

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Metsätalouden koulutusohjelma

Iiro Hynninen

LASERKEILAINPOHJAISEN VOIMALINJOJEN  
KASVILLISUUSRISKIANALYYSIN TYÖNVAIKEUSTEKIJÖIDEN  
MÄÄRITYS

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2011



POHJOIS-KARJALAN  
AMMATTIKORKEAKOULU

**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2011**  
**Metsätalouden koulutusohjelma**

Sirkkalantie 12  
80100 JOENSUU  
p. (013) 260 6900 p. (013) 260 6906

Tekijä  
Iiro Hynninen

Nimeke  
Laserkeilainpohjaisen voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysin työnvaikeustekijöiden määrittäminen

Toimeksiantaja  
Arbonaut Oy

**Tiivistelmä**

Arbonaut Oy on tehnyt laserkeilainpohjaista voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysiä vuodesta 2007. Kasvillisuusriskianalyysin tavoitteena on selvittää, onko voimalinjan johtoalueella sille vaarallista kasvillisuutta. Prosessi alkaa voimalinjojen laserkeilauksella, jonka tuloksena saadusta kolmiulotteisesta LiDAR-pistepilvestä tulkitaan, mitkä pisteet ovat heijastuneet kasvillisuudesta ja mitkä jostain muista kohteista, esimerkiksi taloista. Tätä työvaihetta kutsutaan aineiston luokitteluksi.

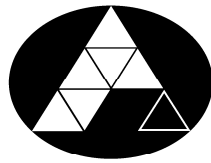
Eri voimalinjabrojektit ovat vaikeusasteiltaan hyvin erilaisia. Kokemukset ovat osoittaneet, että kaikkein helpoimpia projekteja ovat harvaan asutulla seudulla sijaitsevat voimalinjat. Eniten aikaa vie asutusalueiden ja taajamien läheisyydessä sijaitsevien voimalinjojen luokittelu.

Työn tarkoituksena oli selvittää, millä voimalinjan johtoalueelle osuvilla paikkatietoon perustuvilla tunnusluvuilla voidaan parhaiten selittää vaihteluja eri projektien ajanmenekeissä. Tietoja verrattiin projektien luokitteluun käytettyyn aikaan neliökilometrillä. Parhaaksi selittäjäksi vertailussa osoittautui teiden määrä voimalinjan johtoalueella. Tutkittavien voimalinjabrojektien osalta sillä voidaan selittää noin 41 prosenttia projektien välisistä vaihteluista ajanmenekeissä. Lisäksi havaintoaineistosta kävi ilmi, että vaihtelua keskimääräisissä ajanmenekeissä on myös työntekijöiden välillä. Jatko-tutkimuksia tarvitaan, ja niitä voitaisiin kohdentaa muiden paikkatietoon perustuvien tunnuslukujen selvittämisen lisäksi eroihin keskimääräisissä ajanmenekeissä työntekijöiden välillä.

Kieli  
suomi

Sivuja 31

Asiasanat  
laserkeilaus, kasvillisuus, voimajohto



NORTH KARELIA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**THESIS**  
**November 2011**  
**Degree Programme in Forestry**

Sirkkalantie 12  
FIN 80100 JOENSUU  
FINLAND  
Tel.+358 13 260 6900

Author(s)  
Iiro Hynninen

Title  
Definition of Work Difficulty in ALS-Based Vegetation Risk Analysis for Powerlines

Commissioned by  
Arbonaut Ltd

Abstract

Arbonaut Ltd has done ALS-based vegetation risk analysis for powerlines since 2007. The aim of the vegetation risk analysis is to find out if there is any vegetation in the powerline right-of-way easement which could be a threat to powerlines. The process begins by ALS (airborne laserscanning) the powerlines. The result of the ALS is a 3-D point cloud and that is interpreted which points are reflected from vegetation and which points from other objects, for example buildings. This stage of process is called data classification.

There are major differences in the degree of complexity between powerline projects. Experience has shown that classification is easiest for the projects located in rural areas. The classification of powerlines which are located in urban areas takes the most working hours.

The purpose of this thesis was to find out which GI (geographic information) characteristics are the best to explain these differences. The data based on these characteristics were compared to working hours per square kilometer. The best characteristic was the metric amount of roads in the powerline right-of-way easement. The results of the research indicate that 41 percent of the variation of working hours can be explained with this characteristic. Furthermore, there were differences in consumption in the average of working hours between interpreters. It is possible to use GI characteristics in the definition of degree of difficulty of powerline projects. More research is needed, and it could be focused on finding out other GI characteristics and differences in the average of used working hours between interpreters.

Language  
Finnish

Pages 31

Keywords  
ALS, vegetation, powerline

## Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	5
2	The Northeast Blackout 2003 .....	6
3	Arbonaut Oy.....	8
4	Laserkeilaus.....	9
5	Paikkatieto .....	11
6	Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi Arbonaut Oy:ssä .....	12
7	Tutkimustehtävä .....	17
8	Tutkimusaineisto.....	18
9	Tutkimusmenetelmät .....	20
9.1	Hajontakuviot.....	20
9.2	Korrelaatio .....	20
9.3	Regressio .....	22
10	Tulokset .....	23
10.1	Työnvaikeuteen vaikuttavat tekijät.....	23
10.2	Työntekijöiden väliset erot .....	27
11	Pohdinta.....	28
	Lähteet.....	31

# 1 Johdanto

Arbonaut Oy on yli viidentoista vuoden ajan työskennellyt paikkatieto- ja kaukokartoitusjärjestelmien parissa. Sen toimialana on paikkatietoon ja kaukokartoitukseen liittyvien ohjelmien kehitys ja niihin liittyvän aineiston analysointi. Arbonaut Oy:n yksi liiketoiminta-alue on laserkeilausaineiston pohjalta tehtävä voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi.

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysissä tulkitaan laserkeilausaineistoa ja selvitetään onko voimalinjan läheisyydessä sille vaarallista kasvillisuutta. Suurin osa työhön käytetystä ajasta kuluu käytännössä siihen, kun laserkeilauksen tuloksena saadusta LiDAR (Light Detect And Range)-pistepilvestä tulkitaan visuaalisesti mikä on kasvillisuutta ja mikä esimerkiksi rakennuksia tai autoja. Tätä työvaihetta kutsutaan aineiston luokitteluksi. Lopputuloksena saadaan luokiteltu aineisto, jossa kasvillisuus pisteistä on eroteltu muut voimalinjan läheisyydessä olevat kohteet. Sen perusteella voimalinjoista luodaan kolmiulotteiset mallit, joiden avulla saadaan selville mikä kasvillisuus voi olla vaaraksi voimalinjalle.

Vaikka osa luokittelusta voidaan toteuttaa automaattisesti, on työ kuitenkin pääasiassa manuaalista aineiston tulkitsemista ja näin ollen aikaa vievää. Tämä on kuitenkin välttämätöntä lopputuloksen virheettömyyden vuoksi. Eri voimalinjabrojektien välillä ajanmenekeissä on suuria eroja. Osa voimalinjoista voi sijaita rakennetulla seudulla, jolloin tunnistettavia kohteita on hyvin paljon. Työ etenee tällöin melko hitaasti. Jokin toinen linja voi kulkea lähes metsän keskellä, jolloin pistepilvi koostuu pääosin kasvillisuudesta ja luokittelu etenee hyvinkin nopeasti. Tarjouslaskennassa on haasteellista määrittää ajanmenekkiä kunkin projektin kohdalla, koska työnvaikeutta ei voida arvioida vain projektiin sisältyvien voimalinjojen pituuden perusteella.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää mitä paikkatietoon perustuvia tunnuslukuja voidaan käyttää arvioitaessa ajanmenekkiä voimalinjojen kasvillisuus-

riskianalyyssissä. Asiaa tarkastellaan Arbonaut Oy:n tekemien työvaiheiden osalta.

## **2 The Northeast Blackout 2003**

Syyskuun 14. päivänä vuonna 2003 laajalla alueella Yhdysvaltojen koillisosassa ja keskilännessä sekä Ontariossa Kanadassa koettiin pitkä sähkökatkos. Joillakin alueilla Yhdysvaltoja se kesti kaksi päivää, Kanadassa jopa tätä pidempään ja se vaikutti yli 50 miljoonan ihmisen elämään. Viranomaiset alkoivat ottaa selvää sähkökatkoksen syistä sekä siitä, kuinka vastaavat tapahtumat voitaisiin jatkossa välttää. (Federal energy regulatory commission 2004, 4.)

Tutkimuksissa saatiin selville, että yksi neljästä sähkökatkokseen johtaneista ensisijaisista syistä oli FirstEnergy-nimisen sähköyhtiön riittämätön kasvillisuuden hoito voimalinjan johtoalueella. Johtoalue on alue, joka on käytössä voimalinjan johtimien ja tornien kulkureitille. Johtoalue sisältää varsinaisen johtoaukean ja sen lisäksi reunavyöhykkeen. Liian suureksi päässyt kasvillisuus oli kasvanut alueelle, joka olisi pitänyt vaatimusten mukaan pitää vapaana kaikesta voimalinjaa mahdollisesti häiritsevistä kasvillisuudesta. (Federal energy regulatory commission 2004, 4.)

