

**Putkilokasvit geokohteiden ekologisessa arvottamisessa  
Enontekiön Kilpisjärvellä**

Henriikka Salminen

Pro gradu -tutkielma  
Maantieteen tutkimusyksikkö  
Oulun yliopisto  
08.01.2018

Yksikkö: <b>Maantieteen tutkimusyksikkö</b>	Pääaine: <b>Maantiede</b>	
Tekijä: <b>Salminen Henriikka Maija Sofia</b>	Opiskelija- numero: <b>2254867</b>	Tutkielman sivumäärä: <b>65 + I liit.</b>
Tutkielman nimi: <b>Putkilokasvit geokohteiden ekologisessa arvottamisessa Enontekiön Kilpisjärvellä</b>		
Asiasanat:	<b>Geodiversiteetti, biodiversiteetti, putkilokasvit, geokohde, arvottaminen, lajirunsaus, taksonominen diversiteetti, harvinaisuus,</b>	
Tiivistelmä: <p>Geodiversiteetti on keskeinen osa luonnon monimuotoisuutta ja ihmiskunnan kehitystä. Se on olennainen ekosysteemipalveluiden toiminnan kannalta ja toimii alustana biodiversiteetin säilymiselle ja kehittymiselle. Siksi on tärkeää huomioida geodiversiteetin merkitys ja arvot suojelussa ja maankäytössä, jotta maankäyttö voidaan toteuttaa niin, ettei eloton ja elollinen luonto siitä suhteettomasti kärsisi.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli pyrkiä arvottamaan Enontekiön Kilpisjärvellä esiintyviä pinnanmuotoja niillä sijaitsevan putkilokasvilajiston mukaan. Tarkastelussa oli 14 geokohdetyyppiä ja yksi vertailukohde, joita arvotettiin lajimäärän, taksonomisen erityisyyden indeksin ja lajin harvinaisuutta tutkimusalueella painottavan rarity-weighted richness -indeksin (RWR) avulla. Tutkimusalueelta valittiin vuoden 2016 kesällä 60 koealaa (10 m x 10 m), joilta määritettiin niillä kasvavat putkilokasvilajit ja taustamuuttujien joukko. Jokaiselle koealalle laskettiin kokonaislajimäärän lisäksi taksonomisen erityisyyden indeksi ja RWR-indeksi. Saatujen indeksien erojen syitä ja tekijöitä pyrittiin selittämään taustamuuttujien avulla.</p> <p>Geodiversiteetin havaittiin lisäävän putkilokasvien lajimäärää, taksonomista erityisyyttä ja harvinaisuutta tutkimusalueella. Vaihtelu geokohdetyyppien välillä oli suurta, mutta myös geokohteiden sisäistä vaihtelua havaittiin. Lajimäärän ja RWR:n suhteen arvokkaimpia geokohteita olivat purouoma, kausikuiva purouoma ja järven ranta. Taksonomisen erityisyyden mukaan arvokkaimmiksi geokohteiksi osoittautuivat siirtolohkare, nivaatio ja järven ranta. Suurimmiksi eroiksi geokohteiden välillä voidaan nostaa geokohteiden erot hydrologiassa, koveruudessa sekä routatoiminnassa.</p> <p>Tutkielman tulokset osoittavat, että geokohteet lisäävät alueen biodiversiteettiä ja ovat siten tärkeitä alueen maaekosysteemien toiminnalle. Menetelmän avulla paikallisia suojelu- ja maankäyttötoimia voi arvioida kokonaisvaltaisesti luonnon monimuotoisuus huomioon ottaen.</p>		
Muita tietoja:		
Päiväys:	08.01.2018	

## Sisällys

1. Johdanto .....	4
2. Geodiversiteetti.....	7
2.1 Geologia ja geomorfologia .....	8
2.2 Geodiversiteetti periglasiialisessa ympäristössä .....	9
2.2.1 Ikirouta .....	9
2.2.2 Kuviomaa ja soliflukutio .....	10
2.2.3 Pounikko .....	11
2.2.4 Tuuli.....	12
2.2.5 Lumi ja nivaatio.....	13
2.2.6 Rakka, siirtolohkareet, jyrkänteet ja supat .....	14
2.2.7 Purouomat sekä järvien ja lampien rannat .....	15
3. Biodiversiteetti .....	16
3.1 Putkilokasvit biodiversiteetin indikaattoreina.....	17
3.2 Putkilokasvit subarktisisä ympäristöissä .....	18
3.3 Biodiversiteetin ja geodiversiteetin yhteys.....	21
4. Geodiversiteetin arvot .....	23
4.1 Itseisarvo, kulttuurinen ja esteettinen arvo .....	24
4.2 Taloudellinen arvo .....	25
4.3 Tieteellinen ja koulutuksellinen arvo.....	25
4.4 Ekologinen arvo.....	26
4.5 Pinnanmuotojen arvottaminen .....	26
5. Tutkimusalue.....	27
5.1 Ilmasto.....	28
5.2 Kallio- ja maaperä sekä geomorfologia.....	29
5.3 Hydrologia .....	30

5.4 Kasvillisuus .....	30
6. Tutkimusaineisto ja -menetelmät .....	32
6.1 Aineisto .....	32
6.2 Menetelmät ja aiempi tutkimus.....	33
6.2.1 Lajirunsaus geokohteiden arvottamisessa.....	34
6.2.2 Taksonominen erityisyys geokohteiden arvottamisessa .....	35
6.2.3 Rarity-weighted richness (RWR) geokohteiden arvottamisessa .....	35
7. Tulokset .....	37
7.1 Yleinen tarkastelu.....	37
7.2 Lajimäärä tutkimusalueella .....	41
7.3 Taksonominen erityisyys tutkimusalueella .....	43
7.4 RWR tutkimusalueella.....	45
8. Tulosten tarkastelu ja pohdinta .....	46
8.1 Lajimäärä.....	47
8.2 Taksonominen erityisyys.....	49
8.3 RWR .....	50
8.4 Käytettyjen indeksien ja geokohteiden vertailu .....	51
8.5 Tulosten luotettavuus.....	52
8.6 Mahdollinen jatkotutkimus.....	53
9. Johtopäätökset .....	54
Kirjallisuus .....	56
Litteet .....	66

# 1. Johdanto

Luonnon diversiteetti voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen: biodiversiteettiin ja geodiversiteettiin (Hjort & Luoto 2010: 109). Geodiversiteetti on tärkeä osa eliöstön levinneisyyden säätelyä (Comer ym. 2015: 693). Se tukee ja ylläpitää monia elintärkeitä ekosysteemipalveluita, kertoo niiden toiminnasta ja on tärkeä osa luonnon pääomaa (Gray ym. 2013: 659-669). Geodiversiteetin ei kuitenkaan nähdä samalla tavalla vaarantuneen kuin biologisen- tai kulttuuriperinnön nähdään olevan. Tämän takia sitä ei huomioida riittävästi päätöksenteossa ja suoje-lutoimet ovat verrattain vähäisiä (Larwood ym. 2013: 1). Yleensä geodiversiteetti liitetään laajempiin käsitteisiin, kuten ekologiseen diversiteettiin, jossa yhdistyvät bioottiset ja abioottiset tekijät (Comer ym. 2015: 694). Elottoman luonnon olemassaolo ja suoje-lu jäävät usein huomiotta ja vaille sen vaatimaa arvoa (Gray 2011: 271). Esimerkiksi luonnonsuoje-lu keskittyy pääasiassa biodiversiteetin suoje-luun, minkä takia geodiversiteetti täytyy linkittää biodi-versiteettiin kokonaisvaltaisen ymmärryksen ja ympäristönsuoje-lun saavuttamiseksi globaa-lilla tasolla (Larwood ym. 2013: 727). Gray (2005: 5) näkee myös geodiversiteetin ja biodi-versiteetin yhdistämisen kokonaisvaltaisen luonnonsuoje-lun kehittymisenä.

Euroopan neuvoston ministereiden komitea on tehnyt suosituksen geologisen perinnön ja geologisesti kiinnostavien erityisalueiden suojelemiseksi (Recommendation... 2004). Siinä geologisella perinnöllä painotetaan olevan itseisarvon lisäksi tieteellistä, kulttuu-rillista, esteettistä, maisemallista ja ekonomista arvoa, jota tulee suoje-lu tuleville sukupolville. Usein suoje-lunhalu kohdistuu suhteellisen lyhyessä ajassa ilmeneviin geologisiin prosesseihin, jotka ylläpitävät pieniä ekologisia alueita ja ovat näin elintärkeitä monille lajeille, jotka ovat usein uhattuna ihmistoiminnan takia (Comer ym. 2015: 696). Esimerkiksi historian saatossa muodostuneet geologiset muodostelmat voivat kuitenkin tuhoutua ihmistoiminnan vaiku-tuksesta pysyvästi (Gray 2004: 68). Onkin tärkeää tunnistaa, mitkä alueet ovat ihmisen hyö-dynnettävissä ilman, että eloton tai elollinen luonto kärsii siitä kohtuuttomasti ja mitkä tar-vitsevat suoje-lua (Sharpley 2002: 21). Geodiversiteetin mittavuus planeetallamme tekee han-kalaksi päättää mitkä geodiversiteetin elementit ansaitsevat tulla säilytetyksi ja mitä ihmis-kunta voi käyttää tarkoituksiinsa (Brilha 2016: 120).

YK (United Nations 1992: 3) määrittelee ekosysteemin olevan kasveista, eläi-mistä ja mikro-organismeista sekä niiden abioottisesta ympäristöstä koostuva toiminnallinen

yksikkö. Geodiversiteetti on osa ekosysteemiä ja se pitää ottaa huomioon maankäytössä ja sen suunnittelussa, jotta tulevaisuuden ekosysteemit ja ekosysteemipalvelut voidaan turvata osana monialaisia lähestymistapoja ilmastonmuutoksen kohtaamisessa (Gray ym. 2013: 668).

Pohjoisten ja vuoristoisten alueiden maisemaa hallitsevat veden, jään, lumen ja tuulen toiminnasta syntyvät prosessit, ja niiden tuottamat pinnanmuodot, joiden voi olettaa ohjaavan pienipiirteistä lajien levinneisyyttä (le Roux ym. 2013). Ilmastonmuutos aiheuttaa muutoksia tundran geo- ja biodiversiteettiin, minkä takia niiden tutkiminen, arvottaminen ja suojele korostuvat jo lähitulevaisuudessa. Geokohteiden arvottaminen biodiversiteetin näkökulmasta tuo mahdollisuuden kohdentaa suojelua tai ohjata maankäyttöä niin, että se on tundran bio- ja geodiversiteetin kannalta kestävä.

Tutkielmassa pyritään arvottamaan Kilpisjärvellä esiintyviä pinnanmuotoja niillä sijaitsevan putkilokasvilajiston mukaan. Arvotus tehdään lajirunsauden, taksonomisen erityisyyden indeksin ja lajin harvinaisuutta painottavan rarity-weighted richness -indeksin avulla, mikä mahdollistaa näiden menetelmien keskinäisen vertailun. Arvottamisen tarkoituksena on selvittää pinnanmuotojen yhteyttä putkilokasvien lajirunsauteen ja alueen harvinaisiin putkilokasveihin. Lisäksi pyritään selvittämään laskettujen indeksien mahdollisten erojen syitä ja tekijöitä. Tutkimuskysymyksiksi voidaankin asettaa:

1. Miten lajirunsaite alueen geokohteet ovat?
2. Miten putkilokasvien lajirunsauden, taksonomisen erityisyyden indeksin ja rarity-weighted richness -indeksin saamat arvot vaihtelevat geokohdetyypeittäin sekä millä tekijöillä vaihtelu on selitettävissä?

## 2. Geodiversiteetti

Geodiversiteetti on termi, joka on abioottinen vastine elollisen luonnon monimuotoisuutta kuvaavalle termille biodiversiteetti (Gray 2008: 287; Gray 2011: 271). Tässä tutkielmassa käytetään Grayn (2004: 8) määritelmää geodiversiteetistä, jossa geodiversiteetti on geologisten- (kivet, mineraalit, fossiilit), geomorfologisten- (pinnanmuodot ja prosessit) ja maaperän ominaisuuksien luonnollinen kirjo. Siihen sisältyy edellä mainittujen piirteiden yhdistymät, keskinäiset suhteet, ominaisuudet, tulkinnat ja järjestelmät. Geodiversiteetti on vähintäänkin yhtä monimuotoinen kuin biodiversiteettikin (Gray 2008: 287). Korkean geodiversiteetin alueilla on monimuotoinen abioottinen luonto, jossa kulutus- ja kasausprosessit ovat suuressa roolissa maiseman muodostumisessa (Hjort & Luoto 2010). Geodiversiteetti on läsnä monella eri tasolla aina globaalista lokaaliin, mannerlaatoista atomeihin ja ioneihin (Gray 2004:13).

Geodiversiteetti nähdään monesti vain luonnonvarojen lähteenä (Pemberton 2007: 2). Sillä on kuitenkin muutakin arvoa kuin vain taloudellinen arvo. Grayn ym. (2013: 669) mukaan geodiversiteetin huomioiminen ja suojeleminen on tärkeää muutenkin, kuin vain koulutuksen ja tutkimuksen takia; sillä on useita hyötyjä ekosysteemipalveluille. Geodiversiteetin hallinta ja suojeleminen ovat nimittäin olennaisia habitaattien ja lajien kasvupaikkojen sekä ekosysteemien abioottisten prosessien ylläpitämiseksi. Edellä mainitut vaikuttavat biodiversiteettiin ja vahingoittuessaan ekosysteemipalvelut kärsisivät. Yhteiskunta ei kuitenkaan tulisi nykyään toimeen ilman georesurssien, kuten mineraalien ja rakennusmateriaalien hyödyntämistä (Gray 2008: 287). Geologisten resurssien kestävä käyttö vaatiikin geodiversiteetin vahingoittumisen ymmärtämistä, johtui se sitten luonnollisista tai ihmisestä riippuvista syistä (Ruban 2010: 326). Suurin uhka geodiversiteetille on eroosio, joka kuluttaa materiaalia, kuljettaa ja kasaa sitä muualle muodostaen uusia pinnanmuotoja (Gray 2004: 15). Tämä voi tapahtua niin ihmisen, kuin luonnonkin toimesta. Geodiversiteetti toimii myös historiankirjana, josta saadaan tietopohja ekosysteemien ylläpitoon ja hallintaan sekä toimii opetusresurssina geotieteen opetukseen ja harjoitteluun (Gray ym. 2013: 669). Fossiileja tutkimalla voidaan esimerkiksi selvittää, miten biodiversiteetti on muuttunut maapallolla historian saatossa (Gray 2008: 288).

Luonnontieteilijöillä on usein tarve luokitella ja kvantifioida ilmiöitä, niin myös geodiversiteettiä. Esimerkiksi Ruban (2010) on kuvannut eri yhtälöitä geodiversiteetin kvantifointiin. Grayn (2008: 289) mukaan geodiversiteetin kvantifointi on hankalampaa kuin biodiversiteetin. Rubanin (2010) mukaan se on kuitenkin mahdollista ja sitä tehdään muun muassa geodiversiteetin vähenemisen tutkimisessa. Tällöin on kiinnitettävä huomiota geokohteiden luokitteluun ja käytettyihin parametreihin. Korkean geodiversiteetin omaavat alueet ansaitsevatkin tutkijoiden, opettajien ja turistien mielenkiinnon, ja ihmisen vaikutus tulisi minimoida tai estää alueilla, joilla geodiversiteetin katoa esiintyy (Ruban 2010: 332). Geodiversiteetti ei nimittäin ole kaikin osin niin muuttumaton tai uudelleen karttuva kuin voisi ajatella: sen kirjosta löytyy herkästi tuhoutuvia osia (Gray 2011: 271).

## 2.1 Geologia ja geomorfologia

Maapallon historian saatossa geodiversiteetti on lisääntynyt progressiivisesti (Gray 2004: 14). Maapallolla on tähän mennessä nimetty noin 5000 eri mineraalia, jotka muodostavat tuhansia eri kivilajeja (Gray 2008: 287). Nämä geologiseen diversiteettiin lukeutuvat osat yhdessä kallioperän rakenteiden ja niitä muokkaavien prosessien kanssa muodostuvat pääasiassa maapallon endogeenisten eli sisäsyntyisten prosessien kautta (Gray 2004: 14–40). Laattatektoniikka mahdollistaakin pienipiirteisemmän geodiversiteetin olemassaolon luomalla globaalin geodiversiteetin alustaksi (Gray 2004: 22).

Mineraalit ovat luonnossa esiintyviä, kiteisiä ja kiinteitä epäorgaanisia yhdisteitä, joilla on tietty kemiallinen koostumus ja rakenne (Gray 2004: 23–24). Kivilajit ovat luonnollisia sekoituksia mineraaleista ja ne voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään syntytapansa mukaan: magmakiviin, metamorfisiin kiviin ja sedimenttikiviin, jotka jaetaan edelleen kivilajeihin mineraalikoostumuksen mukaan (Derbyshire ym. 1979: 20–21; Gray 2004: 27).

Gray (2004: 27–28) tiivistää kiven kierroksi kutsutun syklin seuraavasti. Magmakivilajit muodostuvat magman jähmettyessä mannerlaattojen reunaosissa. Metamorfiset kivet muodostuvat tektoniikan aiheuttaman paineen ja lämmön vaikutuksesta maankuoressa. Tektoniikan aiheuttaman orogeenian, eli maankuoren nousun takia magma- ja metamorfiset

kivet altistuvat eroosiolle, jonka irrottama hienoaines kasaantuu ja kivettyy meriin muodostaen sedimenttikivilajeja. Kemiallisen ja mekaanisen eroosion myötä muodostuu myös maaperä, joka toimii alustana kaikelle elolliselle (Derbyshire ym. 1979: 23). Monet geomorfologiset prosessit muuttavat maaperää ja muodostavat siitä ja peruskalliosta erilaisia pinnanmuotoja.

Geomorfologiset prosessit ovat myös osa maailman geodiversiteettiä. Niihin kuuluvat esimerkiksi niin fluviaaliset, glasiaaliset, periglasiaaliset, vulkaaniset, tektoniset, hydrologiset prosessit kuin rinne-, tuuli- ja rantaprosessitkin (Gray 2008: 287). Geomorfologisten prosessien vaikutukset lajien levinneisyyteen ovat kaikesta laajuudestaan huolimatta jääneet muiden, kuten bioottisten ja laaja-alaisten häiriöiden, vaikutusten tutkimisen varjoon (le Roux ym. 2013: 800).

## 2.2 Geodiversiteetti periglasiaalisessa ympäristössä

Periglasiaalinen ympäristö on nimensä mukaisesti kylmän ilmanalan ympäristö, jota hallitsevat monet eri jäätymiseen ja sulamiseen liittyvät prosessit (French 2007: 4-5), mutta sitä on hankala määrittellä lämpötilojen mukaan (Seppälä 2005: 349). Vuoden keskilämpötilan ollessa -1 celsiusastetta kuvaa karkeasti periglasiaalista aluetta. Paikalliset olosuhteet kuten lämpötila, kosteus ja lumen syvyys vaikuttavat yksittäisten alueiden maaperän jäätymiseen, mikä vaikuttaa erityisesti Fennoskandian ikiroudan esiintymiseen (Seppälä 2005: 349). Kylmien ilmasto-olojen erikoisuutena ovat pakkanen, jää ja ikirouta, lumi, jäätyminen ja sulamisvedet. (Seppälä 2004: 4).

### 2.2.1 Ikirouta

Ilmasto vaikuttaa ikiroudan muodostumiseen ja olemassaoloon, sekä aktiivikerroksen toimintaan (Sage 1986: 39). Ikirouta on maata, joka pysyy jäässä ( $\leq 0\text{ °C}$ ) vähintään kaksi vuotta (Gray 2004: 56; French 2007: 5). Maa voi olla niin kalliota, savea, soraa, hiekkaa kuin silttiäkin (Sage 1986: 39). Veden olomuoto ei ole riippuvainen pelkästään lämpötilasta, vaan jäätymiseen vaikuttavat myös veteen liuenneet suolat ja mineraalit. Maaperässä ja kivissä voidaan siis havaita nestemäistä vettä alle  $0\text{ °C}$  lämpötilassa, ja kaikki ikirouta ei välttämättä ole aina jäässä,

vaikka lämpötila antaisi niin olettaa (French 2007: 5). Routaantumiseen ja ikiroudan syntyyn vaikuttaa lämpötilan ja veden koostumuksen lisäksi muutkin asiat. Esimerkiksi kasvillisuuspeite, lumipeite, kivilajit, maaperätyyppi, pilvipeite, mikroilmasto ja hydrologia vaikuttavat siihen, miten lämpö kulkeutuu ilman ja maaperän välillä vaikuttaen siten ikiroudan muodostumiseen ja paksuuteen (Sage 1986: 39).

Ikirouta ei suinkaan ole jakautunut tasaisesti. Sen paksuus vaihtelee ja esiintyminen alkaa eteläisempien tai matalampien alueiden epäjatkuvasta ja laikukkaista ikiroudan alueista pohjoisempiin tai korkeammalla oleviin jatkuvan ikiroudan alueisiin (Gray 2004: 56). Sub-arktisella alueella ikirouta vaikuttaa vahvasti maaperän geologiaan. Se muun muassa muovaa habitaatteja sekä estää veden imeytymisen ja juurten tunkeutumisen siihen (Thomas ym. 2008: 62).

Aktiivikerros on ikiroudan päällä oleva maanpinnan kerros, joka jäätyy talvisin ja sulaa kesäisin (Tricart 1970: 68; French 2007: 14). Suurin osa fyysisestä, kemiallisesta ja biologisesta aktiivisuudesta tapahtuu aktiivikerroksessa (Sage 1986: 40). Aktiivikerroksen rooli on tärkeä, sillä suurin osa periglasiiallisista prosesseista tapahtuu ja näkyy siinä (Seppälä 2005: 356).

### **2.2.2 Kuviomaa ja solifluktkio**

Maaperän aktiivikerroksessa tapahtuva kausittainen routiintuminen ja sulaminen saavat maaperän molekyylit liikkumaan roudan aikana ylös (routanousu) ja kesäisin painumaan alas, jonka tuloksena on lajittumattomia tai lajittuneita kuviomaita, joita voidaan luokitella muodon mukaan ympyröiksi, polygoneiksi tai raidoiksi (French 2007: 148). Lajittuneissa kuvioissa hienoaines on kuvion keskellä, kun taas karkeampi aines ja isommat kivet lajittuvat kuvioiden reunoille (Hjort 2006, Thomas ym. 2008: 60). Reunojen kivet keräävät talvisin lunta, mikä suojaa maanpinnan pakkaselta ja tarjoaa vakaammat kosteus, ravinne- ja kasvuolosuhteet sammalille, jäkälille ja putkilokasveille (Thomas ym. 2008: 60). Lajittumattomia kuviomaapolygoneja tavataan tasaisilla moreenialueilla puurajan yläpuolella (Rapp & Clark 1971).

