

Maastopyöräreittien suunnittelumallinnus

Teuvo Heimonen & Päivi Rautio



© Päivi Rautio 2023

Tekijät

- Teuvo Heimonen, Tekniikan lisensiaatti, Lehtori, Maanmittaus, Älykäs rakennettu ympäristö, Lapin ammattikorkeakoulu
- Päivi Rautio, Insinööri (AMK), Asiantuntija, Konetekniikka, Uudistuva teollisuus, Lapin ammattikorkeakoulu

Metatiedot

Tyyppi: Monografia

Julkaisija: Lapin ammattikorkeakoulu Oy

Julkaisu vuosi: 2023

Sarja: Pohjoisen tekijät - Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja 23/2023

ISBN: 978-952-316-487-1 (pdf)

ISSN: 2954-1654 (verkkojulkaisu)

URL-linkki: <https://pohjoisentekijat.fi/2023/06/12/maastopyorareittien-suunnittelumallinnus/>

Oikeudet: CC BY-SA 4.0

Kieli: suomi

Tiivistelmä

Maastopyöräreittien suunnittelussa on otettava huomioon erilaisia tekijöitä, kuten esimerkiksi maankäytön suunnitelmia ja rajoitusalueita, luonnonsuojelualueita, maa-alueiden omistussuhteita, ympäristö- ja maisema-arvoja, pyöräilyn turvallisuutta sekä reitin sopivuutta eritasoisten pyöräilijöiden taidoille. Maaston ja maapohjan laatu sekä kosteus ja pintavesien valuminen on huomioitava, koska ne vaikuttavat suoraan reitin rakennettavuuteen, maaston kulumiseen ja reitin ajettavuuteen. Reitin geometria, kuten esimerkiksi korkeusprofiili ja reitin kaltevuuden suhde maaston kaltevuuteen, on määritettävä, jotta reitti olisi mahdollisimman sopiva maastoon ja sen kaltevuudet sekä korkeusvaihtelut toisivat juuri sopivasti haasteita ja teknistä vaatavuutta reitille.

Avoimesti saatavilla olevista paikkatiedoista näyttää selvityksen perusteella löytyvän paljon sopivia aineistoja hyödynnettäväksi reittien suunnittelussa. QGIS-ohjelmisto puolestaan tarjoaa laajan valikoiman työkaluja, joilla näitä aineistoja voidaan esittää, tutkia ja analysoida. Näitä ovat esimerkiksi korkeus- ja kaltevuusanalyysityökalut, pintaveden valumisen ja sen aiheuttaman eroosion analysointiin soveltuvat työkalut sekä metsän peittävyden ja tiheyden analyysityökalut. Selvityksen yhteenvedona voidaan todeta, että avoimia paikkatietoja ja paikkatieto-ohjelmistoa hyödyntäen voidaan reitin suunnittelua ja analysointia tehdä varsin pitkälle jopa ilman varsinaisia maastokäyntejä, mikä nopeuttaa ja helpottaa suunnitteluprosessia monin tavoin.

Tähän raporttiin on koottu Lapin ammattikorkeakoulun Maanmittausalan kehityskokeet 2022 - hankkeessa (EAKR) toteutetun maastopyöräilyreittien suunnittelumallinnukseen liittyvän demokokeen tuloksia. Raporttiin on kerätty toteutuksen aikana tietoa reittisuunnittelusta ja esimerkinomaisia kuvailuja reittisuunnittelun toteuttamiseksi avoimen lähdekoodin paikkatieto-ohjelmiston (QGIS) ja avoimesti saatavilla olevien paikkatietoaineistojen avulla.

Sisällysluettelo

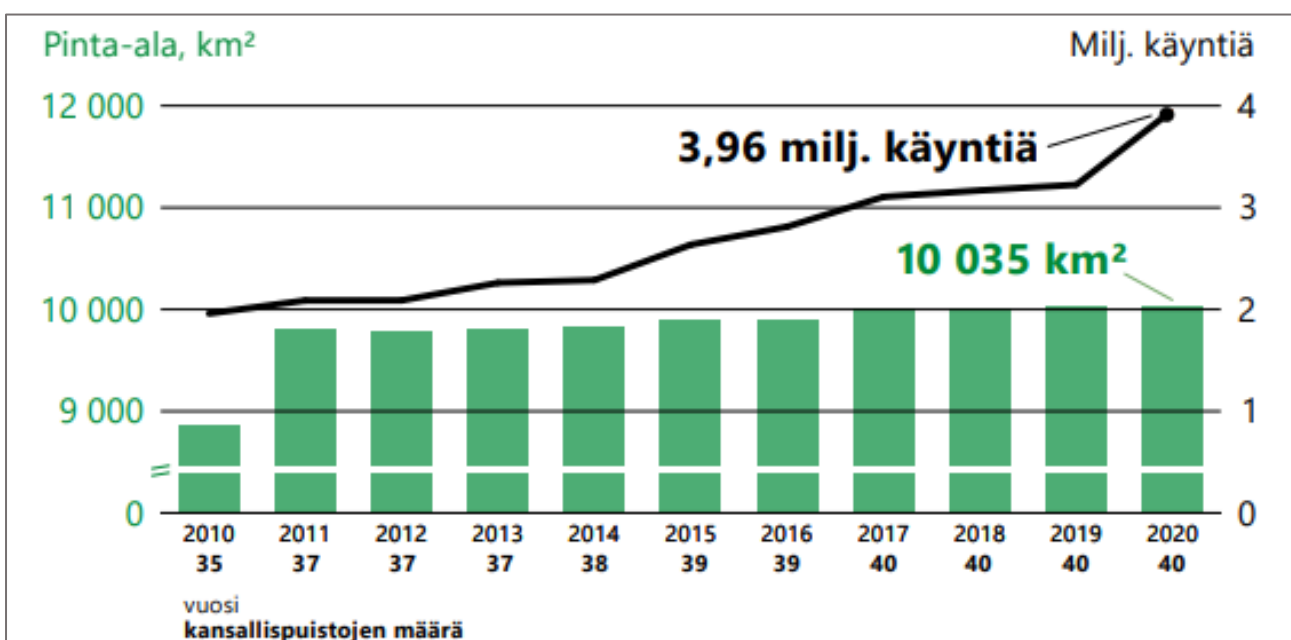
1.	Johdanto	4
2.	Maastopyöräreittien suunnittelun ohjeita ja periaatteita.....	8
3.	Avoimet paikkatiedot maastopyöräreittien suunnittelussa	11
4.	Reittien suunnittelumallinnukseen liittyviä kokeiluja	16
4.1	Esimerkkireitin esittely	17
4.2	Maastopyöräreitin alustava hahmottelu	18
4.2.1	Hallinnolliset alueet, kaavoitus- ja luvitustietoja	18
4.2.2	Maaperä- ja maanpeitetiedot.....	21
4.2.3	Maaston kosteus ja pintavesien valumat	23
4.2.4	Reitin metsäisyys ja metsätyypit.....	26
4.2.5	Maaston korkeusvaihtelut	29
4.3	Maastopyöräreitin varsinainen suunnittelu.....	32
4.4	Maastopyöräreittiin liittyvien tietojen poiminta ja tunnuslukujen laskenta ...	35
4.4.1	Reitin geometriatiedot: pituus	36
4.4.2	Reitin geometriatiedot: pituusprofiili ja kaltevuudet	36
4.4.3	Reitin geometriatiedot: poikittaisprofiili ja kaltevuudet	42
4.4.4	Reitin maastopohjaan liittyviä tietoja.....	43
4.4.5	Reitin erityiskohteita.....	45
4.4.6	Reitin rakentamiseen, käytettävyyteen ja kulumiseen liittyviä erityistietoja	46
4.5	Kiinteistötunnusten ja suojelukohteiden haku	47
4.6	Maastopyöräreitin esittely ja esittäminen	48
5.	Yhteenveto ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi	53
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	58
	Liite 1 Avoimia paikkatietoaineistoja	58
	Liite 2 Korkeusmallirasterin luonti	60
	Liite 3 QGIS-prosessointityökaluja (ja pyQGIS-komennot)	61
	Liite 4 QGIS:n lisäosia ja muita olennaisia toimintoja.....	64
	Liite 5 Rajapintayhteyden lisääminen	65
	Liite 6 Esimerkkikoodi pituussuuntaisen korkeusprofiilin määrittämiseen	67

1. Johdanto

Luonnolla ja erityisesti luontoliikunnalla on positiivisia vaikutuksia ihmisten hyvinvointiin (ks. esim. Talent Vectia 2013, s. 13). Fyysisen aktiivisuuden lisääntymisen lisäksi luonnon ja luontoliikunnan on havaittu mm. vähentävän stressiä ja jopa edistävän sosiaalista kanssakäymistä (Metsähallitus 2022d).

Luontoliikunnalla on todettu olevan myös merkittävää kansanterveydellinen vaikutusta. Luonto- ja historiakohteiden kävijöistä 86 % on kokenut vierailulla olleen itselleen sellaisia terveys- ja hyvinvointivaikutuksia, jotka ovat lisänneet fyysistä, psyykkistä ja / tai sosiaalista hyvinvointia joko melko tai erittäin paljon. (Kaikkonen ym. 2014; Metsähallitus 2022a.)

Luontoliikunnan suosio onkin merkittävästi lisääntynyt viime vuosikymmenien aikana. Esimerkiksi Suomen kansallispuistokäyntien määrä on noin nelinkertaistunut viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana vajaasta miljoonasta käynnistä noin neljään miljoonaan käyntiin (Konu ym 2021, Kuva 1).



Kuva 1. Suomen kansallispuistojen määrien ja niiden käyntimäärien kehitys vuosina 2010-2020 (Konu ym. 2021).

Luonnon ja luontoliikunnan terveys- ja hyvinvointivaikutuksia voidaan arvioida myös rahallisesti: Esimerkiksi Suomen kansallispuistoissa vuonna 2021 vierailleiden henkilöiden itsensä kokemiksi, suoriksi terveysvaikutuksiksi on arvioitu noin 400 miljoonaa euroa. (Vähäsarja 2014; Metsähallitus 2022a), kun kävijät arvioivat oman yksittäisen käyntikokemuksensa rahallisen arvon.

Kansallispuistoihin, retkeilyalueisiin ja retkeilyreitteihin sijoitettujen varojen on arvioitu palautuvan yhteiskunnalle monikertaisesti takaisin paikallisena yritystoimintana ja työpaikkoina. Esimerkiksi kansallispuistoissa kävijöiden rahankäytön on arvioitu tuovan puiston lähialueelle yli 10 euroa jokaista puiston retkeilypalveluihin ja luontokeskuksiin sijoitettua euroa kohti. Vuonna 2021 Suomen kansallispuistojen ja muiden valtion retkeilyalueiden käyntien kokonaistulo- ja

työllisyysvaikutusten arvioitiin olevan yhteensä noin 460 miljoonaa euroa ja 3700 henkilötyövuotta. (Metsähallitus 2022b; c, Taulukko 1)

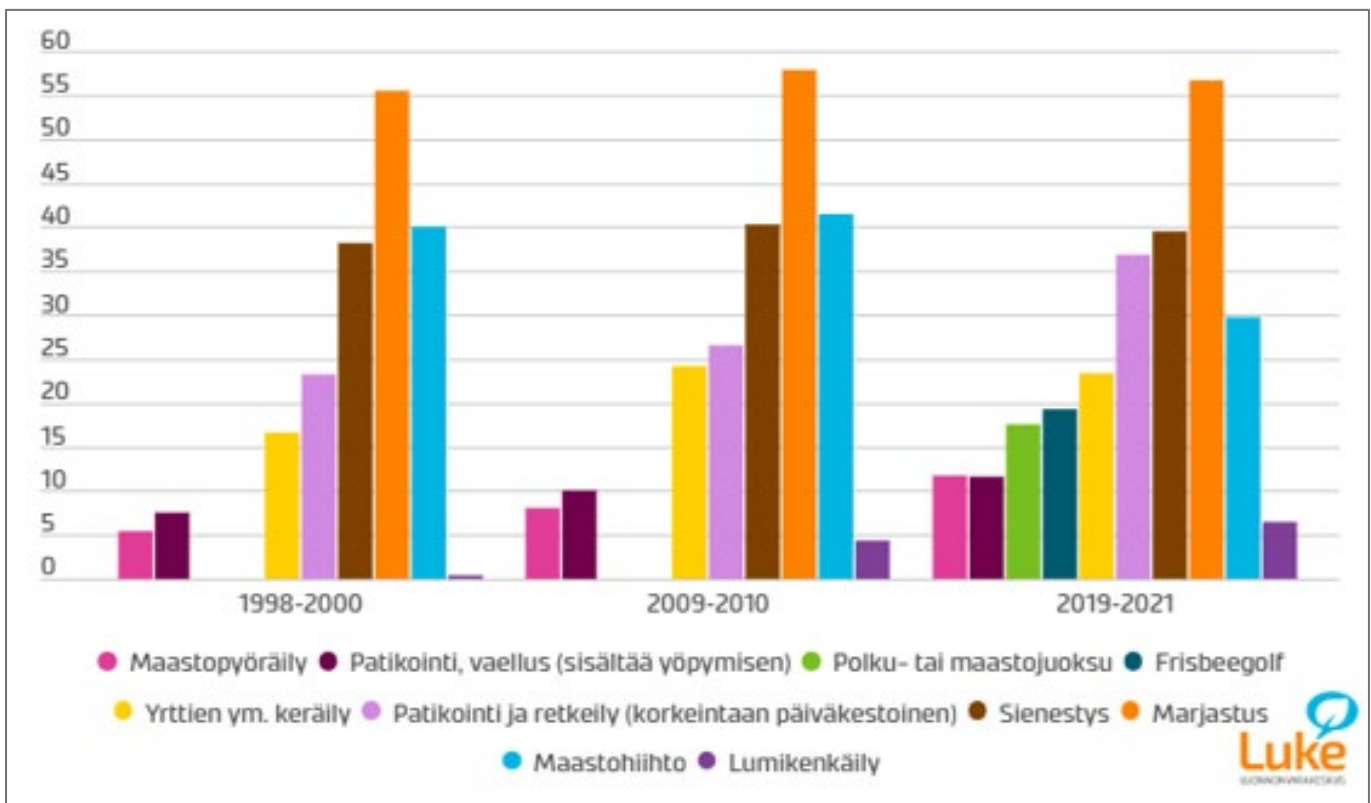
Taulukko 1. Kansallispuistojen, valtion retkeilyalueiden ja eräiden muiden suojelu- ja virkistysalueiden kävijöiden rahankäytön paikallistaloudelliset kokonaisvaikutukset vuonna 2021 (Metsähallitus 2022b).

-	Kokonaistulo- vaikutus (milj. €)	Kokonais- työllisyysvaikutus (htv)	Tulovaikutus kun alue matkan tärkein kohde (milj. €)*	Työllisyysvaikutus kun alue matkan tärkein kohde (htv)**
Vaikutukset yhteensä	460,4	3 697	209,9	1 683

* Niiden kävijöiden, joille kansallispuisto oli matkan ainoa tai tärkein kohde, tulovaikutukset.
** Niiden kävijöiden, joille kansallispuisto oli matkan ainoa tai tärkein kohde, työllisyysvaikutukset.

On syytä huomata, että liikkumattomuuden vaikutukset julkiseen talouteen on asia erikseen, niiden on arvioitu Suomessa olevan useita miljardeja euroja vuodessa (Vasankari & Kolu 2018). Luontoliikunnalla on luonnollisesti oma merkittävä osuutensa liikunnan yhteisessä vaikutuksessa kansantalouteen.

Yksi eniten suhteellisia harrastajamääriään kasvattaneista luontoliikunnan lajeista on maastopyöräily: vuonna 2002 maastopyöräilyn harrastajia oli 5,4 prosenttia suomalaisista, vuonna 2020 jo 11,8 prosenttia. (Neuvonen ym. 2022; Luonnonvarakeskus 2022a; b; c Kuva 2).



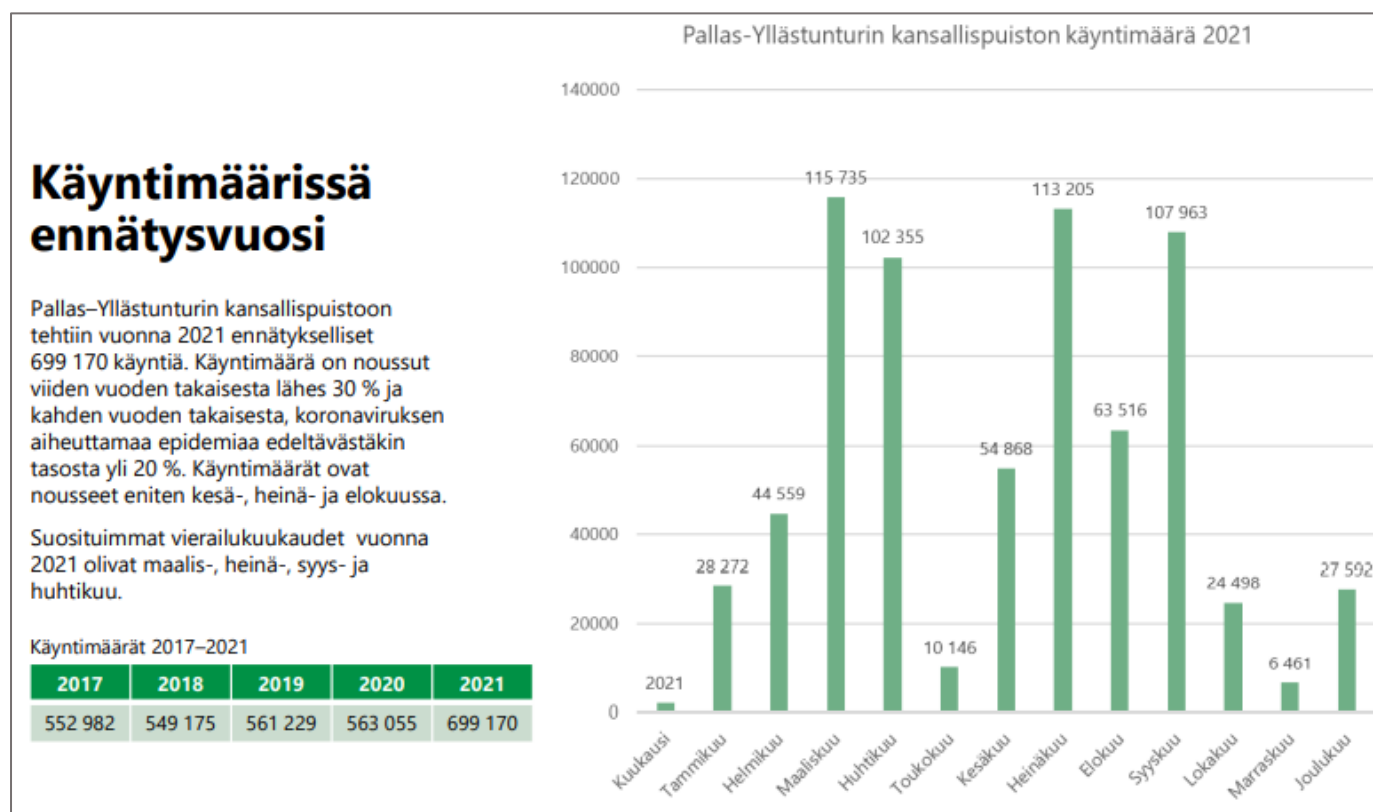
Kuva 2. Metsien virkistyskäytön suhteelliset osuudet [%] Suomen aikuisväestön osalta (Luonnonvarakeskus 2022b)

Alueilla, joissa maastopyöräilyyn ja -pyöräilyreitteihin on merkittävästi panostettu, kuten esimerkiksi Pohjois-Suomen hiihtokeskuksissa, harrastusmäärien kasvu on ollut vielä paljon edellä mainittua voimakkaampaa. Esimerkiksi vuonna 2015, jolloin avattiin Ylläksen ja Levin matkailukeskukset yhdistävä maastopyöräilyreitti, havaittiin kävijämäärien kaksinkertaistuneet jo yhden vuoden aikana retkeilyreitillä, joka oli osa uudesta maastopyöräilyreitistä (Metsähallitus 2015, Taulukko 2).

Taulukko 2. Kävijälaskuritieto Pallas-Yllästunturin kansallispuiston ulkoilureitiltä väliltä Karila-Kotamaja (mukaillen Metsähallitus 2015, s. 13)

2014		2015	
Kesäkuu	280	Kesäkuu	576
Heinäkuu	480	Heinäkuu	1231
Elokuu	725	Elokuu	1236

Tuoreemmassa, vuoden 2021 Pallas-Yllästunturin kansallispuiston kävijätutkimuksessa (Latja 2022a; b) todetaan puolestaan pyöräilyn osuuden nelinkertaistuneen talvikaudella ja lähes kaksinkertaistuneen kesäkaudella kävijätutkimusta edeltäneen viiden vuoden aikana. Talvikaudella jo 13 % ja kesäkaudella 19 % kävijöistä ilmoitti harrastaneensa pyöräilyä käynnillään. Tämä tarkoittaa noin sataatuhatta ”pyöräilykäyntiä” vuosittain (Kuva 3). Tutkimuksessa todettiin pyöräilyn nousseen toiseksi tärkeimmäksi harrastukseksi niin talvi- kuin kesäkaudellakin ja pyöräilyn suosion kasvun oletettiin osaltaan selittävän puiston käyntimäärien merkittävää kasvua: monipuoliset harrastusmahdollisuudet houkuttelevat kävijöitä.



Kuva 3. Pallas-Yllästunturin kansallispuiston käyntimäärät yhteensä vuosina 2017-21 ja kuukausittain vuonna 2021 (Latja 2022b)

Luontoliikunnan ja ulkoiluaktiivisuuden lisääntyessä on huomattu, että vain sekä laadullisesti että määrällisesti riittävä virkistysalueiden ja -palvelujen, kuten erilaisten luontoliikuntareittien, tarjonta mahdollistaa erilaisten ulkoilijoiden tarpeiden yhteensovittamisen (Luonnonvarakeskus 2022b). Merkityt reitit ovatkin nykyisin yhä merkittävämpi osa luontoliikuntaa. Reitit ovat luontokokemuksen saavutettavuuden ja turvallisuuden lisäksi tärkeitä sekä luonnon suojelemisen ja alueellisen rauhoittamisen näkökulmasta että luontoliikuntakokemuksen fyysisen ja psyykkisen kokemuksen laadun osalta.

Reittien suunnittelun, lajikohtaisesti räätälöityjen toteutusten, reittien ylläpidon ja reiteistä tiedottamisen merkitys onkin kasvanut viime vuosina. Yleisellä tasolla reittien suunnittelulla pyritään turvaamaan sekä luonto arvojen säilyminen että mahdollisuus riittävään väljyyteen ja laadukkuuteen ulkoilussa (Luonnonvarakeskus 2022b). Reittien rakentamisen ja huollon sekä ja erilaisten reittimerkintöjen avulla puolestaan pyritään lisäämään ja ylläpitämään reittien turvallisuutta, takaamaan liikkumistapakohtainen sopivuus ja / tai mahdollistamaan reittien toimiva ja turvallinen yhteiskäyttö. Reittien ennakkotietojen, kuten reittikuvausten ja karttojen avulla, käyttäjä voi mm. arvioida reitin soveltuvuutta itselleen (Riikonen 2017 a; b; Mansikkaviita 2019). Kuten retkeilyalueilla yleisemmin, myös luontoliikuntareiteillä erityisesti, on todettu olevan merkittävää aluetaloudellista merkitystä (ks. esim. American Trails 2022; Outdoor Industry Association 2022).

Luontoliikuntareittien suunnittelu on perustunut ja perustuu vieläkin vahvasti laji- ja paikallistuntemukseen. Maastokäynnit ovat reittien suunnittelussa edelleen olennaisia, mutta nykyisin on enenevässä määrin myös kuitenkin mahdollista, ja järkeväkin, tehdä vähintäänkin alustavaa suunnittelua jo ennen maastokäyntejä toimistotyönä. Tässä etukäteissuunnittelussa olennaisina työkaluina ovat erilaiset paikkatietoaineistot ja -ohjelmistot, joiden avulla paikkatietoaineistoja voidaan analysoida ja niin aineistoja kuin analyysien tuloksiakin raportoida ja esittää.

Tämän julkaisun taustalla olevassa tutkimuksessa haettiin ensin, pohjatiedoiksi, julkisesti saatavilla olevia ohjeita ja periaatteita maastopyöräreittien suunnitteluun (luku 2). Varsinaisena selvitystyönä kartoitettiin Suomen alueelta avoimesti saatavilla olevia sellaisia paikkatietoaineistoja, joista voisi olla hyötyä erityisesti maastopyöräreittien suunnittelussa (luku 3 ja Liite 1). Paikkatietoaineistojen lisäksi julkaisussa esitellään kahden ilmaisen paikkatieto-ohjelmiston, QGIS:n ja Google Earth Pro:n, sellaisia toimintoja ja ominaisuuksia, joilla kyseisiä aineistoja voidaan analysoida ja visualisoida (luku 4). Esittely keskittyy lähes kokonaan QGIS-ohjelmistoon: sen osalta esitetään soveltuvan oloisilla ja julkisesti tarjolla olevilla analyysialgoritmeilla (QGIS:n prosessointityökalut ja lisäosat) tehtyjä kokeiluja, joista voisi olla hyötyä reittisuunnittelussa (luku 4). Lisäksi on tehty hyvin pienimuotoisia ja esimerkinomaisia omia räätälöityjä algoritmeja ja toteutuksia (luku 4.3, liite 6), mutta näiden laatimiseen ei ole kehitystyön tässä raportoitavassa vaiheessa vielä paljoa panostettu. Google Earth Pro:n ominaisuudet ja erityisesti räätälöitävyys on huomattavasti rajoittuneempaa kuin QGIS:n, joten sitä ei ole käytännön kokeiluissa kovin paljoa käytetty ja näin ollen sen osuus myös tämän raportin sisällöstä on vähäinen. Näkökulma tutkimuksessa on ollut uusien reittien suunnittelijan, mutta aineistoja ja menetelmiä voi luonnollisesti käyttää myös olemassa olevien reittien analysointiin tai vaikka itse kukin omien reittiensä tutkimiseen: selvityksessä käytetyt paikkatietoaineistot ja ohjelmistot ovat kenen tahansa saatavilla.

2. Maastopyöräreittien suunnittelun ohjeita ja periaatteita

Suomessa ei ole yhtä yhteisesti hyväksyttyä yksityiskohtaista opasta maastopyöräreittien suunnitteluun. Suomen Latu on kuitenkin koonnut materiaalipankin (Suomen Latu 2022), josta löytyy esimerkkejä maastopyöräilyreittien kehittämiseen. Lisäksi Suomen Latu on kustantanut Maastopyöräreitin perustaminen -oppaan (Pyrrö & Nousiainen 2020), josta löytyy yleisen tason ohjeistusta maastopyöräreitin suunnittelun, toteutuksen ja käyttöönoton eri vaiheisiin (Kuva 4).

- Kohderyhmä
- Toimijoiden tunnistaminen
- Muiden käyttäjien tunnistaminen
- Reitin hahmottelu
- Maa-alueiden omistajien tunnistaminen ja luvitus
- Vuodenaikojen huomioiminen
- Raivaus ja rakenteet
- Reittien ja niiden osien luokittelu
- Toteutuksen rahoitus
- Turvallisuus
- Vastuutaho(t)
- Ylläpito
- Nimeäminen
- Viitoitus- ja opastesuunnitelma
- Toteutus
- Juhlalliset avajaiset
- Markkinointi ja käyttö

Kuva 4. Reitin perustamisen toimet (Pyrrö & Nousiainen 2020).

Perinteisesti varsinkin pidemmät maastopyöräreitit suunnitellaan hyödyntäen ainakin osittain tai jopa pääsääntöisesti olemassa olevia polkuja, reittejä ja muita maaston kulku-uria. Näin säästetään sekä kustannuksia että luontoa. Mikäli olemassa olevat kulku-urat eivät sellaisenaan sovellu maastopyöräilyyn, voidaan joitakin osia reitistä kunnostaa esimerkiksi sorastamalla, poistamalla pahimpia kiviä ja kantoja tai rakentamalla esimerkiksi puisia tai metallisia pitkoksia. Varsinkin jatkuvasti kosteita maastonkohtia pyritään yleensä välttämään. (Liikuntakaavoitus 2018)

Maastopyöräilyreittien tulisi reitin ylläpitäjän näkökulmasta olla ainakin kestäviä ja turvallisia, mielellään jollakin tapaa myös elämyksellisiä, jotta reitti houkuttelisi käyttäjiä (Stöckell 2022). Kestävyys liittyy eräitä reitin toteuttamisen käytännön oppeja ja sääntöjä, joista osa voidaan esittää numeerisina raja-arvoina tai suosituksina. Esimerkki tällaisesta on vaikkapa ns. puolisääntö, jonka mukaan reitin kaltevuus saa olla enintään puolet maaston kyseisen kohdan kaltevuudesta (ks. esim. Trailism 2022a). Turvallisuuteen puolestaan kuuluvat mm. riittävät ennakkotiedot, opasteet ja opastaulut, monikäytön huomioiminen, ylläpito ja yllättävien esteiden poistaminen sekä paikkansa pitävä ja yhdenmukaisena toistuva tai jatkuva reittiluokitus (Stöckell 2022). Kun reitti on kestävä, kunnossa ja turvallinen, voi käyttäjä nauttia ja saavuttaa omat reitin käyttämiseensä liittyvät tavoitteensa (ks. esim. Kuva 5). Reitin elämyksellisyyttä voivat lisätä mm.

luontoarvot ja maisemat, palvelurakenteet, kuten tulipaikat, maaston pienmuodot ja reitin fyysinen vaativuus. Reittiä hahmoteltaessa ja suunniteltaessa näitä reitin elementtejä voidaan tutkia avoimia paikkatietoaineistoja hyödyntäen.

Trail User Objectives	Description
Nature	Connection to nature. This can be anything from being among a few trees in the middle of the city to remote backcountry. Nature is an important factor for many riders.
Escape	Something that takes you away from your daily grind, allows you to get lost in the experience of riding. Often means getting away from the urban environment, but a bike park, even indoors, can provide this as well.
Solitude	Getting away from the urban environment and people; being active, alone, and quiet in the outdoors.
Challenge	Seeking to improve technical abilities, to solve a difficult problem, "clean" a trail feature or segment; sense of accomplishment.
Risk	Exposure to danger, harm, or loss; intentional interaction with uncertainty. The perception of risk creates a thrill for many trail users. It can be a positive or negative part of the trail experience, depending on user expectations and risk tolerance.
Play/Playfulness	Engaging in the activity purely for the enjoyment, bringing a childlike wonder to the pursuit, no destination. On a trail, this often means seeking features to enhance, alter the experience, rather than simply riding from point to point. Playfulness is a hugely important characteristic in mountain bike trails, and distinguishes trail experiences from many other trail user goals (hikers, equestrians).
Exercise	Health and fitness are part of the sport. For some this is a primary goal, for others a bonus, for some an obstacle. Defining the physical fitness needed for a particular ride is important in setting user expectations appropriately. Recognition that some riders have high skill and low fitness (and vice versa) plays a role in trail planning.
Efficiency	Getting to a destination or accomplishing a task with the least amount of time or effort expended. Road climbs are very efficient, as are trails that ascend directly to a destination. Efficiency sometimes means compromising sustainability and fun/play. Hiking trails tend to be much more efficient than biking trails.
Education	Sometimes learning is the objective, such as is the case with interpretive trails for natural, cultural, or historical topics.






Kuva 5. Reitin käytön tavoitteita (The International Mountain Bicycling Association 2018, s. 29).

