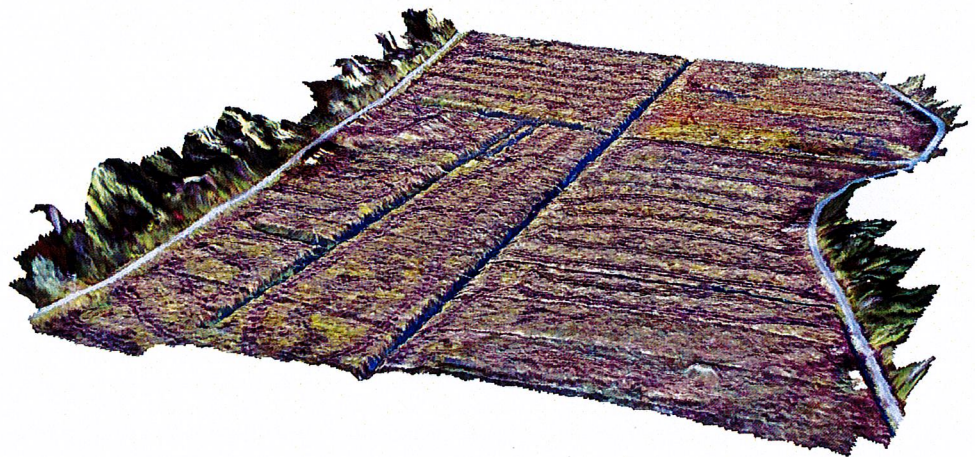


# Jämförelse av höjdmodeller från drönare och Single Photon LiDAR för hydrologisk modellering



**Rasmus Löfberg  
Johan León Eriksson**

**Degree of Bachelor of Science  
with a major in Geography  
15 hec**

**Department of Economy and Society, Human Geography &  
Department of Earth Sciences  
University of Gothenburg  
2020 B-1099**

Faculty of Science



UNIVERSITY OF GOTHENBURG

UNIVERSITY OF GOTHENBURG  
Department of Economy and Society, Human Geography &  
Department of Earth Sciences  
Geovetarcentrum/Earth Science Centre

# Jämförelse av höjdmodeller från drönare och Single Photon LiDAR för hydrologisk modellering

Rasmus Löfberg  
Johan León Eriksson

ISSN 1400-3821

**B1099**  
**Bachelor of Science thesis**  
**Göteborg 2020**

---

**Mailing address**  
Geovetarcentrum  
S 405 30 Göteborg

**Address**  
Geovetarcentrum  
Guldhedsgatan 5A

**Telephone**  
031-786 19 56

Geovetarcentrum  
Göteborg University  
S-405 30 Göteborg  
SWEDEN

## Sammanfattning

Fjärranalys har sedan slutet av 1800-talet och fram tills idag genomgått en uppseendeväckande teknikutveckling. Idag framträder så även en ytterligare teknik inom fjärranalys som benämns för drönare. Drönare har, förutom inom hobbyflygning även tillämpats inom vetenskapliga studier. Trots detta finns det än så länge få studier som undersöker och jämför datakvaliteten mellan 3D-modeller från kameror på konsumentdrönare och luftburen LiDAR.

Denna studie har därmed som syfte att jämföra en *Digital Surface Model* (DSM) genererad från konsumentdrönare med en *Digital Terrain Model* (DTM) skapad från Single Photon LiDAR (SPL) över ett område i Skogaryd. Dessa höjdmodeller har sedan ingått i en hydrologisk analys för ett verkligt dammprojekt, vars kommande planer är att området ska genomgå en återvätning av en myr. Målet med studien är att undersöka huruvida konsumentdrönare står sig i förhållande till Single Photon LiDAR och om dess kvalité och tillämpning inom en hydrologisk analys skulle vara godtagbar för framtida fältstudier.

Resultatet av jämförelsen visar att det finns skillnader mellan de två digitala höjdmodellerna. Höjdmodellen genererad av konsumentdrönaren har en högre upplösning (0,03 meter pixlar) än höjdmodellen genererad av Single Photon LiDAR (0,25 meter pixlar, minsta möjliga för analysen). Dock verkar mark-kontrollpunkterna blivit otillräckliga i drönardatan, vilket medför att höjdvärde för Single Photon LiDAR överensstämmer noggrannare med verkligheten. Vidare fanns det även skiljaktigheter för den hydrologiska analysen mellan konsumentdrönare och Single Photon LiDAR. Det som påvisades var att Single Photon LiDAR ämnade sig bättre för denna typ av analys i ett större område, men generaliseringen på grund av bortfiltrerade trädstammar och den *relativt* lågupplösta pixelnivån skapade odetaljerade och ibland ofullständiga vattenflöden. Drönardatan påvisade flera intressanta fördelar när det kom till strömuppdelningar och detaljerade flöden. Dock gjorde förekomsten av vatten som avläses som marknivå i drönarens Digital Surface Model att dikerna blev för grunda, vilket påverkade analysens verklighetstrogenhet. Ytterligare forskning med data närmare i tiden till varandra och under liknande förhållanden på markytan skulle behövas genomföras.

**Nyckelord:** Drönare, SPL, DTM, DSM, Hydrologisk modellering

## Abstract

Remote sensing has undergone a startling technological development since the end of the 19th century and until today. Today, drones are a very popular platform used for remote sensing. In addition to hobby flying, drones have also been applied in scientific studies. Despite this, there are so far few studies investigating and comparing data quality of 3D models created from cameras on consumer drones and airborne LiDAR.

This study thus aims to compare a *Digital Surface Model* (DSM) generated from a consumer drone with a *Digital Terrain Model* (DTM) created from Single Photon LiDAR (SPL), both of which are taken over an area in Skogaryd. Following that, these height models have been part of a hydrological analysis for a real dam project, where the upcoming plan for the area is the rewetting of a mire. The overall study is to compare the two technologies, determine whether a consumer drone is a viable option to Single Photon LiDAR and whether its quality and application in a hydrological analysis would be acceptable for future field studies.

What can be noted for this specific study is that there are comparable differences between the two digital elevation models. The study shows a higher resolution with the consumer drone (0.03 meters pixels) than Single Photon LiDAR (0.25 meters pixels, smallest possible for the analysis). However, the ground control points appear to have been insufficient in the drone data, which means that the height value of the Single Photon LiDAR is more in line with reality. Furthermore, there were also differences in the hydrological analysis between the consumer drone and Single Photon LiDAR elevation models. What was shown was that Single Photon LiDAR worked better for this type of analysis in a larger area, but the generalization due to filtered tree trunks and the *relatively* low resolution pixel value created un-detailed and sometimes incomplete water flows. The drone data demonstrated several interesting advantages when it came to stream splits and detailed flows. However, the presence of water that was interpreted as being the ground level in the drone's Digital Surface Model made the dikes too shallow, which affected the analysis's real-life integrity. Further research with data closer in time to each other and similar conditions on the ground surface would need to be conducted.

**Keywords:** Drone, SPL, DTM, DSM, Hydrological modelling



## **Förord**

Under utbildningens gång på Göteborgs Universitet växte ett intresse för Geografiska informationssystem (GIS) och hur detta skulle kunna kombineras med drönare. Med tanke på att drönare är relativt nytt, upplever båda författarna av denna studie att det är ett område som är förhållandevis outforskat. Vår förhoppning med studien är således att bidra med mer kunskap till forskningsfältet och synliggöra drönarens vetenskapliga potential.

Även om idén för arbetet var intressant, hade detta i mångt och mycket inte varit möjligt att genomföra utan vår handledare, docent Heather Reese. Genom resans gång har Heather givit oss goda råd, intressanta infallsvinklar och mycket teknisk hjälp. Vi vill även tacka Bengt Liljebladh som tog och processade drönarbilder och COWI AB som tog SPL-data över studieområdet. Vi vill slutligen tacka kursledare Jonas Lindberg och Sofia Thorsson för ett bra kursupplägg samt våra kurskamrater för givande gruppdiskussioner.

Rasmus Löfberg & Johan León Eriksson

Göteborg 2020-05-29

## Innehållsförteckning

<b>1. Introduktion .....</b>	<b>6</b>
1.1 Bakgrund .....	6
1.2 Syfte och frågeställningar .....	7
<b>2. Kunskapsöversikt .....</b>	<b>8</b>
2.1 Fjärranalysens utveckling .....	8
2.2 Fjärranalys .....	9
2.2.1 LiDAR teknik .....	11
2.2.2 Single Photon LiDAR teknik .....	12
2.2.3 Drönarebaserad optisk data.....	13
2.3 Dataformat .....	13
2.4 Förvrängning med flygbild .....	14
<b>3. Studieområde .....</b>	<b>15</b>
3.1 Skogaryd .....	15
<b>4. Metod .....</b>	<b>18</b>
4.1 Data .....	18
4.1.1 Single Photon LiDAR data .....	18
4.1.2 Drönarbaserad data.....	19
4.2 Bearbetning .....	19
4.3 Hydrologisk analys.....	19
4.4 Placering av damm.....	22
<b>5. Resultat.....</b>	<b>23</b>
5.1 Jämförelse av Digital Surface Model och Digital Terrain Model i 2D .....	23
5.2 Jämförelse av Digital Surface Model och Digital Terrain Model i 3D .....	26
5.3 Markprofiler .....	27
5.3.1 Markprofil från väst till öst.....	28
5.3.2 Markprofil från norr till söder .....	29
5.4 Jämförelse mellan Digital Surface Model och Digital Terrain Model med hillshade.....	29
5.5 Hydrologisk analys.....	31
<b>6. Diskussion.....</b>	<b>38</b>
Vidare forskning .....	42
<b>7. Slutsats .....</b>	<b>43</b>
<b>8. Källförteckning.....</b>	<b>44</b>

# 1. Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Utvecklingen inom fjärranalys har sedan slutet av 1800-talet och fram tills idag genomgått en rad av uppseendeväckande framsteg. Den började med en begränsad fotogrammetri från svajande luftballonger till att på senare tid ha möjligheten att avbilda jorden regelbundet från stabila satelliter (Campbell & Wynne, 2011). I modern tid ses även en ny innovativ teknik som benämns för drönare träda i kraft. Drönare har sedan 2010 fått ett enormt genombrott som främst har pågått inom hobbyflygning (Reese & Olsson, 2018). Dock har den tekniska uppgången för drönare utvecklats ytterligare och idag kan dessutom skanningsutrustning som hyperspektrala sensorer och LiDAR-system monteras på dess farkost (Wang, Duan, Brydegaard, Svanberg & Zhao, 2018). Även om drönare används främst inom hobby för privatpersoner, har den också tillämpats inom vetenskapliga studier. En studie som gjordes över ett mindre område i Bollnäs, tillämpade en drönare för att därigenom jämföra denna digitala höjdmodell med den nationella höjdmodellen (NH). Detta för att sedan användas som underlag för hydrologiska modelleringar. Resultatet för studien visade att en lägre flyghöjd med drönare genererade en höjdmodell med högre noggrannhet och att detta dataunderlag påverkade t.ex. flödesriktning och vattendjup i den hydrologiska modelleringen (Strömberg & Thelin, 2019).

Drönare tycks tillämpas alltmer inom vetenskapliga studier. Dock framhävs en specifik begränsning med dess kapacitet och utmaning för framtida studier. Drönare har än så länge svårt med att kunna täcka in större områden med avseende på dess begränsade flygtid. Flygtiden varierar mellan 15–60 minuter och upplevs av dagens forskare som problematisk med att exempelvis kunna samla in data över ett skogsområde på mer än 100 hektar, vilket tvingar till många batteribyten. Därför sker de flesta flygningar idag över mindre studieområden (Coops, Goodbody & Cao, 2019).

Med tanke på drönarens nuvarande begränsning samt tidigare genomförda studie från Bollnäs, finns det således inslag där drönaren tillämpas inom vetenskapliga studier på en mindre skala. Även om drönare tycks ha uppnått goda resultat över ett mindre studieområde, finns det än så länge få studier som undersöker och jämför datakvaliteten från konsumentdrönare med en LiDAR-teknik som kallas för Single Photon LiDAR (SPL). Tekniken med SPL är vanligtvis

utrustade på flygplan och har visats i studier kunna generera högupplösta strukturella detaljer över skogsområden (Swatantran, Tang, Barrett, DeCola & Dubaysh, 2016).

## ***1.2 Syfte och frågeställningar***

Syftet med studien är att med hjälp av Geografiska informationssystem (GIS) jämföra en *Digital Surface Model* (DSM) genererad från konsumentdrönare med en *Digital Terrain Model* (DTM) skapad från SPL som båda är tagna över ett område i Skogaryd. Detta med avseende på dess datakvalité som upplösning och noggrannhet. Sedan kommer dessa modeller att ingå i en hydrologisk analys för ett verkligt dammprojekt. Målet med studien är att undersöka huruvida konsumentdrönare står sig i förhållande till SPL och om dess kvalité och tillämpning inom en hydrologisk analys skulle vara godtagbar för framtida fältstudier. För att kunna uppnå syftets krav har dessa frågeställningar använts:

- Hur skiljer sig en Digital Surface Model skapad från drönarbilder (konsumentdrönare) från en Digital Terrain Model skapad från Single Photon LiDAR-data?
- Hur skiljer sig en hydrologisk analys baserad på data från en konsumentdrönare och från Single Photon LiDAR för anläggning av en damm?



## 2. Kunskapsöversikt

### 2.1 Fjärranalysens utveckling

I det senare skedet av 1800-talet, inleddes ett uppseendeväckande genombrott i något som sedan skulle betecknas *fjärranalys*. Det var nämligen Gaspard-Félix Tournachon med smeknamnet Nadar som år 1858 lyckades ta flygfoton över Frankrike med hjälp av en luftballong. Även om Nadars första flygfoton från luftballongen gick förlorade, har andra ballong fotografier tagit efter Nadars initiativ, vars historiska flygfoton lever kvar än idag. De följande åren som gick medförde även att det gjordes en enorm förbättring inom fotografisk teknik samt att bättre metoder utvecklades för att kunna åstadkomma realistiska avbildningar av jorden från ballonger och drakar. Dessa flygfoton som vid detta tillfälle avbildade jorden, kunde nu ingå under definitionen fjärranalys (Campbell & Wynne, 2011).

År 1909 flög piloten Wilbur Wright över det italienska landskapet nära Centocelli, vars flygfoton betraktades som de första tagna med hjälp av ett flygplan. Fördelen med flygplanet som betonades var att hastighet, altitud och riktning kunde kontrolleras och manövreras på ett sätt som tidigare inte var möjligt. Men trots detta var tekniken med flygplanet och dess kamera inte helt kompatibel med varandra. Det som sedan visade sig behövas för att skynda på denna tekniska uppgång, var således ett världskrig. Det första världskriget som varade mellan 1914–1918 medförde att flygplanets kamera och dess farkost blev bättre anpassade till varandra och utvecklades efterhand konflikten fortgick. Inom fjärranalys var krigföringen den främsta förklaring till att flygplanets kapacitet utvecklades och blev bättre. Åren efter första världskriget utbröt flera olika krig där flygfoton fick en allt mer framträdande roll för att dels få kontroll på sin fiende men också för att kunna organisera sitt eget territorium (Campbell & Wynne, 2011).

Den första fjärranalyssatelliten (TIROS-1) lanserades i april 1960. Satelliten var designad för att kunna utföra klimatologiska samt meteorologiska observationer och hade som fördel att den var försedd med instrument som kunde se utanför det synliga spektrumet in till de infraröda- och mikrovågsområdena. Även om satelliten hade en civil approach, användes den ändå under denna tid för militära tillämpningar (Campbell & Wynne, 2011). Sedan 2000-talet har tekniken ytterligare gått framåt med drönare samt andra vanliga modellflyg (Reese & Olsson, 2018).