Routanousu vaikuttaa myös kaltevissa rinteissä, jolloin topografia tuo prosessiin oman lisänsä. Solifluktkio on maaperän hidas massaliikunta, joka voidaan jakaa routaryö-

mintään ja gelifluktioon (Seppälä 2005: 358; French 2007: 224). Solifluktiomuodostumat syntyvät, kun kostea maamassa liukuu rinnettä pitkin alaspäin aktiivikerroksen sulamisen ja jäätyneen myötä (Seppälä 2005: 358). Se on aktiivinen erityisesti puurajan yläpuolella, jossa se muodostaa terasseja ja kielekkeitä, lajittumattomia lohkariekielekkeitä ja kivijuovia (Seppälä 2005: 358). Aktiivisen solifluktation päällä on vähemmän kasvillisuutta ja reuna on jyrkempi kuin inaktiivisen johtuen maan valumisesta rinnettä alas (Hjort 2006: 64).

### 2.2.3 Pounikko

Pounu on kollektiivinen termi, joka tarkoittaa routatoiminnan myötä syntyneitä turvemätästä (Van Vliet-Lanoë & Seppälä 2002: 187). Ne ovat 0.2-1.2 metriä korkeita ja 0.3-2 metriä leveitä, kasvillisuuden peittämiä ja yleensä pyöreitä ja jyrkkäsivuisia turvemättäitä. Mättäissä on usein suurirakeista mineraalimaata indikoimassa krypturbaatiota eli routanousua (Van Vliet-Lanoë & Seppälä 2002: 187–188; Hjort 2006: 59; Kuva 1). Pounut siis ovat jäätyneen ja sulamisen aiheuttamia muodostumia. Niissä voi olla ikiroutasydän palsojen tapaan (Luoto & Seppälä 2002: 129). Kasvillisuuden korkeus ja pounujen koko vaikuttavat pounujen ikiroudan muodostumiseen ja esiintymiseen. Luoto ja Seppälä (2002: 134) havaitsivat ikiroudan esiintymisen olevan yleisempää matalan kasvillisuuden pounuilla kuin korkean. Kasvillisuuden korkeus vaikuttaa lumen syvyyteen, mikä taas vaikuttaa lumen eristävyyteen. Suurilla pounuilla havaittiin useammin ikiroutaa kuin pienillä. Lajittumattomiin routamuodostumiin kuuluvilta pounuilta ja maamättäiltä puuttuvat lajittuneille kuviomaamuodostumille tyypilliset kivireunukset (Washburn 1956: 827–829; Hjort 2006: 55). Niillä voi olla mineraalimaaydin, tai niissä voi olla isoja kiviä turvekuoren alla (Van Vliet-Lanoë & Seppälä 2002: 187).

Van Vliet-Lanoën ja Seppälän (2002: 188) mukaan pounut muodostuvat vaihtumisvyöhykkeelle usein kostean rinteiden ja suon väliin. He kuvaavat niiden olevan kokonaan kasvillisuuden peittämiä ja niillä viihtyy erityisesti sammat ja jäkälät sekä putkilokasvillisuudesta esimerkiksi pohjanvariksenmarja (*Empetrum nigrum* ssp. *hermaphroditum*), suopursu (*Ledum palustre*), puolukan suku (*Vaccinium* ssp.), vaivaiskoivu (*Betula nana*) sekä erilaiset sarat (*Carex* ssp) ja suovillat (*Eriophorum* ssp). Etelään suuntaavalla sivulla on yleensä kuivempaa, jonka vuoksi siellä kasvipeite ja orgaanisen aineen kerrokset ovat ohuempia kuin pohjoispuolella pounua. Pounujen välissä voi olla kosteaa paljakkakasvillisuutta, lampea tai suota. Pou-

nujen laet joutuvat talvella alttiiksi pakkaselle ja keväällä niiltä sulaa lumi aikaisin ja ne kuivuvat, mikä saa lämpötilan pounulla nousemaan nopeasti (Van Vliet-Lanoë & Seppälä 2002: 196). Myös kosteutta on pounuilla hyvin tarjolla, koska pounikon läpi virtaa usein pieniä puroja, jotka tulvivat keväisin ja syksyisin (Luoto & Seppälä 2002: 134). Tämä tarjoaa kosteutta myös pounujen kasvillisuudelle.



Kuva 1. Pounikossa kasvavien kasvien lisäksi geokohteella viihtyy myös kapustarinta (*Pluvialis apricaria*). Kuva Henriikka Salminen (2016).

#### 2.2.4 Tuuli

Tuuli vaikuttaa kylmien ilmastoalueiden geomorfologiaan. Sijainti lähellä maapallon pohjois- tai etelänapaa vaikuttaa alueen saamaan säteilyn määrään, joka taas vaikuttaa paljolti ilmasto-oloihin. Meteorologisista muuttujista tuuleen vaikuttavat eniten lämpötila ja sadanta, jotka säätelevät tuulieroosiota rajoittavia tekijöitä kuten kasvillisuutta, maaperän kosteutta ja maaperän muodostumista (Seppälä 2004: 4).

Tuuli kuljettaa hiekkaa, silttiä ja pölyä sekä kylmissä ilmanoloissa erityisesti lunta ja jääkiteitä, jotka aiheuttavat kulumista kivien pinnoille ja deflaatio- eli kulutuspinnoja maaperään (Tricart 1970: 143; Seppälä 2004: 5). Tuuli kasaa kuljettamaansa materiaalia tyveniin paikkoihin, jättäen kuluttamansa pinnat, kuten rinteet ja harjanteet jopa paljaiksi lumesta ja hienojakoisesta maa-aineksesta (Billings & Bliss 1959: 388; Seppälä 2004: 5). Kylmän ilmaston vähäinen ja matala kasvillisuus ei suojaa maata paljoa tuulelta, jolloin tuuli puhaltaa lumen pois maanpinnalta altistaen sen pakkaselle, jolloin kasvillisuuspeite vähenee entisestään (Tricart 1970: 143; le Roux & Luoto 2014: 47). Erityisesti kuperien pinnanmuotojen ja harjanteiden kasvillisuus altistuu tuulen vaikutuksille. Tuulen aiheuttama deflaatio vaikutti le Roux:n ja Luodon (2014) tutkimuksessa pääasiassa negatiivisesti sekä arktis-alpiinisiin, että boreaalisiin kasvilajeihin. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että deflaatio on kasveille häiriötekijä eikä se lisää resursseja kasvien selviämiseksi.

### 2.2.5 Lumi ja nivaatio

Tuuli kuljettaa lunta pyyhkien sitä pois avoimilta alueilta ja kasaten sitä maanpinnan painaumiin sekä harjanteiden ja muiden esteiden tuulensuojan puolelle (Kuusisto 2005: 160). Tällä lumen uudelleenlevittymisellä on tärkeä osa muun muassa alueiden hydrologialle (French 2007: 265). Lumen määrän vaihtelut tuntureilla vaikuttavat kosteuden lisäksi myös maanpinnan lämpötilaan, mikä tekee siitä jopa meteorologista ilmastoakin tärkeämmän geomorfologisen käsitteen (Thorn 1983: 32). Lumi kasautuu hyvin harvalatvuksisiin metsiin, kun taas tiheälatvuksisissa jopa 10–40 prosenttia sataneesta lumesta haihtuu pois (Kuusisto 2005: 162). Paksu lumipeite muun muassa vähentää routaantumista (Schunke & Zoltai 1988: 239).

Lumi vaikuttaa talven ja kevään ilmastoon monin tavoin. Se esimerkiksi heijastaa korkean albedonsa, eli heijastavuutensa vuoksi auringon säteilyä tehokkaammin kuin paljas maa tai kasvillisuus. Sulava lumi myös pitää maanpinnan lämpötilan lähellä nollaa celsiusastetta, vaikka ilman lämpötila nousisi päivällä korkeaksikin (Kuusisto 2005: 159). Ohut lumipeite lisää pakkasen ja kevätahavan vaikutusta, edistää pakkasrapautumista ja näin edelleen rakkojen syntyä ja routimista (Seppälä 1998: 369, 371; Harris ym. 2008: 45). Tämä vaikuttaa kasviyhdyksuntien muodostumiseen suosimalla karua kasvillisuutta ja tuulenpieksämiä, köyhempää lajistoa ja pienempää kasvupaikkadiversiteettiä (Euroola ym. 2003: 22).

Lumi sulaa epätasaisesti ensin matalammilta alueilta ja aurinkoisista paikoista, kun taas korkeammalla ja varjoisissa paikoissa lumi saattaa pysyä pitkäänkin (Kuusisto 2005: 160). Erityisesti painaumiin kertyneet kinokset sulavat keväällä hitaasti muodostaen lumenviipyymiä (Billings & Bliss 1959: 388). Lumi sulaa lumenviipymiltä kesäkuun lopun ja elokuun aikana ja vaikuttaa esiintyvään kasvillisuuteen (Norokorpi ym. 2008: 512).

Viipyvä ja pakkautunut lumi, mekaaninen ja kemiallinen eroosio, solifluktioprosessit ja massaliikunnot saavat aikaan materiaalin rapautumista, eroosiota, kulkeutumista ja kasautumista pienellä ja keskittyneellä alueella (Derbyshire ym. 1979: 225; French 2007: 238). Näiden prosessien ja lumenviipymien aikaansaamia painanteita kutsutaan nivaatiopainanteiksi, jotka voivat olla kooltaan aina parista metrillä kilometriin lumenviipymien muotoja myötäillen (French 2007: 238-239). Painanteiden yläreunalla on eroosioprosessien myötä karkearakenteinen ja pohjalle on kulkeutunut ja kasautunut hienompi maa-aineskerros (Derbyshire ym. 1979: 225). Käsitteenä nivaatio on ongelmallinen, koska tutkijoiden välillä ei ole täyttä yhteisymmärrystä siitä, mitkä prosessit lukeutuvat nivaatioprosesseihin ja mikä on lumenviipymien vaikutus niihin (Thorn 1988: 26; Thorn & Hall 2002: 547–548).

### **2.2.6 Rakka, siirtolohkareet, jyrkänteet ja supat**

Pakkasrapautuminen on olennainen geomorfologinen prosessi napa-alueilla ja vuoristoissa, joissa kosteus ja lämpötilan vaihtelu sulamispisteen molemmin puolin aiheuttavat mikro- ja makrohalkeamia ja suurentavat niitä (Matsuoka & Murton 2008: 195). Routatoiminta rikkoo peruskalliota lohkariksi ja edelleen hienommaksi materiaaliksi (French 2007: 49; Matsuoka & Murton 2008: 195). Tämä pakkasrapautumiseksi kutsuttu ilmiö vaikuttaa muihin eroosiomuotoihin, valuma-alueisiin ja kulkeutumisprosesseihin sekä kylmien ilmanalojen vuorien pitkänajan kehitykseen (Matsuoka & Murton 2008: 195). Lohkareiden keskikoko on sitä isompi, mitä lähempänä alkuperää eli kalliota ollaan (Derbyshire ym. 1979: 203).

Matsuokan ja Murtonin (2008: 196–197) mukaan pakkasen vaatii aina kosteutta hajottaakseen kiveä. Jäätyessään kivessä oleva vesi rapauttaa kiveä tai kalliota kahden eri mekanismin avulla: (1) tilavuuden laajenemisella, jossa kiven halkeamissa oleva vesi jääty nopeasti ja laajetessaan kasvattaa painetta kiven sisällä aiheuttaen halkeamien suurenemista sekä (2) routimalla jossa kapillaarisen imun vaikutuksesta vesi kulkeutuu jäälinssiin rikkoen kiveä.

Jyrkänteet syntyvät eroosion ja massaliikuntojen myötä. Massaliikunnot kuuluvat ulkosyntyisiin, eli eksogeenisiin prosesseihin. Niiden syntyyn vaikuttavat esimerkiksi painovoima, suuri kosteus, ja materiaalin lujuus (Gregory 2010: 73). Ne voivat tapahtua hitaasti tai nopeasti ja ovat vaikeasti luokiteltavissa niihin vaikuttavien prosessien suuren määrän vuoksi (Derbyshire ym. 1979: 61). Kasvillisuus ehkäisee massaliikuntojen syntyä (Gregory 2010: 65). Fennoskandiassa jäätiköt ovat muovanneet maisemaa ja muodostaneet kulutuksellaan jyrkänteitä. Jäätikön tuntureiden rinteille muodostamat jyrkänteet johtuvat paineen kohdistumisesta ja vapautumisesta, jolloin jyrkänteet muodostuu kohtaan, jossa paine vapautuu (Derbyshire ym. 1979: 232). Kivikot, kalliot ja jyrkänteet voivat olla merkittäviä maaperän ominaisuuksia, jotka määrittelevät lajien levinneisyyttä ankarissa olosuhteissa (Guisan ym. 1998: 2). Aurinkoon suuntaavilla, kalkkivaikutteisilla kivisillä ja jyrkillä kumpareilla sekä kalliokielekkeillä on usein rikas putkilokasvilajisto (Kauhanen 2013: 50).

Osa viimeisimmän jääkauden jäätiköstä irronneista jäälohkareista hautautuivat moreeniin pitkiksi ajoiksi. Niiden sulaminen muodosti selkeitä yksittäisiä painaumia, suppia, tai laajoja kamemaita maaperään (Derbyshire ym. 1979: 279-280; Gregory 2010: 171). Ne muodostavat kasvilajeille habitaatteja, jotka vaihtelevat kosteusoloiltaan ja ravinteisuudeltaan (Kaźmierczak ym. 1995: 872). Koverana muotona niihin kinostuu talvisin tuulen kuljettamaa lunta (Kuusisto 2005: 160).

### **2.2.7 Purouomat sekä järvien ja lampien rannat**

Purouomat muotoutuvat liikkuvan veden ja sedimentin kohdatessa virran pohjan ja rannan (Derbyshire ym. 1979: 71). Periglasiaalisessa ympäristössä vesistöjen verkko koostuu suurimmaksi osaksi erikokoisista, mutta suhteellisen pienistä virroista, joiden kuljettama sedimentti kuvaa valuma-alueen piirteitä (French 2007: 249). Vuodenajan vaihtelut näkyvät selkeästi myös pohjoisen puroissa. Monissa uomissa virtaa vesi vain parin kuukauden ajan lumien sulamisen jälkeen ja suuren osan vuotta virtaus on vähäistä tai kokonaan maaperässä (French 2007: 249). Talvella jää on matalissa puroissa harvinaista, mutta sen sijaan tuuli täyttää uomat lumella (Pissart 1967 Frenchin 2007: 254 mukaan). Lumi saattaa sulaa valuma-alueelta alle kuukaudessa, mikä aiheuttaa kevättulvia ja siten maa-ainesten kuluttamista ja kuljettamista (French 2007: 249).

Lammet ja järvet muodostuvat maaperän painanteisiin. Laajeneva jää puskee vuosittain järvien rannalle maa-ainesta muodostaen palteen (French 2007: 276). Arktiset ja subarktiset järvet ovat tyypillisesti oligotrofisia tai ultraoligotrofisia, vähäravinteisia, ja kirkasvetisiä järviä (esim. Schindler ym. 1974, Korhola ym. 2002). Tundralla sijaitseviin järviin kuluu vain vähän hiiliyhdisteitä valuma-alueelta, koska karuissa oloissa lähteitä hiiliyhdisteille ei juurikaan ole (Rantala ym. 2015: 176).

Orgaaninen maa ja tundra lieventävät tulvahuippuja pidättäessään vettä (French 2007: 254). Tämä vaikuttaa näiden vettä pidättävien alueiden, purouomien ja lampien kasvillisuuteen. Alueet, joilla maaperän kosteus on suuri, ovat todennäköisemmin harvinaisten lajien keskittymiä (Niskanen ym. 2017: 295). Maaperän kosteus myös tasoittaa lämpötilanvaihtelua, mikä voi estää kasvien altistumisen ääriämpötiloille (Ashcroft & Gollan 2013: 87–88).

### 3. Biodiversiteetti

Biodiversiteetin ja lajirunsauden aihe on täynnä ongelmia ja väärinymmärryksiä aina diversiteetin määrittelystä sen mittaamiseen ja arviointiin ja näiden soveltamisesta diversiteetin eri tasoille (Kent & Coker 1992: 95). Biodiversiteetin käsitettä on alettu käyttää biologista monimuotoisuutta, lajien sukupuuttoa ja ekosysteemien vähenemistä kuvailla ja tutkittaessa vuoden 1992 Rion ympäristö- ja kehityskonferenssista lähtien (Jeffries 2006: 5).

Yleisesti biodiversiteetti on 'elämän vaihtelua' biologian kaikilla tasoilla (Gaston & Spicer 2004: 3). Yksittäiset määritelmät kuitenkin usein poikkeavat jonkin verran toisistaan. Yksi yleisimmin käytetyistä määritelmistä on Yhdistyneiden kansakuntien biodiversiteettisopimuksessa (United Nations 1992: 3) käytetty määritelmä, jossa biodiversiteetin määritellään olevan elävien organismien keskuudessa esiintyvää vaihtelevuutta niin terrestrisissä, mariinisissa kuin muissakin akvaattisissa ekosysteemeissä sekä ekologisissa komplekseissa, joihin organismit kuuluvat, sisältäen lajin sisäisen, lajien välisen ja ekosysteemien välisen vaihtelevuuden. Yksinkertaisimmillaan biodiversiteetin voi ilmaista lajien välisenä vaihteluna ja levinneisyytenä tarkasteltavalla alalla (Magurran 2004: 8).

Biodiversiteetti voidaan jakaa kolmeen, joskin tiiviisti toisiinsa linkittyneeseen ryhmään: geneettiseen, organismiseen ja ekologiseen diversiteettiin (Gaston & Spicer 2004: 5). Geneettinen diversiteetti sisältää geeniperimän vaihtelun yksilöiden välillä, populaatioiden sisällä ja populaatioiden välillä. Organismiseen diversiteettiin kuuluu taksonominen hierarkia ja sen tasot aina yksilöstä lajiin, sukuun ja niin edelleen. Ekologinen diversiteetti sisältää ekologisen vaihtelevuuden aina eliöiden habitaateista ja elinympäristöistä populaatiotasolta biomitasolle. Ekologinen diversiteetti on siis eliöyhteisöjen vaihtelevuutta (Magurran 2004: 8). Biodiversiteetti on käsitteenä niin laaja, että sen eri osasia on mahdoton saada puristettua objektiivisesti samanarvoisiksi yksiköiksi, joiden perusteella voitaisiin laskea absoluuttinen biodiversiteetti-indeksi (Warwick & Clarke 1995: 305).

Lajit eivät ole jakaantuneet maapallolle tasaisesti. Globaalissa ja mannertason mittakaavassa lajirunsaus korreloi eri ilmastotekijöiden, kuten ympäröivän energian, veden saannin tai tuottavuuden kanssa (Barthlott ym. 2005: 65). Lajirunsaus tarkoittaa Magurranin (2004: 9) mukaan tutkittavalla alueella tavattavien lajien määrää. Pienimmät lajirunsaudet ovat arktisella tundralla, aavikoiden kuivimmissa osissa tai laajoilla vuoristoylänköjen aavikoilla (Barthlott ym. 2005: 65). Biodiversiteetti on samalla tavalla uhattuna kuin geodiversiteetti. Sen nykyinen taantuminen on seurausta ihmistoiminnasta, johon suojelun eri toimilla pyritään vastaamaan (Jeffries: 2006: 5).

### **3.1 Putkilokasvit biodiversiteetin indikaattoreina**

Ympäristön tilaa tarkkaillaan suojelubiologiassa usein indikaattorilajien kautta, jotka esiintymisellään kertovat alueen tilasta ja oloista (Landres ym. 1988; Nilsson & Ericson 1997: 133). Indikaattorilajien käyttö vähentää tutkimuksen kustannuksia ja niitä voi käyttää indikoimiensa taksojen edustajina suojelubiologiassa (Santi ym. 2009: 7). Yhteyden arvellaan johtuvan putkilokasvien roolista ekosysteemeissä. Putkilokasvit ovat nimittäin tärkeitä muiden taksonien diversiteeteille, koska niillä on suuri rooli ekosysteemien primaarituotannossa ja ne ovat tärkeä osa muiden eliöiden ravintoa (Nilsson & Ericson 1997: 130; Santi ym. 2009: 9). Putkilokasvit on kasviryhmä, johon kuuluvat ruohot, pensaات ja puut muodostaen valtaosan maan ja makeiden vesien kasvipeitteestä ja jonka kasveille on yhteistä niiden hyvä vedenkuljetuskyky

johtosolukon avulla (Mossberg & Stenberg 2005: 10). Putkilokasvien taksonomia on verrattain vakiintunut ja standardisoitu (Santi ym. 2009: 3). Mossberg ja Stenberg (2005: 10) valottavat putkilokasvien taksonomiaa seuraavasti. Putkilokasvit jaetaan viiteen luokkaan: liekomaisiin, kortemaisiin, saniaisiin, havupuihin ja koppisiemenisiin, joista viimeinen jakautuu yksi- ja kaksisirkkaisiin. Luokat jaetaan edelleen heimoihin, jotka koostuvat suvuista ja edelleen lajeista.

Putkilokasvien lajirunsauden on havaittu korreloivan muun muassa lintujen ja perhosten lajirunsauden kanssa (Santi ym. 2009: 6). Niitä voi käyttää myös indikaattorina sammalten ja jäkälien levinneisyyden kartoittamisessa (Pharo 2000: 377). Putkilokasvit eivät kuitenkaan pysty toimimaan täydellisenä indikaattorilajiryhmänä tutkittaessa muita taksoja, vaikka korrelaatiota on havaittu useiden lajiryhmien kesken (Santi ym. 2009: 7).

