

Geodiversiteetin alueellinen mallintaminen Lauhanvuoren  
kansallispuistossa

---

Katja Vainionpää

791619S  
Pro gradu -tutkielma  
Maantieteen tutkimusyksikkö  
Oulun yliopisto  
20.05.2020

Yksikkö: <b>Maantieteen tutkimusyksikkö</b>	Pääaine: <b>Maantiede</b>	
Tekijä: <b>Vainionpää Katja Marianne</b>	Opiskelija- numero: <b>2478177</b>	Tutkielman sivumäärä: <b>89+V</b>
Tutkielman nimi: <b>Geodiversiteetin alueellinen mallintaminen Lauhanvuoren kansallispuistossa</b>		
Asiasanat: <b>Geodiversiteetti, Lauhanvuori, alueellinen mallintaminen, geokohde, geosuojelu, kansallispuisto</b>		
Tiivistelmä: <p>Geodiversiteetti on olennainen osa luonnon moninaisuutta ja osa maapallon luonnonjärjestelmää. Geodiversiteetti tarkoittaa luonnollista vaihtelua geologiassa, geomorfologiassa, maaperässä, hydrologiassa ja topografiassa, sisältäen kaikkien näiden prosessit, ilmentymät, vuorovaikutussuhteet ja ominaisuudet. Geodiversiteetin arvottaminen, kartoittaminen ja mittaaminen eri ympäristöissä ja mittakaavoissa on tärkeää.</p> <p>Tässä pro gradu -tutkielmassa mallinnettiin kvantitatiivisin menetelmin Lauhanvuoren kansallispuiston geodiversiteetin runsautta tutkimusruuduittain. Lauhanvuoren kansallispuisto sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla Kauhajoen ja Isojoen rajalla. Geodiversiteetin selittävinä tekijöinä käytettiin satelliittiaineiston ja digitaalisen korkeusmallin perusteella laskettuja muuttujia. Mallinnuksessa hyödynnettiin yleistettyä additiivista mallia (GAM) ja hierarkkista ositusta (HP). Geodiversiteetin runsauden mallinnuksen lisäksi Lauhanvuoren kansallispuiston 11 geokohdetta arvioitiin niiden geologian ja geomorfologian, maisemallisen arvon, luonnontilaisuuden sekä saavutettavuuden perusteella. Mallinnuksen ja geokohdearvioinnin tarkoituksena oli saavuttaa parempi yleiskuva Lauhanvuoren geodiversiteetistä ja siihen liittyvistä tekijöistä. Geodiversiteetin vaihtelua on tärkeä selvittää suojelun, ekologian ja geomorfologian arvokkuuden hallinnan takia.</p> <p>Tutkielman perusteella Lauhanvuoren kansallispuiston geodiversiteetti on monipuolinen ja vaihteleva ympäröivään alueeseen verrattuna. Tutkimusalueen geodiversiteetti tekee alueesta valtakunnallisesti arvokkaan kohteen, jolla on merkitystä erityisesti paikallisesti. Lauhanvuoren geodiversiteettiin on vaikuttanut kansallispuiston sijainti, jota jääkauden prosessit ovat aikojen saatossa muokanneet. Alueen korkeimmat geodiversiteettiarvot sijoituivat tutkimusalueella topografisesti heterogeenisille alueille. Lauhanvuoren geodiversiteettiä pystyttiin mallintamaan vain melko kohtalaisin tuloksin ja suuri osa geodiversiteetin vaihtelusta jäi selittämättä. Merkittävimmäksi selittäväksi muuttujaksi geodiversiteetin vaihtelussa osoittautui korkeuden keskijajonta, joka on myös aikaisemmissa tutkimuksissa ollut selityskykyinen muuttuja kokonaisgeodiversiteetin vaihtelun mallinnuksessa. Tutkielman geokohteiden arvioinnin perusteella geomorfologisesti ja luontomatkaillullisesti arvokkaimmat kohteet Lauhanvuoren kansallispuistossa olivat Riitakankaan kivijata, Aumakivi ja jälkifossiili.</p>		
Muita tietoja:	<b>Rahoitus Kauhajoen kulttuurisäätiö</b>	
Päiväys:	20.05.2020	

# Sisällys

1. Johdanto .....	4
2. Geodiversiteetti .....	7
2.1 Geodiversiteetin osa-alueet .....	9
2.2 Geodiversiteetin yhteys biodiversiteettiin .....	10
2.3 Geodiversiteetin arvot .....	11
2.3.1 Itseisarvo .....	12
2.3.2 Taloudellinen arvo .....	12
2.3.3 Toiminnallinen arvo .....	12
2.3.4 Kulttuurinen ja esteettinen arvo .....	13
2.3.5 Tieteellinen ja koulutuksellinen arvo .....	13
3. Geodiversiteetin suojelu .....	14
3.1 Geopark .....	16
3.2 Geoturismi .....	17
4. Geodiversiteetin mittaamenetelmät .....	18
4.1 Geokohteiden arvionti .....	19
5. Tutkimusalue .....	21
5.1 Alueen geologian ja geomorfologian kehittyminen .....	23
5.2 Lauhanvuoren ilmasto ja lajisto .....	25
5.3 Hydrologia .....	27
5.4 Ihmisen toiminta .....	28
6. Aineisto .....	28
6.1 Kokonaisgeodiversiteetti .....	30
6.2 Topografiset muuttujat .....	32
6.3 Satelliittikuvamuuttujat .....	33
6.4 Lauhanvuoren geokohteet .....	34
7. Menetelmät .....	41
7.1 Mallin laadinta .....	42
7.2 Mallin hyvyyden arviointi .....	43
7.3 Yleistetyt additiiviset mallit .....	44
7.4 Hierarkkinen ositus .....	45
7.5 Geokohteiden arviointimenetelmä .....	46

8. Tulokset .....	49
8.1 Lauhanvuoren kansallispuiston kokonaisgeodiversiteetti .....	49
8.2 Yksittäisten muuttujien analyysi .....	53
8.3 Kokonaisgeodiversiteetin mallinnus .....	60
8.4 Geokohteiden pisteet .....	63
9. Tulosten tarkastelu ja pohdinta .....	67
9.1 Lauhanvuoren alueellinen geodiversiteetti .....	67
9.2 Muuttujien vaikutus geodiversiteettiin .....	69
9.3 Geokohteiden merkittävyys .....	73
9.4 Tutkielman virhelähteet .....	77
10. Yhteenveto ja johtopäätökset .....	78
Lähteet .....	82
Liitteet .....	90

# 1. Johdanto

Geodiversiteetti on olennainen osa luonnon moninaisuutta ja osa maapallon luonnonjärjestelmää. Geodiversiteetti koostuu geologiasta, geomorfologiasta, maaperästä, topografiasta ja hydrologiasta, sisältäen kaikkien näiden muodostumat, kokonaisuudet, rakenteet ja maisemat (Gray 2013: 7). Geodiversiteetti-termiä alettiin käyttämään yleisesti 1990-luvulla luonnehtimaan elottoman luonnon moninaisuutta (Gray 2013: 9). Geodiversiteetti määritellään ihmisten, maiseman ja kulttuurien välisenä yhteytenä, jotka yhdessä tarjoavat kehyksen elämälle maapallolla (Stanley 2004: 45). Geodiversiteetti tarjoaa abioottisia ekosysteemipalveluita yhteiskunnalle. Nämä voivat esimerkiksi olla taloudellisia tai toiminnallisia hyötyjä (Gray 2005: 8; Haines-Young & Potchin 2018: 4–10).

Geodiversiteetti vaikuttaa alueen maisemallisiin ominaispiirteisiin, kasvillisuuteen ja sitä kautta myös muuhun eliöstöön. Toisin sanoen geodiversiteetti ohjaa elollisen luonnon monimuotoisuutta eli biodiversiteettiä (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 143). Biodiversiteetin tutkimiseen on kehitetty monia erilaisia mittausmenetelmiä 1700-luvulta lähtien (Ibáñez ym. 2019: 1032–1033), kun taas geodiversiteettitutkimukset on aloitettu vasta 1970-luvulla pääasiassa maaperätutkimuksilla (Gray 2013: 432; Ibáñez & Brevik 2019: 2). Geodiversiteetin mittaaminen eri ympäristöissä ja mittakaavoissa on tärkeää (Hjort & Luoto 2010; Serrano & Ruiz-Flaño 2007a, 2007b). Viime aikoina geodiversiteetin spatiaalista rakennetta on pyritty tutkimaan tilastollisesti geodiversiteetin elementtejä, niiden välisiä vuorovaikutuksia sekä biodiversiteetin ja geodiversiteetin välisiä yhteyksiä hyödyntämällä (Gray 2013: 432). Geodiversiteetin moninaisuutta ja alueellista jakautumista on mahdollista tarkastella esimerkiksi kvantitatiivisilla tutkimusmenetelmillä (Stepišnik & Trenchovska 2017: 39).

Suomen kansallispuistot ovat luonnonalueita, joiden tehtävänä on muun muassa turvata luonnon monimuotoisuus. Niiden biologista monimuotoisuutta on tutkittu varsin kattavasti, mutta geodiversiteettiin keskittyvä tutkimus on ollut vähäistä (mm. Tukiainen ym. 2017a; Tukiainen ym. 2019). Tämän vuoksi Lauhanvuori sopii erinomaisen hyvin tutkimuskohteeksi pro gradulle. Lauhanvuoren kansallispuisto sijaitsee Etelä-Pohjanmaan ja Satakunnan maakuntien rajalla. Se on ympäristöineen

kiinnostanut tutkijoita ja erityisesti 1980-luvulta lähtien se on nostanut merkittävyyttään tutkimuskohteena (mm. Salomaa 1983; Suominen & Varkki 1984). Lauhanvuori on sopiva kohde geodiversiteettitutkimukseen myös sen erikoislaatuisuutensa vuoksi, koska laakean maiseman kehityksen taustalla on pitkä historia. Alue on ollut jääkauden jälkeen Suomen rannikon uloin saari, josta se on muuttunut laakeaksi suomaaksi ja jota elävöittävät lukuisat jääkausikerrostumat ja paikoin tavattavat kalliomuodostumat (Haapalehto ym. 2016: 75). Alueen geologiaa ja geomorfologiaa on tutkittu jonkin verran aikaisemmin, esimerkiksi Olander (1934) on kiinnittänyt huomiota Lauhanvuoren rantamuodostumiin ja Salomaa (1982b ja 1983) on tutkinut kattavasti alueen geologiaa. Viimeisin geologisten luontokohteiden alustava kartoitus on vuodelta 2009 (Auri 2009). Alueelta ei ole valmistunut vertaisarvioituja artikkeleita viime aikoina, mutta Lauhanvuori-Hämeen kangas Geopark-hanke tulee nostamaan alueen tunnettavuutta ja lisäämään tutkimuksen sekä geoturismin määrää merkittävästi tulevaisuudessa. Kohde pyrkii saamaan Geopark-statusen vuoden 2020 aikana, minkä vuoksi alueen geodiversiteetin tutkiminen on erittäin ajankohtaista.

Geopark on maailmanlaajuinen ainutlaatuisten geologisten kohteiden yhteisbrändi, jota hallinnoi UNESCO (Patzak & Eder 1998: 33). Geopark-alueet ovat avanneet uusia mahdollisuuksia geosuojaan ja geoturismiin (Burek & Prosser 2008: 1). Geosuojelun tavoitteena on suojella geologista ja geomorfologista moninaisuutta luontaisten-, ekologisten- ja geoperintöarvojen takia (Sharples 1995: 39). Geosuojelulla on merkittävä rooli kestävässä kehityksessä sekä tieteen ja koulutuksen edistämässä (Burek & Prosser 2008: 2). Onnistuneen geosuojelun ensimmäinen askel on merkittävien geodiversiteettikohteiden kartoitus (Brilha 2016: 121), joita hyödynnetään myös geoturismissa (Kubalikova 2013: 86). Geoturismi on matkailun muoto, jossa minimoidaan matkailun vaikutuksia geosuojaan (Gray 2008: 295).

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on kvantitatiivisin menetelmin mallintaa ja analysoida geodiversiteetin runsautta tutkimusruuduittain Lauhanvuoren kansallispuistossa. Menetelmissä seurataan pääosin Hjortin ja Luodon (2010, 2012) tutkimuksia, joissa hyödynnetään Grayn (2013) ja Serrano ja Ruiz-Flañon (2007a, 2007b) esittämää geodiversiteetin määritelmää. Ruutulähestymistävän lisäksi tutkielmassa arvioidaan Lauhanvuoren kansallispuiston 11 geodiversiteettikohdetta

niiden geologian ja geomorfologian, maisemallisen arvon, luonnontilaisuuden ja saavutettavuuden perusteella. Tutkielma toteutetaan soveltamalla aiemmissa geodiversiteettiä käsittelevissä tutkimuksissa toimiviksi todettuja menetelmiä Lauhanvuoren kansallispuiston alueelta kerättyyn aineistoon. Aineistona hyödynnetään Sentinel-satelliittikuvaa, digitaalista korkeusmallia (DEM, Digital Elevation Model) ja maastokarttoja, sekä maastossa kerättyä aineistoa geodiversiteettikohteista. Tutkimuksen tilastollinen mallinnus toteutetaan analysoimalla Lauhanvuoren kansallispuiston geodiversiteettiaineistoa SPSS- ja R-ohjelmalla. Tilastollisessa mallinnuksessa hyödynnetään yleistettyä additiivista mallia (GAM) ja hierarkkista ositusta (HP). Tämä tutkielma pyrkii vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- 1. Miten geodiversiteetti vaihtelee alueellisesti Lauhanvuoren kansallispuistossa?*
- 2. Kuinka hyvin geodiversiteettiä voidaan mallintaa Lauhanvuoren kansallispuistossa?*
- 3. Millainen arvo tutkimusalueen geokohteilla on luontomatkailun ja geomorfologian näkökulmasta?*

## 2. Geodiversiteetti

Geodiversiteetti muodostaa olennaisen osan maapallon luonnonjärjestelmästä. Se määritellään abioottisena luontona ja maanpinnan abioottisena vaihtelevuutena (Gray 2013: 9-10). Geodiversiteetti-termi on vakiintunut 1990-luvun alusta lähtien ja sitä on käyttänyt esimerkiksi Wiendenbein (1993, 1994) ja Sharples (1993). Geologit ja geomorfologit alkoivat käyttää termiä kuvaillakseen abioottisen elämän monipuolisuutta ja saadakseen huomiota luonnonsuojelupolitiikan ja käytännön epätasapainoon bioottisen ja abioottisen elementtien välillä (Gray 1997: 313).

Nykytutkimuksessa selkeästi eniten käytetyin ja viitatuin määritelmä on Grayn (2013: 10–11) kehittämä, jonka mukaan geodiversiteetti tarkoittaa luonnollista vaihtelua geologiassa (kivet, mineraalit, fossiilit), geomorfologiassa (maisemaa, topografiaa, fysikaalisia prosesseja), maaperässä ja hydrologiassa. Toisin sanoen geodiversiteetti sisältää kaikki nämä muodostumat, kokonaisuudet, rakenteet, systeemit ja maiseman vaihtelut. Zwolińskin ja Stachowiakin (2012: 100) mukaan geodiversiteettiä käytetään pääasiassa kahdessa eri merkityksessä. Geodiversiteetillä tarkoitetaan geologisten, geomorfologisten ja maaperäilmiöiden vaihtelevuutta eli diversiteettiä, jolloin geodiversiteetti ajatellaan geosysteemin resurssina, erillisenä objektina. Toisaalta geodiversiteetti voi tarkoittaa myös yksittäisiä geosysteemejä, jotka ovat itsessään monimuotoisia. Jačková ja Romportl (2008: 23) lisäävät geodiversiteettimääritelmään myös temporaalisen näkökulman, sillä geodiversiteettistä voi havainnoida todisteita alueen historiallisessa kehityksessä, entisissä ekosysteemeissä ja ympäristöissä. Lisätukea tälle esittävät Serrano ja Ruiz-Flaño (2007b: 142) sekä Fassoulas ynnä muut (2012: 178). Heidän mukaansa geodiversiteettiin liitetään temporaalinen ulottuvuus, joka käsittää maisemassa tapahtuneet sekä luonnon että ihmisen aiheuttamat ympäristömuutokset eri pituisina ajanjaksoina.

Kaikille geodiversiteetin määritelmille yhteistä on, se että ne käsittävät luonnolliset ympäristön piirteet (Zwoliński & Stachowiak 2012: 100). Geodiversiteetin voidaan katsoa Beniton-Calvon ym. (2009: 1433) mukaan tarkoittavan maanpinnan geologisten ja geomorfologisten ominaisuuksien heterogeenisyyttä. Tällöin voidaan katsoa, että geodiversiteetti koostuu fyysisen ympäristön luonnetta määräävistä elementeistä, jotka



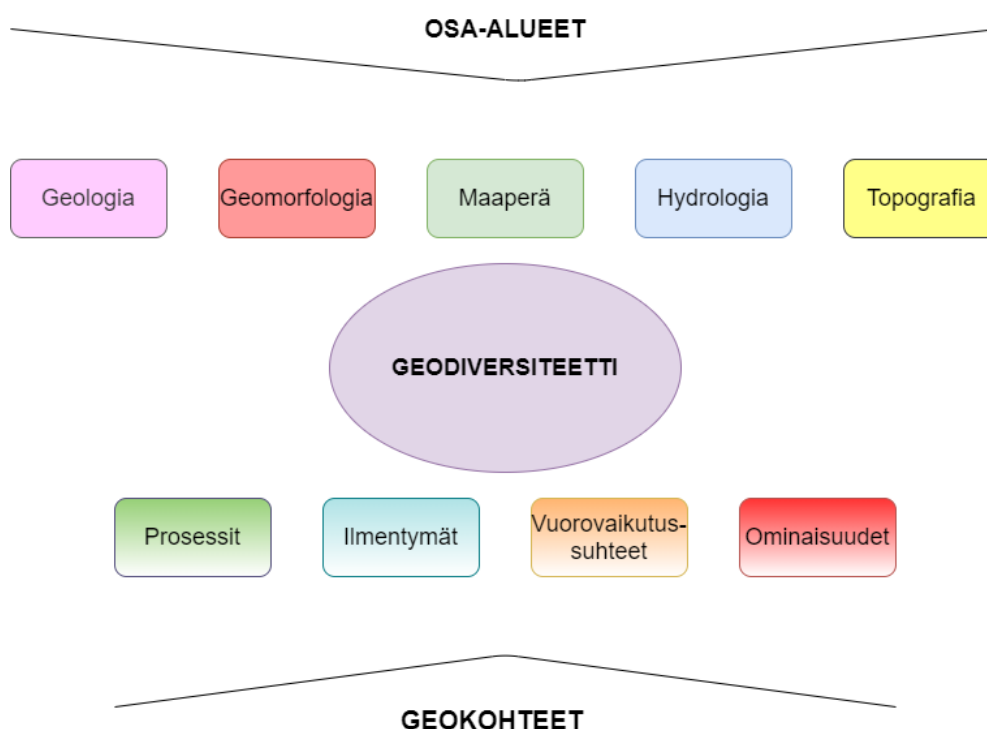
johtavat myös biotooppien, ekosysteemien, habitaattien ja maisemien monimuotoisuuteen (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 142; Parks & Mulligan 2010: 2752).

Geodiversiteettiä sovelletaan monella mittakaavalla aina globaalista tasosta, kuten maanosista ja valtameristä, alkuainetason ioneihin ja atomeihin (Gray 2013: 15). Serranon ja Ruiz-Flaño (2007b) mukaan geodiversiteetti voidaan luokitella hierakiseen järjestykseen suuruusjärjestyksessä: 1. partikkeli, 2. elementti, 3. paikka ja 4. maisema. Ensimmäisenä ovat partikkelit, jotka ymmärretään yksinkertaisempina abiottisina elementteinä tai prosesseina, joissa ei ole spatiaalista ulottuvuutta. Näitä ovat esimerkiksi atomit, molekyylit, sedimenttipartikkelit ja energiaprosessit. Toisena ovat elementit, joita ovat esimerkiksi geologiset, geomorfologiset, topografiset, hydrologiset ja maaperän muodostumat, jotka ovat tiettyyn sijaintiin, tilaan ja mittakaavaan sidottuja. Elementit ovat dynaamisesti muuttuvia ja energiaa kuluttavia maiseman elementtejä. Niitä voidaan kartoittaa ja käyttää geodiversiteetin arvioimisessa omina yksiköinä ja niihin voidaan kohdistaa geodiversiteetin arviointi kaikissa alueellisissa mittakaavoissa. Perinteisesti elementtitason kohteita on suojeltu hallinnollisesti ja lainsäädännöllisesti (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 140–143).

Kolmantena Serrano ja Ruiz-Flaño (2007b: 143) mainitsevat paikan. Paikka käsittää laaja-alaiset muodostumat ja järjestäytyneet ryhmät, kuten geotoopit, geosysteemit ja ekosysteemit. Geotooppi tarkoittaa maankamaralla selvästi erottuvaa osaa, jolla on erityinen geologinen ja geomorfologinen merkitys (Stürm 1994), kuten esimerkiksi muinaiskivirannikko. Paikka-käsitteen laajuuden ja monimutkaisuuden vuoksi tämä taso ei ole optimaalisin käytännön sovelluksiin (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 143). Neljäntenä ja viimeisenä järjestyksessä on maisema. Maisema sisältää sekä bioottiset että abiottiset tekijät eli siihen lukeutuu kokonaisuudessaan luonnon monimuotoisuus ja myös ihmistoiminnan vaikutukset. Lisäksi Serranon ja Ruiz-Flaño (2007b: 143) mielestä geodiversiteettiä ei voi käsitellä ilman mittakaavaa ja geodiversiteetti tulisi liittää spatiaalisiin ominaisuuksiin eli sijaintiin ja tilaan.

## 2.1 Geodiversiteetin osa-alueet

Geodiversiteetti koostuu ympäristön fyysistä elementeistä ja yhdistää monta osa-aluetta ja prosessia yhden käsitteen alle kokonaisuudeksi (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 143). Geodiversiteetti voidaan jaotella viiteen eri osa-alueeseen: geologiaan, geomorfologiaan, maaperään, hydrologisiin ja topografisiin kohteisiin (kuva 1) sisältäen kaikkien näiden prosessit, ilmentymät, vuorovaikutussuhteet sekä ominaisuudet (Gray 2013: 12).



Kuva 1. Geodiversiteetin rakentuminen osa-alueista ja geokohteista Grayn (2013) määritelmän mukaisesti.

Geologiseen diversiteettiin kuuluvat mineraalit, kivilajit, fossiilit, kallioperän rakenteet ja -muodostumat sekä niitä muokkaavat prosessit (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 141; Gray 2013: 29–46). Geologisen diversiteetin tärkeimpiä sisäsyntyisiä voimia ovat tektoniset prosessit kuten laattatektoniikka. Ulkosyntyisiin voimiin lukeutuvat puolestaan kemiallinen, mekaaninen ja/tai biologinen rapautuminen (Gregory 2010: 74–77; Gray 2013: 35–36). Geomorfologialla tarkoitetaan maan pinnanmuotoja ja niiden muutoksiin liittyvien ilmiöiden tarkastelevaa tieteenalaa (Derbyshire ym. 1979: 15). Geomorfologinen muodostuma tarkoittaa yleisesti maanmuodostumaa, jonka

geomorfologit ja muut luonnontieteilijät ovat luokitelleet ja nimittäneet (Mayer 1990: 1). Geomorfologiset muodostumat pitävät sisällään maankamaran materiaalit kuten kallioperän, kivilajit ja maaperän siltä osin kuin niiden ominaisuudet vaikuttavat pinnanmuotoihin ja yksittäisiin muodostumiin (Derbyshire ym. 1979: 18–19, Sharples 1995: 38). Geomorfologisten maamuodostumien koostumiseen vaikuttavat neljä komponenttia: struktuuri, materiaali, prosessi ja historia (Selby 1985: 1).

Maaperä tarkoittaa kallioperän ja ilmakehän väliin rajoittuvaa irtoaineskerrostumaa, joka koostuu kiinteästä mineraali- ja/tai orgaanisesta aineksesta, nesteestä sekä kaasusta. Maaperä on syntynyt geologisten prosessien tuloksena, johon vaikuttavat viisi päätekijää: aikaisempi materiaali, ilmasto, eliöstö, topografia ja aika. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa suurin osa maalajeja synnyttävistä prosesseista liittyy mannerjäätikön vaikutuksiin. Maaperän diversiteetti muodostuu eri ominaisuuksista, kuten väristä, raekoosta, rakenteesta, tiheydestä ja huokosten tilavuudesta (Gray 2013: 44–47). Suot lasketaan usein myös osaksi maaperää (Gregory 2010: 66).

Geologia, geomorfologia ja topografia muodostavat raamit hydrologialle. Valtameret, meret, joet, järvet, lähteet, suot, valuma-alueet ja pohjavesialueet sijoittuvat geomorfologisiin muodostumiin maaperän litologisiin eli kerroksellisiin ja stratigrafisiin eli järjestyksellisiin kerrostumiin (Borcard ym. 1992; Serrano & Ruiz-Flano 2007b: 143). Topografialla tarkoitetaan puolestaan maanpinnan muotojen vaihtelua ja se kuvastaa alueen ilmastollisia, hydrologisia ja geomorfologisia oloja (Pausas ym. 2003: 662).

## 2.2 Geodiversiteetin yhteys biodiversiteettiin

Luonnon monimuotoisuus voidaan jakaa kahteen itsenäiseen ja toisiinsa vahvasti sidoksissa olevaan käsitteeseen: geodiversiteettiin ja biodiversiteettiin (Hjort & Luoto 2010: 109). Termejä erottavat elämän esiintyminen ja esiintymättömyys (Serrano & Ruiz-Flano 2007b: 141–142). Geodiversiteetti mahdollistaa monipuoliset ekosysteemit, jotka tarjoavat monimuotoisia resursseja eliöiden käyttöön (Parks & Mulligan 2010: 2752–2753). Biodiversiteetillä tarkoitetaan kaikkien ekosysteemiin tai ekologiseen kokonaisuuteen lukeutuvien elävien eliöiden vaihtelevuutta. Tähän lukeutuu vaihtelevuus lajin sisällä ja lajien välillä, mutta myös ekosysteemien monimuotoisuus

(Biologista monimuotoisuutta koskeva yleissopimus 78/1994). Geodiversiteettiä voidaan ajatella esiintyvän vähintään yhtä paljon kuin biodiversiteettiä (Gray 2008: 287) ja sitä voidaan pitää yhtenä biodiversiteettiä ohjaavana tekijänä (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 143). Geodiversiteetti tulisi biodiversiteetin tavoin tunnustaa omana itsenään, monien ympäristöprosessien ohjaajana ja tärkeänä osana luonnon monimuotoisuutta (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 142; Parks & Mulligan 2010: 2752). Lisätukea tälle esittävät Parks ja Mulligan (2010: 2571, 2574) ja Jačková and Romportl (2008: 36), joiden mukaan geodiversiteetin osa-alueet muodostavat erilaisia elinympäristöjä eli habitaatteja ja vaikuttavat tätä kautta lajistoon monin eri tavoin.

Geodiversiteettiä on perusteltua käyttää alueellisen biodiversiteetin ennustamisessa (Parks & Mulligan 2010: 2755–2656) ja aikaisempien tutkimusten perusteella biodiversiteetin ja geodiversiteetin välillä on todettu olevan sekä positiivista että negatiivista korrelaatiota (esim. Toivanen ym. 2018: 1719–1720). Lisäksi Hjort ja Luoto (2009: 324) esittävät, että kasvillisuus muokkaa geomorfologisia prosesseja ja pinnanmuotoja. Biologiset prosessit on useasti linkitetty maaperän rapautumiseen, eroosioon, fluviaalisiin ja eolisiin prosesseihin sekä rannikkoympäristöihin (Hjort & Luoto 2009: 324). Geodiversiteetti voi vaikuttaa myös puroympäristöjen lajirikkauteen (Kärnä ym. 2019: 2469). Kasvillisuuden runsaussuhteisiin vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kallioperä, maaperä, absoluuttinen korkeus, topografia ja mikroilmasto (Gray 2004: 355; Alexandrowicz & Margielewskilow 2010: 299), mistä erityisesti maaperä on tärkeä selittävä muuttuja lajien rikkaudelle (Kärnä ym. 2019: 2469).

### 2.3 Geodiversiteetin arvot

Geodiversiteettiä on arvoitettu monesta eri näkökulmasta. Wilson (1994) jakaa geodiversiteetin kahteen pääarvoon: taloudelliseen ja kulttuuriseen arvoon. Sharples (2002: 9) mainitsee geodiversiteetin arvoiksi luontaisen (*olemassa olevan*), ekologisen arvon ja ihmiskeskeisen arvon. Bennet ja Doyle (1997: 43) puolestaan ovat laajentaneet geodiversiteetin arvoja neljään eri kategoriaan, joita ovat itseisarvo, kulttuurinen ja esteettinen arvo, taloudellinen arvo sekä tieteellinen ja koulutuksellinen arvo. Näiden lisäksi geodiversiteetti tarjoaa huomattavat määrät abioottisia ekosysteemipalveluita yhteiskunnalle (MEA 2005; Haines-Young & Potchin 2018). Geodiversiteetin tarjoamat

ekosysteemipalvelut ovat joko aineellisia tai aineettomia ja ne muodostuvat geodiversiteetistä suoraan tai välillisesti eri prosessien kautta (Gordon ym. 2012).

### 2.3.1 Itseisarvo

Itseisarvolla tarkoitetaan yksinkertaisesti sitä, mikä kohteen olemassa oleva arvo on (Kiernan 1997: 23). Itseisarvo voidaan määrittää yhtä lailla niin elollisille kuin elottomille luonnon osille (Gray 2013: 77). Itseisarvon kuvaileminen on hankalaa, koska siihen lukeutuvat eettiset ja filosofiset ulottuvuudet yhteiskunnan ja luonnon välillä (Gray 2013: 77-78). Hjortin ynnä muiden (2015: 637) mukaan geodiversiteetti ansaitsee tulla suojelluksi myös itseisarvonsa kautta. Itseisarvo tarkoittaa ihmiskeskeisen näkemyksen hylkäämistä, jonka mukaan mikään ei ole arvokas, ellei se ole hyödyllinen ihmisille tai ihminen ei voi käyttää niitä (Kiernan 1997: 23; Gray 2005: 6).

### 2.3.2 Taloudellinen arvo

Yhteiskunta on riippuvainen maan resursseista teollisuus- ja elintarviketuotannossa sekä rakentamisessa (Gray 2013: 95–116). Geodiversiteetin taloudellisiin arvoihin sisältyvät polttoaineet, malmit, jalokivet ja rakennusmineraalit (Gray 2005: 8). Geodiversiteetti tarjoaa mineraalipolttoaineita, kuten kivihiiltä, turvetta, öljyä ja uraania sekä teollisuusmineraaleja, kuten kalkkikiveä, kipsiä ja fosfaattia (Gray 2005: 8; Gray 2013: 95–114). Rakentamisessa hyödynnetään esimerkiksi rakennuskiveä, kiviainesta, hiekkaa, savea ja bitumia. Ainutlaatuisin esimerkki geodiversiteetin taloudellisesta arvosta ovat jalokivet ja fossiilit (Gordon ym. 2012: 4–5; Gray 2013: 116–121). Suurin osa edellä mainituista resursseista ovat uusiutumattomia luonnonvaroja, minkä vuoksi niiden käyttöä ja rajoituksia tulisi ymmärtää paremmin (Gray 2005: 8).

### 2.3.3 Toiminnallinen arvo

Toiminnallisiin arvoihin sisältyy geodiversiteetin hyödyntäminen, niin ettei siinä ole suoraa taloudellista hyötyä. Abioottiset elementit ja niiden dynamiikka ovat tärkeitä elämää ylläpitäviä tekijöitä. Abioottiset elementit edistävät esimerkiksi maanpäällisten ja merenalaisten systeemien toimivuutta ja maisemien sekä habitaattien suojelua (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b: 140). Monet tutkijat, kuten Gray (2008, 2011) linkittää toiminnallisen arvon ekosysteemipalveluihin tai niin sanottuihin

geosysteemipalveluihin. Monet toiminnallisista arvoista liittyvät fysikaalisiin järjestelmiin, jotka ovat dynaamisessa tasapainossa ja joiden toiminta on elintärkeää muille ympäristöjärjestelmille ja ekosysteemipalveluille. Maa toimii esimerkiksi varastona öljylle, maakaasulle, kivihiilelle ja vedelle. Varastoinnin lisäksi vesi suodattuu, puhdistuu ja kulkeutuu maan avulla. Rannat ja hiekkadyynit suojelevat rannikkoa ja sisämaa-alueita rannikkoveden tulvilta ja tsunamideilta. Fyysisellä ympäristöllä on siis valtava rooli monimuotoisen ympäristön, elinympäristöjen ja substraattien tuottamisessa ja ylläpitämisessä (Gray 2005: 8). Geodiversiteetillä on tärkeä merkitys myös ihmisen kehitykselle, hyvinvoinnille ja elinkeinolle, sillä maa tarjoaa ihmiselämälle tärkeitä mineraaleja, kuten magnesiumia ja sinkkiä sekä ravinteikkaita maaperiä eri ammatinharjoittajille (Gray 2005: 8; Gordon ym. 2012: 4; Gray 2013: 94–95, 122).