## 2.2 Fjärranalys

Definitionen av fjärranalys specificeras olika. Ett koncept kan vara följande:

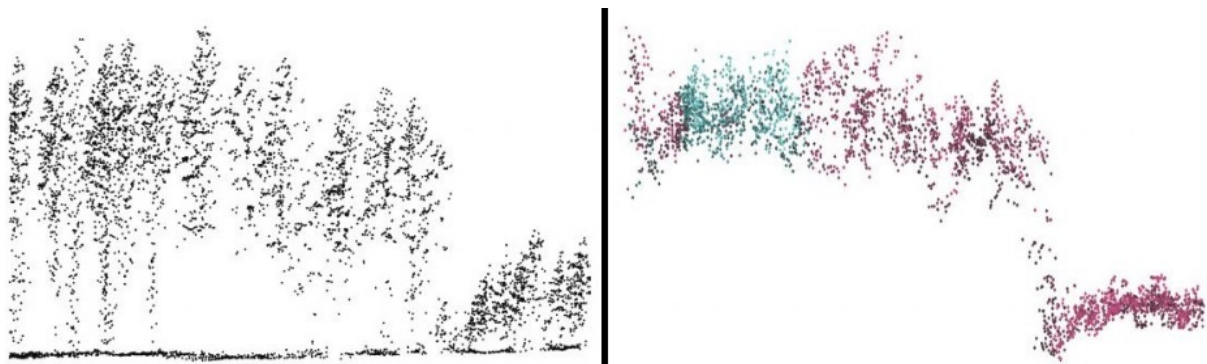
*Fjärranalys har definierats på olika sätt men i princip är det konsten eller vetenskapen att berätta något om ett objekt utan att beröra det (Campbell & Wynne 2011, s. 6).*

Insamling av data sker från sensorer som antingen är monterade på drönarens-, flygplanets eller satellitens plattform. Det finns två typer av sensorer, *-aktiv* och *passiv* sensor (Harrie, 2020). En aktiv sensor sänder själv ut signaler som sedan reflekteras på objektet. Efter att signalen har träffat ett objekt, skickas den tillbaka till sensorn där den registreras. Ett exempel på en aktiv sensor är *LiDAR (Light Detection and Ranging)* som kan vara monterad på t.ex. ett flygplan. En passiv sensor däremot registrerar reflekterad strålning som kommer ifrån redan upplysta objekt. Ljuskällan som lyser på objekten brukar vanligtvis komma från solen och blir således betydelsefull för att den passiva sensorn ska kunna registrera objekt. En vanlig kamera är ett bra exempel på en passiv sensor och som kan vara monterad på exempelvis en drönare (Reese & Olsson, 2018).

Den aktiva sensorn som sänder ut punkter genererar i sin tur ett punktmoln, vilket medför möjligheten att kunna skapa tredimensionell information över exempelvis skogsområden. Punktskanningen från LiDAR träffar därmed trädkronan, trädgrenar och buskar. LiDAR-skanningen har även förmåga att penetrera vegetation, vilket möjliggör skapande av en digital höjdmodell (Sanz, Rosell, Llorens, Gil & Planas, 2013). Den digitala höjdmodellen kallas för *Digital Terrain Model (DTM)*, vilket avser marknivån (Maguya, Junttila & Kauranne, 2013). Vidare är det möjligt att skapa tredimensionell information utifrån flygbilder genererade från drönare. Bilder som är tagna från en flygfarkost kan användas för att skapa punktmoln, vilket är i likhet med LiDAR-skanning. Dock samlar punkterna från flygbilderna enbart in det som finns ovanpå vegetation och således inte det som finns under den. Punkter från flygbilder kan därmed inte tränga igenom trädkronan, trädgrenarna samt buskarna som finns ovanpå marken, något som LiDAR-skanning däremot kan göra (se figur 1). Detta medför att flygbilder genererar en *Digital Surface Model (DSM)*, vilket innebär att höjdmodellen är baserad på det som finns ovanpå marknivån (Stal, Tack, Maeyer, Wulf & Goossens, 2012). Förutsättningar för att kunna generera punktmoln från flygbilder är bland annat att bilderna behöver ha ett

överlapp. Detta för att mäta med hög geometrisk noggrannhet i flygbilder, vilket betecknas *fotogrammetri* (Harrie, 2020). Ett överlapp på minst 60% behövs för att kunna anpassas i x-, y- och z-led för att således kunna åstadkomma det tredimensionella utseendet och benämns för *Stereo fotogrammetri*. Dessutom behöver kamerans position och vinkel vara justerade med stor noggrannhet för att kunna åstadkomma den verkliga geometrin (Reese & Olsson, 2018).

Tekniken med skapandet av 3D punktmoln från flygbilder, möjliggör därav att skogen samt den omkringliggande marken kan ses ur ett ytterligare perspektiv och bringar mer information till skogsbruket. Fördelar som dessa tredimensionella visualiseringar skulle kunna bidra med inom skogsbruket är att förändringen över tid av skogen skulle kunna ses och upptäckas ur ett tredimensionellt perspektiv. Punktmoln skulle även kunna användas för att beräkna trädens höjd samt timmervolym. Lantmäteriet har på senare tid uppnått goda resultat med flygbilder som har genererats till punktmoln och bedömer att det kommer bli en värdefull källa av data för skogsbrukets framtida arbete (Reese & Olsson, 2018).



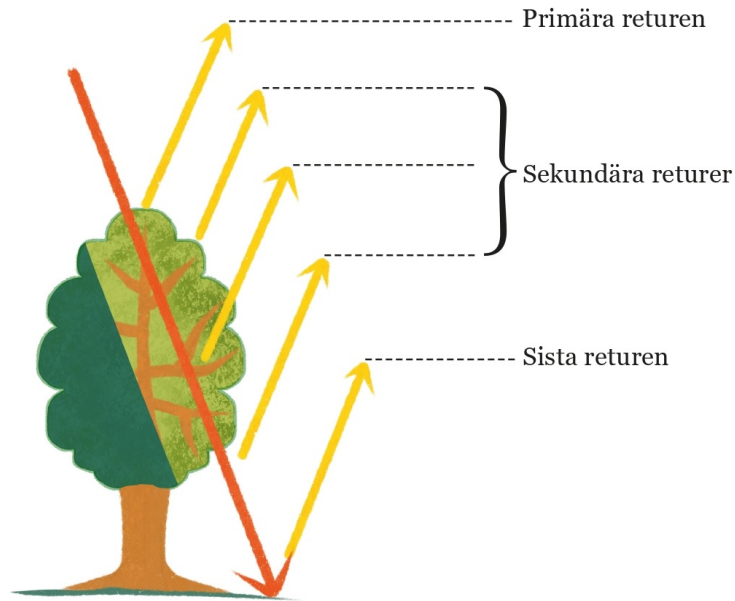
Figur 1: Punktmoln deriverade från LiDAR (vänster) och flygbild (höger). Källa: Reese & Olsson (2018), bild av J. Bohlin.

Figure 1: Point clouds derived from LiDAR (left) and aerial photograph (right). Source: Reese & Olsson (2018), picture by J. Bohlin.

### 2.2.1 LiDAR teknik

Formen av LiDAR har använts sedan lasern uppfanns under 1950-talet men det var först på det sena 1980-talet då LiDAR kom att benämnas som en form av fjärranalys. Det var under denna tid som en hel del modern teknik förfinades för att kunna skapa de exakta LiDAR-systemen som finns idag. Några av dessa utvecklingar inkluderar IMU (Inertial Measuring Unit), GPS (Global Position System), INS (Inertial Navigation System) och utvecklandet av exakta klockor som tillåter precis timing för att LiDAR-datan skall bli så exakt som möjligt. Denna form av fjärranalys använder sig av pulserande laser för att mäta avstånd från sändaren till diverse objekt på markytan. Den tid det tar för laser-pulserna att återvända till sändaren visar avståndet till objektet. LiDAR använder sig av sammanhängande ljus som består av smala band av våglängd, med andra ord, monokromatiska. Detta medför att ljuset kan färdas långa sträckor som en smal stråle med minsta möjliga avvikelse (Campbell & Wynne, 2011; Harrie, 2020).

När en laserpuls från en LiDAR-utrustning skickas iväg mot markytan, får sändaren tillbaka ett flertal så kallade returer från terrängen. Den första returen, den primära returen, indikerar det första objekt eller vegetation som pulsen anträffar. I ett tätt bevuxet skogsområde så kommer den primära returen från trädkronan. Delar av samma puls letar sig sedan genom trädkronan och ger så kallade sekundära returer eller partiella returer. Dessa är flera till antalet och kan komma från grenar eller löv på väg ner i trädkronan till exempel. Slutligen så träffar pulsen markytan som benämns som den sista returen (se figur 2). Man kan sedan filtrera dessa punktmoln beroende på en specifik höjd, till exempel markyta för att skapa en Digital Terrain Model. Punktmoln är den samling av alla returer inom ett specifikt område, med sina unika x, y och z-värden (ESRI, 2019; Harrie, 2020). Noggrannheten på denna ponerade markyta under ett bevuxet område påverkas av vegetationen som befinner sig över den, det vill säga hur tätt löv och grenar växer och vilken typ av vegetation det är (Campbell & Wynne, 2011). I Sverige finns laserdata som täcker 97,5% av landet i form av 2x2m raster tillgängligt på Skogstyrelsens hemsida (Nilsson, M., Nordqvist, K., Jonzén, J., Lindgren, N., Axensten, P., Wallerman, J., ... Olsson, H., 2016).



Figur 2: Klassificering av returerna från LiDAR. Modifierad figur baserad på ESRI (2019).

Figure 2: Classification of returns from LiDAR. Modified figure based on ESRI (2019).

### 2.2.2 Single Photon LiDAR teknik

*Single Photon LiDAR* eller SPL är en relativt ny och innovativ LiDAR för att snabbt kunna kartlägga LiDAR över stora skogs-, vatten- och terrängområden. Genom att detektera enskilda fotoner som reflekteras från jordens yta kan SPL både reducera energikostnaden för datainsamling samt göra processen snabbare än traditionell LiDAR (Swatantran et al., 2016). Eftersom SPL har möjligheten att fånga upp enskilda fotoner kan varje puls dela upp sig till 100 mindre pulser (Li, Degnan, Barrett & Shan, 2016). Detta medför att SPL kan samla in punkter cirka 10 gånger snabbare än traditionell LiDAR och skicka upp till 6 miljoner pulser per sekund (Leica, 2020). Detta innebär att SPL kan ta data från en högre höjd än traditionell LiDAR; runt 18000 meter över marken (Leica, 2017) jämfört med runt 5000 meter över marken för traditionell LiDAR (Lovin, 2018). SPL sägs ha många fördelar när det kommer till stadsplanering, naturresurshantering och hydrologisk modellering, med flera (Swatantran et al., 2016).

Till skillnad från vanlig LiDAR, även kallad LML (Linear Mode LiDAR), som använder sig av nära infraröd laser (1024 nm) så använder sig SPL av laser från grön våglängd (532 nm). Detta medför att SPL lämpar sig bättre för batymetri än för vegetation, då laser från den grön våglängden penetrerar vattenkroppar bättre än nära infraröd, vilket i sin tur ämnar sig bättre för

vegetation (Campbell & Wynne, 2011). En studie av Brown, Hartzell & Glennie (2020) visar på att trots att man får cirka 2 gånger fler returerna från SPL (modell: Leica SPL100) än traditionell LML (modell: Optech Titan), så är den procentuella returen av markpunkter bara 43% kontra 71% från LML.

### **2.2.3 Drönarebaserad optisk data**

Drönare eller Unmanned Aerial Vehicle (UAV) blev under början av 20-talet lanserat och började under denna tidpunkt förekomma minimalt inom skogsbruket. Det verkliga genombrottet för drönare kom runt året 2010 och berodde främst på att systemen hade blivit billigare, att det var enklare att flyga samt att det fanns programvaror som medförde att det blev enklare för användaren att kunna skapa t.ex. ortofoton (Reese & Olsson, 2018). Förutom hobbyflygning, används drönare i dagsläget främst inom skogsbruket för att dokumentera skogstillstånd och skogliga åtgärder för mindre områden. Skogsstyrelsen har sedan 2017 bedrivit projekt med drönare, vars målsättning varit att öka kunskapen om drönarens funktionalitet samt att öka effektiviteten och kvalitén i Skogsstyrelsens fältarbete. Drönaren förväntas ge goda förutsättningar för Skogsstyrelsen att förbättra planering, genomförande och dokumentation av olika åtgärder (Skogsstyrelsen, 2019). Än så länge är det främst ortofoton från drönarbilder som används vid upprättande av skogsbruksplaner (Reese & Olsson, 2018). Vidare har en studie från Zagreb jämfört DSMs mellan lågkostnads-drönare och LiDAR över ett skogsområde, vilket kom fram till att drönarens DSM var noggrannare producerad än LiDAR och betonade drönarens potential (Gašparović, Seletković, Berta, Balenović, 2017).

## **2.3 Dataformat**

Det finns två sätt för att lagra geografiska data, - i *raster-* och *vektor-* format (Harrie, 2020). Bilder består huvudsakligen av ett antal kolumner och linjer som ingår i ett rutnät av rasterceller. Rasterceller innehar även *digitalvärden* som representerar t.ex. mängden reflekterat ljus i angiven färg för en rastercell (kallas ofta band) över det området i bilden som rastercellen representerar. Rasterceller kallas för pixlar (engelska: picture element) och har oftast värden som varierar, t.ex. mellan 0 och 255. På en flygbild med exempelvis 0,25 x 0,25 m pixlar, betecknas denna som en flygbild med hög pixelupplösning. På en flygbild med exempelvis 200 x 200 m pixlar, betecknas denna flygbild då ha en låg pixelupplösning. Med anknytning till variation av pixelstorlek, förknippas begreppet upplösning (engelska:

resolution) för att karaktärisera fjärranalysdata. Dock finns det flera typer av upplösning. Den vanligaste är *rumslig upplösning* som relaterar till bildens pixelstorlek. Vidare kan flygbilder producera punkter såsom LiDAR, vilket lagras i vektor-format. Både raster- och vektor-format har som fördel att kunna reducera storleken på datan och därmed medföra en lättare bearbetningsprocess i GIS (Reese & Olsson, 2018).

## **2.4 Förvrängning med flygbild**

Ibland kan en bilds pixelvärde behöva transformeras för att korrigera eventuella förvrängningar som kan ha orsakats av exempelvis rörelse från farkostens plattform. Eventuella korrigeringar av en flygbild som har blivit förvrängd kan åstadkommas med hjälp av en matematisk ekvation som därigenom beräknar den verkliga positionen för varje pixel. Denna matematiska ekvation kan beräknas genom att ett antal mark-kontrollpunkter, så kallade *Ground Control Points* (GCPs) involveras. Mark-kontrollpunkter är i praktiken plattor som är placerade på marken med exakta GPS koordinater i x- och y-led. Plattorna ska helst vara utspridda och ha en mark-kontrollpunkt i varje hörn samt en kontrollpunkt i mitten av studieområdet. Om inte mark-kontrollpunkterna är tillräckligt utspridda eller har en felberäknad position, medför detta att förvrängningen består. Tillvägagångssätt med den matematiska ekvationen leder till att flygbilder projiceras om och tilldelas sedan med rätt position för pixlarna (under förutsättningarna att GCPs är korrekta), vars process kallas för *resampling*. I valet av resampling finns det tre vanliga metoder för att kunna bestämma hur omklassificeringen ska utföras, vilket bestäms utifrån arbetets ändamål. Dessa metoder är:

- *Nearest neighbour*: tar pixelvärdet på enbart närmsta pixel.
- *Bilinear interpolation*: utför en beräkning på medelvärde av de omgivande fyra pixlarna.
- *Cubic convolution*: Använder de omgivande 16 pixlarna för att beräkna ett viktat genomsnitt för den nya cellen.

Den förvrängda korrigeringen utförs av avancerade datorprogram. En accepterad förvrängd felmarginal anses vara mindre än hälften av pixelstorleken (Reese & Olsson, 2018).



