

OPINNÄYTETYÖ

MIIKKA KETONEN 2013

**KANTAKARTAN KORKEUSKÄYRIEN
TUOTTAMINEN PISTEPILVIAINEISTOSTA**



**Rovaniemen
ammattikorkeakoulu**
University of Applied Sciences
LUC

**MAANMITTAUSTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA**



ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

KANTAKARTAN KORKEUSKÄYRIEN TUOTTAMINEN PISTEPILVIAINEISTOSTA

Miikka Ketonen

2013

Toimeksiantaja Kokkolan kaupunki, Paikkatietopalvelut

Ohjaaja TkL Pasi Laurila

Tekijä	Miikka Ketonen	Vuosi	2013
Toimeksiantaja Työn nimi	Kokkolan kaupunki, Paikkatietopalvelut Kantakartan korkeuskäyrien tuottaminen pistepilviaineistosta		
Sivumäärä	68		

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kantakartan korkeuskäyrätuotantoa ja tavoitteena oli selvittää käyrätuotannon vaatimat työvaiheet. Opinnäytetyö tehtiin Kokkolan kaupungin Teknisen palvelukeskuksen Paikkatietopalveluiden toimeksiannosta ja sen tarkoituksena oli tuottaa N2000-korkeusjärjestelmän mukaiset korkeuskäyrät Kokkolan kantakartta-alueelle ja dokumentoida käyrätuotannon työvaiheet mahdollista myöhempää käyttöä varten.

Käyrätuotannon taustojen osalta tutkimuksessa selvitettiin pääpiirteittäin paikkatietoaineistojen muuntaminen uusiin Inspire-direktiivin mukaisiin koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiin. Lisäksi työssä käsiteltiin kantakartta-aineistoa, sen ylläpitoa ja käyttökohteita Kokkolan kaupungin näkökulmasta sekä ilmalaserkeilauksen tekniikkaa ja pistepilviaineistojen hyödyntämistä teknisessä suunnittelussa. Työssä pyrittiin tuomaan esille myös näiden aineistojen käytön kehittämiseen liittyviä seikkoja.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tuotettua korkeuskäyrät Kokkolan kantakartta-alueelle. Korkeuskäyrät tuotettiin kaupungin omista pistepilviaineistoista. Käyrätuotannossa keskityttiin erityisesti käyrien kartografisen ulkoasun parantamiseen ja esiin nousseiden ongelmien ratkaisemiseen. Työssä havaittiin selvästi erilaisten maastotyyppien vaikutukset käyrien ulkoasuun. Tasaiset maastot olivat käyrätuotannon kannalta haastavimpia, kun taas mäkiseen maastoon käyrien tuottaminen oli vaivattomampaa ja käyristä tuli ulkoasuun parempia.

Työn käytännön osiossa suoritettiin lisäksi tuotettujen korkeuskäyrien tarkistusmittaus, jonka tulosten perusteella tuotettujen korkeuskäyrien tarkkuus on vaatimusten mukainen. Työssä pohdittiin myös käyrien tarkkuuden ja ulkoasun välistä suhdetta.

Author	Miikka Ketonen	Year	2013
Commissioned by	City of Kokkola, GIS Services		
Subject of thesis	Generating Base Map Contours from Point Cloud Data		
Number of pages	68		

The objective of this thesis was to find out the steps of base map contour generation. The survey was commissioned by the GIS services of Kokkola city. The main purpose of this work was to generate the new N2000 height reference system contours for the Kokkola base map area and to document the steps of project for possible later use.

Spatial data transformations to the new coordinate and height reference systems, which are under the Inspire directive, were clarified as the background of the study. The maintenance and the use of the base map data were discussed from the perspective of Kokkola city in the theoretical part. In addition, the airborne laser scanning technology and the point cloud data utilization in technical planning were studied. The purpose was also to bring out the development issues in the usage of these spatial databases in the city of Kokkola.

The contours at the Kokkola base map database were generated as the result of the study. Contours were generated using city's own point cloud data. In the generation improving the cartographical appearance of the contours and finding out solutions for identified problems were especially focused on. It was observed that different types of terrain have a clear effect on the appearance of contours. Flat terrain was the most challenging in terms of the contour generation, while the hilly areas were more comfortable and the appearance of the contours was better.

The check out survey for the generated contours was also performed in the practical section. According to the survey results the accuracy of the produced contours complies with the requirements. The relationship between the accuracy and the cartographical appearance of the contours were also contemplated in this thesis.

Key words: contours, base map, airborne laser scanning, point cloud

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	1
2 TYÖN TAUSTAT	3
2.1 INSPIRE-DIREKTIIVI	3
2.2 KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJESTELMÄT	4
2.3 JÄRJESTELMIEN VÄLISET MUUNNOKSET	6
2.4 MUUNNOKSET KOKKOLASSA	7
2.5 KORKEUSKÄYRÄTUOTANNON LÄHTÖKOHDAT	8
3 KANTAKARTTA	10
3.1 KANTAKARTTA-AINEISTOT YLEISESTI	10
3.2 KOKKOLAN KANTAKARTTA-AINEISTON TUOTTAMINEN JA YLLÄPITO	11
3.3 KANTAKARTAN KÄYTTÖKOHTEET KOKKOLASSA	13
4 ILMALASERKEILAUUS JA PISTEPILVIAINEISTOT	15
4.1 ILMALASERKEILAUKSEN TEKNIikka	15
4.2 PISTEPILVIAINEISTOT JA NIIDEN KÄYTTÖ	17
4.3 KOKKOLAN KAUPUNGIN PISTEPILVIAINEISTOT	18
5 KORKEUSKÄYRÄTUOTANTO	21
5.1 KORKEUSKÄYRÄTUOTANNON TYÖVAIHEET	21
5.2 PROJEKTIN LUOMINEN JA PISTEPILVEN LUOKITTELU	22
5.3 PINTAMALLI JA KORKEUSKÄYRÄT	24
5.4 KÄYRIEN LEIKKAAMINEN SÄÄNTÖALUEMENETELMÄLLÄ	26
5.5 RANTAVIIVAN TULKINTA JA KÄYTTÖ PINTAMALLIN KOLMIOINNISSA	29
5.6 MAANPINNASTA KÄYRIEN AVAINPISTEIKSI	32
5.6.1 <i>Maanpinnan pisteverkon harventaminen</i>	32
5.6.2 <i>Pienialaiset supat ja kumpareet</i>	37
5.7 KORKEUSKÄYRIEN SIISTIMINEN	38
5.7.1 <i>Siistimisen tarpeellisuudesta</i>	38
5.7.2 <i>Ojat</i>	39
5.7.3 <i>Tiealueet</i>	42
5.7.4 <i>Rakennettu ympäristö</i>	45
5.7.5 <i>Tasainen maasto ja epätasainen maapohja</i>	46
5.8 APUKÄYRÄT	47
5.9 KÄYRIEN LASKEMINEN KOKO PROJEKTILLE	50
5.10 KÄYRIEN SIIRTO TEKLA GIS -JÄRJESTELMÄÄN	53
6 TARKISTUSMITTAUS	55
6.1 TARKISTUSMITTAUKSEN LÄHTÖKOHDAT	55
6.2 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS	56
6.3 TARKISTUSMITTAUKSEN TULOKSET JA ANALYSOINTI	57
7 YHTEENVETO	62
7.1 ARVIO TUOTETUSTA KÄYRÄAINEISTOSTA	62
7.2 JOHTOPÄÄTÖKSET	63
LÄHTEET	66

1 JOHDANTO

Kantakarttaa voidaan pitää yhtenä tärkeimmistä kunnan ylläpitämistä kartta-aineistoista. Se kuvaa yksityiskohtaisesti maastoa ja rakennettua ympäristöä, ja siksi sitä käytetään monipuolisesti teknisen suunnittelun pohja-aineistona. Kantakartalla on erityinen merkitys varsinkin kaavoituksessa, jossa kantakartta-aineistoa käytetään virallisina asemakaavan pohjakarttoina. Jotta aineisto antaisi hyvät lähtökohdat suunnittelulle, tulee sen olla ajan tasalla sekä vastata kaavan pohjakartalle määritettyjä tarkkuusvaatimuksia.

Viime vuosina on useissa kunnissa ja kaupungeissa siirrytty käyttämään uusia kansainvälisiä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä. Monissa kunnissa tämä siirtyminen on edelleen käynnissä tai vasta alkamassa lähiaikoina. Uusien järjestelmien käyttöönotto liittyy EU:n Inspire-direktiiviin, joka tähtää paikkatietojen käytön tehostamiseen ja paikkatietoinfrastruktuurin yhtenäistämiseen. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien muuttumisen vuoksi kuntien kartta-aineistojen päivittämisessä tulee vastaan tehtäviä, joista ei välttämättä ole aiempaa kokemusta. Osa näistä tehtävistä vaatii konsulttien asiantuntemusta, mutta joidenkin tehtävien suorittaminen onnistuu myös omana työnä, mikäli aiheeseen perehtymiseen on riittävät mahdollisuudet.

Yksi tällaisista tehtävistä on kantakartan korkeuskäyrien tuottaminen uuteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään. Nykypäivänä ei ole välttämätöntä tehdä tai tilata suuritöisiä stereotulkintaan perustuvia käyrätöitä, mikäli kunnan alueelta on olemassa ilmalaserkeilauksella tuotettua pistepilviaineistoa. Pistepilvi sisältää tarkkaa tietoa maanpinnan korkeussuhteista ja aineiston käsittelyyn on olemassa useita hyviä sovelluksia. Pistepilviaineiston käyttö mahdollistaa siis uusien korkeuskäyrien tehokkaan tuottamisen nykyaikaisella menetelmällä.

Tämän opinnäytetyön käytännön osiossa tutkitaan kantakartan korkeuskäyrätuotantoa, ja tavoitteena on selvittää käyrätuotannon vaatimat työvaiheet. Opinnäytetyö tehdään Kokkolan kaupungin Teknisen palvelukeskuksen Paikkatietopalveluiden toimeksiannosta, ja sen tarkoituksena on tuottaa korkeuskäyrät Kokkolan kantakartta-alueelle ja dokumentoida käyrätuotannon

työvaiheet mahdollista myöhempää käyttöä varten. Tämän työn tuloksia voivat hyödyntää myös ne kunnat, joissa kantakartan korkeuskäyriä ei ole vielä päivitetty uusiin järjestelmiin.

Työn käytännön osiossa suoritetaan lisäksi tuotettujen korkeuskäyrien tarkistusmittaus, josta saatavien tulosten perusteella kontrolloidaan korkeuskäyrien tarkkuutta. Tarkistusmittauksen perusteella arvioidaan myös käytettyjen menetelmien soveltuvuutta käyrätuotantoon. Lisäksi työssä pohditaan käyrän kartografiseen ulkoasuun liittyviä seikkoja sekä ulkoasun ja tarkkuuden suhdetta. Käyrätuotannon taustoihin liittyen työssä käsitellään myös Inspire-direktiivin mukaisia koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä, sekä niihin liittyviä muunnoksia.

Opinnäytetyön teoriaosiossa käsitellään kantakartta-aineistoa, sen ylläpitoa ja käyttökohteita Kokkolan kaupungin näkökulmasta sekä ilmalaserkeilausta laaja-alaisen alueen mittausmenetelmänä ja pistepilviaineistojen hyödyntämisestä teknisessä suunnittelussa. Työssä pyritään tuomaan myös esille näiden aineistojen käytön kehittämiseen liittyviä seikkoja. Tietolähteinä työssä käytetään haastatteluja, kirjallisuutta ja Internet-lähteitä.

2 TYÖN TAUSTAT

2.1 Inspire-direktiivi

Euroopan yhteisön paikkatietoinfrastruktuurin määrittelevä Inspire-direktiivi (2007/2/EY) astui voimaan vuonna 2007. Direktiivin tarkoituksena on paikkatietoaineistojen ja -palveluiden saatavuuden yhtenäistäminen, käytön tehostaminen ja viranomaisten yhteistyön lisääminen. Direktiiviin pohjautuva laki paikkatietoinfrastruktuurista (421/2009) astui voimaan vuonna 2009, ja siinä määritellään paikkatietoaineistoja hallinnoivien viranomaisten velvoitteet Inspire-direktiivin vaatimusten toteuttamiseksi. Paikkatietoa hallinnoivat viranomaiset sekä lain soveltamisalaan liittyvät paikkatiedot nimetään tarkemmin asetuksessa paikkatietoinfrastruktuurista (725/2009). Laissa ja asetuksessa säädetään myös direktiivin velvoitteiden toteutumisen seurannasta sekä yhteystahojen tehtävistä ja tukipalveluiden toteuttamisesta. (Paikkatietoikkuna 2012a.)

Inspire-direktiivin velvoitteet koskevat valtion ja kansallisesti toimivien organisaatioiden lisäksi myös kuntia, joiden ylläpitämistä paikkatietoaineistoista velvoitteiden piiriin kuuluvat mm. ajantasa-asemakaava, opaskartta, kiinteistörekisteri ja rakennukset (Paikkatietoikkuna 2012b).

Direktiivin lisäksi Euroopan unionin komissio on laatinut täytäntöönpanosääntöjä, jotka sisältävät teknisiä ohjeita paikkatietoinfrastruktuurin eri osien toteuttamiseksi. Täytäntöönpanosäännöt perustuvat kansainvälisiin standardeihin, jotka luovat pohjan paikkatietojärjestelmien yhteentoimivuudelle. (Paikkatietoikkuna 2012c.) Kansainvälisten paikkatietoalan standardien ja sääntöjen soveltamista Suomessa ohjeistetaan JHS-suosituksilla, jotka ovat Julkisen hallinnon tietohallinnon hyväksymiä kansallisia suosituksia. Niiden tavoitteena on ohjata julkisen hallinnon tietojärjestelmien kehittämistä, tehostaa tietovarantojen käyttöä ja luoda yhdenmukaisia käytäntöjä julkishallinnon käyttöön. Suosituksia laativat alan ammattilaisista kootut työryhmät. (JUHTA 2012a.)

2.2 Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät

Kansainvälinen Geodeettinen Assosiaatio (IAG) on määritellyt eurooppalaiset koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät, jotka ovat ETRS-koordinaattijärjestelmä ja EVRS-korkeusjärjestelmä. Inspire-direktiivi ei varsinaisesti pyri eri maiden kansallisten koordinaattijärjestelmien yhtenäistämiseen, mutta se edellyttää, että ympäristöä koskevat paikkatiedot ovat saatavissa näissä yleiseurooppalaisissa järjestelmissä. (Saarikoski 2007, 84.) Direktiivin vaatimusta käytettävistä järjestelmistä täsmennetään EU:n komission asetuksessa paikkatietojen yhteentoimivuudesta (1089/2010), joka kuuluu direktiivin täytäntöönpanosääntöihin (Paikkatietoikkuna 2012c). Suomessa tähän asetukseen pohjautuvat JHS-suositukset 153, 154 ja 163. Näissä suosituksissa on määritelty yleiseurooppalaisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio ja sen kanssa käytettävät karttaprojektiot ja tasokoordinaatistot sekä Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä N2000. (JUHTA 2012b.)

Nämä säännökset luovat siis perustan uusien yleiseurooppalaisten koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien käyttöönottamiselle paikkatietoa hallinnoivissa organisaatioissa. Järjestelmien käyttöönotto mahdollistaa yhtenäisen paikkatietoinfrastruktuurin luomisen ja paikkatietojen yhteiskäytön eri maiden välillä. Globaalien järjestelmien käyttö on erityisen tärkeää kansainvälisessä tutkimustyössä tieteen ja teknologian aloilla. (JUHTA 2008a.)

ETRS89 on 3D-koordinaattijärjestelmä, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan muuttumattomaan osaan. Mannerlaattojen liikkeen vuoksi järjestelmä liikkuu laatan mukana. Järjestelmä on kuitenkin sidottu epookissa 1989.0 globaaliin ITRS-koordinaattijärjestelmään, joka puolestaan pohjautuu maan muotoa kuvaavaan kansainvälisesti määriteltyyn GRS80-vertausellipsoidiin. ETRS89-järjestelmä on realisoitu, eli kiinnitetty maan pinnalle mitattujen pisteiden välityksellä. Suomessa järjestelmästä on tehty oma realisaatio, jota kutsutaan nimellä EUREF-FIN. EUREF-FIN -koordinaatisto muodostuu pysyvistä GPS-aseamista ja vuosina 1996–1997 mitatuista alkuperäisistä GPS-pisteistä sekä myöhemmin mitatuista tihennyspisteistä. (JUHTA 2008a.)

Jotta karttatuotannossa voitaisiin käyttää tätä suositeltua koordinaattijärjestelmää, on sen kanssa käytettävä sopivaa karttaprojektiota. Projektion avulla maapallon kolmiulotteisen pinnan kohteet kuvataan kaksiulotteiselle karttatasolle. JHS-suosituksessa 154 suositellaan EUREF-FIN -koordinaatistoon liittyvissä valtakunnallisissa kartastotöissä käytettäväksi UTM-projektiota. Projektio on leveäkaistainen leikkaava lieriöprojektiio ja sen keskimeridiaani on 27° . Projektion kaistan leveys on laajennettu kattamaan koko Suomen alue, jolloin sen avulla muodostettavaa tasokoordinaatistoa kutsutaan nimellä ETRS-TM35FIN. Paikallisissa kartastotöissä voidaan käyttää kapeampikaistaista Gauss-Krüger projektiota ja siihen liittyviä tasokoordinaatistoja ETRS-GKn. Gauss-Krüger projektiio on keskimeridiaaniltaan koordinaattijärjestelmän ellipsoidia sivuava poikittainen lieriöprojektiio, jonka keskimeridiaaniksi voidaan valita parhaiten soveltuva tasa-aste 19° ja 31° väliltä. Keskimeridiaani ilmoitetaan tasokoordinaatiston nimessä n-kirjaimen paikalla. (JUHTA 2008b.)

Edellä kuvattujen koordinaattijärjestelmien rinnalle otetaan käyttöön N2000-korkeusjärjestelmä, joka vähitellen korvaa Suomessa aiemmin käytetyt valtakunnalliset ja paikalliset korkeusjärjestelmät. Uusi järjestelmä mahdollistaa yhteyden muihin eurooppalaisiin järjestelmiin ja on siten Inspire-direktiivin mukainen. Myös jääkauden jälkeinen maannousu, joka Suomessa muuttaa korkeuksia ja korkeussuhteita jatkuvasti, asettaa omat perusteensa korkeusjärjestelmien päivittämiselle. (JUHTA 2008c.)

Korkeusjärjestelmien määrittely perustuu painovoiman geopotentialieroihin eri pisteiden välillä. Painovoimaa kuvaava geoidi toimii korkeusjärjestelmän vertauspintana, jonka suhteen korkeudet ilmaistaan. Lisäksi geoidi sovitetaan vastaamaan korkeusjärjestelmän lähtöpisteen keskimääräistä merenpintaa. Tästä juontaa juurensa myös kansankielinen sanonta ”korkeus merenpinnasta”. (Poutanen 2006, 11–12.)

N2000 korkeusjärjestelmä perustuu vuosina 1978–2006 mitattuun Suomen kolmanteen tarkkavaaitukseen, jonka havainnot on muunnettu pohjoismaista maannousumallia (NKG2005LU) käyttäen vastaamaan epookin 2000.0 kor-

keuseroja. Järjestelmä vastaa siis vuoden 2000 maankohoamisen tilannetta. N2000-järjestelmän tasoituksen lähtötaso on Metsähovin korkeuspiste, jonka korkeus on määritetty Itämeren ympäri tehdyn laajemman tasoituslaskennan perusteella. Tämän BLR2000-tasoituksen lähtötasona on puolestaan ollut Amsterdamin nollapiste (Normaal Amsterdams Peil), jonka kautta tasoitus kytkeytyy Euroopan korkeusjärjestelmä EVRS:n suhteen. Näin ollen myös Suomen N2000-järjestelmän korkeudet voidaan tarvittaessa muuntaa eurooppalaiseen korkeusjärjestelmään. N2000-järjestelmän korkeudet ilmoitetaan eurooppalaisten järjestelmien tapaan normaalikorkeuksina. N2000-järjestelmästä on tehty realisaatio tarkkavaaituspisteiden avulla ja järjestelmän kanssa suositellaan käytettävän järjestelmään sovitettua FIN2005-geoidimallia, jonka avulla satelliittimittauksen ellipsoidiset korkeudet voidaan muuntaa N2000-järjestelmän mukaisiksi normaalikorkeuksiksi. (JUHTA 2008c; Poutanen 2006, 12)

2.3 Järjestelmien väliset muunnokset

Lähes kaikissa Suomen kunnissa on ollut pitkään käytössä kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) sekä jokin vanhoihin tarkkavaaituksiin pohjautuva korkeusjärjestelmä (NN, N43 tai N60). Joissakin kunnissa on saatettu käyttää myös erilliskoordinaatistoa tai omaa korkeusjärjestelmää. Kuntien siirtymistä uusien järjestelmien käyttöön on vauhdittanut Maanmittauslaitoksen tuen loppuminen KKJ järjestelmälle vuoden 2012 lopussa (Puupponen 2012, 23).

Uusien järjestelmien käyttöönotto edellyttää muunnosten tekemistä vanhan ja uuden järjestelmän välille. Koordinaattimuunnos perustuu molemmissa järjestelmissä tunnettujen yhteisten pisteiden avulla määritettäviin muunnospaarametreihin. Koordinaattimuunnoksella voidaan siis muuntaa koordinaatteja kahden eri datumiin perustuvan koordinaatiston välillä. Tasomuunnos voidaan kuitenkin suorittaa vain keskimeridiaaniltaan vastaavien, samoin asemoitujen karttaprojektioiden välillä. Tämän vuoksi varsinaisen koordinaattimuunnoksen lisäksi muunnoksessa pitää usein suorittaa myös koordinaattikonversio. Konversion avulla siirrytään uudessa järjestelmässä haluttuun projektiokaistaan, mikäli vanhan järjestelmän keskimeridiaani ei vastaa uutta

järjestelmää. Siirryttäessä koordinaatistosta toiseen, on siis yleensä tarpeen suorittaa 1 muunnos ja 0-2 konversiota. Koordinaattimuunnoksen voi toteuttaa esimerkiksi valtakunnallisesti määritellyn kolmioittaisen affiinisen muunnoksen avulla, mikäli sen sisällyttäminen käytössä olevaan paikkatieto-ohjelmistoon on mahdollista. Muunnos voidaan määrittää myös paikallisesti molemmissa järjestelmissä tunnettujen yhteisten pisteiden avulla. Tasomuunnoksista yleisimpiä ovat neliparametrinen yhdenmuotoisuusmuunnos ja affiininen muunnos. Koordinaattikonversiot ovat yleensä sisäänrakennettuina paikkatieto-ohjelmistoissa. (Puupponen 2012, 23–24; JUHTA 2008b.)

Myös korkeusmuunnos voidaan toteuttaa N60-järjestelmästä N2000-järjestelmään valtakunnallisen muunnoksen avulla. Tämä Maanmittauslaitoksen laskema muunnos perustuu valtakunnallisten korkeuskiintopisteiden välisten kolmioiden muunnospintoihin, jotka määrittävät järjestelmien välisen korkeussiirron tasokoordinaattien funktiona. Muunnoksesta on laadittu muunnoshila erilaisten sovellusten käyttöön. (Ahola–Musto 2011, 32–33.) Korkeusmuunnos voidaan määrittää myös alueellisena, jolloin muunnoksen laskenta pohjautuu kiintopisteiden välille tehtäviin vaaitushavaintoihin. Paikallinen muunnos on käytännössä välttämätön, mikäli käytössä on ollut jokin muu kuin N60-järjestelmä.

