

Joonas Arstio

**ATTRIBUUTTIEEN HYÖDYNTÄMINEN JA TYÖN AUTOMATISOINTI RAKENNET-
TAVUUSSELVITYKSESSÄ**

ATTRIBUUTTIIEN HYÖDYNTÄMINEN JA TYÖN AUTOMATISOINTI RAKENNET- TAVUUSSELVITYKSESSÄ

Joonas Arstio
Opinnäytetyö
Syksy 2021
Yhdyskuntatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t): Joonas Arstio

Opinnäytetyön nimi: Attribuuttien hyödyntäminen ja työn automatisointi rakennettavuusselvityksessä

Työn ohjaaja(t): Vesa Kallio

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 37 + 4 liitettä

Rakentaminen vaatii maaperätutkimuksia. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä yksi mahdollisista keinoista nopeuttaa rakentamiseen vaadittavan rakennettavuusselvityksen tekemistä ArcMap-ohjelmaa hyödyntäen. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, millä tavoin ArcMap-ohjelman avulla tehtävässä rakennettavuusselvityksessä voitaisiin hyödyntää attribuuttirajauksia. Työssä avattiin mekanisme, jolla rakennettavuusselvityskartan luonti voitiin automatisoida siten, että erilaisia rakennettavuusluokkien alueita ei tarvitse luoda käsin.

Opinnäytetyössä käytiin läpi kohteessa käytettävät rakennettavuusluokat, tutustuttiin työssä hyödynnettäviin kartta-aineistoihin, esitettiin ArcMap-ohjelma yleisesti sekä selitettiin attribuutin käsite ja rakennettavuusselvityksessä tarvittavat attribuutit. Tämän lisäksi opinnäytetyössä kuvattiin ArcMap-ohjelman avulla automatisoinnin attribuutteihin liittyvät päävaiheet ja tutustuttiin esimerkkialueella tehtäviin pohjatutkimuksiin. Lopuksi rakennettavuusselvityksen tuloksia verrattiin alueelle tehtyihin vanhoihin pohjatutkimustuloksiin ja analysoitiin rakennettavuusselvityksen paikkaansa pitävyyttä.

Rakennettavuusselvitys tehtiin attribuuttirajausta hyödyntäen Fingrid Oyj:lle välille Vaala - Joroinen. Tässä opinnäytetyössä käytettiin esimerkkinä Fingridille tehdyn projektin mallinnusta ja tuloksia.

Työssä todettiin, että attribuuttipohjaisella mallintamisella voidaan luoda rakennettavuusselvitys. Lisäksi havaittiin, että esimerkkikohteen alueella olevat pohjatutkimukset eivät ole ristiriidassa mallinnuksen kanssa.

Asiasanat: rakennettavuusselvitys, automatisointi, ArcMap, pohjatutkimus, attribuutti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Municipal Engineering

Author(s): Joonas Arstio

Title of thesis: Utilization and Automation of Attributes in Feasibility Study

Supervisor(s): Vesa Kallio

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021

Number of pages: 37 + 4

Construction requires soil surveys. The aim of this thesis was to present one of the possible ways to speed up the work of the feasibility study required for construction using the Arc-Map program. In addition, the aim of this thesis was to find out ways to create a buildability study using ArcMap by utilizing attribute constraints. The mechanism clarifies a mechanism by which the creation of a buildability survey map could be automated so that different areas of buildability classes do not have to be created manually.

In this thesis, the buildability classes used in the example work were reviewed, the map data used in the work were introduced, the ArcMap program was introduced in general, the concept of an attribute and the attributes required in a buildability study were explained. In addition to this, the main stages related to the attributes of automation were reviewed in the thesis with the help of the ArcMap program and the ground research carried out in the area was introduced using a literature review. In addition to automation, the results of the feasibility study were compared with the old bottom survey results carried out in the area and the validity of the feasibility study was analyzed.

A feasibility study was carried out for Fingrid between Vaala-Joroinen using the attribute delimitation. The modeling and results of the project for Fingrid were used as an example in this thesis.

It was stated in the work that attribute-based modeling can create a valid feasibility study and that the bottom surveys in the area of the example object do not contradict the modeling.

Keywords: Construction conditions, Automatic, ArcMap, Ground survey, Attribute

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	RAKENNETTAVUUS YLEISESTI.....	7
	2.1 Rakennettavuusselvitys.....	7
	2.2 Rakennettavuusluokat.....	8
3	MALLINNUKSEN AINEISTO	11
	3.1 Maaperäkartat	11
	3.2 Peruskarttarasteri ja vinovalovarjostus.....	13
4	ATTRIBUUTIPOHJAINEN MALLINTAMINEN ARCMAP-OHJELMALLA.....	15
	4.1 Mallintamisen arviointi	15
	4.2 ArcMap-ohjelmisto.....	15
	4.3 Attribuutti käsitteenä.....	16
	4.4 Mallinnuksen esimerkkikohte.....	16
	4.5 Mallinnuksen rakenne	17
	4.6 Attribuuttina pohjamaalaji	19
	4.7 Attribuuttina maaperän kaltevuus	21
5	ATTRIBUUTTIIEN HYÖDYNNETTÄVYYDEN ARVIOINTI	26
6	MALLINNUKSEN LUOTETTAVUUDEN TARKASTELU.....	27
	6.1 Mittakaavojen vertailu työalueella.....	27
	6.2 Pohjatutkimukset työalueella	30
	6.3 Heijarikairaus.....	30
	6.4 Painokairaus.....	31
	6.5 Kairausten vertailu alueella	33
7	POHDINTA	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET	38

1 JOHDANTO

Rakennettavuusselvitys on tutkimus, jossa selvitetään, onko rakennettavan alueen maaperä kellovasta rakentamiselle. Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä erilaisiin pohjatutkimusmenetelmiin ja rakennettavuusselvityksen rakennettavuusluokkiin sekä kehittää menetelmä rakennettavuusselvityksen nopeuttamiseksi.

Työssä käydään läpi Fingrid Oyj:lle tehtävän rakennettavuusselvityksen vaiheet ja menetelmä. Selvitys tehdään pääasiallisesti paikkatietotyöskentelyyn soveltuvalla AcMap-ohjelmalla, joka mahdollistaa attribuuttien käytön rakennettavuusselvityksessä. Attribuuttien avulla työlle voidaan asettaa erilaisia rajausehtoja, joita hyödynnetään paikkatietopohjaisessa kartassa rakennettavuusselvitystä tehtäessä.

Työn tarkoituksena on myös selvittää, voidaanko jo olemassa olevalla tiedoilla Suomen maaperästä ja olosuhteista selvittää tarkkaa rakennettavuutta ilman tarkempia pohjatutkimuksia. Automaattisen rakennettavuusselvityksen mallinnuksen ei ole tarkoitus syrjäyttää pohjatutkimuksia vaan toimia suuntaa antavana esitietona rakennuttajille alueen maaperästä ja sen rakennettavuudesta. Tässä työssä analysoidaan alueella tehtyjen pohjatutkimusten osuvuutta mallinnuksen kanssa ja siten selvitetään, kuinka hyvin mallinnus pitää paikkaansa.

Opinnäytetyö perustuu pitkälti Geologian tutkimuskeskuksen tuottamaan aineistoon. Tämän aineiston pohjalta saadaan luotua rajausehdot, joiden avulla voidaan luoda laaja ja yksityiskohtainen kartta rakennettavuusluokista eri alueilla.

Rakennettavuusselvityksen kohteena on Fingrid Oyj:n tuleva sähköverkkolinja, joka ulottuu Vaalasta Joroisiin. Yhteensä verkon pituus on noin kolmesataa kilometriä, ja leveyttä alueella on noin 600 metriä. Työalue on suuren kokonsa vuoksi maaperältään hyvin vaihtelevaa, joten tutkimusaineiston luotettavuutta voidaan tarkastella hyvin usean maaperätyypin avulla. Opinnäytetyö tehdään AFRY Finland Oy:lle.

2 RAKENNETTAVUUS YLEISESTI

Rakennuspaikan oltava rakentamiseen kelpoinen. Näin määrää maankäyttö- ja rakentamislaki (132/1999, 17/116§ Rakennuspaikkaa koskevat vaatimukset). Tämän vuoksi on rakennettavalle alueella tehtävä rakennettavuusselvitys.

2.1 Rakennettavuusselvitys

Rakennettavuusselvityksessä arvioidaan rakenteiden ja rakennusten teknillistaloudellisesti edullisimmat pohjarakennustavat tonttikohtaisesti. Siinä hyödynnetään käytettävissä olevia maan pohjaolosuhdetietoja. (Helsinki – Asuminen ja ympäristö 2019.) Tässä työssä rakennettavuusluokitteluun on valittu sähkölinjojen rakentamiseen sovitellut rakennuttavuudet johtuen siitä, että mallinnus on tehty sähkölinjojen perustamiseen sopiviksi.

Rakennettavuus muodostuu pääasiallisesti maaperän geologisen historian mukaan. Suurimmat siihen vaikuttavat tekijät ovat maalajien kantavuus, kokoonpuristuvuus, kaivettavuus, routivuus, kantavan pohjan syvyys, mikäli pintamaa on pehmeikköä, maanpinnan kaltevuus, kallio- ja maa-aineksen käyttökelpoisuus, ja pohjaveden pinnan korkeus. (Kauranne ym. 1972, 530.)

Nämä edellä mainitut tekijät saadaan selvitettyä pohjatutkimusten avulla. Pohjatutkimukset vaaditaan aina, kun rakennetaan. Pohjatutkimusten tavoitteena on selvittää rakennuspaikan maaperän olosuhteet niin, että rakenteen perustaminen tai rakennuksen pohjatyöt voidaan luotettavasti suunnitella ja toteuttaa turvallisesti. Toisena tavoitteena on selvittääärkevin perustamistapa. Pohjatutkimusmenetelmiä Suomessa ovat painokairaus, puristin-heijarikairaus, heijarikairaus, CPTU-kairaus, tärykairaus, siipikairaus, SPT-kairaus, puristinkairaus, maatulkuutus ja koekuoppa. Tässä opinnäytetyössä käydään menetelmänä läpi tarkemmin heijarikairaus ja painokairaus. Varsinaisen rakennettavuusselvityksen lisäksi pohjatutkimuksista saatavilla tiedoilla on kyettävä selvittää maaperän kantavuus ja mahdollinen painuma. (Jääskeläinen 2011, 240.)

2.2 Rakennettavuusluokat

Työn lähtöaineistona käytetään pitkälti Geologisen tutkimuskeskuksen ja Maanmittauslaitoksen luomaa aineistoa. Geologinen tutkimuskeskus on koonnut maaperätutkimuksen aineistoa yhteistyössä Maanmittauslaitoksen kanssa jo vuodesta 1972. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 1.) Tuolloin maalajeista käytettiin rakennusteknistä maalajiluokittelua ja maalajien nimissä oli pieniä eroja verrattuna nykypäivän geotekniseen maalajiluokitteluun (Jääskeläinen 2009, 332). Geoteknisen tutkimuskeskuksen aineisto käyttää osittain edelleen aineistossa rakennusteknistä maalajiluokittelua, joten myös esimerkkikohteen rakennettavuusluokissa aineisto on luokiteltu näiden nimitysten perusteella. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 37.)

Rakennusteknisissä luokituksissa maalaji hiesu ja hieta ovat geoteknisen luokittelun mukaan silttiä. Myös sora suuremmat rakeet luokitellaan nykyään lohkariksi, joten työssä mainittu rakka tarkoittaa lohkarista maaperää. (Rantamäki ym 1993, 293.) Rakennusteknisen ja geoteknisen maalajiluokituksen yhteneväisyydet näkyvät taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Geoteknisiä ja rakennusteknisiä maalajien nimityksiä (Suomen ympäristö 2012, 12)

Geotekninen maalajiluokitus	Rakeiden läpimitta (mm)	Rakennustekninen maalajiluokitus
Savi	< 0,002	Savi
Siltti	0,002-0,02	Hiesu
	0,02-0,06	Hieta
Hiekka	0,06-0,2	
	0,2-2	Hiekka
Sora	2-20	Sora
	20-60	Kivet
Kivet	60-200	Lohkareet
Lohkareet	> 600	

Tämän työn esimerkkikohteen ensimmäinen rakennettavuusluokka on helposti rakennettava. Tämän rakennettavuusluokan alustaviin ominaisarvoihin kuuluvat kantavat kitkamaalajit, kuten sora, hiekka, hiekkamoreeni ja soramoreeni. Lisäksi pohjamaa on helposti kuivatettava. Helposti rakennettavan maaston kaltevuus on < 5 % ja sallittu geotekninen kantavuus R_d on 300 kPa. (AFRY Finland Oy 2020.)

