

Maisematason geodiversiteetti Suomessa

HELENA TUKIAINEN & JAN HJORT

Oulun yliopisto



Tukiainen, Helena & Hjort, Jan (2021). Maisematason geodiversiteetti Suomessa (Landscape-scale geodiversity in Finland). *Terra* 133: 2, 55–76.

<https://doi.org/10.30677/terra.99435>



The diversity of nature consists of two complementary components: biological diversity (biodiversity) and abiotic diversity (geodiversity). Biodiversity is widely acknowledged in both research, and conservation and management practices, whereas geodiversity (the variety of abiotic features and processes of the land surface and subsurface) is just emerging as a research and practical issue. In this study, we introduce the geodiversity concept in Finnish context and explore how landscape-scale geodiversity varies in Finland and between Finnish municipalities. In addition, we study how geodiversity varies between nature areas and human impacted areas and how Finnish strict nature reserves and national parks succeed in capturing geodiversity. According to the results, there is distinct geographical variation in geodiversity in Finland. The geodiversity of municipalities varies through the country but, on average, municipalities in the southern and northern parts of the country have especially high geodiversity values. Interestingly, human impacted areas have slightly higher geodiversity than nature areas. Nature conservation areas manage especially well in capturing geomorphological richness. This study emphasizes the need for the investigation of geodiversity on a national and sub-national level. Study of geodiversity provides information on nature beyond current biodiversity-focused perspectives, which can be further utilized in e.g., land-use and nature conservation planning.

Key words: geodiversity, geology, geosystem, abiotic nature, nature conservation

Helena Tukiainen, Geography Research Unit, University of Oulu, P.O. Box 8000, FI-90014 University of Oulu, Finland. E-mail: <helena.tukiainen@oulu.fi>

Globaali ympäristön muutos haastaa luonnonsuojelun, joten on yhä tärkeämpää etsiä uudenlaisia, muutoksen kannalta kestäviä suojelunäkökulmia ja -välineitä (Beier ym. 2015; Comer ym. 2015; Brilha ym. 2018; Knudson ym. 2018). Luonnonsuojelussa on perinteisesti keskitytty elollisen luonnon monimuotoisuuteen eli biodiversiteettiin. Harvemmin huomioidaan, että luonnon monimuotoisuus on kokonaisuus, joka koostuu sekä elollisen että elottoman luonnon vaihtelusta. Elottoman luonnon monimuotoisuus eli geodiversiteetti tarkoittaa maapallon pintaosien materiaalien, muotojen ja muodostumien monimuotoisuutta. Siihen sisältyvät geologian (kallioperä ja maaperä), geomorfologian

(muodostumat, topografia ja prosessit) ja hydrologian vaihtelut (Gray 2013). Geodiversiteetti koostuu geokohteista (kuva 1), joita ovat esimerkiksi geomorfologiset muodostumat, kuten harjut, aapasuot ja murroslaaksot, kivilajit ja hydrologiset kohteet, kuten joet ja järvet (Serrano & Ruiz-Flaño 2007; Brilha 2016; Bailey ym. 2017).

Geodiversiteettiä on määritelty eri tutkimuksissa ja asiayhteyksissä monin tavoin, eivätkä sen mittaustavat ole vielä vakiintuneet (Kozłowski 2004; Gray 2013; Alahuhta ym. 2020; Crisp ym. 2020). Geodiversiteettiä on mitattu niin laadullisesti (esim. Brilha 2016) kuin määrällisesti (esim. Ruban 2010). Laadulliset arviot ovat kuvailevia ja



Kuva 1. Esimerkkejä erilaisista geologisista, geomorfologisista ja hydrologisista geokohteista Suomessa: (A) mannerjäätikön ja aallokon pyöristämää kivilajeiltaan monimuotoista kallioperää Hangossa, (B) tuulan kerrostama alkiodyyni Hailuodossa, (C) jäätikköjokikerrostumaa Hangossa, (D) kallioperän jyrkänteitä ja koski Enontekiöllä, (E) roudan lajittelema kuviomaa Utsjoella, (F) soistunut suppakuoppa Utajärvellä, (G) rantavoimien synnyttämä eroosiotörmä Hangossa, (H) aapasuo Muhoksella, (I) mannerjäätikön kuluttama silokallio Hangossa, (J) mutkittelevaa Kitkajokilaaksoa särkkineen Kuusamossa, (K) aallokon huuhtoma ja lajittelema muinaisranta kivikko Vihdissä, (L) palsakumpu Enontekiöllä, (M) kallioperän kanjoni ja kivikkoinen purouma Enontekiöllä, (N) jyrkkäreunainen harju Pudasjärvellä ja (O) mannerjäätikön sulavesien kuluttama uoma Utsjoella. Valokuvat A–E, G, I ja K–O Jan Hjort ja F, H ja J Helena Tukiainen.

Figure 1. Examples of different geological, geomorphological and hydrological geosites in Finland: (A) a geologically diverse bedrock rounded by glacial and wave action in Hanko, (B) a wind-deposited embryo dune in Hailuoto, (C) a glaciofluvial deposit in Hanko, (D) bedrock escarpments and a rapid in Enontekiö, (E) frost sorted patterned ground in Utsjoki, (F) a kettle hole with a small mire in Utajärvi, (G) wave-eroded cutbank in Hanko, (H) aapasuo in Muhos, (I) a roche moutonnée formed by continental ice sheet in Hanko, (J) meandering river Kitkajoki with sandbars in Kuusamo, (K) ancient shoreline deposits formed by wave action in Vihti, (L) a palsa hummock in Enontekiö, (M) a bedrock canyon and a stony stream in Enontekiö, (N) an esker with steep slopes in Pudasjärvi, and (O) a channel formed by glacial melt waters in Utsjoki. Photos A–E, G, I and K–O Jan Hjort, and F, H and J Helena Tukiainen.

ne perustuvat yleensä yksittäisten asiantuntijoiden näkemyksiin. Määrälliset tavat arvioida geodiversiteettiä ovat selkeästi useammin käytettyjä. Ne perustuvat esimerkiksi paikkatietoaineistoihin tai erilaisiin yhtälöihin tai laskentoihin (Zwoliński ym. 2018). Yksi yleisimmin käytetyistä määrällisistä mittaustavoista on georunsaus, eli erilaisten geokohteiden määrä (summa) tutkimusalalla, kuten rasterisolulla tai valuma-alueella (esim. Hjort ym. 2012; Tukiainen ym. 2017a; Antonelli ym. 2018). Erilaiset geodiversiteetti-indeksit ovat myös yleisiä tapoja määrittää elottoman luonnon monimuotoisuuden määrää. Yksi tunnetuimmista on maantieteen alan tutkijoiden Enrique Serranon & Purificación Ruiz-Flañon (2007) indeksi, joka saa sitä suurempia arvoja, mitä enemmän tutkimusalueella on geokohteita ja mitä vaihtelevampi alue on topografisesti.

Geodiversiteetillä on erilaisia arvoja ja käytännön merkitystä. Itseisarvon lisäksi sillä on ainakin kulttuurista, esteettistä, taloudellista ja toiminnallista arvoa (Gray 2005; Gray ym. 2013; Wall ym. 2015). Geodiversiteetin kohteita hyödynnetään esimerkiksi maapallon luonnonhistorian tutkimisessa ja opettamisessa, taiteessa inspiraation herättäjänä, sekä raaka-ainelähteinä ja energian tuotannossa. Geodiversiteetin arvoja ja hyötyjä voidaan tarkastella myös ekosysteemipalvelu- eli luontohyötykäsitteen avulla (Gordon ym. 2012; Gordon & Barron 2013; Fox ym. 2020). Geodiversiteetti tuottaa abioottisia ekosysteemipalveluita eli geosysteemipalveluita, joita ihmiskunta on hyödyntänyt monin tavoin jo vuosituhansien ajan (Gray ym. 2013; Wall ym. 2015). Osa geodiversiteetin tarjoamista luontohyödyistä on uusiutuvia ja osa erittäin hitaasti uusiutuvia tai uusiutumattomia (Gordon ym. 2012; Gordon & Barron 2013; Gray 2018a). Suorien luontohyötyjen lisäksi geodiversiteetin on katsottu tukevan muita ekosysteemipalveluita (Alahuhta ym. 2018). Geodiversiteetti ja geosysteemipalvelut on tärkeää huomioida kestävään kehitykseen ja luonnonvarojen viisaaseen käyttöön liittyvässä päätöksenteossa (Schrodt ym. 2019).

Perinteisten ekosysteemipalveluiden lisäksi geodiversiteetillä on huomattavaa arvoa myös biodiversiteetin kannalta (Parks & Mulligan 2010; Lawler ym. 2015; Tukiainen 2019; Alahuhta ym. 2020). Suojelustrategia *Conserving Nature's Stage* (CNS) perustuu ajatukseen siitä, että elottoman luonnon monimuotoisuus mahdollistaa elollisen luonnon kirjon (Beier ym. 2015). Eloton luonto – kallioperä, maaperä, vesistöt, maanpinnan muodostumat – on kuin näyttämö, jolla elollisen luonnon osat, eli näyttelijät toimivat. Mitä monimuotoisempi tämä näyttämö on, sitä monimuotoisempi elonkirjo alueella mahdollisesti on. Ekosysteemit, jotka koostu-

vat vaihtelevista elottomista olosuhteista ja pinnanmuodoista, tuottavat suuremman määrän ekolokeroita ja elinympäristöjä kuin yksipuoliset ympäristöt, ja ovat siksi runsaampia biodiversiteetiltään (Nichols ym. 1998; Lawler ym. 2015). Koska eloton luonto ei muutu ilmaston muuttuessa yhtä nopeasti kuin elollinen luonto, geodiversiteetiltään monipuoliset alueet ylläpitävät elollisen luonnon monimuotoisuutta, vaikka ilmasto ja lajisto alueella muuttuvat (Beier ym. 2015).

Kiihtyvä ihmistoiminta ja maankäytön muutos uhkaavat myös elottoman luonnon monimuotoisuutta, vaikka geodiversiteetti on biodiversiteettiä vakaampaa. Tämän vuoksi geodiversiteetin ja arvokkaiden geokohteiden suojelu on tärkeää. Geosuojelu (*geoconservation*) kohdistuu tärkeiden tai uhanalaisten geokohteiden suojeluun (Brilha 2016). Geoperintö (*geoheritage*) on se osa geodiversiteetistä, joka on arvioitu geosuojelun arvoiseksi (Gray 2013). Geodiversiteettiä ei ole sisällytetty luonnonsuojelustrategioihin tai lainsäädäntöön yhtä kattavasti kuin biodiversiteettiä (Comer ym. 2015), mutta sen suojelussa on otettu myös edistysaskelia (Gordon ym. 2018). Maailmanlaajuisesti geodiversiteetin suojelua ja geomatkaailua edistää muun muassa YK:n kasvatusta, tiede- ja kulttuurijärjestö UNESCO:n Global Geoparks -verkosto, johon kuuluu vuoden 2021 kesäkuussa 169 puistoa yhteensä 44 maasta (UNESCO Global Geoparks 2021). Valtiotasolla esimerkiksi Iso-Britannia tunnetaan geosuojelun teorian ja käytännön edelläkävijänä (Thomas & Cleal 2012).

Pohjoismainen ministerineuvosto julkaisi jo vuonna 2000 raportin, jossa esitellään Pohjoismaiden geologista ja geomorfologista monimuotoisuutta, ja tehdään suosituksia geodiversiteetin käyttöön ja hallintoihin (Johansson 2000). Suomessa on inventoitu ja arvioitu yksittäisiä geologisia kohteita, kuten arvokkaita harjuja, kivikkotyyppisiä, moreenimuodostumia ja tuuli- sekä rantakerrostumia. Valtakunnallisten luonnonsuojeluohjelmien avulla suojellaan soita, harjuja ja rantoja (Ympäristöministeriö 2020a). Yksittäisiä, suojelun arvoisia luonnonmuodostumia, kuten siirtolohkareita, voidaan rauhoittaa luonnonmuistomerkeiksi (Ympäristöministeriö 2020b). Tämän lisäksi suomalainen suojelualueverkosto pyrkii muiden tavoitteiden ohella säilyttämään ja suojelemaan geologisia ja geomorfologisia muodostumia, jotka ovat harvinaisia tai häviämässä ihmistoiminnan seurauksena (Metsähallitus 2016). Vaikka yhtäkään kotimaista luonnon- tai kansallispuistoa ei ole perustettu niiden geologian vuoksi (Kananoja & Nenonen 2012), Suomessa sijaitsee kolme geologiaan ja geokoh-teisiin keskittyntä UNESCO Global Geoparks -verkostoon kuuluvaa puistoa. Näiden lisäksi usea

alue on hakemassa Geopark-statusta. Jo verkostoon kuuluvat puistot ovat Rokua, joka sijaitsee Vaalan, Utajärven ja Muhoksen kuntien alueella, itäisessä Suomessa sijaitseva Saimaa, sekä Lauhanvuori-Hämeen kangas, johon kuuluu kuntia Satakunnasta, Etelä-Pohjanmaalta ja Pirkanmaalta.

