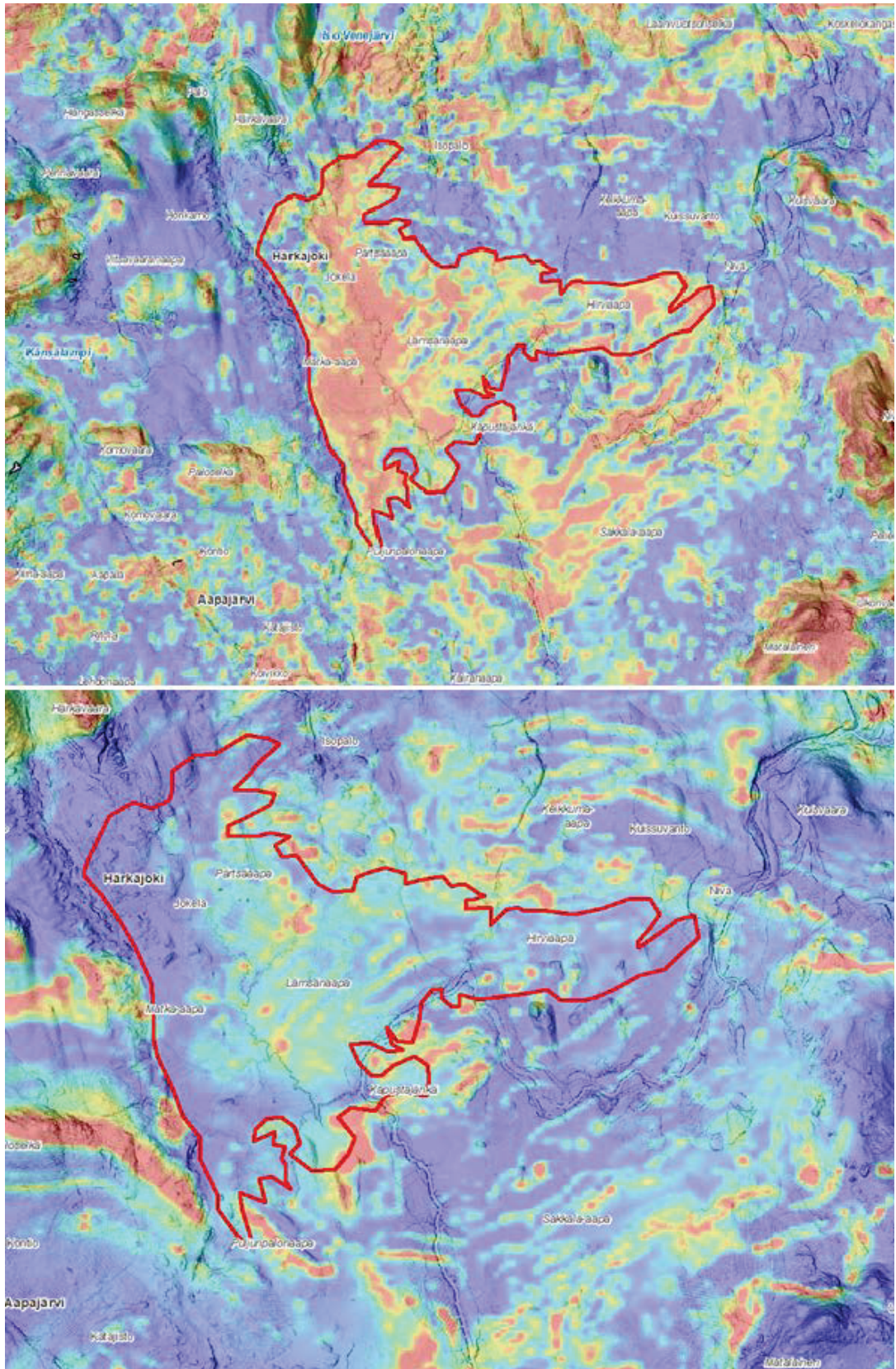
suudesta on keskittynyt ympäröidyn alueen keskiosiin. Oletettavasti, mikäli tämä on syvempi rapauma, näihin kohtiin on voinut rapautumisen tuloksena muodostua rautapitoisia muodostumia, jotka voivat sisältää esimerkiksi götiittiä.