Toinen esimerkkikohteen rakennettavuusluokka on normaalisti rakennettava. Tämän rakennettavuusluokan alustaviin ominaisarvoihin kuuluvat pohjamaalajeista sora, hiekka, hiekkamoreeni ja

soramoreeni. Pohjamaa on myös tässä helposti kuivatettavaa. Normaalisti rakennettavan maaston kaltevuus on < 5–15 % ja sallittu geotekninen kantavuus R_d on 200-300 kPa. (AFRY Finland Oy 2020.)

Kolmas rakennettavuusluokka on normaalisti rakennettava kalliomaata. Tämän rakennettavuusluokan alustaviin ominaisarvoihin kuuluvat pohjamaalajeista kallio, lohkarieet, rapakallio ja rakka. Myös kallio on helposti kuivatettavaa. Normaalisti rakennettavan kalliomaan kaltevuus on 0–20 % sekä sallittu geotekninen kantavuus R_d on 3 MPa. (AFRY Finland Oy 2020.)

Neljäs rakennettavuusluokka on pehmeikkö. Tässä rakennettavuusluokassa pohjamaana ovat hieno hietä, hiesu, savi, liejusavi, lieju, liejuinen hiekka, liejuinen hietä, liejuinen hieno hietä ja liejuhiesu. Pehmeikön maaston kaltevuus on todella pientä, noin 0–20 %. Pehmeikkö on myös huonosti kuivatettavaa. Pehmeikön geotekninen kantavuus on todella pientä. Myös turve on luokiteltu työssä neljänteen luokkaan, mutta se on lisätty omaksi alikategoriakseen. Pohjamaana tässä luokassa on rahkaturve. (AFRY Finland Oy 2020.)

Viidentenä rakennettavuusluokkana on vaikeasti rakennettava moreeninen rinnemaasto sekä vaikeasti rakennettava kallioinen rinnemaasto. Alustaviin ominaisarvoihin kuuluvat pohjamaalajeista moreenisilla alueilla sora, hiekka, hiekkamoreeni, soramoreeni, hienoainemoreeni sekä kallioisilla alueilla kallio, lohkarieet, rapakallio ja rakka. Sallitut kantavuudet ovat jo aiemmin mainitut 300 kPa ja 3 MPa riippuen siitä, onko pohjamaa moreenia vai kalliota. (AFRY Finland Oy 2020.)

Viidenteen rakennettavuusluokkaan kuuluu työssä myös vaikeasti rakennettava pehmeikkörinne. Alustaviin ominaisarvoihin kuuluvat pohjamaalajeista savi, hieno hietä, hiesu, liejusavi, lieju, liejuinen hiekka, liejuinen karkea hietä, liejuinen hieno hietä, liejuhiesu. Maaston kaltevuus tässä rakennettavuusluokassa on >20 %. Maaperä on pehmeikkörinteessä huonosti kuivatettavaa. Myös pehmeikkörinne on huonosti kantavaa maaperää, johon ei voi sellaisenaan rakentaa ilman tarvittavia toimenpiteitä. Yleiset perustamistavat tullaan esittelemään tämän työn lopussa kaikille rakennettavuusluokille. (AFRY Finland Oy 2020.)

Kuudes rakennettavuusluokka on erittäin vaikeasti rakennettava kallioinen rinnemaasto. Pohjamaalaji tässä luokassa on kalliomaata, lohkarieinen maa, rapakallio tai rakka. Kaltevuus on erittäin jyrkkä, eli >30 %. Maaperä on helposti kuivatettavaa ja geotekninen kantavuus R_d sama kuin muilla kallioisilla rakennettavuusluokilla (3 MPa). (AFRY Finland Oy 2020.)

Seitsemäs ja viimeinen rakennettavuusluokka on täyttömaa-alueet. Näihin alueisiin ei voida yleisluontoisesti tai edes tässä opinnäytetyössä asettaa geoteknisen kantavuuden arvoja, sillä täyttömaat vaihtelevat tapauskohtaisesti paljon toisistaan. Jokainen täyttömaa-alue on tarkasteltava erikseen omalla alueellaan. (AFRY Finland Oy 2020.)

3 MALLINNUKSEN AINEISTO

Rakennettavuusselvitystä tehtäessä tarvitaan taustatietoja, kuten tieto rakennettavan alueen sijainnista ja laajuudesta. Opinnäytetyössä tarkasteltavana alueena oli todella pitkä suunniteltu sähkölinja, joka alkoi Vaalasta ja päättyi Joroisiin. Suunnitelman lisäksi lähtöaineistoja on käytetty Geologisen tutkimuskeskuksen luomaa pohjamaalajikarttaa sekä Maanmittauslaitoksen peruskarttarastereita ja vinovalorastereita.

Geologian tutkimuskeskus ja Maanmittauslaitos aloittivat vuonna 1972 yhteistyön maaperäkartoituksen kehittämiseksi. Tästä syntyi peruskartta Suomen maaperälle. Mittakaavat näissä kartoissa ovat 1:20 000 ja 1:50 000. Maanmittauslaitoksen maaperäkartoitus päättyi vuonna 1995 ja vuonna 2003 ”Kartoitusperusteet ja kuvausohjeet” päivitettiin liitteeksi Geologisen tutkimuskeskuksen maaperäkartoituksen toimintakäsikirjaan. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 1.)

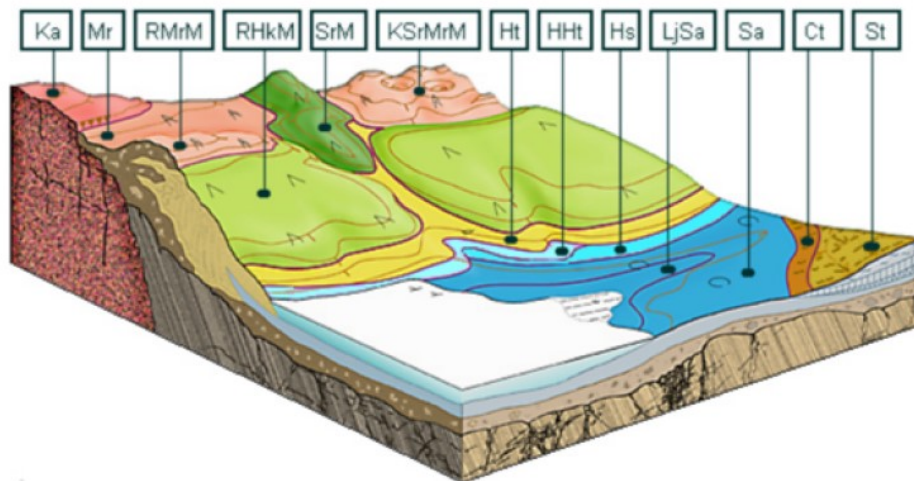
Maanmittauslaitos on osa Paikkatietokeskuksen tutkimus- ja asiantuntijalaitosta, jonka tarkoituksena on tuottaa paikkatietoinfrastruktuureja tukevaa tutkimus- ja kehitystyötä. Se tarjoaa tieteellisen perustan Suomen kartoille, paikkatiedoille ja paikannukselle. Lisäksi se kehittää ja tutkii paikkatietojen mittaus-, hyödyntämis- ja tuottamismenetelmiä. Lisäksi Paikkatietokeskus tekee yhteistyötä eri tutkimuslaitosten, yliopistojen ja julkisyhteisöjen kanssa. (Maanmittauslaitos – Tietoa meistä.)

Maanmittauslaitoksen ydintehtäviä ovat muun muassa harjoittaa tieteellistä tutkimusta geodesian, navigoinnin, paikannuksen ja paikkatietotekniikan aloilla sekä huolehtia paikkatietojen geodeettisesta sekä fotogrammisesta metrologiasta. Tämän lisäksi Maanmittauslaitos suorittaa geodeettisia perusmittauksia valtakunnallisesti, kehittää paikkatietoteknillisiä menetelmiä, seuraa alan kehitystä, antaa lausuntoja, jotka koskevat sen toimialaa sekä julkaista tuloksia tutkimuksistaan. (Maanmittauslaitos – Tietoa meistä.)

3.1 Maaperäkartat

Geologinen tutkimuskeskus on koonnut koko Suomen kattavan aineiston Suomen maaperän olosuhteista. Kooltaan aineiston on suuri, ja se sisältää esimerkiksi suuren määrän pohjatutkimuksia,

pohjavesitietoja, maaperän pohja- ja pintamaalajikarttoja, maanperän muodostumia ja maan peitteen syvyyksiä. Riippuen siitä kuinka, tarkasti alue on tutkittu, on Geologinen tutkimuskeskus luonut kartat eri mittakaavoihin. Muun muassa maaperän pohjamaalajien mittakaavoista löytyy tarkemmin tutkituista alueista 1:20 000 ja 1:50 000 olevat maaperäkartat. Nämä mittakaavat sisältävät tarkat pohja- ja pintamaalajit selitteineen. Koko Suomen kattavan kartan mittakaava on 1:200 000. Tämän mittakaavan kartta ei sisällä tarkkoja maalajeja, vaan tekee jaottelun vain siitä, onko maalaji karkeaa, hienojakoista, liejuista, kallioista, humuspitoista vai turvepitoista. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 37.) Kuvassa 1 on havainnollistava esimerkki eri maalajeista.



KUVA 1. Maaperää havainnollistava esimerkki (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 4)

Maaperän mallintamisen voi jakaa suoriin ja epäsuoriin menetelmiin. Suorissa menetelmissä maaperää tutkitaan maa- ja kallionäytteillä. Epäsuorissa menetelmissä keinoina ovat silmämääräinen havainnointi ja maanpinnan sekä kairauspisteiden geofysiikka. GTK:n aineistossa kerrosrajojen mallintamiseen on käytetty molempia menetelmiä. (Kvartsberg 2013, 10.)

Geologisen tutkimuskeskuksen mittakaavassa 1:20 000 ja 1:50 000 olevat maaperäkartat sisältävät vuosina 1972–2007 tieteelliseen tutkimukseen, maankäytön suunnitteluun, maankamaraan raaka-aineiden tutkimukseen, ympäristönhoitoon ja inventointiin tuotettua tietoa. Esitystapana on metrin syvyydessä oleva pohjamaalaji. Sitä ylempi kerros on kuvattu pintamaalajina. (GTK – Maaperäkartat.)

Maaperäkartat on koostettu maastotöistä, joissa on tehty maalajien määrittämistä pistokairan ja lapion avulla. Maalajien rajat ja muut havainnot on kirjattu havaintolomakkeille tai stereoilmakuville. Vuonna 1998 paikannuksen avuksi tuli GPS, jonka paikannustarkkuus oli >10 metriä ja <10 vuodesta 2000 lähtien. Kartoitusta maastossa alettiin myös täydentämään kairauksilla, maanäytteillä sekä luotauksilla. Havainnot tallennettiin vuodesta 2003 alkaen maastotietokoneelle. Lopuksi aineisto on otettu käsittelyyn paikkatieto-ohjelmistojen avulla. (GTK – Maaperäkartat.)