Tässä tutkimuksessa selvitämme ensimmäistä kertaa, miten Suomen geodiversiteetti vaihtelee kokonaisuutena. Tutkimuksemme on maailmanlaajuisesti kiinnostava esimerkki siitä, millaisia kansallisia aineistoja ja tietoja geodiversiteetistä on mahdollista tuottaa. Aiemmat geodiversiteetin kansalliset arvioinnit ovat keskittyneet erityisesti geoperinnöltään arvokkaiden, tai alueellisesti edustavien kohteiden kartoittamiseen ja suojeluun (Gray 2018b). Käytämme koko maan kattavaa yhden neliökilometrin resoluutioista alueellista geodiversiteettiaineistoa, joka on koostettu laajojen paikkatietopohjaisten tausta-aineistojen avulla. Tutkimme geodiversiteetin osa-alueiden eli kallioperän, maaperän, vesistöjen ja geomorfologian runsautta, sekä niiden kokonaisrunsauden (georunsaus, kokonaisgeodiversiteetti) vaihtelua. Selvitämme erityisesti, (1) miten geodiversiteetti vaihtelee maanlaajuisesti ja kunnittain, (2) millaisia eroja on luontoalueiden ja ihmisten muokkaamien alueiden välillä, ja (3) miten geodiversiteetti vaihtelee kansallispuistojen, luonnonpuistojen ja niitä ympäröivien alueiden välillä.

Lähestymme geodiversiteettiä maantieteellisestä näkökulmasta maisematasolla. Tämä tarkoittaa sitä, että tarkastelemme geodiversiteettiä ja sen vaihtelua laajoilla maantieteellisillä alueilla ilman, että syvennymme esimerkiksi yksittäisiin geokohteisiin. Maisematason geodiversiteetin mittarina toimivat paikkatietoaineistoista lasketut runsausmuuttujat. Tutkimuksen tuloksia on mahdollista hyödyntää ja soveltaa niin maanlaajuisesti, kuin suurimittakaavaisempien tarkastelujen pohjalla, kuten kuntatasoisen luonnonsuojelun tai kaavoituksen tukena.

Aineisto ja menetelmät

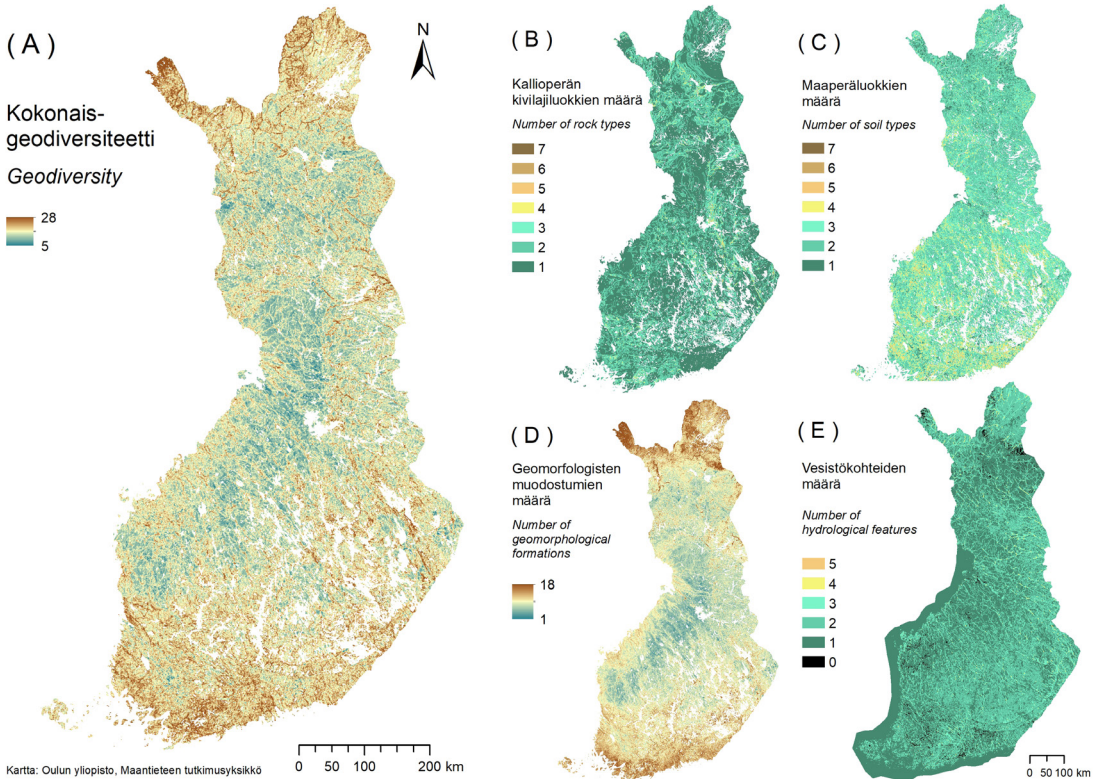
Geodiversiteettiaineisto

Olemme koostaneet koko Suomen laajuisen geodiversiteettiaineiston, joka sisältää tiedot Suomen kallioperän kivilajien, maaperän, vesistökohteiden ja geomorfologian runsaudesta neliökilometrin resoluutiossa (kuva 2). Kaikki tutkimuksessa käytetyt geodiversiteettimuuttujat ovat runsausmuuttujia. Tämä tarkoittaa sitä, että olemme laskeneet erilaisten geokohteiden lukumäärän tutkimusruudulla huomioimatta, montako samanlaista kohdetta (esim. geomorfologista muodostumaa) ruudulla on, tai mikä kohteiden pinta-ala on (Hjort & Luoto

2010, 2012). Käyttämämme tapa mitata geodiversiteettiä on yksinkertainen, mutta samalla helposti toistettavissa eri alueilla. Lisäksi sen on todettu toimivan hyvin tutkimuksissa, joissa on tarkasteltu eliölajirunsauden ja geodiversiteetin välistä suhdetta pohjoisissa ympäristöissä (Hjort ym. 2012; Tukiainen ym. 2017a–b; Kärnä ym. 2018, 2019; Toivanen ym. 2019). Erillisten ryhmittäisten geodiversiteettimuuttujien lisäksi käytämme kallioperä-, maaperä-, hydrologia- ja geomorfologia -muuttujien summaa kuvaamaan geodiversiteetin kokonaisrunsautta (Ruban 2010).

Kallioperän kivilajien monimuotoisuus on määritetty Geologian tutkimuskeskuksen digitaalista kallioperäkarttaa käyttäen (Kallioperä 1:200 000). Kartan luokat on uudelleenmääritetty kuuteentoista syntyperältään ja geokemialtaan mahdollisimman erilaiseen luokkaan (ks. Tukiainen ym. 2017a; liite 1). On huomioitava, että alkuperäisessä aineistossa nimetyt kivilajit olivat geologisilta ominaisuuksiltaan vaihtelevia, ja tässä työssä käytetty luokittelu on vain yksi tapa jakaa kivilajit erilaisiin luokkiin. Maaperän monimuotoisuus on niin ikään määritetty Geologian tutkimuskeskuksen digitaalisen maaperäaineiston avulla (Maaperä 1:200 000). Sen perusteella Suomen maaperä on jaettu kahdeksaan geologisilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman erilaiseen luokkaan, jotka ovat (1) kallio (paljas kallio tai päällä ohut maaperäkerros; alle 1 metri), (2) moreeni, (3) kivikot ja lohkareikot, (4) hiekka ja sora, (5) siltti, (6) savi, (7) lieju (järvi- ja merisedimentit; yli 6 prosenttia orgaanista materiaalia), ja (8) turve. Maaperätyyppien jaottelu voisi olla tarkempi (esim. hiekka ja sora erikseen), mutta alkuperäinen aineisto ei mahdollistanut yksityiskohtaisempaa luokittelua. Maaperän ja kallioperän kivilajien luokittelussa pyrittiin siihen, että geologista monimuotoisuutta voidaan kuvata kattavasti aineistojen rajoitteet huomioiden (mm. alkuperäinen aineistoluokittelu ja melko karkea mittakaava). Pyrimme siihen, että luokkia oli mahdollisimman monia ja luokkien väliset erot olivat mahdollisimman selkeitä. Todellisuudessa maaperätyypit ja kivilajit ovat ominaisuuksien puolesta usein jatkumoa, joten niiden luokittelu selvärajaisiin luokkiin on vaikeaa ja jaottelussa on tehtävä kompromisseja.

Vesistöjen eli hydrologian monimuotoisuus on määritetty eri aineistoista koostettujen spatiaalisten vesistökohdetietojen avulla. Näitä ovat pohjavedet (Pohjavesialueet 2013), suot (Maastotietokannan suot 2012), joet (Jokialue 2015; Jokiviiva 2015), järvet (Järvi 2015) ja merialueet (Merialueet 2015). Geomorfologisista muodostumisista ei ole saatavilla koko maan kattavaa suurimittakaavaista kartoitusta, joten geomorfologinen



Kuva 2. Suomen geodiversiteetti neliökilometrin resoluutiolla. Kokonaisgeodiversiteetti (A) on kallioperän kivilajiluokkien (B), maaperäluokkien (C), geomorfologisten muodostumien (D) ja vesistökohteiden (E) määrän ruutukohtainen summa. Vesistökohteiden määrä on laskettu niille tutkimusruuduille, jotka ovat Suomen valtionrajojen sisällä. Muut osa-alueet, ja kokonaisgeodiversiteetti, on summattu vain niille ruuduille, jotka ovat maa-alueilla (vähintään 75 prosenttia maapinta-alaa, CLC2018 maanpeite 20m) ja joille on olemassa pohja-aineistoa kallioperästä, maaperästä ja geomorfologiasta.

Figure 2. The geodiversity of Finland at 1×1 km resolution. Geodiversity (A) is the sum of rock type (B) and soil type (C) classes, geomorphological formations (D) and hydrological features (E) in a grid cell. The number of hydrological features has been calculated to those grid cells that are inside state borders. Soil and rock types, geomorphological features and the sum of all the geodiversity elements (geodiversity) is calculated only to those grid cells that are located on land (which contain at least 75 percent land area, CLC2018 maanpeite 20m) and that contain data on soil and rock types, and geomorphology.

monimuotoisuus mallinnettiin hyödyntäen muodostumahavaintoja, paikkatietopohjaisia ympäristömuuttujia ja yleistettyä additiivista mallia (Tukiainen ym. 2017a). Muodostumahavainnot kerättiin 2 083 neliökilometrin tutkimusruudulta olemassa olevista suurimittakaavaisista geomorfologisista kartoista ja kartoituksista (Hjort 2001; Hjort & Luoto 2012; Räsänen ym. 2016; Geomorfologisia seikkaperäiskarttoja 1:50 000). Kartta-aineistoja täydennettiin kartoittamalla muodostumia neliökilometrin aloilta eri puolilta Suomea siten, että saimme aineistoa kaikilta Suomen kahdeltakymmeneltäkahdelta geomorfologiselta ala-alueelta (Geomorfologinen yleiskartta 1:1 000 000).

Geomorfologisen runsauden mallinnuksessa käytettiin yleistettyä additiivista mallia, digitaalisista korkeusmalleista laskettuja topografisia parametreja (mm. keskikorkeus ja rinteen kaltevuuden keskijakonta) ja maantieteellisiä muuttujia, kuten koordinaattitietoja ja maa-alueiden pinta-alaa tutkimusruudulla. Laadittu malli selitti lähes puolet aineiston vaihtelusta (vrt. Hjort & Luoto 2012, 2013) ja täytti hyvin tilastolliset ennako-odotukset, kuten oletuksen residuaalien normaalijakautuneisuudesta. Lisäksi malli osoittautui tarkaksi, eli havaitut ja ennustetut arvot osuivat evaluointiaineiston hajontakuviossa hyvin 1:1-suoralle. Malli oli myös ennustumielessä hyvin vakaa,

sillä havaittujen ja sovitettujen arvojen korrelaatio kalibrintiaineistossa oli 0,675 ja havaittujen ja ennustettujen arvojen korrelaatio evaluointiaineistossa oli 0,676. Kattava kuvaus geomorfologisen runsauden mallintamisesta löytyy artikkelista Tukiainen ym. (2017a).