#### 2.3.4 Kulttuurinen ja esteettinen arvo

Luonnon monimuotoisuus on tärkeää myös ihmisen identiteetin ja itsensä etsimisessä (Relph 1976). Ihminen käyttää fyysistä ympäristöä virkistys- ja harrastustoimintaan, kuten hiihtoon, kalliokiipeilyyn, melontaan, koskenlaskuun ja geokätköilyyn (Gray 2005: 8; Gray 2013: 122–126). Fyysinen ympäristö on inspiroinut myös useita maalareita, kuvanveistäjiä, runoilijoita ja muusikoita vuosisatojen aikana (Gray 2005: 8). Monet nykypäivän yhteiskunnat kokevat vahvan sidoksen ympäristöönsä esimerkiksi harrastusten kautta, mikä antaa paikallisille asukkaille mahdollisuuden kehittää paikkatunnettaan (Gray 2005: 8). Ympäristön kulttuuriarvot perustuvat yleensä kansanperinteeseen, joka liittyy usein kivi- tai maanmuodostumien alkuperään. Jotkut geologiset piirteet voivat tuoda henkistä arvoa ihmisille ja geodiversiteetin esteettinen arvo luo alueelle taloudellista ja sosiaalista arvoa (Gray 2005: 6, 8; Gray 2013: 122).

#### 2.3.5 Tieteellinen ja koulutuksellinen arvo

Geodiversiteetti antaa valtavan määrän tietoa historiallisista prosesseista ja elämän kehityksestä. Luonnontilaiset ja harvinaiset muodostelmat tarjoavat monipuolisia sekä laajoja mahdollisuuksia luonnon ilmiöiden tarkkailuun, mallintamiseen, tutkimukseen ja koulutukseen. Niiden avulla voidaan ennustaa esimerkiksi muutoksia tulevaisuudessa (Sharpley 1993: 15–16; Gray 2013: 141–147). Fyysisistä todisteista saatavaa tietoa

voidaan käyttää koulutuksessa ja tutkimuksessa ja tätä tietoa voidaan tuoda opetuksen kautta yleiseen tietoisuuteen (Gray 2005: 8). Geodiversiteetin tutkimuksellinen arvo liittyy suoraan nykyhetken suojelun tärkeyteen ja tulevaisuuden tietoon siitä, kuinka geosfääri toimii hydrosfäärin, biosfäärin ja atmosfäärin kanssa (Brilha 2016: 119).

### 3. Geodiversiteetin suojelu

Geodiversiteetin suojelun eli geosuojelun tavoitteena on suojella ja parantaa geologista ja geomorfologista moninaisuutta, niissä esiintyviä systeemejä, prosesseja, kohteita ja yksilöitä sekä ylläpitää luonnollisten muutoksien voimakkuuksia. Geosuojelu liittyy siis sosiaaliseen vastuuseen maapallon resurssien käytöstä (Sharples 1995: 37; Sharples 2002: 2; Burek & Prosser 2008: 2, 4). Erilaisia geodiversiteetin elementtejä on suojeltava ja hallittava eri tavalla (Gray 2005: 9) ja geosuojelun menetelmiä ovat muun muassa inventaario, arviointi, säilyttäminen ja seuranta sekä geosuojelun tietoisuuden lisääminen (Burek & Prosser 2008: 2; Henriques ym. 2011: 117; Brilha 2016: 121).

Geosuojelu on verrattain uusi, mutta kasvava aktiviteetti, joka on yleistynyt luonnonsuojelun yhteydessä (Sharples 1995: 37; El Wartiti ym. 2007: 421; Burek & Prosser 2008: 2). Geosuojelu on yleensä keskittynyt enemmän sellaisten geologisten elementtien hallintaan, joilla on poikkeuksellinen tieteellinen, koulutuksellinen, matkailullinen tai kulttuurillinen arvo, tai joilla on merkittävä geologinen perintökohde (Henriques ym. 2011: 118). Geosuojelulla on merkittävä rooli myös sellaisten kohteiden suojelussa, joista monet alueen asukkaat saavat taloudellisen vaurauden tai kulttuurisen identiteetin (Burek & Prosser 2008: 2). Thomas (2012: 86) ja Sharples (1995: 44) kritisoiivat, että monet geosuojelulle tärkeät toimet tulisi kohdistaa yksittäisten kohteiden sijaan maisematason kokonaisuuksiin, jotka antavat kokonaisvaltaisemman kuvan alueen geodiversiteetistä. Geosuojelu on tärkeää, koska geodiversiteettiin sisältyy suojelun arvoisia elementtejä. Monet geodiversiteetin elementit ovat esimerkiksi herkkiä jäännöksiä tai fossiileja, jotka ovat korvaamattomia ja heikentyvät koko ajan ilman suojelua (Sharples 2002: 9).

Sharples (2002: 16) korostaa tutkimuksessaan geodiversiteetin, geosuojelun ja geoperinnön termien välisiä eroja ja merkityksiä. Sharplesin mukaan geodiversiteetti tarkoittaa laatua (*quality*), jota pyritään suojelemaan geosuojelun avulla. Geoperintö

viittaa itsessään korkeaan tieteellisen arvon omaaviin geodiversiteettielementteihin ja geoalueisiin tai geodiversiteettielementteihin, joiden esiintymisalueita ei ole otettu huomioon, mutta jotka itsessään sisältävät korkean tieteellisen arvon (kivennäisaineet, fossiilit) (Brilha 2016: 120). Toisin sanoen geoperintö tarkoittaa konkreettisia esimerkkejä siitä, mitkä koetaan suojelun kannalta merkittäviksi (Fassoulas ym. 2012: 178). Brilha (2016: 119) mainitsee Sharplesin termien lisäksi geologisen perinnön, jolla viitataan niihin alueisiin, jotka auttavat ymmärtämään Maan geologisen historian. Näillä alueilla on yhä suurempi riski täydelliseen tai osittaiseen heikkenemiseen, koska useimmat geologiset materiaalit eivät ole uusiutuvia. Geologisen perinnön ymmärtämisestä on hyötyä esimerkiksi tutkimuksen pohjana, ympäristötietouden lisääntymisessä, luonnonkatastrofien varautumisessa tai uudenlaisiin ulkoilu- ja virkistystoimintoihin tutustumisessa (Ruban 2010: 326).

Geosuojelussa on olennaista korostaa eroa suojelun (*conservation*) ja säilyttämisen (*preservation*) välillä. Suojelua voidaan pitää eräänlaisena aktiivisena hallintana, jotta voidaan varmistua ominaisuuksien, paikan tai prosessin säilymisestä ilman muutoksia. Säilyttämisellä taas tarkoitetaan tilannetta, jossa kohdetta pyritään pitämään samassa tilassa, estäen sen fyysisistä muuttumista, kuten rapautumista (Burek & Prosser 2008: 2).

Geosuojaus on myös olennainen osa biodiversiteetin suojelua, koska abiottinen ympäristö toimii pohjana biologisille järjestelmille (Brilha 2016: 120). Sekä geo- että biosuojelu tähtäävät luonnon ilmiöiden ja prosessien suojeluun (Sharples 1995: 37–40). Jos maan luonnollisen järjestelmän monimuotoisuutta ei ylläpidetä, niin ympäristöstä tulee asteittain köyhtyneempi (Relph 1976; Brilha 2016: 120). Toisaalta on huomioitava, että geosuojaus itsessään liittyy arvoja, jotka ovat riippumattomia elollisten asioiden ylläpitämisestä (Sharples 2002: 2). Lisäksi geosuojelun kehitys on suojelumethodien ja -strategioiden kannalta huomattavasti biosuojelua jäljessä (Sharples 1995: 37–40). Luonnonsuojelunäkökulmasta tiedon vähyys geodiversiteetin vaihtelusta ja sen suhteesta biodiversiteettiin vaikeuttaa ekologisesti ja geomorfologisesti arvokkaiden alueiden suojelua ja hallinnointia (Hjort & Luoto 2010: 114).

Suurin osa geodiversiteetin osa-alueista ovat vakaita, ja kestävät normaalin ihmistoiminnan läheisyydessä ilman arvon heikkenemistä (Sharples 1995: 40). Alueilla,



joilla geodiversiteetin säilyminen on uhattuna, tulisi minimoida tai kieltää sitä uhkaavat ihmistoimet (Ruban 2010: 332). Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA) avulla pyritään vähentämään tai kokonaan estämään hankkeen haitallisia ympäristövaikutuksia geodiversiteetille. YVA voi olla käyttökelpoinen työkalu geodiversiteetin suojeluun erityisesti niillä alueilla, joilta ei ole etukäteen saatavana yksityiskohtaista tietoa aiheesta (Gray 2013: 328–331). Geodiversiteetin uhkia ovat muun muassa liikenneverkosto ja ihmistoiminta (Gray 2005: 8–9; Gray 2013: 163–164). Geodiversiteetti-piirteiden herkkyys tulisikin Sharplesin (1995: 40–41) mielestä arvioida tapauskohtaisesti niihin kohdistuvan ihmistoiminnan määrän suhteen. Herkkyydellä tai uhanalaisuudella tarkoitetaan sitä, kuinka helposti tietyt piirteet tai ominaisuudet, joilla katsotaan olevan suojellusta arvoa, tuhoutuvat tai heikkenevät.

Suomessa suojelualueverkostolla on keskeinen rooli niin geomorfologisen ja geologisen monimuotoisuuden kuin alkuperäisen luonnon säilyttämisessä ja suojelussa tuleville sukupolville (Gillespie ym. 2008: 214–215). Geosuojelu mahdollistaa geologisen syklin osa-alueiden paremman tieteellisen tutkimuksen ja lisää geologista perintöämme, niin että tulevat sukupolvet pystyvät hyötymään ekosysteemien geologisista ja biologisista ominaisuuksista (El Wartiti ym. 2007: 416; Burek & Prosser 2008: 2). Suomessa suojelualueiden perustamissyöt ovat vaihdelleet aina maisema- tai virkistysarvoista tieteellisesti perustelluimpiin suojelukriteereihin, kuten eliölajien turvaamiseen. Geodiversiteetti-kohteet ovat jääneet vähemmälle huomiolle, eikä niitä juuri huomioida suojeluohjelma-alueiden valinnassa tai rajaamisessa. Erilaisten geomorfologisten muodostumien, kuten deltojen, soiden ja harjujen suojelu on kuitenkin yleistä esimerkiksi kansallispuistoissa, sekä maa-aineslain nojalla valtakunnallisesti suojelluissa harjijensuojeluohjelmissa (Polojärvi ym. 2000: 7).

### 3.1 Geopark

Geopark on maailmanlaajuinen verkosto, jonka kattojärjestelmänä toimii Yhdistyneiden kansakuntien (YK) kasvatus, tiede- ja kulttuurijärjestö UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*). Geopark-verkoston kuuluvat alueet ovat yhtenäisiä suojeltuja maantieteellisiä kokonaisuuksia, jotka sisältävät eri mittakaavoissa kansainvälisesti merkittäviä geologisia kohteita tai tieteellisesti erikoisia,

kauniita tai harvinaisia geologisia kokonaisuuksia (Gray 2013: 237). Patzakin ja Ederin (1998) ja Ederin (1999) mukaan Geopark-verkoston alkuperäinen tavoite on huomioida kansainvälisesti tärkeä geologinen kohde ja suojella sitä. Samalla tuetaan paikallista yhteisöä taloudellisella kehityksellä ja työllisyyden kasvulla, kuten esimerkiksi kannustamalla luomaan innovatiivisia paikallisia yrityksiä. Lisäksi Geopark-alueen on tarjottava koulutusta ympäristöstä, kehittää tieteellistä tutkimusta eri tieteenaloilla ja myötävaikuttaa geoturismiin. Geopark on alue, jolla on hyvin määritellyt rajat ja jolla on riittävän suuri pinta-ala paikallisen talouskehityksen palvelemiseksi. Kun nämä toiminnot ovat määritetty kestävän kehityksen osalta, UNESCO voi tunnustaa alueelle Geopark-statuksen (Henriques ym. 2011: 122; Gray 2013: 239–242). Geopark -verkosto luotiin vuonna 2000 neljällä kohteella: Haute-Provence (Ranska), Lesvos (Kreikka), Maestrazgo (Espanja) ja Vulkaneifel (Saksa), jonka jälkeen se on laajentunut nopeasti (Gray 2013: 237). Tällä hetkellä Geopark-statuksia on myönnetty 141 kappaletta (Member list 2020).

### 3.2 Geoturismi

Geoturismi on luonnonvaraisen matkailun muoto, joka pohjautuu geologiaan, geomorfologiaan ja maisemaan yrittäen minimoida matkailun vaikutuksia geosuojelukohteissa (Gray 2008: 295). Geoturismi takaa paremmat mahdollisuudet geodiversiteetin säilyttämiselle, edistää matkailua geoalueille parempien palveluiden ja puitteiden myötä sekä lisää maantieteen ymmärtämistä opetuksen avulla. Geoturismin muotoihin sisältyvät esimerkiksi vierailut geokohteilla ja geopoluilla, opastetut kierrokset geokohteilla ja erilaiset geoaktiiviteetit (Dowling 2009; Newsome & Dowling 2010: 4. Gray 2013: 124). Geoaktiiviteetit, kuten kiipeily, melonta ja geokätköily ovat riippuvaisia geodiversiteetistä (Gray 2013: 126). Geoturismia voidaan pitää tärkeänä tekijänä myös geologisen perinnön säilyttämisessä, vaikka tieteellinen yhteisö on alun perin aliarvioinut sen merkitystä (Fassoulas ym. 2012: 178). Geodiversiteetti on luultavasti tärkein resurssi geoturismissa, mutta on kuitenkin selvää, että kaikkea geodiversiteettiä ei voida hyödyntää geoturismissa. Täten geoturimissa hyödynnetään yleensä geoperintöä, jota edustavat geokohteet ja geomorfologiakohteet (Kubalikova 2013: 86).

## 4. Geodiversiteetin mittaamenetelmät

Biodiversiteetin tutkimiseen on kehitetty lukuisia erilaisia mittaustapoja, kun taas geodiversiteetin mittaaminen on vasta alkutekijöissään (Gray 2013: 432), eikä menetelmien voida vielä katsoa olevan täysin vakaita tai laajasti hyväksytyjä (Thomas 2012: 83–87). Monet tutkijat ovat tunnustaneet geodiversiteetin mittaamisen tärkeyden (Kozłowski 2004; Reynard & Panizza 2005; Pereira ym. 2007) ja geodiversiteetin tutkiminen onkin lisääntymässä (Alahuhta ym. 2020). Spatiaalisen geodiversiteetin mittaaminen on mahdollista geodiversiteetin elementeillä, geologisilla ja geomorfologisilla maanmuodostumilla ja niiden välisillä vuorovaikutuksilla sekä biodiversiteetin ja geodiversiteetin välisellä eroavaisuuksilla (Gray 2013: 432). Viime aikoina geodiversiteetin spatiaalista rakennetta on pyritty tutkimaan tilastollisesti ja kuvaillen. Luonnon monimuotoisuutta voidaan arvioida sekä kvalitatiivisilla että kvantitatiivisilla menetelmillä (Stepišnik & Trenchovska 2017). Niiden avulla voidaan ymmärtää geodiversiteetin määrissä tapahtuvia muutoksia ja ne voivat toimia välineenä kestäväälle kehitykselle esimerkiksi maankäytönsuunnittelussa (Gray 2013: 433). Rubanin (2010: 332) mukaan geodiversiteetin määrällinen arvioiminen vaatii kiireellistä huomiota, jotta ymmärretään eri alueiden geologisen tiedon tärkeys.

Geodiversiteetin kvantitatiivinen arviointi mittaa luonnon abioottisten elementtien lukumäärää ja moninaisuutta sekä jakautumista halutulla alueella. Sen avulla voidaan tunnistaa geodiversiteetin keskittymät, joille on ominaista korkea elementtityyppien määrä. Geodiversiteetin arvioimiseksi on kehitetty muun muassa kvantitatiivisia GIS-perusteisia menetelmiä (Stepišnik & Trenchovska 2017: 40, 44). Geodiversiteetin kvantitatiivisia menetelmiä on viime aikoina käytetty enenevässä määrin, kuten esimerkiksi Serrano ym. (2009), Pellitero ym. (2011, 2014), Hjort ja Luoto (2010, 2012), Pereira ym. (2013) ja Silva ym. (2014). Esimerkiksi Hjort ja Luoto (2012) ovat mitanneet geodiversiteettielementtien kokonaismäärää kaukokartoitusmenetelmillä tutkimusruuduittain Pohjois-Suomessa. Serrano ja Ruiz-Flaño (2007a) ovat puolestaan kehittäneet geodiversiteetti-indeksin (1), jonka avulla kuvataan fyysikaalisten elementtien vaihtelevuutta suhteessa tutkimusyksikön pinta-alaan. Geodiversiteetti-indeksi lasketaan seuraavasti:

$$(1) \quad Gd = \frac{EgR}{\ln S},$$

jossa  $Gd$  tarkoittaa geodiversiteetti-indeksiä,  $Eg$  kokonaisdiversiteettiä,  $R$  karkeusindeksiä (*roughness*),  $\ln$  luonnollista logaritmia ja  $S$  tutkimusyksikön pinta-alaa neliökilometrinä ( $\text{km}^2$ ). Indeksien avulla selviää myös tutkimusyksikön karkeus eli jokaisen yksikön pinnanmuotojen pienimuotoinen vaihtelu, johon vaikuttavat kohteen mikro- ja topoklimaattinen vaihtelevuus. Geodiversiteetti-indeksi ei kuitenkaan sovellu pienillä tutkimusyksiköille (Serrano & Ruiz Flaño 2007a: 392).

Pereira ja muut (2013) muodostavat tutkimusaineiston 25 x 25 m tutkimusruuduittain ja käyttävät pienimittakaavaisia karttoja geologiasta, geomorfologiasta, paleontologiasta ja maaperästä. Tutkimusruuduissa olevat muodostumat laskettiin yhteen ja tuotettiin geodiversiteetti-indeksi, jonka avulla pystyttiin määrittämään korkean geodiversiteetin alueet. Ruban (2010) on kehittänyt joukon erilaisia tilastollisia menetelmiä, joiden avulla tutkimusalueella mallinnettiin geodiversiteettiä geokohdetyyppien ja geokohteiden avulla.

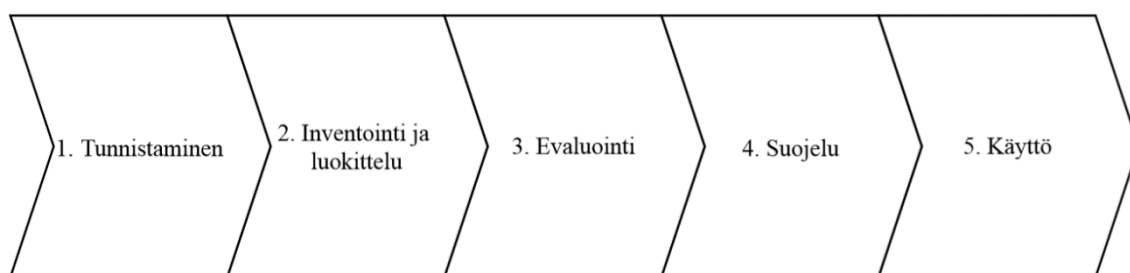
Kvantitatiivisten mittausmenetelmien etuina ovat objektiivisuus ja järjestelmällinen analyysi (Kubalikova 2013: 85; Houshold & Sharples 2016: 257). Tieteellisesti perusteltujen tulosten saamiseksi osa geodiversiteetin tutkijoista kannattaa kuitenkin useiden erilaisten mittausmenetelmien hyödyntämistä yhden ainoan sijaan (Jačková & Romportl 2008: 24). Esimerkiksi Stepišnikin ja Trenchovskan (2017: 40) mielestä laadulliset parametrit ovat parempia ja sopivampia alueiden geodiversiteetin arviointiin.

#### 4.1 Geokohteiden arvionti

Maapallon geodiversiteetin ja geosuojelun näkökulmasta geokohteet ovat tärkeitä (Hjort & Luoto 2010: 109). Geokohteita on arvioitu pääasiassa geologisten ja geomorfologisten geokohteiden kautta (Grandgirard 1999; Pereira ym. 2007; Reynard ym. 2007; Serrano ym. 2009; Ruban 2010; Brilha 2016). Geokohteiden arviointi voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: suoraan ja epäsuoraan arviointiin. Suorassa luokitteluarvioinnissa asiantuntijat tai asiantuntijaryhmät arvioivat geokohteet. Epäsuorassa arvioinnissa puolestaan voidaan käyttää ominaisuuksia tai parametrejä kuvaamaan ja arvioimaan yksittäisiä geokohteita. Tämän jälkeen voidaan käyttää

erilaisia menetelmiä, joiden avulla geokohteiden pisteytyksestä muodostetaan geokohteen lopullinen arvo (Bruschi ym. 2011: 132). Näiden menetelmien valinta vaihtelee kunkin tutkimuksen tarkoituksen mukaan (Reynard ym. 2007: 148–151). Kohteiden inventointiin ja arviointiin liittyy useasti subjektiivisuutta, erityisesti esteettisessä ja kulttuurisessa arvioinnissa, mitä ei voida koskaan täysin poistaa (Kubalikova 2013: 85; Brilha 2016: 133). Sharplesin (1995: 37–40) mukaan ajankohtaista tietoa selkeistä luokittelutavoista tarvitaan edelleen lisää.

Bruschi ja Cendrero (2005: 294) esittävät viisivaiheisen etenemiskaavan arvokkaiden geokohteiden valintaan, mikä myötävaikuttaa niiden suojeluun ja käyttöön (kuva 2) Geodiversiteettikohteiden kartoitus alkaa geologisen kirjallisuuden tarkastelusta, jonka jälkeen ne ja myös mahdolliset uudet geokohteet tunnistetaan kenttätöyssä. Inventoinnin tavoitteet voidaan määrittellä neljän kohdan avulla, joita ovat inventoinnin aihe tai teema, kuten esimerkiksi geologinen perintö. Toisena määritelykohtana on arvo, joka liittyy läheisesti alueen potentiaaliseen käyttöön (tieteellinen, opetuksellinen tai matkailullinen). Mittakaava liittyy puolestaan alueen kokoon, jossa inventaario toteutetaan (kansallipuisto, geopark, kunta, valtio). Alueen on oltava sopivan kokoinen, jotta inventaario voidaan toteuttaa järjestelmällisesti koko alueella. Viimeisenä tulee ottaa huomioon alueen inventointikohteen tarkoitus, joka voi liittyä kansalliseen geosuojelustrategiaan, geoturismin kehittämiseen tai esimerkiksi paikallisen geodiversiteetin edistämiseen (Brilha 2016: 121–124).



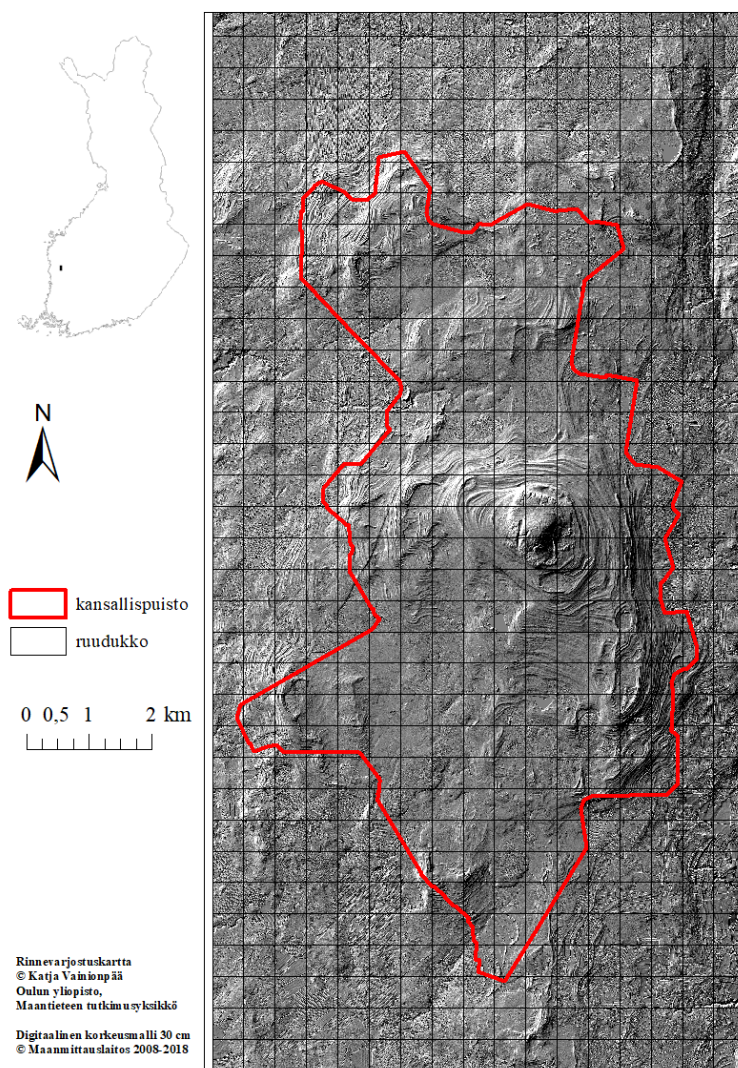
Kuva 2. Geokohteiden arvottamisen etenemiskaava.

Evaluointi muodostuu erilaisista tieteellisistä arvoista (Pereira ym. 2007; Reynard & Coratza 2007; Zouros 2007; Gray 2013) ja mahdollisista muista arvoista kuten kulttuurillisista, esteettisistä tai taloudellisista arvoista (Fassoulas ym. 2012: 180–182). Kenttätöön jälkeen potentiaalisten geokohteiden lista muunnetaan lopulliseksi listaksi,

jossa on kuvailtu jokaisen geokohteen ominaispiirteitä monipuolisesti. Suurin osa kohteiden arvioinnista voidaan täyttää kenttätyövaiheen aikana, mutta osa vaatii myöhempää tarkastelua. Esimerkiksi arviointiin liittyvää subjektiivisuutta voidaan vähentää myöhemmin kvantitatiivisen arvioinnin avulla (Brilha 2016: 123–125). Geodiversiteetin kvantitatiivinen arviointi on hyödyllinen työkalu, sillä se auttaa geokohteiden hallinnassa ja suojelussa. Sen avulla voidaan myös selvittää kestävän matkailun kehittämisen painopistealueita esimerkiksi geoturismissa ja koulutusmatkailussa (Henriques 2011: 120; Fassoulas ym. 2012: 188–190). Bruschin ja Cendreron (2005: 294) mukaan tunnistaminen, inventaario ja evaluointi ovat tärkeitä vaiheita, sillä niiden avulla selvitetään kuinka geokohteita lopulta käytetään ja suojellaan.

## 5. Tutkimusalue

Tutkimusalueena toimii Lauhanvuoren kansallispuisto, joka sijaitsee Etelä-Pohjanmaalla Kauhajoen ja Isojoen rajalla. Lisäksi pieni osa kuuluu Satakunnan maakuntaan Honkajokeen (Kalliola 1979; Metsähallitus 2019). Tutkimusalue (kuva 3) käsittää Lauhanvuoren kansallispuiston ja sen ympäröiviä alueita. Tutkimusalueen leveys on noin 8,5 kilometriä ja pituus noin 17 kilometriä. Tutkimusalueessa päädyttiin suorakulmion muotoon, sillä Lauhanvuoren kansallispuiston rajat ovat haastavat soveltaa ruutulähestymistapaan.



Kuva 3. Tutkimusalueen rinnevarjostuskuva, joka jaettiin 500 x 500 m tutkimusruutuihin 578 kpl.

Lauhanvuoren kansallispuisto perustettiin suojelemaan alueen erikoista geologiaa ja luontoa sekä erityisesti jääkaudesta jäljelle jäänyttä Länsi-Suomen korkeinta kohtaa Lauhanvuorta (Muukka & Koponen 2000: 49, 59; Rautalin 2002: 18). Osa Lauhanvuoren alueesta on kuulunut jo vuonna 1956 perustettuun Lauhanvuoren luonnonhoitometsään, jota on laajennettu useaan otteeseen ja myöhemmin vuonna 1982 alue sai virallisen kansallispuistostatuksen. Nykyään Lauhanvuoren kansallispuiston pinta-ala on kokonaisuudessaan 53 neliökilometriä (Helin & Leivo 2010: 10). Lauhanvuoren sekä Kauhanevan-Pohjakankaan kansallispuistot lähialueineen (Haapakeitaan soidensuojelualue, Hämeenkankaan harjoitus- ja monikäyttöalue,

Alkkianvuori, Kaidatvedet, Susivuori, Aitoneva ja Käskyvuori) pyrkivät saamaan kansainvälisen Geopark-nimityksen vuoden 2020 aikana (Karvinen 2017: 147).

Lauhanvuoren kansallispuisto sijoittuu luonnonmaantieteellisessä aluejaossa eteläisen Suomenselän alueelle (Kalliola 1979). Näyttävimmät nähtävyydet ovat karut mäntykankaat, lähteiköt, lähdepurot, allikkoiset suot ja kivijadat eli muinaiset rantakivikot (Metsähallitus 2019). Kansallispuiston korkein kohta, Lauhanvuori (62° 09' 07" P ja 22° 10' 30" I) nousee parhaimmillaan 231 metrin korkeuteen merenpinnasta (myöhemmin mpy), ollen täten yksi Länsi-Suomen korkeimmista kohdista (Karvinen 2017: 147). Kansallispuisto poikkeaa huomattavasti lähialueestaan ja sitä onkin kutsuttu Pikkulapiksi tai Länsi-Suomen Lapiksi (Metsähallitus 2019).

## 5.1 Alueen geologian ja geomorfologian kehittyminen

Jääkauden alkaessa kaksi miljoonaa vuotta sitten mannerjäätikkö kulutti Lauhanvuoren pintaa sekoittaen ja kerrostaen sekä ennen jääkautta että jääkaudella syntyneitä kerrostumia. Osa Lauhanvuoren rapautumisaineksista säilyi sekoittumatta (Salomaa 1983: 33). Veiksel-jääkauden aikana Suomea peitti 2–3 kilometriä paksu jäätikkö, joka oli paksummillaan nykyisen Pohjanlahden alueella (Peltier 1994). Yoldianmeren Ancylusjärveksi muuttumisen aikoihin, mannerjää alkoi vetäytyä Suomesta (Muukka & Koponen 2000: 54) ja sen alta paljastui noin 10 000 vuotta sitten Lauhanvuoren huippu (231 m mpy). Huippu oli noin yhden neliökilometrin kokoinen ja 30 metriä korkea merestä pilkottava lakialue (Lindroos ym. 1999: 15). Lakialue on supra-akvaattinen kalottivuori, joka tarkoittaa vedenpinnan yläpuolella olevaa eli vedenkoskematonta aluetta (Salomaa 1983: 30; Johansson ym. 2000: 10). Kalottivuori oli aluksi yksittäinen saari avovedellä, jonka rantoja aallot huuhtoivat (Olander 1934, Salomaa 1982b ja 1986).

Lauhanvuoren ylin ranta (203 m mpy) edustaa ylimpiä korkeimman rannan tasoja Länsi-Suomessa ja koko Suomessa (Salomaa 1982a). Lauhanvuoren ylimmän rannan osoittavat huuhtoutumisrajat, rantavallit ja -törmät (Aartolahti 1980). Tyrskyjen vaikutusta rantatörmän muodostajana on havaittavissa ainakin 218 metriin saakka (Olander 1934: 194). Noin 9400–8400 vuotta sitten Lauhanvuoren ylänköalue nousi Ancylusjärvestä ja rantaviiva siirtyi ylimmältä rannalta vuoren juurelle.

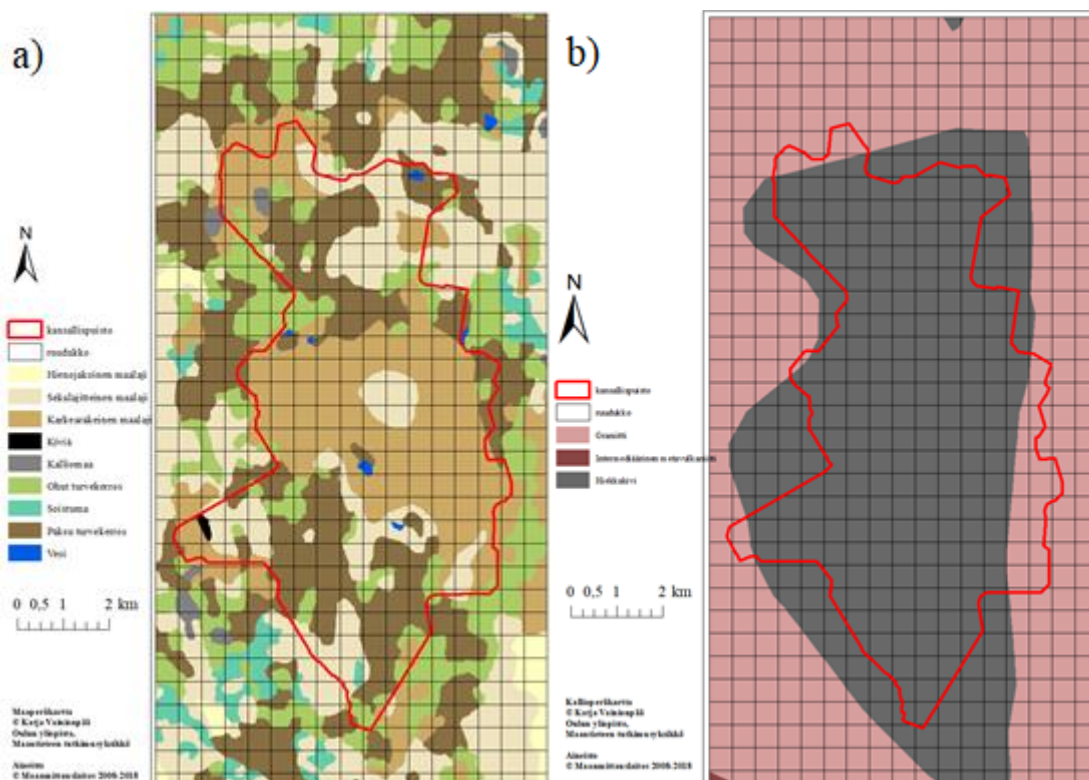


Rannansiirtymisnopeus oli tuolloin kahdeksan metriä tuhatta vuotta kohden eli noin kymmenkertainen nykyiseen maankohoamisnopeuteen verrattuna (Salomaa 1983: 37; Suominen & Varkki 1984: 35). Noin 6000 vuotta sitten Lauhanvuori oli kokonaan paljastunut vedestä maan kohoamisen myötä (Haapalehto ym. 2016: 20). Vuosisadassa rantaviiva siirtyi 1–2 kilometriä merelle päin (Salomaa 1983: 37) ja nykyisin etäisyys Lauhanvuoren huipulta Pohjanlahden rannikolle on noin 50 kilometriä (Helin & Leivo 2000: 8). Itämeren kehitysvaiheet ja jään kulku määräsivät mitkä alueet kulloinkin vapautuivat vedestä ja millaiseksi alueen topografia ja raekoostumus muodostuivat (Lindroos ym. 1999: 15). Tuhannen vuoden aikana meri muokkasi erilaisia ja eri ikäisiä rantamuodostumia Lauhanvuoren rinteille. Näistä muodostelmista merkittävimpinä ovat rantavallit, -kivikot, dyynit, rantatasanteet ja eroosiotörmät (Olander 1934: 187; Suominen & Varkki 1984: 35; Muukka & Koponen 2000: 54).