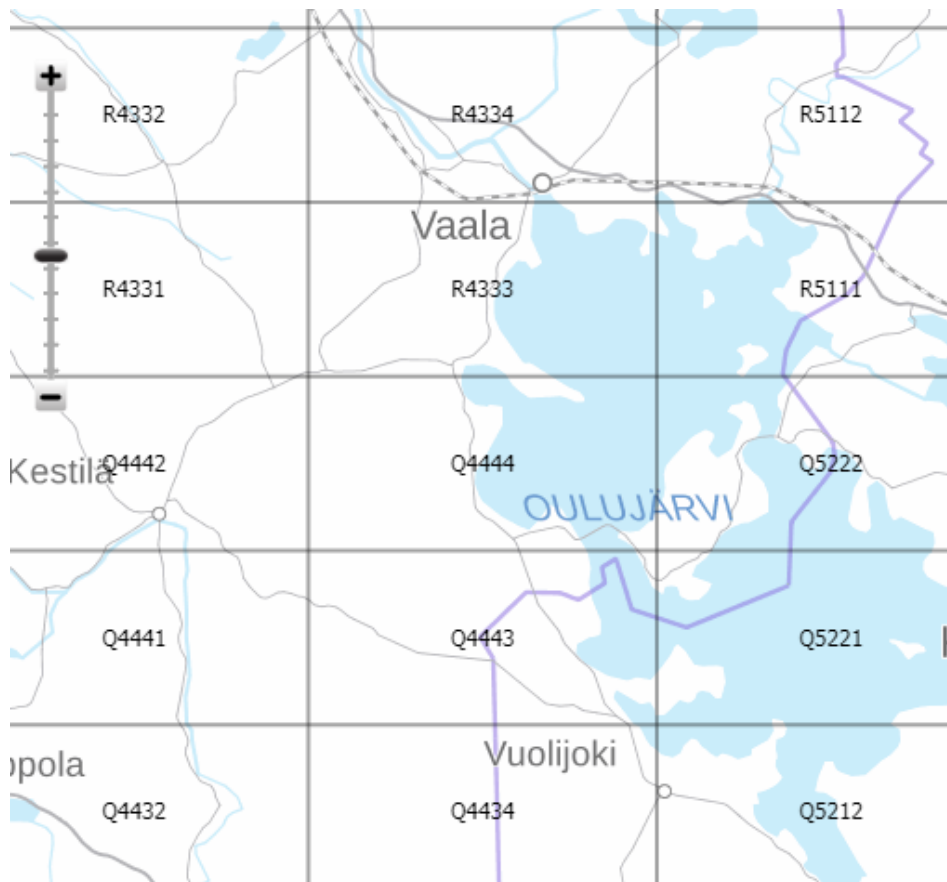
Maaperäkartoja ei ole tarkoitettu sellaisenaan käytettäväksi yksityiskohtaiseen suunnitteluun, kuten rakennesuunnitteluun, vaan ne tarvitsevat aina avukseen lisäselvityksiä. Haavisto-Hyvärinen ja Kutvosen (2007) mukaan Geologisen tutkimuskeskuksen luoman maaperäkartan avulla voidaan tehdä rakennettavuusluokitus halutulle alueelle. Kartta antaa loistavan suunnan sille, millainen maaperä alueella sijaitsee. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 2.)

3.2 Peruskarttarasteri ja vinovalovarjostus

Peruskarttarasteri on maastokarttasarja, joka kattaa koko Suomen. Siinä pääelementteinä ovat liikenteen verkko, vesistöt, korkeussuhteet, nimistöt, rakennukset, maankäyttö ja rakenteet. Peruskarttarasteri on Maanmittauslaitoksen vapaasti käytettävä karttasarja, jonka ladattavan alueen käyttäjä voi ladata valitsemalla haluamansa kohteen. Koko Suomen alue on jaettu suorakaiteen muotoisiin alueisiin, joita painamalla valitseminen ja lataaminen tapahtuu. Koordinaatiojärjestelmä on kaikessa Maanmittauslaitoksen aineistossa tasokoordinaattijärjestelmä ETRS-TM35FIN ja niissä aineistoissa, jotka käyttävät hyväkseen korkomaailmaa on korkeusjärjestelmä N2000. (Maanmittauslaitos – Kartat ja paikkatieto.)

Peruskarttarasteri ei ole rakennettavuus selvityksen automatisointia tehdessä pakollinen elementti, mutta se helpottaa alueiden hahmottamista huomattavasti. ArcMap-ohjelman hyvä puoli on se, että sen eri tasot voi avata ja sulkea helposti, joten myös peruskarttarasterin tason sulkeminen käy nopeasti. Rakennettavuus selvityksen kartassa mikä tahansa koordinaatistossa olevan kartan voi laittaa taustalle, mutta Maanmittauslaitoksen peruskarttarasteri on hyödyllisin, sillä sen päälle tuettava vinovalovarjostus luo kolmiulotteisen korkeuserojen tunnun kartalle. (Maanmittauslaitos.)

Vinovalvarjostus, eli rinnevarjostus on rasteriaineisto, joka visualisoi maaston korkeusvaihteluita. Maanmittauslaitoksen rinnevarjostusaineistossa on viisi eri pikselikokoa: 2 m, 8 m, 32 m, 64 m, 128 m ja 512 m. Mitä suurempi pikselikoko on, sitä epätarkempi on rinnevarjostuksen laatu. Kuvassa 2 näkyy Maanmittauslaitoksen 8 m rinnevarjostuksen latausvalikko. Aineisto kattaa koko Suomen lukuun ottamatta 2 m:n pikselikokoa. Aineisto ei itse sisällä korkeustietoja, vaan on harmaasävykuva, joka visualisoi rinteiden jyrkkyyttä ja suuntaa. Auringon korkeuskulmana Maanmittauslaitos on käyttänyt 45°. (Maanmittauslaitos.) Tämän opinnäytetyön esimerkissä pikselikoko on vinovalvarjostuksella 8 m ja sen korkeutta on korostettu viisinkertaisella z-kertoimella.



KUVA 2. Maanmittauslaitoksen rinnevarjostuksen lataamisvalikko (Maanmittauslaitos – Avomien aineistojen tiedostopalvelu)

4 ATTRIBUUTIPOHJAINEN MALLINTAMINEN ARCMAP-OHJELMALLA

4.1 Mallintamisen arviointi

Attribuuttipohjaisen jaottelun ja sen pohjalta tehdyn työn hyöty on sitä suurempi, mitä suurempi tarkasteltava alue on. Esimerkiksi pienen omakotitalon tontin rakennettavuusselvityksen tekeminen on nopeampaa käsin tehtynä vertailemalla maaperätietoja, pohjaveden pintaa ja maanpinnan kaltevuutta. Sitä, milloin kyseinen mallinnus on järkevää, ei voida kuitenkaan tarkasti pinta-alan mukaan määrittää. Tämän ehdon määrittävät olemassa olevan aineiston laajuus, tarkkuus ja kohteen maaperätietojen vaihtelevuus. Silloin kun tiedetään, että alueen maaperä on hyvin vaihtelevaa pohjamaatiedoiltaan tai kaltevuudeltaan, on automatisoitu attribuuttipohjainen mallinnus järkevää. Esimerkkikohteen pituuden vuoksi automatisoitu mallinnus oli ainoa järkevä vaihtoehto.

Toinen hyöty mallintamisessa on sen tarkkuus. Attribuuttipohjainen jaottelu rajaa rakennettavuusalueet tarkasti rajausehtojen mukaan. Käsin tekemällä jaottelu on aina karkeampaa tai huomattavasti hitaampaa, mikäli haluaa yhtä tarkan jaottelun.

Rakennettavuuden mallintaminen on järkevää varsinkin silloin, kun alueen pohjamaata ja sen vaihtelevuutta ei vielä etukäteen tiedetä, tai silloin, kun maanpinnan muodot ja kaltevuudet ovat selvittämättä. Mallintamisesta hyötyy myös, jos selvittävän alueen pinta-ala kasvaa sellaiseksi, että maaperä on pohjaolosuhteiltaan erityisen vaihtelevaa.

4.2 ArcMap-ohjelmisto

ArcMap on Environment Systems Research Institutien (ESRI) pääkomponentti paikkatietoisissa ohjelmistoissa. Sillä tapahtuvat pääasialliset tehtävät ovat tuottaa, analysoida ja muokata paikkatietoista dataa. ArcMap antaa käyttäjän tutkia dataa tietojoukoista, luoda karttoja sekä luokitella ainestoa tietojoukkojen mukaisesti. (Esri 2016.)

ArcMapin päätiedostotyypit ovat Shapefileja ja Geodatabaseja. Shapefilet ovat avoimia vektoripohjaisia tiedostomuotoja, joita voidaan käyttää viiva-, alue- ja pistemuotoisen paikkatiedon tallentamiseen. (Esri library, 5.) Tällä tiedostomuodolla voidaan tehdä erilaisia rajauksia alueisiin, esimerkiksi rakennettavuusselvityksessä tarvittaviin alueisiin.

Geodatabase on spatiaalinen tietokanta, jonka tarkoituksena on tilallisen tiedon käsittely ja tallennus. Yleisimmin tätä käytetään karttapohjaisen ja maantieteellisen tiedon tallentamiseen. Spatiaalisen tietokannan etu on siihen tallennettavissa tietotyypeissä eli siinä, millaista tietoa sinne voidaan tallentaa. Se tarjoaa mahdollisuuden koordinaatiomuutoksiin, etäisyyden laskemisiin sekä pintaalojen laskemisiin. Sillä voidaan myös laskea alueiden mahdollisia risteämiä keskenään. (GIS-Geography 2021.)

4.3 Attribuutti käsitteenä

Attribuutilla tarkoitetaan ominaisuutta, kuvaavaa piirrettä tai rajausehtoa. Ominaisuudella on aina jokin arvoalue ja tietotyyppi. Kohteen ominaisuudet ovat sijaintiominaisuus, metatieto-ominaisuus, temaattinen ominaisuus ja ajoittava ominaisuus. Yleisesti attribuutteja voisi olla esimerkiksi leveys tai hinta. Attribuutti sisältää aina jonkin totuusarvon, merkkijonon, kokonaisluvun tai desimaaliluvun. (Maanmittauslaitos, 12.)

Rakennettavuusselvityksen esimerkkikohteessa attribuutilla tarkoitettiin pääasiassa rajausehtoa. Nämä ehdot sisälsivät sijaintiominaisuuden, tiedot pinta-alasta, alueen pituuden, metatiedon pohjamaalajista, pintamaalajista sekä alueen kaltevuudet.

4.4 Mallinnuksen esimerkkikohte

Opinnäytetyössä käsitelty esimerkkikohte sijaitsee välillä Vaala–Joroinen. Kyseiselle paikalle on suunnitteilla voimajohtolinja, jonka perustamistapoja varten haluttiin tehdä esiselvitys alueen rakennettavuudesta. Alueen pituudesta johtuen alueen maasto on hyvin vaihtelevaa niin pinta- ja pohjamaaolosuhteiltaan kuin maan kaltevuudeltaankin. Leveydeltään alue rajautuu 300 metriä suunnitellun linjan molemmille puolille. Pituutta voimajohtolinjalla on noin 300 kilometriä.

Esimerkkikohteessa rakennettavuusselvitystä varten tarvittiin kolmea pääattribuuttia. Ensimmäinen on maalajitieto, toinen on pinnan kaltevuus ja kolmas on tarkasteltavan kohdan sijainti. Maalajitietona käytettiin pohjamaalajitietoa, sillä se on rakennettavuuden kannalta pintamaalajia oleellisempi. Muita mahdollisia attribuutteja rajauksia tehtäessä voisivat olla tieto pohjavedenpinnasta, kallionpinnan syvyys, turpeen paksuus, maan routivuus ja tarkemmat tiedot maalajien kantavuudesta tai kokoonpuristuvuudesta. Kaikkea edellä mainittua aineistoa ei kuitenkaan löydy kuin rajoituilta alueilta, pääasiallisesti niistä paikoista, joihin on tehty pohjatutkimuksia. Nämä aineistot eivät ole pääsääntöisesti julkisia.

Rajausehtoja tehtäessä attribuutteja voi olla käytännössä loputtomasti, mutta esimerkkikohteessa käytetään niitä attribuutteja, joihin käyttäjä voi päästä vaivattomasti käsiksi. Tämä materiaali löytyy kokonaisuudessaan vapaasti käytettävänä Maanmittauslaitoksen ja GTK:n internetsivuilta.

Attribuuttien määrän kasvaessa myös työn määrä kasvaa. Jos rajausehtona ovat maalaji ja maanpinnan kaltevuus, on käsiteltävän aineiston ehtojen asettelu vielä työmäärältään kohtuullista. Mikäli aineiston ehtojen määrä on suurempi, kasvaa myös työn määrä moninkertaisesti.

4.5 Mallinnuksen rakenne

Attribuuttien avulla voidaan Geologisen tutkimuskeskuksen geopohjaisesta spatiaalisesta tietokannasta erotella haluttuja tietoja (GISGeography 2021). Esimerkkikohteen tapauksessa nämä ovat pohjamaalajeja eri määrittämineen. Näiden erottelujen avulla voidaan luoda ehtolausekkeeseen sopivia elementtejä, kuten maalajikategorioita sekä kaltevuusluokkia. ArcMapin spatiaalifunktioiden avulla voidaan verrata, risteävätkö koottujen maalajikategorioiden eri alueet kaltevuusluokkien kanssa. Lopputuloksena tästä syntyy rajattu alue ehtoineen eli rakennettavuusluokka.