Suomessa ei myöskään vielä ole yhtä yhteisesti hyväksyttyä ohjeistusta maastopyöräreittien vaativuusluokitteluun, mutta asiaa on kuitenkin pohdittu (Riikonen & Rautianen 2017a): paikkansapitävä, yhdenmukaisena toistuva ja jatkuvan reittiluokitus on todettu merkittäväksi turvallisuusasiaksi ihan jo siksi, että käyttäjä osaisi valita itselleen sopivan reitin (Riikonen & Rautianen 2017a, Stöckell 2022). Myös Metsähallitus on jo vuonna 2015 esittänyt suojelualueidensa reittikuvausten täydentämistä *"pyöräilyn kannalta olennaisilla tiedoilla, kuten polun laatu (esim. tasainen sorapolku tai polun kivisyys, juurakkoisuus tai pehmeys), reitin topografia (esim. maaston luonne ja nousujen ja laskujen vaativuus), reittirakenteet (esim. pitkokset, portaat, sillat tai muut vesistön ylitykset reitillä, niiden kunto ja käytettävyys pyöräilyyn)*. Tavoitteena heilläkin on ollut kehittää reittikuvauksiaan siten, että *"jo retkeä suunnitella reitin olosuhteista saa tietoa, jonka perusteella voi suunnitella omaan kokemukseensa ja kuntoonsa sopivan reitin"* (Metsähallitus 2015). Maastopyöräreittien reittikuvausten ohjeistusten, suunnitteluohjeiden (ks. esim. Kuva 6) ja vaativuusluokittelujen (ks. esim. Riikonen & Rautianen 2017a ja Kuva 7) saadaankin opastusta siihen, mitä paikkatiedoista pitäisi pystyä laskemaan ja määrittämään reitin suunnittelutyön avuksi ja tueksi, reitin luokitteluksi ja edelleen reittioppaiden laatimiseksi.

Designed Use BICYCLE		Trail Class 1	Trail Class 2	Trail Class 3	Trail Class 4	Trail Class 5
Design Tread Width	Single Lane	6" – 12"	12" – 24"	18" – 36"	24" – 48"	36" – 60"
	Double Lane	36" – 48"	36" – 48"	36" – 48"	48" – 84"	72" – 120"
	Structures (Minimum Width)	18"	18"	36"	48"	60"
Design Surface ²	Type	Native, ungraded May be continuously rough Sections of soft or unstable tread on grades < 5% may be common and continuous	Native, with limited grading May be continuously rough Sections of soft or unstable tread on grades < 5% may be common	Native, with some onsite borrow or imported material where needed for stabilization and occasional grading Intermittently rough Sections of soft or unstable tread on grades < 5% may be present, but not common	Native, with improved sections of borrow or imported materials and routine grading Stable, with minor roughness	Likely imported material and routine grading Uniform, firm, and stable
	Protrusions	≤ 24" Likely common and continuous	≤ 6" May be common and continuous	≤ 3" May be common, but not continuous	≤ 3" Uncommon and not continuous	No protrusions
	Obstacles (Maximum Height)	24"	12"	10"	8"	No obstacles
Design Grade ²	Target Grade	5% – 20%	5% – 12%	3% – 10%	2% – 8%	2% – 5%
	Short Pitch Maximum	30% 50% on downhill segments only	25% 35% on downhill segments only	15%	10%	8%
	Maximum Pitch Density	20% – 30% of trail	10% – 30% of trail	10% – 20% of trail	5% – 10% of trail	0% – 5% of trail
Design Cross Slope	Target Cross Slope	5% – 10%	5% – 8%	3% – 8%	3% – 5%	2% – 3%
	Maximum Cross Slope	10%	10%	8%	5%	5%
Design Clearing	Height	6'	6' – 8'	8'	8' – 9'	8' – 9'
	Width	24" – 36" Some vegetation may encroach into clearing area	36" – 48" Some light vegetation may encroach into clearing area	60" – 72"	72" – 96"	72" – 96"
	Shoulder Clearance	0" – 12"	6" – 12"	6" – 12"	6" – 18"	12" – 18"
Design Turn	Radius	2' – 3'	3' – 6'	4' – 8'	8' – 10'	8' – 12'

Kuva 6. Maastopyöräreitin suunnitteluohjeita (U.S. Forest Service 2016, s. 53-54).

Reittiluokituksilla ja muulla reitistä tarjolla olevalla etukäteisinformaatiolla on todettu olevan erityinen merkitys haluttaessa luoda helposti lähestyttäviä ns. matalan kynnyksen reittejä (Pyrrö 2020). On myös esitetty, että reittien vaikeustasot määritettäisiin (tarvittaessa) erikseen reitin eri osuuksien osalta ja erityisesti vaativien reittiosuuksien osalta tiedotettaisiin ennakkoon myös vaihtoehtoisista reiteistä vaikkapa opaskartoilla (Pyrrö 2020). Digitaalisten paikkatietojen ja paikkatietoanalyysien avulla on, ainakin periaatteessa, mahdollista määrittää erilaisia tunnuslukuja, kuten esimerkiksi vaativuusluokituksia, erikseen hyvinkin lyhyille reitin osille.

IMBA Trail Difficulty Rating System					
	 Easiest White Circle	 Easy Green Circle	 More Difficult Blue Circle	 Very Difficult Black Diamond	 Extremely Difficult Dbl Black Diamond
Trail Width	72" or more	36" or more	24" or more	12" or more	6" or more
Trail Surface	Hardened or surfaced	Firm and stable	Mostly stable with some variability	Widely variable	Widely variable and unpredictable
Average Trail Grade	Less than 5%	5% or less	10% or less	15% or less	20% or more
Maximum Trail Grade	Max 10%	Max 15%	Max 15% or greater	Max 15% or greater	Max 15% or greater
Natural Obstacles and Technical Trail Features (TTF)	None	Unavoidable obstacles 2" tall or less Avoidable obstacles may be present Unavoidable bridges 36" or wider	Unavoidable obstacles 15" tall or less Avoidable obstacles may be present Unavoidable bridges 24" or wider TTF 2' high or less, width of deck is less than 1/2 the height Short sections may exceed criteria	Unavoidable obstacles 15" tall or less Avoidable obstacles may be present May include loose rocks Unavoidable bridges 24" or wider TTF 4' high or less, width of deck is less than 1/2 the height Short sections may exceed criteria	Unavoidable obstacles 15" tall or less Avoidable obstacles may be present May include loose rocks Unavoidable bridges 24" or narrower TTF 4' high or less, width of deck is unpredictable Many sections may exceed criteria

Kuva 7. Esimerkki maastopyöräreittien luokittelusta (The International Mountain Bicycling Association 2018, s. 104.)

3. Avoimet paikkatiedot maastopyöräreittien suunnittelussa

Avoimista paikkatiedoista voidaan saada runsaasti pohjatietoja reittisuunnittelun tueksi. Esimerkiksi kaavoitustiedoista voidaan selvittää vaikkapa aluevaraukset virkistys- ja ulkoilualueille (maakuntakaava), maa- ja metsätalousvaltaiset alueet ja ulkoilureittimerkinnot (yleiskaava, asemakaava) jne. (Liikuntakaavoitus 2018). Tarvittavien lupien, kuten maanomistajien luvat reitin perustamiseen, rakentamiseen, olemassaoloon, käyttöön ja ylläpitoon sekä yksityisteiden käyttöön (Suomen Latu 2022), hankkimista varten voidaan poimia kunkin kiinteistön kiinteistötunnukset kiinteistörekisteristä ja yksityisteiden tietoja Digiroad:sta. Edelleen, kun joko alustava tai valmis reittitieto on olemassa, voidaan erilaisista paikkatietoaineistoista poimia tai laskea reitin geometriatietoja vaikkapa korkeusmallia hyödyntäen.

Alla olevaan taulukkoon (Taulukko 3) on listattu joitain esimerkkejä siitä, mitä maastopyöräreittien suunnittelussa hyödynnettäviä tietoja nykyisin Suomessa avoimesti tarjolla olevista paikkatiedoista voidaan esittää tai määrittää. Tarkempi listaus tässä selvityksessä käytetyistä

aineistoista ja niiden lähteistä esitetään liitteessä 1 Avoimia paikkatietoaineistoja. Lisäksi luvussa 4 esitetään näiden paikkatietojen avulla tehtyjä kokeita.

Taulukko 3. Esimerkkejä maastopyöräreittien suunnittelun tueksi avoimista paikkatietoaineistoista saatavia tietoja.

Teema	Esimerkkejä
Hallinnolliset alueet, kaavoitus- ja luvitustietoja	<ul style="list-style-type: none"> - kuntarajat (hallintokunta kunkin reitin osan osalta) - maakuntakaavan aluevaraukset, yleiskaavan ja asemakaavan reitti- ja aluevaraukset - yksityistiet - kiinteistörajat ja -tunnukset
Suojelualueet, liikkumiselta rajoitetut alueet, lajihavainnot	<ul style="list-style-type: none"> - kansallispuistot yms. - erityisalueet - muinaismuistomerkit - uhanalaisuusluokiteltujen lajihavaintojen etäisyydet reitistä
Reitin maapohjaan liittyviä tietoja	<ul style="list-style-type: none"> - tie, pyörätie, polku, latupohja, kelkkareitti, tms. - päällyste - maanpintatiedot kuten esimerkiksi metsämaat, suoalueet, niityt, jne.
Reitin erityiskohteita	<ul style="list-style-type: none"> - sillat - rautateiden ylitykset - risteyskohdat (opastustarve) - virtavesien ylitykset - retkeilypalvelut kuten esimerkiksi tulentekopaikat, autiotuvat, telttailupaikat, uimarannat
Reitin rakentamiseen, käytettävyyteen ja kulumiseen liittyviä erityistietoja	<ul style="list-style-type: none"> - kosteusindeksit - valuma-alueet - maaperätiedot (karkeasti) - reitin kaltevuuden suhde maaston kaltevuuteen kussakin reitin kohdassa - arviot maanmuokkaustarpeista ja rakennuskustannuksista
Reitin geometriatietoja	<ul style="list-style-type: none"> - kokonaispituus - nousu- ja laskusummat - nousujen ja laskujen pituudet, pisimpien sijainnit reitillä - maksimi- ja minimikaltevuudet ja niiden sijainti reitillä - keskimääräiset kaltevuudet sekä ylös- että alaspäin - poikittaiscaltevuudet - arvio reitin pohjan epätasaisuudesta
Maisematietoja	<ul style="list-style-type: none"> - metsä- ja puustotietoja, metsäkuviot - latvusmallit eli puuston tai jopa yksittäisten puiden korkeustietoja - näkyvyysanalyysit, viihtyvyyksindeksit, äänianalyysit

Paikkatietojen laatu (sijaintitarkkuus, kattavuus, oikeellisuus) ja ominaisuudet määrittävät sen, kuinka paikkansapitäviä ja luotettavia paikkatiedoista ammennetut reittiin liittyvät tiedot ovat tai voivat olla. Tässä raportissa esiteltävien ajatusten osalta merkittävimmät aineistot ovat itse reittiinpiirros ja reitin korkeustiedot. Seuraavaksi käsitellään lyhyesti näiden aineistojen ominaispiirteitä reittisuunnittelun näkökulmasta. Luonnollisesti kaikkien muidenkin reittisuunnittelussa käytettävien aineistojen paikkansapitävyys ja kattavuus vaikuttavat niistä johdettujen tietojen laatuun tai ylipäättänsä aineistojen käytettävyyteen analyyseissä. Esimerkiksi maastotietokannan kohteiden sijaintitarkkuuden osalta pyritään tietoja kerätessä parhaimmillaankin vain kolmen metrin sijaintitarkkuuteen (Maanmittauslaitos 1995, Väylävirasto 2022). Muiden kuin reittiinpiirroksen ja korkeustietoaineistojen ominaispiirteitä ja laadun (puutteiden) vaikutuksia ei kuitenkaan käsitellä tässä tarkemmin.

Lähtökohtana reitin ominaisuuksien analysoimiselle on tietysti itse reittitieto, joka voidaan saada esimerkiksi valmiiksi sähköisenä (esimerkiksi gpx-tiedostona) vaikkapa jostakin internetin reittipalveluista (ks. esim. Haulo 2022; MTBreitti 2022) tai itse paikkatieto-ohjelmistolla piirtäen. Erialaisten paikkatietoanalyysien onnistumiseksi (ja jo pelkän reitin pituuden määrittämiseksi) reittitiedon pitää tietysti olla paikkansapitävä, mitä esimerkiksi gpx-jäljet eivät useinkaan ole (Kuva 8). Näin ollen reittiinpiirrosta on usein syytä korjata tai tarkentaa ennen analyysejä.

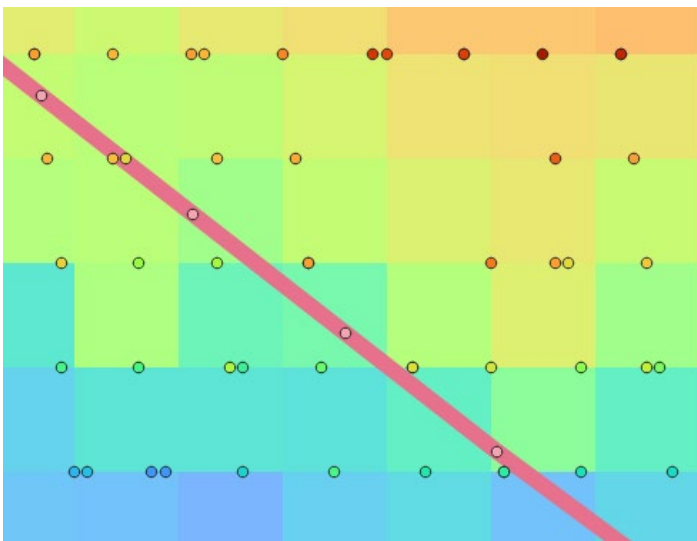


Kuva 8. Gpx-jälki välillä tiellä, välillä metsässä

Reitin geometriatietojen sekä useiden reitin rakentamiseen, käytettävyyteen ja kulumiseen liittyviä erityistietojen määrittämiseen käytetään alueen korkeustietoja tai -mallia. Suomen avoimien paikkatietoaineistojen osalta korkeustiedot perustuvat ilmalaserkeilaukseen, josta saadaan 3D-pistepilvi. Tästä pistepilvestä on Maanmittauslaitoksen toimesta edelleen tehty korkeusmallirastereita, joista maastoerotuskyvyltään tarkimman koko Suomen kattavan aineiston pikselikoko on 2 m. Reittisuunnittelussa voidaan hyödyntää joko alkuperäistä pistepilveä, joka siis myös on avoimesti saatavilla, tai korkeusmallirasteria. Pistepilvestä liikkeelle lähdettäessä on edelleen kaksi mahdollista etenemistapaa: käyttää pisteaineistoa sellaisenaan tai luoda itse oma korkeusmallirasteri. Paikkatieto-ohjelmistoissa ja niiden analyysitoiminnoissa hyödynnetään lähes poikkeuksetta rasterimuotoista korkeusmallia, mutta 3D-pisteidenkin käyttö on mahdollista. Tässä selvityksessä käytettiin sekä Maanmittauslaitoksen tuottamia että itse luotuja rasterimuotoisia korkeusmalleja.

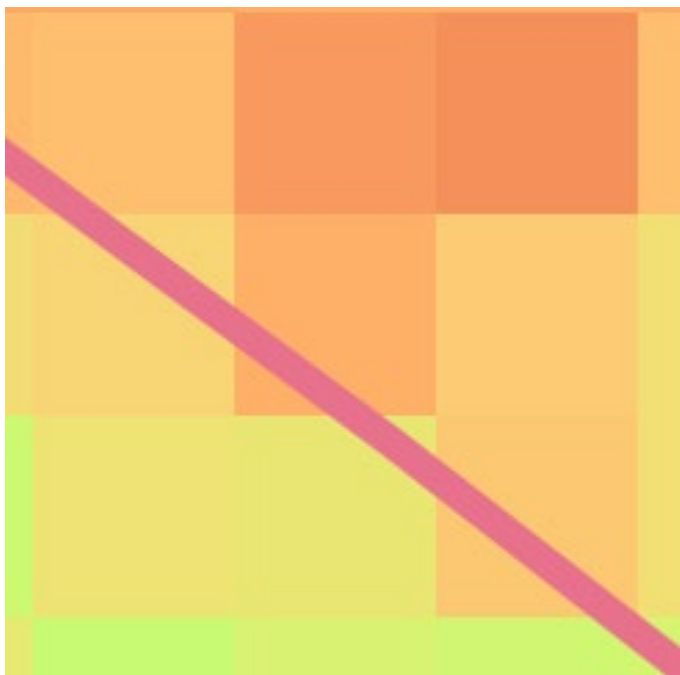
Sekä pistepilvellä että rasterimuotoisella korkeusmallilla on omat erityispiirteensä reittisuunnittelun analyysien kannalta. Lähtökohtaisesti Suomesta on avoimesti saatavilla ilmalaserkeilauksen kautta saatuja pisteaineistoja, joiden pistetiheys on noin 0,5 pistettä

neliömetrillä (eli pisteitä on noin 1,4 m :n välein) (Maanmittauslaitos 2022a; b). Joiltain alueilta ja erityisluvalla on saatavissa myös tiheämpää aineistoa eli 5 pistettä neliometriä kohden (pisteitä noin 0,4 m:n välein) olevaa aineistoa (Maanmittauslaitos 2022c). Pistepilven osalta halutaan reitin geometrian määrittämiseksi käytettäväksi vain maanpinnan pisteet, joten pistetiheys voi vaihdella hyvinkin suuresti ja maanpinnan pisteitä voi (automaattisten) laskentamenetelmien näkökulmasta puuttua (Kuva 9). Lisäksi pisteiden luokittelussa maanpinnan pisteiksi on voinut tapahtua virheitä, esimerkiksi maanpintaluokkaan on luokitellut matalan kasvillisuuden pisteitä. Pistepilven pisteiden sijainnin epävarmuuksiksi on puolestaan sallittu korkeuden osalta enintään 0,10 m (keskivirhe, keskihajonta) ja tasotarkkuuden osalta enintään 0,45 m (keskivirhe, keskihajonta) ”yksiselitteisillä kohteilla” (Maanmittauslaitos 2020). Lisäksi, erityisesti metsäisellä alueella on luonnostaankin pienialaisia kuoppia ja kohoumia, jotka myös voivat aiheuttaa merkittäviä ja jopa kummallisia vaihteluita erityisesti kaltevuuslukuihin (suuria tai suurehkoja korkeusvaihteluita lyhyillä matkoilla), vaikka pistepilven pisteet olisivatkin oikeasti maanpintapisteitä ja taso- ja korkeussijaintinsa puolesta edustavia.



Kuva 9. Pistetiheys vaihtelee (taustarasteri 0,5m).

Rasterimuotoisen 2 m:n korkeusmallin tasosijainnin epävarmuus (ulkoinen tarkkuus) periytyy suoraan laskennassa käytetystä ilmapistepilvestä (Maanmittauslaitos 2017). Korkeussijainnin epävarmuuteen puolestaan vaikuttaa kunkin korkeusmallin pikselin korkeuden estimoinnissa käytettyjen pisteiden epävarmuudet ja estimointitapa. Rasteriaineiston diskreettisyys (sekä alueellinen että arvollinen) voi aiheuttaa rasteriaineiston perusteella johdettuihin korkeustietoihin vaihteluita, vaikka todellisuudessa vaihtelua ei juurikaan olisi (Kuva 10). Rasterimuotoisia, koko Suomen kattavia korkeusmalleja tehdään nykyään vielä kahdessa eri laatuluokassa (Maanmittauslaitos 2017, Kuva 11).



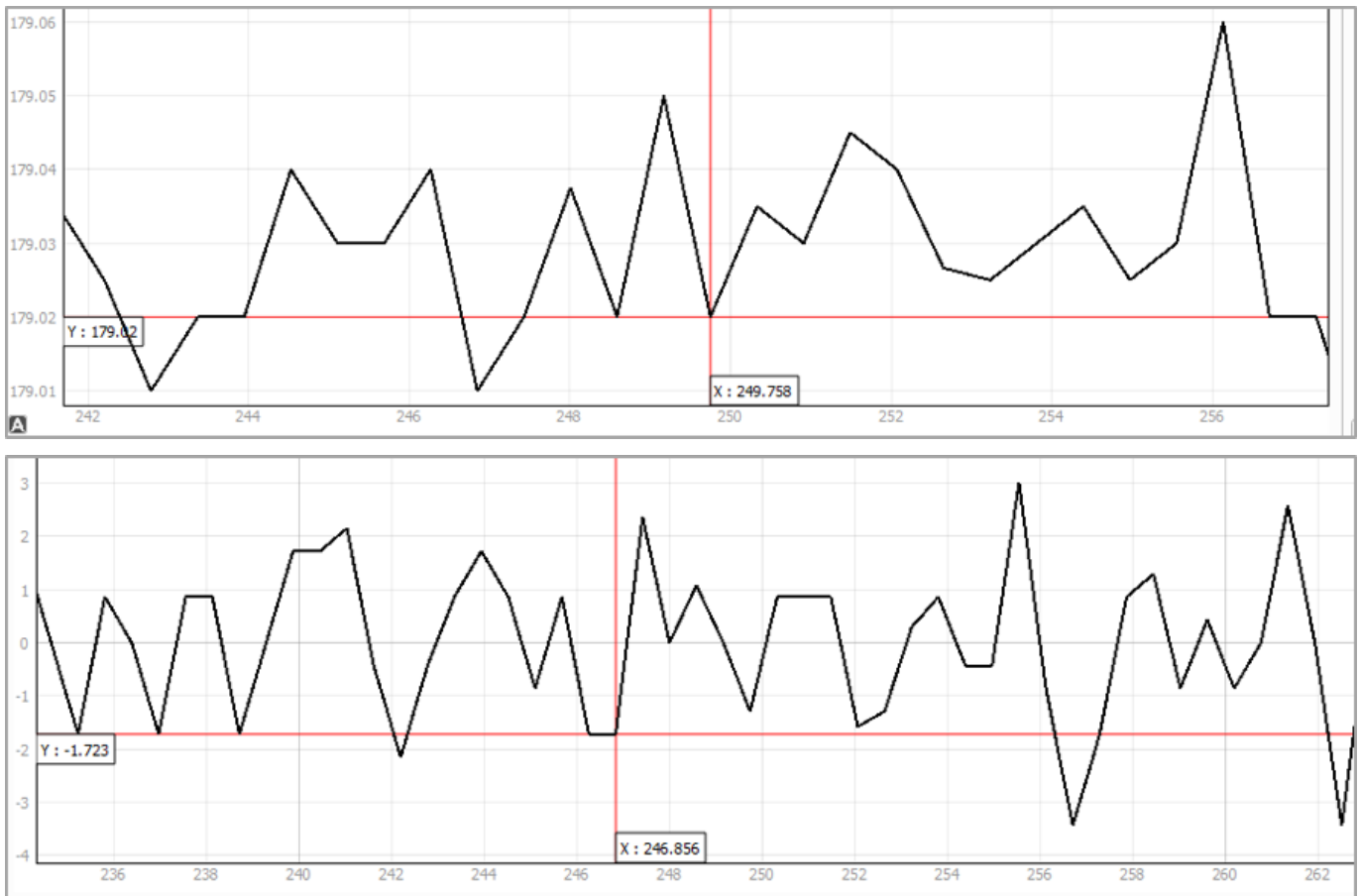
Kuva 10. Rasterin diskreettisyys aiheuttaa korkeusvaihteluita, vaikka reitti (punainen viiva) kulkee rinteessä (likimain) yhdessä tasossa.

Laatuluokka	Laatuvaatimus
KM2 laatuluokka I	<ul style="list-style-type: none"> • Korkeusmallin korkeussijainnin neliökeskivirheen ($RMSE_v$) tulee olla pienempi kuin 0,30 m, kun keilaus on tehty aikaikkunoissa A tai B ja rinteiden kaltevuus on enintään 25°. • Korkeussijainnin harhan tulee olla parempi, kuin -0,10 – 0,20 m, kun keilaus on tehty aikaikkunoissa A tai B ja tarkastelun kohteena ovat kaikki maastotietokannan maanpeiteluokat pois lukien matalan tiheän kasvillisuuden peittämät alueet (esim. suot ja rantakosteikot). • Korkeusmallista tehdyissä visualisoinneissa ei saa olla näkyvissä tuotantoalueiden reunoja. • Korkeusmallin on oltava alueellisesti 100% täydellinen.
KM2 laatuluokka II	<ul style="list-style-type: none"> • Korkeusmallin korkeussijainnin neliökeskivirheen ($RMSE_v$) tulee olla pienempi kuin 0,40 m, kun rinteiden kaltevuus on enintään 25°. • Korkeussijainnin harhan tulee olla parempi, kuin -0,10 – 0,40 m maastotietokannan maanpeiteluokissa pelto, niitty ja suo. Muissa maastotietokannan maanpeiteluokissa harha on parempi kuin -0,10 – 0,25 m. • Korkeusmallista tehdyissä visualisoinneissa ei saa olla näkyvissä tuotantoalueiden reunoja. • Korkeusmallin on oltava alueellisesti 100% täydellinen.

Kuva 11. Korkeusmallin KM2 laatuvaatimukset (Maanmittauslaitos 2017, s. 12).

Korkeustiedot, kuten kaikki mittaustiedot, ovat siis jo lähtökohtaisesti virheellisiä. Olennaista reittisuunnittelun näkökulmasta onkin se, kuinka tällaisia tiettyjen analyysien kannalta erittäin merkittäviä epävarmuuksia ja luonnollisiakin vaihteluita sisältäviä aineistoja analyyseissä käytetään. Mikäli esimerkiksi kaltevuuksia määritetään lyhyiltä matkoilta, voi määritetty kaltevuus olla hyvinkin poikkeava "todellisesta" tai ainakin reittisuunnittelun kannalta olennaisesta tiedosta. Esimerkiksi suunnitteluoppaissa mainittu ja klinometrillä tehtäviin maastomittauksiin liittyvä "vähintään noin 3 m" välien (The International Mountain Bicycling Association 2018, s. 105)

käyttäminen suorana ohjeena siten, että käytettäisiin tosiaan vain muutamien metrien välejä korkeuserojen ja edelleen esimerkiksi maksimikaltevuuden määrittämisessä, voi antaa paikkatietoaineistoihin perustuvissa analyyseissä kovastikin harhaanjohtavaa tietoa (Kuva 12).



Kuva 12. Asfalttitiien korkeuksia (ylempi osakuva) ja kaltevuuksia (alempi osakuva). Oletettavasti virheelliset korkeusvaihtelut, jotka ovat muutamia senttimetrejä, aiheuttavat useamman prosentin kaltevuuksia, kun kaltevuudet määritetään lyhyiltä matkoilta (tässä noin 0,5 m väleiltä).

4. Reittien suunnittelumallinnukseen liittyviä kokeiluja

Tässä luvussa esitetään selvityksessä tehtyjä käytännön kokeiluja. Kokeilujen kohteena ollut reitti valikoitui alueelta saatavilla olleen ja ilman käyttö lupaa hyödynnettävissä olevan Maanmittauslaitoksen ilmalaserkeilauksen 5 pisteen testiaineiston (Maanmittauslaitos 2022c) ja internetistä löytyneen reitti piirroksen myötä. Varsinaista omaa, uuden reitin reittisuunnittelua ei tehty. Esimerkkireitti esitellään tarkemmin luvussa 4.1.

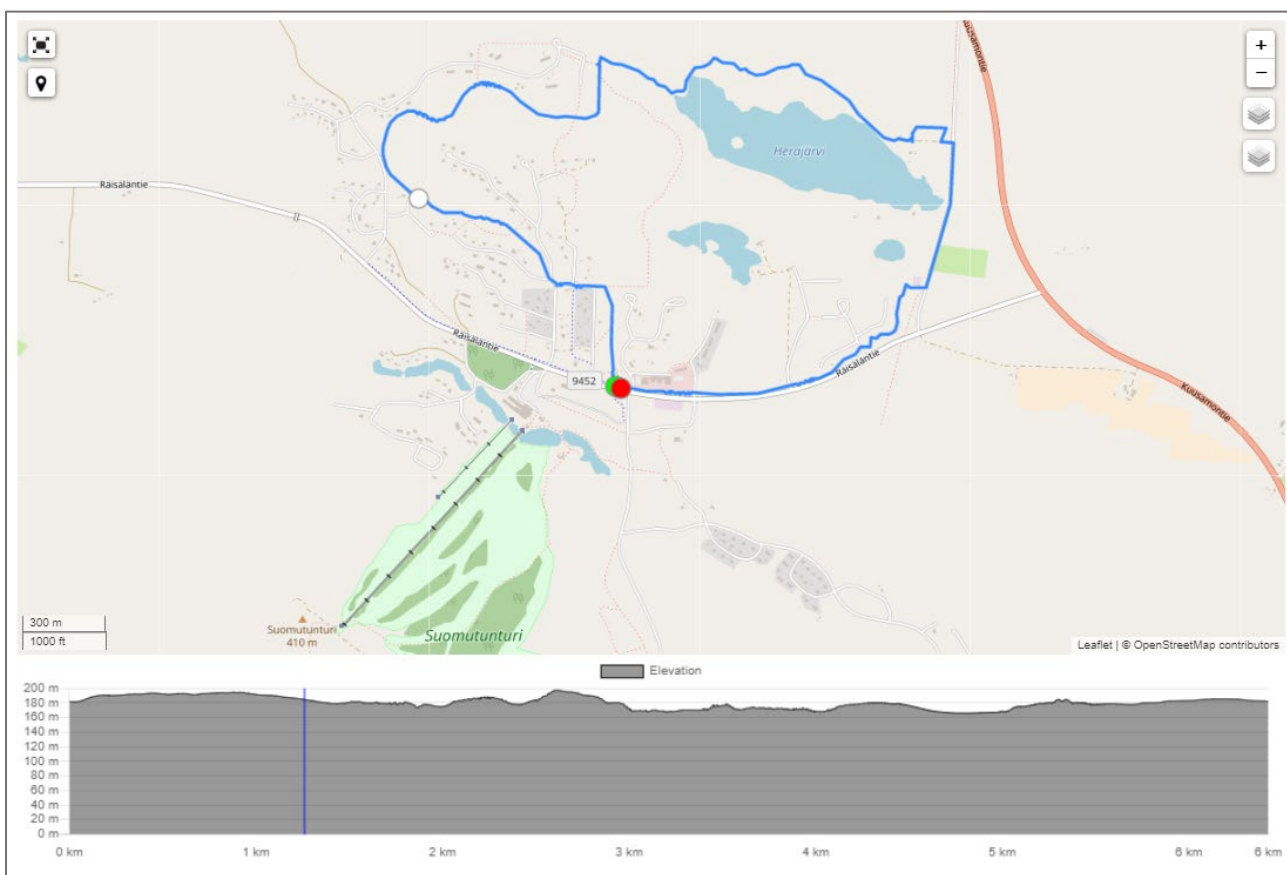
Esitys on jaetultu karkeasti maastopyöräreitin suunnittelijan työvaiheiden mukaisesti: Aluksi reittiä hahmotellaan käyttäen hyväksi laajempialaisia aineistoja (luku 4.2). Sitten tehdään varsinaista suunnittelutyötä kenties varsin yksityiskohtaisestikin aineistoja tutkien (luku 4.3). Reittiluonnoksen valmistuttua voidaan määrittää reitin osalta erilaisia tunnuslukuja (luku 4.4) ja vaikkapa laatia alustava reittiluokitus. Seuraavaksi tarvitaan tiedot lupien hakemiseksi, myös mahdolliset suojelualueet ja suojeltavat kohteet on syytä tarkistaa (luku 4.5). Lopuksi reittiä voi olla tarve esitellä intressitahoille sekä luoda ohjeet ja opaskartat (luku 4.6). Luonnollisestikaan

suunnittelutyö ei etene suoraviivaisesti näiden vaiheiden kautta, vaan eri vaiheista on usein tarve palata aiempiin. Vaiheistus onkin tässä lähinnä tämän dokumentin esitystekniikkaan liittyvä ja rajojen vetäminen on esittämisenkin osalta hankalaa ja häilyvää.