### 3.2 Putkilokasvit subarktisisissa ympäristöissä

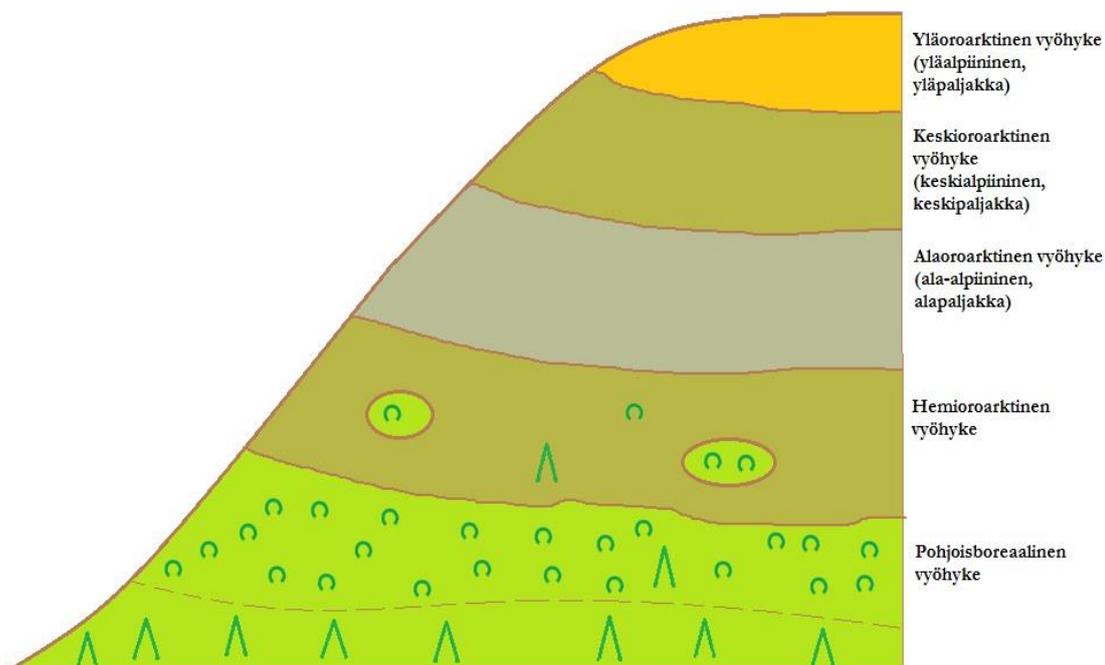
Subarktinen ympäristö haastaa kasvit sopeutumaan. Haberin (1986: 57) mukaan joissain tapauksissa sopeutuminen kuten pienikokoisuus tapahtuu fenotyypin joustavuuden avulla, jolloin saman kasvin kloni kasvaisi suurempina suopeammissa kasvuolosuhteissa. Geneettinen sopeutuminen taas on muokannut kasvin genomia eli perimää niin, että kasvi on sopeutunut kyseisiin kasvuolosuhteisiin ja on näin vähemmän joustava kasvuolosuhteistaan. Näitä kutsutaan ekotyypeiksi, ja niitä voi olla lajien sisällä useampia.

Pohjoisissa ympäristöissä kasvien tulee kestää kuivuuden, lyhyiden ja viileiden kasvukausien, ohuen aktiivikerroksen, ohuen lumipeitteen ja näin jäätymiselle altistumisen aiheuttamat vaativat olosuhteet (Seppälä 2004: 42–43). Tukiaisen ja muiden (2017: 372) mukaan lajien levinneisyyden napa-alueiden lähellä on havaittu johtuvan pitkälti lämpöolosuhteiden ja energian saatavuuden mukaan, jos levinneisyyttä tarkastellaan laajassa mittakaavassa. Auringon säteily jakautuu alueilla epätasaisesti, jolloin kasvien mikroilmastolliset olosuhteet eivät ole samanlaisia (Sage 1986: 29). Auringon säteily ja lämpöolosuhteet vaikuttavat myös esimerkiksi lumen sulamiseen. Lumen sulaminen vaikuttaa kasvien levinneisyyteen puurajan molemmilla puolilla (Billings & Bliss 1959: 388). Pienemmällä mittakaavalla tarkasteltuna

geodiversiteetin merkitys nousee esiin. Tukiainen ja muut (2017: 372) ehdottavat, että geofy-sikaaliset ominaisuudet, kuten kivilajit, ja paikallinen maanpinnan heterogenia ovat pienellä mittakaavalla tarkasteltuna tärkeitä lajipoolien määrittelijöitä. He havaitsivat geodiversiteetin yleisesti vaikuttavan putkilokasvilajien runsauden malleihin positiivisesti. Saman havainnon ovat tehneet myös le Roux ym. (2013) ja le Roux ja Luoto (2014), jotka havaitsivat, että arktis-alpiiniset kasvilajit jopa hyötyvät pohjoisen geomorfologisten prosessien aiheuttamista häiri-öistä maaperässä, kun taas boreaaliset lajit kartoivat näitä alueita.

Pohjoisen puuraja muodostuu mereisillä alueilla yleisimmin koivuista, kun taas mantereisilla alueilla lajit ovat kuusia ja äärioloissa lehtikuusia (Sage 1986: 13). Puurajan ala-puolella olevaa vyöhykettä kutsutaan pohjoisboreaaliseksi vyöhykkeeksi (Kuva 2). Sen ylä-puolella olevaa hemioroarktista kasvillisuusvyöhykettä luonnehtivat pienet metsäsaarekkeet, puuryhmät ja yksittäiset koivut (Ahti ym. 1964). Puurajan jälkeisellä tundralla, eli paljakalla kasvaa matalampaa kasvillisuutta. Tundran vaativassa ympäristössä on moninainen lajikirjo ja kasviyhteisöt ovat erikoistuneet alueen asettamiin haasteisiin (Thorn 1983: 33). Varpukas-vit ovat usein tundran kasvilajeista korkeimpia luoden tiheikköjä ja läpipääsemättömiä latvus-toja (Myers-Smith ym. 2011: 2).

Tuntureilla voidaan erottaa korkeusvyöhykkeitä, joista ylimpänä on kolmeen osaan jaoteltu puuton tunturipaljakka eli oroarkkinen vyöhyke, joka vastaa arktisten vyöhyk-keiden vuoristoissa esiintyviä vastineita (Norokorpi ym. 2008: 471; Kuva 2). Paljakalla ala-oroarktisella vyöhykkeellä tavataan paljon vaivaiskoivu-, mustikka- ja variksenmarjavaltaisia kankaita sekä soita, kun taas keskioroarktisella vyöhykkeellä voidaan nähdä variksenmarja-kankaiden lisäksi heinäkankaita (lampaannata- ja tunturivihviläkasvillisuutta), liekovarpiokan-kaita ja lumenviipymiä (Euroola ym. 2003: 20). Heinäkankaiden ja lumenviipymien esiintymi-nen ilmaiseekin keskioroarktisen vyöhykkeen sijainnin hyvin (Euroola ym. 2003: 21). Paksu lumikerros suojaa kasveja talvisin kovalta tuulelta ja pakkaselta sekä kesäisin kuivuudelta, minkä takia lumenviipymäalueilla on ominainen lajisto (esim. Billings & Bliss 1959: 388; Thorn 1983: 33). Liian paksu lumikerros kuitenkin vähentää kasvien kasvua tai jopa estää sen kokonaan (Thorn 1983: 33). Paksu lumipeite on kuitenkin tärkeä monille kasvilajeille. Pitkään kevääseen ja kesään säilyvät lumenviipymät ovat tärkeitä niistä ravintoa etsiville nisäkkäille, kuten sopuleille, ja niiden kasvillisuus pystyy kannattamaan koviakin piikkejä laidunnuksessa (Björk & Molau 2007: 40).



Kuva 2. Tunturien korkeusvyöhykkeet (Haapasaaren ym. 1982, Norokorven ym. 2008 ja Kauhasen 2013 mukaan).

Korkeuden vaihtelu lisää lajimäärää. Kasvupaikkojen on havaittu monipuolistuvan erityisesti korkeusvyöhykkeiden rajojen tuntumassa, mikä Kilpisjärven tutkimusalueella tarkoittaa arviolta 650 ja 800 metriä merenpinnan yläpuolella, ja niitä voidaankin kutsua ekotoneiksi, joissa kahden eri vyöhykkeen kasvupaikkojen olosuhteet kohtaavat (Eurola ym. 2003: 23). Ekologian ollessa kyseessä, on yleensä hankalaa määrittellä mitkä kasvupaikkatekijät tarkalleen vaikuttavat juuri kyseisen alueen varpujen kasvuun. Tundralla näitä kasvupaikkatekijöitä ovat muun muassa auringon tulosäteily, sadanta, maaperän kosteus, ravinteet, CO<sub>2</sub> – pitoisuus, häiriöt, lumipeite ja sen sulaminen, aktiivikerroksen paksuus, maaperän lämpötila ja kasvukauden pituus (Myers-Smith ym. 2011: 6).

Useat arktis-alpiiniset lajit hyötyvät geomorfologisista prosesseista, kuten krypturbaatiosta, fluviaalisista prosesseista, nivaatiosta ja solifluktiosta (le Roux & Luoto 2014: 51). Päinvastaisesti boreaalisiin kasvilajeihin edellä mainitut prosessit vaikuttivat

yleensä negatiivisesti. Kunkin prosessin vaikutukset vaihtelevat voimakkuudeltaan yksilöllisesti. Arktis-alpiinisten lajien hyötyminen geomorfologisten prosessien aiheuttamista häiriöistä toimii todennäköisesti kokonaiskasvilajimäärää lisäävänä tekijänä tutkimusalueella.

Maapallon ilmasto on murroksessa, mikä aiheuttaa muutoksia pohjoisten alueiden kasvupaikkatekijöihin ja näin myös kasvillisuuteen. Virtanen ja muut (2010: 817) ovat havainneet kasvillisuuden muutosten olevan suurempia korkean tuottavuuden alueilla kuin vähemmän tuottavilla alueilla, kuten tundralla. Korkean tuottavuuden alueilla korkeampi ruohovartinen kasvillisuus lisääntyy, mikä indikoi niiden kykyä vastata muuttuviin resursseihin. He havaitsivat myös, että matala kasvillisuus on osin taantunut korkeamman kasvillisuuden ja suvuttomasti lisääntyvien kasvien kustannuksella (Virtanen ym. 2010: 817).

Ilmastonmuutoksella oletetaan olevan vaikutusta pohjoisen tundran ekosysteemeihin. Suvuttomasti lisääntyvät varpukasvit ovat myös osoittaneet runsastumisen merkkejä ilmaston lämmitessä (Virtanen ym. 2010: 817). Myös Myers-Smith ja muut (2011: 10–11) havaitsivat huomattavan muutoksen varpujen levinneisyydessä; lisääntynyt varvikko vaikuttaa ekosysteemiin muokkaamalla niin lumen kasautumista ja kosteusoloja, albedoa eli heijastustehoa ja lämpöolosuhteita kuin herbivoriaakin. Kosteuden voidaan katsoa olevan tärkein yksittäinen tekijä geomorfologiassa, sillä se säätelee useimpia rapautumis- ja eroosioprosesseja (Thorn & Hall 2002: 533).

### **3.3 Biodiversiteetin ja geodiversiteetin yhteys**

Biodiversiteetti ja geodiversiteetti ovat tiukasti linkittyneet toisiinsa (Pemberton 2007). Tutkijoita on pitkään kiinnostanut ymmärtää ratkaisevat tekijät lajirunsauden takana, jotta sitä voitaisiin ennustaa (Gaston 1996: 99). Biodiversiteetin runsaus vaihtelee geokohdetyypeittäin (Gray 2004). Habitaatit maaperän, kivien tai kasvillisuuden seassa tarjoavat kasveille erilaisia säteily-, lämpötila-, kosteus- ja tuuliolosuhteita, jolloin toisia lähekkäinkin olevat ympäristöt voivat olla täysin erilaisia kasvuoloiltaan (Thomas ym. 2008: 53). Esimerkiksi karkea-aineksinen ja karu kasvualusta pienentää paikallista lajimäärää ja diversiteettiä (Euroola ym. 2003: 20) ja kivilajien runsaus on yhdistetty uhanalaisten putkilokasvien lajirunsauteen (Tukiainen ym.

2017: 372). Fysikaalisen ympäristön monimuotoisuus suosii ekologista erikoistumista ja monimuotoiset alueet tarjoavat suuremman mahdollisuuden allopatriseen lajiutumiseen, eli maantieteellisesti eristäytyneiden lajiyhteisöiden lajiutumiseen omiksi lajeikseen (Barthlott ym. 2005: 65). Pausasin ja muiden (2003: 666) mukaan alueen sisäisellä heterogeenisyydellä onkin huomattu olevan positiivista korrelaatiota kasvilajirunsauteen.

Geodiversiteetti on maisematason mittari, joka ei ota huomioon eri habitaattien yksilöllisyyttä tai tärkeyttä alueen ekologisalle (Hjort ym. 2012: 3503). Eräänlaista geodiversiteetin arvottamista onkin tehty maisematasolla ja havaittu korkean geodiversiteetin alueilla olevan suurempi puuvartisten kasvien lajirunsaus kuin vastaavilla matalan geodiversiteetin alueilla (Burnett ym. 1998). Geomorfologiset, habitaatiltaan erilaiset kohteet, kuten suojaisat ja lämpimät paikat ja avoimet kohoumat, voivat kuitenkin sijaita myös lähellä toisiaan (Thomas ym. 2008: 53). Tämän takia myös pienemmällä mittakaavalla toteutettu tutkimus voi olla hyödyllistä. Myös kaukokartoitusmenetelmät ja geodiversiteetin muuttujien (geologinen, geomorfologinen ja hydrologinen diversiteetti) käyttäminen mallinnuksessa voi tarjota kustannustehokkaan tavan tutkia biodiversiteettiä. Biodiversiteetin mallintamisessa voidaan käyttää korvaavina mittareina geodiversiteetin mittareita alueilla, joilta ei ole saatavilla hyvää ilmasto tai topografiadataa (Hjort ym. 2012: 3503). Ympäristön parametrit ovat myös usein helpommin ja halvemmin mitattavissa kuin lajirunsaus (Gaston 1996: 99). Lajirunsauden ja geodiversiteetin yhteys on siis huomattu tieteessä, mutta uhanalaisten ja uhattujen lajien ja geodiversiteetin yhteys kaipaava lisää tutkimusta (Tukiainen ym. 2017: 373). Myös globaalimuutos luo painetta tutkia luonnonilmiöitä, niin myös geodiversiteetin ja biodiversiteetin yhteyttä. Gordon ja Barron (2012: 284) esimerkiksi toteavat geomorfologisissa prosesseissa tapahtuvien muutosten todennäköisesti vaikuttavan useimpien ekosysteemien toimintaan.

Myös kasvillisuus vaikuttaa geodiversiteettiin. Se muun muassa suojelee maaperää eolisilta prosesseilta (Seppälä 2004: 36) ja esimerkiksi varpukasvillisuus saa lumen pysymään talvisin paikoillaan eristämässä maanpintaa, kun taas kesäisin se varjostaa ja ylläpitää ohuempaa aktiivikerrosta (Myers-Smith ym. 2011: 11). Myers-Smith (2011: 2, 8) esittää myös muita tapoja, joilla varpukasvillisuus vaikuttaa ekosysteemiin ja geodiversiteettiin. Varvut vaikuttavat ekosysteemiprosesseihin esimerkiksi säätelemällä lumen syvyyttä ja siten hydrologista dynamiikkaa, ravinteisuutta ja siihen liittyvää hiilitasapainoa, albedoa ja energian siirtymistä. Varpujen leviämällä voi olla myös merkittävä vaikutus ilmakehän suhteessa kasvilli-

suuteen, maaperään ja ikiroutaan energian siirtymisen muuttuessa. Usein luonnollisten prosessien ylläpitäminen on avainasemassa biodiversiteetin suojelussa (Gordon & Barron 2012: 285). Geodiversiteetin suojelu on siis perusteltua myös biodiversiteetin näkökulmasta. Suojelun tulisi kohdistua kaikkiin luonnon arvoihin ja prosesseihin (Pemberton 2007: 4).

#### 4. Geodiversiteetin arvot

Arvo on yleisnimi mille tahansa myönteiselle predikaatille ja ne ovat henkisiä ja ideaalisia – aina ihmisten luomia (Rolston III 1981; 1997: 205–206). Ihmisen määrittelemänä annettu arvo heijastaakin ihmisen itsensä ja yhteiskunnan näkemyksiä siitä, mikä on tärkeää ja miksi. Ekosysteemipalvelut ovat ekosysteemien yhteiskunnalle tuottamia hyötyjä ja niitä tuottavia prosesseja. Geodiversiteettiä tarkastellessa voidaan myös käyttää termiä geosysteemipalvelut, sillä useat hyödyt ovat suoraa seurausta maapallon geodiversiteetistä, mikä jää ekosysteemipalvelut -termiä käyttäessä usein huomiotta (Gray 2011: 272). Geodiversiteetti on tärkeä yhteiskunnalle vaikuttaen muun muassa ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin sekä taloudelliseen kehitykseen monella eri sektorilla (Gordon & Barron 2012: 280). Esimerkiksi infrastruktuuri ja tietoliikenne ovat täysin riippuvaisia geodiversiteetin suomista materiaaleista (Gray 2011: 272). Sillä on myös historiallista, kulttuurillista ja ympäristöllistä merkitystä esimerkiksi ekosysteemipalveluiden tukemisen kautta (Gordon & Barron 2012: 280, 290). Tämän lisäksi geodiversiteetillä on myös itseisarvoa sekä arvoa tieteelle ja koulutukselle (Gray 2004: 65; Gordon & Barron 2012: 292).

Arvokeskustelu on tärkeää, koska ihmiset perustelevat luonnon käyttöä ja suojelua arvoilla, jolloin ihmisen rooli korostuu biodiversiteetin ja geodiversiteetin tulevaisuuden kannalta. Voidaankin pohtia, onko ihmisellä oikeus päättää lajin tai geomorfologisen prosessin olemassaolosta, vaikka tarkastelun alla oleva laji tai prosessi olisi ihmiselle selkeästi haitaksi tai vaaraksi (Gray 2004: 69).

## 4.1 Itseisarvo, kulttuurinen ja esteettinen arvo

Itseisarvo pohjautuu eettiseen ajattelutapaan, jonka mukaan joillain asioilla on arvoa sellaisenaan vain olemassa olemisensa takia sen sijaan, että arvon määrittäisi sen käyttö joltain tarkoitusta varten (Gray 2004: 65). Geodiversiteetti ansaitsee tulla suojelluksi myös itseisarvonsa kautta (Hjort ym. 2015: 637). Usein ihmisten suojelunhalu kohdistuu yleisessä suosiossa oleviin asioihin, kuten sympaattisena pidettyihin eläinlajeihin elottoman luonnon sijaan (Gray 1998: 273), mutta käytännössä itseisarvon voidaan nähdä olevan yhtä lailla niin elollisilla kuin elottomillakin luonnon osasilla (Gray 2004: 68). Geodiversiteetti on osa luonnon perintöä (Gordon & Barron 2012: 290). Itseisarvon kuvaileminen on hankalaa, koska siinä yhdistyy luonnon ja yhteiskunnan eettiset ja filosofiset ulottuvuudet (Gray 2004: 65).

Kulttuurinen arvo liittyy kiinteästi itseisarvoon, tarkoittaen yhteiskunnan asettamaa arvoa jollekin ympäristön ominaisuudelle sen sosiaalisen vaikuttavuuden tähden (Gray 2003: 70). Geodiversiteetillä on oma roolinsa maisematasolla muun muassa paikan tajuun (sense of place) kehittymisessä ja alueen omaperäisyyden ja luonteen säilymisessä (Gray 2003: 79–81; Gordon & Barron 2012: 289). Yhteisöt suhtautuvat ympäröivään maisemaan ja näin myös sen geodiversiteettiin tunteikkaasti, jolloin muutokset maisemassa saavat aikaan voimakkaita reaktioita joissain yhteisöjen jäsenissä (Gray 2003: 81). Ajan myötä maisemat ja pinnanmuodot muuttuvat ja tulevat muuttumaan jatkossakin. Osa pinnanmuotojen arvosta perustuukin niiden takana olevien prosessien hitaudesta suhteessa ihmisen elinaikaan ja siitä, miten ne heijastavat yleisiä sosiaalisia arvoja (Gray 2003: 81). Kansanperinne, historia ja arkeologia tuovat oman osansa geodiversiteetin kulttuuriseen arvoon muun muassa paikannimien, luonnonmonumenttien ja uskontoihin liitettyjen paikkojen kautta (Gray 2003: 70–79).

Esteettisellä arvolla tarkoitetaan geodiversiteetin viehättävyyttä ihmiselle (Gray 2003: 81). Esteettinen arvo tulee tunnistaa erillisenä hyödystä ja elämän ylläpitämisen arvoista (Rolston III 1981; 1997: 214. Maiseman tai pinnanmuodon esteettinen arvo nostaa usein myös sen taloudellista tai kulttuurillista arvoa esimerkiksi lisäten matkailun tuomia tuloja, nostaten kiinteistöjen hintoja alueellisesti tai vaikuttaen paikan tajuun ja yhteisöllisyyteen sekä taiteeseen (Gray 2003: 83–85).

## 4.2 Taloudellinen arvo

Geologisilla raaka-aineilla, kuten kivillä, mineraaleilla, sedimenteillä, maaperällä ja fossiileilla on taloudellista arvoa, joka vaihtelee materiaalien mukaan (Gray 2003: 85). Geodiversiteetin taloudelliseen arvoon vaikuttaa myös sen geologisten raaka-aineiden käytöstä seuraavat työpaikat ja tuotteet (Gordon & Barron 2012: 290). Taloudelliset mineraalivarannot voidaan luokitella mineraalipolttoaineisiin, teollisuus-, metalli- ja arvomineraaleihin sekä rakennusmineraaleihin, mutta geodiversiteetin taloudellista arvoa arvioidessa tulisi huomioida myös fossiilien, muiden energialähteiden ja maaperän ja maiseman arvo (Gray 2003: 85–86). Mineraalivarantojen rajallisuuden takia niitä voi hyödyntää vain siellä missä niitä esiintyy, jonka takia on tärkeää hyödyntää mineraalivarantoja mahdollisimman tehokkaasti ja kestäväällä tavalla (Gordon & Barron 2012: 281).

## 4.3 Tieteellinen ja koulutuksellinen arvo

Geodiversiteetin ymmärtäminen ja erityisesti geomorfologisten prosessien reaktiot ilmastonmuutokseen ovat tärkeitä, kun sopeudutaan ilmastonmuutoksen vaikutuksiin (Gordon & Barron 2012: 284). Ymmärrystä kartutetaan tutkimuksen avulla. Pitkän ajan geologisen ja geomorfologisen datan tutkiminen antaa tietoa ekosysteemien pitkän ajan trendeistä, muutosten intensiivisyydestä ja tulevaisuuden näkymistä (Dearing ym. 2010: 7). Tällainen tutkimus auttaa sopeutumisen, spatiaalisen analyysin ja skenaariomallinnuksen tekemisessä tutkitessa habitaatteihin, lajeihin ja ekosysteemeihin kohdistuvia geomorfologisia riskejä sekä arvioidessa tehtyjen biodiversiteettitavoitteiden realistisuutta. Tällöin otetaan huomioon geodiversiteetin eri tekijät ja niissä tapahtuvien muutosten voimakkuus ja nopeus (Gordon & Barron 2012: 286). Luonnon systeemien ja alueiden vahingoittuminen haittaa niiden tutkimista ja opettamista eteenpäin (Gray 2003: 126). Laadukas koulutus geotieteiden osaajien saamiseksi vaatii kenttätöihin ja opetukseen sopivia alueita, joka on suoraan linkittyneenä geodiversiteetin suojeluun (Gordon & Barron 2012: 287).