Rajauksena koko rakennettavuusselvityksen materiaalille ovat rakennettavuusselvitysluokkien alustavat ominaisarvot. Ne toimivat reunaehtoina kaikille attribuuteille. Rakennettavuusluokkien ominaisarvot toimivat ehtolausekkeena lopulliselle tietyin alueen rakennettavuudelle. Esimerkiksi luokka yksi, joka on rakennettavuudeltaan helposti rakennettava, on rajausehtona maalajikategoria, johon kuuluvat karkea ja sekalajitteiset pohjamaat (sora, hiekka, hiekkamoreeni, soramoreeni) sekä maaston kaltevuus <5 %. Nämä kaksi rajausehtoa rajaavat paikkatietoisesti alueen, jossa

nämä kaksi ehtoa täyttyvät. Mikäli ehto ei täyty, alue on rakennettavuudeltaan jotain muuta kuin helposti rakennettavaa. Ehtolausekkeen toiminta on havainnollistettuna taulukossa 2.

TAULUKKO 2. ArcMapilla luodun rakennettavuusluokan ehtolausekkeiden esimerkki

Ehto 1:	Karkea- ja sekalajitteinen pohjamaan maalajikategoria
Ehto 2:	<5 % kaltevuus
Loppulos:	Helposti rakennettava

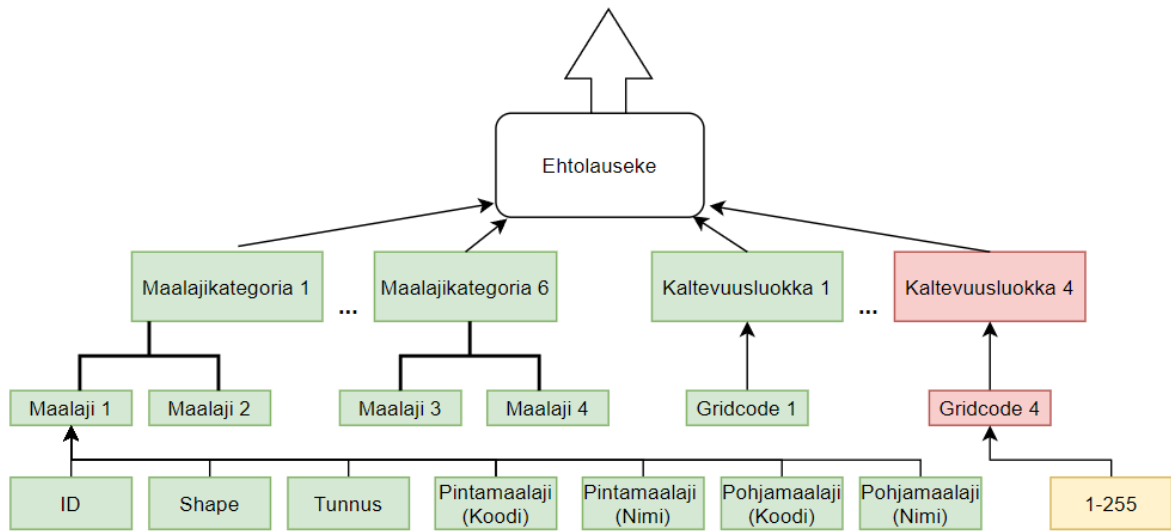
Rajaavan ehtolausekkeen alapuolella ovat maalajikategoriat ja ehdot kaltevuudesta. Myös nämä sisältävät omat attribuuttinsa. Maalajikategoria pitää sisällään ominaisuuden sisältävän attribuutin, eli tässä tapauksessa karkean ja sekalajitteisen maalajin nimen ja pohjamaalajin koodin sekä rajaavan attribuutin eli sijainnin. Kaltevuus pitää sisällään vain rajaavan attribuutin eli ehdon siitä, onko alue alle viiden prosentin kaltevuudella olevaa. Taulukossa 3 on havainnollistettu ehtolausekkeiden sisältöä tarkemmin.

TAULUKKO 3. ArcMapilla luodun rakennettavuusluokan ehtolausekkeiden tarkempi esimerkki

Ehto 1:	Sora + hiekka + hiekkamoreeni	= Maalajikategoria 1
Ehto 2:	ArcMapin automaattisesti luoma kaltevuus vinovalorastereista arvojen 1-255 välillä	= <5 % kaltevuus
Loppulos:	Helposti rakennettava	

Kuvassa 3 esitetään attribuuttipohjaisen ehtolausekkeen toimintaa kokonaisuudessaan.

Rajattu alue ehtoineen = Rakennettavuusluokka



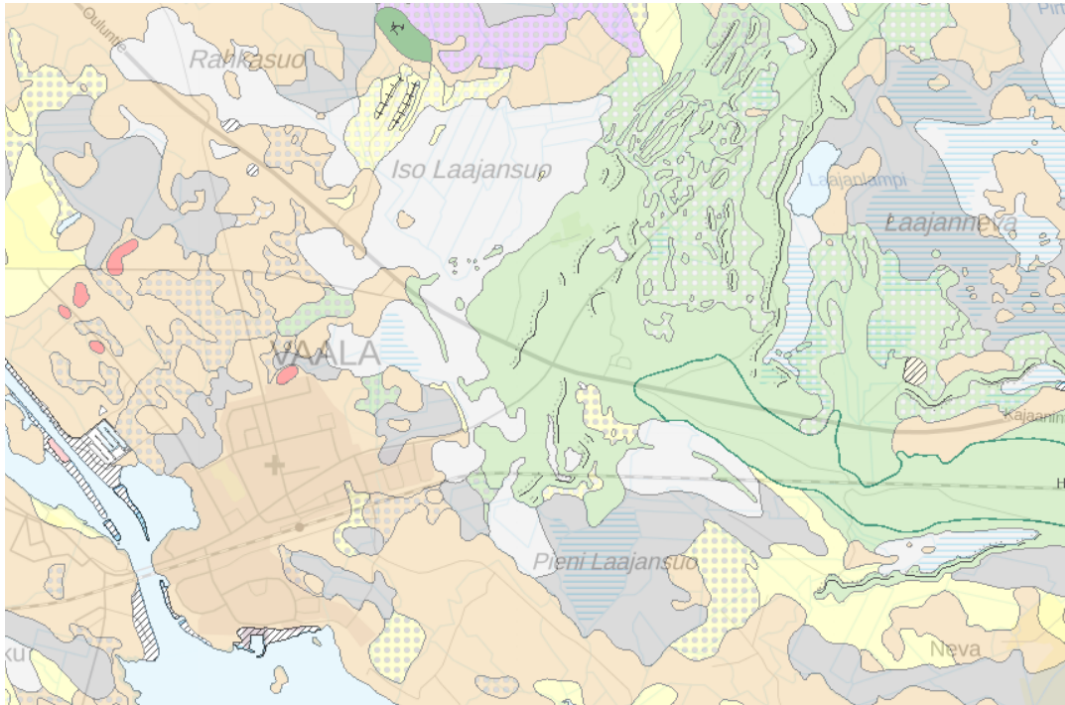
KUVA 3. Rajausehtojen luominen rakennettavuusluokkia varten

4.6 Attribuuttina pohjamaalaji

Tieto pohjamaalajista on ominaisuuden sisältävistä attribuuteista tärkein. Perusmaalajit ovat maa-aineksia, jotka ovat tasarakeisia, eli ne edustavat vain yhtä raekokoaluetta. Nämä voidaan jakaa kolmeen pääkategoriaan: hyvin karkeaan maahan, karkeaan maahan ja hienoon maahan. Hyvin karkeassa maassa alalajitteina ovat suuret lohkarieet, lohkarieet ja kivet. Karkeassa maassa alalajitteina ovat sora, karkea sora, keskisora, hienosora, hiekka, karkea hiekka, keskihiekka ja hieno hiekka. Hienon maan alalajitteisiin kuuluvat siltti, karkea siltti, keskisiltti, hieno siltti ja savi. (SFS 2008, 20.)

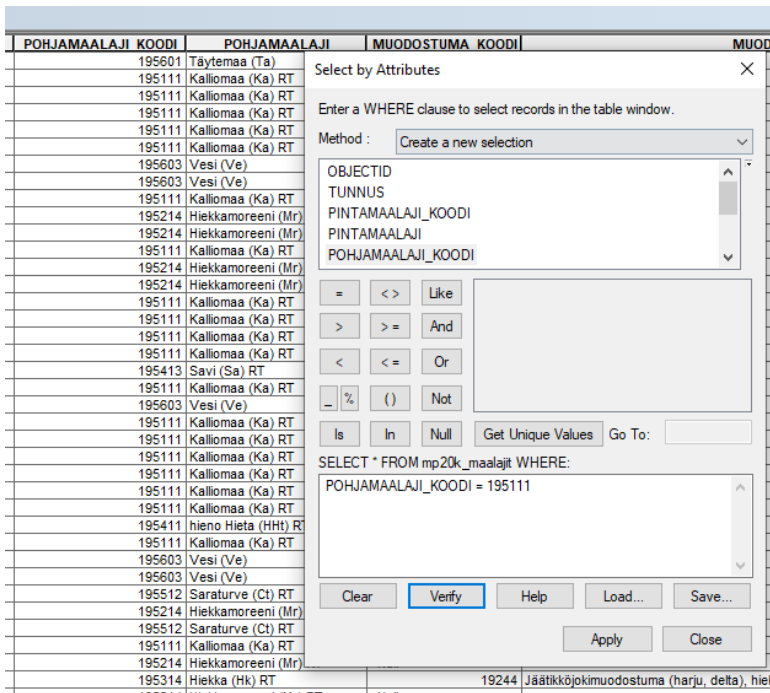
Geologisen tutkimuskeskuksen aineistossa on käytetty osittain rakennusteknistä maalajiluokitusta. Mittakaavan 1:20 000 pohjamaalajit ovat kalliomaa, rapakallio, rakka, lohkarieet, kivet, hiekkamoreeni, soramoreeni, hienoainesmoreeni, sora, hiekka, liejuinen hiekka, karkea hieta, liejuinen hieta, liejuinen hieno hieta, hiesu, liejuhiesu, savi, liejusavi, lieju, rahkaturve, saraturve, turvetuotantoalueet ja erilliset täytemaat. Mittakaavassa 1:200 000 maalajit eivät ole määritelty maalajin tarkkuudella, vaan ne on jaoteltu sekalajitteisiin, karkearakeisiin ja hienojakoisiin maalajeihin. Näiden lisäksi maalajeina on vielä kalliopaljastuma, kalliomaa, jossa enintään yhden metrin paksuinen maa-kerros, rakka, kivet, humuspitoinen maa, jossa humuksen osuus 2–6 %, savi, lieju, paksu turveker-

ros ja täytemaat. (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007, 37.) Kuvassa 4 näkyy GTK:n pohjamaalajikartta, josta käyttäjä voi ladata itselleen aineiston, joka sisältää tiedon pohjamaalajeista eri alueille.



KUVA 4. GTK:n pohjamaalajikartta mittakaavassa 1:20 000 (Geologinen tutkimuskeskus – Pohjatutkimukset)

Geologisen tutkimuskeskuksen maalajiaineiston maalajit sisältävät jokainen tietyt ominaisuuden sisältävät attribuutit. Maalajeissa on sisällään id, eli tunnistenumero, tiedoston muototyyppi, maalajin tunnus, pintamaalajin koodi, pintamaalajin nimi, pohjamaalajin koodi (kuva 5), pohjamaalajin nimi sekä maalajin kattavuuden pituus ja pinta-ala. Näistä olennaiset ovat pohjamaalajin koodi sekä sijainnin attribuutit. Geologisen tutkimuskeskuksen aineiston maalajit ovat tiedostomuodossa yhdessä paketissa, jolloin halutun ominaisuuden sisältämät maalajit tulee erotella toisistaan. ArcMap-ohjelmalla voidaan valita listauksena tietyn attribuutin sisältämän maalajin ja sen avulla yhdistämään nämä maalajit maalajikategoriaksi. Tätä kategoriaa voidaan hyödyntää lopullisessa ehtolausekkeessa.