2.4 Muunnokset Kokkolassa

Kokkolan kaupungin entinen koordinaattijärjestelmä oli Kartastokoordinaattijärjestelmän 2 kaista (KKJ2). Korkeusjärjestelmänä käytettiin kantakaupungin alueella NN-järjestelmää ja vuonna 2009 Kokkolaan liittyneiden Kälviän, Loh-tajan ja Ullavan kuntien alueella N60-järjestelmää. Erilliset järjestelmät osaltaan hankaloittivat kuntaliitoksen jälkeisen ajan mittaustöitä. Uusien koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien käyttöönoton myötä koko kaupungin alueella voidaan toimia samassa järjestelmässä. Uudeksi koordinaattijärjestelmäksi valittiin ETRS-GK23 -tasokoordinaattijärjestelmä ja uudeksi korkeusjärjestelmäksi N2000-järjestelmä. (Laamanen 2009, 3–12.)

Kokkolassa koordinaatistomuunnokset perustuivat syksyllä 2010 tehtyyn runkoverkkojen GPS-mittauskampanjaan, jonka tuloksena saatiin vektorit ylem-

män ja alemman luokan runkoverkkoihin. Mittauskampanjan laskentatyö tehtiin konsulttipalveluna. Laskennan yhteydessä määritettiin Kokkolan paikalliset muunnosparametrit KKJ2-koordinaatistosta keskimeridiaaniltaan vastaavaan ETRS-GK24-koordinaatistoon. Muunnosparametrit muodostavat affiinisen muunnoksen ja yleisesti sovittiin, että kaikki kaupungilla käytössä olevat kartta- ja paikkatietoaineistot muunnetaan tällä muunnoksella yhtenäisen muunnoksen varmistamiseksi. Affiinisen muunnoksen lisäksi tulee muunnoksessa suorittaa myös kaistakonversio, jolla siirrytään GK24-kaistasta GK23-kaistaan. (Puupponen 2011.)

Korkeusjärjestelmän osalta tuli määrittää muunnokset sekä NN- että N60-järjestelmistä uuteen N2000-järjestelmään. Kokkolan sijainti Pohjanlahden rannikolla, missä maankohoaminen on voimakkainta, aiheuttaa korkeusjärjestelmien välille melko suuren siirtokorjauksen. N60- ja N2000-järjestelmien välinen ero on valtakunnallisen kolmannen tarkkavaaituksen perusteella n. 42 cm (JUHTA 2008c). Kokkolan korkeusmuunnokset perustuivat kaupunkimittausyksikön tekemiin tarkkavaaituksiin, joiden tasoituslaskenta ja siirtokorjauksen määrittäminen tilattiin ulkopuoliselta konsultilta. Laskennan tuloksena saatiin N60-alueelle korkeusmuunnokseksi +0,442 m vakiosierro. Kantakaupungin NN-alueelle korkeusmuunnoksen vakiosierroksi saatiin +0,832 m. (Hakala 2012, 11–13.)

Paikkatietoaineistojen muunnokset aiheuttivat paljon töitä, mutta tärkeimmät aineistot saatiin muunnettua ja nykyisin toimitaan jo uusissa järjestelmissä. Haasteena muunnoksissa oli aineistojen suuri määrä ja erilaiset formaatit, joiden vuoksi muunnoksia jouduttiin tekemään useilla eri ohjelmilla.

2.5 Korkeuskäyrätuotannon lähtökohdat

Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien muuttuminen loi lähtökohdan kantakartan korkeuskäyrien uusimiselle. Vaihtoehtona olisi ollut vanhojen käyrien muuntaminen uuteen koordinaatistoon ja käyrien korkeuslukujen muuttaminen siirtokorjauksen avulla, mutta tämä koettiin vain väliaikaisena ratkaisuna ongelmaan eikä siihen siksi haluttu ryhtyä. Kokkolan kaupungin alueella vanhat korkeuskäyrät olivat jopa 30 vuotta vanhoja, jonka vuoksi ne eivät muut-

tuneessa ympäristössä enää pitäneet paikkaansa. Tilanne antoi siis hyvän mahdollisuuden uusien käyrien tuottamiselle ja käyräaineiston ajantasaistamiselle. Vanhat käyrät on tuotettu stereofotogrammetristen mittausten avulla ja uudet puolestaan päätettiin tuottaa laserkeilatusta pistepilviaineistosta, jolloin myös käyrien tuotantomenetelmä saatiin nykyaikaisemmaksi. Pistepilviaineistosta tuotettavat käyrät eivät välttämättä ole juurikaan stereomitattuja käyriä tarkempia, mutta menetelmä mahdollistaa käyrien tuottamisen uusista ja ajan tasalla olevista aineistoista. (Pekkarinen 2012.)

Käyrätyö tehtiin TerraScan ja TerraModeler sovelluksilla, joita käytetään MicroStation V8i -ohjelman alustalla. MicroStation on yhdysvaltalaisen Bentley'n kehittämä cad-ohjelma ja teknologia-alusta erilaisiin teknisiin suunnittelu-, piirustus- ja mallinnustehtäviin (Bentley Systems 2012). TerraScan ja TerraModeler ovat suomalaisen Terrasolidin ohjelmia, jotka on tarkoitettu pistepilven käsittelyyn ja mallintamiseen (Terrasolid Oy 2011).

Ennen korkeuskäyrätuotannon aloittamista piti vanhoissa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmissä olleet pistepilvet muuntaa uusiin järjestelmiin. Muunnokset tuottivat paljon ongelmia, mutta lopulta ne saatiin suoritettua yhtenevällä tavalla muiden aineistojen kanssa käyttämällä samoja muunnoskaavoja. Muunnoksessa ongelmia aiheuttivat MicroStationin koordinaattiakselit, joissa X ja Y eivät vastanneet muunnoskaavojen akseleita, sekä TerraScanin suunnitteluavaruuden rajat ja ETRS-GKn järjestelmän itäkoordinaatin kaistatunnukset, joita ohjelma ei kyennyt suoraan muuntamaan.

Muunnos ajettiin pistepilville makrona eli toimintojen yhdistelmänä, jossa muunnos oli jaettu neljään osaan. Ensimmäisessä osassa syötettiin muunnosparametrit ja korkeuden vakioarvon lisäys Xy multiply -muunnostyyppiin, toisessa osassa itäkoordinaatista vähennettiin kaistatunnus eli 24000000 m Linear-muunnostyyppillä, kolmannessa osassa tehtiin kaistakonversio GK24-kaistasta GK23-kaistaan Projection change -muunnostyyppillä ja viimeisessä osassa itäkoordinaatteihin lisättiin uusi kaistatunnus 23000000 m Linear-muunnostyyppillä.

3 KANTAKARTTA

3.1 Kantakartta-aineistot yleisesti

Kantakartalla tarkoitetaan kunnan tai kaupungin ylläpitämää suurimittakaavaista kartta-aineistoa (JUHTA 2010, 3). Aineistoja tuotetaan asemakaava-alueilta eli taajamista ja keskustoista sekä niiden läheisyydestä. Käytännössä kantakartalla tarkoitetaan samaa asiaa kuin kaavan pohjakartalla. Yleensä kantakartta-alue on kaava-aluetta laajempi ja kantakartalta irrotetaan kunkin kaavahankkeen vaatima osa kaavan pohjakartaksi.

Kantakartan käyttö asemakaavan pohjakarttana asettaa kantakartalle erityisiä tarkkuus- ja laatuvaatimuksia. Vaatimukset pohjautuvat maankäyttö- ja rakennuslain 206 §:ään, jonka mukaan Maanmittauslaitos voi antaa kaavoitusmittauksen teknistä suorittamista koskevia määräyksiä (MRL 206 §). Tämän lisäksi myös erillisessä kaavoitusmittausasetuksessa asetetaan vaatimuksia ja ohjeita kaavoitusmittauksen toteuttamiseksi (Kaavoitusmittausasetus).

Ensimmäiset ohjeet kaavan pohjakartan laatimiseen Maanmittauslaitos on antanut 1960-luvulla ja tällä hetkellä kaavoitusmittausta ohjeistaa vuoden 2003 Kaavoitusmittausohjeet. Toinen suoraan kaavan pohjakarttaan liittyvä voimassa oleva ohjeistus on Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemalli, joka on pohjakartan kohteiden kuvaustekniikan määrittelevä käsikirja. (Jakobsson 2004, 27.)

Geodeettisen laitoksen vuonna 2004 tekemän tutkimuksen mukaan kuntien ylläpitämät kantakartta-aineistot kattoivat 2,7 % Suomen pinta-alasta ja tällä alueella asui tuolloin 89 % maan asukkaista. Lisäksi kantakartta-alueilla sijaitsee suurin osa yhteiskunnan infrastruktuurista. Tutkimukseen osallistuneissa kunnissa arveltiin, että aineistossa parhaiten ajan tasalla ovat kiinteistötiedot, rakennukset ja tiestö, mutta vain 37 % vastanneista uskoi oman kuntansa kantakartan olevan täysin ajan tasalla. Vuonna 2004 kaikissa kunnissa ei vielä käytetty digitaalista vektorimuotoista kantakarttaa. (Jakobsson 2004, 28.)

Vuoden 2004 tietoja voidaan pitää suuntaviivoina ja arvioida, että nykyisin kantakartta-alueiden kattavuus on laajentunut ja alueilla asuvan väestön prosentuaalinen osuus on kasvanut. Yhteiskunnan tarvitseman infrastruktuurin määrä on kasvanut viime vuosina ja sen painopiste on edelleen kaupunkikeskustoissa. Rakentamisen ja teknisen suunnittelun painopiste on pysynyt keskustoissa ja niiden lähialueilla. Näillä perusteilla kantakartan merkittävyys teknisen suunnittelun ja rakentamisen pohja-aineistona on erittäin suuri. Tarkalle ja laadukkaalle paikkatiedolle on kysyntää.

Laadukkaan suunnitelman tekemisen edellytyksenä ovat ajantasaiset ja hyvät maastotiedot. Maastotietojen virheet aiheuttavat helposti virheellisiä suunnitteluratkaisuja, jotka puolestaan heijastuvat ongelmina hankkeiden toteutusvaiheeseen. (Liikennevirasto 2011, 6.) Nämä tie- ja ratasuunnittelun maastotietoihin liittyvät ohjeet pätevät yhtä lailla silloin, kun kantakarttaa käytetään suunnitelmien pohja-aineistona. Kantakartan ajan tasalla pitoon tulee siis kiinnittää erityistä huomiota, jotta vältetään suunnitteluvirheitä ja käytännön ongelmilta.

Viime vuosina mittausmenetelmien ja ohjelmistojen kehittyminen on varmasti helpottanut kantakartta-aineistojen ajan tasalla pitoa. Kuitenkin voidaan olettaa, että aineistojen ajantasaisuuteen liittyvistä ongelmista ei ole päästy täysin eroon. Myös nykyajan muuttuneet vaatimukset, esimerkiksi 3D-suunnitteluun siirtymisen vuoksi, ovat tuoneet lisähaasteita aineistojen kehittämiseen. 3D-suunnittelussa ei riitä enää kaksiulotteisten kohteiden sijaintitiedot vaan kohteille tarvitaan myös täsmällistä korkeustietoa.

3.2 Kokkolan kantakartta-aineiston tuottaminen ja ylläpito

Kokkolan kaupungin kantakartta-aineiston tuottaminen on aloitettu 1900-luvun puolivälissä ja nykyinen kantakartta pohjautuu 1970–1980 -lukujen ilmakuvauksiin ja kartastotöihin (Pekkarinen 2012). Suurin muutos kantakartan kehityksessä on tapahtunut 1985, jolloin karttaa alettiin digitalisoida numeriseen muotoon. Digitalisointi päättyi 1995, jonka jälkeen karttaa on ylläpidetty täydennyskarttoitusten avulla (Leskinen 2009, 4). Nykytilanteessa Kokkolan kaupunkialueella on 75 km² kantakarttaa ja lisäksi Kälviän, Lohta-

jan ja Marinkaisten taajama-alueilla yhteensä yli 10 km² (Långbacka 2012). Näiden kylätaajamien alueille tehtiin vuonna 2011 ilmakehu ja pohjakartan uusiminen, joiden ansiosta vanhojen kuntien pohjakartta-aineistot saatiin ajantasaistettua. Kartoitukset tehtiin vanhoissa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmissä, joten korkeuskäyrät pitää tehdä uudestaan myös näille alueille. (FM-International Oy 2011.)

Kantakartta on numeerinen tietokantapohjainen paikkatietoaineisto, jota ylläpidetään Oracle tietokannassa Tekla GIS -paikkatietojärjestelmässä (Leskinen 2012). Kantakartan ylläpidosta vastaa kaupunkimittausyksikkö, jonka mittausryhmät keräävät maastotietoa kartan ylläpitoa varten. Mittauksissa käytetään laitteistoina satelliittipaikantimia ja takymetreja sekä niihin kytkettäviä maastotallentimia. Runkoverkon pisteiden käyttö mittauksen lähtöpisteinä on vähentynyt eikä uusia jonomittauksia käytännössä tehdä lainkaan, sillä takymetrin orientoinnissa pystytään hyödyntämään satelliittipaikannuksen tekniikkaa. Nykyisillä mittausmenetelmillä Kaavoitusmittausohjeiden tarkkuusvaatimusten noudattaminen ei tuota ongelmia kohteiden kartoituksessa. (Långbacka 2012.)

Kantakartan ylläpidossa ei Kokkolassa tehdä systemaattisia päivityksiä tai mittauskampanjoita laajoille alueille, vaan ylläpito toteutetaan tarpeen vaatiessa täydennyskartoituksin. Käytännössä täydennyskartoituksia tehdään aina asemakaavan tullessa vireille. Tällöin alueelta tarkistetaan kaikki kantakartan kohteet ja puuttuvilta osin karttaa täydennetään. Lisäksi mittausryhmät tekevät omilla alueillaan täydennyskartoituksia muiden mittauksen yhteydessä. Kartan ylläpidossa suurimpana haasteena on jatkuvasti kehittyvä kaupunkiympäristö, jonka muutoksissa ylläpito pyrkii pysymään mukana. (Långbacka 2012.)

Systemaattisten päivitysten puutteen vuoksi kantakartta-aineisto ei ole yhteneväinen kaikkien alueiden osalta ja aineistossa on erilaisia puutteita. Erietyisesti vanhentunut tieto ja puutteelliset kohteiden korkeustiedot rajoittavat aineiston käyttömahdollisuuksia sekä antavat suunnitteluun epäluotettavaa lähtötietoa. Esimerkiksi maastomallien tuottamiseen kantakartta-aineisto ei

sovellu korkeustietojen puutteen vuoksi. Tämä ei kuitenkaan vaikuta kanta-kartan käyttöön kaavan pohjakarttana, mikäli pohjakartan tarkistus tehdään huolellisesti.

3.3 Kantakartan käyttökohteet Kokkolassa

Kantakartta-aineistolla on useita eri käyttökohteita. Yleensä käyttökohteet liittyvät erilaiseen tekniseen suunnitteluun, jota kunnassa ja sen alueella toteutetaan. Kantakartan käyttäjiä ovat kunnan sisällä kaavoitus ja maankäytön suunnittelu, rakennusvalvonta, kunnallistekninen suunnittelu sekä ympäristöpalvelut. Kokkolan kaupungin liikelaitokset Kokkolan Energia ja Kokkolan Vesi käyttävät kantakarttaa omien suunnitelmiensa ja karttajärjestelmiensä pohjana. Lisäksi kantakartta-aineistoa toimitetaan kunnan alueella toimiville muille tahoille mm. rakennus- ja arkkitehtisuunnittelua varten, suunnistuskarttojen pohja-aineistoksi, pihasuunnittelua varten sekä muille viranomaisille, kuten ELY-keskukselle hankesuunnittelua varten. Numeerisen kantakartta-aineiston jakeluformaattina on yleensä cad-suunnittelun dwg-tiedosto. Yhä harvenevassa määrin aineistoa toimitetaan myös paperille tulostettuna karttana. (Långbacka 2012.)

Kaavoituksessa kantakarttaa käytetään suoraan asemakaavan pohjakarttana. Myös yleiskaavojen pohjana kantakarttaa voidaan käyttää, mutta tällöin aineistoa joudutaan karsimaan manuaalisesti ja muokkaamaan luettavuuden parantamiseksi pienemmässä mittakaavassa (Maunu 2012). Käytännössä kantakartta on kaavoituksessa kaiken suunnittelun pohjana, ja siksi sen ajantasaisuus on erityisen tärkeää. Ajantasaisuuden varmistamiseksi pohjakartta aina tarkistetaan kaavahankkeen tullessa vireille. Tarvittaessa täydennyskarttoituksia pyydetään myös kaavaprosessin edetessä. Kaavoituksessa kanta-kartan kohteista tärkeimpiä ovat kiinteistörajat ja olemassa olevat rakennukset, jotka tulee ottaa huomioon uusia alueita suunniteltaessa. Myös korkeuskäyrillä on kaavoituksessa tärkeä tehtävä, sillä ne kertovat maaston muodon ja alueella sijaitsevien rakenteiden korkeustason. Kaavoittajien mielestä hyvät korkeuskäyrät ovat luettavuudeltaan selkeitä ja johdonmukaisia ja ne kuvaavat yleispiirteisesti maaston muotoja. Tonttitason suunnittelussa korkeus-

vaihtelut vaikuttavat rakennusten sijoitteluun ja siksi siellä toivotaan käyriltä myös hyvää tarkkuutta. Kaavan pohjakartan korkeuskäyrien lisäksi kaavoituksessa käytetään Kokkolan kaupungissa pintamallin korkeustasojen värjäyksen avulla visualisoituja karttoja, jotka auttavat hahmottamaan maaston korkeusvaihteluita paremmin kuin pelkät korkeuskäyrät. (Nissinen 2012; Hyyppä 2012.)

Ympäristöpalveluissa kantakartta toimii muiden kartta-aineistojen ohella lupaprosessien ja selvitysten taustatietona. Paikkatiedon avulla kohteet saadaan paikallistettua ja havainnollistettua kartta-näkymässä. Ympäristöpuolella kantakartan tärkeimpiä kohteita ovat erityisiä ympäristö- tai luontoarvoja sisältävät kohteet, vesistöt sekä rakennukset. Korkeustietoa tarvitaan esimerkiksi tulva-alueiden tutkimisessa ja meluselvityksissä. Näissä tarkoituksissa korkeuskäyrien täsmällisellä tarkkuudella ei ole suurta merkitystä vaan käyrän toivotaan kuvaavan yleispiirteisemmin maaston muotoa ja kaltevuutta. (Koljonen 2012.)

Kunnallisteknisen suunnittelun osastolla kantakarttaa käytetään vastaavalla tavalla kuin kaavoituksessa, eli kantakartta toimii suunnitelmien pohjakarttana. Usein kunnallisteknisen suunnittelun projektit liittyvätkin uusien kaava-alueiden infrastruktuurin suunnitteluun. Kartan tärkeimpänä ominaisuutena pidetään sen ajantasaisuutta ja tärkeimpinä kohteina kiinteistörajoja sekä rakennuksia. Suunnittelussa myös korkeuskäyrät ja ojat sekä niiden virtaus-suunnat koetaan merkityksellisiksi. Korkeustietoa tarvitaan erityisesti katu-alueiden kuivatuksen suunnittelussa ja hulevesien johtamisessa. Korkeuskäyrien avulla voidaan nopeasti arvioida karkeita valuma-alueita ja tässä käyttötarkoituksessa toimivat mäkisellä alueella parhaiten yleispiirteiset ja jouhevät käyrät. Toisaalta käyrien vähyys tietyillä alueilla koetaan ongelmaksi. (Väisänen 2012.)

4 ILMALASERKEILAUS JA PISTEPILVIAINEISTOT

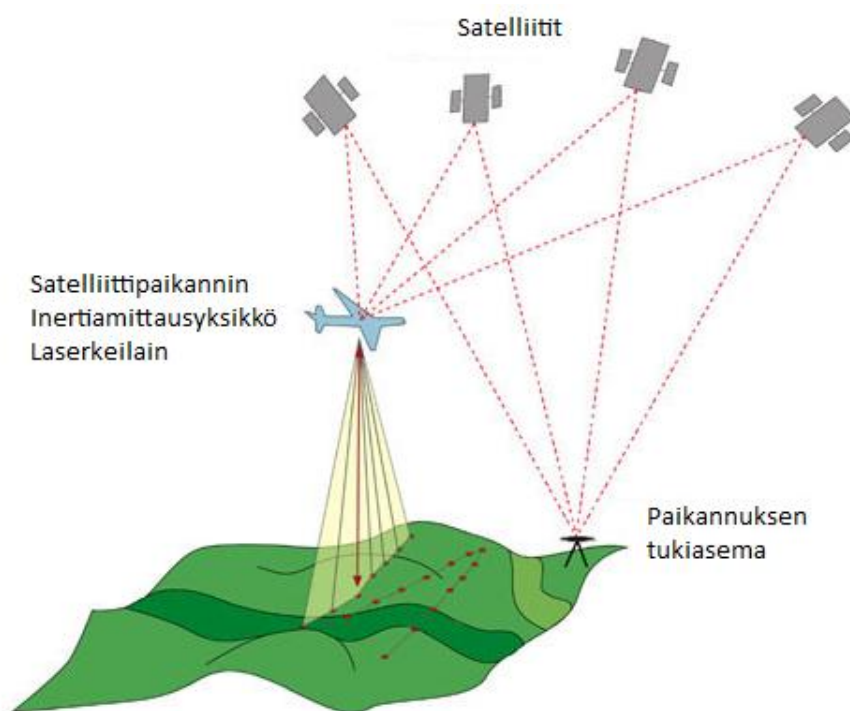
4.1 Ilmalaserkeilauksen tekniikka

Laserkeilaus on aktiivinen mittausmenetelmä, jolla kerätään kolmiulotteista tietoa mittauskohteesta siihen koskematta. Mittauskohteen koordinaatit lasketaan keilaimen lähettämän lasersäteen lähtökulmien ja etäisyyshavainnon perusteella. (Vahur 2003.) Laserkeilaimet jaetaan kahteen päätyyppiin laitteen käyttämän etäisyyshavainnon määrittämisperiaatteen mukaan. Pulssilaserien toiminta perustuu kohteesta heijastuvan laserpulssin edestakaisen kulkuajan määrittämiseen. Aikaeron perusteella johdetaan etäisyysmittausulos keilaimen ja kohteen välille. Vaihe-erolasereiden lähettämä aaltomuotoinen signaali puolestaan on jatkuvaa ja se sisältää useampia kanta-aallonpituuksia. Etäisyyshavainto määritetään lähetetyn ja vastaanotetun signaalien vaihe-eron sekä aallonpituuksien moduloinnin avulla saatavan kokonaislukutuntemattoman perusteella. Vaihe-erolasereita käytetään pääasiassa lyhyen kantaman mittauksissa, kun taas pulssilaserien mittausetäisyydet ovat useita satoja metrejä. Molemmissa laitetyypeissä lasersäteet lähetetään keilaimesta eri suuntiin peilin avulla ja näin saadaan kolmiulotteinen näkymä keilaimen ympäristöstä. (Kukko 2005, 4–7, 13–14;)

Laserkeilauksen erilaisia mittausmenetelmiä ovat maalaserkeilaus, ilmalaserkeilaus ja mobiilikeilaus. Niissä käytetään kyseiseen käyttötarkoitukseen suunniteltuja laserkeilaimia. Maalaserkeilauksessa keilain pystytetään kolmijalan päälle, ilmalaserkeilauksessa se kytketään lentokoneeseen tai helikopteriin ja mobiilikeilauksessa liikkuvaan autoon tai junavaunuun. Nykyisin ilmalaserkeilauksessa käytetään keilaimen alustana myös miehittämättömiä ilma-aluksia.

