

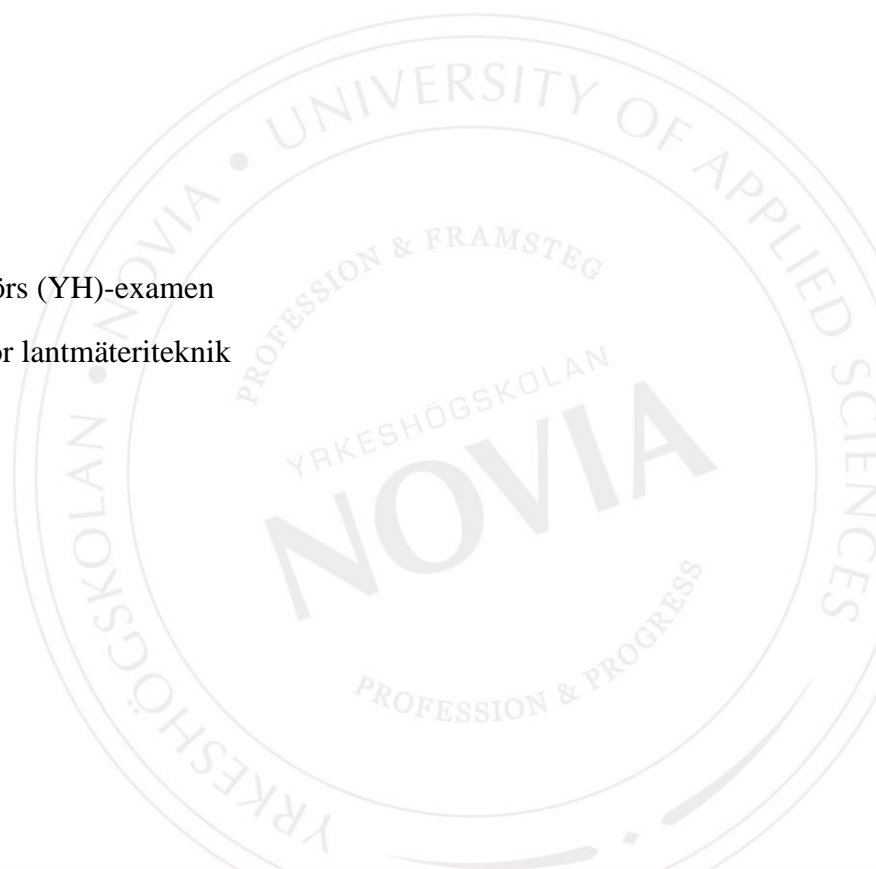
# Framställning av brytlinjer ur punktmoln

Jakob Wallin

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för lantmäteri teknik

Vasa 2017



## EXAMENSARBETE

Författare: Jakob Wallin  
Utbildning och ort: Lantmäteriteknik, Vasa  
Handledare: Sem Timmerbacka

Titel: Framställning av brytlinjer ur punktmoln

---

Datum: 24.4.2017

Sidantal: 27

Bilagor: 1

---

### Abstrakt

Detta examensarbete är skrivet åt Yrkeshögskolan Novia med Sem Timmerbacka som handledare. Traditionellt sett har skapandet av en terrängmodell involverat mätningar med takymeter, GNSS och i viss mån även fotogrammetriska metoder som med dagens mått kan klassas som föråldrade och ineffektiva på många sätt. Syftet med arbetet var att utreda i vilken utsträckning det är möjligt att få fram brytlinjer ur punktmoln med program tillgängliga idag och på så vis effektivera den arbetsprocess som krävs för att skapa en terrängmodell.

För att undersöka detta har ett punktmoln skapat med laserskanning använts som utgångsmaterial. De program som används för att ta fram brytlinjerna ur materialet är 3DReshaper och Lis Pro 3D. Programmens arbetssätt och förmåga att ta fram brytlinjer bedöms och jämförs sinsemellan för att klargöra för- och nackdelar med bägge programmen.

Resultatet består av brytlinjer som tagits fram och slutligen kombinerats med punktmoln. Två modeller har skapats där brytlinjerna som tagits fram av bägge programmen använts och skillnaden mellan modellerna åskådliggörs med tvärskärningar. Resultatet är mycket beroende på projektets art och natur, eftersom brytlinjerna skiljer sig en hel del från program till program och på så vis inte lämpar sig för en del projekt.

---

Språk: svenska

Nyckelord: punktmoln, brytlinjer, laserskanning, fotogrammetri

---

# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Jakob Wallin  
Koulutus ja paikkakunta: Maanimittaustekniikka, Vaasa  
Ohjaaja: Sem Timmerbacka

Nimike: Taiteviivojen tuottaminen pistepilvestä

---

Päivämäärä: 24.4.2017 Sivumäärä: 27 Liitteet: 1

---

## Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on kirjoitettu Yrkeshögskolan Noviaa varten ja Sem Timmerbacka on toiminut ohjaajana. Maastomallin luominen on perinteisesti tehty takymetrin, GNSS-RTK:n, ja myös jonkin verran fotogrammetrian avulla. Nykyään nämä menetelmät vaikuttavat hieman vanhentuneilta eivätkä monella tavalla ole kovin tehokkaita. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää missä määrin on mahdollista luoda taiteviivoja pistepilvistä nykypäivän käytössä olevilla ohjelmilla. Tällä tavalla maastomallin luominen olisi helpompaa ja tehokkaampaa kuin perinteisillä menetelmillä.

Lähtökohtana tutkimuksessa käytettiin laserskannauksella avulla luotua pistepilviä. Opinnäytetyössä taiteviivat luotiin 3DReshaper- ja Lis Pro 3D- ohjelmien avulla. Vertailu on tehty näiden kahden ohjelmien välillä. Vertaillaan ohjelmien kykyä luoda taiteviivoja pistepilvistä ja arvioidaan ohjelmien edut ja haitat.

Tulos koostuu luoduista taiteviivoista ja lopullisesti nämä yhdistetään pistepilveen. On kehitetty kaksi mallia joissa molempien ohjelmien taiteviivoja ovat käytetty ja mallien erot havainnollistetaan poikkileikkauksilla. Tulokset vaihtelevat paljon projektien luonteesta riippuen. Taiteviivat eroavat paljon ohjelmien välillä eivätkä sovi kaikkiin projekteihin.

---

Kieli: ruotsi Avainsanat: pistepilvi, taiteviiva, laserkeilaus, fotogrammetria

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Jakob Wallin  
Degree Programme: Land Surveying Technology, Vasa  
Supervisor: Sem Timmerbacka

Title: Extraction of Breaklines From Pointclouds

---

Date: 24.4.2017                      Number of pages: 27    Appendices: 1

---

### **Abstract**

This bachelor's thesis is written for University of Applied Sciences Novia with Sem Timmerbacka as supervisor. Until now terrain models have been created using total stations, GNSS-RTK and to some extent photogrammetric methods. These have proven to be true and tested methods to produce terrain models, albeit they are in many aspects out-of-date and inefficient by today's standard. The purpose of this bachelor's thesis is to investigate to what extent it is possible to extract breaklines from pointclouds using programs that are available today, as this would increase the overall efficiency tremendously.

A pointcloud created by means of laserscanning has been used as test object to investigate how well the programs 3DReshaper and Lis Pro 3D execute the task of extracting breaklines. Both programs' ability to extract break lines is evaluated and compared in order to list the pros and cons with both programs.

The result consists of a set of breaklines that are combined with the pointcloud. Two separate models have been created where the breaklines extracted by both programs are used and to further illustrate the difference a series of cross-cuts are presented. The result depends on the nature of the project, as the breaklines show large differences, and may not be well-suited for certain projects.

---

Language: swedish    Key words: pointcloud, breakline, laserscanning, photogrammetry

---

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Syfte .....	1
3	Metod .....	2
4	Laserskanning .....	2
4.1	Laserskanning.....	4
5	Fotogrammetri .....	5
5.1	Kalibrering av kameran.....	6
5.1.1	Inre parametrar.....	6
5.1.2	Yttre parametrar.....	7
6	Punktmoln.....	8
7	Brytlinjer.....	8
7.1	Typer av brytlinjer .....	8
7.1.1	Mjuka brytlinjer .....	9
7.1.2	Hårda brytlinjer.....	9
8	TIN-modeller.....	10
8.1	Delaunay triangulering.....	10
9	Programvarujämförelse.....	11
9.1	Testområde .....	12
9.1.1	3DReshaper.....	12
9.1.2	SAGA och Lis Pro 3D .....	17
10	Jämförelse av modellerna.....	21
11	Resultat och kritisk granskning .....	24
12	Diskussion .....	25
13	Källförteckning .....	26
14	Figurkällor .....	27

## Bilageförteckning

Bilaga 1	Tvärskärningar
----------	----------------

## 1 Inledning

Vid planering av nya områden används ofta en terrängmodell som grund. Denna modell skapades förr och till en viss mån även i idag med hjälp av GNSS-mätningar och takymeter. Denna process är både arbets- och tidskrävande varpå en modern, effektiv och smidigare metod skulle vara väl på plats.

Med modern teknik kan man få en mycket bra utgångsmodell genom användning av laserskanning eller fotogrammetri. Det data som samlats in och fungerar som utgångsmaterial är mycket stor och resulterar i en mycket detaljrik modell, vilket är bra på många sätt, men eventuellt onödigt i vissa projekt eftersom modellen är tung i det avseende att datorn och planeringsprogrammen som används idag allt för ofta inte klarar av hanteringen av modellen. På grund av detta skulle en förenklad modell vara en perfekt kombination av visualisering och representation av verkligheten, en modell som använder brytlinjer som tagits fram med laserskanning eller fotogrammetriska metoder som grund kombinerad med punkter med ett viss intervall mellan. Men är detta en tillämpning som är möjlig med modern teknik och tillgänglig programvara? Med tanke på den snabba utveckling inom detta ämnesområde är detta ett ämne som är mycket intressant och relevant och därmed värt att undersöka.

## 2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utreda och redogöra för olika tillvägagångssätt att extrahera brytlinjer ur punktmoln, skapade antingen genom laserskanning eller med hjälp av fotogrammetriska metoder. Frågeställningen som främst ligger i fokus är om framställning av brytlinjer ur punktmoln är möjligt med dagens program. Olika program och deras funktioner kommer att jämföras, resultatet jämförs sedan och sammanställs.

För att undersöka denna frågeställning kommer en undersökning av tillgängliga program kapabla att skapa dessa brytlinjer göras och resultaten sinsemellan jämföras. Ett testområde i form av ett punktmoln med varierande terräng kommer att fungera som objekt för dessa test och resultatet analyseras och presenteras i detta examensarbete. Till resultatet hör även ett antal tvärskärningar som illustrerar skillnaden mellan modellerna som programmen producerat.

### 3 Metod

Den huvudsakliga grunden för teorin i detta examensarbete kommer från källor hämtade via internet, främst med avseende på artiklar. Programinstruktioner för de program som kommer användas i jämförelsen kommer att studeras och fungera som grund för programbeskrivningar samt korrespondens med tillverkarna bakom programmen.

Det finns även en del examensarbeten som tangerar brytlinjer och punktmoln samt deras samband och hur de kan användas för att göra mera verklighetstroga terrängmodeller, men inga arbeten som direkt behandlar hur brytlinjer kan erhållas ur punktmoln med betoning på hur dagens program hanterar detta ämne.

En del forskning inom området har gjorts, t.ex. en rapport skriven av Christian Briese, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing Vienna University of Technology, om ämnet *"Three-dimensional modelling of breaklines from airborne laser scanner data"*. I denna rapport beskrivs en metod för att få fram brytlinjer ur punktmoln baserat på skärningen mellan parvis utvalda element längs den tänkta brytlinjen. En annan rapport som behandlar samma ämne är *"Segmentation and filtering of laser scanner digital surface models"* skriven av Peter Lohmann. Denna rapport beskriver en algoritm som kan beräkna brytlinjer med hjälp av lutningen hos kringliggande punkter. Det finns även fler rapporter av samma typ som beskriver olika sätt att få fram brytlinjer ur punktmoln, alla dessa är intressant läsning och kommer att studeras för att få en förståelse för hur genereringen av brytlinjer ur punktmoln är möjlig. Värt att ha i minnet är att detta inte är detta examenarbets huvudämne, som istället är att jämföra hur dessa lösningar har implementerats i program som är tillgängliga för användning i dagens läge.