#### 4.4 Ekologinen arvo

Geodiversiteetti on iso osa luonnon arvoa, sillä se tarjoaa ja tukee monia ekosysteemipalveluita (Gordon & Barron 2012: 290; Gray ym. 2013: 669). Se on pohjana kaikissa maaekosysteemeissä aina maaperän muodostuksesta, biokemiallisiin kiertoihin, tarjoten mineraaleja, ravinteita, vaihtelevia pinnanmuotoja ja geomorfologisia prosesseja, jotka muodostavat ja ylläpitävät luonnollisia ja ekologisia prosesseja mahdollistaen biodiversiteetin olemisen (esim. Gray 2003: 114; Gray 2011: 272; Gordon & Barron 2012: 286). Geodiversiteetin voidaankin katsoa tarjoavan edellytykset biodiversiteetin kehittymiselle Gray 2011: 272).

Hallinnan ja käytön kannalta geodiversiteetin ja geomorfologisten prosessien suojele hyödyttää myös habitaattien ja lajien ylläpitoa, sopeutumista, uudelleen sijoittumista ja ennallistamista, joissain tapauksissa jopa ekologisten verkkojen ja yhteyksien ylläpitoa (Gordon & Barron 2012: 286). Gray (2003: 123) toteaa, että pinnanmuotojen, maaperän ja pintavesien rappeutuminen tulee haittaamaan myös niillä elävien eliölajeja ja -yhteisöjä. Geodiversiteetin käyttö on sidoksissa maan ja vesien kestävään käyttöön maisema- ja ekosysteemitasolla muun muassa ilmastonmuutoksen ja sen vaikutusten ehkäisemisessä ja niihin sopeuduttaessa (Gordon & Barron 2012: 290).

#### 4.5 Pinnanmuotojen arvottaminen

Geokohteita on arvoitettu pääasiassa geologisten ja geomorfologisten geokohteiden kautta (esim. Pereira ym. 2007; Reynard ym. 2007; Serrano ym. 2009; Ruban 2010; Brilha 2016). Menetelmät ja niiden käytettävyys vaihtelevat kunkin tutkimuksen tarkoituksen mukaan (Reynard ym. 2007: 148-152). Esimerkiksi Pereira ym. (2007) yhdistävät objektiivisia ja subjektiivisia arviointimenetelmiä geokohteiden arvon kvantifioimiseksi. Systemaattisen lähestymistavan voi nähdä tähtäävän geodiversiteetin tunnistamiseen, suojeeluun ja hallitun käytön mahdollistamiseen (Brilha 2016: 120). Geokohteiden arvottaminen voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: tutkittavien geokohteiden valintaan ja niiden arvottamiseen (Brilha 2016).

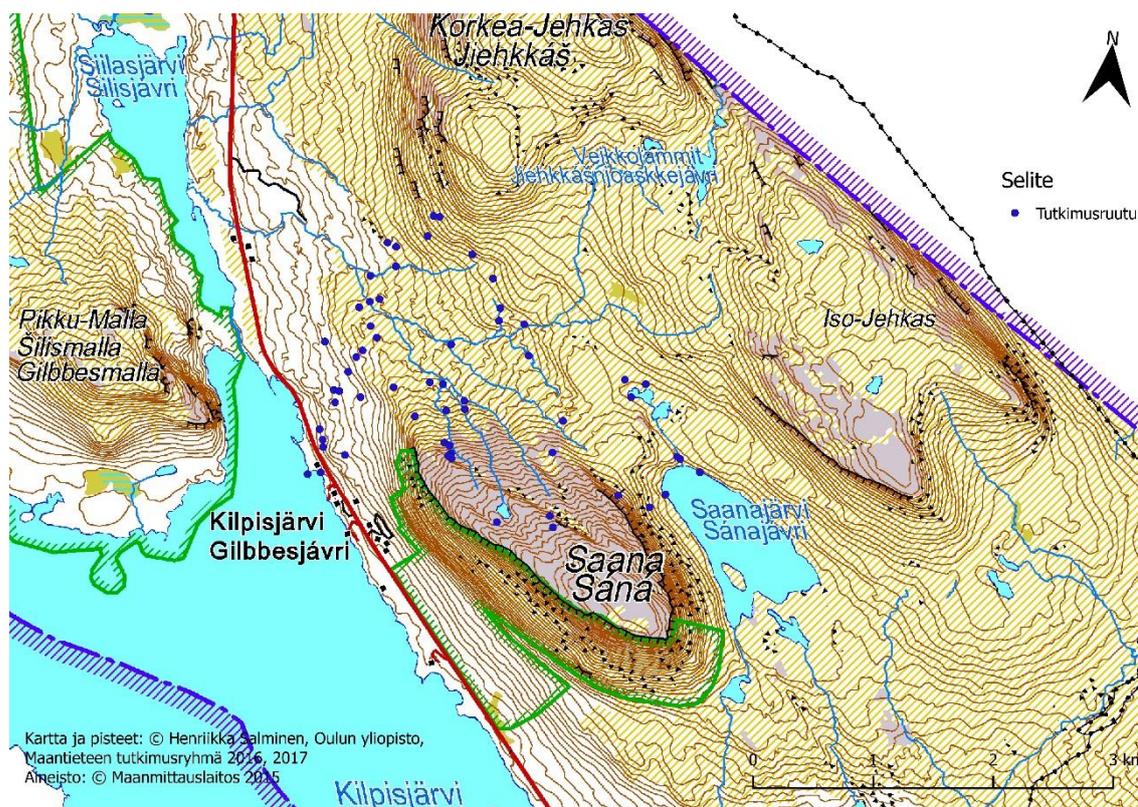
Pereiran ym. (2007) mukaan arvotettavat geokohteet voivat vaihdella kooltaan laajasti. Ne vaihtelevat yksittäisistä paikoista alueisiin ja maisemapaikkoihin. Yksittäiset paikat

ovat joko eristyneitä yksittäisiä pinnanmuotoja tai niiden ryhmittymiä. Alueet koostuvat yhdestä tai useammasta pinnanmuotoryhmästä ja maisemapaikalta katsoja näkee suuret pinnanmuodot ja lähialueen pinnanmuodot ja pinnanmuotoryhmät (Pereira ym. 2007: 159). Brillhan (2016: 121) mukaan geokohteiden arvottamisessa tulee ottaa huomioon arvottamisen kohde, huomioitava arvo (esimerkiksi tieteellinen), arvotettavan alueen koko ja arvottamisen tavoitteet. Tutkielman tavoitteiden mukaisesti tarkempaan tarkasteluun valittiin ekologisen arvон tarkastelu.

Brilha (2016: 120) muistuttaa, että geodiversiteetti ja tietämys siitä on jatkuvassa murroksessa, joten geokohteiden arvoa pitää arvioida ajan kuluessa uudelleen. Joskus raja geokohteiden valinnan ja varsinaisen arvottamisen raja on hämärtynyt (Pereira ym. 2007: 165). Kvantifioinnilla ja eri arvottamismenetelmillä pyritään arvottamisen objektiivisuuden lisäämiseen (Pereira ym. 2007: 166; Brilha 2016), mutta geokohteiden arvottamisessa on silti aina mukana tutkijan tuomaa subjektiivisuutta (Brilha 2016: 133).

## 5. Tutkimusalue

Tutkimusalue sijaitsee Pohjois-Suomessa Käsivarren Lapissa Enontekiön kunnassa Kilpisjärven kylällä. Se rajautuu karkeasti Saana (1029 mmpy) ja Korkea-Jehkas tuntureiden lakien sekä Kilpisjärven (473 mmpy) ja Iso-Jehkasin länsirinteen väliin (Kuva 3). Suomen mittakaavassa Enontekiöllä on suurimmat absoluuttiset ja suhteelliset korkeuserot (Matisto 1969: 8). Tutkimusalue kuuluu Yliperäksi kutsuttuun alueeseen, joka on käsivarren luoteisin osa ja joka liittyy Kõlivuoriston suuruntureihin (Eurola ym. 2003: 5).



Kuva 3. Tutkimusalue, jolla on kuvattuna tutkimuspisteet. Taustakartta: Maanmittauslaitos 2015.

Seudulla on tehty paljon luonnontieteellistä tutkimusta ja alueelta on saatavilla pitkäaikaista ilmastodataa siellä jo vuodesta 1964 sijaitsevan Helsingin yliopiston biologisen aseman ansiosta (esim. Welling ym. 2005; Rinnan ym. 2009; Mod ym. 2014). Vastaavaa pinnanmuotojen arvottamista ei ole alueella kuitenkaan tehty. Kõlivooriston alue on palearktisen tundran alueista putkilokasvilajistoltaan lajirikkainta (Kier ym. 2005: 1111). Tämä tekee tutkimusalueesta mielenkiintoisen, sillä se on ainoa Kõlivooristoon kuuluva alue Suomessa.

## 5.1 Ilmasto

Tutkimusalue kuuluu subarktisen suurilmaston alueeseen. Oksasen ja Virtasen (1995: 47) mukaan tutkimusalueen ilmasto on lievästi mereinen. Kesäisin Kilpisjärven alueella vaikuttaa polaaririntaman matalapainevyöhyke, jonka Barentsinmeren lämmittämät kylmät ilmavirrat

puskevat ajoittain etelämmäs (Venäläinen 2004: 35–36). Kesän lämpimin kuukausi on heinäkuu 11,2 °C keskilämpötilalla (Pirinen ym. 2012: 54). Talvisin alueella vallitsevat lounaistuulet, jotka tuovat lämpöä ja sateita kosteuden tiivistyessä usein kuitenkin jo Skandien länsipuolelle (Venäläinen 2004: 36). Kylmin kuukausista on tammikuu, jonka keskilämpötila on -12,9 °C (Pirinen ym. 2012: 54).

Vuoden keskilämpötila 1981–2010 perusjaksolla oli -1.9 °C (Pirinen ym. 2012). Kasvukauden pituus ajanjaksolla 1981–2010 oli keskimäärin 101 vuorokautta (Kilpisjärven alueen... 2012), jonka aikana lämpösumma Kilpisjärvellä nousi keskimäärin 350 °C:een vuorokaudessa (Venäläinen 2004: 43). Samalla ajanjaksolla tarkasteltuna vuosittainen sademäärä oli keskimäärin 487 mm vuodessa ja keskimääräinen lumen syvyys suurimmillaan maaliskuussa arvolla 99 cm (Pirinen ym. 2012: 55).

## 5.2 Kallio- ja maaperä sekä geomorfologia

Tutkimusalueen kallioperä on prekambrisen peruskallion päällä ja koostuu paleotsooisista kerroskivilajeista (alimmasta kerroksesta ylimpään: konglomeraattia, hiekkakiveä, saviliusketta, kvartsiittia ja dolomiittia), jotka kuuluvat Kaledonidien vuorijonovyöhykkeen reunaan (Matisto 1969: 10; Uusinoka 1980: 2–4). Kerroskivilajien päälle työntyi siluurikauden lopulla ylityöntölaatta, joka havaitaan nyt tunturiliuskeena (Uusinoka 1980: 5). Maaperän kalkkipitoisuudella on positiivinen vaikutus kasvien diversiteettiin, sillä erityisesti ruohovartisten kasvien on havaittu suosivan kalkkialueita (Austerheim ym. 2010). Kasvien lajidiversiteetillä ja maaperän kalkkipitoisuudella on positiivinen yhteys (Kauhanen 2013: 50).

Maaperä on lähinnä moreenia ja hiekkaa, mutta alueella on myös rakkakivikkoja ja kalliota (Eurola ym. 2003: 9). Tutkimusalueen maaperä ja kallio muuttuvat nykyään erityisesti periglasiialisten geomorfologisten prosessien myötä. Maaperän vaikutus kasvillisuuteen on huomattava. Esimerkiksi maaperän kivisyys lisää kasvillisuuden eri yhdistelmien määrää, mutta myös vähentää hienojakoista maaperää suosivaa kasvillisuutta, kuten mustikkakankaita, niittyjä ja soita (Eurola ym. 2003: 20). Tutkimusalue kuuluu epäjatkuvan ikeroudan alueeseen mikä monipuolistaa luontoa (Eurola ym. 2003: 23).

### 5.3 Hydrologia

Tutkimusalueen topografia määrittää millä alueilla kasveille on tarjolla vettä ja missä sitä on vähemmän, mikä määrittelee kuivien, tuoreiden ja kosteiden kasvyhteisöjen levinneisyyden (Kauhanen 2013: 49–50). Tutkimusalueella virtaa useita puroja ja Skirhasjohka-joki, jotka täyttyvät erityisesti keväisin lumien sulavesillä. Lumenviipymät tasoittavat virtaamia, sillä niistä sulaa puroihin vettä kevään tulvahuipun jälkeenkin (Glushkova 2000: 104, 107). Kevään sulamisvedet muodostavat alueelle myös useita sulavesilampia. Kesän edetessä pienimmät purot ja lammet yleensä kuivavat. Tutkimusalueeseen kuuluu myös Ylinen Kilpisjärvi ja Saanajärvi. Kilpisjärvi (473 mmpy) saa sadetta keskimäärin 487 mm vuodessa (Pirinen ym. 2012: 55), mikä johtuu siitä, että mereltä puskeva kostea ilma tiivistyy ja sataa suurimmaksi osaksi jo Norjan puolella ilmassaan törmätessä vuoristoon (Kauhanen 2013: 45).

### 5.4 Kasvillisuus

Kilpisjärven alueen kasvillisuus koostuu pohjoisborealisista, alpiinisista ja arktisista kasvilajeista (Kauhanen 2013: 47). Tutkimusalue on pääosin karua paljakkakangasta näyttäytyen ensinäkemältä yksitoikkoisena, mutta on samaan aikaan moninainen kasvillisuuden pienipiirteisyyden ja ekologisten erojen ansiosta (Federley & Vuokko 1980: 16; Eurola ym. 2003: 8). Tutkimusalueella on kuitenkin havaittu jopa 440 putkilokasvilajia (Lampinen & Lahti 2016) ja Kauhasen (2013: 47) tutkimuksessa Saanan alueelta havaittiin jopa 325 lajia 15 alalajia. Kilpisjärven alueella tavataan paljon muulle Suomelle harvinaisia tai puuttuvia lajeja, mikä johtuu osaltaan kalkinsuosijalajien esiintymisestä alueella (Federley & Vuokko 1980: 16; Eurola ym. 2003: 14; Kauhanen 2013). Kölivuoriston ylityöntölaatan alta paljastuvan sedimenttikivikerrostuman vaikutus ravinteisuuteen lisääkin niin kasvupaikkoja kuin kasvilajimäärääkin (Eurola ym. 2003: 23). Kalkinsuosijakasvillisuus onkin yksi alueen omaleimaisimmista piirteistä (Kauhanen 2013: 47). Tutkimusalueesta osa sijaitsee metsänrajan alapuolella. Metsänrajapuu on tunturikoivu (Kuva 4), joka ylettyy vyöhykkeenä aina 600–650 metrin korkeuteen meren pinnan yläpuolelle (Federley & Vuokko 1980: 15).



Kuva 4. Metsänrajan tuntumassa. Näkymä Saana-tunturille luoteesta kuvattuna.

Federley & Vuokko (1980: 16) kuvaavat Kilpisjärven alueen paljakkakasvillisuuden vyöhykeitä seuraavasti. Metsänrajasta noin 950 metriin meren pinnan yläpuolelle ulottuu alapaljakaksi kutsuttu vyöhyke, jonka kasvipeite on melko yhtenäistä ja jossa esiintyy runsaasti katajaa, pajuja ja mustikkaa. Tätä korkeammalla on keskipaljakan vyöhyke, jolla tavataan heinäkan-kaita ja lumimaita. Keskipaljakalla kasvipeite on jokseenkin yhtenäinen, kuitenkin routatoinnin ja eroosion rikkoma. Tutkielman tutkimusalue ei yllä yläpaljakan vyöhykkeeseen, mutta sen piirteitä on havaittavissa Saanan pohjoisrinteillä sijaitsevilla koealoilla kivisyyden ja lumen pitkän viipymisen takia.

Eurolan ym. (2003: 19) mukaan alueen paljakkaluonnon yleisimmät kasvillisuustyytit ovat tunturikankaat, erityisesti variksenmarjakankaat, joita rikkovat yleisimmin erilaiset rakat. Lumenviipymäkasvillisuuden osuus Kilpisjärven paljakkaluonnon kasvillisuustyyteistä on noin 5 %. Tunturikankailla havaittavia kasvillisuuseroja selittää suurimmaksi osaksi vaihtelut korkeudessa, ekspositiossa (rinteen aukeamissuunta) ja ravinteisuudessa (Federley & Vuokko 1980: 16). Alueen pienmorfologia vaikuttaa erilaisten mosaiikkityyppien muodos-

tumiseen kasvillisuudessa, kun taas maaperän ominaisuuksien vaihtelu lisää yhdistelmätyyppien määrää, molempien ollessa yleisiä tunturikankaiden ominaisuuksia (Eurola ym. 2003: 19).

## 6. Tutkimusaineisto ja -menetelmät

### 6.1 Aineisto

Tutkielman aineisto kerättiin heinäkuussa 2016 10 x 10 m koealoilta, joilta määritettiin luontotyyppi, latvuksen ja kasvillisuuden kokonaispeittävyys, rinteiden suunta ja kaltevuus, routaaktiivisuus, kivisyys ja koveruus. Koealalta valittiin neljä neliömetrin kokoista aluetta, jolta laskettiin putkilokasvien lajimäärä, sekä tunnistettiin putkilokasvilajit. Koealoiksi valittiin geokohteita, jotka edustivat yhteensä 14 eri kohdetyyppiä. Lisäksi valittiin yksi vertailukohta – ”paljakka”, joka ei sisältänyt mitään selkeää geomorfologista piirrettä. Geokohdetyypit ovat kalliojyrkkäne, kuviomaa, lammen ranta, lumenviipymäpainanne, moreenikumpu, suppa-kuoppa, nivaatiopainanne, pounikko, purouoma, rakkakivikko, järven ranta, siirtolohkare, solifluktiomuodostuma ja kausikuiva purouoma. Lammen ja järvenrannan ero on vesistön koossa; lammen koealat on kerätty pienen paikallaan seisovan vesistön rannalta, kun taas rannalla tarkoitetaan järven rantaa, jotka tässä tutkimuksessa sijaitsevat joko Saanajärven tai Kilpisjärven rannalla. Voidaan olettaa vesistöjen koon perusteella, että jako osuu yksiin Brönmarkin ja Hanssonin (2005: 7) määritelmän kanssa. Siinä järvi luokitellaan vesistöksi, jossa tuulella on suuri rooli veden sekoituksessa, kun taas lammen vesi sekoittuu vain lämpötilaerojen mukaan. Siirtolohkareella tarkoitetaan vähintään 1,5 m korkeaa selvästi ympäristöstään erottuvaa kiveä. Purovesiuomassa on tutkimushetkellä virrannut vesi, kun taas kausikuivassa purouomassa vettä on vain kevättulvan aikana, mutta tutkimushetkellä se on havaittu kuivaksi. Lumenviipymäpainanteessa ei ole havaittavissa kaikkia nivaatiopainanteelle tyypillisiä piirteitä, kuten maaperän selkeää lajittuneisuutta ja massaliikuntoja ja solifluktiota.

Lajimääritykset pyrittiin tekemään maastossa, mutta joissain tapauksissa täytyi ottaa näytteitä tai valokuvia. Näytteet ja valokuvat analysoitiin maastotyön jälkeen. Kasvilajien tunnistaminen on pyritty tekemään huolellisesti, mutta on mahdollista, että tunnistami-

sessä on tehty virheitä, jokin laji jäänyt huomaamatta tai huonosti kasvaneet yksilöt tunnistamatta. Kasvien kukinta ajoittuu esimerkiksi heinillä ja saroilla yleensä heinäkuuhun, minkä vuoksi erityisesti niiden kohdalla tunnistus on voinut epäonnistua. Joidenkin kasvien kohdalla tunnistamisessa on tyydytty sukuun tai ryhmään. Tästä esimerkkinä voikukka (*Taraxacum* spp.). Kasvilajien tunnistamisessa käytettiin Väreän (2009) Suomen tunturikasviota, Vuokon (2008) Lapin luonto-opasta sekä Mossbergin ja Stenbergin (2005) Suurta pohjolan kasviota.

Varsinaisen kasvidatan lisäksi tutkimuspisteiltä kerättiin tietoa taustamuuttujista. Koealojen keskipisteestä mitattiin GPS-laitteella korkeus (mmpy). GPS-laitteen avulla määritettiin myös rinteiden suunta, eli ilmansuunta, jonne rinne on kallellaan. Ruuduilta arvioitiin silmämääräisesti myös prosentuaalinen latvus- ja kasvillisuuspeitto. Rinteiden kaltevuus mitattiin koealan korkeimman ja matalimman pisteen väliltä 5cm tarkkuudella. Routa-aktiivisuus arvioitiin esiintyy/ei esiinny -tasolla, jolloin ruudulla joko esiintyi tai ei esiintynyt ollenkaan routa-aktiivisuutta. Routa-aktiivisuudessa ei otettu huomioon aktiivisen alueen laajuutta tai voimakkuutta. Kivisyys-muuttuja mitattiin pistokairan uppoamissyvyyden (cm) avulla koealan viidestä eri kohdasta. Saaduista luvuista laskettiin jokaiselle koealalle keskiarvo, jolla epäsuorasti kuvataan maaperän kivisyyttä. Koealoilta arvioitiin myös alan koveruus antaen niille arvoja yhdestä kymmeneen. Arvon yksi saadakseen koeala on erittäin kovera eli selkeästi matalammalla ympäröiviin samankokoisiin ruutuihin nähden. Keskimäinen arvo on viisi, jonka saadessaan koeala on tasainen, eli se ei eroa ympäröivistä samankokoisista ruuduista. Tasainen ruutu voi olla myös rinteessä, eli korkeusero koealalla ei vaikuta kuperuuden tai koveruuden saamaan arvoon. Maksimaalisen kuperuuden ruutu saa arvon 10, jolloin koeala on selkeästi ympäröiviä samankokoisia aloja korkeammalla, kuin kukkula. Aineiston yleinen tarkastelu tehtiin SPSS – tilasto-ohjelmalla.