Ilmalaserkeilauksessa ilma-aluksen ja keilaimen tarkka sijainti ja asento määritetään satelliittipaikannuksen ja inertiamittauksen avulla. Satelliittipaikannuksen GPS-laite määrittää lennon aikana laserkeilaimen XYZ-sijainnin maan päällä sijaitsevan tukiaseman suhteen ja inertiamittausyksikkö (Inertial Measurement Unit) tallentaa tiedon asennosta ja sen muutoksista. Jälkilaskennassa paikannuksen ja inertiamittauksen tiedot yhdistetään laserkeilai-

men mittaushavaintoihin aikaleimojen perusteella ja tuloksena saadaan koordinaattitiedot jokaiselle mitatulle pisteelle. (Soininen 2003.)



Kuvio 1. Laserkeilaus ilma-aluksesta. (Mukaillen Terralmaging 2012)

Laajojen alueiden ilmalaserkeilauksessa käytetään yleensä lentokonepohjaista keilausjärjestelmää, jonka avulla saavutetaan hyvä kustannustehokkuus. Helikopterikeilauksella mitataan yleensä pienempiä alueita, jotka vaativat suurempaa tarkkuutta, matalampaa lentokorkeutta tai mutkittelevan lentolinjan seuraamista. (Soininen 2003.)

Ilmalaserkeilauksessa keilain voi mitata lennon aikana yli 250 000 pistettä sekunnissa (Salolahti 2009). Laserkeilaimet kykenevät erottamaan yhdestä heijastuvasta pulssista useita kaikuja, joista ensimmäinen heijastuu esimerkiksi puiden lehvästöstä, rakennuksista tai sähköjohdoista. Mikäli pulssi läpäisee kasvillisuuden kohteet, voidaan viimeinen kaiku saada peitteisilläkin alueilla maanpinnasta. Tasaisilla ja esteettömillä pinnoilla ensimmäinen ja viimeinen kaiku vastaavat käytännössä toisiaan. (Rönholm–Haggrén 2004.)

Ilmalaserkeilaus kilpailee erityisesti perinteisen ilmakuva- ja karttoituksen kanssa, mutta osittain sen avulla voidaan korvata myös maan päällä tapahtuvia mit-

tauksia. Menetelmän vahvuuksia ovat laajojen alueiden nopea mittaus, suuri pistetiheys sekä peitteisten kohteiden saavuttaminen. Toisaalta ilmalaserkeilaus on yksittäisen pienen alueen mittaamiseen liian kallis menetelmä ja monimutkaisessa laitteistossa on monta osaa, jotka voivat pettäessään aiheuttaa koko mittauksen uusimisen. Menetelmän heikkouksiksi voidaan lukea myös yksittäisten pisteiden epätarkkuus ja hajapisteiden vektoroinnin ongelmallisuus. (Soininen 2003.)

4.2 Pistepilviaineistot ja niiden käyttö

Laserkeilaamalla tuotettua aineistoa kutsutaan pistepilveksi. Se on kolmiulotteista kartoitustietoa, jossa pisteet edustavat niitä kohteita, joista laserpulssit ovat mittauksen aikana heijastuneet. Jokaiselle pisteelle on mittauksessa rekisteröity tasokoordinaatit X ja Y sekä korkeustieto Z. (Maanmittauslaitos 2013.)

Pistepilven pisteille tallentuu mittauksessa lisäksi intensiteetti-arvo eli voimakkuus. Intensiteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kohteen muoto, väri, tekstuuri ja valaistusolosuhteet. (Rönholm–Haggrén 2004.) Keilauksen yhteydessä voidaan mittauskohteesta ottaa myös digitaalisia valokuvia, jotka yhdistetään pistepilveen. Tällä tavalla pisteille saadaan todellisuutta vastaava värisävy ja pistepilvestä muodostuu fotorealistinen näkymä. Ilmalaserkeilauksen yhteydessä otettavista kuvista tuotetaan yleensä myös ortokuvat, jotka auttavat pistepilven käsittelyssä ja mallintamisessa.

Pistepilviaineisto on jo sellaisenaan hyödynnettävissä esimerkiksi korkeuksien mittaamiseen ja kohteiden kartoittamiseen. Aineistosta voidaan kuitenkin laatia erilaisia malleja ja niitä edelleen hyödyntää suunnittelussa ja analysoinnissa.

Ilmalaserkeilausta hyödynnetään tehokkaasti esimerkiksi metsäalalla, jossa pistepilviä käytetään puuston inventoinnissa ja kasvun seurannassa. Yhdyskuntateknisen suunnittelun ja kaupunkisuunnittelun tarpeita varten voidaan ilmalaserkeilauksen aineistoista laatia pohjakarttoja ja kolmiulotteisia maastomalleja, jotka yhdessä ortokuvien kanssa antavat monipuoliset lähtötiedot suunnittelualueesta. Keilausaineistosta mallinnettavia rakennuksia ja maan-

pintaa voidaan yhdistää ja luoda virtuaalitodellisuutta suunnittelun ja havainnollistamisen apuvälineeksi. Pistepilviä hyödynnetään myös tulvakartoituksessa ja erilaisten ympäristövaikutusten arvioinnissa. Lisäksi eri aikoina tuotettuja aineistoja voidaan käyttää ympäristössä tapahtuvien muutosten tulkinnaan. (Hyyppä–Hyyppä 2007; Korpela 2008.) Keilaamalla saavutetaan myös vaikeasti tavoitettavia kohteita todella helposti. Esimerkiksi voimalinjojen digitointi onnistuu ilmalaserkeilauksen pistepilvestä ja mallinnuksen avulla voidaan tutkia voimalinjojen ympäristön suojaetäisyyksiä (Salolahti 2009).

Maalaserkeilauksen aineistoja käytetään erityisesti rakentamisessa, teollisuudessa ja kaivosympäristöissä. Menetelmän avulla saadaan nopeasti kerättyä kattavaa ja tarkkaa mittaustietoa 3D-mallinnusta varten. Teollisuudessa laserkeilauksen avulla voidaan mitata tehokkaasti paljon koneita ja laitteita sisältäviä ympäristöjä. Rakentamisessa keilausta käytetään esimerkiksi siltojen ja tunneleiden mallinnuksessa sekä laadunvalvonnassa. Mobiilikeilausaineistot ovat erityisen käyttökelpoisia liikenneväylien suunnittelussa ja liikenneväylien kohteiden inventoinnissa. Erilaisilla keilaustavoilla tuotettuja pistepilviä voidaan myös yhdistellä, jolloin suunnitteluun saadaan entistä kattavampaa tietoa. (VR Track Oy 2013.)

4.3 Kokkolan kaupungin pistepilviaineistot

Kokkolan kaupungille ensimmäinen ilmalaserkeilaus tehtiin vuonna 2008. Blom Kartta Oy:n tekemä keilaus on suoritettu helikopterista n. 300 m lentokorkeudesta. Aineiston pistetiheys on 12 pistettä/m². (Blom Kartta Oy 2008.) Vuonna 2011 keilausalueita laajennettiin kaupungin eteläosaan sekä Kälviän, Marinkaisten ja Lohtajan taajama-alueille. Nämä aineistot on tuottanut FM-International Oy, ja niissä helikopterin lentokorkeus on ollut n. 700 m. (FM-International Oy 2011.) Lisäksi ilmalaserkeilattuja aineistoja täydentämään on vuonna 2010 hankittu mobiilikeilausaineistoa tärkeimpien liikenneväylien varsilta (Leskinen 2012).

Kaikkia kaupungin pistepilviaineistoja hallinnoi Paikkatietopalvelut-yksikkö, josta aineistoa toimitetaan tilauksesta kaupungin muille yksiköille ja ulkopuolisille tahoille halutussa muodossa. Yleisin toimitusmuoto on maanpinnan

avainpisteet cad-suunnittelun dwg-formaatissa, mutta myös valmiita pintamalleja sekä aineistosta tuotettavia karttoja toimitetaan jonkin verran. Aineistojen hyödyntämistä on tutkittu myös kaupunkimallin tuottamisessa ja kolmiulotteisen grafiikan generoinnissa. (Leskinen 2012.)

Pistepilviaineistojen hyödyntäminen on kaupungin sisällä parhaiten oivallettu kunnallisteknisen suunnittelun yksikössä, jossa ilmalaserkeilattua pistepilveä käytetään säännöllisesti suunnittelun apuna. Suunnittelussa käytetään yleensä harvennettua maanpintaa eli maanpinnan avainpisteiden luokkaa. Pisteistä luotavaa pintamallia käytetään erityisesti hulevesien johtamisen sekä kunnallisteknisten rakenteiden sijoittamisen suunnitteluun. Aineiston parhaana puolena koetaan sen tarkkuus ja kattavuus. Suunnittelussa olisi käyttöä avainpisteiden lisäksi myös viimeistellymmille malleille ja erityisesti pintamallia täydentäville taiteviivoille. Halukkuutta aineistojen käytön kehittämiseen löytyy, mutta ajan puute koetaan kehittämisen esteeksi. Kunnallisteknisessä suunnittelussa ajatellaan tulevaisuuden suuntana olevan tehokkaampi yhteistyö kaavoituksen kanssa suunnittelualueiden mallintamisessa 3D-ympäristöön. Tällöin myös pistepilviaineistojen käyttö tehostuisi. (Väisänen 2012.)

Kaupungin muissa yksiköissä pistepilviaineistoa ja sen tuomia mahdollisuuksia ei hyödynnetä kovinkaan tehokkaasti. Ympäristöpalveluissa aineistoa käytetään konsulttien tekemissä hankkeissa sekä mallintamisessa jonkin verran. Hyvänä esimerkkinä pistepilviaineiston käytöstä ja soveltamisesta ympäristöpalveluissa ovat konsultin laatimat meluselvitykset, joissa lähtötietoina käytetään maanpinnan avainpisteitä, pintamalliin istutettua tie- ja rakennusaineistoa sekä korkeuskäyriä. (Koljonen 2012.) Kaavoituksessa käytetään pistepilviaineistosta tuotettuja korkeusmallikarttoja ja vastaavia karttatuotteita, mutta varsinaisen pistepilven hyödyntäminen on vähäistä. Kaupungin kaavoitusyksikössä kuitenkin uskotaan, että tulevaisuudessa kaavasunnittelu siirtyy yhä enemmän kolmiulotteiseen ympäristöön ja mallintamisen merkitys osana suunnittelua tulee lisääntymään. Tällöin myös laserkeilausaineiston käyttö maaston ja rakenteiden mallintamisen pohjana tulee tehostumaan. 3D-mallin etuna olisi sen visuaalisuus ja havainnollisuus, vaikkakin suunnitte-

lun kannalta 3D-ympäristöön siirtyminen koetaan työlääksi ja sen uskotaan vaativan uusien asioiden opettelua. (Nissinen 2012; Hyyppä 2012.)

Pistepilviaineistojen käytön tehostaminen olisi varmasti mahdollista useilla toimialueilla Kokkolan kaupungissa, mutta suurimpana ongelmana aineistojen kehittämisessä ja käyttöönotossa on ajan ja resurssien puute. Aineistojen käyttökelpoisuutta tulisi parantaa luokittelemalla ja aineistojen käyttömahdollisuuksia tulisi tutkia enemmän. Myös käsittelyyn soveltuvia ohjelmistoja on rajallisesti ja joidenkin ohjelmien osalta sopivia formaatteja aineistojen siirron välillä ei ole tutkittu. Tähän ei kuitenkaan ole aikaa, sillä aineistoja käsittelevien työntekijöiden työaika kuluu usein muissa tehtävissä. (Leskinen 2012.)

Vaikka Kokkolan kaupungilla on monipuolisia aineistoja käytettävissä, kulkee se silti uusien asioiden hyödyntämisessä jonkin verran Suomen suurimpia kaupunkeja jäljessä. Aineistojen käytössä pidemmälle kehittyneistä kaupungeista saisi varmasti hyödyllistä tietoa ja kokemuksia toimiviksi havaituista menetelmistä ja tarpeellisista kehittämiskohteista. Tiedon kokoamisen ja jakamisen kannalta tärkeää on myös kuntien teknisen sektorin paikkatietotekniikkaan, maanmittaukseen ja yhdyskuntasuunnitteluun liittyvät tutkimus- ja kehittämishankkeet, joiden joukossa myös opinnäytetöillä on oma paikkansa.

5 KORKEUSKÄYRÄTUOTANTO

5.1 Korkeuskäyrätuotannon työvaiheet

Korkeuskäyrätuotannon lähtötilanteena on halutussa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä sijaitseva pistepilvi. Korkeuskäyrät tuotetaan laserpisteiden sijainti- ja korkeustietoon perustuvasta pintamallista. Pistepilven tiheydestä, käytettävistä ohjelmista ja menetelmistä sekä tuotettavien käyrien käyttötarkoituksesta riippuen käyrätuotannossa on tarpeen suorittaa erilaisia työvaiheita.

Tässä opinnäytetyössä ei ole tutkittu erilaisia tapoja korkeuskäyrien tuottamiseen vaan keskitytään ainoastaan Kokkolassa käytettyjen menetelmien dokumentointiin. Menetelmät pohjautuvat Terrasolidin järjestämiin koulutustilaisuuksiin sekä Jyväskylän kaupungin vastaavasta projektista saatuihin kokemuksiin ja ohjeisiin. Tässä kappaleessa kuvataan ensin yleispiirteisesti korkeuskäyrätuotannon työvaiheet kokonaisuuden hahmottamiseksi, minkä jälkeen seuraavissa kappaleissa syvennyttään yksityiskohtaisemmin käyrätuotannon työvaiheiden toteutukseen ja esiintyneiden ongelmien ratkaisuihin. Korkeuskäyrätuotannon yleispiirteiset työvaiheet olivat seuraavat:

1. Etukäteen tehdyt työt

- Pistepilviaineistoille on aiemmin tehty perusluokittelu. Käyrätuotannon kannalta oleellista on ollut maanpinnan pisteiden erottaminen omaksi luokakseen muista laserpisteistä.
- Pistepilviaineistot muunnettiin uuteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään.
- Sääntöalueet ja rakennukset piirrettiin erillisiin tiedostoihin.
- Rantaviiva tulkittiin uudelleen.

2. Projektin luominen ja korkeuskäyrien avainpisteiden luokittelu

- Muunnetusta pistepilvestä luotiin uusi projekti.
- Maanpinnan pisteverkon harventamista varten tutkittiin erilaisia asetuksia.

- Harvennus suoritettiin hyviksi havaituilla asetuksilla ja tuloksena saatiin korkeuskäyrien avainpisteiden luokka.
- Avainpisteistä luotiin uusi projekti korkeuskäyrätuotantoa varten.

3. Korkeuskäyrien siistiminen erikseen jokaisessa blokissa

- Siistimistä varten luotiin pintamalli ja malliin piirrettiin testikäyrät.
- Siistimistä suoritettiin erilaisten luokittelutoimintojen avulla.
- Siistimisellä parannettiin käyrien ulkoasua ja poistettiin virheitä.

4. Korkeuskäyrien laskeminen koko projektille

- Siistimisen jälkeen lopulliset käyrät laskettiin koko aineiston alueelle.
- Laskennassa käytettiin määritettyjä sääntöjä ja asetuksia.
- Tuotettua käyräaineistoa siistittiin vielä jälkikäsittelemällä.

5. Valmiiden käyrien siirto Tekla GIS -järjestelmään

- Valmiit käyrät siirrettiin paikkatietojärjestelmän tietokantaan viimeistelyä ja käyttöä varten.

5.2 Projektin luominen ja pistepilven luokittelu

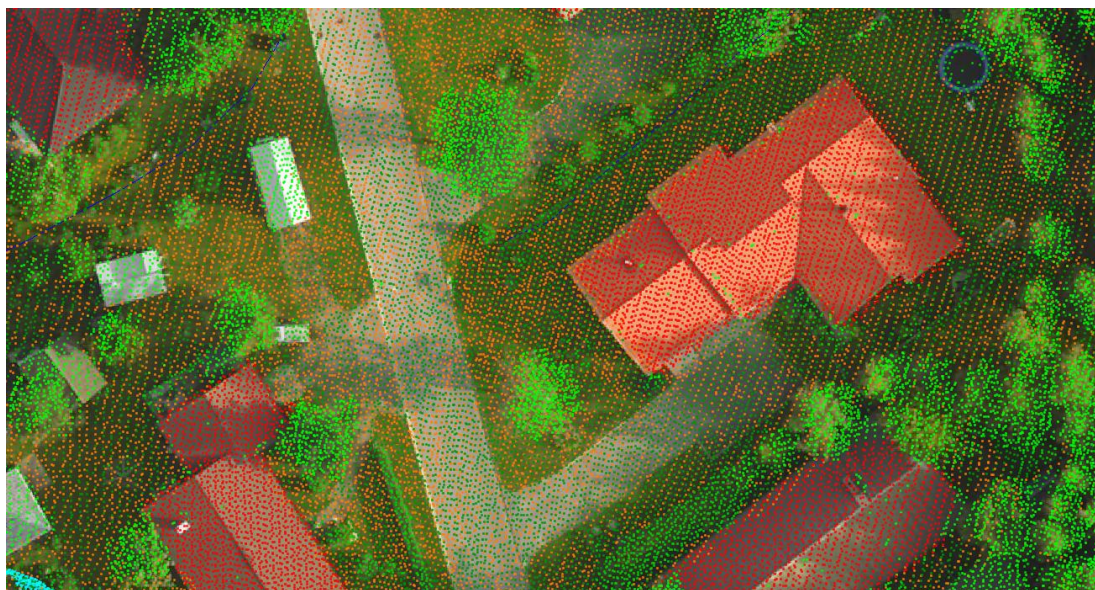
Terrasolidin ohjelmissa pistepilviaineistoja käsitellään projekteina. Käytännössä projektin luomisella tarkoitetaan laajan pistepilven jakamista pienempiin ja helpommin hallittaviin osiin. (Terrasolid Oy 2012, 44.) Nämä osat ovat MicroStationissa piirrettäviä monikulmioelementtejä, jotka muodostavat projektin lehtijaon. Englanninkielisessä TerraScan -ohjelmassa lehtijaon ruudusta käytetään nimitystä block ja tässä opinnäytetyössä samaa asiaa tarkoittaa nimitys blokki. Erilaisia luokittelu- ja laskentatoimintoja voidaan toteuttaa joko yksittäisen blokin pisteille tai koko projektille.

Projekti luodaan piirtämällä ensin MicroStationissa monikulmiot oikeaan sijaintiin käytettävässä koordinaatistossa. Blokkien koko kannattaa pitää kohtalaisen pienenä, sillä tietokone ei jaksakaan prosessoida aineistoa, mikäli blokissa on liian paljon pisteitä. Kokkolassa piirsimme noin 500 * 500 m kokoisina neliöinä, joiden sivut kohdistettiin koordinaatiston tasalukemiin. Piirtämisen jälkeen määriteltiin uuden projektin asetukset, joihin kuuluivat mm. pisteiden

tallennusformaatti ja hakemisto sekä käytettävä pisteluokitustiedosto. Tämän jälkeen valittiin piirretyt monikulmiot ja liitettiin ne projektiin Add by boundaries -toiminnolla. Seuraavana välivaiheena monikulmiot poistettiin ja muodostettiin ne projekti-ikkunan kautta uudelleen Draw boundaries -toiminnolla. Valmiiseen blokkiruudukkoon tuotiin las-tiedostoissa sijaitsevat laserpisteet Import points -toiminnolla. Pisteet rekisteröityivät sijaintinsa perusteella blokkien sisään.

Pistepilvi sisältää keilausaineiston kokonaisuudessaan yhtenä massana, jonka vuoksi se ei sellaisenaan ole erityisen käyttökelpoista aineistoa mallintamisessa tai suunnittelussa. Aineiston pisteille tehtävän luokittelun avulla pisteille määritetään lajikoodaus, jonka perusteella erilaisia kohteita kuvaavat pisteet erotetaan toisistaan. Esimerkiksi rakennukset ja kasvillisuus erotetaan omiksi luokikseen, jolloin pelkästään näihin luokkiin kuuluvia pisteitä voidaan käyttää rakennusten tai puuston mallintamisessa. Aineiston perusluokittelu tehdään yleensä projektitasolla automatisoitujen makrojen avulla. Automaatiikka tutkii aineistoa esimerkiksi määritettyjen korkeustoleranssien perusteella ja siirtää halutulla korkeustasolla sijaitsevat pisteet omaan luokkaansa. Automaatiikka ei kuitenkaan tunnista erilaisia kohteita, minkä vuoksi luokitteluun syntyy virheitä. Esimerkiksi ajoneuvoista heijastuneet pisteet siirtyvät keskikorkean kasvillisuuden luokkaan ja pylväiden pisteet useisiin eri kasvillisuusluokkiin. Yksityiskohtien luokittelussa ja virheiden korjaamisessa voidaan käyttää manuaalisia toimintoja. (Leskinen 2009, 53–59.)

Korkeuskäyrien tuottamiseksi täytyy pistepilvestä erottaa maanpinnan pisteet omaksi luokakseen. Kokkolan aineistoille tämä oli tehty jo aiemmassa vaiheessa. Maanpinnan luokittelussa on määritetty keilausalueen suurinta rakennusta laajemmat tasomaiset alueet maanpinnaksi makron avulla. Lisäksi maanpinnan luokitusta on täsmennetty ja korjattu siirtämällä maaston alimmat pisteet below surface -luokkaan ja lisäämällä matalan kasvillisuuden luokasta pisteitä maanpintaan, mikäli maanpinnassa ei peitteisillä alueilla ollut riittävästi pisteitä. Maanpinnan pisteverkon kattavuuden arvioimiseksi on muodostettu varjostettuja pintamalleja. (Leskinen 2009, 53–59.)



Kuvio 2. Luokituksen perusteella värjätty pistepilvi ja taustalla oleva ortokuva.

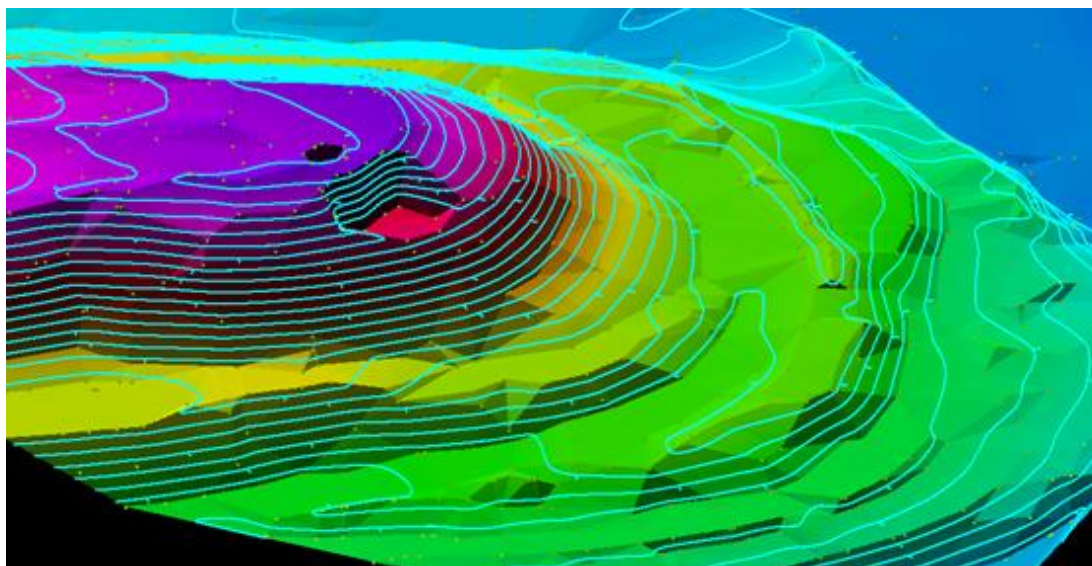
5.3 Pintamalli ja korkeuskäyrät

Tässä opinnäytetyössä pintamallilla tarkoitetaan yhtenäistä ja jatkuvaa pintaa, joka muodostuu valitun pisteluokan laserpisteiden kolmioinnista (TIN-malli). Yleensä pintamalli muodostetaan maanpinnan pisteistä, jolloin se kuvastaa maanpintaa. Joissakin yhteyksissä samaa asiaa nimitetään korkeusmalliksi.