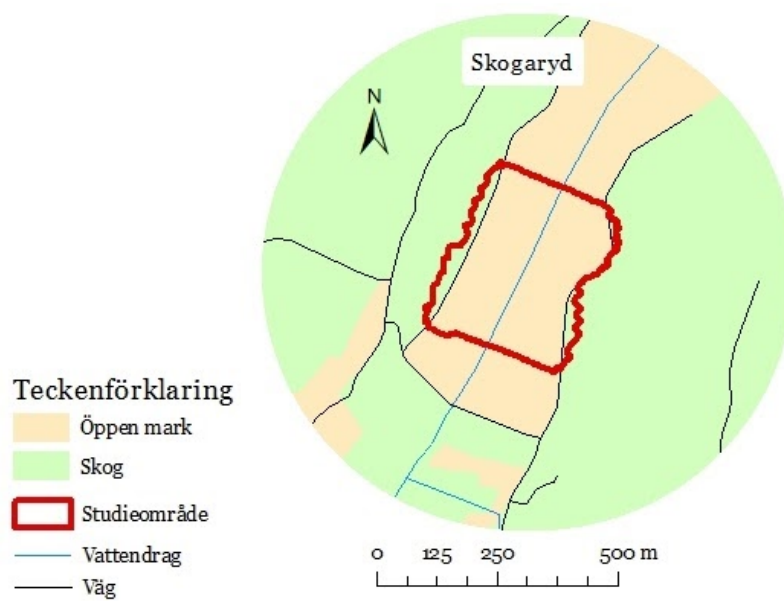
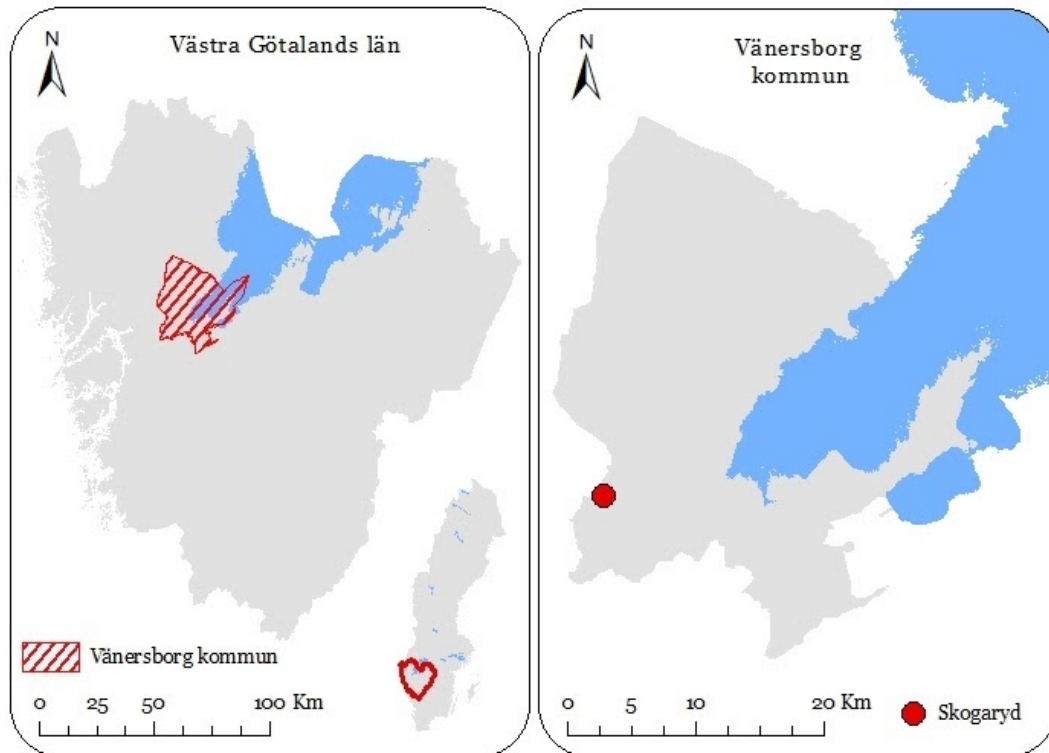
### **3. Studieområde**

#### ***3.1 Skogaryd***

Studien baseras på LiDAR- och drönardata från Skogaryds forskningsstation som är belägen cirka 8 kilometer väster om Vänersborg. Forskningsstationen, eller Skogaryd Research Catchment (SRC) som den heter på engelska, grundades 2013 och är en av de nio forskningsstationer som tillsammans utgör SITES (Swedish Infrastructure for Ecosystem Science). SITES har stationer i hela landet från Abisko i norra Norrland till Lönnstorp i södra Skåne (Göteborgs Universitet, 2019).

Skogaryds forskningsstation ämnar att bedriva forskning inom ekologi, biogeokemi och miljöbevarande områden. Ett fokus för Skogaryds forskningsstation är att studera olika ekosystem och deras relation till varandra när det kommer till feedback, interaktion och andra storskaliga effekter diverse ekosystem kan ha på varandra (Göteborgs Universitet, 2019).

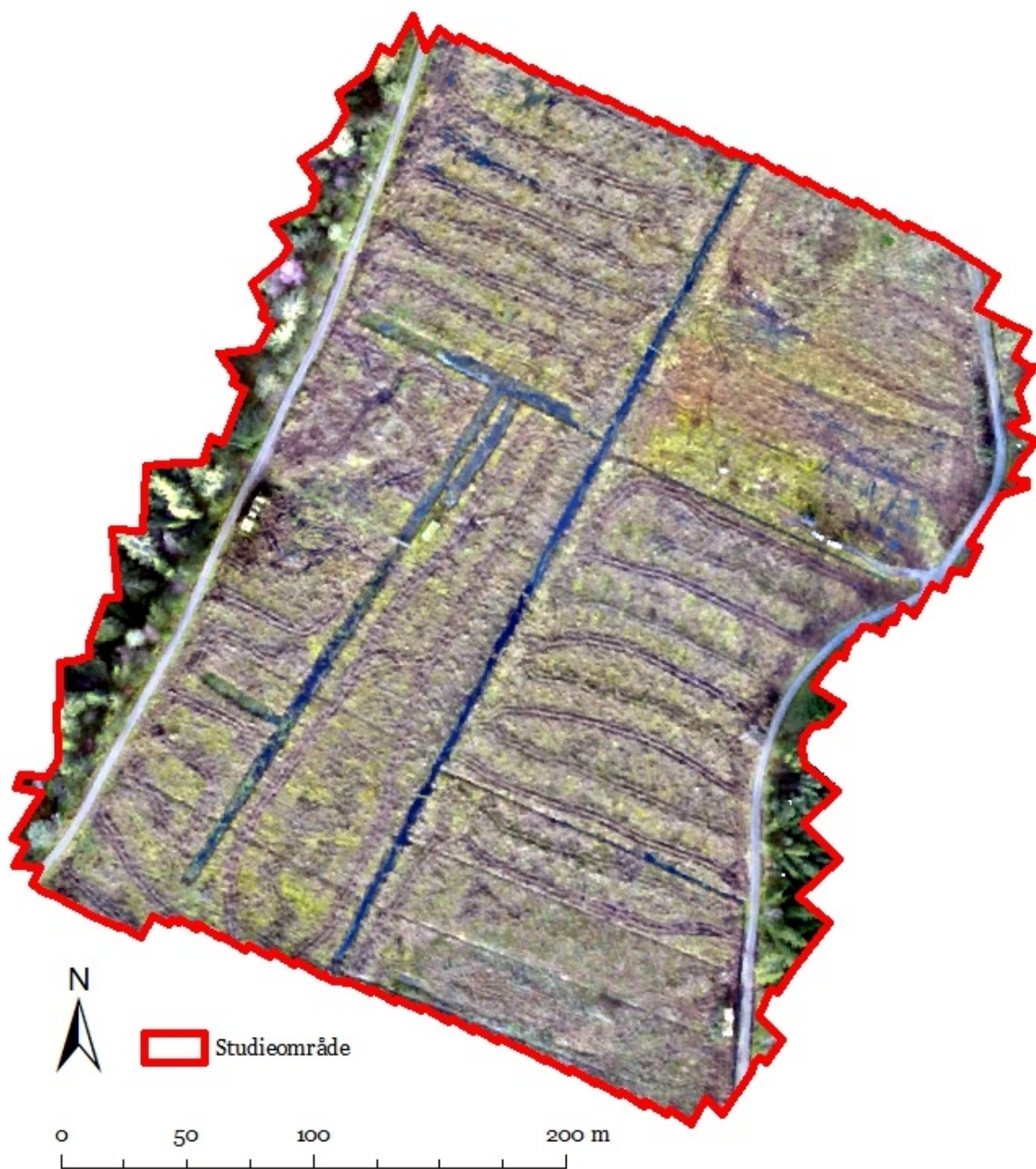
Det specifika området som studien kommer beröra är ett kalhygge beläget med koordinaterna: 58°22'09.8"N 12°08'42.1"E. Planen är att återställa detta område till slåttermyr. Detta skall förverkligas med utplaceringen av en damm och förhoppningen är att denna återvätning av myren ska hämma utsläppen av växthusgaser i området (Sigma Civil, 2019).



Datakälla: ©Lantmäteriet

Figur 3: Översiktskarta över studieområdet i Skogaryd.

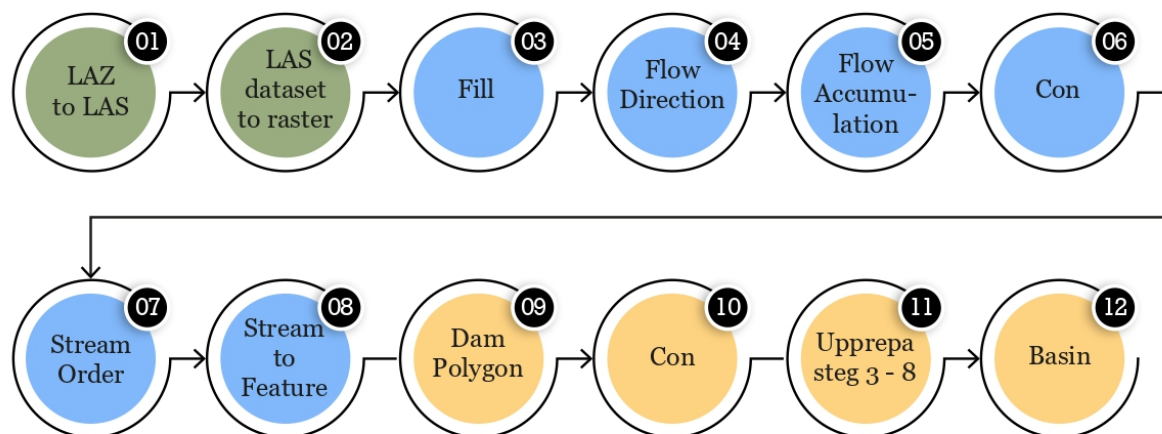
Figure 3: Overview map of the study area in Skogaryd.



Figur 4: Ortofoto (från drönare) över studieområdet. Data insamlad 2019-11-01 med 0,03m pixelstorlek.  
Figure 4: Orthophoto (from drone) of the study area. Data collected 2019-11-01 with 0,03m pixelsize.

## 4. Metod

För att kunna avgöra hur konsumentdrönarens kvalitet står sig i förhållande till SPL har data från drönare respektive SPL som båda är tagna över Skogaryd använts. Datan har legat till grund för att kunna utföra jämförelsen vars steg med bearbetning, analys och visualisering bedrivits i ArcMap 10.6. Ett flödesschema över arbetsprocessen kan ses i figur 5.



Figur 5: Flödesschema över arbetsprocessen. Grön färg indikerar bearbetning av data, blå färg indikerar hydrologisk analys och gul färg indikerar damm-placeringen.

Figure 5: Flow chart of the work process. Green color indicates processing of data, blue color indicates hydrological analysis and yellow color indicates placement of the dam.

### 4.1 Data

I studien har data tilldelats av handledaren. Data består dels av ett antal SPL-paket i LAZ-format och dels av ett ortofoto samt DSM (digital surface model) från drönare i TIF-format. Av SPL-datan har det sedan skapats en DTM (digital terrain model) där allt utom markpunkter filtrerats bort. Tabell 1 kan specifikationer för datainsamlingen utläsas.

#### 4.1.1 Single Photon LiDAR data

Datan består av 6 stycken .LAZ-filer. Varje fil täcker ett område av 100 hektar (1000 meter x 1000 meter). Datan är insamlad den 31 oktober 2017 av COWI AB då området fortfarande var skogsbevuxet.

### 4.1.2 Drönarbaserad data

Datan består av dels ett ortofoto och dels en DSM insamlad 2019-11-01 med en 3DR Solo drönare utrustad med en GoPro HERO4 kamera. Datan är insamlad efter att skogen i området har avverkats. Ytan av denna data har i denna studien använts som studieområde.

*Tabell 1: Specifikationer kring datan.*

*Table 1: Specifications of the data.*

Typ av data	Modell	Datum	Flyghöjd (m)	Pixelupplösning (m)
Single Photon LiDAR	Leica SPL100	2017-10-31	3800	0,25
Drönare	3DR Solo med GoPro HERO4	2019-11-01	40	0,03

### 4.2 Bearbetning

Datan från SPL var i det komprimerade formatet “.LAZ”, vilket inte går att manipulera i ArcMap. Detta innebar att det första steget var att omvandla detta format till .LAS-format. Detta förverkligades med hjälp av LasTools, vilket är en mjukvara utvecklad av rapidlasso. Med denna mjukvara kunde alla .LAZ-filer som fanns tillgängliga transformeras till .LAS-format (steg 1 i flödesschemat). Samma mjukvara användes även till att slå samman SPL-datan. När datan kunde processeras i ArcMap användes verktygslådan *LAS dataset* för att filtrera bort allt som inte var markpunkter i punktmolnet. Ett sista steg i denna förberedande bearbetning var att använda verktyget *LAS dataset to raster* (steg 2 i flödesschemat) för att få fram den digitala höjdmodell som kom att användas senare i analysen. Här sattes också SPL-rastret till pixelstorleken 0,25 m, vilket var den minsta storlek som kunde användas för att kunna rasterisera datan.

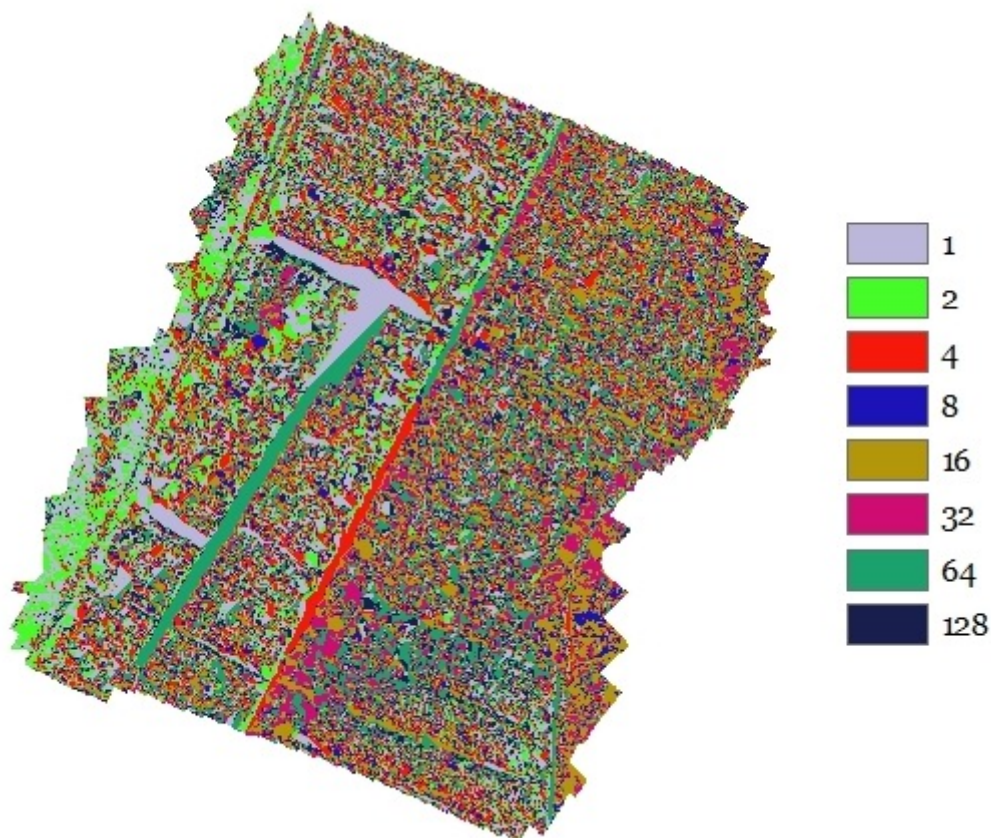
### 4.3 Hydrologisk analys

För att få den hydrologiska analysen att vara så verklighetstrogen som möjligt behövdes eventuella fel i de båda DTM/DSM fixas till, detta med verktyget *Fill* (steg 3 i flödesschemat) som är ett verktyg i Spatial Analysis verktygslåda som används för att rätta till fel i höjddatan som kan uppstå på grund av upplösnings- eller avrundningsproblem. Detta gör så att misstänkta



och plötsliga sänkor i höjddatan fylls igen men även felaktiga toppar klipps av så att datan följer den troliga trenden i höjdmodellen (ESRI, u.å.).