## 6.2 Menetelmät ja aiempi tutkimus

Geodiversiteetin ja biodiversiteetin yhteyttä on yleensä tutkittu karkeassa maisematason mittakaavassa (esim. Burnett ym. 1998; Pausas ym. 2003) tai keskittyen kasvillisuuden keskittymien (hotspot) tunnistamiseen (Niskanen ym. 2017). Tämän tutkielman aineisto pureutuu geodiversiteetin ja biodiversiteetin yhteyksiin varsin pienessä mittakaavassa, muodostumata-

solla. Geomorfologisten prosessien ja geodiversiteetin huomioiminen kasvilajien levinneisyyden tutkimisessa on todettu hyödylliseksi, sillä ne auttavat selittämään lajien levinneisyyttä varsinkin pienessä mittakaavassa (le Roux ym 2013: 804; le Roux & Luoto: 2014: 51; Bailey ym. 2017: 771). Pinnanmuodoilla on siis kasvilajistollisia eroja. Pinnanmuototyypit arvotetaan laskemalla koelalle diversiteetti-indeksit, joiden avulla eri geokohteita pystytään vertailemaan.

Diversiteetti-indeksit ovat tilastomenetelmiä, jotka yhdistävät tiedon lajirunsaudesta ja samanlaisuudesta (Magurran 2004: 9). Niskanen ym. (2017) ovat käyttäneet diversiteetti-indeksejä tutkiessaan syitä korkeadiversiteettisiin putkilokasvikeskittymiin ja niiden yhtenevyyttä pohjoisissa oloissa. Heidän tutkimuksessaan hyödynnettiin tässäkin tutkielmassa käytettäviä indeksejä, kokonaislajirunsautta ja rarity-weighted richness (RWR) -indeksiä, tosin relativisesti painotettua Williamsin ym. (1996) ohjeiden mukaisesti. Niskasen ym. (2017) tutkimuksessa ei kuitenkaan oteta kantaa mahdollisiin pinnanmuotoihin keskittymien takana, vaan näkökulma on puhtaasti lajirikkauden analysoinnissa kaukokartoituksen menetelmin. Tutkielmaani vastaavan kaltaisesta pinnanmuotojen arvottamisesta on valmistunut pro gradu -tutkielma (Kiuttu 2014), mutta sen ja tämän tutkielman tutkimusmenetelmät, tutkimusalue ja aineisto poikkeavat toisistaan.

### **6.2.1 Lajirunsaus geokohteiden arvottamisessa**

Lajirunsaus on suora ja paljon käytetty mittari alfadiversiteetille, eli esimerkiksi koelalle, ja sitä on käytetty paljon alueiden biodiversiteetin ja suojelutarpeen selittämiseen (Whittaker 1972; Steck ym. 2007; Magurran 2004: 16). Se tarkoittaa käytännössä tutkimusalueella havaittua lajimäärää. Pienellä tutkimusalueella koko putkilokasvilajirunsauden havainnointi on vielä mahdollista, mutta alueen suurentuessa kustannukset nousevat liian suuriksi (Magurran 2004: 73). Lajirunsauden selvittämisessä ongelmana on lajintunnistus. Kaikki lajit eivät ole helposti tunnistettavissa, jolloin mahdollisuus virheisiin aineistoissa muodostuu (Yoccoz ym. 2001: 448–449). Myöskään pelkän lajirunsauden käyttäminen ei ole ongelmatonta. Se jättää huomiotta lajien harvinaisuuden, jonka vuoksi tutkielmaan on haluttu sisällyttää myös seuraavat biodiversiteetti-indeksit. Levinin ja muiden (2007: 8) mukaan lajirunsaus on mahdollisesti enemmän yhteydessä tutkittavan alan tuottavuuteen kuin alueen habitaattien vaihtelevuuteen, mikä lisää muiden indeksien tarkastelun tärkeyttä.

### 6.2.2 Taksonominen erityisyys geokohteiden arvottamisessa

Warwickin ja Clarken (1995: 301) mukaan kahdella eri alueella, joilla on sama lajimäärä, voidaan havaita toisella olevan enemmän taksonomisesti lähellä toisiaan olevia lajeja ja toisella taksonomisesti kauempana olevia lajeja. Esimerkiksi erään alueen lajit kuuluvat samaan sukuun, kun taas toisella alueella lajit ovat kaukaisempaa sukua keskenään kuuluen samaan heimoon. Diversiteetin hierarkkinen taso voi siis vaihdella lajiversiteetistä erillään. Taksonominen erityisyys (taxonomic distinctness,  $\Delta^+$ ) kertoo kahden satunnaisesti valitun eri lajin yksilön keskimääräisen sukupolun pituuden toisistaan (Clarke & Warwick 1998: 524; Magurran 2004: 123). Clarken ja Warwickin (1998: 525) kehittämää taksonomisen erityisyyden yhtälöä voidaan käyttää aineistolle, josta ei ole saatavilla arviota runsaudesta, vaan binäärinen tieto esiintymisestä. Yhtälö rakentuu seuraavasti:

$$\Delta^+ = \left[ \sum \sum_{i < j} \omega_{ij} \right] / [s(s-1)/2]$$

jossa  $s$  tarkoittaa havaittujen lajien määrää ja  $\omega_{ij}$  tarkoittaa lajien  $i$  ja  $j$  välisen taksonomisen polun pituutta. Taksonomisen polun pituutta voi tarvittaessa painottaa. Tässä tutkielmassa käytettiin yksinkertaista painotusta (Clarke & Warwick 1998; Warwick & Clarke 1998), jossa  $\omega$  saa arvon 1 lajien ollessa samaa sukua, arvon 2 kun lajit ovat samaa heimoa, mutta eri sukua, arvon 3 lajien ollessa samaa lahkkoa, mutta eri heimoa ja arvon 4 lajien kuullessa samaan luokkaan, mutta eri lahkoon. Taksonomisen erityisyyden tutkiminen vaatii havainnoinnilta vain vähän, mikä voidaan nähdä etuna lajirunsauden tarkasteluun verrattuna (Clarke & Warwick 1998: 524). Taksonomisen erityisyyden laskeminen toteutettiin R-tilasto-ohjelman version 3.4.0. (R Core Team 2017) avulla käyttäen Vegan- paketin komentoja `taxondive`- ja `taxa2dist` (Oksanen 2017).

### 6.2.3 Rarity-weighted richness (RWR) geokohteiden arvottamisessa

Arvottamiseen voidaan soveltaa myös indeksiä, joka painottaa kasvien esiintymistiheyttä varsinaisen runsauden sijaan. Harvinaisuuden perusteella painotettu lajirunsauden indeksi rarity-weighted richness (RWR, muissa tutkimuksissa myös RRR) on tehokas tapa tarkastella lajien

sijoittumista tutkimusalueella. Menetelmän eduksi voidaan nähdä sen yksinkertaisuus verrattuna lineaariseen ohjelmointiin tai heuristisiin algoritmeihin - se voidaan tehdä yksinkertaisilla tilasto-ohjelmilla ilman ohjelmoinnin tarvetta tai analyyttisiä taitoja tuottaen luotettavia tuloksia (Albuquerque & Beier 2015: 5). Indeksi lasketaan lajikohtaisten harvinaisuuslukujen avulla. Jokaisen lajin harvinaisuusluku on käänteisluku koealojen määrästä, joilla kyseistä lajia havaittiin ja jokaisen koealan RWR-luku on näiden koealalla havaittujen lajien harvinaisuuslukujen summa (Williams ym. 1996: 158; Albuquerque & Beier 2015: 2). RWR-luku lasketaan yhtälöllä:

$$\text{RWR} = \sum_1^n \left( \frac{1}{c_i} \right)$$

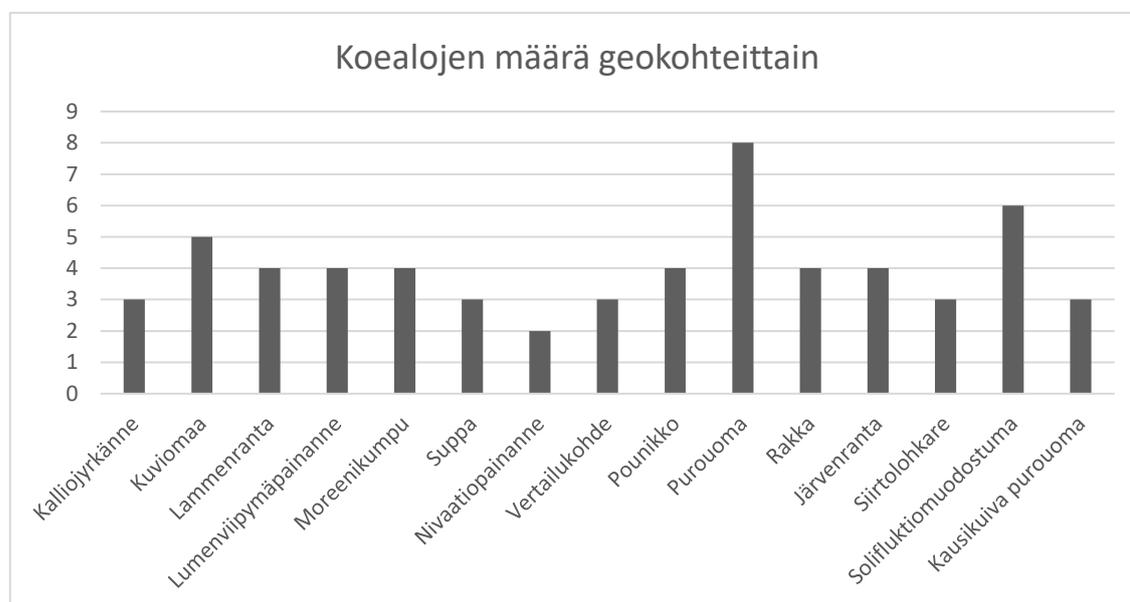
$$\{i : c_i \neq 0, 1 \leq i \leq n\}$$

, jossa  $c_i$  on koealojen määrä, joilla tavataan lajia  $i$ . Summa lasketaan vain ruudulla havaituilta lajeilta ( $n$ ). Menetelmän avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi suojelua varten toisiaan parhaiten täydentävät koealat, joilla tavattavat lajit muodostavat suojeltavan kokonaisuuden. Näin tehtäessä ratkaiseva tekijä ei ole valita vain lajirikkaimpia koealoja, vaan ne alat, jotka yhdessä kattavat mahdollisimman suuren osan alueella tavattavista lajeista (Albuquerque & Beier 2015: 1-2). Arvoon vaikuttavat eniten tutkimusalueen harvinaisimmat lajit jokaisen lajin kuitenkin vaikuttaen lopulliseen arvoon (Williams ym. 1996: 158). RWR-luvut laskettiin tässä tutkimuksessa Microsoft Officen Exceliä käyttäen.

## 7. Tulokset

### 7.1 Yleinen tarkastelu

Kullekin geokohdetyypille kertyi koealoja kahdesta kahdeksaan (Kuva 5). Eniten koealoja (8 kpl) sijoittui purouomalle ja vähiten nivaatiopainanteelle (2 kpl). Tutkimusalueen kaikkien koealojen lajimäärän keskiarvo on 19,4 lajia. Eri kasvilajeja tavattiin yhteensä 174 kappaletta. Viisi yleisintä tutkimusalueella esiintynyttä kasvia ovat puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*), mustikka (*Vaccinium myrtillus*), pohjanvariksenmarja (*Empetrum hermaphroditum*), vaivaiskoivu (*Betula nana*) ja juolukka (*Vaccinium uliginosum*). Vain kerran tavattuja lajeja oli 46 kappaletta.



Kuva 5. Geokohteiden koealojen määrä vaihtelee kahdesta kahdeksaan.

Kolmogorov-Smirnovin normaalijakautuneisuutta mittaavan testin mukaan lajimäärä, taksonominen erityisyys ja RWR eivät noudata normaalijakaumaa ( $p < 0,05$ ). Jakaumat ovat lajimäärässä ja RWR:ssä oikealle ja taksonomisessa erityisyydessä vasemmalle vinoja sekä huipukkaita (Liite 1).

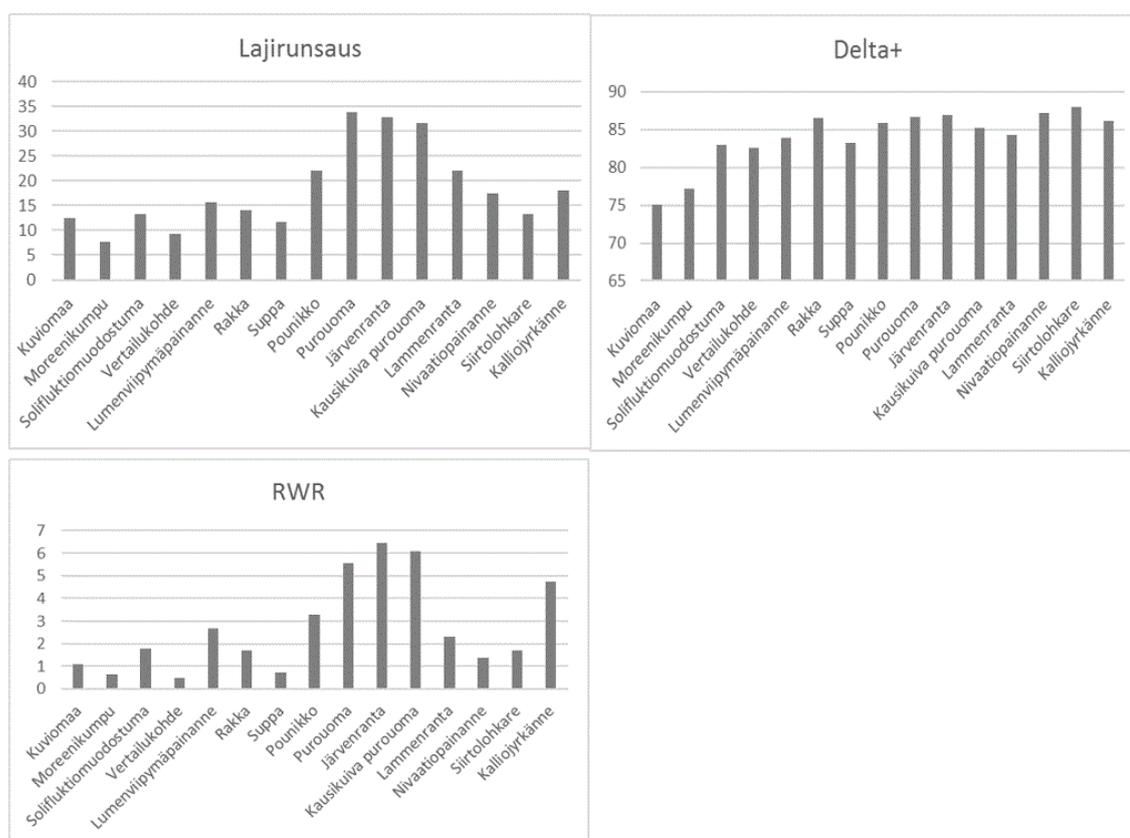
Lajimäärä ja diversiteetti-indeksit korreloivat keskenään positiivisesti korrelaatioiden ollessa erittäin merkitseviä (Taulukko 1). Vahvin korrelaatio on lajimäärän ja

RWR:n välillä. Lajimäärän ja RWR:n korrelaatiot taksonomisen erityisyyden kanssa ovat heikompia, mutta silti erittäin merkitseviä.

Taulukko 1. Lajimäärän, taksonomisen erityisyyden (Delta+) ja rarity-weighted richness –indeksin (RWR) Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimet ja niitä vastaavat merkitsevyystasot (\*\* erittäin merkitsevä;  $p < 0,01$ ).

	Lajimäärä	Delta+	RWR
Lajimäärä		,561**	,916**
Delta+	,561**		,560**
RWR	,916**	,560**	

Kuvassa 6 on lajimäärän ja diversiteetti-indeksien keskiarvot geokohdetyypeittäin. Lajimäärän keskiarvot vaihtelevat moreenikummun 7,8:n ja purouoman 33,8:n välillä. Taksonomisen erityisyyden osalta geokohdetyypeistä pienimmän keskiarvon saa kuviomaa (75,0) ja suurimman siirtolohkare (88,0). RWR:n pienin keskiarvo on vertailukohteella, eli normaalilla paljakkakankaalla (0,5), ja suurin keskiarvo on järven rannalla (6,5). Lajimäärän ja RWR:n keskiarvojen trendit ovat melko yhtenevät – selvä poikkeama on kohdetyypissä lampi. Taksonomisen erityisyyden keskiarvojen trendi poikkeaa toisten indeksien keskiarvosta rakkakivikon ja siirtolohkareen kohdalla. Vertailukohteen keskiarvon alle jää lajimäärän osalta moreenikumpu ja taksonomisen erityisyyden osalta kuviomaa ja moreenikumpu.



Kuva 6. Lajimäärän (Lajirunsaus), taksonomisen erityisyyden (Delta+) ja rarity-weighted richness -indeksin (RWR) saamat keskiarvot geokohdetyypeittäin.

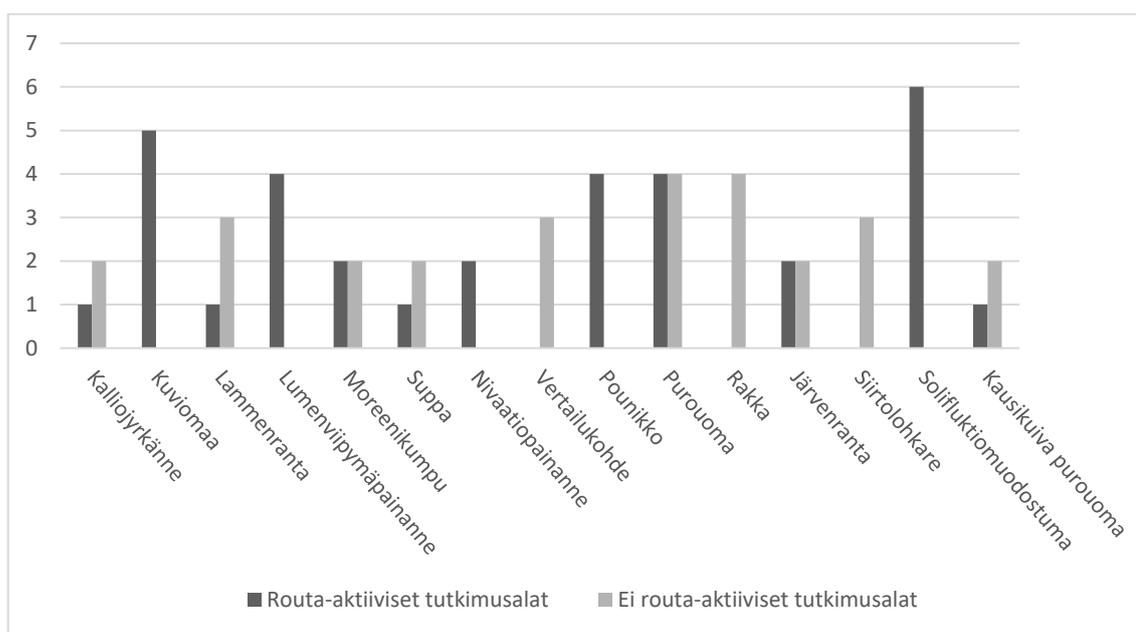
Taulukossa 2 on esitettyä taustamuuttujien keskiarvot ja mediaanit geokohteittain. Muuttujan korkeus (mmpy) suhteen suurin keskiarvo on lumenviipymäpainanteella (829) ja pienin siirtolohkareella (519). Latvuspeitto on keskiarvoltaan suurin siirtolohkareella (22 %) ja kuudella geokohteella latvuspeittoa ei ollut ollenkaan. Kasvillisuuspeiton suurin keskiarvo on vertailukohteella (96,5 %) ja pienin rakalla, jossa kasvillisuutta oli keskimäärin 15,5 prosenttia koalan pinta-alasta. Koalan korkeusero on keskiarvoltaan suurin jo geokohteen luonteen vuoksi jyrkänteellä (480 cm) ja pienin vertailukohteella (28,3 cm).

Geokohteista kivisin eli pistokairasyvydeltään pienimmän keskiarvon sai rakka (3 cm). Järvenranta oli vähiten kivisin keskiarvolla 36. Järvenranta sai myös suurimmat yksittäiset pistokairasyvydet kairan upotessa jopa metrin syvyyteen. Geokohteista koverin on suppakuoppa keskiarvolla 1,3 ja selkeästi kuperin moreenikumpu keskiarvolla 9,3.

Taulukko 2. Taustamuuttujien geokohteittaiset keskiarvot ja mediaanit.