KUVA 5. Esimerkki maalajien valinnasta attribuuttien perusteella

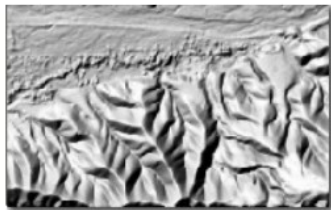
4.7 Attribuuttina maaperän kaltevuus

Toinen rakennettavuusluokkien rajaavana reunaehtona on maaperän kaltevuus. ArcMap-ohjelma mahdollistaa kaltevuuden ilmaisun sekä prosentteina että asteina. Esimerkkikohteessa reunaehto- jen kaltevuudet on ilmoitettu molempina. Reunaehto- jen kaltevuudet ovat asteina ilmoitettuna hel- posti rakennettavalla alueella 0–5°, normaalista rakennettavalla alueella 5–12,5° sekä 0–12,5°, jos pohjamaa on karkeaa hietaa tai hienoainesmoreenia. Normaalista rakennettavan kalliomaan alu- eella kaltevuus on 0–12,5°, pehmeiköllä 0–12,5°, vaikeasti rakennettavalla moreenisella rinne- maastolla >12,5°, vaikeasti rakennettavalla kalliolisella rinnemaastolla >12,5°, vaikeasti rakennet- tavalla pehmeikkörinteellä >12,5° ja erittäin vaikeasti rakennettavalla rinnemaastolla <20°. Taval- lisesti kaltevuudet olisivat järkevää jakaa tasaisesti nousevaksi, kuten <5°, 5–12,5°, 12,5–20° ja >20°, mutta esimerkkikohteessa haluttiin mukaan myös kaksi kaltevuuden lisäkategoriaa 0–12,5° ja >12,5°. Nämä kaltevuuden lisäkategoriat menevät päällekkäin muiden kaltevuuksien kanssa, mutta tässä tapauksessa ne asetettiin omiksi rajausehdoikseen.

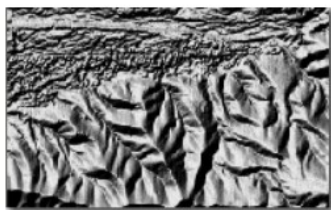
Attribuuteista kaltevuus sisältää luokan, eli gridcoden, muodon, FID-numeron, muodon ja Id-nume- ron. FID-numero on järjestysnumero ohjelman luomalla polygonille. Id-numero on tunnistusnu- mero, muoto on ArcMapissa polygon, ja gridcode on kaltevuudelle asetettu rajausehtojen luoma tunniste eri kaltevuuden asteiden vaihteluille. Esimerkiksi kaltevuuksissa 0–5° gridcode on numero

1, kaltevuuksissa 5–12,5° gridcode on numero 2, kaltevuuksissa 12,5–20° gridcode on numero 3 ja >20° kaltevuuksissa se on numero 4. Gridcode-attribuuteista voidaan valita halutut kaltevuusluokat ja viedä ne osaksi ehtolauseketta, jolla lopullinen yhdistäminen tehdään maalajikategorian kanssa.

Kaltevuus lasketaan Maanmittauslaitoksen vinovalorasterin avulla. Rasterimuotoinen kartta on varjokuva, jossa on hyödynnetty auringon 45°:n suuntakulmaa. (Maanmittauslaitos.) Varjoalueiden tummuuden asteesta voidaan Arcmap-ohjelmalla luoda jaottelu rajatun alueen eri kaltevuuksista. ArcMap-ohjelman oletuksellinen z-kerroin on 1. Maanmittauslaitoksen vinovalorasterin z-kerroin on viisinkertainen, joten Maanmittauslaitoksen materiaalia käytettäessä ArcMap-ohjelmassa tämä pitää ottaa huomioon (kuva 6). Mikäli z-kerroin on väärä, ei ArcMap-ohjelma osaa tehdä kaltevuusjaottelua oikein. (ArcGis Blog.)



Hillshade with correct Z-factor



Hillshade with wrong Z-factor

KUVA 6. Alemmassa kuvassa on esimerkki, jossa z-kerroin on liian suuri. Ylemmässä kuvassa se on asetettu oikein (ArcGis Blog)

ArcMap osaa luoda vinovalorasterista kaltevuudet varjoalueiden tummuuden perusteella. Ohjelma käyttää hyväkseen arvoja välillä 1–255, joiden avulla se laskee kaltevuuden arvot halutulla alueella. Sen toiminta perustuu menetelmään, missä luodaan jokaisesta eri rasterimuotoisen kuvan sävystä erillinen solu, jota verrataan viereisiin soluihin (kuva 7). Näistä lasketaan suurin mahdollinen korkeuden erotus ja etäisyys kahdeksan lähimmän solun kesken. Mitä pienempi arvo on, sitä tasaisempi maasto on. Mitä suurempi arvo on, sitä suurempi on kaltevuus. (ArcGis.)

a	b	c
d	e	f
g	h	i

50	45	50
30	30	30
8	10	10

KUVA 7. Keskellä keskisolu e ja ympärillä 8 lähintä solua. Lisäksi vierellä esimerkkisarvoja samoille soluille

ArcMapin kaltevuustyökalun algoritmi laskee kaltevuudet asteina kaavan 1 mukaisesti, josta x-suunnan muutos keskisolulle voidaan laskea kaavalla 2 ja y-suunnan muutos kaavasta 3.

KAAVA 1. Kaltevuuden laskentakaava

$$\text{ATAN} (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * (180/\pi)$$

$[dz/dx]$ = x-suunnan muutos keskisolulle

$[dz/dy]$ = y-suunnan muutos keskisolulle

KAAVA 2. x-suunnan muutos keskisolulle

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x_cellsize)$$

$x_cellsize$ = laskettavan solun pinta-ala

i = viereinen solu

a = viereinen solu

b = viereinen solu

c = viereinen solu

d = viereinen solu

e = viereinen solu

f = viereinen solu

g = viereinen solu

KAAVA 3. *y*-suunnan muutos keskisolulle

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y_cellsize)$$

y_cellsize = laskettavan solun pinta-ala

i = viereinen solu

a = viereinen solu

b = viereinen solu

c = viereinen solu

d = viereinen solu

e = viereinen solu

f = viereinen solu

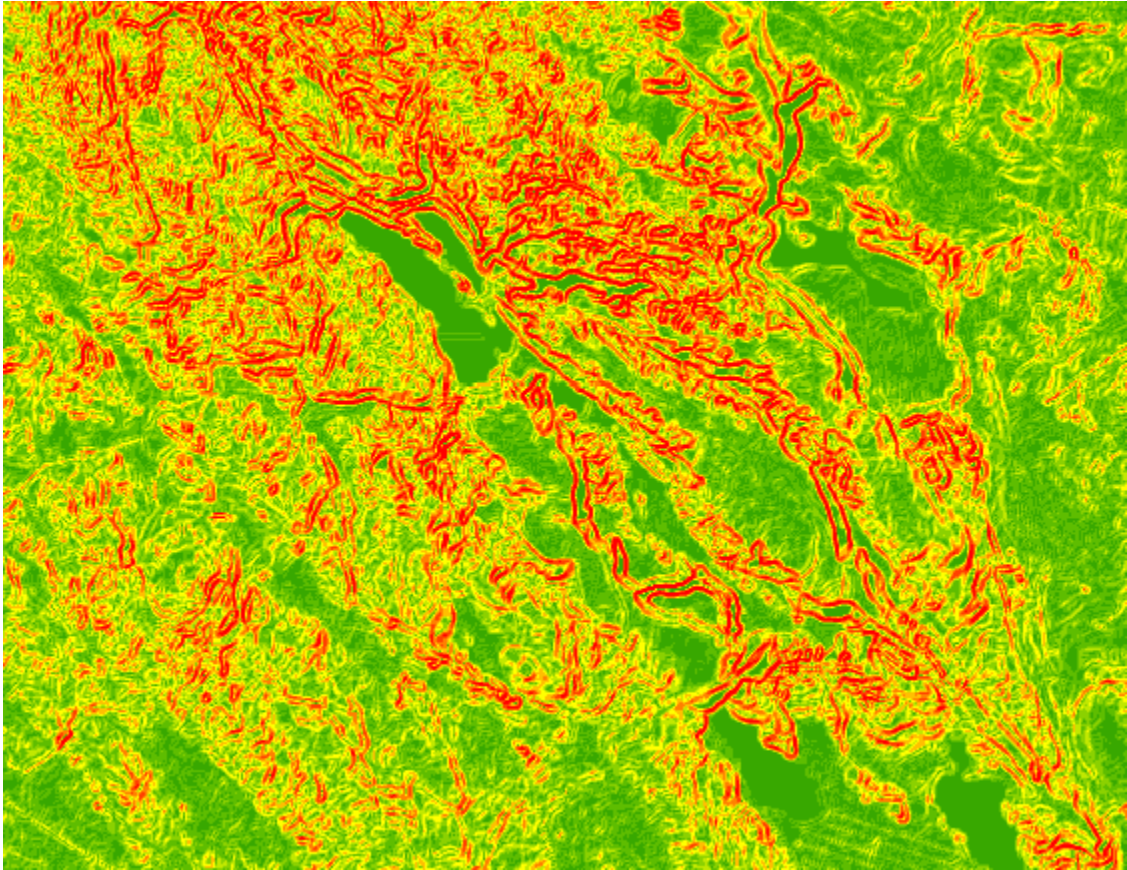
g = viereinen solu

Lopulta saadut kaavojen 2 ja 3 tulokset syötetään alkuperäiseen kaltevuuden kaavaan 1. Esimerkki laskennan lopputuloksesta on kuvattu kuvassa 8.

59	56	59
71	75	70
60	63	57

KUVA 8. Esimerkki lasketuista solujen arvoista (Burrough, McDonell, 190)

ArcMap-ohjelmassa rinteen kaltevuuden voi määrittää niille raja-arvoille kuin käyttäjä itse haluaa. Esimerkkitapauksessa kaltevuusluokkia oli neljä ja sen lisäksi kaksi lisäluokkaa. Lisäluokat pitää luoda erikseen, sillä ohjelma ei osaa kerralla luoda kuin yhden samankaltaiset raja-arvot. Raja-arvojen ollessa halutussa kaltevuudessa rajaa ohjelma alueen sen mukaan, missä haluttu kaltevuuden rajat sijaitsevat. Esimerkkinä kun rajausehtona on ollut kaltevuusluokka 0–5°, tulostaa ohjelma tuolla kaltevuudella olevat alueet vihreällä. Kaltevuusalueet 5–12,5° ovat keltaisella, 12,5–20° oranssilla ja yli 20°:n kaltevuudet punaisella (kuva 9).



KUVA 9. Esimerkki ArcMapin luomasta kaltevuuskartasta

5 ATTRIBUUTTIEN HYÖDYNNETTÄVYYDEN ARVIOINTI

Attribuutteja voidaan käyttää hyväksi rakennettavuusselvityksen automatisoinnissa. Tämä tarkoittaa sitä, että käyttäjän ei tarvitse itse käsin rajata rakennettavuusselvityskohteen alueita tiettyjen ominaisuuksien mukaan. Koska data sisältää tietyn tyyppistä tietoa, oikeilla ohjelmistoilla voidaan luoda malleja, jotka käyttävät haluttua tietoa hyväkseen. Normaalisissa tapauksissa käyttäjän on itse valittava alue, jota työstetään. Rakennettavuusselvityksen tapauksessa alue on rajattava maaperän kaltevuuden ja maaperän perusteella, mutta myös muilla rajaavilla tekijöillä, jotka voidaan haluta ottaa huomioon. Esimerkkitapauksen kohteen pinta-ala on todella suuri. Mikäli tällaiselle alueelle tehtäisiin rakennettavuusselvitys käsin, se vaatisi hyvin paljon aikaa.

Esimerkkitapauksessa ArcMapin avulla luotu rakennettavuusselvitysmalli on automatisoitu, sillä siinä hyödynnetään olemassa olevia paikkatietojen attribuutteja, jotka luovat mallinnuksen syötettyjen ehtojen perusteella. Käyttäjän ei itse tarvitse tehdä muuta kuin luoda ehtorajaukset ja syöttää aineisto ehtorajauksen läpi. Lopputuloksena on mallinnus ehtolausekkeen luomien ehtojen perusteella.