Efter detta användes verktyget *Flow Direction* (steg 4 i flödesschemat) som är ett viktigt verktyg som används för att räkna ut flödesriktningen för varje enskild cell i rasterdatan. Den data man får ut sedan är ett raster med 8 olika flödesriktningar som vattnet kan flöda, detta kallas i ArcGIS för D8 och används även i de verktyg som följer i arbetsprocessen (ESRI, u.å.).



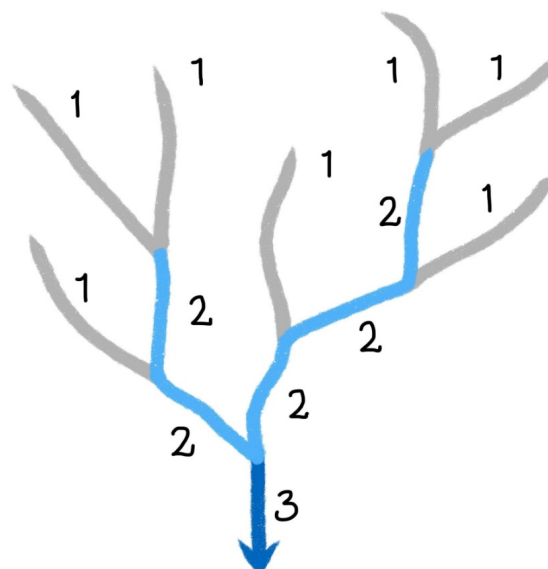
Figur 6: Exempel på output från verktyget Flow Direction, denna från Single Photon LiDAR.  
Figure 6: Example of the output from Flow Direction. The example is based on the Single Photon LiDAR data.

Efter att ha räknat ut vilken riktning vattenflödet tar med hjälp av *Flow Direction*, så användes verktyget *Flow Accumulation* (steg 5 i flödesschemat) för att räkna ihop den sammanlagda vikten av flödet för varje cell, alltså ju fler intilliggande celler som flödar in i *cell x*, desto högre vikt tilldelas *cell x*. Detta viktvärde sätts från början till 1 för varje cell om inget vikt-raster har förts in i analysen (ESRI, u.å.).

För att undvika att små och obetydliga strömmar kom med i slutresultat kördes ett *Conditional SQL*-kommando i Raster Calculator på *Flow Accumulation*-utmatningen (steg 6 i flödesschemat). Detta gjordes för att bortse från celler i datan som har låga flödesvärden. För att sätta en gemensam procentuell skala så modellerades denna efter den första analysen av drönardatan. I denna data fanns 39 165 284 celler, och ett villkor sattes att alla celler under 1 000 000 skulle bortses ifrån i analysen. Detta innebar att resterande analyser fick samma procentuella villkor om cirka 2,5%. Nedan syns detta kommando för Flow Accumulation på drönardatan.

*Con("flowaccumulation\_drone" >= 1000000,1,"")*

Nu kunde verktyget *Stream Order* (steg 7 i flödesschemat) användas för att klassificera de olika strömmarna i klasser beroende på deras diverse attribut. Det finns två olika metoder att tillgå när man använder detta verktyg, nämligen Strahler (1957) samt Shreve (1966). I den metod som använts för denna analys, Strahler, ges alla de strömmar utan specifika attribut klass 1. Därefter tilldelas klass 2 de strömmar där två stycken klass 1 strömmar möts och länkas ihop, och där två stycken klass 2 strömmar sammanlänkas bildas klass 3 och så vidare. Detta visualiseras i figur 7 (ESRI, 2016). Utmatningen transformerades från raster till vektor med hjälp av verktyget *Stream to Feature* (steg 8 i flödesschemat).



Figur 7: Visualisering av Strahler's metod för Stream Order. Modifierad figur baserad på ESRI (u. å.).  
 Figure 7: Visualization of Strahler's Stream Order method. Modified figure based on ESRI (n. d.).



Dessa steg applicerades på både drönardatan och SPL-datan, samt en ytterligare hydrologisk analys på SPL-datan för att kunna jämföra med en analys av ett större område med samma steg.

#### **4.4 Placering av damm**

För att kunna testa de två höjdmodellerna (drönare och SPL) mot varandra behövdes ett scenario som skulle vara applicerbart i fält. Ett dammbygge är redan planerat för området och en placering av dammen är förslagen. I denna studie simulerades detta scenario genom att skapa, en något grovhuggen, polygon som symboliserar dammen (steg 9 i flödesschemat). Denna gjordes sedan om till rasterformat med samma cellstorlek som den DSM/DTM den skulle sammanfogas med (0,25 m för SPL och 0,03 m för drönare). För att sedan ändra de höjdvärden som befann sig där dammen placerades användes Raster Calculator och ett till SQL-kommando (steg 10 i flödesschemat). Nedan ses detta kommando för höjningen av 0,5 m i SPL-datan. Här är "damm" den nya polygonen som ska symbolisera en damm och "SPL\_DTM" är Digital Terrain Model deriverad från SPL-datan.

$$\text{Con(IsNull("damm"), "SPL\_DTM", "SPL\_DTM" + 0.5)}$$

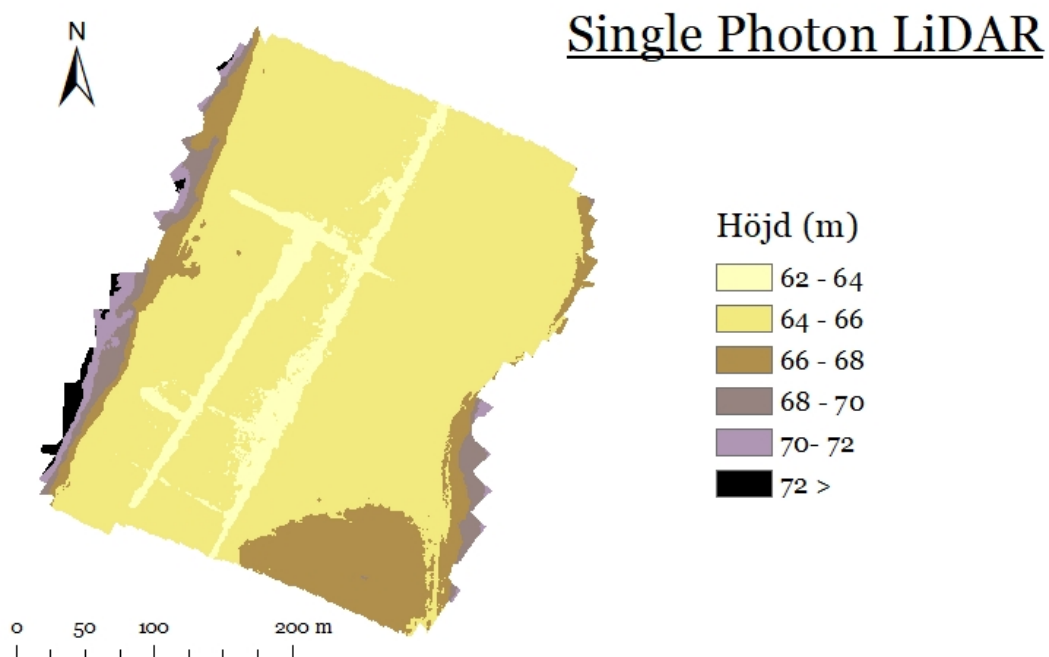
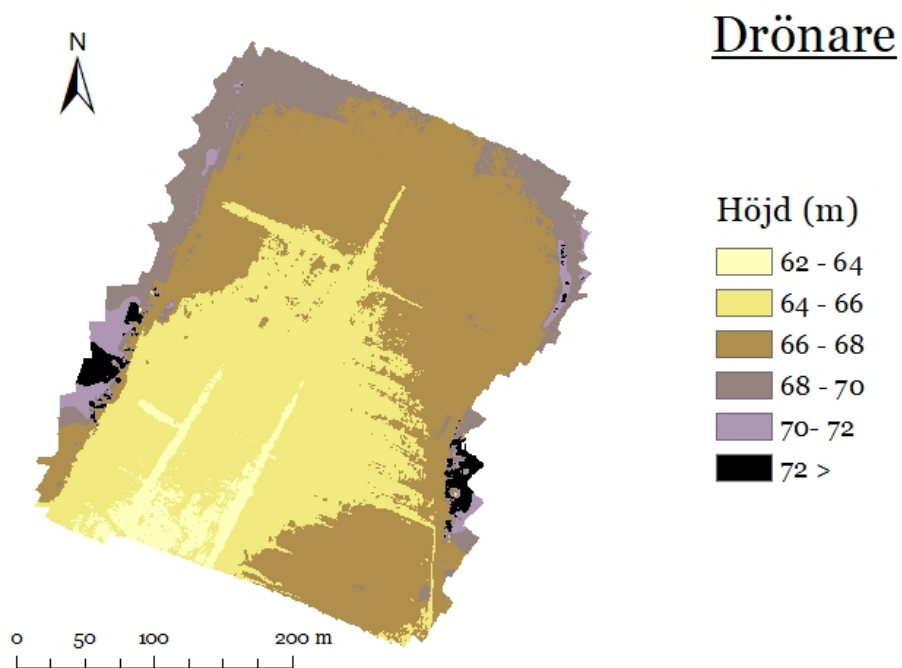
Detta gjordes för både drönare och SPL med höjning av 0,5 meter samt 2 meter. Efter detta upprepades steg 3–8 i flödesschemat på de fyra nya dammscenarierna. Ett sista steg i analysen var att använda verktyget *Basin* (steg 12 i flödesschemat) för att se om det blivit ändringar på placering av och antal vattenansamlingsområden i studieområdet efter att ha simulerat dammplaceringen.

## 5. Resultat

I följande avsnitt kommer jämförelsen av digitala höjdmodeller skapad från drönardata (DSM skapad efter kalhygget) och från SPL-data (DTM skapad innan kalhygget) över Skogaryd att presenteras. Därefter presenteras den hydrologiska analysen med avseende på strömmar och vattenansamlingsområden före och efter placandet av en damm.

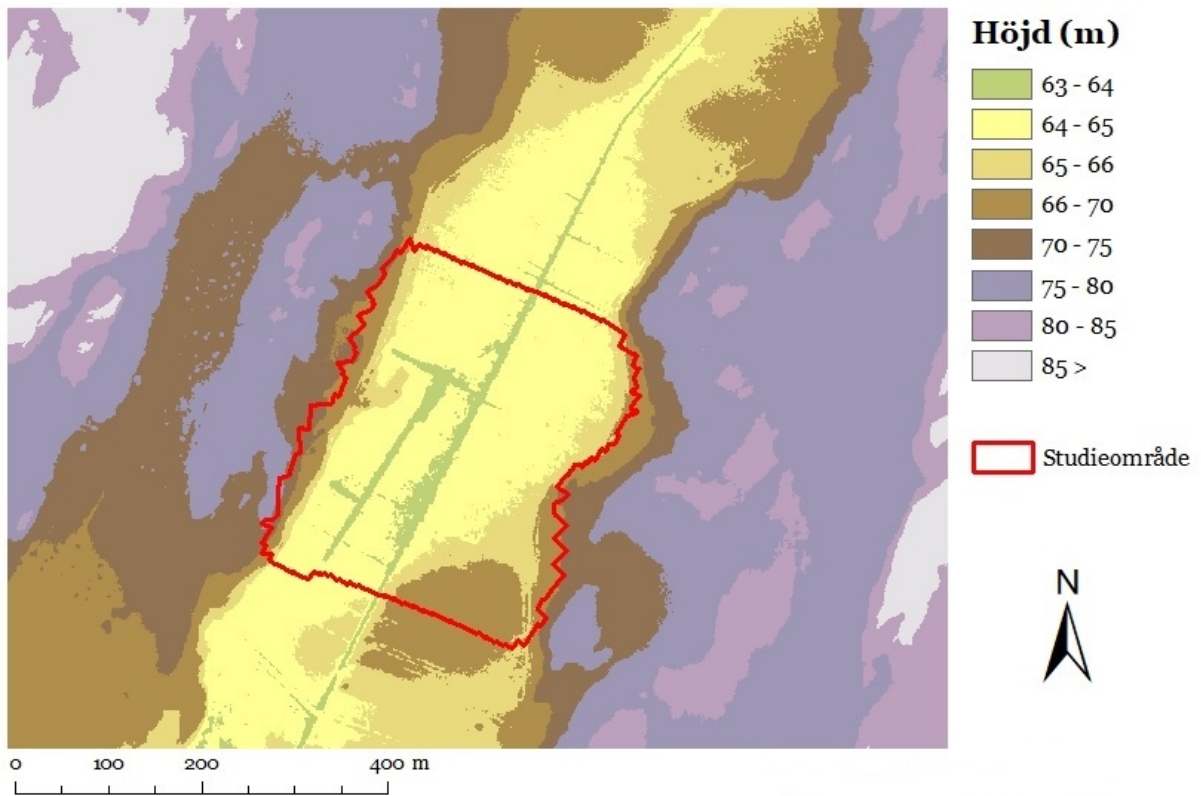
### *5.1 Jämförelse av Digital Surface Model och Digital Terrain Model i 2D*

Figur 8 visar digitala höjdmodeller baserad på data från konsumentdrönare och från SPL i 2D. Det generella mönstret är att SPL har ett relativt lågt höjdvärde och består till större delen av värden mellan 64–66 meter medan konsumentdrönarens höjdvärde framträder något högre i den norra delen som är mellan 66–68 meter. Dock verkar de båda digitala höjdmodellerna överensstämma specifikt i studieområdets sydligaste del där ett ovalformat område uppgår till höjdvärde 66–68 meter. Även samtliga ytterkanter av studieområdet verkar ha ett högre höjdvärde som ligger runt 68 meter och uppåt. Figur 9 visar den digitala höjdmodellen skapad från ett större område av SPL-datan, med en något mer noggrann höjdskala inom studieområdet för visualisering.



Figur 8: Kartan visar en jämförelse mellan drönarens DSM och Single Photon LiDAR's DTM i 2D. Drönardatan är insamlad 2019-11-01 och SPL-datan 2017-10-31.

Figure 8: The maps shows a comparison between the drone's DSM and the Single Photon LiDAR's DTM in 2D. The drone data was collected 2019-11-01 and the SPL-data 2017-10-31.