Seuraavassa ei niinkään ole tarkoitus esittää itse suunnitteluprosessia, vaan esimerkkireittiin liittyvien kokeilujen avulla niitä aineistoja ja toimia, joista eri vaiheissa voisi olla hyötyä. Esitys on joiltain osin yleisen tason mahdollisuuksien kuvailua, toisaalta esitetään kokeiluista esimerkkireitille saatuja tuloksia ja tunnuslukuja esitystä konkretisoimaan.

4.1 Esimerkkireitin esittely

Alustavissa testeissä tutkittiin Kemijärven kaupungin Suomutunturin läheisyydessä kiertävää Herajärven reittiä (Kuva 13). Kyseinen reitti on ympyräreitti eli reitin lähtö- ja päätepisteet ovat samat. Reitistä on saatavissa gpx-tiedosto jalki.fi-palvelusta (Kuva 13). Palvelussa reittiä kuvataan seuraavasti: *"Teknisempi reitti Herajärven ympäri, kivoja alamäkiä, poropolkuja sekä kaatuneiden puiden ylityksiä."* Reitin pituudeksi ilmoitetaan 6,43 km ja noususummaksi 88 m.



Kuva 13. Herajärven reitti ja sen korkeusprofiili (jalki.fi)

Gpx-jäljen epätarkkuuden takia reitti myös digitoitiin ilmakuvaa hyödyntäen manuaalisesti. Reittipisteiden lukumäärän ja reitin tasosijaintitarkkuuden osalta tavoiteltiin keskitasoa: mutkiin ja risteyksiin pisteitä digitoitiin runsaammin, suoriin osuuksiin minimimäärä. Metsäisillä osuuksilla digitointiin hyödynnettiin myös alueen korkeusmallia ja siitä johdettua kaltevuusrasteria, mutta tästä huolimatta reitin sijaintitarkkuudessa on metsäisillä osuuksilla merkittävää epävarmuutta.

Reitistä noin 70 % oli tiellä ja loput maastossa (Taulukko 4). Tämä digitoitu reittiversio oli tutkimuksen varsinainen reittijälki, joten jatkossa Herajärven reittiin tai esimerkkireittiin viitattaessa tarkoitetaan tätä digitoitua reittiä.

Taulukko 4. Reitien karkea luokitus

Väli [km]	Luokka	Pistetiheys [kpl / m ²]	Korkeusvaihtelu [m / 100 m]
0-2,5	Tie	6,3	
2,5-3,9	Maasto	4,9	
3,9-4,8	Tie	6,1	
4,8-5,2	Maasto	4,9	
5,2-6,3	Tie	5,9	

Reitin geometriatietoja tutkittiin alustavasti Google Earth Pro (Google 2022) ohjelmiston avulla. Google Earth Pro-ohjelmiston esittämät tiedot sekä gpx-jäljelle että digitoidulle reitille ovat nähtävissä kuvassa 14. Kuten oli oletettavaa digitoitu reitti on lyhyempi (noin 3,3 % lyhyempi) kuin gpx-jälki ja myös noususummat ovat pienemmät (noin 3 % pienemmät). Reitien geometriatietojen analysointia QGIS-ohjelmiston (QGIS 2022) avulla esitetään luvussa 4.4.

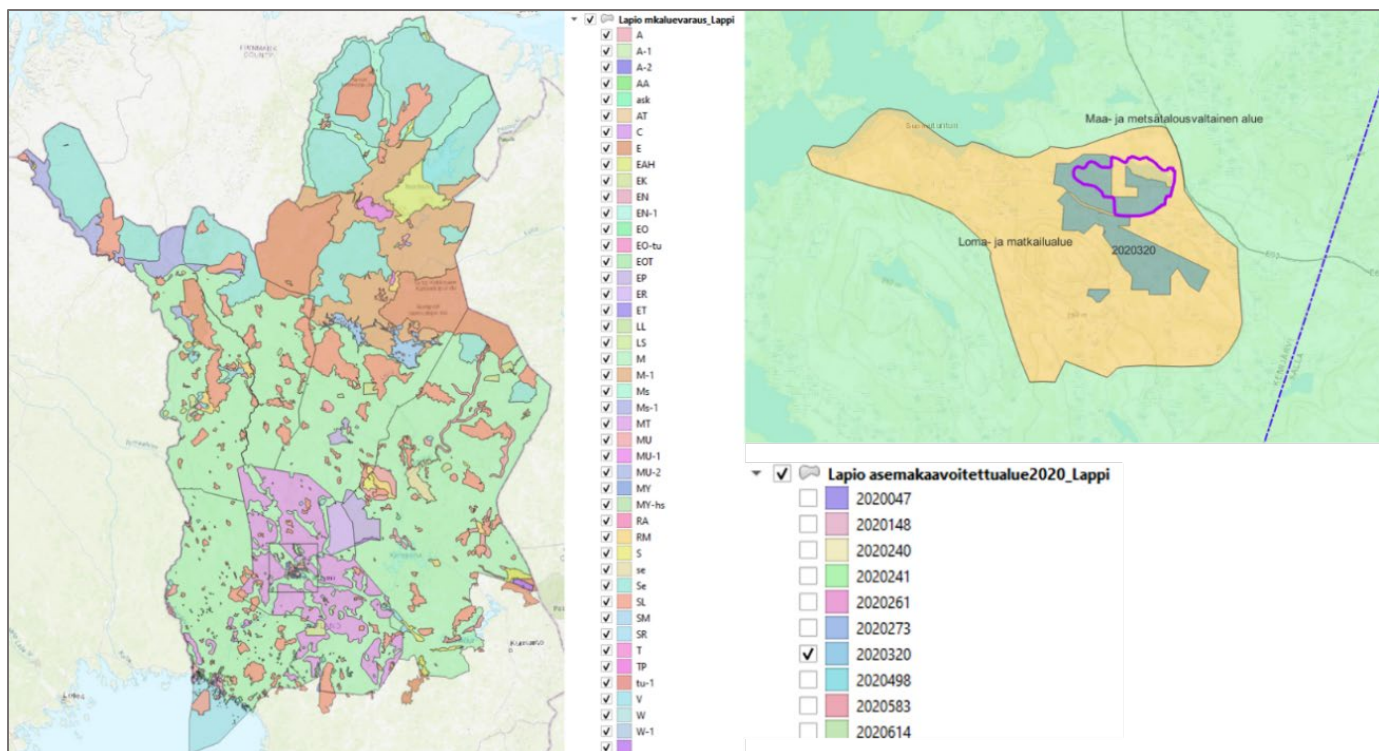


Kuva 14. Google Earth Pro:n esittämä korkeusprofiili esimerkkireitille (alhaalla) sekä tunnusluvut alkuperäiselle gpx-jäljelle (ylhäällä) ja digitoidulle reitille (keskellä).

4.2 Maastopyöräreitien alustava hahmottelu

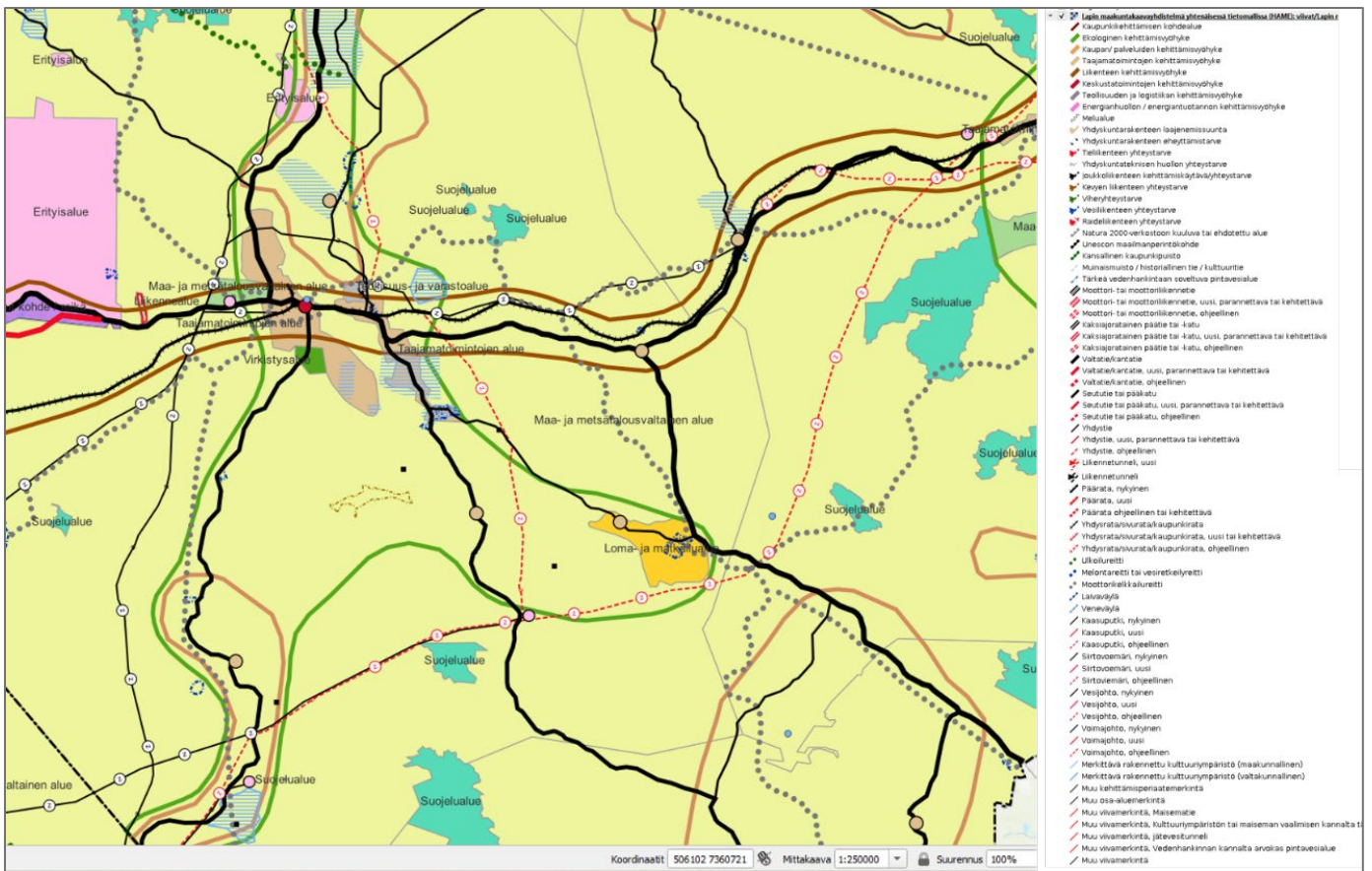
4.2.1 Hallinnolliset alueet, kaavoitus- ja luvitustietoja

Reittejä suunniteltaessa on hyvä tietää millaisia maankäytöllisiä aluevarauksia ja toimintoja suunnitellulle alueelle on määritetty maakuntakaavojen, yleiskaavojen ja asemakaavojen kautta (Kuva 15). Kaavatietoja hyödyntämällä saadaan reittien pohjaksi kattavaa tietoa jo olemassa olevista tai suunnittelussa olevien reitien toteutukseen vaikuttavista toiminnoista, kuten ulkoilureiteistä, suojelualueista, virkistysalueista, silloista, teistä ja rautateistä.



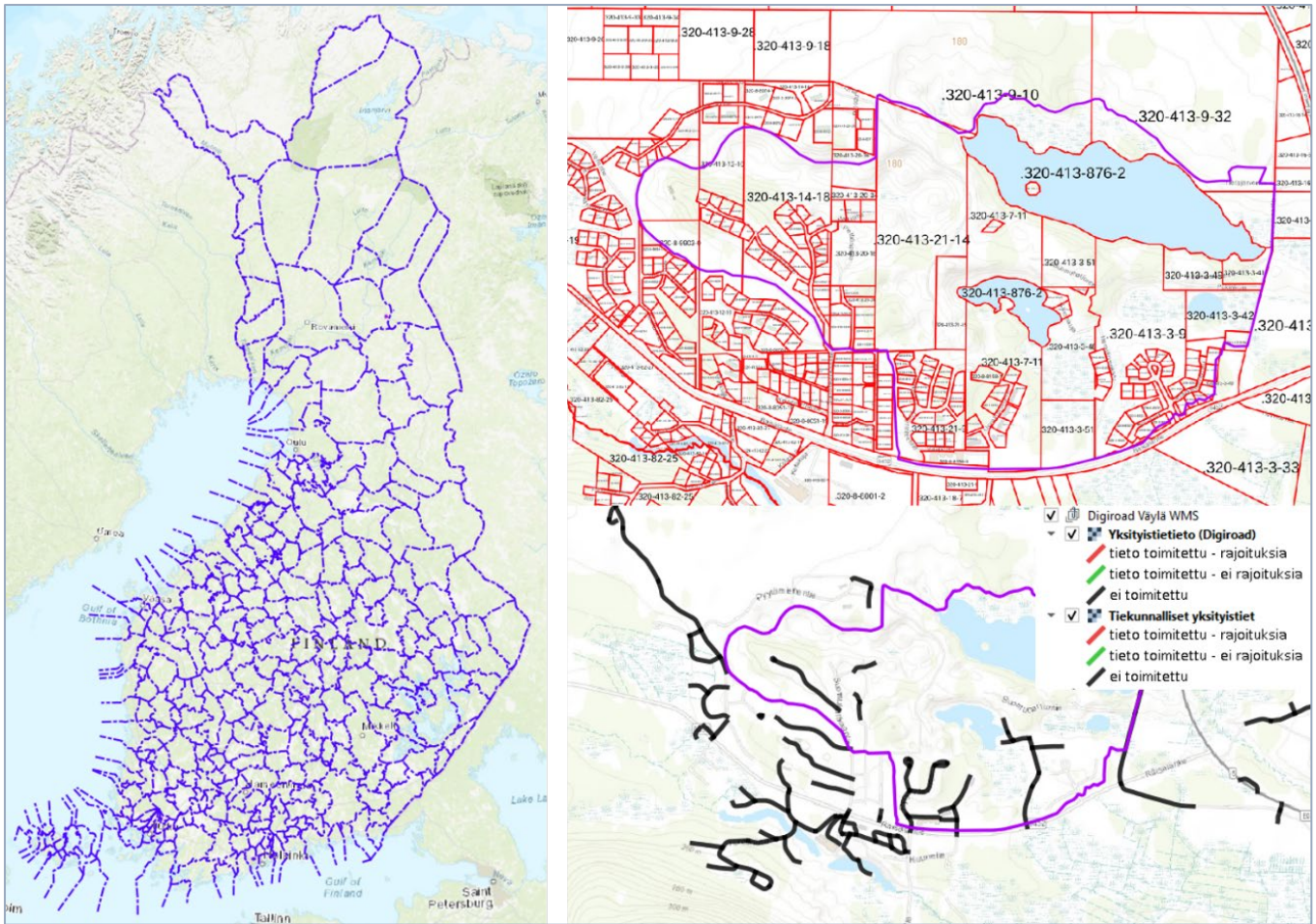
Kuva 15. Latauspalvelu Lapion kautta saadaan ladattua Maakuntakaava- ja asemakaava-alueet tarkasteltavaksi QGIS ohjelmaan.

Maakuntakaava-aineistoja on saatavilla avoimesti ladattavassa muodossa esimerkiksi SYKE:n LAPIO latauspalvelusta tai Maakuntakaavat.fi sivuston kautta. Maakuntakaavat.fi-sivusto tarjoaa maakuntakaavat myös WMS-rajapintapalveluna (Liite 5: Rajapinta yhteyden lisääminen), josta saa helposti aineistot käyttöön kunkin reittisuunnittelun pohjaksi esimerkiksi QGIS-ohjelmistoon, eikä aineistoja tarvitse ladata erikseen (Kuva 16).



Kuva 16. INSPIRE-direktiivin mukaiset kaava-aineistot rajapintapalveluna QGIS ohjelmaan Maakuntakaavat.fi sivustolta

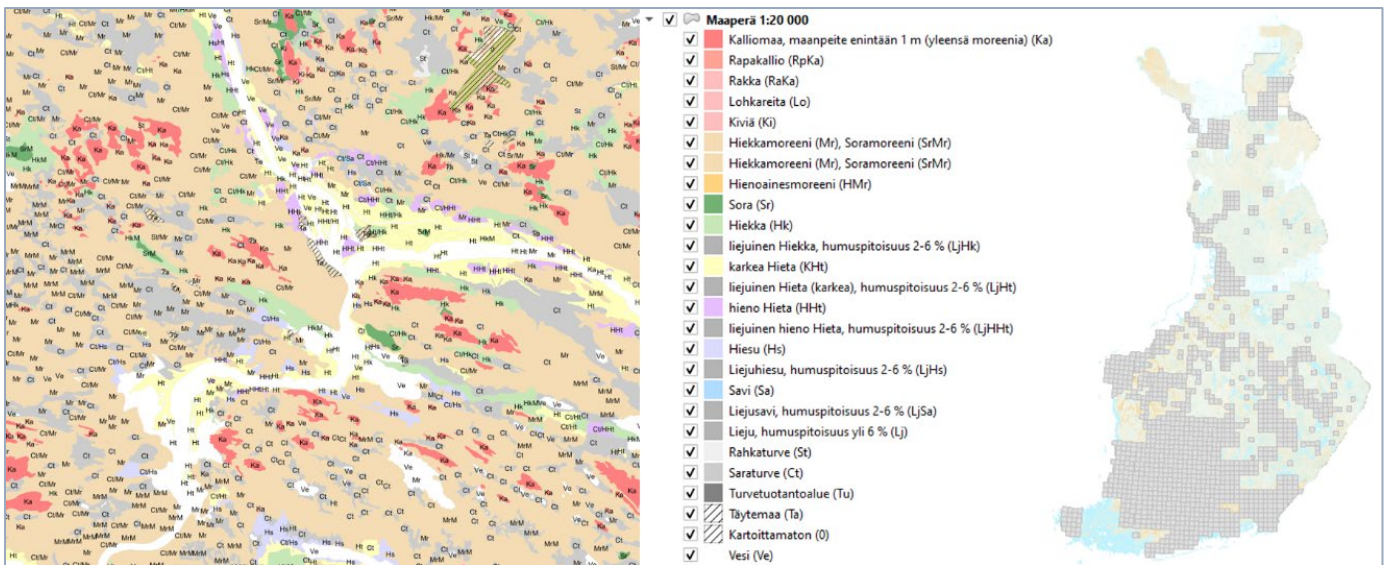
Maakunta- ja asemakaavan lisäksi reittien suunnittelun pohjaksi on tarpeellista saada tietoon, minkä kunnan tai kiinteistön alueella reitti tulee kulkemaan tai kulkeeko se mahdollisesti jotain yksityistietä pitkin. Kuntarajat ja niiden hallinnolliset keskuskeskukset saadaan käyttöön MML maastotietokannan aineistosta koko Suomen osalta, kiinteistötiedot MML:n avoimien aineistojen rajapintapalvelusta sekä yksityistiet Väyläviraston Digiroad rajapintapalvelusta (Kuva 17).



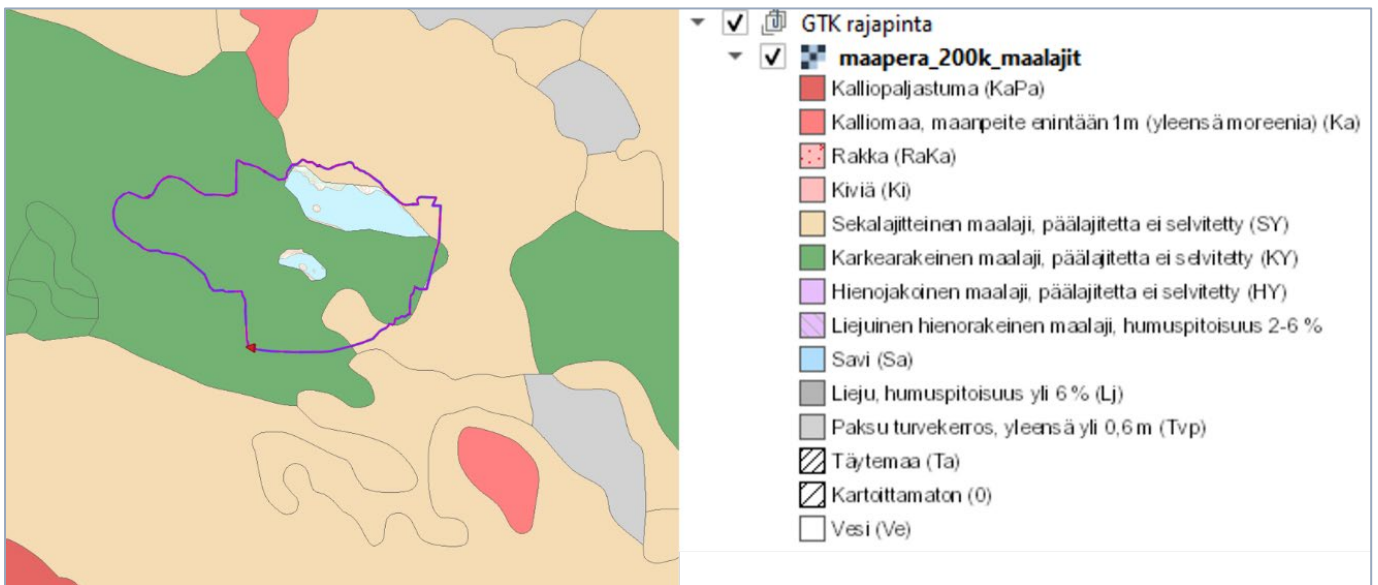
Kuva 17. Koko Suomen kuntarajat sekä kiinteistötiedot ja yksityistiet esimerkkireitin alueelta tuotuna QGIS ohjelmistoon.

4.2.2 Maaperä- ja maanpeitetiedot

Maaperällä ja sen ominaisuuksilla on suuri merkitys reittien rakentamiseen, käyttöön ja kulumiseen. Suunniteltaessa maastopyöräilyreittejä on tarpeellista tutustua ennalta millaiselle maaperälle reitistö tulee sijoittumaan ja miten reitin kulkua voitaisiin ohjata välttämään epäsovivan maaperän alueet. Maaperäaineistoja on saatavilla WMS rajapintapalvelun kautta esimerkiksi GTK:n tarjoamana. Tarkempaa 1:20 000 (Kuva 18) mittakaavassa käytettävää aineistoa on saatavilla rajoitetusti vain tietyiltä alueilta, mutta 1:200 000 mittakaavassa oleva aineisto kattaa koko Suomen (Kuva 19).

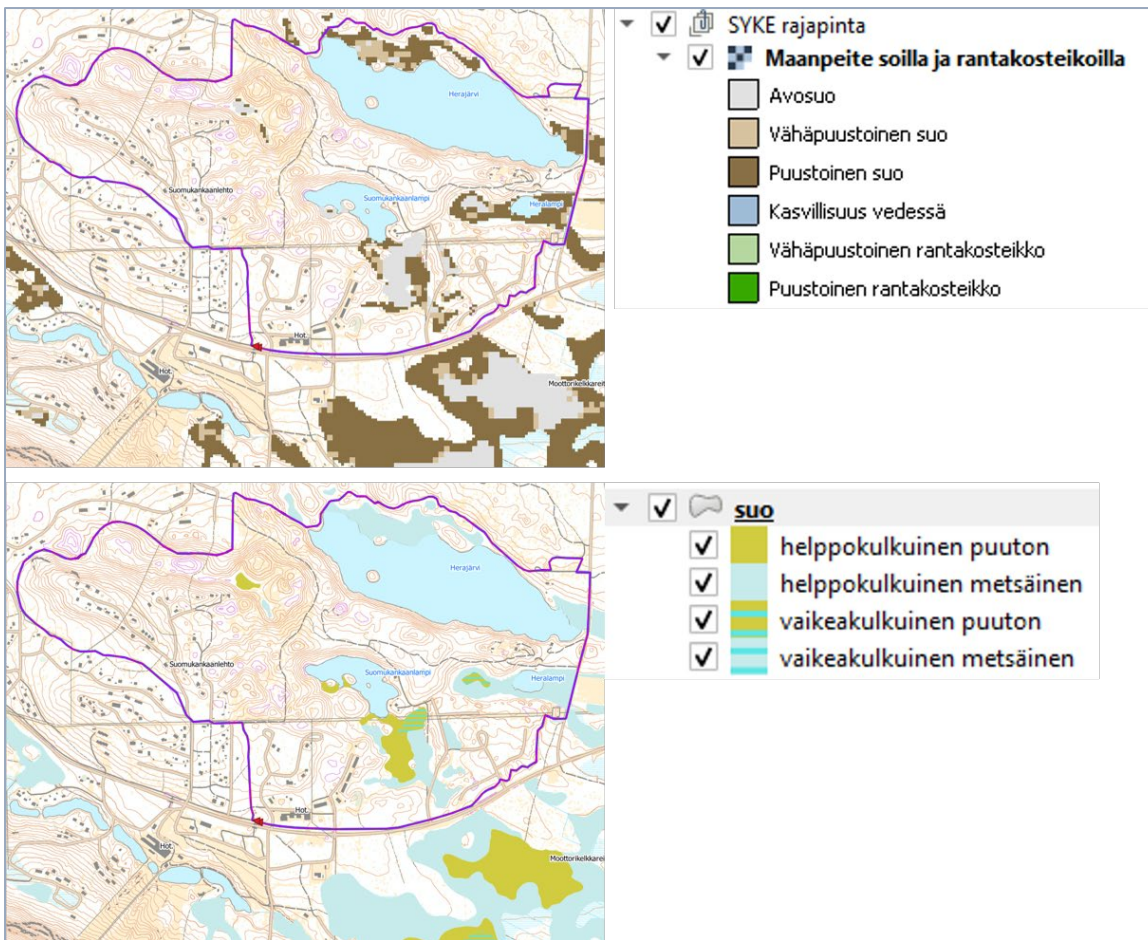


Kuva 18. Maaperän ominaisuuksia Maaperä 1:20 000 aineisto GTK:n rajapintapalvelun kautta on avoimesti saatavilla vain kuvassa oikealla Suomen kartassa näkyviltä alueilta.



Kuva 19. Herajärven reitin alueelta GTK:n maaperäaineisto on saatavilla mittakaavassa 1:200 000

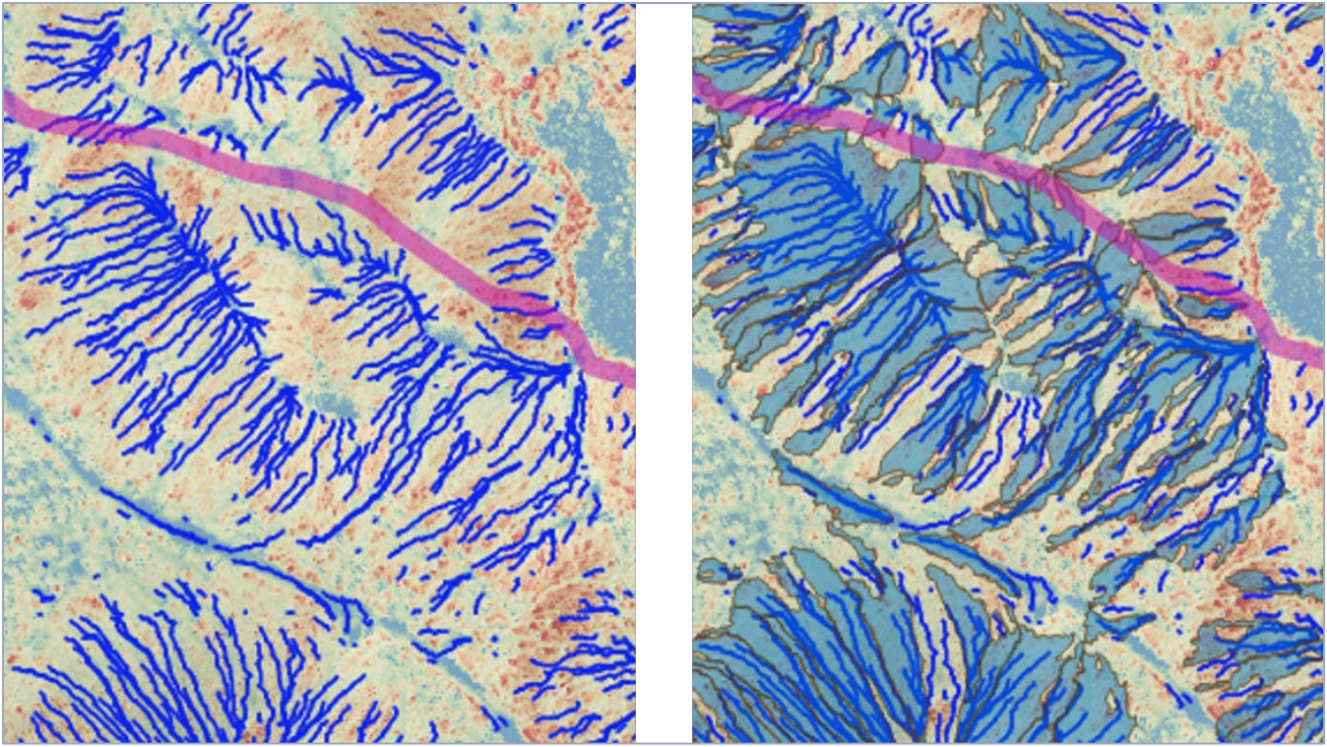
Maaperätietojen lisäksi reittien suunnittelussa on hyödyllistä tarkastella myös maanpeitteitä ja esimerkiksi erityyppisiä suoalueita ja niiden sijainteja. Näiden huomioiminen jo reittien suunnittelussa auttaa kiertämään kaikista märimmät ja hankalakulkuiset maastot sekä mahdollistaa reitin rakentamiseen liittyvien toimien ja kustannusten arvioinnin. Erilaisia maanpeiteaineistoja tarjoaa muun muassa SYKE:n paikkatieto rajapintapalvelu sekä MML:n maastotietokanta (Kuva 20). Maaperään ja maanpeitteisiin liittyvää tietoa on saatavilla myös Metsäkeskuksen aineistoista, joita esitellään hieman myöhemmin (reitien metsäisyyden ja metsätyyppien analysointiin soveltuvien aineistojen esittelyn yhteydessä).



Kuva 20. Yllä suoalueiden ominaisuustietojen luokittelu SYKE:n avoimista paikkatieto rajapinta-aineistoista ja alemmassa MML:n maastotietokannasta saatavien aineistojen suoalueiden luokittelu.