Vinovalovarjorasterin käyttö kaltevuuksien määrittämisessä ei myöskään ole pakollista. Kaltevuuksia voidaan luoda lukemattomilla eri tavoilla ja niiden vaatima lähtöaineisto voi olla hyvin tapauskohtaista. Kaltevuudet olisi voitu luoda erimerkkikohteeseen myös Maanmittauslaitoksen luomalla laserkeilausaineistolla, mutta vinovalovarjorasteri on esimerkkikohteeseen järkevämpi sen keveyden vuoksi. Laserkeilauksella voidaan saada tarkempi mallinnus kaltevuuksista, mutta se soveltuu paremmin pienemmille alueille.

Rakennettavuusselvitys on vain yksi esimerkki siitä, mitä attribuuttien avulla voidaan luoda. Rajauksia voidaan tehdä loputon määrä riippuen lähtöaineiston sisältämisestä attribuuteista. GTK:n aineistoista voisi helposti luoda samalla menetelmällä esimerkiksi mallin, jossa kuvataan kallioperähavainnot suoalueilla.

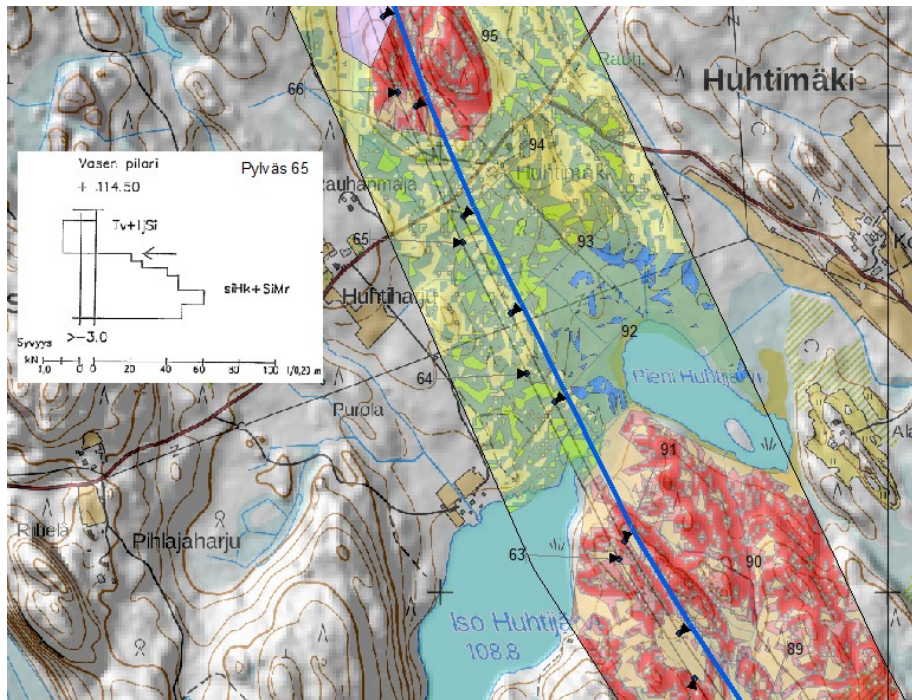
6 MALLINNUKSEN LUOTETTAVUUDEN TARKASTELU

Mallien paikkansapitävyyttä voidaan esimerkkikohteessa tarkastella kahdella eri tavalla: tarkastelemalla alueelle tehtyjä pohjatutkimuksia sekä vertaamalla mallin tuloksia kahdessa eri mittakaavassa. Suunnittelun voimajohdon läheisyydessä kulkee nykyinen voimajohto suurelta osalta tarkasteltavaa aluetta. Nykyisen voimajohdon pylväiden kohdalle on tehty vuonna 1998 ja 2006 pohjatutkimuksia, joten näitä vertaamalla uuteen luotuun malliin voidaan tarkastella mallin luotettavuutta.

Rakennettavuusmalli on luotu kahdessa eri mittakaavassa. Ensimmäinen on 1:20 000 ja toinen on 1:200 000. Ensimmäisen mittakaavan tarkastelussa on mukana kaikki maalajit yksityiskohtaisesti eriteltynä, ja toisessa on maalajit esitetty hieman karkeammin. Rakennettavuusmalli on rakennettu mittakaavassa 1:200 000 koko tutkittavalta alueelta ja mittakaavassa 1:20 000 noin puolelta alueelta. Pällekkäisillä alueilla niitä voidaan vertailla keskenään.

6.1 Mittakaavojen vertailu työalueella

Vertailemalla mittakaavoissa 1:20 000 ja 1:200 000 olevia malleja keskenään voidaan todeta, että malleissa ei ole ristiriitoja. Mittakaavan 1:20 000 mallin tarkkuus on paremmin määritellyiden maalajien vuoksi suurempi, joten sen rakennettavuusalueet näkyvät mallissa yksityiskohtaisemmin. Suuremman mittakaavan rakennettavuusmallissa ei ole määritetty erikseen esimerkiksi turvealueita, vaan pehmeämmän maalajien alueet on lajiteltu joko hienojakoisiin tai liejuisiin maalajeihin. Tästä johtuen malli ei 1:200 000 mittakaavassa muodosta ollenkaan kuvassa 10 näkyvää turvealuetta vaan luokittelee sen helposti rakennettavaksi, normaalisti rakennettavaksi tai pehmeikkörinteeksi.



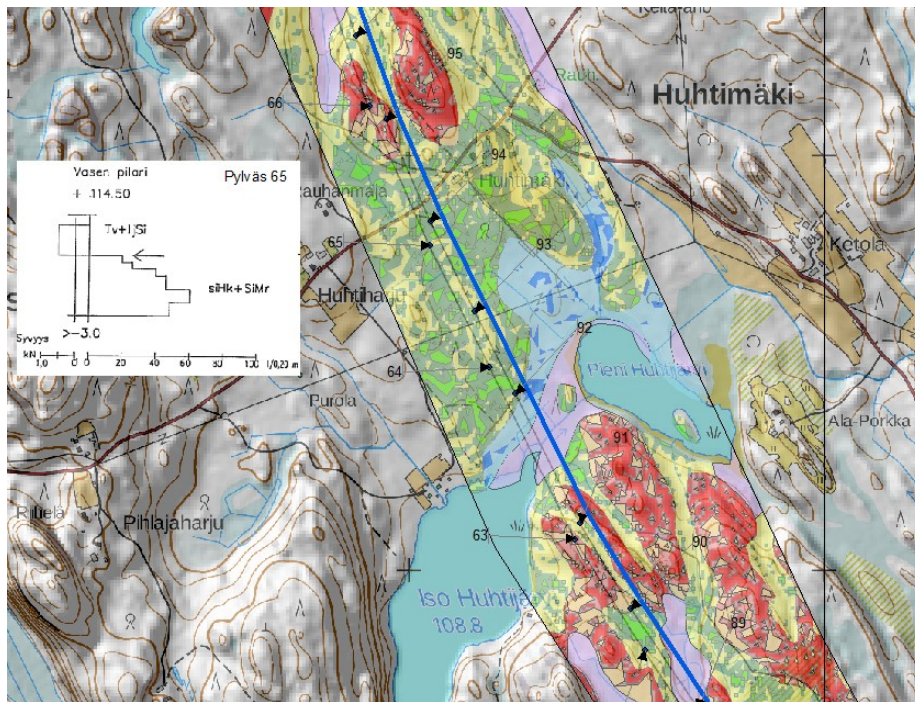
KUVA 10. Mittakaavassa 1:200 000 oleva malli

Molempien mittakaavojen ehtolausekkeissa ovat samat kaltevuuden määrittelyt, jolloin pohjamaalajit ovat ainoat ne toisistaan erottavat tekijät. Kuvasta 11 näkee esimerkkikohteen rakennettavuusluokkien värikoodit ja määritelmät.

- Helposti rakennettava (Kaltevuus < 5)
- Normaalisti rakennettava (Kaltevuus 5-12.5)
- Normaalisti rakennettava (Kaltevuus > 12.5)
- Pehmeikko (Kaltevuus < 12.5)
- Turvealue
- Normaalisti rakennettava kalliomaata (Kaltevuus < 12.5)
- Vaikeasti rakennettava rinnemaasto, moreeni (kaltevuus > 12.5)
- Vaikeasti rakennettava rinnemaasto, kallio (Kaltevuus 12.5-20)
- Vaikeasti rakennettava pehmeikkörinne (Kaltevuus > 12.5)
- Erittäin vaikeasti rakennettava kalliainen rinnemaasto (Kaltevuus > 20)
- Täytemaa (Ta)
-

KUVA 11. ArcMap-ohjelmasta otettu rakennettavuusluokittelu väreineen

Kuvasta 10 voidaan nähdä, että Pienen Huhtijärven eteläpuolella mittakaavassa 1:200 000 mallinnus piirtää alueen lähes kokonaan vaikeasti rakennettavaksi kalliiseksi rinnemaastoksi. Mittakaavan 1:20 000 mallinnus piirtää sen lisäksi alueelle vaikeasti rakennettavan moreenisen rinnemaaston. Tämä näkyy kuvassa 12.



KUVA 12. Mittakaavassa 1:20 000 oleva malli

Ero tulee tässäkin kohdassa maalajien tarkkuudesta. Suuremman mittakaavan maalajimääritys alueella on merkitty kokonaan kalliiseksi maaperäksi ja pienemmässä mittakaavassa on määritetty myös moreenia olevan alueella. Pienemmän mittakaavan aineisto on tarkempi. Aineistot eivät ole keskenään ristiriidassa, sillä molemmat alueista ovat vaikeasti rakennettavia.

6.2 Pohjatutkimukset työalueella

Rantamäen ja Jääskeläisen (1993) mukaan pohjatutkimuksilla tarkoitetaan maa- ja kallioperän tutkimuksia, joilla pyritään selvittämään niiden rakennetta ja ominaisuuksia. Koska Geologisen tutkimuskeskuksen aineistoon ei voida yksinään luottaa rakennettavuusselvitystä ja perustamistapaa tehtäessä, on aineiston luotettavuutta tarkistettava pohjatutkimuksilla. Yleisesti maankäytön kaavoituksen sekä suunnittelun tulisi perustua kaavoitusalueille tehtyihin pohjatutkimuksiin. Kiviainesta käyttävässä rakennusteollisuudessa sekä maanrakennustoiminnassa tarvitaan paljon kallio- ja maamateriaaleja, joiden kelpoisuus ja saatavuus täytyy selvittää tällaisten materiaaliottoaikkojen pohjatutkimuksilla.

Esimerkkikohteessa pohjatutkimuksia tarvitaan rakennushankkeiden geoteknisen suunnittelun vuoksi. Pohjatutkimusten laajuus määräytyy kuormitusten, tehtävien rakenteiden sekä pohjan laadun mukaan. Pohjatutkimuksilla on pystyttävä ainakin selvittämään maaperän kerrospaksuudet, maalajirajat, kerrosten ominaisuudet, kalliopinnan tai tiiviin moreenin raja ja pohjavesiolosuhteet. (Rantamäki & Jääskeläinen 1993, 249.)

6.3 Heijarikairaus

Alueelle tehdyt pohjatutkimukset on tehty heijarikairauksina. Heijarikairaus on dynaaminen kairausmenetelmä, jossa kaira tunkeutuu maahan heijarin lyömänä. (Rantamäki & Jääskeläinen 1991, 254.) Heijarikairauksessa vastus saadaan kairan maahantunkeutumisen syvyyksikköä kohti tarvittavien lyöntien määrästä. Heijarikairauksessa lyöntien määrä havaitaan jokaisen 0,2 m tunkeutumisen jälkeen. Aiemmin kairauksen painuman syvyys ja lyöntien määrä kirjattiin kairauspöytäkirjaan, mutta nykypäivänä kairan tietokone tallentaa muistiin lyöntien määrän ja syvyyden. Kairaaja kirjaa myös muistiin mahdolliset erikoishavainnot, kairauksen päättymistavan sekä maalajin. (Rantamäki & Jääskeläinen 1991, 255.) Esimerkkikohteen nykyisten pylväiden kairauksista osa on tehty vuonna 1998, joten näiden tulokset on kirjattu käsin kairauspöytäkirjaan.