### 4 Laserskanning

De tillämpningar av laserskanning som finns tillgängliga delas in i statisk-, terrester-, mobil- och flygburen laserskanning. Främst flygburen laserskanning, eller Lidar (=Light Detection And Ranging), är av intresse eftersom punktmoln skapade med hjälp av lidar ger bästa utgångsmaterial gällande punktmoln i och med att man kan täcka stora områden snabbt och effektivt jämfört med andra metoder. Lidar är en modern och effektiv metod med vilken man kan skapa en verklighetstrogen modell av objekt eller ytor. Denna teknik påminner mycket om radar, fast med ljus istället för ljud. Enkelt förklarar går denna metod ut på att man skickar ut en laserpuls och retur signalerna fångas upp av en sensor. Baserat på tiden som det tar för

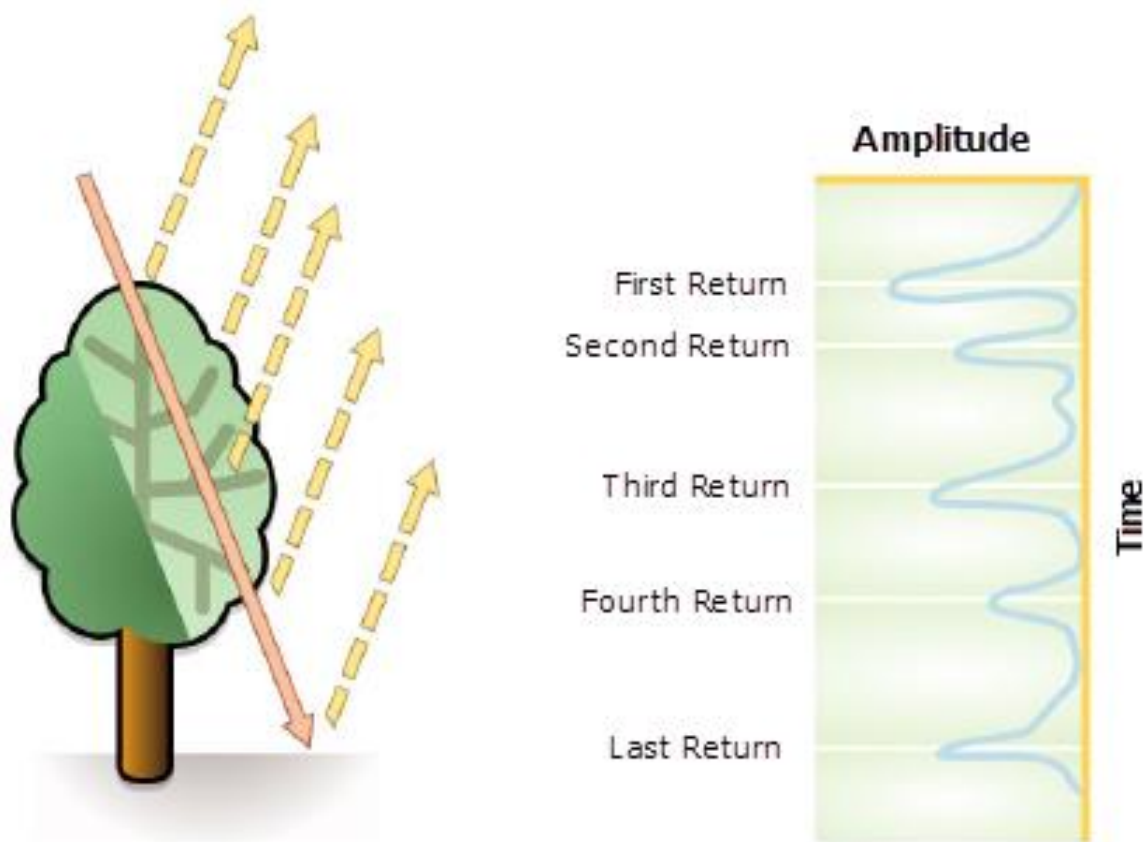
signalen att sändas och reflekteras tillbaka kan man beräkna avståndet till objektet eller ytan. Antalet laserpulser som skickas ut är mycket högt, flera hundratusen per sekund, dessa registreras kontinuerligt under skanningen. Kombinerat med en GPS, tröghetsystem eller IMU (inertial measurement unit) kan man skapa en mycket detaljrik men framförallt en mycket noggrann modell. (LiDAR-UK u.å.; GISGeography 2016; National Oceanic and Atmospheric Administration u.å.)

Efter att man erhållit laserpulserna går alla data genom en rad av processer där data bearbetas och klassificeras. För att kunna bestämma positionen för alla laserpulserna använder man GPS-mätningar, men dessa mätningar i sig räcker inte för att erhålla tillräcklig noggrann positionering. För att ytterligare kunna bestämma positionen mäter tröghetsystemet farkostens acceleration och rotation och på detta vis erhåller man en tillräckligt hög noggrannhet. Efter detta skall all data klassificeras, hur den sedan klassificeras är beroende på vilken ändamål och syfte den har, vanligt förekommande är att man endast vill ha kvar markbotten och ta bort all vegetation. Datan kan sedan till sist passas in i ett koordinatsystem (Lantmäteriet u.å.)

Lidar har även en speciellt användbar egenskap, lasern penetrerar även trädens lövverk och annan vegetation, detta innebär att istället för endast en retursignal får man ett flertal signaler, ända upp till fem retursignaler, som reflekterats från trädets topp, grenar i mitten, markbotten eller annat som reflekterar signalen. Detta innebär givetvis att lidar har en fördel kontra fotogrammetri sett till mängden data som samlas in i och med att man med fotogrammetri endast kan skapa punktmoln baserat på vad som fångats på bilderna tagna av kameran. Tack vare detta kan en mera fullständig modell skapas och man kan klassificera och sortera bort



all den data och punkter som inte är önskvärd och baserat på de punkter som återstår göra en modell som presenterar endast det som är relevant. (Esri u.å.)



Figur 1. Illustration över laserpulsernas förmåga att generera ett flertal retursignaler.

## 4.1 Laserdata

Laserdata sparas i huvudsak i LAS-format, men ursprungligen var ASCII det dominerande formatet tillsammans med några andra format. Snabbt konstaterades det dock att ASCII inte var ett lämpligt format för att hantera lidar data, för det första var prestandan inte den bästa, läsningen och tolkningen är långsam och filstorleken extremt stor. Andra och kanske största problemet med ASCII är att en del av den specifika information som fås genom lidar inte kan sparas och på så sätt går förlorad. (ASPRS u.å.)

På grund av dessa problem så tog American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (=ASPRS) fram filformatet LAS. Detta filformat är inte benäget för något av de problem som fanns med ASCII och har numera blivit något av en standard för hantering av lidar data. I LAS-filen så finns metadata om själva lidarskanningen, såsom mängden data, datum, tid, antalet pulser, antalet pulser baserat på retur, offset och eventuell skalfaktor. Men den huvudsakliga datan kommer efter metadata, d.v.s. data om varje enskild laserpuls. Data som inkluderas för varje puls är x-, y- och z-koordinater, GPS-position, intensitet, retur

nummer, antalet retursignaler, klassificerings värde, skanningsvinkel, RGB-värden, skanningsriktning, överlappningslinje, användardata, punkt ID och vågformsinformation. (Esri u.å.)

Klassificeringen av laserdata är mycket viktigt och används för att skilja och sortera laserdata och på så vis skapa en struktur där varje klass innehåller data som beskriver olika delar av terrängen.

*Tabell 1. Detta är standarden som tagits fram av ASPRS som fungerar som grund för klassificering av laserskannad data.*

<b>Classification Value</b>	<b>Meaning</b>
0	Created, never classified
1	Unclassified <sup>3</sup>
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Reserved
9	Water
10	Rail
11	Road Surface
12	Reserved
13	Wire – Guard (Shield)
14	Wire – Conductor (Phase)
15	Transmission Tower
16	Wire-structure Connector (e.g. Insulator)
17	Bridge Deck
18	High Noise
19-63	Reserved
64-255	User definable

## 5 Fotogrammetri

Fotogrammetri är en teknik som är sedan länge känd och fortfarande mycket användbar för att producera punktmoln. Dessa punktmoln kan sedan vidare behandlas för att skapa modeller av objekt och ytor. Punktmoln skapade genom fotogrammetriska metoder påminner mycket om punktmoln skapade genom laserskanning, största direkta skillnaden mellan dessa är typen av information och data som kan samlas in. Fotogrammetri som område kan kombineras med hyperspektral- och multispektral avbildning och på detta vis öppna upp för mycket användbara typer av data för analys.

Fotogrammetri fungerar enligt den grundläggande principen för triangulering och kan för enkelhetens skull liknas vid hur vårt eget djupseende fungerar. Med hjälp av bilder tagna av ett objekt från olika riktningar och vinklar kan punkter med tredimensionella koordinater beräknas och dessa kommer tillsammans att utgöra ett punktmoln. Före själva beräkningen matchas bilderna genom att punkter gemensamma på olika bilder lokaliseras, efter bildmatchningen kan man sedan beräkna exakta tredimensionella koordinater och skapa ett punktmoln. Alla beräkningarna och moment förknippade med fotogrammetri är mycket krävande och tar lång tid, samtidigt som man hanterar stora mängder data. På grund av detta bör datorn ha kapacitet och vara utformad för att klara av belastning som dessa beräkningar ställer. (Lantmäteriet 2013, s. 181–182; Geodetic u.å.)

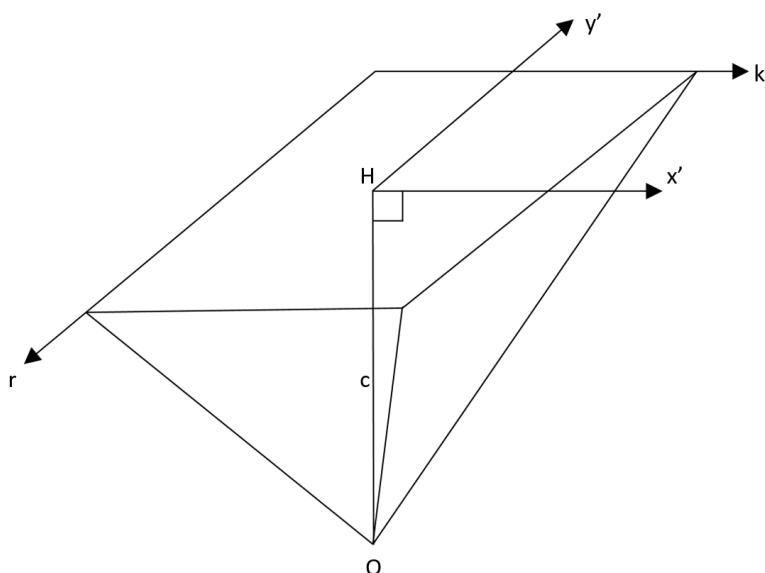
## **5.1 Kalibrering av kameran**

För att mätningar skall kunna göras på modellerna som producerats med fotogrammetriska metoder är det viktigt att ta i beaktan kalibreringen av kameran och dessa innefattar att man måste ta reda på kamerans parametrar. Inre och yttre orientering är termer som beskriver de två delarna av en s.k. strålkärve, där den inre orienteringen omfattar själva kameran och den yttre allt utanför kameran. Den yttre orienteringen kan fås fram antingen optiskt eller matematiskt genom att den inre orienteringen är känd från tillverkaren. (Lantmäteriet 2013, s. 190, 193–194)

För fotogrammetriska tillämpningar finns det kameror där den inre geometrin är noggrant fastställd och dessa är ämnade att ge bästa möjliga resultat. Detta går ut på att kamerans inre geometri är stabil och noggrant uppmätt, i praktiken innebär detta att kamerans objektiv är ordentligt fast monterat eller justerbart mellan några utvalda lägen. CCD-sensorn är även fastmonterad så av förhållandet mellan bildplan och objektiv hålls så konstant som möjligt. (Lantmäteriet 2013, s. 190, 193–194)

### **5.1.1 Inre parametrar**

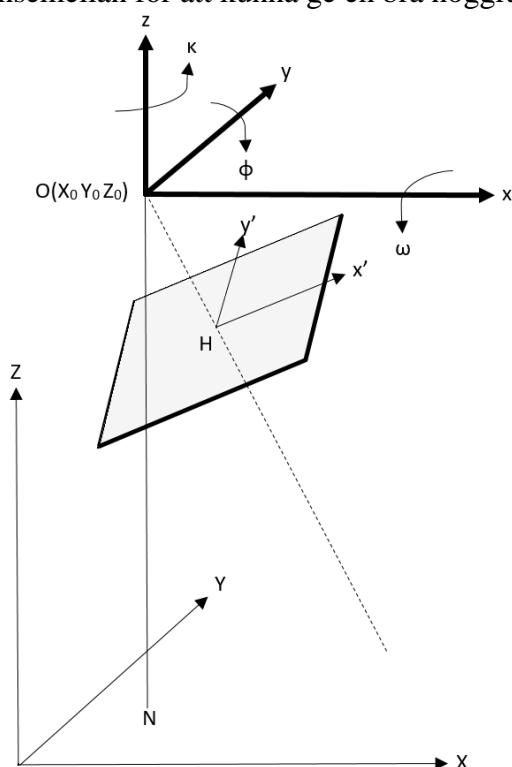
Parametrar som hör till den inre orienteringen är kamerakonstanten, pixelantal, sensorstorlek, storleken på förvrängningar som objektivet introducerar samt bildkoordinaterna för bildpunkterna. (Lantmäteriet 2013, s. 193–194)



Figur 2. Skiss som illustrerar de inre parametrarna,  $O$  är projektiionscentrum,  $c$  är kamerakonstanten,  $H$  är origo för bildkoordinatsystemet  $(x', y')$  och definieras genom  $(r, h)H$  genom motsvarande bildelement.