Vuoden 2003 sähkökatkosta verrattiin seitsemään aikaisempaan Yhdysvalloissa tapahtuneeseen suureen katkokseen. Sähkökatkosten yleiseksi syyksi selvisi sähköjohtimien ja voimalinjojen läheisyydessä kasvaneiden puiden välinen kontakti. Yhdeksi tärkeäksi toimenpiteeksi mainittiin ennakoiva kasvillisuuden hoito jo ennen kuin se on uhka voimalinjalle. Sama havainto oli tehty jo aiempien sähkökatkosten jälkeisissä tutkimuksissa, mutta asian eteen ei oltu tehty riittävästi toimenpiteitä. (Federal energy regulatory commission 2004, 5.)

Voimalinjojen omistajille lähetettiin kysely, jossa selvitettiin yhtiöiden toimintatapoja. Eri sähköyhtiöiden välillä havaittiin olevan suuria eroja kasvillisuuden hoitomenetelmissä ja raportoinnissa. Johtoalueen leveyksissä, voimalinjojen aluskasvillisuuden raivaukseen liittyvissä seikoissa ja täydellisessä voimalinjojen tarkastustiheydessä oli myös vaihtelua. (Federal energy regulatory commission 2004, 6.)

Käytännössä voimalinjan jännite määrää johtoalueen leveyden. Mitä suurempi voimalinjan jännite on, sitä leveämpi alue sille tarvitaan. Tämä johtuu siitä, että suurempijännitteisissä voimalinjoissa johtimien välillä tarvitaan parempi eristys. Johtoalueen leveys kasvaa myös voimalinjan sisältäessä useita linjoja. Liian kapea johtoalue lisää riskiä, että sen ulkopuolella oleva kasvillisuus pääsee liian lähelle voimalinjaa. Sähköyhtiöiltä saatujen vastauksien perusteella johtoalueen leveyksissä ei kuitenkaan ollut yhteneväisyyttä voimalinjan jännitteen mukaan vaan jokaisella oli omat toimintatapansa sen leveyden suhteen. (Federal energy regulatory commission 2004, 8.)

Voimalinjojen kasvillisuuden tilan tarkastukset suoritetaan tavallisesti sekä ilmasta että maasta käsin. Maasta tehtävät tarkastukset toteutetaan käytännössä kulkemalla koko linja pituussuunnassa läpi joko kävellen tai jollain kulkuneuvolla. Tämä on hyvin hidas, mutta tarkka tapa todeta kasvillisuuden tila. Nopeampi tapa on suorittaa tarkastus ilmasta helikopterilla tai lentokoneella. Tarkkuudessa ei kuitenkaan päästä maasta käsin suoritettavien tarkastusten tasolle. Erot tarkastustiheyksissä ja -tavoissa olivat suuret eri sähköyhtiöiden välillä. (Federal energy regulatory commission 2004, 8.)

Linjan alla oleva kasvillisuus on myös hyvin tärkeä huomioon otettava asia. Tarvittava vähimmäisetäisyys johtimien ja kasvillisuuden välillä kasvaa voimalinjan jännitteen kasvaessa. Johtimen ei välttämättä tarvitse olla varsinaisesti kosketuksissa kasvillisuuteen, koska sähkö voi niin sanotusti hypätä lyhyen matkan. Suurin osa kyselyyn vastanneista sähköyhtiöistä ilmoitti toteuttavansa kasvillisuuden raivauksen 3 - 4 vuoden kierrolla. Tämä tarkoittaa siis sitä, että sähköyhtiön kaikkien voimalinjojen aluskasvillisuuden raivaus vie vähintään kolme vuotta. Yli kolmasosa kuitenkin ilmoitti raivauksen vievän vähintään viisi

vuotta. Se on liian pitkä aikaväli, jos halutaan varmistua sähkönjakelun keskeytymättömyydestä. (Federal energy regulatory commission 2004, 10, 11.)

Vuoden 2003 sähkökatkos sai viranomaiset pohtimaan keinoja, jolla voimalinjojen johtoalueiden kasvillisuuden tila voitaisiin todeta luotettavasti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että maastosta ja ilmasta käsin tehtävien tarkastusten määrää pitäisi lisätä. Maastotarkastukset ovat kuitenkin hitaita ja sen vuoksi kalliita eikä ilmasta käsin tehtävien tarkastusten tarkkuus ole riittävä. Laserkeilainpohjainen voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi on sekä nopea, että erittäin tarkka menetelmä todeta kasvillisuuden tila voimalinjan johto-alueella.

### **3 Arbonaut Oy**

Opinnäytetyön toimeksiantaja Arbonaut Oy on joensuulainen, vuonna 1994 perustettu metsäalan teknologiayritys. Se on maailman johtava luonnonvarojen kaukokartoitusteknologiaan erikoistunut yritys. Arbonaut työllistää noin 80 henkilöä ja sen toimipaikat sijaitsevat Joensuun lisäksi Helsingissä ja Yhdysvalloissa.

Arbonaut Oy panostaa vahvasti tutkimukseen ja kehitykseen. Sen yksi liiketoiminta-alue on ohjelmistojen kehitys metsäalan toimijoille ja koulutukseen. Arbonaut Oy kehittää paikkatietojärjestelmiä luonnonvarojen hallintaan ja tuottaa kaukokartoitusteknologiaan perustuvia inventointi- ja maastonmallinnustuotteita. Suurimpia asiakkaita Suomessa ovat Metsähallitus, UPM ja useat Metsäkeskukset.

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi aloitettiin Arbonaut Oy:ssä vuonna 2007 ja on nykyään tärkeä osa yrityksen toimintaa. Kasvillisuusriskianalyysiä tehdään Yhdysvalloissa toimivien sähköyhtiöiden voimalinjoille ja se toteutetaan yhteistyössä URM:n (Utility Risk Management Corporation) kanssa. Tällä



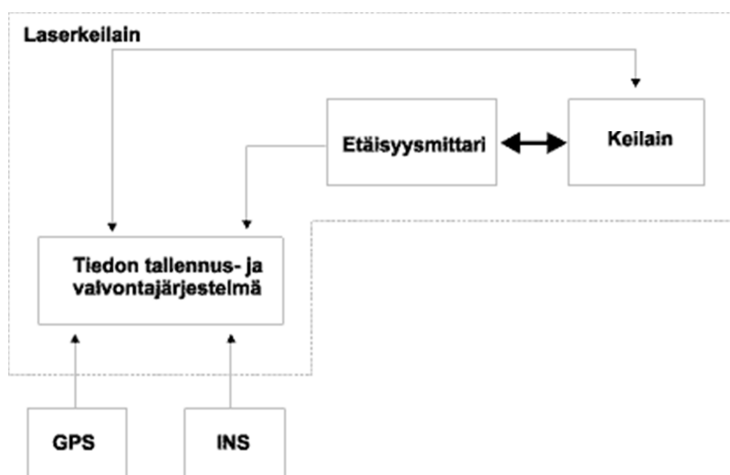
hetkellä kasvillisuusriskianalyysiä tehdään useamman kymmenen työntekijän voimin.

## 4 Laserkeilaus

Kaukokartoitus on kohteen kartoittamista siihen fyysisesti koskematta. Kaukokartoitusaineistoa ovat esimerkiksi ilma- ja satelliittikuvat sekä laserkeilausaineisto, johon voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi perustuu.

Laserkeilaus on näkyvän valon, infrapunan tai ultravioletin aallonpituudella tapahtuvaa kaukokartoitusta. Laserkeilain lähettää laserpulssia kohteeseen, josta se heijastuu takaisin laserkeilaimeen. Jokainen pulssi antaa kaiun, joka on paikannettavissa. Pulssin heijastumiseen menevä aika mitataan ja näin saadaan etäisyys laitteen ja kohteen välillä. Kun lisäksi tiedetään laserkeilaimen tarkka sijainti, saadaan yksittäisen pulssin (x, y, z) koordinaatit. Alun perin menetelmä kehitettiin sotilaskäyttöön ja maastonmallinnukseen, mutta nykyään sillä on myös useita muita eri käyttökohteita. (Hyypä, 2011.)

Laserkeilainlaitteisto koostuu useammasta eri osasta (kuva 1). Laserkeilaimessa keilainosa suorittaa varsinaisen keilauksen, lasertykki tuottaa laserpulssit ja ilmaisinosat tulkitsee vastaanotetun signaalin, jonka perusteella etäisyys kohteeseen on mitattavissa. Lisäksi laserkeilainlaitteisto sisältää tiedontallennus- ja valvontajärjestelmän sekä lentokoneen sijainnin ja suunnan määrittävät GPS (Global Positioning System) ja INS (Inertia Navigation System) -laitteistot. (Hyypä, 2011.)



Kuva 1. Laserkeilainlaitteisto (Hyypä, 2011.)

Keilainosa pyyhkii laserpulssia lentosuuntaa vasten kohtisuoraan (kuva 2). Toiseen suuntaan kuva muodostuu lentosuunnan mukaisesti. Aineiston tarkkuus riippuu lähinnä käytettävästä lentokorkeudesta ja -nopeudesta sekä keilaimen avauskulmasta. (Hyypä, 2011.) Tarkkuudesta puhuttaessa käytetään termiä pistetiheys ja se ilmoitetaan pisteiden määrällä neliömetrillä. Esimerkiksi metsävarojen kartoituksessa käytettävä laserkeilausaineisto sisältää noin puoli pistettä neliömetrillä. Voimalinjojen kasvillisuusriskianalysissä käytettävä aineisto on paljon tarkempaa pistetiheyden ollessa noin 50 pistettä/m<sup>2</sup>.