Lauhanvuoren kallioperä muodostuu porfyrygraniitista ja kvartsihiekkalaatasta (kuva 4) (Salomaa 1983; Helin & Leivo 2000: 9). Alueen maaperä koostuu pääasiassa viimeisen mannerjäätikön kuljettamasta ja kerrostamasta moreenista (kuva 4). Seismisten luotausten perusteella maaperän paksuus vaihtelee muutamasta metristä kymmeneen metriin. Paksuimmillaan se on Lauhanvuoren pohjoispäädyssä noin 30 metriä (Salomaa 1983: 33–34). Jään sulamisvaiheessa Lauhanvuori sijaitsi melko passiivisen jään alueella jäätikkövirtojen välissä, missä jään kuluttava toiminta on ollut melko vähäistä ja täten paksu moreenipeite on säilynyt (Auri 2009). Moreenin kerrostumisaikaa on vaikea määrittää, sillä alueella esiintyy viimeistä jäätiköitymistäkin vanhempia kerrostumia ja kairauksien perusteella voidaan erottaa selvästi kaksi eri-ikäistä moreenia (Perttunen 1985: 227).

Lauhanvuoren lakialueen moreeni on vähäkivistä ja löyhää sen huuhtoutumattomuutensa vuoksi. Alarinteiden moreeni on puolestaan kivistä, mistä aallot ovat huuhtoneet hienoaineksen kokonaan tai osittain pois. Tästä syystä kivet ovat rikastuneet pintaan ja muodostaneet esimerkiksi rantakivikoita (Salomaa 1983: 34). Korkeimman rannan (203 m mpy) alapuolella moreenin päällä kohoumaa kiertää porrasmaisia valleja, jotka ovat yleensä parin metrin vahvuisia hiekka- ja sorakerroksia (Salomaa 1983: 33–34; Suominen & Varkki 1984: 35). 180–160 metrin korkeudesta laskiessa yleisin pintamaalaji hiekan ja soran ohella on turve (Salomaa 1983: 39).

Maapeitteessä ei esiinny juuri lainkaan savea, sillä seutu asettuu 130 metrin korkeuskäyrästä alkaen hienojakoisten vesisedimenttien yleisen esiintymisrajan yläpuolelle (Olander 1934: 185–187). Aallokoilta suojaisissa paikoissa, kuten järvissä ja lahden perukoissa on kerrostunut eloperäisiä aineksia sisältäviä liejuja (Niemelä & Raikamo 1983: 16).



Kuva 4. Tutkimusalueen (a) maaperätyypit ja (b) kallioperän kivilajityypit tutkimusruuduittain.

## 5.2 Lauhanvuoren ilmasto ja lajisto

Etelä-Pohjanmaan ilmastossa mantereisuus rannikolta sisämaahan päin korostuu Suomenselän alueella. Lauhanvuoren sademäärä vaihtelee 450–600 mm välillä vuoden aikana ja ylävä alue on ympäristöään selvästi sateisempi ja viileämpi. Ylävällä alueella sataa myös enemmän lunta ja se sulaa myöhemmin. Kangasrinteillä puolestaan kuivuus ja tuulisuus on ilmeistä. Kasvukauden pituus vaihtelee 160 päivän molemmilla puolilla (Suominen & Varkki 1984: 35; Väre 1998: 13).

Lauhanvuoren kasvillisuuden tekevät erikoiseksi pohjoisten ja eteläisten piirteiden kohtaaminen, jossa näkyvät olennaisesti rehevyyden ja karuuden jyrkät vaihtelut

(Muukka & Koponen 2000: 55). Kasvimaantieteellisesti Lauhanvuoren kansallispuisto sijaitsee keskiboreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen etelärajalla Suomenselällä (Ahti ym. 1968). Kansallispuiston alueesta noin 60 prosenttia on metsiä, joista suurin osa (noin 80 prosenttia) on kuivaa ja karua kangasmetsää. Ruohoisia metsätyppejä, kuten lehtomaisia kankaita ja lehtoja, tavataan kulttuurivaikutteisilla paikoilla kuten sorakuoppien läheisyydessä, joissa maan alla virtaa pohjavesi. Lauhanvuoren ydinosaat ovat pääasiassa hyvin luonnontilaisia tai luonnontilaisen kaltaisia metsiä (Haapalehto ym. 2016: 17) ja luonnontilaisuus ilmenee myös tulokaslajien vähyydessä (Suominen & Varkki 1984: 35, 45). Valtaosa metsistä on määritetty edustavan Etelä-Suomen metsätyyppiä ja pieni osa edustaa Pohjanmaan–Kainuun metsätyyppiä (Helin ja Leivo 2000).

Kalottialueella kasvillisuus on rehevämpää, paikoin mäntyvaltaista ja koivusekoitteista joko kuivahkoa tai tuoretta kangasta. Valtalajeina ovat metsäkurjenpolvi (*Geranium sylvaticum*), metsätähti (*Trientalis europaea*) ja mustikka (*Vaccinium myrtillus*). Sammalikko on tuoreelle kankaalle ominaista (Suominen & Varkki 1984: 39; Mäkinen ym. 2011: 142–143; Konttinen 2014: 9). Lakitasanteen pohjoisrinteellä on kaikkein rehevintä ja ruohoisinta (Suominen & Varkki 1983: 56; Suominen & Varkki 1984: 39). Tuoreen lakimetsän alapuolella 205–210 m tasosta alaspäin avautuvat laajat kangasrinteet. Hiekka- ja soramaaperä on aallokon huuhtoma ja kerrostama kasvualusta, joka on hyvin kuiva ja niukkaravinteinen (Johansson ym. 2000: 20–22). Valtalajeja ovat mänty (*Pinus sylvestris*), kanerva (*Calluna vulgaris*) ja jäkälät (Suominen & Varkki 1982) ja paikoitellen kankaan alarinteessä esiintyvää rehevää kuusivaltaista metsää. Rinnekankaiden syvemmissä painanteissa on keväisin ja syksyisin vettä. Kosteassa kasvuympäristössä voi havaita esimerkiksi harmaalepän (*Alnus incana*) ja hietakastikan (*Calamagrostis epigejos*). Monet laakson pohjat ovat sammaloituneet nevamaisiksi soiksi (Suominen & Varkki 1983: 57) ja monet korpimaiset metsälaikut liittyvät lähteisiin ja lähdepuroihin (Suominen & Varkki 1984: 41–42).

Lauhanvuoren alueella voi tavata uhanalaisia ja silmälläpidettäviä lajeja kuten ilveksiä (*Lynx lynx*), karhuja (*Ursus arctos*), liito-oravia (*Pteromys volans*), saukkoja (*Lutra lutra*), susia (*Canis lupus*) ja purotaimenia (*Salmo trutta fario*) (Tuominiemi ym. 2011: 34, 36, 74). Vuonna 2016 Lauhanvuorella aloitettiin MetsäpeuraLIFE -hanke, jonka

tavoitteena on palautusistuttaa metsäpeura (*Rangifer tarandus fennicus*) alueelle, jolla se on aikaisemmin esiintynyt. Hanketta koordinoi Metsähallituksen eräpalvelut ja siihen osallistuu kaikkiaan kymmenen hankekumppania (MetsäpeuraLIFE 2019). Suuret ja yhtenäiset boreaaliset luonnonmetsät ovat arvokkaita myös linnustollisesti (Haapalehto ym. 2016: 47). Alueella voi havaita esimerkiksi liron (*Tringa glareola*), keltävästäräkin (*Motacilla flava*), sinisuohaukan (*Circus cyaneus*), kehrääjän (*Caprimulgus europaeus*), mustakurkku-uikun (*Podiceps auritus*) ja suokukon (*Calidris pugnax*) (Tuominiemi ym. 2011: 35; Konttinen 2014: 9).

### 5.3 Hydrologia

Lauhanvuoren alue jakaantuu etelä-pohjoissuunnassa kahteen vesistöalueeseen. Länsiosa kuuluu Lapväärtinjoen-Isojoen vesistöalueeseen ja itäosa Karvianjoen vesistöalueeseen. Koko Lapväärtinjoen-Isojoen vesistöalue saa alkunsa Lauhanvuoren lähteistä ja puroista (Olander 1934: 185; Tuominiemi ym. 2011: 22). Runsaiden sateiden ja karkearakeisen maaperän ansioista Lauhanvuori muodostaa runsaasti pohjavettä, joka sijaitsee kahdessa tasossa: rantahiekassa ja -sorassa moreenin päällä sekä moreenin alla hiekkakivikalliossa ja jäätikköjokimateriaalissa (Muukka & Koponen 2000: 55). Varsinaista pohjaveden muodostumisaluetta kansallispuistossa on yhteensä 386 hehtaaria (Haapalehto ym. 2016: 22), muodostaen täten maakunnan huomattavimman pohjavesivaraston (Salomaa 1983: 38). Pohjavesi purkautuu lähteinä soiden reunoilla ja muinaiskivirannikoiden juurilla, noin 150 metriä mpy (Salomaa 1983: 38).

Lauhanvuorella soiden syntyminen liittyy pohjaveden nousuun (Suominen & Varkki 1984: 35). Suot ovat alkaneet muodostua Lauhanvuoren rinteillä yli 9000 vuotta sitten (Rainamo & Heikkilä 1999: 19-20). Lauhanvuoren kansallispuiston kokonaispinta-alasta vajaa puolet on soita (Tuominiemi ym. 2011: 28). Soistuminen on Lauhanvuorella yleensä hidasta johtuen rinteiden kaltevuudesta, läpäisevästä hiekkamaasta ja rinteiden happipitoisista sekä nopeasti virtaavista pohjavesistä. Kasvienjäännökset ehtivät hajota ennen soistumista, minkä takia alueen suot ovat muodostuneet pääasiassa niukkaravinteisiksi, laajoiksi ja aukeiksi (Salomaa 1983: 39–40; Suominen & Varkki 1983: 59–60).

Lauhanvuoren alueella ei ole varsinaisia jokia, mutta puroja esiintyy runsaasti. Purot ja uomat saavat alkunsa Lauhanvuoren lähteistä ja ne virtaavat pohjoisessa, lännessä ja lounaassa Isojokeen ja itäpuolella Pahaluoman Karvianjokeen (Suominen & Varkki 1984: 35; Haapalehto ym. 2016: 22). Vesistöjä alueella on niukasti, yhteensä noin 12 hehtaaria (Konttinen 2014: 8), joista järvet ja lammet kattavat 9,4 hehtaaria. Alueen suurin järvi on Spitaalijärvi (6,7 ha) ja muut merkittävät lammet ovat Kaivolammi (1,2 ha) ja Ahvenlammi (0,7 ha) (Salomaa 1983: 39). Lauhanvuoren järvet ja lammet ovat käytännössä humuspitoisia, karuja ja tummavetisiä umpilampia (Haapalehto ym. 2016: 23). Niiden syvyys on vain 1,5–2 m ja niissä on noin metrin vahvuinen lieju/mutakerros hiekan ja soran päällä (Salomaa 1983: 39). Lisäksi alueella on useita lampareita ja muutamia kausikosteita painanteita eli arokosteikkoja, jotka kuivuvat kesäisin jopa kokonaan (Suominen & Varkki 1984: 35; Haapalehto ym. 2016: 23–24).

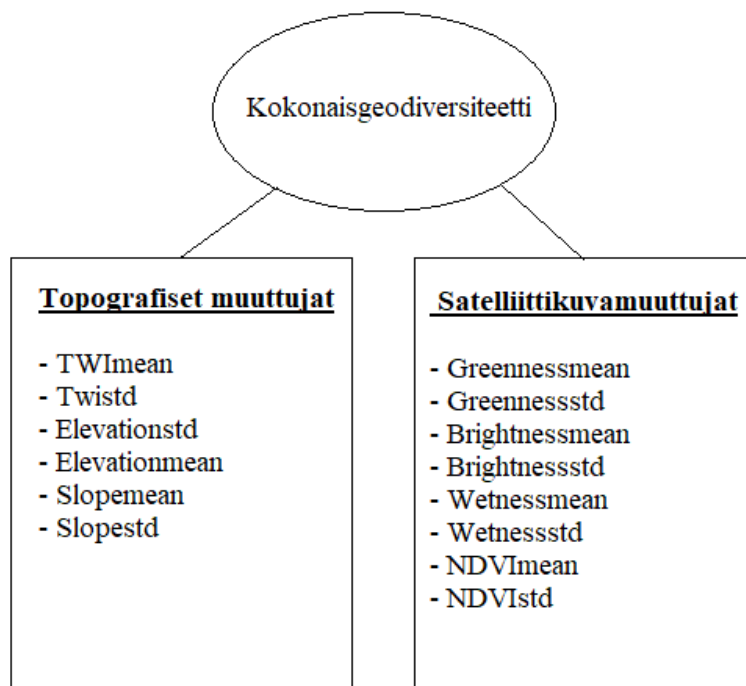
#### 5.4 Ihmisen toiminta

Lauhanvuori on sekä paikallinen että maakunnallinen virkistyskohde. Puistoon tehdään vuosittain noin 10 000 käyntiä (Konttinen 2014: 9). Lauhanvuori soveltuu hyvin vaeltajille ja erityisesti päiväretkeilijöille, pyöräilijöille sekä hiihtäjille monipuolisten reittien muodossa. Lisäksi kansallispuistosta voi etsiä geokätköjä (Rautalin 2002: 18; Konttinen 2014: 7, 32). Luonnontilaisessa kansallispuistossa ihmisen vaikutus on vähäinen, mutta kuitenkin havaittavissa. Ihmisen jälkiä Lauhanvuorella ovat suoralinjaiset palokujat, myllykiviteollisuuden jättämät myllynkiven aihiot, vanhat tervahaudat ja rappeutuneet tukkikämpät (Suominen & Varkki 1984: 36; Muukka & Koponen 2000: 55). Lisäksi ihmisen jälkiä voi havaita kolmessa museoviraston muinaisjäännösrekisterissä olevassa kohteessa: Korsukankaan kylmämuuratussa seinämässä, Korsukankaan kuopissa ja Vanhanpruukin kivikehissä (Haapalehto ym. 2016: 33–34).

## 6. Aineisto

Tutkielman aineiston päätarkoituksena on analysoida kahden eri selittävän muuttujaryhmän itsenäistä ja yhteisvaikutusta selitettävään ilmiöön eli geodiversiteetin runsauteen (Geosum). Aineiston muuttujaryhmät on jaoteltu satelliittikuvamuuttujiin ja topografisiin muuttujiin kuvan 5 mukaisesti. Satelliittikuvamuuttujiin valittiin vihreyden

keskihajonta (Greennessstd), vihreyden keskiarvo (Greennessmean), kirkkauden keskihajonta (Brightnessstd), kirkkauden keskiarvo (Brightnessmean), kosteuden keskiarvo (Wetnessstd), kosteuden keskiarvo (Wetnessmean), kasvillisuusindeksin keskiarvo (NDVImean) ja kasvillisuusindeksin keskihajonta (NDVIstd). Topografisiin muuttujiin valittiin topografisen maaperän kosteusindeksin keskiarvo (TWImean), topografisen maaperän kosteusindeksin keskihajonta (TWIstd), korkeuden keskiarvo (Elevationmean), korkeuden keskihajonta (Elevationstd), rinteiden kaltevuuden keskiarvo (Slopemean), rinteiden kaltevuuden keskihajonta (Slopestd). Kokonaisgeodiversiteetti ja selittävät muuttujat yhdistettiin yhdeksi Excel-taulukoksi, jonka avulla tilastolliset analyysit toteutettiin. Kyseiset muuttujat ja niiden lyhenteet on esitetty taulukossa 1.



Kuva 5. Mallinnuksen vaste ja selittävät muuttujat. Muuttujista käytetyt lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

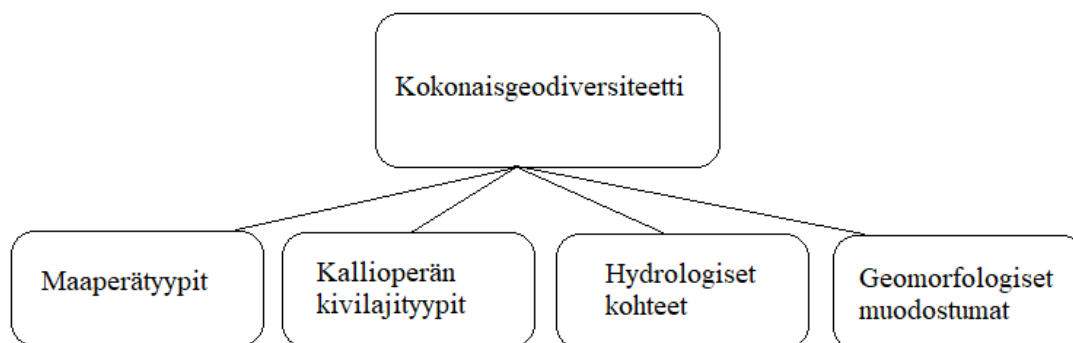
Taulukko 1. Aineistosta lasketut muuttujat ja niiden käytetyt lyhenteet. DEM tarkoittaa digitaalista korkeusmallia ja Sentinel satelliittikuvia.

<b>Muuttuja</b>	<b>Selitys</b>	<b>Mittayksikkö</b>	<b>Lähde</b>
Geosum	Kokonaisgeodiversiteetti	geodiversiteettityyppien määrä/ruutu	Maastokartta, DEM
TWI <sub>mean</sub>	Topografisen kosteusindeksin keskiarvo	indeksi	DEM
TWI <sub>std</sub>	Topografisen kosteusindeksin keskihajonta	indeksi	DEM
Elevation <sub>mean</sub>	Korkeuden keskiarvo	metri (m)	DEM
Elevation <sub>std</sub>	Korkeuden keskihajonta	metri (m)	DEM
Slop <sub>mean</sub>	Rinteen kaltevuuden keskiarvo	aste (°)	DEM
Slop <sub>std</sub>	Rinteen kaltevuuden keskihajonta	aste (°)	DEM
Greenes <sub>mean</sub>	Satelliittiaineistosta tasseled-menetelmällä muunnettu vihreyden keskiarvo	indeksi	Sentinel
Greenes <sub>std</sub>	Satelliittiaineistosta tasseled-menetelmällä muunnettu vihreyden keskihajonta	indeksi	Sentinel
Brightness <sub>mean</sub>	Satelliittiaineistosta tasseled-menetelmällä muunnettu kirkkauden keskiarvo	indeksi	Sentinel
Brightness <sub>std</sub>	Satelliittiaineistosta tasseled-menetelmällä muunnettu kirkkauden keskihajonta	indeksi	Sentinel
Wetness <sub>mean</sub>	Satelliittiaineistosta tasseled-menetelmällä muunnettu kosteuden keskiarvo	indeksi	Sentinel
Wetness <sub>std</sub>	Satelliittiaineistosta tasseled-menetelmällä muunnettu kosteuden keskihajonta	indeksi	Sentinel
NDVI <sub>mean</sub>	Kasvillisuusindeksin keskiarvo	indeksi	Sentinel
NDVI <sub>std</sub>	Kasvillisuusindeksin keskihajonta	indeksi	Sentinel

## 6.1 Kokonaisgeodiversiteetti

Aineiston kokonaisgeodiversiteetillä (Geosum) tarkoitetaan eri geomorfologisten muodostumien, maaperätyyppien, kallioperän kivilajityyppien ja hydrologisten kohteiden kartoitettua lukumäärää tutkimusruutua kohden (kuva 6). Muodostumat kartoitettiin ja laskettiin kallio- ja maaperäkartojen, korkeusmallin, ilmakuviin sekä maastokarttojen avulla ArcGIS-ohjelmistolla. Kokonaisgeodiversiteettiä laskettaessa tutkimusruudulta laskettiin ruudussa näkyvät prosessit, muodostumat tai elementit siten, että yhtä ruutua kohden huomioitiin yksi elementti tai prosessi ainoastaan kerran. Tutkielman aineistovalinnoissa seuratiin aikaisempia tutkimuksia (ks. Hjort & Luoto

2010: 110), mutta kokonaisgeodiversiteetin kartoituksessa otettiin huomioon myös maaperä. Esimerkiksi Serrano ja Ruiz-Flaño (2007b) huomioivat maaperätyypit yhtenä geodiversiteetin osa-alueena.



Kuva 6. Kokonaisgeodiversiteetin osa-alueet.

Geomorfologiset muodostelmat tunnistettiin ilmakuvista havaittavien tiheyserojen, harmaiden sävyjen ja korkeuserojen avulla (Demek 1972: 41). Korkeusmallin vinovalovarjoste korosti hienovaraisia topografisia piirteitä kuten rinteitä, terasseja ja laaksoja, mitkä pystyttiin tarkasti havaitsemaan tutkimusruuduissa (Demek 1972: 44). Lisäksi tunnistamista helpottivat kasvillisuudessa esiintyvät muutokset ja erilaiset maankäyttömuodot (Demek 1972: 41), kuten esimerkiksi kivijatojen geotooppien kasvittomuus. Tutkimusruutuja analysoitaessa on huomionarvoista, että kaikki muodostumat eivät ole toisistaan riippumattomia tai täysin itsenäisiä, kuten esimerkiksi moreeni maalajina tai kumpumoreeni muodostumana (Hjort & Luoto 2012).

Geomorfologiset muodostumat luokiteltiin kansallisen geomorfologisen kartoitustavan mukaan (Fogelberg & Seppälä 1986). Hjort ja Luoto (2010: 76) ovat luokitelleet kartoitetut ominaisuudet kymmeneen prosessiryhmään niiden syntyperän mukaan. Muodostumat voivat todellisuudessa olla monien prosessien yhteisvaikutuksen tulosta, mutta tutkimuksen selkeyden takia muodostumat jaoteltiin juuri niiden primääriseen muodostumisprosessin perusteella. Hjortin ja Luodon (2010) käyttämää luokittelua hyödynnettiin myös tässä tutkielmassa, mutta sitä sovellettiin tutkimusalueelle sopivaksi. Muodostumat jaoteltiin laajoihin prosessiryhmiin seuraavalla tavalla: biogeeninen, polygeeninen, glasigeeninen, glasifluviaalinen, litoraalinen, mariinen, ja eolinen (liite 1).



Maaperä jaettiin yhdeksään eri maalajiluokkaan: kalliomaa, sekalajitteinen maalaji, karkearakeinen maalaji, kivikko, hienojakoinen maalaji, soistuma (0–0,3 m turvetta), ohut turvekerros (0,3–0,6 m turvetta) ja paksu turvekerros (yli 0,6 m turvetta) ArcGIS-ohjelmalla. Maaperäaineisto saatiin hakku.fi-palvelun kautta ja se on tuotettu vuosien 2002–2009 aikana. Kartoitussmittakaava on maaperäaineiston osalta 1:50 000–1:200 000, jolloin pienimmät maalajikuviot ovat noin 6 hehtaarin kokoisia. Biogeeniset muodostumat, kuten suot on kartoitettu maaperätyyppeihin, eikä niitä täten ole huomioitu geomorfologisessa muodostumisissa. Lisäksi hydrologiset kohteet (järvet, lammet ja joet) kartoitettiin ja laskettiin maaperäaineiston perusteella ArcGIS-ohjelmalla. Kallioperän kivilajityypit kartoitettiin ja laskettiin ArcGIS-ohjelmalla kallioperäaineistosta, joka on hankittu hakku.fi-palvelun kautta. Kallioperäaineisto on 1:200 000 mittakaavassa, joka koostuu kivilajiyksikköaluetasosta ja viivamaisista tasoista, jossa esitetään siirroksia, muotoviivoja ja juonia.

## 6.2 Topografiset muuttujat

Tutkielman topografisia muuttujia ovat korkeus (elevation), rinteiden kaltevuus (slope) ja topografinen maaperän kosteusindeksi (TWI). Muuttujavalintoja voidaan pitää perusteltuina, sillä korkeus ja rinteiden kaltevuus ovat monipuolisia ja yleisesti käytettyjä topografisia muuttujia geomorfologisissa tutkimuksissa (Moore ym. 1991: 5; Etzelmüller 2000: 130-132). Topografiset muuttujat on saatu Maanmittauslaitoksen tuottamasta digitaalisesta korkeusmallista, jonka ruutukoko on 2 x 2 m ja tarkkuus 30 cm. Korkeusmalli on haettu Paituli-paikkatietopalvelusta ja se on koostettu vuosien 2008–2018 aikana. Muuttujien laskemiseen käytettiin ArcGIS-ohjelmiston *zonal*-funktia.

Maaperän kosteutta kuvaavan topografisen kosteusindeksin oletuksena on, että maan pinnanmuodot ja valuma-alueen koko ohjaavat veden liikkeitä ja virtausta maaperässä. Mitä suurempi on valuma-alue ja mitä loivempi on rinne, sitä suurempi on kosteusindeksi. Kosteusindeksin laskentatapa on yksinkertainen ja hyvin yleisesti käytetty (Beven & Kirkby 1979). Kosteusindeksi (2) lasketaan seuraavalla tavalla:

$$(2) \quad twi = \ln(\alpha/\tan\beta),$$

jossa TWI on topografisen kosteusindeksin arvo rasteripikselissä,  $\ln$  on luonnollinen logaritmi,  $\alpha$  on yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala (m<sup>2</sup>) ja  $\beta$  on rinteiden kaltevuusasteina ilmaistuna (Moore ja Wilson 1992).

### 6.3 Satelliittikuvamuuttujat

Satelliittikuvasta laskettuja muuttujia ovat kirkkaus (Brightness), vihreys (Greenness) ja kosteus (Wetness) ja kasvillisuusindeksi (NDVI, Normalized difference vegetation index). Muuttujat laskettiin Sentinel-2a satelliittikanavien avulla, jotka on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Käytetyt Sentinel-2a kanavat ja niiden aallonpituudet (Sentinel-2A Satellite sensor 2019).

Kanavat	Sentinel-2 kanavat	Aallonpituus (µm)	Spatiaalinen resoluutio (m)
B2	Sininen	0,49	10
B3	Vihreä	0,56	10
B4	Punainen	0,665	10
B8	NIR (lähi-infra)	0,842	10

Linearisella kanavamuunnoksella (Tasseled cap) Sentinel-satelliittikuvan alkuperäisistä kanava-arvoista (B2, B3 ja B4) muodostettiin maaston fyysisiä ominaisuuksia vastaavat kuvat. Muunnos laskee uusia tasoja tutkimuksiin perustuvilla globaaleilla kanavakohtaisilla kertoimilla (Crist & Cicone 1984). Lineaarinen kanavamuunnoslaskenta valmistettiin ArcGIS:in *Raster Calculator* -toiminnolla. Tasseled cap -muunnoksen etuna on, että hankalasti erottuvat ominaisuudet saattavat korostua selvemmin. Yleisimmät käytetyt kanavat ovat kirkkaus, vihreys ja kosteus, jotka kuvaavat maaperän kasvuolosuhteita. Muunnetuista kanavamuunnoksista lasketaan keskiarvot ja keskihajonnat käyttämällä ArcGIS:n *zonal*-funktiota. Keskiarvo kuvailee keskeisiä oloja tutkimusruudussa, kun taas keskihajonta kuvailee vaihtelevuutta (Hjort & Luoto 2012: 76).

NDVI-indeksi (3) valikoitui analyysiin mukaan kasvillisuutta kuvaavana muuttujana, koska se on aikaisemmissa tutkimuksissa todettu korreloivan voimakkaasti kasvillisuuden biomassan kanssa erilaisissa ekosysteemeissä (Jackson & Huete 1991: 188). NDVI-arvot lasketaan seuraavalla kanavamuunnoksella:

$$(3) \quad NDVI = (B8 - B4)/(B8 + B4),$$

jossa NDVI-kasvillisuusindeksi viittaa lehtivihreän määrään, B8 viittaa kanavaan, joka heijastaa lähi-infrapunaista ja B4 kaistaan, joka absorboi punaista valoa (taulukko 2). NDVI-indeksin keskiarvo kuvaa primäärituotantoa ja keskihajonta kuvaa alueen tuottavuuden vaihtelevuutta (Parviainen ym. 2010: 302).

#### 6.4 Lauhanvuoren geokohteet

Tutkielman aineisto koostuu kokonaisgeodiversiteetin ja kahden muuttujaryhmän lisäksi Lauhanvuoren 11 geokohteen arvioinnista. Geokohteella tarkoitetaan geologista perintökohdetta, monumenttia, objektia tai osia geologisesta ympäristöstä, jotka ovat mahdollisia tutkimus- tai vierailukohteita (Ruban 2010: 326). Lauhanvuoren geokohteet valittiin geologisen tutkimusaineiston ja geologisen kirjallisuuden sekä maastokäyntien perusteella (kuva 13).

##### **Lauhanvuoren hiekkakivi**

Graniittisen peruskallion päällä laattamaisena muodostumana sijaitsee tätä paljon nuorempi kambrikautinen ja Suomessa harvinainen kvartsihiekkalaatta (kuva x) (Tynni & Hokkanen 1982). Lauhanvuoren hiekkakivi syntyi noin 700-600 miljoonaa vuotta sitten vendikaudella, kun Suomi sijaitti lähellä päiväntasaajaa. Silloisen sijainnin ja siellä vallitsevien olosuhteiden takia porfyrygraniitti alkoi rapautua ja rapautunut aines kulkeutui matalaan rantaveteen, jossa hiekka kerrostui kiinteäksi hiekkakivikallioksi huokosvedessä olevan piin takia. Hiekan kerroksellinen rakenne on kivessä selvästi nähtävissä (Muukka & Koponen 2000:54; Tuominiemi ym. 2011; 21; Karvinen 2017: 151). Lauhanvuoren hiekkakivilaatta kattaa noin 60 neliökilometriä, ollen Suomen suurin kvartsihiekkakiviesiintymä (Simonen & Kouvo 1955: 75).

Lauhanvuoren hiekkakivi koostuu pääasiassa hyvin pyörityneistä kvartsirakeista ja on väriltään valkoista, vaaleanpunaista, keltaista tai ruskeaa. Hiekkakivestä löytyy myös vähäisissä määrin graniittisirpaleita, maasälpää, magnetiittia ja zirkonia. Toisinaan hiekkakivi sisältää myös fosforipitoisia savipalloja (Salomaa 1983: 30–31). Hiekkakiven raekoko vaihtelee suuresti sen sijainnin mukaan, 0,2–0,5 mm välillä (Simonen & Kouvo 1955: 78). Seismisten luotausten perusteella Lauhanvuoren huipun kohdalla hiekkakivilaatta on 40–50 metriä paksu ja ohentuu reunojaan kohti 10 metriin.

Kiintokalliona hiekkakiveä on näkyvissä vain muutamassa paikassa, mutta irtolohkareina niitä näkee kivijadoissa kasoittain (Olander 1983: 30; Olander 1934: 187). Pehmeä hiekkakivi ei ole aikojen saatossa kulunut pois Lauhanvuorelta, kuten muualla eteläisessä Suomessa on tapahtunut (Tuominiemi ym. 2011: 21; Haapalehto ym. 2016: 17). Lauhanvuoren hiekkakivilaatan säilyminen nykypäivään asti selittyy alueen heikolla eroosiolla ja kvartsilla, joka on itsessään kestävin tavallisista mineraaleista. Oletettavasti myös kallioperän lohkoliikunnot ovat vaikuttaneet hiekkakiven säilymiseen ja sijaintiin suhteellisen korkealla, sillä Lauhanvuori sijaitsee vanhojen murroslaaksojen rajaamassa kalliolohkossa (Simonen & Kouvo 1955: 75; Salomaa 1983: 31–32).