### 5.1.2 Yttre parametrar

De yttre parametrarna beskriver kamerans position  $(X, Y, Z)$  och riktning  $(\omega, \phi, \kappa)$ . Dessa parametrar kan bestämmas redan vid flygningen, varav positionen erhålls med ett GNSS-system och riktningen med hjälp av gyroskop avsedda för tröghetsnavigering. Dessa system lagrar data om kamerans position och rotation vid varje ögonblick ett foto tas och samarbetar sinsemellan för att kunna ge en bra noggrannhet. (Lantmäteriet 2013, s. 196–197)



Figur 3. Illustration där de yttre parametrarna framgår. Den streckade linjen är kamerariktningen,  $O$  är projektiionscentrum,  $H$  är bildhuvudpunkten,  $x' y'$  är bildkoordinater och  $N$  är nadirpunkten.

## 6 Punktmoln

Resultatet av laserskanning och fotogrammetri är ett punktmoln. Punktmoln är en term som används för att beskriva ett set med data som innehåller punkter med koordinater (x, y, z) som beskriver deras position. Förutom koordinater för punkterna kan även information i form av attribut lagras för varje punkt. Exempel på dessa attribut är som tidigare nämnt GPS-position, intensitet, retur nummer, antalet retursignaler, klassificerings värde, skanningsvinkel, RGB-värden, skannings-riktning, överlappningslinje, användardata, punkt ID och vågformsinformation.

För att få en uppfattning om hur punktmoln fungerar och betar sig som data typ jämförs de ofta med raster. Många funktioner och metoder som används för att bearbeta rasterdata fungerar även med punktmoln. (Safe 2015, Esri u.å.)

## 7 Brytlinjer

Brytlinjer är två- eller tredimensionella vektorbaserade polylinjer eller polygoner som fungerar som avgränsare mellan trianglarna i en TIN-modell (TIN = Triangulated Irregular Network). De fungerar mycket bra som ett verktyg att bevara egenskaper hos terrängen som är viktiga för dess betydelse och tolkning. Höjdvärdet z kan antingen variera eller hållas konstant under brytlinjen beroende på vilken typ av brytlinje det är frågan om. Men för att förtydliga så är brytlinjer enligt Esri, som är ett av de största programvaruföretag inom GIS, en typ av linje enligt följande definition:

*"A line in a TIN that represents a distinct interruption in the slope of a surface, such as a ridge, road, or stream. No triangle in a TIN may cross a breakline (in other words, breaklines are enforced as triangle edges). Z-values along a breakline can be constant or variable."* (Esri u.å.)

Utgående från denna definition kan man konstatera att brytlinjer spelar en central roll i hur terrängmodellen kommer att se ut, främst eftersom att brytlinjerna fungerar som gränser åt trianglarna i TIN-modellen och dessa trianglar får under inga omständigheter överskrida dessa brytlinjer. (Esri 2009)

### 7.1 Typer av brytlinjer

Brytlinjer kan delas in i två olika typer: mjuka- och hårda. Dessa är av olika karaktär och används enligt vilken typ av terräng som skall beskrivas. Vilken typ av brytlinje som väljs

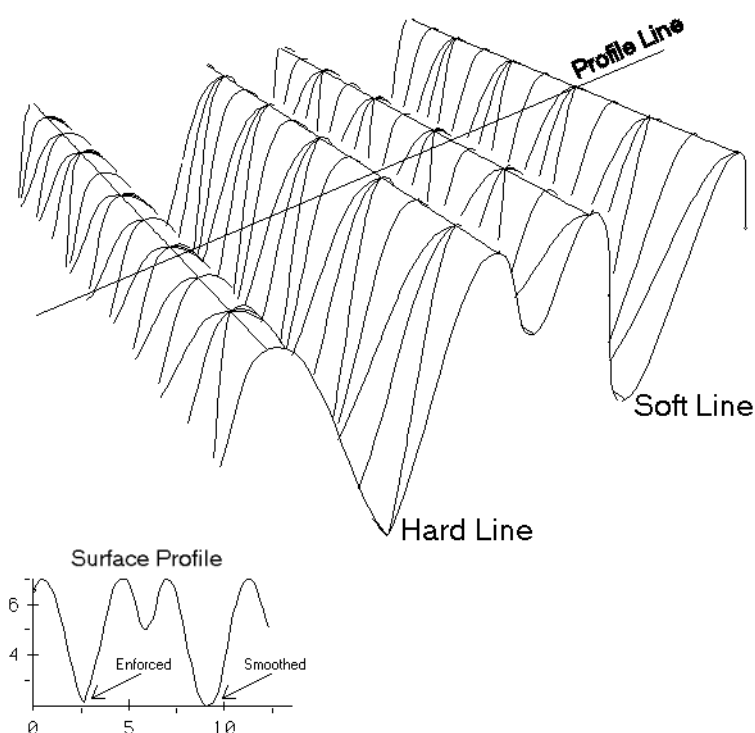
kommer att ha en viss effekt på hur ytan modelleras och presenteras. Gemensamt för båda typerna av brytlinjer är att de spelar en viktig roll i hur genereringen av modellen fungerar och hur resultatet blir. Rent visuellt kan det vara svårt att se skillnad på dessa två typer av brytlinjer, men det finns en viss skillnad.

### 7.1.1 Mjuka brytlinjer

Mjuka brytlinjer jämnar ut skarpa kanter och brytningar i terrängen men tar på samma gång höjdvärdet  $z$  i beaktan och bevarar detta värde konstant. På grund av detta så ser brytningen som mjuka brytlinjer åstadkommer ändå naturlig ut och uppfattas inte som ett plötsligt avbrott i terrängen. Detta gör att mjuka brytlinjer lämpar sig för att visualisera gradvisa, mjuka förändringar i terrängen såsom kullar och dalar. (Graham 2013)

### 7.1.2 Hårda brytlinjer

Hårda brytlinjer till skillnad med mjuka brytlinjer introducerar en brytlinje som markerar en mycket skarpare brytning mot terrängen, t.ex. trottoarkant, linje mellan åar, floder och andra vattendrag. Till exempel vid avgränsningen mellan vattenmassor och övrig terräng är användningen av hårda brytlinjer viktig, detta eftersom höjdvärdet  $z$  bör vara konstant då vi talar om vattenmassor. Brytlinjerna skiljer på sätt och vis vattnet från den övriga terrängen och hindrar trianguleringen att ske mellan dessa två typerna av terräng. (Graham 2013)



Figur 4. Illustration över hur de olika brytlinjerna beskriver samma sak på sina olika vis. Den mjuka brytlinjen jämnar ut kurvan avsevärt och ger en helt annan karaktär jämfört med hur den hårda mycket tydligt och skarpt avgränsar och visar förändringen.

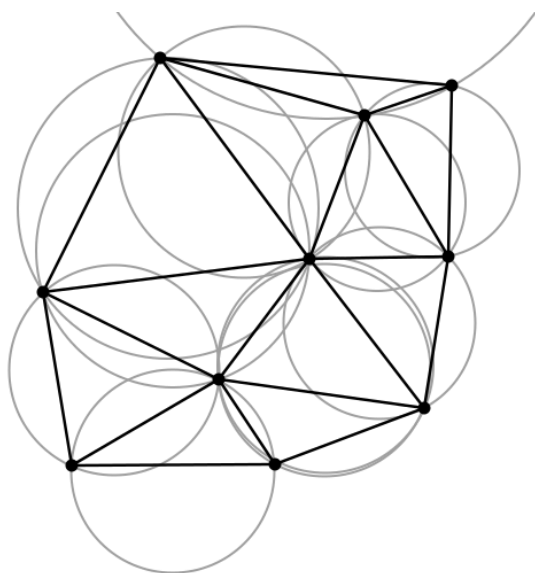
## 8 TIN-modeller

TIN, som står för Triangulated Irregular Network, är en modell som kan användas och är en av de vanligaste modeller som används för att visualisera ytornas morfologi som en modell. Dess framgång och popularitet beror främst på att den framhäver, visualiserar och anpassar sig efter terrängen bättre än vad en rutnätsmodell gör. En TIN-modell är en vektorbaserad datastruktur som i grund och botten består av trianglar vars hörn utgörs av punkter med kända koordinater och dessa hörn kopplas ihop enligt vissa principer med linjer som tillsammans bildar trianglar. Det finns även andra trianguleringstekniker men mest vanligt förekommande är Delaunay triangulering. (Esri u.å.)

### 8.1 Delaunay triangulering

Delaunay triangulering är en teknik där ett nät av sammanhängande trianglar som inte överlappar varandra skapas från punkter. Delaunay triangulering utförs enligt följande princip: trianguleringen mellan punkterna sker så att insidan av varje omskriven cirkel inte innehåller någon punkt.

Resultatet från denna triangulering är att små, smala trianglar kommer att utebli och de trianglar som bildas kommer att ha så stora vinklar som möjligt. (Esri u.å.)

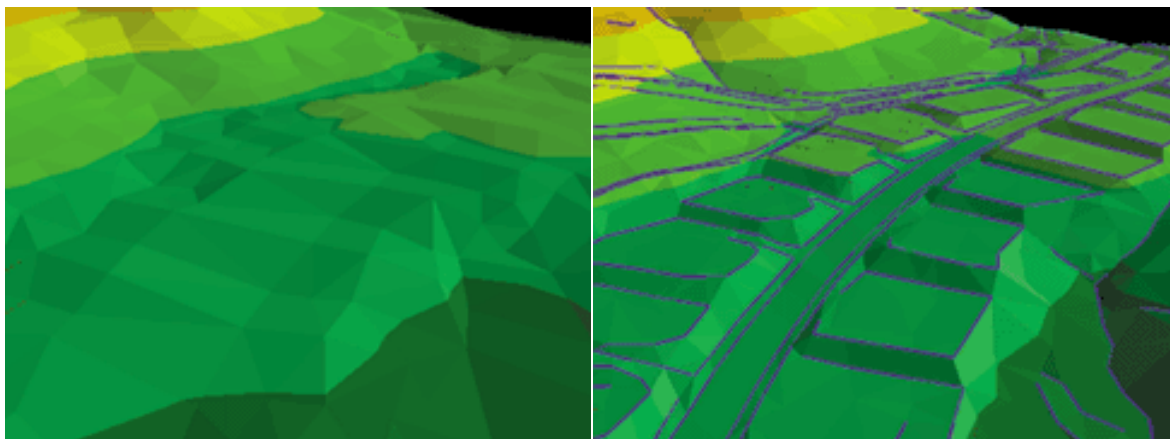


*Figur 5. Skiss över hur Delaunay triangulering fungerar. Varje cirkel har ingen punkt på insidan och trianglarnas vinklar är så stora som möjligt.*

Det finns även en form av Delaunay triangulering som fritt översatt från engelska kallas begränsad Delaunay triangulering (Eng. = *Constricted Delaunay Triangulation*). Skillnaden med denna form av Delaunay triangulering är att den följer de regler som ställs på Delaunay triangulering överallt förutom längs brytlinjer. En orsak till varför denna form av

triangulering kan vara att föredra är ifall man vill definiera kanter som man på förhand vet inte kommer att ändras. En annan orsak att föredra begränsad Delaunay triangulering är att filstorleken blir aningen mindre eftersom man vid vanlig Delaunay triangulering sätter in extra punkter, s.k. Steiner punkter. Steiner punkter fungerar som försäkran att trianguleringen uppfyller de krav som Delaunay triangulering ställer (inga punkter innanför den omskrivna cirkeln). I övrigt så är vanlig Delaunay triangulering att föredra eftersom långa, smala trianglar som inte lämpar sig för analys kommer inte att inkluderas. (Esri u.å.)

Att kombinera brytlinjer med en TIN ger ett helt annat resultat än att generera TIN-modellen utan brytlinjer som begränsar och definierar trianglarnas kanter. En TIN-modell som inte innehåller brytlinjer är inte alls lika tydlig i att förmedla terrängens utformning, vägar och vattendrag flyter ihop med övrig terräng och det kan till och med vara svårt att urskilja var en typ av terräng börjar och nästa tar vid. (Esri u.å.)



Figur 6. Två modeller som illustrerar samma terräng, den till vänster utan brytlinjer den till höger med brytlinjer. Notera den markanta skillnaden främst i hur höjdskillnaderna träder fram men också strukturen fångas på ett helt annat sätt.

## 9 Programvarujämförelse

De program som kommer att användas och vara föremål för denna analys är 3DReshaper och SAGA med fokus på tillägget LIS Pro 3D. I fokus för denna jämförelse ligger givetvis programmets förmåga att ta fram brytlinjer samt användarvänlighet. Programmets förmåga att ta in, hantera, bearbeta och justera tillgängliga parametrar är de faktorer som kommer att gås genom och testas.



## 9.1 Testområde

Det punktmoln som används i detta test har många parter som varit delaktiga från planeringens början ända till utförandet av laserskanningen och till en viss mån även bearbetningen av punktmolnet. Området som punktmolnet utgör är ca 9ha stort och består av varierande terräng, allt från åker, skog, vägar och sluttningar. Att terrängen är varierande är givetvis viktigt eftersom platt, slät mark inte har skarpa brytningar i terrängen och på så vis inte kommer att generera några brytlinjer. Punktmolnet i sig består av 204 921 986 punkter vilket efterhand har visat sig vara en överväldigande stor mängd data att behandla, därför har punktmolnet decimerats till en mer hanterbar storlek på ca 20 miljoner punkter med 10cm mellanrum punkterna emellan så att programmen klarar av att hantera dessa.