Alue koostuu pääosin silttikivestä sekä kvartsiitista. Muita kivilajeja kuten mafisia vulkaniitteja, albiittidiabaasia sekä gabbroa, löytyy juonen omaisina alueelta. Juonet ovat heikosti hahmotettavissa kuvasta 3A, jossa osa näkyy matalana resistiivisyytenä (punainen väri). Magneettisemmat kohdat kuvassa 3B voivat hyvin johtua rapautumisen aikana raudan rikastumisesta altaan pohjalle.

Rapautuessaan primäärimineraaleista rauta hapettuu kahden arvoisesta kolmen arvoiseksi. Molempina ioneina se on erittäin liikkuva. Rauta kompleksoituu erittäin helposti. Kompleksoitumisominaisuudet johtavat siihen, että voi muodostaa pitkiä polymeeriketjuja hydroksidi-ionien kanssa ( $\text{OH}^-$ ). Kiteytyessään rautahydroksidipolymeeriketjut saostuvat rautaoksideina ja -hydroksideina. Edellä mainittuihin prosesseihin riittää pH 5-8. Kuvan 3B magneettiset kohdat voivat olla tällaisen prosessin tuloksena muodostuneita rautaoksideita. (Appelo ja Postma, 1996; Langmuir, 1997; Schaeztl ja Anderson, 2005).

Ympäriältä löytyy lisäksi kiilleliusketta ja konglomeraatteja. Niin ympäristö kuin kohde itse ovat Paleoproterotsooiselta maailmanajalta (2500 – 1600 Ma). Tällöin rapautumiselle on ollut runsaasti aikaa, lisäksi alueen läntisempi ja eteläisempi osuus jäävät Kolari-Kittilä-Sodankylä vihreäkivivyöhykkeelle, joka kuuluu Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeeseen. Lomalammelta, Sodankylän alueelta, on löytynyt PGE-(Ni-Cu) mineralisaatio. GTK on arvioinut, että Pt:n pitoisuus olisi 0,42 ppm, Pd 0,19 ppm; Cu 0,078 w% ja Ni 0,021 wt%, arvot 1,05 Mt:lle (Koistinen & Heikura, 2010; Törmänen *et al.*, 2010; Konnunaho *et al.* 2015). Koska alueella on pääosin silttikiveä ja kvartsiittia, voi olettaa alueen olleen sedimentaatioallas. Magneettisuudesta ja lähialueen PGE-Ni-Cu-Au mineralisaatiosta päätellen voisi alueelle olettaa olevan Fe-Cu-Au mineralisaatio.

Potentiaalisia alueita löytyi useita kymmeniä. Edellä esitelty alue oli kuitenkin erittäin potentiaalisessa paikassa ja potentiaalisen näköinen. Toinen potentiaalinen alue näkyy osittain kuvan 6 alareunassa.