### **Kiviharjun rantavalli**

Kookkain rantavalli on Kiviharjun rantavalli, joka on lähes 5 metriä korkea ja yli kilometrin pituinen (Salomaa 1983: 35). Se on syntynyt jyrkemmän rantapalteen sivustoille ja suojapuolelle, jossa on ollut runsaasti helposti kuluva pohjamaata (Olander 1934: 193). Kiviharjun rantavallissa aineksen raekoko vaihtelee. Loivissa kohdissa raekoko on noin yhden millimetrin kokoluokkaa ja jyrkemmissä kohdissa sekä varsinkin vallin harjalla aines muodostuu pyörityneistä hiekkakivilaatoista, mukulakivistä ja sorasta, joka on 0,3–1 metrin kokoluokkaa (Olander 1934: 192).

### **Kärkiluoman dyyni**

Lauhanvuoren dyynit ovat syntyneet jäätikön sulamisen jälkeen noin 8000–10 000 vuotta sitten vallinneissa olosuhteissa, jolloin jäätikön tai jääjärven alta paljastunut maa joutui alttiiksi jäätiköltä puhaltaneille voimakkaille tuulille (Johansson ym. 2000: 22). Lauhanvuoren suurin, U-kirjaimen muotoinen ja 7–8 metriä korkea dyyni sijaitsee Kärkiluoman varrella (Salomaa 1983: 35–36). Kärkiluoman dyyni on suuntautunut poikittain vallitsevaan tuulen tulosuuntaan nähden (Mäkinen ym. 2011: 93).

### **Aumakivi**

Lauhanvuoren hiekkakivilaatan ulkopuolella näkee yksittäisiä tai ryhmissä olevia punertavia porfyrygraniittipaaseja (Suominen & Varkki 1984: 33–35). Ne ovat syntyneet graniitin syvärapautumisen tuloksena tertiäärikauden alkupuolella 70–20 miljoonaa vuotta sitten. Tällöin ilmasto oli trooppisen lämmin ja kostea, mikä aiheutti

hyvin voimakasta kemiallista rapautumista. Kalliopaasien pyöreys johtuu graniitin kuutiollisesta rakoilusta, jolloin rapautumisliuokset tunkeutuvat kulmista syvemmälle ja kivi hilseilee vähitellen pallomaiseksi (Salomaa 1983: 32–33). Rapautuneen kallion ehjiksi jääneitä ytimiä kutsutaan tooreiksi (Salomaa 1983: 32; Suominen & Varkki 1984: 33–35). Suurin toori Lauhanvuorella on Aumakivi (kuva 7), joka sijaitsee Metsähallituksen metsätalousmaalla kansallispuiston rajojen ulkopuolella (Haapalehto ym. 2016: 34). Jäljellä oleva ydinkivi on tilavuudeltaan yli 200 m<sup>3</sup> (Salomaa 1986: 68). Kivi muistuttaa muodoiltaan jossain määrin siirtolohkareta, mutta tästä poiketen se sijaitsee alkuperäisellä paikallaan (Haapalehto ym. 2016: 20).



Kuva 7. Aumakivi eli Lauhanvuoren toori-muodostuma (Kuva: Katja Vainionpää 23.8.2019).

Yleensä toori-muodostumat sijaitsevat Suomessa lakialueilla ja Lapin jäänjakajavyöhykkeellä missä jäätikönkulutus on ollut heikkoa, mutta Lauhanvuorella sijaintipaikka on alarinteellä ja etelämpänä (Salomaa 1983: 33; Söderman ym. 1983). Aumakiven säilymisen edellytyksenä on ollut alueen kallion heikko jäänkulutus sekä aikaisemmin laajemmalle ulottunut hiekkakivikallio, joka on suojannut allaan rapautunutta kalliota (Salomaa 1983: 33). Lopullisen muotonsa Aumakivi on saanut jääkauden jälkeen, kun jäätikkö kulutti hiekkakiven pois graniitin päältä ja kalliopaasi paljastui veden alta noin 8500 vuotta sitten rannansiirtymisen seurauksena. Aumakiven

rapautuminen jatkuu yhä tänä päivänä, sillä rapautumiskasoja muodostuu edelleen ja toorin pinnassa näkee yhä hilseileviä ohuita kalliokuoria (Salomaa 1983: 33; Laitakari 1998: 345).

### **Riitakankaan kivijata**

Lauhanvuoren huomattavimpia muodostumia ovat suuret muinaiskivirannikot, joita paikallisesti kutsutaan kivijadoiksi. Jääkauden aikana hiekkakivikallio rapautui, jonka jälkeen pakkasrapautuminen ja rantavoimat muovasivat rapautunutta ainesta edelleen. Aaltojen ja tyrskyjen voima pyöristi hiekkakivilohkareet ja kasasi ne kentiksi ja valleiksi, sekä huuhtoi samalla hienon aineksen alemmille rinteille (Johansson ym. 2000: 10–11). Riitakankaan kivijata on noin 800 metriä pitkä ja 100 metriä leveä (kuva 8) (Risla 1998: 3, 13; Helin & Leivo 2000: 9). Kivijata on muodostunut jäätikön tulosuunnan ja suurimman ulapan puolelle rinteiden tasaiseen kohtaan, 140–180 metrin korkeudelle (Saarnisto 1981; Johansson ym. 2000: 21–22). Kivijatalla kivien läpimitta vaihtelee 10–60 cm välillä, mutta suurimmat kivet voivat olla läpimitaltaan yli metrin kokoisia (Salomaa 1983: 37). Ilmakuvista voi havaita kivijadassa esiintyviä muinaisia rantaviivoja 2–3 metrin päässä toisistaan (Olander 1934: 187; Karvinen 2017: 151).



Kuva 8. Riitakankaan kivijata (Kuva: Katja Vainionpää 21.8.2019)

### **Kaivolampi**

Jäätikön sulaessa hiekan ja moreenin alle hautautui jäälohkareita. Näiden sulaessa syntyi niiden paikalle suppakuoppia, jotka ovat myöhemmin täyttyneet vedellä. Tällaisesta tapahtumakulusta on esimerkkinä Kaivolampi, joka on suon reunustama lampi Lauhanvuoren länsirinteillä (kuva 9) (Salomaa 1983: 35; Suominen & Varkki 1984: 35). Se on kooltaan 1,2 hehtaaria ja syvyydeltään 1,5–2 metriä, josta noin metrin kerros on liejua tai mutaa (Salomaa 1983: 39).



Kuva 9. Kaivolammen suppa (Kuva: Katja Vainionpää 22.8.2019)

### **Rumakivi**

Osa kalliopaaseista on irronnut jääkaudella siirtolohkareiksi, jotka ovat kulkeutuneet ja kuluneet jäämassan mukana, kuten esimerkiksi Rumakivi Lauhanvuoren itärinteellä (kuva 10) (Salomaa 1983: 33–34). Graniittinen Rumakivi lienee parhaiten tunnettu siirtolohkare tutkimusalueella ja sen kohdalla on tavattu pitää juomatauko, kun matkattiin kaupantekoon Isojoelle (Laine 2000).

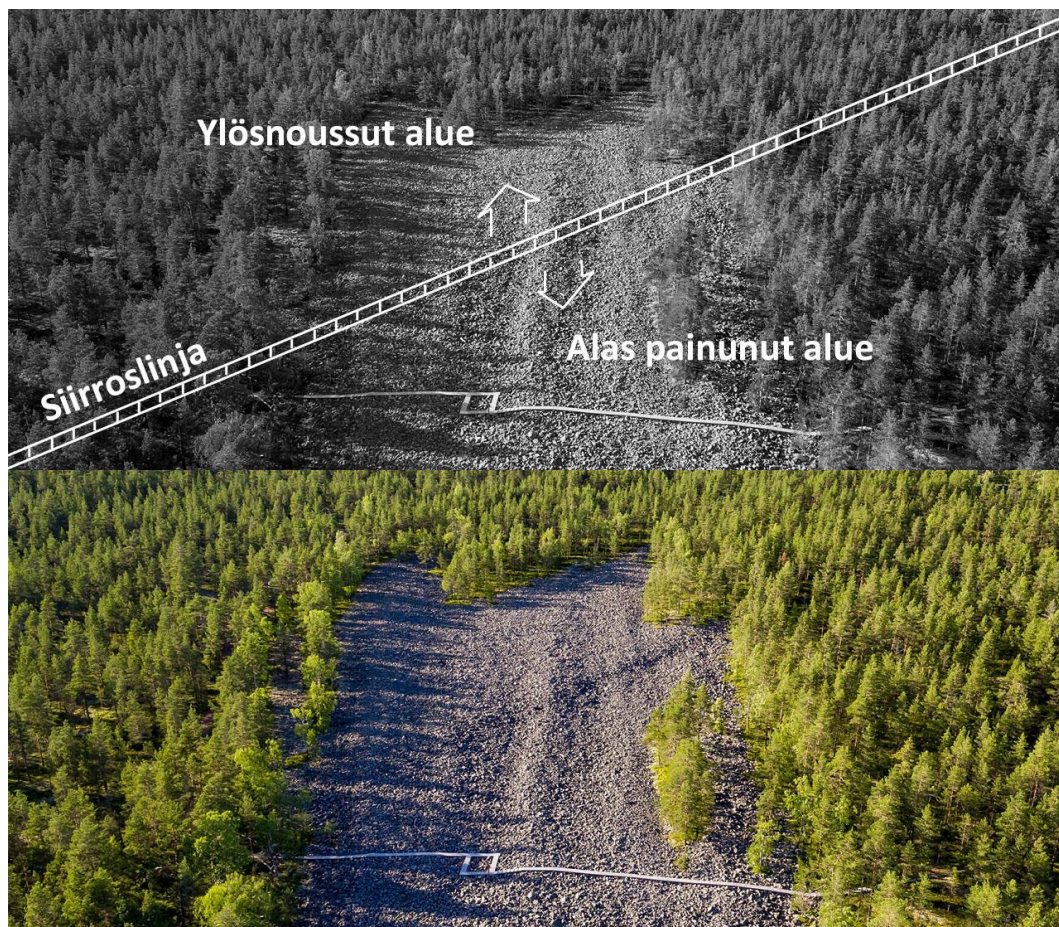


Kuva 10. Lauhanvuoren siirtolohkare (Kuva: Reijo Vainionpää 21.8.2019).

### **Siirroslinja**

Riitakankaan kivijadan pohjoisosissa kulkee maanjäristyksen aikaansaama murroslaakso (kuva 11). Maa- ja kallioperä on noussut noin metrin verran ylöspäin liki kuuden kilometrin matkalta jääkauden loppuvaiheessa. Maanjäristyksen jälki näkyy maastossa edelleen loivana törmänä, joka leikkaa Lauhanvuoren rinteiden rantavalleja (Muukka & Koponen 2000: 54; Lauhanvuori-Hämeenkanas Geopark 2020).





Kuva 11. Maanjäristyksen jälki (Kuva: Fixumedia)

### Jälkifossiili

Lauhanvuoren hiekkakivestä on löydetty muutamia kiviä, joissa on ollut nähtävissä fossiileja (kuva 12). Jälkifossiili sijaitsee WGS84- koordinaatiston mukaan paikassa 62.15275, 22.17422. Jäljet luokiteltiin tähkämäisiksi, jonka perusteella jäljet ovat nivelmatojen eli annelidien jättämät. Tynnin ja Honkasen (1982) mukaan fossiilin ikä on korkeintaan 700 miljoonaa vuotta. Lauhanvuoren fossiilissa on havaittavissa myös veden liikkeen synnyttämiä aallonmerkkejä (Salomaa 1986: 65).



Kuva 12. Annelidien ryömimisjälkiä hiekkakivessä (Kuva: Väätäinen 2018).

### **Likolammi**

Likolammi on lähes luonnontilainen keidassuo (Tuominiemi ym. 2011: 28), jossa turvetta on alkanut muodostua noin 6800 vuotta sitten (Salomaa 1983: 39–40). Keidassuo on suoyhdistymä, jossa suon keskusta on ympäröivää mineraalimaata ylempänä. Pitkänomaiset mättäät eli kermit ja vetiset kuljut muodostuvat suon keskustaan korkeuskäyrien mukaisesti. Likolammin keskustassa on laajoja vesiallikoita ja lampia (Heikkilä 1999: 150; Rainamo & Heikkilä 1999: 20).

### **Isoneva**

Isoneva on aapasuo, joka on eteläisessä Suomessa harvinainen suotyyppi. Isoneva myötäilee eteläisen Suomen aapasoiden piirteitä eli se on välipintainen ja jännerakenteeton suo (Heikkilä 1999: 150; Tuominiemi ym. 2011: 28). Isonevan reunoilla on kaivettu yksittäisiä ojia (Haapalehto ym. 2016: 24).

## **7. Menetelmät**

Aineiston kaikkia muuttujia käsitellään keskimittakaavaisella (500x500 metriä) tutkimusruudukolla, joita alueelta muodostui yhteensä 578 kappaletta. Kartoittaminen ja ruutulähestymistavan valinta mahdollistavat tutkimuskohteen objektiivisen vertailun ja kuvailun kvantitatiivisissa analyyseissä. Keskimittakaavainen lähestymistapa valittiin

havaittavissa olevien elementtien ja tutkimusalueen kohtalaisen suuren koon (144,5 km<sup>2</sup>) vuoksi ja täten esimerkiksi mikroskaalan geodiversiteettielementtejä ei ole otettu tarkasteluun mukaan. Hjort ja Luoto (2010) käyttävät vastaavaa mittakaavaa tutkimuksessaan ja menetelmien osalta seurataan suurelta osin aikaisempien tutkimusten (Serrano & Ruiz-Flaño 2007b; Benito-Calvo ym. 2009; Hjort & Luoto 2010, 2012; Santos ym. 2017) lähestymistapaa. Tutkimusruudut laadittiin ArcGIS:n *fishnet*-ominaisuutta hyödyntämällä ja aineistoa käsiteltiin Microsoft Excel- ja ArcMap 10- ohjelmistoilla.

## 7.1 Mallin laadinta

Kokonaisgeodiversiteettiä ja selittäviä muuttujia (topografiset muuttujat ja satelliititkuvamuuttujat) analysoidaan tilastollisesti IBM SPSS 25 –ohjelmistolla. Sen avulla tutustutaan aineistoon, perustunnuslukujen ja muuttujien välisten korrelaatioiden laskemiseen, graafiseen tarkasteluun sekä muuttujien jakaumien normaalijakautuneisuuden testaamiseen. Aineiston normaalijakautuneisuutta testataan Kolmogorovin-Smirnovin testillä. Standardina merkitsevyystasona käytetään  $p = 0,2$ , jota suuremmilla  $p$ -arvoilla nollihypoteesi jakauman poikkeavuudesta normaalijakaumasta hylätään (Lilliefors 1967: 400).

Kahden muuttujan välistä riippuvuuden intensiteettiä ja suuntaa arvioidaan ei-parametrisin menetelmin Spearmanin järjestyskorrelaatioilla ( $R_s$ ). Korrelaatio on tilastollisesti erittäin merkitsevä, jos  $p < 0,001$ , tilastollisesti merkitsevä, jos  $p < 0,01$  ja tilastollisesti melkein merkitsevä, jos  $p < 0,05$  (Spearman 1904: 72–87; Guisan & Zimmermann 2000: 173; Metsämuuronen 2003: 369). Ekologisissa tutkimuksissa muuttujien välinen korrelaatiokerroin olisi suositeltavaa asettua arvojen  $[-0,7 - 0,7]$  välille (Sormunen ym. 2010), sillä tätä korkeammat korrelaatiot uhkaavat aiheuttaa multikollineaarisuudesta johtuvia virheitä ja epätarkkuuksia tilastollisiin analyyseihin (Graham 2003: 2814). Näin ollen voimakkaan keskinäisen riippuvuuden ilmetessä harkitaan muuttujien pois jättämistä lopullisesta mallista.

Koko aineisto ( $n=578$ ) jaetaan satunnaisotannalla kalibrointiaineistoksi (70 prosenttia) ja evaluointiaineistoksi (30 prosenttia) (esim. Van Houwelingen & Le Cessie 1990; Luoto & Hjort 2005; Hjort 2006; Hjort & Luoto 2012: 76). Tätä jakoa kutsutaan jaetun

otoksen lähestymistavaksi, joka sopii suurille yli 200 otoksille (Guisan & Zimmermann 2000: 172–176; Metsämuuronen 2008: 11). Kalibrointiaineistoon havaintoyksiköitä on 405 kappaletta ja mallinnuksen apuna käytetyssä evaluointiaineistossa 173 kappaletta.

Mallinnuksessa pyritään saavuttamaan mahdollisimman yksinkertainen malli eli optimoimaan selittävien muuttujien määrä. Selittävien muuttujien määrää lisäämällä saadaan usein parannettuja mallien selitystasetta, kun taas runsas määrä selittäviä tekijöitä heikentää mallin ennustekykä (Guisan & Zimmermann 2000: 165–166; Mac Nally 2000: 656). Tilastolliselta merkitsevyydeltään parhaat muuttujat valitaan malliin poistavalla menetelmällä (Mac Nally 2000: 658; Metsämuuronen 2003: 369). Takaperin askeltavassa valinnassa (*backward selection*) ensimmäiseen malliin otetaan mukaan kaikki selittävät muuttujat, josta poistetaan selitysvoilmaltaan heikoin muuttuja kerrallaan. Jäljelle jääneet, selitysvoilmaltaan tilastollisesti merkitsevimmät ( $p < 0,05$ ) muuttujat muodostavat tilastollisesti parhaan mallin (Ranta ym. 2005: 349, 422).

## 7.2 Mallin hyvyyden arviointi

Mallin hyvyyttä arvioidaan mallin selitystasella (*R-Squared*,  $R^2$ ). Selitystaste kertoo, kuinka monta prosenttia malli pystyy selittämään vastemuuttujan vaihtelusta (Metsämuuronen 2008: 85). Selitystasetta tarkennetaan muuttujien määrällä ja otoskoolla, jolloin saadaan laskettua korjattu selitystaste  $R^2_{adj}$  (*Adjusted R-Squared*).  $R^2_{adj}$ -luku antaa siis korjatun arvion siitä, kuinka paljon kyseinen malli selittää aineiston vaihtelua.

Regressiomallin sopivuutta aineistoon tutkitaan residuaalien eli jäännösvirheiden avulla. Residuaalien jakauman tasaisuutta tarkastellaan kuvaajien avulla, missä on kuvattuna residuaalit, ennustearvot ja jokaisen yksittäisen muuttujan arvot (Ranta ym. 2012: 425). Residuaalien normaaliutta testataan normaalijakauman todennäköisyyskuviolla (*normal probability plot*). Janan kulkiessa silmämääräisesti suoraan kulmasta kulmaan, voidaan residuaalien päätellä olevan normaalisti jakautuneita (Metsämuuronen 2003: 595).

Ennusteita arvioidaan harhattomuuden ja tarkkuuden perusteella. Näiden mittaamiseen käytetään MAE- (*mean absolute error*) sekä RMSE- (*root mean square error*) lukuja. MAE tarkoittaa absoluutista keskivirhettä ennusteen ja toteutuneiden havaintojen välillä. Mitä pienempi MAE-arvo on, sitä lähempänä ennusteet ovat toteutuneita arvoja

eli sitä tarkempia ne ovat. MAE:tä käytetään yleisimmin ennusteissa, joissa yksittäisiä virheitä on enemmän kuin esimerkiksi pitkissä aikasarjoissa, joissa pidemmän ajan keskiarvo merkitsee enemmän (Hoyer-Klick ym. 2009). RMSE tarkoittaa keskineliövirheen neliöjuurta, joka kuvaa aineiston hajontaa (Hoff ym. 2013). RMSE antaa suhteellisen suuren painon suurille virheille. Tämä tarkoittaa, että RMSE on kaikkein käyttökelpoinen, kun suuret virheet ovat erityisen epätoivottavia. RMSE on aina suurempi tai yhtä suuri kuin MAE. Mitä suurempi ero näiden kahden välillä on, sitä suurempi on yksittäisten virheiden vaihtelu. Jos RMSE ja MAE ovat yhtä suuria, kaikki virheet ovat yhtä suuria. Mitä alemmat arvot MAE:lla ja RMSE:llä ovat, sitä suurempi on mallin selitysvoima (Wilks 2011).

### 7.3 Yleistetyt additiiviset mallit

Yleistetty additiivinen malli GAM on GLM:n (*Generalized Linear Model*) puoliparametrinen laajennus, jonka etuna on, että se kykenee laskemaan selittävän muuttujan ja vasteen välisen suhteen. GAM:n käyttö on suositeltua tapauksissa, joissa kyseinen suhde on tuntematon tai sen suhteen on epävarmuutta (Hastie & Tibshirani 1990; Guisan ym. 2002: 90, 93). GAM:n käyttöä ennustavassa mallinnuksessa voidaan pitää perusteltuna, sillä se on osoittautunut suorituskykynsä aikaisemmissa geodiversiteettiä käsittelevissä tutkimuksissa (Luoto & Hjort 2005; Marmion ym. 2008; Hjort & Luoto 2010, 2012). GAM:n heikkous on kuitenkin ylisovittaminen (Hjort & Marmion 2008: 346), jota voidaan hallita vapausasteiden määrän avulla. Vapausasteiden perusteella malli muodostaa tasoitusfunktion ja taivuttaa vastekäyrän sopimaan mallinnettavaan aineiston määrää (Hastie & Tibshirani 1990: 4, 52–53, 161–165; Guisan ym. 2002: 90, 93). Sen sijaan että GAM kohtelisi koko aineistoa yhtenäisenä kokonaisuutena, havaitsee se aineiston sisältä eri tavoin käyttäytyviä osia (Franklin 2010). GAM siis kykenee käsittelemään aineistoa paikallisesti, eikä vain yhtenä kokonaisuutena (Hastie & Tibshirani 1990: 4, 52–53, 161–165; Guisan ym. 2002: 90, 93).

GAM-mallinnus toteutetaan R-ohjelman mgcv-paketilla yksi muuttuja kerrallaan ja mallin koko muuttujajoukolle. GAM:illa lasketaan sekä univariaatti- että monimuuttujamallin vastekäyrät (Tukiainen ym. 2017b: 1057). Tämän tutkielman

mallinnuksessa maksimivapausasteiden määräksi määritetään neljä vapausastetta ( $df=4$ ) (Guisan ym. 2002: 90–94; Hjort & Luoto 2012: 76). Vastekäyrät kuvaavat ympäristömuuttujien vaikutuksen suunnan ja muodon. GAM:n vastemuuttujana käytettiin kokonaisgeodiversiteettia (Geosum) ja linkkufunktiona logaritmista linkkifunktiota (log) ja gaussian-jakaumaa.

Spatiaalista autokorrelaatiota tarkastellaan Moran I-testin avulla R-ohjelman *sp-* ja *pgirmess*-paketeilla. Etäisyysvyöhykkeitä on käytössä viisi kappaletta. Spatiaalinen autokorrelaatio määrittyy sekä sijainnin samankaltaisuudesta että havaintojen samankaltaisuudesta. Toisin sanoen toisiaan lähellä olevat alueet ovat jonkin ilmiön suhteen samankaltaisempia kuin kauempana sijaitsevat (Moran 1950). Testi antaa yhden testiluvun koko aineistolle jokaisen muuttujan osalta. Arvon ollessa nolla, aineiston spatiaalinen rakenne on satunnaista, eikä spatiaalista autokorrelaatiota havaita (Guisan & Zimmermann 2000: 156).

#### 7.4 Hierarkkinen ositus

Hierarkkinen ositus (*Hierarchical partitioning*) on rinnakkaisanalyysi, joka tarkoittaa yksittäisten muuttujien suhteellista selityskykyä. Siinä varianssit ovat ositettu niin, että jokaisen ympäristömuuttujan itsenäinen selitysosa voidaan arvioida (Mac Nally 2000: 664). Monimuuttujamallien kanssa on usein tilanne, ettei mallista selviä mikä muuttuja selittää vastetta eniten. Hierarkkinen ositus ottaa huomioon selittävien muuttujien välisen korrelaation ja tuo esiin kaikki vuorovaikutussuhteet selittävien muuttujien sekä vastemuuttujien välillä. Muuttujien välinen korrelaatio voi aiheuttaa multikollineaarisuusongelman. Näin voidaan tunnistaa uskottavimmat ympäristömuuttujat (Chevan & Sutherland 1991: 92–94; Mac Nally 2002: 1398–1401).

Hierarkkista ositusta käytetään GAM-mallien tulosten tulkinnan apuna, jolloin saadaan selville muuttujia, joilla on suurin itsenäinen tai yhteinen vaikutus vastemuuttujaan (Mac Nally 2002: 1398). Hierarkkinen ositus on sopiva analysointimenetelmä, kun selittävät tekijät korreloivat keskenään. Tässä tutkielmassa hierarkkinen ositus tehdään Gaussian-jakaumalla R-ohjelmiston *hier.part* -paketilla (Walsh & MacNally 2003). Malleja arvioidaan visuaalisesti hierarkkisen osituksen tulosten perusteella. Visuaalisessa hierarkkisessa osituksessa otetaan huomioon ensiksi sovittu malli ilman

spatiaalisia muuttujia ja tämän jälkeen siihen lisätään X ja Y- koordinaatit. Koordinaattien avulla voidaan arvioida mahdollisia maantieteellisiä trendejä (Hjort 2006: 48).

### 7.5 Geokohteiden arviointimenetelmä

Geokohteiden arviointi suoritetaan geodiversiteetin elementeistä ja muodostumakokonaisuuksista. Arviointimenetelmässä sovelletaan Ulfstedtin ja Melanderin (1974: 373–379), Kontturin ja Lyytikäisen (1985: 44–54), Palmun (1999: 28–41), Kananojan (2000: 6–7), Fassoulas ym. (2012: 179–185) ja Brillhan (2016: 121–126) arviointimenetelmiä yhteensopivaksi Lauhanvuoren tutkimusalueelle. Geokohteiden arviointiin valikoitui 11 geokohdetta Lauhanvuoren kansallispuistosta (taulukko 3).

Taulukko 3. Arvioitavat geokohteet (11 kpl) ja niiden prosessiryhmät.

<b>Arvioitava geokohde</b>	<b>Prosessiryhmä</b>
Lauhanvuoren hiekkakivi	Litologinen
Kiviharjun rantavalli	Litoraalin
Kärkiluoman dyyni	Eolinen
Aumakivi, toori-muodostuma	Litologinen
Riitakankaan kivijata	Litoraalin
Kaivolampi, suppa	Glasigeeninen
Rumakivi, siirtolohkare	Glasigeeninen
Siirroslinja	Polygeneettinen
Jälkifossiili	Litologinen
Likolamminsuu, keidassuo	Biogeneettinen
Isoneva, aapasuo	Biogeneettinen

Geokohteiden pisteytys toteutettiin maastossa 20.-24.8.2019 välisenä aikana ja sitä täydennettiin myöhemmin eri tietolähteitä hyödyntäen. Taulukossa 4 on esitetty pisteytyksessä huomioitavat kohdat, joita ovat kohteen geologia ja geomorfologia, maisemallinen arvo, luonnontilaisuus ja saavutettavuus luontomatkailun ja virkistyskäyttötoiminnan kannalta. Pisteytykseen ja pistemääriin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti geomorfologiaa tai sen sovellettavuutta luontomatkailuun arvioitaessa. Kohteella voi olla esimerkiksi huomattava geomorfologinen arvo, muttei juurikaan merkitystä matkailun kannalta tai päinvastoin. Hyvinkin erilaiset kohteet voivat saada siis saman pistemäärän arvioinnissa.

Taulukko 4. Geokohteiden pisteytysjärjestelmä.

<b>Geologia ja geomorfologia (0-9 pistettä)</b>	<b>Pisteet</b>
Tieteellinen tutkimus	0-3
Harvinaisuus	0-2
Ulkomuoto	0-2
Opetus ja koulutus	0-2
<b>Maisemallinen arvo (0-4 pistettä)</b>	
Erottuminen ympäristöstä	0-2
Lähiympäristö	0-2
<b>Luonnontilaisuus (0-3 pistettä)</b>	
Vaurioitumisaste	0-2
Vaurioitumisuhka	0-1
<b>Saavutettavuus (0-2 pistettä)</b>	
Saavutettavuus luontomatkailun kannalta	0-2
Yhteensä	0-18

Geologian ja geomorfologian arviointi jakaantuu neljään osa-alueeseen. Ensimmäisenä määritellään *tieteellinen tutkimus* (0-3 p.). Kohteen tutkimusarvo määritellään muodostuman tai muodostuma-alueen merkityksenä sekä Lauhanvuoren kehityksen näkökulmasta (0-1 p.) että yleisellä tasolla (0-1 p.). Aikaisemmin tehdyllä tutkimuksella (0-1 p.) tarkoitetaan, onko muodostuma mainittu aikaisemmissa tutkimuksissa. Kohde saa yhden pisteen, jos sitä on kuvailtu aikaisemmin ja nolla pistettä, jos aikaisempaa kuvailua ei esiintynyt. Toinen kohta geologian ja geomorfologian arvioinnissa on *geokohteen harvinaisuus* (0-2 p.), jolla tarkoitetaan yleisyyttä ensisijaisesti Lauhanvuoren alueella (0-1 p.) ja yleisesti Suomessa (0-1 p.). Kohde saa pisteen, jos muodostumia havaitaan Lauhanvuorella tai Suomessa alle kymmenen kappaletta ja nolla pistettä, jos muodostumia havaitaan yli kymmenen kappaletta. Kolmantena arvioidaan *geokohteen ulkomuotoa* (0-2 p.). Ulkomuodoiltaan erittäin hyvin muodostunut kohde saa kaksi pistettä, hyvin muodostunut yhden pisteen ja nolla pistettä saa heikosti muodostunut muodostuma. Neljäs arvioinnin osa-alue geologiassa ja geomorfologiassa on *opetus ja koulutusarvo* (0-2 p.), jota määrittäessä huomioidaan sekä kohteen opetuksellinen arvo että saavutettavuus opetuskohteena eli etäisyys ajokelpoisista teistä. Opetusarvoltaan esimerkillinen ja helposti saavutettava opetuskohteeseen saa kaksi pistettä, opetusarvoltaan melko hyvä ja helposti saavutettava tai



opetusarvoltaan hyvä ja vaikeammin saavutettava opetuskohde saa yhden pisteen. Nolla pistettä saa puolestaan kohde, joka on vaikeasti saavutettava eikä sillä ole niinkään opetuksellista arvoa.

Maisemallisella arvolla saadaan painoarvoa geokohteille, jotka ovat tavallisen luontomatkailijan kannalta helposti havaittavia. Ensimmäinen kohta maisemallisessa arvottamisessa on **geokohteen erottuminen ympäristöstä** (0-2 p.). Toiset muodostumatyypit erottuvat ympäristöstä luonnollisesti paremmin kuin toiset, eikä tässä yhteydessä pyritty tasavertaistamaan erilaisia kohteita. Muodostumat pisteytettiin erottumisen mukaan, siten että kohde saa kaksi pistettä, jos se erottuu hyvin tai se on helposti erotettavissa ja yhden pisteen jos kohde on melko helposti erotettavissa ympäristöstään. Nolla pistettä saa geokohde, joka ei erotu helposti ympäristöstään. Toinen kohta maisemallisessa arvioinnissa on **lähiympäristön vaikutus** (0-2 p.). Geokohteen lähellä olevat muut kohteet lisäävät alueen vetovoimaa. Muodostuma, jonka lähellä sijaitsee (n. 500 m säteellä) yksi merkittävä kohde tai useampi melko merkittävä kohde saa kaksi pistettä. Muodostuma saa yhden pisteen, jos lähellä on useita vähemmän merkittäviä kohteita tai jos merkittävä kohde on melko lähellä (n. 1 km säteellä). Muodostuma saa nolla pistettä, jos muita merkittäviä kohteita ei esiinny yhden kilometrin säteellä muodostumasta. Lähiympäristön vaikutuksen arviointi suoritetaan ArcGIS:llä.

Luonnontilaisuudella (0-3 p.) arvioidaan kohteen **vaurioitumisastetta** (0-2 p.) ja **vaurioitumisuhkaa** (0-1 p.). Täysin vaurioitumaton muodostuma saa kaksi pistettä, vähän vaurioitunut yhden pisteen ja vaurioitunut muodostuma, jota ihminen on toiminnoillaan selkeästi muokannut, saa nolla pistettä. **Vaurioitumisuhan** alla olevat kohteet saavat pisteen, koska tällä halutaan korostaa niiden suojelun arvoa. Vaurioitumisuhkaan vaikuttaa muodostuman aines ja sijainti sekä sijainti suhteessa suojelualueisiin, pohjavesialueisiin ja alueisiin, joilla on biologista tai kulttuurihistoriallista arvoa.

Etäisyys ulkoilureitistä vaikuttaa **saavutettavuuteen** (0-2 p.) **luontomatkailun ja virkistyskäyttötoiminnan** kannalta. Saavutettavuuteen ei tässä yhteydessä vaikuta niinkään etäisyys maantiestä, kuten opetuskohteiden arvioinnissa, vaan etäisyys

nykyisistä ulkoilureiteistä. Hyvä saavutettavuus ei arvioinnissa edellytä koko muodostuman sijaintia ulkoilureitin varrella. Tästä ovat esimerkkinä suot, joille kulkee polku, mutta polku ei johda suoalueen läpi. Kohde saa kaksi pistettä, jos ulkoilureitti kulkee muodostuman yli tai muodostuma-alueen poikki siten, että morfologisesti edustavat alueet sijaitsevat reitin varrella. Yhden pisteen geokohde saa, jos kohde sijaitsee lähellä (enintään 500 metrin päässä) ulkoilureittiä. Nolla pistettä saa puolestaan geokohde, joka sijaitsee yli 500 metrin päässä ulkoilureitistä. Kohteiden etäisyyden arviointiin vaikuttavat monet tekijät, kuten kohteen koko, etäisyys reitistä ja maaston kulkukelpoisuus. Ulkoilureitin etäisyys geokohteista arvioidaan ArcGIS:llä.

