



BACHELOROPPGAVE:

**FLYBÅREN LASERSKANNING:
PÅVIRKNING AV VEGETASJON PÅ
ANTALL BAKKETREFF OG
RESULTERENDE TERRENGFORM**

FORFATTERE: FATON VLASHI
FATOS BAJRAMI
KAY FRODE KRISTIANSEN

Dato: 23.05.12

SAMMENDRAG

Tittel:	Flybåren laserskanning: Påvirkning av vegetasjon i ulike årstider på bakkepunktthet og resulterende terrengform.	Dato : 23.05.12
Deltaker(e)/	Faton Vlashi Fatos Bajrami Kay Frode Kristiansen	
Veiledere:	Torbjørn Kravdal og Sverre Stikbakke	
Oppdragsgiver:	TerraTec AS	
Stikkord/nøkkelord (3-5 stk)	Flybåren, laserskanning, vegetasjon, bakkepunkter	
Antall sider/ord:	48 / 8 336	Antall vedlegg: 32
		Publiseringsavtale inngått: ja/nei
Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:		
<p>Målet med oppgaven er å finne ut hvor mange bakkepunkter man får i forskjellige typer vegetasjon ved ulike årstider og hvordan dette påvirker terrengformen man genererer ved bruk av TIN og/eller raster. Dette vil bli undersøkt med forskjellige skanneparametere og varierende terrengform i ulike vegetasjonstyper. Vi vil også finne nøyaktigheten på disse punktene og terrengformen ved å sammenligne data vi får med GNSS/totalstasjon i felt.</p> <p>Det vil utarbeides analyser og statistikk av utvalgte interesseområder slik at vi kan finne frem til hvordan data endres mellom disse i ulike årstider. Nøyaktigheten vil vurderes opp mot spesifikasjon fra oppdragsgiver og FKB-laser spesifikasjon. Det vil også gjøres vurderinger på hvilke avvik som er mest aktuelle i forhold til vår problemstilling underveis. Disse vurderingene gjøres på grunnlag av beregninger av snitt og standardavvik i de ulike datasettene og interesseområdene.</p>		

ABSTRACT

Title:	<u>Airborne laser scanning: Effect of vegetation in different seasons on the ground point density and resulting terrain shape.</u>	Date : 23.05.12
Participants/	<u>Faton Vlashi</u> <u>Fatos Bajrami</u> <u>Kay Frode Kristiansen</u>	
Supervisor(s)	<u>Torbjørn Kravdal og Sverre Stikbakke</u>	
Employer:	<u>TerraTec AS</u>	
Keywords (3-5)	<u>Airborne, laser scanning, vegetation, ground return</u>	
Number of pages/words: 48 / 8 336	Number of appendix: 32	Availability (open/confidential):
Short description of the bachelor thesis:		
<p>The goal of the bachelor project is to see how many laser ground point returns we get in varying types of the vegetation, from two particular seasons, and how this will affect the height model generated by TIN or raster. This effect will be analyzed in different types of vegetation, with changing terrain shape and with several scanning parameters. We are going to find the accuracy for those points and the height model, by comparing the data we get from field measurements done with GNSS and total station.</p> <p>We will develop analysis and statistics from specific interest areas so we can find how the data change and are affected in different seasons. The accuracy will be compared to specifications from the contracting company and from FKB-laser specifications determined by the Norwegian Mapping Authority. During the project we will consider what deviations are most relevant to our research question. These assessments will be done on a basis of calculations of median and standard deviations in the different datasets and interest areas.</p>		

FORORD

Denne oppgaven markerer slutten av et treårig bachelorstudium i Geomatikk ved Høgskolen i Gjøvik avdeling for teknologi, økonomi og ledelse.

Oppgavens formål var å finne hvilken effekt vegetasjon ved ulike årstider har på flybåren laserskanning, hvordan dette påvirker antall bakkepunkter og nøyaktighet i resulterende terrengform. Problemstillingen ble utarbeidet i samarbeid med TerraTec AS.

Arbeidet med prosjektet startet i januar 2012 og ble avsluttet med en muntlig fremføring den 7. Juni 2012.

Vi vil takke TerraTec AS for tilgang til data, et godt samarbeid og veiledning underveis i oppgaven. Vi vil spesielt takke Dagrun Aarsten, vår kontaktperson ved TerraTec AS, som har fulgt oppgaven vår med stor interesse og vært en god støttespiller gjennom hele prosjektet.

Takk til våre veiledere, Torbjørn Kravdal og Sverre Stikbakke, for veiledning og oppfølging gjennom prosjektets gang.

Takk til Statens Kartverk ved Lars Mardal og Håkon Dåsnes for hjelp og veiledning til gjennomføring av målinger og kontroll av data.

Takk til Leica Geosystems AS ved Lars Gulbrandsen for bilder av Leica ALS 50-II og tillatelse til å bruke bilder fra produktspesifikasjonen.

Vi vil også takke beboerne ved testfeltet i Nittedal som har vært imøtekommende og har gitt oss tillatelse til å utføre målinger og befaring på området.


Faton Vlashi


Fatos Bajrami


Kay Frode Kristiansen

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG	2
ABSTRACT	3
FORORD	4
Forkortelser	8
1 Innledning	9
1.1 Bakgrunn for oppgavevalg	9
1.2 Prosjektets mål	9
1.3 Problemstilling	10
1.4 Avgrensning	10
1.5 Tidligere arbeid relevant for problemstillingen	11
1.6 Nettsted	12
1.7 Deltagere	13
1.8 Oppdragsgiver: TerraTec AS	14
2 Teorigrunnlag	15
2.1 LiDAR introduksjon	15
2.1.2 Egenskaper	16
2.1.1 Svakheter	16
2.2 Mobile systemer	17
2.3 Feilkilder og nøyaktighet ved mobil laserskanning	18
2.3.1 Systematisk avvik	18
2.3.2 Etterprosessering	19
2.3.3 Kvalitetskrav FKB-laser spesifikasjon	20
3 Utstyr	21
3.1 Teknisk beskrivelse av Leica ALS50-II	21
3.2 Leica Viva GNSS	23
3.3 Leica Viva TS11 (Totalstasjon)	24
3.4 Programvare	24
3.4.1 ArcGIS	24
3.4.2 Gemini Terreng og Entreprenør	25
3.4.3 Øvrig programvare	25
4 Fremgangsmåte (metode)	26
4.1 Planfase	26
4.2 Data	27
4.2.1 Laserdata	27
4.2.2 Egne målinger	28
4.3 Innledende analyse i ArcGIS	28
4.3.1 Kontroll av punkttetthet	28
4.3.2 Sammenligning av høydemodeller	29
4.4 Målinger i felt	30
4.4.1 Beskrivelse av målinger	30
4.4.2 Målingsprinsipp med RTK assistert GNSS	30
4.5 Kontroll av datasett i Gemini Terreng og Entreprenør	31
4.6 Endelige analyser i ArcGIS	31
5 Resultater	32

5.1	Innledende analyse i ArcGIS	32
5.1.1	Bakkepunktthet	32
5.1.2	Sammenligning av høydemodeller	35
5.2	Kontroll mot målinger i Gemini Terreng og Entreprenør	37
5.3	Endelige analyser i ArcGIS	42
6	Konklusjon	46
7	Kilder	48
8	Vedlegg	49
8.1	Vedlegg tabell	49

Antall ord i oppgaveteksten: 8 336

Tabelliste

Tabell 1: Avvik i hele datasett ved 3m celler. Minus 5 pkt/m ² april.	36
Tabell 2: Data fra clipområde 8: Golfbane fairway	42
Tabell 3: Data fra clipområde 6: Lav vegetasjon Holm	43
Tabell 4: Data fra clipområde 4: Løvskog sørøst	44
Tabell 5: Data fra clipområde 1: Granskog nord	45

Figurliste

Figur 1: Bildeutsnitt av webside	12
Figur 2: TerraTec AS logo	14
Figur 3: Visualisering av punktsky	15
Figur 4: Eksempel på hvordan laserstråler kan brytes av vegetasjon	16
Figur 5: To mobile plattformer	17
Figur 6: Graf fra Leica ALS-50-II produktspesifikasjon over grunnriss og høydenøyaktigheten til systemet etter flyhøyde	18
Figur 7: Illustrasjon fra TerraTec AS av to flystriper før og etter matching	19
Figur 8: Tabell over kvalitetskrav fra Statens Kartverk FKB-laser spesifikasjon	20
Figur 9: Bilde av Leica ALS 50-II systemet	21
Figur 10: Leica ALS50-II kontrollenhet	22
Figur 11: Illustrasjon av sinusform	23
Figur 12: Bilde av Leica Viva GNSS	23
Figur 13: Bilde av Leica Viva TS11	24
Figur 14: Illustrasjon fra Gemini Terreng ved kontroll av målinger	31
Figur 15: Analyse av bakkepunktthet i april med 1 punkt per kvadratmeter	32
Figur 16: Analyse av bakkepunktthet i september med 1 punkt per kvadratmeter	33
Figur 17: Sammenligning av 1 og 5 punkt per kvadratmeter i september over samme område.	33
Figur 18: Graf over hvor mange sendte pulser som resulterer i bakketreff	34
Figur 19: Sammenligning av høydemodeller 1 pkt. per m ² april minus 5 pkt. per m ² april.	35
Figur 20: Sammenligning av høydemodeller 1 pkt. per m ² september minus 5 pkt. per m ² april	35
Figur 21: Graf over standardavvik og flyfoto av kontrollområde på parkeringsplass	37
Figur 22: Graf og flyfoto for målinger utført ved Holm gård i tett og lav vegetasjon	38
Figur 23: Bilde fra oppmåling i tett vegetasjon i april	38
Figur 24: Graf og flyfoto for målinger utført i granskog ved Holm gård	39
Figur 25: Bilde fra oppmåling i granskog i april	39

Forkortelser

- *DEM* - **D**igital **E**levasjonsmodell
- *DTM* - **D**igital **T**errenghmodell
- *DOM* – **D**igital **O**verflatemodell
- *EUREF89* - **E**uropean **R**eference **F**rame **1989**.
- *GPS* – **G**lobal **P**osition **S**ystem
- *GLONASS* – **G**lobalnaja **N**avigatsionnaja **S**putnikovaja **S**istema (Global Navigation Satellite System)
- *GNSS* - **G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem
- *IMU* - **I**nertial **M**easurement **U**nit
- *LASER* - **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation
- *LiDAR* - **L**ight **D**etection and **R**anging
- *RTK* - **R**eal **T**ime **K**inematics
- *SOSI* - **S**amordnet **O**pplegg for **S**tedfestet **I**nformasjon
- *TIN* - **T**riangulært **I**rregulært **N**ettverk
- *UTM* - **U**niversal **T**ransverse **M**ercator
- *WGS84* - **W**orld **G**eodetic **S**ystem **1984**.
- *ATV* - **A**ll **T**errain **V**ehicle
- *ESRI* - **E**nvironmental **S**ystems **R**esearch **I**nstitute
- *HIG* – **H**øgskolen i **G**jøvik
- *CPOS* – Korreksjoner for GNSS som mottas i sanntid ved hjelp av et GSM- eller GPRS –modem
- *ASCII* - **A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange
- *FKB* – **F**elles **K**artdata**B**ase
- *API* - **A**pplication **P**rogramming **I**nterface
- *IT* - **I**nformation **T**echnology
- *HTML* - **H**yper**T**ext **M**arkup **L**anguage
- *CSS* - **C**ascading **S**tyle **S**heets
- *KML* - **K**eyhole **M**arkup **L**anguage
- *GIS* - **G**eografiske **I**nformasjons**S**ystemer

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgavevalg

Vi ønsket å jobbe med laserskanning fordi det er et veldig relevant tema for fremtiden av kartlegging. Flylaserskanning har tatt over for tidligere teknologi ved fremstillingen av digitale høydemodeller og høydekurver, vi tror dette vil bli brukt mer og mer i årene som kommer og ønsker derfor å opparbeide oss kompetanse på et område som ser en sterk vekst innen kartleggingsfaget.

Teknologien gjør avstandsmålinger fra fly ned mot terrenget, tiden det tar fra sendt laserpuls til mottakeren registrerer returpuls bestemmer avstanden til bakken. Systemet registrerer også intensiteten på refleksjonen fra de ulike objektene det treffer. Dette gjøres flere tusen ganger i sekundet og man bygger gjennom disse målingene opp en punktsky som inneholder alle data. Fordi målingene utføres fra fly ned mot bakke påvirkes flyskanning mye av vegetasjon og bakkevariabler. Dette gjorde at vi var interessert i å finne ut mer om hvordan vegetasjonen påvirker mengde bakkepunkter og nøyaktighet i resulterende terrengform.

1.2 Prosjektets mål

Målet med oppgaven er å finne ut hvor mange bakkepunkter man får i forskjellige typer vegetasjon ved ulike årstider og hvordan dette påvirker terrengformen man genererer ved bruk av TIN og raster. Dette vil bli undersøkt med forskjellige punkttettheter mot varierende terrengform i ulike vegetasjonstyper. Vi vil også kontrollere nøyaktigheten på disse punktene og terrengformen ved å sammenligne data vi får med GNSS/totalstasjon i felt.

Det vil utarbeides analyser og statistikk av utvalgte interesseområder slik at vi kan finne frem til hvordan data påvirkes i ulike årstider. Nøyaktigheten vil vurderes opp mot spesifisering fra oppdragsgiver og FKB-laser spesifisering. Det vil også gjøres vurderinger på hvilke avvik som er mest aktuelle i forhold til vår problemstilling underveis. Disse vurderingene gjøres på grunnlag av beregninger av punkttetthet, snitt og standardavvik i de ulike datasettene og vegetasjonstypene.

1.3 Problemstilling

Hvordan påvirkes flyskanningens høydenøyaktighet, bakkepunktthet og resulterende terrengform av vegetasjon i forskjellige årstider?

1.4 Avgrensning

I vår oppgave vil vi fokusere på dokumentasjon av fullstendighet og feil i høydemodellen som kommer av vegetasjonsendringer mellom ulike årstider. De systematiske avvik som kommer av vilkårlig feil, kalibreringsfeil eller lignende vil ikke bli tatt opp i stor grad så lenge det ikke direkte påvirker våre undersøkelser. Faktorer som kommer inn under denne kategorien er allerede godt dokumentert fra systemleverandør og gjennom årlig kontroll mot testfelt som spesifisert i produktspesifikasjon FKB-laser.

Datasettene vil bli kontrollert mot spesifikasjonene fremsatt av Statens Kartverk for å bevise at det ikke er store avvik som kan påvirke våre analyser. Slike kontroller vil hjelpe oss med å bestemme hvilke avvik som er relevante for vår problemstilling.

De data vi bruker er allerede prosessert av TerraTec AS til to klasser, bakke(2) og uklassifisert(1). Vi vil ikke gå inn på detaljer rundt denne prosessen, men vil forsøke å identifisere avvik som kommer av feilklassifiserte punkter. Dette gjør oppgaven relevant for oppdragsgiver ved at vi får frem mulige feil eller mangler i klassifisering knyttet til deres fremgangsmåte.

Ved sammenligning av høydemodeller vil vi ikke gjøre utdypende vurderinger av nøyaktigheten til disse eller andre modelleringsformer. Det er et felt man kan skrive en hel oppgave rundt, vi vil allikevel ta høyde for usikkerheten som ligger i de metoder vi har valgt å bruke.

1.5 Tidligere arbeid relevant for problemstillingen

Det har blitt gjennomført en lignende undersøkelse tidligere ved Høgskolen i Gjøvik, dette var en bacheloroppgave som omhandlet TerraTec sin Mobile Mapper montert på bil og hvordan den taklet vegetasjon. Vår oppgave omhandler flybåren skanning, men undersøkelsen har mye av det samme formålet og fremgangsmåten er tilnærmet lik. Oppgaven kom ikke frem til noen entydig konklusjon og det var visse mangler ved datainnsamling og analyse. Vi er klar over hvilke mangler denne oppgaven hadde og vil ta med oss dette i vår gjennomføring.

Det finnes ulike vitenskapelige artikler om temaet på nettet, hovedsakelig rettet mot nøyaktighet ved flybåren laserskanning knyttet til skogbruk. Disse artiklene omhandler analyser av hvor mye treverk man kan få av de ulike skogstyper. Deler av dette stoffet kan være interessant for vår problemstilling da det innebærer analyse av forskjeller mellom terrengform og kronhøyde på trærne, noe som kan påvirkes av feil i terrengmodell.

Det er også gjort noen direkte undersøkelser på høydenøyaktigheten av terrengform i skog av ulik tetthet. Disse rapportene vil være meget nyttig for å finne frem til en god fremgangsmåte og bruk av riktige analyser. Spesielt en rapport er veldig relevant for vårt tema:

<http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/47657/1/IND44484568.pdf>

Den inneholder gode analyser av avvik fra punkter innmålt med landmålingsutstyr. Vi vil bruke noen av de samme analysene og presentasjonsformene for vår data.

I og med at vi har data fra ulike årstider vil vi kunne se forskjellen på terrengform i ulike faser av vegetasjonstetthet, noe som skiller vår oppgave fra de tidligere utførte undersøkelser.

1.6 Nettsted

Som en del av bacheloroppgaven skulle vi etablere et nettsted med nødvendig informasjon om prosjektet. Domenet ble opprettet av IT-tjenesten ved Høgskolen i Gjøvik og kan finnes på:

<http://hovedprosjekter.hig.no/v2012/tol/geo/flylaser/>



Figur 1: Bildeutsnitt av webside

Siden ble videreutviklet fra en fritt tilgjengelig mal, link til opphavet kan finnes nederst på websidene. Utvidelser og modifisering av eksisterende mal ble utført ved hjelp av HTML og CSS i programvaren Komodo Edit.

Google Maps og Google Earth ble integrert ved hjelp av henholdsvis Google Maps API og Google Earth API i JavaScript. Informasjonslagene er skrevet i KML eller eksportert fra ArcGIS til KML og integrert i API ved hjelp av JavaScript.

Facebook share og Twitter link er lagt til nederst på hver side ved hjelp av henholdsvis Facebook API og Twitter API i JavaScript.

Det er brukt bilder med tillatelse av TerraTec AS.

Annet innhold er generert av gruppelemmene.

Det vurderes om rapporten skal gjøres tilgjengelig på denne siden.

1.7 Deltagere

Prosjektet gjennomføres av tre studenter ved geomatikkstudiene på Høgskolen i Gjøvik. To av studentene har fordypning innen landmåling og en har fordypning innen GIS.

Fatos Bajrami

Stud.nr: 091306

Tlf: 90 80 52 09

Email HIG: fatos.bajrami@hig.no

Email privat: fatos_057@hotmail.com

Kay Frode Kristiansen

Stud.nr: 091018

Tlf: 40 85 65 53

Email HIG: kay.kristiansen@hig.no

Email privat: kay.frode@gmail.com

Faton Vlashi

Stud.nr: 091305

Tlf: 97 15 59 94

Email HIG: faton.vlashi@hig.no

Email privat: fatonivlashi@gmail.com

Oppdragsgiver

TerraTec AS

Lysaker Torg 12

1327 Lysaker

Tlf: 45 46 63 00 – Fax: 45 46 63 01

Kontaktperson

Dagrun Aarsten

Avdelingsleder laser

Tlf: 45 48 52 29

Email: dagrun.aarsten@terratec.no

Veileder HIG

Torbjørn Kravdal

Høgskolelektor

Høgskolen I Gjøvik

Tlf: 61 13 52 13

Email: torbjoern.kravdal@hig.no

Sverre Stikbakke

Høgskolelektor

Høgskolen I Gjøvik

Tlf: 61 13 52 85

Email: sverre.stikbakke@hig.no

1.8 Oppdragsgiver: TerraTec AS

Vi ønsket å jobbe med en bedrift som har lang erfaring og stor kompetanse når det kommer til flyskanning. TerraTec AS



Figur 2: TerraTec AS logo

var en bedrift vi anså som en meget

interessant oppdragsgiver for bacheloroppgaven. De har mange års erfaring med flybåren datainnsamling av ulike typer, og startet med laserskanning i 2007. Dette gjør de til et av de mest solide bedrifter innen denne bransjen, ikke bare i Norge men på verdensbasis.

TerraTec AS jobber innen mange fagområder knyttet til kartlegging, som for eksempel fotogrammetri, DEM¹, ortofotoproduksjon, 3D modellering og landmåling. De utvikler også TerraPos² som er en spesialprogramvare for prosessering av rådata ved hjelp av informasjon fra IMU³ sammen med GNSS⁴.

Etter at vi tok kontakt med TerraTec har de vist stor interesse for oppgaven og gitt oss mye informasjon. De har også vært med i utforming av endelig problemstilling og fremgangsmåte. Vi har hatt Dagrun Aarsten som kontaktperson og har fått kontaktinformasjon til ansatte på flere ulike fagfelt som er relevant for vår oppgave.

For mer informasjon se www.terratec.no

¹ Digital Elevasjons Modell http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_elevation_model

² TerraPos <http://www.terrapos.no/>

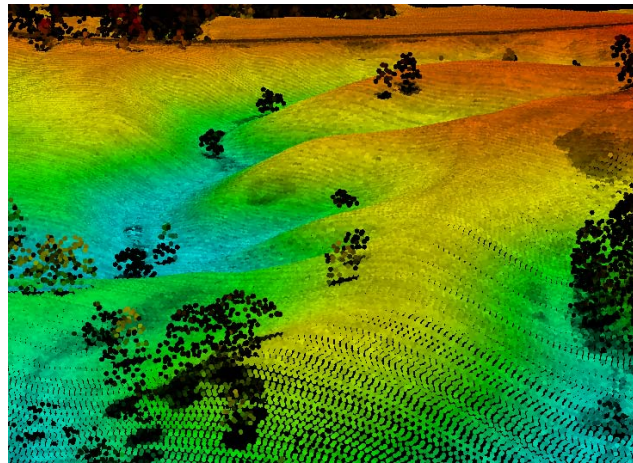
³ Inertial Measurement Unit http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit

⁴ Global Navigation Satellite System <http://en.wikipedia.org/wiki/Gnss>

2 Teorigrunnlag

2.1 LiDAR introduksjon

Light **D**etection **A**nd **R**anging er en optisk fjernmålingsteknikk som (innen kartlegging) brukes til å innhente store mengder avstandsdata hurtig og effektivt. Det finnes to utbredte målemetoder. Time of flight, som sender ut en og en laserpuls for så å gjøre beregninger ut fra tiden det tar før man får returpuls. Eller fasebasert som bruker forskjellen på sendt og mottatt bølgeform for beregninger. Time of flight er den mest utbredte metoden og vil være utgangspunktet for denne oppgaven da det er målemetoden som ble benyttet av TerraTec AS for innsamling av våre datasett.



Figur 3: Visualisering av punktsky

Time of flight skanning bruker akkurat den samme teknologien som tradisjonelle laserbaserte avstandsmålere. Det som skiller 3D skannere utviklet for landmåling fra disse er at den kan gjøre flere hundre tusen (opptil millioner) målinger i sekundet i ulike vinkler. Hele eller deler av laserpulsen returneres etter hvert som den treffer objekter eller bakke og man registrerer avstanden på hver enkelt returpuls. Vi kan få inntil fire returer på en puls avhengig av objektet som treffes og fotavtrykket til laserstrålen. I vegetasjon vil vi for eksempel kunne treffe flere grener eller blader før pulsen stopper, hver returpuls blir lagret og klassifisert etter hvilket nivå den ligger på. I praksis får vi en stor mengde avstandsdata som igjen kan georefereres gjennom nøyaktig innmåling av posisjonen til måleinstrumentet enten ved bruk av tradisjonelle landmålingsteknikker eller GNSS.

2.1.2 Egenskaper

Laserskanning skiller seg drastisk fra tradisjonelle landmålingsteknikker. Med totalstasjoner eller GNSS har målet vært å kunne gjøre ekstremt nøyaktige innmålinger av enkeltpunkter som blir bestemt av oppmåler.

Laserskanningssystemer benytter seg av en helt annen tilnærming, her kartlegger man hele eller deler av et område med et stort antall målinger. I stedet for at landmåleren gjør innmålinger på spesifikke punkter kan man i etterkant gjøre beregninger på disse stedene i programvare.

Ved å kartlegge hele interesseområdet i en eller flere oppstillinger eller flyvninger vil man minske muligheten for manglende data og eliminere mange kostbare ekskursjoner til samme område. Kartlegg alt på en meget kort tid og hent ut relevant data i etterkant.

2.1.1 Svakheter

Det finnes noen svakheter ved metoden, noen av disse svakhetene forsøker vi å dokumentere gjennom dette prosjektet. Systemet baserer seg på å sende lyspulser og registrere returpuls, derfor vil det være avhengig av fri sikt til objekter som ønskes innmålt. Datasettene er derfor veldig utsatt for skyggeeffekter. Hvis det er det mange hindringer rundt oppstillingspunktet vil disse hindre datainnsamling i store vinkler. Dette motvirkes ved at man kan ta flere oppstillinger og dekke et større område, data vil kunne kombineres i etterkant.

Refleksjonsegenskapene til overflaten som treffes vil kunne påvirke avstandsrekkevidden, og kan føre til at nøyaktigheten varierer siden systemet er avhengig av god styrke på retursignal i forhold til støy i systemet. Noen overflater kan absorbere signalet helt eller delvis og andre kan reflektere det ut i en annen vinkel slik at det oppstår hull i datasettet, dette er et problem med for eksempel hustak ved flybåren skanning.