Geokohdetyyppi		Koealan					
		Korkeus mmpy	Latvus- peitto %	Kasvillisuus- peitto %	korkeus- ero cm	Kivisyys cm	Kove- ruus
Kalliojyrkäne	Ka	754	0	39	480	8	2,0
	Med	753	0	27	450	10	1,0
Kuviomaa	Ka	651	0	76	66	29	6,8
	Med	598	0	70	40	27	7,0
Lammenranta	Ka	681	10	90	38	20	2,8
	Med	633	0	89	30	22	3,0
Lumenviipymä- painanne	Ka	829	0	29	231	13	3,0
	Med	833	0	14	265	4	2,5
Moreenikumpu	Ka	590	13	77	69	20	9,3
	Med	583	9	82	75	20	9,5
Nivaatiopainan- ne	Ka	683	0	80	150	17	4,0
	Med	683	0	80	150	17	4,0
Pounikko	Ka	690	0	82	40	35	4,5
	Med	689	0	93	45	32	4,5
Puruoma	Ka	613	11	62	161	18	2,1
	Med	607	0	67	150	17	2,0
Rakka	Ka	669	0	16	203	3	4,3
	Med	673	0	18	212	1	5,0
Järvenranta	Ka	582	20	84	230	36	4,8
	Med	582	6	87	173	22	5,0
Siirtolohkare	Ka	519	22	96	270	14	6,0
	Med	510	18	97	270	16	6,0
Solifluktio- muodostuma	Ka	720	0	64	233	21	5,5
	Med	730	0	66	209	20	5,0
Kausikuiva puruoma	Ka	614	9	91	170	10	1,7
	Med	620	0	88	145	6	2,0
Suppa	Ka	569	11	86	135	19	1,3
	Med	585	0	86	160	19	1,0
Vertailukohde	Ka	625	0	97	28	18	5,3
	Med	611	0	98	30	18	5,0
Koko tutkimusalue	Ka	654	7	69	162	19	4,3
	Med	658	0	84	145	18	4,0

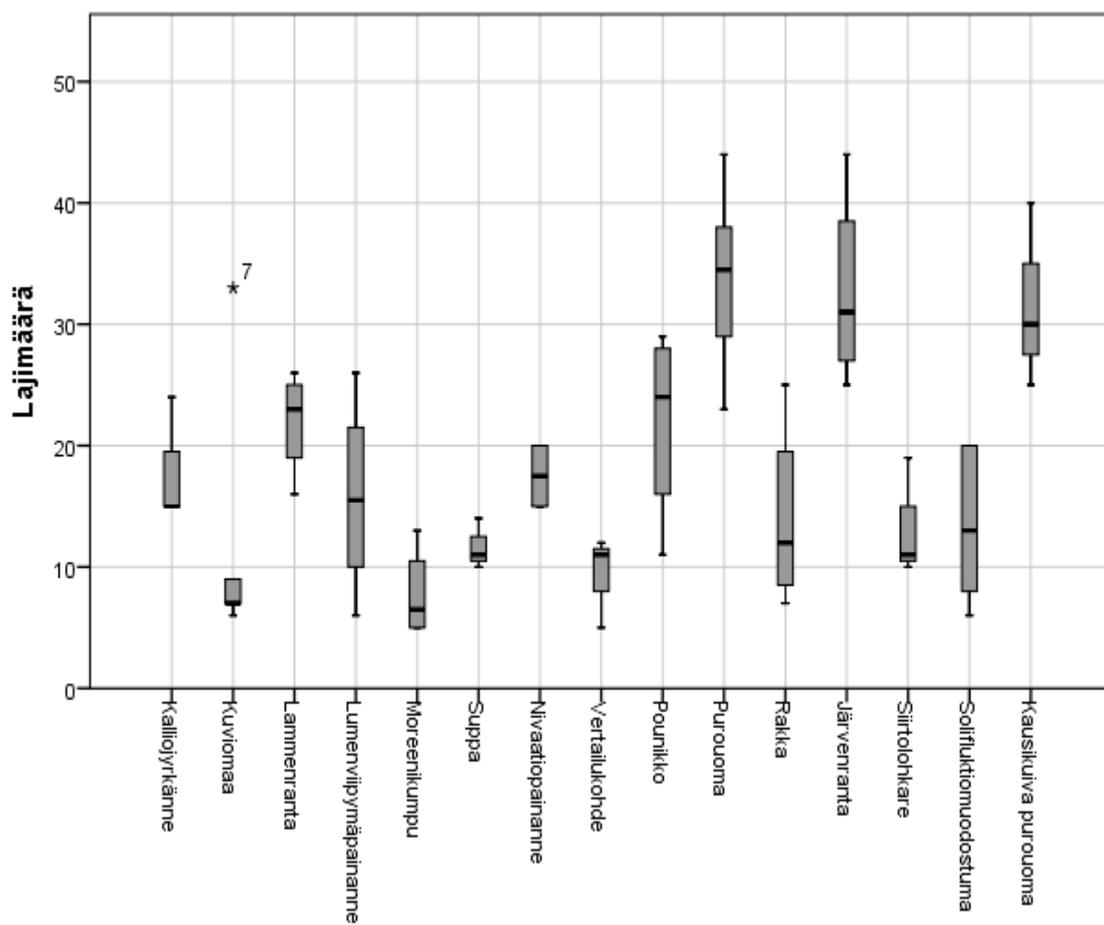
Binaarisesti mitattu routa-aktiivisuus kertoo, millä geokohteilla on havaittu jonkinasteista routa-aktiivisuutta (Kuva 7). Geokohteista kuviomaan, lumenviipymäpainanteen, nivaatiopainanteen, pounikon ja solifluktiomuodostuman jokaisella koealalla havaittiin aktiivisen routatoiminnan merkkejä. Purouomalla, järvenrannalla ja moreenikumulla oli yhtä paljon routa-aktiivisiä ja ei routa-aktiivisiä koealoja. Kalliojyrkänteellä, lammenrannalla, supassa ja kausikuivalla purouomalla oli enemmän koealoja, joilla ei havaittu routatoimintaa kuin routa-aktiivisiä koealoja. Rakalla, siirtolohkareella ja vertailukohteella ei ollut havaittavissa lainkaan routa-aktiivisuutta, vaikka esimerkiksi rakalla oli epäaktiivisiä routatoiminnan merkkejä.



Kuva 7. Binaarisesti havaittu routa-aktiivisuus geokohteittain.

## 7.2 Lajimäärä tutkimusalueella

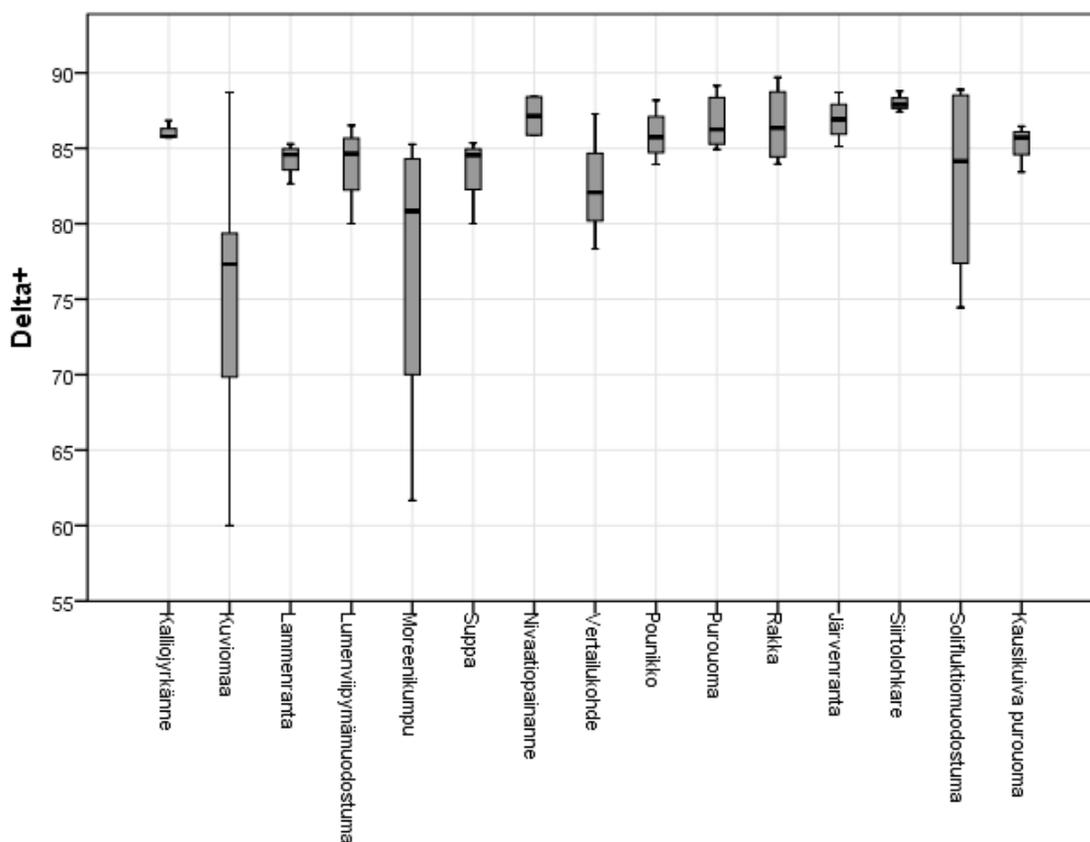
Puruomalla, järvenrannalla ja sulavesiuomalla on keskimäärin yli 30 lajia (Kuva 6). Suurin koealakohtainen lajimäärä saavutettiin purouomalla ja järvenrannalla 44 putkilokasvilajihaavinnolla (Kuva 8). Pienimmät lajimäärät (5 putkilokasvilajia) havaittiin moreenikummulla ja vertailukohteella. Purouoma saavutti suurimman mediaanin (34,5). Pienin mediaani on moreenikummulla (6,5) ja toiseksi pienin kuviomaalla (7). Kuviomaan poikkeavalla koealalla lajeja tavattiin yhteensä 33 kappaletta, kun muilla saman geokohteen koealoilla lajeja oli alle kymmenen. Supalla ja siirtolohkareella oli sama mediaani (11) kuin vertailukohteella. Suurimmat minimiarvon ja maksimiarvon erot ovat kuviomaalla (27), purouomalla (21) ja lumenviipymällä (20) ja pienimmät supassa (4) ja nivaatiopainanteella (5).



Kuva 8. Laatikkojanadiagrammi lajimäärän jakautumisesta geokohteittain.

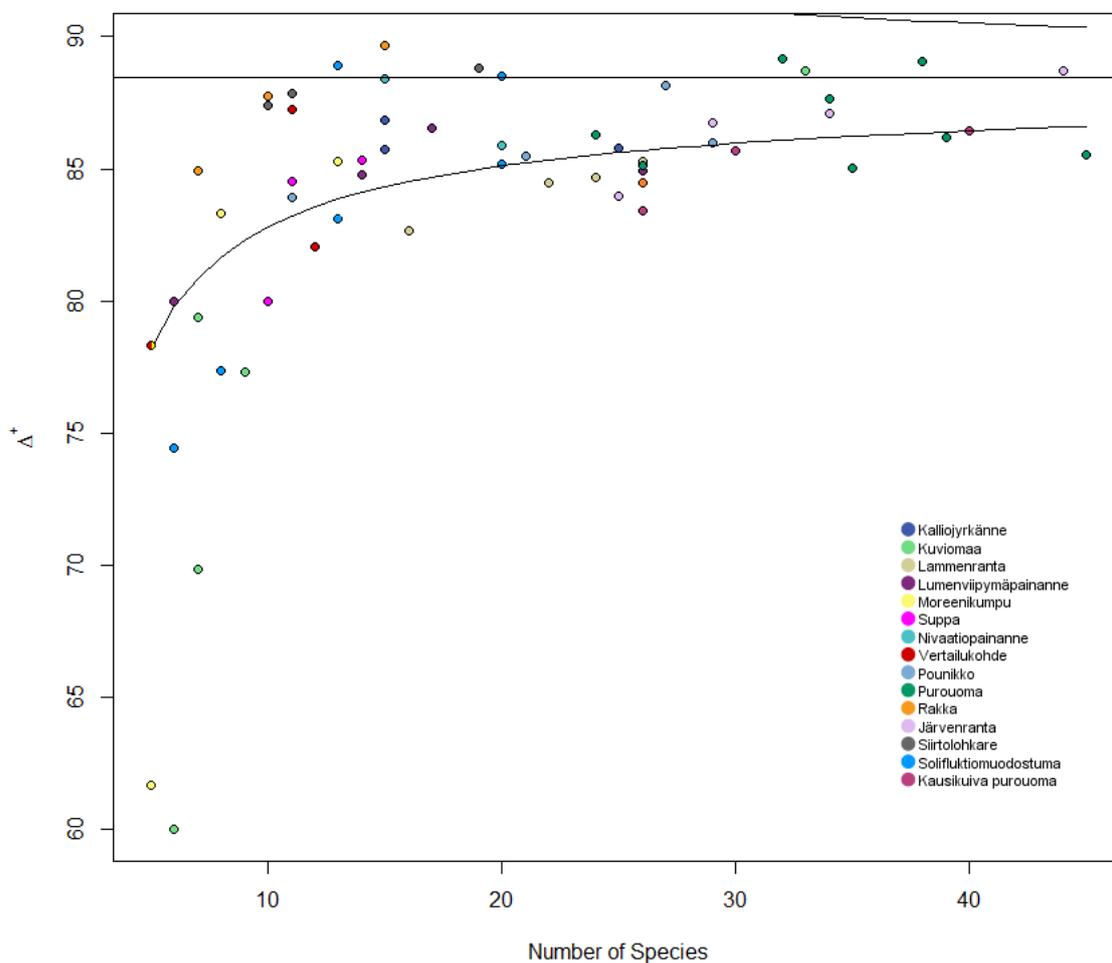
### 7.3 Taksonominen erityisyys tutkimusalueella

Taksonominen erityisyys on koealoilla 60 ja 89,7 välillä (Kuva 9). Kuvan 9 mukaan suurimmat yksittäiset arvot saa rakka (89,7) ja kaksi purouomaa (89,5 ja 89,1) ja pienimmät kuviomaa (60 & 69.9), moreenikumpu (61,7). Geokohdetyypeistä ainoastaan kuviomaa, moreenikumpu, solifluktiomuodostuma ja vertailukohde saavat alle 80 arvoja. Kuviomaan mediaani jää ainoana alle 80 muiden vaihdellessa 80,9 ja 87,9 välillä. Suurimmat mediaanit ovat siirtolohkareella, nivaatiopainanteella ja järvenrannalla, mutta useiden muiden geokohteiden mediaanit ovat yli 85. Kuviomaan lajimäärältään poikkeava havainto (33 lajia koealalla) ei lukeudu taksonomisen erityisyyden suhteen samaan tapaan poikkeavaksi havainnoksi, mutta se nostaa kohteen taksonomisen erityisyyden arvon vaihteluvälin selkeästi geokohteista suurimmaksi (28,7). Vaihteluväli on suuri myös moreenikumulla (23,6) ja solifluktiomuodostumalla (14,5).



Kuva 9. Laatikkojanadiagrammi taksonomisen erityisyyden (Delta+) jakautumisesta geokohteittain.

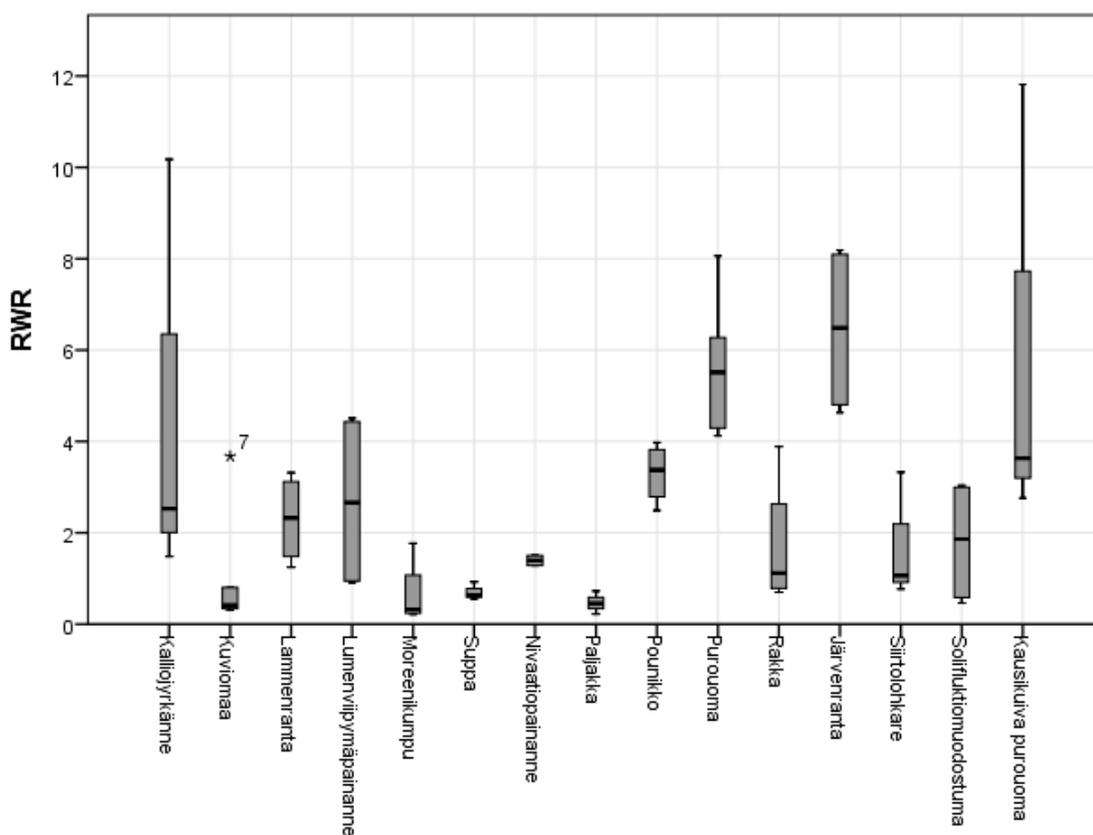
Taksonomisen erityisyyden hajontaa voidaan tarkastella suhteessa lajimäärään. Kuvasta 10 huomataan, että kaikki koealat eivät sijoitu 95 % luottamusvälirajoihin, vaan osa havainnoista ovat rajan alapuolella. Luottamusvälirajat kuvaavat normaalivaihtelua aineistossa ja sen ulkopuolelle menevät havainnot ovat normaalivaihtelun ulkopuolella. Näihin luottamusvälirajan alle jääviin koealoihin lukeutuu neljä lammenrantaa, kuviomaata ja purouomaa, kolme solifluktiomuodostumaa, kaksi kausikuivaa purouomaa sekä yksi vertailukohde ja järvenranta (Kuva 10).



Kuva 10. Taksonomisen erityisyyden ( $\Delta^+$ ) ja lajirunsauden välinen suhde kaikilla tutkimuspisteillä ( $n=60$ ). Käyrät kuvaavat 95 % luottamusväliä.

## 7.4 RWR tutkimusalueella

Lajirikkauden indeksi saa koko tutkimusalueella tarkasteltuna arvoja 0,2 ja 11,8 välillä (Kuva 9). Suurimmat yksittäiset arvot saavat sulavesiuoma (11,8), kalliojyrkänne (10,2) ja järvenranta (8,2). Kolme pienintä arvoa sijoittuvat moreenikummuille (0,2 ja 0,3) ja vertailukohteelle (0,2). Mediaaneista suurimmat ovat rannalla, purouomalla ja sulavesiuomalla. Moreenikumpu, kuviomaa ja vertailukohde saavat pienimmät mediaanit RWR-indekseissä. Kuviomaan, nivaa-tiopainauaman, supan ja vertailukohteen vaihteluvälit ovat alle yksikön verran ja pounnikolla ja moreenikumulla alle kaksi yksikköä. Kuviomaan yksi tutkimuspisteistä näkyy poikkeavana havaintona arvolla 3,7 kun muut geokohteen havainnot jäävät alle yhden. Jyrkänneellä, sulavesiuomalla ja purouomalla vaihteluvälit ovat suurimmat arvojen yläneljänneksen laajalle ja-kautumisen takia.



Kuva 11. Laatikkojanadiagrammi RWR -indeksin jakautumisesta geokohteittain.

## 8. Tulosten tarkastelu ja pohdinta

Koealat jakautuvat eri geokohteille varsin epätasaisesti, mikä voi olla seurausta paitsi kohteiden subjektiivisesta valinnasta, myös niiden epätasaisista runsaussuhteista tutkimusalueella. Koealojen jakautuminen epätasaisesti eri geokohteiden kesken, voi vaikuttaa kullakin geokohteella havaittuun lajimäärään vääristäen diversiteetti-indeksien arvoja (Gaston 1996: 82-84). Aineiston pienuudesta huolimatta tuloksista voidaan nähdä geokohteittaisia trendejä jokaisen indeksin kohdalla. Silti on otettava huomioon, että tutkimusalueella on geokohteista riippumattomia sekä runsaslajisia että karuja kasvuympäristöjä, jotka voivat aiheuttaa lajimäärän ja diversiteetti-indeksien jakaumien vinoutta.

Lajimäärän tuloksia on mahdollista vertailla muiden tutkimusten tuloksiin, mutta harvinaisuudesta kertovan RWR:n indeksin tulokset ovat tutkimuskohtaisia, koska RWR -luvun saama arvo on sidoksissa tutkimusalueen sisäisiin havaintoihin. Myös taksonomisen diversiteetin arvojen vertailussa tulee olla tarkkana, jotta vertailtavissa tutkimuksissa on käytetty samoja lukuja sukupolkujen pituuden laskemiseen.

Tuloksista on havaittavissa yleisten ja kestävien lajien viisikko, jotka aiempienkin havaintojen mukaan hallitsevat alueen maisemaa (Euroola ym. 2003). Nämä lajit olivat puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*), mustikka (*Vaccinium myrtillus*), pohjanvariksenmarja (*Empetrum nigrum* ssp. *hermaphroditum*), vaivaiskoivu (*Betula nana*) ja juolukka (*Vaccinium uliginosum*). Puuvartisten kasvien voikin nähdä luovan pohjan alueen putkilokasvilajistolle, mikä mukailee myös Virtasen ja muiden (2010: 817) tekemää havaintoa, jossa matalan tuottavuuden kasvyhteisöissä valtalajeina on hitaasti kasvavia ja lyhytkasvuisia varpuja, sammaleita ja jäkäliä, jotka sietävät hyvin vähäisiä resursseja (Virtanen ym. 2010: 817). Näiden yleisten kasvien lisäksi alueella on paljon lajistollista vaihtelua, sillä yksittäisiä ja pienilukuisia lajihavaintoja oli runsaasti alueen kokoon nähden. Tämä voi olla seurausta alueen geomorfologisesta toiminnasta, jonka on havaittu toimivan hyvänä estimaattina kasvyhteisöjen tarkastelussa (Virtanen ym. 2010: 816).

Routa-aktiivisuus vaihteli tutkimusalueella odotetusti. Routatoiminnasta syntyneillä tai sille alttiilla muodostumilla (kuviomaa, solifluktiomuodostuma, nivaatiopainanne ja lumenviipymäpainanne) havaittiin jokaisella koealalla routa-aktiivisuutta, kun muilla sitä havaittiin vähemmän. Routa-aktiivisuuden esiintyminen muilla kohteilla on luultavasti vahvasti

riippuvainen koealan korkeudesta ja kasvillisuuspeitosta (Gray 2004: 56). Siirtolohkareella ja vertailukohteella, joilla routatoiminnan merkkejä ei havaittu, oli korkeimmat kasvillisuuspeitot.