TerraModelerissa pintamalli on kolmioverkko, jossa jokainen mallin piste toimii kolmion kärkenä ja näin kolmio asettuu sen kärkipisteiden määräämään korkeus- ja kaltevuusasemaan. Vierekkäiset kolmiot muodostavat jatkuvan ja vaihtelevan pinnan. Kolmiointia voidaan ohjailta ja pintamallia muokata lisäämällä siihen erilaisia elementtejä, kuten pisteitä, taiteviivoja, aukkoja tai reunaviivoja. Kolmioverkkoa voidaan muokata myös karsimalla kolmioita tai muuttamalla kolmioiden korkeustasoa. (Terrasolid Oy 2007, 9, 21, 60–70.)

Korkeuskäyrien tuottaminen perustuu tähän laserpisteiden kolmionnin avulla muodostettavaan pintamalliin, jonka mukaan käyrät interpoloituvat laskennassa. Terrasolidin sovelluksissa korkeuskäyrät ovat yksi pintamallin esitystapa, jonka avulla pinnan korkeussuhteet voidaan visualisoida. Muita mahdollisia pintamallin esitystapoja ovat erilaiset väritykset ja varjostukset, kolmioverkko sekä ristikkomalli. (Terrasolid Oy 2007, 85.) Korkeuskäyrien tark-

kuus ja ulkoasu määräytyvät pintamallin ominaisuuksien perusteella, eli käyrien muokkaaminen pitää tehdä pintamalla muokkaamalla.



Kuvio 3. Värivarjostettu pintamalli ja siihen piirretyt korkeuskäyrät 3D näkymässä.

Erilaista testailua ja käyrien siistimistä varten käytettiin pinnan kolmioinnissa TerraScanin Create editable model -työkalua, jolla muodostettiin pintamalli avoimna olevan blokin valitusta pisteluokasta. Tähän malliin piirrettiin käyrät TerraModelerin Esitä korkeuskäyrät -toiminnolla. Toiminnon asetuksissa valitaan kuvattavat käyrät, käyrävälit, käyrien ulkoasut, viettoviivat, korkeusluokemien asetukset sekä pienimmät kuvattavat kumpareet ja supat.

Testailua ja pintamallin editointia varten käyrät luotiin pelkkä piirto -tilassa, jolloin ne pysyivät väliaikaisesti tietokoneen RAM-muistissa. Väliaikaismuistissa olevat käyrät ovat aktiivisen pintamallin esitystapa, joka päivittyy automaattisesti pintamalla muokattaessa. (Terrasolid Oy 2007, 86.) Testikäyrien asetukset tallennettiin, jotta niitä ei tarvitse joka kerta määritellä uudelleen. Lopullisten käyrien laskentaa varten tallennettiin erilliset asetukset, joissa käyrät kirjoitetaan jokaisen blokin alueelta omiksi tiedostoikseen.

Testikäyrät kuvautuivat käytännössä samalla tavalla kuin lopulliset käyrät projektitason laskennassa, sillä ne tuotettiin samoista pisteistä muodostuvan pintamallin perusteella. Selviä eroavaisuuksia syntyi ainoastaan blokkien reunoilla, missä testikäyrät eivät kuvautuneet oikein ja vierekkäisten blokkien testikäyrät olivat reunan kohdalla epäjatkuvia. Lopullisten käyrien laskennas-

sa pintamallin kolmioinnissa otettiin huomioon myös viereisten blokkien pisteet puskurin avulla, jolloin pintamalli ja käyrät muodostuivat koko projekti-alueelta yhteneväisinä ja jatkuvina.

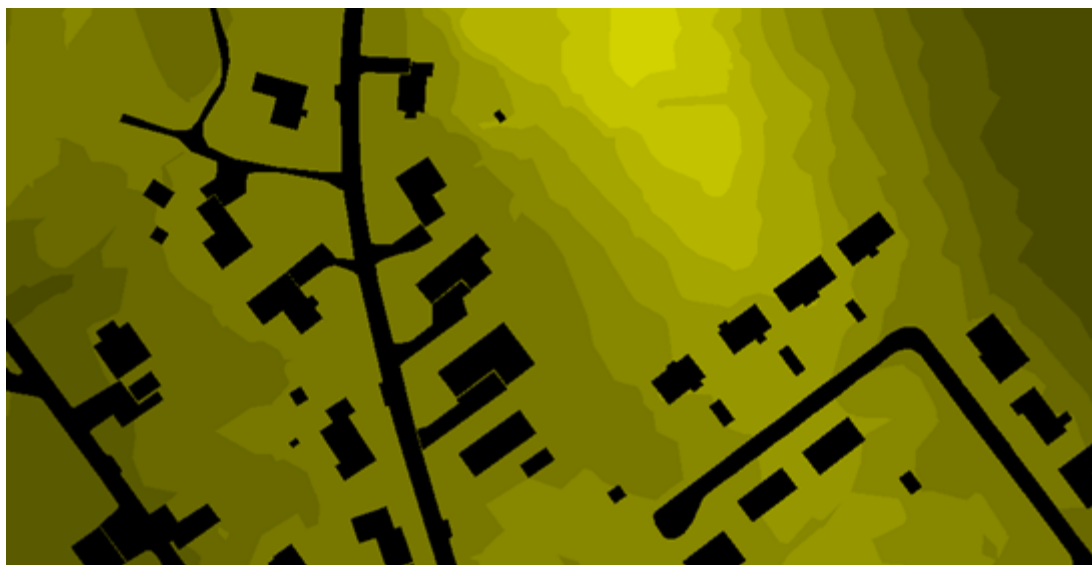
5.4 Käyrien leikkaaminen sääntöaluemenetelmällä

Kaavan pohjakartan kohteiden kuvaustekniikka on määritelty Maanmittauslaitoksen julkaisemassa Kaavan pohjakartta 1997 Karttakohdemalli -käsikirjassa. Korkeuskäyrien muodostamisen osalta siinä määritellään ne maaston ja rakennetun ympäristön kohteet, joissa kartalla ei esitetä käyriä. Nämä kohteet ovat rakennukset, jyrkänteet, ojat, luiskat, tiet ym. tasoitetut tai muuten rakennetut alueet, joissa korkeussuhteet ilmaistaan korkeusluvuin, sekä täytemaa-alueet, joilla maanpinnan korkeus on epämääräinen ja vakiintumaton. Käsikirjan mukaan korkeuskäyrät voidaan tällaisista kohteista poistaa alueellisesti leikkaamalla tai määrittämällä käyrä tarvittavalta osalta ei kuvattavaksi. (Maanmittauslaitos 1997, 56.) Korkeuskäyrätuotannossa tulee siis ottaa huomioon käyrien poistaminen näiltä alueilta jotakin sopivaa menetelmää käyttäen.

Käyrät voidaan poistaa erilaisia tarkkuustasoja ja menetelmiä käyttäen. Mikäli käyrät poistetaan tarkasti, saadaan käyräesityksestä kartografisesti tyylikäs, mutta tämä vie kohtalaisen paljon aikaa. Karkeammalla tarkkuustasolla työ puolestaan on nopeampaa, mutta lopputuloksesta tulee vähemmän tyylikäs. Erilaisia menetelmiä ja tarkkuustasoja käyrien poistamiseen on tutkittu Tuija Rajaniemen Kuopion kaupungille tekemässä opinnäytetyössä. Sen mukaan paras menetelmä käyrien poistamiseen on pintamallin kolmioiden karsiminen TerraModelerin toiminnoilla. Kolmioiden karsimisessa voidaan käyttää apuna rakennuksista ja tiealueiden kohteista muodostuvia sulkeutuvia elementtejä. Käyrien katkaisemista ja poistamista paikkatietojärjestelmässä ei suositella laajoille alueille. (Rajaniemi 2011, 20–33, 36–37.)

Kokkolassa käytettiin käyrien leikkaamisessa sääntöaluemenetelmää, joka on osittain vastaava kuin Kuopiossa käytetyt menetelmät. Menetelmä perustuu sulkeutuvien elementtien rajaamiin alueisiin, jotka määritetään sääntöjen avulla pintamalla leikkaaviksi 2D-aukoiksi (Terrasolid Oy 2007, 44–45). Näi-

den aukkojen kohdalle ei laskennassa kuvaudu käyriä. Menetelmän avulla pintamallista ei tarvitse karsia yksittäisiä kolmioita, vaan alueet piirretään etukäteen valituista kohteista ja halutulla tarkkuustasolla. Käytännössä menetelmän vaikutukset vastaavat pintamallin kolmioiden karsimista, mutta alueiden piirtämisen jälkeen toiminta automatisoidaan laskentavaiheessa, jossa lopulliset pintamallit ja korkeuskäyrät muodostuvat yhtäaikaisesti.



Kuvio 4. Sääntöalueet leikkaavat pintamalliin aukon.

Sääntöalueiden piirtäminen vei kohtalaisen paljon aikaa ja siksi se tehtiin etukäteen ennen varsinaisen käyrätuotannon aloittamista. Sääntöalueet piirrettiin Tekla GIS -järjestelmässä kiertämällä ympäri sääntöalueiksi tarkoitettuja kohteita Yhdistelmäviiva-toiminnolla ja sulkemalla viiva yhtenäisen alueen muodostamiseksi. Sääntöalueet piirrettiin kantakartan kohteiden perusteella ilmakuvaa apuna käyttäen. Ohjeistuksessa jätettiin sääntöalueiden piirtäjille jonkin verran tulkinnan vapautta esimerkiksi rakennettujen pihakäytävien ja vastaavien kohteiden osalta. Tällöin heidän tuli miettiä käyräesityksen havainnollisuutta ja kartan ulkoasua, kun tekivät päätöksiä piirrettävistä alueista. Rakennusten kohdalla käytettiin Tekla GIS:n automatisoitua toimintoa, joka muodostaa alueen rakennustunnuksen ympärillä olevista seinälinjoista, mikäli ne on koodattu samalle lajille ja rakennustunnus sijaitsee rakennuksen sisällä. Tässä ongelmia aiheuttivat rakennukset, joiden seinälinjan koodauksessa oli käytetty eri lajeja esimerkiksi katoksen tai kuistin kohdalla. Tällöin uloin seinälinja korjattiin manuaalisesti. (Leskinen 2012.)

Koska sääntöalueita oli piirtämässä useita henkilöitä, tuli tulkinnasta hieman kirjavaa eri alueiden osalta. Osa piirtäjistä teki työn tarkasti, kun taas osa sääntöalueista oli piirretty huolimattomasti tai ylimalkaisesti. Tarkasti piirretyissä alueissa oli huomioitu pihojen rakennetut kiveykset ja muut päällystetyt alueet, kun taas huolimattomasti piirretyt alueet oli piirretty kohteen ympärille huomioimatta maaston yksityiskohtia. Koska sääntöalueet piirrettiin kantakartan kohteiden mukaan, aiheuttivat myös kantakartan vanhentuneet ja puutteelliset kohteet sääntöalueisiin virheitä. Esimerkkeinä näistä virheistä ovat muuttuneet tie- ja kulkuyhteydet sekä laajentuneet sorakentät ja parkkipaikat. Nämä virheet tulivat ilmi, kun sääntöalueita verrattiin ajantasaisiin ortokuvaan. Karkeimmat virheet ja huolimattomuudet poistettiin muokkaamalla sääntöalueiden elementtejä MicroStationissa ennen lopullisten käyrien laskentaa.



Kuvio 5. Vierekkäin tarkkoja ja virheellisiä sääntöalueita.

Sääntöalueet ja rakennukset piirrettiin omille lajeilleen, jolloin ne voitiin kirjoittaa kannasta ulos omiksi tiedostoikseen. Sääntöalueet kirjoitettiin Tekla GIS:tä ulos shp-tiedostoiksi käyttämällä alue + molemmat -menetelmää.

Jotta sääntöalueet toimivat käyrien leikkaamisessa oikein, tulee niiden olla sulkeutuvia monikulmioita ja niiden tulee rajautua pistepilviaineiston blokkien reunoihin. Lisäksi alueiden tulee olla 3D-tiedostona, mutta kaikkien element-

tien korkeus on oltava nolla. Elementtien tulee myös olla tiedostossa 1-tasolla. (Närhi 2011, 2.)

Koska sääntöalueet piirrettiin ennen pistepilviaineiston koordinaattimuunnoksia ja uutta blokkijakoa ei tällöin ollut olemassa, piti piirrettyjä sääntöalueita muokata blokkien reunoilla. Blokin reunan ylittävät alueet katkaistiin ja muodostettiin omiksi alueikseen reunan molemmille puolille MicroStationissa kopiaamalla alueet uuteen tiedostoon aidan avulla. Aita piirrettiin täsmälleen blokin reunojen kohdalle ja kopiotiedostoon muodostui erilliset alueet reunan molemmille puolille. Useissa tapauksissa tämä ei kuitenkaan onnistunut suoraan, vaan alueet muodostuivat virheellisellä tavalla yhdistelmämonikulmioiksi. Tällöin alueen reunat piti kiertää uudelleen ja sulkea alue monikulmioksi. Sääntöalue-elementtien oikean muodon varmistamiseksi ne muunnettiin ensin MicroStationissa 2D-tiedostoiksi, jolloin kaikki elementit tippuivat nollassa ja sitten takaisin 3D-tiedostoksi. Mikäli alueet toimivat edelleen virheellisesti, muunnettiin ne vielä dwg-formaattiin ja takaisin dgn-formaattiin.

5.5 Rantaviivan tulkinta ja käyttö pintamallin kolmioinnissa

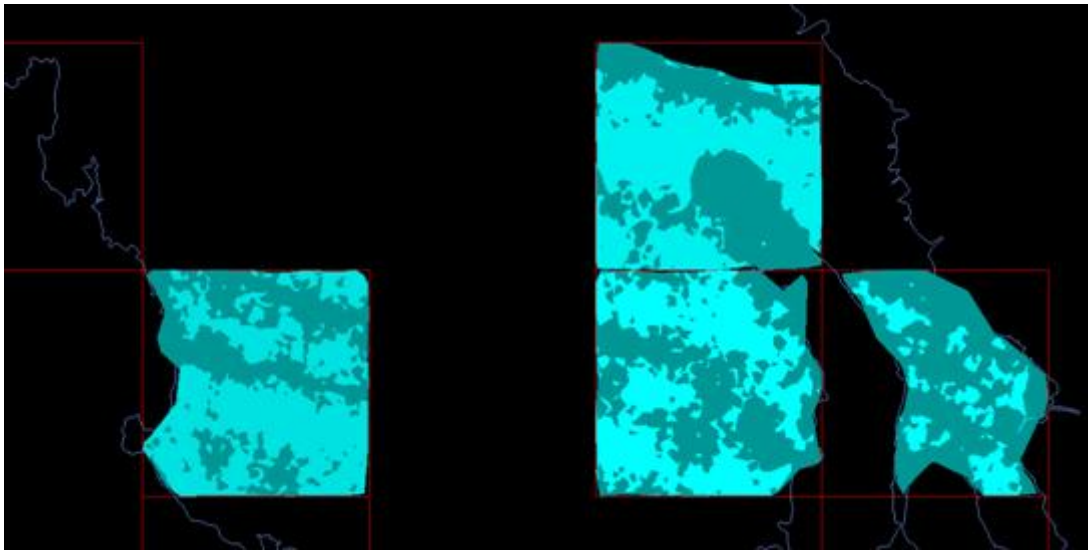
Kokkolan alueella maankohoaminen muuttaa rantoja jatkuvasti. Vaikka muutos on hidasta, ovat sen vaikutukset selvästi havaittavissa muutaman kymmenen vuoden ajanjaksolla. Uusia korkeuskäyriä tuotettaessa rantaviivan uudelleentulkinta tuli ajankohtaiseksi, sillä muuttuneiden rantojen vuoksi käyrät olisivat piirtyneet erityisesti loivilla rannoilla virheellisesti. Kantakartan vanha rantaviiva oli peräisin jopa kymmeniä vuosia vanhoista ilmakuvatulkinnosta sekä muutamissa paikoissa myöhemmin tehdyistä mittauksista.

Kun uusia korkeuskäyriä tehdään rannan lähelle, saattavat ne piirtyä vesialueelle, sillä rantaviiva on maankohoamisen takia loivilla alueilla siirtynyt jopa kymmeniä metrejä merelle päin. Vesialueelle käyriä ei haluta kuvata, joten ne olisi pitänyt leikata sieltä pois. Leikattaessa käyrät kuitenkin katkeaisivat rantaviivan kohdalla ja esityksestä tulisi virheellinen.

Ongelmien poistamiseksi päätettiin tulkita rantaviiva uudelleen ja sitoa se johonkin keskivedenkorkeuteen. Ideaalilanteessa rantaviiva tulkittaisiin keskiveden nollassa tiettyä ajanhetkenä. Keskiveden korkeustason voi sel-

vittää Ilmatieteen laitoksen keskivesitaulukosta ja Terrasolidin ohjelmilla on mahdollista määrittää korkeuskäyrä tietylle korkeustasolle. Kokkolan laserkeilausaineisto on kuitenkin tuotettu hetkellä, jolloin vedenpinta on ollut keskivettä korkeammalla eikä keskiveden korkeustasolla olevia laserpisteitä ei ole pistepilvessä juuri lainkaan. Korkeustasoon piirrettävästä käyrästä tulisi lisäksi vesijättömailla ja rehevillä rannoilla kasvillisuuden takia mutkikas ja huonosti rannan muotoa kuvaava, eikä sitä siksi voitaisi käyttää rantaviivana käytäntötuotannossa tai kantakartalla.

Uusi rantaviiva piirrettiin keilausten yhteydessä tuotettujen ortokuvien perusteella. Tulkinnan apuna käytettiin myös viistokuvia ja muita kartta-aineistoja oikean sijainnin varmistamiseksi. Rantaviivan korkeusasema sidottiin keilaushetken vedenkorkeuteen, jolloin se vastaa ortokuvien tilannetta mahdollisimman hyvin. Keilaushetken vedenkorkeus selvitettiin luomalla pistepilviaineistosta pintamalleja. Pintamalleja värjättiin korkeustasojen perusteella siten, että oletetun vedenkorkeuden molemmin puolin asetettiin eri väri. Mikäli korkeustaso oli liian matala, värjäytyivät kaikki kolmiot tason yläpuolisen värin mukaan. Liian korkea lukema taas värjäsi kolmiot tason alapuolisen värin mukaan. Menetelmän avulla haarukoitiin eri korkeustasoja ja havainnoitiin pintamallin käyttäytymistä veden pinnalla. Haastetta tähän toi se, että keilaushetkellä on ollut jonkin verran aallokkoa. Haarukointi suoritettiin muutamasta eri paikasta, jotta voitiin varmistua oikeasta korkeustasosta. Menetelmän avulla määritetyksi keilaushetken keskimääräiseksi vedenkorkeudeksi saatiin +0,24 m. Rantaviivaelementille asetettiin tämä korkeus TerraModelerin Aseta lineaarisen elementin taso -toiminnolla.



Kuvio 6. Korkeustasojen perusteella värjättyjä pintamalleja merialueella.

Määritettyä korkeutta verrattiin keilaushetken ajankohdan keskiveden korkeuteen. Keskiveden korkeutena käytettiin Kokkolasta 40 km etelään sijaitsevan Pietarsaaren mareografin mittauspisteen tietoja. Taulukon mukaan keskivesi on vuonna 2008 ollut +0,124 m N2000-järjestelmässä (Ilmatieteen laitos 2012). Keilaushetkellä vesi on siis ollut n. 12 cm keskivettä korkeammalla.

Rantaviivan tulkinta oli tarpeellinen osa korkeuskäyrätuotannossa. Uuden rantaviivan avulla käyrätuotannossa käytettävästä pisteverkosta poistettiin kaikki merialueen pisteet ja käyrät voitiin tuottaa ainoastaan maalla sijaitsevista pisteistä. Korossa olevaa rantaviivaa käytettiin laskennassa pintamallin kolmiointia ohjaavana pehmeänä taiteviivana, jonka vaikutuksesta kolmioiden sivut rajautuivat rantaviivaan ja lähellä rantaa olevat korkeuskäyrät piirtyivät maan puolelle. Ilman ohjaavaa taiteviivaa käyrät olisivat interpoloituneet joissakin paikoissa liian loivasti ja tehneet mutkia veteen. Paikoin pintamalli kolmioitui myös meren päälle, mutta tällä ei ollut vaikutusta käyrien kuvautumiseen, sillä kolmioiden kärkipisteiden korkeus oli 0,5 m tason alapuolella. Rakennetuilla rantalaitureilla 0,24 m korkeustaso ei ollut oikea ja käyrät kuvautuivat virheellisesti. Nämä muutamat ongelmakohteet korjattiin jälkikäsitteilyinä.



Kuvio 7. Pinnan kolmiointi ja käyrät ranta-alueella.

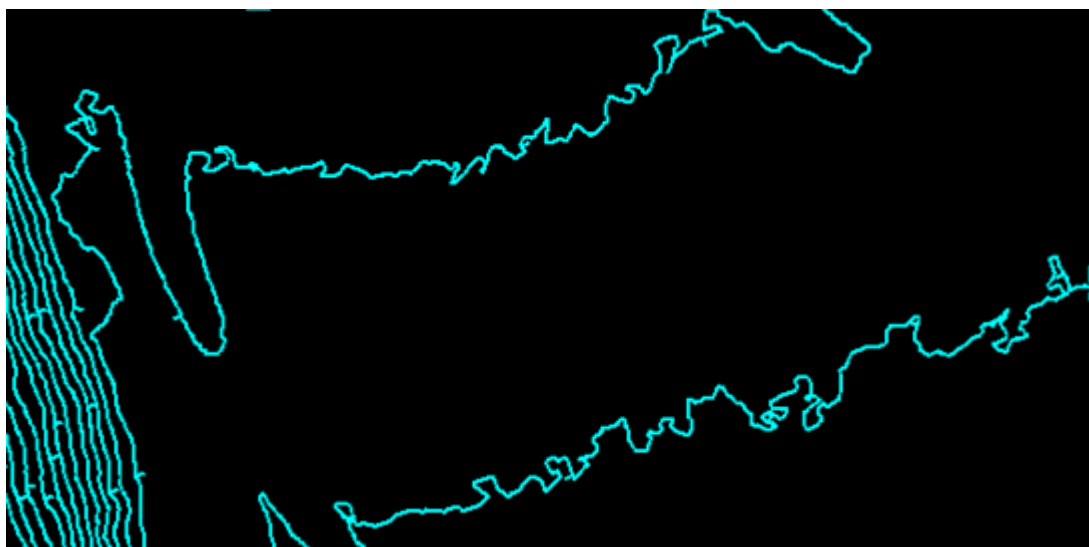
Järvien kohdalla voidaan soveltaa samoja periaatteita, kuin meren rantaviivaa tulkittaessa. Kokkolassa tätä ei tarvinnut tehdä, sillä keilausalueilla ei sijaitse yhtään järveä. Pienempien vesialueiden kohdalla käyrien piirtyminen veteen estettiin sääntöalueiden avulla. Jokien varsilla rantaviiva tulee tuottaa kaltevana 3D-viivana, mikäli sitä käytetään pintamallin kolmiointissa taiteviivana (Närhi 2011, 2). Joen rantaviivan määrittämisessä vedenkorkeuden vaihtelun merkitys on vähintään yhtä suuri kuin merialueilla ja siksi se tulee ottaa rantaviivan tulkinnassa ja korkeusaseman määrittämisessä huomioon. Kokkolassa Perhonjoki virtaa n. 5 km päässä keskustasta ja se sijoittuu osittain keilausalueelle. Siellä emme kuitenkaan tehneet rantaviivan 3D-tulkintaa, sillä joki laskee hyvin loivasti ja on siksi lähes merenpinnan tasossa. Lisäksi korkeuskäyrien tuotantoalue päätettiin rajata joen reunaan.