Figur 4: Eksempel på hvordan laserstråler kan brytes av vegetasjon

2.2 Mobile systemer

Ved å montere 3D skannere på mobile enheter som fly, helikopter, bil eller ATV kan man kartlegge store områder effektivt og raskt med relativt god nøyaktighet. Det fungerer på samme måte som stasjonær skanning, men instrumentets posisjon og orientering overvåkes kontinuerlig. For å utføre slike målinger brukes GNSS-mottakere knyttet sammen med en IMU(Inertial Measurement Unit).

GNSS enheten georeferer instrumentets bevegelse mens IMU kalkulerer de interne bevegelsene i den mobile enheten. Dette gir en feilmargen under 10 cm vertikalt og 20 cm horisontalt ved flybåren skanning i ca 2000m høyde⁵, noe som varierer avhengig av flate og struktur på måleobjekt.



Figur 5: To mobile plattformer

Det er mulig å bruke programvare i etterkant for å sette sammen de ulike målingene til en sammenhengende punktsky ved hjelp av data fra GNSS og IMU.

Nøyaktigheten kan dokumenteres ved å utføre sammenligninger med bakkebaserte innmålingsteknikker. Mobile skanningssystemer gjør det mulig å kartlegge infrastruktur uten å hindre vanlig bruk.

⁵ <http://www.terratec.no/doc/0306-laser.pdf>

2.3 Feilkilder og nøyaktighet ved mobil laserskanning

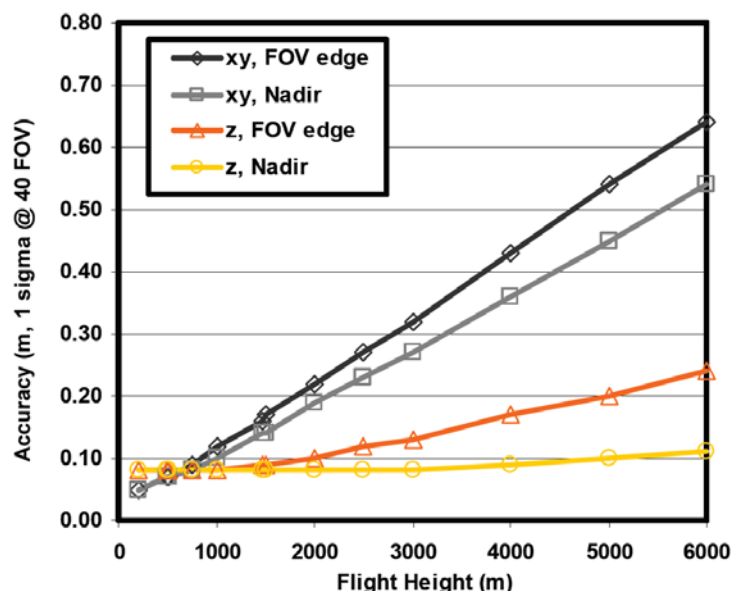
I dette avsnittet vil tilfeldige og systematiske feilkilder knyttet til laserskanning som metode og etterprosessering bli diskutert. I senere avsnitt vil vi gå inn på feilkilder, nøyaktighet og fullstendighet knyttet til vegetasjon og bakkepunktthet.

2.3.1 Systematisk avvik

Systemer for mobil laserskanning er veldig kompliserte, for å gjøre rede for alle tenkelige feilkilder må man ikke bare se på selve systemet, men også ytre faktorer som overflateforhold og atmosfære. De interne feilkildene vil være sammensatt av bidrag fra laser (avstand og sveipemekanisme), GNSS, IMU og implementeringen av disse.

Avstandsnøyaktigheten blir bestemt av en rekke faktorer. Forhold ved selve pulsregistreringen som pulsform, lengde og presisjon, samt oppløsning i tidsmålingen kan påvirke systemets presisjon. Hver pulsmåling er også avhengig av forholdet mellom styrken på retursignalet og støy i systemet. Dette er igjen avhengig av laserens effekt, målestrålens divergens, målerate, sensitivitet og blenderåpningen i mottakssensoren. Slike avstandsfeil vil som regel fremstå som en konstant og en avstandsavhengig del. Avvik som kommer av dette vil være kontrollert og dokumentert ved gjennomføring av kalibrering og blir implementert i programvare som brukes ved etterprosessering av data.

En av de største feilkildene i et slikt system vil ligge i den direkte georefereringen. Nøyaktigheten på posisjon innhentet av GNSS-antennen blir i hovedsak påvirket av satellittbanefeil, ionosfære- og troposfæriske effekter, faseflertydighet og multipath. Usikkerheten ligger i området +/- 10cm i høyde. Denne posisjonsfeilen blir direkte overført til laserpunktene. Nøyaktighet på orientering er avhengig av oppløsning på data fra IMU, og avhenger av type instrument.



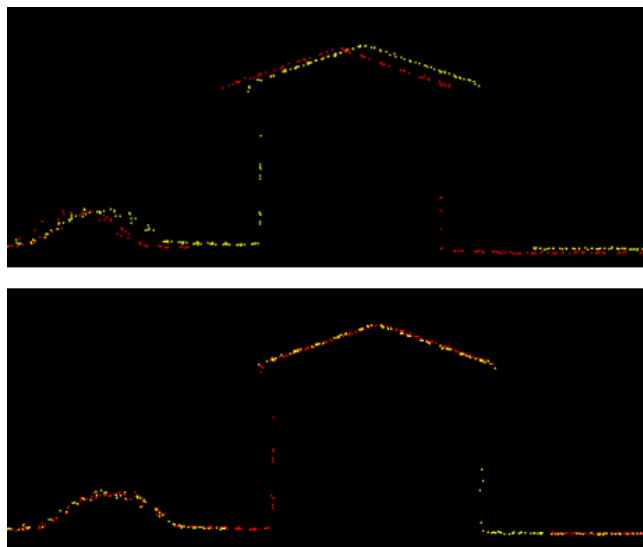
Figur 6: Graf fra Leica ALS-50-II produktspesifikasjon over grunnriss og høydenøyaktigheten til systemet etter flyhøyde

Feil som kommer av direkte georeferering vil som oftest oppdages og/eller korrigeres ved hjelp av kontrollpunkter innmålt av datainnsamler.

Til slutt vil integrasjonen av GNSS/IMU og laser i den mobile plattformen kunne påvirke nøyaktigheten på de innsamlede data. Dette avhenger av nøyaktigheten på innmåling av innbyrdes plassering av de ulike sensorene i flyet. Parallellstilling av IMU i forhold til laserens aksesystem kan ikke måles og må tilegnes ved hjelp av kalibreringsflyvning.

2.3.2 Etterprosessering

I etterprosesseringen vil de innsamlede rådata justeres etter data fra IMU og flystripene matches for å generere ett sammenhengende datasett. Matchingen er vanskeligere ved laserskanning enn for eksempel ved flyfotografering. På bilder vil man ha tydelige grenser på objekter som kan identifiseres i to eller flere bilder, i laserdata må dette skje enten på intensitet i flere punkter eller ved gjenkjenning av de abstrakte formene punktene utgjør. Høydeavvik mellom flystriper kan brukes for å beregne de systematiske avvikene i systemet.



Figur 7: Illustrasjon fra TerraTec AS av to flystriper før og etter matching

Etter hvert som lasersystemene blir utviklet får vi høyere og høyere punktetthet med god nøyaktighet. En av de største utfordringene ved laserskanning er å utnytte de enorme mengdene data effektivt. Siden systemet er uintelligent må man i etterprosessering av data identifisere punkter som har truffet bakke, vegetasjon, bygninger og lignende.

Den første klassifiseringen man gjør er å skille ut punkter som har truffet bakken. Dette er spesielt viktig da de fleste bruksområder for laserdata er avhengig av en godt definert høydemodell der overflateobjekter er fjernet. Det finnes mange algoritmer på markedet tilpasset til flere ulike formål. Avhengig av om det er byområde, skogsområde, kupert eller flatt terreng vil man måtte justere algoritmene for å gjøre en effektiv identifikasjon av punkter som har truffet bakken. Den valgte algoritmen er ofte avhengig av bruksområdet for de

endelige data, noen algoritmer er for eksempel utviklet for å beholde små detaljer bedre enn andre. Klassifiseringen utføres som en iterativ prosess som bygger en TIN-modell oppover så lenge den finner punkter som faller innenfor iterasjonsparameterne.

I vår oppgave vil mange av de større feilene vi finner komme fra denne prosessen. Ved tett vegetasjon og lite direkte bakketreff vil algoritmer ha problemer med å finne tilnærmet reell terrengform og feilklassifisering kan forekomme.

2.3.3 Kvalitetskrav FKB-laser spesifisering

Statens Kartverk har spesifisert en rekke krav til laserdata som leveres gjennom Geovekst-samarbeidet. Under følger en tabell hentet fra FKB-laser spesifisering utgitt av Statens Kartverk. Vi vil kommentere noen av avvikene i forhold til disse kravene.

Kvalitetselement	Delelement	Kvalitetsmål	Høydegrunnlag		
			FKB-Laser10	FKB-Laser20	FKB-Laser50
			Toleranse	Toleranse	Toleranse
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Standardavvik	0.04 m (0)	0.07 m (0)	0.17 m (0)
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt høydenøyaktighet	Systematisk avvik	0.10 m (1)	0.20 m (1)	0.50 m (1)
Stedfestingsnøyaktighet	Absolutt grunnrissnøyaktighet	Systematisk avvik	0.30 m (2)	0.60 m (2)	1.50 m (2)
Egenskapsnøyaktighet	Nøyaktighet til kvalitative egenskaper - feilklassifisering	Prosentandel feil klassifiserte punkt (jf. LAS-klassene)	1 % (3)	1 % (3)	1 % (3)
Logisk konsistens	Egenskaps-konsistens	Prosentandel feil	0 %	0 %	0 %
Logisk konsistens	Formatkonsistens	Prosentandel feil	0 %	0 %	0 %

Figur 8: Tabell over kvalitetskrav fra Statens Kartverk FKB-laser spesifisering

3 Utstyr

3.1 Teknisk beskrivelse av Leica ALS50-II

Skanningene ved testfeltet i Nittedal ble gjennomført med Leica ALS 50-II. I denne delen vil vi gå gjennom noen av de tekniske detaljene og oppbygningen av det aktuelle systemet, noe informasjon er utelatt og kan finnes i dokumentasjonen fra Leica.

ALS 50 systemet fra Leica brukes for luftbåren innsamling av topografisk data fra ulike plattformer. TerraTec AS disponerer to luftbårne plattformer, helikopter og fly. Oppsettet er designet slik at de nødvendige sensorer er optimalt plassert relativt til åpningen i flyets underside. For bruk på helikopter er systemet montert på utsiden av flykroppen på den høyre meien. Data brukt i denne oppgaven er samlet inn ved bruk av fly.



Figur 9: Bilde av Leica ALS 50-II systemet

Systemet bestemmer plattformens posisjon; lengdegrad, breddegrad og høyde ved hjelp av GNSS. Forhold knyttet til flyets orientering bestemmes ved hjelp av IMU. Ved kontinuerlig registrering av disse faktorer vil systemet kunne bestemme posisjon for hvert enkelt treff laserpulsen gjør på bakken.

Data fra GNSS lagres på datalogg-modulens harddisk som x, y og z koordinater i WGS 84 koordinatsystemet og blir benyttet ved prosesseringen for nøyaktig bestemmelse av antennens posisjon gjennom hele flyturen. Nøyaktigheten på disse dataene er omkring 1.5-9 cm, avhengig av synlige satellitter og meteorologiske faktorer.

Orientering av flyet bestemmes ved bruk av IMU som består av roll, pitch og heading gyroskoper og tre akselerometere for måling av rotasjon og vertikal bevegelse i plattformen.

Disse data lagres også på datalogg-modulens harddisk og benyttes i prosesseringen for nøyaktig avlesning av plattformens bevegelsesmønster.

Avstandsmålingene utføres av systemets kontrollenhet sammen med sender og mottaker som er rettet mot bakken. Den infrarøde strålingen fra laserpuls reflekteres av objektet som treffes, og returen registreres av en fotodiode som konverterer refleksjonen til en elektrisk puls. Strålingen som registreres av dioden går gjennom et filter for å



Figur 10: Leica ALS50-II kontrollenhet

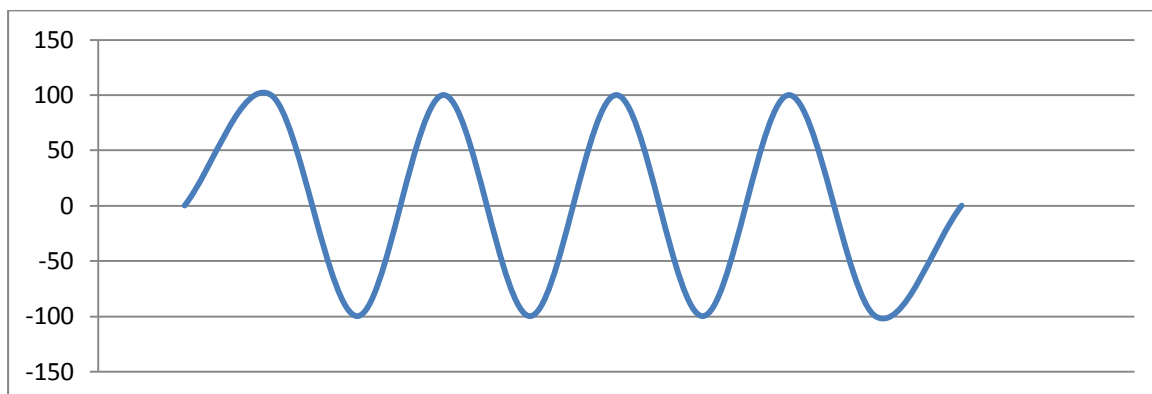
minimere effekten av bakgrunnsstråling.

Avstanden blir bestemt ved beregning av tiden det tar fra sendt puls til det blir registrert retur fra målt objekt. Dette intervallet blir målt med en spesiell høyhastighets tidtaker som har under et nanosekund nøyaktighet. Etter flyvning vil dette intervallet omregnes til avstand i meter.

Leica ALS 50-II systemet er designet for å kunne registrere flere returpulser hvis signalstyrken er tilstrekkelig på flere treff. Det må være ca. 3.5 meter vertikal forskjell mellom hvert treff for at systemet skal kunne registrere flere returer. Opptil fire returpulser kan registreres på hver utgående laserpuls. Hver returpuls blir prosessert av separate kretser i intervallmåleren. Den fjerde kretsen er innstilt slik at den skal registrere siste pulsretur. Hvis det forekommer flere returer etter tre registreringer vil den siste bli tatt med for å maksimere muligheten for bakketreff i for eksempel vegetasjon.

Lasersystemet kan utføre målinger opp til bestemt vinkel ut fra nadir. Dette gjøres ved at laserstrålen i systemet reflekteres via speil med sveipemekanisme som opererer i svært høy hastighet. Vinkelen på speilet bestemmer vinkelen på utgående puls, og må derfor kunne måles med stor nøyaktighet. Det sitter montert en høyoppløselig optisk leser ved siden av punktet der laseren treffer speilet som kontinuerlig registrer speilets vinkel. Posisjonen er

valgt for at avlesninger ikke skal påvirke speilets vinkel. Skanningsmønsteret som blir generert av Leica ALS50-II er sinusformet.



Figur 11: Illustrasjon av sinusform

3.2 Leica Viva GNSS

I dagens oppmålingsbransje er GNSS (Global Navigation Satellite System) et av de mest brukte systemene. Det er enkelt å bruke og sparer tid. Det tar i bruk to velkjente satellittsystem. Det ene er amerikanske **GPS**⁶ som består av 27 satellitter og fem kontrollbaser som gir korreksjoner i tid og posisjon. Det andre er russiske **GLONASS**⁷ som består av 11 satellitter som kommer til å bli totalt 50 satellitter når det er ferdig utbygd.

I denne oppgaven har vi brukt Leica Viva GNSS som er et av de nyeste systemene fra denne leverandøren. Mottaker og målebok kommuniserer over Bluetooth protokollen. Med dette utstyret kan du måle både statisk og kinematisk.



Figur 12: Bilde av Leica Viva GNSS

⁶ Global Position System

⁷ Global Navigation Satellite System

3.3 Leica Viva TS11 (Totalstasjon)

Leica Viva TS11 er en meget avansert totalstasjon som inneholder bildebehandlingsfunksjonalitet og Leica SmartWorx Viva programvare som gjør den meget enkel å bruke. Leica Viva totalstasjon gir millimeter nøyaktighet ved en god stasjonsetablering. Rekkevidden er veldig god, 3,5 km sikt til et enkelt prisme med nøyaktighet på 1 mm og 1,5 ppm.⁸

Den kan utbygges med GNSS-funksjonalitet når man måtte ønske det for å kombinere nøyaktigheten til totalstasjonen med effektiviteten til GNSS.

I vår oppgave har totalstasjon blitt brukt til målinger i granskog og løvskog der vi ikke fikk fix-løsning fra GNSS.



Figur 13: Bilde av Leica Viva TS11

3.4 Programvare

3.4.1 ArcGIS

ArcGIS er en programvarepakke med flere ulike moduler utviklet for registrering, modellering, lagring, manipulering, analyse og presentasjon av geografisk data. Gjennom programvaren kan man bygge opp infrastrukturer for deling av geografisk informasjon på internett eller mot andre plattformer (mobil, server osv.).

Programvaren utvikles av det amerikanske selskapet ESRI, som er markedsleder innen geografiske informasjonssystemer. I Norge distribueres programvaren av Geodata AS. Den benyttes av mange offentlige og private aktører innen bransjer som energi, olje og gass, varehandel, forsvar, politi, undervisning, stat og kommuner.

I vår oppgave er programvaren brukt for fremstilling, modellering, analyse og presentasjon av høydemodeller generert fra laserdata. Data fra store deler av våre undersøkelser er eksportert gjennom ulike verktøy i ArcGIS eller presentert direkte i programvaren gjennom de innebygde funksjonene.

⁸ <http://www.krinc.net/f54804/662284/Leica-Total-Stations/Leica-Viva-TS11.html>

3.4.2 Gemini Terreng og Entreprenør

Gemini Terreng og Entreprenør er en norsk programvare, som er utviklet av Powel Gemini.

Det er et allsidig verktøy med 2D og 3D funksjonalitet, utviklet for oppgaver relatert til planlegging og utføring av prosjekter som tar i bruk geografisk data. Programmet kan håndtere mange forskjellige oppgaver som for eksempel 3D terreng, planlegging, tegning av nye veier, opsjoner for tunneller, profilering, skjæring, fylling og volum kalkulering. Det er også mulig å visualisere data i flere ulike representasjonsformer.

Programmet omfatter hele prosessen fra import av kart og terreng data til planlegging av tegning og reguleringsplaner, og kalkulering og dokumentasjon av resultater som har blitt til gjennom denne prosessen.

I vår oppgave ble det brukt for import av målinger, geometrisk kontroll av resultater og kontroll mot fremstilte høydemodeller fra laserdata.

3.4.3 Øvrig programvare

Microsoft Office

Vi har tatt i bruk Word, Excel og Power Point fra denne pakken.

Adobe

Photoshop for fremstilling av illustrasjoner og plakat. Acrobat for fremstilling og publisering av PDF og 3D-PDF.

Applied Imagery

Quick Terrain viewer for visualisering av punktskyer.

3ds Max

Fremstilling av illustrasjoner og tredimensjonale visualiseringer av data.

Komodo Edit

Editering av HTML, CSS og KML.

Dropbox

Utveksling av prosjektets filer blant grupped medlemmene.

4 Fremgangsmåte (metode)

4.1 Planfase

Gjennom utarbeidelsen av prosjektplan for bacheloroppgaven utformet vi en tidsplan med milepæler og ressursbruk for de ulike delene som utgjør oppgaven. Vi gjorde vurderinger av programvare og aktuelle analyser vi trengte for å komme frem til en godt dokumentert konklusjon på problemstillingen.

Vi var ikke avhengige av å utføre noen laserskanning da datasettene allerede var innsamlet og prosessert av TerraTec AS. Dette gjorde at vi ikke måtte vente på snøsmelting for å ha et datagrunnlag å jobbe ut fra. Deler av vår problemstilling kunne besvares ved å utføre analyser på data vi allerede hadde tilgjengelig. For å få innsikt i problemstillingen og mulighetene for analyser av punktskyer i ArcGIS valgte vi å utføre ett sett med innledende analyser. Disse har som formål å belyse problemstillingen og gi oss informasjon om hvilke områder som er mest påvirket av vegetasjon i de aktuelle datasettene. Vi ville også vite noe om nøyaktigheten og avvik som kom av ufullstendighet, så vi måtte få frem standardavvik og max/min avvik i alle datasett.

Etter de innledende analysene var utarbeidet hadde vi et møte med vår kontaktperson hos TerraTec AS og med våre veiledere på HIG. Her diskuterte vi resultatene, la planer for videre undersøkelser og justerte de innledende analysene etter tilbakemeldinger.

Deretter skulle vi dokumentere den systematiske nøyaktigheten med målinger i felt. Dette var avhengig av snøsmelting så vi måtte vente til april med denne delen av prosjektet. Vi gikk gjennom ulike måter å dokumentere dette på og fant frem til noen tidligere utførte prosjekter som hadde noe av det samme formålet. Kartverket hadde også utført noen undersøkelser rundt de samme dataene, så vi visste en del om hvordan slike kontroller skulle gjøres. Vi måtte finne frem til en målemetode som ga oss god nøyaktighet uten at det tok lang tid å utføre i felt.

I planleggingen vurderte vi målinger med totalstasjon fra fastmerker eller etablering av egne fastmerker med GNSS, men vi fant ut at det var lite fastmerker i området og etablering av egne merker ville være problematisk og ta lang tid. Vi konsulterte med vår veileder og bestemte at vi skulle måle med CPOS, som gir oss en nøyaktighet på 1,5-3cm i høyde. Dette

avviket er ca. det samme som vi ville oppnådd ved RTK-målinger med egenetablert base. Testfeltet i Nittedal ligger nærme Oslo og det er derfor god dekning på CPOS og mobildatanett, dette var en av hovedgrunnene til at vi valgte denne fremgangsmåten. Etter målingene var utført skulle vi utføre kontroll av datasettene mot innmålte data.

Vi la ingen konkrete planer for de endelige analysene da disse i stor grad ville utarbeides ved hjelp av resultatene vi kom frem til fra innledende analyser og kontrollmålinger. På grunn av store datamengder i de innledende analysene trengte vi å isolere interesseområder for å forenkle presentasjon og forståelse av informasjonen vi kom frem til. Dette ville bestå av utvalgte områder direkte berørt av forskjellige typer vegetasjon som kunne dokumenteres.

4.2 Data

4.2.1 Laserdata

I oppstarten av prosjektet fikk vi tidlig tilgang til nødvendige datasett fra TerraTec AS. Disse var veldig godt dokumentert, med rapporter etter Geovekst Laser spesifikasjon for hvert datasett. Rapportene inneholder store mengder informasjon om oppdragets formål, dato for innsamling, transformasjoner som er utført, stripeutjevning, avvik mellom kontrollflater og laserdata osv. Det viktigste for vårt prosjekt var å kontrollere dato for innsamling og se at kontroller utført av TerraTec AS lå innenfor FKB Laser produktspesifikasjon.

Vi fikk overlevert datasett med 1, 2, 5 og 10 punkter pr. kvadratmeter, ferdig klassifisert som bakke(2) og uklassifisert(1) i flere ulike filformater. Vi valgte å legge vekt på 1 og 5 punkter pr. kvadratmeter fordi det representerer ytterpunktene da 10 punkter består av to 5 punktskanninger. Dette gjorde at vi raskt kom i gang med analyse og bearbeiding av data i alle de ulike programvarene vi hadde tilgjengelig. Filformatet LAS ble mest brukt da det inneholder mest informasjon og ofte håndteres bedre enn andre punktformater i programvaren. I SOSI punktskyene hadde vi problemer med å skille mellom ulike klasser i Gemini Terreng, så vi fant fort ut at LAS-filene var best å jobbe med.

4.2.2 Egne målinger

Vi skulle også utføre egen innsamling av kontrollpunkter, noe som var avhengig av snøsmelting. I midten av april var forholdene gode nok for innmålinger i felt og vi påbegynte dette arbeidet.

Alle data ble innsamlet ved hjelp av GNSS og totalstasjon. Det er brukt ortometrisk høyde siden alle laserdata var basert på dette. Målingene er gjort i WGS Euref 89 UTM sone 32 som er det samme koordinatsystemet som laserdataene er levert i.

Alle data som ble målt av GNSS med CPOS hadde en 3D-kvalitet med maks 4 cm og minimum 1.3 cm, målinger med totalstasjon bringer med seg disse feilkildene videre. Data ble eksportert gjennom Leica eksport til ASCII som KOF-filformat og ble deretter testet i Gemini programvare.

Selve innsamlingen vil diskuteres mer utfyllende i avsnitt 4.4 Målinger i felt.

4.3 Innledende analyse i ArcGIS

I oppstarten av prosjektet hadde vi alle laserdatasett fra TerraTec AS tilgjengelig. Vi ønsket å bruke disse for å identifisere problemområder som vi ønsket å fokusere på og få en bedre innsikt i feilkilder og avvik som lå i dataene.