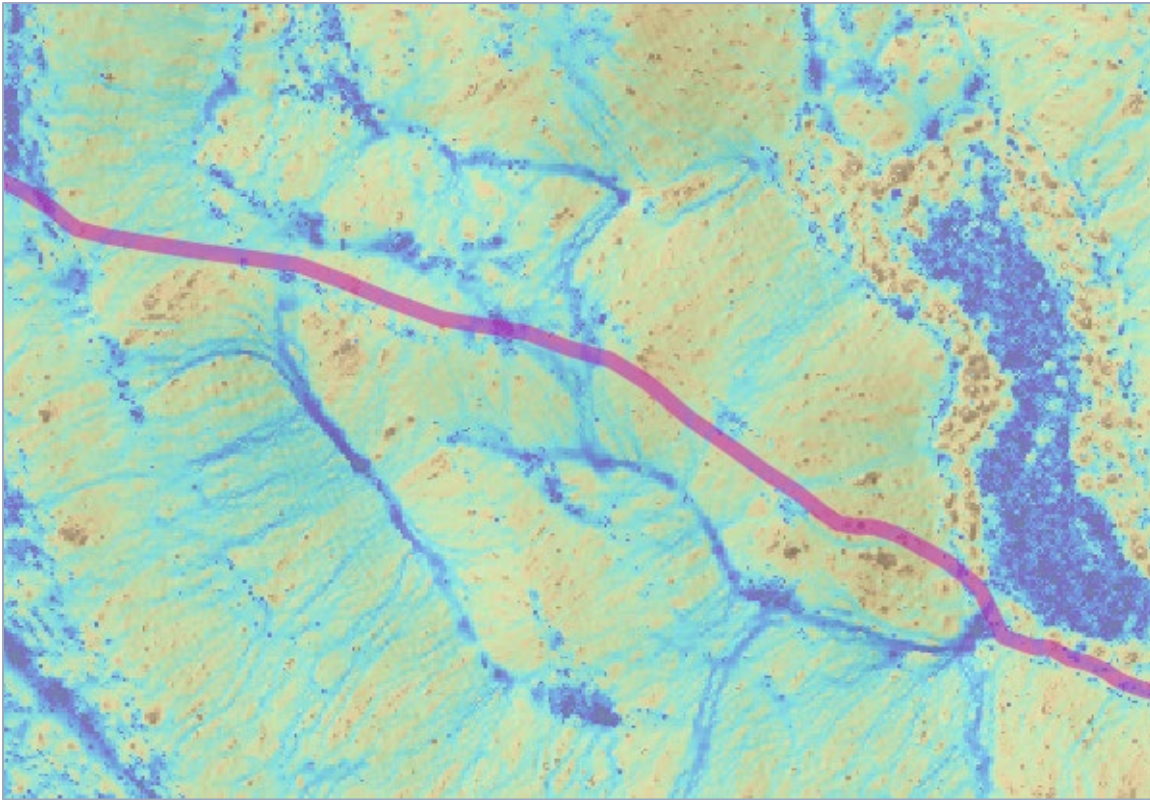
4.2.3 Maaston kosteus ja pintavesien valumat

Maaston ja reittien kulumista aiheuttavien pintavesien virtauksia ja niiden valuma-alueita sekä maaston muotojen mukaan muodostuvien kosteikkojen tarkasteluja toteutettiin tässä tutkimuksessa QGIS-ohjelmiston prosessointityökaluilla. Pintavesien virtausten ja valuma-alueiden analysoinnissa voidaan hyödyntää esimerkiksi SAGA Channel Network and Drainage Basins prosessointityökalua. Tämän työkalun avulla muodostetaan korkeusmallirasterin perusteella virtausten reitit ja alueet mistä mahdolliset sadevedet kerääntyvät noroksi ja päätyvät tiettyyn pisteeseen (Kuva 21).



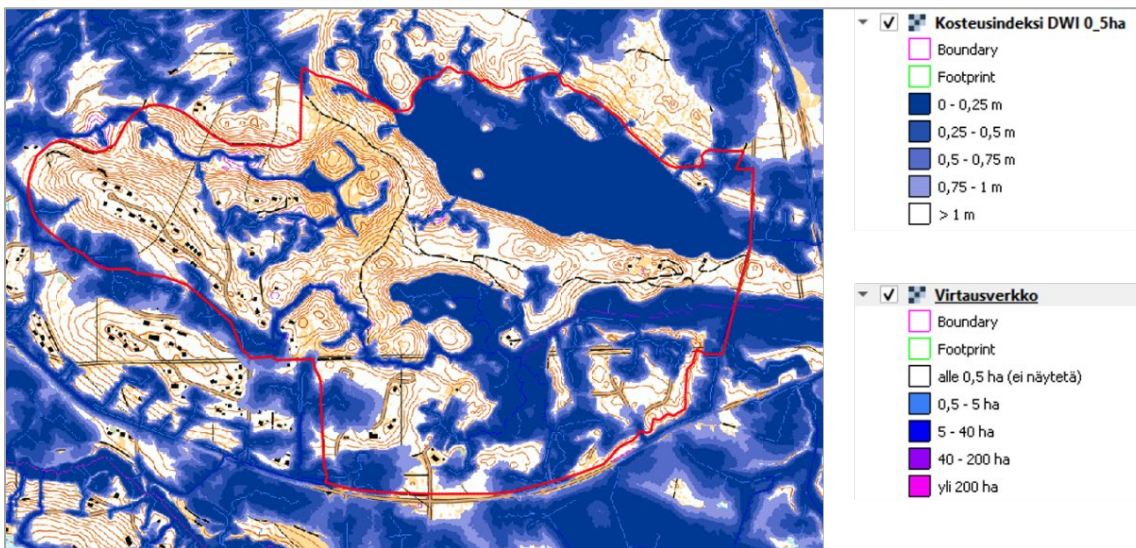
Kuva 21. Virtausten (vasen) ja valuma-alueiden (oikea) muodostuminen reitin varrella maaston muotojen mukaan (SAGA Channel Network and Drainage Basins prosessointityökalu)

Mastoon mahdollisesti muodostuvia kosteikkoja ja painanteita voidaan lisäksi tarkastella kosteusindeksin avulla, jota tässä tutkimuksessa kokeiltiin SAGA Wetness Index prosessointityökalua. Tämä työkalu soveltuu hyvin käytettäväksi korkeudeltaan vaihtelevassa maastossa, mutta tasaisen maaston analysoinnissa siitä ei juurikaan ole apua, koska tasaisen alueen alhainen kaltevuuskulma tarkoittaa korkeata kosteusindeksiä ja eroavaisuuksia ei näin ollen voida havaita. Vaihtelevassa maastossa korkean kosteusindeksin avulla voidaan paikallistaa ”tylsät” tasaiset alueet, jotka voidaan kiertää ja saadaan reitistä vaihtelevampaa. Kosteusindeksin avulla voidaan analysoida maaston muotoihin perustuvaa kosteutta ja tasaisia alueita (Kuva 22), mutta se ei huomioi esimerkiksi vuodenajan muutoksia ja muita muuttujia, kuten maankäyttöä, maaperän ominaisuuksia, kasvillisuutta tai haihtumista.



Kuva 22. Kosteusindeksin tarkastelu QGIS SAGA Wetness Index prosessointityökalulla reitin varrelta.

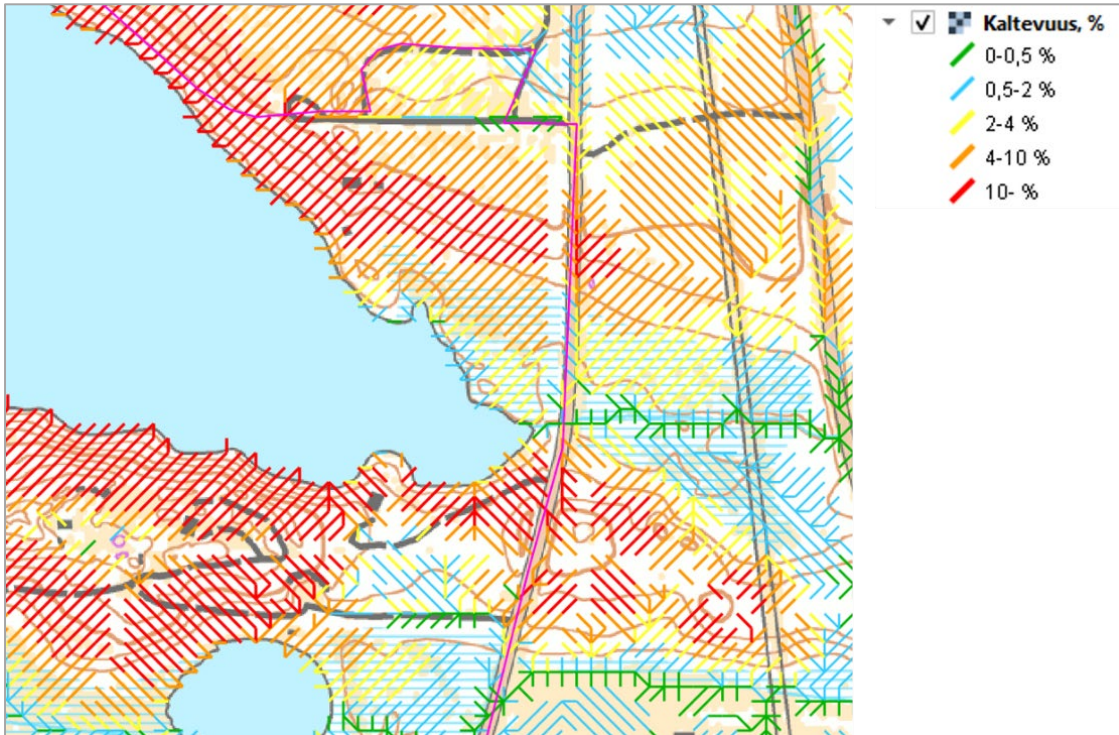
Virtausten ja valuma-alueiden muodostumisten sekä maaston kaltevuuksien tarkasteluun reittisuunnittelussa voi riittää myös metsäkeskuksen rajapinta palveluiden sekä ladattavien avoimesti saatavilla olevien kosteus- (Kuva 23) ja kaltevuusaineistojen (Kuva 24) hyödyntäminen taustalla, mikäli ei haluta tehdä omaa tarkempaa analyysiä reitin varrelta.



Kuva 23. Kosteusindeksi ja virtausverkko Metsäkeskuksen rajapintojen kautta QGIS ohjelmassa Herajärven reitin alueella.

Tällaiset valmiit aineistot ovat hyödyllisiä reittien alustavassa suunnittelussa, jossa vasta kartoitetaan aluetta ja maaston soveltuvuutta maastopyöräily käyttöön. Aineistojen avulla voidaan

esimerkiksi rajata kosteusindeksin tai kaltevuuden avulla pois alueita, jotka ehdottomasti ovat reitin kulumisen ja kunnossapidon kannalta epäsopivia kohtia maastossa.



Kuva 24. Maaston kaltevuuksien tarkastelua Metsäkeskuksen rajapintojen kautta QGIS ohjelmistossa.

4.2.4 Reitin metsäisyys ja metsätyypit

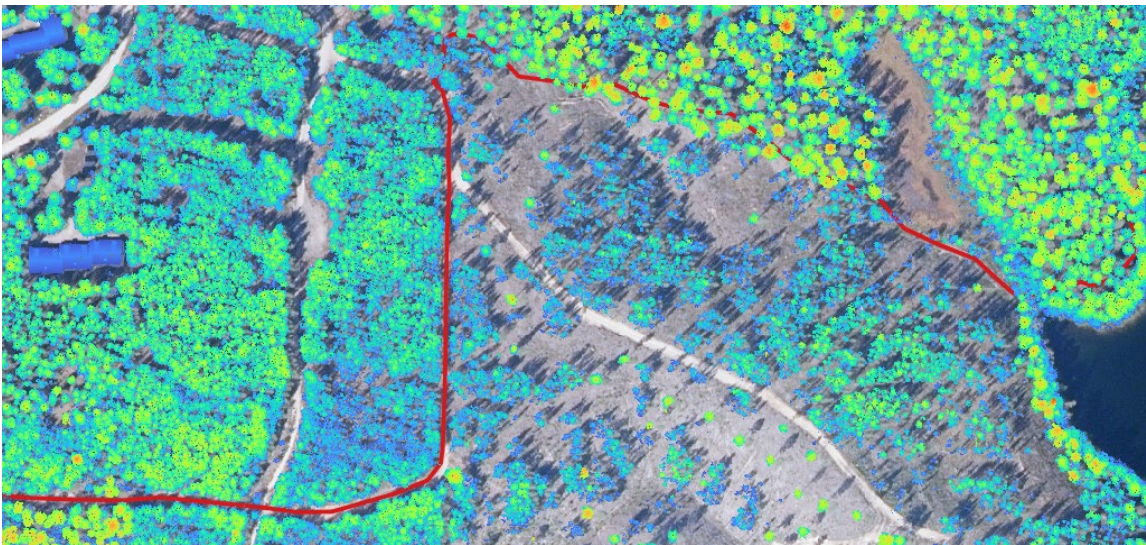
Reittialueen metsäisyyttä ja jopa yksittäisen puiden korkeuksien tutkimiseen ja esittämiseen voidaan käyttää niin sanottua latvusmallia (Canopy height model, CHM). Latvusmalli esitetään yleensä rasterimuodossa. Latvusmalli on saatavissa valmiina Metsäkeskuksen paikkatietoaineistona, mutta sellaisen voi tehdä myös itse Maanmittauslaitoksen ilmapistepilvestä liikkeelle lähtien. Periaatteessa latvusmallissa on mukana vain puuston korkeustietoja, mutta itse tehtäessä siihen voidaan jättää mukaan myös erilaisten rakennettujen kohteiden korkeudet.

Latvusmalli saadaan aikaiseksi seuraavasti:

1. Suodatetaan Maanmittauslaitoksen ilmapistepilvestä maanpinnan pisteet.
2. Luodaan näistä maanpintaa kuvaava, rasterimuotoinen korkeusmalli (DEM).
3. Suodatetaan Maanmittauslaitoksen ilmapistepilvestä muut kuin maanpinnan pisteet. Tässä vaiheessa voi valita, mitä luokkia otetaan mukaan. Tosin Maanmittauslaitoksen aineistossa ei ole rakennuksia luokiteltu erikseen.
4. Luodaan näistä rasterimuotoinen pintamalli (DSM).
5. Vähennetään pintamallista korkeusmalli, jolloin jäljelle jää puiden (ja rakennusten) korkeudet.
6. Mikäli halutaan, rakennukset voidaan suodattaa latvusmallista käyttäen hyväksi esimerkiksi Maastotietokannan rakennusmonikulmioita. Tai rakennusten korkeudet voidaan ratkaista monikulmioiden sisälle jäävien korkeustietojen perusteella.

7. Edistyneemmillä algoritmeilla on mahdollista jollakin onnistumisen tasolla segmentoida yksittäiset puut (esimerkiksi paikallisia maksimikohtia hakemalla) ja edelleen määrittää kullekin puulle korkeus.
8. Tuloksina voidaan laskea esimerkiksi metsän tiheyden ja puuston korkeuden tunnuslukuja. Tai vain esittää rasterimuotoinen latvusmalli (Kuva 25).

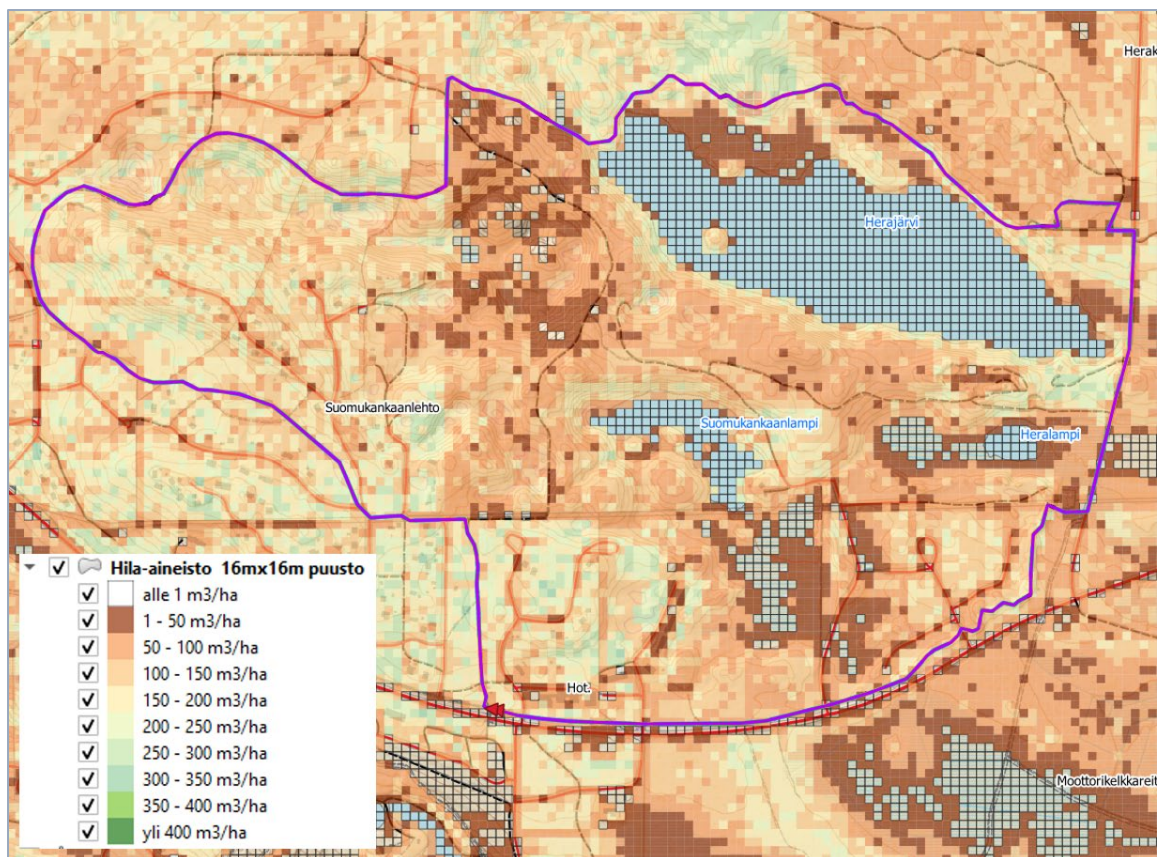
Tässä tutkimuksessa edellisen listan kohdat 1-4 tehtiin CloudCompare-ohjelmistolla ja kohta 5 QGIS:n rasterilaskimella. Kohtia 6 ja 7 ei tässä esitetä tarkemmin, mutta periaatetta on alustavasti kokeiltu aiemmassa selvityksessä (Robertsson 2022, Kuva 25). Lisäksi esimerkiksi WhiteBoxTools-ohjelmistopakettin (Whitebox Geospatial Inc 2022a) avoimien algoritmien osiosta (WhiteboxTools Open Core) löytyy yksittäisten puiden detektoimiseen kehitetty IndividualTreeDetection-työkalu (Whitebox Geospatial Inc 2022a). WhiteBoxTools-ohjelmistopakettin avulla pistevilviaineiston käsittely, kuten esimerkiksi pistepilviluokkien suodattaminen, luokittelu (rakennukset, vesistöt) ja latvusmallien toteuttaminen onnistuu myös QGIS:ssä.



Kuva 25. Osa reitistä esitetty yhdessä Maanmittauslaitoksen pistepilven avulla tehdyn latvusmallin (CHM) kanssa. Vasemmalla olevat kaksi rakennusta ja puut on väritetty korkeuksien mukaan. Reitti näkyy punaisena viivana, taustalla ilmakuva.

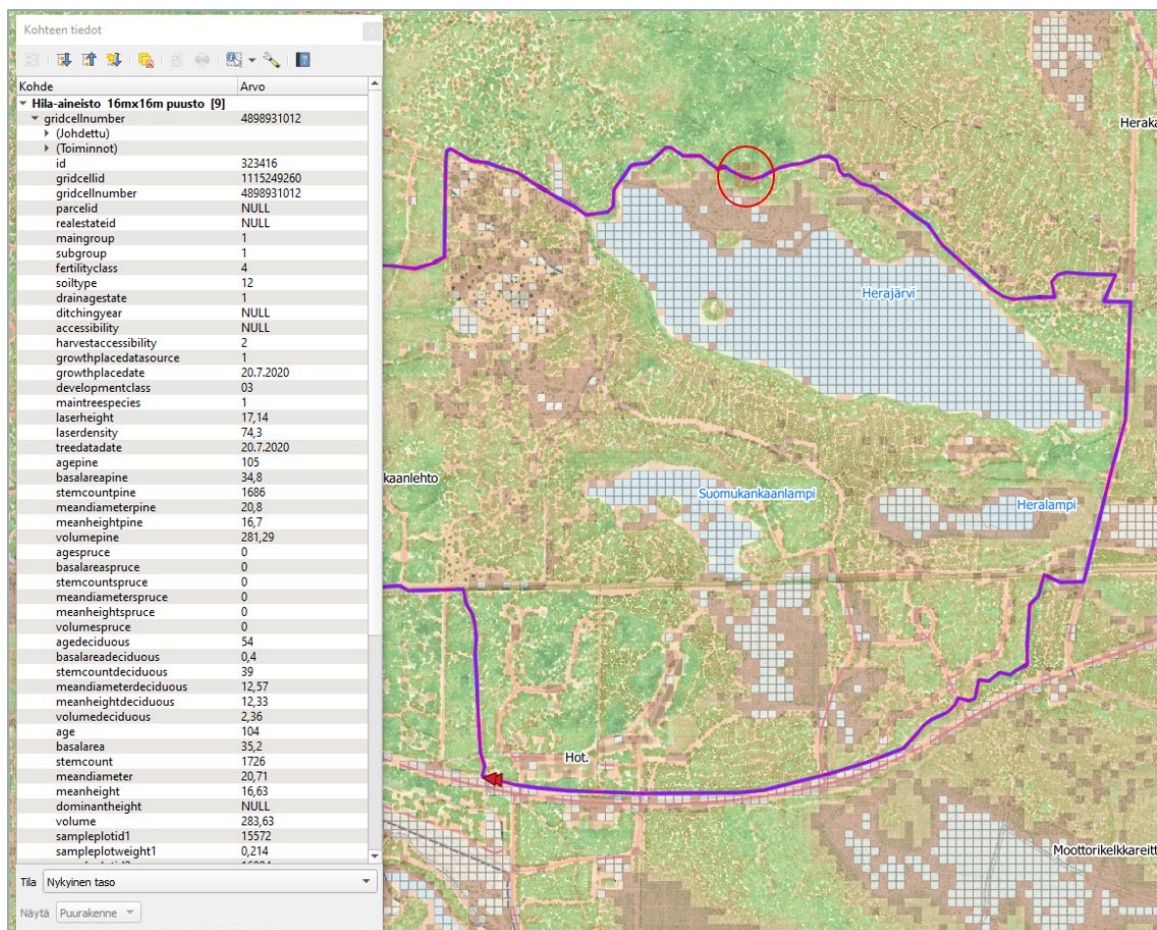
Latvusmallin lisäksi metsän puuston tiheyttä, korkeutta ja laatua voidaan tarkastella Metsäkeskuksen paikkatietoaineistoista ja rajapintapalveluista saatavien rasterimuotoisten Hila-aineistojen ja vektorimuotoisten metsävarakuviot-aineistojen avulla. Metsäkeskuksen hila-aineisto sisältää kattavan tietokannan metsien ominaisuuksista, kuten puuston kasvupaikan, maaperän, ilmaston ja puuston kasvunopeuden. Tämän aineiston avulla voidaan arvioida puuston laatua eri tavoin. Hila-aineisto sisältää metsävaratietoa neliönmuotoisissa 16 m x 16 m kokoisissa hilaruuduissa, jotka ovat kaukokartoitusperusteisen puustontulkinnan inventointiyksiköitä. (Metsäkeskus 2021a)

Hila-aineistosta voidaan tarkastella esimerkiksi puuston tilavuutta hehtaarilla (Kuva 26) tai tarkastella aineistoa ruutukohtaisesti ja käyttää samalla apuna myös latvusmallia (Kuva 27). QGIS:ssä hilaruudun tiedot saadaan helposti esille omaan ikkunaansa, jossa on eritelty eri puolajien ja maaperän tulkinnat kyseisessä ruudussa (Kuva 27).



Kuva 26. Metsäkeskuksen Hila-aineistossa puuston tilavuus hehtaarilla reitin alueelta.

Kuvassa 27 valittuna olevan hilaruudun tiedoista selviää muun muassa, että kyseessä on ojittamaton (drainagestage = 1) kangas (subgroup = 1) metsämaa (maingroup = 1), jonka maalaji on karkealajittunut (soiltype = 12) ja kasvupaikka (fertilityclass = 4) vastaa kuivahkoa kangasta, vastaavaa suota ja puolukkaturvekangasta. Kyseisen hilaruudun pääpuulaji (maintreespecies = 1) on mänty, joka on keski-ikänsä (agepine) 105 vuotta, keskiläpimitaltaan (meandiameterpine) 20,8 cm ja keskiporokorkeudeltaan (meanheightpine) 16,7 m.



Kuva 27. Hila-aineisto ruudun tarkastelu reitin alueelta, jossa päällekkäin myös uusin Metsäkeskuksen latvusmalli (CHM) Kemijärven kunnan alueelta.

Metsäkeskus tarjoaa Hila-aineistot myös avoimessa karttapalvelussa, jossa selitteet ovat suomeksi, mutta saatavilla on myös ladattava koodistotaulukko paikkatieto-ohjelmisto käytön avuksi. Kaiken kaikkiaan hila-aineisto on hyödyllinen työkalu puuston laadun arvioinnissa, sillä se sisältää kattavasti tietoa metsän ominaisuuksista. Aineiston hyödyntäminen edellyttää kuitenkin monipuolisia menetelmiä ja huolellista analyysiä, jotta siitä voidaan saada luotettavaa ja käyttökelpoista tietoa puuston ja maaperän laadusta.

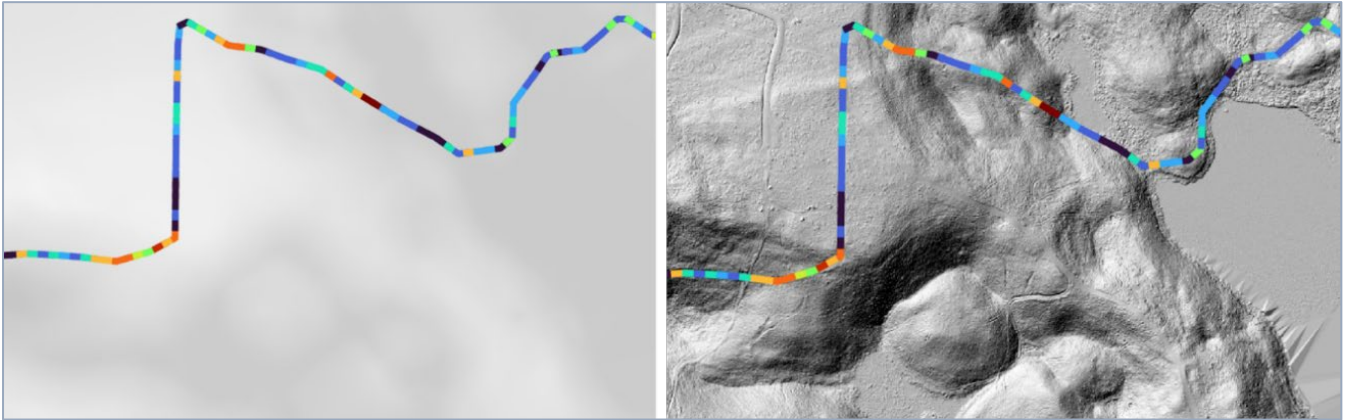
Metsäkeskuksen metsävarakuviot-aineisto sisältää pitkälti samoja tietoja kuin Hila-aineistotkin, mutta metsäkuviokohtaisesti ja vektorimuotoisesti. Metsävarakuviot-aineistoa on tehokkainta hyödyntää reittiä tai reittisuunnitelmaa analysoitaessa (tästä esitetään esimerkki myöhemmin), alustavan hahmottelun vaiheessa rasterimuotoiset latvusmalli tai Hila-aineistot ovat helpompia käyttää ja tarjoavat paremman kokonaiskuvan.

4.2.5 Maaston korkeusvaihtelut

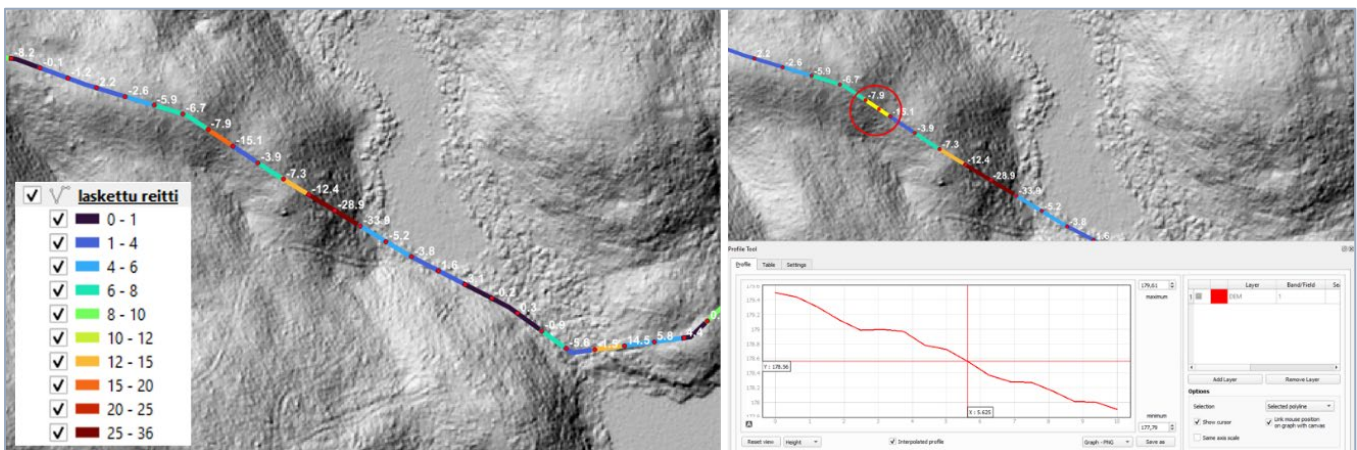
Maaston korkeusvaihtelut vaikuttavat merkittävästi reitin suunnitteluun. Tämä ei ole kuitenkaan yksiselitteistä: Helpommille reiteille ei haluta suuria eikä varsinkaan jyrkkiä mäkiä, kun taas vaativimmille reiteille suurempia korkeusvaihteluja omaavien alueiden hyödyntäminen voi olla jopa toivottavaa.