Arvioidut geokohteet jaetaan yhteispistemäärän perusteella kolmeen eri luokkaan (I-III). Yhteispistemäärältään korkeimmat geokohteet sijoittuvat ensimmäiseen luokkaan, jotka ovat geomorfologisesti ja matkailullisesti merkittäviä. Toiseen luokkaan kuuluvat melko merkittävät ja kolmanteen luokkaan merkityksettömät geokohteet (taulukko 5).

Taulukko 5. Geokohteiden arvioinnin yhteispistemäärän luokittelu.

Luokka	Kohteen luokittelu	Pistemäärä
I	geomorfologisesti ja luontomatkailullisesti merkittävät kohteet	15-18
II	geomorfologisesti ja/tai matkailullisesti melko merkittävät kohteet	10-14
III	hyvin paikalliset ja merkityksettömät kohteet	0-9

## 8. Tulokset

### 8.1 Lauhanvuoren kansallispuiston kokonaisgeodiversiteetti

Tutkielman kokonaisgeodiversiteetti koostui geomorfologisista muodostumista, maaperätyypeistä, kallioperän kivilajityypeistä ja hydrologisista kohteista. Taulukossa 6 on esitetty Lauhanvuoren maaperätyyppien esiintymät tutkimusruuduissa. Maalajien määrä tutkimusruutua kohden vaihteli 1 ja 6 välillä. Tutkimusruudut, joissa havaittiin vain yhtä maaperätyyppiä, olivat pääasiassa suoalueita ja näissä esiintyi ainoastaan soistumaa tai paksua turvetta (kuva 4). Maaperätyypeistä paksua turvetta ja moreenia esiintyi tutkimusalueella eniten, kun taas kalliomaata sekä hienojakoista maaperää vähiten.

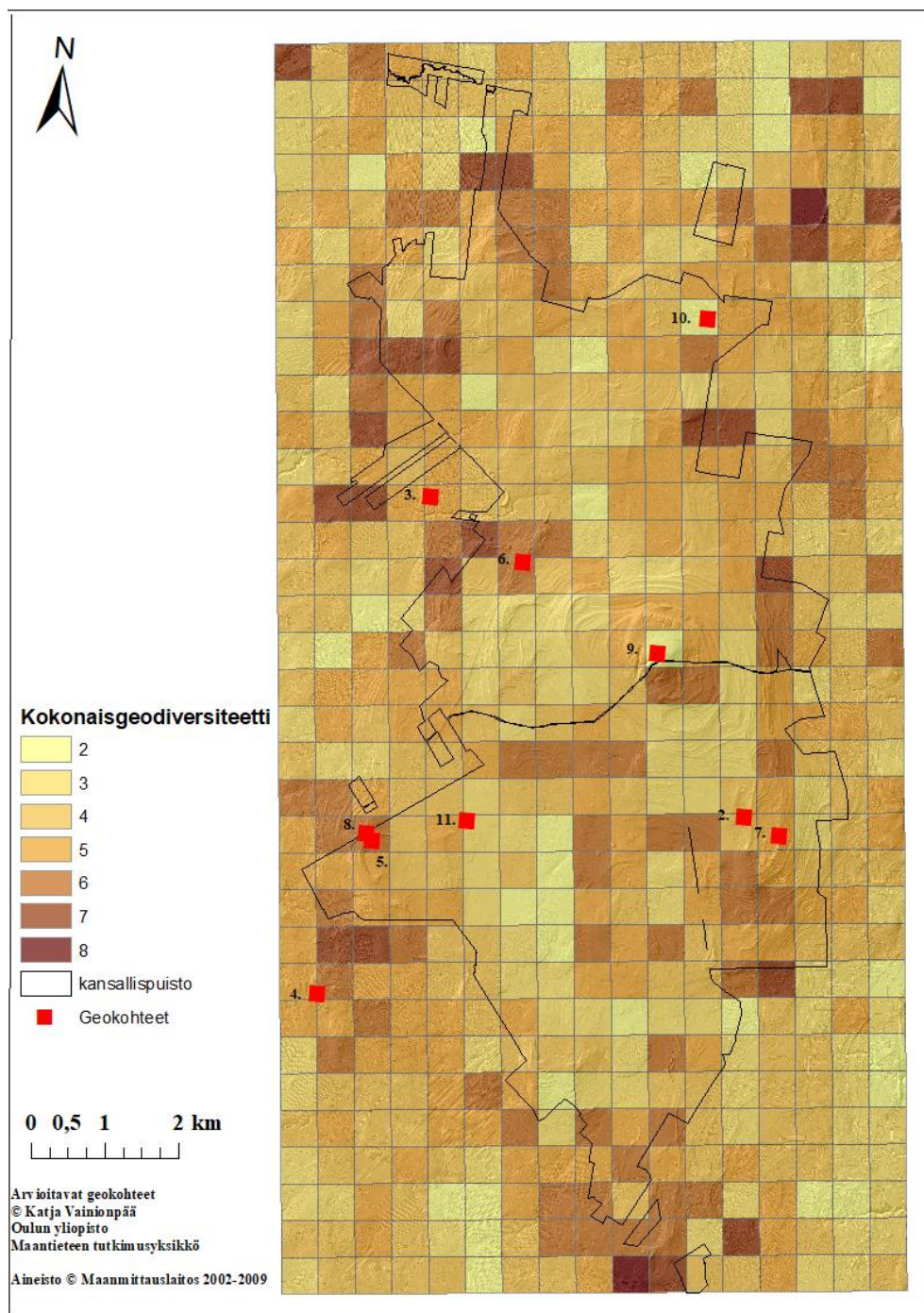
Taulukko 6. Maaperätyyppien määrä tutkimusruuduissa.

Maaperätyypit	Esiintymät tutkimusruuduissa (n=578)
Paksu turve (>0,6 m turvetta)	348
Sekalajitteinen	345
Ohut turve (0,3-0,6 m turvetta)	301
Karkea	246
Kivikko	79
Soistuma (0-0,3 m turvetta)	76
Kallioma	34
Hienojakoinen	30

Tutkimusalueen ruuduista erotettiin kolme eri kallioperän kivilajia (kuva 4): graniittia, Lauhanvuoren hiekkakiveä ja intermediääristä metavulkaniittia. Hiekkakiveä havaittiin 334 tutkimusruudusta ja graniittia 331 tutkimusruudusta. Intermediääristä metavulkaniittia havaittiin ainoastaan kahdessa tutkimusruudusta. Kallioperän kivilajien määrä vaihteli yhden ja kahden välillä.

Yleisimmät geomorfologiset muodostumat olivat litoraalisesta ja eolisesta prosessiryhmästä. Ensimmäisenä mainitusta esimerkkinä ovat rantavallit, joita esiintyi 293 tutkimusruudussa ja jälkimmäisestä dyynit, joita havaittiin 71 ruudussa. Jyrkkiä kohoumia tai jyrkäniteitä alueella ei esiintynyt, vaan alue kohoaa tasaisesti 234 metrin korkeuteen. Itämeren merivaiheet kuuluvat polygeneettisiin muodostumiin, mutta tässä tapauksessa ne laskettiin muihin prosessiryhmiin. Merkittävin polygeneettinen muodostuma oli maanjäristyksen aiheuttama murroslinja, joka kattaa kolme ruutua. Glasigeenisestä prosessiryhmästä yleisimmät muodostumat olivat puolestaan supat, joita esiintyi 11 ruudussa ja siirtolohkareet, joita esiintyi 15 ruudussa. Glasifluviaalisia kerrostamis- ja kulutuselementtejä tutkimusalueella oli hyvin niukasti. Tutkimusalueella havaittiin vain yksi delta, joka kattoi 2 ruutua. Hydrologisia kohteita esiintyi alueella vähän, koska suurin osa lähteistä ja puroista olivat niiden koon puolesta liian pieniä, eikä pohjavesimuodostumia laskettu hydrologisiin kohteisiin. Merkittävimmät hydrologiset muodostumat olivat Spitaalijärvi, Kaivolampi, Kuivasjärvi ja Ahvenlampi.

Kallioperän kivilajityyppien, maaperätyyppien, hydrologisten kohteiden ja geomorfologisten muodostumien kartoittamisen jälkeen geodiversiteetin alueellista esiintymistä tarkasteltiin näiden elementtien yhteenlasketun määrän eli kokonaisgeodiversiteetin avulla tutkimusruuduittain. Kartoituksen perusteella tutkimusalueen kokonaisgeodiversiteetti 500 x 500 m tutkimusruuduissa on koottu kuvaan 13. Tutkimusalueen kokonaisgeodiversiteetti oli vähintään kaksi ja enintään kahdeksan. Keskimäärin geodiversiteettielementtejä esiintyi ruutua kohden 4,31 kappaletta. Ruudut, joissa kokonaisgeodiversiteetti sai arvon kaksi, sijoituivat alueille, joissa kallioperä- ja maaperäluokkia esiintyi molempia ainoastaan yksi kappale. Geodiversiteetti-arvot kohosivat vähitellen, kun siirryttiin tasaisilta suoalueilta lähemmäs Lauhanvuoren huippua, jossa topografinen vaihtelu ja pinnanmuodot asteittain lisääntyivät. Yleisesti alue oli kuitenkin homogeeninen, missä ei havaittu suurta maisemallista tai topografista vaihtelua. Kokonaisgeodiversiteetiltään rikkaimmissa ruuduissa maaperäluokkia laskettiin 4-5 kappaletta, kallioperäluokkia 1-2 kappaletta ja geomorfologisia muodostumia 1-2 kappaletta. Kokonaisgeodiversiteetiltään maksimi-arvon (8) sai tutkimusalueella vain kaksi ruutua, mutta toiseksi suurimman arvon (7) sai jo 19 tutkimusruutua.



Kuva 13. Tutkimusalueen kokonaisgeodiversiteetti ruuduittain ja Lauhanvuoren arvioitavat geokohteet. 2. Kiviharjun rantavalli, 3. Kärkiluoman dyyni, 4. Aumakivi, 5. Riitakankaan kivijata, 6. Kaivolampi, 7. Rumakivi, 8. Siirroslinja, 9. Jälkifossiili, 10. Likolammi ja 11. Isoneva. Geokohde 1. Lauhanvuoren hiekkakivi on esitetty kuvassa 4.

## 8.2 Yksittäisten muuttujien analyysi

Koko aineiston havaintoja (n=578) koskevat tunnusluvut ja muuttujien jakaumat on esitetty taulukossa 7. Myös kalibrointiaineiston havainnoista (n=405) tarkasteltiin tilastollisia tunnuslukuja ja kyseisen aineiston tunnusluvut on esitetty liitteessä 2. Tutkielmassa käytettyjen muuttujien normaalijakautuneisuutta testattiin Kolmogorovin-Smirnovin testillä ja testin tuloksiin (liite 3) nojaten ainoastaan Slopemean -muuttuja täyttäisi merkitsevyydeltään normaalijakautuneisuuden raja-arvon (p-arvo vähintään 0,2). Muiden muuttujien p-arvot jäivät alle raja-arvon, eivätkä täten ole merkitseviä. Näin ollen tutkielmassa päädyttiin käyttämään epäparametrisia eli niin sanottuja robustisia testejä, jotka eivät vaadi normaalijakaumaoletuksen täyttymistä.

Taulukko 7. Käytettyjen muuttujien yleisimmät tunnusluvut koko aineistossa. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

<b>Muuttujat</b>	<b>n</b>	<b>Minimi</b>	<b>Maksimi</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Keskihajonta</b>	<b>Varianssi</b>
Geosum	578	2	8	4,31	1,24	1,54
Elevationmean	578	106,51	222,43	152,29	22,22	493,53
Elevationstd	578	0,20	7,97	2,21	1,26	1,58
Slopemean	578	0,73	3,98	2,07	0,56	0,32
Slopeststd	578	0,52	5,52	1,76	0,64	0,41
TWImean	578	6,05	12,48	6,87	0,59	0,35
TWlstd	578	1,96	5,74	2,71	0,51	0,26
NDVImean	578	0,41	0,66	0,56	0,04	0,00
NDVlstd	578	0,02	0,19	0,05	0,02	0,00
Brightnessmean	578	0,35	0,54	0,41	0,03	0,00
Brightnessstd	578	0,01	0,17	0,04	0,02	0,00
Wetnessmean	578	-0,03	0,02	0,00	0,01	0,00
Wetnessstd	578	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00
Greennessmean	578	-0,01	0,13	0,06	0,02	0,00
Greennessstd	578	0,00	0,09	0,02	0,01	0,00

Kalibroidun aineiston (n=405) muuttujien välisiä korrelaatioita tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella (taulukko 8), sillä se soveltuu muiden kuin normaalijakautuneiden muuttujien tarkasteluun. Selittävien muuttujien väliset korrelaatiot olivat joissakin tapauksissa huomattavan suuria ylittäen yleisesti hyväksytyyn multikollineaarisuuden raja-arvon ( $\pm 0,7$ ) ja tästä syystä voimakkaimmin korreloituneita muuttujia jätettiin analyyseissä tarkastelun ulkopuolelle. Esimerkiksi topografisen kosteusindeksin keskiarvon (TWImean) ja rinteiden kaltevuuden keskiarvon

(Slopemean) välinen korrelaatiokerroin ( $R_s = -0,723$ ,  $p < 0,01$ ) ylittää yllä mainitun raja-arvon. Voimakkaimmin vasteen kanssa korreloivat muuttujat olivat korkeuden keskihajonta eli Elevationstd ( $R_s = 0,248$ ,  $p < 0,01$ ), TWImean ( $R_s = -0,126$ ,  $p < 0,05$ ), Slopemean ( $R_s = 0,116$ ,  $p < 0,05$ ), kosteuden keskiarvo Wetnesstd ( $R_s = 0,113$ ,  $p < 0,05$ ), kasvillisuusindeksin keskihajonta NDVIstd ( $R_s = 0,105$ ,  $p < 0,05$ ) ja kirkkauden keskiarvo Brightnessmean ( $R_s = -0,102$ ,  $p < 0,05$ ). Nämä muuttujat olivat tilastollisesti merkitseviä suhteessa vasteeseen eikä kyseisten selittävien muuttujien välillä ole matalien korrelaatiokertoimien perusteella multikollineaarisuusongelmaa.

Taulukko 8. Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimet kalibroidulla aineistolla (n=405). Lyhenteet on avattu taulukossa 1.

Muuttujat	Geosum	Elevaationmean	Elevaationsid	Slopeanmean	Slopeid	TWinean	TWIsid	NDYinean	NDYIsid	Bigthnessmean	Bigthnessid	Weinessmean	Weinessid	Greennessmean	Greennessid
Geosum	1														
Elevaationmean	0,013	1													
Elevaationsid	0,248**	0,063	1												
Slopeanmean	0,116*	-0,251**	0,482**	1											
Slopeid	0,033	-0,387**	0,182**	<b>0,882**</b>	1										
TWinean	-0,126*	0,450**	-0,303**	<b>-0,723**</b>	-0,653**	1									
TWIsid	-0,001	0,409**	-0,101*	-0,199**	-0,221**	<b>0,730**</b>	1								
NDYinean	-0,014	-0,358**	-0,051	0,234**	0,286**	-0,519**	-0,454**	1							
NDYIsid	0,105*	-0,544**	0,024	0,372**	0,435**	-0,370**	-0,195**	0,069	1						
Bigthnessmean	-0,102*	-0,281**	-0,326**	-0,178**	-0,066	0,079	-0,017	0,112*	0,360**	1					
Bigthnessid	0,059	-0,357**	-0,205**	-0,084	0,011	-0,072	-0,122*	0,258**	0,509**	0,674**	1				
Weinessmean	0,072	0,171**	0,210**	0	-0,100*	0,114*	0,134**	-0,097	-0,200**	-0,378**	-0,214**	1			
Weinessid	0,113*	-0,461**	-0,143**	0,076	0,163**	-0,146**	-0,118*	0,014	0,696**	0,582**	<b>0,768**</b>	-0,275**	1		
Greennessmean	-0,002	-0,311**	-0,035	0,237**	0,267**	-0,466**	-0,368**	<b>0,974**</b>	0,073	0,121*	0,288**	-0,038	0,007	1	
Greennessid	0,016	-0,599**	-0,077	0,281**	0,377**	-0,387**	-0,296**	0,202**	<b>0,902**</b>	0,532**	0,625**	-0,252**	<b>0,747**</b>	0,193**	1

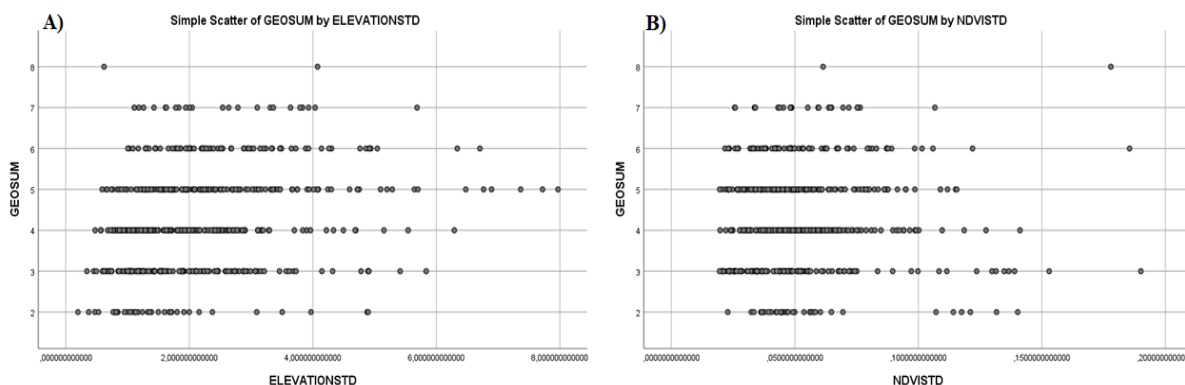
\*\*\* Korrelaatiokerroin on merkisevä 0,001 % merkisevyyssuhteella

\*\* Korrelaatiokerroin on merkisevä 0,01 % merkisevyyssuhteella

\* Korrelaatiokerroin on merkisevä 0,05 % merkisevyyssuhteella



Aineiston ominaisuuksia ja hajontaa tarkisteltiin aluksi graafisesti hajontakuvioiden avulla. Hajontakuviot antavat kattavan kokonaiskuvan vasteen ja selittävien muuttujien välisistä riippuvuussuhteista. Kuvioiden muotojen perusteella voitiin todeta, että muuttujien väliset suhteet eivät olleet yleisesti ottaen kovin voimakkaita. Esimerkiksi korkeuden keskihajonnan (Elevationstd) ja kasvillisuusindeksin keskihajonnan (NDVlst) hajontakuviot on esitetty kuvassa 14. Korkeuden keskihajonnan hajontakuvioista on hahmotettavissa heikko positiivinen lineaarinen suhde kokonaisgeodiversiteetin kanssa. Käytännössä tämä osoittaa, että korkeuden keskihajonnan kasvaessa kokonaisgeodiversiteetti vaikuttaisi lisääntyvän. Toisaalta kasvillisuusindeksin keskihajonnan (NDVlst) kohdalla hajontakuvion vuorovaikutus on tulkinnanvarainen eikä selvää lineaarista suhdetta ole silmämääräisesti hahmotettavissa. Hajontakuvioiden avulla saatiin kuitenkin yleiskuva tutkielmassa käytettävien selittävien muuttujien vaikutuksista ja suunnista. Muiden selittävien muuttujien hajontakuviot on esitetty liitteessä 4.



Kuva 14. Hajontakuvio A) kokonaisgeodiversiteetin (Geosum) ja korkeuden keskihajonnan (Elevationstd) ( $R_s = 0,248$ ,  $p < 0,01$ ), sekä B) kokonaisgeodiversiteetin ja kasvillisuusindeksin keskihajonnan (NDVlst) ( $R_s = 0,105$ ,  $p < 0,05$ ) välisestä riippuvuudesta. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

Seuraavaksi yksittäisten muuttujien itsenäistä vaikutusta ja selitysvoimaa kokonaisgeodiversiteettiin tarkasteltiin sijoittamalla jokainen selittävä muuttuja yksitellen yleistettyyn additiiviseen malliin (GAM).

Taulukko 9. Selittävien muuttujien itsenäinen vaikutus yhden muuttujan GAM-mallissa. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1. Korrelaatiotarkastelun ja p-arvojen perusteella muuttujat, joilla on paras itsenäinen selitysvoima selittää kokonaisgeodiversiteettiä on lihavoitu, käytettyjen tasoitusten arvioitu määrä (edf), residuaalien vapausasteiden arvioitu määrä (ref.df), korjattu selitysaste (R<sup>2</sup>adj) ja selitetty vaihtelu (selit. dev).

Muuttujat	edf.	ref.df	R <sup>2</sup> adj	selit.dev	AIC	p-arvo
Elevationmean	1,967	2,388	0,009	1,34 %	1303,006	0,169
<b>Elevationstd</b>	<b>2,727</b>	<b>2,947</b>	<b>0,074</b>	<b>8,00 %</b>	<b>1276,225</b>	<b>&lt;0,001***</b>
<b>Slopemean</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>0,011</b>	<b>1,34 %</b>	<b>1301,059</b>	<b>0,0197 *</b>
Slopestd	2,116	2,542	0,013	1,85 %	1301,216	0,0852
<b>TWImean</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>0,011</b>	<b>1,35 %</b>	<b>1301,025</b>	<b>0,0194 *</b>
TWlstd	1,573	1,929	0,001	0,47 %	1305,753	0,544
NDVImean	1,584	1,952	0,000	0,43 %	1305,936	0,592
<b>NDVlstd</b>	<b>2,766</b>	<b>2,959</b>	<b>0,048</b>	<b>5,46 %</b>	<b>1287,322</b>	<b>&lt;0,001***</b>
<b>Brightnessmean</b>	<b>1,415</b>	<b>1,711</b>	<b>0,019</b>	<b>2,20 %</b>	<b>1298,352</b>	<b>0,0153 *</b>
Brightnessstd	1,922	2,335	0,006	1,05 %	1304,077	0,268
Wetnessmean	1,984	2,408	0,009	1,41 %	1302,726	0,15
<b>Wetnessstd</b>	<b>2,276</b>	<b>2,675</b>	<b>0,0263</b>	<b>3,18 %</b>	<b>1295,995</b>	<b>&lt;0,001 ***</b>
Greennessmean	1,188	1,351	-0,002	0,11 %	1306,444	0,848
Greennessstd	1,907	2,304	0,008	1,24 %	1303,282	0,183

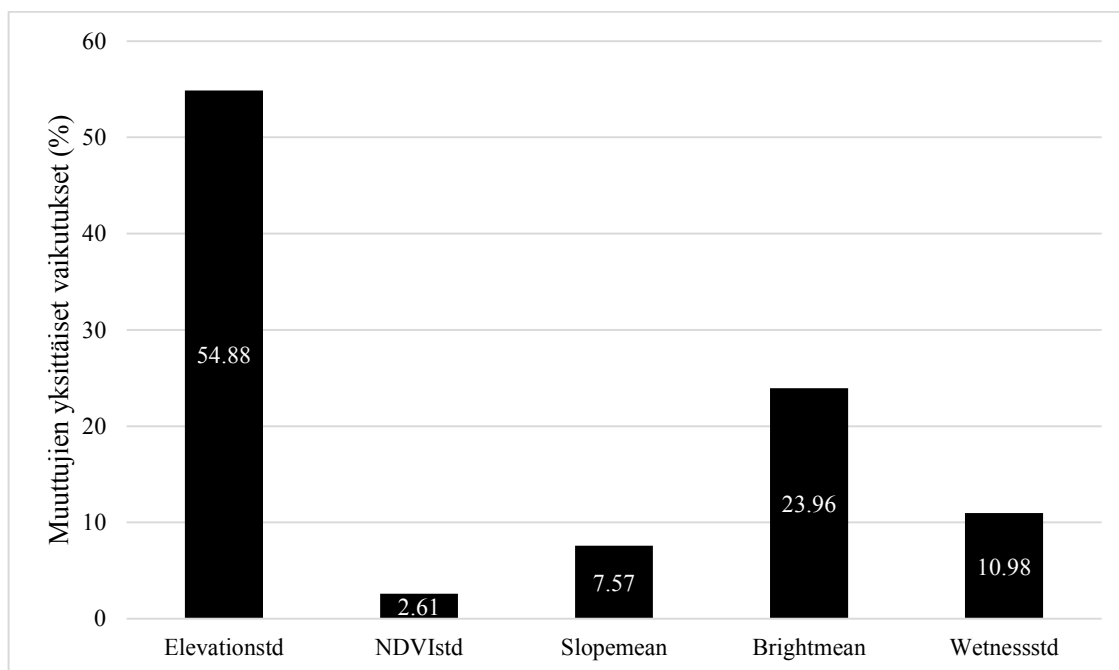
\*\*\* tilastollisesti merkitsevä 0,1 %:n merkitsevyystasolla  
 \*\* tilastollisesti merkitsevä 1 %:n merkitsevyystasolla  
 \* tilastollisesti merkitsevä 5 %:n merkitsevyystasolla

Yhden muuttujan GAM-malleissa korkeuden keskihajonta (Elevationstd) selitti kokonaisgeodiversiteetin vaihtelusta eniten eli 8 prosenttia. Korkeuden keskihajonnan AIC-arvo oli myös kaikista muuttujista pienin arvolla 1276,225. Seuraavaksi eniten vastemuuttujan vaihtelua selittivät kasvillisuusindeksi (NDVlstd) 5,46 prosentilla ja kosteuden keskihajonta (Wetnessstd) 3,18 prosentilla. Muiden GAM-malleissa tilastollisesti merkitsevien muuttujien (Slopemean, Brightnessmean) selitysaste jäi alle kolmeen prosenttiin eli muuttujien itsenäinen voima selittää kokonaisgeodiversiteettiä oli matala. Loput selittävät muuttujat eivät olleet yhden muuttujan GAM-malleissa tilastollisesti merkitseviä, ja niiden selitysaste jäi kaikissa tapauksissa alle kahteen prosenttiin.

Yhden muuttujan GAM-malleista tuotettiin R-ohjelmaa hyödyntäen vastekäyrät, jotka on esitetty liitteessä 5. Täten voitiin tarkastella selittävien muuttujien ja vasteen välistä vuorovaikutussuhdetta tarkemmalla tasolla. Vastekäyrien perusteella muuttujien itsenäiset vaikutukset vasteeseen olivat vaihtelevia. Lisäksi luottamusvälit olivat leveät

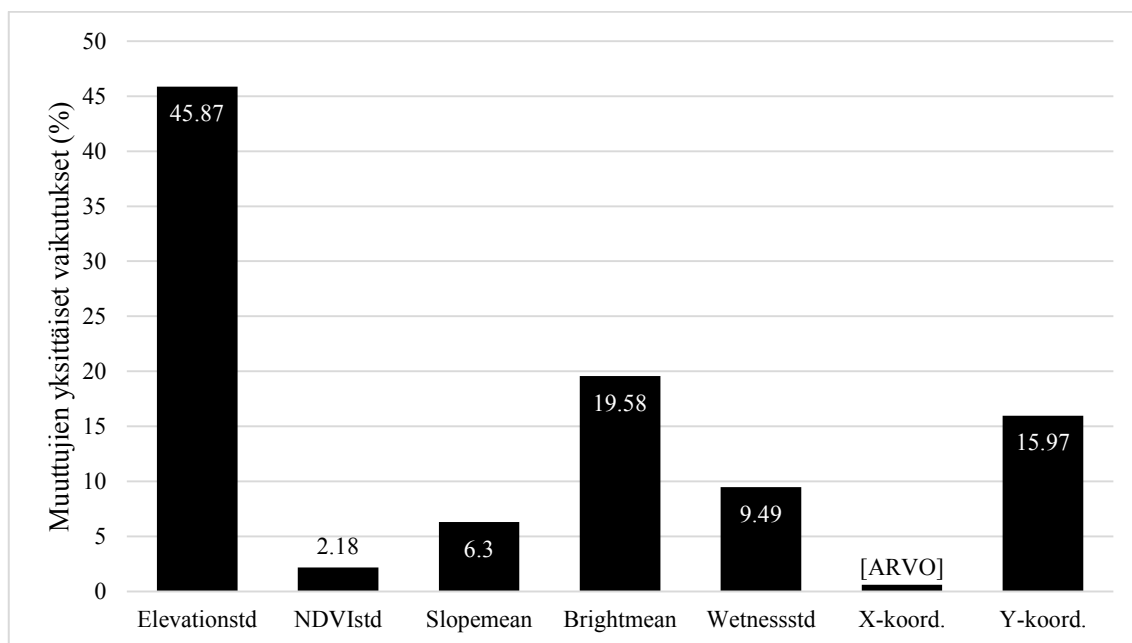
monessa tapauksessa varsinkin ääriarvoilla, joten muuttujien sovittumisessa oli parantamisen varaa. Vastekäyrien muodot olivat pääasiassa epälineaarisia, sillä ainoastaan rinteiden kaltevuuden keskiarvon (Slopemean) ja kosteuden keskiarvon (TWImean) kohdalla riippuvuussuhde vasteeseen oli lineaarinen. Korkeuden keskihajonnan (Elevationstd) ja rinteiden kaltevuuden keskiarvon (Slopemean) osalta vastekäyrän muoto vastasi korrelaatiotarkastelun mukaisesti positiivista suhdetta vasteeseen. Toisin sanoen topografisen vaihtelun lisääntyessä, kokonaisgeodiversiteetti kasvaa tutkimusalueella. Lisäksi kirkkauden keskiarvon (Brightnessmean) kohdalla vastekäyrän laskeva muoto vastasi korrelaatiotarkastelun negatiivista suhdetta vasteeseen. Sen sijaan kosteuden keskihajonnan (Wetnessstd) ja kasvillisuusindeksin keskihajonnan (NDVlstd) vastekäyrien muodoista oli haastavaa tulkita riippuvuussuhteita eivätkä käyrien muodot täysin vastanneet korrelaatiotarkastelun positiivisia korrelaatiokertoimia. Vastekäyrien muodot kulkivat aluksi positiivisesti, mutta muuttujien riippuvuussuhteet vasteeseen vaihtuivat negatiiviseksi tiettyjen kynnyksien jälkeen. Toisaalta kasvillisuusindeksi kuvastaa maanpeitteen ja kasvillisuuden määrää, joten sen riippuvuussuhdetta oli haastava tulkita tässä yhteydessä.

Mallinnuksen tuloksia ja selittävien muuttujien itsenäistä vaikutusta kokonaisgeodiversiteettiin tarkasteltiin myös hierarkkisen osituksen avulla (kuva 15), johon valikoitiin tilastollisesti merkitsevimmät muuttujat yhden muuttujan GAM-mallien perusteella. Osituksen tulokset olivat suurimmalti osin linjassa aikaisemmin esitettyjen yhden muuttujan GAM-mallien kanssa. Toisaalta tulee ottaa huomioon, että hierarkkinen ositus ja yhden muuttujan mallit eivät ole tutkimusasemaltaan täysin vertailukelpoisia. Korkeuden keskihajonnalla (Elevationstd) oli suurin selittävä voima ja hierarkkisen osituksen perusteella se selitti tutkimusalueella yksin noin 54,9 prosenttia mallin selittämästä vaihtelusta. Huomionarvoisin seikka oli, että kasvillisuusindeksin keskihajonnan (NDVlstd) selitysvaikutus laski hierarkkisessa osituksessa ja se selitti ainoastaan 2,61 prosenttia mallin selittämästä vaihtelusta. Toinen tärkeä seikka oli, että kirkkauden keskiarvon (Brightnessmean) merkitys korostui osituksen myötä ja sillä oli toiseksi korkein selitysvaikutus (23,96 prosenttia) korkeuden keskihajonnan jälkeen.



Kuva 15. Hierarkkisen osituksen valittujen muuttujien suhteellinen selityskyky summautuen 100 prosenttiin. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

Kuvassa 16 on esitetty hierarkkisen osituksen tulokset, kun malliin lisättiin X- ja Y-koordinaatit. Korkeuden keskihajonta (Elevationstd) oli edelleen paras muuttuja selitysvaimansa osalta, mutta arvo heikkeni noin yhdeksällä prosentilla (45,87 prosenttia). Toiseksi parhaiten kokonaisgeodiversiteetin vaihtelua selitti yhä kirkkauden keskiarvo (Brightnessmean), joka pieneni noin neljä prosenttiyksikköä. Olennaisin muutos oli, että Y-koordinaatin selitysvaima oli kolmanneksi korkein ja se selitti osituksen perusteella yksin 15,97 prosenttia mallin selittämästä vaihtelusta. Lopuissa muuttujissa (Wetnessstd, Slopemean ja NDVIstd) selitysvaima laski ja selitysvaimat jäivät edelleen alle kymmeneen prosenttiin. X-koordinaatin selitysvaima kokonaisgeodiversiteetin vaihtelusta oli kaikkein pienin, alle yhden prosentin.