4.3.1 Kontroll av punkttetthet

Den første analysen vi utførte skulle gi oss en god oversikt over hvor områder med mye vegetasjon befant seg i datasettene. For å finne frem til disse utførte vi en rasteranalyse som teller hvor mange punkter som faller inn under hver celle. Vi forsøkte flere forskjellige oppløsninger på raster for å komme frem til en som ga oss tydelig visuell informasjon og utfyllende data.

Det anbefales løst å ha ca. fire ganger så stor cellestørrelse som punkttetthet, det vil si at man burde ha 4 meter celler ved ett punkt pr. kvadratmeter. I våre undersøkelser brukte vi samme oppløsning på alle punkttettheter (1-5 pr. m²), og valgte derfor en cellestørrelse på 3 meter. Dette ble utført på kun bakkepunkter for å visualisere hvilke områder som har lite bakketreff på grunn av vegetasjonen. Det ble også utformet grafer tilhørende hvert datasett for utdypende informasjon om fordeling av bakkepunkter.

Dette ga oss god innsikt i hvilke områder som hadde få bakketreff og som på bakgrunn av dette kunne ha avvik knyttet til vegetasjon.

4.3.2 Sammenligning av høydemodeller

Disse analysene utføres ved sammenligninger av to og to datasett, noe som ikke er optimalt da feil i settene kan forstørres eller forminskes av hverandre. Sammenligningen gjøres med grunnlag i datasett med fem punkter per kvadratmeter i april da dette har det minste standardavviket mot kontrollpunkter og vi regner med det er best definert med høy tetthet av bakkepunkter.

Ligger det et motstridende avvik i de to datasett vi sammenligner vil feil forstørres, er avvikene i samme retning vil feil forminskes. Denne sammenligningen vil også kunne påvirkes av det systematiske standardavviket på +/-10cm, skjevstilling i flystriper og feilklassifiserte punkter.

I fremstillingen av de digitale elevasjonsmodellene(DEM) ble det kun tatt i bruk bakkepunkter, disse ble så triangulert til et ArcGIS Terrain datasett. Et slikt datasett bruker en TIN-struktur, men er optimalisert for ArcGIS-programvaren. Trianguleringen er nødvendig fordi vi jobber med ulike punkttettheter, uten en slik prosess vil elevasjonsmodellen i raster ha flere hull og analysene vil være langt vanskeligere å gjennomføre.

På grunn av trianguleringen av alle bakkepunkter vil ett feilklassifisert punkt kunne påvirke analysen mye. Ligger ett feilklassifisert punkt over reelt terreng og det er lite andre punkter rundt vil trianguleringen føre til at hele dette området blir liggende for høyt. Når verdiene blir overført til en raster vil flere celler påvirkes av denne feilen avhengig av celledørrelse. I analysene vil derfor resultatet kunne forstørres noe av trianguleringen.

Resultatene av analysene må vurderes sterkt opp mot feilkilder og fremgangsmåte da disse ikke alltid er representative for de reelle verdiene. De representerer allikevel interessant statistikk som er meget relevant for vår problemstilling.

4.4 Målinger i felt

4.4.1 Beskrivelse av målinger

Grunnen til at vi skulle måle på disse kontrollområdene var for å finne høydeforskjellen mellom flyskannede laserdatapunkter og punkter innsamlet med bakkebasert landmålingsutstyr. Fra alle analyser vi har kjørt på våre laserdatasett, bestemte vi oss for å måle i 5 områder med ulik type vegetasjon samt ett kontrollområde på parkeringsplass.

For å måle disse 6 områder trengte vi fastmerker som skal brukes for stasjonsetablering. Vi trengte fastmerker for å få best mulig nøyaktighet. For å finne fastmerker, sjekket vi www.norgeskart.no hvor vi fant og skrev ned alle fastmerker som ligger rundt testfeltet, vi har også tatt kontakt med Statens Kartverk og spurt etter fastmerker rundt Nittedal. De ga oss en SOSI⁹-fil med alle fastmerker i Akershus Fylke. Dessverre kunne vi ikke bruke de fastmerkene siden de var langt fra testfeltet og sikten var hindret av terreng og vegetasjon.

Under planleggingen av målingene bestemte vi å bruke GNSS i stor grad. På alle områdene har vi brukt RTK målemetode med CPOS som gir akseptabel nøyaktighet for vårt formål. I noen av områdene kunne vi ikke måle med RTK fordi vi ikke fikk fix-løsning, for eksempel under tett gran og løvskog. I disse tilfellene opprettet vi hjelp punkter for å støtte stasjonsetablering slik at vi kunne fortsette å måle med totalstasjon i skogen.

De seks målte områder er karakterisert av lav vegetasjon, kornåker, vei, parkeringsplass, gran og løvskog.

4.4.2 Målingsprinsipp med RTK assistert GNSS

RTK (**R**eal **T**ime **K**inematic) opererer med en base i et kjent punkt som sender korreksjoner til mottakeren som brukes under målingen. Disse korreksjonene blir sendt via UHF-link eller GSM-nettet. I vårt instrument bruker vi GSM-nettet som vi vet at har god dekning i det aktuelle testfeltet.

RTK-målingene blir mer og mer brukt av landmålere, noe som gjør jobben lettere og minsker nødvendigheten av fastmerker. På grunn av dette kan landmåleren gjøre både innmålinger og utsetting på egen hånd. For å måle RTK trenger vi minst 4 tilgjengelige satellitter. Jo flere satellitter man har signal fra, jo større muligheter har man for å få gode resultater på

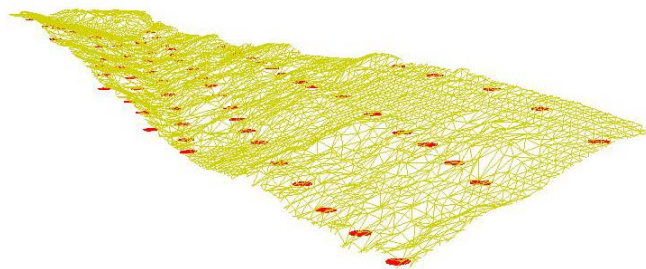
⁹ Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon

målingene. Vi målte med skolens CPOS som heter HIGCPOS. CPOS har 1,5-3 centimeter nøyaktighet i høyde.

4.5 Kontroll av datasett i Gemini Terreng og Entreprenør

For å utføre kontroll av datasettene vi mottok fra TerraTec AS tok vi i bruk Gemini Terreng og Entreprenør.

Denne programvaren har flere verktøy for å utføre ulike kontroller av data. I vårt tilfelle ble det brukt for å finne avviket mellom våre innmålte punkter og en triangulert



Figur 14: Illustrasjon fra Gemini Terreng ved kontroll av målinger.

flate laget av laserdata. Sammenligningen gjøres ved å gå gjennom de innmålte punktene og finne nærmeste loddrette punkt i TIN-flaten. Resultatet blir en rapport i en Excel tabell, som inneholder differanse for X, Y og Z på hvert punkt. I slutten av rapporten finner man en oppsummering med maksimum, minimum og middelavvik sammen med standardavvik og antall målepunkt. I vårt tilfelle ble kun høyde sjekket da vi ikke har noen måte å kontrollere grunnrissverdier på, det er heller ikke relevant for problemstillingen.

Vi utførte slike kontroller på alle innmålte data for hvert område, resultatene ble sammenlignet med de avvik vi fant med høydesammenligninger i ArcGIS. Dokumentasjonen av dette følger i kapittel om resultater.

4.6 Endelige analyser i ArcGIS

De endelige analysene i ArcGIS er en videreføring og isolering av resultater fra de innledende analysene. Vi fant frem til områder som kunne være av spesiell interesse på grunn av avvik og/eller bakkepunktthet i vegetasjon. Det ble skissert opp polygoner rundt de aktuelle områdene som ble benyttet til ekstraksjon og klipping av data.

Høydeforskjellene innenfor polygonene er hentet ut fra raster generert i innledende analyse og vil være påvirket av de feilkilder diskutert i avsnitt for disse.

De endelige analysene vil gi oss innsikt i endringer av bakkepunktandel og høydenøyaktighet som kommer av forskjeller i vegetasjon mellom årstider.

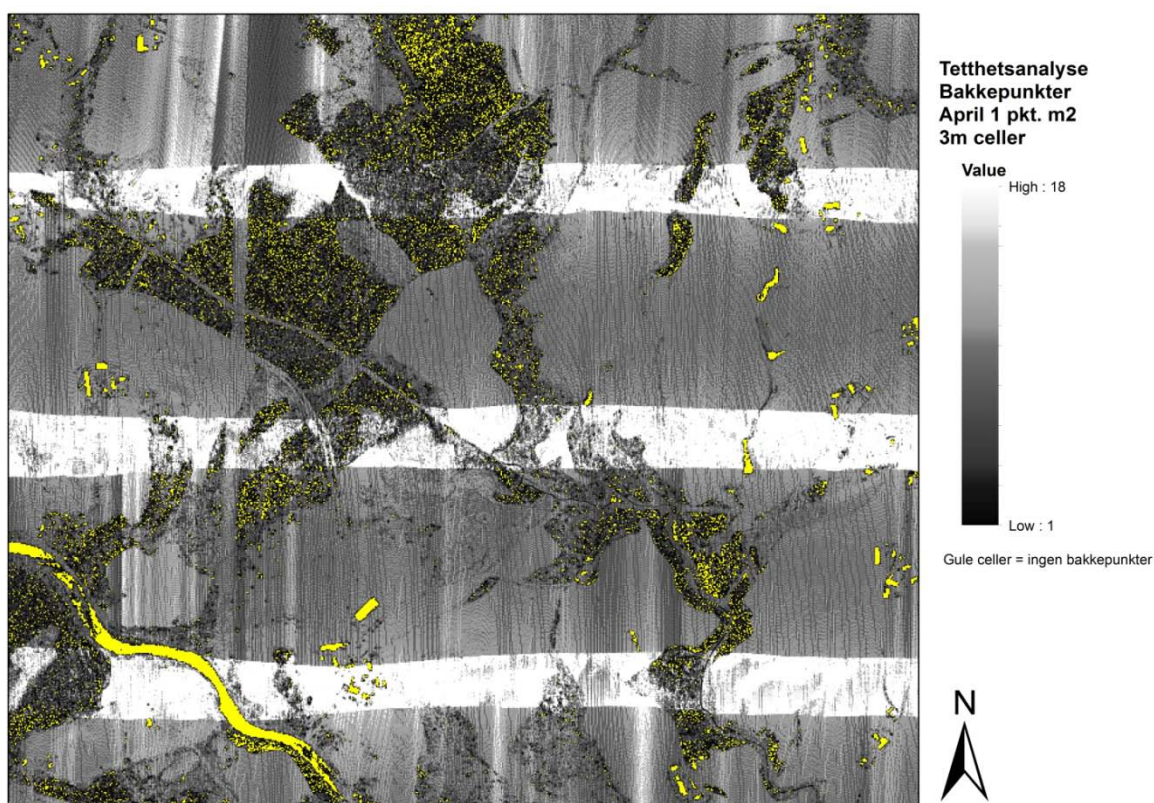
5 Resultater

5.1 Innledende analyse i ArcGIS

Som nevnt tidligere er disse analysene valgt for å gi oss innsikt i endringen vegetasjon har på antall bakkepunkter og høydeforskjeller i resulterende terrengform. Her vil vi presentere de mest interessante resultatene, ønskes mer utfyllende data kan det finnes i vedlegg.

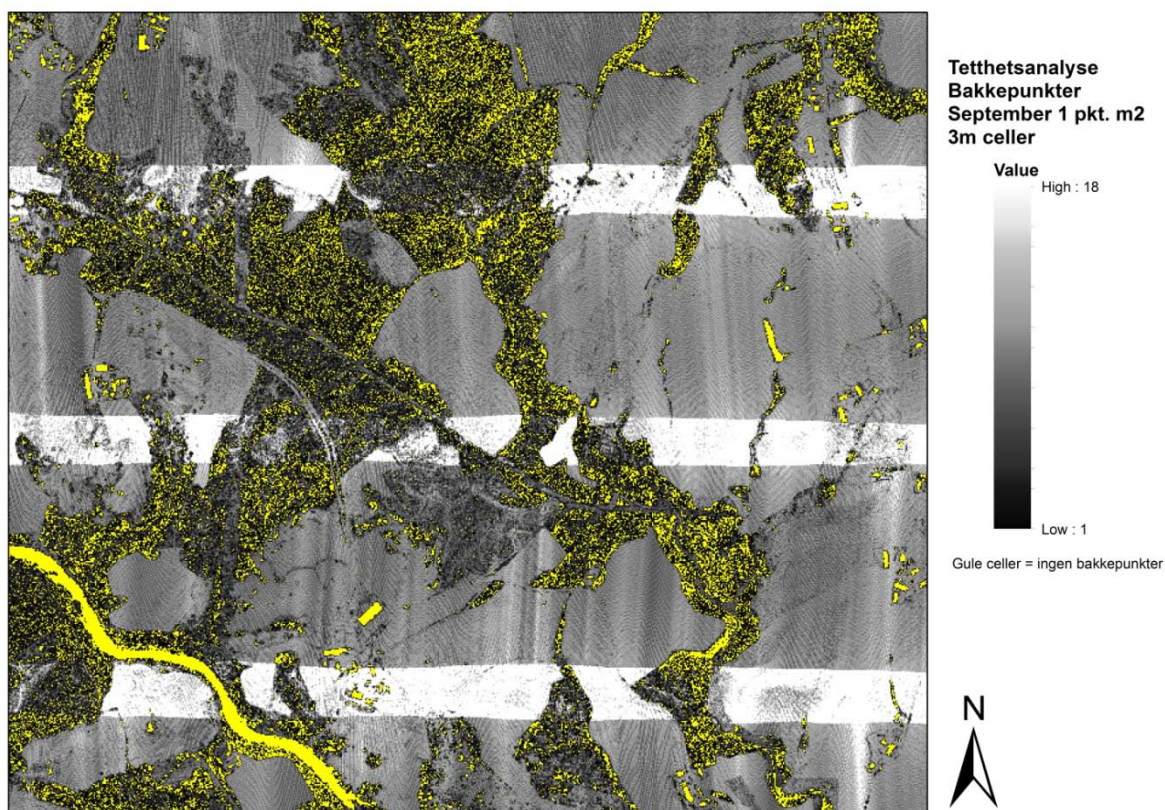
5.1.1 Bakkepunktetthet

Disse analysene er utført med ArcGIS-verktøyet point to raster med tre meter celler innstilt på count som teller antall bakkepunkter som faller inn under hver celle.



Figur 15: Analyse av bakkepunktetthet i april med 1 punkt per kvadratmeter

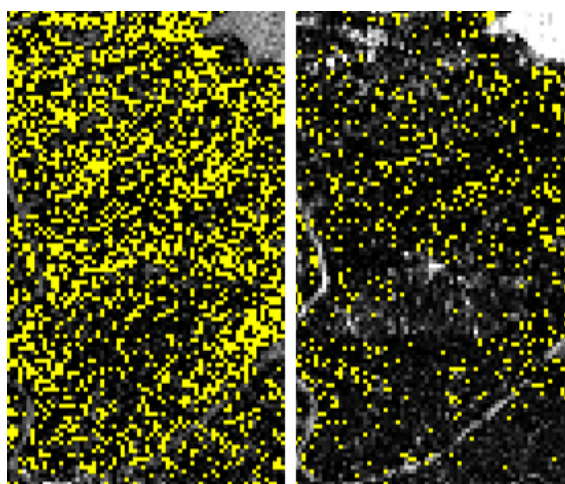
I figur 14 og 15 kan man se visualisering av bakkepunktetthet i rasterformat. Spesielt nulldataceller i gult viser tydelig problemområder der vi ikke har noen bakketreff innenfor områder på tre kvadratmeter. Over et område på tre kvadratmeter kan høyde endres mye og vi ser en viss sammenheng mellom bakkepunktetthet og avvik i høyde hvis vi sammenligner med raster over høydeforskjell(figur 16 og 17). Allikevel ser vi også avvik i høydenøyaktighet der bakkepunktettheten ikke endres nevneverdig mellom sesongene. Denne effekten ser vi spesielt i områder med lav, tett vegetasjon.



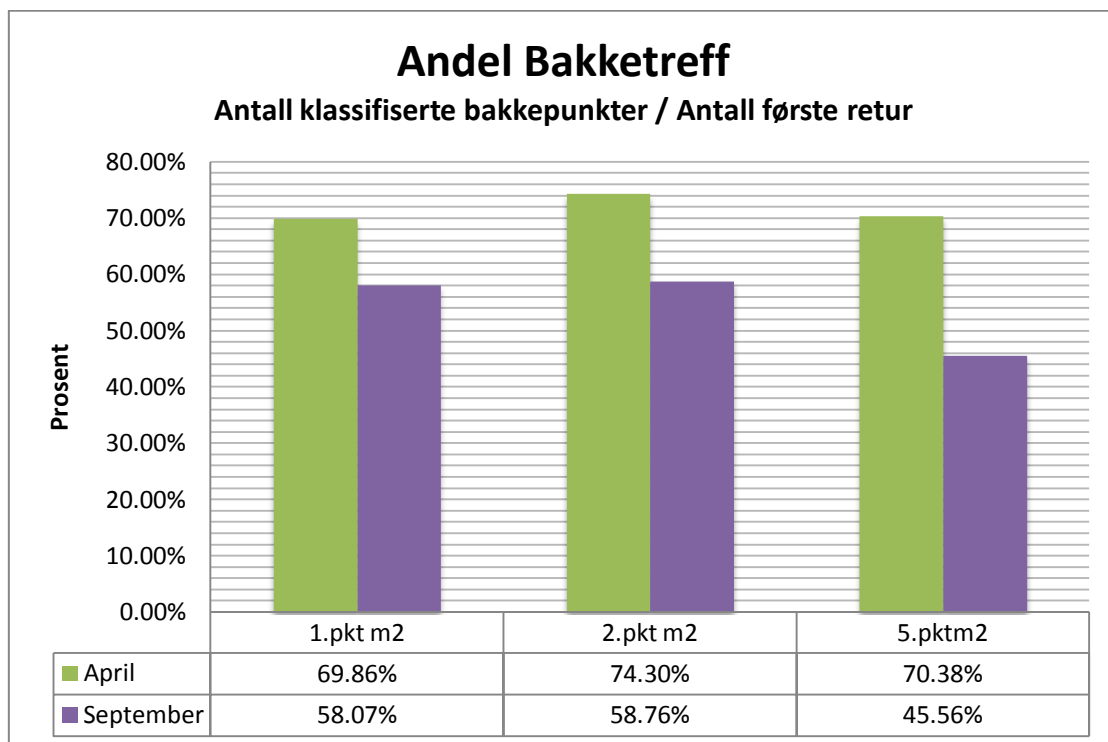
Figur 16: Analyse av bakkepunktetthet i september med 1 punkt per kvadratmeter

På figur 15 ser vi tydelig en økning i gule nulldataceller i områder med store endringer i vegetasjon fra april til september. De hvite områdene illustrerer overlapp i flystriper da det her vil være ca. dobbelt så mange punkter som ved vanlig oppløsning.

Vi har valgt kun å ta med datasettene for ett punkt per kvadratmeter i rapporten da disse tydelig illustrerer endring mellom årstidene. Det er også utviklet de samme analyser for fem punkt per kvadratmeter som kan finnes i vedlegg. Ved å sammenligne ett punkt per kvadratmeter med 5 punkt per kvadratmeter i september kan man se hvordan økt skanningsoppløsning eliminerer store mengder nulldataceller ved 3m cellestørrelse.



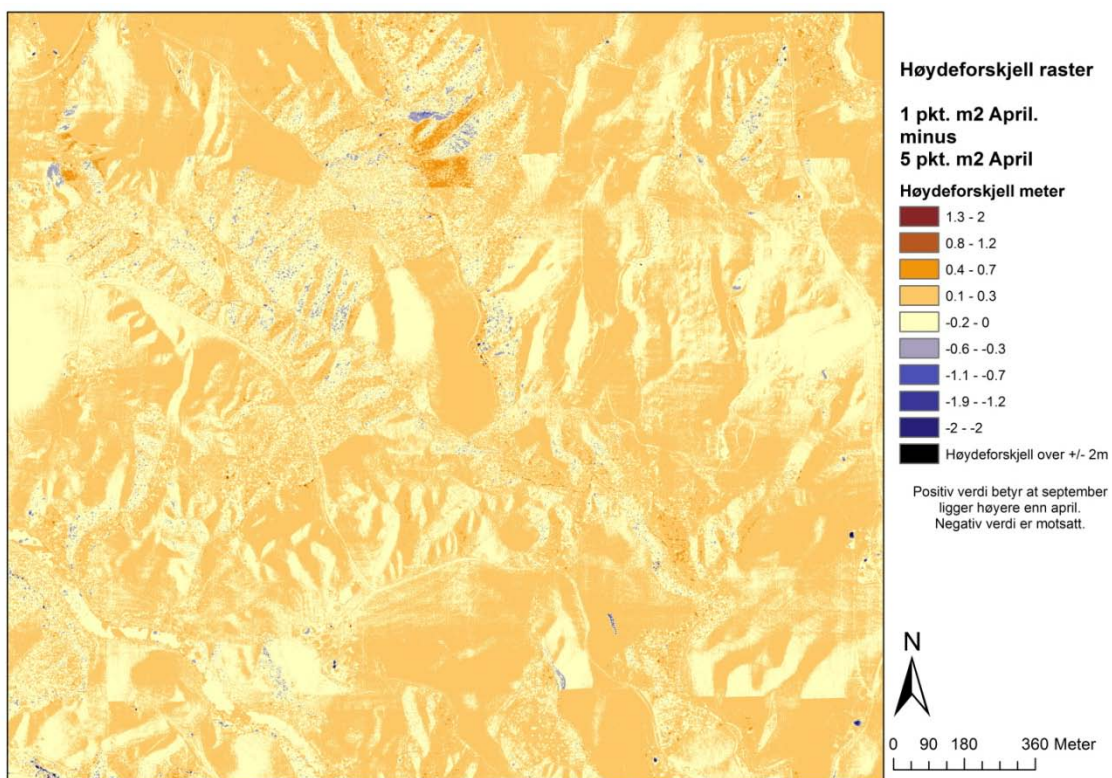
Figur 17: Sammenligning av 1 og 5 punkt per kvadratmeter i september over samme område.



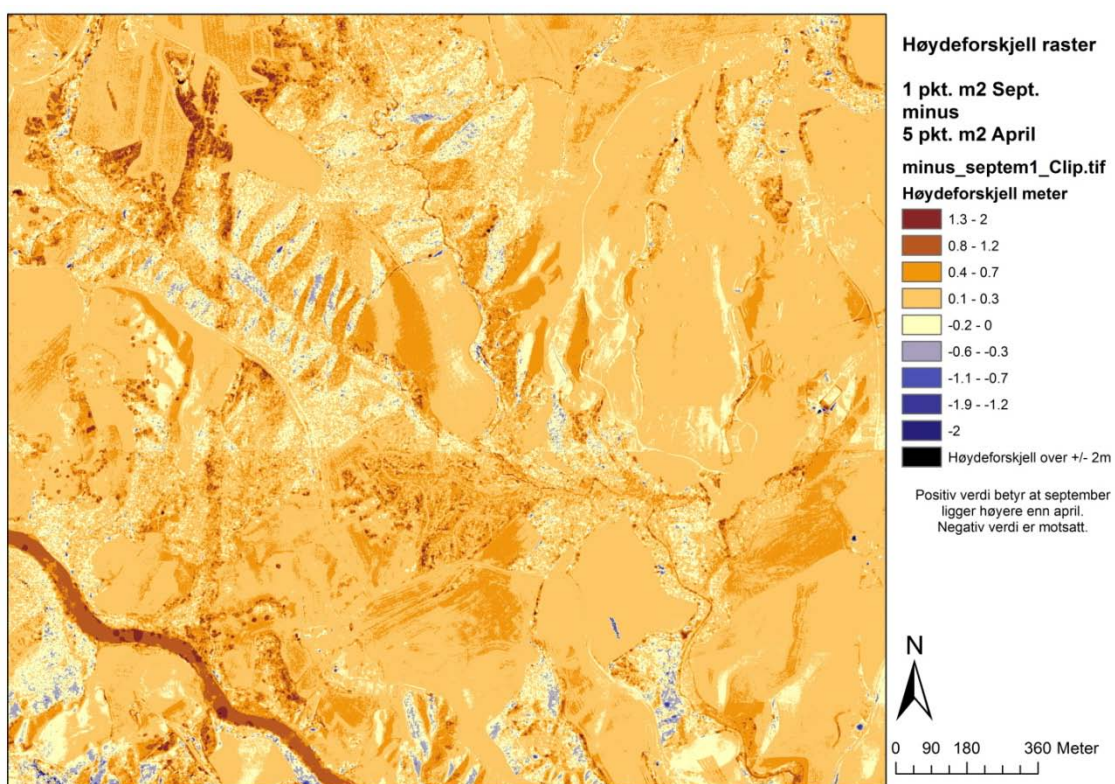
Figur 18: Graf over hvor mange sendte pulser som resulterer i bakketreff.

I grafen over kan vi se sammenhengen mellom prosentandel bakketreff og endringen i sesongene. Selv om fem punkter per kvadratmeter resulterer i prosentvis lavere andel vil antallet bakkepunkter være høyere. Dette kommer av at vegetasjonen er like tett, vi sender flere pulser og treffer allikevel kun bakke der det er fri sikt.

5.1.2 Sammenligning av høydemodeller



Figur 19: Sammenligning av høydemodeller 1 pkt. per m² april minus 5 pkt. per m² april.