Reitin hahmotteluvaiheessa on hyvä saada yleiskäsitys alueen korkeusvaihteluista ja joitain alueita on hyvä myös jo tutkia tarkemmin esimerkiksi elämyksellisiä kokemuksia mahdollisesti tuottavien maaston muotojen (jyrkänteet, kumpuilevaisuus) löytämiseksi reitille. Korkeussuhteiden

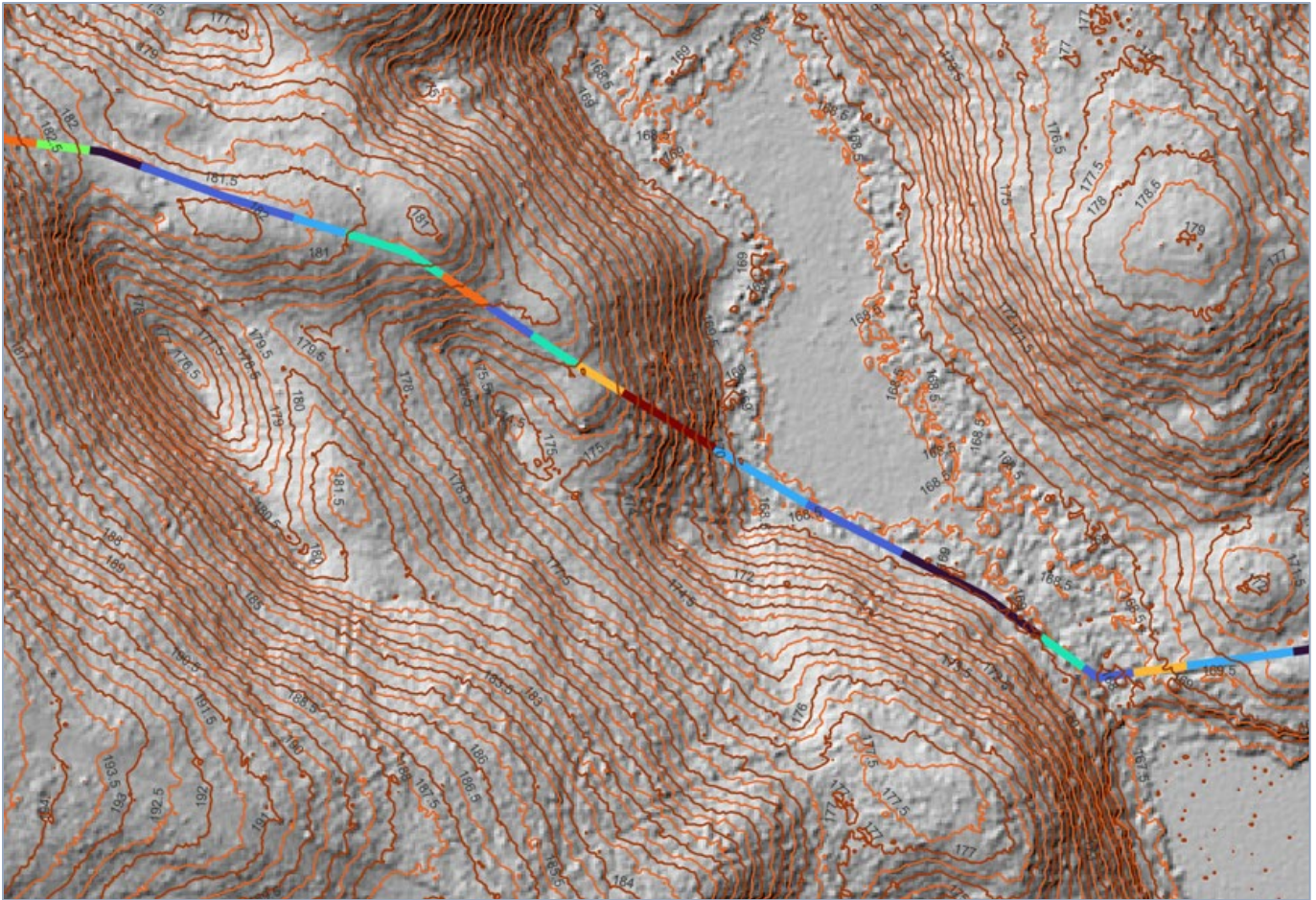
tukimiseen voidaan käyttää esimerkiksi korkeuskäyriä (Kuva 30), korkeusrastereita (Kuva 28), kaltevuustietoja (Kuva 29) ja rinnevarjosteita (Kuva 28). Kun näitä aineistoja tehdään itse (esimerkiksi tarkemmiksi kuin avoimesti saatavilla olevat aineistot tai omia värikarttoja visualisoinneissa käyttäen), voidaan suunnittelutyötä helpottaa ja tehostaa. Esimerkiksi korkeuskäyrästä voidaan helposti tuottaa tiheämmällä käyrävälillä, rinnevarjosteita voidaan tehdä eri suunnista valoa tuoden ja eri aineistoja voidaan esittää päällekkäin.



Kuva 28. Korkeusmallista luotu rinnevarjoste (GDAL rinnevarjoste, rasteri analyysit) auttaa tarkastelemaan mielenkiintoisia maaston muotoja.

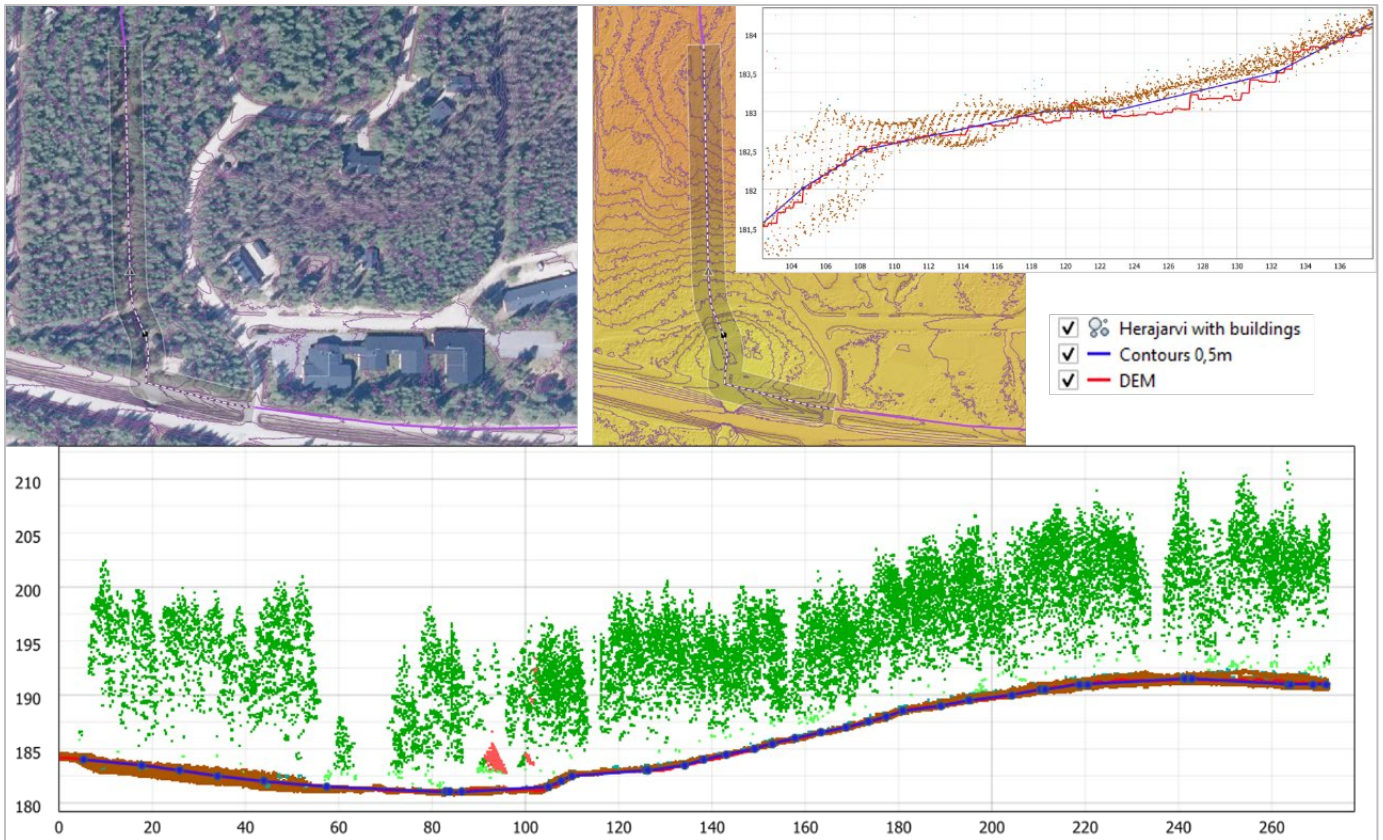


Kuva 29. Pituussuuntaisen kaltevuuden ja korkeusprofiilin tarkastelu 10 m osioissa (laskettu Road Slope Calculator ja Calculate Trail Elevation Statistics prosessointityökalulla)



Kuva 30. Korkeuskäyrät 0,5 m ja 1,0 m välillä, käyrien väli valittavissa halutuksi. (QGIS: Rasteri – irrotus – korkeuskäyrä)

Korkeuskäyrien, pistepilven ja korkeusmallin tuottamaa reitin korkeusprofiilia voidaan vertailla samanaikaisesti QGIS Elevation profile -työkalulla. Korkeuskäyrät tulee tässä tapauksessa olla 3D-vektori muodossa. Pistepilvestä saa visuaalisen näkymän (Kuva 31) mm. reitillä olevan puuston korkeudesta ja muista pistepilvestä luokitelluista kohteista valitsemalla näkyviin hieman leveämmän kaistan. Alla olevan kuvan vertailussa korkeusmalli on luotu vertailussa mukana olevan pistepilven maanpintapisteistä ja korkeuskäyrät on puolestaan luotu 0,5 m väleillä kyseisestä korkeusmallista.



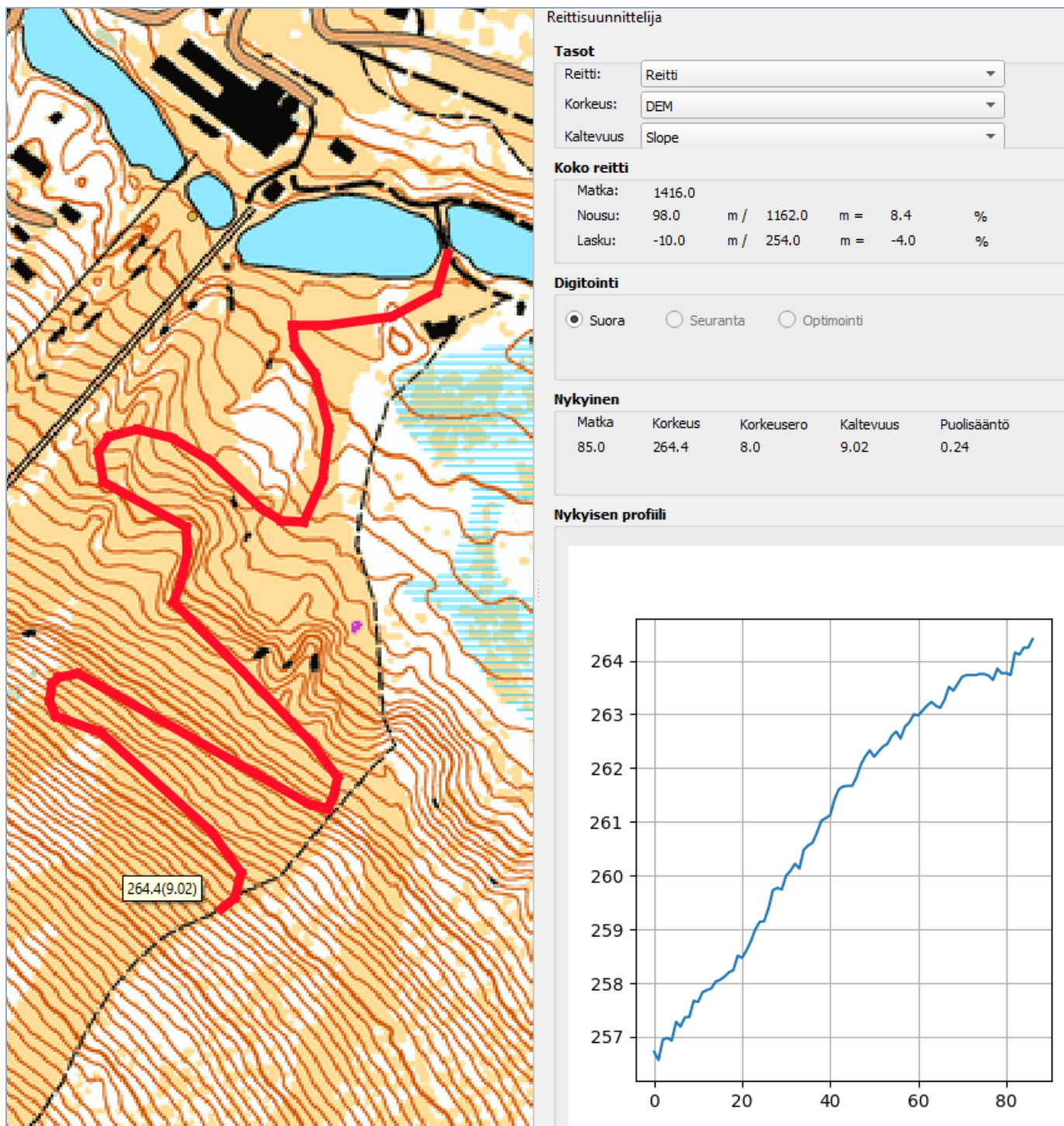
Kuva 31. Vertailu Herajarven reitin alkuosan korkeusprofiilista pistepilven, korkeusmallin ja korkeuskäyrien välillä 10 m levyisellä kaistalla.

4.3 Maastopyöräreitin varsinainen suunnittelu

Reitin suunnittelu paikkatieto-ohjelmistoa hyödyntäen on (vielä tällä hetkellä) pääsääntöisesti manuaalista suunnittelijan osaamiseen ja näkemykseen perustuvaa työtä. Automatiikalla voidaan suunnittelutyötä avustaa jonkin verran, mutta reitin suunnittelua täysin automaattisten menetelmien avulla ei uskota tuottavan hyvää reittisuunnitelmaa.

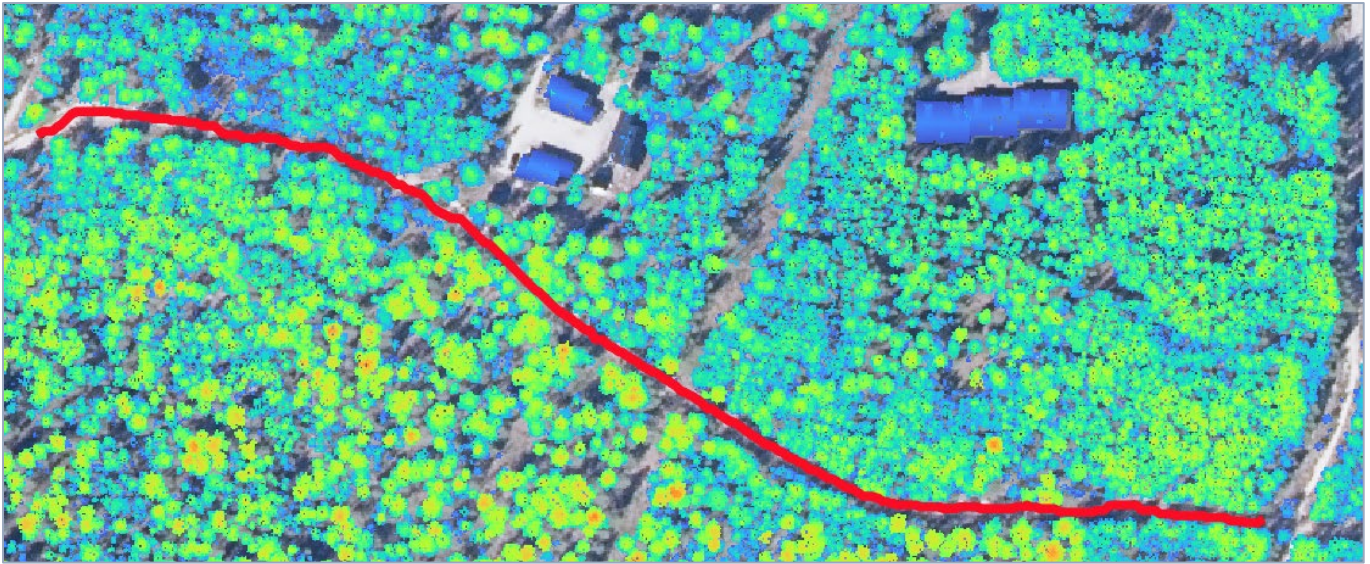
Selvityksessä laadittiin esimerkinomainen interaktiivinen työkalu reittisuunnittelun tueksi (Kuva 32). Esimerkkityökaluun otettiin mukaan vain korkeusmalliin liittyvää laskentaa ja tunnuslukujen määrittämistä. Työkalun avulla suunnittelija voi hahmotella ja myös piirtää reittiä karttapohjan päällä hiirellä klikkaillen. Työkalussa näytetään jo suunnittelun (koko) reitin tunnuslukuja, kuten kokonaismatka ja keskimääräiset nousu- ja laskukaltevuudet, sekä pohdinnan alla olevan aktiivisen (nykyisen) pistevälin tunnuslukuja, kuten matka, korkeusero, kaltevuus ja ns. puolissäätölaskennan tulos. Pohdinnan alla olevan reittiosan osalta näytetään myös korkeusprofiili.

Kun reittisuunnitelma on valmis, sitä voi tietysti muokata QGIS:n muokkaustoiminnoilla. Valmiille reitille voidaan myös erikseen laskea tunnuslukuja, kuten seuraavassa luvussa esitetään. Reitin pisteet voidaan myös tallettaa (export) eri formaateissa, vaikkapa gpx-formaatissa, maastokäyntejä ja -töitä varten.



Kuva 32. Kuvankaappaus interaktiivisesta reitin suunnittelun työkalusta (oikealla). Suunnittelua tehdään karttapohjan päällä (vasemmalla), kuvassa näkyy jo suunniteltu reitti punaisella.

Reittiä voidaan hahmotella automaattisesti erilaisia kriteereitä käyttäen. QGIS:ssä voidaan esimerkiksi hakea ns. pienimmän kustannuksen polkua. Kohtuullisen toimivana esimerkkinä tällaisesta esitetään osareitin määrittäminen siten, että kyseinen reitin osa olisi mahdollisimman tasainen. Tämä saatiin hakemalla QGIS:n Least Cost Path -lisäosan (Liite 4 QGIS:n lisäosat ja muita olennaisia toimintoja) avulla polkua, jonka reitillä kaltevuusrasterin arvojen (eli kaltevuuksien) summa alku- ja päätepisteen välillä olisi mahdollisimman pieni. Tielle tai polulle reittiä hahmotellessa tämä toimi esimerkkireitin tiettyssä kohdassa varsin hyvin (Kuva 33).

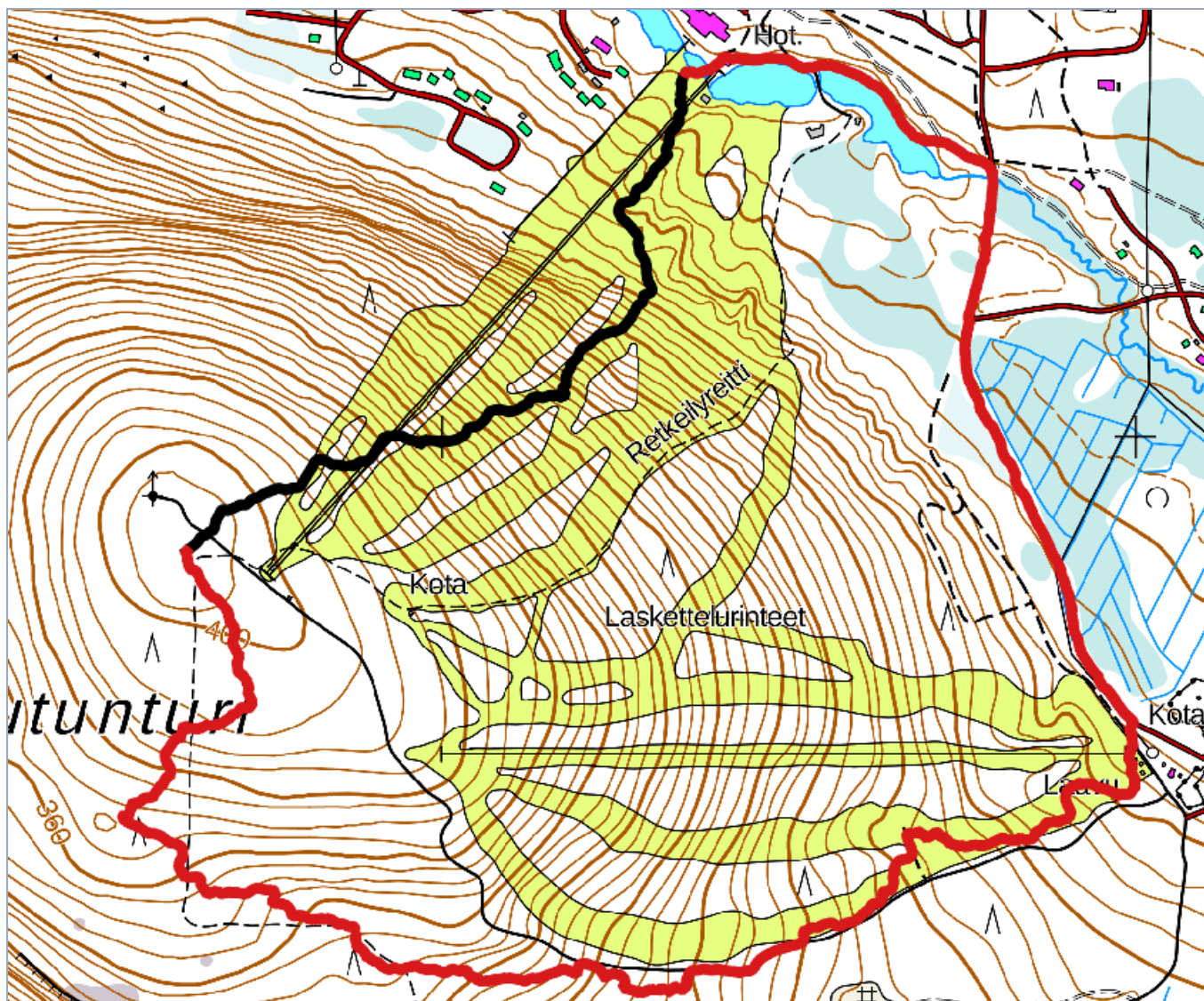


Kuva 33. Pienimmän kaltevuussumman polku Herajärven reitin tietyn osan kohdalla.

Edellä esitetyn kaltaista pienimmän kustannuksen polku -menettelyä kokeiltiin myös mäen rinteeseen tiettyä kaltevuutta tavoitellen (Kuva 34). Menettelytapa oli seuraava:

1. Alueen kaltevuusrasterin määrittäminen: GDAL Slope-prosessointitoiminto (Liite 3 QGIS-prosessointityökalut (ja pyQGIS-komennot))
2. Kaltevuusrasterin arvojen muuttaminen tavoitekaltevuuden mukaiseksi kustannusrasteriksi (esimerkiksi vähentämällä 20 % ja ottamalla itseisarvo): QGIS:n rasterilaskin
3. Pienimmän kustannuksen polun määrittäminen lähtöpisteen ja loppupisteen välille: QGIS:n Least Cost Path -lisäosa (Liite 4 QGIS:n lisäosat ja muita olennaisia toimintoja)

Tämä ei kuitenkaan toimi halutusti, koska optimointialgoritmi ei osaa huomioida kulkemista rinteessä vinosti.



Kuva 34. Reittivaihtoehtoja erilaisilla reittikaltevuuden tavoitteilla: Punainen 5 % ja musta 20 % tavoitekaltevuuden reittiehdotus. Tulokset eivät ole optimaalisia, koska algoritmi ei ymmärrä kulkemista rinteessä "vinosti".

Automaattiset algoritmit voisivat olla jossain määrin toimivia interaktiivisen suunnittelun apuvälineinä. QGIS:n mukana tulee vektoriaineistojen, kuten esimerkiksi teiden ja polkujen, automaattiseen seurantaan (digitointiin) toiminto (Automatic tracing). Lisäksi lisäosina on saatavilla mm. työkalu rasteriaineiston tietyn värisävyn seurantaan (RasterTracer) ja kustannusfunktioon perustuvaan seurantaan (GeoTrace). Linkit näihin löytyvät liitteestä 4.

4.4 Maastopyöräreittiin liittyvien tietojen poiminta ja tunnuslukujen laskenta

Tässä luvussa esitetään suunnitellun reitin tunnuslukujen laskentaa ja oheistietojen poimintaa. Näitä tietoja voidaan määrittää joko koko reitille, vain osalle reittiä tai kaikille reitin osille erikseen.

Seuraavissa alaluvuissa on sekä yleisemmän tason esitystä että viittauksia ja opastuksia yksittäisiin QGIS:n algoritmeihin, joilla laskennat ja poiminnot voi suorittaa. Vaikka menettelytavat esitetään alla erikseen ja pääasiassa yksittäisinä toimina, ne kaikki voidaan automatisoida ja tarvittaessa vaikka yhdistää "yhden napin taakse".

4.4.1 Reitin geometriatiedot: pituus

QGISissä reitin pituus ja reittipisteiden lukumäärä saadaan esimerkiksi Field Calculatorilla ($\text{length}(\$geometry)$ ja $\text{num_points}(\$geometry)$ vastaavasti). Herajärven digitoidun reitin pituudeksi saatiin 6063 m, reittipisteitä oli 341. Pistetihennettyjen reittien pituudet ovat samat kuin alkuperäisen, mutta pisteiden lukumäärä on luonnollisesti suurempi: esimerkiksi korkeusprofiilien ja kaltevuuksien tutkimisessa käytettiin reittipisteistöä, jossa pisteitä oli enintään 0,1 m välein, ja tässä reitissä pisteiden lukumäärä oli 60805.

4.4.2 Reitin geometriatiedot: pituusprofiili ja kaltevuudet

Reitin pituussuuntaisen korkeusprofiilin määrittämiseen vaikuttavat korkeuden määrittämisessä käytetty lähtöaineisto (ilmapistepilven pisteet suoraan, ilmapistepilvestä itse luotu rasterimuotoinen korkeusmalli tai valmis Maanmittauslaitoksen luoma rasterimuotoinen korkeusmalli) ja reitin pisteiden tiheys. Helpoin lähestymistapa on poimia korkeustieto rasterimuotoisesta korkeusmallista kaikkien reittipisteiden kohdalta. Näin saadaan reitin korkeusprofiili reittipisteiden tiheyden mukaisella pistetiheydellä.

Pituussuuntainen korkeusprofiili on siis joukko reitin pisteitä, joille tiedetään korkeus ja reittiä pitkin määritetty etäisyys reitin alkupisteestä. Korkeusprofiilista voidaan periaatteessa varsin helposti määrittää reitin nousu- ja laskusummat, suurimmat, pienimmät ja keskimääräiset kaltevuudet sekä kaltevuudet kullekin pistevälille. Kahden pisteen välinen korkeusero saadaan vähentämällä reitillä jälkimmäisenä olevan pisteen korkeudesta reitillä aiemmin olevan pisteen korkeus. Mikäli korkeusero on positiivinen, reitillä on nousu, ja mikäli negatiivinen, reitillä on lasku. Summaamalla kaikki positiiviset korkeuserot saadaan koko reitin noususumma, vastaavasti laskusumma. Jakamalla korkeusero kyseisten pisteiden välimatkalla (reittiä pitkin), saadaan kaltevuus. Summaamalla kaikki positiiviset kaltevuudet ja jakamalla koko reitin pituudella, saadaan keskimääräinen nousukaltevuus ja vastaavasti negatiivisia kaltevuuksia käyttäen keskimääräinen laskukaltevuus (The International Mountain Bicycling Association 2018, s. 105). Suurin ja pienin kaltevuus saadaan yksittäisistä kaltevuuksista poimimalla. Ympyräreitille noususumma ja laskusumma ovat (itseisarvoltaan) samat, samoin keskimääräinen nousukaltevuus ja keskimääräinen laskukaltevuus, mutta suurin kaltevuus ei ole sama kuin pienin kaltevuus. Eli yksittäinen korkeusero saadaan laskukaavalla

$$\Delta h_i = h_{i+1} - h_i, \quad (1)$$

nousu- ja laskusummat

$$h_+ = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta h_i, \text{ jos } \Delta h_i > 0, \quad (2)$$

$$h_- = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta h_i, \text{ jos } \Delta h_i < 0, \quad (3)$$

yksittäiset kaltevuudet

$$k_i = \frac{\Delta h_i}{\Delta s_i} = \frac{h_{i+1} - h_i}{s_{i+1} - s_i}, \quad (4)$$

keskimääräiset kaltevuudet

$$k_+ = \frac{h_+}{s}, \quad (5)$$

$$k_- = \frac{h_-}{s}, \quad (6)$$

ja suurin sekä pienin kaltevuus

$$k_{max} = \max_{i=1..n} k_i, \quad (7)$$

$$k_{min} = \min_{i=1..n} k_i, \quad (8)$$

joissa

h_i on pisteen i korkeus,

n pisteiden lukumäärä,

s_i pisteen i reittiä pitkin määritetty etäisyys reitin lähtöpisteestä ja

s koko reitin pituus.

Olettaen, että pisteen korkeuden epävarmuus u_h on kaikille pisteille sama ja että pisteiden välien välimatkan epävarmuus on pieni suhteessa itse välimatkaan, ovat yksittäisen korkeuseron, noususumman, yksittäisen kaltevuuden ja keskimääräisen kaltevuuden epävarmuudet

$$u(\Delta h_i) = \sqrt{2} u_h, \quad (9)$$

$$u(h_+) = \sqrt{2m} u_h, \quad (10)$$

$$u(k_i) = \sqrt{\frac{u(\Delta h_i)^2}{\Delta s_i^2} + \frac{(\Delta h_i u(s_i))^2}{\Delta s_i^4}} \approx \sqrt{2} \frac{u_h}{\Delta s_i}, \quad (11)$$

$$u(k_+) = \sqrt{\frac{u(h_+)^2}{s^2} + \frac{(h_+ u(s))^2}{s^4}} \approx \sqrt{2m} \frac{u_h}{s}, \quad (12)$$

joissa

m on erillisten yhtäjaksoisten nousujen lukumäärä. Vastaavasti voidaan ratkaista laskusumman ja laskukaltevuuksien epävarmuudet.

Kuten yhtälöistä (10) ja (12) voidaan havaita, nousu- ja laskusumman sekä keskimääräisten kaltevuuksien epävarmuudet ovat suoraan verrannollisia erillisten, yhtäjaksoisten nousujen

(laskujen) lukumäärään. Toisin sanoen, mitä enemmän reitti pomppii ylös-alas, sitä suurempia on näiden tunnuslukujen laskennalliset epävarmuudet.

Edistyneemmillä algoritmeilla on mahdollista myös laskea pisimpien nousujen ja laskujen pituudet sekä näiden (yhtäjaksoisten) nousu- tai laskuosuuksien kaltevuudet. Hankaluutena on löytää lähtökohtaisesti varsin piikikkäästä korkeusprofiilista yksittäisten nousujen ja laskujen alku- ja loppupisteet.

Tässä tutkimuksessa käytettiin kolmea korkeusmallia: itse tehtyä 0,5 m pikselikoon rasteria sekä MML:n 2 m ja MML:n 10 m rasteria. 0,5 m rasteri tehtiin alkuperäisestä 5 p ilmalaserkeilauspistepilvestä CloudCompare ohjelmistoa hyödyntäen (Liite 2 Korkeusmallirasterin luonti).

Reitin pituussuuntaisen korkeusprofiilin ja kaltevuuksien tutkimisessa reitille voidaan haluta pisteitä tietyin vakiovälein ja / tai tiheämmin kuin alkuperäisiä reittipisteitä on. QGIS-ohjelmistossa pisteitä voidaan generoida Densify by interval -prosessointityökalulla. Toiminta lisää pisteitä viivaobjektiin siten, että pisteiden väli on enintään parametrina annetun välimatkan suuruinen (Liite 3 QGIS-prosessointityökalut (ja pyQGIS-komennot)), väli voi olla paikoitellen pienempikin riippuen siitä, minkälainen alkuperäinen reitti ja sen pisteistö kussakin kohdassa on. Tässä tutkimuksessa generoitiin digitoidusta reitistä liikkeelle lähtien pistetiheydeltään huomattavasti tihennetty reittiviiva siten, että pisteväli oli enintään 0,1 m.