Aineiston analyysi

Koko Suomen geodiversiteettiä tarkasteltiin neliökilometrin resoluutioisten aineistojen avulla (kuva 2). Tasoista, jotka kuvaavat kivilajien, maaperätyyppien, geomorfologisten muodostumien ja kokonaisgeodiversiteetin määrää, poistettiin ne neliökilometrin kokoiset ruudut, joissa oli yli 25 prosenttia vettä Corine Land Cover -maanpeiterasterin vesialueet-luokan perusteella (CLC2018 maanpeite 20m 2018). Hydrologista diversiteettiä laskettaessa tätä rajausta ei käytetty (esim. kuva 2e), mutta jatkoanalyysseissa huomioitiin vain ne ruudut (n=290 070), joista oli yhtenäisesti tieto sekä kallioperästä, maaperästä, geomorfologiasta että hydrologiasta.

Suomen kuntien välistä elottoman luonnon monimuotoisuutta vertailtiin laskemalla jokaiselle kunnalle (Hallintorajat 1:10 000) keskiarvo eri geodiversiteettimuuttujille ja kokonaisgeodiversiteetille ArcMap 10.6 ohjelmistolla *Zonal Statistics as Table* -työkalulla. Luonnon hallitsemien ja ihmisten muokkaamien alueiden geodiversiteettiä tarkasteltiin laskemalla tutkimusruutukohtainen arvio siitä, onko ruutu ihmisen muokkaamaa aluetta vai luontoaluetta. Maankäyttömuuttujat laadittiin 20 x 20 metrin resoluutioisen Corine Land Cover maanpeiterasterin pohjalta (CLC2018 maanpeite 20m 2018). Aineisto kattaa koko Suomen, ja maankäyttö on siinä jaettu hierarkkisesti eri tasoihin.

Käytimme Corinen *Level 1* -tason luokitusta, jossa maankäyttö on jaettu luokkiin (1) Rakennetut alueet, (2) Maatalousalueet, (3) Metsät, avoimet kankaat, kalliomaat, (4) Kosteikot ja avoimet suot, ja (5) Vesialueet. Luokittelimme nämä uudelleen kahteen maankäyttöluokkaan, joista ensimmäiseen sisällytettiin *Level 1* -luokat 1–2 (uusi luokka 1 eli ihmisen muokkaamat alueet) ja toiseen luokat 3–5 (uusi luokka 2 eli luontoalueet) (kuva 3a). Tarkastelun ulkopuolelle rajattiin Corine-aineiston Vesialueet-luokkaan kuuluva 5.2 Merivedet -luokka. Kutsumme luokkaa 2 selkeyden vuoksi luontoalueiksi tai luonnon hallitsemiksi alueiksi, vaikka siihen lukeutuneet maankäyttötyypit voivat olla osin ihmisvaikutuksen alla (esim. metsät, joissa metsätaloutta). Tutkimusruutujen maankäyttöluokka määräytyi sen mukaan, oliko ruudulla enemmän (yli 50 prosenttia) 1- vai 2-arvoisia 20 x 20 metrin resoluution pikseleitä.

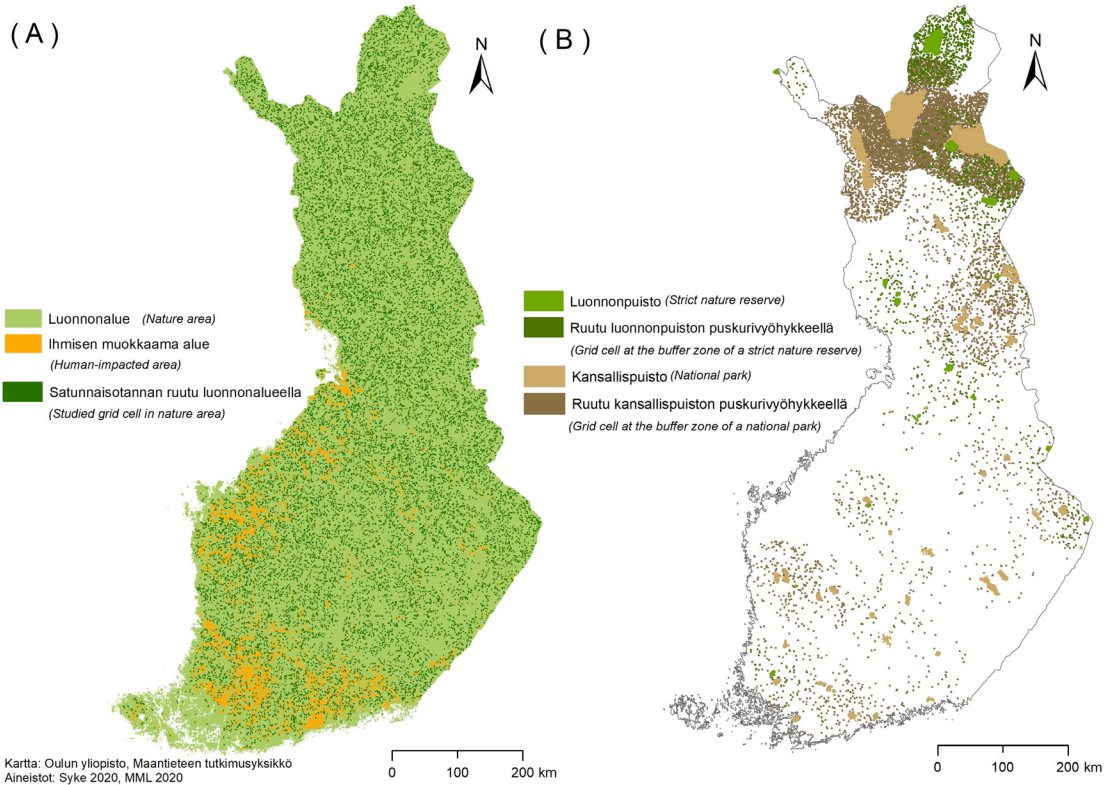
Geodiversiteettiä näiden kahden maankäyttötyypin välillä verrattiin ei-parametrisella Mann-Whitney U-testillä. Testi kertoo, onko geodiversiteettimuuttujien suuruudessa tilastollisesti merkitsevää eroa ihmisen muokkaamalla alueilla ja luontoalueilla sijaitsevien tutkimusruutujen välillä. Vertailtavuuden vuoksi siitä luokasta, johon luokitui enemmän tutkimusruutuja, eli ”Luontoalueet”, valittiin analyysia varten satunnaisotannalla sama määrä ruutuja (n=19 497), kuin mitä ”Ihmisen muokkaamat alueet” -luokkaan kuului ruutuja.

Vertailimme kansallis- ja luonnonpuistojen sekä niitä ympäröivien ei-suojeltujen alueiden geodiversiteettiä hyödyntämällä Suomen ympäristökeskuksen suojelualuetietoja (Valtion maiden luonnonsuojelualueet 2020). Aineistosta rajattiin pois pääasiassa merialueilla sijaitsevat kansallispuistot, eli Saaristomeri, Perämeri, Selkämeri, Tammisaaren saaristo ja Itäinen Suomenlahti. Tarkasteltavia kansallispuistoja oli 35 ja luonnonpuistoja 19 (kuva 3b). Jotta pystyimme vertaamaan puistojen ja niitä ympäristöltään keskimäärin vastaavien alueiden geodiversiteettiä, teimme ArcMap 10.6 -ohjelmalla puistojen ympärille viidenkymmenen kilometrin levyiset puskurivyöhykkeet, joista valitsimme satunnaisotannalla saman määrän neliökilometrin kokoisia ruutuja, kuin mitä itse puisto sisälsi. Puskurivyöhykkeen ruuduiksi ei sisällytetty kumpaankaan puistotyyppiin sisältyviä ruutuja. Sama ruutu saattoi tulla valituksi useampaan otokseen, koska osa puskurivyöhykkeistä oli päällekkäisiä, ja otanta tehtiin puistokohtaisesti. Puistojen alueella ja puskurivyöhykkeellä sijaitsevien ruutujen keskimääräistä geodiversiteettiä vertailtiin kahdelle otokselle sopivalla, ei-parametrisella Mann-Whitney U-testillä. Testi kertoo, onko tarkasteltavien luokkien (tässä: kansallis- tai luonnonpuistoissa sijaitsevat ruudut, ja puskurialueilla sijaitsevat ruudut) välillä tilastollisesti merkitsevää eroa geodiversiteetissä.

Tulokset

Maantieteellinen vaihtelu

Geodiversiteetti vaihtelee Suomessa neliökilometrin tasolla mitattuna niin pienipiirteisesti kuin laajempia trendejä noudattaen (kuva 2). Erityisesti kokonaisgeodiversiteetti vaihtelee melko selkeästi eri maantieteellisten alueiden välillä ja on suurimmillaan maan etelä-, itä- ja pohjoisosissa. Lounais- ja Etelä-Suomen rannikkoalueet, Salpausselkävyöhykkeet ja suuret saumarhujaksot, Koillismaan pohjoisosat ja Tunturi-Lappi ovat kokonaisgeodiversiteetiltaan monipuolisista alueita. Pienipiirteisempiä runsaan geodiversiteetin keskittyviä on



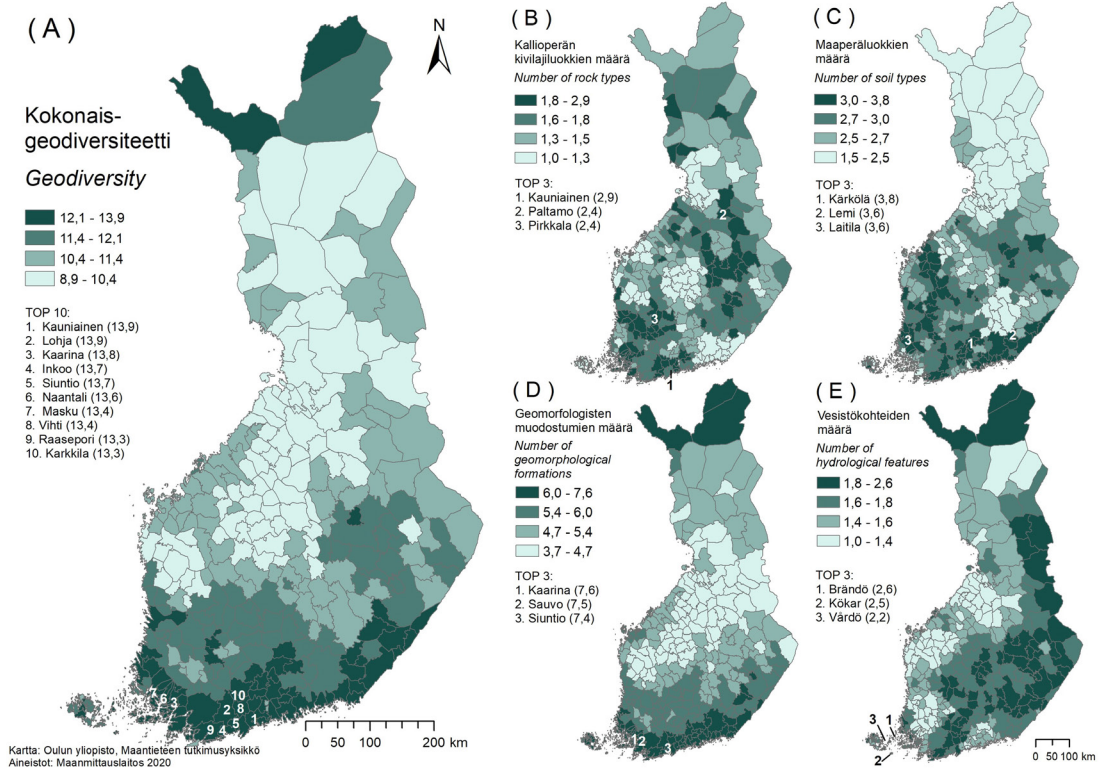
Kuva 3. (A) Suomen maankäyttö jaettuna ihmisen muokkaamiin alueisiin ja luontoalueisiin Corine Land Cover -maanpeiterasterin (CLC2018 maanpeite 20m) Level 1 -tason mukaan (ks. teksti), ja analyyseja varten satunnaisotannalla valitut luontoalueiden neliökilometrin ruudut ($n=19\,497$). (B) Tutkimuksen kansallis- ja luonnonpuistot ja puistoja ympäröivillä 50 km säteen kokoisilla puskurivyöhykkeillä sijaitsevat neliökilometrin kokoiset vertailuruudut.

Figure 3. (A) The land-use of Finland divided to two categories: human-impacted areas and nature areas, and the grid cells that are selected to the analysis from the nature areas ($n=19\,497$). The division to the two categories is based on Level 1 classification in the Corine Land Cover data (CLC2018 maanpeite 20m). (B) The national parks and strict nature reserves included to this research and the 1×1 km grid cells that are located around the 50 km buffer areas around each protected area.

esimerkiksi Pohjanmaalla ja Keski-Lapissa. Kokonaisgeodiversiteetti on pieni etenkin Keski-Lapissa, ja Etelä-Pohjanmaan viljelylakeuksien eteläosista Suomenselän kautta Pohjois-Pohjanmaalle kulkevalla alueella (kuva 2a). Kokonaisgeodiversiteettiä tarkasteltaessa on huomioitava, että geomorfologinen runsaus vaikuttaa keskeisesti lukuarvoihin ja niiden maantieteelliseen vaihtelevuuteen.