Kuva 2. Laserkeilaus (Metsäkeskus, 2010.)

## 5 Paikkatieto

Paikkatieto on tietoa, jolla on sijainti. Se vastaa kysymyksiin mitä jossakin on ja missä se jokin on. Siinä yhdistyy kohteen ominaisuustieto ja paikannustieto. Ominaisuus- eli attribuuttitieto kertoo kohteen ominaisuuksista. Paikannustieto kertoo kohteen paikannukseen liittyvän tiedon ja tiedon kohteen geometriasta. (PaikkaOppi, 2011.)

Paikkatieto jakautuu rasteri- ja vektorimuotoiseen aineistoon. Rasterimuotoisessa aineistossa paikkatieto esitetään kuvan muodossa, jossa se on jaettu yhtäsuuriin neliöihin eli pikseleihin. Jokainen pikseli sisältää ominaisuustiedon. Aineiston resoluutio määräytyy pikselin koon mukaan. Vektorimuotoisen aineiston esitystapa on piste, viiva tai alue. (PaikkaOppi, 2011.)

Hyvä esimerkki paikkatiedosta on metsäsuunnitelma. Sen kuviokartassa jokainen kuvio on alueobjekti, joka sisältää tiedon muun muassa kuvion pinta-alasta, metsätyypistä, kehitysluokasta ja siitä milloin kyseinen kuvio on korjattavissa. Kuviot sisältävät tietysti myös puustotiedot, jotka on laskettu koealapisteistä, joilta metsäsuunnitelman laatija on ne mitannut.

Myös laserkeilausaineisto on paikkatietoa. Jokaisella laserkeilaimen vastaanottamalla kaiulla on olemassa maantieteellinen sijainti. Lisäksi jokainen piste saa ominaisuustiedon, josta on tulkittavissa mihin kohteeseen kyseinen piste liittyy. Useampi kaiku muodostaa pistepilven, josta hahmotetaan mitä se esittää.

Paikkatietoa käsitellään tietokonepohjaisilla paikkatietojärjestelmillä. Näistä käytetään nimitystä GIS, joka on lyhenne sanoista Geographic Information System. Perinteisimpiä paikkatiedon analyysimenetelmiä ovat vektorianalyysin overlay- eli päällekkäisyys- ja naapurisuusanalyysit. Overlayanalyysissä karttatasoja eli layereita asetetaan päällekkäin ja vertaillaan niiden ominaisuuksia. Viivoja voidaan esimerkiksi leikata alueilla ja laskea viivojen määrä alueiden sisällä. Naapurisuusanalyysissä pisteiden, viivojen tai alueiden ympärille

lasketaan vyöhykealue. Muodostunutta uutta vyöhykealuetta käytetään overlay-operaatioissa ja hauissa. (Antikainen, Hiltula 2008, 88, 92.)

Paikkatietoaineistot ovat kokoelmia eri paikkatiedoista. Suomessa ne ovat pääasiassa kaikkien käytettävissä maksutta. Laki paikkatietoinfrastruktuurista mainitsee seuraavaa: ”Euroopan yhteisön toimielimille ja elimille yhteisen ympäristölainsäädännön mukaisten raportointivelvollisuuksien täyttämiseksi toimitettavat paikkatietoaineistot ovat maksuttomia.” Tarkemmin näistä aineistoista on kerrottu INSPIRE-direktiivissä. Sen avulla Eurooppaan luodaan yhteinen paikkatietoinfrastruktuuri, jossa yhdistyvät kansalliset paikkatietoaineistot ja palvelut. (Paikkatietoikkuna, 2011.)

Yhdysvalloissa tällainen vastaava toimenpide on laitettu alulle jo vuonna 1994. Presidentin antamalla käskyllä pyrittiin siihen, että vuoden 2000 väestönlaskennassa olisi olemassa peruspaikkatietoaineisto. Yhdysvaltojen paikkatietoinfrastruktuuria kehittää liittovaltion paikkatietokomitea, joka on usean eri viranomaisen yhteenliittymä. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2008, 31.)

## **6 Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi Arbonaut Oy:ssä**

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysiä tehdään helikopterista kuvatun laserkeilausaineiston pohjalta. Siinä yhdistyy linjan sijaintitieto ja hyvin tarkka laserkeilausaineisto. Näiden tietojen pohjalta selvitetään onko voimalinjan johtoalueella kasvillisuutta, joka voisi olla vaaraksi linjalle. Prosessin tarkoituksena on varmistaa sähkönjakelun keskeytymättömyys.

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysissä tarvitaan ammattitason tietoteknisten välineiden lisäksi muutamia tietokoneohjelmia. Arbonaut Oy:ssä on käytössä Microstation v8, joka on yhdysvaltalaisen Bentley Systemsin kehittämä CAD-suunnitteluohjelmisto. Se on suunniteltu arkkitehtien, rakentajien ja paikkatiedon asiantuntijoiden käyttöön. Se mahdollistaa kaksi- ja kolmiulotteisten mallien

piirtämisen. Microstationin apuohjelmalla toimii suomalaisen Terrasolid Oy:n kehittämä Terrascan-ohjelma. Sen avulla tapahtuu varsinainen laserkeilaus-aineiston käsittely.

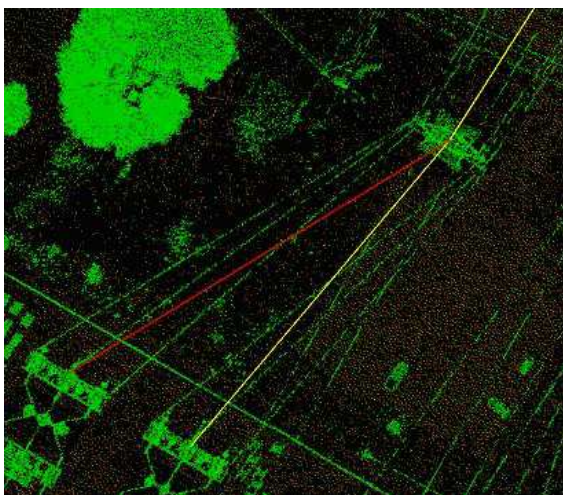
ArcGIS on ESRI-nimisen ohjelmistoyrityksen kehittämä paikkatiedon hallintaan tarkoitettu ohjelmistokokonaisuus. Se käsittää useita eri käyttötarkoituksiin soveltuvia osia. Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyyssissä käytetään ArcGIS:n ArcMap osiota, joka on tarkoitettu aineiston käsittelyyn, analysointiin ja visualisointiin.

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi etenee aineiston luokittelun osalta seuraavasti:

1. Voimalinjojen laserkeilaus
2. Aineisto Arbonaut Oy:lle
3. Aineiston jako lohkoihin ja osaprojekteihin
4. Aineiston luokittelu kolmeen kasvillisuusluokkaan
5. Vektorin piirtäminen tornien sijainnin mukaisesti (towerstring)
6. Vektorien piirtäminen sähköjohtimien mukaisesti
7. Johdin- ja tornipisteiden luokittelu
8. Johtoalueen määrittäminen
9. Muiden kuin kasvillisuutta olevien pisteiden luokittelu johtoalueelta
10. Luokittelun tarkastaminen

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysiprosessi alkaa linjojen laserkeilauksella, jonka jälkeen aineisto lähetetään Arbonaut Oy:lle. Aineisto on tässä vaiheessa luokittelematonta LiDAR-raakadataa. Pisteet jaetaan useaan pienempään lohkokon (eng. blocks) voimalinjan pituussuunnassa. Lohkojen koko vaihtelee aineiston pistetiheyden mukaan. Tällä tavoin tiedostokokoa voidaan pitää aineiston käsittelyn kannalta järkevällä tasolla. Lohkot saavat yksilöidyn tunnuksen, jonka perusteella ne on tunnistettavissa. Jokainen työntekijä valitsee aineistosta itselleen sopivan määrän lohkoja kerrallaan tehtäväksi. Näistä muodostuu sillä hetkellä teossa oleva osaprojekti.

Aineistosta luokitellaan automaattisesti pisteet kolmeen eri kasvillisuusluokkaan perustuen niiden korkeuteen maanpinnasta. Tämän jälkeen piirretään voimalinjansuuntainen, tornien sijaintiin perustuva vektori (eng. towerstring), jonka solmukohtat ovat tornien keskipisteessä (kuva 3). Sähköjohtimista heijastuneiden pisteiden mukaisesti kulkevat vektorit piirretään osittain automaattisesti perustuen linjan leveyteen ja johtimien asentoon.