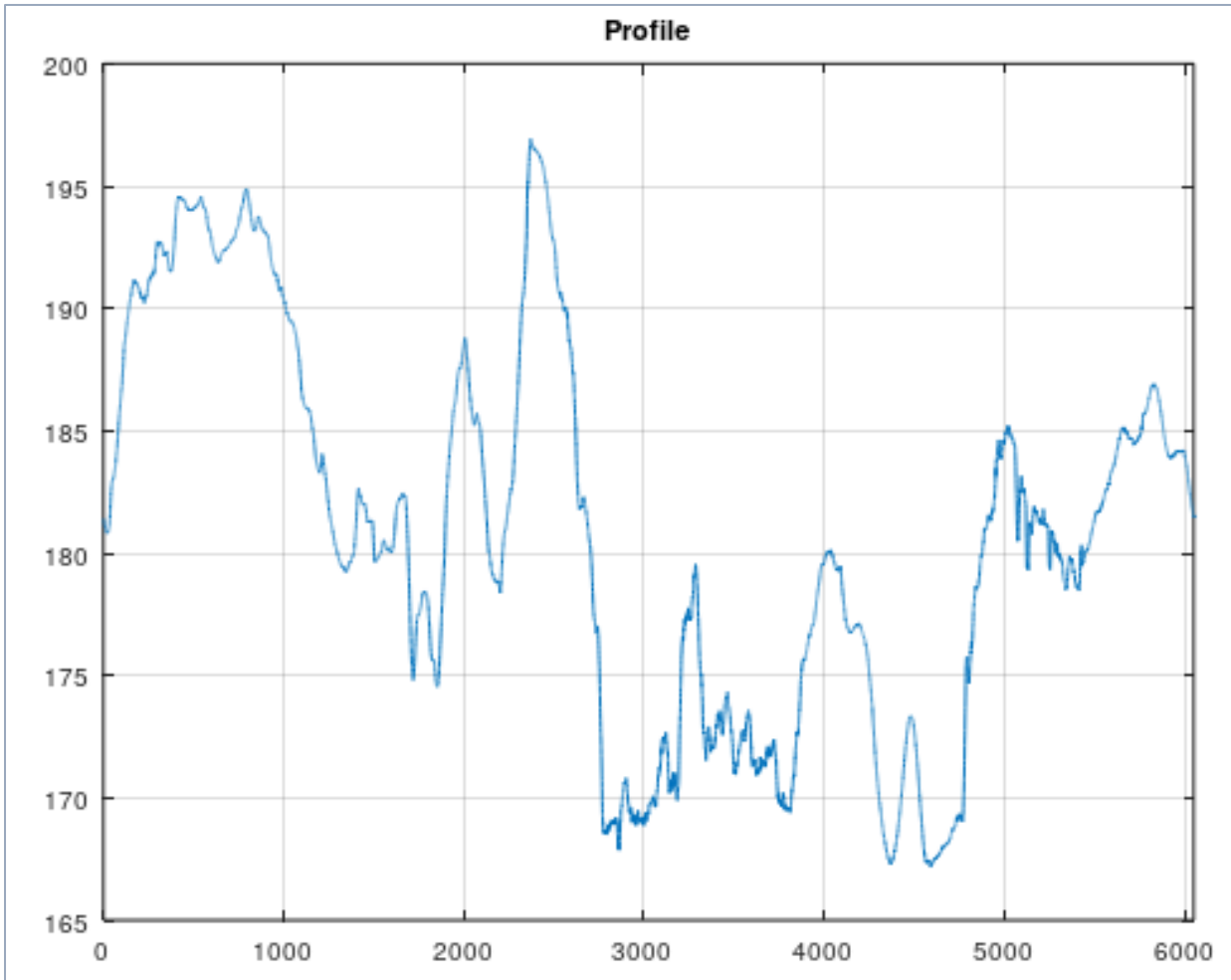
Viivamaisen reitin reittipisteet saadaan QGIS-ohjelmistolla poimittua tarvittaessa esimerkiksi Extract vertices toiminnolla (Liite 3). Toiminnolla saadaan kunkin pisteen etäisyys reitin lähtöpisteestä (reittiviivaa pitkin kuljettu matka). Toiminto tekee uuden vektorikarttataso, johon poimitaan pisteet, etäisyydet talletetaan puolestaan kyseisen karttataso ominaisuustietotaulukkoon. Reittipisteiden avulla saadaan edelleen poimittua korkeustieto korkeusrasterin niistä pikseleistä, joiden kohdalla reittipisteet ovat, Sample raster values -toiminnolla (Liite 3). Tästä voidaan jatkaa korvaamalla peräkkäiset saman korkeustiedon omaavat pisteet näiden peräkkäisten pisteiden keskiarvopisteellä poistaen samalla liian lyhyet samaa korkeusarvoa omaavat jaksot (eli korkeusmallin pikselien nurkissa ”piipahdukset” Kuva 9). Näin saadaan reitin korkeusprofiili (Kuva 35, Kuva 36, Kuva 37). Tätä korkeusprofiilia voidaan tarvittaessa edelleen viimeistellä esimerkiksi eri tavoin suodattaen ja / tai pehmentäen (Kuva 47). Tässä tutkimuksessa korkeusprofiilin viimeistelyssä kokeiltiin keskiarvosuodatusta ja ns. splini-interpolointia, jolla saadaan pehmeä ja jatkuva käyrä (Octave 2022).

Tutkimuksessa käytetty pituussuuntaisen korkeusprofiilin luonti ja käsittely oli tiivistetysti siis seuraavanlainen:

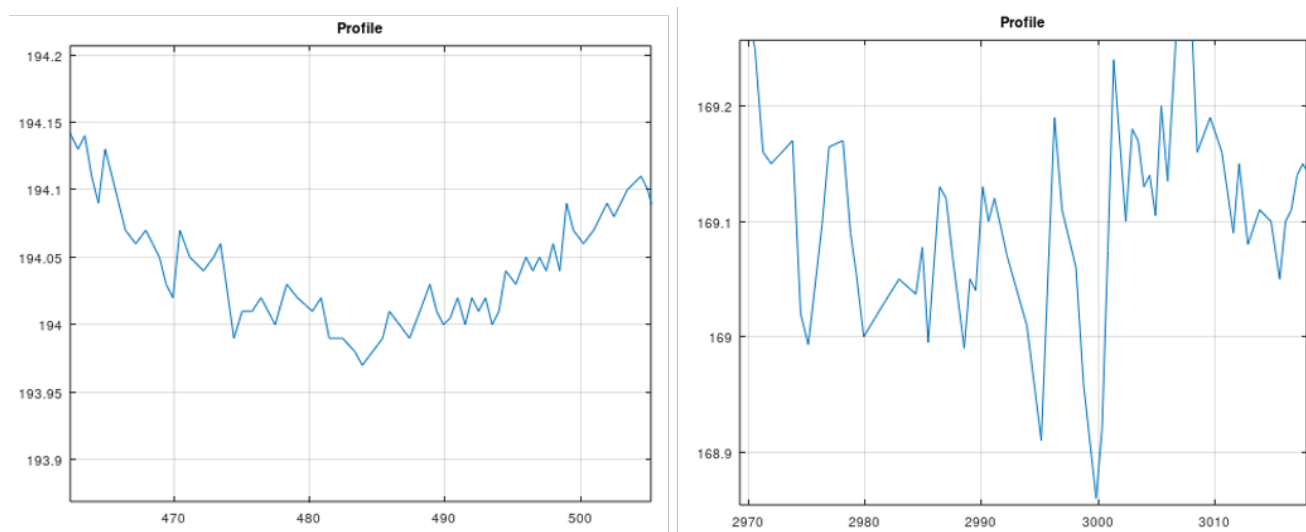
1. Reititin digitointi manuaalisesti
2. Reititin pistetiheytys (Densify by interval)
3. Pisteiden etäisyyksien määrittäminen (Extract vertices)
4. Korkeustietojen poimiminen korkeusmallista (Sample raster values)
5. Peräkkäisten samojen korkeuksien poistaminen siten, että samoja korkeuksia on vähintään kolmasosan matkalta korkeusmallin pikselikoosta (suodatetaan pois lyhyet pikselinurkkien ylitykset)
6. Tunnuslukujen laskeminen: ”alkuperäinen korkeusprofiili”
7. Keskiarvosuodatus tietyin peräkkäisin, limittämättömin suodatusvälein (3 m)
8. Korkeustietojen interpolointi (splini-interpolointi), interpoloinnin pistetiheys $0,1 \cdot \text{suodatusväli}$

9. Tunnuslukujen laskeminen: "lopullinen korkeusprofiili"

Kohdat 5-9 toteutettiin tutkimuksessa omin koodein Octave-ohjelmistoa hyödyntäen. Liitteessä 6 on esitetty hahmotelmaa python-koodista, jolla vastaavaa laskentaa voi tehdä QGIS-ohjelmistossa.



Kuva 35. Reitin korkeusprofiili 0,5 m korkeusmallin perusteella.

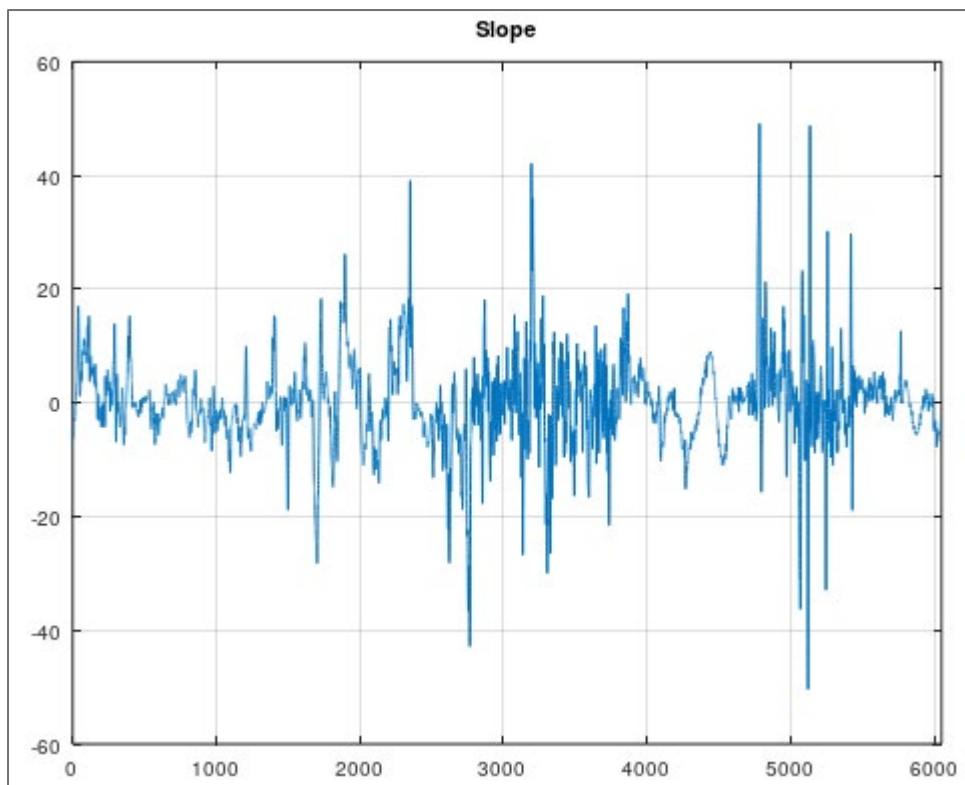


Kuva 36. Edellisen kuvan korkeusprofiilin yksityiskohtia tien (vasemmalla) ja metsän (oikealla) kohdalta.



Kuva 37. Eri korkeusmalliin perustuvien korkeusprofiileja reitin väliltä 2800 -3000 m. Erityisesti MML 10 m malliin perustuvasta profiilista on havaittavissa reitin leikkaavan tiettyjä korkeusmallin pikseleitä vain hieman nurkasta (ks esim. kohta 2850 m), mikä usein aiheuttaa piikin korkeusprofiiliin.

Korkeusprofiilin perusteella voidaan edelleen määrittää reitin kaltevuudet. Perustapa on kaavan 4 mukainen eli kahden peräkkäisen reittipisteen korkeusero jaetaan pisteiden välimatkalla. Käytettäessä spatiaaliselta erotuskyvyltään tarkkaa korkeusmallia perustapa tuottaa kuitenkin niin suuria (tai pieniä) kaltevuuksia ja myös niin suuria vaihteluita peräkkäisiin kaltevuuslukuihin, että näin saaduista kaltevuusluvusta ei ole hyötyä. Korkeusprofiilia onkin syytä jollakin tapaa suodattaa ennen kaltevuuslaskemista. Tässä tutkimuksessa käytetty varsin karkea ja esimerkinomainen suodatustapa esitettiin edellä ja eräs esimerkkireitin tuloskuvaaja on esitetty kuvassa 38. Kaltevuuksia voidaan myös visualisoida paikkatieto-ohjelmiston karttanäkymässä (Kuva 39). Vastaavia visualisointeja voi tietysti myös käyttää reitti- ja reittiluokituskartoissa.



Kuva 38. Reitin kaltevuudet 0,5 m korkeusmallin perusteella. Mukana keskiarvosuodatus ja interpolointi.



Kuva 39. Reitin kaltevuuksien visualisointia: mitä tummemman punainen, sen jyrkempi nousu ja vastaavasti sinisellä alamäen osalta. Taustalla MapAnt-kartta (Ryyppö 2022), jossa on maastokarttaa tiheämpi 2,5 m korkeuskäyrien käyräväli.

Edellä esitettyjen menetelmien olennainen ero perinteisiin maastomittauksiin perustuviin korkeusprofiili- ja kaltevuusmäärittämiin on se, että paikkatietoaineistopohjaisesti on mahdollista tuottaa korkeusprofiileja ja kaltevuustietoja helposti toimistotyönä ja hyvinkin lyhyitä pistevälejä (välimatkoja) käyttäen. Jos voitaisiin olettaa, että paikkatiedot vastaavat tarkasti todellisuutta, lisää tämä tunnuslukujen paikkansapitävyyttä huomattavasti. Eli esimerkiksi kokonaisnousut ja laskut saadaan periaatteessa paikkansapitävämmin selville. Toisaalta, kuten edellä nähtiin, tiheä pisteväli ja suodattamattoman datan käyttö aiheuttaa käytännössä, kun korkeusmallissa on aina epävarmuutta ja virheitä, tunnuslukujen määrittämiseen haasteita ja samalle reitille voidaan saada hyvin erilaisia tunnuslukuja lähtöaineistosta ja laskentatavoista riippuen (Taulukko 5). Taulukon 5 lukuja voi myös verrata luvussa 4.1 ja kuvassa 13 esitettyihin tietoihin.

Taulukko 5. Esimerkkireitin noususumma, keskimääräinen, suurin ja pienin kaltevuus. Samat reittipisteet, eri korkeusmallit. Epävarmuusluvut kattavuuskertoimella 2 (* = keskiarvosuodatus ja interpolointi mukana).

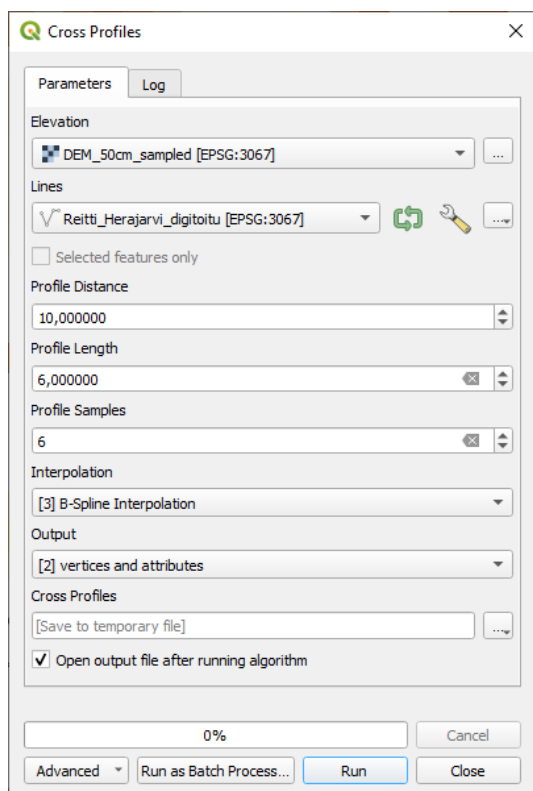
Korkeusmalli	Pisteiden keskimääräinen väli [m]	Noususumma [m]	Keskimääräinen kaltevuus [%]	Suurin kaltevuus [%]	Pienin kaltevuus [%]
Oma 0,5 m	0,5	294 ± 15	4,84 ± 0,25	133,9	-170,3
MML 2 m	1,7	238 ± 7	3,93 ± 0,12	75,4	-60,8
MML 10 m	8,2	268 ± 4	4,42 ± 0,06	55,2	-64,4
Oma 0,5 m*	0,3	155 ± 4	2,56 ± 0,07	49,1	-50,4
MML 2 m*	0,3	160 ± 4	2,65 ± 0,07	61,7	-55,7

4.4.3 Reitin geometriatiedot: poikittaisprofiili ja kaltevuudet

Edellä käsitellyn reitin pituussuuntaisen korkeusprofiilin lisäksi voi olla tarpeen tietää reitin kulkusuuntaan nähden kohtisuoran suunnan korkeustiedot, korkeusprofiili ja kaltevuudet. Erityisesti tämä on tarpeen leveämpien reitin osien osalta ja reitin rakentamisen vaiheessa, mutta nämä tiedot voivat auttaa myös suunnitteluvaiheessa reitin linjausta toimistotyönä hahmoteltaessa.

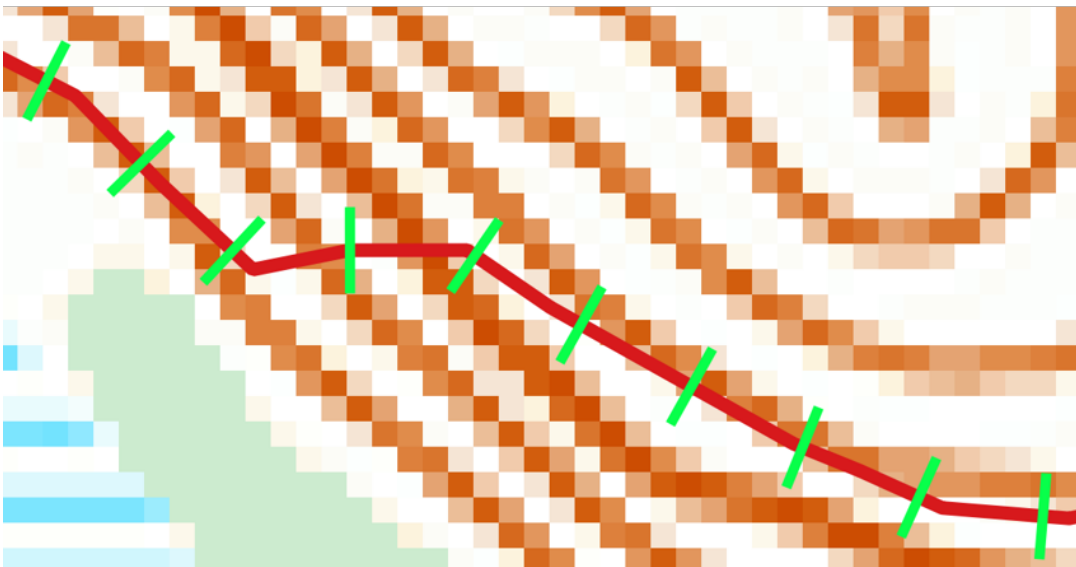
Saga GIS -ohjelmistosta (Conrad ym. 2015) löytyy poikittaisten profiilien määrittämiseen Cross profiles -työkalu. Tätä, kuten muitakin Saga GIS:n laskennallisia prosessointityökaluja, voi helposti käyttää myös QGIS:n kautta. Työkalulla saadaan poimittua (ja interpoloitua) korkeustiedot korkeusmallirasterista halutulla reitin pituussuuntaisella tiheydellä ja sekä halutulta leveydeltä että tiheydellä reitin poikittaissuunnasta (Kuva 40). Näistä korkeuslukemista voidaan edelleen tarvittaessa määrittää korkeusprofiileja ja laskea poikittaissuuntaisia kaltevuuksia.

Selvityksessä kokeiltiin vain korkeuslukemien poiminta (Kuva 41). Poikittaisprofiilien tai kaltevuuksien määrittystä ei tutkittu.



Kuva 40. Reitin poikittaissuuntaisten korkeuslukemien poimintaan soveltuvan työkalun käyttöliittymä.

ID	P1	P2	P3	P4	P5	P6
316	169,6429721100	170,0586143200	170,4446723300	170,8892059300	171,3815227200	171,5985196500
317	169,7334384900	170,0333248500	170,6219032800	170,8292028600	171,2076270400	171,6201687000
318	169,8980094800	170,2390898800	170,6286567000	170,8466705900	171,2411846500	171,7234715100
319	169,2724791300	169,7503491700	170,1405596400	170,3987244700	170,8267233500	171,2085543300
320	169,5713448900	169,9883004400	170,2642812800	170,5018171100	170,7891453400	171,1198760200
321	172,5357959900	172,7897900300	173,0519766400	173,2036669700	173,4985739600	173,7049617500
322	175,0399160900	175,3201973200	175,7282400100	176,2331185300	176,6345731500	177,2024821400
323	175,7486403400	176,2506365200	176,4378117800	177,0294419600	177,6582520100	178,1322496600
324	176,4291116300	176,5351121500	176,8851488200	177,4982255600	177,9698918600	178,4409634300
325	176,4491063000	176,8795347300	177,3044247900	177,6623699400	178,1416729800	178,5003271700
326	176,5385828800	176,9687000100	177,3392509100	177,5737810700	177,9260835000	178,1782968800



Kuva 41. Reitin poikittaissuuntaisia korkeuslukemia reitin kohdista 3160-3260 m (yläkuva). Lukemat on poimittu reitin pituussuunnassa kymmenen metrin välein, kuuden metrin leveydeltä ja poikittaissuunnassa metrin välein. Reitti (punainen) ja poikkileikkauksien kohdat (vihreä) on esitetty alakuvassa MapAnt-kartan (Ryyppö 2022) päällä.

4.4.4 Reitin maastopohjaan liittyviä tietoja

Reitin valmiille teille ja poluille kohdistuvat pituudet voidaan ratkaista Maastotietokannan tieaineiston, reittivyöhykkeen ja QGIS:n Sum Line Lengths sekä Aggregate -prosessointitoimintojen (Liite 3) avulla (Kuva 42). Samoin voidaan tutkia myös vaikkapa päällystettyjen teiden osuudet (Kuva 43). Koska reitti ja Maastotietokannan aineistot eivät välttämättä osu juuri päällekkäin on reittiiviivaa syytä leventää vyöhykkeeksi Buffer-toiminnolla (Liite 3). Vastaavalla tavalla voidaan muiden paikkatietoaineistojen perusteella tutkia reitin osumista muutoin luokitelluille valmiille reiteille, kuten esimerkiksi ulkoilu- ja moottorikelkkareiteille.

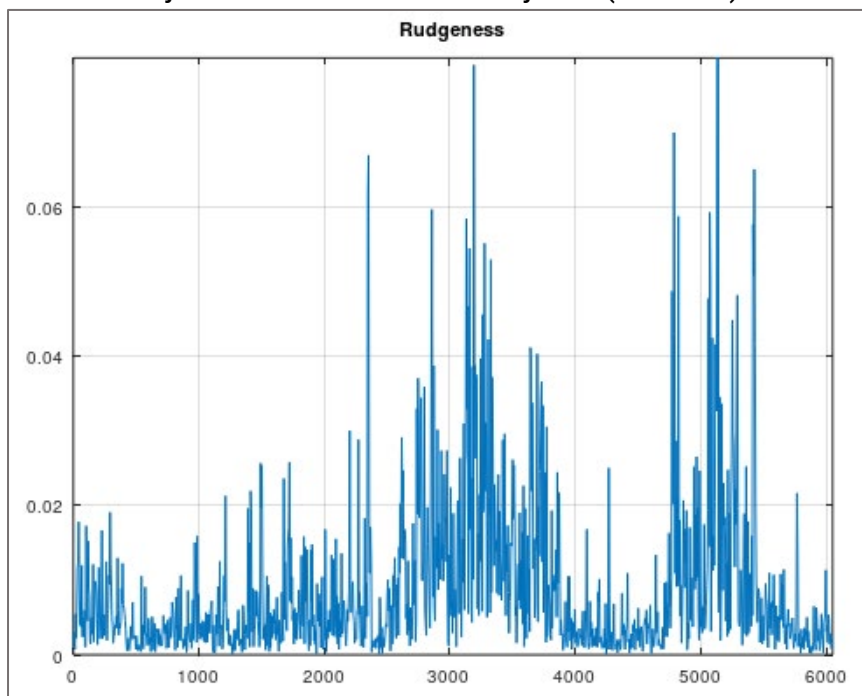
LUOKKA	LENGTH							
1	12121		0	Autotie Ia	Tiestö	Viiva	25	12111
2	12122		0	Autotie Ib	Tiestö	Viiva	25	12112
3	12131	13,41681760961...		Autotie IIa	Tiestö	Viiva	25	12121
4	12132	596,0546484505...		Autotie IIb	Tiestö	Viiva	25	12122
5	12141	55,86991915409...		Autotie IIIa	Tiestö	Viiva	25	12131
6	12312		0	Autotie IIIb	Tiestö	Viiva	25	12132
7	12313	131,8831393895...		Ajotie	Tiestö	Viiva	25	12141
8	12316	1908,060571323...		Lautta	Tiestö	Viiva	25	12151
				Lossi	Tiestö	Viiva	25	12152
				Huoltoaukko ilman puomia	Tiestö	Viiva	25	12153
				Huoltoaukko puomilla	Tiestö	Viiva	25	12154
				Talvitie	Tiestö	Viiva	25	12312
				Polku	Tiestö	Viiva	25	12313
				Kävely- ja pyörätie	Tiestö	Viiva	25	12314
				Ajopolku	Tiestö	Viiva	25	12316

Kuva 42. Reitistä eri tieluokissa: vasemmalla luokkakohtaiset pituudet ja oikealla luokkatiedot (Maanmittauslaitos 2016). Esimerkkireitti näyttäisi kulkevan valmista polkua (Polku-luokan tunnus on 12313) noin 132 m ja Ajopolkua (12316) hieman yli 1900 m.

LUOKKA	LENGTH
1	2705,285095927...
2	248,0987102411...

Kuva 43. Reitistä päällystämätöntä (luokka 1) ja päällystettyä (luokka 2) tietä.

Reitin pohjan epätasaisuutta voidaan suunta-antavasti selvittää tutkimalla korkeusprofiilin vaihtelua. Tutkimuksessa kokeiltiin tätä jakamalla korkeusprofiili viiden metrin mittaisiin osiin, sovittamalla kunkin osan korkeustietoihin ensimmäisen asteen polynomi (eli suora) ja laskemalla sovituksen jäännösvirheiden keskihajonta (Kuva 44).



Kuva 44. Reitin möykkyisyys: mitä korkeampi pylväs, sitä möykkyisempi reitti on kyseissä kohdassa. Verrattaessa reitin karkeaan luokittukseen (Taulukko 6) voidaan havaita ainakin tie- ja metsäosuuksien luokittelun tällä perusteella olevan mahdollista.

Reitin kulkemista erilaisilla maastoalueilla voidaan selvittää esimerkiksi Metsäkeskuksen Metsävarakuviot-aineistoa hyödyntäen. Näistä aineistosta voidaan saada selville esimerkiksi metsä- ja maastotyytit, maalajit, puuston kehitysaste, valtapuulaji ja puuston mittatietoja kuten pituuksia ja läpimittoja (Taulukko 6, Metsäkeskus 2021b, Metsäkeskus 2022).

Taulukko 6. Reitille osuvien luokiteltujen metsäalueiden tietoja.

distance	maingroup	subgroup	developmentclass	soiltype	maintreespecies	fertilityclass	drainagestate
2552,594970628...	1	1	04	12	1	6	1
2592,931497334...	1	1	Y1	10	1	5	1
2605,292587038...	1	1	04	12	1	6	1
2780,443015785...	3	4	NULL	60	NULL	5	6
2852,586527330...	1	1	04	10	1	4	1
2973,808102282...	3	4	NULL	60	NULL	5	6
3158,979846537...	1	1	03	12	1	4	1
3338,431518925...	1	1	03	10	1	5	1
3388,024395238...	2	3	NULL	60	1	4	6
3390,511426685...	1	1	03	12	1	5	1
3401,954094785...	1	1	03	10	1	5	1
3602,846707310...	1	1	03	10	1	5	1
3936,938625704...	1	1	03	10	1	4	1
4064,300812008...	1	1	03	12	1	5	1
4394,258342145...	1	1	03	10	1	3	1

Esimerkiksi ensimmäisen rivin tiedot kertovat esimerkkireitin kulkevan noin 40 m ojittamattomalla mäntykankaalla, jonka maa-aines on karkeasti lajittunutta ja puusto uudistuskypsässä vaiheessa. Vastaavasti reitin kohdasta 2780 m alkaa joutomaaksi luokiteltu neva, jonka maalaji on turve. Metsävarakuvioiden koodit löytyvät internetistä (Metsäkeskus 2022).

4.4.5 Reitin erityiskohteita

Viivamaisten paikkatietojen risteyskohdat saadaan QGIS:ssä Line intersections -toiminnolla (Liite 3). Tämä tuottaa uuden vektorikarttataso, jonka objektit ovat pisteitä. Kasvattamalla (bufferoimalla) nämä alueiksi (Buffer-toiminnolla) ja tutkimalla, mitä tiheennetyn reitin pistettä lähinnä risteyskohta on (Join attributes by location), voidaan edelleen selvittää kunkin risteyspisteen sijainti suhteessa reitin alkukohtaan (Kuva 45). Esimerkiksi reittiviivan ja Maastotietokannan viivamaisten objektien leikkauskohdista voidaan selvittää vaikkapa turvallisuusseikkoja (esim. rautateiden ylitykset), rakennustarpeita (siltoja virtavesien ylityksiin) tai vaikkapa opastustarpeita.

distance ^	LUOKKA
2779,047410254...	30211
2785,527007363...	30211
2963,894431859...	30211
2984,818007546...	30211
4392,660518199...	36311
4716,020024803...	36311

Kuva 45. Risteyskohtien sijainteja reitillä. Esimerkiksi Maastotietokannan luokka 36311 tarkoittaa alle 2 m leveää virtavettä.

4.4.6 Reitien rakentamiseen, käytettävyyteen ja kulumiseen liittyviä erityistietoja

Reitin kaltevuuden suhde maaston kaltevuuteen kyseissä kohdassa eli ns. fall line -analyysi on tarpeellinen reitin kulutuskestävyyden tutkimiseksi (Trailism 2022b). Tähän pätee niin sanottu puolissäntö: reitin kaltevuus saa olla enintään puolet maaston kaltevuudesta. Jos suhdeluku on yli 0,5, on vaarana, että sade- ja sulamisvedet valuvat aina reittiä pitkin, eivätkä hallitusti esim. reitin poikki, kuluttaen näin reittiä nopeasti.

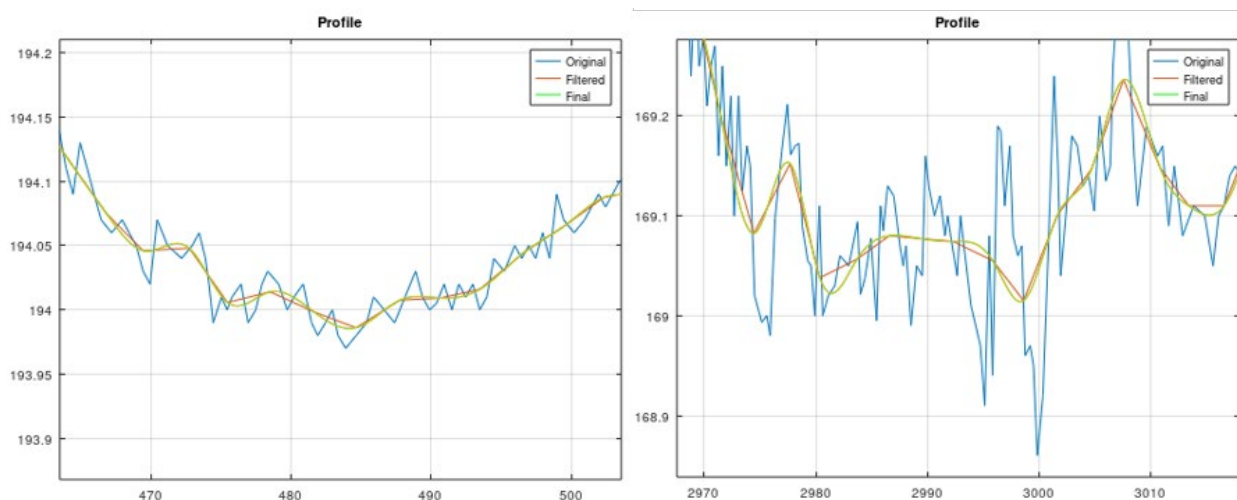
QGIS-ohjelmistolla reitin kaltevuuden suhde maaston kaltevuuteen saadaan ratkaistua esimerkiksi hyödyntäen GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) -kirjaston Slope-prosessointitoimintoa (Liite 3). Tämä ratkaisee korkeusrasterin kunkin pikselin kohdalta maaston suurimman kaltevuuden. Tässä tutkimuksessa maaston kaltevuutta ei poimittu suoraan yksittäisen maastokaltevuusluvun perusteella, vaan jakajana käytettiin suurinta maaston kaltevuutta 10 m matkalta reitin kohdalta. Kaltevuuksien suhdeluku visualisoitiin omana karttatasonaan siten, että reitin eri osat värjättiin suhdeluvun perusteella (Kuva 46).