Värt att notera är att detta inte betyder att programmen nödvändigtvis är dåliga på att hantera stora mängder data utan detta är en faktor som helt och hållet är beroende på datorns kapacitet. En funktion som skulle möjliggöra hantering av större punktmoln skulle vara att dela upp området i punktmoln, s.k. block, i mera hanterbara storlekar på 10 miljoner punkter och därefter utföra samma bearbetning på samtliga punktmoln och slutligen slå dem samman.

### 9.1.1 3DReshaper

3DReshaper är ett program utformat för 3D-modellering, hantering och bearbetning av punktmoln som utvecklats av Technodigit som är del av Hexagon koncernen. Till samma programvarupaket finns även versioner ämnade för industriapplikationer.

Detta är det tillvägagångssätt som valts efter ett flertal test och justering av tillgängliga parametrar:

#### 1. Import av punktmoln

Import av punktmolnet görs smidigt. Större variationer i resultatet som kan härledas till antalet punkter i punktmolnet har inte kunnat observeras, tvärtom tenderar onödigt många punkter skapa vinklar som skapar brytlinjer som inte stämmer överens med verkligheten.

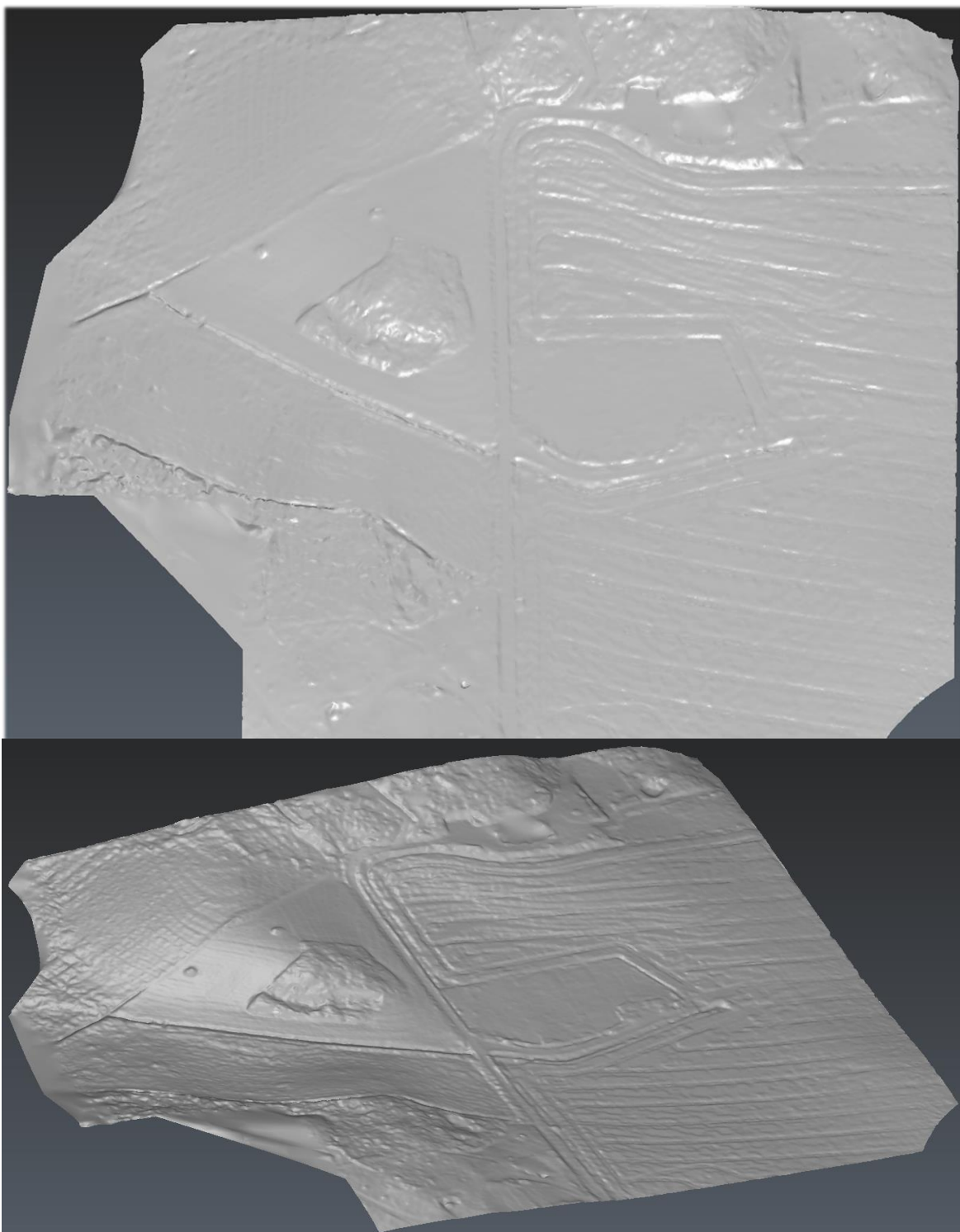


Figur 7. Punktmolnet importerat och färgsatt enligt den inbäddade RGB-kodningen.

## 2. Avlägsnande av hus och vegetation samt framställning av en DTM (= Digital Terrain Model)

DTM:en skapas enkelt genom ett verktyg där man ställer in terrängens max lutning och avstånd mellan punkterna i medeltal. Detta igen är endast en approximativ uppskattning, varpå ett flertal körningar av samma verktyg måste göras för att få fram bästa resultat.

Resultatet är en 3D-modell där alla vegetation och hus avlägsnats och förhoppningsvis endast markytan består.



*Figur 8. DTM:en eller "bare earth" modellen som skapats*

Avlägsnandet av vegetation och hus är nödvändig eftersom programmet annars kan tolka de brytningar som uppstår mellan hus-mark och vegetation-mark som brytningar värda att ta med som brytlinjer, detta är givetvis inget som är av intresse.

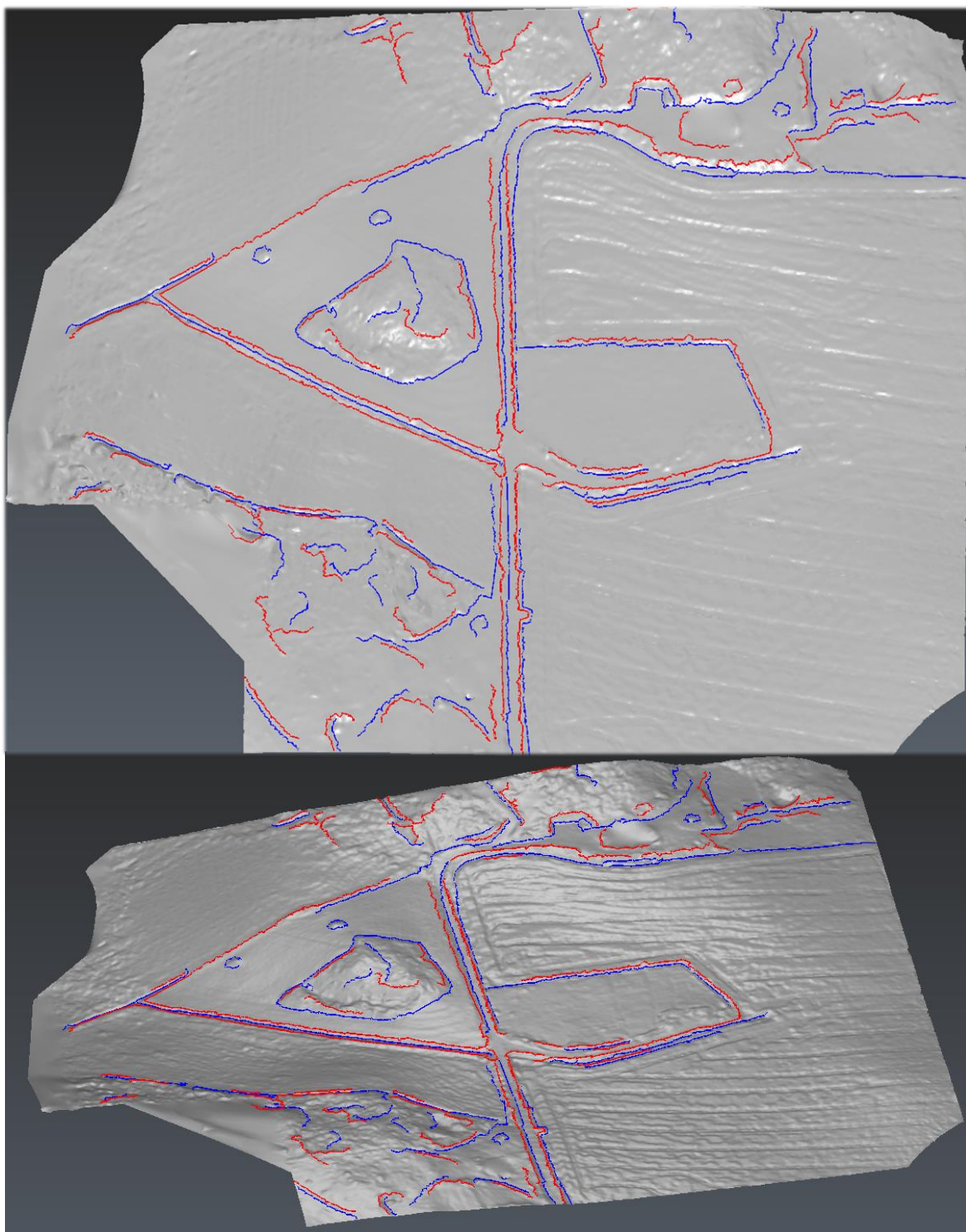
Funktionen att ta fram endast markytan fungerar genom att programmet går genom varje punkt och jämför lutning hos de kringliggande punkterna. Om denna lutning är för hög sorteras de punkter med för hög lutning bort. Med denna metod följer en hel del testande för att uppnå bästa resultat, alternativet skulle vara ett verktyg/funktion där min och max lutning sökes fram och sedan används som utgångsvärde vid bestämmandet av lutningen för skapandet av DTM:en.

### **3. Framställning av brytlinjer**

I likhet med föregående steg sköts framställningen av brytlinjer enkelt med hjälp av ett verktyg där brytlinjernas längds och någon form av sortering av linjerna enligt relevans kan ställas in.

Som det framgår av modellen så finns hjulspår av jordbruksmaskiner kvar och dessa hjulspår tolkar programmet som brytningar värda att ta med som brytlinjer vilket leder till att manuell editering av brytlinjerna måste göras. Vid editeringen av brytlinjerna lönar det sig att tänka på brytlinjernas verkliga funktion så att man inte tar bort men inte heller lägger till onödiga linjer.

Framställningen av brytlinjerna sker i likhet med framställningen av DTM:en, d.v.s. programmet söker och jämför lutningen hos kringliggande punkter och kan på detta vis räkna ut om punkten ifråga är en lokal maximi eller minimipunkt.



*Figur 9. Första modellen visar de brytlinjer som programmet själv tagit fram, andra bilden efter manuell editering. Röda linjer innebär konvex vinkel medan blåa linjer innebär konkava linjer.*

#### 4. Export av färdig modell samt brytlinjer

Modellen och brytlinjerna sparas som skilda lager i programmet och kan sedan exporteras i ett antal olika format för vidarebehandling.

Polylinjer i formaten:

IGES Format \*.igs, Ascii XYZ Format \*.asc, Binary MLI file \*.mli och STEP file \*.stp/\*.step.

3D-modellen exporteras som en mesh i följande format:

Binary STL \*.stl, Ascii STL \*.stl, Binary PBI \*.pbi, Ascii POLY \*.poly, Vertices only \*.asc, OBJ file \*.obj, STEP file \*.stp, Ascii Leica format \*.msh, VRML 2 \*.wrl/\*.vrml/\*.iv, Binray PLY \*.ply och Ascii \*.ply

#### 9.1.2 SAGA och Lis Pro 3D

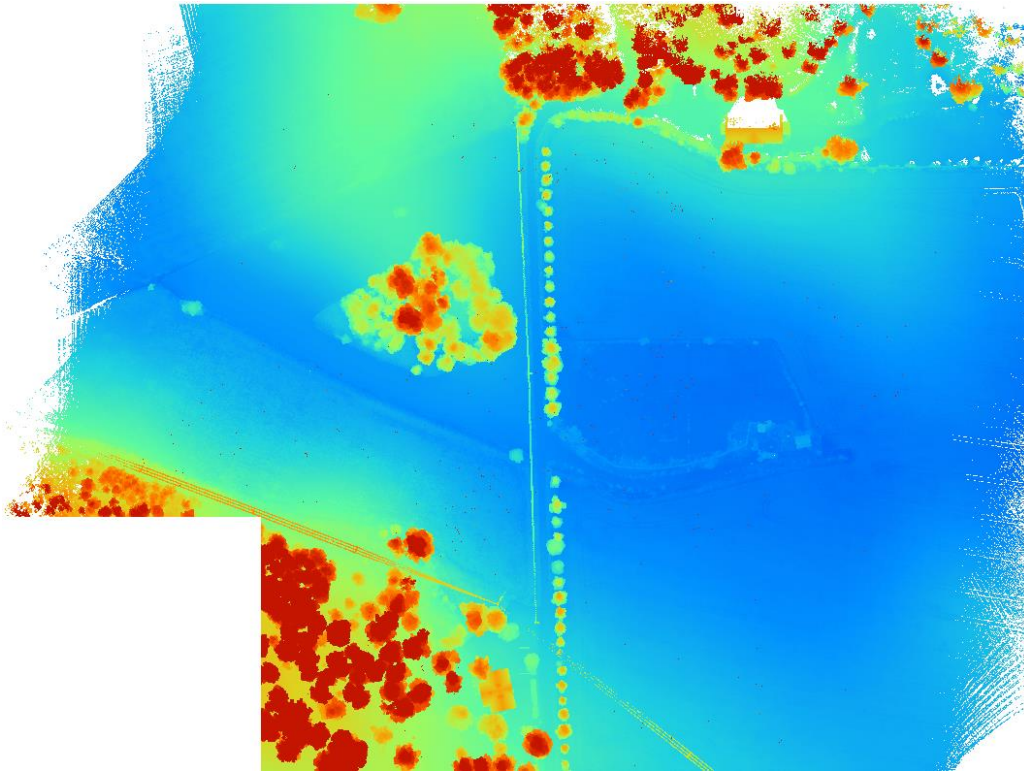
SAGA (=System for Automated Geoscientific Analyses) är ett GIS-program (=Geographic Information System) som går under kategorin Open Source, vilket innebär att man på egen hand är fri att använda och utveckla programmet enligt de behov man har. Med detta program kan man utföra grundliga analyser i data från raster, vektor, punktmoln osv. Bearbetning, beräkning och förädling av all data med en mängd olika verktyg ligger givetvis mycket centralt för programmets funktion.