Figur 20: Sammenligning av høydemodeller 1 pkt. per m² september minus 5 pkt. per m² april.

I sammenligningen av høydemodeller har vi valgt å ta med 1 punkt per kvadratmeter for april og september minus 5 punk per kvadratmeter i april. Vi ser tydelig at rasteren får en kraftig overrepresentasjon av rødt i sammenligningen med september. Dette sier oss at datasett samlet inn i september generelt sett ligger noe høyere enn datasett innsamlet i april. Et slikt resultat var forventet da selv lav vegetasjon som gress vil bygge opp modellen noen centimeter.

Vi ser også at det er relativt langt mellom de store avvikene og at disse i hovedsak representeres uten noen konkret struktur i områder påvirket av lav bakkepunktetthet på grunn av vegetasjonsendring.

Avvik hele datasett	1 pkt/m² april	1 pkt/m² sept.	5 pkt/m² sept.
Snittavvik:	0.0054	0.1748	0.0648
Standardavvik:	0.1043	0.2322	0.2154
Max avvik:	5.9492	5.9994	6.2893
Min avvik:	-3.8037	-3.8311	-4.7952

Tabell 1: Avvik i hele datasett ved 3m celler. Minus 5 pkt/m² april.

I tabellen over får vi ytterligere dokumentert det vi ser i raster av høydeforskjell.

Snittavvikene i september viser at vegetasjonen bygger opp høydemodellen en del, spesielt ved lav punktethet. Standardavvikene ligger relativt lavt, noe som igjen dokumenterer at de større feilene er få med stor spredning. At maks og min avvik ligger rundt samme størrelsesorden kan tyde på at dette er samme avvik som gjentas i forhold til sammenligningsgrunnlaget på 5 pkt/m² april.

5.2 Kontroll mot målinger i Gemini Terreng og Entreprenør

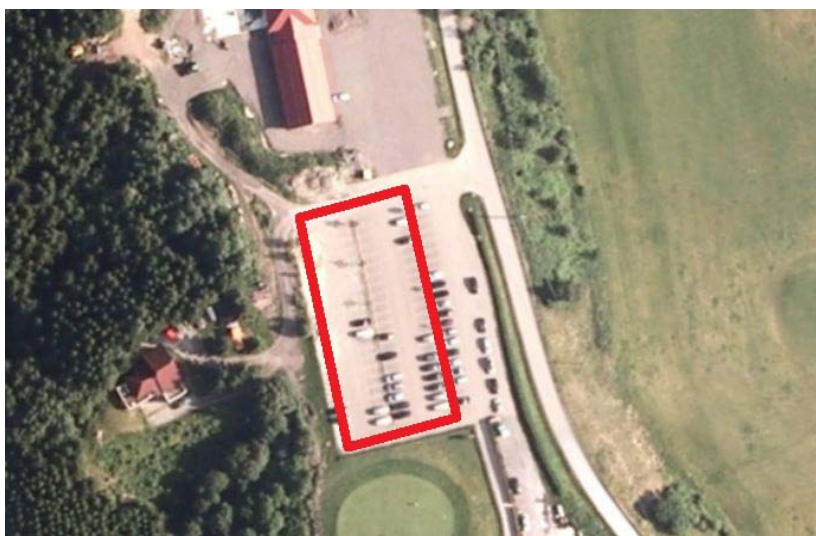
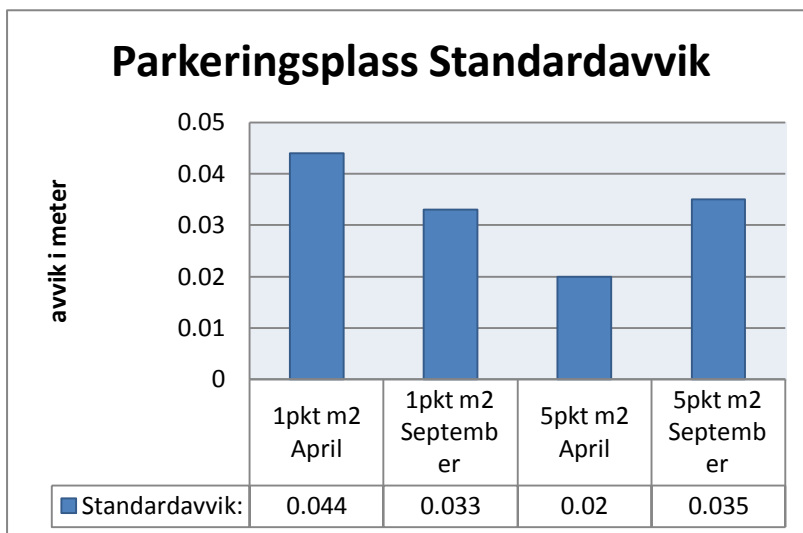
Kontrollen av datasettet er blitt gjort med Gemini Terreng og Entreprenør som har blitt forklart tidligere under fremgangsmåte på Kontroll av datasett.

Her går vi gjennom de mest interessante resultatene fra kontrollen mot datasettene, ønskes mer utfyllende informasjon og data kan det finnes i vedlegg.

Parkeringsplass

Grafen og bildet hører til kontrollområde på parkeringsplass ved Hauger golfbane. Dette området er valgt fordi det er relativt flatt og godt definert. Dataene vil ikke bli påvirket av varierende bakkepunktthet eller usikkerhet på grunn av vegetasjon. Vi forventet lite avvik i ulike årstider og ved forskjellig punkttetthet.

I grafene ser vi at standardavviket er veldig lavt i alle datasett. Det største avviket ligger på 4,4cm og det minste ligger helt nede på 2cm. Med usikkerheten i våre målinger og i laserdatasettene er disse resultatene innenfor kravene i FKB-laser spesifikasjon og viser at datasettene ikke inneholder store avvik som kan påvirke våre analyser.

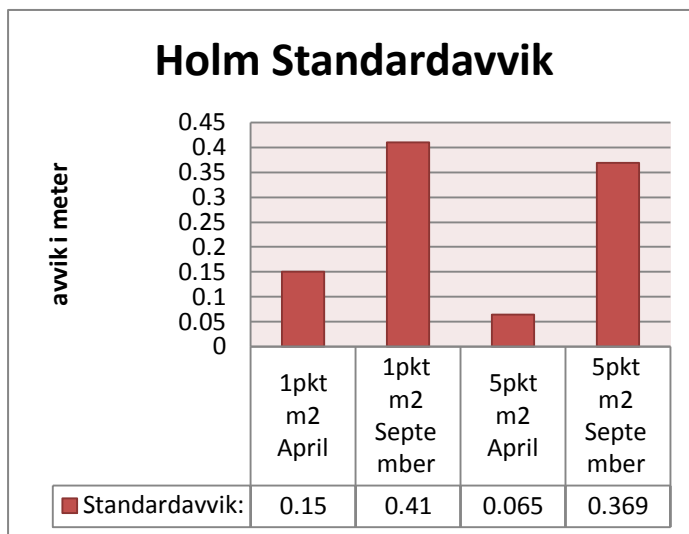


Figur 21: Graf over standardavvik og flyfoto av kontrollområde på parkeringsplass

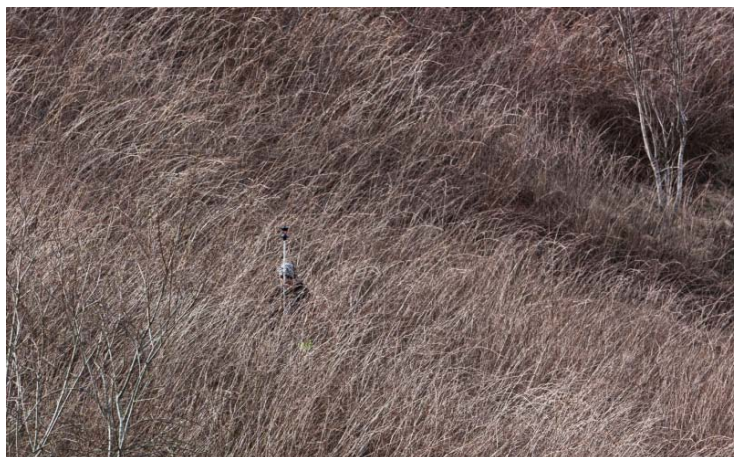
Holm

Grafen og bildet hører til område med tett, lav vegetasjon ved Holm gård. Dette området er valgt fordi det hadde jevnt over store avvik mellom årstider i de innledende analysene. Dataene vil her være påvirket av at vegetasjonen endrer seg mellom årstider. Ved måling i felt så vi at området var tett igjengrodd av busker med høyde opp mot to meter. Vi forventet stor forskjell i avvik mellom ulike årstider på grunn av bladveksten som kommer etter april.

I grafene ser vi at standardavviket er lavt i april ved begge punkttettheter. I september har vi et langt høyere standardavvik som tydelig viser at slik vegetasjon er problematisk når det kommer til flybåren laserskanning. Vi ser at skanning med 5 punkt pr. kvadratmeter forbedrer standardavviket noe, men forskjellene er ikke veldig betydelige. Avvikene i september kommer i stor grad av at algoritmen for klassifisering av bakkepunkter sliter med å skille mellom treff i lav, tett vegetasjon og terreng.



Figur 22: Graf og flyfoto for målinger utført ved Holm gård i tett og lav vegetasjon



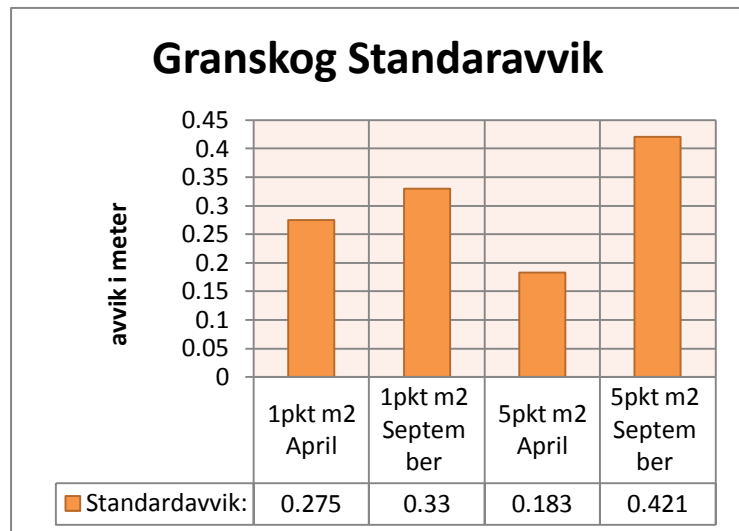
Figur 23: Bilde fra oppmåling i tett vegetasjon i april

Granskog

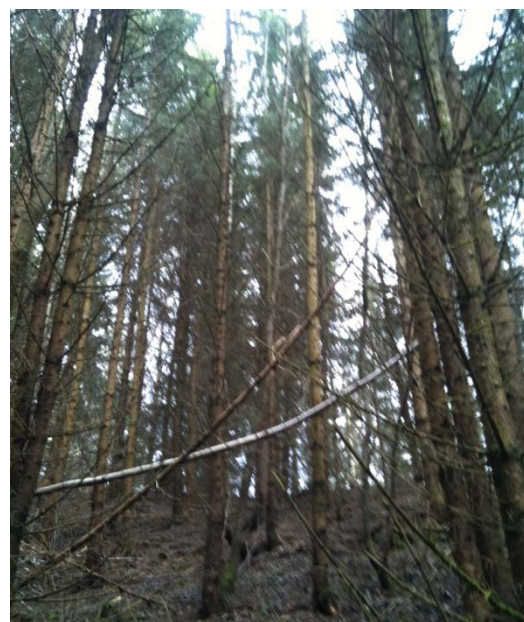
Grafen og bildet hører til område med granskog ved Holm gård.

Dette området er valgt på grunn av skogdekningen og noen større avvik mellom årstider i de innledende analysene. Dataene vil være preget av forskjeller i bakkepunktthet på grunn av endringer i vegetasjonen mellom årstidene. Vi forventet moderate avvik på grunn av at granskog ikke endrer seg mye på grunn av sesong.

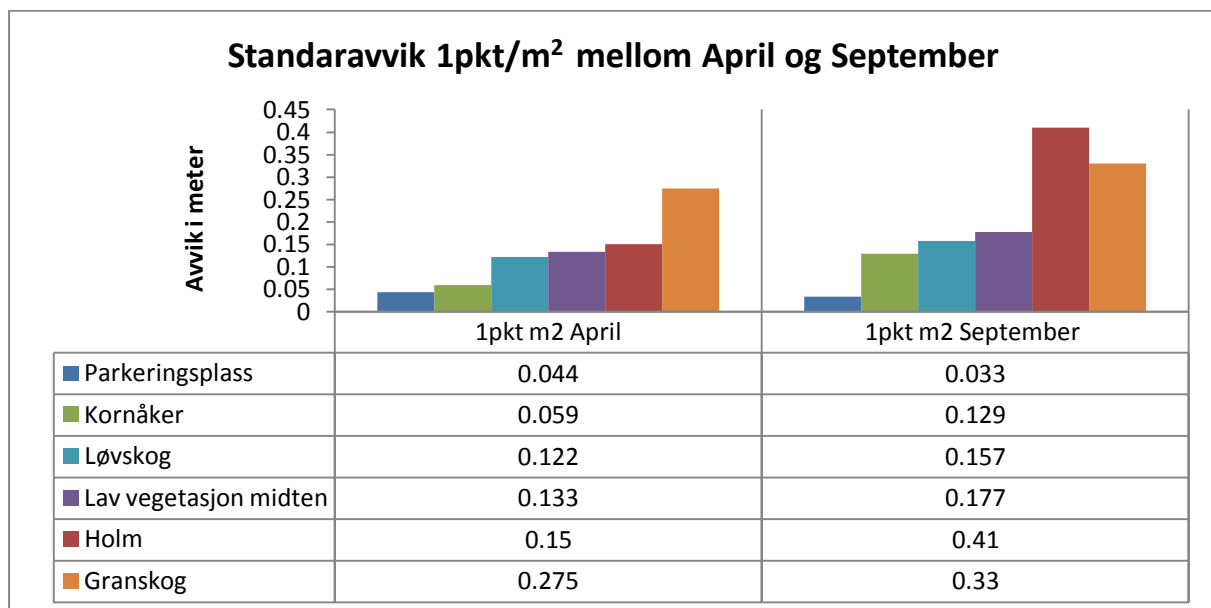
I grafene ser vi at standardavviket ligger stabilt relativt høyt i begge årstider. Vi forventet ikke at 5 pkt. pr. kvadratmeter ville ha et større avvik enn skanning i samme årstid med lavere punktthet. Dette avviket er vanskelig å forklare, men kan komme av endringer på bakken, for eksempel stabling av tømmer eller lignende da det har blitt utført hogst i nærheten. Det kan også komme av feil i matching av flystriper eller feilklassifisering i datasettet med 5 pkt. pr. kvadratmeter for september.



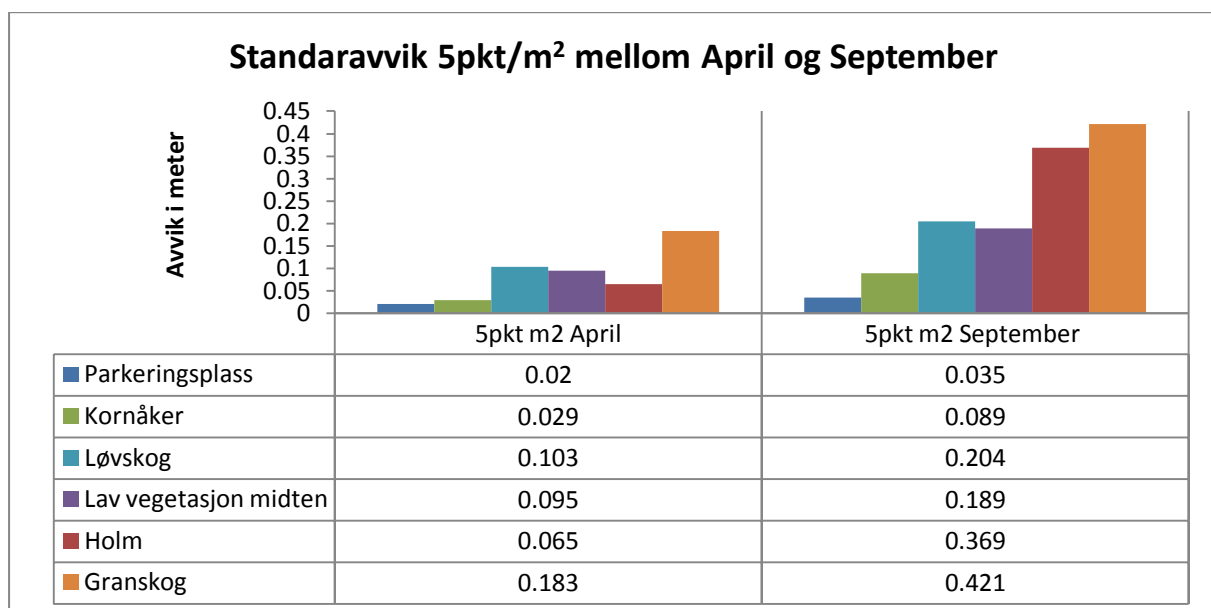
Figur 24: Graf og flyfoto for målinger utført i granskog ved Holm gård



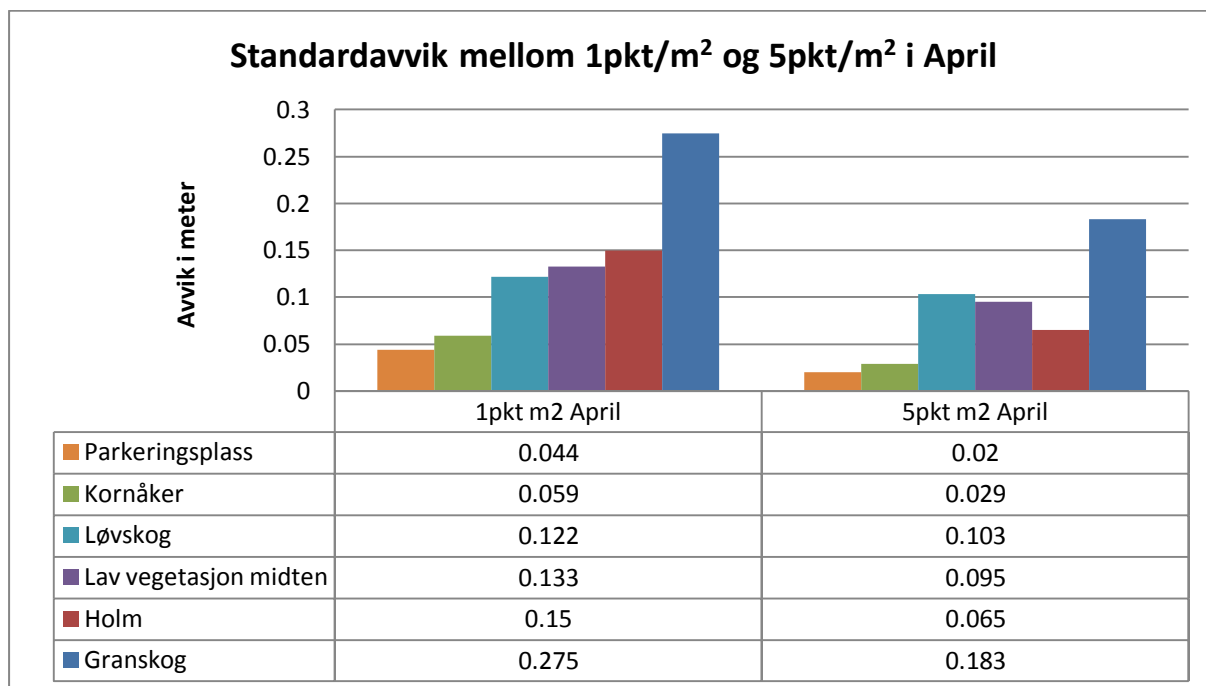
Figur 25: Bilde fra oppmåling i granskog i april



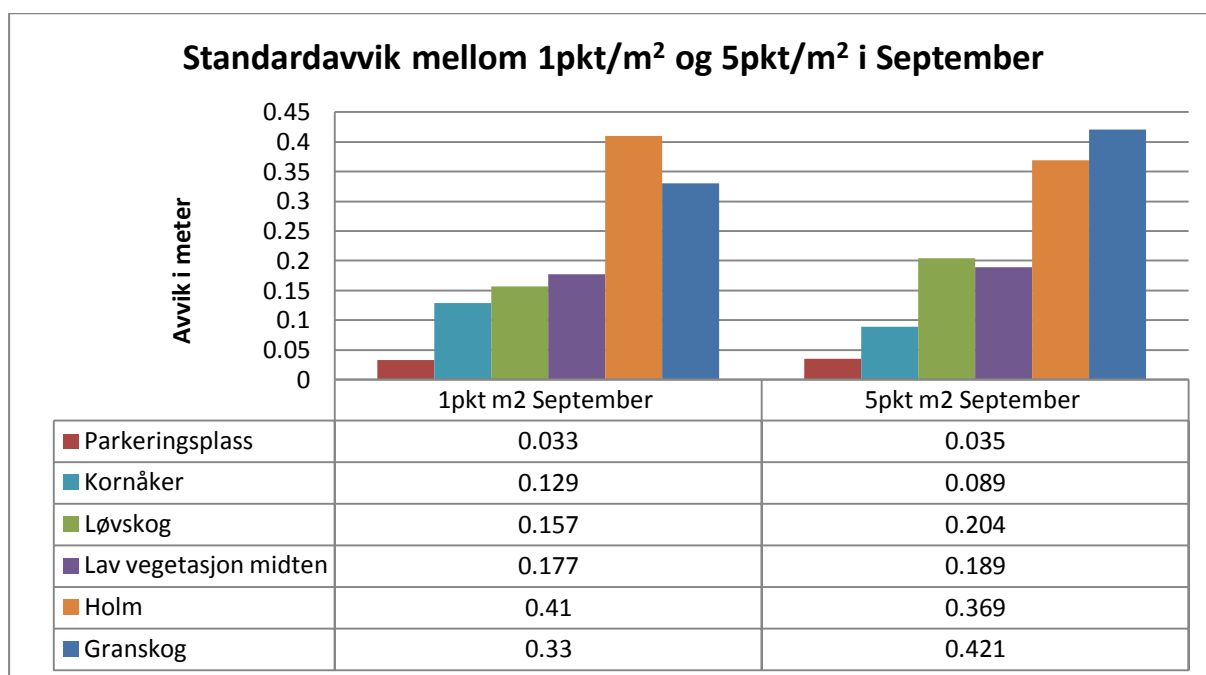
I denne grafen man kan se endringen i standardavvik for 1 punkt per kvadratmeter fra to ulike sesonger. Det er en tydelig økning i standardavviket fra april til september, men endringen er i de fleste tilfeller ikke veldig stor. Vi kan se at lav og tett vegetasjon ved Holm og i kornåker har størst effekt på standardavviket mellom sesongene. Endringene i både løv og granskog er ikke store selv om løvskog påvirker bakkepunktettheten relativt mye i september.



I denne grafen ser vi mye av de samme tendensene som ved ett punkt per kvadratmeter. Standardavviket er i april jevnt over veldig lavt, i september ligger de langt nærmere verdiene vi så ved ett punkt per kvadratmeter. Det er usikkert hvorfor avviket i løvskog er større ved fem punkter per kvadratmeter enn ved lavere punktethet. Vi ser også det samme i granskog, det kan tyde på at det ligger en skjevstilling i matchingen mellom flystripene i dette datasettet.



I denne grafen kan man se påvirkningen av valgt punktetthet i skanningen. April har gode resultater i begge tettheter, men vi ser en bedring ved høyere tetthet. Dette kommer av at vegetasjonen ikke er så fyldig og langt flere laserpulser treffer bakken ved valg av høyere punktetthet.



I denne grafen ser vi effekten vegetasjon har på laserdata sent i sesongen. Ved begge punktettheter ligger avvikene relativt høyt fordi laserpulserne allikevel ikke treffer bakken. Vi ser igjen at det i noen tilfeller er større avvik ved fem punkter per kvadratmeter.

5.3 Endelige analyser i ArcGIS

Her er det hentet inn tabeller for prosentandel bakketreff og statistikk for avvik i høyderaster for ulike interesseområder. Ønskes mer data eller bilder for posisjon på disse kan det finnes i vedlegg.

Clip 8: Golfbane fairway				
1 punkt/m2				
April 1st=	54780	Prosentandel=	98.22 %	
April ground=	53804			
September 1st=	56243	Prosentandel=	84.61 %	
September ground=	47586			
5 punkt/m2				
April 1st=	158808	Prosentandel=	97.07 %	
April ground=	154160			
September 1st=	146391	Prosentandel=	89.92 %	
September ground=	131637			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0066	0.0222	0.0857	-0.0823
September	0.0937	0.0366	0.1965	-0.0614
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	-0.0371	0.0300	0.0504	-0.1568

Tabell 2: Data fra clipområde 8: Golfbane fairway

I denne tabellen(2) har vi samlet resultater for et utvalgt kontrollområde der endringer mellom årstider vil være liten. Vi ser generelt sett lave avvik i høyde og høy prosentandel bakketreff.