Kuva 46. Reitien kaltevuuksien suhde maaston kaltevuuteen (fall line / puolissäntöanalyysi: mustasta sinisen kautta punaiseen, kaikki punertavat ovat jo yli 0,5 rajan. Taustalla MapAnt-kartta (Ryypö 2022), jossa on maastokarttaa tiheämpi 2,5 m korkeuskäyrien käyräväli.

Tässä tutkimuksessa ei perusteellisemmin tutkittu maanmuokkaustarpeita reitin osalta eikä arvioitu rakennuskustannuksia. Suuntaa-antavia pohjatietoja voisi kuitenkin saada vaikkapa korkeusprofileista: Olettaen, että alkuperäinen profiili kuvastaa todenmukaisesti maastoa ja

keskiarvosuodatuksen ja interpoloinnin kautta saatu profiili lopullista tavoiteprofiilia, voidaan näiden erotuksista laskea täytettävän ja poistettavan maan määrä (Kuva 47). Yhdistäen tähän jo valmiiden teiden ja polkujen pituudet, tarvittavien (uusien) siltojen lukumäärät jne. voidaan jonkinlainen reitin rakentamissuunnitelma ja kustannusarvio tehdä maastokäyntien pohjatiedoksi. Maastopyöreittien rakentamiskustannuksista löytyy arvioita esimerkiksi lähteistä (Stöckell 2022) ja (Metsähallitus 2015, s. 13).



Kuva 47. Korkeusprofiilin yksityiskohtia tien (vasemmalla) ja metsän (oikealla) kohdalta: alkuperäinen, suodatettu ja sekä suodatettu että interpoloitu profiili. Täytettävää 2977 m matkalla yhteensä 58,8 m³, poistettavaa 3070 m matkalla yhteensä 59,8 m³.

4.5 Kiinteistötunnusten ja suojelukohteiden haku

Jotta reitti voidaan toteuttaa, tarvitaan luvat reitille osuvien kiinteistöjen omistajilta (Suomen Latu 2022). Jotta lupia voidaan hakea, tarvitaan yhteystiedot ja nämä puolestaan voidaan selvittää kiinteistötunnusten avulla. Kiinteistötunnukset voidaan poimia Maanmittauslaitoksen Kiinteistörekisterin palsta-alueaineistosta QGIS:n Join attributes by location -toiminnolla (Liite 3). Näin saadaan kunkin reitille osuvan kiinteistön tunnus vaikkapa reitin kohdan perusteella järjestettynä ja edelleen halutessa vaikkapa reitin kiinteistökohtainen pituus (Kuva 48)

	distance ^	TPTEKSTI
1	0	320-895-2-11
2	11,25578121578...	320-413-21-9
3	357,9250804209...	320-413-21-14
4	392,0973835078...	320-8-9901-0
5	582,9724443201...	320-413-14-18
6	934,8115122343...	320-413-12-10
7	1080,471439334...	320-8-9903-0
8	1331,544015880...	320-413-23-19
9	1498,478712237...	320-8-8110-3
10	1513,229517431...	320-8-8110-4
11	1561,024000020...	320-413-12-10

Kuva 48. Reitille osuvien kiinteistöjen kiinteistötunnukset kiinteistön ”alkamiskohdan” mukaan järjestettynä. Taulukosta voidaan edelleen laskea kullekin kiinteistölle osuvan reitin pituus.

Suojellut tai virkistystarkoituksiin varatut luonnonkohteet, kuten kansallispuistot, erämaa-alueet, luonnonsuojelualueet ja muinaisjäänökset, sekä liikkumisrajoituksia sisältävät erityiskäyttöalueet löytyvät Maastotietokannasta. Niiden sijainti suhteessa reittiin voidaan tutkia ja raportoida kuten muidenkin aluemaisten tai pistemäisten kohteiden. Esimerkkinä käytetyn Herajärven reitin alueella näitä ei kuitenkaan ollut.

Pistemäisten paikkatietojen, kuten esimerkiksi muinaisjäänösten tai lajihavaintojen, etäisyydet reittipisteisiin voidaan ratkaista QGIS:n Distance to nearest hub (points) -toiminnolla (Liite 3). Kun etäisyydet on selvitetty, voidaan tulokset esittää eri tavoin: Esimerkiksi lajihavaintojen etäisyydet reitistä voidaan raportoida reitin etenemän, etäisyyden tai uhanalaisuuden mukaan järjestettynä (Kuva 49).

HubDist ^	fmtTxnNm	redLstStat	HubDist	fmtTxnNm	redLstStat ^
5,797915...	isolepinkäinen — <i>Lanius excubitor</i>	LC (2019)	36093,36...	apilakirjokääriäinen — <i>Capricornia bo...</i>	CR (2019)
5,797915...	suopöllö — <i>Asio flammeus</i>	LC (2019)	7870,188...	harjus — <i>Thymallus thymallus</i>	CR (2019)
20,58897...	Cichorieae	NULL	1214,145...	tervapääsky — <i>Apus apus</i>	EN (2019)
37,22816...	ruostesiipi — <i>Phragmatobia fuliginosa</i>	LC (2019)	1214,145...	räystäspääsky — <i>Delichon urbicum</i>	EN (2019)

Kuva 49. Lajihavaintojen etäisyyksiä (HubDist [m]) reitistä. Vasemmalla lähimpinä olevat, oikealla uhanalaisimmat (LC = elinvoimainen, CR = äärimmäisen uhanalainen ja EN = erittäin uhanalainen).

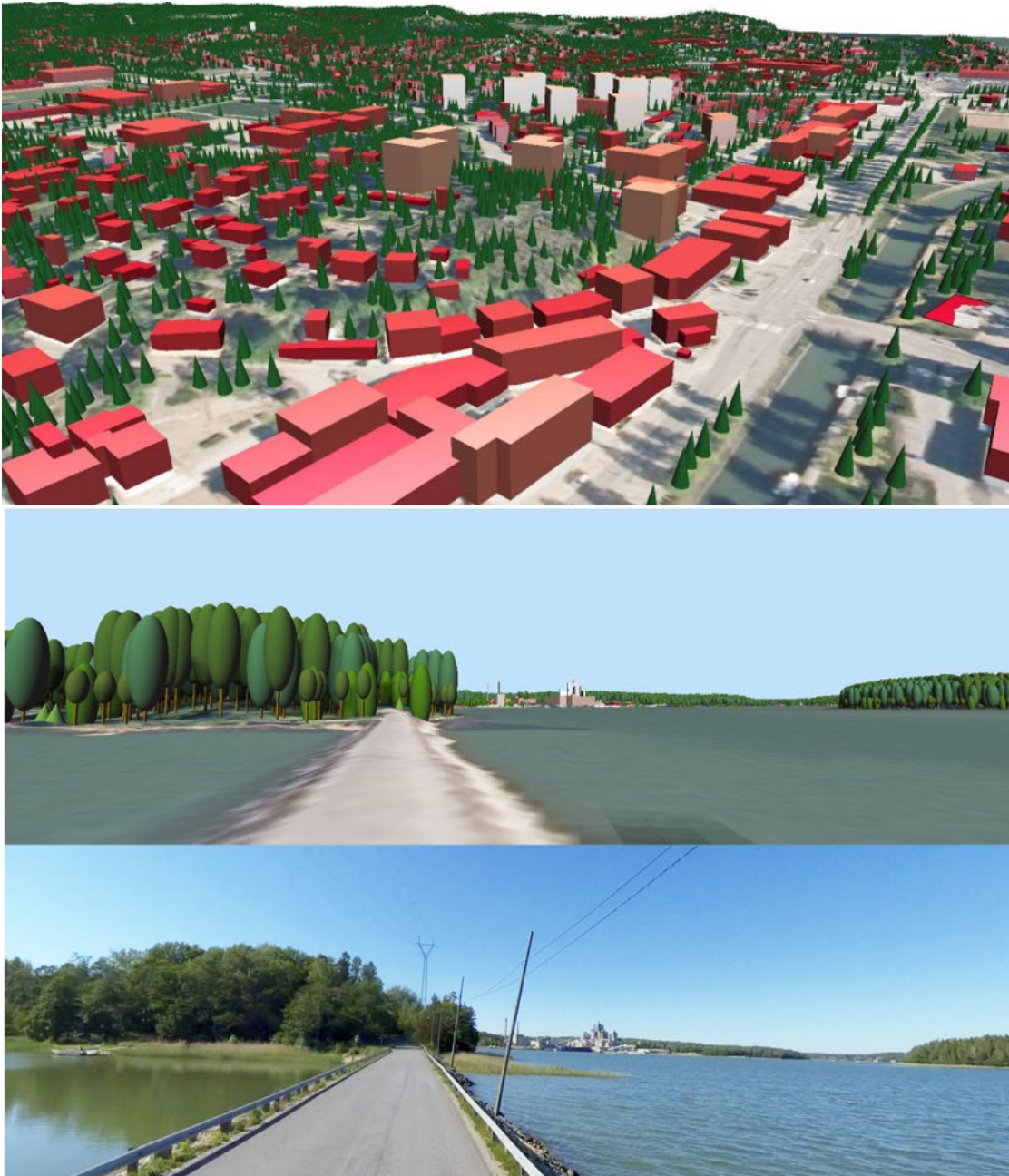
4.6 Maastopyöräreitin esittely ja esittäminen

Maastopyöräreitin esittelyaineistojen, kuten opaskarttojen tuottaminen ei varsinaisesti enää liity suunnittelutyöhön, mutta erilaisista visualisoinneista ja jopa 3D-mallinnoista voi kyllä olla hyötyä

myös suunnitteluvaiheessa. Usein reitin suunnittelija myös laatii visualisoinnit, joten tässä luvussa esitetään muutamia kommentteja tähänkin aiheeseen.

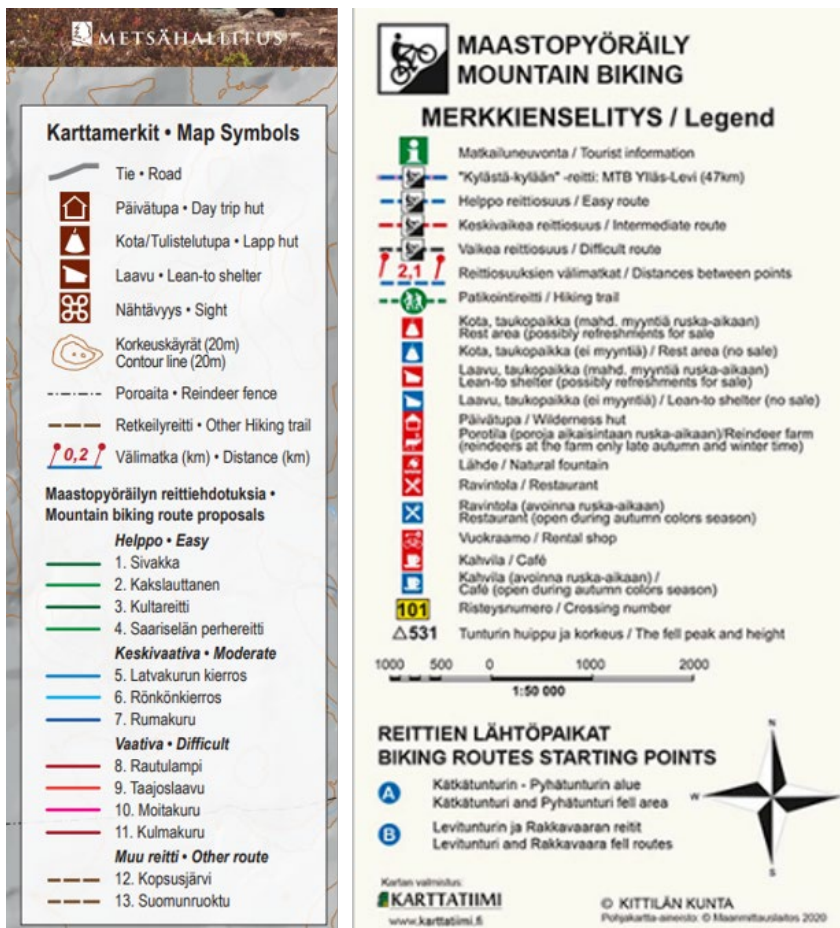
Sähköisiin karttoihin voidaan liittää kuvaustekstejä, kuvia ja vaikka videoita vaikkapa reitin tiettyihin pisteisiin linkitettyinä. Esimerkkejä tällaisista pisteistä voisivat olla vaikkapa lähtöpaikka, taukopaikat ja nähtävyydet. QGIS-ohjelmiston osalta ulkoisten tiedostojen linkittämisessä voi lähteä liikkeelle tutkimalla QGIS-ohjeistuksista vektorikarttatasojen ominaisuuksiin liittyviä Actions- ja Display-kohtia.

Suunnittelijaa voi auttaa erilaiset 3D-visualisoinnit ja -mallinnukset. QGIS on 3D-visualisointien osalta vielä hieman rajoittunut, mutta näitäkin toimintoja ollaan kehittämässä ja lisäämässä (Kuva 50).



Kuva 50. Puuston ja rakennusten korkeuksien sekä maiseman automaattista mallinnusta QGIS-ohjelmistolla (Robertsson 2022).

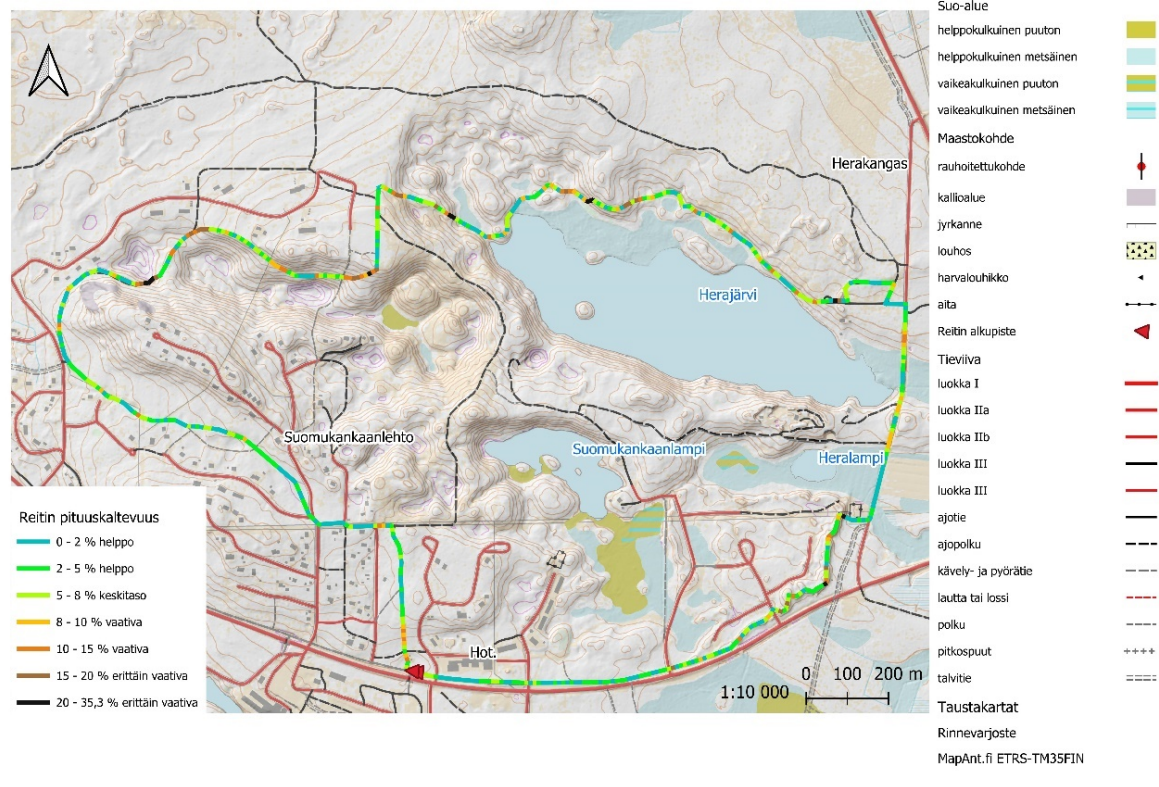
Valmiiden reittien esittäminen opaskarttana, joko sähköisenä tai paperitulosteena, tulee ajankohtaiseksi, kun reitti on valmis. Reittikartoissa on tapana esittää selittein (Kuva 51) erilaista tietoa reitistä ja sen vaativuudesta, reitin varrella olevista kohteista sekä esimerkiksi tyyppitietoja niistä poluista tai teistä tyytit, joita pitkin reitti kulkee.



Kuva 51. Pyöräilykarttojen selitteitä. Vasemmalla Saariselän maastopyöräilyoppaan (Metsähallitus 2020) ja oikealla Levin alueen maastopyöräilykartan (Kittilän kunta 2021) selite.

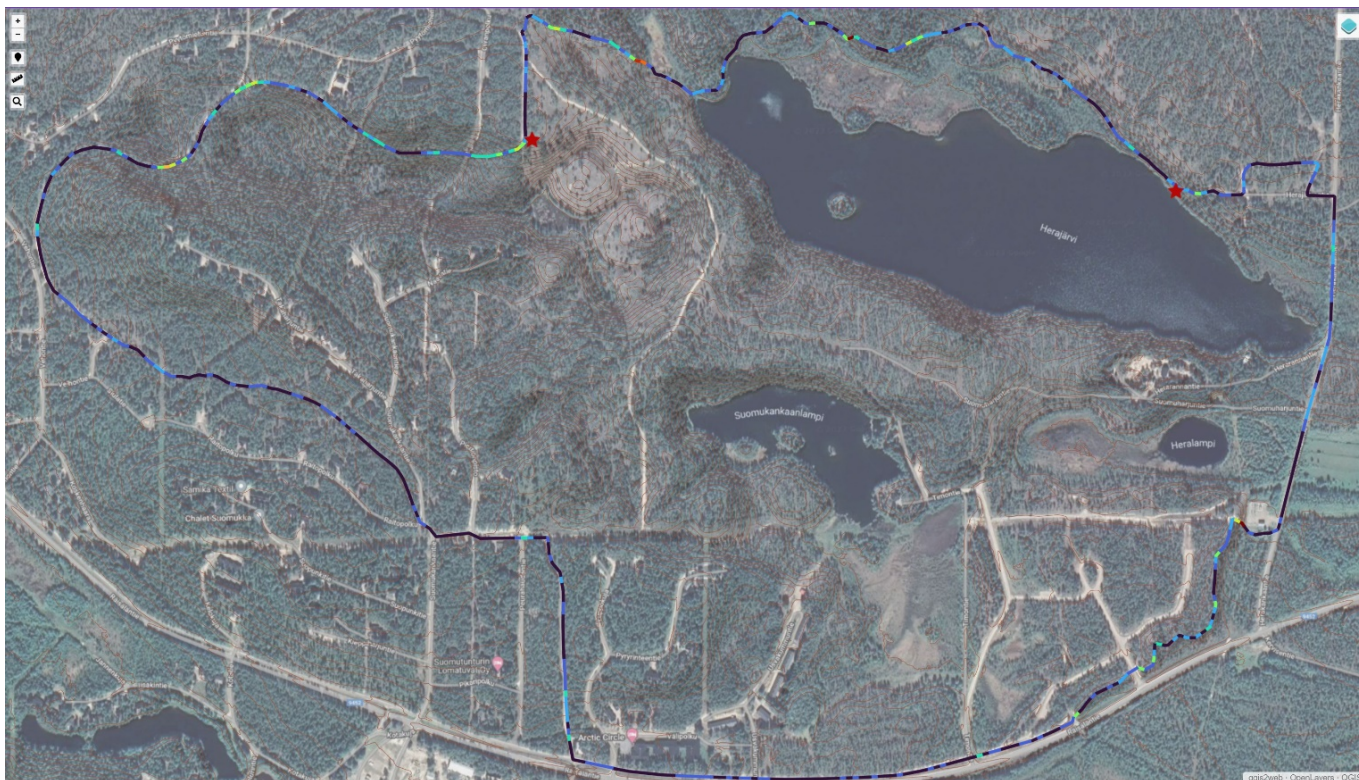
QGIS-ohjelmistossa opas-/reittikartan teko selitteineen onnistuu helposti taittoiminnolla, jonka avulla projektin tasojen näkymät ja tiedot voidaan viedä selitekenttiin ja muokata niitä halutuiksi (Kuva 52). Kartan taittonäkymässä on paljon erilaisia toimintoja, joilla kartan visuaalista ilmettä ja informatiivisuutta voidaan korostaa.

Suomutunturi - Herajärven maastopyöräilyreitti

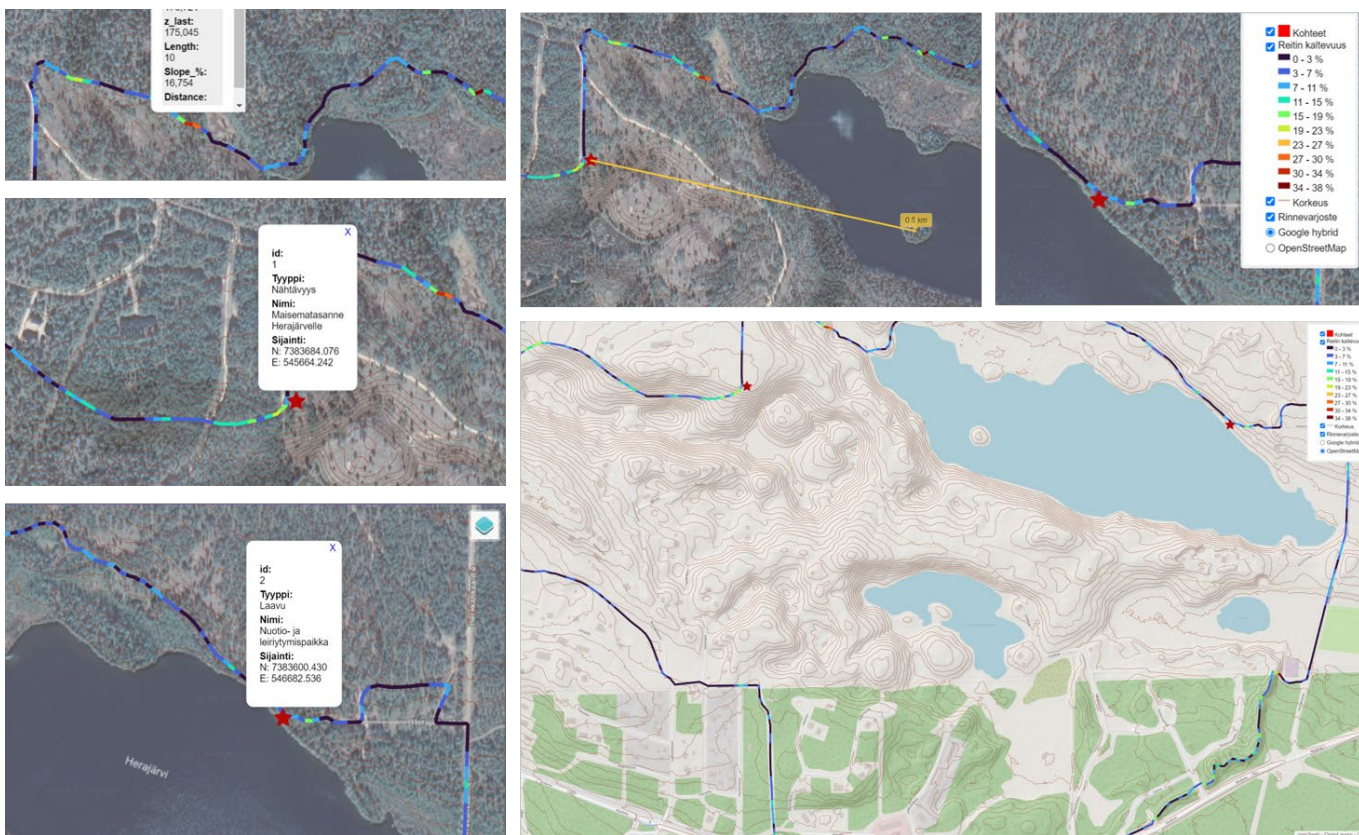


Kuva 52. Herajärven reitistä QGIS:llä luotu esimerkki reittikartta

QGIS:llä tehty reittikartta voidaan myös helposti julkaista internet-sivuille ja päivittää sitä myös tarpeen mukaan. Yksi hyödyllinen verkkokarttojen julkaisuun tarkoitettu QGIS-lisäosa on QGIS2Web, jonka avulla voidaan julkaista OpenLayers, Leaflet tai Mapbox GL JS verkkokarttoja. Tässä esimerkissä verkkokartta on tuotettu OpenLayers toiminnolla (Kuva 53). Karttajulkaisuun voidaan valita halutut QGIS-projektin tasot, joissa voi olla tietoa kohteista, jotka saadaan näkyviin julkaistua karttaa klikkaamalla. Verkkokartan käyttäjä voi esimerkiksi mitata etäisyyksiä, vaihtaa näkyvissä olevia tasoja, tarkastella kartalla olevia kohteita (Kuva 54) tai nähdä oman sijaintinsa kartalla.



Kuva 53. OpenLayers Webmap Google Hybrid taustakartalla Herajärven reitin alueelta, johon on valittu valikkotyökaluiksi zoomaus, sijainti, mittatyökalu ja hakutoiminto.



Kuva 54. Verkkokarttaan voi laittaa erilaisia toimintoja ja tietokenttiä kohteista käyttäjiä varten.

5. Yhteenveto ja ehdotukset jatkotoimenpiteiksi

Maastopyöräilyreittien suunnittelu QGIS:llä on tehokas tapa hyödyntää avoimia paikkatietoaineistoja reittien suunnittelussa. Ennen suunnittelun aloittamista on tärkeää ottaa huomioon kaavoitus- ja lupalainsäädäntö sekä muut maastoon liittyvät tekijät, kuten maaperä ja maanpeite, maaston kosteus ja kuluminen, pintavesien valuminen, metsätyypit ja korkeusvaihtelut.

QGIS:ssä on useita prosessointityökaluja, jotka voivat auttaa reitin suunnittelussa ja lisäksi käyttäjä voi luoda omia työkaluja, joka mahdollistaa ohjelman laajentamisen ja mukauttamisen reittisuunnittelun tarpeisiin. Tehtyjen kokeilujen pohjalta sopivien työkalutoimintojen yhdistäminen yhteen ohjelmistoon helpottaisi suuresti reittisuunnittelun parissa työskentelyä ja mahdollistaisi reittien suunnittelun nopeammin ja tarkemmin ilman varsinaisia maastokäyntejä.

Visiona voisikin olla sellainen reittisuunnittelun ohjelmisto tai QGIS-lisäosa, joka mahdollistaa kaikkien tarvittavien tausta-aineistojen automaattisen käytön, kun käyttäjä rajaa alueen. Lisäksi ohjelmisto tekee tarvittavat pohja-analyysit valmiiksi ja mahdollistaa reitin piirtämisen ja muokkaamisen siten, että reittiin liittyvät tunnusluvut ja mahdolliset kuvaajat, kuten korkeusprofiili, päivittyvät reaaliaikaisesti tai napin painalluksella. Käyttäjä voi myös laatia eri reittivaihtoehtoja helposti ja vertailla niitä ilman, että joutuu piirtämään koko reitin uudelleen. Ohjelmisto sisältää erilaisia reittisuunnitteluapureita, kuten raster_tracer, eri karttatasojen viivojen poiminnan ja least coast path -kaltevuuslaskurin. Raportit ja opaskartat voidaan luoda automaattisesti, ja ohjelmisto mahdollistaa myös 3D-visualisointien ja virtuaalireittivideoiden luomisen. Tällainen ohjelmisto voisi olla hyödyllinen työkalu reittiensuunnittelun lisäksi myös esimerkiksi matkailun markkinoinnissa, kaupunkisuunnittelussa ja miksei kaavoituksenkin apuna. Ohjelmisto olisi hyödyllinen erityisesti silloin, kun tarvitaan tarkkaa ja ajantasaista paikkatietoa, joka voidaan yhdistää monipuoliseen analyysiin ja visualisointiin. Ohjelmistoa voisi myös kehittää edelleen esimerkiksi integroimalla siihen uusia reittisuunnittelutyökaluja tai lisäämällä mahdollisuuden käyttää tekoälyä reittien optimoimiseen.

LÄHTEET

- American Trails 2022. Why trails? Viitattu 21.12.2022. <https://www.americantrails.org/why-trails>.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V. & Böhner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
- Google 2022. Earth versiot. Viitattu 21.12.2022. <https://www.google.com/intl/fi/earth/versions/>.
- Haulo, M. 2022. Jälki: kartta- ja reittipalvelu pyöräilyharrastajille. Viitattu 21.12.2022. <https://www.xn--jilki-loa.fi/>.
- Kaikkonen H., Virkkunen V., Kajala L., Erkkonen J., Aarnio M. & Korpelainen R. 2014. Terveyttä ja hyvinvointia kansallispuistoista - Tutkimus kävijöiden kokemista vaikutuksista. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 208. Vantaa: Metsähallitus. 65 s. Viitattu 21.12.2022. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1746>.
- jalki.fi 2022. Suomotunturi / Kemijärvi | Herajarven ympärilenkki. Viitattu 21.12.2022. <https://jalki.fi/routes/3982-suomotunturi-kemijarvi-herajarven-ymparilenkki>
- Kittilän kunta 2021. Levin alueen pyöräilykartta. Viitattu 21.12.2022. <https://kittila.fi/sites/default/files/2021-08/Levin%20alueen%20py%C3%B6r%C3%A4ilykartta%202020.pdf>
- Konu H., Neuvonen M., Mikkola J., Kajala L., Tapaninen M. & Tyrväinen L. 2021. Suomen kansallispuistojen virkistyskäyttö 2000-2019. Vantaa: Metsähallitus. 131 s. Viitattu 21.12.2022. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/2627>.
- Latja, P. 2022a. Pallas-Yllästunturin kansallispuiston kävijätutkimus 2021. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B 266. Vantaa: Metsähallitus. 111 s. Viitattu 21.12.2022. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/2648>.
- Latja, P. 2022b. Pallas-Yllästunturin kansallispuiston kävijätutkimus 2021 – Tiivistelmä. Vantaa: Metsähallitus. 21 s. Viitattu 21.12.2022. <https://julkaisut.metsa.fi/fi/julkaisut/show/2647>.
- Liikuntakaavoitus 2018. Ideakortti 12 - Maastopyöräilyreittien suunnittelu. Viitattu 21.12.2022. http://liikuntakaavoitus.fi/wp-content/uploads/2018/08/Ideakortti12_maastopyorailyreitit-2_1.pdf.
- Luonnonvarakeskus 2022a. Luonnon virkistyskäytön valtakunnallinen inventointi 3. Viitattu 21.12.2022. <https://www.luke.fi/en/node/7876>.
- Luonnonvarakeskus 2022b. Suomalaisten ulkoiluaktiivisuus säilynyt korkeana – luontoalueet entistä aktiivisemmassa ja monipuolisemmassa käytössä. Viitattu 21.12.2022. [Suomalaisten ulkoiluaktiivisuus säilynyt korkeana – luontoalueet entistä aktiivisemmassa ja monipuolisemmassa käytössä | Luonnonvarakeskus \(luke.fi\)](https://www.luke.fi/luonnonvarakeskus/luonnonvarakeskus-suomalaisten-ulkoi-aktiivisuus-sailyntynyt-korkeana-luontoalueet-entista-aktiivisemmassa-ja-monipuolisemmassa-kytossa).
- Luonnonvarakeskus 2022c. Tutkimustulostietokannat: Ulkoilu. Viitattu 21.12.2022. <https://px.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/Ulkoilu>.