Kunnittain tarkasteltuna geodiversiteetti on runsasta etenkin eteläisen Suomen alueella (kuva 4). Kokonaisgeodiversiteetti on suurin Etelä-Suomen kunnissa, erityisesti Salpausselkien vyöhykkeellä sekä rannikolla, sekä pohjoisimmassa osassa maata Enontekiöllä ja Utsjoella. Etenkin Pohjanmaalla ja Pohjois-Pohjanmaalla on puolestaan useita kuntia, joiden kokonaisgeodiversiteetti on pieni (kuva

4a). Suurin kokonaisgeodiversiteetti on Kauniassa (keskiarvo 13,9) ja pienin Vaalassa (keskiarvo 8,9) (ks. liite 2 jossa kuntakohtaiset geodiversiteettiä. Geomorfologisten muodostumien määrä vaihtelee samoin kuin geodiversiteetti kokonaisuutena, eli se on suurin aivan pohjoisosissa sekä eteläisissä osissa maata. Kallioperä on monimuotoisimmillaan erityisesti Kainuun ja Pohjois-Savon alueen kunnissa, kun taas maaperäluokkien määrä on suuri erityisesti Pohjanmaalla ja eteläisen Suomen kunnissa. Maaperän monimuotoisuus on vähäisintä Etelä-Savon, Pohjois-Pohjanmaan (pois lukien eteläisimmät osat) ja Lapin alueilla. Hydrologinen diversiteetti eli erilaisten vesistökohteiden määrä on suurin itärajalalla, sekä ympäri eteläistä Suomea (kuva 4).



Kuva 4. Suomen kuntien (Hallintorajat 1:10 000) geodiversiteetti eli kallioperän kivilajiluokkien (B), maaperäluokkien (C), geomorfologisten muodostumien (D) ja vesistökohteiden (E) määrän keskiarvo, sekä niiden summan eli kokonaisgeodiversiteetin keskiarvo (A) laskettuna neliökilometrin resoluutioisesta pohja-aineistosta. Kuntakohtaiset geodiversiteetti-arvot löytyvät liitteestä 2.

Figure 4. The geodiversity of Finnish municipalities (Hallintorajat 1:10 000): the mean of the sum of rock types (B), soil types (C), geomorphological formations (D) and hydrological features (E), and their sum (A) calculated from a 1 × 1 km resolution background data. The geodiversity values for each municipality are listed in Appendix 2.

Maankäytön ihmisvaikutus

Elottoman luonnon monimuotoisuus on pääosin suurempi ihmisen muokkaamilla alueilla kuin luontoalueilla (taulukko 1). Ainoastaan vesistökohteita eli pohjavesialueita, järviä, jokia, soita ja meri-alueita on enemmän luonnon hallitsemilla alueilla. Vaikka erot geodiversiteetissä luonto- ja ihmisten muokkaamien alueiden välillä ovat pieniä, ovat ne Mann-Whitney U-testin mukaan pääosin tilastollisesti erittäin merkitseviä (taulukko 1).

Geodiversiteetti luonnonsuojelualueilla

Geodiversiteetti vaihtelee tutkimuksessa mukana olleiden kansallispuistojen, luonnonpuistojen ja

niitä ympäröivien alueiden välillä (taulukko 2). Vaihtelu on melko pientä, mutta Mann-Whitney U-testin mukaan pääosin tilastollisesti erittäin merkitsevää. Geomorfologisia muodostumia on keskimäärin enemmän suojelualueilla kuin niiden ulkopuolella. Myös geodiversiteetti kokonaisuutena on suurempi suojelluilla alueilla kuin niiden ulkopuolella, mutta ero on tilastollisesti merkitsevä vain kansallispuistojen osalta. Maaperän monimuotoisuus on suurempaa kansallispuistojen ulkopuolella kuin puistoissa. Kallioperän kivilajien monimuotoisuus on hieman suurempaa kansallispuistoissa kuin ei-suojelluissa ympäristöissä, mutta luonnonpuistojen tapauksessa ero on toisinpäin. Luonnonpuistot ovat hydrologialtaan vaihtelevampia kuin niitä ympäröivät alueet (taulukko 2).

Taulukko 1. Geodiversiteettimuuttujien keskiarvot ihmisen muokkaamilla alueilla ja luontoalueilla, otoskoko kummassakin 19 497 neliökilometrin ruutua. Mann-Whitney U-testin tulos (p-arvo) on omassa sarakeessaan. Suurempi keskiarvoista on lihavoitu, jos ero on testin mukaan tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$).

Table 1. The mean values of geodiversity variables in human-impacted areas and in nature areas ($n=19\,497\ 1 \times 1$ km grid cells at each land-use type) and the statistical significance (p-value) of the results from Mann-Whitney U-test. If the difference between the mean values is statistically significant according to the test, the higher mean value is bolded.

	Maankäyttö / Land-use		
	Ihmisen muokkaamat alueet <i>Human-impacted areas</i>	Luontoalueet <i>Nature areas</i>	Mann-Whitney U-testin tulos (p-arvo) <i>p-value from the Mann-Whitney U-test</i>
Geomorfologia / <i>Geomorphological richness</i>	5,6	5,2	<0,001
Kallioperä / <i>Rock type richness</i>	1,5	1,6	0,964
Maaperä / <i>Soil type richness</i>	2,8	2,6	<0,001
Vesistöt / <i>Hydrological richness</i>	1,4	1,7	<0,001
Kokonaisgeodiversiteetti / <i>Geodiversity</i>	11,4	10,9	<0,001

Taulukko 2. Geodiversiteettimuuttujien keskiarvot Suomen luonnon- ja kansallispuistoissa ja puistojen ulkopuolella sijaitsevilla neliökilometrin tutkimusruuduilla. Mann-Whitney U-testin tulos (p-arvo) on omassa sarakeessaan. Suurempi keskiarvoista on lihavoitu, jos ero on testin mukaan tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,05$).

Table 2. The mean values of geodiversity variables in Finnish national parks and strict nature reserves, and in the non-protected areas that surround them. The results from Mann-Whitney U-test (p-values) are marked in separate columns. If the difference between the mean values is statistically significant according to the test, the higher mean value is bolded.

	Luonnonpuistot <i>Strict nature reserves</i>			Kansallispuistot <i>National parks</i>		
	Puistoissa <i>Inside the park borders</i> (n=1627)	Puistojen ulkopuolella <i>Outside the park borders</i> (n=1627)	p-arvo <i>p-value</i>	Puistoissa <i>Inside the park borders</i> (n=8569)	Puistojen ulkopuolella <i>Outside the park borders</i> (n=8569)	p-arvo <i>p-value</i>
Geomorfologia / <i>Geomorphological richness</i>	6,2	5,8	<0,001	6,1	5,6	<0,001
Kallioperä / <i>Rock type richness</i>	1,4	1,5	0,002	1,6	1,6	0,04
Maaperä / <i>Soil type richness</i>	2,4	2,4	0,6	2,1	2,3	<0,001
Vesistöt / <i>Hydrological richness</i>	1,7	1,6	<0,001	1,5	1,6	<0,001
Kokonaisgeodiversiteetti / <i>Geodiversity</i>	11,5	11,3	0,999	11,2	11,0	<0,001

Pohdinta

Elottoman luonnon monimuotoisuus on ajankohtainen teema muun muassa luonnonsuojelun, ekosysteemipalveluiden ja kestävä kehityksen tutkimuksessa (Knudson ym. 2018; Schrodtt ym. 2019; Fox ym. 2020). Suomessa on inventoitu ja suojeltu yksittäisiä geologisia kohteita ja muodostumia, kuten harjuja, ja Pohjoismainen ministerineuvosto julkaisi jo vuonna 2000 raportin, joka korostaa geologisen ja geomorfologisen monimuotoisuuden merkitystä (Johansson 2000). Tästä huolimatta tutkimuksia, joissa tarkastellaan geodiversiteetin vaihtelua valtakunnallisesti, ja eri näkökulmista, ei ole juuri tehty (vrt. Benito-Calvo ym. 2009). Havaintomme osoittavat, että geodiversiteetti vaihtelee Suomessa maisematason tarkasteltuna. Esimerkiksi Salpausselkien vyöhyke, eteläisen Suomen rannikko ja pohjoinen Lappi ovat geodiversiteetiltään monimuotoisia alueita (kuvat 2 ja 4). Kuntatasolla geodiversiteetti on suurta muun muassa Kauniaisissa, Lohjalla ja Kaarinassa (kuva 4; liite 2). Alueilla, joilla on erilainen ihmisvaikutus ja suojelustatus, on useissa tapauksissa erisuuruinen geodiversiteetti (taulukot 1 ja 2).

Geodiversiteetti vaihtelee alueellisesti

Maisematason geodiversiteetti vaihtelee huomattavasti eri puolilla Suomea, mutta vaihtelun selväpiirteisyyteen vaikuttaa osin tarkastelutaso eli se, tarkastellaanko vaihtelua kilometritasolla vai laajemmilla maantieteellisillä alueilla. Vastaavasti alueellisesti ja mittakaavallisesti vaihtelevia tuloksia ovat saaneet myös muun muassa Benito-Calvo ym. (2009), Bailey ym. (2017), Betard ja Peulvast (2019) ja Read ym. (2020). Suomen geodiversiteetissä ja sen osakokonaisuuksissa kuten maaperässä ja geomorfologiassa on havaittavissa alueellisia trendejä, ja suuren sekä pienen runsauden keskittymiä. Geodiversiteettimuuttujat vaikuttavat olevan yhteydessä muun muassa korkokuvatyyppien, topografian ja kallioperägeologian suuralueisiin, vaikka yhteys ei kaikkien tarkasteltujen geodiversiteetin osa-alueiden kohdalla ole kovin selkeä (Benito-Calvo ym. 2009; Pereira ym. 2013; Read ym. 2020). Esimerkiksi geomorfologinen runsaus on keskimääräistä suurempaa kallioperätopografian hallitsemilla alueilla, kun taas vastaavaa yhteyttä ei maaperän ja hydrologisen runsauden kohdalla ole havaittavissa.

Kokonaisgeodiversiteetti (eri geodiversiteettimuuttujien summa) ja geomorfologinen monimuotoisuus ovat runsaita topografisesti vaihtelevilla alueilla (esim. Argyriou ym. 2016; Gordon, 2018). Tämä yhteys näkyy melko hyvin myös kuntakoh-

taisessa vertailussa, jossa Etelä-Suomen rannikkoalueiden ja Pohjois-Lapin kunnat saavat suuria geodiversiteettiarvoja (kuva 4). Maisematason erityisesti laaksoalueet ovat usein monimuotoisia, koska niissä esiintyy erilaisia geomorfologia prosesseja, muodostumia ja hydrologisia kohteita (Serrano ym. 2009; Pellitero ym. 2011; de Paula Silva ym. 2015; Seijmonsbergen ym. 2018). Suomessa laaksojen pohjilta voi löytää esimerkiksi moreeni- ja jäätikköjokimuodostumia, virtaavan veden prosesseja ja suomuodostumia. Laaksojen (ala)rinteillä on vastaavasti usein massaliikuntojen jättämiä jälkiä (Mücher ym. 2010). Lisäksi laaksojen geodiversiteettiä voi lisätä niiden sijainti kahden kallioperän kivilajialueen rajalla ja se, että niihin on eri geologiassa vaiheissa kerrostunut erilaisia maalajitteita (Hjort & Luoto 2010; Pereira ym. 2013). Toisaalta tasankoalueet, kuten Limingan lakeudella Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevat kunnat Liminka, Muhos ja Tyrnävä ovat maisematason kokonaisgeodiversiteetiltään matalia (kuva 4).

Kokonaisgeodiversiteetillä ja geomorfologisella monimuotoisuudella on havaittavissa yhteys korkokuvatyyppien suuralueisiin. Karttatulkinnan perusteella geodiversiteetti on keskimääräistä runsaampaa niillä alueilla, joilla kallioperä vaikuttaa eniten topografiseen vaihteluun (esim. de Paula Silva ym. 2015; Gordon 2018; Seijmonsbergen ym. 2018). Vastaavasti geodiversiteetti on pienempi jäätikkösyntyisillä (glasigeeninen) ja eloperäisillä (soiden hallitsemilla) korkokuvatyyppialueilla (Alalammi 1979). Suot tasaavat pinnanmuotojen vaihtelua ja ovat siten maisematasolla pienemmän geodiversiteetin alueita. Toisaalta, jos soita tarkasteltiin paikallisemmalla tasolla ja mikrotopografisesti, olisi niissä havaittavissa enemmän vaihtelua muun muassa pienmuotojen osalta (Seppä 2002; Tukiainen ym. 2019). Kokonaisgeodiversiteetti vaikuttaa olevan myös hieman korkeampi jäätikköjokimuodostumien (glasifluviaalinen) hallitsemilla alueilla suurten reunamuodostumien ja harjujaksojen yhteydessä, mikä näkyy selkeästi esimerkiksi Tunturi-Lapin pohjoisosissa (kuva 2).