Lis Pro 3D är ett program utvecklat av Laserdata GmbH som fungerar som ett tillägg till SAGA. Programmet i sig tillför en mängd olika funktioner och verktyg till SAGA, främst med inriktning på hantering av punktmoln. Lis Pro 3D kan delas in i flera mindre grenar inriktade på mer specifika funktioner beroende på vilken typ av tillämpning man söker. I jämförelsen som utförs i detta arbete kommer Lis Terrain Analysis att vara den tillämpning som används eftersom denna tillämpning är kapabel att ta fram brytlinjer.

Detta är tillvägagångssättet som arbetats fram efter ett flertal försök med varierande framgång:

##### 1. Import av punktmoln

För att hålla denna jämförelse någorlunda konsekvent decimerades punktmolnet i likhet med föregående program till ca 20 miljoner punkter.

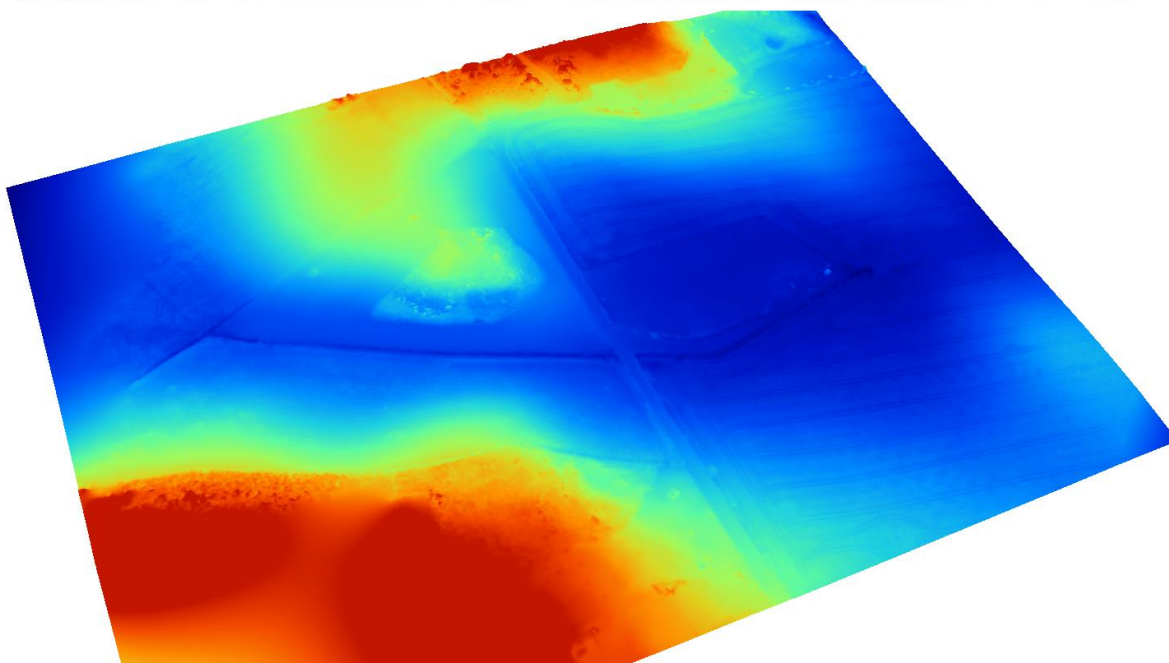
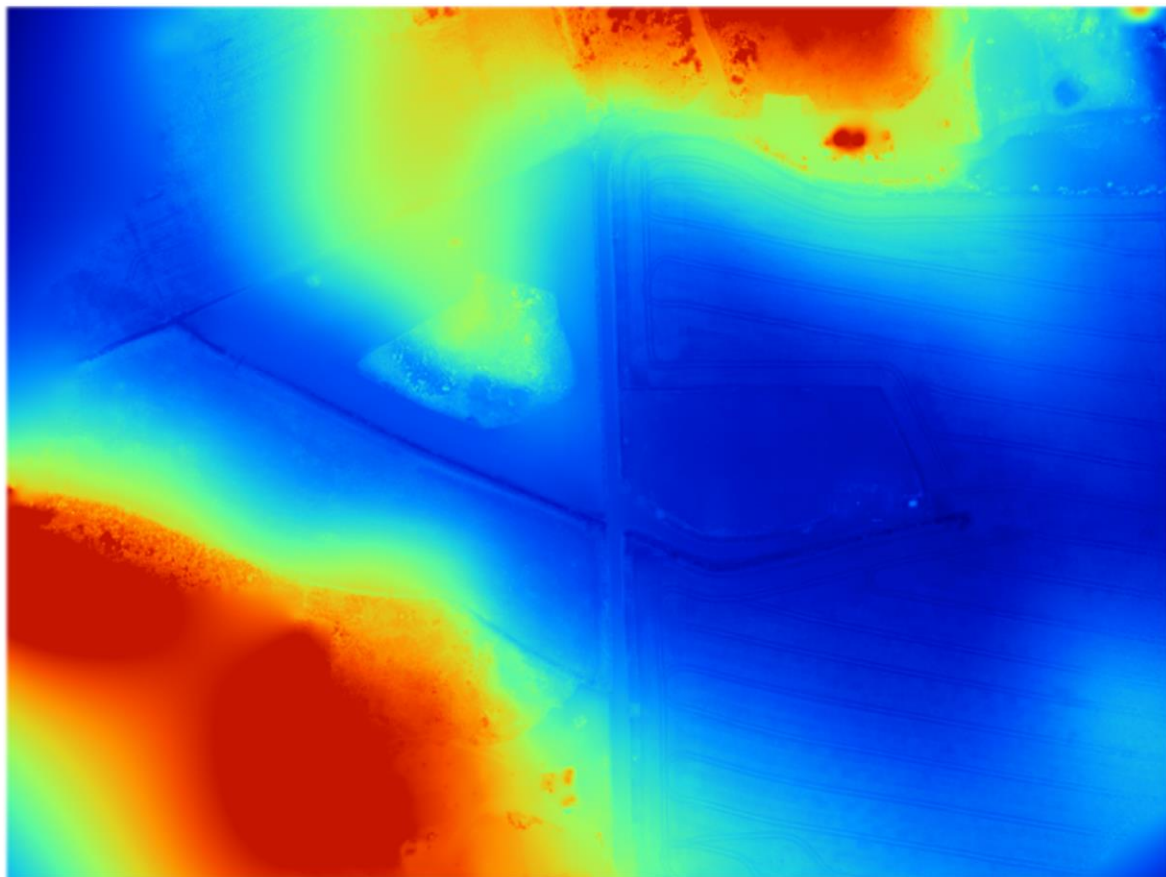


Figur 10. Punktmolnet importerat och färgsatt enligt höjdförhållandena, rött=högre z-värde och blått=lägre z-värde.

## 2. Konvertering, framställning och interpolering av en DTM

I SAGA arbetar man inte med punktmolnet i sig utan molnet konverteras om till ett grid-system. Grid-systemet består av celler av valfri storlek, idealet vore att varje cell motsvarar en punkt men detta kräver en dator med kapacitet att klara av hanteringen av ett grid-system av denna storlek. I detta fall valdes en aning större celler som omfattar fler än en punkt vilket leder till att cellen räknar ut ett medeltal av punkternas koordinater.

Framställningen av DTM:en görs enligt samma princip som 3Dreshaper dvs. lutningen till kringliggande celler skall ligga under ett visst värde och inom en viss radie för att exkluderas och på detta vis lämna kvar punkter för att skapa DTM:en. Radien och lutningen är ställbara och innebär att bästa resultat nås genom flera försök och justering mellan dessa.



Figur 11. Den färdiga DTM:en. Höjden ( $z$ ) illustreras med olika färgsättning där rött innebär högre  $z$ -värde och blått lägre.

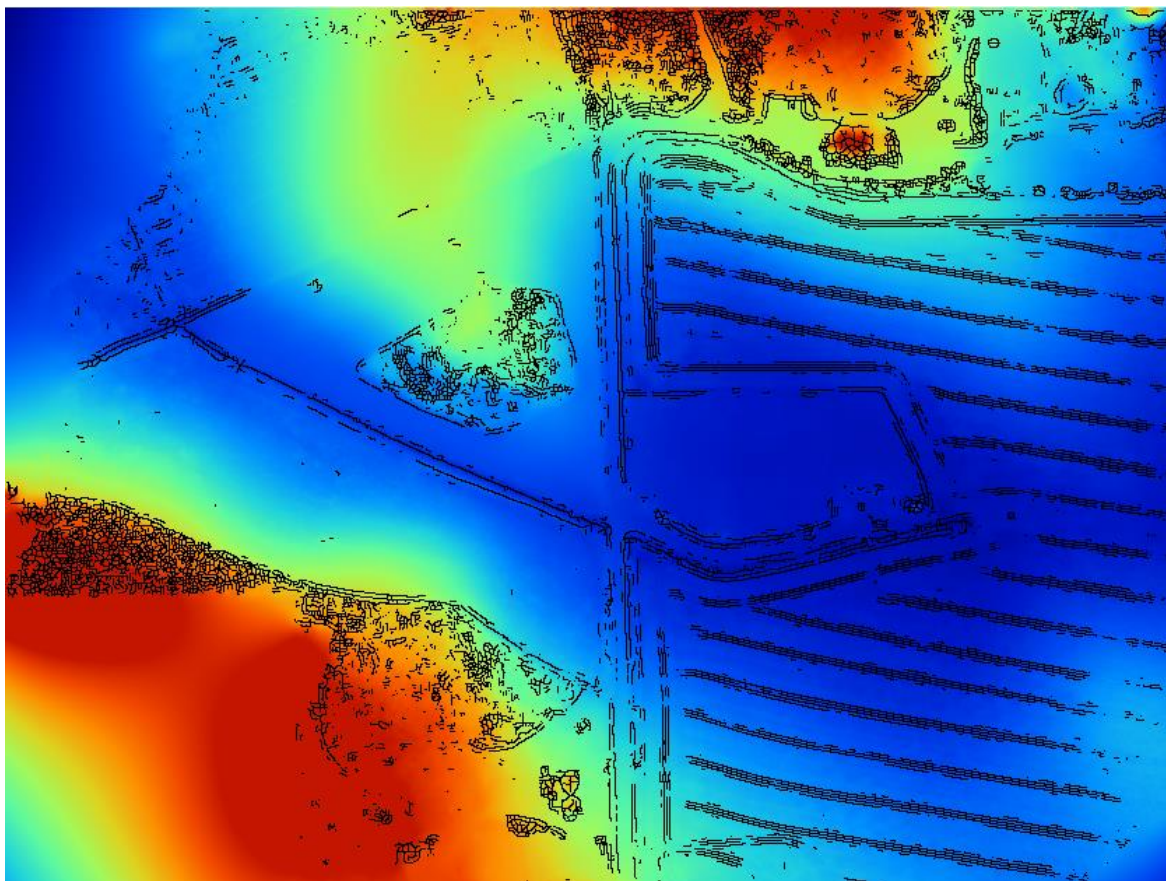


Efter att alla byggnader samt vegetation avlägsnats lämnar dessa hål i modellen efter sig, dessa hål måste fyllas igen för att bilda en solid modell. Detta görs med hjälp av en algoritm utformad av Seungyong Lee, George Wolberg och Sung Yong Shin som kort beskrivet tar spridda punkter och genom interpolering bildar en yta emellan dessa punkter som följer kringliggande punkter så optimalt som möjligt. (Seungyong, Wolberg, Shin 1997)

### **3. Framställning av brytlinjer**

Terrain breaklines under Terrain analysis är verktyget som används för att få fram de slutgiltiga brytlinjerna. För att få fram brytlinjerna så används DTM:en samt maximi- och minimilutning som input för beräkningarna. De två parametrar som går att justera är Scale radius och Curvature Threshold, dessa två fås genom att försöka sig fram och leta efter den konfiguration som ger bäst resultat.