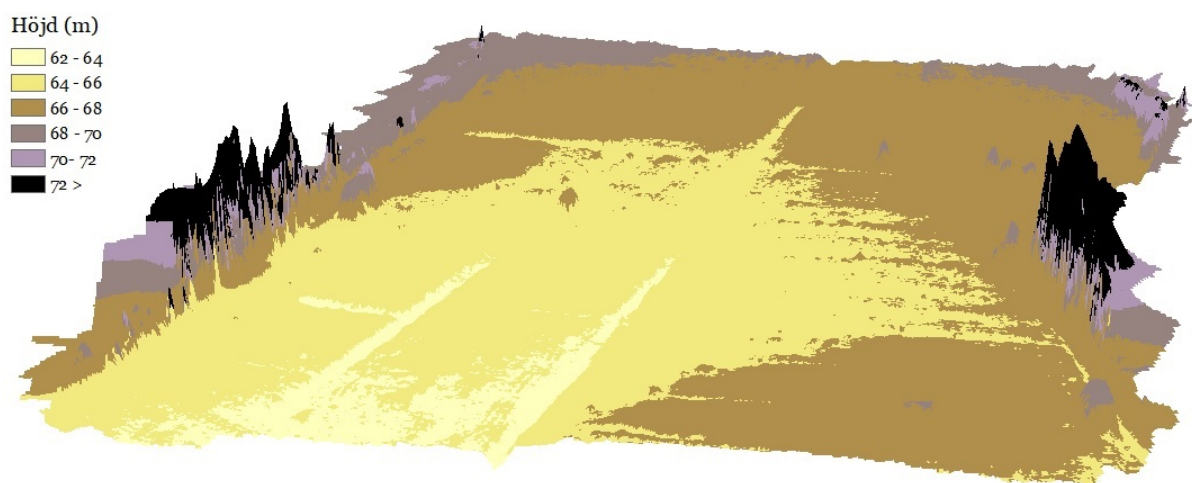


Figur 9: DTM deriverad från ett större område av SPL-datan.

Figure 9: DTM derived from a larger area of SPL data.

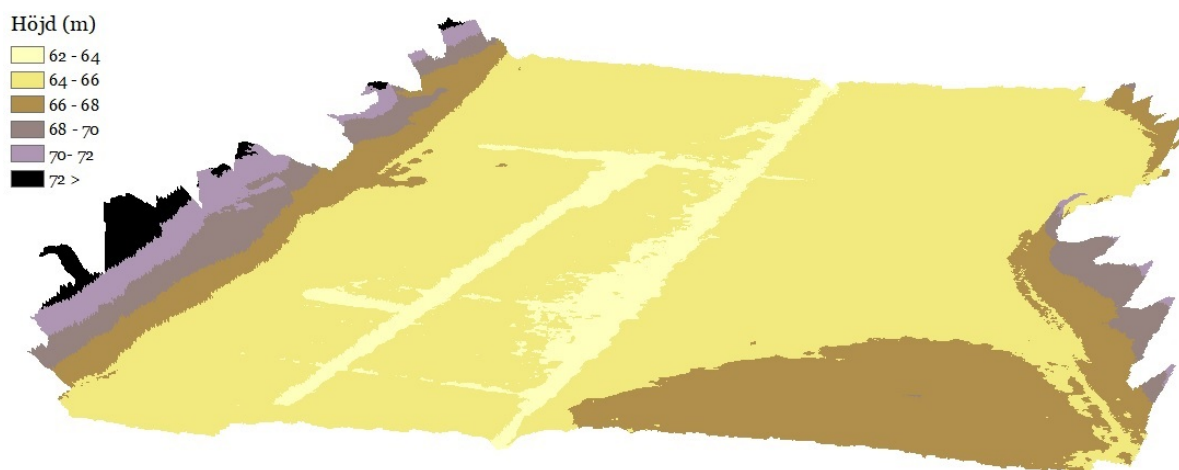
## 5.2 Jämförelse av Digital Surface Model och Digital Terrain Model i 3D

Figur 10 och figur 11 visar digitala höjdmodeller baserad på data från konsumentdrönare och från SPL i 3D. Det generella mönstret är att den digitala höjdmodellen med konsumentdrönare upplevs mer “plottrig” och “spetsig” än höjdmodellen skapad av SPL. Dessutom är konsumentdrönarens högsta höjdvärde högre i meter än SPL, vars högsta värde förhåller sig något lägre. Detta ses tydligt i konsumentdrönarens östliga riktning där höjdvärde uppgår till över 72 meter medan SPL befinner sig på ett höjdvärde mellan 70–72 meter.



Figur 10: Drönarens höjdmodell visad i 3D.

Figure 10: Elevation model from drone shown in 3D.

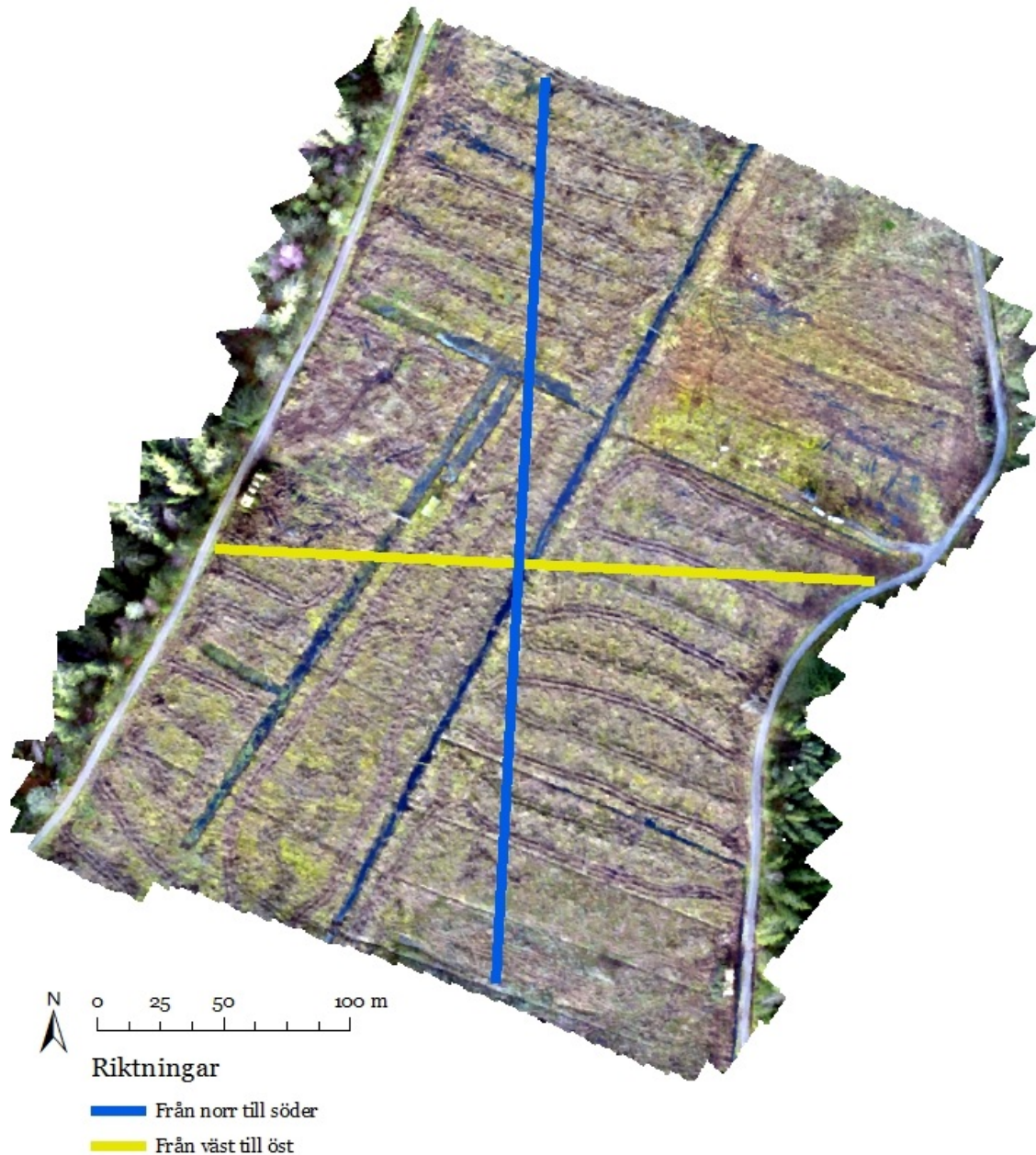


Figur 11: Single Photon LiDARs höjdmodell visad i 3D.

Figure 11: Elevation model from Single Photon LiDAR shown in 3D.

### 5.3 Markprofiler

I figur 12 visas de dragna riktningarna över kalhygget. Markprofilerna i figur 13 och 14 har skapats genom att linjer har dragits från norr till söder (blå) samt från väst till öst (gul) över drönarens DSM respektive SPL:s DTM. Detta har utförts eftersom det blir möjligt att tydligare kunna urskilja variationer i höjdförhållanden mellan de båda teknikerna.



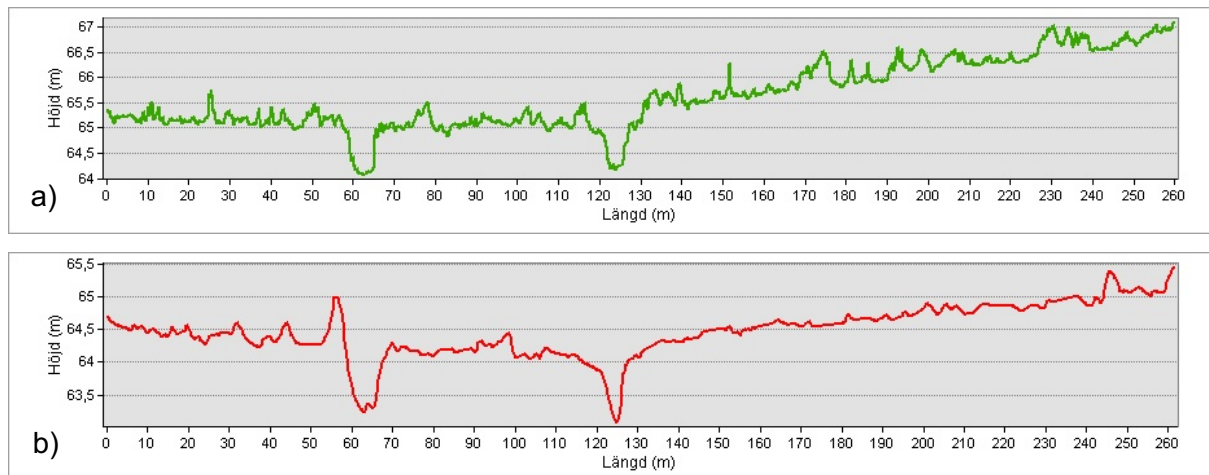
Figur 12: Kartan visar markprofil-riktningar och placeringar över studieområdet för diagram.

Figure 12: The map shows the ground-profile directions and placements in the study area for diagrams.



### 5.3.1 Markprofil från väst till öst

Figur 13a visar markprofilen från väst till öst baserat på data från konsumentdrönaren. De två diken i området framträder tydligt liksom den ökade lutningen mot öst. Markprofilen framträder mer "taggig" jämfört med markprofilen baserat på SPL (Figur 13b), vilket framträder förhållandevis mjuk. Mellan 50–60 meter i en östlig riktning förekommer en viss ökning i höjd på markprofilen med SPL.



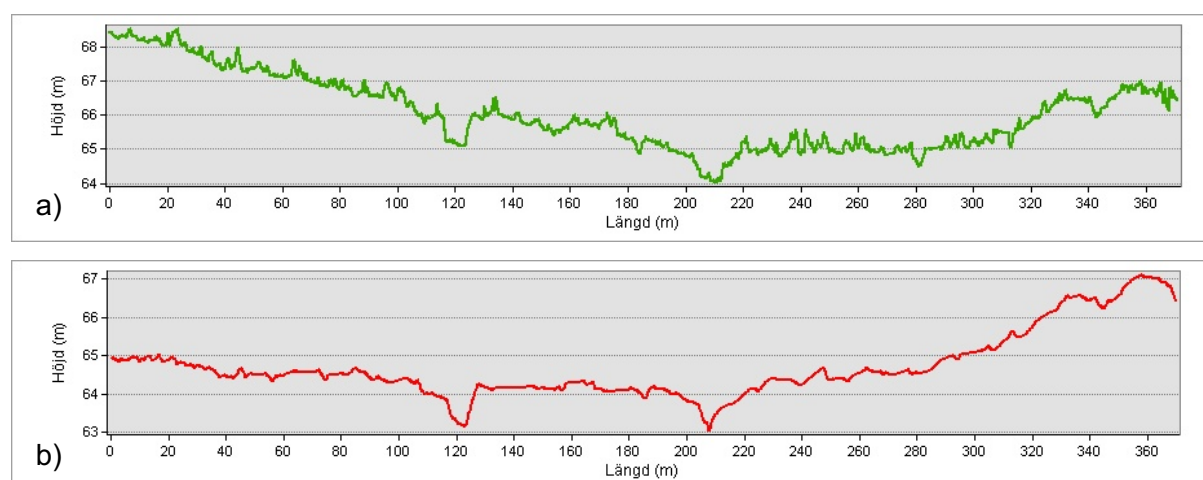
Figur 13: Diagram som visar markprofilen tagen från väst till öst baserad på a) drönare och b) Single Photon LiDAR. Notera att höjdsckalan skiljer sig något.

Figure 13: Diagrams depicting the ground-profile from west to east based on a) drone and b) Single Photon LiDAR. Note that the elevation scale differ some.



### 5.3.2 Markprofil från norr till söder

Figur 14a visar markprofilen från norr till söder baserat på data från konsumentdrönaren. Den börjar nordligt högt och följs med en fallande lutning som slutligen går upp något högre söderut. Figur 14b visar markprofilen från norr till söder baserat på data från SPL. Den förhåller sig någorlunda vågrätt längst norrut och ökar därefter i höjd längre söderut.