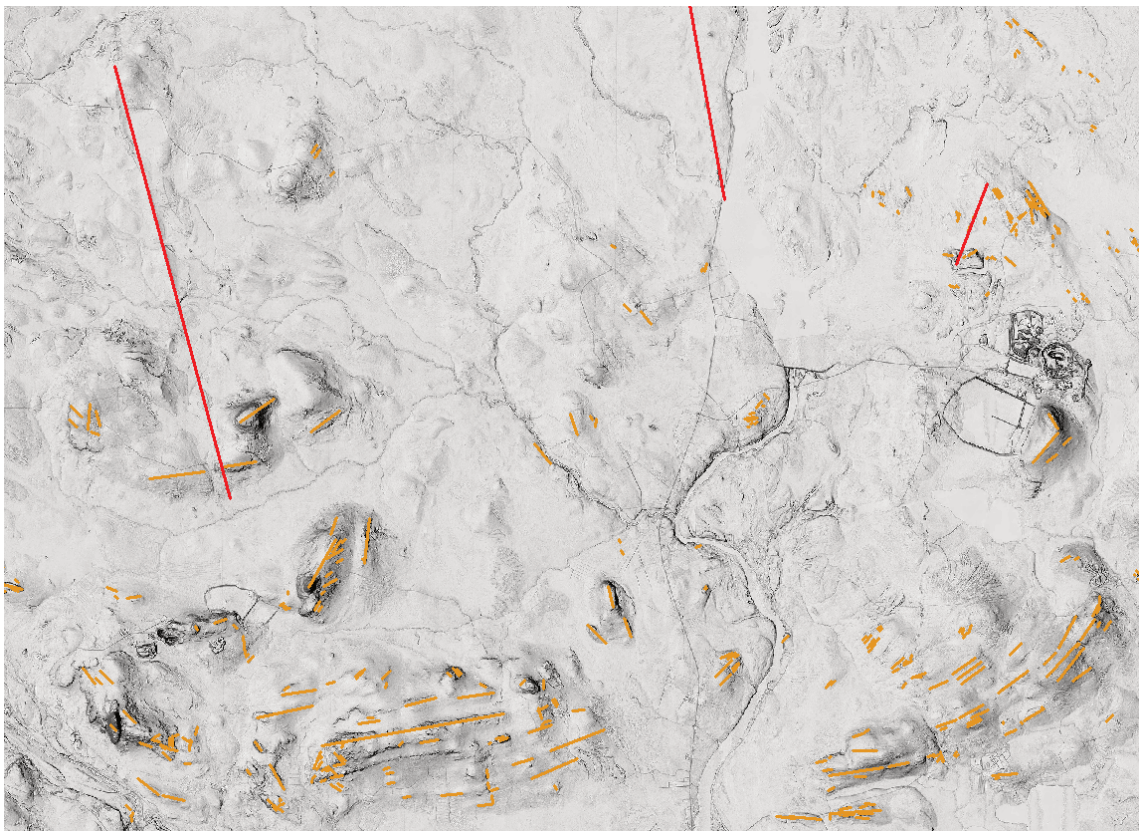


Kuva 3. Kuvassa eräs kiinnostavan näköinen kohde. Kohteessa voi epäillä olevan syvemmän rapautuman. Ylemmässä kuvassa (3A) voi nähdä alueen resistiivisyyden ja alemmassa (3B) alueen magneettisuuden. Molemmissa pu-nainen esittää korkeaa arvoa ja sininen matalaa.



### 3.2. Pohjois-etelä suuntainen lineaatio

Muita mielenkiintoisia kohteita ovat pitkät, lähes suorat linjat, jotka ovat havaittavissa LiDARista (Kuva 4). Lineaatiot saattavat olla ruhjeita, jolloin niiden alueella voisi olla syvempiä rapautumia. Koska ruhjeissa kallio on vaurioitunutta, tarkoittaa se laajempaa reaktiopintaa veden ja siihen liuenneiden aineiden kanssa. Rakojen kasvu johtaa yllä mainittuun kemiallisen reagoinnin kasvuun.