Heijarikairaus päätetään tavallisesti silloin, kun heijarin kärki pysähtyy kallioon, lohkareseen tai kiveen. Usein myös pohjatutkimuksista vastaava yritys määrittää päättymissyvyyden kairaukselle, jolloin tämän syvyyden saavuttaessa voidaan kairaus päättää. Kolmas päättymisen syy on tiivis maakerros, jolloin kairauksen lyöntien määrä toistuvasti yli kaksisataa lyöntiä 0,2 m:ä kohti. Jos

tiivien maakerrosten alla voidaan olettaa olevan pehmeitä maakerroksia, pitää kairausta jatkaa. Mikäli lyöntien määrä on 400 0,2 m:ä kohti, tulee kairaus kaluston kestävyuden vuoksi päättää. (SGY 1980, 11.)

Heijarikairaus on parempi vaihtoehto kuin esimerkiksi painokairaus, kun halutaan tunkeutua rakenteiltaan tiiviisiin maakerroksiin. Moreenimaalajeissa sekä karkealajitteisissa maalajeissa voidaan heijarivastuksen perusteella arvioida myös maakerrosten suhteellista tiiveyttä. Maalajien kerrosrajojen selvittäminen heijarikairauksella ei ole niin luotettavaa kuin painokairauksella, mutta sillä voidaan hyvin määrittää kivettömien maakerrosten tukipaaluksen pituus. (Rantamäki & Jääskeläinen 1993, 254.)

6.4 Painokairaus

Painokairaus on Suomessa ja Pohjoismaissa yksi yleisimmistä kairausmenetelmistä. Se soveltuu hyvin löysiin maihin, mutta voidaan käyttää myös keskitiiviissä moreenissa. Painokairauksen avulla saadaan kairausvastuksen ja muiden havaintojen perusteella helposti selville maakerrosten rakenne sekä kerrosrajat. (Jääskeläinen 2011, 246.) Nykyään painokairaus tapahtuu monitoimikairoilla, mutta myös käsin tehtävää kairauksista on mahdollista käyttää. Molempien tapojen periaate on sama (SGY 1980, 4). Käsin suoritettu painokairaus tapahtuu alla olevan esimerkin mukaisesti.

Ensimmäisenä tehdään alkukairaus, jonka avulla poistetaan kairatankoihin kohdistuva varsikitka, jota maanpinnassa olevat juurakot ja täytemaat saattavat aiheuttaa. Varsikitka vääristää kairaus-tuloksia, joten sen mahdollisuus on hyvä minimoida. (Rantamäki & Jääskeläinen 1993, 252.) Kun alkukairaus on tehty, aloitetaan painokairaus. Kairan kärki painetaan maahan 1 kN:n kuormalla ja samalla seurataan, painuuko kärki nopeammin kuin 50 mm/s. Painuman ollessa tätä suurempi tulee painoja vähentää siten, ettei painumisnopeus kuitenkaan mene alle 20 mm/s. Painuman tulisi tapahtua mahdollisimman pienillä painoilla. Yleensä painokairaus tehdään 0,05; 0,15; 0,25; 0,50; 0,75 tai 1 kN:n kuormituksilla. Aina kun kairaus saavuttaa 20 cm syvyyden, merkitään se kuormitus, millä syvyys on saavutettu. (Jääskeläinen 2011, 247.)

Kun kairan tunkeutuminen 1,0 kN:n kuormituksella on pienempi kuin 5 mm/s, kairaa aletaan kiertämään. Kairan tunkeutuessa kiertämällä 0,2 m kirjataan ylös tunkeutumiseen vaadittu puolikierrosten lukumäärä. Jos kaira jälleen painuu ilman kiertämistä, asetetaan painoksi pienin mahdollinen paino, jolla painumista tapahtuu. (Rantamäki & Jääskeläinen 1993, 252.)

Kun puolikierroksia tarvitaan yli sata 20 cm:n matkalla, voidaan kairaus lopettaa. Tämän jälkeen kairaa lyödään tähän tarkoitukseen tehdyllä nuijalla siihen asti, että painumaa ei enää tapahdu. Monitoimikairavaunussa lyöminen voidaan myös korvata yli 1 kN:n kuormituksella. (Rantamäki & Jääskeläinen 1993, 252.)

Kairauksen päättyminen merkataan syineen kairauspöytäkirjaan. Syyt kairauksen päättymiselle voivat olla samoja kuin heijarikairauksella, eli päättyminen kiveen tai lohkareeseen, päättyminen tiiviiseen maakerrokseen, päättyminen lohkareeseen tai kallioon tai päättyminen määräsyyvyteen. (SGY 1980, 6.)

Painokairauksesta tehdään aina kairausdiagrammi, eli kairausvastuspiirros, jossa käy ilmi eri kairausvyyksissä tarvittu kairan kuormitus sekä kairausvastus. Diagrammissa ilmoitetaan nämä puolikierrosten määränä kairan tunkeutumana jokaista 0,2 m:ä kohden. Kairausdiagrammissa kuvataan myös maalajiryhmä symbolimerkinkein sekä maakerrosten maalajit. (Rantamäki & Jääskeläinen 1993, 253.)

Painokairaus soveltuu parhaiten hienorakeisiin maalajeihin. Painokairauksella saadaan selville kairausvastusten perusteella muun muassa maakerrosten rajat sekä kerrospaksuudet. Kitkamaalajien kohdalla painokairauksella saadaan kuvaa kerrosten suhteellisesta tiiveydestä. Savikerroksissa painokairatulokset voivat olla epäluotettavia, eikä esimerkiksi liejukerroksen erottaminen savikerroksesta ole painokairauksen perusteella luotettavaa. (Rantamäki & Jääskeläinen 1993, 253.)

Luotettavimman tuloksen painokairauksella saadaan hiekassa, löyhässä moreenissa ja sorassa. Kun maaperä koostuu tiiviistä tai keskitiiviistä moreenista tai sorasta, joudutaan kairaa lyömään. Tämä heikentää tulosten luotettavuutta. (Jääskeläinen 2011, 250.) Taulukossa 4 on kuvattu arvioita maaperän lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksista painokairauksen kairausvastuksen perusteella.

TAULUKKO 4. Maalajien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia eri kairausmenetelmien perusteella (Väylävirasto 2012)

Maalaji		Tilavuuspaino (kN/m ³) pohjavedenpinnan		Leikkauskestävyyskulma (°)	Janbun yhtälön muodonmuutosparametrit		Kairausvastus		
		Yläpuolella	Alapuolella		m	β	Puristinkairaus q_c (MPa)	Painokairaus $P_k/0,2$ m	Heijarikairaus $L/0,2$ m
Karkea siltti	Löyhä	14 ... 16	9 ...	28	30 ... 100	0,3	< 7	< 40	< 8
	Keskitiivis			30	70 ... 150	0,3	7 ... 15	40 ... 100	8 ... 25
	Tiivis	16 ... 18	11	32	100 ... 300	0,3	> 15	> 100	> 25
Hieno hiekka $d_{10} < 0,06$	Löyhä	15 ... 17	9 ...	30	50 ... 150	0,5	< 10	20 ... 50	5 ... 15
	Keskitiivis			33	100 ... 200	0,5	10 ... 20	50 ... 100	15 ... 30
	Tiivis	16 ... 18	11	36	150 ... 300	0,5	> 20	> 100	> 30
Hiekka $d_{10} > 0,06$	Löyhä	16 ... 18	10 ...	32	150 ... 300	0,5	< 6	10 ... 30	5 ... 12
	Keskitiivis			35	200 ... 400	0,5	6 ... 14	30 ... 60	12 ... 25
	Tiivis	18 ... 20	12	38	300 ... 600	0,5	> 14	> 60	> 25

6.5 Kairausten vertailu alueella

Esimerkkikohteessa kairaukset eivät ole ristiriidassa Geologisen tutkimuskeskuksen aineiston kanssa. Kaikki verratut kairaukset osuvat aineiston kanssa hyvin yhteen. Esimerkiksi kuvassa 12 pylvään 65 vasemman pilarin kairaus nimeää pohjamaalajiksi silttisen hiekan (siHk) ja silttimoreenin (SiMr). Sama kohta Geologisen tutkimusseuran aineistossa antaa pohjamaalajiksi mittakaavassa 1:200 000 sekalajitteisen maalajin ja mittakaavassa 1:20 000 hiekkamoreenin. Myöskään muut alueella tehdyt vertailut kairausten ja rakennettavuusmallin kanssa eivät olleet ristiriidassa keskenään.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella mahdollisuutta hyödyntää attribuutteja rakennettavuusselvitystä tehtäessä ja selvittää, voidaanko attribuuttirajausten avulla automatisoida ja nopeuttaa rakennettavuusselvityksen tekemistä. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, voidaanko automaattisesti luotuun malliin luottaa ja poikkeako se alueelle tehdyistä pohjatutkimuksista.

Tämän työn perusteella voidaan todeta, että attribuuttirajauksilla todellakin voidaan luoda toimiva rakennettavuusselvitysmalli käyttäen hyväksi maaston kaltevuutta ja tietoja pohjamaalajeista. Automaattisen mallinnus on järkevää varsinkin silloin, kun maaperä on hyvin vaihtelevaa. Opinnäytetyössä tehtyä mallia verrattiin alueelle jo aiemmin tehtyihin heijari- ja painokairauksiin sekä maalaajimäärityksiin, ja tulosten todettiin niiden täsmäävän luotuun rakennettavuusselvitysmalliin.

Rakennettavuusmallin automatisoinnin tarve kasvaa sen mukaan, mitä suurempi mallinnettava alue on. Pienelle alueelle mallinnuksen tekeminen attribuuttien avulla ei tuo suurta hyötyä, mutta alueen kasvaessa kasvaa myös käsin tehtävän työn määrä. Automaattinen mallinnus on hyödyllistä varsinkin silloin, kun alueesta ei ole valmiiksi tarkkoja rakennettavuuden tietoja vaan halutaan kartoittaa rakentamisen järkevyyttä. Tämän lisäksi myös pohjamaalajien vaihtelevuus kasvattaa automatisoinnin tarvetta, sillä se lisää työn määrää, mikäli rakennettavuusselvitys luodaan käsin. Päinvastoin automatisoidulla mallilla työn määrä ei lisäännä, vaikka pohjamaaolosuhteet vaihtelevat.

Tässä työssä rakennettavuusselvitystä tehtäessä attribuutteja hyödynnettiin ArcMap-ohjelmalla. Kyseisen ohjelman käyttö toimi vain esimerkkinä, ja ehtolausekkeiden ja rajausten luomisen voi tehdä myös muilla ohjelmilla, jotka osaavat käyttää paikkatietoista dataa ja spatiaalifunktioita.

Automatisoinnin mahdollisuus on hyvä ottaa huomioon myös tulevaisuuden rakentamisessa. Datan määrä kasvaa maailmassa jatkuvasti, joten mahdollisuudet sen hyödyntämiselle ovat rajattomat.

LÄHTEET

AFRY Finland Oy 2020. Rakennettavuusluokat projektille.

Burrough, Peter, A. & and McDonell, Rachael, A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. New York: Oxford University Press

Esri 1998. Shapefile Technical Description. Hakupäivä 13.10.2021. <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>.

Esri 2016. What is ArcMap. Hakupäivä 13.10.2021. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>.

Esri 2021. How Slope works. Hakupäivä 3.10.2021. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>.

Finlex 2016. Rakennuspaikkaa koskevat vaatimukset. Hakupäivä 25.9.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Frye Charlie 2007. Setting the Z Factor parameter correctly. Hakupäivä 1.10.2021. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/setting-the-z-factor-parameter-correctly/>.

Geologian tutkimuskeskus 2015. Maaperä 1:20 000/1:50 000. Hakupäivä 12.10.2021. https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/maapera_20_50k.html.

Geologinen tutkimuskeskus 2021. Pohjatutkimukset. Haettu 18.11.2021. <https://gtkdata.gtk.fi/Pohjatutkimukset/index.html>

GISGeography 2021. Spatial Databases – Build Your Spatial Data Empire. Hakupäivä 13.10.2021. <https://gisgeography.com/spatial-databases/>.

Haavisto-Hyvärinen, Maija & Kutvonen, Harri 2007. Maaperäkartan käyttöopas. Hakupäivä 26.9.2021. https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk_maaperakartan_kayttoopas.pdf.

Helsingin kaupunki 2019. Maa- ja kallioperä. Hakupäivä 9.11.2021. <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/tontit/maa-ja-kalliopera/usein-kysyttya>.

Jääskeläinen, Raimo 2011. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka.

Kauranne, Leevi-Kalevi, Gardemeister, R., Korpela, Kauko & Mälkki, Esko 1972. Rakennusgeologia II. Otaniemi: Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta.