Maaperän ja kallioperän monimuotoisuudella on heikkoja, mutta tulkittavia maantieteellisiä piirteitä. Maaperätyyppejä on keskimäärin vähiten jäätikkösyntyisillä korkokuvatyyppialueilla eri puolilla Suomea (Alalammi 1979). Toisaalta maaperän monimuotoisuus on suurempi ylimmän rannan alapuolisilla subakvaattisilla alueilla ja pienempi veden koskemattomilla supra-akvaattisilla alueilla Keski-, Itä- ja Pohjois-Suomessa. Supra-akvaattisilta alueilta puuttuvat erilaiset hienosedimentti- ja rantakerrostumat, jonka lisäksi jokikerrostumat ovat harvinaisempia (Tikkanen & Oksanen 2002). Lisäksi voidaan havaita, että maaperätyyppien

runsaus nostaa kokonaisgeodiversiteettiä alueilla, joilla ei ole vaihtelua kallioperän kivilajeissa. Yleisesti ottaen kallioperän monimuotoisuus on korkeampi Svekofennidien ja Karelidien muuttuneiden (metamorfisten) kivilajien alueilla ja alhaisempi esimerkiksi Kaakkois-Suomen rapakivigraniitti-alueilla (kuva 2; Korsman & Koistinen 1998; Hölttä & Heilimo 2017; vrt. Benito-Calvo ym. 2009; Pereira ym. 2013).

Havaintomme, jonka mukaan kivilajien runsaus vaikuttaa olevan yhteydessä Suomen kallioperän pääkehitysvaiheisiin, on eräs tutkimuksestamme nouseva kallioperägeologinen jatkotutkimuksen aihe. Kivilajirunsaus näyttää olevan korkeampi esimerkiksi tektonisten lohkojen raja-alueilla, kuten arkeeseen (4,0–2,5 miljardia vuotta sitten) ja proterotsooisien (2500–542 miljoonaa vuotta sitten) kallioperän rajavyöhykkeellä (Luukas ym. 2017; Nironen 2017). Kivilajien monimuotoisuuden osalta on huomioitava se, että käytetty luokittelu on omalta osaltaan vaikuttanut saatuihin tuloksiin. Mikäli luokittelussa painotettaisiin kivilajien syntyperän ja geokemian sijasta esimerkiksi niiden ikää, rakennetta tai esiintymistapaa, voisi tutkimuksen lopputulos olla erilainen.

Geodiversiteetti, ihmistoiminta ja suojelualueet

Havaintomme siitä, että geodiversiteetti on keskimäärin suurempi ihmisvaikutteisilla alueilla kuin luontoalueilla (taulukko 1), on mielenkiintoinen ja jopa hieman yllättävä. Suuri elottoman luonnon monimuotoisuus tarkoittaa vaihtelevaa ympäristöä, jossa on muun muassa erilaisia pinnanmuotoja, kohtalaisen suuret korkeuserot ja vaihteleva maa- ja kallioperä. Tällaiseen ympäristöön voi olla haastavaa rakentaa ja luoda infrastruktuuria. Toisaalta aiempi tutkimus osoittaa, että geodiversiteetti voi olla runsasta etenkin alueilla, joilla ihmisvaikutus on keskimääräistä, kuten maanviljelysaluilla ja talousmetsissä (Tukiainen ym. 2017b). Tätä selittää muun muassa se, että maanviljelyä on paljon ravinteikkaissa jokilaaksoissa, joiden maisema on pinnanmuodoiltaan ja hydrologialtaan vaihtelevaa (Serrano ym. 2009). Vaihteleva eloton luonto on voinut myös houkutella ihmisiä asettumaan asumaan esimerkiksi jokilaaksoihin, jotka ovat tarjonneet niin kauniita maisemia kuin mahdollisuuden harjoittaa eri elinkeinoja. Toisaalta voimakas ihmistoiminta voi myös vähentää geodiversiteettiä; se voi tuhota geomorfologisia muodostumia ja vaikuttaa luonnon prosesseihin, kuten joen virtaukseen (Gordon & Barron 2013). Havainto siitä, että geodiversiteetti voi olla suurempi ihmisen muokkaamissa ympäristöissä kannustaa tulevaa

tutkimusta kiinnittämään huomiota erityisesti rakennettujen alueiden geodiversiteettiin – sen mahdollisuuksiin esimerkiksi ulkoilualueiden suunnittelussa, mutta myös rakennettujen alueiden geodiversiteetin suojelun tärkeyteen.

Tuloksemme osoittavat, että maisematason geodiversiteetti Suomessa on osittain runsaampaa kansallispuistoissa ja luonnonpuistoissa kuin niitä ympäröivillä ei-suojelluilla alueilla (taulukko 2). Erityisesti geomorfologia on vaihtelevampaa puistojen alueella, jonka lisäksi kansallispuistot ovat kallioperän kivilajeiltaan ja luonnonpuistot hydrologialtaan hieman monimuotoisempia kuin niitä ympäröivät alueet. Tämä on mielenkiintoinen havainto, jota voi tarkastella useasta eri näkökulmasta. Se antaa viitteitä siitä, että suojelualueiden sijoittamisessa ja suunnittelussa on onnistuttu huomioimaan elottoman luonnon monimuotoisuutta. Yksi Suomen luonnonsuojelualueverkoston tavoitteista on säilyttää harvinaisia geologisia ja geomorfologisia muodostumia (Metsähallitus 2016). Tuloksella voi myös olla kytkös siihen, että suojelluilla alueilla on mahdollisesti suurempi biodiversiteetti, jonka taustalla on suurempi geodiversiteetti (ns. *Conserving Nature's Stage* -teoria, ks. Beier ym. 2015). Toisaalta erot geodiversiteetissä puistojen ja niitä ympäröivien alueiden välillä olivat melko pieniä, ja esimerkiksi maaperäluokkien määrä oli hieman suurempi ei-suojelluilla alueilla (taulukko 2). Tästä syystä yksiselitteistä tulkintaa siitä, että geodiversiteetti on Suomen luonnonsuojelualueilla korkeampaa kuin ei-suojelluilla alueilla, ei voida tehdä.

On erittäin tärkeää huomioida, että tässä tutkimuksessa käytetty maisematason geodiversiteetin mittari, eli erilaisten geokohteiden summa, ei huomioi yksittäisten geokohteiden arvoa tai merkitystä tai geodiversiteetin pienipiirteistä vaihtelua. Tästä syystä esimerkiksi geosuojelelussa kvantitatiivista maisematason runsautta tulee täydentää geokohteiden tarkemmilla arvioinneilla (Prosser ym. 2018). Kohteiden runsauteen perustuvaa geodiversiteettimuuttujaa täydentävät esimerkiksi yksittäisten geokohteiden alueelliset inventoinnit ja arvottaminen niiden tieteellisen, koulutuksellisen ja matkailullisen arvon mukaan (Briha 2018). Yksittäisillä geokohteilla, kuten hiidenkirnuilla (esim. Askolan hiidenkirnut), suppakuopilla (esim. Syvyydenkaivo Rokua UNESCO Global Geopark -alueella) ja kivilajialueilla (esim. Kilpisjärven dolomiitti) voi olla merkitystä esimerkiksi paikallistason biodiversiteetille ja alueen matkailulle.

Maailmanlaajuiseen UNESCO Global Geoparks -verkostoon kuuluvilla alueilla sijaitsee geopereinnön kannalta arvokkaita kohteita ja maisemia, joiden merkitys ei nouse esille tutkimuksessa käy-

tetyssä tarkastelutavassa. Geopark-alueiden arvon mittarina ei toimi kokonaisgeodiversiteetti, vaan puistojen merkitys perustuu niiden geologiseen ainutlaatuisuuteen, jota hallinnoidaan suojelun, koulutuksen ja kestävän kehityksen teemojen avulla. Tämän tutkimuksen tapa mitata geodiversiteettiä ei myöskään huomioi geokohteiden merkitystä elävälle luonnolle, vaikka geo- ja biodiversiteetin välillä on vahva teoreettinen yhteys (Alahuhta ym. 2020). Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista yhdistää geokohdekohtainen arvottaminen maisematason kvantitatiiviseen tarkasteluun ja tutkia esimerkiksi Suomen luonnon- ja kansallispuistojen geodiversiteettiä tästä näkökulmasta.

Tutkimus osoittaa, että elottoman luonnon monimuotoisuutta on mielekästä tarkastella kokonaisuutena laajalla alueella, kuten valtiotasolla. Geodiversiteetti on kansallisella tasolla tärkeä resurssi, jota kannattaa kartoittaa ja hyödyntää (Ruban 2017). Myös tässä tutkimuksessa tuotettua neliökilometrin tarkkuudella olevaa koko Suomen laajuista geodiversiteettiaineistoa on mahdollista edelleen käyttää ja soveltaa esimerkiksi maankäytön ja luonnonsuojelun suunnittelussa sekä matkailussa. Tulokset rohkaisevat samantyyppisiin tarkasteluihin muilla alueilla ja erilaisilla alueellisilla tasoilla, sekä soveltamaan geodiversiteettinäkökulmaa muihin tieteenaloihin ja teemoihin. Geodiversiteetillä voi olla merkitystä esimerkiksi hyvinvoinnille: runsaan geodiversiteetin alueilla on vaihtelevia maisemia ja korkeuseroja, sekä erilaisia vesistökohteita ja rantoja. Fyysisesti vaihtelevat maisemat luovat houkuttelevat olosuhteet ulkoiluun, ja sitä kautta geodiversiteetti voi vaikuttaa ihmisten liikkumistottumuksiin, terveyteen ja hyvinvointiin (Abraham ym. 2010).

Johtopäätökset

Geodiversiteetti on ajankohtainen teema, josta on kirjoitettu viime aikojen tieteellisessä keskustelussa monista eri näkökulmista (mm. geosuojaus, geoperintö, geomatkailu, kestävä kehitys ja geodiversiteetin merkitys biodiversiteetille). Tässä tutkimuksessa tarkastelimme sitä, miten alueellisista aineistoista laskettu kvantitatiivinen georunsaus ja sen eri osa-alueet (kallioperä, maaperä, geomorfologia ja hydrologia) vaihtelevat Suomessa. Tutkimus antaa uutta tietoa siitä, miten geodiversiteettiä voi tarkastella erilaisilla aluetasoilla, kuten valtio- ja kuntatasolla. Tulosten mukaan geodiversiteetin vaihtelut ovat muun muassa alueiden geologiaan peilaten loogisia, ja kannustavat erilaisiin jatkotarkasteluihin. Tulokset osoittavat myös mielenkiintoisia yksityiskohtia siinä, miten geodiversiteetti ja sen osa-alueet vaihtelevat suhteessa maankäytön

ihmisvaikutukseen ja luonnonsuojelustatukseen. Jatkossa tulee kehittää mittareita, joissa yhdistyvät paikallisen ja maisematason geodiversiteetti, sekä geokohteiden arvo geoperinnön kannalta.

Se, että ymmärrämme millainen eri alueiden geodiversiteetti on, hyödyttää esimerkiksi maankäytön suunnittelua, luonnonvarojen kestäväää käyttöä ja suojelualueiden suunnittelua. Tietoa geodiversiteetistä on mahdollista hyödyntää eliölajitietojen ohessa, yhdessä muiden ympäristömuuttujien, kuten ilmastotietojen kanssa, tai käyttää itsenäisesti päätöksenteon apuna. Geodiversiteetti ja erilaiset geokohteet voivat olla merkityksellisiä kuntien ja alueiden taloudelle, jos niitä osataan hyödyntää esimerkiksi matkailussa ja vetovoimaisten virkistysalueiden suunnittelussa. Esimerkiksi UNESCO Global Geopark-verkostoon kuuluvilla alueilla suojelu, koulutus ja kestävä kehitys nivoutuvat yhteen. Geodiversiteetin suojelu ja siihen liittyvä lisätutkimus ovat erittäin tärkeitä niin geodiversiteetin itsensä kannalta, kuin laajemmin luonnonsuojelussa. On olennaista, että luonto nähdään kokonaisuutena, johon kuuluvat sekä sen eloton että elollinen osa.