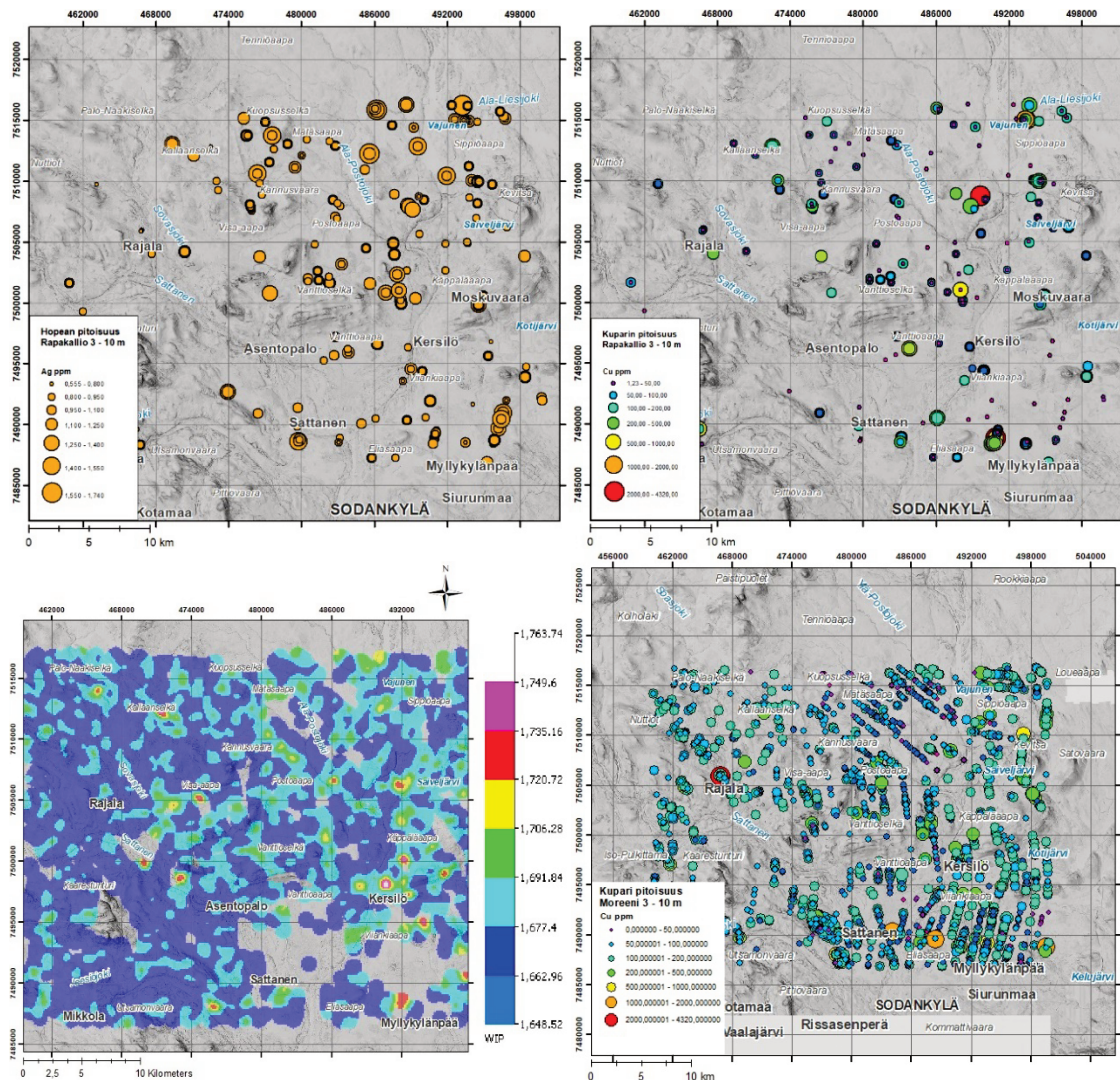
Kuva 4. Punaiset viivat ovat oletettuja siirroksia tai ruhjeita. Oranssit viivat ovat kalliin suuntauksia.

Kuvassa 4 keskimmäisen punaisen viivan jatkeena on korkeimmat kuparipitoisuudet alueella (Kuva 5) niin moreenissa kuin rapakalliiossakin. Lisäksi WIP-arvot osoittavat kaartuvan ja rapautuneemman jatkeen kuvan 4 lineaatiolle (Kuva 5C) (Hall *et al.*, 2015; Parker, 1970). WIP-arvot saatiin Kaavalla 1 ja muunto oksideiksi tehtiin GTK:sta saadulla oksidimuuntotaulukolla.

$$100 \cdot \left( \left( \frac{2 \cdot Na_2O}{0.35} \right) + \left( \frac{MgO}{0.9} \right) + \left( \frac{2 \cdot K_2O}{0.25} \right) + \left( \frac{CaO}{0.7} \right) \right) \quad (1)$$



WIP-arvoja käytetään osoittamaan alueen rapautumisastetta. Arvot, jotka sijoittuvat välille 1000 – 4000 on karkea-tyyppistä (gross) rapautumaa. Yli 4000 viittaavat rajoittuneeseen kemialliseen muuttumiseen ja alla 1000 viittaa savirikkaaseen rapautumiseen. (Hall *et al.*, 2015; Parker, 1970).