Kvartsberg, S. 2013. Review of the Use of Engineering Geological Information and Design Methods in Underground Rock Construction. Chalmers University of Technology, Sweden.

Liikennevirasto 2012. Tien geotekninen suunnittelu. Hakupäivä 10.10.2021. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-10_tien_geotekninen_web.pdf.

Maanmittauslaitos 2021. Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Hakupäivä 18.11.2021. <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>.

Maanmittauslaitos 2018. Geoinformatiikan sanasto. Hakupäivä 29.9.2021. <http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/GeoinformatiikanSanasto.pdf>.

Maanmittauslaitos 2021. Maastokarttasarja. Hakupäivä 27.9.2021. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/maastokarttasarja-rasteri>.

Maanmittauslaitos 2021. Organisaatio. Hakupäivä 27.9.2021. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tietoa-meista/organisaatio>.

Maanmittauslaitos 2021. Rinnevarjostus. Hakupäivä 28.9.2021. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/rinnevarjostus>.

Rantamäki, Martti, Jääskeläinen, Raimo & Tamminne, Markku 1993. Geotekniikka. Hämeenlinna: Otatieto.

Rantamäki, Martti, Jääskeläinen, Raimo & Tammirinne, Markku 1982. Geotekniikka. Espoo: Ota-kustantamo.

Ronkainen, Nanna 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia, Suomen ympäristö 2. Hakupäivä 22.10.2021. <https://core.ac.uk/download/pdf/14927376.pdf>.

SFS-käsikirja 179-1. Suomen standardisoitumisliitto SFS Oy. Geotekninen tutkimus ja koestus. Osa 1: Maan ja kallion luokitukset 2008

Suomen Geoteknillinen yhdistys 1980. Kairausopas 1. Hakupäivä 3.10.2021. <https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/kairausopas-1-painokairaus-taerykairaus-heijarikairaus.pdf>.

LIITTEET

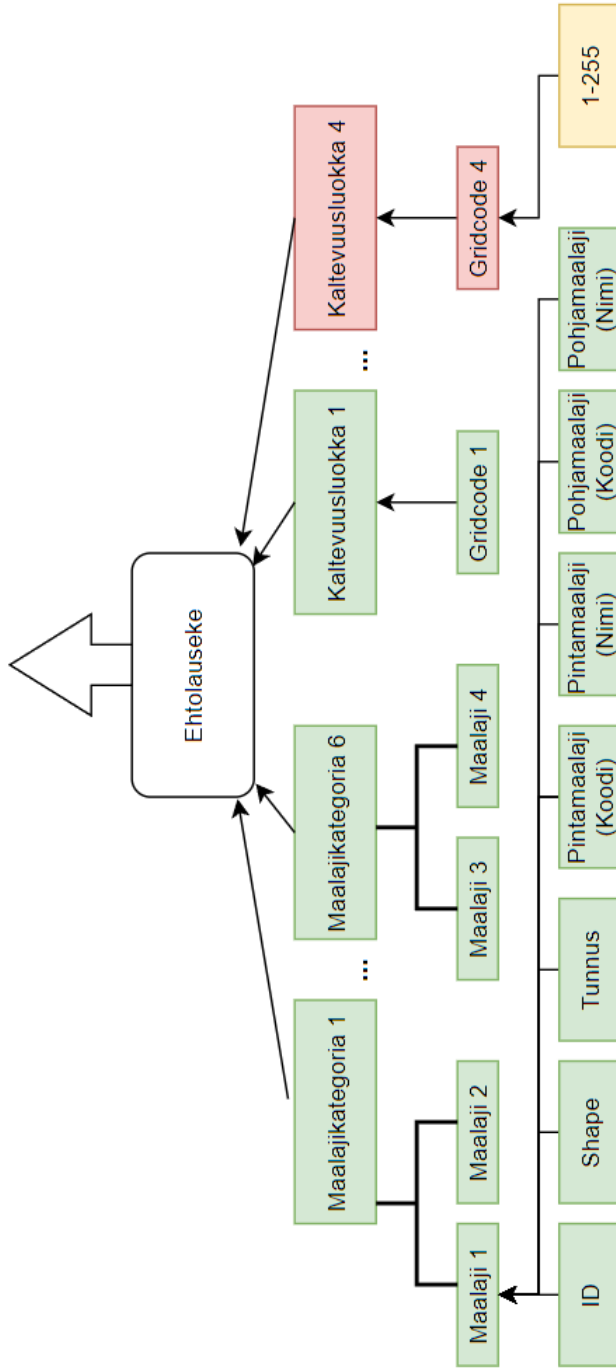
Liite 1 Rajausehtojen luominen

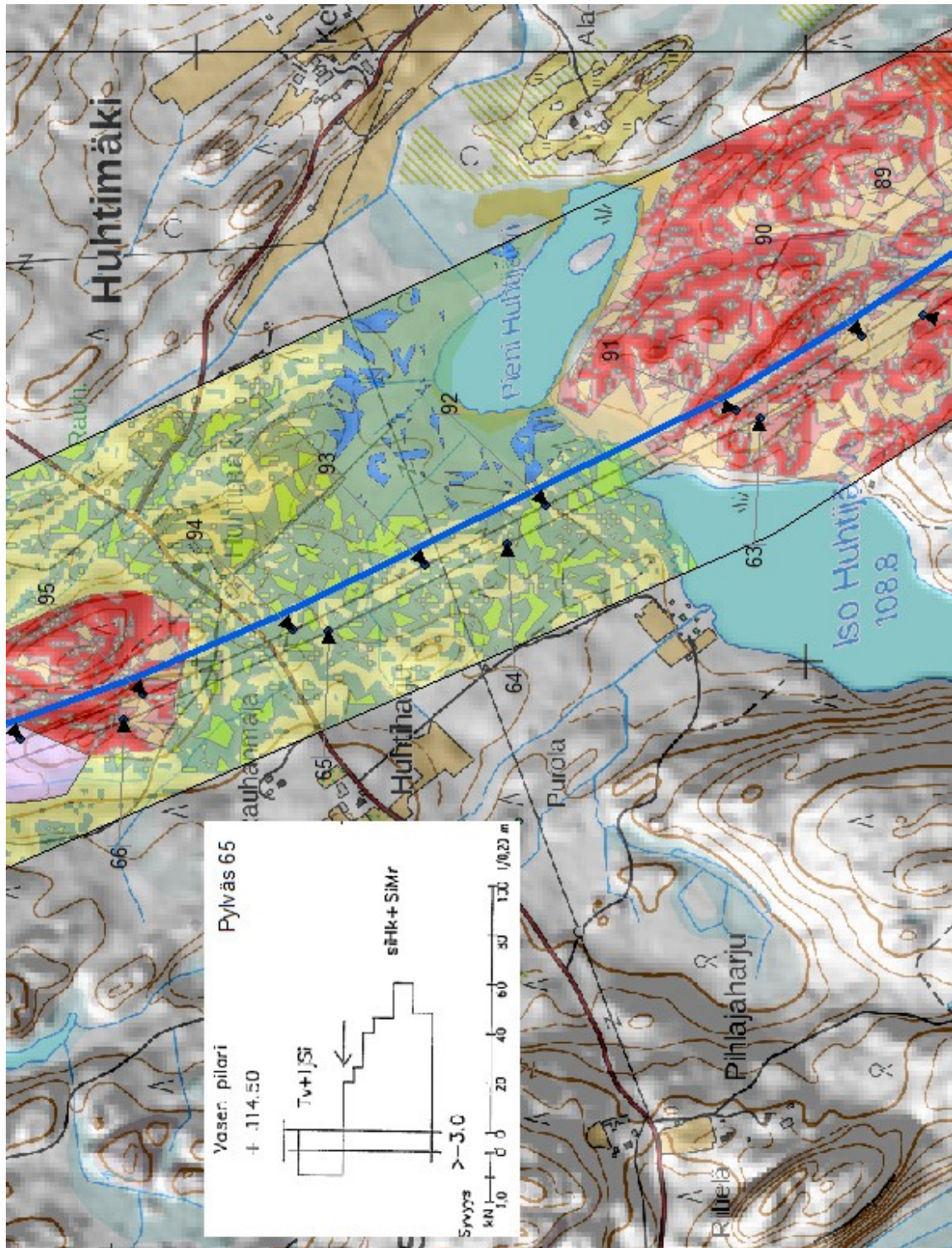
Liite 2 Rakennettavuusmalli mittakaavassa 1:200 000

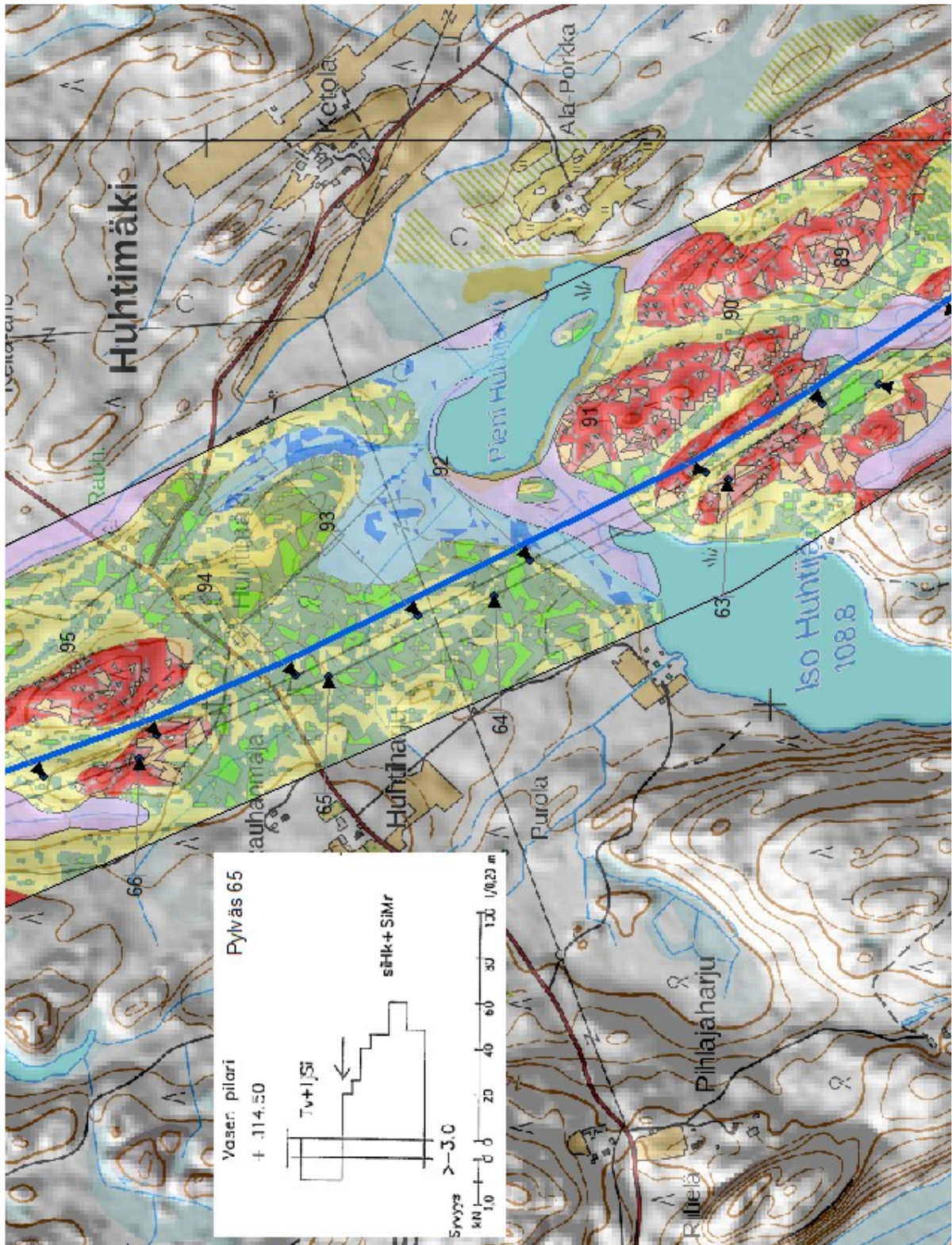
Liite 3 Rakennettavuusmalli mittakaavassa 1:20 000

Liite 4 Esimerkki painokairausdiagrammista

Rajattu alue ehtoineen = Rakennettavuusluokka







5a. Painokairaus