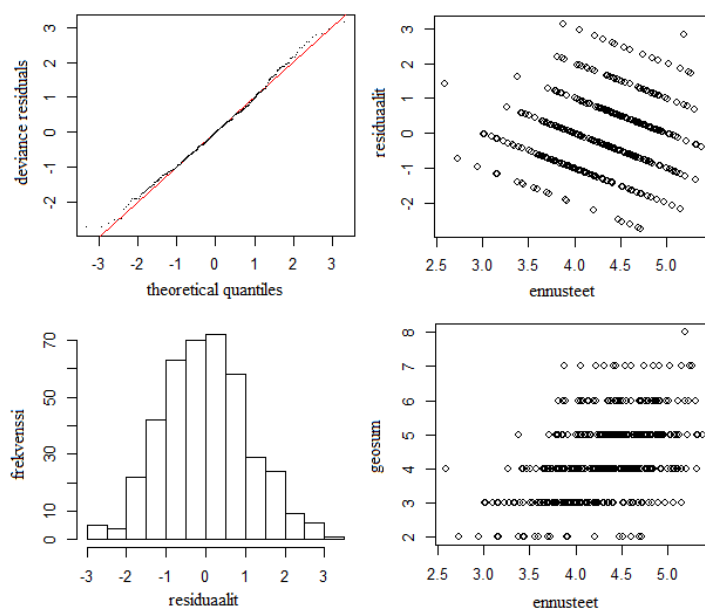


Kuva 16. Hierarkkisen osituksen valittujen muuttujien ja koordinaattien (X ja Y) selityskyky summautuen 100 prosenttiin. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

### 8.3 Kokonaisgeodiversiteetin mallinnus

GAM-mallin muuttujavalinta tapahtui selittävien muuttujien p-arvon perusteella. Samaan malliin olisi päädytty myös AIC-arvon perusteella, joka oli lopullisessa mallissa matalin verrattuna muihin mahdollisiin vaihtoehtoihin. Monimuuttujamalliin selittäväksi muuttujiksi valikoituivat takaperin askeltavan muuttujavalintamenetelmän myötä viisi muuttujaa neljäntoista muuttujan joukosta (taulukko 9): korkeuden keskihajonta (Elevationstd), rinteiden kaltevuuden keskiarvo (Slopemean), kasvillisuusindeksi keskihajonta (NDVIstd), kirkkauden keskiarvo (Brightnessmean) ja kosteuden keskihajonta (Wetnesstd). Täten malliin valikoitui kaksi topografista muuttujaa DEM-mallista ja kolme muuttujaa satelliittikuvasta. Lopullisen mallin selitysaste kykeni selittämään 19,6 prosenttia kokonaisgeodiversiteetin vaihtelusta AIC-arvon ollessa 1235,89. Otoksoon ja muuttujien määrän huomioivalla korjatulla selitysasteella ( $R_{adj}$ ) selitysaste oli 17,6 prosenttia, joten mallin selitysvoima oli kokonaisuudessaan kohtalainen. Mallin tarkkuuden ja mittausvirheiden analysointiin laskettiin myös absoluuttinen keskivirhe (MAE) ja keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE). MAE-arvoksi saatiin 0,560 ja RMSE-arvoksi 1,080.

Mallinnuksen onnistumisen ja hyvyyden kannalta oli olennaista toteuttaa myös residuaali- eli jäännösvirhetarkastelu mallin residuaaleista, millä saatiin selville mahdolliset epänormaaliudet aineiston osalta (kuva 17). Mallin ennusteiden ja vasteen (Geosum) välinen kuvaaja osoitti, että ennusteilla oli taipumus noudattaa havaittujen arvojen jakaumaa ja niiden välillä oli jokseenkin lineaarinen suhde. Mallin residuaalien ja ennusteiden hajontakuviosta voidaan puolestaan havaita, että residuaalit eivät esiintyneet kovinkaan systemaattisesti tai säännönmukaisesti. Lisäksi odotetun normaalijakauman todennäköisyyskuvaajassa havaitut arvot asettuivat lähes täydellisesti lineaariseen muotoon, joten odotetun normaalijakauman arvojen ja havaittujen arvojen erotukset olivat pieniä. Näiden kuvaajien perusteella mallia voitiin pitää yleisesti ottaen melko onnistuneena ja tilastollisesti vakaana, vaikka residuaalien normaalijakautuneisuus ja mallin sovittuminen niihin ei aivan täydellisesti noudattanut toivottua linjaa.

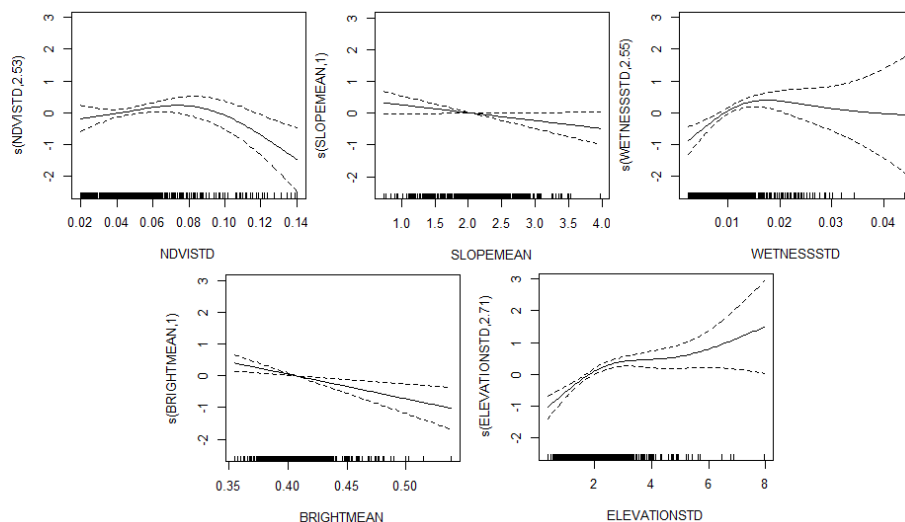


Kuva 17. Residuaalitarkastelun kuvaajat. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

Aineiston spatiaalista autokorrelaatiota kuvaava Moranin indeksi viidellä etäisyysluokalla vaihteli välillä 0,026 ja 0,204 ja niiden p-arvot olivat välillä 0,07 ja 0,752. Arvot asettuivat lähelle nollaa ja p-arvot eivät myöskään alittaneet 5 prosentin tilastollisesti merkitsevän riskirajaa. Tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, jolloin nollahypoteesiä ( $h_0$ : aineistossa ei ole spatiaalista autokorrelaatiota) ei voida

hylätä. Täten spatiaalinen rakenne oli satunnaista eikä aineistossa esiintynyt spatiaalista autokorrelaatiota.

Lopullisen GAM-mallin vastekäyriä (kuva 18) tarkastellessa voitiin todeta, että vastekäyrien suunnat ja muodot olivat edelleen vaihtelevia ja usean muuttujan kohdalla käyrien muodot olivat pysyneet samoina. Ainoastaan rinteiden kaltevuuden keskiarvon (Slopemean) suunta oli muuttunut yhden muuttujan GAM-malliin verrattaessa positiivisesta negatiiviseksi. Korkeuden keskijonnan (Elevationstd) vastekäyrän muoto vastasi korrelaatiotarkastelun ja yhden muuttujan GAM-mallin mukaisesti positiivista riippuvuussuhdetta vasteseen. Tämän perusteella voitiin siis todeta topografisen vaihtelun vaikuttavan positiivisesti kokonaisgeodiversiteettiin. Lisäksi vastekäyrät osoittivat, että rinteiden kaltevuuden keskiarvon (Slopemean) ja kirkkauden keskiarvon (Brightnessmean) vaikutus geodiversiteetin määrään oli heikosti negatiivinen eli kun rinteiden kaltevuus ja maaperän heijastama kirkkaus kasvavat niin geodiversiteetin määrä tutkimusalueella laskee. Kosteuden keskijonnan (Wetnessstd) ja kasvillisuusindeksin keskijonnan (Ndvistd) vastekäyrien epälineaarisista muodoista oli haastavaa tulkita riippuvuussuhteita, sillä vastekäyrien muodot kulkevat aluksi positiivisesti, mutta vaihtuvat negatiiviseksi tiettyjen kynnyksarvojen jälkeen.



Kuva 18. GAM-mallin vastekäyrät. Y-akselilla muuttujan nimen yhteyteen on ilmoitettu tasoitusfunktio ja vastekäyrien ympärillä katkoviivoilla on esitetty 95 % luottamusväli. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

## 8.4 Geokohteiden pisteet

Geokohteiden pisteytyksessä maksimipistemäärä oli 18 pistettä. Yhteispistemäärän mukaan kolme geokohdetta (Riitakankaan kivijata, Aumakivi ja jälkifossiili) sijoituivat pistemäärältään korkeimpaan eli ensimmäiseen (15-18 p.) luokkaan (taulukko 10). Siten ne olivat pisteytyksen perusteella geomorfologisesti ja luontomatkailullisesti merkittävimmät kohteet tutkimusalueella. Toiseen (10-14 p.) luokkaan sijoittui viisi geokohdetta, jotka olivat geomorfologisesti ja/tai matkailullisesti melko merkittäviä kohteita. Pisteytykseltään matalimpaan eli kolmanteen luokkaan (0-9 p.) sijoituivat Rumakivi, Kärkiluoman dyyni ja Isoneva.

Taulukko 10. Geokohteiden luokittelun tulokset. (Taulukon osa-alueet: 1.1 Tieteellinen tutkimus, 1.2 Harvinaisuus, 1.3 Ulkomuoto, 1.4 Opetus ja koulutus, 2.1 Erottuminen ympäristöstä, 2.2 Lähiympäristö, 3.1 Vaurioitumisaste, 3.2 Vaurioitumisuhka, 4. Saavutettavuus luontomatkailun kannalta)

Geokohteet	Geologia ja geomorfologia				Maisemallinen arvo		Luonnontilaisuus		Saavutettavuus	Yhteensä
	1.1.	1.2.	1.3.	1.4.	2.1.	2.2.	3.1.	3.2.	4.	
Riitakankaan kivijata	3	2	2	2	2	2	2	0	2	17
Aumakivi	3	2	2	1	2	1	2	1	2	16
Jälkifossiili	3	2	2	2	0	2	2	1	1	15
Kiviharjun rantavalli	3	1	2	1	1	1	2	0	2	13
Lauhanvuoren hiekkakivi	3	2	1	1	0	2	2	0	1	12
Likolamminsuu	3	0	2	0	2	1	2	1	0	11
Siirroslinja	1	2	1	2	0	2	2	0	1	11
Kaivolampi, suppa	2	1	1	1	1	1	2	1	1	11
Rumakivi	1	0	1	1	1	1	2	0	2	9
Kärkiluoman dyyni	3	0	1	1	1	1	2	0	0	9
Isoneva	1	0	1	0	1	1	1	1	1	7

Geologiassa ja geomorfologiassa arvokkaimmat geokohteet olivat Riitakankaan kivijata (9 p.), jälkifossiili (9 p.) ja Aumakivi (8 p.). Maisemallisesti arvokkaimmat geokohteet olivat Riitakankaan kivijata (4 p.) ja kolmella pisteellä Aumakivi ja Likolamminsuu. Luonnontilaisuudessa geokohteiden pisteiden vaihteluväli oli kaikista pienintä, koska kaikki geokohteet saivat arvioinnissa 2-3 pistettä. Helpoiten saavutettavimmat kohteet luontomatkailun kannalta olivat, maksimipistemäärällä (2 p.) Riitakankaan kivijata, Aumakivi, Kiviharjun rantavalli ja Rumakivi. Näissä kohteissa ulkoilureitti kulki muodostuman yli.



**Riitakankaan kivijata** arvioitui Lauhanvuoren arvokkaimmaksi kohteeksi luontomatkailullisesti ja geomorfologisesti. Kohde saavutti kaikista muista arviointiluokista maksimipisteet, paitsi luonnontilaisuudesta. Kivijata esiintyy aikaisemmissa tutkimuksissa useamman kerran (Olander 1934; Salomaa 1982a). Vaurioistumisasteelta kohde oli vähäisesti vaurioitunut eroosion ja ihmisen toiminnan takia.

Toiseksi arvokkain geokohde Lauhanvuorella oli **Aumakivi**, jota voidaan pitää harvinaisena esiintymänä Suomen mittakaavassa. Aumakivi on ulkomuodoltaan hyvin muodostunut ja se erottuu ympäristöstä selkeän ulkomuotonsa ansiosta. Lisäksi se on mainittu aikaisemmissa tutkimuksissa kuten Söderman (1983) ja Salomaa (1983). Kohteen lähiympäristöstä (1 km säde) sijaitsee muita merkittäviä geokohteita, kuten aikaisemmin mainittu Riitakankaan kivijata. Aumakivi sijaitsee kansallispuiston rajojen ulkopuolella, minkä vuoksi sitä uhkaa vaurioituminen tulevaisuudessa. Aumakivi on melko helposti saavutettava kohde opetuksellisesti, koska ulkoilureitti kulkee muodostumalle parkkipaikalta.

Kolmanneksi arvokkain geokohde oli **jälkifossiili**, joka on mainittu vertaisarvioituissa tutkimuksissa (Tynni & Honkanen 1982) ja se on osa historian ja Itämeren vaiheiden tutkimusta. Yleisesti fossiilit ovat Suomessa ja Lauhanvuorella harvinaisia. Ulkomuodoltaan fossiilijälki on hyvin muodostunut ja ryömimisjäljet ovat selvästi havaittavissa. Opetuksellisesti ja luontomatkailun kannalta fossiili on helposti saavutettava, mutta ympäristöstään fossiili ei kuitenkaan erotu kovin helposti. Vaurioitumisasteeltaan fossiili on vähäisesti vaurioitunut ja sillä on tulevaisuudessakin vaurioitumisriski.

**Kiviharjun rantavalli** on Lauhanvuoren pisin rantavalli, mutta se ei kuitenkaan muodostumana ole harvinainen Lauhanvuorella tai Suomessa. Kohde on mainittu aikaisemmin muun muassa Lauhanvuoren merkittävien geomorfologisten muodostumien syntymistä (Salomaa 1983) ja Itämeren vaiheita käsittelevässä tutkimuksessa (Saarnisto 1981). Kiviharjun rantavalli on opetuksellisesti vaikeammin saavutettava opetuskohde, sen syrjäisen sijainnin takia, mutta muodostuman yli kulkee kuitenkin ulkoilureitti. Maisemallista arvoa kohteella arvoitettiin yhteensä kaksi pistettä,

koska luontomatkailija kykenee melko helposti erottamaan sen ympäristöstään ja sen lähistöllä on useita merkittäviä kohteita. Kiviharjun rantavalli on täysin vaurioitumaton, eikä sillä ole tulevaisuudessa merkittävää vaurioitumisuhkaa.

**Lauhanvuoren hiekkakivi** arvioitiin maksimipisteille harvinaisuudessa, opetuksessa ja lähiympäristössä. Aikaisemmissa tutkimuksissa kohde on myös mainittu useasti (Olander 1934; Salomaa 1983; Koivurinne 1999). Saavutettavuudeltaan hiekkakivi on melko helposti saavutettava opetuskohte, koska kivijadoissa esiintyy yksinomaan hiekkakiveä ja muualta kansallispuistosta kallioperää on haastava havaita paksun maaperän takia. Vaurioitumisasteeltaan kohde on vähäisesti vaurioitunut, koska sitä on hyödynnetty esimerkiksi myllykiven valmistukseen.

**Siirroslinjalla** on hieman merkitystä korkokuvan kehityksessä ja siirros mainitaan vähintään yhdessä tutkimuksessa (Salomaa 1983). Maisemassa havaittavat postglasiaaliset siirrosjäljet ovat harvinaisia Lauhanvuorella ja Suomessa. Yli kuusi kilometriä pitkä murros on ulkomuodoltaan hyvin muodostunut, mutta se on kuitenkin erittäin haastava erottaa ympäristöstä, koska kivijatalalla sijaitsee poikkisuunnassa rantavalleja ja kivijata geokohteen pohjana on pinnanmuodoltaan vaihteleva. Kohde on kuitenkin erittäin helposti havaittavissa ilmakuvasta (kuva 11). Siirroslinja on opetuksen ja luontomatkailun näkökulmasta helposti saavutettava geokohde, koska ajokelpoinen tie ja ulkoilureitti sijaitsevat aivan geokohteen läheisyydessä. Siirroslinja on vähäisesti vaurioitunut eroosion ja mahdollisen ihmistoiminnan takia, mutta sillä ei kuitenkaan ole tulevaisuudessa merkittävää vaurioitumisuhkaa.

**Likolamminsuu** on mainittu aikaisemmissa tutkimuksissa vähintään kerran (Niemelä & Raikamo 1983). Likolammin suu on erittäin selvästi muodostunut, mutta se on opetuksellisesti vaikeasti saavutettava, koska se sijaitsee yli 500 metrin päässä ulkoilureitistä. Likolamminsuon lisäksi Lauhanvuorella esiintyy erillisiä keidassoita noin kymmenen kappaletta ja suotyypinä se on Suomessa hyvin yleinen. Likolamminsuu erottuu hyvin ympäristöistään ja sen lähellä sijaitsee useita vähemmän merkittäviä kohteita. Likolamminsuon luonnontilaisuus on vähäisesti vaurioitunut ojituksen takia ja täten suolla on tulevaisuudessakin vaurioitumisuhka.

***Kaivolampi*** mainitaan aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Salomaa 1982b; Suominen & Varkki 1984), sillä se on vaikuttanut jääkauden jälkeen korkokuvan kehittymiseen. Suppalammet ovat suhteellisen yleisiä Lauhanvuorella ja erittäin yleisiä Suomessa. Geokohde on hyvin muodostunut ja se on melko helposti saavutettava opetuksen ja luontomatkailun näkökulmasta. Kaivolampi eroaa ympäristöstään ja sen lähellä sijaitsee muita merkittäviä geokohteita. Kaivolampi on vähäisesti vaurioitunut ihmistoiminnan takia ja sen uhkana on tulevaisuudessa edelleen lisääntyvä ihmistoiminta ja ojitus.

***Rumakivi*** lienee parhaiten tunnettu siirtolohkare Lauhanvuorella. Rumakivi saavutti kaikista matalimmat pisteet tieteellisen tutkimuksen näkökulmasta. Lauhanvuorella sijaitsee useita siirtolohkareita eri puolilla rinnettä, ja siirtolohkareet ovat erittäin yleisiä myös Suomessa. Rumakivi on kuitenkin ulkomuodoltaan hyvin muodostunut ja se on melko helposti erotettavissa ympäristöstään. Kyseinen siirtolohkare sijaitsee ulkoilureitin varrella, mutta opetuksellisesta näkökulmasta se on haastava saavuttaa. Rumakivi on täysin vaurioitumaton, eikä sillä ole tulevaisuudessa vaurioitumisuhkaa.

***Kärkiluoman dyyni*** on ulkomuodoltaan selkeästi muodostunut, 7-8 metriä korkea U-kirjaimen muotoinen dyyni. Muodostumana dyynit eivät ole kovinkaan harvinaisia Suomessa, ja Lauhanvuorella dyynejä esiintyy yli kymmenen kappaletta. Kärkiluoman dyyni mainitaan useaan kertaan tutkimuksissa (Salomaa 1982b, 1983). Opetuskohteena Kärkiluoman dyyni on melko helposti saavutettava kohde. Ulkoilureitti kulkee yli 500 metrin päässä dyynistä, mutta se on lähellä ajokelpoista tietä. Kyseisen geokohteen erottaa helposti ympäristöstään ja lähiympäristössä sijaitsee muita merkittäviä geokohteita. Kärkiluoman dyyni on täysin vaurioitumaton muodostuma, eikä sillä ole tulevaisuudessa merkittävää uhkaa.

***Isonvan aapasuota*** on mainittu ainakin kerran aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Olander 1934). Ulkomuodoltaan se on hyvin muodostunut kohde, mutta se ei ole opetuksellisesti kovin helposti saavutettava. Luontomatkailullisesta näkökulmasta Isonvan saavuttaa helpommin, koska ulkoilureitti kulkee lähellä kohdetta. Maisemalliselta arvoltaan aapasuo erottuu helposti ympäristöstään ja suon lähellä sijaitsee useita merkittäviä geokohteita. Aapasuot ovat yleisiä Lauhanvuorella ja myös

Suomessa. Luonnontilaisuudeltaan Isoneva on vähäisesti vaurioitunut, koska sitä on ojitettu. Tämä asettaa kohteelle vaurioitumisuhkan myös tulevaisuudessa.

## 9. Tulosten tarkastelu ja pohdinta

Geodiversiteetti on käsitteenä vielä varsin nuori ja tutkijat ympäri maailmaa ovat viime vuosina esittäneet erilaisia keinoja geodiversiteetin mittaamiseen ja arvioimiseen (Kozłowski, 2004; Serrano & Ruiz-Flaño 2007b; Benito-Calvo ym 2009; Hjort & Luoto 2010; Pellitero ym. 2011; Hjort & Luoto 2012; Pereira ym. 2013; Manosso & de Nóbrega 2016; Santos ym. 2017; Schrodte ym. 2019). Tässä tutkielmassa seurattiin pääosin Hjortin ja Luodon (2010) käyttämää ruutulähestymistapaa geodiversiteetin mittaamisessa. Ruutulähestymistapaa voidaan pitää perusteltuna, sillä sen avulla voidaan mitata geodiversiteettiä, mutta myös tutkia geodiversiteetin ja ympäristön sekä geodiversiteetin ja biodiversiteetin yhteyttä (Hjort & Luoto 2010: 115). Lisäksi ruutulähestymistapaa on verrattain helppo ja yksinkertainen soveltaa eri tutkimusalueille (Santos ym. 2017: 191) ja sen avulla tutkimusalue voidaan jakaa objektiivisesti samankokoisiksi yksiköiksi. Näin ollen tutkimusruutuja voidaan vertailla toisiinsa nähden ja niitä voidaan käyttää kvantitatiivisissa analyyseissä (Hjort & Luoto 2010: 115).

### 9.1 Lauhanvuoren alueellinen geodiversiteetti

Tuloksien perusteella Lauhanvuoren tutkimusalueen kokonaisgeodiversiteetin maksimiarvo oli 8, kun erilaisia kartoitettavia elementtejä oli yhteensä 45 (liite 1). Kokonaisgeodiversiteetin arvot tutkimusruutua kohden vaihtelivat 2-8 välillä. Hjortin ja Luodon (2010: 113) vastaavanlaisessa tutkimuksessa Pohjois-Suomessa ruutujen kokonaisgeodiversiteetin arvot vaihtelivat 2-22 välillä. Vastaavasti Hjortin ja Luodon (2012: 77) tutkimuksessa geodiversiteetti-arvot vaihtelivat Rekijoella 3-18 ja Oulangalla 4-23 välillä. Lopullisten elementtien määrä tutkimusruuduissa on kuitenkin merkitykseltään vähäisempi suhteessa alueen monimuotoisuudesta saatuun kokonaiskuvaan, sillä kokonaisgeodiversiteetin arvoihin vaikuttavat voimakkaasti käytetyn resoluution koko, elementtien luokittelu ja alue, jolta tutkimus toteutetaan (Ibáñez ym. 1998; Hjort & Luoto 2010: 115).

Kokonaisgeodiversiteetti-arvo oli suhteellisen matala erityisesti supra-akvaattisella huipulla ja tasaisilla suoalueilla. Korkeimmat arvot sijoittuvat tutkimusalueelle melko satunnaisesti, eikä selvää jatkumoa ruutujen välillä esiinny. Toisaalta Lauhanvuoren etelärinteellä geodiversiteetti on selvästi runsaampaa suhteessa pohjoisrinteeseen ja kokonaisgeodiversiteetin arvot ovat suurempia topografisesti heterogeenisillä alueilla. Hjortin ja Luodon (2010: 115) mukaan korkean geodiversiteetin alueet sijoittuvat yleensä juuri topografisesti heterogeenisille maisema-alueille, joissa vallitsevat erilaiset abioottiset olosuhteet. Lisäksi he esittävät, että maiseman muokkaantumisessa eroosiolla ja akkumulaatiolla on merkittävä rooli. Tämä on selvästi havaittavissa Lauhanvuoren kivijadoilla ja rantavalleissa, joissa vesi on kerännyt eroosioainesta. Alueen maaperä on asettunut aikojen saatossa lähestulkoon lepotasoonsa, jota kasvillisuus sitoo. Rinneprosessit eivät siis enää muokkaa rinteitä samassa määrin kuin jääkauden jälkeen tai yleisesti vuoristoisemmilla alueilla. Tulosten perusteella myös kokonaisgeodiversiteetin keskihajonta oli matala ja näin ollen Lauhanvuorta voidaan pitää geodiversiteetin osalta homogeenisena alueena.

Lauhanvuoren tyypillisimpiä geomorfologisia muodostumia olivat litoraaliset rantavyöhykkeen muodostumat ja tuulen kasaamat dyynit. Geomorfologialtaan Lauhanvuori on loivapiirteinen, jossa suoalueet tasoittavat topografiaa entisestään ja kartoitetut geomorfologiset muodostumat sijaitsivat pääasiassa Lauhanvuoren rinteillä. Vastaavanlaisia löydöksiä esittävät Zwoliński ja Stachowiak (2012), sillä heidän mukaansa korkeammat alueet ovat geodiversiteetiltään monipuolisempia verrattuna laaksoalueisiin. Muodostumien esiintyminen rinnealueella ei myöskään ole yllättävää, sillä jääkauden jälkeisen kehitys ja Itämeren muotoutuminen ovat vaikuttaneet alueeseen voimakkaasti. Maaperätyyppien kartoituksessa Lauhanvuoren hallitsevimiksi maalajeiksi osoittautuivat paksu ja ohut turve sekä sekalajitteinen moreeni. Tämä havainto ei sinänsä ole yllättävä, sillä moreeni peittää yli 50 prosenttia Suomen maapinta-alasta (GTK 2005). Turpeen muodostumiseen vaikuttaa Lauhanvuorella vahvasti tutkimusalueen sijainti vedenjakaja-alueella.

Kallioperän kivilajityypit muodostuivat pääosin kvartsihiekkakivestä ja porfyryigraniitista. Hiekkakivi on alueella geologinen erikoisuus, sillä se on Suomen suurin kvartsihiekkasiintymä (Simonen & Kouvo 1955: 75) ja iältään rinnastettavissa

Suomenlahden eteläpuolisiin sedimenttikivilajeihin (Laitakari 1998: 310). Lauhanvuoren kansallispuistoa voidaan pitää luonteeltaan erikoisena merkittävien vesistöjen niukkuuden vuoksi. Hydrologisten ja fluviaalisten prosessien esiintymistä tutkimusalueella ovat vahvasti ohjanneet alueen kehityshistoria, maaperä ja sijainti Suomenselän vedenjakajaseudulla. Useissa aikaisemmissa tutkimuksissa juuri rotkot ja laaksot ovat osoittautuneet geodiversiteetiltään merkittäviksi kohteiksi (Serrano ym. 2009: 179; Zwoliński & Stachowiaki 2012: 105). Tämän perusteella hydrologisten kohteiden vähyys voi olla yksi selittävä tekijä matalaan kokonaisgeodiversiteettiin Lauhanvuoren alueella.

## 9.2 Muuttujien vaikutus geodiversiteettiin

Tutkimusalueen tärkeimmäksi selittäväksi muuttujaksi korrelaatiokertoimen, univariaattianalyysin ja hierarkkisen osituksen perusteella valikoitui korkeuden keskihajonta (Elevationstd) (taulukko 9; kuva 15, 16). Korkeuden keskihajonnalla on ollut aikaisemmissa tutkimuksissa jokseenkin moniselitteinen vaikutus geodiversiteetin runsauteen. Seijmonsbergen ja muut (2017: 42) havaitsivat korkeuden keskihajonnan korreloivan eniten geodiversiteetin kanssa, kun taas Örsi (2011: 21) esittää, ettei korkeuden keskihajonnan arvoilla ole vaikutusta kokonaisgeodiversiteettiin. Toisaalta, vaikka korkeus yleisesti yhdistetään erilaisiin geomorfologisiin muodostumiin, se on Hjortin ja Luodon (2010: 115) mukaan enemmänkin epäsuora tekijä geologisissa ja geomorfologisissa prosesseissa. Myös korkeuden vaikutusten suunnassa (positiivinen ja negatiivinen korrelaatio) on tapauskohtaisia vaihteluita eri prosessien välillä, mikä voi estää täsmällisten riippuvuussuhteiden hahmottamista.

Yhden muuttujan GAM-mallinnuksen mukaan toiseksi tärkein kokonaisgeodiversiteettiä selittävä muuttuja on kasvillisuuden keskihajonta (NDVIstd). NDVI:n korkea itsenäinen vaikutus selittyy myös Hjortin ja Luodon (2012) tutkimuksessa eteläisellä boreaalisella ja subarktisella alueella, jossa kasvillisuus oli yksi tärkeimmistä geomorfologisiin prosesseihin vaikuttavista tekijöistä. Kasvillisuudella voi Hjortin ja Luodon (2009: 324) mukaan olla geomorfologisia prosesseja stabiloiva vaikutus. Kasvillisuusindeksin keskihajonnan ja kokonaisgeodiversiteettiin positiiviseen suhteeseen voi osittain vaikuttaa myös

maaperätyyppien määrä, sillä mitä monipuolisemmat kasvuolosuhteet ovat sitä enemmän kasvillisuutta (Heikkinen & Neuvonen 1997). Hierarkkisen osituksen perusteella kasvillisuusindeksin keskihajonnan selitysvaima oli kuitenkin toiseksi matalin muihin muuttujiin verrattaessa ja myös vastekäyrän epälinearisista muodoista on haastavaa tulkita riippuvuussuhteita, sillä käyrän muodot kulkevat aluksi positiivisesti, mutta vaihtuvat negatiiviseksi tiettyjen kynnyksarvojen jälkeen. Täten kasvillisuusindeksin vaihtelun kasvaessa kokonaisgeodiversiteetti kasvaa tiettyyn rajaan asti, jonka jälkeen se alkaa vähenemään.

Kosteuden keskihajonnalla (Wetnessstd) oli univariaattianalyysin ja hierarkkisen osituksen perusteella positiivinen, mutta heikko selitysvaima vasteeseen nähden. Aikaisempien tuloksien (Hjort & Luoto 2012: 78) perusteella kosteusindeksillä on ollut positiivinen ja merkittävä riippuvuus kokonaisgeodiversiteetin kanssa. Kosteuden keskihajonnan positiivinen vaikutus kokonaisgeodiversiteettiin voi perustua lajittuneiden eli veden lajittelemien maalajien runsaalla määrällä tutkimusalueella (Hjort & Luoto 2011: 369). Lajittuneet maalajit ovatkin Lauhanvuoren yleisimpiä maalajeja, joita esiintyy tasaisesti eri puolilla tutkimusaluetta. Tilastollisessa tarkastelussa kosteuden keskihajonta (Wetnessstd) osoittautui topografista kosteusindeksiä (TWI) selitysvaivoimaisemmaksi muuttujaksi. Kosteuden keskihajonta perustuu pitkälti kasvillisuuden kosteuteen, kun taas topografinen kosteusindeksi kuvaa topografian ohjaamaan maaperän kosteutta.

Tilastoanalyysien perusteella kirkkauden keskiarvon (Brightnessmean) ja rinteiden kaltevuuden keskiarvon (Slopemean) selityskyky vaihteli tarkasteltavan menetelmän mukaan. Hierarkkisen osituksen perusteella kirkkauden keskiarvo selittää geodiversiteettiä toiseksi eniten. Kirkkauden keskiarvolla (Brightnessmean) oli negatiivinen ja tilastollisesti merkittävä suhde geodiversiteettiin, kuten myös Hjortin ja Luodon (2012: 78) tutkimuksessa. Kirkkauden valikoituminen lopulliseen malliin tässä tutkielmassa voi osaltaan selittyä tutkimusalueen maaperän voimakkaasta heijastavasta vaikutuksesta ja spektri-arvoista. Lauhanvuoren rinteille sijoittui yleisesti katsoen enemmän geodiversiteettielementtejä kuin ympäröiville soisimmille ja metsäisemmille alueille, mitä satelliittiaineistoista laskettu kirkkaus kykenee jossain määrin kuvaamaan.

Rinteen kaltevuuden keskiarvo osoittautui heikoimmaksi itsenäiseksi selittäväksi tekijäksi. Aikaisempiin tutkimuksiin nähden tämä oli yllättävä tulos, koska rinteen kaltevuuden on todettu aikaisemmissa tutkimuksissa olevan merkittävä geodiversiteettiä selittävä tekijä. Muuan muassa Hjortin ja Luodon (2012: 78) tutkimuksessa kaikilla kolmella tutkimusalueella eri puolilla Suomea rinteen kaltevuuden keskiarvo oli tilastollisesti merkitsevimpien selittävien muuttujien joukossa korkeilla korrelaatiokertoimilla. Rinteen kaltevuuden heikko selityskyky Lauhanvuorella voi kuitenkin selittyä merkittävien topografisesti vaihtelevien alueiden puuttumisella, sillä topografian on aikaisemmin todettu vaikuttavan suoraan rinneprosesseihin ja myös rinteen kasvillisuuteen ja eolisiin prosesseihin (Hjort & Luoto 2008: 717). Rotkot ja laaksot osoittautuivat geodiversiteetiltään merkittävimiksi kohteiksi myös Serranon ym. (2009) sekä Zwolińskin ja Stachowiakin (2012) tutkimuksissa.

Hierarkkisen osituksen perusteella Y- ja X-koordinaattien itsenäinen kyky selittää geodiversiteettielementtien esiintymistä oli kohtalaisen matala. Lauhanvuoren laki on ollut suuren vesialueen ympäröimä saari, jota meri ajan saatossa on muokannut. Näin ollen aallot, jää ja tuuli ovat päässeet muokkaamaan kasvipeitteetöntä saarta kauttaaltaan (Salomaa 1982a). Tämän perusteella X- ja Y-koordinaattien melko vähäinen selitysvoima on looginen, sillä kokonaisgeodiversiteettiä arvot jakautuvat tutkimusalueella lähes satunnaisesti koordinaatiston näkökulmasta eikä selvää alueellista jatkumoa ruutujen välillä täten esiinny.