Brytlinjerna som fås fram stämmer bra överens med terrängen, manuell editering är inte möjlig vilket resulterar i att onödiga, små bitar som inte bidrar till den slutgiltiga modellen även kommer med. Förekomsten av dessa har till stor del att göra med DTM:en, om denna vore jämnare/slätare skulle alla små vassa vinklar sorteras bort, m.a.o. skulle en utjämnad variant av DTM:en antagligen ge bättre resultat, men alla de viktigaste brytlinjerna finns trots allt med.



Figur 12. Brytlinjerna beräknade och insatta på DTM:en.

#### 4. Export av brytlinjer

Brytlinjerna kan slutligen exporteras och formatet som används vid export är ESRI Shape Files \*.shp. Detta geospaciala vektor format är det mest vanliga format som används för att spara objekt i vektor form, främst eftersom det är interoperabelt mellan ett flertal program och mycket vanligt förekommande format. (ESRI 1998)

## 10 Jämförelse av modellerna

Idealet skulle vara om modellerna som skapats skulle stämma överens sinsemellan. Detta är dock högst osannolikt och man kan genom en snabb inspektion av brytlinjerna konstatera inte kommer att vara fallet eftersom brytlinjerna som skapats inte stämmer fullt överens med varandra.

Men för att visualisera skillnaden mellan brytlinjerna kommer varsin modell att göras med respektive brytlinjer. För att utnyttja det ursprungliga punktmolnet kommer punkter med 10 meters mellanrum att fungera som stödpunkter och på detta vis bidra till att minska skillnaden mellan modellerna. En annan orsak till att inkludera punktmolnet i någon form överhuvudtaget är att om man tagit sig tid att göra laserskanningen kan man lika väl utnyttja

materialet till fullo, annars kunde man lika gärna göra mätningar i fältet med GNSS-mätningar.

De brytlinjer som skapats med 3DReshaper är enkla att göra en 3D-modell av, man kombinerar enkelt och snabbt brytlinjerna med punktmolnet för att sedan göra en terrängmodell av punktmolnet som nu innehåller både brytlinjer och punkter. Med brytlinjerna som skapats med Lis Pro 3D måste man första skapa en TIN-modell utgående endast från punktmolnet, i detta fall användes ArcScene som program, sedan editerar man punktmolnet genom att sätta in brytlinjerna som en slags begränsande faktor (*Eng. = constraining feature*). På detta vis har man nu en komplett modell som innehåller både brytlinjer samt punktmolnet. Från denna modell kan man sedan exportera alla trianglars hörnpunkter som en shape-fil för att sedan kunna skapa terrängmodellen i ett annat program för analys och jämförelse mellan de två modellerna, i detta fall görs analysen samt visualiseringen i 3D-Win.

Av störst intresse är skillnaden mellan hårda ytor till exempel vägområden kontra mjuka ytor till exempel åkermark. För att illustrera denna skillnad mellan modellerna har tvärskärningar gjorts över områden av intresse. Vägar och diken är intressanta att jämföra för att konstatera skillnaden mellan modellerna. Alla dessa tvärskärningar finns i bilaga 1 för granskning.

Om man ser på de hårdare ytorna t.ex. vägen så stämmer modellerna mycket väl överens med varandra. Vägområden uppvisar en väldigt stor skillnad, som minst under 5cm men på andra ställen upp till 15cm skillnad.

Mjukare ytor visar som väntat mycket större skillnader jämfört med hårda ytor. Dikena har en skillnad på 30cm sinsemellan. Åkermarken visar en skillnad på ca 25cm, detta är enbart på grund av de hjulspår som lämnats av jordbruksmaskiner. Dessa spår kunde som tidigare nämnt editeras bort i 3DReshaper medan de var tvungna att lämnas kvar i modellen producerad av Lis Pro 3D. I övrigt stämmer modellerna bra överens. Kullen uppvisar en skillnad på max 1,5m, här igen beror skillnaden antagligen på att Lis Pro 3D tagit fram brytlinjer som inte är annat än små bitar.

Av tvärskärningarna kan man konstatera att modellerna stämmer överraskande bra överens sinsemellan, men på ett par ställen finns det stora skillnader på allt från två till och med sju meter. Detta beror troligtvis på att brytlinjerna har editerats och valts att inte inkluderas vid den manuella editeringen av brytlinjerna.



## 11 Resultat och kritisk granskning

Jämförelsen som har gjorts visar det olika tillvägagångssätt som dessa två program använder, varpå man kan konstatera att både har sina för- och nackdelar. Båda programmen är kapabla att bearbeta punktmoln och ta fram de brytlinjer som hör till terrängen. 3DReshaper kommer med den stora fördelen att oönskade brytlinjer kan editeras bort relativt enkelt, medan Lis Pro 3D inte har stöd för denna funktion överhuvudtaget. På grund av detta har 3DReshaper en fördel gällande hanteringen av brytlinjer. Programmen är inte helt jämförbara i funktion eftersom Lis Pro 3D är utformat för att göra olika analyser av data medan 3DReshaper är specifikt inriktat på hantering av punktmoln och tillhörande delar.

Användarvänligheten också en betydande faktor att ta med och där tar 3DReshaper tydligt framkanten med sitt betydligt mer lättanvända gränssnitt. Båda programmen är kapabla att exportera brytlinjerna för vidare bearbetning och användning vid modellering av en TIN-modell, vilket är huvudsyftet med att använda brytlinjer.

Den ursprungsdata som använts har varit samma i båda jämförelserna och kan på så vis inte har introducerat fel som kan härledas från ursprungsdata. I Lis Pro 3D görs punktmolnet om till ett grid-system och i detta skede kan första felkällan introduceras. Idealet vore att bearbetningen av punktmolnet kunde ske utan att behöva gå via ett grid-system, eftersom detta introducerar en eventuell felkälla, nämligen kapaciteten hos datorn som har använts som testmaskin för jämförelsen och gång på gång konstaterats inte varit bra utformad för jämförelsen. I och för sig så är det i vissa avseenden olika resultatet helt naturligt eftersom båda programmen har helt olika tillvägagångssätt och metoder för att ta fram brytlinjerna, men dessa olikheter i resultatet kan åtminstone till en del härledas från datorn som använts och framförallt dess kapacitet att hantera programmen och punktmolnen.

I båda testerna av programmen så har ett flertal försök med små variationer gjorts för att nå ett lyckat resultat, detta innebär att det resultat som lyfts fram här inte överhuvudtaget behöver vara det bästa möjliga och den bästa lösningen inte nödvändigtvis nås. Värt att notera är att detta kan representera en verklig situation där man under en begränsad tid skall få fram bästa resultat för att sedan kunna gå vidare med projektet.

## 12 Diskussion

Detta har varit ett intressant ämne att sätta sig in i och göra detta examensarbete om. Speciellt eftersom laserskanning och fotogrammetri är ett ämnesområde som tagit fart tack vare all forskning kring punktmolns många användningsområden och forskningen kring dess vidareutveckling. Kort sagt så är detta ett område som har mycket stort potential för framtiden och i dagens läge är ett område som utvecklingen framskrider snabbt inom.

Hantering och bearbetning av punktmoln är även ett område som är relativt nytt för mig. Därför har hela processen att få sätta sig in i och lära sig vilka tekniker och metoder som fungerar för att få fram ett lyckat resultat varit mycket intressant. Även de gånger testerna inte lyckats har i efterhand varit lärorika eftersom jag varit tvungen att lösa dessa situationer och på så vis ökar min förståelse för ämnet.

Gång på gång i detta examensarbete har jag påpekat att datorns kapacitet påverkar arbetstiden avsevärt och det är kanske här som energi skulle behöva satsas, att utforma och optimera hanteringen av punktmoln eftersom det oftast är väldigt tidskrävande att gå genom alla processer som ingår i bearbetningen av punktmoln. Detta är på sätt och vis en fråga som kommer att vara intressant att följa upp, i och med att man trots allt kan ifrågasätta behovet av brytlinjer i de flesta fall förutsatt att punktmolnet har en tillräckligt hög punkttäthet. Högre punkttäthet innebär större mängder data vilket leder till längre bearbetningstider vilket slutligen innebär ett behov av bättre datorer, så får se vart utvecklingen går. Men i dagens läge erbjuder kombinationen punktmoln och brytlinjer en bra lösning som beroende på användningsändamål och projektets art kan vara fullt tillfredsställande.

Själva resultatet är jag även mycket nöjd med. I det skede där tvärskärningarna gjordes var jag beredd på ett mycket sämre resultat, men det är svårt att göra en objektiv bedömning på resultatets kvalitet eftersom detta är helt och hållet beroende på vad modellen kommer att användas till, vilka element som är viktiga samt vilka element som är onödiga för projektets framgång.

## 13 Källförteckning

ASPRS American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, u.å. *LASer (LAS) File Format Exchange Activities* [Online] <https://www.asprs.org/committee-general/laser-las-file-format-exchange-activities.html> [hämtat: 29.11.2016].

Esri, u.å. *breakline* [Online] <http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary/term/breakline> [hämtat: 14.12.2016].

Esri, 2009. *Breaklines in surface modeling* [Online] <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Breaklines%20in%20surface%20modeling> [hämtat: 14.12.2016].

Esri, u.å. *Fundamentals of creating TIN surfaces* [Online] <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-creating-tins.htm> [hämtat: 21.12.2016].

Esri, 1998. *ESRI Shapefile Technical Description* [Online] <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> [hämtat: 9.2.2017].

Esri, u.å. *Storing lidar data.* [Online] <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/storing-lidar-data.htm> [hämtat: 29.11.2016].

Esri, u.å. *TIN in ArcGIS Pro* [Online] <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/tin/tin-in-arcgis-pro.htm> [hämtat: 21.12.2016].

Esri, u.å. *What is lidar data?* [Online] <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm> [hämtat: 29.11.2016].

Geodetic, u.å. *The Basics of Photogrammetry* [Online] <http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx> [hämtat: 30.11.2016].

GISGeography, 2016. *A Complete Guide to LiDAR: Light Detection and Ranging.* [Online] <http://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/> [hämtat: 24.11.2016].

Graham, L., 2013 *Breaklines, Part 1 – An Introduction* [Online] <http://kb.geocue.com/wp-content/uploads/2014/11/Breaklines-Part-1-An-Introduction.pdf> [hämtat: 15.12.2016].

Lantmäteriet, 2013. *Flygburen laserskanning.* [Online] <http://bit.ly/2oDzMnc> [hämtat: 28.11.2016].

Lantmäteriet, 2013. *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik* [Online] <http://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/handbok-mat--och-kartfragor/utbildning/kompendium20131028.pdf> [hämtat: 30.11.2016].

LiDAR-UK. *How does LiDAR work? The science behind the technology.* [Online] <http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/> [hämtat: 24.11.2016].

National Oceanic and Atmospheric Administration. *What is LIDAR?* [Online] <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html> [hämtat: 24.11.2016].

Safe Software. *What is a point cloud? What is Lidar.* [Online] <https://knowledge.safe.com/articles/257/what-is-a-point-cloud-what-is-lidar.html> [hämtat: 12.12.2016]

Seungyong L., Wolberg G., Shin Y., 1997 *Scattered Data Interpolation with Multilevel B-Splines* [Online] <http://csweb.engr.cuny.cuny.edu/~wolberg/pub/tvcg97.pdf> [hämtat: 2.2.2017].

## 14 Figurkällor

Figur 1. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm> [hämtat: 28.11.2016].

Figur 2. <http://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/handbok-mat--och-kartfragor/utbildning/kompendium20131028.pdf> [hämtat: 2.12.2016].

Figur 3. <http://www.lantmateriet.se/globalassets/om-lantmateriet/var-samverkan-med-andra/handbok-mat--och-kartfragor/utbildning/kompendium20131028.pdf> [hämtat: 2.12.2016].