## 8.1 Lajimäärä

Lajimäärä diversiteetin kuvaajana antaisi olettaa, että purouoma, kausikuiva purouoma ja järven ranta ovat tutkimusalueen arvokkaimpia geokohteita. Kaikkia näitä geokohteita luonnehtii runsas maaperän kosteus. Vakaat kosteusolot takaavat vettä kasveille koko kasvukaudeksi. Vedensaannin lisäksi indeksien suurien arvojen osasyynä voi olla myös maaperän kosteuden lämpötiloja tasaavalla vaikutuksella (Ashcroft & Gollan 2013: 87–88). Tuloksista on myös huomattavissa, että koverat geokohteet saivat tasaisia tai kuperia geokohteita enemmän suurempia lajimäärien keskiarvoja. Tosin järvenranta ja pounikko olivat suhteellisen tasaisia ympäristöönsä nähden, mutta näillä kohteilla koealojen sisäinen topografia, kuten rannan koealojen korkeuserot ja pounikon mikrotopografinen luonne, voivat olla vaikuttavia muuttujia. Jotkin kasvilajeista vaativat enemmän lumen tuomaa suojaa pakkaselta, tuulelta ja näin kuivumiselta, jolloin geokohteista ne joihin lunta kasautuu, mahdollistavat herkkien lajien esiintymisen. Esimerkiksi variksenmarjakankaat eivät vaadi lumen suojaa yhtä paljon kuin mustikkakankaat ja lumenviipymäkasvillisuus (Eurola ym. 2003: 10) ja ruohovartisia kasvilajeja havaittiin juurikin suojaisissa, lunta keräävissä geokohteissa, kuten puro- ja sulavesiuomissa. Lunta keräävän painanteen lisäksi mustikkakankaat ja lumenviipymäkasvillisuus vaativat kivistä rakkaa hienojakoisemman maalajin (Eurola ym. 2003: 10).

Kilpisjärven alueen runsas kasvilajimäärä selittyy osaltaan myös suurella geomorfologisella diversiteetillä, johon kuuluvat muun muassa jyrkänneet ja runsas korkeuden vaihtelu (Kauhanen 2013). Suuri topografinen vaihtelu voi olla joissain tapauksissa tärkein kasvillisuuden selittäjä vuoristoympäristössä (Carlsson ym. 1999). Korkeuden vaihtelua tutkimusalueella on paljon tutkimuspisteiden eron vaihdella matalimman, Kilpisjärven rannalla (477 mmpy) sijaitsevan, ja korkeimman pisteen (927 mmpy) välillä. Suuripiirteisen topografian lisäksi myös geokohteet vaihtelivat tasaisista jyrkkäpiirteisiiin. Topografian vaikutus tutkimusalueen hydrologiaan on suuri, sillä se määrittää veden kulkeutumisen ja näin ollen

vaikuttaa pitkälti kasvillisuuteen (Kauhanen 2013: 49–50). Suuren topografisen vaihtelun voi-kin nähdä luovan edellytykset myös pienipiirteisiin hydrologisiin oloihin, jolloin tutkimusalueen edellytykset monilajisten kasviyhdyksuntien alustana täyttyvät.

Geokohteiden sisällä oli havaittavissa myös eroja lajimäärässä, sillä esimerkiksi yksi rakan koealoista sai yllättävän suuren lajimäärän. Kivisyyden on havaittu pienentävän kasvupaikan diversiteettiä (Eurola ym. 2003: 10), mutta tällä kyseisellä ruudulla putkilokasvilajeja havaittiin jopa 25 kappaletta. Syy tähän voi olla rakan sijainti Saanan kalkkivaikutteisella rinteellä (Austerheim ym. 2010; Kauhanen 2013: 50). Myös kausikuivan purouoman koealojen tulosten vaihtelu on suurta, mikä voisi viitata siihen, että toisissa uomissa virtaa vettä pidempään kuin toisissa, tai virtausta tapahtuu maaperässä. Kausikuivat purouomat voivat kerätä myös paksun lumipeitteen kuperan muotonsa ansiosta, minkä takia kosteusolot voivat pysyä pitkälle kasvukautta suotuisina (Niskanen ym. 2017: 295).

Topografisen vaihtelun luomat suojaiset kasvuympäristöt, kuten supat ja uomat, keräävät talvella putkilokasveja suojaavan lumipeitteen ja ehkäisevät tuulen aiheuttamaa pakkasvaikutusta (Tricart 1970: 143; Kuusisto 2005: 160), minkä takia ympäristö on useille putkilokasvilajeille otollinen (Thomas ym. 2008: 60). Rinneympäristöt altistuvat herkästi erilaisille maanpintaa ja maaperän koostumusta muokkaaville prosesseille (Gregory 2010: 77–79), mikä voi olla syynä sille, miksi solifluktiomuodostumat, nivaatiopainanteet ja lumenviipymäpainanteet eivät kannatteleet niin suurta putkilokasvilajistoa. Toisaalta syy voi olla myös kasvukauden lyhydessä lumen (Kuusisto 2005: 159; Norokorpi ym. 2008: 512) tai roudan viipymisen takia (Eurola ym. 2003: 22). Ilmaston lämmitessä on huomattu, että kasvilajirunsaus on lisääntynyt aiemmin lajikäyhissä yhteisöissä, kun taas lajirikkaissa yhteisöissä se on pysynyt ennallaan. Tämä johtunee lajirikkaiden alueiden kasvillisuuden kyvystä kilpailla tulo-kaslajien kanssa valosta ja tilasta (Virtanen ym. 2010: 818). Tulevaisuudessa myös jälkimmäisillä kohteilla voi olla luvassa lajimäärän lisääntymistä.

Kuviomaa ja vertailukohde eli paljakkakangas ovat yleensä melko kuivia kasvuoloiltaan, mikä rajoittaa kosteutta tarvitsevien kasvien sijoittumista näille kohteille. Kuviomaa on myös altis häiriöille, sen lumipeite on paikoin ohut tuulen eroosion takia. Toisaalta kuviomaallakin voi tulla yllättävän runsaita esiintymiä, sillä poikkeavalla koealalla oli jopa 33 putkilokasvilajia. Tämä voi johtua kuviomaan reunojen suojaisista ja kuviomaan keskustaa matalammista kohdista, joihin kerääntyy talvisin lunta luoden suojaa pakkaselta (Thomas ym.

2008: 60). Matalatuottoisilla alueilla, kuten kuviomaalla ja vertailukohteella myös laidunnuksen vaikutukset voivat näkyä kasviyhteisöissä suosien kasvillisuutta, joka ei ole laiduntajien mieleen. Intensiivinen laidunnus yhdistettynä ravinteiden rajallisuuteen hillitsee ilmaston lämpenemisen resursseja lisääviä vaikutuksia, kuten boreaalisten kasvilajien lisääntymistä alueella (Virtanen ym. 2010: 817).

## 8.2 Taksonominen erityisyys

Taksonomisen erityisyyden diversiteetti-indeksi  $\Delta+$  sai kokonaisuudessaan geokohteittain melko yhteneviä keskiarvoja ja suurimmat arvot eivät erotu selkeästi muista. Silti voi pitää yllättävänä, että suurin taksonominen erityisyys on siirtolohkareella ja nivaatiopainanteella eikä lajimäärän mukaan arvokkaimpien kolmikosta ole kuin järvenranta. Jotkin, erityisesti pienet, arktis-alpiiniset kasvilajit vaativat jonkinasteista geomorfologista häiriötä esiintyäkseen (le Roux ym. 2013: 805). Tämä voisi osaltaan selittää nivaatiopainauksen taksonomisen erityisyyden korkeutta, sillä nivaatioprosessit aiheuttavat maaperän liikehdintää ja näin toimivat stressitekijöinä kasvilajeille. Siirtolohkare taas voi tarjota tuulensuojaa ympärillään oleville aloille. Purouoma ja sulavesiuoma saavat kyllä varsin korkeita  $\Delta+$  arvoja, mutta silti rakkavikko, jyrkänne ja pounikko saavat samankaltaiset tulokset. Kuten lajimääränkin kohdalla, rakan yllättävän suuren lajimäärän saanut koela on todennäköisesti vaikuttanut suureen taksonomisen erityisyyden arvoon.

Geokohteista kuviomaa, moreenikumpu ja vertailukohde kannattelivat kasviyhteisöjä, joiden lajit olivat keskenään läheisintä sukua verrattuna muihin kohteisiin. Tuulen vaikutus näillä kohteilla voi olla yksi yhdistävä tekijä. Todennäköisesti tuuli pyyhkii näiltä geokohteilta suojaavan lumipeitteen pois altistaen maanpinnan ja näin myös kasvipeitteen pakkaselle ja kevätahavalle (Tricart 1970: 143; Eurola ym. 2003: 22). Jäljelle jää muutamia hyvin pakkasta ja kuivuutta kestäviä kasvilajeja, kuten varpukasvit, jotka ovat suhteellisen läheistä sukua keskenään.

Kuviomaan ja moreenikummun taksonomisen erityisyyden suuri vaihteluväli voi selittyä korkeuden vaihteluilla. Kuviomaalla on yleensä varsin vähän kasvillisuutta, mutta kryoturbaation myötä muodostuneet pienet kohoumat jättävät väliinsä notkoja ja kuoppia,

joissa voi kasvaa yllättävänkin monenlaisia kasveja (Thomas ym. 2008: 60). Kuviomaalla esiintyvät kasvilajit myös yleensä sietävät osin routanousun aiheuttamaa häiriötä maaperässä (le Roux & Luoto 2014: 51). Moreenikummun tapauksessa suurin vaikutus on todennäköisesti metsänrajalla ja sen vaikutuksella yksittäisten geokohteiden kosteusoloihin, sillä lumen-syvyys ja kesän kosteus ovat suurempia tunturikoivikossa kuin paljakalla (Kuusisto 2005: 162; Norokorpi ym. 2008: 487). Avoimessa ja puuttomassa ympäristö kummun laki on alttiina deflaatiolle, mikä on kasvillisuutta rajoittava prosessi (le Roux & Luoto 2014: 51). Solifluktiomuodostumallakin oli melko suuri geokohteen sisäinen vaihteluväli, jonka voi arvella johtuvat solifluktin sijainnista suhteessa kalkkipitoisiin rinteisiin sekä kosteusoloista (Austerheim ym. 2010; Kauhanen 2013: 50).

Luottamusvälirajan alle jääviin koealoihin lukeutuu neljä lammenrantaa, kuviomaata ja purouomaa, kolme solifluktiomuodostumaa, kaksi kausikuivaa purouomaa sekä yksi vertailukohde ja järvenranta (Kuva 10). Näillä luottamusvälirajan alle jäävillä koealoilla on mahdollisesti jotain häiriötekijöitä, joiden takia taksonominen erityisyys jää matalammaksi kuin olettaisi. Kuviomaalla kasvien levinneisyyttä rajoittaa kryoturbaation aiheuttama maaperän liikehdintä, jonka vuoksi kuviomaalla tavataan pääasiassa häiriötä kestäviä kasvilajeja (le Roux & Luoto 2014: 51). Lammenrantojen ja purouomien koealojen sijoittuminen luottamusvälirajan alle on ongelmallisempaa. Fluviaaliset prosessit on havaittu ainakin lajimääriä lisääviksi tekijöiksi niiden tarjoaman kosteuden ja ravinteiden takia, mutta toisaalta ne voivat toimia myös häiriötekijöinä jäätyksen takia (le Roux & Luoto 2014: 47). Solifluktio aiheuttaa myöskin maaperän liikehdintää, minkä vuoksi sillä kasvavat kasvit joutuvat sietämään sen aiheuttamaa stressiä, mutta toisaalta se tarjoaa myös ravinteita kasvien käyttöön (le Roux & Luoto 2014: 47). Voikin olla, että sopeumat kuviomaan, lammenrannan, purouoman ja solifluktin kasvilajeille ovat kehittyneet läheistä sukua toisilleen oleville kasveille, minkä seurauksena taksonominen erityisyys ei nouse kyseisillä koealoilla niin suureksi.

### 8.3 RWR

Korkean RWR-luvun saaneilla geokohteilla esiintyy tutkimusalueella vähemmän havaittuja lajeja, kun taas matalan RWR-luvun saaneilla geokohteilla ja koealoilla esiintyy lajeja, jotka yleensä löytyvät muiltakin ruuduilta. RWR-lukujen keskiarvojen perusteella arvokkaimmat

tutkimusalueen geokohteet ovat järvenranta, kausikuivat purouomat ja purouomat, jyrkänne sekä pounikko. Kolmella ensimmäisellä ja pounikolla kosteus on selkeästi avainasemassa, sillä näillä muodostumilla vettä on yleensä runsaasti kasvien käytettävissä pitkin kasvukautta (Luoto & Seppälä 2002: 134, French 2007: 249). Pounikko on kasvuympäristönä kostea, mutta myös erilainen, kun verrataan muihin geokohteisiin. Se on usein varsin soinen ja sillä tavataan paljon kosteiden soiden lajistoa, kuten saroja ja suovilloja (Van Vliet-Lanoë & Seppälä 2002: 188). Tämä tekee geokohteesta erityisen muihin tutkimusalueen geokohteisiin verrattuna, vaikka varsinaisia kasvilajiharvinaisuuksia geokohteelta ei löytynytkään.

Jyrkänteellä yhden tutkimuspisteen saama suuri RWR-luku (10,17) nostaa geokohteen keskiarvon erottuvaksi, mutta kohteen sisällä vaihtelu on suurta, mikä näkyy myös alhaisena mediaanina. Erottuva jyrkänneruutu sijaitsee korkealla 802 mmpy ja rinteiden suunta oli suoraan pohjoiseen, kun taas toiset jyrkänteet sijaitsivat 50–100 metriä alempana suunnaten länteen. Syynä tähän on luultavasti Saanan dolomiittikalkin vaikutus kasvualustaan. Kauhasen (2013: 48) mukaan Saanan jyrkkiä rinteitä pitkin valuvat sade- ja sulamisvedet kulkeutuvat kauas varsinaisista kalliopaljastumista, jolloin kalkin vaikutus on nähtävissä purojen valuma-alueilla kalkinsuosijalajiston esiintymisinä.

## 8.4 Käytettyjen indeksien ja geokohteiden vertailu

Lajimäärän ja diversiteetti-indeksien väliset korrelaatiot selittävät todennäköisesti osaltaan toistensa vaihtelua. Delta+ tulokset eroavat selkeästi lajimäärän ja RWR:n tuloksista. RWR – luvun on havaittu korreloivan voimakkaasti lajimäärän kanssa (Niskanen ym. 2017), jolloin sen saamia tuloksia voitaisiin jatkojalostaa jakamalla jokaisen koealan RWR – luku alan lajimäärällä, jolloin saataisiin relatiivinen RWR-luku (Williams ym. 1996).

Levin ja muut (2007: 8) arvelevat, että lajirunsaus on mahdollisesti enemmän yhteydessä tutkittavan alan tuottavuuteen kuin alueen habitaattien heterogeenisyyteen (Levin ym. 2007: 8). Silti on myös todettu, että geomorfologiset prosessit ja täten alueen heterogeenisyys on monelle lajille esiintymisen ehto (le Roux ym. 2013: 806). Geomorfologisten pro-

sessien aiheuttamien häiriöiden voidaankin nähdä vaikuttavan useilla tavoilla alueen kasvillisuuteen (Virtanen ym. 2010: 817). Esimerkiksi kasvillisuus lisääntyy sen vallatessa häiriön paljastamia aloja.

Geokohteiden vertailussa oli yllättävä ero, kuten esimerkiksi järven ja lammen rantojen kesken. Järven rannalla on lammen rantaa suurempi lajimäärä, suurempi taksonominen erityisyys ja suurempi RWR-indeksi. Ero on lajimäärän keskiarvoilla 10,8. Taksonomisella erityisyydellä mitattu ero on 2,7 ja RWR-lukujen keskiarvon ero 4,2. Erona on tietenkin vesistön koko, mutta myös Kilpisjärven sijainti metsänrajan alapuolella, mikä osaltaan lisää boreaalisten kasvilajien määrää järven rantojen koealoilla (Virtanen 2010). Voi myös olla, että Saanajärven rantapenger luo kasvillisuudelle suojaisen, kostean ja ravinteisen habitaatin (French 2007: 276).

## 8.5 Tulosten luotettavuus

Tutkimuksella saavutettuihin tuloksiin voivat vaikuttaa aineiston keräämisessä ja analysoinnissa tapahtuneet virheet. Koealoilta tunnistettiin lajit vain neljän neliömetrin alueelta, joten ruudun todellinen lajimäärä on voinut olla suurempikin. Onkin muistettava, että aineisto koostuu otoksista koealoilta ja saattaa johtaa lajirunsaissa yhteisöissä lajirunsauden aliarviointiin. Lajimäärittämisessä on voinut myös sattua virheitä, jolloin havaittu laji on merkattu väärin aineistoon. Tutkielman kannalta tämä tarkoittaa sitä, että lajimäärät tai indeksien todelliset arvot voivat heittää hieman, mutta esimerkiksi taksonomisen erityisyyden arvo ei heilahda ollenkaan, jos lajimäärittämisessä kasvi on saanut saman suvun toisen lajin määrityksen, jos saman suvun edustajaa ei muuten ruudulla ole havaittu. Koealojen subjektiivinen valinta on voinut vaikuttaa geokohteiden saamiin tuloksiin. Koealat pyrittiin valitsemaan mahdollisimman edustavilta geokohteilta, mutta usein valitulla alalla saattoi olla havaittavissa myös muiden geokohteiden piirteitä.

Taustamuuttujia olisi ollut tarpeen kerätä myös kaukokartoitusdatasta, sillä esimerkiksi veden jakautuminen osoittautui tärkeäksi muuttujaksi kasvillisuuden levinneisyyden kannalta. Esimerkiksi topografinen kosteuden indeksi (Topographic wetness index) todettiin Niskasen ym. (2017) tutkimuksessa tärkeäksi muuttujaksi, mikä selitti sekä lajimäärän että

relatiivisen harvinaisuusindeksin malleja huomattavasti. Tämä olisi saattanut helpottaa tulosten analysointia. Lajirunsauden ja NDVI:n eli normalisoidun kasvillisuusindeksin välillä on havaittu voimakasta positiivista korrelaatiota ja sama on havaittavissa pienemmissä määrin myös lajien harvinaisuuden suhteen (Levin ym. 2007: 8).

Kokonaisuudessaan aineisto on pieni, joten sitä voidaan pitää lähinnä suuntaa antavana ja suurien linjojen vetäminen on tutkimuksen perusteella mahdotonta. Kuitenkin tutkielman perusteella on huomattava, että suuri geologinen diversiteetti ja erilaiset geokohteet ovat putkilokasvilajien diversiteettiä lisääviä tekijöitä, sillä suurin osa geokohteista sai lajimäärältään tai diversiteetti-indeksiltään parempia tuloksia kuin vertailukohde. Käytetyt indeksit osoittautuivat hyviksi diversiteetin mittareiksi, kun havainnoinnin kohteena oli geokohteiden erojen löytäminen.

## 8.6 Mahdollinen jatkotutkimus

Tutkielman aineistoa olisi mahdollista käyttää jatkotutkimuksessa lajien keskittymien tarkasteluun ja mallintamiseen geokohdetyypeittäin. Tilastollinen mallinnus ja kaukokartoituksen tuomat mahdollisuudet selittävien muuttujien keräämisessä olisivat hyviä tapoja tehdä kustannustehokasta tutkimusta lajien levinneisyydestä. Esimerkiksi Predicted Rarity-weighted Richness (Albuquerque & Beier 2016) voisi olla tapa hyödyntää jo tässä tutkimuksessa käytettyä aineistoa laajemminkin Yläperän alueen diversiteetin kartoittamiseen, koska sen käyttämiseen varsinaista kasvidataa tarvitsee olla vain 10–20 prosenttia tutkimusalasta. Myös Niskanen ym. (2017) ovat vastikään soveltaneet kaukokartoituksen menetelmiä putkilokasvien lajikeskittymien tunnistamiseen indeksien ja selittävien muuttujien avulla. Tutkimuksessa havainnoitiin myös lajikeskittymien päällekkäisyyttä. Päällekkäisyyttä voitaisiin tutkia mallintamalla sekä kasvillisuusindeksejä että geokohdetyyppejä ja näin yhdistää geodiversiteetin ja biodiversiteetin tutkimuksen teemoja. Mahdollista olisi myös ottaa uhanalaisuustutkimus mukaan tutkimukseen antamalla uhanalaisuusluokitusten mukaisia painotuksia geokohteiden kasvillisuudelle, jolloin nähtäisiin mahdollisesti alueen sisäisen harvinaisuuden lisäksi Suomen harvinaisuuden tasolle.

## 9. Johtopäätökset

Kokonaisuudessaan tutkimusalueen geokohteiden lajirunsaus oli vaihtelevaa. Tutkimusalueen karujen ja vähälajisten kuviomaiden ja moreenikumpujen lisäksi alueella oli reheviä runsaslajisia puro- ja sulavesiuomia sekä rantoja. Vertailukohteen, eli normaalin paljakkakankaan, lajimäärä jäi kaikkien paitsi kuviomaan ja moreenikummun alle, mikä antaisi ymmärtää, että ainakin lajimäärän mittarilla geodiversiteetti lisää putkilokasvien diversiteettiä. Muutkin tutkimukset ovat saaneet samankaltaisia tuloksia (esim. Virtanen ym. 2010: 817; le Roux & Virtanen 2014). Myös geokohteiden sisällä oli vaihtelua lajimäärissä, kuten kuviomaan ja rakan tulokset osoittavat. Tämä on ymmärrettävää, sillä luonnossa vaihtelu on suurta myös geokohteiden sisällä.

Kosteusoloiltaan tasaiset kohteet, kuten puro- ja sulavesiuomat, loistavat putkilokasvien lajimäärissä ja saavat korkeita arvoja myös tutkielmassa käytetyillä indekseillä. Kosteuden lisäksi suuri vaikutus on myös kalkkivaikutuksella, jotka ovat yksiä tärkeimmistä putkilokasvien lajirunsauteen vaikuttavista tekijöistä tällä alueella (Kauhanen 2013: 48), mitä tutkimustulokseni antavat myös olettaa. Tuulelle alttiit, kuperat ja tasaiset kohteet, kuten kuviomaa ja moreenikumpu pitivät tutkielmassa perää niin lajimäärän kuin indeksienkin suhteen. Tuulen lunta kuljettava vaikutus ja sen myötä pakkasen ja talven karuus on havaittavissa kohteiden putkilokasvilajistosta.

Pinnanmuotojen havaittiin lisäävän putkilokasvien lajimäärää. Taksonominen erityisyys ja RWR saivat myös suurempia lukuja melkein kaikilla geokohteilla vertailukohteesseen peilattuna. Geologisesti vaihtelevalla alueella voi siis nähdä olevan paljon merkitystä ja ekologista arvoa alueen kasvilajistolle, mutta siten myös niistä hyötyville muille lajeille. Kilpisjärven alue on arvokas myös ihmisille, monien tullessa nauttimaan, ihailemaan ja tutkimaan sen pinnanmuotoja ja lajistoa. Alueelle geodiversiteetti ja sen tuoma vaihtelu lajistoon ja ekosysteemeihin on arvokasta ja sen myötä myös Kilpisjärven alueen geodiversiteetin suojelu ja kestävä käyttö tulisi pohjautua holistiseen, ekosysteemilähtöiseen lähestymistapaan (Gordon & Barron 2012: 291). Tunturiluonto ei kuitenkaan ole turvassa globaalien maailman luomilta haasteilta, vaikka paikallisesti alueen arvo onkin tiedossa.