Tässä tutkielmassa kokonaisgeodiversiteetillä oli yhden muuttujan GAM-mallien sekä monimuuttujamallin selitysasteen perusteella yhteys sekä topografisiin muuttujiin (Elevationstd ja Slopemean) että satelliittikuvamuuttujiin (NDVIstd, Brightnessmean ja Wetnessmean). Topografisten muuttujien ja erityisesti korkeuden keskihajonnan (Elevationstd) selitysvoima ja korrelaatio oli satelliittikuvamuuttujia korkeampi. Hjortin ja Luodon mukaan topografisia muuttujia voidaan pitää myös käytännön syistä perusteltuina geodiversiteetin kartoituksessa, koska korkearesoluutioista dataa on helposti saatavilla eikä se vaadi työlästä käsittelyä toisin kuin satelliittikuvamuuttujien kohdalla. Selittäviä muuttujia verratessa voidaan puolestaan todeta, että keskihajontamuuttujat kykenivät selittämään geodiversiteetin vaihtelua keskiarvomuuuttujia paremmin. Tämä havainto on sinänsä looginen, sillä keskihajonnat



kuvaavat ympäristöolosuhteiden heterogeenisyyttä tutkimusruuduissa (Hjort & Luoto 2012: 79).

Lauhanvuoren kansallispuiston geodiversiteettiä ja sen vaihtelevuutta mallinnettiin GAM-mallin avulla. Mallin residuaalit noudattivat melko hyvin normaalijakaumaa, minkä perusteella malli sopii aineistoon ja sitä voidaan pitää kohtalaisen onnistuneena. Mallin selityskyky (19,6 prosenttia) oli kohtalainen, sillä mallin selittämättä jääneen hajonnan osuus oli 80,4 prosenttia. Täten suuri osa kokonaisgeodiversiteetin alueellisesta vaihtelusta jäi selittämättä. Toisaalta korkeakaan selitysaste ei aina takaa, että malli kykenee ennustamaan todellista ilmiötä (Metsämuuronen 2008: 96–97). Malli saattaa olla esimerkiksi niin ylisovittunut aineistoon nähden, ettei sen käyttö samanlaisen ilmiön ennustamiseen eri aineistossa ole mahdollista.

Hjortin (2006: 123) mukaan heikon selitysasteen taustalla voi olla esimerkiksi selittävien muuttujien riittämätön määrä tai kausaalitekijöiden puuttuminen lopullisesta mallista. Lisäksi Phillips (2006: 366) esittää, että geomorfologiset prosessit ovat yleisesti monimutkaisia ja niiden epälineaarisuus on geotieteissä ongelmallista. Geomorfologisia ilmiöitä voi olla siis niiden dynaamisen luonteensa puolesta vaikea selittää yksinkertaistettujen muuttujien avulla. Epälineaarisuutta pyrittiin tunnistamaan GAM-mallimenetelmällä. Tässä tutkielmassa mallin matalaan selityskykyyn vaikuttivat osaltansa myös selittävien muuttujien matalat korrelaatiot suhteeseen. On mahdollista, että korrelaatiotarkastelussa selittävien muuttujien välisten korkeiden korrelaatiokertoimien vuoksi valittiin selitysvoimaltaan heikompia muuttujia lopulliseen analyysiin. Toisaalta on haastavaa arvioida, mitkä muuttujat olisivat selittäneet geodiversiteettiä Lauhanvuorella valittuja muuttujia paremmin. Mallin selittävät muuttujat valittiin p-arvon perusteella, mutta samaan malliin olisi päädytty myös AIC-arvon perusteella, joka oli lopullisessa mallissa matalin verrattuna muihin mahdollisiin vaihtoehtoihin.

Geodiversiteetin arvioiminen riippuu lopulta myös mittakaavan valinnasta (Gray 2013; Serrano & Ruiz-Flaño 2007b), joten selitysastetta olisi varmasti voitu jossain määrin parantaa, jos tutkielman geodiversiteettielementtejä olisi kartoitettu enemmän Lauhanvuoren maastossa. Geodiversiteettielementtien lukumäärä kokonaisluvulla

ilmaistuna tutkimusruutua kohden ei myöskään kerro kuinka runsaana ilmiö esiintyy ruudussa. Kokonaisgeodiversiteetin objektiivisen tarkastelun kääntöpuolena on siis sen jokseenkin joustamaton tapa arvioida geodiversiteettiä, sillä se on vahvasti sidottu tutkittavaan alueeseen, luokitteluun ja resoluutioon. Kokonaisgeodiversiteetiltään runsas alue maastossa voi ruutulähestymistavalla määriteltynä vaikuttaa homogeeniseltä, koska havaintoyksikkönä toimi 25 hehtaarin tutkimusruudut. Ruudun suuren koon vuoksi, pienimuotoinen vaihtelu luonnossa voi täten jäädä kokonaan huomiotta. Yksityiskohtaisemmalla tarkastelulla olisi Lauhanvuoren tapauksessa saattanut täten saada yksityiskohtaisemman kuvan Lauhanvuoren geodiversiteetistä. Mesoskaalan (500 x 500 m) resoluutio oli kuitenkin toimiva ja johdonmukainen valinta tämän tutkielman tarkoituksiin ja kartoitukseen. Myös geodiversiteetin ja biodiversiteetin välisellä suhteella on todettu olevan merkitystä mesoskaalatasolla (Tukiainen ym. 2017a). Ruutulähestymistapaa on käytetty erilaisissa luonnontieteellisissä tutkimuksissa aina paikallisesta mittakaavasta koko maapalloa koskevaksi.

### 9.3 Geokohteiden merkittävyys

Osa tutkijoista kannattaa useiden erilaisten menetelmien hyödyntämistä geodiversiteetin mittaamisessa, kuten esimerkiksi (Jačková & Romportl 2008: 24). Tämän takia Lauhanvuorella päädyttiin arvioimaan myös 11 geokohdetta geodiversiteetin runsauden mallinnuksen lisäksi. Suoraviivaiset menetelmät, joilla arvioidaan tiettyjen geodiversiteettielementtien erityisominaisuuksia ovat sopivia erityisesti geoturismien, geokoulutuksen ja geosuojelun näkökulmasta. Geokohteiden kartoittaminen mahdollistavat erilaisten maisemien objektiivisen kvantitatiivisen kuvailun ja vertailun (Benito-Calvo ym. 2009: 1433–1445). Geokohteiden numeerinen arviointi on ollut kehityksen alla jo reilun vuosikymmenen ajan, mutta geotieteilijöiden kesken ei ole vielä saavutettu yleisesti hyväksyttyä menetelmää. Tähän mennessä aikaisemmat tutkimukset (esim. Coratza & Giusti 2005; Pralong & Reynard 2005; Pereira & Pereira 2010; Fassoulas ym. 2012; Brilha 2016), ovat perustuneet useisiin erilaisiin kriteereihin ja niissä on annettu erilaisia pisteytyksiä. Geokohteiden numeerisen arvioinnin lisäksi tutkimuksissa on esitetty suosituksia kohteiden suojelemiseksi, edistämiseksi ja seuraamiseksi (Pedeira & Pedeira 2010: 221).

Arviointimenetelmässä sovellettiin Ulfstedtin ja Melanderin (1974: 373–379), Kontturin ja Lyytikäisen (1985: 44–54), Palmun (1999: 28–41), Kananojan (2000: 6–7), Fassoulas ym. (2012: 179–185) ja Brilhan (2016: 121–126) arviointimenetelmiä yhteensopivaksi Lauhanvuoren tutkimusalueelle. Geokohteiden arvioinnilla pyrittiin tunnistamaan Lauhanvuoren geologisen monimuotoisuuden keskittymät ja arvokkaimmat kohteet (Pedeira & Pedeira 2010: 221). Valikoidusta 11 geokohteesta, kolme kohdetta arvioitiin yhteispisteiden perusteella geomorfologisesti ja luontomatkailullisesti merkittäviin geokohteisiin: Riitakankaan kivijata, Aumakivi ja jälkifossiili. Nämä kolme kohdetta mainittiin eniten tieteellisissä artikkeleissa ja ne ovat harvinaisia Lauhanvuorella sekä Suomessa. Kivijata ja Aumakivi kuuluvat myös kansallispuiston suosituimpiin ja keskeisimpiin geo- ja käyntikohteisiin (Haapalehto ym. 2016: 34; Karvinen 2017: 148). Ne sijaitsivat paikoissa, joihin on helppo saapua opetuksen näkökulmasta, ja ulkomuodoltaan ne ovat selkeästi muodostuneita geokohteita. Kansallispuiston noin 20 kilometrin pituinen retkeilyreitistö kulkee sekä Riitakankaan kivijadalle että Aumakivelle (Nousiainen 2004) ja monet retkeilijät vierailevatkin juuri näissä kohteissa (Haapalehto ym. 2016: 35). Lauhanvuoren vendikautisesta jälkifossiilista löytyy erittäin vähäisesti tietoa. Arviointimenetelmässä se arvioitiin kuitenkin kolmanneksi tärkeimmäksi geokohteeksi ja esimerkiksi Brilhan (2016: 120) mukaan fossiileihin liittyy erittäin korkea tieteellinen arvo.

Maisemallisesti arvokkaimmat geokohteet olivat Riitakankaan kivijata, Aumakivi ja Likolamminsuu, joita kaikkia yhdistää niiden helppo erottaminen ympäristöstä koon ja erikoisuuden takia. Erityisesti Riitakankaan kivijatan ympäristö poikkeaa geotoopiltaan, mutta myös biotoopiltaan sitä ympäröivästä alueesta. Muinaisrantoja voidaan luonnehtia kasvuolosuhteiden näkökulmasta äärimmäisinä, koska ne ovat lähes kasvittomia alueita (Mäkinen ym. 2011: 142–143). Lisäksi näiden geokohteiden lähellä sijaitsi muita merkittäviä geokohteita. Tämä lisää alueen vetovoimaa entisestään, sillä maisemallisesti monimuotoiset alueet houkuttelevat matkailijoita (Zwolińskin ja Stachowiak 2012: 105).

Lauhanvuoren ydinosat ovat pääsääntöisesti hyvin luonnontilaisia tai luonnontilaisen kaltaisia (Haapalehto ym. 2016: 17). Ihmistoiminta näkyy tutkimusalueella

kansallispuiston reittiverkostoina ja pieninä metsähakkuina. Alueella ei esiinny kuitenkaan asuinalueita tai turvetuotantoa. Ihmistoiminta on kuitenkin hyvä huomioida geodiversiteettitutkimuksissa (Serrano ja Ruiz-Flaño 2007a; Thomas 2012: 88), koska geodiversiteetti on rikkainta alueilla, joilla ihmistoiminta on vaikuttanut vähiten (Tukiainen ym. 2017b: 1059). Ihmisen toiminnalla on taipumusta vähentää tai tasoittaa geodiversiteettiä esimerkiksi hydrologisten piirteiden osalta (Gordon & Barron 2013). Arvioiduista geokohteista luonnontilaisimpia olivat Rumakivi ja kärkiluoman dyyni. Kumpikaan geokohde ei ollut vaurioitunut, eikä ihminen ollut niitä toiminnallaan muokannut. Tulevaisuuden vaurioitumisuhka määritettiin neljälle geokohteelle: Aumakivelle, Likolamminsuolle, Kaivolammille ja Isonevalle. Näiden kohteiden suojeluarvoa tulee korostaa tulevaisuudessa. Esimerkiksi Aumakiven sijainti on kriittinen, sillä Aumakivi sijaitsee Metsähallituksen hallinnoimalla, mutta kansallispuistoon kuulumattomalla kiinteistöllä (Haapalehto ym. 2016: 34-35), jonka suojelukapasiteetti ei välttämättä riitä tulevaisuudessa.

Suomen länsirannikolla kansallispuistoja ja muita retkeilyalueita on verrattain vähän muuhun Suomeen nähden. Luontomatkailu on nopeasti kasvava matkailutalouden muoto (Tuulentie & Saarinen 2005: 119), minkä takia Lauhanvuoren asema luonnonsuojelualueena on merkittävä vetovoimatekijä alueen matkailulle. Luontomatkailun ja virkistyskäyttötoiminnan kannalta ulkoilureitistön yhteys geokohteisiin on merkittävässä asemassa. Ulkoiluverkostoon parhaiten sijoittuneita geokohteita olivat Riitakankaan kivijata, Aumakivi, Kiviharjun rantavalli ja Rumakivi.

Lauhanvuoren kansallispuisto opettaa vierailijoille tuhansien, jopa miljoonien vuosien aikana kehittyneitä geologiaa (Karvinen 2017: 148). Lauhanvuori on paikallinen ja maakunnallinen virkistyskohde, jossa kokonaiskävijämäärä on vuositasolla noin 10 000 kävijää (Konttinen 2014: 9). Tärkeimmät syyt vierailuun ovat luonnon kokeminen, maisemat ja rentoutuminen (Haapalehto ym. 2016: 37-38). Lauhanvuoren kansallispuistolla ja sen geokohteilla on siis merkittävä rooli paikallisesti, koska geologinen historia on muovannut maisemat kumpuileviksi ja korkeuserot ovat poikkeuksellisia näissä osissa Suomea (Konttinen 2014: 26). Lauhanvuoren alueella geokohteiden suojelu on kohtuullisen toimivaa, koska alueen suojelutoimina toimivat kansallispuisto ja Natura 2000-verkosto, sekä lisäksi mahdollisesti pian Geopark-

verkosto (Haapalehto ym. 2016: 10). Suojeluarvoja heikentävä toiminta on kielletty sekä alueella että sen rajojen ulkopuolella (Haapalehto ym. 2016: 51) ja suojelun tavoitteena onkin säilyttää alkuperäinen luonto tuleville sukupolville.

Geokohteiden ja niiden haavoittuneisuuden arviointi on välttämätöntä, jos haluamme analysoida ihmistoiminnan ja luonnollisten prosessien välistä suhdetta (Coratza & Giusti 2005: 313). Lauhanvuoren kansallispuistossa geokohteiden arviointia voidaan hyödyntää geosuojelussa, maankäyttöpäätöksissä ja geokohteiden hallinnassa. Lisäksi sen avulla saadaan selville kestävän matkailun kehittämisen painopistealueita (Brilha 2016: 121), koska geodiversiteetti on tärkein resurssi geoturismissa. Arvioinnin avulla paikannetaan tärkeät ja myös potentiaaliset geokohteet (Fassoulas ym. 2012: 188-190; Kubalikova 2013: 86). Esimerkiksi Zwolińskin ja Stachowiakin (2012: 105) tutkimuksessa Tatra-vuorten suosituimmat turistireitit sijoittuivat korkean geodiversiteetin alueille. Nämä alueet sisälsivät suuren määrän erilaisia jäätiköitymisen jälkeen syntyneitä maaperämuotoja niin laaksoissa kuin laaksojen rinteilläkin. Tässä mielessä Lauhanvuori on myös merkittävä alue geodiversiteetin näkökulmasta, sillä Itämeren vaiheet ovat selkeästi nähtävissä ja geodiversiteettielementtejä on varsinkin lähiympäristöönsä suhteutettuna monipuolisesti.

Lauhanvuoren geodiversiteettiä voidaan arvottaa monesta eri näkökulmasta, esimerkiksi Bennetin ja Doylen (1997: 43) mukaisesti neljän eri kategorian (itseisarvo, kulttuurinen ja esteettinen arvo, taloudellinen arvo sekä tieteellinen ja koulutuksellinen arvo) avulla. Lauhanvuoren geodiversiteetti ansaitsee täten tulla arvostetuksi jo sen itseisarvonsa perusteella. Taloudellisen arvon näkökulmasta Lauhanvuoren geodiversiteettiä on puolestaan hyödynnetty aikaisemmin esimerkiksi myllykiviteollisuudessa. Taloudellista arvoa ei kuitenkaan ole hyödynnetty enää kansallispuistonimityksen jälkeen. Geodiversiteetin arvoista mahdollisesti tärkein liittyy kulttuuriseen ja esteettiseen arvoon, sillä Lauhanvuorella on merkittävä rooli alueen harrastus- ja virkistystoiminnassa. Lisäksi tieteellinen ja koulutuksellinen arvo voi nostaa merkitystään tulevaisuudessa mahdollisen Geopark-nimityksen ja lisääntyneen geoturismien myötä.

## 9.4 Tutkielman virhelähteet

Tutkielman tekoon ja mallintamiseen liittyy usein epävarmuustekijöitä, jotka on hyvä huomioida tulosten tarkastelussa. Tuloksiin vaikuttavat kaikki tutkimusprosessissa tehdyt valinnat tutkimuskysymysten asettelutusta menetelmiin ja aineistoon saakka. Näiden lisäksi teoreettisessa viitekehyksessä geodiversiteetin määrittelyyn ja geosuojeleluun liittyy useita oletuksia, joiden täyttämättä jättäminen saattaa johtaa virheellisiin tuloksiin.

Myös tutkimusmenetelmien käyttöön liittyy aina jossain määrin teknisiä epävarmuustekijöitä ja subjektiivisuutta. Geodiversiteettiä mitattiin tutkimusruuduittain eri elementtien avulla, mitkä voivat olla niiden dynaamisen luonteensa puolesta lähtökohtaisesti haastavia selittää yksinkertaistettujen muuttujien avulla (Thomas 2012: 83). Niin ikään aineiston selittävien muuttujien paikkatietoaineistossa ja niiden laadussa itsessään saattaa olla mahdollisia virhelähteitä, jotka ovat vaikuttaneet tuloksiin. Esimerkiksi satelliittikuvissa pilvien aiheuttamat häiriöt vaikuttavat maanpinnan heijastavuuteen ja tätä kautta selittävän muuttujan arvoihin. Tässä tutkielmassa kvantitatiivinen GIS-tuettava menetelmä toimi hyvin, mutta siihen olisi voinut yhdistää olennaisena osana tarkemman paikallistason kenttätyön. Esimerkiksi geomorfologisia elementtejä oli haastavaa ja osittain mahdotonta kartoittaa ilman tarkempia kenttätutkimuksia ja ilman kartoitukseen liittyvää syvällisempää osaamista. Aineistona käytetyt kallio- ja maaperäkartat olivat parhaimmillaankin vain yleisluonteisia ja keskimittakaavaisia.

Aineiston mittakaavan valinta vaikuttaakin olennaisesti tutkielman tarkkuuteen ja tuloksiin (Serrano & Ruiz-Flaño 2007a; Hjort & Luoto 2010). Mittakaavan tulee olla tarpeeksi suuri, jotta geodiversiteettielementit, kuten esimerkiksi kivilajit ja pienet geomorfologiset muodostumat pystytään tunnistamaan ja toisaalta tarpeeksi pieni, että eri tutkimusruutujen välillä pystytään havaitsemaan eroja. Tutkimusruudun mittakaavan suurentaminen 500 x 500 metristä esimerkiksi 800 x 800 metriin olisi voinut tuottaa tarkempia malleja. Myös maisematason tarkastelu jäi vähäiseksi, joka olisi osaltaan voinut lisätä kokonaisgeodiversiteetin määrää ja vaihtelevuutta. Kartoittamisessa tulisi keskittyä yksittäisten kohteiden sijaan maisematason kokonaisuuksiin, jotka antavat

kokonaisvaltaisemman kuvan alueen geodiversiteetistä (Sharples 1995: 44; Thomas 2012: 86).

Geokohteiden arvioinnin tavoitteena oli tulkita maiseman monimuotoisuutta ja löytää alueen merkittävimmät geokohteet. Varsinkin geokohteiden arviointiin liittyy aina arvioijan osalta subjektiivisuutta (Pereira ym. 2007: 164-165; Benito-Calvo ym. 2009: 1433), mikä on tässä tutkielmassa ilmeistä, sillä tutkielman kirjoittaja on vierailut kansallispuiston alueella lapsuudesta lähtien. Geokohteiden arviointiin keskittyvissä tutkimuksissa tulokset voivatkin vaihdella huomattavasti eri arvioijien välillä (Brilha 2016: 133; Stepišnik & Trenchovska 2017: 44). Lauhanvuoren geokohteita arvioitaessa merkittävimäksi ongelmaksi muodostui alueen vähäiset aikaisemmat geologiset ja vertaisarvioidut tutkimukset.

Analysointivaiheessa mahdolliset virheet syntyivät koostetun aineiston käsittelyssä, koska tutkija asettaa valintakriteerit, joilla mallin muuttujat valikoidaan. Lopullisen mallin selittävien muuttujien valintaan liittyy myös jossain määrin subjektiivisuutta, vaikka valinta perustuukin teoriaan ja tilastollisten testien tuloksiin. Korrelaatiotarkastelujen perusteella kokonaisgeodiversiteetin ja ympäristömuuttujien välillä ei ollut voimakkaita yhteyksiä ja alhaiset korrelaatiot vaikuttivat osaltaan GAM-mallinnuksen onnistumiseen ja tulosten luotettavuuteen.

## 10. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä pro gradu -tutkielmassa mallinnettiin Lauhanvuoren kansallispuiston geodiversiteetin runsautta tutkimusruuduittain. Tarkoituksena oli selvittää kuinka hyvin geodiversiteetin vaihtelua voidaan mallinnuksen avulla selittää ja kuinka geodiversiteetti vaihtelee alueellisesti Lauhanvuoren kansallispuistossa. Geodiversiteetin selittävinä tekijöinä käytettiin satelliittiaineiston ja digitaalisen korkeusmallin perusteella laskettuja muuttujia. Mallinnuksessa hyödynnettiin yleistettyjä additiivisia malleja ja hierarkkista ositusta aikaisempien tutkimusten mukaisesti. Geodiversiteetin runsauden mallinnuksen lisäksi Lauhanvuoren kansallispuiston 11 geokohdetta arvioitiin niiden geologian ja geomorfologian, maisemallisen arvon, luonnontilaisuuden sekä saavutettavuuden perusteella. Mallinnuksen ja geokohdearvioinnin tarkoituksena oli saavuttaa parempi yleiskuva

Lauhanvuoren geodiversiteetistä ja siihen liittyvistä tekijöistä. Geodiversiteetin vaihtelua on tärkeä selvittää suojelun, ekologian ja geomorfologian arvon hallinnan takia. Tutkielmaa voidaan pitää myös ajankohtaisena mahdollisen Lauhanvuori-Hämeenkanas Geopark-nimityksen ja lisääntyvän geoturismin myötä.

Tutkielman ensimmäinen tärkeä havainto oli, että Lauhanvuoren kansallispuiston geodiversiteetti on vaihteleva, ja paikoin erittäin monipuolinen erityisesti lähiympäristöönsä suhteutettuna. Lauhanvuoren geodiversiteetti tekee alueesta valtakunnallisesti arvokkaan kohteen, jolla on merkitystä seudullisesti ja paikallisesti. Alueen geodiversiteettiin on vaikuttanut kansallispuiston sijainti, jota jääkauden prosessit ovat historian saatossa voimakkaimmin muokanneet. Korkeimmat kokonaisgeodiversiteetin arvot sijoittuivat tutkimusalueella topografisesti heterogeenisille alueille, joissa eroosiolla ja akkumulaatiolla on ollut maiseman muokkaantumisessa vaikutusta. Tällaisia kohteita olivat esimerkiksi Lauhanvuoren kivijadat ja rantavallit. Toisaalta tutkielmassa käytetyn mittakaavan ja tutkimusruutujen kokonaisgeodiversiteettiarvojen perusteella Lauhanvuoren kansallispuisto on kokonaisuudessaan homogeeninen alue eikä siellä esiinny erityisen merkittävää vaihtelua.

Tutkielman kannalta toinen tärkeä havainto oli, että Lauhanvuoren geodiversiteettiä pystyttiin mallintamaan kohtalaisin tuloksien. Kohtalaisista tuloksista huolimatta tutkielman tärkeimpänä antina voidaan pitää Lauhanvuoren geodiversiteetistä saavutettua objektiivista yleiskuvaa, mikä oli melko vaivattomasti saavutettavissa GIS-tuetuilla menetelmillä. Lauhanvuoren kansallispuistossa merkittävimäksi selittäväksi muuttajaksi kokonaisgeodiversiteetin vaihtelussa osoittautui korkeuden keskihajonta, joka on myös aikaisemmissa tutkimuksissa ollut selityskykyinen muuttuja kokonaisgeodiversiteetin vaihtelun mallinnuksessa. Monimuuttujamallin matala selityskyky voi johtua muuttujien riittämättömän määrän tai kausaalitekijöiden puuttumisella lopullisesta mallista. Dynaamisia ja joskus monimutkaisia geomorfologisia ilmiöitä voi olla haastavaa selittää yksinkertaistettujen muuttujien avulla ja kokonaisgeodiversiteetti on aina riippuvainen tutkimuksessa käytettävästä mittakaavasta ja elementtien luokittelutavasta.



Tutkielman kolmantena tärkeänä havaintona oli, että geomorfologisesti ja luontomatkailullisesti arvokkaimmat geokohteet olivat Riitakankaan kivijata, Aumakivi ja jälkifossiili. Nämä kolme kohdetta olivat eniten mainittuja tieteellisissä artikkeleissa ja ne ovat harvinaisia Lauhanvuorella sekä Suomessa. Kivijata ja Aumakivi kuuluvat jo nyt kansallispuiston vierailuimpiin ja keskeisempiin käyntikohteisiin. Aumakivi tulisi kuitenkin ottaa huomioon tulevaisuudessa sen sijaintinsa vuoksi, sillä se ei sijaitse kansallispuiston rajatulla alueella. Lauhanvuoren vendikautisesta jälkifossiilista löytyy puolestaan erittäin vähäisesti tietoa ja sen tunnettavuutta tulisi lisätä luontomatkailua ajatellen. Lauhanvuoren-Hämeenkaan Geopark-hanke tulee nostamaan alueen geodiversiteetin arvoa ja osaltaan edistää myös alueen tieteellistä sekä koulutuksellista arvoa.

Tätä tutkielmaa on mahdollista syventää erilaisilla jatkotutkimuksilla. Tutkimusta voidaan kehittää muun muassa aineistoa kasvattamalla, mittakaavaa tarkentamalla, uusia geodiversiteettiä selittäviä muuttujia valitsemalla tai lähestymällä geodiversiteetin elementtejä tarkemmin eri näkökulmista. Kokonaisgeodiversiteetin elementit laskettiin vain kertaalleen tutkimusruutua kohden. Täten esimerkiksi ruutujen sisäisten elementtien vaihtelevuuden indeksipohjainen mittausmenetelmä voisi soveltua tälle tutkimusalueelle tai tarkastelussa voitaisiin ottaa huomioon elementtien suhteelliset osuudet tutkimusruuduissa. Tämän lisäksi vaihtoehtoisia ympäristömuuttujia voitaisiin harkita ja niitä voitaisiin laskea eri tavoin paikkatieto-ohjelmistoa hyödyntäen. Esimerkiksi Lauhanvuoren kokonaisgeodiversiteetin tarkastelussa voisi ottaa paremmin ja yksityiskohtaisemmin huomioon pohjavesiaineiston ja sen mahdollisen yhteyden geodiversiteetin runsauteen.

Geodiversiteetti tutkimuskohteena on edelleen varsin uusi aihe, minkä takia tutkimukset ja niissä vallitsevat menetelmät eivät ole vielä täysin vakiintuneita. Yksinkertainen ja universaali kvantitatiivinen malli geodiversiteetin määrälliseen arvioimiseen on siis edelleen löytämättä. Objektiivisella menetelmällä voitaisiin yhdistää geodiversiteettielementtien paikallinen suhde maastotietoon ainakin osittain automatisoidussa prosessissa. Geodiversiteettielementit voitaisiin tunnistaa kaukokartoituksen sekä morfologisen kartoituksen avulla. Geodiversiteetin kaukokartoituksessa voitaisiin myös hyödyntää esimerkiksi miehittämättömiä

ilmajärjestelmiä (*drones*). Niiden avulla voidaan saada joustava ja monipuolinen lähestymistapa geodiversiteetin kartoittamiseen kustannustehokkaalla tavalla.

## Lähteet

- Aartolahti, T. (1980). Periglaciaalisen morfologian tutkimus Suomessa. *Terra* 92: 2, 74–87.
- Ahti, T., L. Hämet-Ahti & J. Jalas (1968). Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. *Annales Botanici Fennici* 5, 169–211.
- Alahuhta, J., M. Toivanen & J. Hjort (2020). Geodiversity-biodiversity relationship needs more empirical evidence. *Nature Ecology & Evolution* 4, 2–3.
- Auri, J. (2009). Lauhanvuoren geologiaselvitys, GTK. Julkaisematon raporttiluonnos.
- Benito-Calvo, A., A. Perez-Gonzalez, O. Magri & P. Meza (2009). Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 1433–1445.
- Bennett, M.R. & P. Doyle (1997). *Environmental geology: Geology and the Human Environment*. 512 s. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Beven, K.J. & M.J. Kirkby (1979). A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24, 43–69.
- Biologista monimuotoisuutta koskeva yleissopimus 1994/78. Annettu Helsingissä 26.10.1994. <<http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1994/19940078>>.
- Borcard, D., P. Legendre & P. Drapeau (1992). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology* 73, 1045–1055.
- Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: A Review. *Geoheritage* 8: 2, 119–134.
- Bruschi, V. M., A. Cendrero & J.A.C. Albertos (2011). A statistical approach to the validation and optimisation of geoheritage assessment procedures. *Geoheritage* 3: 3, 131–149.
- Burek, C.V. & C. D. Prosser (toim.) (2008). *The history of geoconservation*. 312 s. Geological Society of London, Special Publication.
- Crawley, M.J. (2007). *The R book*. 942 s. John Wiley & Sons, England.
- Crist, E.P. & R.C. Cicone (1984). Physically based transformation of thematic mapper data, VTM tassel cap, *IEEE Trans on Geoscience, Remote Sensing* 22, 256–263.
- Chevan, A. & M. Sutherland (1991). Hierarchical Partitioning. *The American Statistician* 45, 90–96.
- Demek, J. (toim.) (1972). *Manual of detailed geomorphological mapping*. International Geographical Union. 344 s. Commission on Geomorphological survey and mapping, Academia, Prague.
- Derbyshire, E., Gregory K. J. & J. R. Hails (1979). *Geomorphological processes*. 289 s. Westview Press, Inc. Colorado.
- Dowling, R.K. (2009). Geotourism's contribution to local and regional development. *Teoksessa: de Carvalho, C. & J. Rodrigues (toim.) Geotourism and local development*, 15–37. Camar municipal de Idanha-a-Nova, Portugal.
- Eder, W. (1999). Geopark of the future. *Earth Heritage*, 12: 21.
- El Wartiti, M., A. Malaki, M. Zahraoui, A. El Ghannouchi & F. Di Gregorio (2007). Geosites inventory of the northwestern Tabular Middle Atlas of Morocco. *Environmental Geology* 55, 415–422.
- Etzemüller, B. (2000). On quantification of surface changes using grid-based digital elevation models (DEM). *Transactions in GIS* 4, 129–143.
- Fassoulas, C., D. Mouriki, P. Dimitriou-Nikolakis & G. Iliopoulos (2012). Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management. *Geoheritage* 4:3, 177–193.
- Franklin, J. (2010). *Mapping species distributions*, 320 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fogelberg, P. & M. Seppälä (1986). Geomorfologia. Suomen kartasto, vihko 121–122 Maanpinnan muodot. 122:1–19.

- Gillespie, T. W; G. M. Foody, D. Rocchini, A. P. Giorgi & S. Saatchi (2008). Measuring and modeling biodiversity from space. *Progress in Physical Geography* 32: 2, 203–221.
- Gordon, J., H. Barron, J. Hansom & M. Thomas (2012). Engaging with geodiversity—Why it matters. *Proceedings of The Geologists Association* 123, 1–6.
- Gordon, J.E. & H.F. Barron (2013). The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland. *Scottish journal of geology* 49, 41–58.
- Grandgirard, V. (1999). Switzerland—The inventory of geotopes of national significance. *Teoksessa: Baretino, D., M. Vallejo & E. Gallego (toim.) Towards the balanced management and conservation of the geological heritage in the new millenium.* 234–239. Sociedad Geológica de España, Madrid.
- Graham, M. (2003). Confronting Multicollinearity in Ecological Multiple Regression. *Ecology* 84, 2809–2815.
- Gray, M. (1997). Planning and landform: geomorphological authenticity or incogruity in the countryside. *Area* 29, 312–324.
- Gray, M. (2005). Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How? *Geodiversity & Geoconservation* 22: 3, 4–12.
- Gray, M. (2008). Geodiversity: Building the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association* 119, 287–298.
- Gray, M. (2013). *Geodiversity valuing and conservation abiotic nature.* 2. p. 512 s. John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
- Gregory, K. J. (2010). *The Earth's Land Surface - Landforms and Processes in Geomorphology.* 302 s. SAGE Publications Ltd, Lontoo.
- GTK, Geologinen tutkimuskeskus (2005). Maaperäkartan käyttöopas. <<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas>>. 22.4.2020.
- Guisan, A., T.C. Edwards & T. Hastie (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157, 89–100.
- Guisan, A. & N.E. Zimmermann (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147–186.
- Haapalehto, T., P. Kuokkanen, J. Mattila, T. Peltonen, R. Tuominiemi & P. Vesterinen (2016). *Lauhanvuoren kansallispuiston hoito- ja käyttösuunnitelma.* 114 s. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, sarja C 137.
- Haines-Young, R. & M. Potschin (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1: Guidance on the Application of the Revised Structure. EEA. <[www.cices.eu](http://www.cices.eu)>. 27.3.2020.
- Hastie, T. J. & R. J. Tibshirani (1990). *Generalized Additive Models.* 335 s. Chapman & Hall, Lontoo.
- Heikkilä, R. (1999). Kauhajoen suot vuonna 1999. *Teoksessa: Kleemola, J., L. Ruismäki & H. Taimi (toim.): Kauhajoen metsien ja soiden kirja,* 150–155. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Helin, J. & A. Leivo. (2000). *Lauhanvuoren kansallispuiston kasvillisuus.* 160 s. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja A117.
- Henriques, M. H., Pena dos Reis, R. Brilha, J. & T. Mota (2011). Geoconservation as an Emerging Geoscience. *Geoheritage* 3, 117–128.
- Hjort, J. (2006). *Environmental factors affecting the occurrence of periglacial landforms in Finnish Lapland: a numerical approach.* (PhD Thesis). Shaker Verlag, Aachen. 162 s.
- Hjort, J. & M. Luoto (2008). Factors controlling periglacial geodiversity in subarctic Finland. In Ninth International Conference on Permafrost, 717–722.
- Hjort, J. & M. Luoto (2009). Interaction of geomorphic and ecologic features across altitudinal zones in a subarctic landscape. *Geomorphology* 112, 324–333.