Figur 4. <http://support.esri.com/technical-article/000002257> [hämtat: 15.12.2016]

Figur 5. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/db/Delaunay\\_circumcircles\\_vectorial.svg/500px-Delaunay\\_circumcircles\\_vectorial.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/db/Delaunay_circumcircles_vectorial.svg/500px-Delaunay_circumcircles_vectorial.svg.png) [hämtat: 21.12.2016]

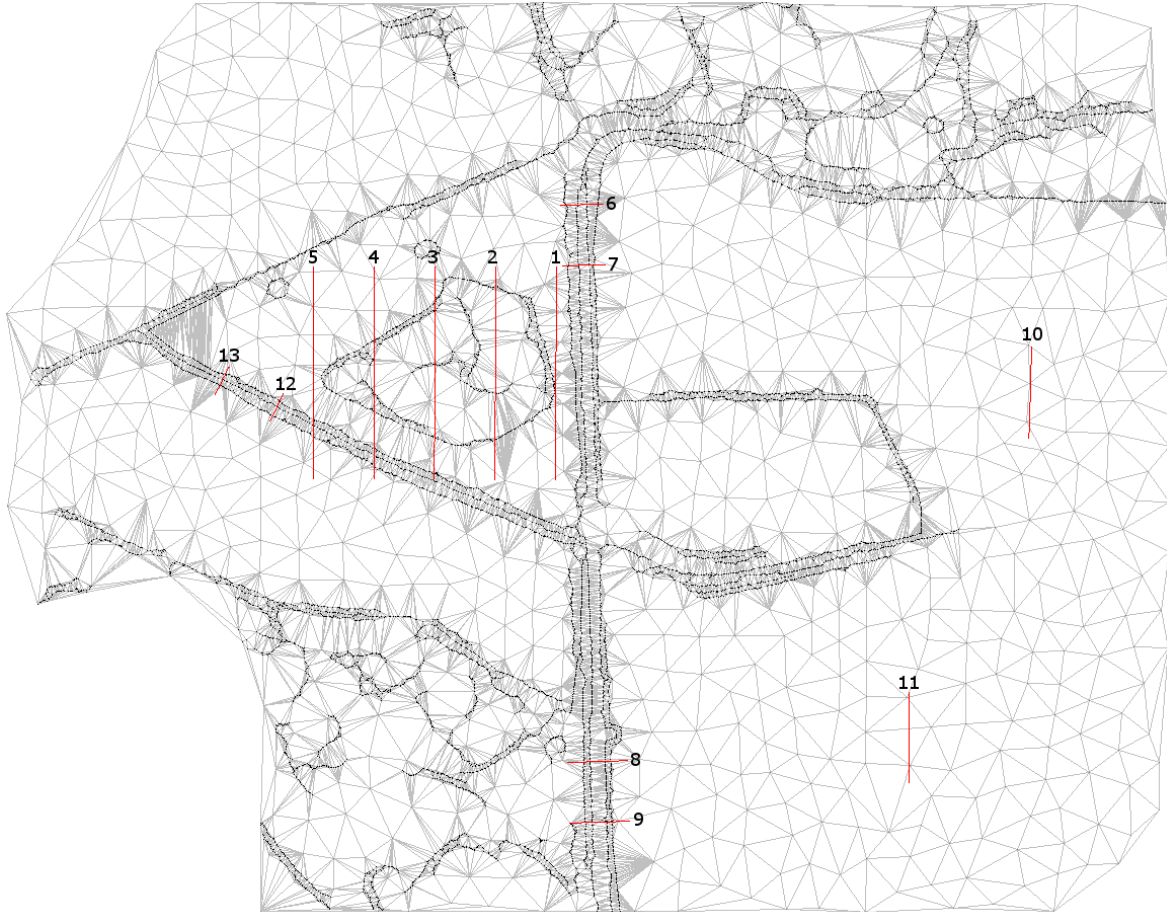


Figur 6. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-creating-tins.htm> [hämtat: 21.12.2016]

Figur 7–15. Egna bilder

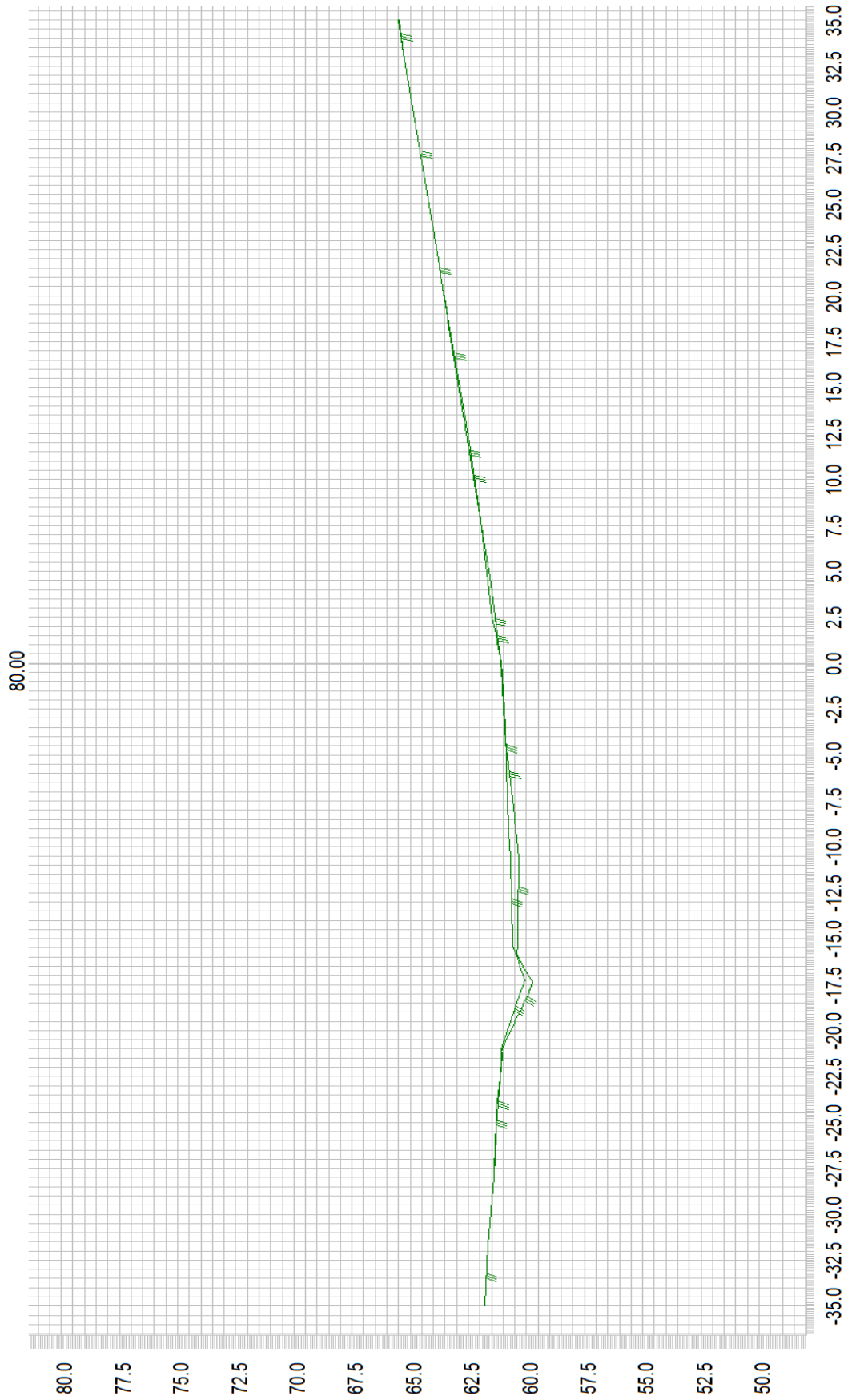
Tabell 1. [http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS\\_1\\_4\\_r13.pdf](http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf) [hämtat 15.3.2017]

Detta är en översikt över tvärskärningarna som gjorts. De röda linjerna innebär en tvärskärning med tillhörande löpande nummer. Angående graferna så är den nedre mera noggranna linjen skapad med Lis Pro 3D och den övre linjen med 3DReshaper.



Följande fem grafer visar ett exempel höjdskillnaden hos mera varierande terräng t.ex. backar och kullar:

Graf 1



Graf 2



Graf 3



Graf 4

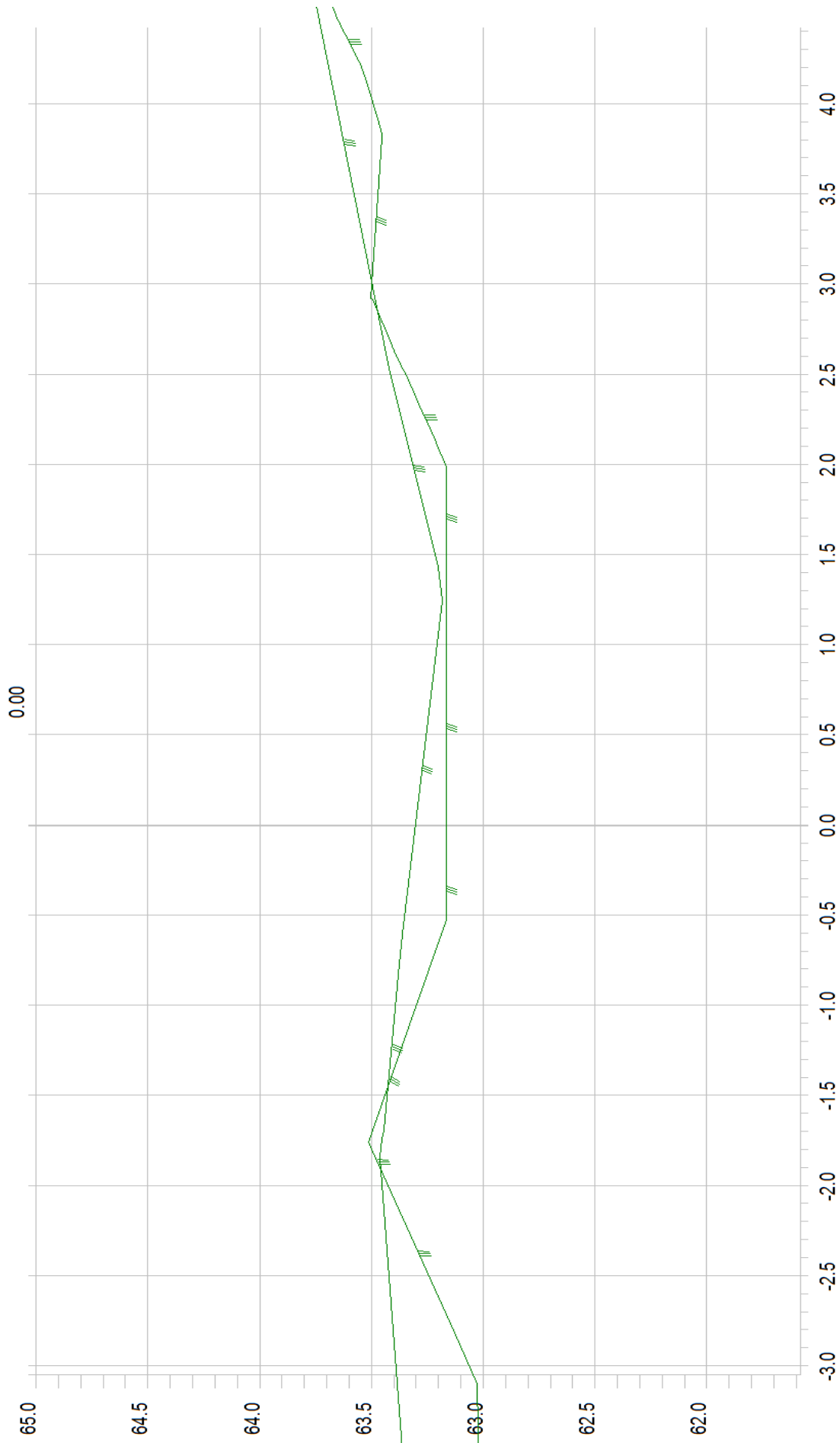


Graf 5



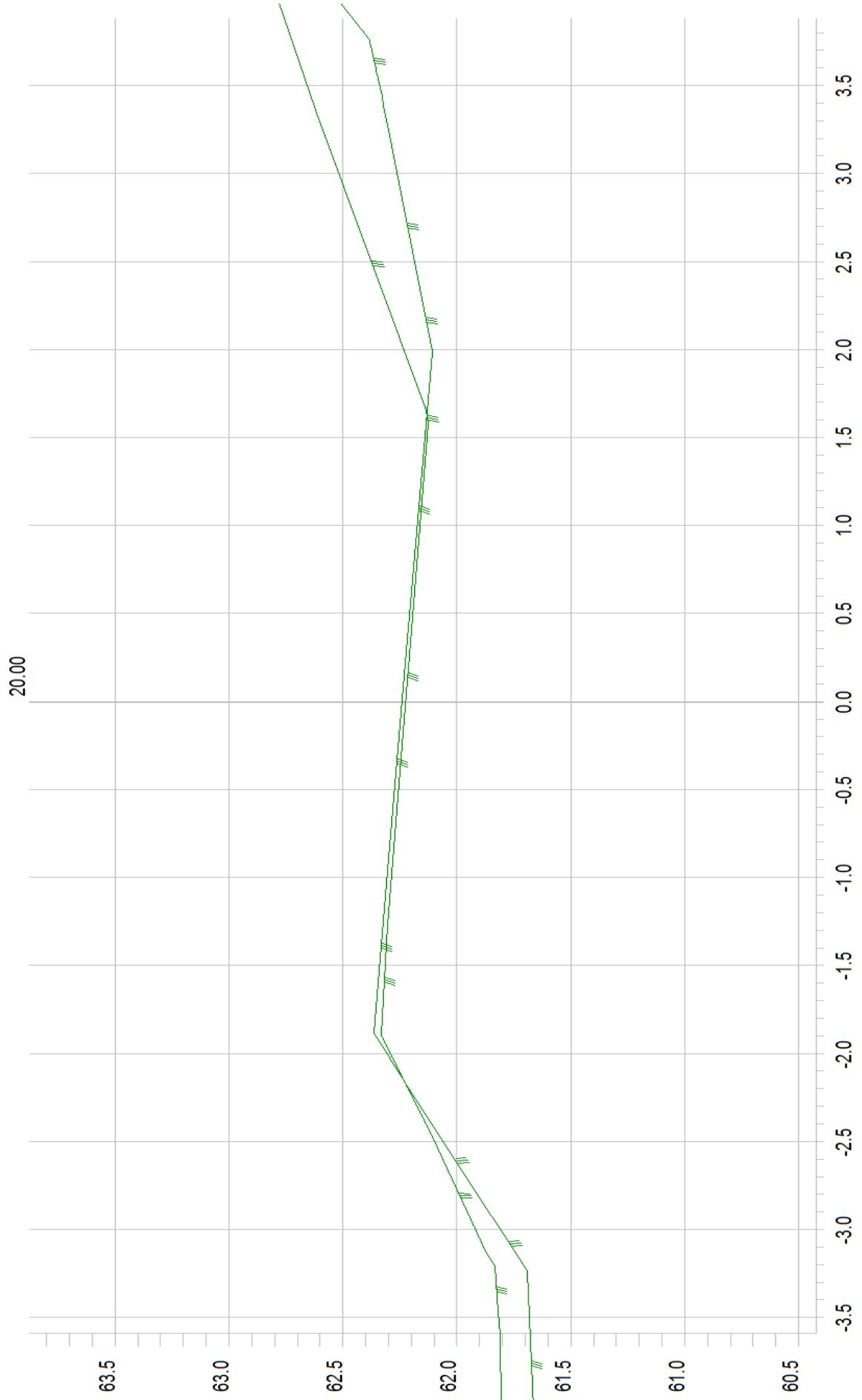
Följande tvärskärningar visar vägar (6-9)