KIRJALLISUUS

- Abraham, A., Sommerhalder, K. & Abel, T. (2010) Landscape and well-being: A scoping study on the health-promoting impact of outdoor environments. *International Journal of Public Health* 55(1) 59–69. <https://doi.org/10.1007/s00038-009-0069-z>
- Alahuhta, J., Ala-Hulkko, T., Tukiainen, H., Purola, L., Akujärvi, A., Lampinen, R. & Hjort, J. (2018) The role of geodiversity in providing ecosystem services at broad scales. *Ecological Indicators* 91, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.068>
- Alahuhta, J., Toivanen, M. & Hjort, J. (2020) Geodiversity–biodiversity relationship needs more empirical evidence. *Nature Ecology & Evolution* 1–2. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1051-7>
- Alalammi, P. (1979) *Geomorfologia*. Suomen kartasto, vihko 122. Maanmittaushallitus ja Suomen Maantieteellinen Seura, Helsinki.
- Antonelli, A., Kissling, W. D., Flantua, S. G. A., Bermúdez, M. A., Mulch, A., Muellner-Riehl, A. N., ... Hoorn, C. (2018) Geological and climatic influences on mountain biodiversity. *Nature Geoscience* 11(10) 718–725. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0236-z>
- Argyriou, A. V., Sarris, A. & Teeuw, R. M. (2016) Using geoinformatics and geomorphometrics to quantify the geodiversity of Crete, Greece. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 51, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.04.006>
- Bailey, J. J., Boyd, D. S., Hjort, J., Lavers, C. P. & Field, R. (2017) Modelling native and alien vascular plant species richness: At which scales is geodiversity most

- relevant? *Global Ecology and Biogeography* 26(7) 763–776. <https://doi.org/10.1111/geb.12574>
- Beier, P., Hunter, M. L. & Anderson, M. (2015) Special Section: Conserving Nature's Stage. *Conservation Biology* 29(3) 613–617. <https://doi.org/10.1111/cobi.12511>
- Benito-Calvo, A., Perez-Gonzalez, A., Magri, O. & Meza, P. (2009) Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 1433–1445. <https://doi.org/10.1002/esp.1840>
- Betard, F. & Peulvast, J. P. (2019) Geodiversity hotspots: Concept, method and cartographic application for geoconservation purposes at a regional scale. *Environmental management* 63(6) 822–834. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01168-5>
- Brilha, J. (2016) Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage* 8, 119–134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Brilha, J. (2018) Geoheritage: Inventories and Evaluation. Teoksessa Emmanuel Reynard & J. Brilha (toim.) *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, 69–86. Elsevier, Saint Louis. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04543-9>
- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D. I. & Pereira, P. (2018) Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science and Policy* 86, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>
- CLC2018 maanpeite 20m. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2018. <<http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>>
- Comer, P. J., Pressey, R. L., Hunter, M. L. Jr., Schloss, C. A., Buttrick, S. C., Heller, N. E., ... Shaffer, M. L. (2015) Incorporating geodiversity into conservation decisions. *Conservation Biology* 29(3) 692–701. <https://doi.org/10.1111/cobi.12508>
- Crisp, J. R., Ellison, J. C. & Fischer, A. (2020) Current trends and future directions in quantitative geodiversity assessment. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. <https://doi.org/10.1177/0309133320967219>
- de Paula Silva, J., Rodrigues, C. & Pereira, D. I. (2015) Mapping and Analysis of Geodiversity Indices in the Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. *Geoheritage* 7(4) 337–350. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0134-8>
- Fox, N., Graham, L. J., Eigenbrod, F., Bullock, J. M. & Katherine, E. (2020) Incorporating geodiversity in ecosystem service decisions. *Ecosystems and People* 16(1) 151–159. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1758214>
- Geomorfologisia seikkaperäiskarttoja 1:50 000. Suomen kartasto, vihko 121–122, Maanpinnan muodot 6–7. Maanmittauslaitos ja Suomen maantieteellinen seura, Helsinki 1986.
- Geomorfologinen yleiskartta 1:1 000 000. Suomen kartasto, vihko 121–122, Maanpinnan muodot, 3–4. Maanmittauslaitos ja Suomen maantieteellinen seura, Helsinki 1986.
- Gordon, J. E. (2018) Mountain Geodiversity: Characteristics, Values and Climate Change. Teoksessa Hoorn, C., Perrigo, A. & Antonelli, A. (toim.) *Mountains, Climate and Biodiversity*, 137–154. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Gordon, J. E. & Barron, H. F. (2013) The role of geodiversity in delivering ecosystem services and benefits in Scotland. *Scottish Journal of Geology* 49(1) 41–58. <https://doi.org/10.1144/sjg2011-465>
- Gordon, J. E., Barron, H. F., Hansom, J. D. & Thomas, M. F. (2012) Engaging with geodiversity-why it matters. *Proceedings of the Geologists' Association* 123(1) 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2011.08.002>
- Gordon, J. E., Crofts, R., Díaz-Martínez, E. & Woo, K. S. (2018) Enhancing the Role of Geoconservation in Protected Area Management and Nature Conservation. *Geoheritage* 10(2) 191–203. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0240-5>
- Gray, M. (2005) Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How? *The George Wright Forum* 22(3) 4–12. <<https://www.jstor.org/stable/43597951>>
- Gray, M. (2013) *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 2. p. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Gray, M. (2018a) The confused position of the geosciences within the “natural capital” and “ecosystem services” approaches. *Ecosystem Services* 34, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.10.010>
- Gray, M. (2018b) Geodiversity: The Backbone of Geoheritage and Geoconservation. Teoksessa Reynard, E. & Brilha, J. (toim.) *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, 13–25. Elsevier, Amsterdam.
- Gray, M., Gordon, J. E. & Brown, E. J. (2013) Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124(4) 659–673. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.01.003>
- Hallintorajat 1:10 000. Maanmittauslaitos, Helsinki 2020. <<https://avaa.tdata.fi/web/paituli/latauspalvelu>>
- Hjort, J. (2001) Syötteen geomorfologinen kartoitus. Pro gradu tutkielma. Helsingin yliopisto, maantieteen laitos, Helsinki.
- Hjort, J., Heikkinen, R. K. & Luoto, M. (2012) Inclusion of explicit measures of geodiversity improve biodiversity models in a boreal landscape. *Biodiversity and Conservation* 21, 3487–3506. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0376-1>
- Hjort, J. & Luoto, M. (2010) Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology* 115(1–2) 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.09.039>
- Hjort, J. & Luoto, M. (2012) Can geodiversity be predicted from space? *Geomorphology* 153–154, 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.02.010>

- Hjort, J. & Luoto, M. (2013) Statistical Methods for Geomorphic Distribution Modeling. Teoksessa Shroder, J. & Baas, A. C. W. (toim.) *Treatise on Geomorphology*, 59–73. 2. p. Academic Press, San Diego, CA.
- Hölttä, P. & Heilimo, E. (2017) Metamorphic map of Finland. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 60, 77–128. <https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_060.pdf>
- Johansson, C. E. (2000) *Geodiversitet i nordisk naturvård*. Nordisk Ministerråd, Kööpenhamina.
- Jokialue. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2015. <<http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>>
- Jokiviiva. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2015. <<http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>>
- Järvi. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2015. <<http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>>
- Kallioperä 1:200 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo 2010. <<https://hakku.gtk.fi/locations/search>>
- Kananoja, T. & Nenonen, K. (2012) Finland. Teoksessa Wimbledon, W. A. P. & Smith-Meyers, S. (toim.) *Geoheritage in Europe and its Conservation*, 114–123. ProGEO, Oslo.
- Korsman, K. & Koistinen, T. (1998) Suomen kallioperän yleispiirteet. Teoksessa Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (toim.) *Suomen kallioperä – 3000 vuosimiljoona*, 93–103. Suomen Geologinen Seura, Jyväskylä.
- Kärnä, O.-M., Heino, J., Grönroos, M. & Hjort, J. (2018) The added value of geodiversity indices in explaining variation of stream macroinvertebrate diversity. *Ecological Indicators* 94, 420–429. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2018.06.034>
- Kärnä, O.-M., Heino, J., Laamanen, T., Jyrkänkallio-Mikkola, J., Pajunen, V., Soininen, J., Tolonen, K. T., Tukiainen, H. & Hjort, J. (2019) Does catchment geodiversity foster stream biodiversity? *Landscape Ecology* 34(10) 2469–2485. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00901-z>
- Knudson, C., Kay, K. & Fisher, S. (2018) Appraising geodiversity and cultural diversity approaches to building resilience through conservation. *Nature Climate Change* 8(8) 678–685. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0188-8>
- Kozłowski, S. (2004) Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny* 52(8/2) 833–837. <<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BUS3-0024-0003>>
- Lawler, J. J., Ackerly, D. D., Albano, C. M., Anderson, M. G., Dobrowski, S. Z., Gill, J. L., ... Weiss, S. B. (2015) The theory behind, and the challenges of, conserving nature's stage in a time of rapid change. *Conservation Biology* 29(3) 618–629. <https://doi.org/10.1111/cobi.12505>
- Luukas, J., Kousa, J., Nironen, M. & Vuollo, J. (2017) Major stratigraphic units in the bedrock of Finland, and an approach to tectonostratigraphic division. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 60, 9–40. <https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_060.pdf>
- Maaperä 1:200 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo 2010. <<https://hakku.gtk.fi/locations/search>>
- Maastotietokannan suot. Maanmittauslaitos, Helsinki 2012. <<https://avaa.tdata.fi/web/paituli/latauspalvelu>>
- Merialueet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2015. <<http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>>
- Metsähallitus (2016) Principles of protected area management in Finland. *Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja* B 217. <<https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/2005>>
- Mücher, H., van Steijn, H. & Kwaad, F. (2010) Colluvial and mass wasting deposits. Teoksessa Stoops, G., Marcelino, V. & Mees, F. (toim.) *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, 37–48. Elsevier, Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-18081-9>
- Nichols, W. F., Killingbeck, K. T. & August, P. V. (1998) The Influence of Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity: II. A Landscape Perspective. *Conservation Biology* 12(2) 371–379. <<http://www.jstor.org/stable/2387506>>
- Nironen, M. (2017) Guide to the Geological Map of Finland – Bedrock 1:1 000 000. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 60, 41–76. <https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_060.pdf>
- Parks, K. E. & Mulligan, M. (2010) On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. *Biodiversity and Conservation* 19, 2751–2766. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9876-z>
- Pellitero, R., González-Amuchastegui, M. J., Ruiz-Flaño, P. & Serrano, E. (2011) Geodiversity and Geomorphosite Assessment Applied to a Natural Protected Area: The Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). *Geoheritage* 3, 163–174. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0022-9>
- Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J. & Santos, L. (2013) Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. *Environmental Management* 52, 541–552. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0100-2>
- Pohjavesialueet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2013. <<http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>>
- Prosser, C. D., Diaz-Martinez, E. & Larwood, J. G. (2018) The Conservation of Geosites: Principles and Practice. Teoksessa Reynard, E. & Brilha, J. (toim.) *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, 193–212. Elsevier.