- Hjort, J. & M. Luoto (2010). Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology* 115, 109–116.
- Hjort, J. & M. Luoto (2011). Novel theoretical insights into geomorphic process-environment relationship using simulated response curves. *Earth Surface Processes and Landforms* 36: 3, 363–371.
- Hjort, J. & M. Luoto (2012). Can geodiversity be predicted from space? *Geomorphology*, 153, 74–80.
- Hjort, J., Gordon, J.E., Gray, M. & M.L. Hunter Jr. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conservation Biology* 29, 630–639.
- Hjort, J. & M. Marmion (2008). Effects of sample size on the accuracy of geomorphological models. *Geomorphology* 102, 341–350.
- Hoff, T. E., R. Perez, J. Kleissl, D. Renne & J. Stein (2013). Reporting of irradiance modeling relative prediction errors. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 21: 7, 1514–1519.
- Houshold, I. & C. Sharples (2016). Geodiversity in the wilderness: a brief history of geoconservation in Tasmania. *Geological Society, London, Special Publications* 300: 1, 257–272.
- Hoyer-Klick, C., H. Beyer, D. Dumortier, M. Schroedter-Homscheidt, L. Wald, M. Martionoli, C. Schillings, B. Gschwind, L. Menard, E. Gaboardi, L. Santigosa, J. Polo, T. Cebecauer, T. Huld, M. Suri, M. de Blas, E. Lorenz, R. Pfatischer, J. Remund & J. Hofierka (2010). Management and Exploitation of Solar Resource Knowledge. 405 s. EUROSUN 2008, 1st International Congress on Heating, Cooling and Buildings, Oct 2008, Lisbonne, Portugal.
- Ibáñez, J.J., E.C. Brevik & A. Cerdà (2019). Geodiversity and geoheritage: Detecting scientific and geographic biases and gaps through a bibliometric study. *Science of The Total Environment* 659, 1032–1044.
- Ibáñez, J.J. & E.C. Brevik (2019). Divergence in natural diversity studies: The need to standardize methods and goals. *Catena*, 182, 1–10.
- Jačková, K. & D. Romportl (2008). The relationship between geodiversity and habitat richness in Sumava National Park and Krivoklatsko Pla. A quantitative analysis approach. *Journal of Landscape Ecology* 1:1, 23–37.
- Jackson, R.D. & A.R. Huete (1991). Interpreting Vegetation Indices. *Preventive Veterinary Medicine* 11:3-4, 185–200.
- Johansson, P., L. Sahala & K. Virtanen (2000). *Rantamerkit, tuulikerrostumat ja moreenimuodostumat geologisina luontokohteina*. 76 s. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Kalliola, R. (1976). Pohjolan luonnonmaantieteellinen aluejako. *Terra* 91: 2, 95–107.
- Kananoja, T. (2000). *Kallioperän suojelu- ja opetuskohteita Etelä-Pohjanmaalla, Keski-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla*. 126 s. Suomen ympäristö 429.
- Karjalainen, P.T. (1983). Geodiversity: a humanistic interpretation. *Terra* 95, 221–226.
- Karvinen, T. (2017). *Kansallispuistot Maamme luonnon helmet*. 4. p. 263 s. Docendo Oy, Jyväskylä.
- Kiernan, K. (1997). Landform classification for geoconservation. *Teoksessa Eberhard, R. (toim.): Pattern and Process: Towards a Regional Approach to National Estate Assessment of Geodiversity*, 21–34. Australian Heritage Commission & Environment Forest Taskforce, Environment Australia, Canberra.
- Konttinen, T. (2014). *Lauhanvuoren-Hämeenkaan alueen yritystutkimus 2013*. 66 s. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B 202.
- Kontturi, O. & A. Lyytikäinen (1985). Assessment of glaciofluvial landscapes in Finland for nature conservation and other multiple use purposes. *Teoksessa Königsson, L.K. (toim.): Glaciofluvium*, 41–59. Striae 22.

- Kozłowski, S. (2004). Geodiversity: the concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny* 52, 833–837.
- Kubalíkova, L. (2013). Geomorphosite Assessment for Geotourism Purposes. *Czech Journal of Tourism* 2:2, 80–104.
- Kärnä, O.-M., J. Heino, J. Jyrkänkallio-Mikkola, V. Pajunen, J. Soininen, K. Tolonen, H. Tukiainen, M. Toivanen & J. Hjort (2019). Does catchment geodiversity foster stream biodiversity? *Landscape Ecology* 34, 2469–2485.
- Laine, S. (2000). *Elämisen ehdot Lauhanvuoren ja Haapakeitaan tuntumassa*. 95 s. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 116.
- Laitakari, I. (1998). Vendikaudesta nykyaikaan. *Teoksessa* Lehtinen, M., P. Nurmi & T. Rämö (toim.) *Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa*, 344–355. Suomen Geologinen seura ry, Helsinki.
- Lauhanvuori-Hämeen kangas Geopark (2020). Geopark-projektin www-sivut. <<https://www.lauhanvuoriregion.fi/geopark/>>. 17.4.2020.
- Lilliefors, H.W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of American Statistical Association* 62: 318, 1–4.
- Lindroos, A.-J., H. Lindroos & M. Leikola (1999). Kauhajoen metsämaiden ja metsien varhainen kehitys. *Teoksessa*: Kleemola, J., L. Ruismäki & H. Taimi (toim.): *Kauhajoen metsien ja soiden kirja*, 15–18. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Luoto, M. & J. Hjort (2005). Evaluation of current statistical approaches for predictive geomorphological mapping. *Geomorphology* 67, 299–315.
- Niemelä, J. & E. Raikamo (1983). Kallio- ja maaperässä omaleimaisia piirteitä. *Teoksessa*: Jolkkonen-Porander, N., P. Kakkori, J. Kleemola, V. Myllymäki, M. Nummijärvi, J. Panula, L. Ruismäki & H. Taimi (toim.): *Kauhajoen luonnonkirja*, 9–23. Gummerus Oy, Jyväskylä.
- Newsome, D. & R.K. Dowling (2010). *Geotourism: the tourism of geology and landscape*. 320 s. Goodfellow Publishers, Oxford.
- Nousiainen, I. (2004). *Retki Suupohjan luontoon – Reitistöt ja muut kohteet*. 66 s. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Kopiolahinen, Vaasa.
- Mac Nally, R. (2000). Regression and model-building in conservation biology, biogeography and ecology: The distinction between – and reconciliation of – “predictive” and “explanatory” models. *Biodiversity and Conservation* 9, 655–671.
- Mac Nally, R. (2002). Multiple regression and influence in ecology and conservation biology: further comments on identifying important predictor variables. *Biodiversity and Conservation* 11, 1397–1401.
- Manosso, F.C., M.T. de Nóbrega (2016). Calculation of Geodiversity from Landscape Units of the Cadeado Range Region in Paraná, Brazil. *Geoheritage* 8, 189–199.
- Marmion, M., J. Hjort, W. Thuiller & M. Luoto (2008). A comparison of predictive methods in modelling the distribution of periglacial landforms in Finnish Lapland. *Earth surface processes and landforms* 33, 2241–2254.
- Mayer, L. (1990). *Introduction to quantitative geomorphology: an exercise manual*. 380 s. Prentice-Hall International, Englewood Cliffs.
- Member list (2020). Global Geopark Network www-sivusto. <<http://www.globalgeopark.org/aboutGGN/list/index.htm>>. 9.1.2020.
- MEA, Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. 137 s. Island Press, Washington.
- Metsähallitus (2019) Lauhanvuoren kansallispuisto. Luontoon.fi-verkkopalvelu <<http://www.luontoon.fi/lauhanvuori>>. 11.10.2019.
- Metsämuuronen, J. (2003). *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*. 2. p. 772 s. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.

- Metsämuuronen, J. (2008). *Monimuuttujamenetelmien perusteet*. 2. p. 295 s. International Methelp Ky, Helsinki.
- MetsäpeuraLIFE (2019). Metsähallitus, Vantaa.  
<<https://www.suomenpeura.fi/fi/metsapeuralife.html>>. 19.11.2019.
- Moore, I., R.B. Grayson & A.D. Ladson (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes* 5, 3–30.
- Moore, I. & J. P. Wilson (1992). Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: a simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation* 47, 423–428.
- Moran, P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37, 17–23.
- Muukka, L. & P. Koponen. (2000). *Vierailu karhun valtakuntaan – Luontomatkailukäytön yleissuunnitelma Lauhanvuoren kansallispuiston ja Haapakeitaan luonnonsuojelualueen ympäristöön*. 143 s. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Ykkös-Offset Oy, Vaasa.
- Mäkinen, K., J. Teeriaho, H. Rönty, T. Rauhaniemi & L. Sahala (2011). *Valtakunnalliset arvokkaat tuuli- ja rantakerrostumat*. 185 s. Suomen ympäristö 32, Helsinki.
- Olander, A. I. (1934). Lauhanvuoren vanhoista rantamuodostuksista. *Terra* 45: 4, 185–198.
- Palmu, J-P. (1999). *Moreenimuodostumien inventointi*. 91 s. Suomen ympäristö 292.
- Parks, K.E & M. Mulligan (2010). On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. *Biodiversity and Conservation* 19, 2751–2766.
- Parviainen, M., M. Luoto & R.K. Heikkinen (2010). NDVI-based productivity and heterogeneity as indicators of plant-species richness in boreal landscapes. *Boreal environmental research* 15, 301–318.
- Patzak, M. & W. Eder (1998). ”UNESCO Geopark”. A new programme – a new UNESCO label. *Geologica Balanica* 28, 33–35.
- 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.
- Pellitero, R., M.J González-Amuchastegui, P. Ruiz-Flaño & E. Serrano (2011). Geodiversity and Geomorphosite Assessment Applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). *Geoheritage* 3, 163–174.
- Pellitero, R., F. Manosso & E. Serrano (2014). Mid- and large-scale geodiversity calculation in Fuentes Carrionas (NW Spain) and Serra do Cadeado (Paraná, Brazil): methodology and application for land management. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 97: 2, 219–235.
- Pereira, P., D. Pereira & M.I. Caetano Alves (2007). Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica* 62:3, 159–168.
- Pereira, P. & D. Pereira (2010). Methodological guidelines for geomorphosite assessment. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 2, 215–222.
- Pereira, D. I., P. Pereira, J. Brilha & L. Santos (2013). Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. *Environmental management* 52: 3, 1–12.
- Peltier, R.W. (1994). Ice Age Paleotopography. *Science* 265, 195–201.
- Perttunen, M. (1985). Lauhanvuoren sedimenttisarja. *Terra* 97: 4, 220–229.
- Phillips, J.D. (2006). Evolutionary geomorphology: thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change. *Hydrology and Earth System Sciences* 10, 731–742.
- Polojärvi, K. M. Luoto & R. Heikkinen (2000). *Karttapohjainen tarkastelu geomorfologisten muodostumien suojelutilanteen arvioinnissa*. 42 s. Suomen ympäristö 384. Suomen ympäristökeskus.
- Pralong, J-P. & E. Reynard (2005). A proposal for a classification of geomorphological sites depending on their tourist value. *II Quaternario* 18, 315–321.

- Rainamo, E. & R. Heikkilä (1999). Kauhajoen metsämaiden ja metsien varhainen kehitys. *Teoksessa*: Kleemola, J., L. Ruismäki & H. Taimi (toim.): *Kauhajoen metsien ja soiden kirja*, 19–23. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Ranta, E., H. Rita & J. Kouki (2012). *Biometria*. 569 s. Gaudeamus, Helsinki.
- Rautalin M. (2002). *Etelä- Pohjanmaan luontomatkailun toimenpideohjelma 2002-2006*. Alueelliset ympäristöjulkaisut 262. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
- Relph, E. (1976). *Place and Placelessness*. 174 s. Pion Limited, London.
- Reynard, E., G. Fontana, L. Kozlik & C. Scapozza (2007). A method for assessing "scientific" and "additional values" of geomorphosites. *Geographica Helvetica* 62: 3, 148–158.
- Reynard, E. & M. Panizza (2005). Geomorphosites: definition, assessment and mapping. An introduction. *Geomorphologie. Relief, processus, environnement* 3, 177–180.
- Reynard, E. & P. Coratza (2007). Geomorphosites and geodiversity: A new domain of research. *Geographica Helvetica* 62, 138–139.
- Risla, P. (1998). Lauhanvuoren kansallispuiston inventointi 1998. 19 s. *Pohjanmaan museo raportti PMA9813*.
- Ruban, D.A. (2010). Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists' Association* 121, 326–333.
- Saarnisto, M. (1981). Holocene emergence history and stratigraphy in the area north of the Gulf of Bothnia. 42 s. Suomalainen tiedeakatemia, Helsinki.
- Salomaa, R. (1982a). Erikoinen Lauhanvuori. *Suomen Luonto* 1, 30–33.
- Salomaa, R. (1982b). Post-glacial shoreline displacement in the Lauhanvuori area, western Finland- *Annales Academiae Scientiarum Fennicae Series A III Geologica* 134, 81–97.
- Salomaa, R. (1983). Lauhanvuori. *Teoksessa*: Jolkkonen-Porander, N., P. Kakkori, J. Kleemola, V. Myllymäki, M. Nummijärvi, J. Panula, L. Ruismäki & H. Taimi (toim.): *Kauhajoen luonnonkirja*, 30–41. Gummerus Oy, Jyväskylä.
- Salomaa, R. (1986). *Lauhanvuori, Isojoki-Kauhajoki*. 83 s. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Santos, D., K. Mansur, J. Gonçalves, E. Arruda & F. Manosso (2017). Quantitative assessment of geodiversity and urban growth impacts in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. *Applied Geography* 85, 184–195.
- Schrodt, F., J.J. Bailey, W.D. Kissling, K.F. Rijdsdijk, A.C. Seijmonsbergen, D. van Ree, J. Hjort, R.S. Lawley, C.R.N. Williams, M. Anderson, P. Beier, P. van Beukering, D.S. Boyd, J. Brilha, L. Carcavilla, K.M. Dahlin, J.C. Gill, J.E. Gordon, M. Gray, M. Grundy, M.L. Hunter, J.J. Lawler, M. Monge-Ganuzas, K.R. Royse, I. Stewart, S. Record, W. Turner, P.L. Zarnetske & R. Field (2019). Opinion: To advance sustainable stewardship, we must document not only biodiversity but geodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116, 16155–16158.
- Selby, M. J. (1985). *Earth's Changing Surface: An Introduction to Geomorphology*. 607 s. Clarendon Press, Oxford.
- Sentinel-2A Satellite sensor (2019). Satellite Imaging corporation. <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a>>. 5.12.2019.
- Serrano, E. & P. Ruiz-Flaño (2007a). Geodiversity: Concept, assessment and territorial application. The case of Tiermes-Caracena (Soria). *Boletín de la A.G.E* 45, 389–393.
- Serrano, E. & P. Ruiz-Flaño (2007b). Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica* 62, 140–147.
- 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. (1993). *A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Conservation Purposes*. 23 s. Forestry Commission, Tasmania.



- Sharples, C. (1995). Geoconservation in forestry management – principles and procedures. *Tasforest* 7, 37–50.
- Sharples, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation – Published electronically on the Tasmanian parks & Wildlife Service website 79 s. <<https://dpiwwe.tas.gov.au/Documents/geoconservation.pdf>>. 23.9.2019.
- Silva, J.P., C. Rodrigues & D.I. Pereira (2014) Mapping and analysis of geodiversity indices in the Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. *Geoheritage* 7, 337–350.
- Simonen, A. & O. Kouvo. (1955). Sandstones in Finland. Bull. *Commission geological Finlande* 1968, 57–87.
- Sormunen, H., R. Virtanen. & M. Luoto (2010). Inclusion of local environmental conditions alters high-latitude vegetation change predictions based on bioclimatic models. *Polar Biology* 34, 883–897
- Spearman, C.E. (1904). The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology* 15, 72–101.
- Stürm, B. (1994). The geotope concept: geological nature conservation by town and Country planning. *Teoksessa* 0 'Halloran, D., Green, C., Harley, M., Stanley, M. & Knill, J. (toim.): *Geological and Landscape Conservation*, 47–51. Geological Society, London.
- Suominen, J. & A. Varkki (1982). Lauhanvuoren kasvisto, karu mutta kiintoisa. *Suomen Luonto* 41: 2, 24–28.
- Suominen, J. & A. Varkki (1983). Lauhanvuori. *Teoksessa* Kleemola, J., T. Malmivaara, P. Rantala & H. Taimi (toim.): *Kauhajoen Luonnonkirja*, 30–41. Gummerus Oy, Jyväskylä.
- Suominen, J. & A. Varkki (1984). Lauhanvuoren kasvisto. *Silva Fennica* 18: 1, 33–69.
- Stanley, M. (2004). Geodiversity - linking people, landscapes and their culture. *Natural and Cultural Landscapes - the Geological Foundation*, 45–52.
- Stepišnik, U. & A. Trenchovska (2017). A New Quantitative Model for Comprehensive Geodiversity Evaluation: the Škocjan Caves Regional Park, Slovenia. *Geoheritage* 10.1007, 1–10.
- Thomas, M.F. (2012). A Geomorphological approach to geodiversity – its applications to geoconservation and geotourism. *Quaestiones Geographicae* 31:1, 81–89.
- Toivanen, M., J. Hjort, J., Heino, H. Tukiainen, J. Aroviita & J. Alahuhta (2019). Is catchment geodiversity a useful surrogate for aquatic plant species richness? *Journal of Biogeography* 46, 1711–1722.
- Tukiainen, H., J.J. Bailey, R. Field, K. Kangas & J. Hjort (2017a) Combining geodiversity with climate and topography to account for threatened species richness. *Conservation biology* 31: 2, 364–375.
- Tukiainen, H., J. Alahuhta, R. Field, T. Ala-Hulkko, R. Lampinen & J. Hjort (2017b). Spatial relationship between biodiversity and geodiversity across a gradient of land-use intensity in high-latitude landscapes, *Landscape Ecology* 32:5, 1049–1063.
- Tukiainen, H., M. Kiuttu, R. Kalliola, J. Alahuhta & J. Hjort (2019) Landforms contribute to plant biodiversity at alpha, beta and gamma levels. *Journal of biogeography* 46: 8, 1699–1710.
- Tuominiemi, R., T. Peltonen, T. Haapalehto, J. Mattila, P. Vesterinen & P. Kuokkanen (2011). *Lauhanvuoren kansallispuiston hoito- ja käyttösuunnitelma*. 124 s. Metsähallituksen luonnonsojelu julkaisuja sarja C 000, Helsinki.
- Tuulentie, S. & J. Saarinen (toim.) (2005). *Kestävät käytännöt matkailun suunnittelussa ja kehittämisessä*. Metlan työraportteja 20. 131 s. Metsäntutkimuslaitos, Helsinki.
- Tynni, R. & K. Hokkanen (1982). Annelidien ryömimisjälkiä Lauhanvuoren hiekkakivessä. *Geologi* 34, 129–134.
- Ulfstedt, A.C. & O. Melander (1974). Värderingsproblem betröfande två geomorfologiskt inventerade fjällområden. *UNGI Rapport* 34, 371–383.

- Van Houwenlingen, J. & S. Le Cessie (1990). Predictive value of statistical models. *Statistics in Medicine* 9, 1303–1325.
- Väre, P. (1998). Metsäluonto lakeudelta larvamaille. Uudistuvan metsätalouden haasteet Etelä-Pohjanmaalla. 100 s. Länsi-Suomen ympäristökeskus 75.
- Väätäinen, J. (2018). Annelidien ryömismisjälkiä hiekkakivessä. <<http://spinelli.gtk.fi/annelida/>>. 15.10.2019.
- Walsh, C. & R. Mac Nally (2013). Hier.part: Hierarchical Partitioning. R package version 1.0-4. <<http://CRAN.R-project.org/package=hier.p>>. 15.1.2020.
- Wiendenbien, F.W. (1993). Ein Geotopschutzkonzept für Deutschland. Teoksessa Quasten, H. (toim.): *Geotopschutz, probleme der methodik und der praktischen umsetzung*, 1. Fachrichtung Geographie der Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Wiendenbien, F.W. (1994). Origin and of the term 'geotupe' in German-speaking countries. Teoksessa O'Halloran, D., C. Green, M. Harley, M. Stanley & J. Knill (toim.): *Geological and Landscape Conservation*, 117–120. Geological Society, London.
- Wilks, D.S. (2011). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 3. p. 704 s. Academic Press, San Diego.
- Wilson, C. (1994). *Earth heritage conservation*. 272 s. Geological Society, London.
- Zouros, N. (2007). Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece. The case of the Lesvos island – coastal geomorphosites. *Geographica helvetica* 62, 169–180.
- Zwoliński, Z. & J. Stachowiak (2012). Geodiversity map of the Tatra National Park for geotourism. *Questiones Geographicae* 31: 1, 99–107.
- Örsi, A. (2011). Quantifying the geodiversity of a study area in the Great Hungarian Plain. *Journal of Environmental Geography* 4: 1-4, 19–22.

## Liitteet

### LIITE 1. Kokonaisgeodiverstiteetin geodiversiteettielementit ja niiden jaottelu.

<b>Geologia</b>				<b>Kartoitettavat elementit</b>
	Maaperä	Minerologiset	Lajittuneet	hienojakoinen, karkearakeinen kiviä/lohkareikko, kallioma
			Lajittumattomat	sekalajittinen
		Biogeeniset		ohut turvekerros, soistuma, paksu turvekerros
	Kallioperä			graniitti, intermediäärinen metavulkaniitti, Lauhanvuoren hiekkakivi
<b>Geomorfologia</b>				
Prosessi	Polygeneettinen	Glasigeeninen	Eroosio	jyrkänne, siirros
			Akkumulaatio/Eroosio	suppa, siirtolohkare
	Glasifluviaalinen	Litoraalin	Akkumulaatio/Eroosio	kamekumpu, kameterassi, delta
			Akkumulaatio	rantatörmä, särkkä, kivikko, rantavalli, muinaisranta
	Mariininen	Fluviaalinen	Eroosio	rantatasanne, hiekkasärkkä
			Akkumulaatio	sedimentaatioallas
	Massaliikunto	Eolinen	Eroosio	jokisärkkä, juolua, alluviumkerrostuma, tulvavalli
			Akkumulaatio/Eroosio	vanha uoma, kulutusoma, raviini
	Eolinen		Akkumulaatio	maanvierimäärpi, maanvierimäkauma
			Eroosio	pitkittäis-, poikittäis- ja paraabelidyyni
<b>Hydrologia</b>				deflaatiopinta
				järvi, joki, lampi, puro, lähde, kausikosteikko

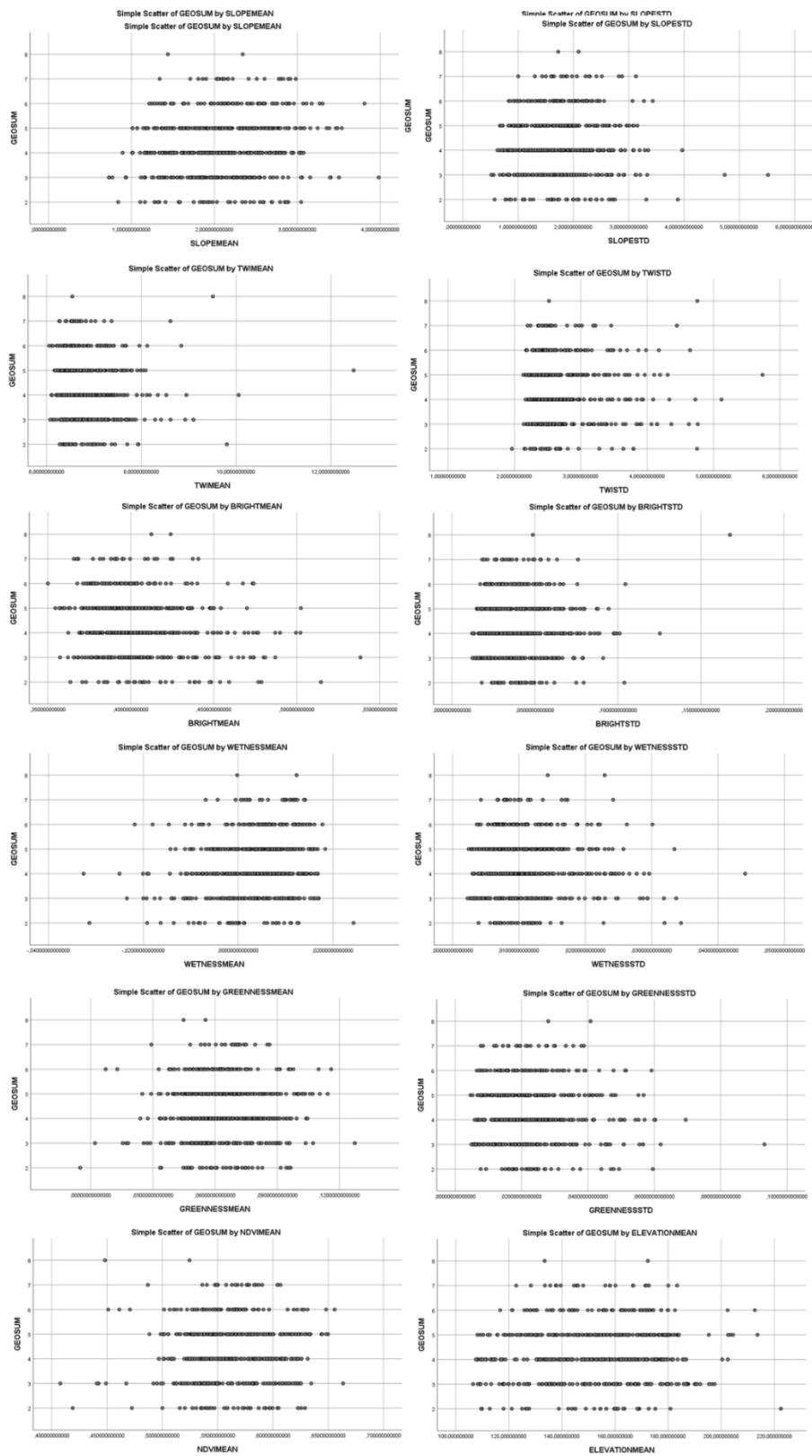
**LIITE 2.** Kalibroidun aineiston tunnusluvut. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

<b>Muuttujat</b>	<b>Minimi</b>	<b>Maksimi</b>	<b>Keskiarvo</b>	<b>Keskiahajonta</b>	<b>Varianssi</b>
Geosum	2,000	8,000	4,320	0,060	1,456
Elevationmean	108,136	222,434	151,553	1,089	480,733
Elevationstd	0,343	7,970	2,180	0,060	1,437
Slopemean	0,730	3,980	2,063	0,028	0,320
Slopestd	0,515	5,518	1,760	0,033	0,439
TWImean	6,105	10,052	6,855	0,026	0,276
TWlstd	1,962	5,119	2,707	0,024	0,232
NDVImean	0,419	0,663	0,563	0,002	0,001
NDVlstd	0,020	0,140	0,053	0,001	0,001
Brightnessmean	0,355	0,538	0,407	0,001	0,001
Brightnessstd	0,012	0,125	0,042	0,001	0,000
Wetnessmean	0,000	0,033	0,007	0,000	0,000
Wetnessstd	0,002	0,044	0,011	0,000	0,000
Greenesmean	0,005	0,127	0,064	0,001	0,000
Greenesstd	0,005	0,069	0,023	0,001	0,000

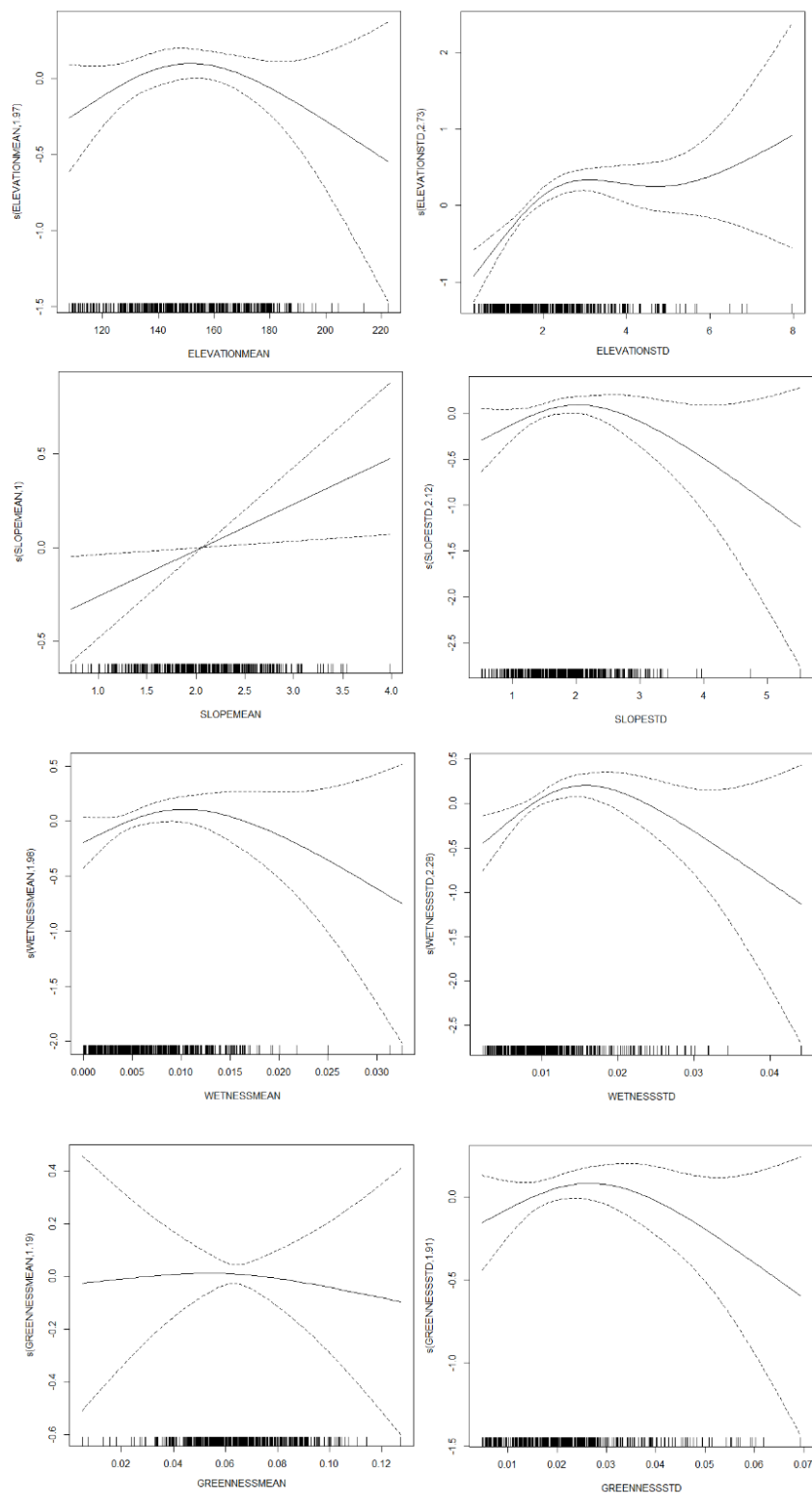
**LIITE 3.** Kalibrintiaineiston Kolmogorovin-Smirnovin normaalijakautuneisuustesti. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

<b>Muuttuja</b>	<b>K-S. Z</b>	<b>Merkitsevyys</b>
Geosum	0,168	<0,001
Elevationmean	0,047	0,034
Elevationstd	0,102	<0,001
Slopemean	0,034	0,2
Slopestd	0,067	<0,001
TWImean	0,116	<0,001
TWlstd	0,169	<0,001
NDVImean	0,051	0,015
NDVlstd	0,133	<0,001
Brightnessmean	0,098	<0,001
Brightnessstd	0,07	<0,001
Wetnessmean	0,083	<0,001
Wetnessstd	0,112	<0,001
Greenesmean	0,049	0,022
Greenesstd	0,099	<0,001

LIITE 4. Muuttujien hajontakuviot. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.



**LIITE 5 (1/2).** Yhden muuttujan GAM-mallien vastekäyrät neljällä vapausasteella. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.



**LIITE 5 (2/2).** Yhden muuttujan GAM-mallien vastekäyrät neljällä vapausasteella. Muuttujien lyhenteet on esitetty taulukossa 1.