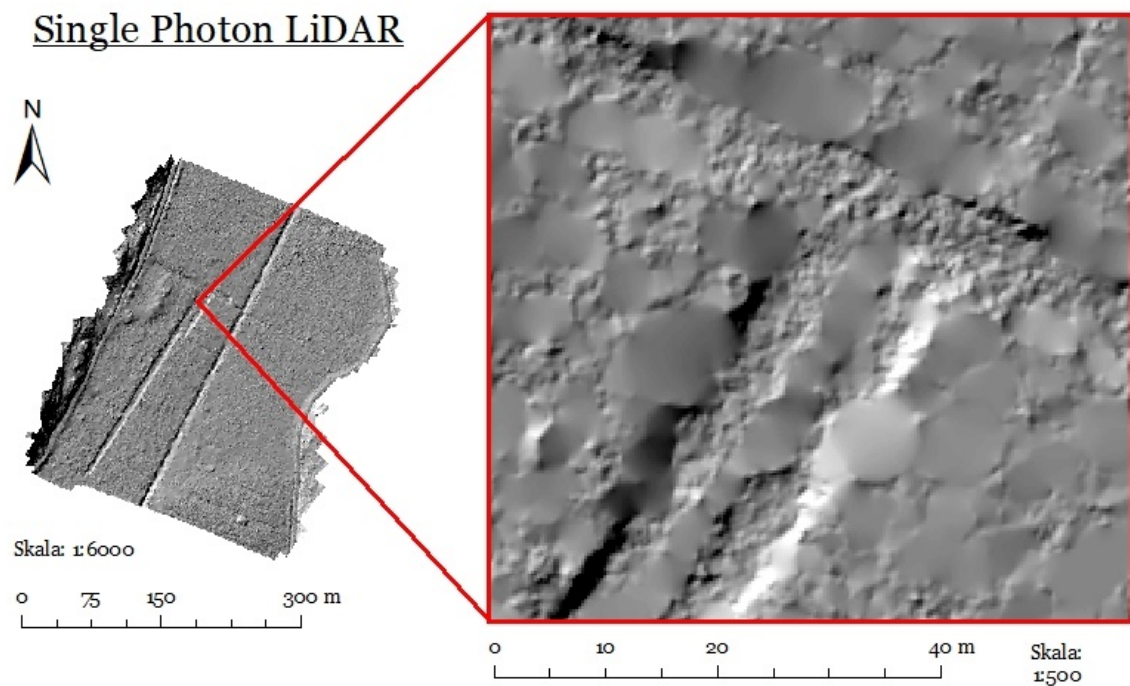
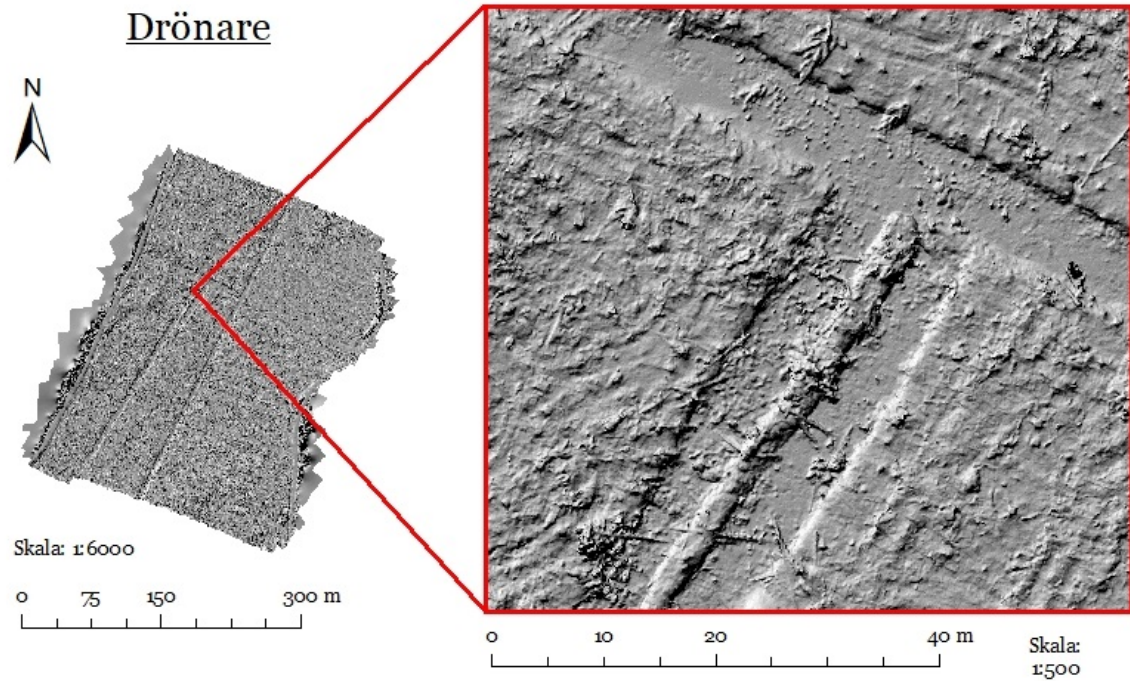


Figur 14: Diagram som visar markprofilen tagen från norr till syd baserad på a) drönare och b) Single Photon LiDAR. Notera att höjdskalet skiljer sig något.

Figure 14: Diagrams depicting the ground-profile from north to south based on a) drone and b) Single Photon LiDAR. Note that the elevation scale differs some.

### 5.4 Jämförelse mellan Digital Surface Model och Digital Terrain Model med hillshade

Figur 15 visar en hillshade baserad på de digitala höjdmodellerna mellan konsumentdrönare och SPL. Det generella mönstret är att konsumentdrönarens upplysta hillshade ser ut att ha en mer noggrann detaljerad bild än vad SPL framhäver. Konsumentdrönarens närbild visar ojämnheter som tycks se ut att vara former av grenar. Hillshade med SPL tycks istället framträda med en mer slätare utjämning och innehåller även suddiga cirkelformade fläckar. Dock upplevs hillshade med SPL över hela studieområdet att följa diken på ett mer sammanhängande sätt än vad konsumentdrönarens hillshade utger.

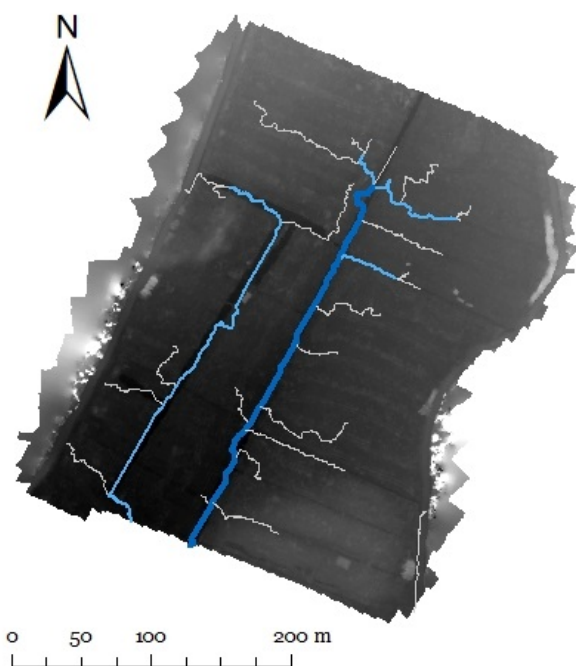


Figur 15: Detaljnivå efter hillshade. Notera även cirkelformade konturer i SPL.

Figure 15: Detail level after hillshade. Note the circular contours in the SPL data.

### ***5.5 Hydrologisk analys***

Efter en hydrologisk analys av studieområdet (med hjälp av verktygen Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, Con, Flow Order samt Flow to Feature) blir det tydligt att det skiljer mycket mellan konsumentdrönar- och SPL-datan. Figur 16 visar resultatet från verktyget Flow Order som är genomfört med Strahler's metod. En tydlig skillnad här är att konsumentdrönar-datan, som är mer detaljerad, visar fler strömmar och fler kategorier av Stream Order. På SPL-datan ser man att huvudströmmen (i figur 16: Second Order) gör ett bryt i mitten av studieområdet medan samma huvudström i konsumentdrönar-datan (i figur 16: Third Order) gör ett bryt i den norra delen av studieområdet. Det går även att urskilja meander-formade strömmar i konsumentdrönar-datan på flera olika ställen där strömmen verkar gå som i en båge ut ur diket för att sedan ta sig tillbaka till den naturliga färdvägen. Det går även att notera vissa skillnader i mönstret av strömmar även fast dom verkar stämma relativt bra överens med varandra.

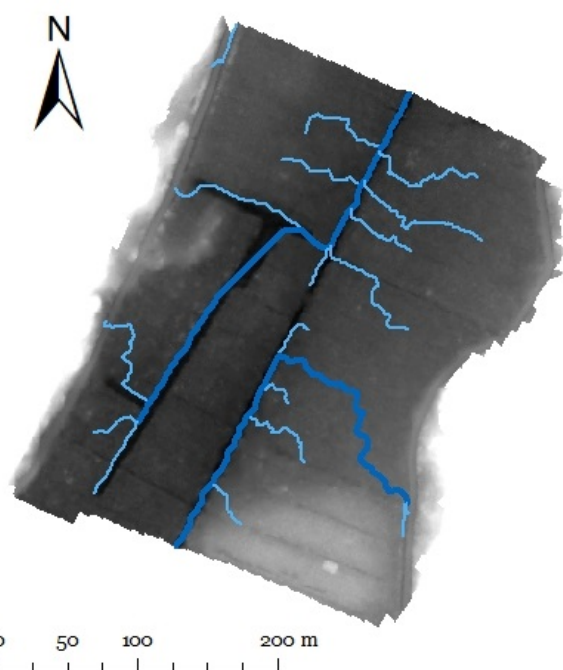


## Drönare

### **Stream Order**

- First order
- Second order
- Third order

*Bakgrund:  
Digital Elevation Model  
från drönare*



## Single Photon LiDAR

### **Stream Order**

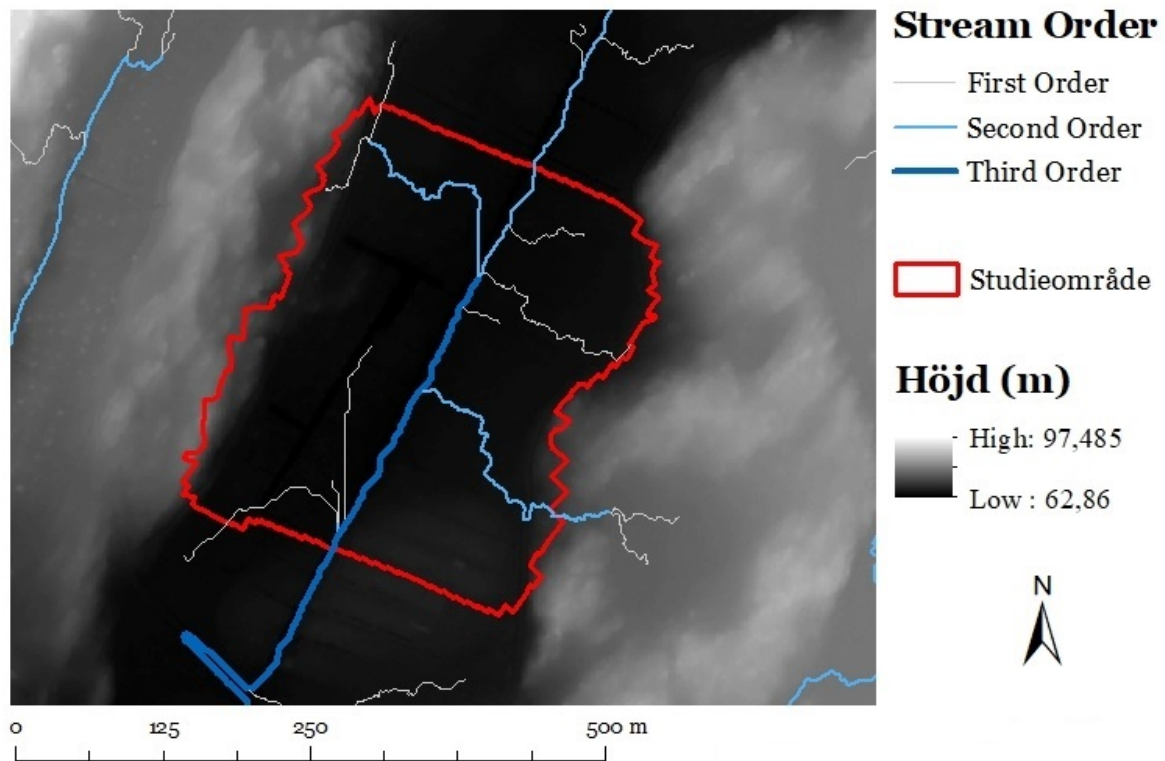
- First order
- Second order

*Bakgrund:  
Digital Elevation Model från  
Single Photon LiDAR*

Figur 16: Resultat av Stream Order inom studieområdet för drönare samt Single Photon LiDAR.

Figure 16: The result from the Stream Order tool within the study area for drone and Single Photon LiDAR.

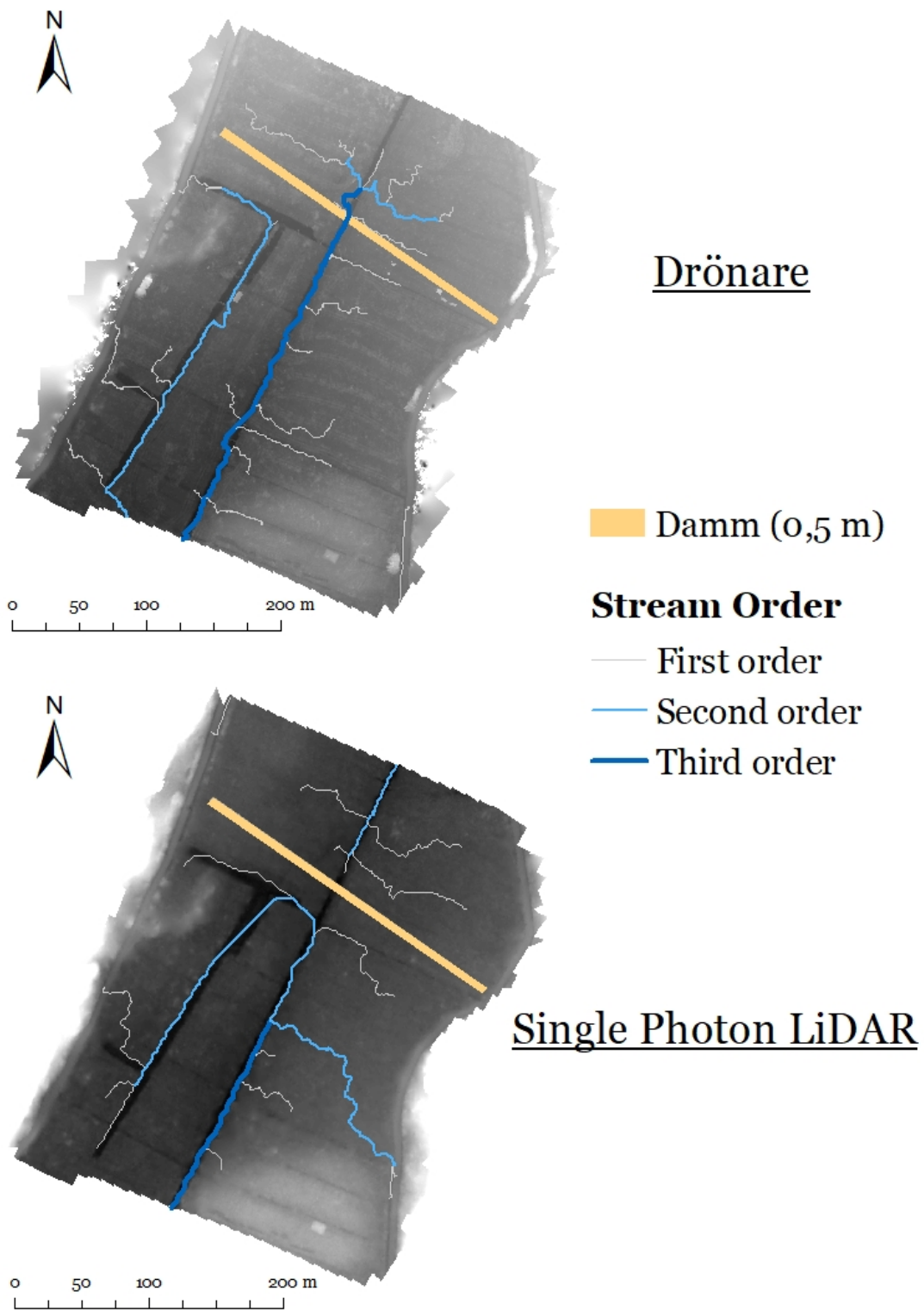
Resultatet av den hydrologiska analys som kördes på den större delen av SPL som sträckte sig utanför studieområdet påvisade inget bryt av strömmen inom studieområdet (se figur 17).



Figur 17: Resultat av Stream Order baserat på ett större område i Single Photon LiDAR-datan.  
Figure 17: The result of Stream Order based on a larger area of the Single Photon LiDAR data.

Efter att dammen placerades ut i studieområdet på ungefär samma plats som rapporten från Sigma Civil (2019) och hydrologisk analys körts blev resultatet att en höjning av 0,5 meter över markytan, vilket var föreslaget i den tidigare nämnda rapporten, inte var tillräcklig för att stoppa vattenflödet när det kom till konsumentdrömrar-datan. Däremot så blev det resultat redan här med SPL, där strömmen bröts på grund av den placerade dammen (se figur 18).