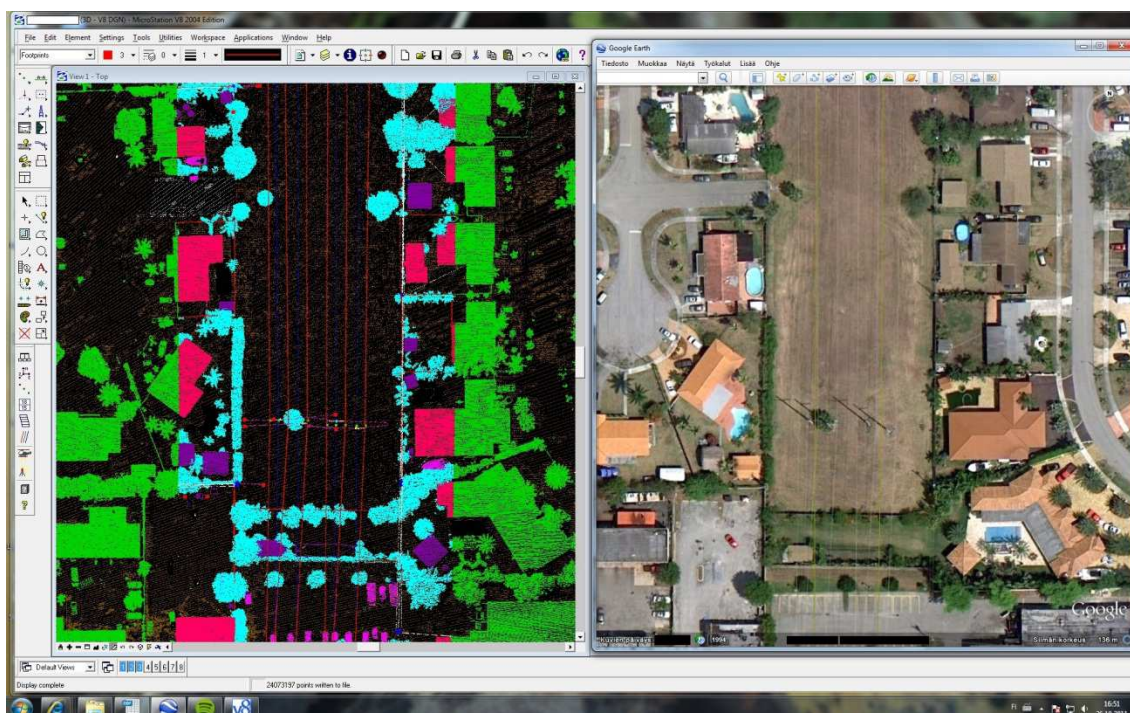


Kuva 3. Towerstring (Arbonaut, 2011.)

Seuraava vaihe on tornien ja sähköjohtimien pisteiden luokittelu. Tämä tapahtuu pääosin automaattisesti aiemmin piirrettyjen vektorien mukaisesti. Automaatiikka ei kuitenkaan aina luokittele pisteitä täysin oikein, joten manuaalinen tarkastus ja viimeistely on tarpeen. Tässä vaiheessa prosessia aineistosta on siis eroteltuna torni- ja sähköjohdinpisteet muista LiDAR-pistepilven sisältämistä pisteistä.

LiDAR-aineisto sisältää paljon pisteitä, joita ei ole sähköjakelun turvaamisen kannalta syytä luokitella. Siksi seuraavaksi määritetään voimalinjan johtoalue ja se tapahtuu automaattisesti aiemmin piirrettyjen vektoreiden perusteella. Tämä helpottaa varsinaista luokitteluprosessia, koska pisteet on tarkoituksenmukaista luokitella vain tämän alueen sisältä. Yleensä johtoalue on 32 metriä eli 105 jalkaa molemmin puolin voimalinjan keskilinjasta, mutta leveys voi kuitenkin vaihdella. Tältä johtoalueelta luokitellaan kaikki mikä ei ole kasvillisuutta, jokainen omiin luokkiinsa.

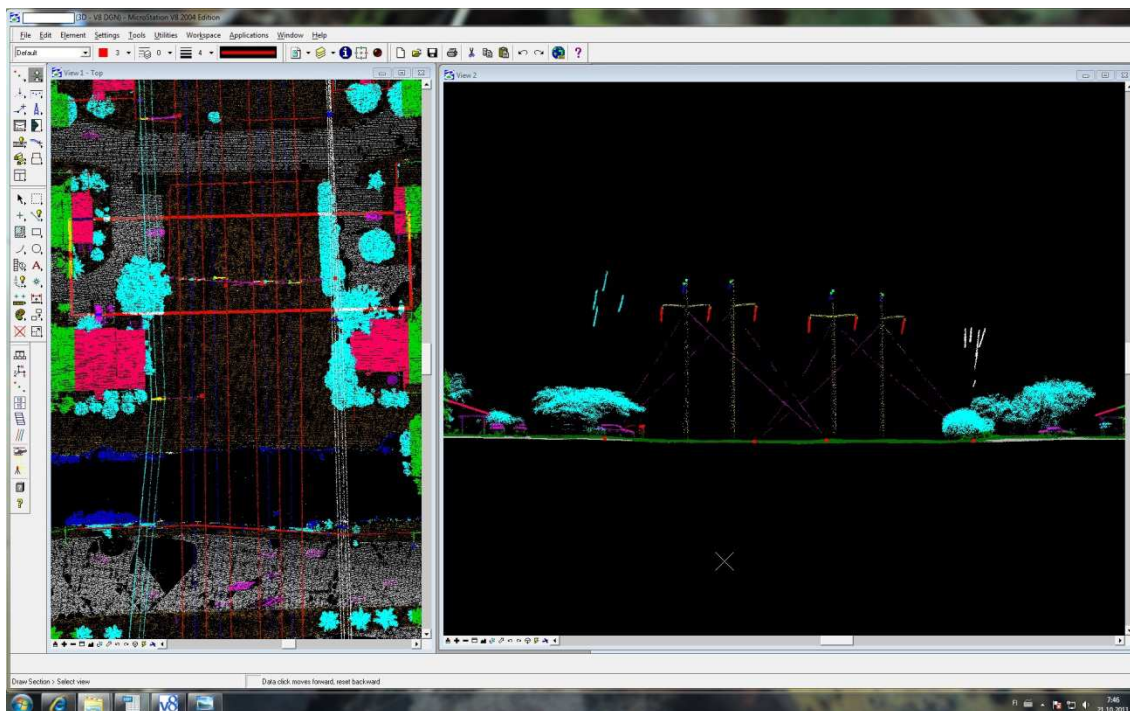
Pääasialliset luokiteltavat kohteet ovat kaikki rakennukset, autot, muut rakennelmat, tiet ja vesistöt. Luokiteltavien kohteiden määrän eli luokkalistan määrittää tilaaja. Aineiston tarkkuus mahdollistaa hyvinkin pienten kohteiden luokittelun. Joskus on tarpeen käyttää satelliittikuvaa joidenkin kohteiden tunnistamiseen. Tähän hyvä apuväline on GoogleEarth-palvelu, johon linjan sijaintitieto on siirrettävissä. Kuvassa 4 on esitetty vasemmalla luokiteltu laserkeilausaineisto ja oikealla vastaavasta kohdasta GoogleEarth-palvelun satelliittikuva.



Kuva 4. Luokiteltu laserkeilausaineisto ylhäältä ja GoogleEarth-palvelun kuva vastaavasta kohdasta. (Arbonaut Oy, 2011.)

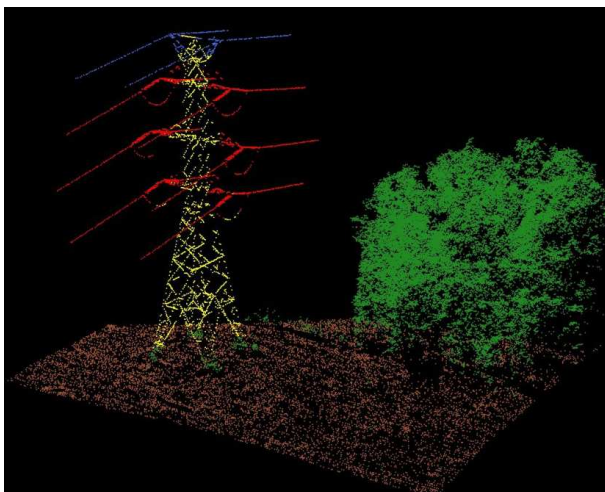
Kuvasta voidaan havaita luokiteltavien kohteiden saavan oman värikoodinsa. Voimalinjan johtoalue on turkoosilla värillä ja sen sisältä on luokiteltu muun muassa taloja, jotka ovat punaisella värillä. Kuvan alalaidassa olevat violetit suorakaiteen muotoiset kohteet ovat autoja.





Kuva 5. Luokiteltu laserkeilausaineisto ylhäältä ja poikkileikkaus. (Arbonaut Oy, 2011.)

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi perustuu kolmiulotteiseen kohteiden hahmottamiseen johtoalueelta. Kuvassa 5 on kaksi voimalinjaa rinnakkain, jotka sijaitsevat melko rakennetulla alueella. Vasemmanpuoleisessa kuvassa aineisto on kuvattu ylhäältä. Oikeanpuoleisessa kuvassa on poikkileikkaus vasemmassa kuvassa näkyvän punaisen suorakaiteen alueelta. Kuvissa näkyy analysoitavien voimalinjojen ja kasvillisuuden lisäksi muun muassa taloja, autoja ja muita johtoja. Kyseessä on melko tavanomainen rakennetulla seudulla sijaitseva linja.