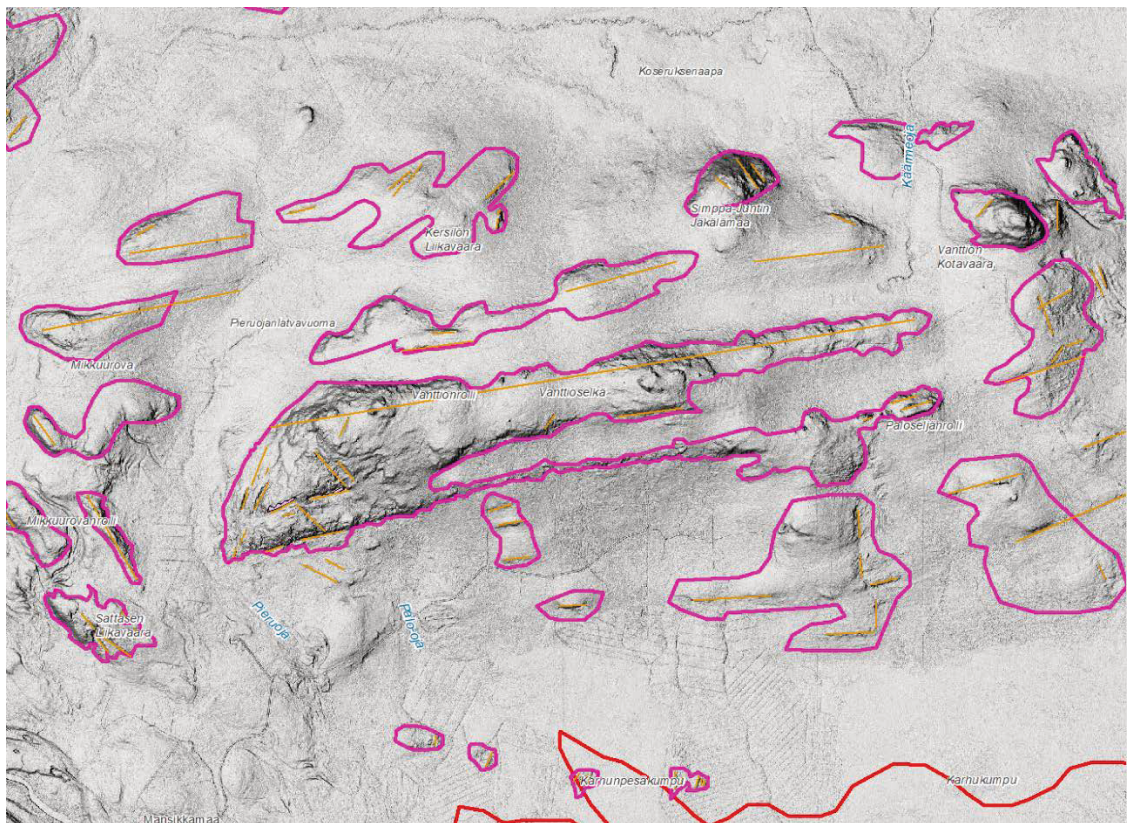


Kuva 5. Kuparinpitoisuuksia 1970-luvulla tehdyistä linjamoreenimittauksista. Arvot yltävät 10 metriin ja ovat rapakalliosta sekä moreenista. Ylävasemmalla (5A) on hopean pitoisuuksia rapakalliosta. Yläoikealla (5B) on kuparin pitoisuuksia rapakalliosta. Alavasemmalla (5C) on WIP, eli Weathering Index of Parker (Parker, 1970), jonka arvot osoittavat rapautumisasteen olevan gross-tyyppiä. Alaoikealla (5D) on kuparin pitoisuudet moreenista.

Kuvassa 5 on kohonnut kuparinpitoisuus Eliasaavalla. Lisäksi Vanttioselältä Kevitsalle päin vaikuttaisi menevän jonkun asteinen blokki. Samalla tavalla kuin Kannusvaaralta Kuopusselälle. Muita alkuaineita, joille tehtiin samanlainen kartta, olivat mm. nikkeli ja koboltti. Näiden kartoissa lineaatio on heikosti havaittavissa pitoisuuksista.



Kartoituksen kohteena oli myös kallion lineaatiot. Näitä on nähtävissä Kuvassa 4 ja 6. Näiden tarkoituksena on visualisoida kallion profiilin suuntaa, sekä osoittaa kalliosta johdettavat lineaatiot, jottei niitä kartoitettaisi jäätikkömuodostumiksi. Tässä auttoi LiDAR kuva sekä resistenssi aineisto. Samalla kartoitettiin niin sanottu ”kallioma”. Tällainen on siis alue, jolla maapeite on oletettavasti matala. Eli bed rock near surface. Näitä kartoitettiin samalla metodilla kuin kalliolineaatioita, joskin lisäksi hyödynnettiin paljastumien pisteaineistoa.