Clip 6: Lav vegetasjon Holm				
1 punkt/m2				
April 1st=	84997	Prosentandel=	92.66 %	
April ground=	78761			
September 1st=	84318	Prosentandel=	68.94 %	
September ground=	58126			
5 punkt/m2				
April 1st=	281426	Prosentandel=	80.67 %	
April ground=	227034			
September 1st=	282379	Prosentandel=	39.43 %	
September ground=	111338			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0397	0.1384	0.9140	-1.3560
September	0.6747	0.4539	3.4266	-1.2634
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.4112	0.4088	2.8925	-0.9743

Tabell 3: Data fra clipområde 6: Lav vegetasjon Holm

Vi ser i denne tabellen mye av de samme tendensene som kontroll mot innmålte punkter for samme område. Snitt- og standardavviket ligger langt høyere i september på grunn av vanskeligheter med å skille bakkepunkter fra treff i den lave og tette vegetasjonen. Det er et stort fall i prosentandel bakketreff fra april til september, men algoritmen har allikevel feilklassifisert flere treff som ikke har nådd helt ned til bakke. Det er stor helning i terrenget, som vanskeliggjør klassifiseringen ytterligere og kan føre til at lav andel bakketreff gir større feil i høydeverdier.

Clip 4: Løvskog sørøst				
1 punkt/m2				
April 1st=	122747	Prosentandel=	73.38 %	
April ground=	90071			
September 1st=	136614	Prosentandel=	37.72 %	
September ground=	51535			
5 punkt/m2				
April 1st=	361560	Prosentandel=	54.75 %	
April ground=	197954			
September 1st=	382818	Prosentandel=	19.60 %	
September ground=	75026			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0038	0.1357	0.7160	-0.8096
September	0.0637	0.2255	1.4420	-1.2315
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.0046	0.2281	1.7013	-1.3488

Tabell 4: Data fra clipområde 4: Løvskog sørøst

Vi ser i denne tabellen effekten løvskog har på andel bakketreff. Prosentandelen synker drastisk fra april til september på grunn av et langt tettere skogtak. Til tross for det store fallet i bakkepunktetthet finner vi relativt gode snitt og standardavvik.

Clip 1: Granskog Nord				
1 punkt/m²				
April 1st=	264100	Prosentandel=	38.86 %	
April ground=	102627			
September 1st=	247627	Prosentandel=	25.21 %	
September ground=	62426			
5 punkt/m²				
April 1st=	1041511	Prosentandel=	24.70 %	
April ground=	257260			
September 1st=	1126980	Prosentandel=	12.30 %	
September ground=	138606			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m² april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0004	0.2144	1.3431	-1.2670
September	0.0605	0.2132	2.4948	-1.1317
5 minus 5 punkt/m² april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	-0.0148	0.1629	0.9497	-0.8843

Tabell 5: Data fra clipområde 1: Granskog nord

I denne tabellen ser vi at granskog ikke endrer seg så mye mellom årstidene, det er i både april og september relativt lav prosentandel bakketreff. Snitt og standardavvikene ligger relativt stabilt, men at skanning med 5 punkt per kvadratmeter gir noe bedre nøyaktighet. Det er overraskende at snittavviket i høydemodellen for 5 punkt september ligger lavere enn den for 5 punkt april.

6 Konklusjon

I denne oppgaven har vi undersøkt hvordan høydenøyaktighet, bakkepunktetthet og resulterende terrengform ved flybåren laserskanning påvirkes av vegetasjon ved ulike årstider.

Som vi har diskutert i avsnitt om feilkilder finnes det mange mulige årsaker til avvikene vi dokumenterer i våre data. Vi har ved hjelp av kontrollflater dokumentert at det systematiske avviket ligger mellom 2 og 4,4cm, noe som er følger kravene i FKB-laser spesifisering på ned til 4cm standardavvik på slike flater. Vi har ingen grunn til å tro at høydenøyaktigheten i målingene forverres på grunn av vegetasjon. Med et så lavt systematisk standardavvik er det logisk å konkludere med at de fleste avvik over 20cm kan være knyttet til feil i klassifisering av bakkepunkter eller ufullstendighet på grunn av skyggeeffekten vegetasjon kan skape.

Vi ser ikke at det er noen direkte kobling mellom punktetthet og nøyaktighet, dette er vanskelig å dokumentere da vegetasjon, bakkeforhold, flystriper, innfallsvinkel og lignende stadig endres mellom de ulike skanningstidspunkt for våre datasett. Slike avvik vil kunne dokumenteres bedre ved å utføre skanning i kontrollerte miljøer, slik at man får en mer konkret sammenheng mellom datasettene med en veldig godt dokumentert overflate. Dette er også noe som vil kunne simuleres i programvare for å få mer konkrete resultater. Vi ser allikevel en tydelig økning i avvik på områder med lite bakketreff.

Skanning med høyere punktetthet vil føre til flere bakketreff i tett vegetasjon, men denne økningen er ikke lineær. Vi ser mindre sammenheng mellom avvik og punktetthet i september enn april, noe som kommer av at vi til tross for høyere tetthet ikke treffer bakke på grunn av tett vegetasjon. Dette kan bety at det ikke alltid er lønnsomt å velge høyere tetthet i september hvis området er veldig påvirket av vegetasjon. Det kan være at fotavtrykket på laserstrålen har noe å si for dette, men det er ikke noe vi har dokumentert i denne oppgaven.

Den resulterende terrengformen vi får ved å lage høydemodeller fra våre laserdatasett får i stor grad avvik på grunn av ufullstendighet og/eller problemer med klassifisering av bakkepunkter. Disse feilkildene henger sammen da en algoritme vil få større problemer med klassifisering i områder der det er lite bakkepunkter.

Ved å utføre triangulering ser vi at ett enkelt feilklassifisert punkt vil kunne føre til store avvik over et større område. Resulterende terrengform er derfor veldig avhengig av metode brukt for å fremstille høydemodellen. Vi så støy generert i programvaren ved bruk av visse interpolasjonsmetoder, så det kunne vært interessant å se nærmere på hvordan modelleringsformene påvirker dataene. Dette er ikke noe vi har lagt veldig fokus på i oppgaven, men det er brukt like fremgangsmåter for alle datasett slik at disse feilene skulle påvirke våre data minst mulig.

Avvikene som er dokumentert i rapporten er valgt ut fordi de er i spesielt vanskelige områder. Generelt sett ligger avvik veldig lavt, noe som er dokumentert gjennom standardavvikene for hele datasett og mot kontrollmålinger. De mest konsistente avvik finner vi i tett og lav vegetasjon der laseren ikke kan nå bakken over større områder. Dette fører til vanskeligheter i klassifisering og resulterer i alt for høye verdier i høydemodell for september. Avvik i skog visualiseres som støy i høydesammenligningene, og består av både for høye og lave verdier. Dette kan tyde på at de kommer av ufullstendighet på grunn av skyggeeffekten vegetasjon sent i sesongen skaper.

Vi ser at årstiden for skanning kan ha en del å si for registrert høyde i spesielt vegetasjonstette områder. Generelt sett ligger datasett for september høyere enn de innsamlet i april, dette kommer av at selv liten vegetasjon vokser tett sent i sesongen, noe som fører til falske bakketreff på høyt gress og lignende. Avvikene er allikevel ikke veldig store og vi må konkludere med at laserskanning kan utføres med gode resultater både tidlig og sent i sesongen, uansett vegetasjon og punkttetthet. Det er allikevel viktig å ha denne informasjonen i bakhodet ved planlegging og utførelse av en flyskanning for å minimere effekten av vegetasjon på dataene.

7 Kilder

TerraTec AS. (u.d.). *terratec.no*. Hentet fra Informasjon om TerraTec AS:
<http://www.terratec.no/index.aspx>

AS, T. (2011). *RAPPORT FOR LASERSKANNING LACHST15 Testprosjekt laserskanning*.
Barstad, B. (u.d.). *HØGDEKARTLEGGING MED LASERSKANNING FRÅ FLY*. Hentet 5 11,
2012 fra UiO Universitetet i Oslo:
http://folk.uio.no/treiken/GEO4530/kartdagar2002pr_ikf.pdf

ESRI. (u.d.). *www.esri.com*. Hentet fra Informasjon om programvare: <http://www.esri.com/>
Geosystems, L. (u.d.). *Leica Geosystems*. Hentet fra Leica ALS50-II Airborne Laser Scanner
Product Specifications:
http://www.aoc.co.za/resources/pdf/products/airborne_LiDAR/als50-ii.pdf

Karlsen, J. (2008). *Geomatikkboka 1*. Oslo: Byggdata.
Karlsen, J. (2008). *Geomatikkboka 2*. Oslo: Byggdata.

Kartverk, S. (u.d.). *Statens Kartverk*. Hentet fra FKB-laser spesifikasjon:
http://www.statkart.no/filestore/Landdivisjonen_ny/Fagomrder/lGeovekst/Produktspeifikasjoner/FKB-Laser_/FKB-Laser-v11_2011-12-01.pdf

Kuker-Ranken. (u.d.). Hentet 05 10, 2012 fra krinc:
<http://www.krinc.net/f54804/662284/Leica-Total-Stations/Leica-Viva-TS11.html>

Leica Geosystems AS. (u.d.). *www.leica-geosystems.no*. Hentet fra Informasjon om GNSS og
TS: <http://www.leica-geosystems.no/no/index.htm>

Øpstad, A. (1997). *HomePage Norway*. Hentet 04 10, 2012 fra Blokkutjevning av striper fra
flybåren laserskanning: <http://home.no/anops/Hovedfagsoppgave.pdf>

Powel ASA. (u.d.). *www.powel.no*. Hentet fra Informasjon om programvare:
<http://www.powel.no/>

Reutebuch, S. E., McGaughey, ., R., Andersen, H.-E., & Carson, W. W. (2003). *National
Agricultural Library*. Hentet 01 25, 2012 fra Accuracy of a high-resolution lidar
terrain model: <http://naldc.nal.usda.gov/download/47657/PDF>

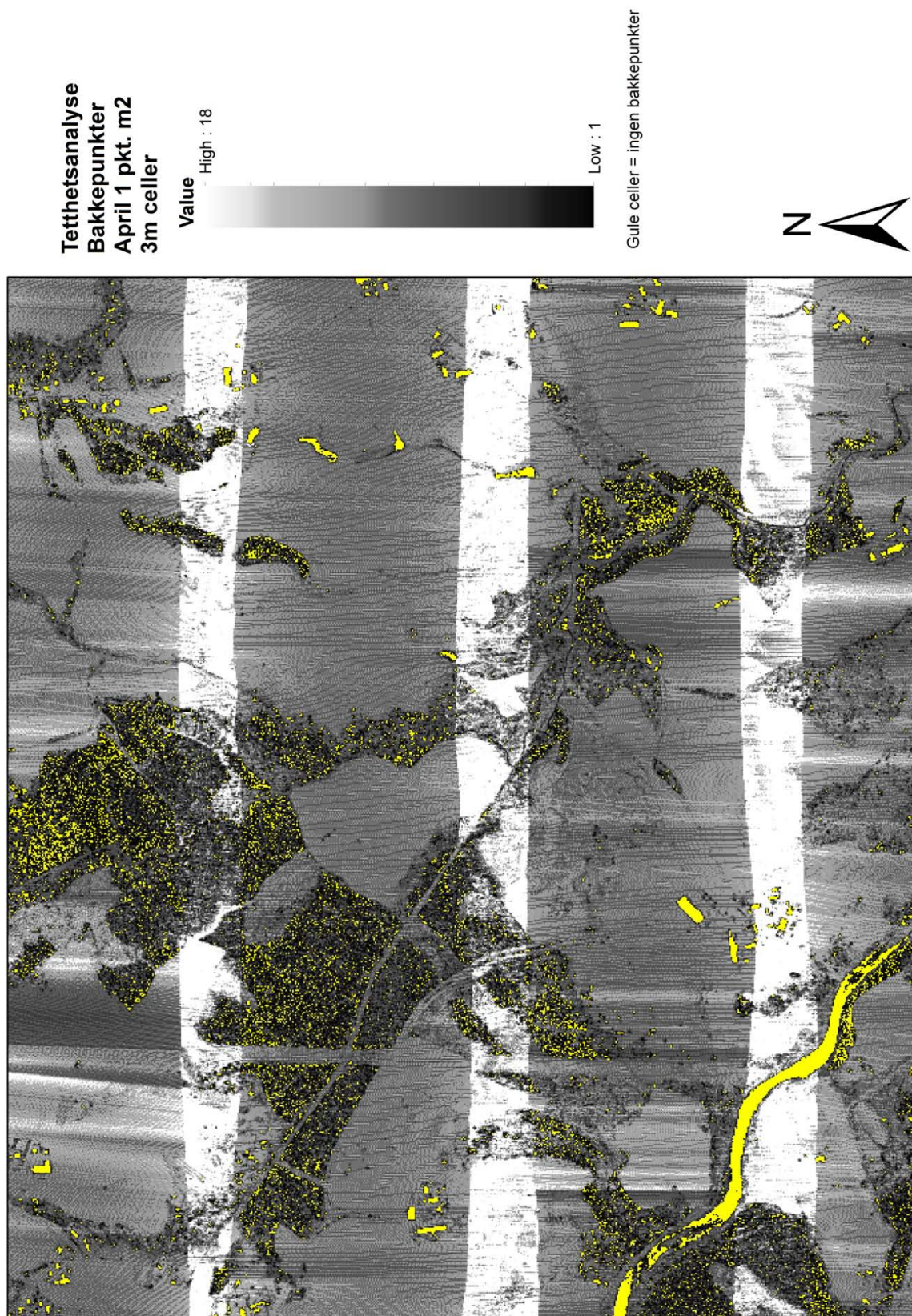
Skogseth, T. (2008). *Grunnleggende landmåling*. Oslo: Universitetsforlaget AS.
Wiger, A. (2009). *The use of LiDAR technology and data processing to meet customer's*.
Lysaker: TerraTec AS.

8 Vedlegg

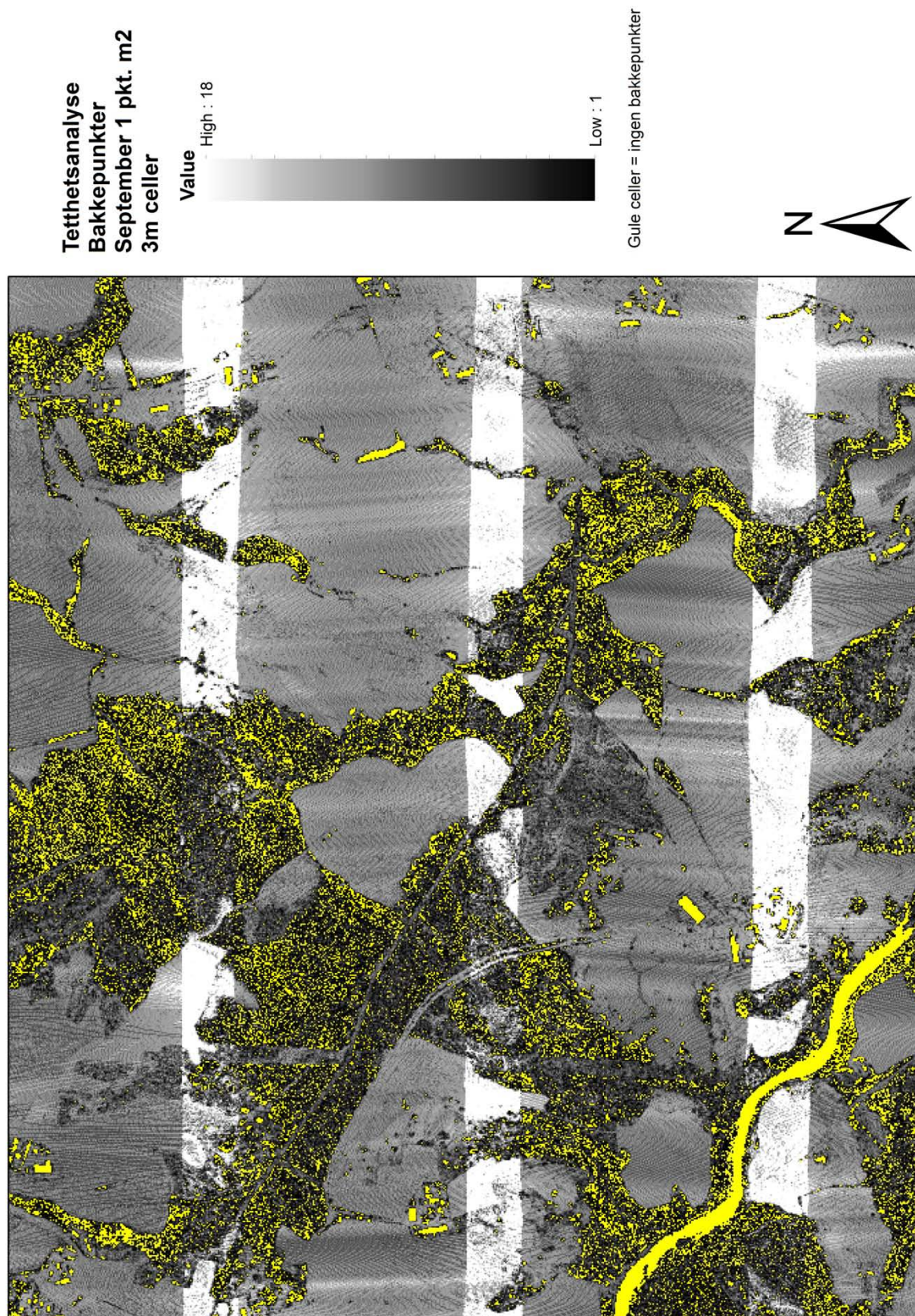
8.1 Vedlegg tabell

Vedlegg:	Beskrivelse:
A	Innledende analyser i ArcGIS
B	Kontroll av målinger i Gemini Terreng og Entreprenør
C	Endelige analyser i ArcGIS