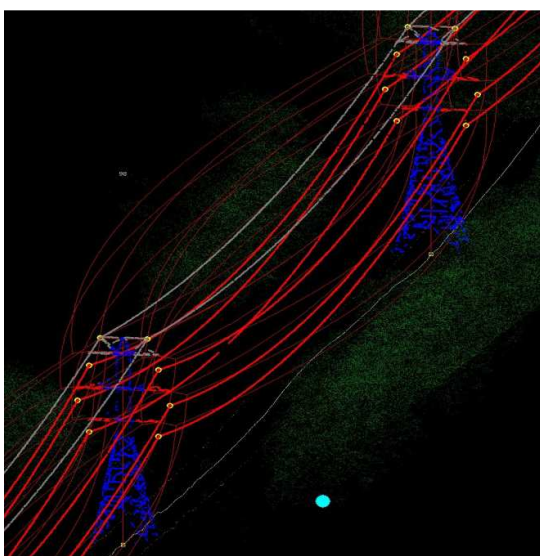


Kuva 6. Luokiteltu LiDAR -data (Arbonaut Oy, 2011.)



Laserkeilain voi vastaanottaa pisteitä, jotka ovat heijastuneet esimerkiksi linnuista, pölystä tai muista ilmassa leijuvista kohteista. Nämä pisteet on myös luokiteltava omaan luokkaansa, jotta vältetään turhat hälytykset.

Luokitellun aineiston perusteella voimalinjat mallinnetaan kolmiulotteiseksi ja niistä tehdään vaara-analyysi johdinten ollessa ääriasennossa (kuva 7). Johtimien asentoon vaikuttavat muun muassa virrankuormitus, tuuli, lämpötila ja niihin kertyny lumi ja jää.



Kuva 7. Vaara-analyysi johdinten ääriasennossa (Arbonaut Oy, 2011.)

Luokitellun laserkeilausaineiston mukaan luodun vaara-analyysin perusteella voimalinjalle vaarallinen kasvillisuus on paikannettavissa hyvin tarkasti. Jokaisesta voimalinjalle vaarallisesta niin sanotusta kasvillisuusyksiköstä on olemassa tarkka sijaintitieto ja käytännössä kasvillisuuden poistaminen on mahdollista toteuttaa yhden oksan tarkkuudella.

## 7 Tutkimustehtävä

Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysissä suurin osa käytetystä ajasta kuluu aineiston manuaaliseen luokitteluun. Projektien välillä on suuria eroja niiden

luokitteluun käytetyssä ajassa. Omien kokemusten ja havaintojen sekä muiden työntekijöiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella erityisen paljon aikaa vieviä projekteja ovat taajamien läheisyydessä sijaitsevat voimalinjat. Luokiteltavaa on paljon rakennusten, teiden ja muiden rakennelmien muodossa. Vastaavasti metsän ja peltojen keskellä sijaitsevat linjat ovat hyvinkin nopeita luokitella, koska luokiteltavia kohteita on huomattavasti vähemmän.

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena selvittää voiko joidenkin paikkatietoon perustuvien tietojen pohjalta arvioida projektien työnvaikeutta etukäteen. Jos tällaisia selkeitä tekijöitä havaitaan ja niiden vaikutukset tiedetään, on ajanmenekkiä mahdollista arvioida kunkin projektin kohdalla tarkemmin jo kustannuslaskentaa tehdessä.

## **8 Tutkimusaineisto**

Tutkimukseen valikoitui eräs vuoden 2010 lopulla valmistunut voimalinjabrojekti. Tämän projektin osalta täytetty tuntikirjanpito vaikutti tarkkuudeltaan hyvältä. Muiden projektien tuntikirjanpidon tarkkuus herätti epäilyksiä jo tutkimuksen alkuvaiheessa, joten ne katsottiin paremmaksi jättää tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkittavat voimalinjat olivat kolmen kokeneemman analysoijan luokittelemia. Nimetään heitä tässä työssä nimillä TT1, TT2 ja TT3. Heidän osalta tuntikirjanpito oli riittävän tarkasti täytetty. Lisäksi ennen luokittelun aloittamista tehtävät valmistelut onnistuvat heiltä jouhevasti eikä niihin käytetty aika pitäisi olla kovinkaan suuri. Näin päästään tarkemmin kiinni luokitteluun käytettyihin työtunteihin ja niihin vaikuttaneisiin tekijöihin.

Tuntikirjanpidosta poimittiin tutkittavien osaprojektien luokitteluun käytetyt työtunnit. Jokainen työntekijä kirjaa omat tuntinsa järjestelmään neljännesosattain tarkkuudella osaprojektikohtaisesti. Seuraavaksi tutkittavista osaprojekteista otettiin selville niiden sijaintiedon perusteella voimalinjan johto-

alueelle kohdistuvia tietoja. Analyysi suoritettiin ArcMap-ohjelmalla. Näitä olivat väestötiheys, teiden, rautateiden ja jokien määrä.

Väestötiheyden kasvaessa voisi kuvitella myös erilaisten rakennusten määrän kasvavan kyseisellä alueella. Näin ollen projektin luokittelu olisi hitaampaa verrattuna rakentamattomaan seutuun. Teiden, rautateiden ja jokien luokittelu ei varsinaisesti eroa toisistaan vaan niissä käytetään hyvin pitkälti samoja työkaluja. Teillä ja niiden läheisyydessä on usein kulkuneuvoja, liikennemerkkejä, valopylväitä ja muita kohteita, jotka on luokiteltava omiin luokkiinsa. Ne vaikuttavat omalta osaltaan luokittelun etenemiseen. Rautateiden lähiympäristö on myös käytävä läpi tarkasti erilaisten luokiteltavien kohteiden varalta.

Opinnäytetyössä käytettävä paikkatietoaineisto oli ESRI data & maps 9.3 -dvd-levypaketista. Kyseinen paikkatietoaineisto toimitetaan ArcGIS-paikkatieto-ohjelmiston mukana. Käytettävät karttatasot olivat yhtä lukuunottamatta StreetMap North America -paikkatietokokoomasta, joka perustuu Tele Atlas North America -peruskarttatietoihin.

U.S. and Canada Detailed Streets -karttataso sisältää kadut, valtatie ja muut suuremmat tiet Yhdysvalloista ja Kanadasta. U.S. and Canada Railroads ja Rivers -karttatasot sisältävät nimensä mukaisesti Yhdysvaltojen ja Kanadan rautatiet ja joet. U.S. ZIP Code Areas (Five-Digit) -karttatasolla Yhdysvallat esitetään jaettuna alueisiin postinumeroittain. Jokainen alue sisältää tiedon sen väestömäärästä. Se perustuu vuoden 2000 väestönlaskentatietoihin ja siitä johdettuun arvioon vuoden 2007 väestömäärästä kullakin postinumeroalueella. (ESRI, 2008.)

ArcMap-ohjelmaan ladattiin osaprojektikohtaiset voimalinjojen sijaintitiedot vektorimuodossa. Sijaintitietona käytettiin laserkeilauksen suorittamisen yhteydessä muodostunutta lentolinjaa. Tälle luotiin bufferi eli puskuri, joka oli leveydeltään 64 metriä. Tämä siis vastaa voimalinjan johtoaluetta. Luodulla puskurialueella leikattiin asukastiheys, tiet, rautatiet ja joet -tasoja. Teiden, rautateiden ja jokien määrä laskettiin metreinä. Saadut tiedot siirrettiin Excel-

laskentataulukko-pohjaan. Siinä teiden, jokien ja rauta-teiden määrän esitystapa muutettiin muotoon "m/km<sup>2</sup>", jossa jakajana oli luotu puskurialueen pinta-ala.

Puskurin kulkiessa useamman postinnumeroalueen läpi laskettiin väestötiheys painotettuna sen mukaan, missä suhteessa se kulki kullakin postinnumeroalueella. Esimerkiksi eräs osaprojekti kulki kahden eri postinnumeroalueen läpi. Toisella alueella väestötiheys oli 251 hlö/km<sup>2</sup> ja toisella 427 hlö/km<sup>2</sup>. Puskuri-alue kulki 86 prosenttisesti suuremman väestötiheyden alueella. Näin ollen painotettu väestötiheys kyseisessä osaprojektissa oli:

$$(0,14 * 251 \text{ hlö/km}^2) + (0,86 * 427 \text{ hlö/km}^2) = 403 \text{ hlö/km}^2.$$

## 9 Tutkimusmenetelmät

### 9.1 Hajontakuviot

Kahden muuttujan välisen yhteyden tutkiminen aloitetaan järkevyytarkastelulla. Se tarkoittaa sitä, että aluksi pohditaan voiko muuttujilla olla mitään mahdollisuutta olla yhteydessä toisiinsa. Mikäli tullaan siihen tulokseen, että muuttujien välinen yhteys on hyvin kaukaa haettua, kannattaa niiden tarkempi tutkiminen jättää siihen. Mikäli todetaan, että muuttujien väliselle yhteydelle ei ole mitään loogista estettä, piirretään tilastoaineistosta hajontakuvio. Siinä merkitään tarkasteltavien muuttujien arvot koordinaatistoon ja tutkitaan muodostuuko pisteistä säännöllistä pistejoukkoa. (Holopainen, Pulkkinen 2008, 228, 229.)