Kuva 6. Vanttiöselän alueelta kuva, johon on merkattu pinkillä kallioma-alueet oransilla kalliolineaatiot ja punaisella näkyy alareunassa potentiaalinen syvämpi rapauma.

#### 4. Yhteenveto

Projektin aikana potentiaalisia rapautuma-alueita löytyi useita kymmeniä tutkimusalueelta (Liite 1). Huomiota herättävimmät olivat kuvissa 3, 4 ja 5 esitetyt alueet. Näillä alueilla voi olla mahdollisuus löytyä syvämpiä rapautumia (Kuva 3,4 ja 5) tai sedimentaatioprosessien rikastamia mineralisaatioita (Kuva 3). Kuvan 3 alue osoittautui kaikista

mielenkiintoisemmaksi, koska alue muodostaa altaan. Lisäksi alueen kallioperä koostuu kvartsiittista ja silttikivestä sekä mafisista vulkaniiteista, albiittidiabaasista ja gabbrosta.

Pitkiä lineaatioita oli muutamia (Liite 2). Pidempi pohjois-etelä suuntainen lineaatio oli kiinnostava pituutensa ja jatkuvuutensa osalta. Erityisesti kiinnostavuutta lisäsi kohonneet, etenkin, moreenin kuparipitoisuudet sekä WIP-arvot (Kuva 5). Kohonneista pitoisuuksista voi olettaa joko lineaation päästä löytyvän mineralisaatio tai muualta lineaation ympäriltä, koska ollaan jäänjakajavyöhykkeellä. Tällä vyöhykkeellä jään liike on ollut hyvin vähäistä, ellei jopa olematonta. WIP-kartassa (Kuva 5C) voi havaita rapautuneeman linjan, joka leikkaa lähes koko alueen. Vaikka WIP arvot indikoivat gruss-tyyppistä rapautumaa, joka tarkoittaa ei kovin rapautunutta, voisi linjalle olettaa jäävän jotain tutkimisen arvoista.

Edellä mainituista syistä johtuen näyttäisi siltä, että LiDARilla voi hyödyntää malminetsinnässä. LiDARin käyttö malminetsinnässä laskisi täten siihen kuluva rahamäärää huomattavasti, koska potentiaaliset ja/tai mielenkiintoiset alueet voisi kartoittaa etukäteen.

Kalliolineaatioita ja ”kalliomaa-alueita” merkattiin satoja (Liite 1, Liite 2). Molempien tarkoituksena oli kartoittaa kallioperän profiilia. Kalliomaa-alueet sekä -lineaatiot mukailivat suuresti resistenssin ja magneettisuuden mukaisia linjoja. Magneettisuuden kanssa mukailu oli hivenen vähäisempää kuin resistenssin. Resistenssin kanssa kalliomaa-alueet ja -lineaatiot muodostivat lähes yks yhteen menevät muodot.