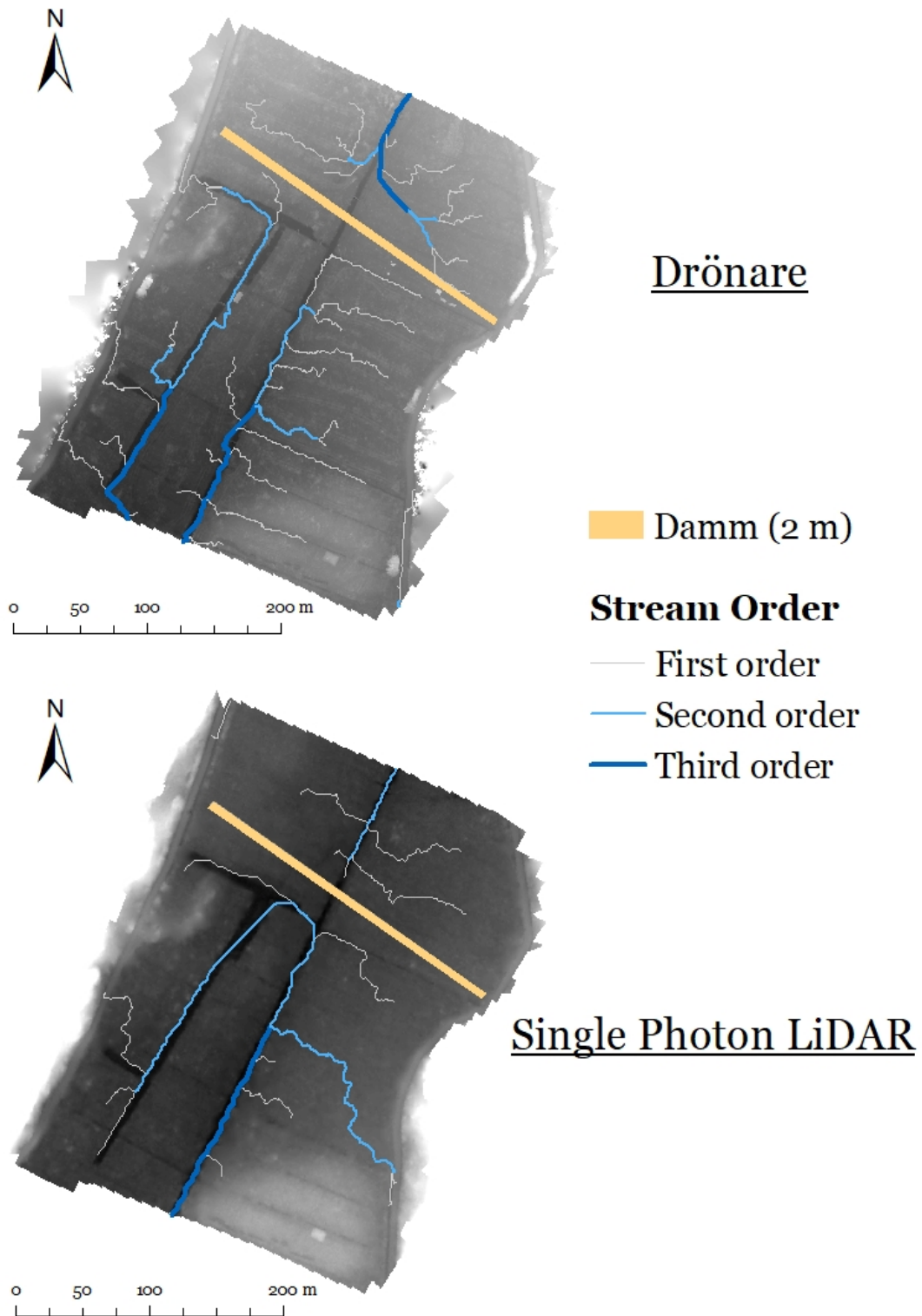




Figur 18: Stream Order efter placering av en damm med höjden 0,5 meter.

Figure 18: Stream Order after the placement of a dam with a height of 0,5 meters.

Resultatet av en damm upphöjd 2 meter var annorlunda. Här ströps vattenflödet i strömmen för både SPL- och drönarens höjdmodeller. Detta resultat kan ses i figur 19.

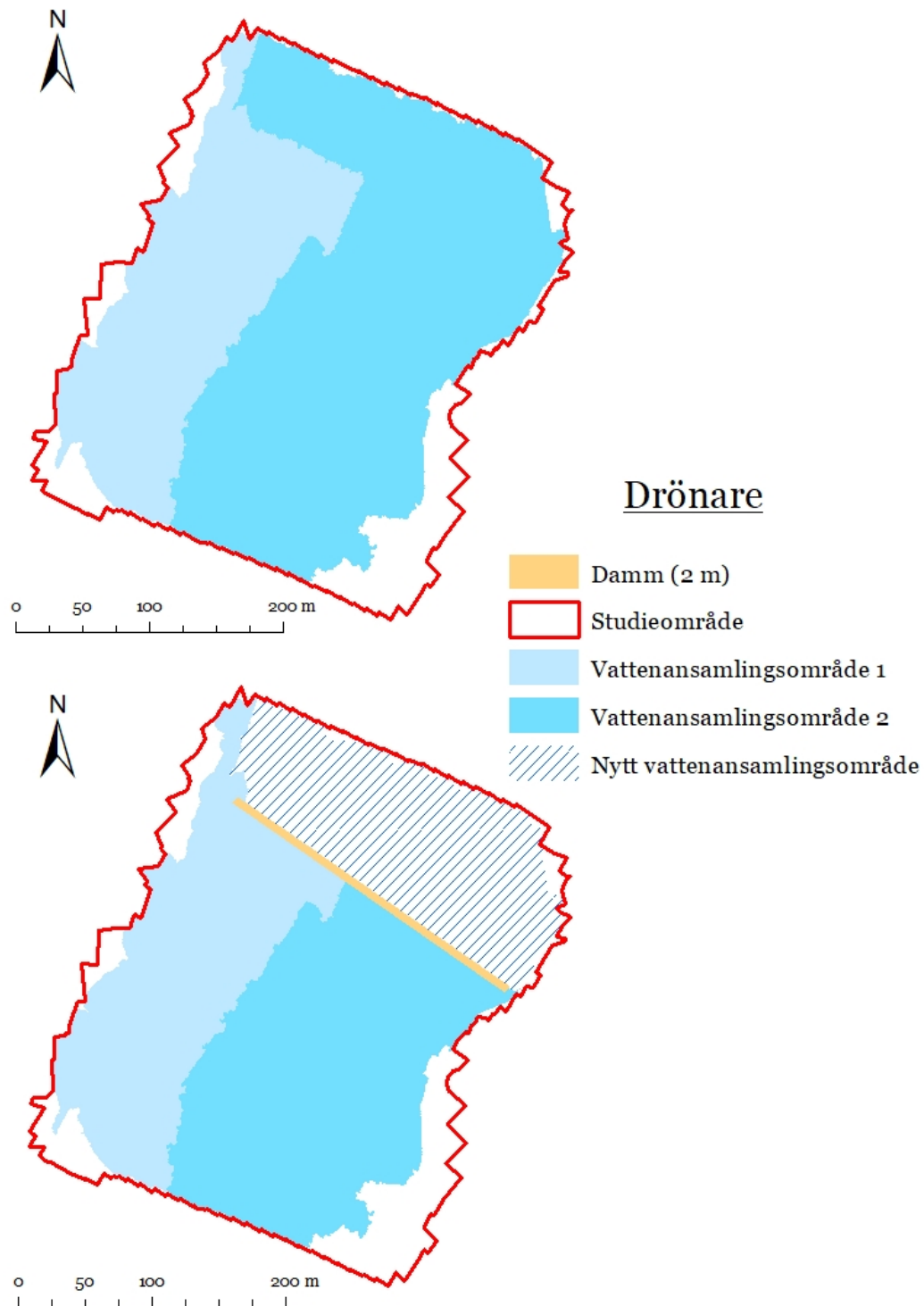


Figur 19: Stream Order efter placering av en damm med höjden 2 meter.

Figure 19: Stream Order after the placement of a dam with a height of 2 meters.

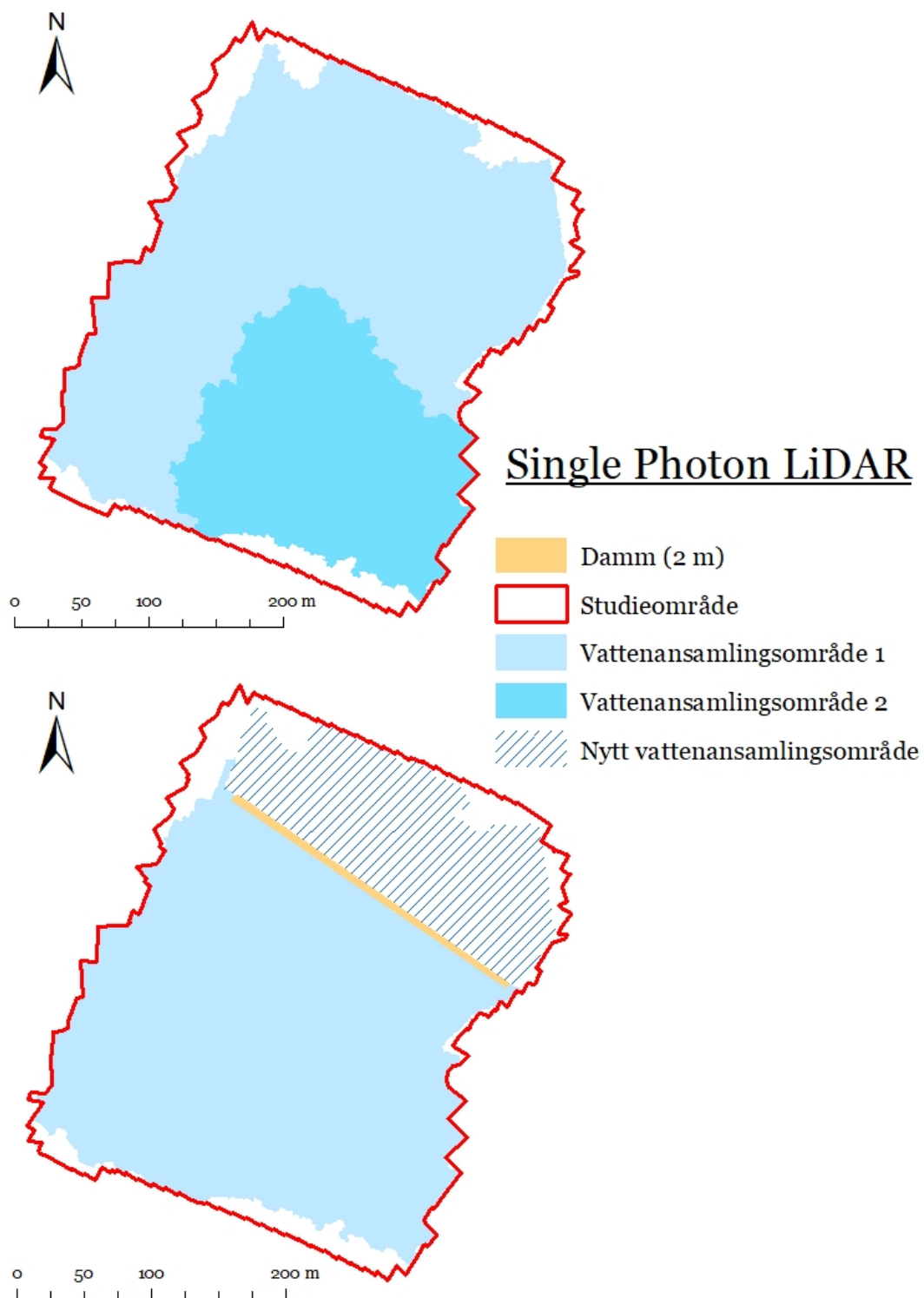


I figur 20 och figur 21 syns det att efter en damm på 2 meters höjd över marken placerats bildas snarlika vattenansamlingsområden i den norra delen av studieområdet i både drönar- och SPL-datan.



Figur 20: Vattenansamlingsområden i drönardatan före och efter en 2 meters damm placerats ut.

Figure 20: Basins in the drone data before and after the placement of a 2 meter high dam.



Figur 21: Vattenansamlingsområden i Single Photon LiDAR-datan före och efter en 2 meters damm placerats ut.  
 Figure 21: Basins in the Single Photon LiDAR data before and after the placement of a 2 meter high dam.

## 6. Diskussion

Resultatet visar att de digitala höjdmmodellerna baserad på data från konsumentdrönaren och SPL skiljer sig åt. Höjdmmodellen baserat på data från konsumentdrönaren hade ett generellt högre höjdvärde än vad höjdmmodellen baserat på SPL hade. Dock tycktes det båda digitala höjdmmodellerna överensstämma i studieområdets sydliga delar. Skillnaden i höjd i de norra delarna kan förklaras av mark-kontrollpunkterna. När datainsamlingen för konsumentdrönaren gjordes, lades även mark-kontrollpunkterna ut för studieområdet. Med tanke på detta kan mark-kontrollpunkterna ha blivit otillräckliga. Detta medför således att höjdvärde för konsumentdrönaren i sin tur får en missvisande höjd överensstämmelse vid jämförande av SPL. Dock verkar höjdvärden inte fullt ut vara felaktiga över hela studieområdet. I studieområdets sydliga del verkar det som höjdvärden för de båda digitala höjdmmodellerna överensstämma. Där förhåller sig höjdvärde mellan 62–64 meter för dikena samt en högre kulle i den sydligaste delen på ett höjdvärde mellan 66–68 meter för de båda digitala höjdmmodellerna. Det fanns även liknande höjd överensstämmelser på studieområdets ytterkanter, främst för den västliga riktningen där höjdvärde går att urskilja på en högre uppgång.

För att få en bättre förståelse för hur de båda digitala höjdmmodellerna skiljer sig åt, utfördes även en 3D-visualisering mellan konsumentdrönaren och SPL (se figur 10 & 11). 3D-visualiseringen gjorde det således möjligt att kunna förmedla en annan bild av studieområdet och lämna efter sig en möjlig förklaring kring specifika antaganden. Ett tidigare nämnt antagande var att den nordliga delen på konsumentdrönarens digitala höjdmmodell var något mer upphöjd än vad SPL framhäver, vilket går att utläsa. Dessutom syns det än mer tydligare i studieområdets ytterkanter vad det är som visas i förhållande till 2D-visualiseringen. Det som nu går att utläsa från konsumentdrönarens 3D-visualisering är att träd befinner sig runt omkring vid studieområdets ytterkanter. Däremot går det att utläsa från SPL:s 3D-visualisering att studieområdets ytterkant är markens topografi. Vidare går det ytterligare att se små nyanser av lila inom det bruna området för konsumentdrönarens 3D-visualisering. Dessa är dock inga kullar eller dylikt, utan små hus samt två bilar, vilka befann sig på platsen under datainsamlingen med konsumentdrönaren.

Även om 2D- samt 3D-visualiseringar förmedlar en resonabel jämförelse mellan de två digitala höjdmmodellerna, saknar de således en konkret representation för dess genomgående markprofil i en nord/syd samt väst/öst riktning. Detta möjliggjordes därmed genom representation i

diagramformat. I figur 13 samt figur 14 framgår markprofilen baserad på konsumentdrönaren som "taggig", vilket kan förklaras av att drönarens DSM baseras på det som faktiskt fanns på marken när datainsamlingen skedde över kalhygget. Det som då fanns på marken var sly efter avverkningen av skogen.

Vidare observerades en markant förhöjning specifikt i markprofilen "Från norr till söder" med konsumentdrönaren i jämförelse med SPL (se figur 14). Detta berodde som tidigare nämnt på otillräckliga mark-kontrollpunkter, vilket medförde en obalans i konsumentdrönarens höjdöverensstämmelse. Dock visade markprofilen "Från väst till öst" med SPL att det skedde en förhöjning mellan 50–60 meter i östlig riktning på ungefär 70 cm (se figur 13). Detta är förvisso en marginell förhöjning och kan ha olika förklaringar kring varför det går upp som en kulle just där. Något som man bör ha i åtanke med SPL-datan är att den var tagen innan kalhygget. Med tanke på att det var utspritt med träd över studieområdet kan detta ha medfört att platsens höjdförhållande kan ha förändrats med den omvandling som har skett med avverkningen. Detta resonemang leder sedan in på att den förhöjningen på ungefär 70 cm skulle kunna vara en jordhög, rotvälta eller möjligtvis ett litet förråd ute i den dåvarande skogen. Även eventuella skillnader i höjdförhållanden mellan konsumentdrönaren respektive SPL behöver nödvändigtvis inte enbart bero på felaktigheter med mark-kontrollpunkterna, utan kan även ha sin förklaring i att höjdskillnaderna över tid kan förändrat platsen.