### 9.2 Korrelaatio

Jos hajontakuviossa on havaittavissa jonkinlaista säännönmukaisuutta, kannattaa muuttujien välisen yhteyden tutkimista jatkaa. Muuttujien välisen

yhteyden ja sen voimakkuuden mittaamiseen käytetään korrelaatiokerrointa. Korrelaatiokerrointa käytetään muiden tunnuslukujen tavoin tilastanalyysissä. Yleensä korrelaatiokertoimesta puhuttaessa tarkoitetaan Pearsonin korrelaatiokerrointa. (Holopainen, Pulkkinen 2008, 233.)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n s_x s_y}$$

missä  $n$  on lukuparien  $x_i, y_i$  lukumäärä

$s_x, s_y$  ovat muuttujien  $x$  ja  $y$  keskihajonnat ja

$\bar{x}, \bar{y}$  ovat muuttujien  $x$  ja  $y$  keskiarvot.

Pearsonin korrelaatiokerroin  $r$  mittaa vain lineaarista yhteyttä ja se on aina -1 ja +1 välillä oleva reaaliluku. Jos hajontakuvion kaikki pisteet ovat samalla nousevalla suoralla, on korrelaatiokertoimen arvo +1. Mikäli pisteet sijaitsevat samalla laskevalla suoralla, on korrelaatiokertoimen arvo -1. Mitä lähempänä korrelaatiokertoimen itseisarvo on lukua 1, sitä voimakkaampi on muuttujien välinen lineaarinen yhteys. Muuttujien välisestä riippumattomuudesta kertoo taas korrelaatiokertoimen arvo nolla. (Holopainen, Pulkkinen 2008, 234.)

Korrelaatiokertoimen arvon ollessa nolla, muuttujilla ei siis ole lineaarista yhteyttä, mutta ne eivät välttämättä ole kuitenkaan riippumattomia. On olemassa myös muunlaista yhteyttä. Mikäli aineistossa on toisista selvästi poikkeava arvo, voi sillä olla suuri merkitys korrelaatiokertoimen arvoon. Tämä pätee erityisesti pieniin aineistoihin. (Holopainen, Pulkkinen 2008, 235.)

Korrelaatiokertoimen tilastollinen merkitsevyys on myös syytä testata. Se kertoo siitä, kuinka suuri on todennäköisyys nollahypoteesin hylkäämisvirheen tekemiseen. Tilasto-ohjelmat laskevat tämän todennäköisyyden ja sitä sanotaan p-arvoksi. Mitä pienempi luku on, sitä merkitsevämpi korrelaatio on tilastollisesti. Mikäli tulos on yhtä suuri tai pienempi kuin 0,001 on tulos tilastollisesti erittäin merkitsevä. Mikäli tulos on suurempi kuin 0,001 mutta pienempi kuin 0,01, on tulos tilastollisesti merkitsevä. Tilastollisesti melkein merkitsevä on tulos, joka on p-arvoltaan korkeintaan 0,05. (Holopainen, Pulkkinen 2008, 177.)

### 9.3 Regressio

Pelkkä riippuvuus ei takaa sitä, että muuttujilla olisi syy-yhteyttä. Regressio-analyysillä pyritään löytämään muuttujien välinen yhteys ja kuvaamaan sitä matemaattisen mallin avulla. Aluksi käydään läpi samat vaiheet kuin, korrelaatiokertoimen määrittämisen yhteydessä. Järkevyydestarkastelun jälkeen aineistosta piirretään hajontakuviot, josta tutkitaan onko siinä säännönmukaisuutta. Mikäli hajontakuviossa on havaittavissa säännönmukaisuutta, tutkitaan voidaanko sitä kuvata jollain matemaattisella mallilla. Malli on sitä parempi, mitä läheisemmin se kuvaa pistejoukkoa. Pienimmän neliösumman menetelmä johtaa usein hyvään lopputulokseen. (Holopainen, Pulkkinen 2008, 259.)

Yksinkertaisin on lineaarinen malli, jossa muuttujien välistä yhteyttä kuvataan suoran avulla. Mitä jyrkempi suora on ylös tai alaspäin, sitä voimakkaampi yhteys muuttujilla on. Yhteys voi olla joko negatiivinen tai positiivinen.

Regressiosuoran kaava voidaan merkitä seuraavasti:

$$Y = a + bX$$

missä  $Y$  on selitettävän muuttujan arvo

$a$  on ns. vakiotekijä

$b$  on regressiokerroin ja  $X$  selitettävän muuttujan arvo.

Regressiokerroin on regressiosuoran kulmakerroin. Positiivinen luku kertoo nousevasta ja negatiivinen luku laskevasta suorasta. Se ilmoittaa minkä verran selitettävän muuttujan arvo muuttuu, kun selittävän muuttujan arvo kasvaa yhdellä yksiköllä. Vakiotekijä kertoo, minkä arvon selitettävä muuttuja saa silloin, kun selittävän muuttujan arvo on nolla. Se siis kertoo, missä kohtaa regressiosuora leikkaa kuvion y-akselin. (VirtuaaliAMK, 2011.)

Lineaarisen mallin lisäksi on olemassa erilaisia käyräviivaisia regressiomalleja. Tilanteeseen parhaiten sopivan mallin saa selville tarkastelemalla hajontakuviota ja siinä mahdollisesti esiintyvää pisteiden sijaintien säännönmukaisuutta.

Regressiomallin pätevyyttä arvioidaan sen mukaan, kuinka lähelle regressiosuoraa hajontakuvion pisteet osuvat. Mikäli ne ovat lähellä suoraa, on regressiomallin selitysaste parempi. Jos pisteet myötäilevät suoraa, voidaan sen avulla ennustaa hyvinkin tarkasti selitettävän muuttujan arvo. (VirtuaaliAMK, 2011.)

$R^2$ -luku on regressiomallin selitysosuus. Se kertoo siitä, kuinka suuren osuuden selitettävän muuttujan vaihtelusta pystytään selittämään selitettävillä muuttujilla. Tämä luku vaihtelee nollan ja yhden välillä. Toinen regressiomallin hyvydestä kertova testi on nimeltään F-testi. Se on tilastollinen testi, joka kertoo pystytäänkö regressioanalyysissä olevilla muuttujilla ylipäänsä selittämään selitettävän muuttujan vaihtelua. (VirtuaaliAMK, 2011.)

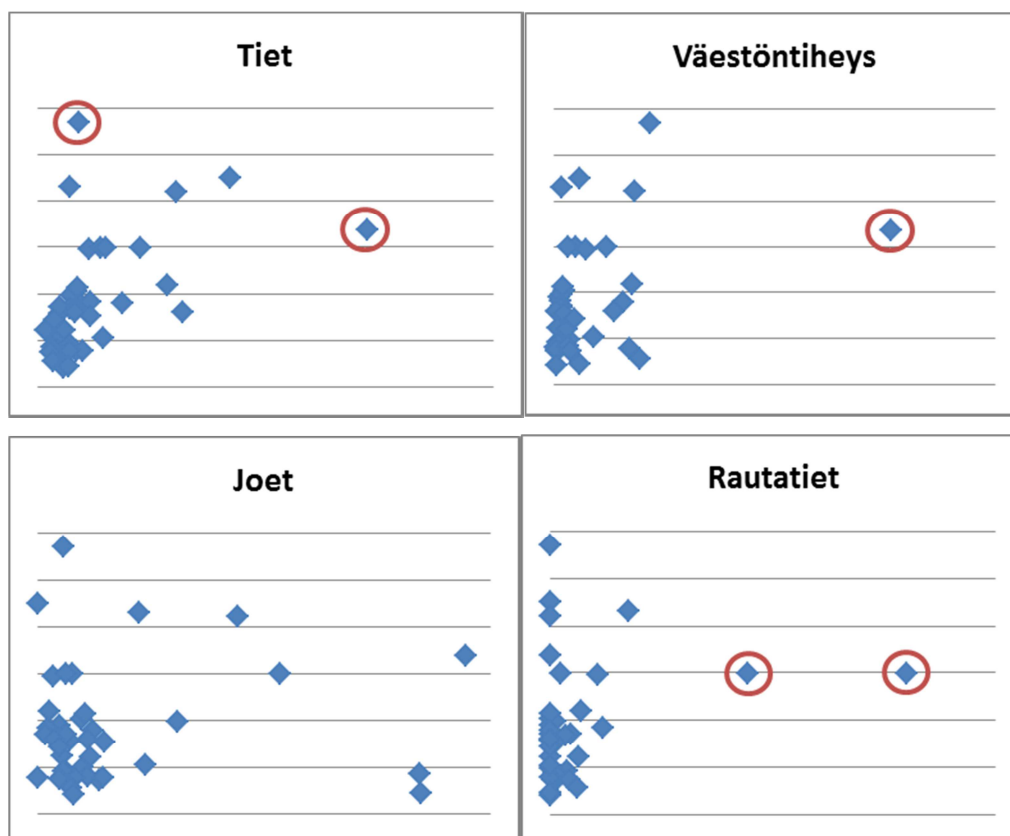
## 10 Tulokset

Osaprojekteja tuli valituksi yhteensä 40 kappaletta. Niistä 15 kappaletta olivat TT1:n, 14 TT2:n ja 11 TT3:n tekemiä. Tutkittavat osaprojektit TT1:n ja TT2:n osalta kattoivat kokonaan heidän luokittemat lohkot. TT3:n osaprojekteista valittiin niiden runsauden ja ajanpuutteen vuoksi joka neljäs. TT1:n osaprojektit kattoivat pinta-alaltaan 32, TT2:n 47 ja TT3:n 21 prosenttia kaikista tutkittavista osaprojekteista. Niiden välillä luokitteluun käytetyissä ajoissa oli suuria eroja. Hitain osaprojekti vei noin 14 kertaa enemmän työaikaa nopeimpaan verrattuna.