5.6 Maanpinnasta käyrien avainpisteiksi

5.6.1 Maanpinnan pisteverkon harventaminen

Pistepilviaineistosta korkeuskäyrät tuotetaan samalla periaatteella, kuin stereomittauksen yhteydessä, eli käyrät saadaan pintamallista interpoloimalla. Kun laserkeilattua pistepilveä käytetään käyrätuotannon aineistona, tulee käyrien kartografiseen ulkoasuun kiinnittää huomiota ja käyttää asianmukai-

sia pehmennysalgoritmeja. (Puupponen 2005, 12.) Pehmennysalgoritmien käytön tarpeellisuus johtuu siitä, että pistepilven suuren tiheyden vuoksi suoraan maanpinnan pisteistä tuotettavista käyristä tulee liiallisen tarkkuuden vuoksi kartografiselta ulkoasultaan huonoja. Pistepilvi onkin käyrien tuottamisen kannalta haasteellinen aineisto, sillä tiheyden ja tarkkuuden lisäksi myös laserkeilauksen kohinan vuoksi vaihteleva pisteiden korkeus aiheuttaa käyrien interpolointiin ongelmia. (Soininen 2012.)



Kuvio 8. Maanpinnan pisteistä tuotettuja korkeuskäyriä.

TerraScanissa on korkeuskäyrien tuottamista varten olemassa työkalu, jolla maanpinnan pisteverkkoa harvennetaan annettujen määritysten mukaisesti. Toiminto luokittelee maanpinnasta korkeuskäyrien tuottamista varten käyrien avainpisteiden (contour keypoints) luokan. Avainpisteistä tuotettava pintamalli on epätarkempi kuin maanpinnan pintamalli ja siksi käyrät interpoloituvat pehmeämmin kuin tarkasta mallista. Toiminto suosii pisteiden valinnassa sellaisia pisteitä, jotka ovat kaukana valitun käyrävalin mukaisten käyrien korkeustasoista. Tämä vähentää käyriin piirtyvien koukeroiden määrää. (Soininen 2012.)

Maanpinnan pisteverkon harventaminen on käyrätuotannon myöhempien työvaiheiden ja myös lopputuloksen kannalta erittäin tärkeää, sillä tässä työvaiheessa määritetään käyrien tarkkuuden ja ulkoasun suhde. Näiden kahden näkökulman välille on löydettävä sopiva tasapaino, sillä käyrät eivät voi olla yhtä aikaa sekä tarkkoja, että kauniita (Soininen 2012). Käyrien tulee olla

riittävän tarkkoja, jotta ne täyttävät Kaavoitusmittausohjeiden mukaiset vaatimukset, mutta niiden tulee olla myös riittävän selkeitä kartan hyvän luettavuuden varmistamiseksi. Avainpisteiden määrittelyllä voidaan vaikuttaa käyrien editointivaiheen työmäärään, sillä tarkat käyrät vaativat enemmän siistimistä. Toisaalta on myös syytä muistaa, että pisteiden lisääminen myöhemässä vaiheessa avainpisteiden luokkaan on hieman hankalaa. Käytännössä käyrät siis tuotetaan täsmälleen siitä pistejoukosta, joka harvennuksessa luokitellaan. Maanpinnan pisteverkon harventaminen on järkevää myös käyrien laskennan keventämisen kannalta. Harvempi pintamalli ei vaadi tietokoneelta niin paljon suorituskykyä ja työ sujuu nopeammin.

Käyrien avainpisteiden luokittelemiseksi käyttäjä voi toiminnossa määritellä haluamansa käyrävälin metreinä, pisteiden harvennuksen etäisyyden metreinä sekä kauneusarvon väliltä 0-100. Arvo 0 tuottaa karkeita ja tarkkoja käyriä, kun taas arvo 100 tuottaa pehmeitä ja kauniita käyriä. Lisäksi tässä vaiheessa voidaan määritellä myös Pikes and pits -asetus käyräesitykseen kuvattavien kumpareiden ja suppien minimipinta-alalle. (Terrasolid Oy 2012, 268.)

Sopivien asetusten löytämiseksi tehtiin kokeiluja, joissa vaihdettiin pisteiden etäisyyden ja kauneusarvon asetuksia. Kokeiluja tehtiin yksittäisille blokeille luokittelurutiinin avulla. Erilaisilla asetuksilla luokitelluista avainpisteistä tuotettiin pintamalleja ja niihin piirrettiin testikäyriä. Kokeiluja tehtiin erilaisiin maastonkohtiin, jotta saataisiin hyvä kokonaiskuva käyrien käyttäytymisestä rinteessä, tasaisella pellolla ja rakennetulla alueella.

Maaston kaltevuudella vaikutti olevan hyvin suuri merkitys käyrän kuvautumiseen. Yleispiirteisesti voidaan todeta, että mäkiseen maastoon käyrät kuvautuivat tyylikkäästi käytetyistä asetuksista riippumatta. Mitä loivempi ja tasaisempi maasto on, sitä enemmän erilaiset asetukset vaikuttivat käyrien ulkoasuun ja sitä vaikeampaa oli tyylikkäiden käyrien tuottaminen. Kokeilujen perusteella käyristä tulee parhaita, kun käyttää kohtalaisen tiheää pisteverkkoa ja suurta kauneusarvoa. Harvasta pintamallista tuotettavat käyrät eivät ole riittävän tarkkoja ja kuvaavat heikosti maaston yksityiskohtia. Liian tiheä pisteverkko puolestaan tuottaa tarkemman pintamallin, mutta aiheuttaa ongel-

mia tasaisessa maastossa, missä käyrästä tulee turhan mutkikas. Tämä koettiin erityisesti alavien alueiden ongelmaksi. Jyrkkäpiirteisessä maastossa tiheämmän pisteverkoston käyttö onnistuu selvästi paremmin.



Kuvio 9. Tasaisen maaston ja rinteiden eroavaisuudet käyrien kuvautumisessa.

Avainpisteiden luokittelulla maanpinnan pisteverkko harvenee murto-osaan alkuperäisestä pistepilvestä, mutta käyrästä tulee silti varsin tarkkoja, sillä avainpisteet edustavat hyvin maanpintaa ja sen muotojen vaihtelua. Mielenkiintoista oli kuitenkin se, että erilaiset avainpisteiden määrittelyasetukset muuttivat paikoitellen käyrän sijaintia ja muotoa. Toisilla asetuksilla rinteeseen kuvautui notkelma, kun taas toisilla ei. Nämä erot eivät olleet kovinkaan säännönmukaisia, eli ne eivät olleet suoraan verrannollisia pisteiden etäisyyden asetukseen tai kauneusarvoon. Vaihtelevuuden selityksenä täytyy siis olla luokittelutoiminnon käyttämän algoritmin satunnaisuus, eli ohjelma vain sattuu poimimaan erilaisilla asetuksilla pisteitä eri paikoista ja tämä aiheuttaa käyrän muotoon vaihtelua. Sopivia asetuksia haettaessa käytettiin vertailukohtana tarkempaa käyrää.



Kuvio 10. Erilaiset asetukset vaikuttavat käyrän tarkkuuteen ja ulkoasuun.

Kokeilujen perusteella päätettiin ottaa käyttöön asetukset, joissa käyrävälinä oli 1 m, pisteiden etäisyytenä 12 m ja kauneusarvona 80. Sopivien määritysten löydyttyä suoritettiin luokittelu makrona koko projektille. Käytetyt avainpisteiden asetukset osoittautuivat varsin toimiviksi Kokkolan tasaisissa maastoissa. Paikoin tiheämpi pisteverkko olisi ollut hyväksi käyriä siistittäessä, mutta tällöin ongelmana olisivat olleet tasaiset alueet. Käytetyillä asetuksilla käyrät kuvautuivat riittävän pehmeästi myös tasaisessa maastossa. Ainoastaan käyrävälin asetus osoittautui myöhemmässä vaiheessa virheelliseksi, sillä apukäyrät kuvautuivat 1 m asetuksella epämääräisesti. Oikea käyrävälin asetus olisi ollut 0,5 m ja sitä käytettiin myöhemmin Käviän, Lohtajan ja Marinkaisten alueiden käyriä tehtäessä sekä Kokkolan alueen apukäyriä tuotettaessa.

0,5 metrin käyrävälillä ja 12 m / 80 määrityksillä luokiteltujen avainpisteiden etäisyys vaihtelee harvennetussa aineistossa 0,5–20 m välillä. Keskimäärin etäisyys on 5–10 m luokkaa ja pisteitä on tiheämmin rikkonaisella kuin tasaisella maastoalueella. 500 * 500 m kokoiseen blokkiin pisteitä tulee näillä määrityksillä keskimäärin noin 6000, jolloin harvennetun aineiston pistetiheys on 0,024 pistettä/m². Käytettäessä 1 metrin käyräväliä ohjelma ei suorita luo-

kittelua apukäyrien korkeustasoilla niin tarkasti ja luokiteltujen pisteiden määrä on pienempi.

Avainpisteiden luokittelun jälkeen pisteet kirjoitettiin ulos omiksi lastiedostoiksi makron avulla. Näistä tiedostoista muodostettiin uusi projekti käyrätuotantoa varten. Tämän tarkoituksena oli keventää tiedoston käsittelyä ja varmistaa alkuperäisten pisteiden säilyminen.

5.6.2 Pienialaiset supat ja kumpareet

Pistepilviaineisto on tuotettu ilmakeilauksella, joten siitä on vaikea erottaa kohteita, jotka eivät oikeasti ole kiinteää maan pintaa. Esimerkiksi pelloilla olevat rehuaumat eivät ole kiinteää maata, mutta pistepilvestä sitä ei voi havaita. Käyrien avainpisteitä luotaessa ohjelma saattaa poimia pisteitä rehuauman päältä ja käyrätuotannossa tähän kuvautuu kumpare. Muita vastaavia pienialaisia virhekohteita voisivat olla esimerkiksi kuorma- tai linja-autot, maakasat, pyöröpaalikasat ja tukkipinot. Virheitä voi muodostua myös kohteisiin, joissa on ollut keilaushetkellä väliaikaisia kaivantoja.

Jotta tällaisia virheitä ei käyräesitykseen kuvautuisi, voidaan pienialaiset kohteet eliminoida jo käyrien avainpisteitä luotaessa. Avainpisteiden määrittelyssä on asetus, jossa määritetään pienialaisten kohteiden neliömetriraja. Pieniä kumpareita ja suppia muodostuu käyräesitykseen sitä enemmän, mitä pienempi arvo asetukseen määritetään. Arvo ei kuitenkaan saa olla liian suuri, jotta mäkien huiput ja supat kuvautuvat täsmällisesti. Tässä Pikes and pits -asetuksessa käytettiin rajana 200 neliometriä, joka osoittautui melko hyväksi kompromissiksi. Tärkeimmät kumpareet kuvautuivat kartalle ja esityksestä tuli selkeä, mutta lähes kaikki virhekohteet jäivät pois ja jälkikäsitteilyn määrä pysyi kohtalaisena.

Riskinä on tietysti se, että maastossa oikeasti olevat pienet kumpareet ja supat eivät kuvaudu kartalle lainkaan. Kovin pienten kohteiden kuvaaminen ei kuitenkaan ole järkevää kartan luettavuuden kannalta. Jälkikäteen havaittiin joitakin kohteita, joista käyrä puuttui, mutta ne olivat yksittäistapauksia, joilla ei ollut kokonaisuuden kannalta suurta merkitystä. Näihin kohteisiin voidaan puuttuva käyrä tuottaa esimerkiksi maastomittauksen avulla.

5.7 Korkeuskäyrien siistiminen

5.7.1 Siistimisen tarpeellisuudesta

Koska kartta on moninkertainen pienennös todellisesta maastosta, ei kaikkia maaston yksityiskohtia voida sillä kuvata. Maasto on kuvattava yleistävästi, jolloin selkeys ja luettavuus säilyvät tarkkuuden ja täydellisyyden kustannuksella. Yleistyksessä tulee huomioida maaston luonne, kartan mittakaava, kohteiden kuvausohjeet ja tarkkuusvaatimukset sekä yleistyksen ja kartoitus-tarkkuuden suhde. Yleistyksessä voidaan toteuttaa erilaisia toimenpiteitä, joita ovat esimerkiksi yksinkertaistaminen, yhdistäminen, siirtäminen, korostaminen sekä haluttujen kohteiden valitseminen tai pois jättäminen. (Niemelä 1997.)

Tässä opinnäytetyössä korkeuskäyrien yleistämisestä käytetään nimitystä käyrien siistiminen. Siistimisellä pyrittiin parantamaan käyräesityksen kartografista ulkoasua ja kantakartan luettavuutta sekä poistamaan käyriin mahdollisesti jääviä virheitä. Siistimistä tehtiin niille kohteille, joissa käyrään kuvautui ylimääräisiä mutkia tai käyräesitys oli muutoin huonosti maastoa kuvaava. Yleensä siistimisellä nimenomaan yleistettiin liian tarkasti maastoa kuvaavia käyriä erilaisten maastossa olevien rakenteiden tai muotojen lähellä. Siistiminen oli käyrätuotannossa eniten aikaa vievä osa-alue, mutta sen huolellisella suorittamisella voitiin vähentää valmiiden käyrien jälkikäsitteilyä. Siistimisestä ei ole olemassa mitään ohjeistusta, joten työtä tehtäessä piti itse arvioida kantakartalle kelvollisen korkeuskäyrän ulkoasu, huomioida käyrän tarkkuuden säilyminen sekä tulkita maaston kohteita ja niiden vaikutuksia käyrän kuvautumiseen. Tässä työvaiheessa parempi maastotuntemus olisi ollut avuksi.

Siistiminen tehtiin ennen käyrien laskemista koko projektille, eli siistimisen tarpeiden ja sen vaikutusten havaitsemiseksi käytettiin yhteen blokkiin luotavaa pintamallia ja testikäyriä. Taustalle luettiin referenssitiedostoiksi ortoilmakuva ja vektorimuotoinen oja-aineisto. Siistimisessä huomioitiin samalla keralla kaikki blokin alueella olevat virhekohteet ja edettiin järjestyksessä blokista seuraavaan. Siistimisessä tehdyt muutokset tallennettiin projektiin, jolloin

ne vaikuttivat myös lopullisten käyrien laskentavaiheessa. Siistimisessä keskityttiin peruskäyriin, mutta myös apukäyriä siistittiin niissä paikoissa, missä niitä haluttiin kantakartalle kuvata.

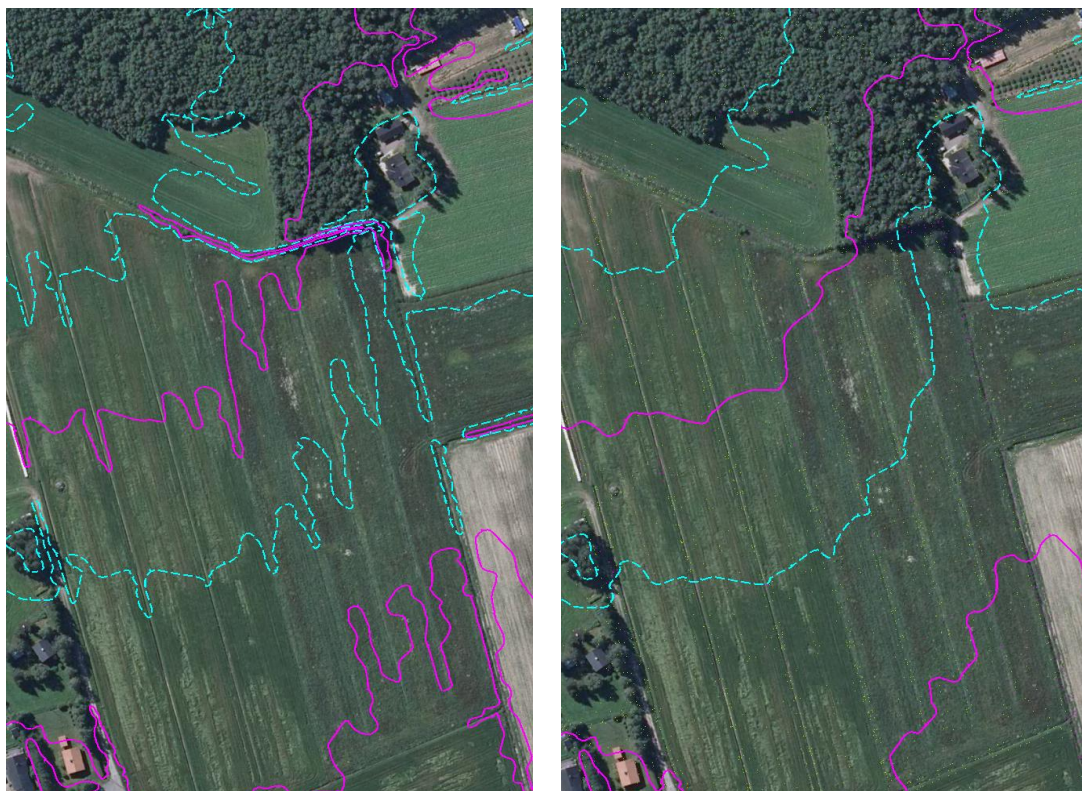
Virhekohteiden siistiminen tapahtui luokittelemalla pisteitä pois avainpisteiden luokasta. Pisteiden poistaminen oikaisee pintamallia ja sitä kautta vähentää käyrään kuvautuvia mutkia. Luokittelussa käytettiin TerraScanin työkaluja, joista käyttökelpoisimpia olivat automaattikkaa hyödyntävä Classify by centerline -rutiini sekä manuaalinen Classify using brush -työkalu. By centerline -toiminnolla voidaan pisteitä luokitella haluttuun luokkaan valittujen vektorilinjojen molemmin puolin. Aineiston käsittelijä voi määrittää kuinka leveältä pisteitä tahdotaan luokitella. Brush-työkalulla puolestaan valitaan maalaustyökalun leveys ja hiirellä maalaamalla pisteet siirtyvät valittuun luokkaan. (Terrasolid Oy 2012, 79, 255.) Välillä siistimisessä piti tutkia yksittäisten avainpisteiden korkeuslukuja, jotta saatiin selville, mitkä pisteet edustavat parhaiten maanpintaa. Hyvänä apuna virhekohteiden siistimisessä olivat myös kantakartan vanhat korkeuskäyrät, joista sai paljon tietoa maaston muodoista erityisesti rikkonaisilla maastoalueilla.

5.7.2 Ojat

Maastossa olevat erilaiset ojat ovat selvästi havaittavia kohteita, joiden ympäristössä olevia käyriä kannattaa siistiä. Ojien ympäristössä käyrien kuvautumiseen vaikuttavat maaston muodot, ojan syvyys, käyrän suunta ojan suhteen ja ojan reunoilla mahdollisesti olevat maapenkat. Kokkolassa maasto on monin paikoin hyvin loivaa ja kantakartta-alueella on useita ojitettuja peltoja. Tasaisella pellolla käyrien tulisi myötäillä pehmeästi maaston muotoja. Jyrkät mutkat ja kiemurteleva käyrä eivät ole tällaisessa maastossa kartan ulkoasun kannalta toivottavia.

Avainpisteitä luokiteltaessa ohjelma tunnistaa ojan kohdalla olevan maaston muodossa vaihtelua ja valitsee siksi ojan reunustoilta ja pohjalta pisteitä avainpisteiden luokkaan. Tämän vuoksi ojan kohdalle muodostuu pintamalliin painauma, jonka vaikutuksesta ojan yli kulkevaan käyrään piirtyy mutka ylärinteen suuntaan. Pahimmillaan ongelma on loivapiirteisellä pellolla, missä

mutkat saattavat olla jopa yli 100 metriä pitkä. Tällaiset terävät mutkat heikentävät selvästi kantakartan luettavuutta ja tekevät korkeusesityksestä epäselvän. Korkeuskäyrän ei ole tarkoitus kuvata ojan pohjan muotoa, vaan ympäröivää maastoa. Paikoin on kuitenkin syytä huomata, että ojan ympäristö saattaa olla muuta maastoa alempana, jolloin käyrään kuuluukin kuvautua loivavapiirteinen notkelma.



Kuvio 11. Käyrät tasaisella pellolla ennen siistimistä ja sen jälkeen.

Pellolla mutkittelevat käyrät havainnollistavat hyvin pistepilviaineiston haasteellisuutta korkeuskäyrätuotannon lähtöaineistona. Rinteessä mutkat ovat selvästi pienempiä, mutta näyttävät silti käyräesityksessä huonoilta. Mutkitteleva käyrä on tietyllä tavalla realistinen ja tarkka, mutta parempi olisi, jos käyrä jatkuisi suoraan ojan yli, jolloin se kuvaisi maaston yleispiirteisiä korkeussuhteita paremmin ja olisi varsinkin kartografisesti tyylikkäämpi.

Ojakohteiden siistimiseen tarvittiin vektorimuotoista tietoa ojien sijainnista. Ojalinjojen vektorit saatiin kantakartta-aineistosta ajamalla ne ulos Tekla GIS:n tietokannasta. Oja-aineisto osoittautui kuitenkin monin paikoin virheelliseksi. Aineiston puutteet kävivät ilmi, kun sitä katsottiin päällekkäin paremmin ajan tasalla olevien ortokuvien kanssa. Aineistosta puuttui valtavasti ojia

ja paikoin niiden sijainti oli muuttunut, mutta suurimpana ongelmana olivat ylimääräiset ojat. Useissa paikoissa peltojen salaojituksen vuoksi maastossa ei enää ole oja, vaikka kantan kartan oja-aineistossa ne vielä olivatkin. Jotta käyräpisteiden luokittelua voitiin tehdä ojalinjojen avulla, piti oja-aineisto ensin muokata ajan tasalle. Tämä tapahtui digitoimalla puuttuvat ojat ortokuvilta ja poistamalla ylimääräiset ojat, joita kuvissa ei näkynyt. Peltoalueella digitointi oli helppoa, mutta peitteisemmässä maastossa joutui apuna paikoin käyttämään myös peruskarttaa. Aineistoon jäi muokkauksen jälkeen edelleen puutteita, mutta pahimmat virheet saatiin korjattua varsin nopeasti.

Kun oja-aineisto saatiin ajantasaistettua, päästiin siistimään käyriä ojien ympäristössä. Siistiminen tapahtui luokittelemalla ojan pohjalla olevia pisteitä pois avainpisteiden luokasta. Luokittelun vaikutuksesta pintamalli oikeni ojan kohdalla ja käyrässä oleva mutka poistui. Yleensä oli riittävä poistaa avainpisteitä pelkästään käyrässä olevan mutkan kohdalta. Tällaista manuaalista luokittelua tehtiin Brush-työkalulla.

Runsaasti oja sisältävillä alueilla oli nopeampaa poistaa avainpisteet valittujen ojien varsilta Classify by centerline -rutiinilla. Toimintoa voitiin käyttää valitsemalla blokin kaikki ojavektorit tai valitsemalla vain muutamia oja valikoiduista kohteista. Käytimme luokittelun etäisyytenä erilaisia arvoja yhden ja kahden metrin väliltä. Leveämpää arvoa käytettiin silloin, kun ojan reunojen oletettiin olevan loivat tai kun ojavektoreiden sijaintitarkkuus oli epävarma. Paikoin Classify by centerline -toiminto ei antanut toivottuja tuloksia ja valikoiduja pisteitä piti palauttaa takaisin avainpisteiden luokkaan. Esimerkiksi tilanteissa, joissa käyrä kulkee pellon reunassa ojan suuntaisesti, saattaa luokittelu siirtää käyrän väärälle puolelle ojaa. Lisäksi joillakin tiheästi ojitetuilla peltoalueilla luokittelun tuloksena käyrien avainpisteverkko harveni liikaa ja ojien väliin jäävistä muutamista pisteistä muodostui pitkiä kumpareita keskelle peltoa. Tällaisissa tapauksissa käyräpisteet poistettiin kokonaan myös kumpareen kohdalta, jolloin kumpareta ei kuvaudu kartalle.