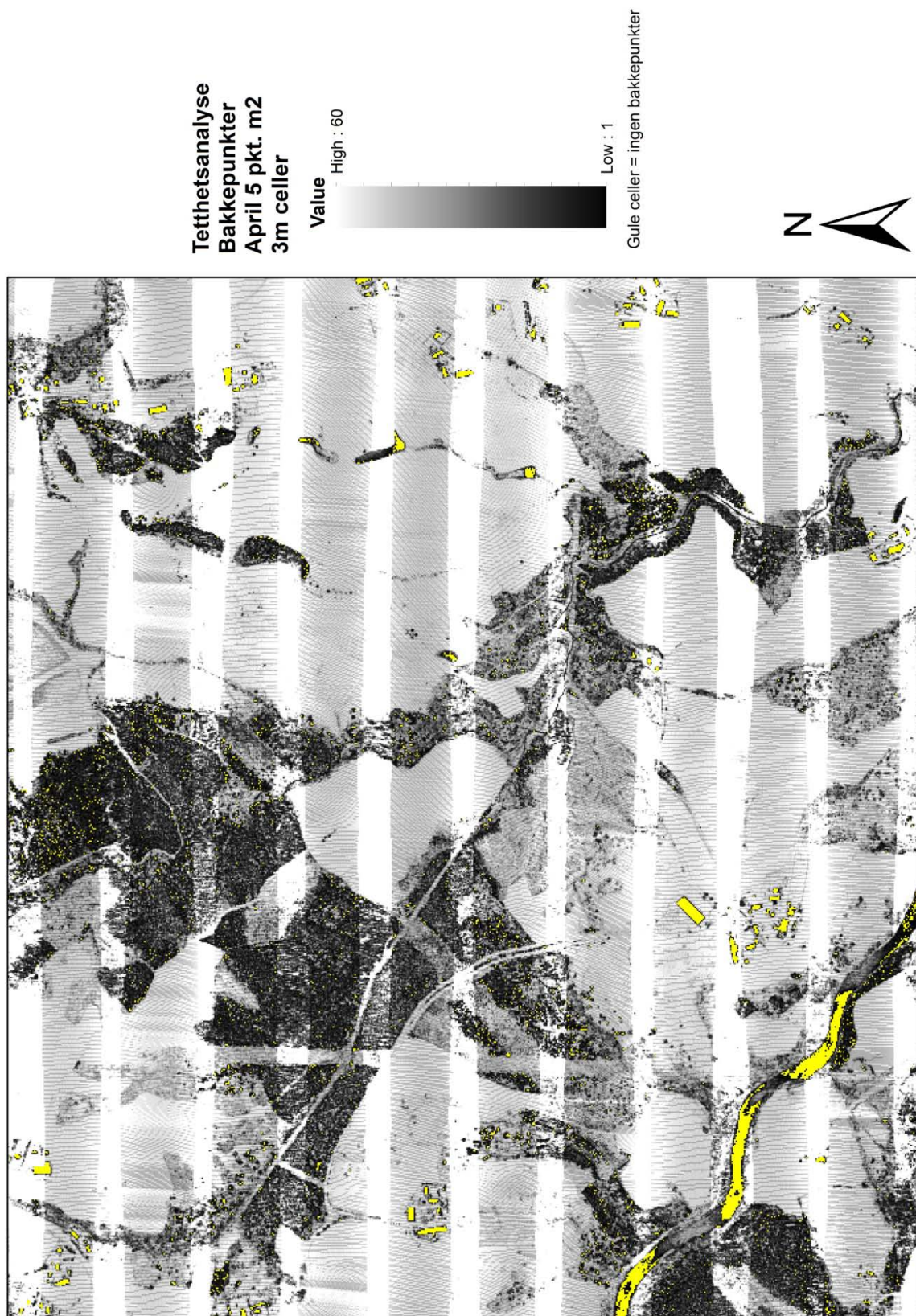
A1: Punktetthet April 1pkt/m²



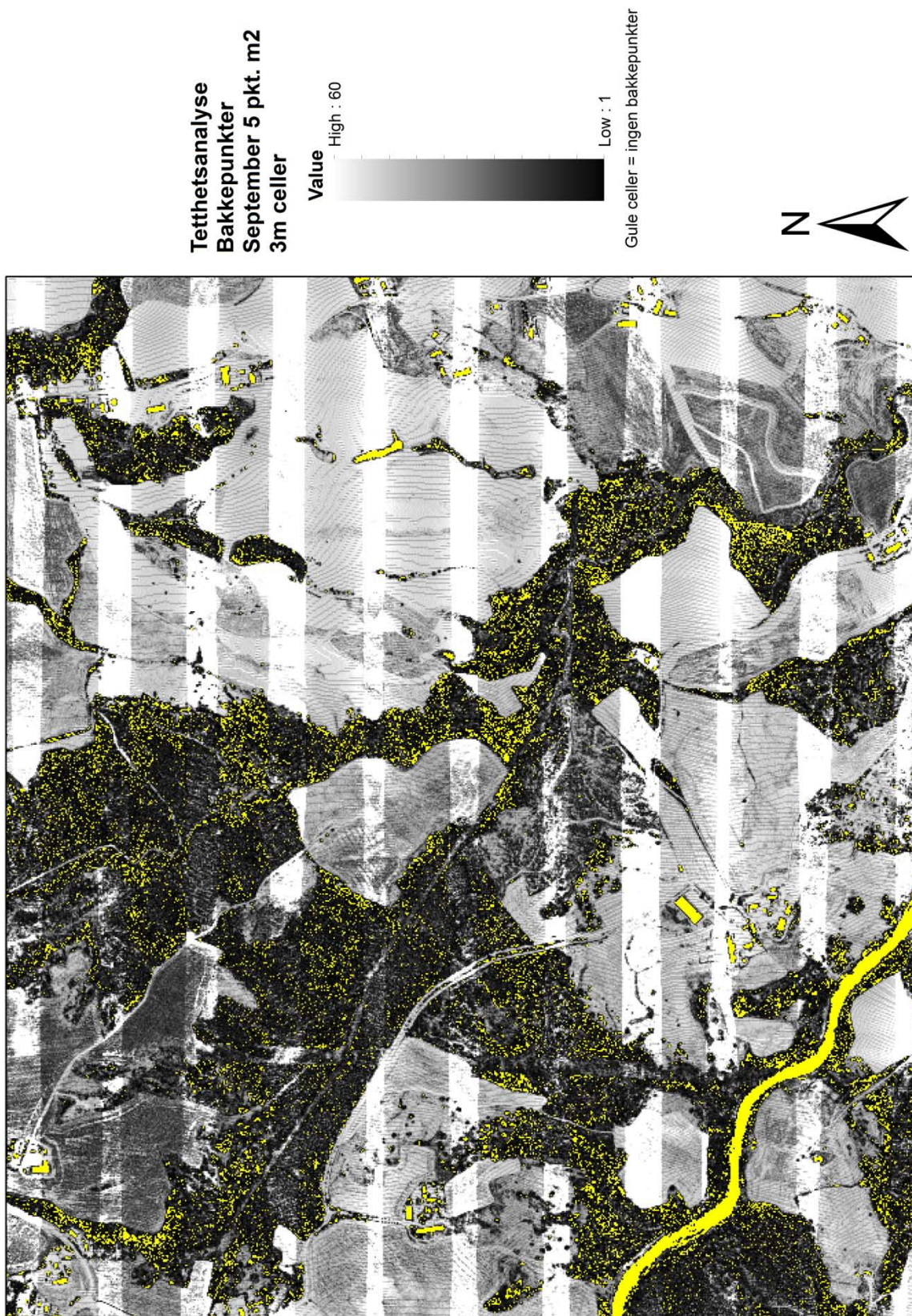
A2: Punktetthet September 1pkt/m²



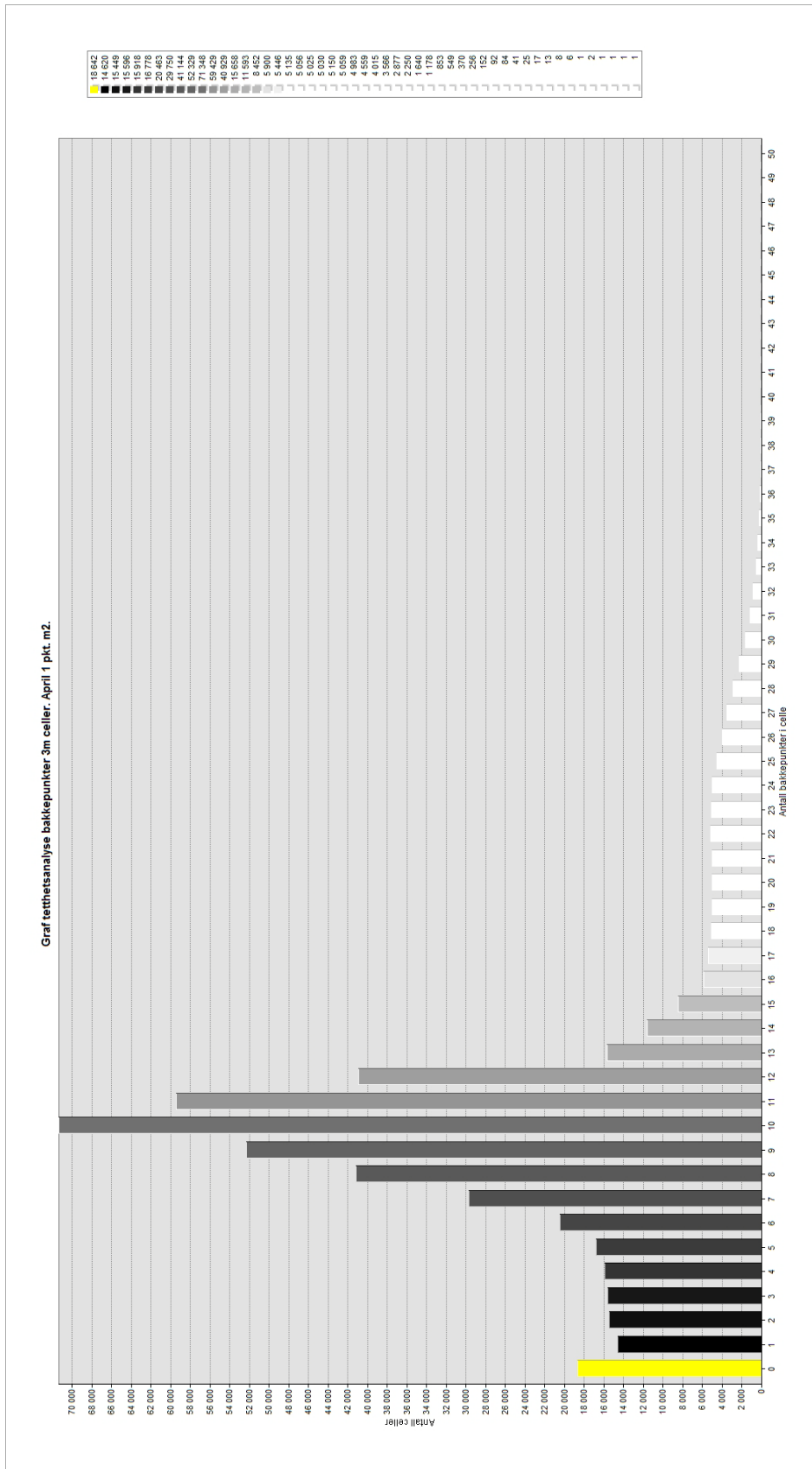
A3: Punktetthet April 5pkt/m²



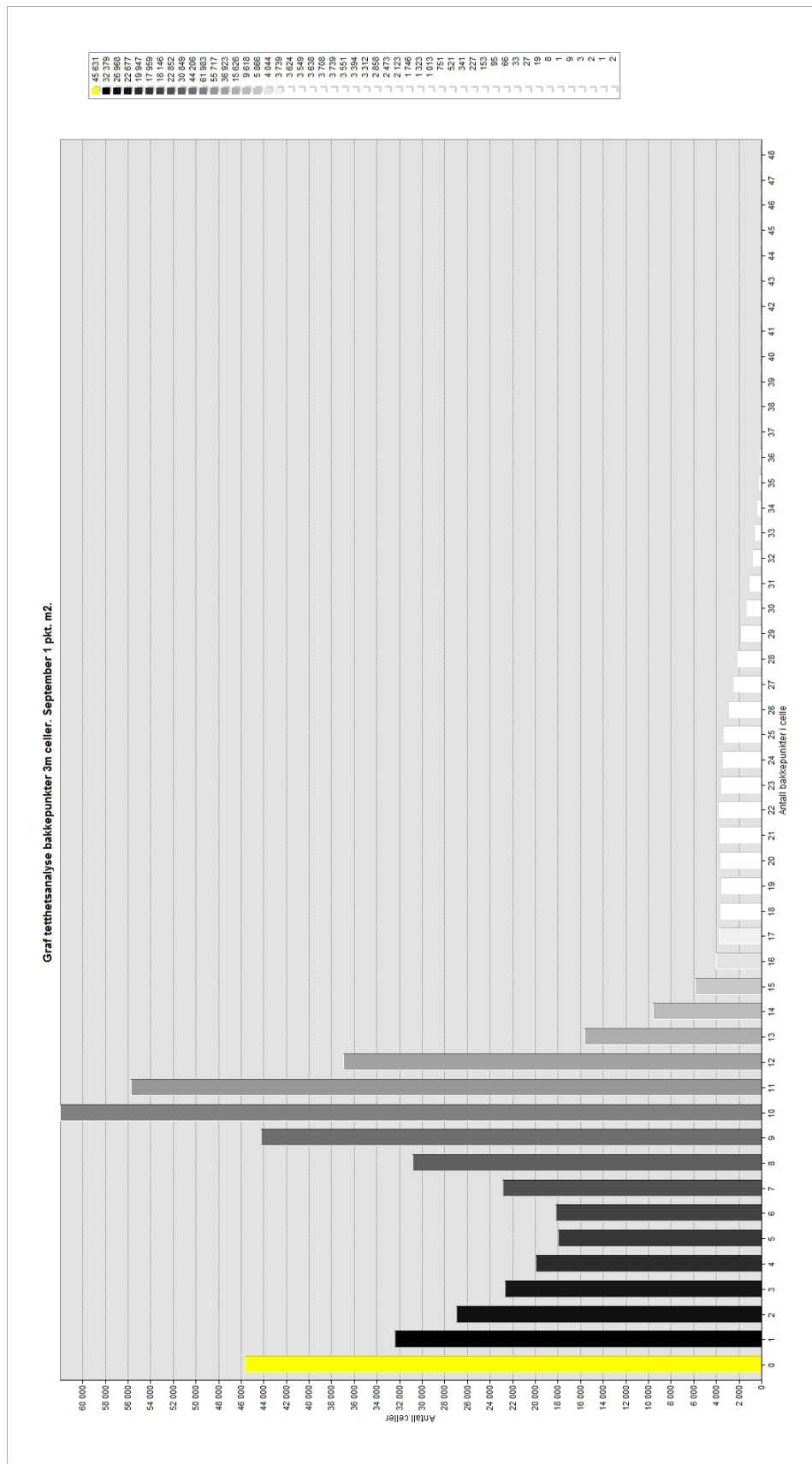
A4: Punktetthet September 5pkt/m²



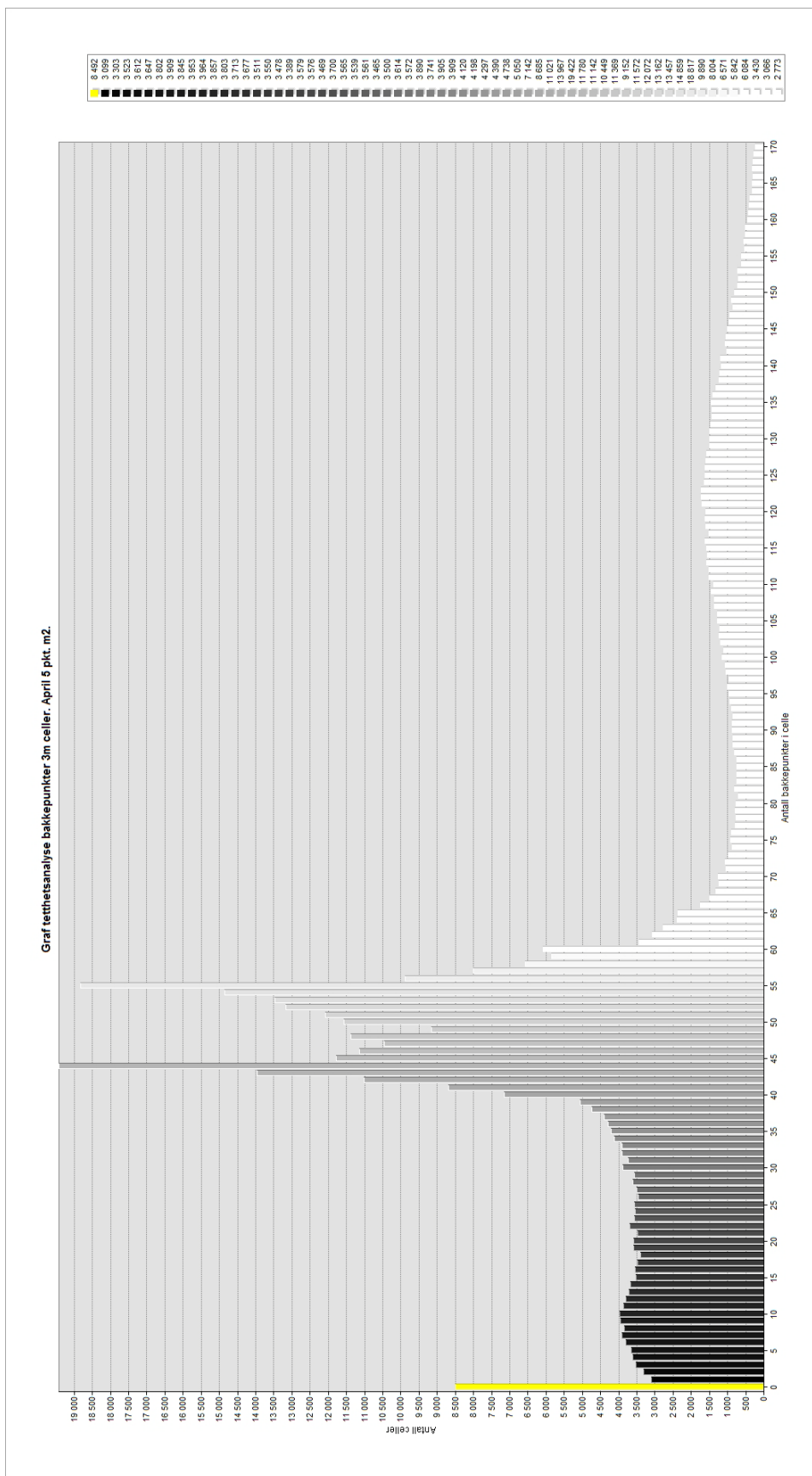
A5: Graf over punkttetthet April 1pkt/m²



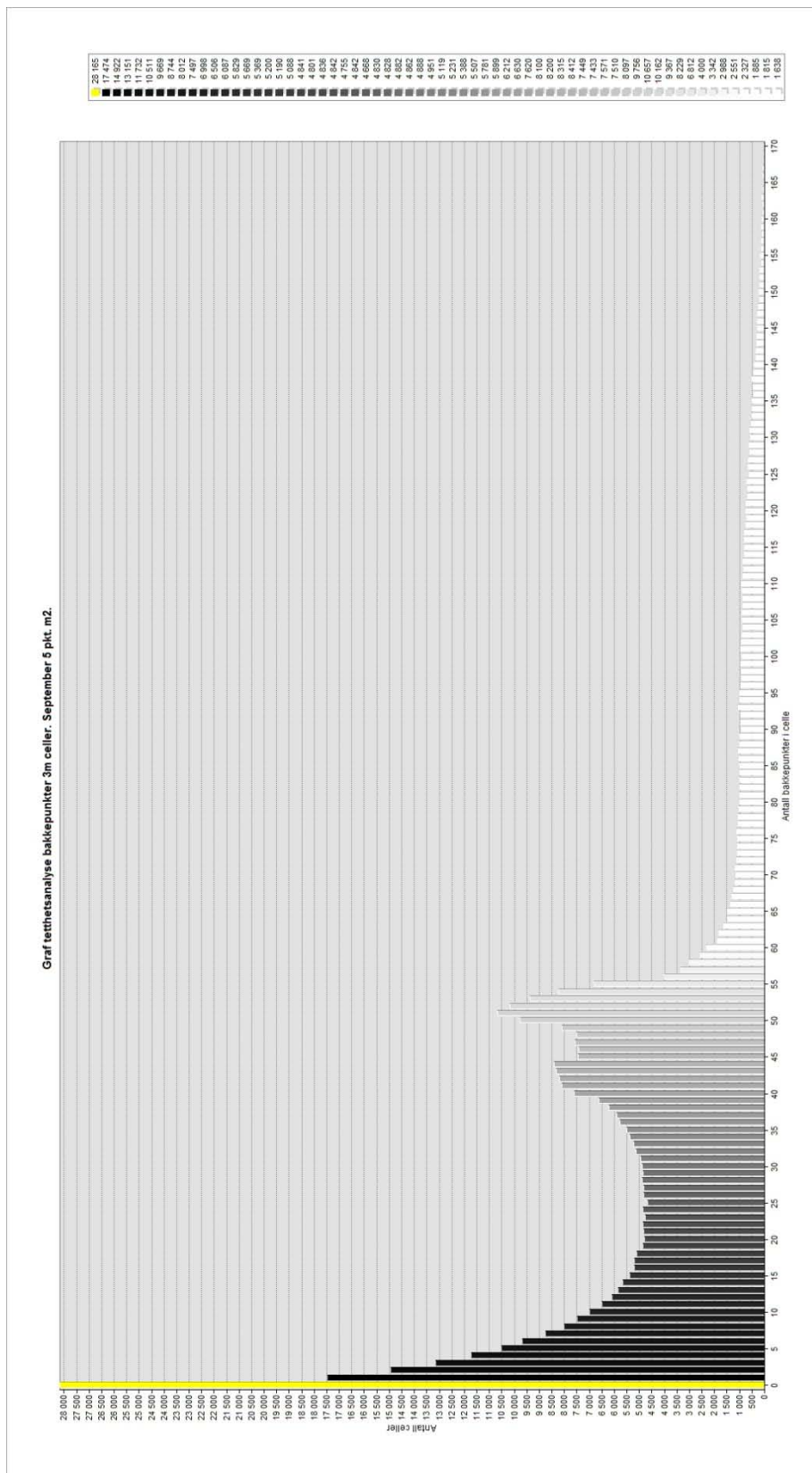
A6: Graf over punkttetthet September 1pkt/m²



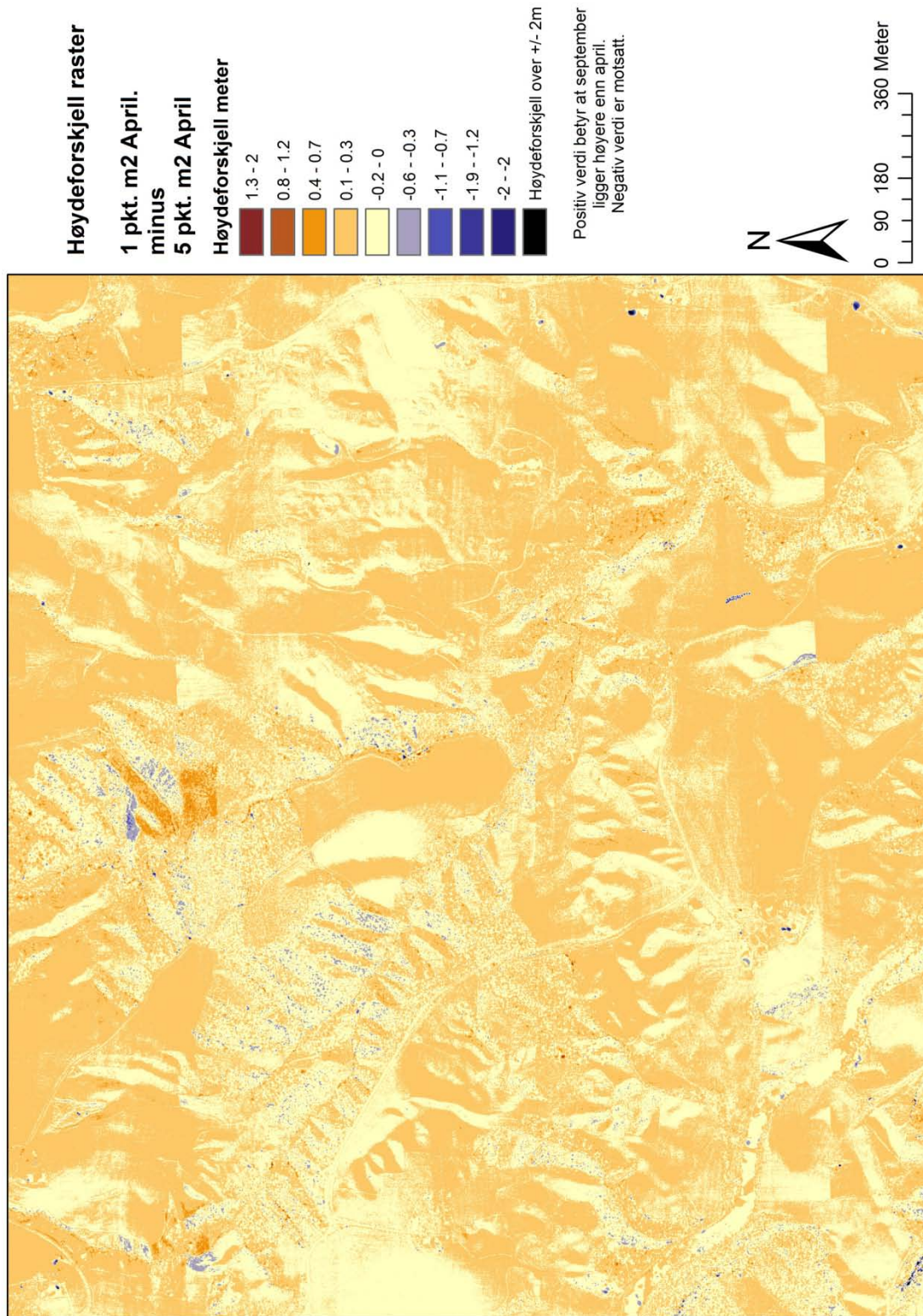
A7: Graf over punkttetthet April 5pkt/m²



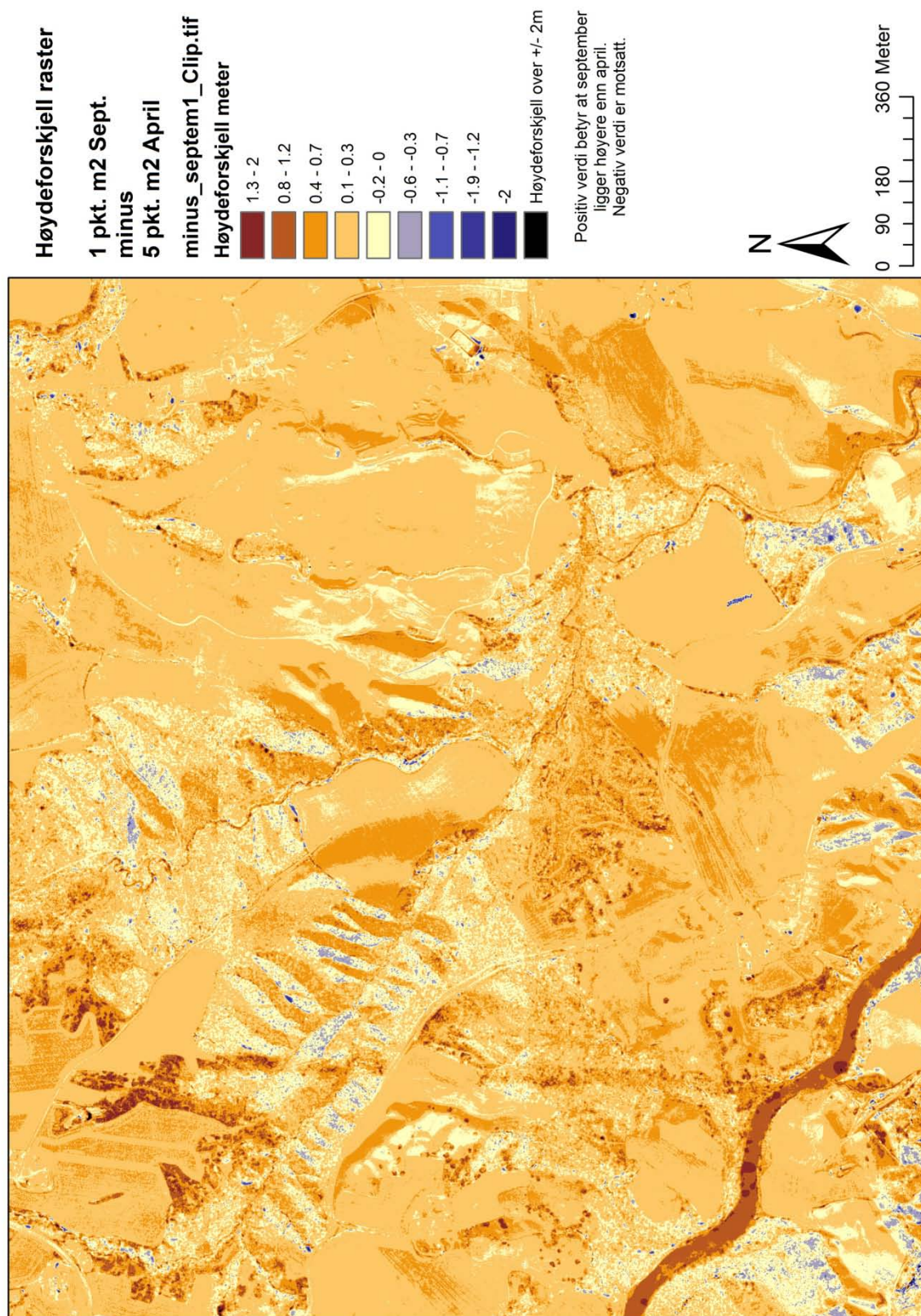
A8: Graf over punktetthet September 5pkt/m²



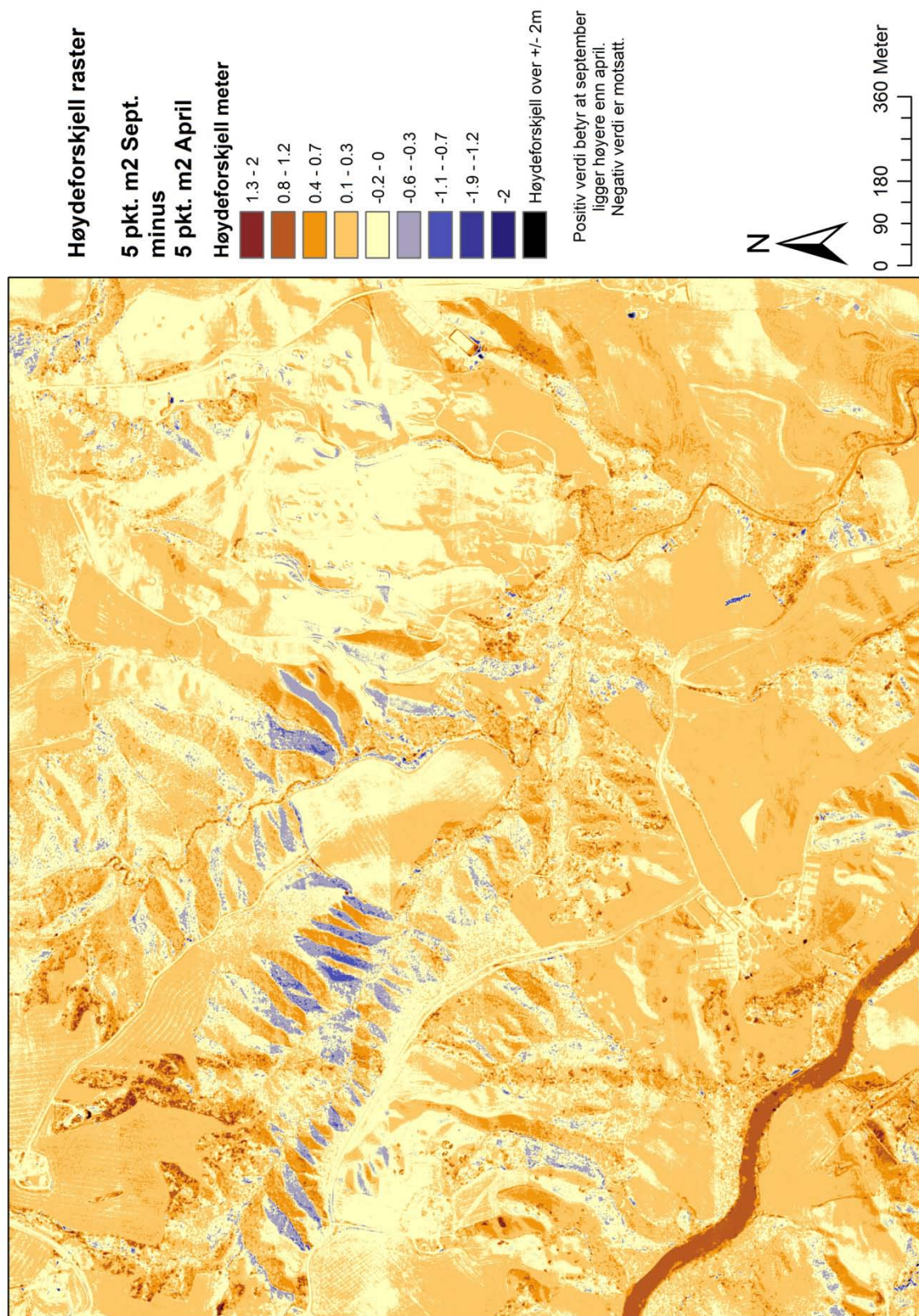
A9: Høydeforskjell April 1pkt/m² minus April 5pkt/m²