### 10.1 Työnvaikeuteen vaikuttavat tekijät

Muuttujien välisten yhteyksien selvittäminen aloitettiin hajontakuvioiden avulla (kuvio 1). X-akselilla on hajontakuvion otsikon mukainen muuttuja ja Y-akselilla

työnvaikeus. Muuttujapareista piirretyistä hajontakuviosta voidaan havaita, että eniten säännönmukaisuutta pisteparvessa näyttäisi olevan teiden määrällä suhteessa työnvaikeuteen. Muutamia poikkeavia arvoja kuitenkin löytyy. Nämä arvot on ympyröity hajontakuvioiden punaisella.



Kuvio 1. Teiden, väestötiheyden, jokien ja rautateiden määrän yhteys työnvaikeuteen.

Jokien osalta hajontakuviosta ei ole havaittavissa selkeää säännönmukaisuutta. Pisteet ovat kuviossa hyvin hajallaan. Tämän muuttujan yhteys työnvaikeuteen voisi olla sen perusteella kaukaa haettava.

Tämän jälkeen muuttujien yhteyttä testattiin korrelaatiokertoimella. Muuttujat asetettiin korrelaatiomatriisiin, josta voidaan havaita, että jonkinasteista vaikutusta työnvaikeuteen on väestötiheydellä ja teiden määrällä (taulukko 1). Korrelaatiokerroin väestötiheyden ja työnvaikeuden välillä on 0,349 ja p-arvo on alle 0,05, joka tarkoittaa tuloksen olevan tällä otoskoollla ( $n=40$ ) tilastollisesti melkein merkitsevä. Teiden määrä työnvaikeuden suhteen saa korrelaatio-



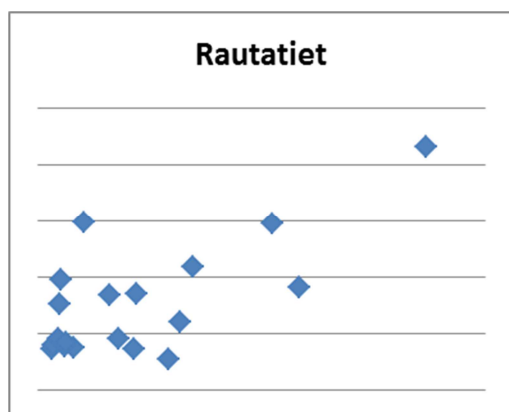
kertoimen arvon 0,494. P-arvo tämän parin osalta on alle 0,01, joten tulos on tilastollisesti merkitsevä.

Taulukko 1. Korrelaatiomatriisi

	<i>Väestötiheys</i>	<i>Joet</i>	<i>Tiet</i>	<i>Rautatiet</i>	<i>Työnvaikeus</i>
Väestötiheys	1				
Joet	0,471	1			
Tiet	0,787	0,384	1		
Rautatiet	-0,043	0,151	0,010	1	
Työnvaikeus	0,349	0,065	0,494	0,251	1

Jokien ja rautateiden määrällä ei näyttäisi olevan juurikaan vaikutusta työnvaikeuteen korrelaatiokertoimenkaan perusteella. Väestötiheyden osalta yhteys on heikko eikä poikkeavan arvon poistamisella näytä olevan vaikutusta. Tiet ja väestötiheys näyttävät korreloivan voimakkaasti keskenään mikä onkin varmasti hyvin luonnollista.

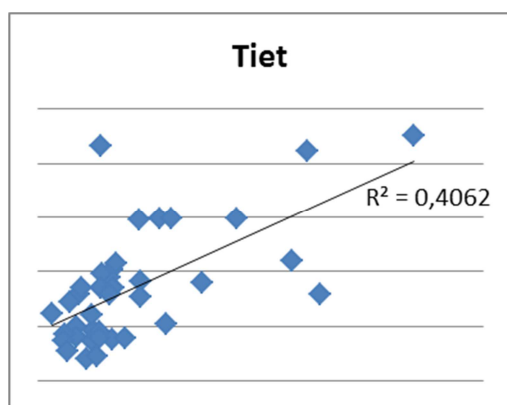
Myös rautateiden korrelaatio työnvaikeuden suhteen on heikko. Asia kuitenkin muuttuu, jos kuviosta poistetaan kaksi muista selkeästi poikkeavaa havaintoa sekä kaikki ne havainnot missä rautateitä ei ollut ollenkaan (kuvio 2). Näiden muutosten jälkeen havaintoja jää 19 kappaletta. Hajontakuviossa on havaittavissa selkeää säännönmukaisuutta ja korrelaatiokertoimeksi saadaan 0,697. P-arvoksi saadaan alle 0,001 eli kyseessä on tilastollisesti merkittävä tulos.



Kuvio 2. Rautateiden määrän vaikutus työnvaikeuteen.

Rautateitä siis voitaisiin pitää jonkinlaisena työnvaikeutta lisäävänä tekijänä niiden osaprojektien osalta missä niitä sijaitsee. Noin puolessa tutkituista osaprojekteista niitä ei kuitenkaan ollut ollenkaan.

Koska muista tekijöistä ei ollut selittämään työnvaikeuden vaihteluita, tarkempaan tarkasteluun jäi vain teiden määrä. Jos teiden osalta poistetaan pisteparvesta selkeästi poikkeavat arvot, on kuviosta havaittavissa nouseva yhteys (kuvio 3). Tämän perusteella tiet-muuttujan osuutta työnvaikeuteen onkin syytä tutkia tarkemmin ilman näitä poikkeavia arvoja. Niiden poistamisen jälkeen saadaan korrelaatiokertoimen arvoksi 0,637. Sen p-arvo on alle 0,01, joten tulosta voidaan pitää tilastollisesti merkitseväenä.



Kuvio 3. Teiden määrän vaikutus työtehokkuuteen

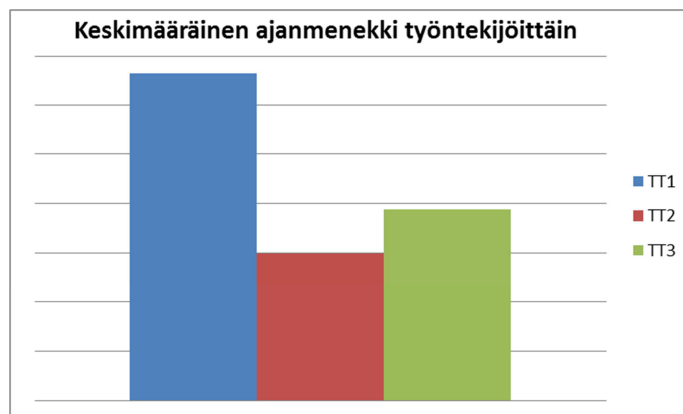
Kuvioon lisättiin regressiosuora ja sen selitysaste, joka on 0,4062. Eli sen perusteella työnvaikeudesta olisi noin 41 prosenttia selitettävissä teiden määrällä metreissä johtokäytävän alueella. Regressiosuoran yhtälöä ei tässä näytetä, koska malli on tehty oikeilla arvoilla eikä työtehokkuuslukuja haluta antaa muiden tietoon.

Teiden määrä vaikuttaisi olevan tutkituista muuttujista ehdottomasti paras selittämään vaihtelua ajanmenekeissä. Tiet voivat selittää hyvin muun muassa rakennusten määrää voimalinjan johtoalueella. Vaikka väestötiheys olisikin suuri, se ei välttämättä kerro, että juuri voimalinjan johtoalueelle osuisi paljon rakennuksia tai muita rakennelmia. Teiden läheisyydessä taas on yleensä muitakin rakennelmia ja näin ollen luokiteltavaa on runsaasti. Teiden määrä eroaa jonkin verran todellisuudesta, koska laserkeilausaineistosta luokitellaan

myös taajamien ulkopuolella sijaitsevat pienemmät metsäautotiet, joita tämä paikkatietoaineisto ei sisältänyt. Näillä tuskin on suurta vaikutusta työnvaikeuteen, koska ne ovat yleensä kapeita ajouria, joiden läheisyydessä ei sinällään sijaitse mitään muita rakennelmia.

## 10.2 Työntekijöiden väliset erot

Aineisto sisälsi tiedot kolmen eri työntekijän tekemistä voimalinjaprojekteista. Voisi olla kiinnostavaa tietää millaisia eroja työtehokkuudessa on eri työntekijöiden välillä. Tämä on mahdollista varianssianalyysillä, jolla tutkitaan onko ryhmien keskiarvoilla tilastollisesti merkitsevää eroa. Työntekijöiden välisiä eroja tutkittiin yksisuuntaisen varianssianalyysin avulla. Sen mukaan ainakin kahden työntekijän työtehokkuudessa on olemassa tilastollisesti merkitsevä ero (kuvio 4).