- Maanmittauslaitos 1995. Maastotietojen laatumalli. Viitattu 21.12.2022.
https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Maastotietojen_laatumalli.pdf.
- Maanmittauslaitos 2016. Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/maastotietokohteet.pdf>.
- Maanmittauslaitos 2017. Kansallisen maastotietokannan laatumalli: korkeusmallit. Viitattu 21.12.2022.
https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/05/KMTK_korkeusmallit_laotukasikirja_2017-01-02.pdf.
- Maanmittauslaitos 2020. Kansallisen maastotietokannan laatumalli: ilmapistepilvi. Viitattu 21.12.2022.
https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2020/02/KMTK_ilmapistepilvi_laotukasikirja_2020-02-18.pdf.
- Maanmittauslaitos 2022a. Laserkeilausaineisto 0,5 p. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantunnevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto-05-p>.
- Maanmittauslaitos 2022a. Laserkeilausaineisto 5 p. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantunnevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laser-scanning-data-5-p>.
- Maanmittauslaitos 2022b. Laserkeilausaineisto 0,5 p (2008-2019). Viitattu 21.12.2022.
<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantunnevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>.
- Maanmittauslaitos 2022c. Tiedostopalvelu. Avoin_laseraineisto5p. Viitattu 21.12.2022.
https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/julkinen/lataus/tuotteet/Avoin_laseraineisto5p.
- Mansikkaviita R. (toim.) 2019. Polku luontoon! Näkökulmia yhdenvertaisen luontoliikunnan edistämiseen. Luontoliikkujien poluilla. Vantaa: Metsähallitus. 44 s. Viitattu 21.12.2022.
<https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/2369>.
- Metsähallitus 2015. Maastopyöräilyn olosuhdetyö Metsähallituksessa. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.suomenlatu.fi/media/vaikuta/pyorailytiedostot/aaa-ohjeita-reittien-kehittajille/aa-maastopyorailyn-olosuhdetyo-metsahallituksessa.pdf>
- Metsähallitus 2020. Saariselkä - Maastopyöräilyopas. Viitattu 21.12.2022.
<https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/lp/Esitteet/saariselka-maastopyorailyopas.pdf>.
- Metsähallitus 2022a. Kansallispuistojen terveyshyötyjä. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.luontoon.fi/terveyttajahyvinvointialuonnosta>.
- Metsähallitus 2022b. Kansallispuistojen, valtion retkeilyalueiden ja eräiden muiden suojelu- ja virkistysalueiden kävijöiden rahankäytön paikallistaloudelliset vaikutukset vuonna 2021. 2 s. Viitattu 21.12.2022. https://www.metsa.fi/wp-content/uploads/2022/03/Ptvaikutukset_2021.pdf
- Metsähallitus 2022c. Kansallispuistot ja retkeilyalueet tärkeitä paikallistaloudelle. Viitattu 21.12.2022. <https://www.metsa.fi/vapaa-aika-luonnossa/hyvinvointia-luonnosta/taloushyotyja-luonnosta/kansallispuistojen-hyotyja-paikallistalouteen/>.

Metsähallitus 2022d. Terveyttä ja hyvinvointia luonnosta. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.metsa.fi/vapaa-aika-luonnossa/hyvinvointia-luonnosta/luonto-ja-terveys/kansallispuistojen-terveyshyotyja/>.

Metsäkeskus 2021a. Tietotuotekuvaus – Hila-aineisto. Viitattu 16.3.2023.
<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tietotuotekuvaus-hila-aineisto.pdf>

Metsäkeskus 2021b. Tietotuotekuvaus – Metsävarakuviot. Viitattu 16.3.2023.
<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tietotuotekuvaus-metsavarakuviot.pdf>

Metsäkeskus 2022. Metsävarakuvioiden ja erityisen tärkeiden elinympäristökuvioiden tietokantakuvaus. Viitattu 16.3.2023.
https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/mvjaete-koodisto-ja-tietokantakuvaus_0.xlsx

MTBreitti 2022. Suomen parhaat maastopyöräreitit. Viitattu 21.12.2022. <https://mtbreitti.fi/>.

Neuvonen, M., Lankia, T., Kangas, K., Koivula, J., Nieminen, M., Sepponen, A-M., Store, R. & Tyrväinen, Liisa 2022. Luonnon virkistyskäyttö 2020. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus -sarja 41/2022. Helsinki: Luonnonvarakeskus (Luke). 112 s. Viitattu 21.12.2022.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-429-6>.

Octave 2022. One-dimensional Interpolation. Viitattu 21.12.2022.
https://docs.octave.org/v7.3.0/One_002ddimensional-Interpolation.html.

Outdoor Industry Association 2022. Viitattu 21.12.2022.
<https://outdoorindustry.org/collections/research/research-news/>.

Pyrrö, P. & Nousiainen, A. 2020. Opas Maastopyöräreitin perustamiseen. Helsinki: Suomen Latu. 8 s. Viitattu 21.12.2022.
https://www.suomenlatu.fi/media/opas_maastopyorareitin_perustamiseen_netti.pdf.

QGIS 2022. Vapaa avoimen lähdekoodin paikkatieto-ohjelmisto. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.qgis.org/fi/site/>.

Riikonen, T. & Rautiainen, A. 2017a. Maastossa olevien ulkoilureittien monikäyttö: nykytila, esteet ja mahdollisuudet. Viitattu 21.12.2022. <https://www.suomenlatu.fi/media/ulkoilureittien-monikaytto.pdf>.

Riikonen, T. & Rautiainen, A. 2017b. Maastossa olevien ulkoilureittien ylläpitäjän vastuu, yrittäjän vastuu ja ulkoilijan omavastuu. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.suomenlatu.fi/media/maastossa-olevien-ulkoilureittien-vastuut.pdf>.

Robertsson 2022. Puuston ja rakennusten korkeuden mallintaminen. Mallintamisen projektin tekninen raportti. Lapin amk. Ei julkinen.

Ryppö, J., Svensk, J. & Troeng, M. 2022. MapAnt. Viitattu 21.12.2022. <https://www.mapant.fi/>.

Suomen Latu 2022. Maastopyöräilyn olosuhteiden kehittäminen. Viitattu 21.12.2022.
<https://www.suomenlatu.fi/vaikuta/sina-voit-vaikuttaa/vinkkeja-ulkoilupaikkojen-suunnitteluun/maastopyoraily/aaa-ohjeita-reittien-kehittajille.html>.

- Stöckell, H. 2022. Maastopyöräilyolosuhteiden suunnittelu. Viitattu 21.12.2022. http://www.liikenneturvallisuus.info/application/files/2016/5347/0823/Maastopyorailyolosuhteiden_suunnittelu-pakattu.pdf.
- Talent Vectia 2013. Luonnon hyvinvointivaikutusten taloudellinen merkitys, Helsinki: Sitra. 50 s. Viitattu 21.12.2022. <https://www.sitra.fi/julkaisut/luonnon-hyvinvointivaikutusten-taloudellinen-merkitys/>.
- The International Mountain Bicycling Association 2018. Guidelines for a Quality Trail Experience. Viitattu 21.12.2022. <https://www.imba.com/sites/default/files/2021-06/GQTE%20Digital%20Book%20Rev%206.11.18%20Low%20Rez.pdf>.
- Trailism 2022a. 10 Most Common Trail Building Mistakes. Viitattu 21.12.2022. <https://trailism.com/10-most-common-trail-building-mistakes/>.
- Trailism 2022b. Trail Grades (and outslope). Viitattu 21.12.2022. <https://trailism.com/trail-grades/>.
- U.S. Forest Service 2016. Trail Fundamentals and Trail Management Objectives. Viitattu 21.12.2022. https://www.fs.usda.gov/recreation/programs/trail-management/documents/trailfundamentals/1623-3801_TrailFdml+TMO_Sec508_11-14-16_150dpi.pdf
- Vasankari, T. & Kolu, P. (toim.) 2018. Liikkumattomuuden lasku kasvaa - vähäisen fyysisen aktiivisuuden ja heikon fyysisen kunnan yhteiskunnalliset kustannukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 31. Viitattu 21.12.2022. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-535-8>.
- Vähäsarja V. 2014. Luontoympäristön terveys- ja hyvinvointivaikutusten taloudellinen arvottaminen. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 210. Vantaa: Metsähallitus. 76 s. Viitattu 21.12.2022. <https://julkaisut.metsa.fi/en/publications/show/1748>.
- Väylävirasto 2022. Digiroad. Tietolajien kuvaus 3/2022. Viitattu 21.12.2022. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Tie/Digiroad/Aineistojulkaisut/latest/Julkaisudokumentit/Tietolajien_kuvaus_3_2022.pdf.
- Whitebox Geospatial Inc 2022a. Innovative geospatial software built on open-source. Viitattu 21.12.2022. <https://www.whiteboxgeo.com/>
- Whitebox Geospatial Inc 2022b. WhiteboxTools User Manual. Viitattu 21.12.2022. https://www.whiteboxgeo.com/manual/wbt_book/available_tools/lidar_tools.html?highlight=trees#individualtreedetection

LIITTEET

Liite 1 Avoimia paikkatietoaineistoja

Taulukko 7. Reittisuunnittelun eri tarpeisiin soveltuvia avoimia paikkatietoaineistoja ja niiden lähteitä. Lähteiden tarkemmat tiedot esitetään taulukon alla.

Käyttötarve / saatava tieto	Aineisto	Lähde
Reitin pituus	Reittipiirros	
Reitin osapituudet kunnittain	Kuntarajat / -alueet	MML: Maastotietokanta
Reitin osapituudet suojelualueittain Etäisyydet muinaisjäänöksistä	Suojelualueet	MML: Maastotietokanta
Kaavoitustiedot	Inspire -Maakuntakaavat rajapinta tai ladattava tiedosto	Lounaistieto: Maakuntakaavat
Kaavoitustiedot	Maankäyttö ja kaavoitus	SYKE: Lapio
Liikkumisrajoitukset	Eryityskäyttöalueet	MML: Maastotietokanta
Maastopohja, mm. suot	Maasto 1 Maanpeiteaineistot (Corine)	MML: Maastotietokanta SYKE: Lapio
Korkeustiedot, reittiprofiili, kaltevuudet	Korkeusmalli	MML: Korkeusmalli 2 m
Korkeustiedot, latvusmalli	Laserkeilausaineisto	MML: Stereomalliluokiteltu
Tie- ja polkuluokat, päällyste	Tiet viivoina (L_xxxx_v.shp)	MML:Maastotietokanta
Ratojen ylitykset	Rautatiet	MML: Maastotietokanta
Sillat ja niiden pituudet		Väylä: Taitorakennerekisteri
Ojien yms. ylitykset ja leveydet	Virtavedet	MML: Maastotietokanta
Luvitus	Yksityistiet	Digiroad
Luvitus	Kiinteistötunnukset	MML: Kiinteistörekisteri
Lajihavaintojen etäisyydet reitistä	Lajihavainnot ja uhanalaisuusluokitukset	Laji-info
Tulentekopaikat	Rakennukset	MML: Maastotietokanta
Ulkoilureitit ja -alueet, erämaa-alueet, leiriytyminen yms.	Liikuntapaikat, ulkoilureitit ja virkistysalueet	LIPAS
Maaperätiedot, geologia, vedenläpäisevyys	Maaperä, kallioperä	GTK: Rajapintapalvelu
Kosteusindeksit	Vesiensuojelu/kosteusindeksi	Metsäkeskuksen rajapinnat
Valuma-alueet, sulamisvedet, pintavesien virtaus	Pintavesien virtausverkko/virtausmalli	Metsäkeskuksen rajapinnat
Maisema, metsä- ja puustotietoja	Metsävarakuviot, metsämaski, latvusmallirasteri	Metsäkeskuksen paikkatietoaineistot
Näkymäanalyysit, viihtyvyyksindeksit, 3D mallinnukset	Laserkeilausaineisto, ortoilmakuvat, latvusmalli	MML: Stereomalliluokiteltu Metsäkeskuksen paikkatietoaineistot

MML: Maanmittauslaitoksen avoimet aineistot

<https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu>

Lounaistieto: Lounais-Suomen alueellinen tietopalvelu

<https://www.lounaistieto.fi/maakuntakaavat/>

SYKE: Suomen ympäristökeskuksen latauspalvelu LAPIO

<https://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>

Väylä: Väyläviraston latauspalvelu

<https://julkinen.vayla.fi/oskari/>

Digiroad: Väyläviraston kansallinen tie- ja katuverkon tietojärjestelmä

<https://vayla.fi/vaylista/aineistot/digiroad>

Laji-info: Suomen lajitietokeskuksen lajitietokanta

<https://laji.fi/observation/list>

LIPAS: Jyväskylän yliopiston valtakunnallinen paikkatietokanta liikuntapaikoista, ulkoilureiteistä ja virkistysalueista

<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/78293>

GTK: Geologian tutkimuskeskuksen rajapintapalvelu

<https://www.gtk.fi/palvelut/aineistot-ja-verkkopalvelut/rajapintapalvelut/>

Metsäkeskuksen rajapinnat

<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/aineistot-paikkatieto-ohjelmille/rajapinnat>


<http://aineistot.metsakeskus.fi/metsakeskus/rest/services>

Metsäkeskuksen paikkatietoaineistot

<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/aineistot-paikkatieto-ohjelmille/paikkatietoaineistot>

Liite 2 Korkeusmallirasterin luonti

Ohje sivulta <http://prodigious.tamk.fi/koulutukset/>

 Rasterize

Grid

step

size 4485 x 2765 (12 401 025 cells)

active layer

range 210.09 [0 ; 210.09]

Projection

direction

cell height

interpolate SF(s)

resample input cloud

Empty cells

Fill with

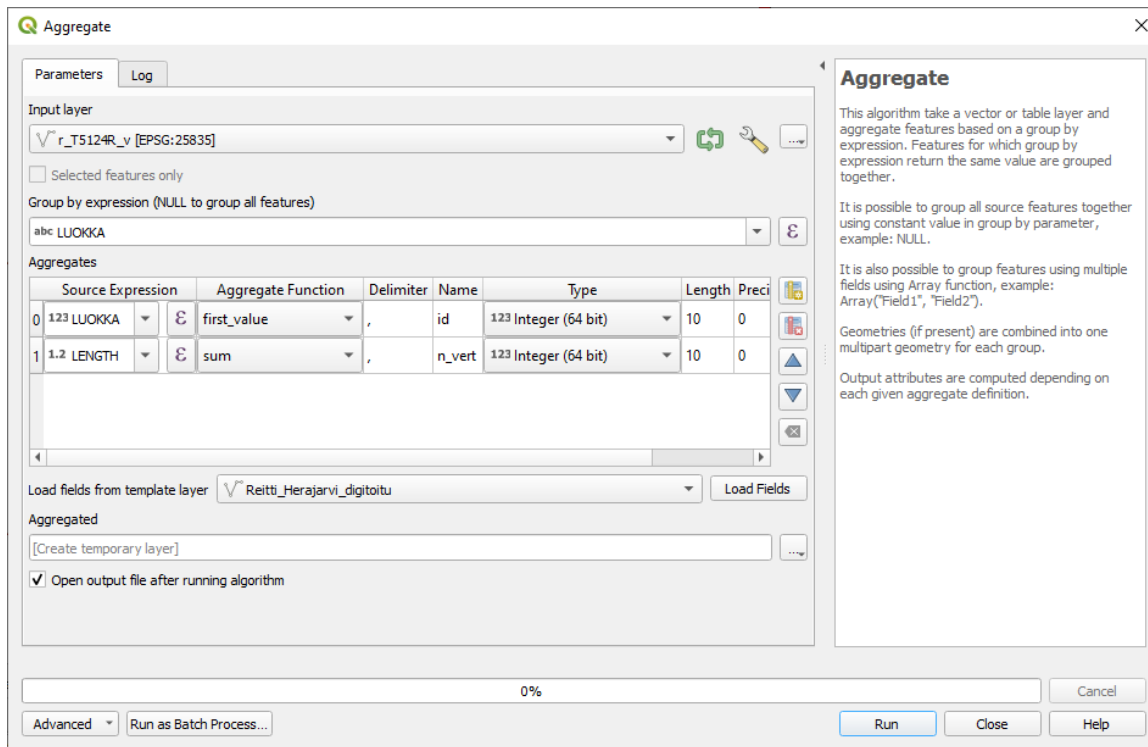
Empty cell value

Max edge length

Liite 3 QGIS-prosessointityökaluja (ja pyQGIS-komennot)

Aggregate (native:aggregate)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html#qgisaggregate



Buffer (native:buffer)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html#qgisbuffer

Climb Along Line (qgis:climbalongline)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoranalysis.html#qgisclimbalongline

Densify by interval (native:densifygeometriesgivenaninterval)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html#densify-by-interval

Distance to nearest hub (points)(qgis:distancetonearesthubpoints)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoranalysis.html#qgisdistancetonearesthubpoints

Extract vertices (native:extractvertices)

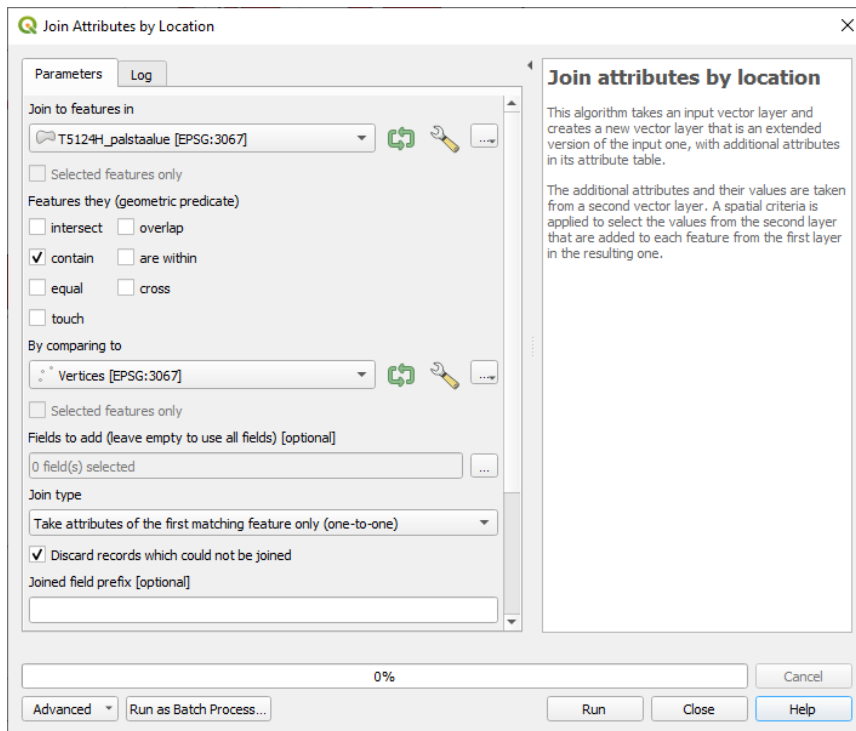
https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html#qgisextractvertices

GDAL Slope (gdal:slope)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/gdal/rasteranalysis.html#gdal_slope

Join attributes by location (native:joinattributesbylocation)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeneral.html#qgisjoinattributesbylocation



Line intersections (qgis:lineintersections)

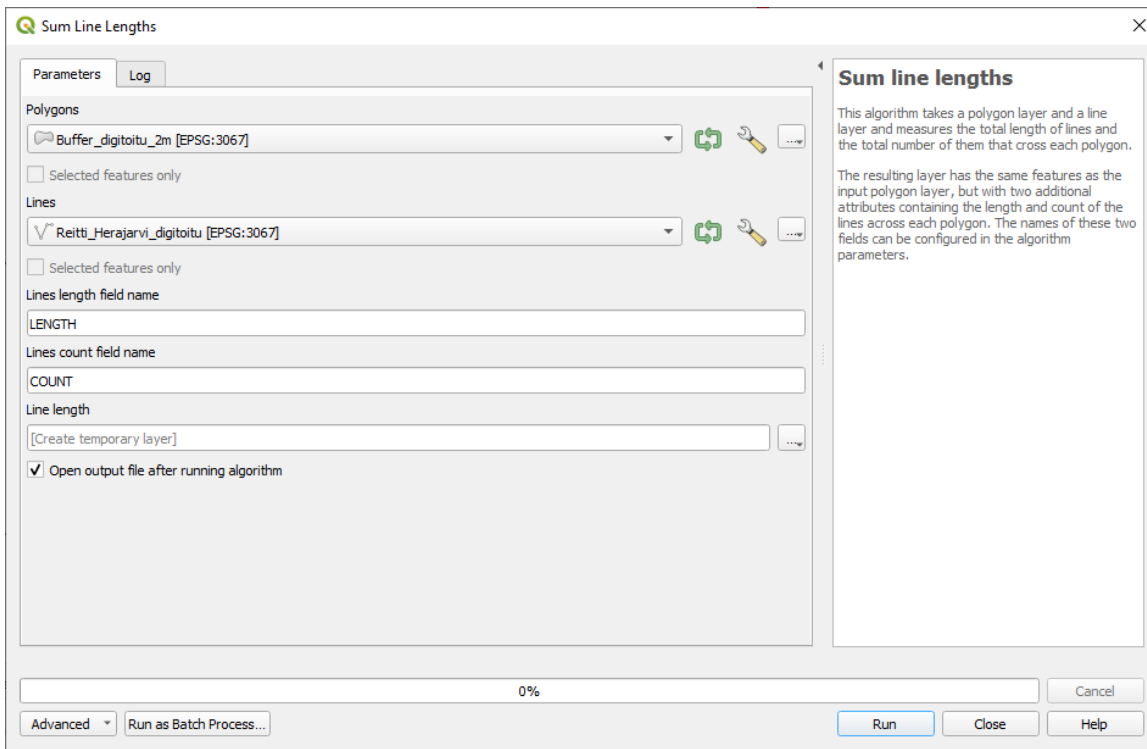
https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoroverlay.html#qgislineintersections

Sample raster values (native:rastersampling)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/rasteranalysis.html#qgisrastersampling

Sum Line Lengths (native:sumlinelengths)

https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoranalysis.html#qgissumlinelengths



Liite 4 QGIS:n lisäosia ja muita olennaisia toimintoja

Automatic tracing

https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user_manual/working_with_vector/editing_geometry_attributes.html#automatic-tracing

GeoTrace

<https://github.com/lachlangrose/GeoTrace>

Least Cost Path

<https://github.com/Gooong/LeastCostPath>

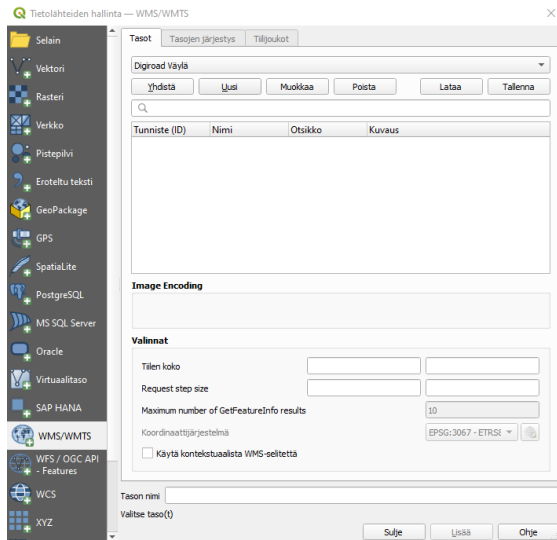
RasterTracer

https://github.com/mkondratyev85/raster_tracer

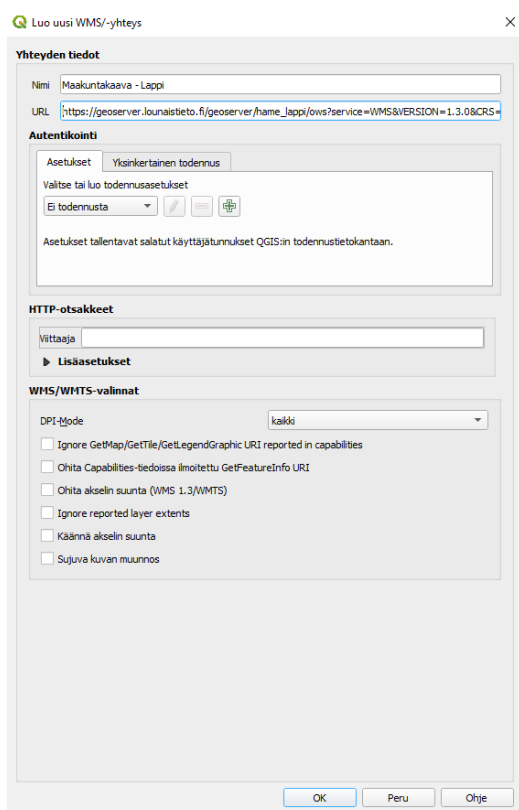
Liite 5 Rajapintayhteyden lisääminen

Avoimia rajapintoja on saatavilla eri toimijoilta. Tässä esimerkissä on käytetty Lounaistiedon dataportaalin INSPIRE-direktiivin mukaisten maakuntakaava aineistoja, joiden WMS URL-linkit löytyvät ositteesta maakuntakaavat.fi.

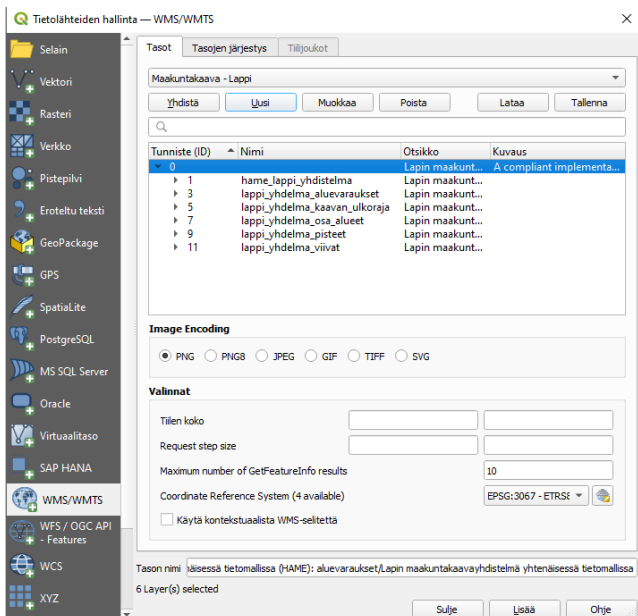
Aluksi kopioidaan URL-linkki aineistojen tarjoajan sivuilta, avataan QGIS-projektissa tietolähteiden hallinta (Tasot → Tietolähteiden hallinta (WMS/WMTS))



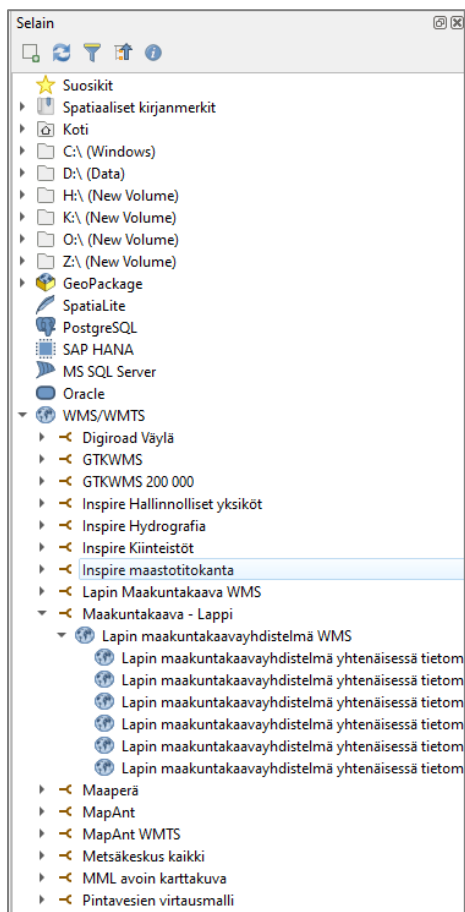
Valitaan uusi, nimetään halutulla nimellä, liitetään rajapinnan URL-linkki. Hyväksytään painamalla OK.



Tämän jälkeen voidaan yhdistää rajapintapalveluun painamalla Yhdistä. Avautuvasta tasoluettelosta voidaan valita käyttöön kaikki tai vain halutut tasot ja tuoda ne projektiin valinnalla lisää.



Kerran yhdistetyt rajapinnat ovat jatkossa käytettävissä tulevissakin projekteissa ja ne voidaan lisätä projektiin, kuten edellä viimeisessä vaiheessa tai valitsemalla ne käyttöön suoraan selainikkunan kautta.



Liite 6 Esimerkkikoodi pituussuuntaisen korkeusprofiilin määrittämiseen

```
dem_file = 'C:/temp/Herajarvi/Korkeusmallit/DEM.tif'
path_layer = iface.activeLayer()
result = processing.run("native:pointsalonglines",
{'INPUT':path_layer,'DISTANCE':10,'START_OFFSET':0,'END_OFFSET':0,'OUTPUT':'TEMPORARY_OUTPUT'})
#QgsProject.instance().addMapLayer(result['OUTPUT'])
result = processing.run("native:rastersampling",
{'INPUT':result['OUTPUT'],'RASTERCOPY':dem_file,'COLUMN_PREFIX':'SAMPLE_', 'OUTPUT':'TEMPORARY_OUTPUT'})
QgsProject.instance().addMapLayer(result['OUTPUT'])
data_layer = result['OUTPUT']

with edit(data_layer):
    data_layer.addAttribute(QgsField('ds', QVariant.Double))
    data_layer.addAttribute(QgsField('dz', QVariant.Double))
    data_layer.addAttribute(QgsField('slope', QVariant.Double))
    data_layer.updateFields()
    prev_feat = None
    for feat in data_layer.getFeatures():
        if prev_feat is not None:
            prev_feat['ds'] = feat['distance'] - prev_feat['distance']
            prev_feat['dz'] = feat['SAMPLE_1'] - prev_feat['SAMPLE_1']
            prev_feat['slope'] = 100 * prev_feat['dz'] / prev_feat['ds']
            data_layer.updateFeature(prev_feat)
        prev_feat = feat

params =
{'INPUT':data_layer,'CLOSE_PATH':False,'ORDER_EXPRESSION':"distance",'NATURAL_SORT':False,'
GROUP_EXPRESSION':"",'OUTPUT':'TEMPORARY_OUTPUT'}
result = processing.run("native:pointstopath", params)
```

```
result = processing.run("native:explodelines",
{'INPUT':result['OUTPUT'],'OUTPUT':'TEMPORARY_OUTPUT'})

params =
{'INPUT':result['OUTPUT'],'PREDICATE':[0,3],'JOIN':data_layer,'JOIN_FIELDS':[],'METHOD':1,'DISCARD
_NONMATCHING':False,'PREFIX':'','OUTPUT':'TEMPORARY_OUTPUT'}

result = processing.run("native:joinattributesbylocation", params)

QgsProject.instance().addMapLayer(result['O
```