Siistiminen oli yleensä helppoa ja selkeää toimintaa, mutta joissakin paikoissa se vaati paljon aikaa ja tarkkuutta työn tekijältä. Siistimisessä kokeiltiin myös vaihtoehtoja työjärjestystä, jossa luokiteltiin ensin ojan varrelta pisteet

pois maanpinnan luokasta ja vasta tämän jälkeen tuotettiin käyrien avainpisteet, joista edelleen pintamalli ja korkeuskäyrät. Tämä työjärjestys oli kuitenkin hieman hankala käytännön kannalta eikä sillä saatu erityisen hyviä tuloksia, joten se päätettiin hylätä.

Muita ojien aiheuttamia ongelmia käyräesityksessä olivat leveiden ja syvien ojien kohdalle muodostuvat supat. Osan tällaisista kohteista saattoi siistiä pintamalla oikaisemalla, mutta osa päätettiin hoitaa jälkikäsitteilynä. Tällaisissa tapauksissa selkeästi ojan pohjalle muodostuneet käyrät pyrittiin poistamaan. On kuitenkin syytä huomioida, että isot ojat ja pienet joet virtaavat usein syvässä uomassa, jonka reunoilta käyriä ei ole syytä poistaa.

5.7.3 Tiealueet

Tiealueilla siistimistä kaipaavat kohteet voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin erilaisten tierakenteiden mukaan. Käyrät käyttäytyvät tiealueella eri tavalla, mikäli tierakenne on leikattu muuta maastoa alemmas tai mikäli se on pengerrytty ympäristöä korkeammalle. Lisäksi on olemassa lukuisia poikkeustapauksia ja erilaisten kohteiden yhdistelmiä. Tiealueen käyrien siistimisessä tulee huomioida myös ojien ja luiskien vaikutukset käyrien kuvautumiseen.

Rinteessä käyrät käyttäytyvät usein samalla tavalla kuin ojien kohdalla. Käyrä tekee siis tien kohdalla ylimääräisen mutkan. Ylärinteen suuntaan kuvautuva notko johtuu siitä, että tien pinta on leikattu luonnontilaista maastoa alemmas. Alarinteeseen päin kuvautuva mutka puolestaan aiheutuu rinteeseen nähden loivemmin laskevan tien koholla olevasta rakenteesta. Käyrät poistetaan tien kohdalta sääntöalueiden avulla, mutta ongelmaksi jäävät käyrien päät, jotka kaartuvat tien reunassa heikentäen käyrien kartografista ulkoasua.

Ongelmien korjaamiseksi tiealueen käyriä siistittiin samalla tavalla kuin ojien kohdalla. Luokittelussa käyrien avainpisteitä poistettiin tiealueelta käyrässä olevan mutkan kohdalta. Usein oli syytä poistaa pisteet myös tien reuna-alueelta ja ojien pohjalta. Luokittelua tehtiin maalaamalla valikoituja pisteitä. Selkeintä luokittelu oli kohtisuoraan ylämäkeen kulkevilla teillä, joissa käyrän

oikeneminen oli selkeästi havaittavissa. Viistosti rinteessä kulkevat tiet ja teiden risteykset olivat usein tulkinnanvaraisempia kohteita, joissa parhaimman ratkaisun löytämiseksi piti joskus tehdä useita testejä luokittelemalla pisteitä avainpisteiden luokasta pois ja takaisin.



Kuvio 12. Pisteitä luokittelemalla oikaistuja käyriä tiealueella ja maastossa olevan ojan kohdalla.

Alavilla alueilla tie on yleensä kokonaisuudessaan pengerretty muuta maastoa korkeammalle. Käyrä ei tällöin kuvaudu tien kohdalla ympäröivän maaston mukaisesti vaan tiepenkereen vaikutuksesta käyrä kääntyy tien reunan suuntaiseksi. Ongelman suuruus riippuu maaston kaltevuudesta ja tiepenkereen korkeudesta. Tien reunassa penkereen suuntaisesti kulkeva käyrä ei anna kantakartalle juurikaan olennaista tietoa maaston korkeussuhteista, vaan haittaa enemmänkin kartan luettavuutta. Lisäksi käyrä tekee usein harvasta pisteverkosta johtuvia mutkia tien ja reuna-alueen välillä, jolloin sääntöalueilla leikattaessa siitä jää jäljelle vain lyhyitä pätkiä ja kartan luettavuus heikkenee entisestään. Näissä tapauksissa yritimme poistaa avainpisteitä tiealueelta, jotta käyrä kulkisi suoraan tien yli eikä lähtisi sen reunan suuntaan. Mikäli tämä ei ollut mahdollista, poistimme käyrän tiealueelta jälkikäsitelyä. Tällöin käyrä katkaistiin kohdasta, jossa se yhtyy tiealueeseen ja tien reunalle jäävät käyrän pätkät poistettiin kokonaan.



Kuvio 13. Pengerretyn tien reunassa kulkevien käyrien katkaisukohtat on merkitty punaisilla viivoilla.

Tiealueiden pahimpia kohteita ovat ali- ja ylikulut, joissa ilmalaserkeilauksella tuotetussa aineistossa pisteet puuttuvat sillan alapuolelta. Tämän vuoksi alikulun ympäristössä korkeuskäyrät saattavat käyttäytyä kummallisesti. Näissä kohteissa käyriä siistittiin luokittelemalla, mutta kovin tarkkaan editointiin ei ryhdytty, sillä korkeuserot kuvataan alikulujen reunoilla yleensä luiskamerkinnällä. Luiskamerkinnän päälle käyriä ei piirretä, joten järkevintä oli katkaista ja leikata käyrät pois näiltä alueilta sääntöalueiden tai jälkikäsittelyn avulla.

Kokkolassa rautatie kulkee kantakartta-alueen halki ja monin paikoin rata on pengerretty selvästi ympäröivää maastoa korkeammalle. Käyrät käyttäytyivät radan vierustalla samalla tavalla kuin pengerretyn tien kohdalla. Tällainen penger on kantakartalla merkitty luiskaviivoilla, eikä käyrää haluta luiskaviivojen päälle. Näissä paikoissa ratapenkereen pintamalla yritettiin oikaista luokittelemalla, jotta käyrät saataisiin kulkemaan suoraan sen yli. Kaikkialla tämä ei onnistunut, joten käyrät poistettiin sääntöalueiden ja jälkikäsittelyn avulla.

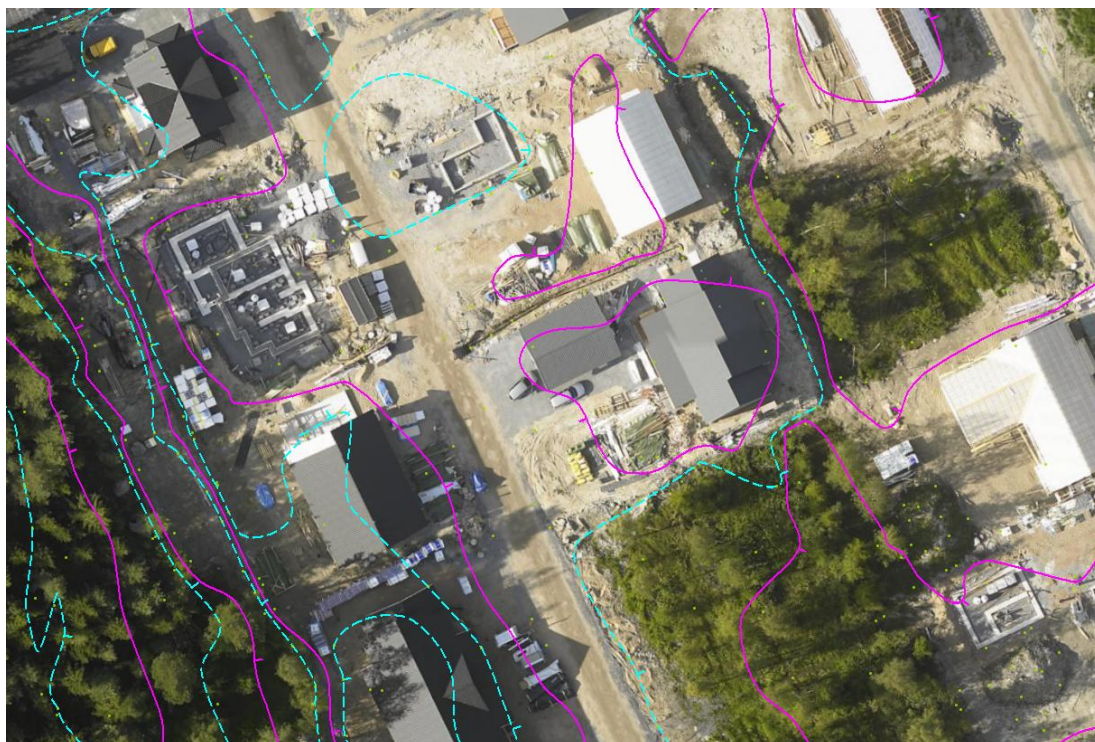
5.7.4 Rakennettu ympäristö

Ojien ja erilaisten tierakenteiden lisäksi rakennetussa kaupunkiympäristössä on myös muita kohteita, jotka aiheuttavat käyräesitykseen siistimistarpeita. Nämä kohteet ja niiden vaatimat siistimistoimenpiteet on harkittava aina tapauskohtaisesti. Käytännössä kaikki käyrät tulee käydä yksitellen läpi ja arvioida käyrän käyttäytymistä erilaisissa kohteissa.

Piharakenteet ovat yleisimpiä kohteita, joissa käyrää voidaan siistiä. Kartan luettavuuden kannalta on usein perusteltua hieman oikoa käyrää rakennusten läheisyydessä. Liian tarkasti piharakenteita seuraavat käyrät, jotka vielä katkotaan rakennusten ja sääntöalueiden kohdalta, tekevät kartasta helposti sekavan näköisen. Järkevämpää on, että käyrä mukailee pihojen muotoa kulkien joustavasti rakennetun alueen halki. Tasaisilla alueilla pyrimme muutenkin siistimään käyrää niin, että turhan terävät mutkat poistettiin ja käyräesityksestä tuli pehmeämmän näköinen.

Joissakin paikoissa rakennuksen ympärille kuvautui yksittäinen kumpare, jonka muoto oli kuitenkin hankala ja se leikkautui rakennuksen kohdalta osittain pois. Vaihtoehtona olisi ollut jälkikäteen venyttää käyrä rakennuksen ympärille, mutta parempi keino oli poistaa käyräpisteet rakennuksen vierustalta, jottei käyrää kuvaudu kohteeseen lainkaan. Rakennusten läheisyydessä olevat terassit ja kellarikerrosten autotallien ajoluiskat aiheuttivat käyriin virheellisiä mutkia, jotka pyrittiin korjaamaan.

Viime vuosina rakennettujen tai muutoksia kokeneiden alueiden kohdalla on syytä verrata pistepilviaineiston ikää alueen rakentamisajankohtaan. Mikäli pistepilvi on tuotettu alueen ollessa vielä rakentamaton, saattaa käyräesityksestä tulla maaston nykytilannetta huonosti kuvaava ja virheellinen. Tällöin on syytä harkita käyrien poistamista rakennettujen tonttien alueelta. Vaihtoehtoisesti muuttuneille alueille voidaan mitata uusi maanpinta tai tehdä alueelta uusi keilaus. Kokkolassa tällaisia alueita ei ollut kovin paljoa, sillä uusimmat rakennusalueet sijaitsivat vuoden 2011 keilausalueella ja vuoden 2008 keilausalue on pysynyt suurimmilta osilta ennallaan. Kuitenkin muutamilla uusilla asuntoalueilla käyräesityksestä tuli epäluotettava ja sen korjaaminen vaatii jatkotoimenpiteitä.



Kuvio 14. Uuden asuinalueen käyräesityksestä saattaa tulla virheellinen.

Ydinkeskustan alueella erilaisia ympäristöä muuttavia rakenteita on eniten. Siellä kuitenkin suurin osa pinta-alasta on teiden, rakennusten ja asfaltoitujen alueiden peittämää. Käytännössä sääntöalueet leikkaavat keskustan käyristä lähes kaiken pois, eikä käyräesityksen siistimiseen siksi käytetty turhaa aikaa. Karkeaa siistimistä kuitenkin tehtiin mm. puistoalueilla, missä käyrien muoto pyrittiin saamaan selkeämmäksi. Myös joitakin rakennetun ympäristön kohteiden aiheuttamia selkeitä virheitä siistittiin. Tällaisia olivat esimerkiksi ajoramppien ja tukimuurien ympäristön huonon muotoiset ja ylimääräiset käyrät. Päälystetyillä kentillä ja tiealueilla korkeusesitys kuvataan käyrien sijaan kantakartalle sijoitettavilla korkeusluvuilla, jotka voidaan poimia suoraan pistepilvestä. Korkeuslukuja tulee sijoittaa kantakartalle riittävän tiheästi, jotta ne kuvaisivat alueen korkeussuhteita.

5.7.5 Tasainen maasto ja epätasainen maapohja

Luonnontilaisessa metsämaastossa ei ole rakennetun ympäristön kohteita tai kaivettuja oja, jotka aiheuttaisivat käyriin siistimistä kaipaavia ylimääräisiä mutkia. Yleensä käyrät kuvautuivat metsäalueille sitä tyylikkäämmin, mitä jyrkempi rinne maastossa on. Tasaisessa maastossa ja loivassa rinteessä

käyriin saattoi kuitenkin piirtyä mutkia ja koukeroita, joiden aiheuttajana oli luultavasti epätasainen maapohja ja maaston vähäinen kaltevuus (kuvio 9, sivu 35). Tällaisten kohteiden siistimisessä pyrimme poistamaan selvästi muusta käyräesityksestä poikkeavat mutkat, jotta käyräesityksestä tulisi mahdollisimman selkeä. Paikoin käyrät kuitenkin olivat hyvin koukeroisia eikä siistiminen ollut mahdollista. Käyrät jätettiin sellaisiksi, kuin ne olivat. Maastossa ei siis välttämättä ole erityisiä pinnanmuotoja, mutta epätasainen maapohja ja loivapiirteiset korkeuserot aiheuttavat huonon muotoisia käyriä.

Tasaisilla alueilla avainpisteiden poistaminen saattoi välillä myös yhdistää lähekkäisiä käyriä. Näissä kohteissa yritettiin pisteitä luokittelemalla saada käyrä kulkemaan mahdollisimman havainnollisesti. Harvan avainpisteverkon vuoksi käyrä saattoi välillä tehdä ylimääräisen mutkan esimerkiksi tien toisella puolella olevan ojan pohjalle, mikäli siellä oli piste sopivalla korkeudella. Tällaisia poikkeamia ja selviä virheitä pyrimme siistimään, mikäli ne olivat helposti havaittavissa.

5.8 Apukäyrät

Kantakartalla peruskäyrät kuvataan 1 m käyrävälillä ja johtokäyrät 5 m käyrävälillä. Näiden lisäksi voi käyräesitystä täydentämään kartalle ottaa mukaan apukäyriä, joiden tarkoituksena on tuoda lisätietoa maaston korkeussuhteista. Apukäyriä ei kuitenkaan kannata kuvata kaikkialle, sillä ne helposti sotkevat kartan luettavuutta. Käyrätuotannossa apukäyrät piirtyvät koko aineiston alueelle ja siksi ne tuleekin valikoiden poimia kantakartalle valmiista käyräaineistosta. Tätä helpottaa se, että eri käyrätyypit voidaan piirtää käyrätuotannossa omille karttatasoilleen, jolloin perus- ja johtokäyrätasot voidaan siirtää suoraan kantakartalle ja tehdä apukäyrätasolla valikointia. Apukäyrien valikointi vaatii työn tekijältä maaston ja kartan tulkintaa sekä kartan ulkoasun hahmotuskykyä.

Käytännössä apukäyriä kannattaa esittää kartalla silloin kun maasto on niin loivaa, että peruskäyriä on hyvin harvassa. Tällöin apukäyrä täydentää käyrien välimaastoa. Toinen tärkeä apukäyrillä kuvattava kohde on mäen huippu, joka ei peruskäyrälle kuvaudu. Näissä kohteissa apukäyrällä voidaan osoittaa

täsmällisemmin mäen korkein kohta ja sen korkeustaso puolen metrin tarkkuudella. Lisäksi mäen huipulle kannattaa kuvata korkeimman kohdan korkeusluku. Apukäyrillä voidaan myös tarvittaessa ilmentää tarkemmin maaston muotoja täydentämällä peruskäyrien kuvauksesta puuttuvia notkelmia tai kohoumia. Kokkolassa ja vastaavissa tasaisissa maastoissa voidaan apukäyriä käyttää paikoin myös korostamaan rinnettä ja maaston muotoja siellä, missä niitä on. Jyrkissä rinteissä apukäyrien kuvaaminen on kuitenkin tarpeetonta, sillä liian tiheässä olevat käyrät heikentävät kartan luettavuutta. Metsämaastossa kartalla on huomattavasti rakennettua ympäristöä vähemmän kohteita, joten apukäyrien käyttö on siellä järkevämpää kartan luettavuuden kannalta.



Kuvio 15. Apukäyrien tarpeellisuus voidaan valita maaston kaltevuuden mukaan.

Kokkolassa emme ensin aikoneet tuottaa apukäyriä lainkaan, mutta muuttimme kuitenkin mielemme ja ajattelimme, että lähes samalla vaivalla ne saadaan kartalle. Koska apukäyriä ei tarvitsisi viedä kantakartalle kaikkialta, voisi niiden siistimisen jättää vähemmälle huomiolle. Kun apukäyriä päätettiin alkaa tekemään, osoittautui se hieman ongelmalliseksi. Monin paikoin apukäyrät tekivät ylimääräisiä mutkia ja jopa risteäviä silmukoita, jotka näyttivät kartografisesti kamalilta. Ongelmat olivat suurimmillaan loivissa metsämaas-

toissa ja epätasaisilla pinnoilla. Tasaisella puiston ruohokentällä, pelloilla ja jyrkemmissä rinteissä ongelmia oli selvästi vähemmän tai ei lainkaan.

Koska ongelmia ei esiintynyt kaikkialla, emme aluksi ymmärtäneet sen todellista syytä emmekä etsineet oikeaa ratkaisua. Koukeroisia apukäyriä yritettiin siistiä tutuilla luokittelutoiminnoilla, mutta monin paikoin tulokset olivat heikkoja. Mutkikasta käyrää ei pystynyt siistimään, sillä pisteitä olisi pitänyt poistaa liikaa ja tämä olisi paikoin vaikuttanut myös peruskäyriin. Apukäyrän huonon ulkoasun ajateltiin johtuvan maaston epätasaisuudesta ja vähäisestä kaltevuudesta, joka oli toisaalta hieman kummallista, sillä samassa maastossa peruskäyrät kuvautuivat ilman pahoja ongelmia. Peruskäyrät saattoivat toki olla hyvin mutkikkaita, mutta ne olivat aina yhteneväisiä käyriä, eikä risteäviä silmukoita esiintynyt lainkaan.



Kuvio 16. Peruskäyrän ja apukäyrän ero epätasaisessa metsämaastossa, kun avainpisteitä luokiteltaessa käyrävälinä on 1 m.

Ongelman syyksi paljastui aiemmassa työvaiheessa tehdyt käyrien avainpisteiden määritykset, joissa käyrävälinä käytettiin 1 m asetusta. Tämän määrittämyksen perusteella ohjelma poimii avainpisteiden luokkaan maanpinnan pisteistä niitä pisteitä, jotka ovat mahdollisimman kaukana asetetun käyrävälin mukaisista korkeustasoista. Toiminnon ansiosta pisteiden korkeudet ovat

keskimäärin 15–30 cm päässä käyrän tasosta sen molemmin puolin. Toiminto on erittäin tärkeä, sillä sen vuoksi käyrät saadaan interpoloitua pehmeästi. Koska käyräväliksi oli määritelty 1 m, luokittelutoiminto valikoi pisteitä toivotulla tavalla vain peruskäyrien kohdalla. 0,5 m apukäyrien kohdalla ohjelma ei tätä tehnyt ja avainpisteissä oli mukana paljon pisteitä, joiden korkeustaso oli alle 5 cm sisällä apukäyrän tasosta. Tämän takia käyrään piirtyi silmukoita, koukeroisia muotoja ja epäjatkuvuuskohtia runsaasti.

Ongelma huomattiin vasta siinä vaiheessa, kun aineistoa oli jo ehditty käsitellä runsaasti. Työtä ei siksi aloitettu alusta, vaan apukäyrät tehtiin uusilla määrittelyksillä jälkeenkäin kokonaan uudessa projektissa. Uusia apukäyriä varten siis luokiteltiin uudelleen korkeuskäyrien avainpisteet 0,5 m käyrävälillä ja alkuperäisestä aineistosta jätettiin apukäyrät kokonaan pois lopullisessa laskennassa. Uusilla määrittelyksillä tehdyt apukäyrät olivat selvästi parempia ja niiden käsittely oli helpompaa. Apukäyrien siistimisessä ei oltu pintamallia vaan se tehtiin jälkikäsittelemällä MicroStationissa yhtä aikaa apukäyrien valikoinnin kanssa. Apukäyrien siistimisessä käytettiin tuotettuja peruskäyriä referenssitiedostona taustalla, jotta voitiin varmistaa, etteivät apukäyrät kuvautu peruskäyrien kanssa ristiin missään tilanteessa.

5.9 Käyrien laskeminen koko projektille

Lopulliset korkeuskäyrät laskettiin siistimisvaiheen jälkeen. Laskentaa varten muodostettiin elementtien kolmioinnin säännöt TerraModelerin Kolmioelementit -toiminnolla. Sääntöjen avulla voidaan pintojen kolmiointiin ottaa huomioon erilaisia elementtejä, jotka laskennassa luetaan erillisistä referenssitiedostoista. Monikulmio määritettiin 2D-aukoksi, joka leikkaa pintamalliin aukon. Tätä tarvitaan sääntöalueiden ja rakennusten kohdalla, jotta käyrät leikautuvat niiden kohdalta pois. Yhdistelmäviiva määritettiin pehmeäksi taiteviivaksi, jolloin rantaviiva tulee taiteviivana mukaan pintamallin kolmiointiin ja ohjaa käyrien piirtymistä lähellä rantaa. (Terrasolid Oy 2007, 44.)

Seuraavaksi luotiin tuotettavien käyrätiedostojen siementiedosto. Se on tyhjä tiedosto, johon on liitetty referenssiksi sääntöalueet, rakennukset ja rantaviiva, eli kaikki ne elementit, jotka säännöissä on määritetty mukaan pintojen

kolmiointiin (Närhi 2012, 2). Siementiedostoon luotiin ne tasot, joille erilaiset käyrät ja lukematekstit haluttiin kirjoittaa. Kaikki tasot laitettiin näkyviin ja siementiedosto tallennettiin omaan kansioonsa.

Tämän jälkeen avattiin TerraModelerin Esitä korkeuskäyrät -toiminto, jossa määrättiin korkeuskäyrien piirtotavaksi kirjoita kuvatiedostoon sekä elementtityyliksi käyrä. Seuraavaksi valittiin kirjoitettavat käyrät ja niiden käyrävälit sekä viettoviivat ja lukematekstit otettiin käyttöön. Korkeuskäyrien asetukset ikkunassa määritettiin siementiedostoa vastaavat käyrien tasot sekä muut käyrien ominaisuudet, joita olivat johtokäyrien paksumpi viivatyylit, apukäyrien katkoviivan tyyli, 200 m² minimalia kumpareille ja supille sekä yhdistelmäketjujen ja käyrien pehmennyksen käyttö.