Graf 6





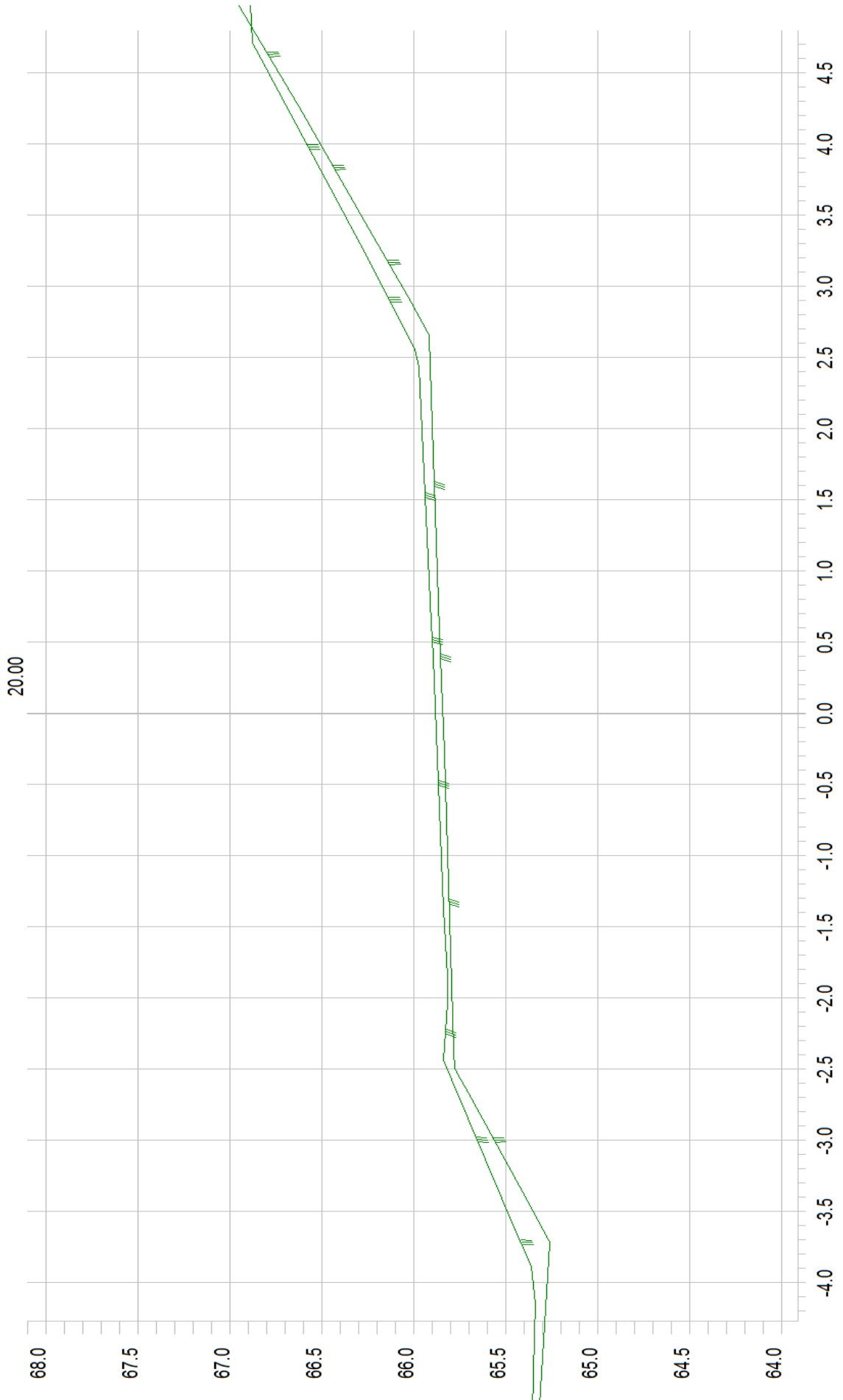
Graf 7



Graf 8

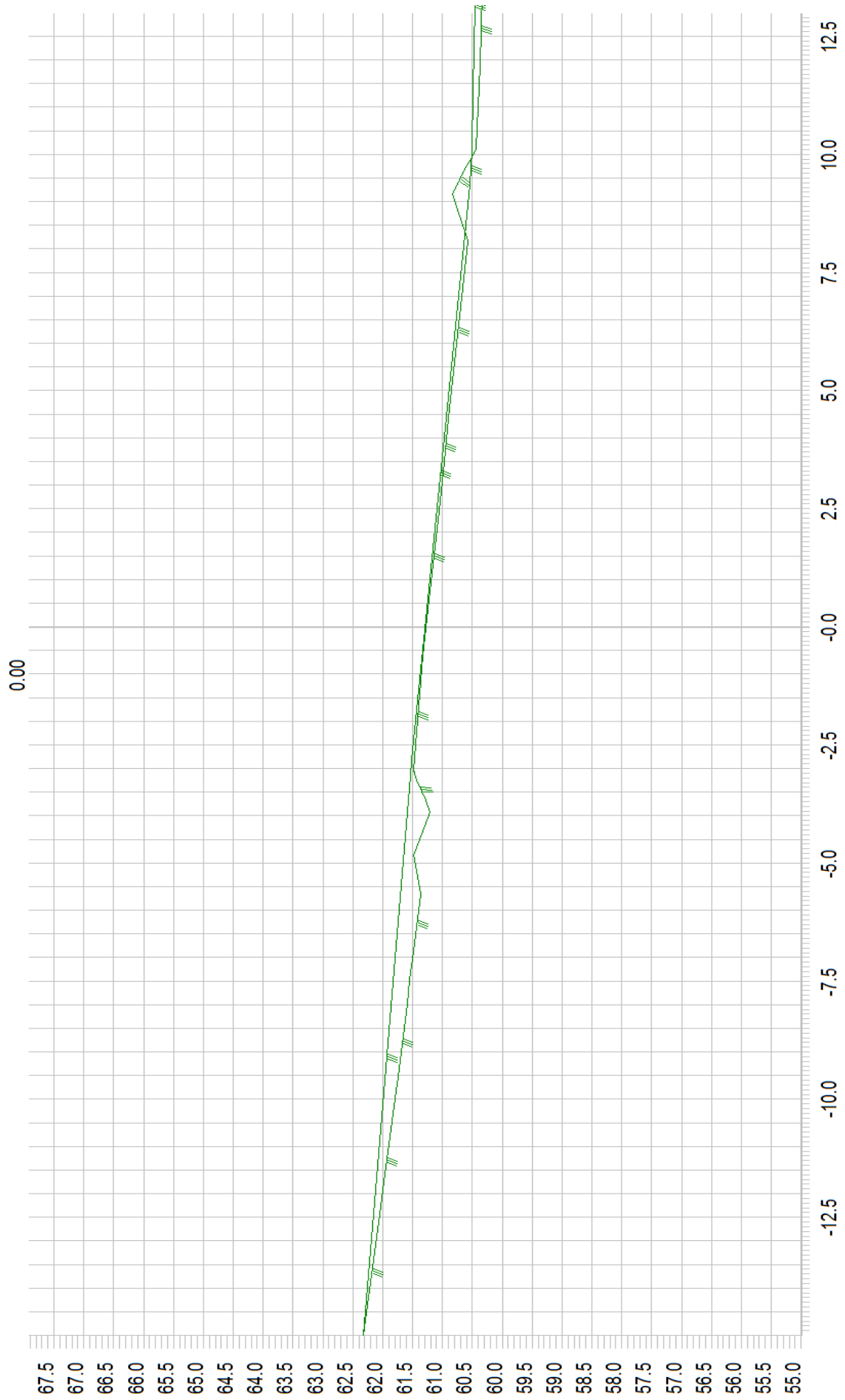


Graf 9

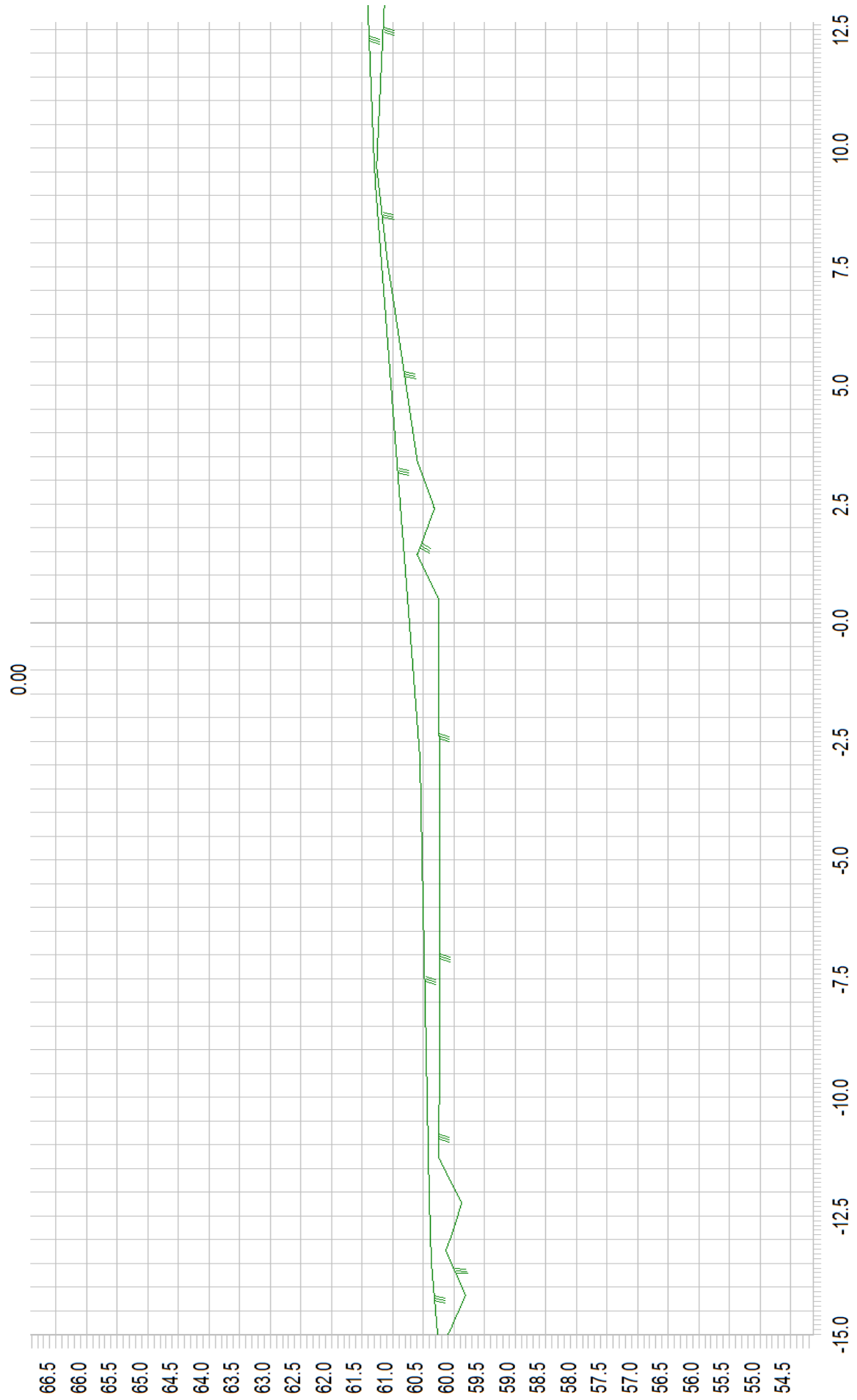


Följande fyra tvärskärningar visar åkermark (10, 11) och diken (12, 13)

Graf 10



Graf 11



Graf 12



Graf 13