A10: Høydeforskjell September 1pkt/m² minus April 5pkt/m²



A11: Høydeforskjell September 5pkt/m² minus April 5pkt/m²



B1: Eksempelrapport fra kontroll i Gemini Terreng og Entreprenør (2 sider)

powel
Geometrisk kontroll

Kontrolltype: Triangelnett
App.lag
punkter: Parkering.aly
Geo. kontroll
mot: 1m_April.aly: Triangle 5
Offset: 0,000

Flatekontroll**Differanse:** Loddrett**Min. tol.:** -50 mm**Max. tol.:** 50 mm

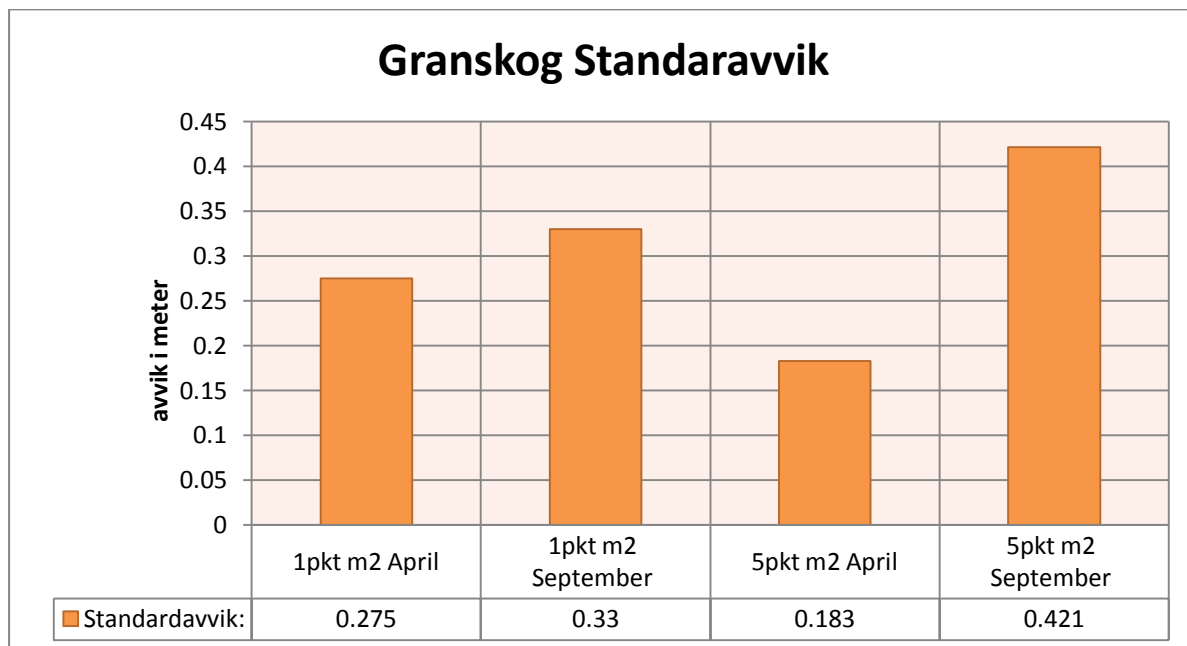
Punkt	Teo. høyde	Differanse	Flatekontroll		Øst	Nord	Målt punkt Høyde
			Forkastet	Flate			
1	158,756	0,110	X		610584,341	6653377,109	158,866
2	158,919	0,052	X		610583,205	6653382,413	158,971
3	159,104	-0,013			610582,097	6653387,810	159,091
4	159,182	0,000			610580,981	6653393,076	159,182
5	159,287	-0,028			610580,036	6653397,676	159,259
6	159,379	-0,025			610578,888	6653402,931	159,354
7	159,485	-0,046			610577,655	6653408,959	159,439
8	159,568	-0,064	X		610576,461	6653414,643	159,504
9	159,610	-0,045			610575,410	6653419,930	159,565
10	159,713	-0,096	X		610574,518	6653423,820	159,617
13	159,746	-0,018			610571,910	6653436,169	159,728
14	159,854	-0,075	X		610574,953	6653436,465	159,779
15	159,797	-0,039			610575,747	6653432,385	159,758
16	159,757	-0,024			610576,469	6653428,454	159,733
17	159,727	-0,040			610577,321	6653424,504	159,687
18	159,685	-0,046			610578,208	6653420,044	159,639
19	159,635	-0,039			610579,161	6653415,653	159,596
20	159,570	-0,022			610580,055	6653410,495	159,548
21	159,501	-0,007			610580,988	6653406,090	159,494
22	159,411	-0,011			610582,161	6653400,986	159,400
23	159,351	-0,034			610582,958	6653396,276	159,317
24	159,251	-0,020			610583,864	6653391,563	159,231
25	159,175	-0,020			610584,849	6653387,245	159,155
26	159,045	0,011			610585,787	6653382,809	159,056
27	158,870	0,083	X		610587,822	6653375,274	158,953
28	159,005	0,041			610590,801	6653376,187	159,046

29	158,981	0,139	X		610589,664	6653381,172	159,120
30	159,228	-0,042			610588,811	6653385,135	159,186
31	159,267	0,010			610587,950	6653389,344	159,277
32	159,354	0,019			610586,842	6653394,602	159,373
33	159,484	-0,009			610585,728	6653399,990	159,475
34	159,599	-0,024			610584,602	6653405,387	159,575
35	159,718	-0,060	X		610583,513	6653410,732	159,658
36	159,739	-0,041			610582,333	6653416,125	159,698
37	159,747	-0,016			610581,244	6653421,477	159,731
38	159,849	-0,060	X		610580,121	6653426,852	159,789
39	159,862	-0,027			610579,004	6653432,224	159,835
40	159,895	-0,040			610577,847	6653437,547	159,855
41	160,068	-0,077	X		610582,634	6653438,694	159,991
42	159,979	-0,011			610583,751	6653433,312	159,968
43	159,993	-0,050			610584,849	6653427,921	159,943
44	159,884	0,011			610585,707	6653422,568	159,895
45	159,904	-0,033			610586,796	6653417,177	159,871
46	159,848	-0,027			610587,892	6653411,780	159,821
47	159,776	-0,030			610588,988	6653406,430	159,746
48	159,684	-0,029			610590,228	6653401,091	159,655
49	159,598	-0,066	X		610591,364	6653395,700	159,532
50	159,442	-0,028			610592,472	6653390,309	159,414
51	159,379	-0,081	X		610593,395	6653384,907	159,298
52	159,192	0,004			610595,059	6653378,176	159,196

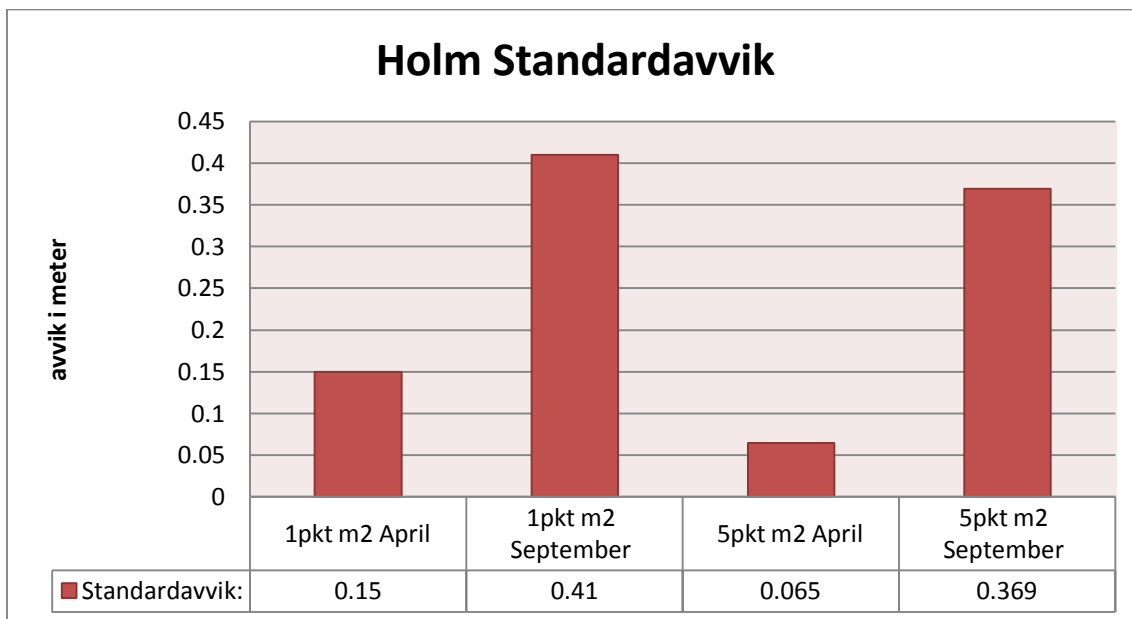
Totalt antall målepunkt: 50
Punkt innenfor krav: 38
Punkt utenfor krav (avvist): 12

Standardavvik: 0,044
Middel: -0,020
Minimum: -0,096
Maksimum: 0,139
Minimum absolutt verdi: 0,000
Maksimum absolutt verdi: 0,139

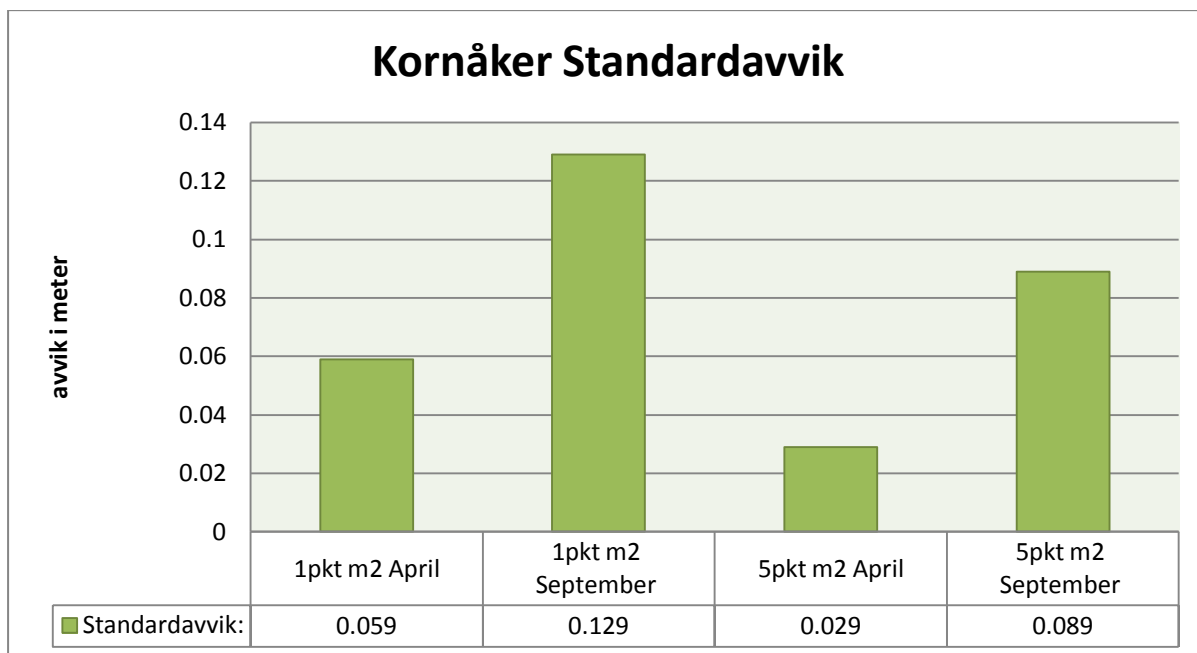
B2: Graf av standardavvik i granskog



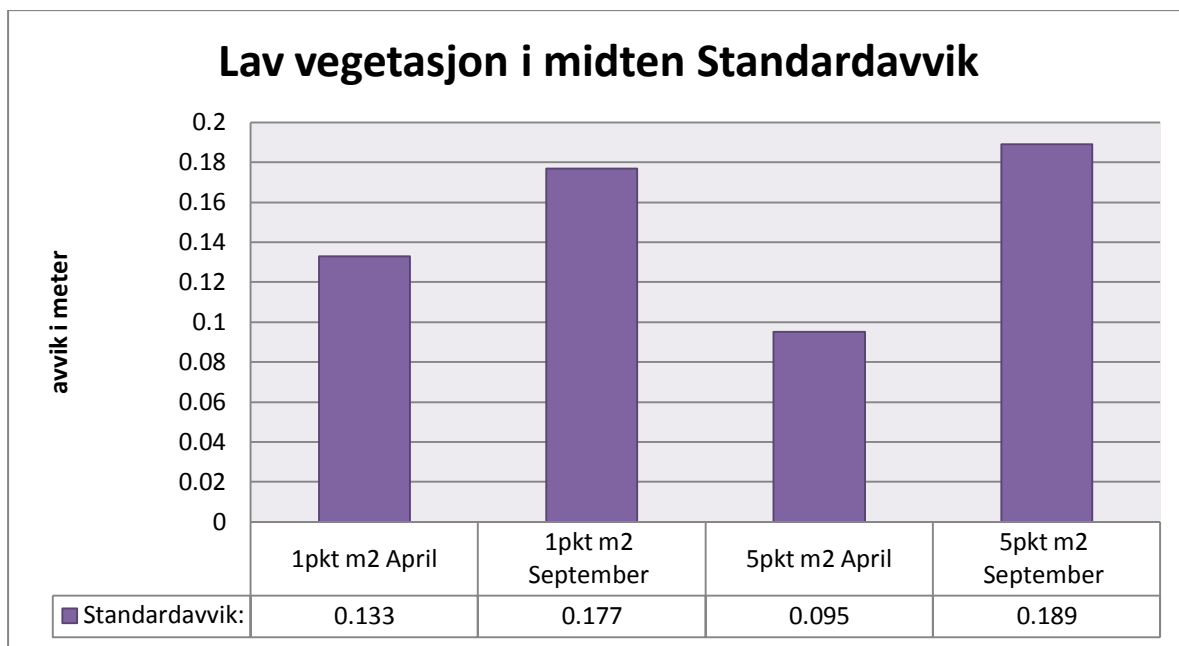
B3: Graf av standardavvik ved Holm



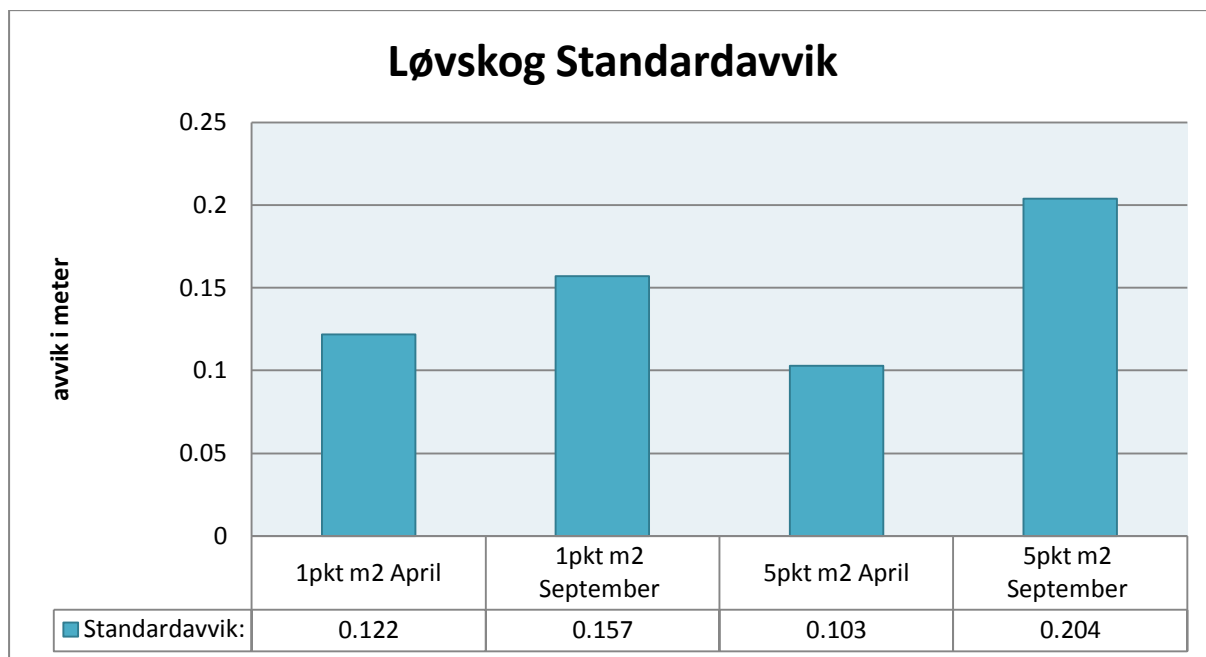
B4: Graf av standardavvik på kornåker



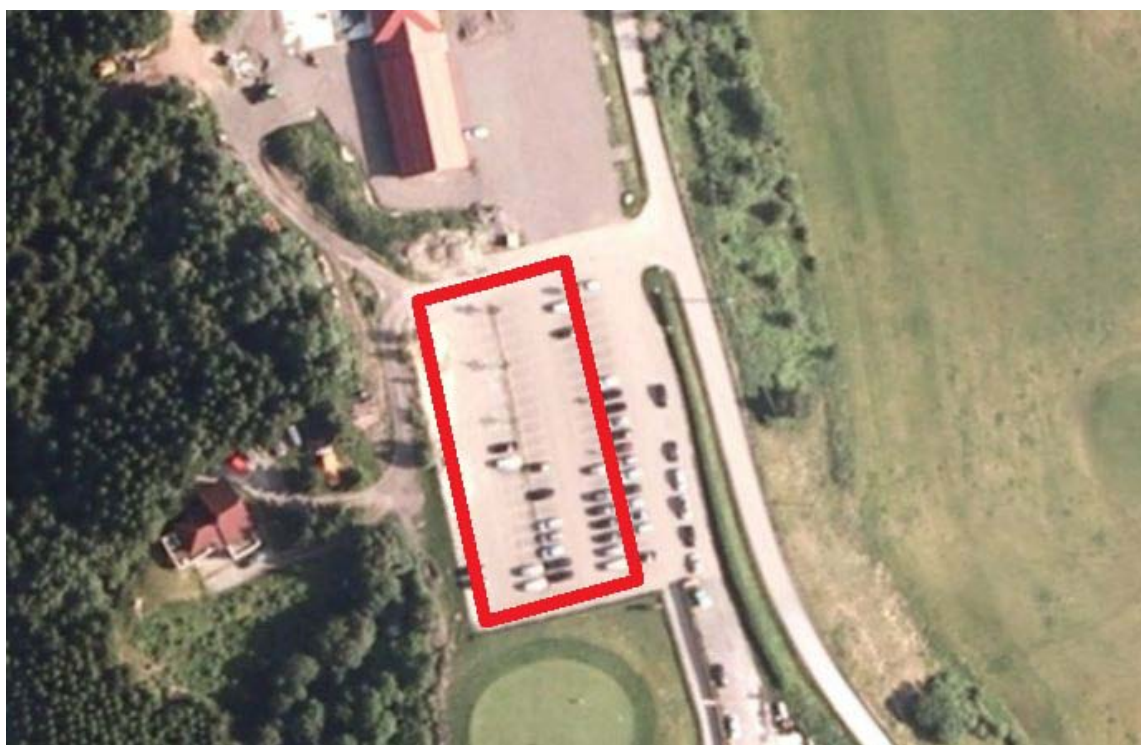
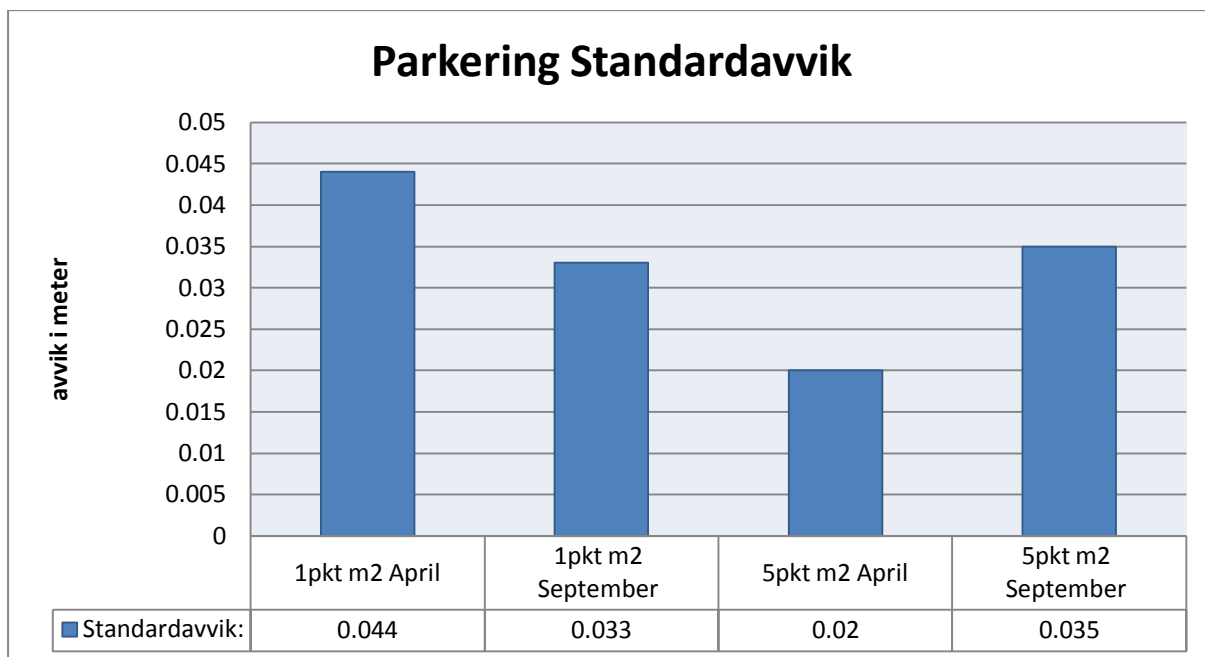
B5: Graf av standardavvik lav vegetasjon i midten