- Read, Q. D., Zarnetske, P. L., Record, S., Dahlin, K. M., Costanza, J. K., Finley, A. O., ... Wilson, A. M. (2020) Beyond counts and averages: Relating geodiversity to dimensions of biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 29(4) 696–710. <https://doi.org/10.1111/geb.13061>
- Ruban, D. A. (2010) Quantification of geodiversity and its loss. *Proceedings of the Geologists' Association* 121(3) 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2010.07.002>
- Ruban, D. A. (2017) Geodiversity as a precious national resource: A note on the role of geoparks. *Resources Policy* 53, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.06.007>
- Räsänen, A., Kuitunen, M., Hjort, J., Vaso, A., Kuitunen, T. & Lensu, A. (2016). The role of landscape, topography, and geodiversity in explaining vascular plant species richness in a fragmented landscape. *Boreal Environment Research* 21(1–2) 53–70. <http://hdl.handle.net/10138/225285>
- Schrodt, F., Bailey, J. J., Kissling, W. D., Rijdsdijk, K. F., Seijmonsbergen, A. C., van Ree, D., ... Field, R. (2019) Opinion: To advance sustainable stewardship, we must document not only biodiversity but geodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(33) 16155–16158. <https://doi.org/10.1073/pnas.1911799116>
- Seijmonsbergen, A. C., De Jong, M. G. G., Hagendoorn, B., Oostermeijer, J. G. B. & Rijdsdijk, K. F. (2018) Geodiversity mapping in alpine areas. Teoksessa Hoorn, C., Perrigo, A. & Antonelli, A. (toim.) *Mountains, Climate and Biodiversity*, 155–170. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Seppä, H. (2002) Mires of Finland: Regional and local controls of vegetation, landforms, and long-term dynamics. *Fennia* 180(1–2) 43–60. <<https://fennia.journal.fi/article/view/3763>>
- Serrano, E., Ruiz-Flaño, P. & Arroyo, P. (2009) Geodiversity assessment in a rural landscape: Tiermes-Caracena area (Soria, Spain). *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.* LXXXVII 173–180. <<http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/periodicitecnici/memorie/memorieLxxvii/memdes-87-serrano.pdf>>
- Serrano, E. & Ruiz-Flaño, P. (2007) Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica* 62(3) 140–147. <<https://gh.copernicus.org/articles/62/140/2007/gh-62-140-2007.pdf>>
- Thomas, B. A. & Cleal, C. J. (2012) United Kingdom. Teoksessa Wibleton, W. A. P. & Smith-Meyer, S. (toim.) *Geoheritage in Europe and its Conservation*, 393–403. ProGEO, Oslo.
- Tikkanen, M. & Oksanen, J. (2002) Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland. *Fennia* 180(1–2) 9–20. <<https://fennia.journal.fi/article/view/3760>>
- Toivanen, M., Hjort, J., Heino, J., Tukiainen, H., Aroviita, J. & Alahuhta, J. (2019) Is catchment geodiversity a useful surrogate of aquatic plant species richness? *Journal of Biogeography* 46(8) 1711–1722. <https://doi.org/10.1111/jbi.13648>
- Tukiainen, H., Bailey, J. J., Field, R., Kangas, K. & Hjort, J. (2017a) Combining geodiversity with climate and topography to account for threatened species richness. *Conservation Biology* 31(2) 364–375. <https://doi.org/10.1111/cobi.12799>
- Tukiainen, H., Alahuhta, J., Field, R., Ala-Hulkko, T., Lampinen, R. & Hjort, J. (2017b) Spatial relationship between biodiversity and geodiversity across a gradient of land-use intensity in high-latitude landscapes. *Landscape Ecology* 32(5) 1049–1063. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0508-9>
- Tukiainen, H. (2019) Multi-scale relationship between geodiversity and biodiversity across high-latitude environments: implications for nature conservation. *Nordia Geographical Publications* 48(1) 54. <<https://nordia.journal.fi/article/view/80477>>
- Tukiainen, H., Kiuttu, M., Kalliola, R., Alahuhta, J. & Hjort, J. (2019) Landforms contribute to plant biodiversity at alpha, beta and gamma levels. *Journal of Biogeography* 46(8) 1699–1710. <https://doi.org/10.1111/jbi.13569>
- UNESCO Global Geoparks (2021) <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/>> 1.6.2021.
- Valtion maiden luonnonsuojelulueet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 2020. <<http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>>
- Wall, D. H., Nielsen, U. N. & Six, J. (2015) Soil biodiversity and human health. *Nature* 528, 69–76. <https://doi.org/10.1038/nature15744>
- Ympäristöministeriö (2020a) Geologiset muodostumat. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Geologiset_muodostumat> 15.10.2020.
- Ympäristöministeriö (2020b) Luonnonmuistomerkit ovat suojeltuja luonnonmuodostumia. <<https://ym.fi/luonnonmuistomerkit>> 3.11.2020.
- Zwoliński, Z., Najwer, A. & Giardino, M. (2018) Methods for Assessing Geodiversity. Teoksessa Reynard, E. & Brilha, J. (toim.) *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, 27–52. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00002-2>

Liite 1.

Tutkimuksessa käytetyt kallioperän kivilajiluokat. Pohja-aineistona on Geologian tutkimuskeskuksen (Kallioperä 1:200 000) digitaalinen kallioperäkartta.

Appendix 1.

The rock type classes that are used in this study, derived from the digital rock type map by the Geological Survey of Finland (Kallioperä 1:200 000).

Suomenkielinen nimi	<i>Class name</i>
Arkoosiset sedimenttikivilajit	<i>Arkosic sedimentary rocks</i>
Gneissit ja migmatiitit	<i>Gneisses and migmatites</i>
Graniittiset tai felsiset kivilajit	<i>Granitic or felsic volcanic rocks</i>
Impaktiitit	<i>Impact melt rocks</i>
Intermediääriset intrusiiviset ja vulkaaniset kivilajit	<i>Intermediate intrusive and volcanic rocks</i>
Konglomeraatti	<i>Conglomerates</i>
Korkean metamorfoosiasteen kivilajit	<i>High-grade metamorphic rocks</i>
Kvartsirikkaat sedimenttikivilajit	<i>Quartz-rich sedimentary rocks</i>
Mafiset intrusiiviset ja vulkaaniset kivilajit	<i>Mafic intrusive and volcanic rocks</i>
Metasomaattiset kivilajit	<i>Metasomatic rocks</i>
Mustaliuske	<i>Black schists</i>
Peliittiset sedimenttikivilajit	<i>Pelitic sedimentary rocks</i>
Rautamalmi	<i>Iron ore</i>
Sedimenttiset karbonaattikivet ja karbonatiitit	<i>Sedimentary carbonate rocks and carbonates</i>
Sulfidimalmi	<i>Sulphide ore</i>
Ultramafiset intrusiiviset ja vulkaaniset kivilajit	<i>Ultramafic intrusive and volcanic rocks</i>

Liite 2.

Suomen kuntien (Hallintorajat 1:10 000) geodiversiteetti eli kallioperän kivilajiluokkien, maaperäluokkien, geomorfologisten muodostumien ja vesistökohteiden määrän keskiarvo laskettuna nelökilometrin resoluutioisesta pohja-aineistosta.

Appendix 2.

The geodiversity of Finnish municipalities (Hallintorajat 1:10 000): the mean value of rock type classes, soil type classes, geomorphological formations and hydrological features calculated from 1 × 1 km resolution background data.

Kunta	Kokonais-geodiversiteetti	Geomorfologisten muodostumien määrä	Kallioperän kivilajiluokkien määrä	Maaperäluokkien määrä	Vesistökohteiden määrä
<i>Municipality</i>	<i>Geodiversity</i>	<i>Number of geomorphological formations</i>	<i>Number of rock type classes</i>	<i>Number of soil type classes</i>	<i>Number of hydrological feature types</i>
Akaa	11,3	5,5	2,0	2,5	1,3
Alajärvi	10,0	4,2	1,5	2,9	1,4
Alavieska	10,8	4,6	1,7	3,1	1,4
Alavus	10,7	4,5	1,6	3,1	1,6
Asikkala	12,4	6,0	1,5	3,2	1,8
Askola	13,1	6,8	1,9	2,9	1,5
Aura	12,5	6,0	2,3	2,7	1,4
Brändö	12,3	5,9	2,2	1,5	2,6
Eckerö	11,6	5,9	1,0	2,7	1,9
Enonkoski	12,0	6,1	1,7	2,3	1,9
Enontekiö	12,9	7,4	1,5	2,1	1,9
Espoo	12,8	7,0	1,7	2,6	1,6
Eura	11,9	5,7	1,4	3,4	1,4
Eurajoki	11,8	5,8	1,5	3,0	1,4
Evijärvi	10,1	4,9	1,4	2,2	1,6
Finström	12,1	6,6	1,0	2,7	1,7
Forssa	11,6	5,4	1,6	3,0	1,6
Föglö	11,7	6,3	1,2	2,1	2,1
Geta	11,2	6,8	1,0	1,6	1,9
Haapajärvi	9,7	3,9	1,7	2,8	1,3
Haapavesi	9,1	3,7	1,5	2,6	1,3
Hailuoto	9,3	5,0	1,0	1,6	1,8
Halsua	9,1	3,7	1,3	2,7	1,4
Hamina	12,7	6,7	1,0	3,2	1,7
Hammarland	11,5	6,2	1,0	2,7	1,5
Hankasalmi	10,2	4,7	1,4	2,5	1,6
Hanko	11,0	6,1	1,2	1,8	1,9
Harjavalta	11,4	5,6	1,7	2,8	1,3
Hartola	11,4	5,3	1,5	2,8	1,8
Hattula	11,6	5,4	1,7	2,9	1,6
Hausjärvi	12,6	6,0	1,4	3,4	1,8
Heinola	11,6	5,8	1,4	2,4	1,9
Heinävesi	11,9	5,7	1,7	2,6	1,9
Helsinki	12,5	6,8	2,1	2,5	1,1
Hirvensalmi	11,0	5,4	1,6	2,3	1,8
Hollola	12,3	6,0	1,4	3,2	1,7
Honkajoki	10,0	4,3	1,2	3,0	1,5
Huittinen	11,6	5,4	2,0	2,9	1,3
Humppila	11,6	5,7	1,4	3,1	1,5
Hyrnsalmi	10,5	4,4	1,7	2,7	1,7
Hyvinkää	12,5	5,9	1,5	3,1	1,9
Hämeenkyrö	11,8	5,5	1,7	3,1	1,5
Hämeenlinna	11,9	5,6	1,6	2,9	1,8
Ii	9,7	4,6	1,2	2,4	1,5
Iisalmi	10,9	4,7	1,5	3,1	1,6

Iitti	11,8	6,5	1,1	2,8	1,5
Ikaalinen	11,6	5,2	1,6	3,2	1,7
Ilmajoki	10,3	4,7	1,4	3,1	1,1
Ilomantsi	10,4	4,6	1,6	2,5	1,8
Imatra	12,5	6,0	1,7	3,3	1,5
Inari	11,8	6,4	1,5	2,1	1,8
Inkoo	13,7	7,0	2,1	3,0	1,6
Isojoki	9,8	4,4	1,2	2,5	1,6
Isokyrö	11,2	5,4	1,4	3,1	1,3
Janakkala	12,3	5,9	1,3	3,3	1,8
Joensuu	11,8	5,4	1,5	2,9	2,0
Jokioinen	11,9	5,7	1,8	2,9	1,5
Jomala	12,2	6,4	1,0	3,4	1,5
Joroinen	11,6	5,1	1,9	2,8	1,8
Joutsa	10,7	5,0	1,6	2,5	1,7
Juuka	11,6	5,0	2,0	2,8	1,8
Juupajoki	11,9	5,8	1,5	2,8	1,8
Juva	11,4	5,3	1,8	2,5	1,7
Jyväskylän	11,3	5,5	1,2	2,9	1,8
Jämijärvi	10,0	4,6	1,3	2,6	1,5
Jämsä	11,5	5,4	1,4	2,9	1,8
Järvenpää	11,3	6,0	1,3	2,6	1,3
Kaarina	13,8	7,6	2,2	2,5	1,4
Kaavi	11,6	5,2	1,9	2,7	1,9
Kajaani	10,0	4,1	1,7	2,8	1,4
Kalajoki	10,7	5,1	1,5	2,7	1,3
Kangasala	11,6	5,4	1,6	2,9	1,6
Kangasniemi	10,4	5,0	1,4	2,2	1,8
Kankaanpää	11,2	4,9	1,7	3,1	1,6
Kannonkoski	10,0	4,7	1,1	2,6	1,6
Kannus	10,7	4,9	1,6	2,8	1,5
Karjajoki	10,1	4,9	1,3	2,6	1,3
Karkkila	13,3	6,2	1,8	3,2	2,1
Karstula	9,4	4,3	1,1	2,4	1,6
Karvia	9,1	3,9	1,1	2,6	1,5
Kaskinen	9,6	5,6	1,0	2,0	1,0
Kauhajoki	9,3	4,1	1,2	2,6	1,4
Kauhava	10,5	5,0	1,2	3,1	1,3
Kauniainen	13,9	6,9	2,9	2,9	1,3
Kaustinen	10,7	4,8	1,7	2,6	1,5
Keitele	10,2	4,3	1,7	2,7	1,5
Kemi	11,0	5,3	1,6	2,4	1,7
Kemijärvi	10,2	4,9	1,4	2,2	1,7
Keminmaa	10,9	5,1	1,7	2,7	1,5
Kemiönsaari	12,9	7,1	1,8	2,5	1,5
Kempele	9,5	4,6	1,2	2,3	1,5
Kerava	11,1	6,5	1,2	2,3	1,0
Keuruu	10,8	4,8	1,3	2,9	1,8
Kihniö	10,4	4,4	1,3	3,2	1,5
Kinnula	10,3	4,3	1,7	2,7	1,6
Kirkkonummi	12,9	6,9	1,7	2,6	1,8
Kitee	11,2	5,4	1,3	2,7	1,9
Kittilä	10,3	5,0	1,7	2,2	1,5
Kiuruvesi	10,4	4,2	1,9	2,8	1,4
Kivijärvi	9,9	4,5	1,3	2,5	1,6
Kokemäki	12,0	5,6	1,9	3,0	1,5
Kokkola	10,5	5,0	1,4	2,5	1,5
Kolari	10,3	4,8	1,9	2,2	1,5
Konnevesi	10,4	4,9	1,3	2,4	1,7
Kontiolahti	11,1	5,2	1,5	2,6	1,9
Korsnäs	9,6	4,7	1,1	2,3	1,4