## Viitteet

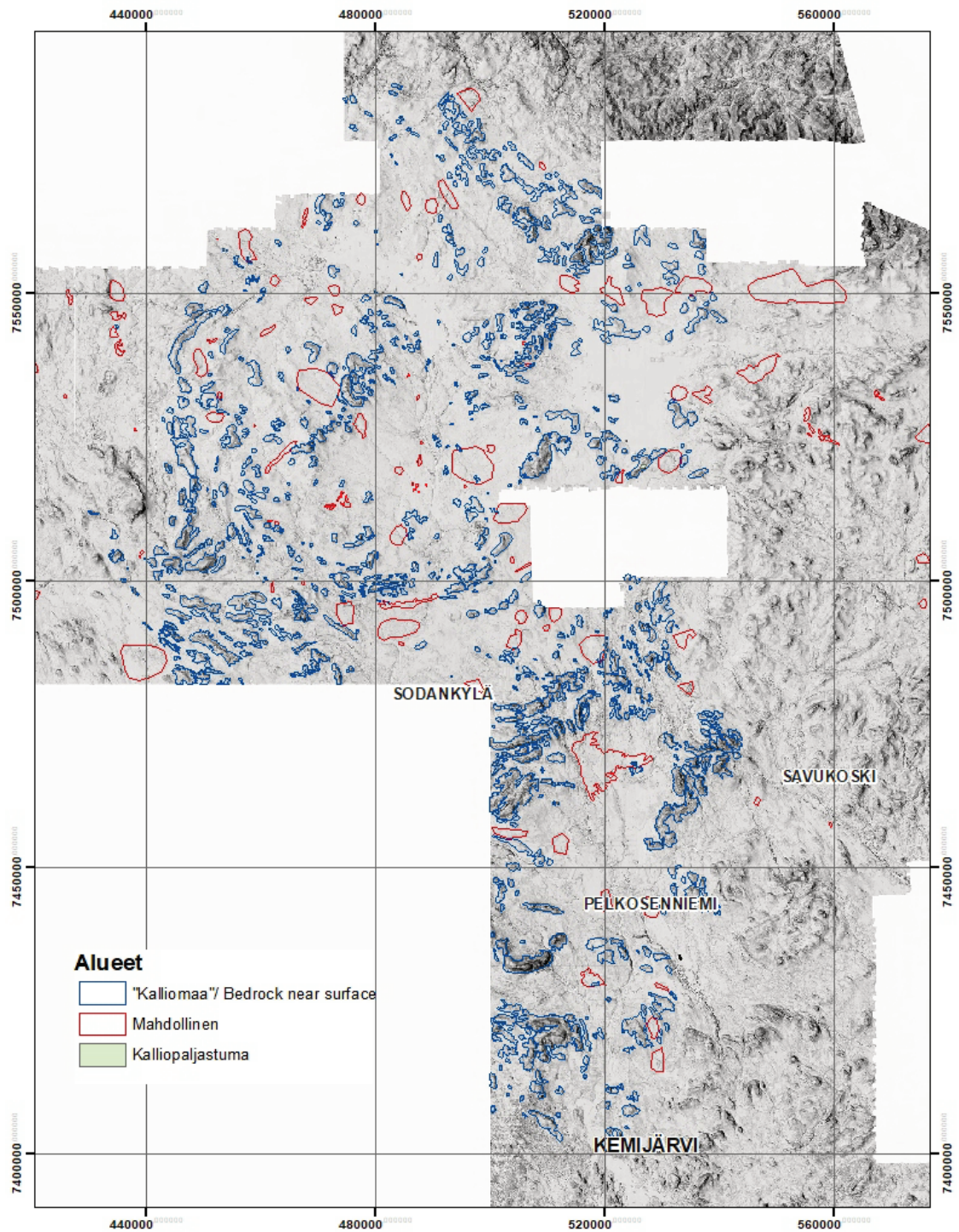
- Appelo, C.A.J. & Postma, D. 1996. Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema, Rotterdam
- Hall, A.M., Sarala, P., Ebert, K. 2015. Late Cenozoic deep weathering patterns on the Fennoscandian shield in northern Finland: A window on ice sheet bed conditions at the onset of Northern Hemisphere glaciation. *Geomorphology* vol. 246, 2015, pp. 472 - 488.
- Koistinen, E. & Heikura, P. 2010. Mineral resource assessment and 3D modelling of the Lomalampi deposit, Sodankylä Finland. Geological Survey of Finland, archive report M19/3732/2010/50.
- Langmuir, D., 1997. Aqueous environmental geochemistry. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

- Parker, A., 1970. An index of weathering for silicate rocks. *Geol. Mag.* vol. 107, 501 - 504.
- Schaezl, R. & Anderson, S., 2005. *Soils genesis and geomorfology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Siiramaa, L., 2009, The Sokli mine project, Fennoscandian Mining and Exploration Congress 2009, Rovaniemi 1-3.12.2009.
- Törmänen, T., Heikura, P., Salmirinne, H., 2010, The komatiite-hosted Lomalampi PGE-Ni-Cu-Au deposit, Northern Finland.
- Vartiainen, H., & Paarma, H., 1979, Geological Characteristics of the Sokli Carbonatite Complex, Finland. *Economic Geology* vol. 74, 1979, pp. 1296 - 1306