Käyrille määritettiin harvennusasetukset, jotka karsivat muodostuvien vertek-sien määrää ja helpottavat siten aineiston lataamista paikkatietojärjestelmään. Asetuksina käytettiin Jyväskylän kaupungilta saadun mallin mukaisesti 4 m, 0,75 m ja 16° määrityksiä. (Närhi 2012, 7.)

Lukemateksteille määritettiin omat asetuksensa, joissa lukematekstien välimatkaksi asetettiin 180 m, tekstit sijoitettiin käyrän päälle ja ylämäkeen sekä tekstin alle jäävä käyrän osa katkaistiin. Miinusmerkkisten käyrien merkki asetettiin näkyväksi ja lukematekstit määritettiin kirjoitettavaksi halutulle tasolle. Viettoviivojen asetukseksi määriteltiin 150 m etäisyys, viivan muodoksi viiva ja pituudeksi 1 metri. Määrittelyjen jälkeen korkeuskäyrien, viettoviivojen ja lukematekstien asetukset tallennettiin laskentaa varten asetustiedostoksi.

Toisena asetustiedostona määritettiin huippu- ja pohjalukemien kirjoitus TerraModelerin Kirjoita huippu- ja pohjalukemat -toiminnon kautta. Asetuksiin määritettiin halutut tasot, käyräväliksi 1m sekä maksimi- ja minimalaksi 200 m². Nämäkin määritykset tallennettiin laskentaa varten asetustiedostoksi. Lisäksi määritettiin TerraModelerin asetuksiin huippu- ja pohjalukemien esitystavaksi kohdistus desimaalipisteeseen ja pistemeriksi zero length line (Närhi 2012, 7).

Alkuperäisessä projektitiedostossa avattiin TerraModelerin yleiskäskyjen Pinnat-dialogi, minkä jälkeen valittiin piirtoalueen blokit ja avattiin dialogin Tuota korkeuskäyrät -rutiini. Aukeavassa ikkunassa määritettiin siementie-

doston hakemisto ja valittiin se myös tuotettavien käyrätiedostojen hakemistoksi. Seuraavaksi haettiin tallennetut säännöt pintojen kolmiointia varten sekä asetustiedostot korkeuskäyriä ja huippulukemia varten. Ikkunassa määritettiin mallin puskuriksi 100 m etäisyys. Tämän toiminnon avulla pintojen kolmioinnissa otetaan huomioon myös viereisissä blokeissa 100 m sisällä blokin reunasta olevat avainpisteet. Tämän vuoksi blokkien pintamallit ja tuotettavat korkeuskäyrät muodostuvat yhteneviksi koko projektin alueelle, eikä blokkien reunoille synny epäjatkuvuuskohtia.

Tuota korkeuskäyrät

Mallin asetukset
 Mallin puskuri: 100.000 m ruudun ympärillä
 Talleta jokainen malli

Korkeuskäyrät sekä maksimi- ja minimilukemat
 Piirrä korkeuskäyrät
 Asetukset: J:\PROJEKTIT\Korkeuskäyrätuotanto\Säännöt\Käyräasetukset.se Selaa...
 Kirjoita maksimit ja minimi
 Asetukset: J:\PROJEKTIT\Korkeuskäyrätuotanto\Säännöt\Huippu ja pohjalut Selaa...

Luotavat kuvatiedostot
 Siementiedosto: tuotanto\Kokkola eteläinen contours\Kokkola eteläinen seed.dgn Selaa...
 Hakemisto: J:\PROJEKTIT\Korkeuskäyrätuotanto\Kokkola eteläinen contours Selaa...
 Nimen etuliite: contours

Pintamallin tietolähteet
 Laseripisteet
 Projekti: skäyrätuotanto\Kokkola eteläinen CKP\Kokkola eteläinen CKP.prj Selaa...
 Luokat: 18
 Karttaelementit
 Vektorelementit
 Säännöt: J:\PROJEKTIT\Korkeuskäyrätuotanto\Säännöt\Kokkola säännöt.1 Selaa...

OK Peruuta

Kuvio 17. Käyrien laskennan asetukset.

Valmisteluiden päätteeksi laskentaa kokeiltiin ensin pienelle alueelle. Kun kaikki oli kunnossa, käynnistettiin laajamittainen laskenta, joka eteni blokki kerrallaan ja käyrät kirjoittuivat omiksi dgn-tiedostoihinsa valittuun hakemistoon. Laskennan tuloksena syntyi blokkien määrää vastaavat dgn-tiedostot, joissa oli siementiedoston mukaiset tasot ja käyräelementit näillä tasoilla. Jostakin syystä kaikki elementit eivät kuvautuneet oikeille tasoille ja niitä jouduttiin jälkikäteen siirtämään. Siirtojen yhteydessä käyräelementtejä edelleen ryhmiteltiin, jotta kaikki käyräesityksen osat olisivat omilla tasoillaan. Tästä ei

aiheutunut suurta vaivaa, sillä kaikki elementit olivat erilaisella viivatyylillä tai värillä kuvattuina ja elementtien valinta oli siksi helppoa.

Tiedostot yhdistettiin avaamalla yhteen tiedostoon referenssiksi muut tiedostot ja kopioimalla kaikki elementit Fence file -toiminnolla uuteen tiedostoon. Tämän jälkeen suoritettiin käyrätuotantoalueen rajaus. Alueen ulkopuolelle jääneet käyrät poistettiin. Valmiille käyräaineistolle suoritettiin MicroStationissa käyrien jälkikäsittelyä, jonka tarkoituksena oli välttää turhien käyrien viemistä paikkatietojärjestelmään ja edelleen parantaa käyräesityksen ulkoasua. Jälkikäsittelyn kohteena olivat lähinnä sääntöalueilla leikkaamisen jälkeen tiealueelle jääneet lyhyet käyrän pätkät, jotka poistettiin. Myös puutteellisten sääntöalueiden vuoksi leikkautumatta jääneitä käyriä katkottiin ortokuvan avulla MicroStationin työkaluilla.



Kuvio 18. Tiealueelle jääneet turhat käyrän pätkät poistettiin jälkikäsittelynä.

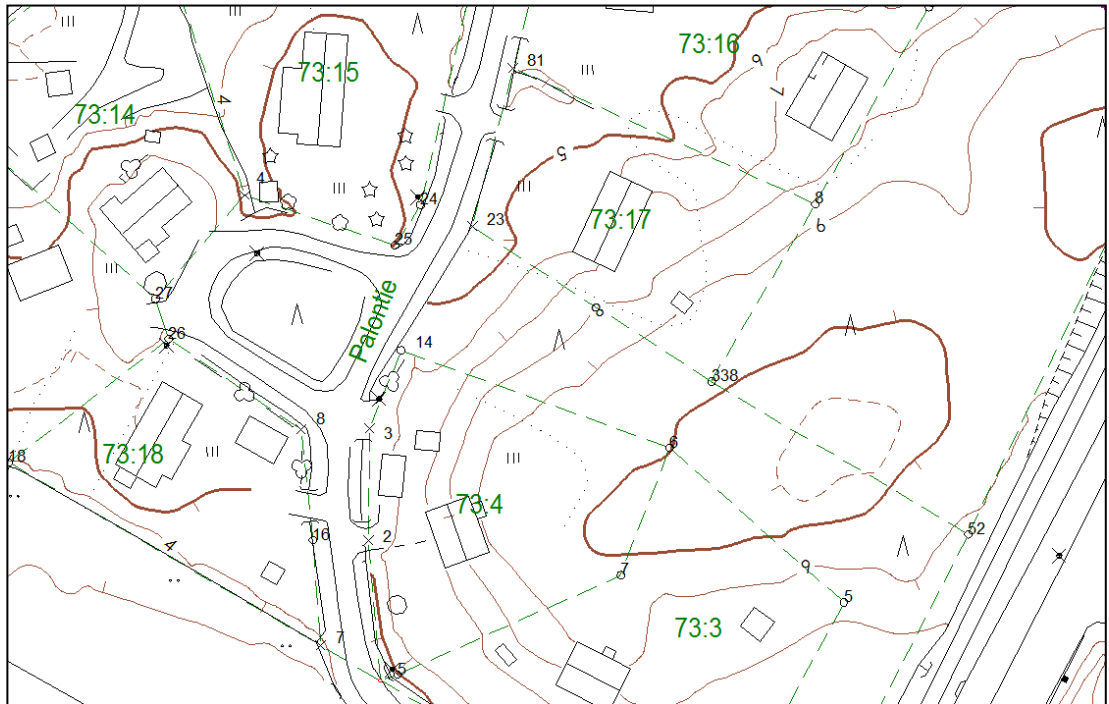
5.10 Käyrien siirto Tekla GIS -järjestelmään

Käyrätiedoston karkean jälkikäsittelyn päätteeksi tiedosto tallennettiin dwg-formaattiin ja käyrät siirrettiin Tekla GIS -paikkatietojärjestelmän tietokantaan. Siirtoa varten kantakartalle luotiin uudet lajit kaikille käyrätyypeille sekä viettoviivoille ja korkeusluvuille. Myös käyrien kuvaustekniikka päivitettiin vastaamaan Karttakohdemallin ohjeistusta, jonka mukaan johtokäyrän viivapak-

suus on 0,4 mm ja muiden käyrien paksuus 0,2 mm. Apukäyrä kuvataan katkoviivalla ja käyräelementtien väri on ruskea. (Maanmittauslaitos 1997, 57.) Tämän jälkeen tehtiin lajivastaavuustiedosto tekstieditorilla. Siinä oli listattuna kaikki kantakartan käyräesityksen lajit sekä niitä vastaavat dwg-tiedostojen tasot.

Siirto tehtiin Tekla GIS:n normaalilla Lue tiedosto -toiminnolla. Toiminnossa valittiin yksitellen lajivastaavuustiedoston mukaiset käyräelementit oikeille lajeille. Siirretyt käyrät tallennettiin mittaustavalla laserkeilaus. Huippu- ja pohjalukemien siirto ei onnistunut samalla tavalla kuin muiden käyräelementtien lukeminen, vaan ne jouduttiin lukemaan kantaan erikseen ASCII-muotoisena tiedostolistauksena.

Käyräaineiston viimeistely jätettiin kantakarttaa ylläpitävän kaupunkimitäusyksikön tehtäväksi. Viimeistelyssä käyrät sovitetaan yhteen kantakartan muiden kohteiden kanssa, jotta kartasta tulee mahdollisimman hyvin luettava. Käyriä voidaan viimeistelyssä pyöristää, katkoa, yhdistää ja siirtää. Turhia pätkiä voidaan edelleen poistaa, käyrien päitä kohdistaa ja lukematekstien ja viettoviivojen sijoittelua parantaa.



Kuvio 19. Valmiit korkeuskäyrät kantakartalla.

6 TARKISTUSMITTAUS

6.1 Tarkistusmittauksen lähtökohdat

Opinnäytetyön käytännön osioon kuului tuotettujen korkeuskäyrien tarkistusmittaus. Tarkistusmittauksen tavoitteena oli tutkia käyrätuotannossa käytettyjen menetelmien ja määritysten toimivuutta sekä mitata tuotettujen käyrien tarkkuutta erilaisissa maastokohteissa. Mittaus oli osa korkeuskäyrien tuottamisen laadunvarmistusta. Tarkistusmittaus suoritettiin Kokkolan eteläisellä alueella, jonne kokeiltiin ensimmäisenä käyrien laskentaa projektitasolla.

Tarkistusmittauksen lähtökohtana toimivat Kaavoitusmittausohjeissa esitetyt vaatimukset asemakaavan pohjakartan korkeuskäyräesityksen korkeustarkkuudesta ja korkeusesityksen tarkastamisesta. Ohjeissa on määritelty mittaussluokittain korkeuskäyrällä olevan pisteen tai numeerisesta korkeusmallista interpoloidun pisteen korkeuskeskivirheet. Tarkistusmittauksen lähtökohtana käytettiin mittaussluokan 1 keskivirhettä, joka määritellään seuraavasti:

$$dh = 0,3m + 1,0m * \tan v$$

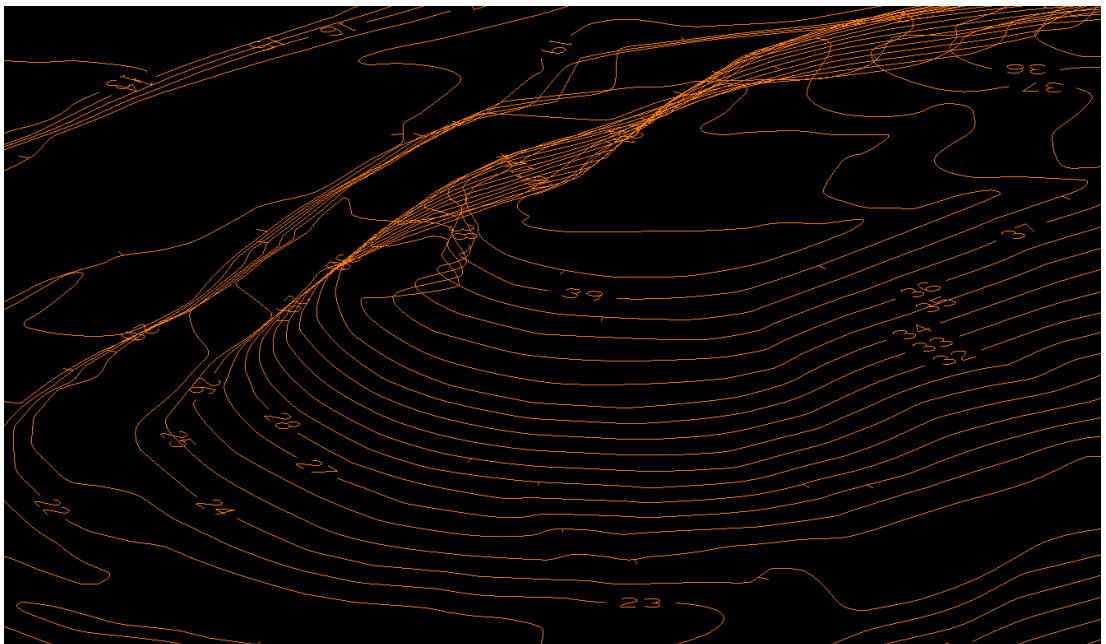
Kaavassa v tarkoittaa maaston kaltevuutta asteina ja siitä laskettava tangentti on korkeuden suhde tasomatkaan. Maaston kaltevuus siis vaikuttaa sallittuun korkeuskeskivirheeseen siten, että rinteiden kaltevuuden kasvaessa myös sallittu keskivirhe kasvaa. Lisäksi Kaavoitusmittausohjeissa sanotaan, että erittäin vaikeassa rikkonaisessa maastossa keskivirhe saa olla kaksinkertainen. (Maanmittauslaitos 2003, 55.)

Kaavoitusmittausohjeiden mukaan rakennusten ja rajamerkkien sijainnin tarkastamismenetelmäksi soveltuu RTK-mittaus tai säteittäinen kartoitus kiintopisteeltä tai muulta vastaavalla tarkkuudella määritetyltä pisteeltä. Mittaustulokset tulee analysoida tarkoitukseen soveltuvilla testeillä. Ohjeissa sanotaan myös, että näitä menetelmiä tulee soveltaa tasosijainnin lisäksi myös korkeuskäyrien ja maanpinnan korkeusmallin tarkastamisessa. (Maanmittauslaitos 2003, 34.)

6.2 Käytännön toteutus

Tuotettujen korkeuskäyrien tarkistusmittaus suoritettiin Kokkolan kaupungin kaupunkimittausosaston satelliittipaikannuslaitteistolla. Laitteistoon kuuluivat Trimble R8 GNSS -vastaanotin ja TSC2-maastotallennin Trimble Access ohjelmistolla varustettuna. Laitteisto toimii Geotrimin VRS-verkossa ja se käyttää paikannuksessa sekä GPS että Glonass satelliitteja. Vastaanottimen tarkkuus on maahantuojaan mukaan kinemaattisessa mittauksessa tasossa ± 10 mm + 1 ppm RMS ja korkeudessa ± 20 mm + 1 ppm RMS (Geotrim Oy 2012). Tämä tarkkuus on korkeuskäyrien tarkistamiseen riittävän hyvä. Mittauksissa käytettiin kaupunkimittausyksikön käyttämiä mittauseräilyasetuksia.

Ennen mittauksia valittiin mittaukseen sopivat alueet ja tehtiin näiden alueiden korkeuskäyrästä MicroStationissa dxf-tiedosto. Tiedosto ladattiin maastotallentimeen ja avattiin mittauksityöhön aktiiviseksi kartaksi. Lisäksi maastoon otettiin mukaan paperikarttoja silmämääräistä maastotarkastelua varten.



Kuvio 20. Korkeuskäyrät 3D-tarkastelussa dxf-tiedostona MicroStationissa.

Mittauksia tehtiin erilaisilla alueilla, joissa maaston kaltevuus, maapohja ja erilaisten rakennettujen kohteiden määrä vaihtelivat. Mittausalueet olivat pääasiassa avoimia alueita, joilla satelliittipaikantimella mittaaminen onnistuu ja laitteen tarkkuus on mahdollisimman hyvä. Mittausalueeksi valittiin Kaustarin alue, koska siellä on vaihtelevaa maastoa ja rakennettua ympäristöä. Alu-

eella sijaitsee myös Kokkolan korkein tekomaäki, jossa voitiin mielenkiinnon vuoksi tarkastella käyrien tarkkuutta myös pohjanmaalaisittain poikkeuksellisen jyrkässä rinteessä. Paikantimen helppo käytettävyys mahdollisti mittauksen useista kohteista lyhyessä ajassa.

Mittauskohteet olivat seuraavat:

1. lähes tasainen ojitettu pelto
 - 1a alaosa, erittäin loiva
 - 1b yläosa, hieman kaltevuutta
2. kalteva pelto junaradan ratapenkan vieressä
3. tekomaäen rinne
 - 3a muotoiltu
 - 3b tasainen, jyrkkä
 - 3c tasainen, erittäin jyrkkä
4. loivapiirteinen metsä
5. rakennettu ympäristö hiihtomajan pihalla ja omakotialueella.

Mittauskohteissa haettiin maastotallentimen aktiivisen kartan avulla korkeuskäyrän sijainti maastossa. Käyrältä kartoitettiin pisteitä valikoiduista paikoista, jotta saataisiin selville käyrän korkeustarkkuus. Lisäksi suurimpien korkeuspoikkeamien kohdalta haettiin maastosta paikka, jossa käyrän pitäisi oikeasti kulkea. Näin saatiin selvitettyä käyrän sijainnin poikkeavuudet erilaisilla maaston kaltevuuksilla. Maaston kaltevuuden selvittämiseksi kartoitettiin tarvittaessa myös korkeuskäyriä vasten kohtisuora kaltevuusjana.

6.3 Tarkistusmittauksen tulokset ja analysointi

Tarkistusmittaus onnistui suunnitellulla tavalla ja mittaustuloksia kertyi yli 150 pisteestä. Lisäksi maastosta saatiin paljon silmämääräisiä havaintoja mittaustulosten tueksi. Jälkikäteen ajateltuna olisi muutamista kohteista kannattanut mitata enemmän pisteitä, mutta tulokset ovat kuitenkin riittävän kattavat käyrätuotannon tarkkuuden ja menetelmien arvioimiseksi.

Mittaustulokset käsiteltiin Rovaniemen Ammattikorkeakoululla 3D-Winohjelmistolla, joka on tarkoitettu maastomittaustiedon jatkokäsittelyyn (3D System Oy 2012). Ohjelmalla laskettiin mittauskohteiden kaltevuudet ja tar-

kasteltiin mitattujen pisteiden korkeusasemaa. Tiedot siirrettiin Excel taulukkolaskentaan, jossa laskettiin sallitut korkeusvirheet ja kirjattiin tulokset taulukkoon

Taulukko 1. Tarkistusmittauksen tulokset.

Mittauskohde	Maaston kaltevuus (aste)	Sallittu korkeusvirhe (m)	Keskimääräinen korkeusvirhe (m)	Suurimmat sijaintipoikkeamat (m)
1a	0,28	0,30	0,05	13
1b	1,43	0,32	0,09	8
2	3,01	0,35	0,11	2
3a	8,13	0,44	0,13	1,5
3b	13,70	0,54	0,19	1,5
3c	38,65	1,10	0,20	0,5
4	3,17	0,36	0,14	ei mitattu
5	vaihteleva	vaihteleva	0,18	ei mitattu

Taulukosta havaitaan maaston kaltevuuden vaikutus korkeuskäyrällä olevan pisteen sallittuun korkeusvirheeseen. Lähes tasaisessa maastossa on virhemarginaalia vähiten, kun taas rinteiden kaltevuuden kasvaessa myös sallittu korkeusvirhe kasvaa selvästi. Mittaushavainnoista lasketut keskimääräiset korkeusvirheet pysyivät kaikissa mittauskohteissa sallitun virherajan puitteissa ja olivat jopa selvästi sen alle. Yksittäisistä havainnoistakin vain erittäin pieni osa ylitti sallitun virheen. Yleispiirteisesti arvioituna käyrien korkeustarkkuus on siis vaatimusten mukainen.

Mittauskohteet 1a, 1b ja 2 olivat kaikki pellolta. Kohteessa 1a maasto oli lähes tasainen, kun taas kohteissa 1b ja 2 pelto oli loivassa rinteessä. Pellolla maapohja oli sateen jäljiltä todella pehmeä ja kartoitussauvan uppoaminen maahan saattoi vaikuttaa hieman mittaustuloksiin. Tulosten perusteella käyrät piirtyvät tällaisille alueille erittäin tarkasti ja muutamissa havaintopaikoissa käyrältä mitattu piste oli täsmälleen oikeassa korkeudessa. Mielenkiintoista oli kuitenkin havaita käyrän suuret sijaintipoikkeamat tällaisessa maastossa. Lähes tasaisessa maastossa käyrän oikea sijainti olisi ollut jopa yli 10 metrin päässä, vaikka käyrän korkeustarkkuus olikin hyvä. Tietokoneella käyriä käsiteltäessä tuli vastaan tilanteita, joissa tämä sijaintipoikkeama olisi varmasti ollut vieläkin suurempi. Tasaisessa maastossa käyrien välimatka on kartalla todella suuri, eikä tällöin käyrän sijainnilla ole juurikaan merkitystä. Mittauskohteissa 1a ja 1b olleet ojat eivät vaikuttaneet juurikaan käyrällä olevien pis-

teiden korkeustarkkuuteen, eli tämän perusteella voidaan todeta, että ojien siivous on ainakin tällä alueella onnistunut hyvin ja siivoamisessa käytetty menetelmä on toimiva. Tässä kohteessa ojat olivat kuitenkin pieniä ja pellon kaltevuus ei juuri muuttunut ojan ympäristössä. Suurempien ojien ympäristössä tulokset olisivat todennäköisesti olleet heikompia.

Mittauskohteessa 2 olevan rautatiepenkereen kohdalla on myös tehty siivousta, jotta käyrät kulkisivat suoraan radan yli. Rautatien ja sen vierellä olevan luiskamerkintä-alueen kohdalta käyrät on katkaistu sääntöalueiden avulla. Yhdessä mittauspisteessä käyrän pää ulottui liian pitkälle ratapenkan päälle ja korkeusvirhettä kertyi toista metriä. Tässä kohteessa sääntöalue oli jäänyt hieman liian kapeaksi. Muutoin korkeustarkkuus oli käyrän päässä rautatien vieressä samaa luokkaa kuin pellollakin. Käyrät näyttivät myös hyviltä, joten siivous on tässäkin tapauksessa onnistunut, vaikka pintamallin korkeutta on siivotessa oikaistu jopa pari metriä rautatien kohdalla.