När det kommer till att visualisera noggrannheten mellan konsumentdrönaren och SPL, utfördes detta med hjälp av en hillshade som var baserad på de båda digitala höjdmodellerna (se figur 15). Det som således gick att utläsa från konsumentdrönarens hillshade var att den innehöll inslag av sly. Detta betyder därmed att konsumentdrönarens digitala höjdmodell som tidigare nämnt innehåller allt som befinner sig på marken i form av sly, hus och träd. Tittar man istället på hillshade med SPL, förekom den med suddiga cirkelformade fläckar. Dessa fläckar tillkom när verktyget *LAS dataset to raster* genomfördes, vilket medförde att verktyget enbart plockade ut den synliga marken och gjorde sedan en generalisering vid de platser där trädstammar förekom. De upplevda fläckarna är således positionerna för träd som befann sig på denna plats innan kalhygget.

Den hydrologiska analysen visar att det bryt i strömmen som kan observeras i mitten av SPL-datan i figur 16 beror på en fläck mitt i diket av oidentifierat material. Detta kan vara en gångbro över diket, ett träd som fallit eller liknande. Att konsumentdrönar-datan gör ett liknande bryt i

den norra delen av studieområdet kan förklaras med att höjddatan där är otillräcklig, detta återigen med största sannolikhet på grund av otillräckliga mark-kontrollpunkter i detta område. Ett intressant resultat i denna del av analysen är att det finns tre stycken gångbroar över dikena i datan från konsumentdrönaren, men istället för att bryta vattenflödet vid dessa broar (som avläses som marknivå) så väljer verktyget att ta en omväg runt broarna, vilket man kan avläsa på dom meandrar som strömmen tar på tre olika ställen inom studieområdet. Detta fenomen tyder på att datan är detaljerad nog att hitta alternativa vägar för strömmen genom alla de stockar och sly som drönarens DSM innehåller, men det talar också för att huvud-diket i sig är förvånansvärt grunt. Detta kan förklaras med att diket innehåller vatten i drönarens DSM, vilket i sin tur medför att detta vatten har räknats som markyta i datan, till skillnad från SPL:s DTM där lasern har penetrerat vattenytan och tagit punkter på den verkliga markytan. Detta dike skulle således ha behövt vara torrt för att en analys med drönare ska bli verklighetstrogen.

En intressant skillnad i den hydrologiska analysen mellan drönare och SPL är även antalet- och antalet klasser av strömmar som uppstår när verktyget *Stream Order* kördes i studieområdet. Detta talar för den höga pixelupplösningen i drönardatan men man får även ha i åtanke här att en stor del av SPL-datan är generaliserad och att det under datainsamlingen stod en tät skog i området. Man kan även fråga sig hur mycket detaljnivå som är önskvärt när det kommer till en hydrologisk analys, huruvida man vill ha strömmar som snirklar sig runt kvistar och sly och om detta är relevant för en storskaligare analys. Resultatet blir således något felaktigt då flertalet av dessa strömmar är försumbara.

Det finns även skillnad på de två analyser som gjordes på SPL-datan, den ena inom studieområdet och den andra på ett större område på cirka 80 hektar. I detta resultat så har det bryt som tidigare noterats mitt i studieområdets ström försvunnit och strömmen stämmer hyfsat överens med hur den ser ut i verkligheten. Med tanke på hur effektiv SPL-metod är över stora områden kan det hända att denna metod lämpar sig bättre för denna typ av analys.

Den första damm som placerades ut höjdes till 0,5 meter över marknivå. Detta visade sig vara en tillräcklig höjning för att hindra vattenflödet i SPL-datan men som figur 18 visar så var inte denna höjning tillräcklig för drönardatan. Än en gång kan detta bero dels på den redan förhöjda marknivån i diket på grund av det vatten som avläses som mark, dels också faktumet att drönardatan verkar ignorera vissa hinder, alternativt ta omvägar runt dom såsom med gångbroarna. När det istället testades med en damm höjd till 2 meter över marken blev resultatet

samma för SPL som det blev för 0,5 meter. Dock så visade det sig att denna höjning var tillräcklig för att även hindra flödet i drönaranalysen. En höjning av 2 meter är inte rekommenderad utan denna analys gjordes för att se vad som hände när dammen fungerade som den ska även för drönardatan. Resultatet av verktyget *Basin* visar på att trots det något olika vattenansamlingsområde-uppdelningarna innan dammplaceringen så verkar de nya vattenansamlingsområden som bildats i respektive data stämma relativt bra överens med varandra.

Eftersom denna studie är baserad på den relativt unga tekniken SPL är det relevant att diskutera en del skillnader, fördelar och nackdelar denna teknik har jämfört med traditionell LiDAR (LML). Som tidigare nämnt använder sig SPL av laser i grön våglängd (532 nm) medan LML arbetar med nära infraröd våglängd (1064 nm). I och med att SPL har möjligheten till att upptäcka enskilda fotoner och få tillbaka en signal från dessa kan denna teknik skanna större områden, ha en högre flyghöjd och göra processen snabbare än LML. Detta medför att SPL-teknik blir billigare och mindre tidskrävande än LML men det och en studie av Wästlund, Lindberg, Holmgren & Olsson (2018) visar att SPL har liknande eller till och med högre förmåga att skanna området än LML. Det finns dock ett antal utmaningar med denna teknik och en av dem är de punkter som man kallar oljud (engelska: noise), även kallat falska ekon. Detta är punkter i punktmolnet som uppkommer när fotoner tas upp av lasern från till exempel solens strålning. Dessa punkter kan filtreras bort men med viss osäkerhet då det är svårt att med full säkerhet avgöra om punkterna faktiskt är från solstrålning eller från reella objekt (Brown, Hartzell & Glennie, 2020; Wästlund, Lindberg, Holmgren & Olsson, 2018).

En annan utmaning som nämnts tidigare är att en studie har påvisat att den procentuella returen av de pulser som når markytan är betydligt lägre än LML, dock skickar SPL betydligt fler pulser och skapar således mer punkter under trädkronan per m<sup>2</sup> (ca 28 punkter/m<sup>2</sup> jämfört med ca 10 punkter/m<sup>2</sup> för LML). Detta medför att resultatet av en DTM från SPL kan ses som jämförbar med en DTM från LML trots att förmågan att penetrera trädkronan framgår att vara sämre (Brown, Hartzell & Glennie, 2020). Trots dessa utmaningar så har SPL visat sig kunna generera upplösning 10 gånger så tät som LML på en betydligt högre flyghöjd och har visat sig ha förmåga att skanna ungefär 590 km/h jämfört med ungefär 50 km/h för LML (Brown, Hartzell & Glennie, 2020; Wästlund, Lindberg, Holmgren & Olsson, 2018). Den lägre kostnaden och den högre effektiviteten av SPL verkar överväga de utmaningar som denna unga teknik har att bemöta.

Sedan 2010 började drönare tillämpas allt mer. Fördelarna med drönare är att det går snabbt att starta och landa eftersom farkosten lyfter rakt upp och kan snabbt nå en höjd där datainsamling sker. Flygningen av fotouppdrag över ett mindre studieområde går snabbt att täcka in med överlappande bilder då drönaren har multirotor. Drönaren behöver därmed inte flyga i cirklar utan kan flyga i de riktningar som drönarpiloten anger. Ytterligare fördelar är att hastigheten kan hållas konstant och att eventuell vind turbulens kan lösas med kamerans gimbal. Flygningar med drönare är också kostnadseffektiva i jämförelse med LiDAR. Nackdelar med drönaren däremot är att den i dagsläget har en batteritid som är begränsad och medför att större områden blir svåra att kunna täcka in. Dessutom är drönaren väderberoende och föredrar sol och vindstilla förhållanden framför kyla, regn och kraftig blåst. Minusgrader kan leda till att batteritiden minskar avsevärt (Reese & Olsson, 2018).

### ***Vidare forskning***

För att kunna göra en mer rättvis bedömning av för- och nackdelar med de två olika metoderna skulle det behövas att man har mer komplett data som ligger närmare i tiden till varandra. Denna studie har begränsats något på grund av att inget fältbesök eller ny datainsamling har kunnat göras. Den data som fanns att tillgå var insamlad med 2 års mellanrum och en specifik del av kalhygget i norr om studieområdet fattades. Förekomsten av skog i SPL-datan försämrar även jämförelsen. Trots dessa begränsningar så är ämnet relevant att göra ytterligare studier på, och möjligtvis även jämföra andra modeller av drönare med både SPL och traditionell LiDAR. Det skulle även vara intressant att undersöka andra tillämpningsområden där detaljnivån av digital höjdmodell spelar en större roll.

## 7. Slutsats

Syftet med studien har varit att jämföra digitala höjdmodeller över ett område i Skogaryd baserade på data från konsumentdrönare och Single Photon LiDAR med avseende på upplösning och noggrannhet. Dessa digitala höjdmodeller har därefter ingått i en hydrologisk analys för ett verkligt dammprojekt. Detta för att undersöka huruvida de båda teknikerna förhåller sig till varandra.

Resultatet av jämförelsen visar att pixelupplösningen med konsumentdrönaren var högre jämfört med Single Photon LiDAR. Konsumentdrönarens pixelstorlek var 0,03 m medan Single Photon LiDAR var 0,25 m, vilket var det lägsta möjliga för att kunna genomföra analys på datan. Dock verkar mark-kontrollpunkterna blivit otillräckliga, vilket medför att höjdvärde för Single Photon LiDAR överensstämmer bättre med verkligheten men inte fullt ut då en generalisering har genererats för att filtrera bort träd. Data från konsumentdrönaren har också inslag av sly, vilket i sin tur kan medföra en något missvisande bild av hur den verkliga digitala höjdmodellen ser ut. Sammantaget av de digitala höjdmodellerna för denna studie är att de har haft sina för- och nackdelar.

Vidare jämförelse av den hydrologiska analys mellan konsumentdrönare och Single Photon LiDAR visar att SPL-datan har svårt att skapa enhetliga strömmar inom ett relativt litet område, såsom studieområdet i detta fall, medan drönardatan visar en uppsjö av strömmar och strömindelningar. Som tidigare nämnt är dessa mycket detaljerade och små strömmar inte relevanta för analysen i sig och bäst resultat uppnåddes när hydrologisk analys på ett större område av SPL gjordes. Inom hydrologisk analys är det viktigt att datan man arbetar med har den riktiga markprofilen i vattenkroppar, forsar, floder och liknande. Detta betyder att det inte är önskvärt att använda sig av en metod som inte kan penetrera vatten. Trots detta fanns det klara fördelar med drönardatan när man vill undersöka mindre och mer detalj-intensiva områden på marknivå då den resulterande höjdmodellen har mycket högre detaljrikedom och upplösning.



## 8. Källförteckning

Brown, R., Hartzell, P., & Glennie, C. (2020). Evaluation of SPL100 Single Photon Lidar Data. *Remote Sensing*, 12(4), 722. MDPI AG. Retrieved from

<http://dx.doi.org/10.3390/rs12040722>

Campbell, James B., and Randolph H. Wynne. Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition, Guilford Publications, (2011). ProQuest Ebook Central, Retrieved from <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.ub.gu.se/lib/gu/detail.action?docID=843851>.

Coops, N., Goodbody, T., Cao, L. (2019). Four steps to extend drone use in research. *Nature* 572, 433-435. Retrieved from doi: 10.1038/d41586-019-02474-y

ESRI. (u. å.). How Fill works. Hämtad 2020-05-04 från <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>

ESRI. (u. å.). How Flow Accumulation works. Hämtad 2020-05-04 från <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>

ESRI. (u. å.). How Flow Direction works. Hämtad 2020-05-04 från <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>

ESRI. (2016). How Stream Order works. Hämtad 2020-05-04 från <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-stream-order-works.htm>

ESRI. (2019). What is lidar data?. Hämtad 2020-05-04 från <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data.htm>

Gašparović, M., Seletković, A., Berta, A., Balenović, I. (2017). The Evaluation of Photogrammetry-Based DSM from Low-Cost UAV by LiDAR-Based DSM. *International scientific journal in field of forestry*. Retrieved from <https://doi.org/10.15177/seefor.17-16>

Göteborgs Universitet. (2019). Skogaryd Research Catchment. Hämtad 2020-04-24 från <https://gvc.gu.se/english/research/skogaryd>

Harrie, L. (2020). Geografisk informationsbehandling: Teori, metoder och tillämpningar. Lund: Studentlitteratur

Leica Geosystems (2020). Leica SPL100 Single Photon LiDAR sensor. Hämtad 2020-05-13 från <https://leica-geosystems.com/sv-se/products/airborne-systems/topographic-lidar-sensors/leica-spl100>

Li, Q., Degnan, J.J., Barrett, T., & Shan, J. (2016). First Evaluation on Single Photon-Sensitive Lidar Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 82, 455-463.

Lovin, J. (2018). Future Vision: The Future of Aerial Lidar and Emerging Technologies. Hämtad 2020-05-11 från <https://lidarmag.com/2018/06/12/future-vision-the-future-of-aerial-lidar-and-emerging-technologies/>

Maguya, S., Junttila, V., Kauranne, T. (2013). Adaptive algorithm for large scale dtm interpolation from lidar data for forestry applications in steep forested terrain. ELSEVIER, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.08.005>

Nilsson, M., Nordqvist, K., Jonzén, J., Lindgren, N., Axensten, P., Wallerman, J., ... Olsson, H. (2016). A nationwide forest attribute map of Sweden predicted using airborne laser scanning data and field data from the National Forest Inventory. *Remote Sensing of Environment*, volym(194), 447-454. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.022>

Reese, H., Olsson, H. (2018). Skoglig fjärranalys [Kompendium]. Umeå. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Sanz, R., Rosell, J. R., Llorens, J., Gil, E., & Planas, S. (2013) Relationship between tree row LIDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System. ELSEVIER, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.11.013>

Sigma Civil. (2019). *Dimensionering av damm för återställning av våtmark i Skogaryd*. (RAPPORT-81661).

Skogsstyrelsen. (2019). *Införande av drönare*. Hämtad 2020-04-18 från: <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/var-verksamhet/projekt/Inforande-av-dronare/>

Stal, C., Tack, F., Maeyer, P., Wulf, A., Goossens, R. (2013). Airborne photogrammetry and lidar for DSM extraction and 3D change detection over an urban area – a comparative study. *International Journal of Remote Sensing*. Retrieved from <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1080/01431161.2012.717183>

Strömberg, S., & Thelin, S. (2019). *Utvärdering av digitala höjdmodeller som underlag vid hydrologisk modellering (Kandidatuppsats)*. Gävle: Akademin för teknik och miljö, Högskolan i Gävle. Retrieved from <http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:1336516/FULLTEXT01.pdf>

Swatantran, A., Tang, H., Barrett, T. *et al.* (2016). Rapid, High-Resolution Forest Structure and Terrain Mapping over Large Areas using Single Photon Lidar. *Sci Rep* 6, 28277. <https://doi.org/10.1038/srep28277>

Wang, X., Duan, Z., Brydegaard, M. *et al.* (2018). *Drone-based area scanning of vegetation fluorescence height profiles using a miniaturized hyperspectral lidar system*. *Appl. Phys. B* 124, 207. Retrieved from <https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1007/s00340-018-7078-7>

Wästlund, A., Holmgren, J., Lindberg, E., & Olsson, H. (2018). Forest Variable Estimation Using a High Altitude Single Photon Lidar System. *Remote Sensing*, 10(9), 1422. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/rs10091422>