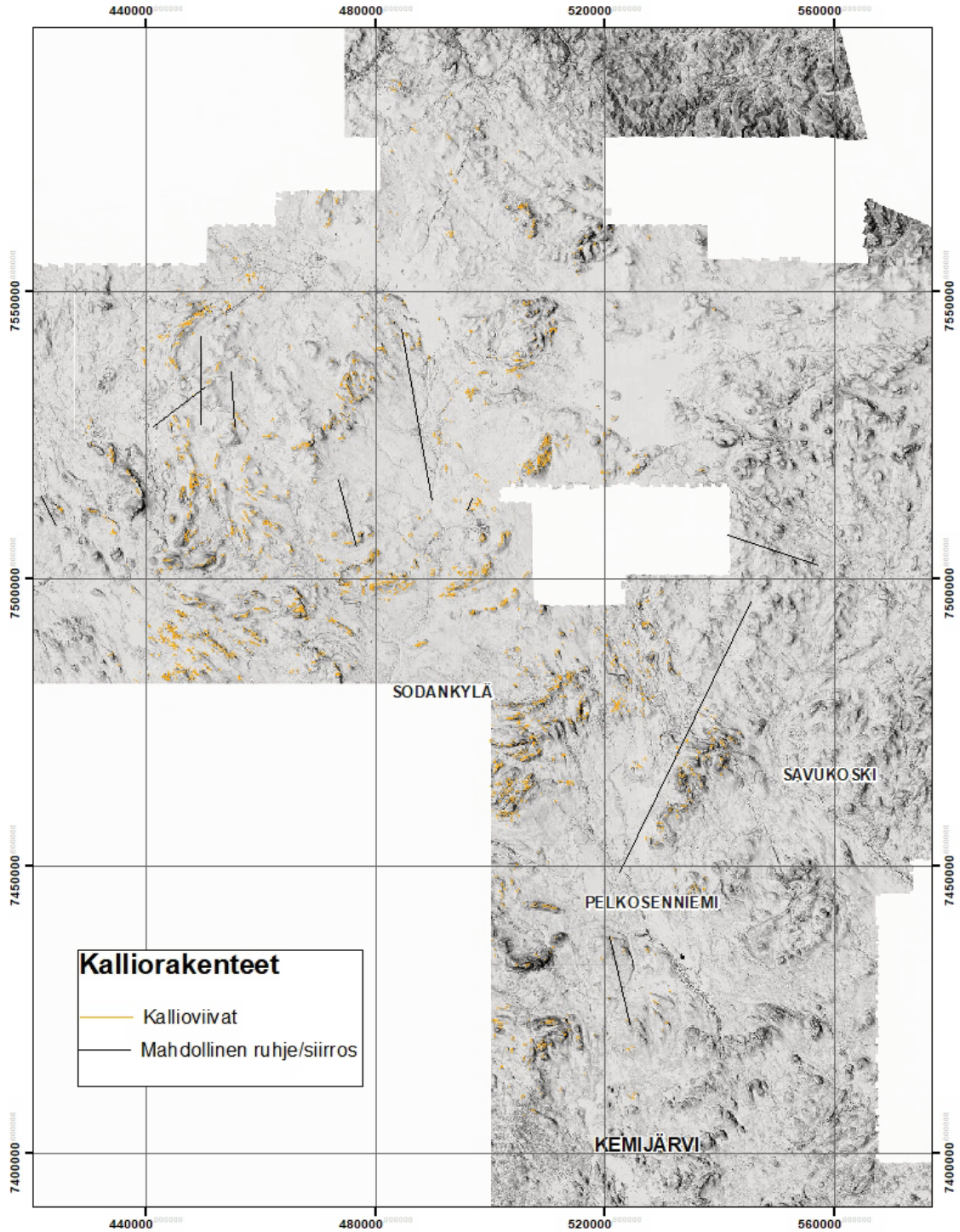


# Liitteet

Liite 1. Keski-Lapin alueella kartoitetut ”Kalliomaat” ja mahdolliset syvemmät rapautumat.



Liite 2. Kartoitetut kalliorakenteet. Näitä olivat kallioviivat/-lineaatiot sekä mahdolliset ruhjeet/siirrokset, jotka löytyvät tekstissä nimellä pidemmät lineaatiot.





## RES TERRAE

Publications in Geosciences, University of Oulu, Oulun yliopiston geotieteiden julkaisuja

Ser. B, Reports - Raportteja

Ser. B           ISSN 0358-2485 (print)  
Ser. B           ISSN 2736-9552 (online)  
Ser. B, No. 21   ISBN 978-952-62- 2837-2 (print)  
Ser. B, No. 21   ISBN 978-952-62- 2838-9 (online)