Koski T1	11,4	5,2	1,9	2,9	1,4
Kotka	12,3	6,3	1,0	3,4	1,6
Kouvola	11,9	6,1	1,1	3,0	1,7
Kristiinankaupunki	11,7	5,4	1,9	3,1	1,4
Kruunupyö	10,9	5,4	1,4	2,4	1,7
Kuhmo	10,6	4,6	1,5	2,7	1,9
Kuhmoinen	11,9	5,9	1,5	2,6	1,9
Kumlinge	12,8	6,4	2,2	2,2	1,9
Kuopio	11,6	5,1	1,8	2,9	1,8
Kuortane	9,9	4,3	1,5	2,7	1,4
Kurikka	10,1	4,5	1,4	2,9	1,3
Kustavi	11,5	6,6	1,0	1,9	1,9
Kuusamo	11,0	5,2	1,5	2,3	2,0
Kyyjärvi	9,3	3,9	1,3	2,6	1,5
Kärkölä	13,1	6,0	1,6	3,8	1,7
Kärsämäki	9,5	3,7	1,8	2,7	1,3
Kökar	12,1	6,5	1,2	1,9	2,5
Lahti	12,1	6,0	1,5	3,0	1,6
Laihia	10,9	5,1	1,6	2,9	1,3
Laitila	12,4	6,0	1,2	3,6	1,6
Lapinjärvi	11,8	6,5	1,0	3,0	1,3
Lapinlahti	11,0	4,8	1,4	3,2	1,7
Lappajärvi	9,7	4,5	1,6	2,5	1,2
Lappeenranta	12,2	6,2	1,2	3,1	1,7
Lapua	10,5	4,8	1,4	3,2	1,2
Laukaa	11,1	5,2	1,2	2,9	1,8
Lemi	12,5	6,0	1,0	3,6	1,9
Lemland	11,4	6,1	1,0	2,8	1,5
Lempäälä	12,1	5,5	2,3	2,7	1,6
Leppävirta	11,4	5,3	1,5	2,8	1,9
Lestijärvi	9,2	3,8	1,5	2,5	1,5
Lieksa	11,3	5,2	1,3	2,9	1,9
Lieto	12,4	6,5	1,9	2,6	1,4
Liminka	8,9	4,1	1,3	2,2	1,3
Liperi	11,0	5,1	1,1	3,0	1,7
Lohja	13,9	6,6	2,3	3,1	1,9
Loimaa	10,8	5,3	1,7	2,6	1,2
Loppi	12,2	5,7	1,5	3,0	2,0
Loviisa	12,4	6,6	1,2	3,1	1,5
Luhanka	11,6	5,7	1,7	2,5	1,7
Lumijoki	9,5	4,7	1,3	2,4	1,2
Lumparland	11,0	6,5	1,0	1,5	1,9
Luoto	11,7	5,6	1,1	3,0	2,0
Luumäki	12,3	6,1	1,0	3,5	1,8
Maalahti	10,4	4,9	1,4	2,7	1,4
Maarianhamina	12,1	6,5	1,0	2,7	2,0
Marttila	11,6	5,5	1,9	2,9	1,2
Masku	13,4	7,1	2,0	2,7	1,6
Merijärvi	10,7	4,9	1,6	2,8	1,4
Merikarvia	11,4	5,5	1,6	2,9	1,5
Miehikkälä	12,1	6,6	1,0	2,8	1,7
Mikkeli	11,3	5,4	1,6	2,5	1,8
Muhos	9,2	4,3	1,2	2,2	1,4
Multia	10,0	4,6	1,2	2,5	1,6
Muonio	11,2	5,6	1,7	2,2	1,6
Mustasaari	11,0	5,6	1,2	2,5	1,6
Muurame	11,7	5,6	1,1	3,1	1,9
Mynämäki	12,9	6,2	1,9	3,4	1,3
Myrskylä	13,2	6,9	1,7	3,1	1,6
Mäntsälä	12,7	6,0	1,9	3,2	1,5
Mänttä-Vilppula	11,3	5,1	1,3	3,1	1,8

Mäntyharju	11,5	5,6	1,6	2,4	1,9
Naantali	13,6	7,4	2,0	2,2	2,0
Nakkila	11,7	5,5	1,5	3,3	1,3
Nivala	9,4	4,0	1,4	2,9	1,1
Nokia	11,8	5,8	1,7	2,9	1,5
Nousiainen	13,3	6,5	2,2	3,3	1,4
Nurmes	11,4	5,0	1,6	3,0	1,7
Nurmijärvi	13,0	6,5	1,8	3,0	1,8
Närpiö	10,2	5,1	1,2	2,7	1,2
Orimattila	11,6	6,3	1,4	2,7	1,2
Oripää	11,0	5,2	1,6	2,7	1,5
Orivesi	11,7	5,6	1,8	2,5	1,8
Oulainen	10,2	4,3	1,7	2,8	1,4
Oulu	10,0	4,7	1,3	2,4	1,6
Outokumpu	11,6	5,2	1,6	3,0	1,8
Padasjoki	11,7	5,7	1,3	2,8	2,0
Paimio	12,6	6,6	1,6	2,9	1,6
Paltamo	10,9	4,2	2,4	2,8	1,5
Parainen	13,1	7,1	2,0	2,4	1,7
Parikkala	12,3	5,8	1,6	3,2	1,7
Parkano	10,2	4,4	1,2	3,1	1,6
Pedersören kunta	11,0	5,4	1,3	2,8	1,6
Pelkosenniemi	10,4	4,6	2,0	2,3	1,5
Pello	11,1	5,3	1,6	2,7	1,5
Perho	9,5	3,8	1,5	2,7	1,5
Pertunmaa	11,1	5,2	1,8	2,3	1,7
Petäjävesi	10,7	4,7	1,2	3,0	1,8
Pieksämäki	10,7	4,8	1,7	2,5	1,7
Pielavesi	10,9	4,4	2,1	2,8	1,5
Pietarsaari	11,5	5,4	1,0	3,2	1,9
Pihtipudas	9,9	4,3	1,5	2,6	1,4
Pirkkala	12,2	5,5	2,4	2,7	1,5
Polvijärvi	10,3	4,7	1,4	2,7	1,6
Pomarkku	11,9	5,7	1,9	2,9	1,5
Pori	12,2	5,8	1,9	2,9	1,5
Pornainen	12,5	6,5	2,1	2,6	1,3
Porvoo	13,2	6,9	1,7	3,0	1,5
Posio	10,7	5,1	1,5	2,2	1,9
Pudasjärvi	9,6	4,2	1,4	2,4	1,6
Pukkila	12,5	6,2	2,0	2,9	1,4
Punkalaidun	11,7	5,4	2,0	3,1	1,2
Puolanka	10,6	4,3	2,2	2,5	1,6
Puumala	12,7	6,4	1,7	2,6	2,0
Pyhtää	12,2	6,2	1,0	3,5	1,6
Pyhäjoki	10,4	4,8	1,5	2,7	1,4
Pyhäjärvi	9,5	3,8	1,7	2,8	1,3
Pyhäntä	9,4	3,8	1,6	2,7	1,4
Pyhäranta	13,0	6,1	1,6	3,5	1,7
Pälkäne	12,0	5,5	1,8	3,0	1,6
Pöytyä	11,8	5,7	1,8	3,0	1,3
Raaha	10,4	4,6	2,0	2,4	1,4
Raasepori	13,3	6,8	1,7	3,1	1,8
Raisio	12,3	7,1	1,7	2,2	1,2
Rantasalmi	11,3	5,3	2,0	2,5	1,6
Ranua	9,2	4,2	1,2	2,3	1,5
Rauma	12,6	6,2	1,5	3,3	1,6
Rautalampi	11,5	5,2	1,8	2,6	1,8
Rautavaara	11,0	4,6	1,9	2,8	1,7
Rautjärvi	12,9	6,2	1,4	3,3	1,9
Reisjärvi	10,1	4,3	1,6	2,6	1,6
Riihimäki	12,4	6,0	1,5	3,2	1,7

Ristijärvi	10,4	4,4	1,6	2,7	1,6
Rovaniemi	10,4	4,8	1,5	2,5	1,6
Ruokolahti	12,6	5,9	1,6	3,1	2,0
Ruovesi	11,5	5,3	1,6	2,8	1,8
Rusko	12,4	6,2	1,8	2,9	1,4
Rääkkylä	10,8	5,1	1,1	3,0	1,6
Saarijärvi	10,0	4,7	1,1	2,6	1,7
Salla	10,8	5,2	1,7	2,3	1,6
Salo	12,6	6,4	1,7	2,9	1,6
Saltvik	11,7	6,9	1,0	2,3	1,6
Sastamala	12,0	5,6	2,0	3,1	1,4
Sauvo	13,2	7,5	1,4	2,7	1,6
Savitaipale	12,2	5,7	1,3	3,1	2,0
Savonlinna	12,0	5,9	1,6	2,6	1,9
Savukoski	10,1	5,0	1,5	2,3	1,3
Seinäjoki	10,5	4,6	1,5	3,1	1,3
Sievi	10,1	4,2	1,8	2,6	1,5
Siikainen	11,7	5,4	1,7	3,0	1,6
Siikajoki	9,9	4,6	1,6	2,4	1,4
Siikalatva	9,4	4,0	1,6	2,5	1,4
Siilinjärvi	12,4	5,1	2,1	3,4	1,8
Simo	9,4	4,4	1,3	2,4	1,4
Sipoo	12,5	6,9	1,6	2,5	1,5
Siuntio	13,7	7,4	1,8	2,8	1,7
Sodankylä	10,2	5,0	1,8	2,2	1,3
Soini	9,8	4,3	1,2	2,7	1,6
Somero	11,9	5,7	1,7	2,8	1,7
Sonkajärvi	10,1	4,4	1,4	2,8	1,6
Sotkamo	10,8	4,5	1,9	2,7	1,7
Sottunga	11,6	6,6	1,8	2,0	1,3
Sulkava	12,5	6,1	1,7	2,7	2,0
Sund	11,6	7,1	1,0	1,9	1,6
Suomussalmi	10,3	4,5	1,5	2,5	1,9
Suonenjoki	11,7	5,0	1,8	3,0	1,9
Sysmä	12,0	5,7	1,5	3,0	1,8
Säkylä	11,2	5,1	1,7	2,9	1,4
Taipalsaari	12,1	5,6	1,8	2,7	2,0
Taivalkoski	10,2	4,7	1,3	2,4	1,8
Taivassalo	11,8	6,8	1,1	2,3	1,6
Tammela	11,9	5,5	1,6	3,0	1,8
Tampere	11,8	5,6	1,8	2,6	1,8
Tervo	11,1	4,6	2,0	2,7	1,7
Tervola	11,0	4,9	1,9	2,6	1,5
Teuva	9,8	4,4	1,6	2,5	1,2
Tohmajärvi	11,7	5,5	1,5	2,8	1,9
Toholampi	9,6	4,2	1,7	2,4	1,3
Toivakka	11,0	5,2	1,5	2,7	1,6
Tornio	10,8	4,9	1,8	2,6	1,5
Turku	12,6	6,8	1,9	2,5	1,4
Tuusniemi	11,9	5,2	1,9	2,8	1,9
Tuusula	12,7	6,1	1,8	3,2	1,6
Tymävä	9,3	4,4	1,3	2,3	1,3
Ulvila	11,9	5,8	1,9	2,8	1,4
Urjala	12,4	5,8	1,8	3,2	1,5
Utajärvi	9,0	3,9	1,3	2,2	1,5
Utsjoki	12,7	7,0	1,5	2,3	2,0
Uurainen	10,2	4,8	1,0	2,5	1,9
Uusikaarlepyy	10,8	5,3	1,1	3,0	1,5
Uusikaupunki	12,8	6,4	1,7	2,8	1,9
Vaala	8,9	3,7	1,4	2,2	1,5

Vaasa	11,0	5,7	1,4	2,7	1,2
Valkeakoski	11,3	5,4	1,8	2,8	1,3
Vantaa	12,6	6,7	1,8	2,8	1,3
Varkaus	11,9	5,5	1,8	2,7	1,8
Vehmaa	12,0	6,7	1,3	2,2	1,7
Vesanto	9,9	4,6	1,2	2,5	1,6
Vesilahti	12,4	5,8	2,0	3,0	1,5
Veteli	10,1	4,5	1,5	2,5	1,6
Vieremä	10,4	4,5	1,5	2,9	1,6
Vihti	13,4	6,9	1,8	2,9	1,8
Viitasaari	10,3	4,8	1,3	2,6	1,7
Vimpeli	10,4	4,2	2,0	2,8	1,4
Virolahti	12,8	6,7	1,0	3,5	1,6
Virrat	11,1	4,8	1,7	3,0	1,6
Vårdö	11,7	6,5	1,0	2,1	2,2
Vöyri	11,3	5,6	1,2	3,0	1,4
Ylitornio	10,3	4,7	1,5	2,6	1,5
Ylivieska	9,9	4,2	1,9	2,7	1,1
Ylöjärvi	11,6	5,1	1,8	3,0	1,8
Ypäjä	11,0	5,4	1,4	2,7	1,4
Ähtäri	10,0	4,4	1,2	2,7	1,6
Äänekoski	10,7	5,1	1,2	2,6	1,8