Kuvio 4. Keskimääräinen ajanmenekki työntekijöittäin

Syitä eri työntekijöiden välillä oleviin eroihin ajanmenekissä voivat olla erot työkokemuksen määrässä ja työskentelytavoissa. Tähän tutkimukseen valittiin osaprojektit, joiden luokittelijat olivat suurin piirtein työkokemukseltaan samalla tasolla. Näin ollen eroja voisi lähteä etsimään jokaisen analysoijan henkilökohtaisista työtavoista. Esimerkiksi joku työntekijä voi hahmottaa nopeammin tietyntylaiset luokiteltavat kohteet kuin toinen. Eroja voi syntyä vaikka kaikki työntekijät käyvät lähes samanlaisen koulutuksen ennen varsinaisten projektien luokittelun aloittamista. Luokittelussa voidaan käyttää erilaisia työkaluja ja silti

päästään luokittelun tarkkuuden kannalta samaan lopputulokseen. Jokainen työntekijä oppii käyttämään niitä parhaaksi näkemällään tavalla.

## 11 Pohdinta

Tuloksista voidaan päätellä, että paikkatietoon perustuvia tunnuslukuja on mahdollista käyttää arvioitaessa projektin työnvaikeutta etukäteen. Parhaimmaksi työnvaikeutta selittäväksi tekijäksi osoittautui teiden määrä voimalinjan johtoalueella. Teiden osalta olisi voinut tehdä jonkinlaista jaottelua. Esimerkiksi olisi laskettu vain katujen määrä johtoalueelta ja olisi jätetty valtatiet tutkimuksien ulkopuolelle.

Sitä voidaan miettiä oliko paras vaihtoehto laskea tunnusluvut pelkästään johtoalueen sisältä vai olisiko saatu parempia tuloksia, jos ne olisi laskettu koko lohkojen alueelta. Tutkimusta lähdettiin tekemään siitä näkökulmasta, että kysymyksessä on aivan uusi projekti. Siis mitä paikkatietoon perustuvia tunnuslukuja voisi olla mahdollista käyttää arvioitaessa projektin työnvaikeutta ennen tarjouksen tekemistä. Siinä vaiheessa lentolinja on ainut tieto mitä voimalinjasta on saatavilla. Lohkot luodaan vasta myöhemmässä vaiheessa.

Väestötiheys johtoalueella ei ollutkaan niin hyvä selittämään työnvaikeutta kuin alun perin olisi voinut kuvitella. Voi olla, että ne tutkitut linjat missä väestötiheys oli suuri, eivät varsinaisesti sijainneet aivan asutusalueiden vieressä. Ne ovat voineet olla hieman sivussa taloista ja muista rakennelmista, jolloin johtoalue on vastannut luokittelun kannalta enemmän rakentamatonta seutua.

Suurimmat erot ajanmenekissä olisi voinut saada selville, jos tutkimuksessa olisi käytetty paikkatietoa, joka olisi ollut jaoteltuna alueisiin niiden maankäytön mukaan. Tämänkaltainen aineisto ei kuitenkaan anna mahdollisuutta verrata kahta täysin rakennetulla aluella sijaitsevaa linjaa keskenään työnvaikeuden suhteen. Arvio voisi siis olla liian karkea. Myös peltojen ja metsien osuus johtoalueella voisivat olla hyviä tekijöitä selittämään työnvaikeutta. Nämä olisivat

todennäköisesti työnvaikeutta pienentäviä tekijöitä. Työnvaikeutta voisi yrittää selittää myös kaavoitukseen liittyvillä seikoilla.

Tuntikirjanpidon tarkkuus oli hieman kyseenalainen ja tuntien puuttumisen tiettyjen osaprojektien osalta johtikin siihen, että ne oli jätettävä tutkimusten ulkopuolelle. Tämä aiheutti ongelmia siinä mielessä, että tutkimus oli rajattava tiettyihin työntekijöihin, joiden tuntikirjanpidon voisi olettaa olevan asianmukaisessa kunnossa. Luokitteluun käytettyjen tuntien kirjaamiseen on tullut muutos, kun Arbonaut Oy:ssä on siirrytty kesän 2011 aikana käyttämään uudenlaista tuntikirjanpitojärjestelmää. Siinä ei ole mahdollisuutta syöttää tunteja väärin osaprojektien alle ja se mahdollistaa muun muassa erilaisten tulosteiden helpomman saannin.

Tuntikirjanpidosta ei kuitenkaan saa kaikkea tietoa. Vaikka aineiston luokittelussa tehdään tarkkaa työtä ja vältetään virheitä, niitä kuitenkin tulee. Luokitteluvirheistä johtuvat jälkikäteen tehtävät korjaukset ja niihin käytetyt työtunnit eivät välttämättä tule selville tuntikirjanpidosta. Toinen huomioonotettava seikka tutkimuksessakin mukana olleiden, kokeneempien työntekijöiden kohdalla, on muiden työntekijöiden neuvonta ja ohjaus omien työtehtävien ohessa. Nämä asiat voivat viedä paljon työaika ja näin ollen vaikuttavat osaltaan työn etenemiseen.

Aineiston koko oli alun perin suunniteltu suuremmaksi. Tarkoitus oli poimia tietoja kahden tai kolmen eri tilaajan projekteista. Suuremmalla aineistolla erot olisi voineet tulla paremmin esille. ArcMapin käytön opettelu vei oman aikansa, koska aiempi kokemus paikkaohjelmien käytöstä oli vähäistä. Onneksi muut työntekijät auttoivat. Lisäksi puutteet tuntikirjanpidossa teettivät ylimääräistä työtä. Tietoja ehdittiin poimia jo useammasta osaprojektista ennen kuin huomattiin, että tunnit oli tallennettu järjestelmään epätäydellisesti. Näiltä ongelmilta olisi ehkä välttytty mikäli työn suunnitteluun ja aineistoon tutustumiseen olisi käytetty enemmän aikaa.

Tutkimusta voi jatkaa tutkimalla muiden paikkatietoon perustuvien tunnuslukujen vaikutuksia työnvaikeuteen. Työnvaikeuden määrittämiseen tarvitaan

useampi tekijä ja parhaimpien löytäminen voi olla suuren työn takana. Mikäli löydetään riittävä määrä riittävän hyviä selittäviä tekijöitä, voisi niiden perusteella luoda matemaattisen mallin, jolla arvio projektien työnvaikeudesta olisi mahdollinen.

Myös työntekijöiden välisten erojen todellinen suuruus ajanmenekeissä pitäisi selvittää. Tutkimus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi teettämällä sama osaprojekti muutamalla työntekijällä ja vertaamalla näitä tietoja keskenään. Työntekijät voisivat olla työkokemukseltaan eri tasoisia. Tämäntapainen tutkimus voisi antaa paljon tietoa siitä, onko työntekijöiden välillä todellisuudessa olemassa suuria eroja, ja mistä ne voisivat johtua. Mikäli erot ajanmenekeissä on suuret, voi projektien työnvaikeuden määrittäminen ainoastaan paikkatietoon perustuvilla tunnuksilla olla hyvin haastavaa, jopa mahdotonta.

## Lähteet

- Antikainen, H., Hiltula, J. 2008. Gis ja kvantitatiiviset menetelmät. Johdatus ArcGIS 9.2 -ohjelmiston käyttöön.
- Arbonaut Oy. 2011. Voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysi -esitys.
- Federal energy regulatory commission. 2004. Utility vegetation management and bulk electric reliability report from the Federal energy regulatory commission <http://www.ferc.gov/industries/electric/industryact/reliability/veg-mgmt-rpt-final.pdf> 8.8.2011
- ESRI. 2008. ESRI Data & Maps 9.3  
<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/datamaps93.pdf>  
29.10.2011
- Holopainen, M., Pulkkinen, P. 2008. Tilastolliset menetelmät, WSOY Oppimateriaalit Oy: 5.-6. painos.
- Hyyppä, J. 2011. Laserkeilaus.  
[http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk\\_www\\_portaali/rswww/laser.html#sove](http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk_www_portaali/rswww/laser.html#sove) 9.3.2011
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2008. Työryhmämuistio mmm 2008:2 INSPIRE-työryhmän loppuraportti
- Maanmittauslaitos. 2011. Paikkatietoikkuna  
<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/inspire> 24.10.2011
- Metsäkeskus. 2010.  
[http://www.metsakeskus.fi/web/fin/uutiset/2010\\_uutiset/kesakuu/uu\\_ep\\_tv\\_metsavara\\_laserkeilaus.htm](http://www.metsakeskus.fi/web/fin/uutiset/2010_uutiset/kesakuu/uu_ep_tv_metsavara_laserkeilaus.htm) 12.5.2011
- PaikkaOppi. 2011.  
[http://www.paikkaoppi.fi/Oppitunnit\\_ja\\_projektimallit/Oppituntikokonaaisuudet](http://www.paikkaoppi.fi/Oppitunnit_ja_projektimallit/Oppituntikokonaaisuudet) 5.11.2011
- Paikkatietoikkuna, 2011.  
<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/inspire> 5.11.2011
- Terrasolid Oy. 2011. Terrascan.  
[http://www.terrasolid.fi/system/files/TerraScan\\_eng\\_1.pdf](http://www.terrasolid.fi/system/files/TerraScan_eng_1.pdf) 9.3.2011
- VirtuaaliAMK. 2011.  
<http://www2.amk.fi/mater/tutkimusmenetelmat/kvantitat/kuvailu/>  
24.10.2011