Tundran kasvillisuuden ja geologian tulevaisuudesta suhteessa ilmastonmuutokseen on tehty useita eri arvioita (esim. Schöb ym. 2009, Virtanen ym. 2010, Sandvik & Odland 2014). Joka tapauksessa periglasiaalisten prosessien luomat pinnanmuodot voivat muuttua peruuttamattomasti ja niillä elävät lajit joutuvat sopeutumaan muuttuviin oloihin. Vaikutus ei ole vain yksisuuntainen, sillä kasvillisuus on avainasemassa muuttuvissa oloissa ja muutokset kasvillisuuden levinneisyyksissä voivat vaikuttaa muuhun alueen kasvillisuuteen ja geomorfologiaan (Myers-Smith ym. 2011: 10–11). Tutkitut geokohteet, niitä muovaavat ja ylläpitävät prosessit ja niillä kasvavat putkilokasvilajit ovat itsessään tärkeä osa maamme luonnon monimuotoisuutta ja ansaitsevat tulla huomioiduiksi.

## Kirjallisuus

- Ahti, T., L. Hämet-Ahti & J. Jalas 1964. Luoteis-Euroopan kasvillisuusvyöhykkeistä ja kasvillisuusalueista. *Luonnon Tutkija* 68, 1–25.
- Albuquerque, F. & P. Beier (2015). Rarity-Weighted richness: a simple and reliable alternative to integer programming and heuristic algorithms for minimum set and maximum coverage problems in conservation planning. *PLoS ONE* 10(3):e0119905. DOI: 10.1371/journal.pone.0119905.
- Albuquerque, F. & P. Beier (2016). Predicted rarity-weighted richness, a new tool to prioritize sites for species representation. *Ecology and Evolution* 6: 22, 8107–8114.
- Ashcroft, M. B. & J.R. Gollan (2013). Moisture, thermal inertia, and the spatial distributions of near-surface soil and air temperatures: understanding factors that promote micro-refugia. *Agricultural and Forest Meteorology* 176, 77–89.
- Austrheim, G., K. Bråthen, R. Ims, A. Myrnes & F. Ødegaard (2010). Alpine environment. Teoksessa Kålås, J. A. (toim.): *Environmental conditions and impacts for Red List species*, 107 – 118, Norwegian Biodiversity Information Centre, < [https://artsdatabanken.no/Files/13963/Environmental\\_Conditions\\_and\\_Impacts\\_for\\_Red\\_Listed\\_Species](https://artsdatabanken.no/Files/13963/Environmental_Conditions_and_Impacts_for_Red_Listed_Species)>. 29.10.2017.
- Bailey, J. J., D. S. Boyd, J. Hjort, C. P. Lavers & R. Field (2017). Modelling native and alien vascular plant species richness: At which scales is geodiversity most relevant? *Global Ecology and Biogeography* 26, 763–776.
- Barthlott, W., J. Mutke, D. Rafiqpoor, G. Kier & H. Kreft (2005). Global Centers of Vascular Plant Diversity. *Nova Acta Leopoldina* 92: 342, 61–83.
- Billings, W. D. & L. C. Bliss (1959). An Alpine Snowbank Environment and Its Effects on Vegetation, Plant Development, and Productivity. *Ecology* 40, 388–397.
- Björk, R. G. & U. Molau (2007). Ecology of Alpine Snowbeds and the Impact of Global Change. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 39: 1, 34–44.
- Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity: a Review. *Geoheritage* 8, 119–134.

- Brönmark, C. & L.-A. Hansson (2005). *The Biology of Lakes and Ponds*. 2. p. 285 s. Oxford University Press, Oxford.
- Burnett, M. R., P. V. August, J. H. Brown Jr. & K. Killingbeck (1998). The Influence of Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity. I. A Patch-Scale Perspective. *Conservation Biology* 12: 2, 363–370.
- Carlsson, B. A., S. P. Karlsson & B. M. Svensson (1999). Alpine and subalpine vegetation. *Teoksessa* Rydin H. (toim.): *Swedish plant geography*, 75–90, Svenska växtgeografiska sällskapet, Uppsala.
- Clarke, K. R. & R. M. Warwick (1998). Taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology* 35, 523–531.
- Comer, P., R. Pressey, M. Hunter, C. Schloss, S. Buttrick, N. Heller, J. Tirpak, D. Faith, M. Cross & M. Shaffer (2015). Incorporating geodiversity into conservation decisions. *Conservation Biology* 29:3, 692–701.
- Convention on Biological Diversity* (1992). United Nations. PDF-tiedosto. <<http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>>. 07.11.2016.
- Dearing, J. A., A. K. Braimoh, A. Reenberg, B. L. Turner, and S. van der Leeuw (2010). Complex land systems: the need for long time perspectives to assess their future. *Ecology and Society* 15(4): 21.
- Derbyshire, E., K. J. Gregory & J. R. Hails (1979). *Geomorphological processes*. 312 s. Dawson & Sons Ltd, Kent, England.
- Eurola, S., S. Huttunen & P. Welling (2003). Enontekiön suurtuntureiden (68°45′-69°17′N; 20°45′-22°E) paljakkakasvillisuus. *Kilpisjärvi Notes* 17, 1-28.
- Federley, B. & S. Vuokko (1980). Kilpisjärven seudun kasvillisuus ja kasvisto. Luonnon tutkija 84, 15–18.
- French, H. M. (2007). *The Periglacial Environment*. 3 p. 458 s. John Wiley & Sons, Chichester.
- Gaston, K. J. (1996). Species richness: measure and measurement. *Teoksessa* Gaston, K. J. (toim.): *Biodiversity. A Biology of Numbers and Difference*, 77 – 113. Blackwell Science Ltd, Oxford.

- Gaston, K. J. & J. I. Spicer (2004). *Biodiversity: An Introduction*. 2 p. 191 s. Blackwell Publishing, Cornwall, Englanti.
- Gordon, J. E. & H. F. Barron (2012). Valuing Geodiversity and Geoconservation: Developing a More Strategic Ecosystem Approach. *Scottish Geographical Journal* 128, 278–297.
- Glushkova, I. A. (2000). *Snežbniki i ih geomorfologičeskaja rolj na Zapadnom Kavkaze: Severnyi sklon*. (Lumenviipymät ja niiden geomorfologinen rooli Länsi-Kaukasuksella: pohjoisen rinne). 206 s. Väitöskirja, Kubanin yliopisto, Krasnodar.
- Gray, M. (1998). Landforms, authenticity and conservation value – a reply. *Area* 30, 273–274.
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. 371 s. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, Englanti.
- Gray, M. (2005). Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How? PDF-tiedosto. Geodiversity & Geoconservation, *The George Wright Forum*. <<http://citeserx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.507.5137&rep=rep1&type=pdf>>. 20.11.2016.
- Gray, M. (2008). Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association* 119: 3, 287–298.
- Gray, M. (2011). Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation* 38, 271–274.
- Gray, M., J. Gordon & E. Brown (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 659–673.
- Gregory, K. J. (2010). *The Earth's Land Surface - Landforms and Processes in Geomorphology*. 302 s. SAGE Publications Ltd, Lontoo, Englanti.
- Guisan, A., J.P. Theurillat & F. Kienast (1998). Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science* 9, 65–74.
- Haapasaari, M., R. Fagerstén, H. Heikkilä & K. Jämsen (1982). *Tuntureiden kasvillisuutta*. 74 s. Näyttelyjulkaisu. Kuopion museo.

- Haber, E. (1986). Adaptations of Arctic Plants & Flora of the circumpolar Arctic. *Teoksessa* Sage, B.: *The Arctic and its wildlife*, 57–71. Croom Helm Ltd, London.
- Harris, C., M., K. Luetschg, F. Smith & K. Isaksen (2008). Solifluction Processes in an Area of Seasonal Ground Freezing, Dovrefjell, Norway. *Permafrost and Periglacial Processes* 19, 31–47.
- Hjort, J. (2006). Environmental factors affecting the occurrence of periglacial landforms in Finnish Lapland: a numerical approach. 149 s. Academic dissertation, University of Helsinki.
- Hjort, J. & M. Luoto (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology* 115, 109–116.
- Hjort, J., J. Gordon, M. Gray & M. Hunter Jr. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conservation Biology* 29:3, 630–639.
- Hjort, J., R. K. Heikkinen & M. Luoto (2012). Inclusion of explicit measures of geodiversity improve biodiversity models in a boreal landscape. *Biodiversity Conservation* 21, 3487–3506.
- Jeffries, M. (2006). *Biodiversity and conservation*. 2. p. 236 s. Routledge, London & New York.
- Kauhanen, H. (2013). Mountains of Kilpisjärvi Host an Abundance of Threatened Plants in Finnish Lapland. *Botanica Pacifica* 2, 43–52.
- Kaźmierczak, E., E. van der Maarel & V. Noest (1995). Plant communities in kettle-holes in central Poland: chance occurrence of species? *Journal of Vegetation Science* 6, 863–874.
- Kent, M. & P. Coker (1992). *Vegetation Description and Analysis – A Practical Approach*. 363 s. CRC Press & Belhaven Press, London.
- Kier, G., J. Mutke, E. Dinerstein, T. H. Ricketts, W. Küper, H. Kreft & W. Barthlott (2005). Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *Journal of Biogeography* 32, 1107–1116.
- Kilpisjärven alueen ilmaston tunnuslukuja. (2012). Helsingin yliopisto. <<http://www.helsinki.fi/kilpis/Ilmasto/tunnuslukuja.htm>>. 16.4.2017.

- Kiuttu, M. (2014). Geokohteiden ekologinen arvottaminen putkilokasvien lajirunsauden perusteella Rokua Geopark alueella. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, Maantieteen laitos, 77 s. <<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201405231480.pdf>>. 20.11.2016.
- Korhola, A., J. Weckström & T. Blom (2002). Relationships between lake and landcover features along latitudinal vegetation ecotones in arctic Fennoscandia. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement* 139: 2, 203 – 235.
- Kuusisto, E. (2005). Snow as a Geographic Element. *Teoksessa* Seppälä, M. (toim.): *The Physical Geography of Fennoscandia*, 159–173. Oxford University Press, New York.
- Lampinen, R. & T. Lahti (2016). *Kasviatlas 2015*. Helsingin Yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Helsinki. Levinneisyyskartat osoitteessa <<http://www.luomus.fi/kasviatlas>>. 20.3.2017.
- Landres, P. B., J. Verner & J. W. Thomas (1988). Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology* 2, 316–328.
- Larwood, J., T. Badman & P. McKeever (2013). The progress and future of geoconservation at global level. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 720–730.
- Levin, N. A. Shmida, O. Levanoni, H. Tamari & S. Kark (2007). Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices. *Diversity and Distributions* 13, 692–703.
- Luoto, M. & M. Seppälä (2002). Characteristics of earth hummocks (pounus) with and without permafrost in Finnish Lapland. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 84, 127–136.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. 256 s. Blackwell Publishing, Oxford.
- Matisto, A. (1969). Kivilajikartan selitys. *Suomen geologinen yleiskartta*, lehti B 8, Enontekiö. Geologinen tutkimuslaitos, Helsinki.
- Matsuoka, M., & J. Murton (2008). Frost weathering: recent advances and future directions. *Permafrost and Periglacial Processes* 19, 195–210.
- Mod, H., P. le Roux & M. Luoto (2014). Outcomes of biotic interactions are dependent on multiple environmental variables. *Journal of Vegetation Science* 25, 1024–1032.

- Moser, D., S. Dullinger, T. Englisch, H. Niklfeld, C. Plutzer, N. Sauberer, H. Zechmeister & G. Grabherr (2005). Environmental determinants of vascular plant species richness in the Austrian Alps. *Journal of Biogeography* 32, 1117–1127.
- Mossberg, B., & L. Stenberg (2005). *Suuri Pohjolan Kasvio*. 4. p. 928 s. Tammi.
- Myers-Smith, I., B. Forbes, M. Wilms, M. Hallinger, T. Lantz, D. Blok, K. Tape, M. Macias-Fauria, U. Sass-Klaassen, E. Levesque, S. Boudreau, P. Ropars, L. Hermanutz, A. Trant, L. Collier, S. Weijers, J. Rozema, S. Rayback, N. Schmidt, G. Schaepman-Strub, S. Wipf, C. Rixen, C. Menard, S. Venn, S. Goetz, L. Andreu-Hayles, S. Elmen-dorf, V. Ravolainen, J. Welker, P. Grogan, H. Epstein & D. Hik (2011). Shrub expansion in tundra ecosystems: dynamics, impacts and research priorities. *Environmental research letters* 6-4, 1–15.
- Nilsson, S. G. & L. Ericson (1997). Conservation of plant and animal populations in theory and practice. *Ecological Bulletins* 46, 87–101.
- Niskanen, A., R. Heikkinen, H. Väre & M. Luoto (2017). Drivers of high-latitude plant diversity hotspots and their congruence. *Biological Conservation* 212, 288–299.
- Norokorpi, Y., H. Eeronheimo, S. Eurola, R. Heikkinen, P. Johansson, J. Kumpula, K. Mäkelä, S. Neuvonen, J. Sihvo, S. Tynys & R. Virtanen (2008). Tunturit. *teoksessa* Raunio, A., A. Schulman & T. Kontula (toim.): *Suomen luontotyyppien ubanalaisuus – Osa 2: Luontotyyppien kuvaukset*, 467–541. Suomen ympäristö 8/2008, Suomen ympäristökeskus.
- Oksanen, L. & R. Virtanen (1995). Topographic, altitudinal and regional patterns in continental and suboceanic heath vegetation of northern Fennoscandia. *Acta Botanica Fennica* 153: 1 – 80.
- Oksanen, J. (2017). Vegan: ecological diversity. 12 s. <<http://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vignettes/diversity-vegan.pdf>>. 16.10.2017.
- Pausas, J. G., J. Carreras, A. Ferré & X. Font (2003). Coarse-scale plant species richness in relation to environmental heterogeneity. *Journal of Vegetation Science* 14, 661–668.
- Pemberton, M. (2007). *A Brief Consideration of Geodiversity and Geoconservation*. 7 s. Department of Primary Industries and Water, Tasmania. <[http://www.proceedings.com.au/quarrying2007/papers/paper\\_pemberton.pdf](http://www.proceedings.com.au/quarrying2007/papers/paper_pemberton.pdf)>. 17.4.2017.

- Pereira, P., D. Pereira & M.I. Caetano Alves (2007). Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica* 62, 159–168.
- Pharo, E. J., A. J. Beattie & R. L. Pressey (2000). Effectiveness of using vascular plants to select reserves for bryophytes and lichens. *Biological Conservation* 96, 371–378.
- Pirinen, P., H. Simola, J. Aalto, J-P. Kaukoranta, P. Karlsson & R. Ruuhela (2012). Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010. *Raportteja*, 2012: 1. 83 s. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Pissart, A. (1967). Les modalités de l'écoulement de l'eau sur l'île Prince Patrick. *Biuletyn Peryglacjalny* 16, 217–224.
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rantala, M. V., T. P. Luoto, J. Weckström, M-E. Perga, M. Rautio & L. Nevalainen (2015). Climate controls on the Holocene development of a subarctic lake in northern Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews* 126, 175–185.
- Rapp, A. & G. M. Clark (1971). Large Nonsorted Polygons in Padjelanta National Park, Swedish Lapland. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography* 53:2, 71–85.
- Recommendation Rec(2004)3 on conservation of the geological heritage and areas of special geological interest* (2004). Committee of Ministers of the Council of Europe. <[https://search.coe.int/cm/Pages/result\\_details.aspx?ObjectID=09000016805dd15a](https://search.coe.int/cm/Pages/result_details.aspx?ObjectID=09000016805dd15a)>. 20.11.2016.
- le Roux, P. C., R. Virtanen & M. Luoto (2013). Geomorphological disturbance is necessary for predicting fine-scale species distributions. *Ecography*, 36, 800–808.
- le Roux, P. C. & M. Luoto (2014). Earth surface processes drive the richness, composition and occurrence of plant species in an arctic–alpine environment. *Journal of Vegetation Science* 25, 45–54.
- Reynard, E., G. Fontana, L. Kozlik & C. Scapozza (2007). A method for assessing “scientific” and “additional values” of geomorphosites. *Geographica Helvetica* 62, 148–158.

- Rinnan, R., S. Stark & A. Tolvanen (2009). Responses of vegetation and soil microbial communities to warming and simulated herbivory in a subarctic heath. *Journal of Ecology* 97, 788–800.
- Rolston, III H. (1997). Arvot luonnossa. *Teoksessa* Oksanen, M. & M. Rauhala-Hayes (toim.): *Ympäristöfilosofia*, 205–224. Gaudeamus, Tampere.
- Ruban, D. A. (2010). Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists' Association* 121, 326–333.
- Sandvik, S. M. & A. Odland (2014). Changes in alpine snowbed-wetland vegetation over three decades in northern Norway. *Nordic Journal of Botany* 32: 377–384.
- Sage, B. (1986). *The Arctic and its wildlife*. 190 s. Croom Helm Ltd, London.
- Santi, E., S. Maccherini, D. Rocchini, I. Bonini, G. Brunialti, L. Favilli, C. Perini, F. Pezzo, S. Pazziani, E. Rota, E. Salerni & A. Chiarucci (2009). Simple to sample: Vascular plants as surrogate group in a nature reserve. *Journal of Nature Conservation* 18, 2–11.
- Schindler, D. W., H. E. Welch, J. Kalf, G. J. Brunskill & N. Kritsch (1974). Physical and chemical limnology of Char Lake, Cornwallis Island (75°N lat.). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 31, 585–607.
- Schunke, E. & S. C. Zoltai (1988). Earth Hummocks (Thufur). *Teoksessa* Clark, M. J. (toim.) *Advances in Periglacial Geomorphology*, 231–245. John Wiley & Sons, Chichester.
- Schöb, C., P. M. Kammer, P. Choler & V. Heinz (2009). Small-scale plant species distribution in snowbeds and its sensitivity to climate change. *Plant Ecology* 200: 91–104.
- Seppälä, M. (1998). New Permafrost Formed in Peat Hummocks (Pounus), Finnish Lapland. *Permafrost and periglacial processes* 9, 367–373.
- Seppälä, M. (2004). *Wind as a Geomorphic Agent in Cold Climates*. 358 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Seppälä, M. (2005). Periglacial Environment. *Teoksessa* Seppälä, M. (toim.): *The Physical Geography of Fennoscandia*, 349–364. Oxford University Press, New York.

- Serrano, E., P. Ruiz-Flaño & P. Arroyo (2009). Geodiversity assessment in a rural landscape: Tiermes-Caracena area (Soria, Spain). *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia* 87, 173–180.
- Sharples, C. (2002). *Concepts and principles of geoconservation*. PDF-tiedosto. <<http://dpiipwe.tas.gov.au/Documents/geoconservation.pdf>>. 20.11.2016.
- Steck, C.E., M. Bürgi, T. Coch & P. Duelli (2007). Hotspots and richness pattern of grasshopper species in cultural landscapes. *Biodiversity Conservation* 16, 2075–2086.
- Thomas, D.N., G.E. Fogg, P. Convey, C.H. Fritsen, J.-M. Gili, R. Gradinger, J. Laybourn-Parry, K. Reid & D. W. H. Walton (2008). *The Biology of Polar Regions*. 2. p. 394 s. Oxford University Press, Oxford.
- Thorn C. E. (1983). Seasonal Snowpack Variability and Alpine Periglacial Geomorphology. *Polarforschung*, 53: 31–35.
- Thorn C. E. (1988). Nivation: A Geomorphic Chimera. *Teoksessa Clark, M. J. (toim.): Advances in Periglacial Geomorphology*, 3–31. John Wiley & Sons, Chichester.
- Thorn, C. E. & K. Hall (2002). Nivation and Cryoplanation: the case for scrutiny and integration. *Progress in Physical Geography* 26-4, 533–550.
- Tricart, J. (1970). *Geomorphology of Cold Environments*. 320 s. Macmillan and Co Ltd.
- Tukiainen, H., Bailey, J. J. Field, R. Kangas, K. & J. Hjort (2017). Combining geodiversity with climate and topography to account for threatened species richness. *Conservation Biology* 31, 364–375.
- Uusinoka, R. (1980). Kilpisjärven alueen kallioperästä ja sen vaikutuksesta pinnanmuodotukseen. *Luonnon Tutkija* 84: 2–6
- Van Vliet Lanoë, B. & M. Seppälä (2002). Stratigraphy, age and formation of peaty earth hummocks (pounus), Finnish Lapland. *The Holocene* 12, 187–199.
- Venäläinen, A. (2004). Tuntureiden sää ja ilmasto. *Teoksessa Järvinen, A. & S. Lahti (toim.): Suurtuntureiden luonto*. 35–47. Yliopistopaino. Helsinki.

- Virtanen, R., M. Luoto, T. Rämä, K. Mikkola, J. Hjort, J. A. Grytnes & H. J. B. Birks (2010). Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19, 810–821.
- Vuokko, S., J. Peiponen & M. Varesvuo (2008). *Lapin luonto-opas*. 176 s. Otava, Helsinki.
- Väre, H. & R. Partanen (2009). *Suomen tunturikasvio*. 256 s. Metsäkustannus Oy, Hämeenlinna.
- Warwick, R. M. & K. R. Clarke (1995). New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series* 129, 301–305.
- Warwick, R. M. & K. R. Clarke (1998). Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology* 35, 532–543.
- Washburn, A. L. (1956). Classification of patterned ground and review of suggested origins. *Geological Society of America Bulletin* 67, 823–865.
- Welling, P., A. Tolvanen & K. Laine (2005). Plant traits: Their role in the regeneration of alpine plant communities in sub-arctic Finland. *Journal of Vegetation Science* 16: 183–190.
- Whittaker, R. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21, 213–251.
- Williams, P., D. Gibbons, C. Margules, A. Rebelo, C. Humphries & R. Pressey (1996). A Comparison of Richness Hotspots, Rarity Hotspots, and Complementary Areas for Conserving Diversity of British Birds. *Conservation Biology* 10: 1, 155–174.
- Yoccoz, N.G., J. D. Nichols & T. Boulinier (2001). Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution* 16:8, 446–453.

## Liitteet

Liite 1. Lajimäärän, Taksonomisen erityisyyden (Delta +) ja RWR:n arvojen jakaumat histogrammeilla esittäen.