Mittauskohteet 3a, 3b ja 3c sijaitsivat aukean tekemäen rinteessä. Loivemmassa osassa kaltevuus on vielä tavanomainen, mutta jyrkät rinteet ovat ainakin Kokkolan seudulla täysin poikkeustapauksia. Alueelle tehty mittaus antaa kuitenkin mielenkiintoista informaatiota käyrien tarkkuudesta jyrkissä rinteissä. Tulosten perusteella voidaan todeta, että tasaisessa rinteessä käyrällä olevien pisteiden tarkkuus on erinomainen. Tekemäen rinteessä olevat pienet kumpareet tekevät käyrään mutkia ja mutkan kohdalla korkeusvirheet olivat selvästi suurempia kuin rinteiden tasaisella osalla. Tarkkuus pysyi kuitenkin sallituissa rajoissa ja käyrän muoto kuvaa hyvin maaston vaihteluita. Mittauskohde 3c oli tekemäen jyrkimmästä rinteestä ja siksi täysin poikkeuksellinen. Mittauskohteessa kaltevuus oli lähes 40°. Tässäkin kohteessa tarkkuus oli yllättävän hyvä, vaikka loivempiin rinteisiin nähden virhettä oli hieman enemmän. Huomioitavaa on myös käyrän sijaintipoikkeaman pienentyminen rinteiden kaltevuuden kasvaessa. Jyrkässä rinteessä käyrät kuvaavat siis maastoa erittäin hyvin ja asettuvat paremmin paikalleen kuin loivapiirteisessä maastossa. Myös korkeustarkkuus säilyy sallittuun virheeseen suhteutettuna parempana ja käyrien muoto on yleensä kartografisesti hyvä.

Mittauskohteessa 4 oli nuorta mäntymetsää ja rinteiden kaltevuus oli varsin loiva. Tällainen maasto on Kokkolassa melko tyypillinen. Peitteisessä maastossa satelliittipaikantimella mittaaminen oli vaikeaa, koska laite kadotti tarpeeksen fixed-tilan helposti. Siksi mittauksia kertyikin hyvin vähän ja tämä hieman laskee tulosten luotettavuutta. Myös epätasainen maapohja saattaa aiheuttaa vaihtelua tuloksiin. Mittauksessa pyrittiin kuitenkin valitsemaan mittauspisteet maanpinnan keskimääräiseltä korkeudelta. Tulosten vähäisestä määrästä huolimatta voidaan todeta, että käyrät kuvautuvat metsämaastossakin riittävän tarkasti.

Mittauskohde 5 oli laajempi alue, jossa oli omakotialueen pihojen ja teiden sekä Kaustarin hiihtomajan ympäristöä. Mittauspisteitä valittiin satunnaisista kohteista ja lisäksi tehtiin paljon silmämääräistä tarkastelua kartan avulla. Omakotialueen rakennettu ympäristö heikensi selvästi käyrien korkeustarkkuutta verrattuna rakentamattomaan maastoon. Käyriltä mitattujen pisteiden korkeustarkkuus oli silti kohtalaisen hyvä ja silmämääräisten havaintojen perusteella käyrät kuvaavat hyvin maaston muotoja. Käyrä esimerkiksi mukaili hyvin omakotitalojen pihojen rakennettuja kiveyksiä ja istutuksia. Käyrän luotavuuden kannalta tiheään rakennetut alueet ovat ongelmallisia, sillä käyrä joudutaan leikkaamaan pois teiden ja rakennusten kohdalta ja käyräesityksestä tulee siksi katkonainen.

Lisäksi tarkistusmittauksen yhteydessä havaittiin, että mäkiä pienialaiset huiput eivät aina kuvautu käyrille. Tämä johtuu käyrätuotannossa käytetystä 200 m² Pikes and pits -asetuksesta. Tällä asetuksella käyrät eivät kuvautu tätä neliömäärää pienemmille alueille. Vastaavasti voidaan olettaa, että paikoin myös maaston matalimmat supat ovat jääneet käyriltä pois. Pikes and pits -asetuksessa olisi kannattanut ainakin kokeilla hieman pienempää neliömetrirajaa, jolloin mäkiä huiput olisivat saattaneet kuvautua paremmin.

Yhteenvetona tarkistusmittauksen tuloksista voidaan todeta, että ne olivat toivotunlaisia. Käyrät kuvaavat maaston muotoja hyvin ja käyriltä mitattujen pisteiden korkeustarkkuus on keskimäärin selvästi vaatimuksia parempi. Käyrätuotannossa käytettyjä määrittämiä ja menetelmiä voidaan siis pitää onnistuneina. Kuitenkin on syytä todeta, että mittauskohteet olivat satunnaisesti

valittuja ja sijaitsivat enimmäkseen selkeillä ja avoimilla alueilla. Tämän vuoksi hyviin tuloksiin on syytä suhtautua varauksella ja tiedostaa, että käyrien tarkkuus ei kaikkialla ole näin hyvä. Suurimpia virheitä esiintyy todennäköisesti rakennetun ympäristön alueella ja kohteissa, joissa pintamallia on siistimisessä oikaistu huomattavasti. Esimerkiksi teiden reunoilla ja ojien kohdalla kartografinen ulkoasu on ollut siistimisessä lähtökohtana ja korkeustarkkuus on siksi heikentynyt selvästi.

Mittaukset suoritettiin Kokkolan eteläisellä alueella ja hyvien tulosten ansiosta myös Kokkolan muille alueille käyriä tuotettaessa päätettiin käyttää samoja menetelmiä ja asetuksia.

7 YHTEENVETO

7.1 Arvio tuotetusta käyräaineistosta

Korkeuskäyräprojekti oli kokonaisuudessaan vaativa ja opettavainen. Pienillä resursseilla tehty työ kesti selvästi ennakko-oletuksia kauemmin ja useissa työvaiheissa tuli vastaan selvitettäviä ongelmia. Koska vastaavaa työtä ei ole tehty Kokkolassa aiemmin, kului myös erilaisten asetusten ja menetelmien testailuun paljon aikaa.

Käyrät saatiin kuitenkin tuotettua suunnitelmien mukaisesti ja lopputulokseen voidaan olla tyytyväisiä. Uudet käyrät ovat muutamia muuttuneita alueita lukuun ottamatta ajan tasalla ja ne toimivat käyttötarkoituksessaan hyvin. Käyrien tarkkuus on ainakin tarkistusmittauksen perusteella hyvä ja käytettyjen menetelmien avulla käyrät saatiin siistittyä myös kartografisesti tyylikkääksi.

Vanhoihin stereomitattuihin käyriin verrattuna uudet käyrät ovat erilaisia. Laserkeilauksen suuren pistetiheyden ja tarkkuuden vuoksi uudet käyrät saattavat olla hieman tarkempia, mutta niiden ulkoasu on tietyillä alueilla selvästi huonompi. Pistepilveä oli pakko harventaa reilusti, jotta käyrät piirtyisivät pehmeämmin. Harvennuksen jälkeen pisteitä jäi käyrien kannalta tavallaan väärin paikkoihin ja tämä aiheutti tarvetta käyrien siistimiselle. Vanhoissa käyrissä parempia puolia olivat erityisesti pienten kohteiden täsmällisyys ja käyrien selkeämpi muoto. Uusi käyräesitys näyttää kuitenkin kokonaisuutena luonnollisemmalta ja eron vanhoihin käyriin voi huomata pelkästään karttaa vilkaisemalla. Kartan käyttäjien on kuitenkin syytä tiedostaa, että vaikka uudet käyrät ovatkin hyvin ajan tasalla, eivät ne ole kaikkialla täydellisiä. Käyriä jouduttiin yleistämään ulkoasun parantamiseksi ja huolellisesta työstä huolimatta käyriin jäi varmasti virheitä. Siksi suosittelen erityisesti korkeustietoa vaativassa suunnittelussa käytettäväksi myös tarkempia pinta- ja korkeusmalleja käyrien tukena.

Kokkolan kantakartan korkeuskäyräesitys vaatii edelleen jatkotoimenpiteitä. Uusien käyrien viimeistelyyn tulee kiinnittää huomiota, sillä sääntöaluemenetelmän vuoksi käyrät eivät kaikkialla leikkautuneet täsmällisesti ja joukkoon jäi myös ylimääräisiä käyrän pätkiä. Toisena jatkotoimenpiteenä on käyräalu-

een laajentaminen. Kokkolan laserkeilausaineistot eivät kata koko kantakartta-aluetta ja puuttuville alueille tulee tehdä joko uusi keilaus tai vaihtoehtoisesti käyttää Maanmittauslaitoksen valtakunnallisia laserkeilausaineistoja korkeuskäyrien tuottamiseksi. Maanmittauslaitoksen aineisto on kuitenkin ominaisuuksiltaan hieman erilaista, jonka vuoksi sen käyttäminen saattaa vaatia erilaisten asetusten tutkimista. Uusien alueiden käyrät tulee sovittaa rajapinnassa nyt tuotettuun aineistoon.

Tämä opinnäytetyö tehtiin hetkellä, jolloin vuoden 2003 Kaavoitusmittausohjeet olivat vielä voimassa, mutta uutta JHS suositusta kaavan pohjakartan laatimisesta oltiin jo valmistelemassa. Tulevaisuudessa uusi suositus saattaa tuoda joitakin muutoksia kartastotöihin ja siinä luultavasti huomioidaan paremmin myös nykyaikaisten menetelmien käyttömahdollisuudet. Uuden suosituksen luonnoksessa korkeuskäyrien tarkkuusvaatimukset olivat kuitenkin pysyneet samoina, joten vanhojen ohjeiden mukaan tehdyt käyrät ovat todennäköisesti myös uusien vaatimusten mukaiset.

7.2 Johtopäätökset

Päällimmäisenä korkeuskäyrätuotannosta jäi mieleen työn haasteet. Laserkeilattu pistepilvi on lähtökohtana hyvin haasteellinen aineisto, mutta toisaalta sen kattavuus ja tarkkuus mahdollistaa erittäin laadukkaiden korkeuskäyrien tuottamisen. Laadukkaan käyräaineiston tuottaminen vaatii kuitenkin paljon perehtymistä ja resursseja, eikä työtä kannata suorittaa hätäillen, sillä uudet käyrät saattavat olla käytössä jopa useita kymmeniä vuosia. Mikäli jossakin muussa kaupungissa suunnitellaan kantakartan korkeuskäyrien tuottamista omana työnä, suosittelen varaamaan työhön muutaman henkilön kokoaikaisen työpanoksen, jotta projektin läpivienti onnistuu kohtuullisessa ajassa. Kokkolassa kahden hengen osa-aikaisella työpanoksella käyräprojektiin kului aikaa yli puoli vuotta, vaikka etukäteen oli jo tehty merkittäviä työvaihteita.

Erilaiset maastotyytit vaikuttavat selvästi käyrätuotantoon. Kokkolassa suurimmat haasteet johtuivat tasaisesta maastosta, kun taas mäkisempiin paikkoihin käyrien tuottaminen sujui ongelmitta. Mäkisessä maastossa erilaisten asetusten aiheuttamat erot ovat pienempiä, käyrien ulkoasu parempi ja siksi

myös työn määrä vähäisempi. Tasaisten alueiden käyristä voidaan olla kahta mieltä. Joidenkin mielestä käyrien merkitys on sitä suurempi, mitä harvemmassa niitä on, kun taas toisten mielestä tasaisen alueen harvoilla käyrillä ei ole juuri mitään merkitystä (Pekkarinen 2012). Itse kallistun jälkimmäisen mielipiteen puolelle. Korkeuskäyrät kuvaavat maaston korkeuseroja, ja koska tasaisessa maastossa ei sellaisia ole, tulee harvasta käyräesityksestä ulkoasultaan ongelmallinen. Ongelmat ovat paikoin niin suuria, että vastaavassa tilanteessa olevalle kaupungille voisin jopa suositella käyrätuotannon jättämisestä konsulttien haasteeksi, mikäli maasto on erityisen loivapiirteinen. Toisaalta ongelmia ratkoessa oppii paljon uutta ja itse tehdyn aineiston ominaisuudet ovat paremmin tiedossa. Mäkisessä maastossa tyylikkäätkä käyrät taas syntyvät niin helposti, että ne kannattaa tehdä omana työnä. Onneksi Kokkolasta löytyi myös useita tällaisia alueita.

Opinnäytetyötä tehdessä nousi esille erilaisten kartta- ja paikkatietoaineistojen käyttöön liittyviä asioita. Erityisen hyvänä apuvälineenä käyrätuotannossa olivat ortokuvat. Keilauksen yhteydessä tuotettujen tarkkojen ortokuvien avulla saattoi tunnistaa monia käyriin vaikuttavia maaston kohteita ja siten ymmärtää paremmin käyrien käyttäytymistä. Kokkolan uudempien keilausten yhteydessä ei ole hankittu ortokuvia, mutta käytössä oli kuitenkin lähes samanikäiset kuvat, jotka olivat huonommasta tarkkuudesta huolimatta myös käyttökelpoisia. Tarkkoja ortokuvia kannattaisi mielestäni käyttää Kokkolassa nykyistä enemmän kartta-aineistojen tuottamisessa. Esimerkiksi kantakartan tarkistamiseen ja päivittämiseen ortokuvat soveltuvat mainiosti ja tarvittaessa pistepilven avulla saadaan digitoitaville kohteille myös korkeus kolmiulotteista maastomallia varten. Käyrätuotannossa nousi useaan otteeseen esille kantakartan puutteet ja virheet. Mielestäni aineiston ajantasaisuuteen ja täsmällisyyteen tulisi kiinnittää enemmän huomiota ja varmistaa, että suunnitteluun annetaan luotettavaa lähtötietoa.

Kokkolan kaupungin pistepilviaineistojen käyttöaste on nykyisellään selvästi liian alhainen, eikä aineistojen mahdollisuuksia hyödynnetä tarpeeksi. Mielestäni kalliita aineistoja ei kannata ainoastaan säilyttää vanhenemassa verkkoasemilla, vaan ottaa ne käyttöön mahdollisimman tehokkaasti. Aineistojen käytettävyyden parantamiseksi tulisi tehdä yhteistyötä teknisen toimialan eri

osastojen välillä ja pohtia yhdessä tarpeellisia kehittämiskohteita. Tulevaisuudessa suunnittelu tulee painottumaan vielä nykyistä enemmän 3D-ympäristöön, jolloin laserkeilaus antaa ylivoimaisesti parhaat lähtökohdat ympäristön mallintamiselle. Perinteisen kartan merkitys tulee varmasti vähenemään ja korkeussuhteiden esittämisessä erilaiset mallit tulevat monissa käyttötarkoituksissa korkeuskäyrien tilalle. Perinteinen kartta ei kuitenkaan tule täysin häviämään ja korkeuskäyrillä on jatkossakin tärkeä tehtävä maaston korkeussuhteiden ilmentämisessä kartalla.

LÄHTEET

- 3D System Oy. 2012. 3D Win. Osoitteessa <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>. 6.11.2012.
- Ahola, M – Musto, M. 2011. Valtakunnallinen N60-N2000 muunnos. Maanmittaus 86:2, 32–40.
- Bentley Systems. 2012. MicroStation. Osoitteessa <http://www.bentley.com/en-US/Products/MicroStation/>. 10.11.2012.
- Blom Kartta Oy. 2008. Kokkolan kaupunki, laserkeilaus 2008, loppuraportti.
- FM-International Oy. 2011. Kokkola työsuunnitelma, Ilmakuvaus ja pohjakartan laatiminen.
- Geotrim Oy. 2012. Trimble R8 GNSS vastaanotin. Osoitteessa <http://www.geotrim.fi/shop/trimble-r8-gnss-vastaanotin/>. 6.11.2012.
- Hakala, J. 2012. Kokkolan kaupungin N2000-vaaitusten tasoitus, N60–N2000 siirtokorjaus, NN–N2000 siirtokorjaus. Raportti, Geopixel Oy.
- Hyyppä, H – Hyyppä, J. 2007. Kansallisen laserkeilauksen mahdollisuudet. Maankäyttö 1/2007. 6-8.
- Hyyppä, M. 2012. Kokkolan kaupungin kaavasunnittelijan haastattelu. 2.11.2012.
- Ilmatieteen laitos. 2012. Ilmatieteen laitoksen vahvistama teoreettinen keskivesi 2006–2010. Osoitteessa <http://cdn.fmi.fi/legacy-fmi-fi-content/documents/keskivesi/fi/2006.html>. 10.12.2012.
- Jakobsson, A. 2004. Maastotietoa kuntien aineistoista vai kuntien aineistot osana maastotietokantaa. Maankäyttö 4/2004, 26–29.
- JUHTA. 2008a. JHS 153 ETRS-89 järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. Osoitteessa <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS153/JHS153.pdf>. 10.11.2012.
- JUHTA. 2008b. JHS 154 ETRS-89 järjestelmään liittyvät, karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako Osoitteessa <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154.pdf>. 10.11.2012.
- JUHTA. 2008c. JHS 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000. Osoitteessa <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS163/JHS163.pdf>. 12.11.2012.
- JUHTA. 2010. JHS 178 Kunnan paikkatietopalvelurajapinta, Liite 1 Kantakartan mallinnus tiedonsiirtoa varten. Osoitteessa http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS178_liite1/JHS178_liite1.pdf. 28.1.2013.
- JUHTA. 2012a. JHS-suositukset. Osoitteessa <http://www.jhs-suositukset.fi>.
- JUHTA. 2012b. JHS-suositusten tiivistelmät. Osoitteessa <http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/recommendations/abstracts>.
- Kaavoitusmittausasetus. 23.12.1999/1284. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19991284>. 9.1.2013.
- Koljonen, R. 2012. Kokkolan kaupungin ympäristösuunnittelijan haastattelu. 2.11.2012.
- Kukko, A. 2007. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittauksiin. Fotogrammetrian erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu: Maanmittaustieteiden laitos.

- Korpela, H. Laserkeilaus kannattavampaa käytön yleistyessä. Maankäyttö 2/2008. 36-39.
- Laamanen, K. 2009. Kokkolan kaupunki, EUREF-FIN peruspisteet, GPS-mittausten projektisuunnitelma. Sito tietotekniikka Oy.
- Leskinen, M. 2009. Kolmiulotteisen grafiikan generointi. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan Ammattikorkeakoulu: Mediatekniikan koulutusohjelma.
- Leskinen, M. 2012. Kokkolan kaupungin paikkatietosuunnittelijan haastattelu. 2.11.2012.
- Liikennevirasto. 2011. Liikenneviraston ohjeita 23/2011, Maastotietojen hankinta – Toimintaohjeet. Osoitteessa http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-23_maastotietojen_hankinta_web.pdf. 10.1.2013.
- Långbacka, M. 2012. Kokkolan kaupungin kartastoteknikon haastattelu. 2.11.2012.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki. 5.2.1999/132. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>. 9.1.2013.
- Maanmittauslaitos. 1997. Kaavan pohjakartta 1997 Karttakohdemalli. Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 85. Yliopistopaino, Helsinki.
- Maanmittauslaitos. 2003. Kaavoitusmittausohjeet. Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 94. Maanmittauslaitoksen karttapaino, Helsinki.
- Maanmittauslaitos. 2013. Laserkeilaustekniikka. Osoitteessa <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>. 30.1.2013.
- Maunu, S-E. 2012. Kokkolan kaupungin yleiskaavasuunnittelijan haastattelu. 2.11.2012.
- Niemelä, O. 1997. Kartografinen yleistys, lähinnä maastokarttojen kannalta. Suomen Kartografisen Seuran 40-vuotisjuhlan esitelmä 7.2.1997. Osoitteessa <http://www.kartogra.fi/niemela-yleistys.htm>. 24.1.2013.
- Nissinen, E. 2012. Kokkolan kaupungin asemakaava-arkkitehdin haastattelu. 2.11.2012.
- Närhi, K. 2012. Jyväskylän kaupungin käyrätuotanto-ohje. Julkaisematon materiaali.
- Paikkatietoikkuna. 2012a. Direktiivi, laki ja asetus. Osoitteessa <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/direktiivi-laki-ja-asetus>. 8.11.2012
- Paikkatietoikkuna. 2012b. Kunnat ja Inspire-direktiivi. Osoitteessa <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kunnat>. 8.12.2012.
- Paikkatietoikkuna. 2012c. Täytäntöönpanosäännöt. Osoitteessa <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/taytantoonpanosaannot>. 8.12.2012.
- Pekkarinen, A. 2012. Kokkolan kaupungin paikkatietoinsinöörin haastattelu. 26.11.2012.
- Poutanen, M. 2006. Suomen uusi korkeusjärjestelmä N2000. Maankäyttö 4/2006, 9–12.
- Puupponen, E. 2005. Tiesuunnittelussa käytettävien kartta- ja malliaineistojen tuottaminen. Fotogrammetrian erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu: Maanmittaustieteiden laitos.
- Puupponen, J. 2011. EUREF-FIN Laskentaraaportti, Kokkolan kaupunki. Maanmittauslaitos.

- Puupponen, J. 2012. Koordinaattimuunnokset tutuiksi: Kuinka siirryn KKJ:stä ETRS-89 –järjestelmään?. *Positio* 1/2012, 23–26.
- Rajaniemi, T. 2011. Korkeuskäyrien siirto N2000-korkeusjärjestelmään. Opinnäyte-työ. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu: Maanmittaustekniikan koulutus-ohjelma.
- Rönholm, P – Haggrén, H. 2004. Fotogrammetrian yleiskurssi, Luento 10: Optinen 3-D mittaus ja laserkeilaus. Osoitteessa http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/301_10_2004.pdf. 30.1.2013.
- Saarikoski, A. 2007. N2000 korkeusjärjestelmän käyttöönotto Maanmittauslaitok- sessa, Maanmittaustieteiden seura ry:n julkaisu n:o 44. Maanmittaustie- teiden päivät 2007. Osoitteessa http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Antti_Saarikoski.pdf. 25.1.2013.
- Salolahti, M. 2009. Laserkeilaus ja sen käyttömahdollisuudet. Seminaariesitys. Osoitteessa http://www.terrasolid.fi/fi/presentations/laser_data_and_image_processing/laserkeilauksen_mahdollisuudet_mika_salolahti. 30.11.2013.
- Soininen, A. 2003. Laserkeilauksen sovellusalueet. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 40. Maanmittaustieteiden päivät 2003. Osoitteessa <http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/soininen.pdf>. 4.2.2013.
- Soininen, A. 2012. Korkeuskäyrien, ristikkomallien ja kolmioverkkojen tuotanto. Osoitteessa http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.terrasolid.fi%2Fsystem%2Ffiles%2FKorkeuskayrien_ristikoiden_kolmioiden_tuotanto_1.ppt&ei=tF_0UN_rA8SH4gTOvoDIBQ&usq=AFQjCNEpDjVkBQ_nHbglqOGRksyPI10-pg&bvm=bv.1357700187,d.bGE. 5.12.2012.
- TerraImaging. 2012. The principle of airborne laser scanning. Osoitteessa <http://www.terraimaging.de/en/technologies/laser-scanning>. 22.12.2012.
- TerraSolid Oy. 2007. TerraModeler käyttöopas. Osoitteessa http://www.terrasolid.fi/system/files/tmodel_0.pdf. 28.1.2013.
- TerraSolid Oy. 2011. Laserpisteiden ja ilmakuvien käsittely. Osoitteessa <http://www.terrasolid.fi/fi/tuotteet/78>. 10.11.2012.
- TerraSolid Oy. 2012. TerraScan User's Guide. Osoitteessa <https://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>. 28.1.2013.
- Vahur, J. 2003. Laserkeilaimien toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Maanmittaustietei- den Seuran julkaisu 40. Maanmittaustieteiden päivät 2003. Osoitteessa <http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/joala.pdf>. 4.2.2013
- VR Track Oy, 2013. Laserkeilauspalvelut, esite.
- Väisänen, M. 2012. Kokkolan kaupungin suunnitteluinsinöörin haastattelu. 16.11.2012.