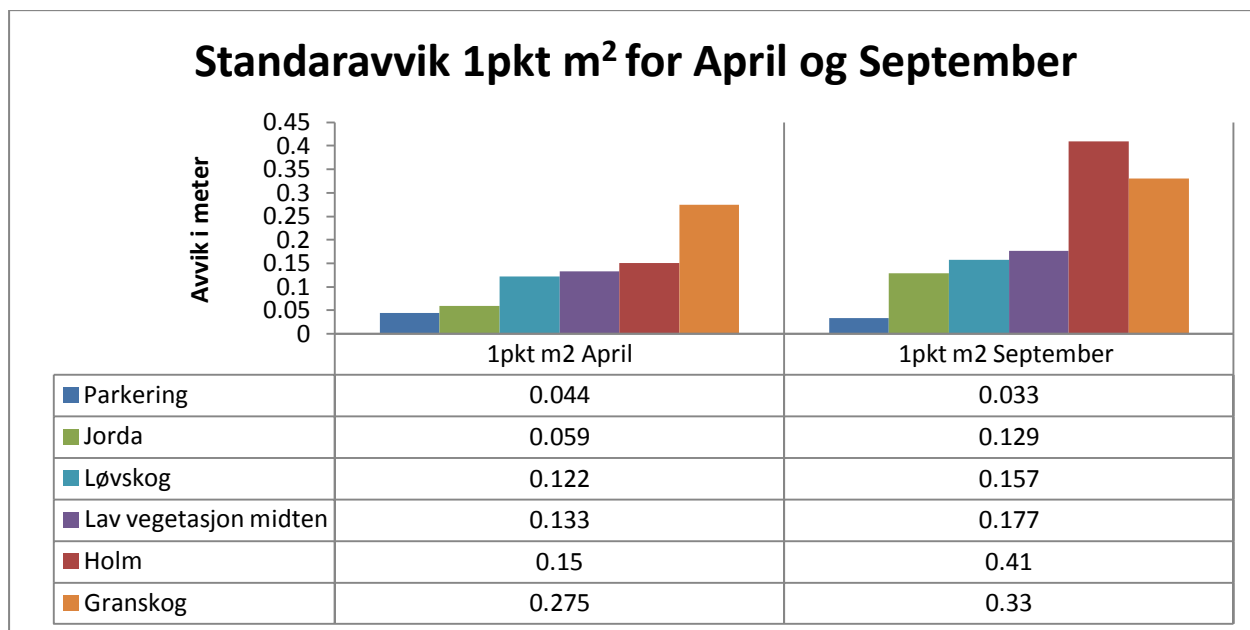
B6: Graf av standardavvik i løvskog



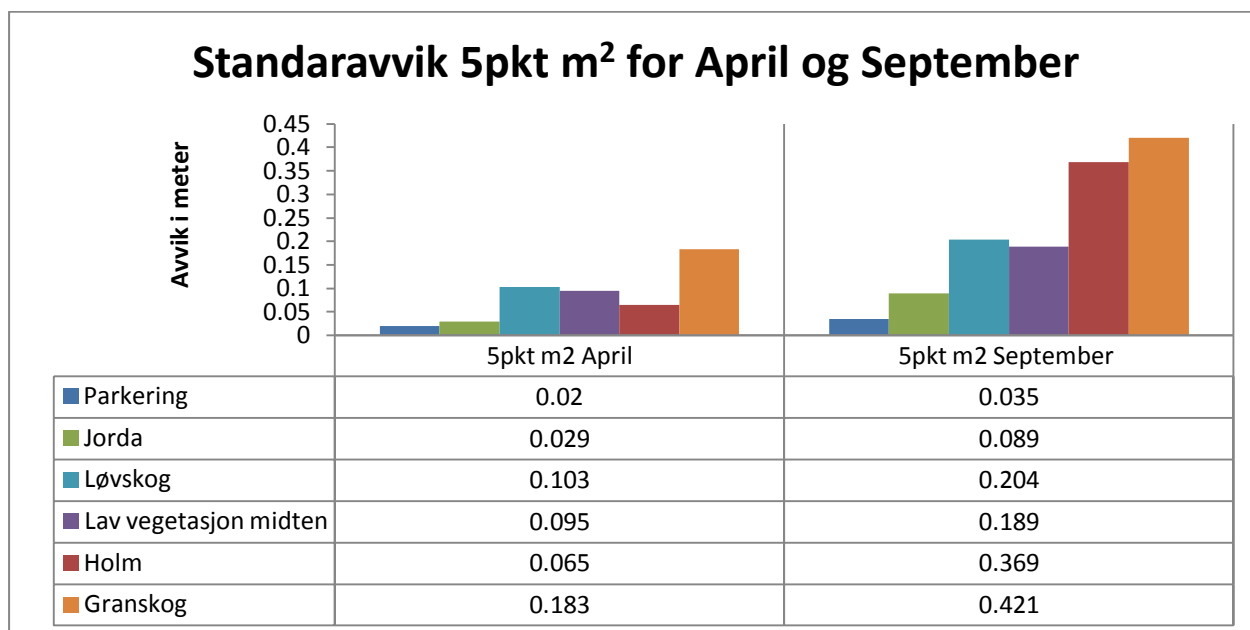
B7: Graf av standardavvik på parkeringsplass



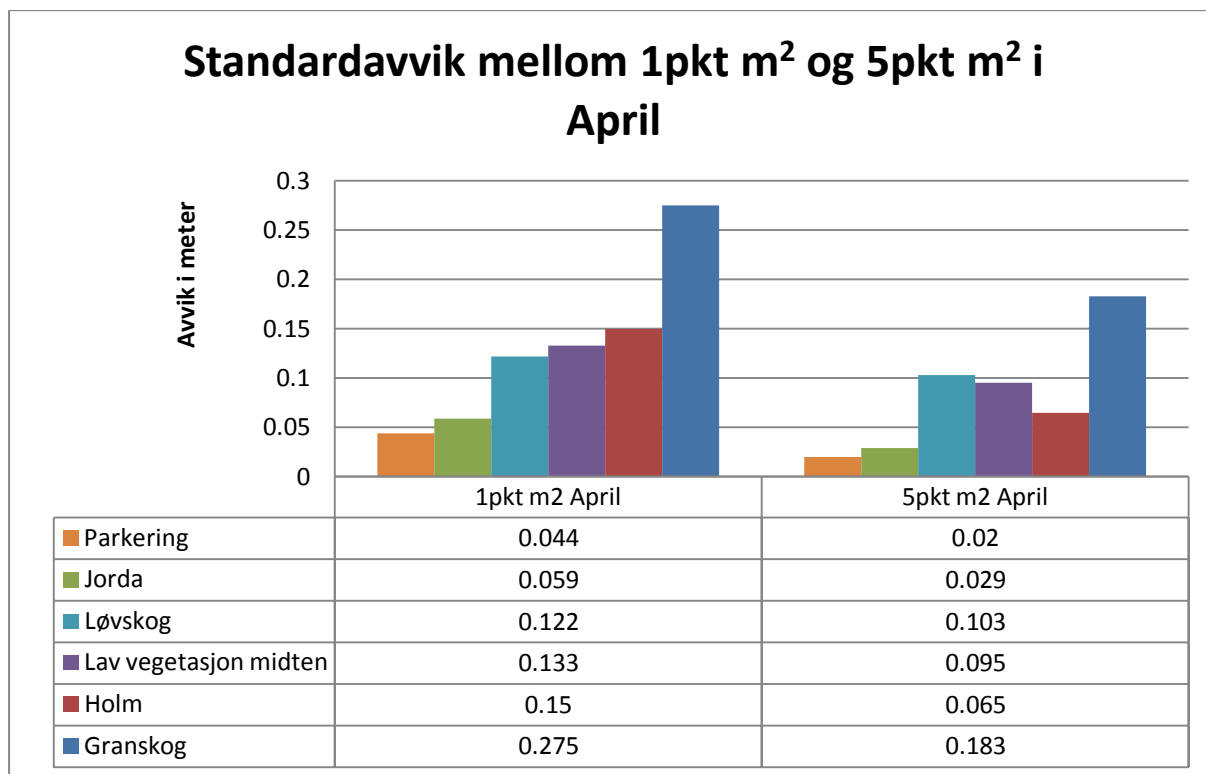
B8: Graf over standardavvik 1pkt/m² i april og september



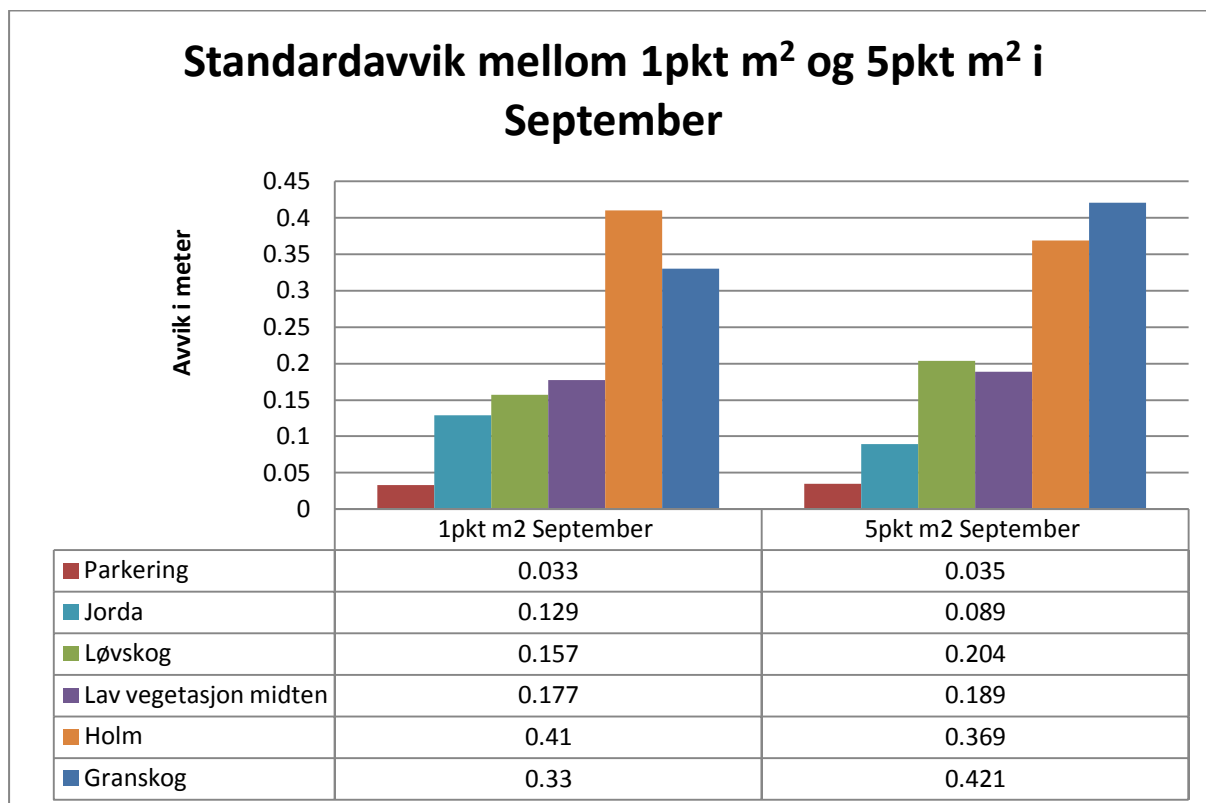
B9: Graf over standardavvik 5pkt/m² i april og september



B10: Graf over standardavvik mellom 1pkt/m² og 5pkt/m² i April



B11: Graf over standardavvik mellom 1pkt/m² og 5pkt/m² i September



C1: Data fra interesseområde 1 granskog nord

Clip 1: Granskog Nord				
1 punkt/m2				
April 1st=	264100	Prosentandel=	38.86 %	
April ground=	102627			
September 1st=	247627	Prosentandel=	25.21 %	
September ground=	62426			
5 punkt/m2				
April 1st=	1041511	Prosentandel=	24.70 %	
April ground=	257260			
September 1st=	1126980	Prosentandel=	12.30 %	
September ground=	138606			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0004	0.2144	1.3431	-1.2670
September	0.0605	0.2132	2.4948	-1.1317
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	-0.0148	0.1629	0.9497	-0.8843



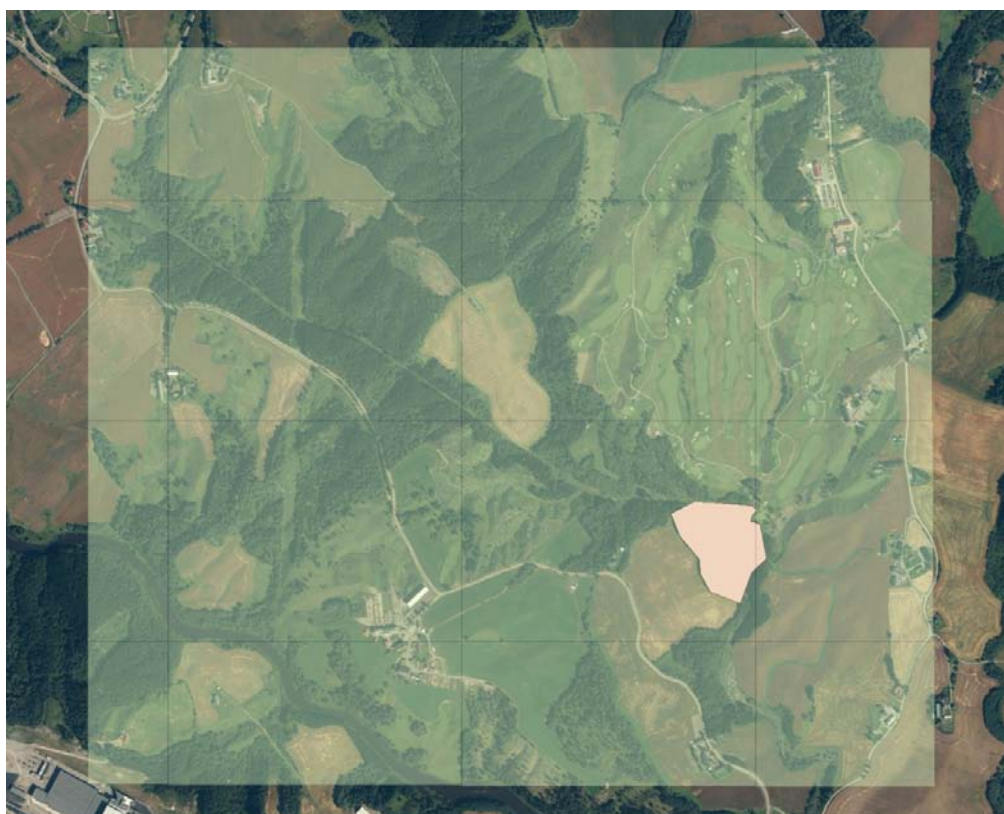
C2: Data fra interesseområde 2 granskog nordvest

Clip 2: Granskog nordvest				
1 punkt/m2				
April 1st=	222310	Prosentandel=	52.17 %	
April ground=	115988			
September 1st=	238992	Prosentandel=	35.31 %	
September ground=	84395			
5 punkt/m2				
April 1st=	1041067	Prosentandel=	29.77 %	
April ground=	309944			
September 1st=	1024088	Prosentandel=	17.92 %	
September ground=	183506			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	-0.0760	0.1469	1.0351	-1.0663
September	0.0894	0.2739	1.6011	-2.0478
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	-0.1016	0.3356	2.8858	-1.3128



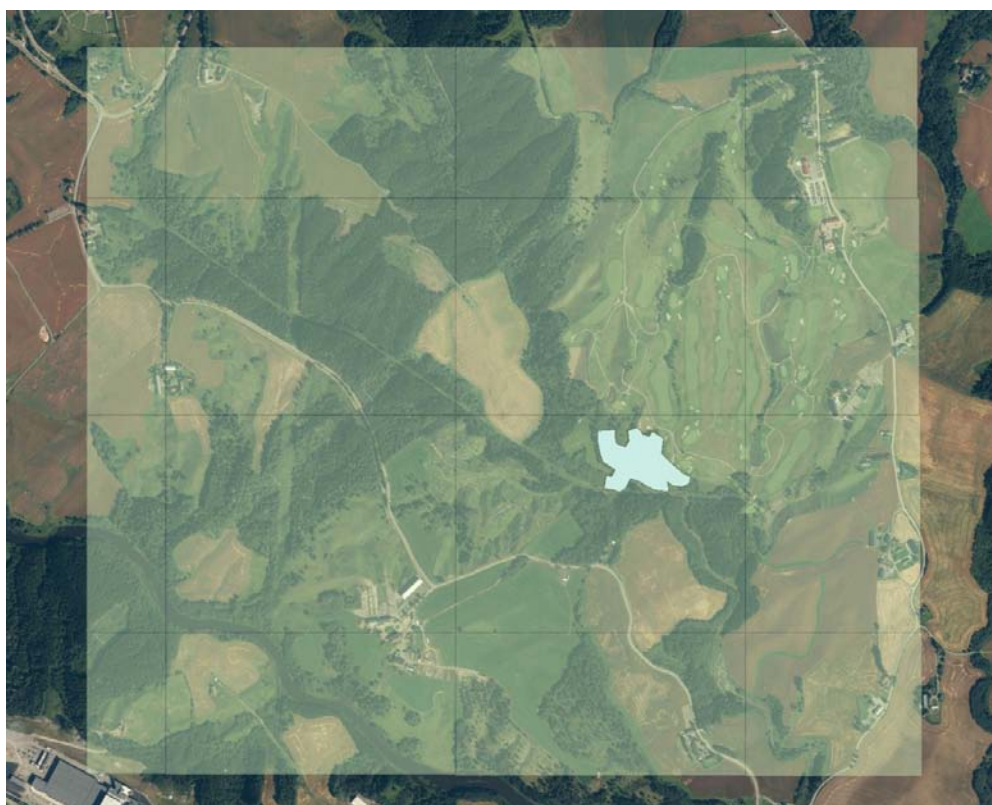
C3: Data fra interesseområde 3 blandet skog sørøst

Clip 3: Blandet skog sørøst				
1 punkt/m2				
April 1st=	133381	Prosentandel=	75.41 %	
April ground=	100587			
September 1st=	142963	Prosentandel=	55.26 %	
September ground=	78995			
5 punkt/m2				
April 1st=	434132	Prosentandel=	46.43 %	
April ground=	201570			
September 1st=	546024	Prosentandel=	19.04 %	
September ground=	103948			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0250	0.1533	1.6894	-1.3983
September	0.1134	0.2172	2.1271	-1.4990
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.0916	0.2004	1.7690	-1.5942



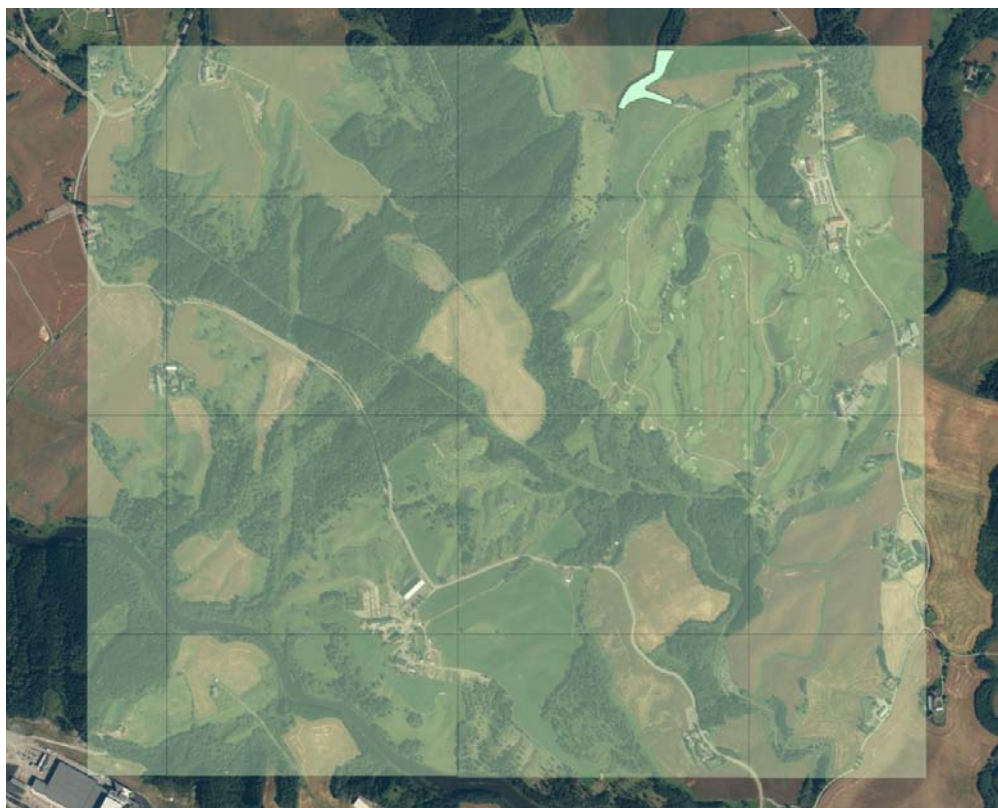
C4: Data fra interesseområde 4 løvskog sørøst

Clip 4: Løvskog sørøst				
1 punkt/m2				
April 1st=	122747	Prosentandel=	73.38 %	
April ground=	90071			
September 1st=	136614	Prosentandel=	37.72 %	
September ground=	51535			
5 punkt/m2				
April 1st=	361560	Prosentandel=	54.75 %	
April ground=	197954			
September 1st=	382818	Prosentandel=	19.60 %	
September ground=	75026			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0038	0.1357	0.7160	-0.8096
September	0.0637	0.2255	1.4420	-1.2315
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.0046	0.2281	1.7013	-1.3488



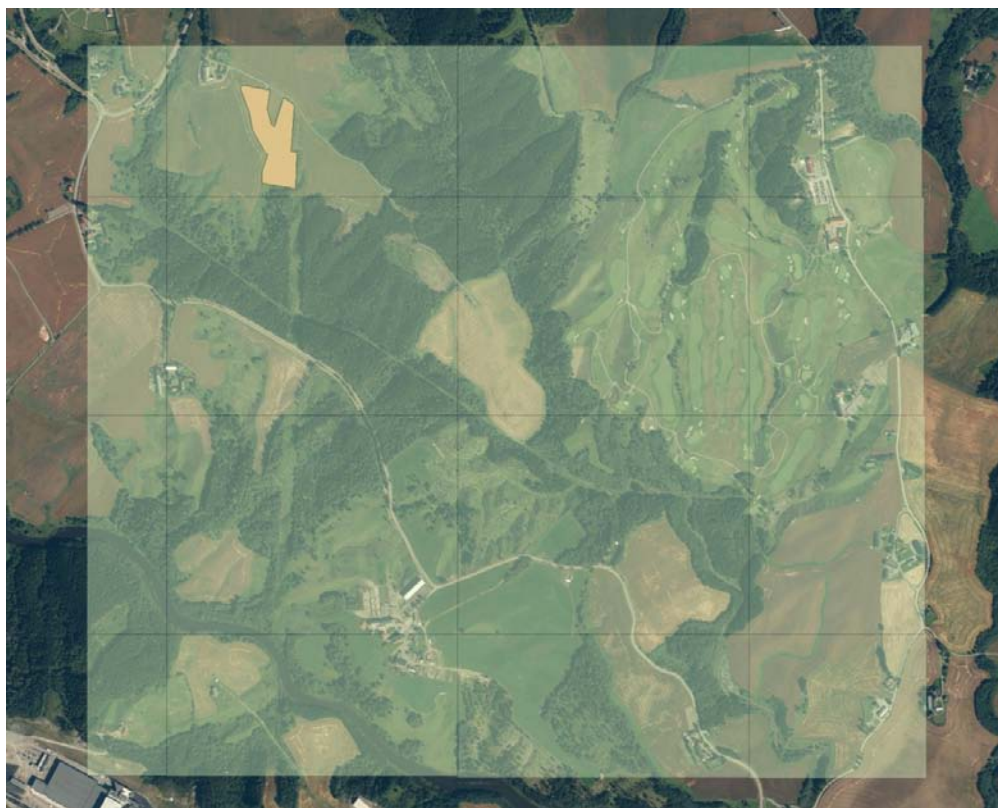
C5: Data fra interesseområde 5 skog bekkeleie nord

Clip 5: Skog bekkeleie nord				
1 punkt/m2				
April 1st=	32781	Prosentandel=	96.38 %	
April ground=	31594			
September 1st=	29944	Prosentandel=	80.75 %	
September ground=	24179			
5 punkt/m2				
April 1st=	133258	Prosentandel=	74.10 %	
April ground=	98746			
September 1st=	157519	Prosentandel=	39.35 %	
September ground=	61991			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	-0.0007	0.1583	1.0446	-1.5670
September	0.0950	0.3010	2.9147	-0.9698
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.0067	0.2251	1.7604	-0.8202



C6: Data fra interesseområde 6 lav vegetasjon Holm

Clip 6: Lav vegetasjon Holm				
1 punkt/m2				
April 1st=	84997	Prosentandel=	92.66 %	
April ground=	78761			
September 1st=	84318	Prosentandel=	68.94 %	
September ground=	58126			
5 punkt/m2				
April 1st=	281426	Prosentandel=	80.67 %	
April ground=	227034			
September 1st=	282379	Prosentandel=	39.43 %	
September ground=	111338			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0397	0.1384	0.9140	-1.3560
September	0.6747	0.4539	3.4266	-1.2634
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.4112	0.4088	2.8925	-0.9743



C7: Data fra interesseområde 7 kornåker midt

Clip 7: Kornåker midt

1 punkt/m2				
April 1st=	137255	Prosentandel=	87.86 %	
April ground=	120586			
September 1st=	143031	Prosentandel=	84.31 %	
September ground=	120586			
5 punkt/m2				
April 1st=	572816	Prosentandel=	95.40 %	
April ground=	546486			
September 1st=	588349	Prosentandel=	55.96 %	
September ground=	329243			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0261	0.0560	0.1826	-0.1694
September	0.1582	0.1354	0.5677	-0.1691
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.0022	0.0944	0.4540	-0.3270



C8: Data fra interesseområde 8 golfbane fairway

Clip 8: Golfbane fairway				
1 punkt/m2				
April 1st=	54780	Prosentandel=	98.22 %	
April ground=	53804			
September 1st=	56243	Prosentandel=	84.61 %	
September ground=	47586			
5 punkt/m2				
April 1st=	158808	Prosentandel=	97.07 %	
April ground=	154160			
September 1st=	146391	Prosentandel=	89.92 %	
September ground=	131637			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0066	0.0222	0.0857	-0.0823
September	0.0937	0.0366	0.1965	-0.0614
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	-0.0371	0.0300	0.0504	-0.1568



C9: Data fra interesseområde 9 Jorde sørøst

Clip 9: Jorde sørøst				
1 punkt/m2				
April 1st=	342973	Prosentandel=	80.92 %	
April ground=	277532			
September 1st=	334240	Prosentandel=	77.35 %	
September ground=	258537			
5 punkt/m2				
April 1st=	1374577	Prosentandel=	92.63 %	
April ground=	1273284			
September 1st=	1296868	Prosentandel=	56.79 %	
September ground=	736510			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0125	0.0450	0.2385	-0.2326
September	0.2109	0.1099	0.7186	-0.2542
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.0978	0.1014	0.6523	-0.2218



C10: Data fra interesseområde 10 lav vegetasjon midt

Clip 10: Lav vegetasjon midt				
1 punkt/m2				
April 1st=	136597	Prosentandel=	79.49 %	
April ground=	108580			
September 1st=	143341	Prosentandel=	54.19 %	
September ground=	77671			
5 punkt/m2				
April 1st=	466708	Prosentandel=	73.90 %	
April ground=	344895			
September 1st=	461143	Prosentandel=	39.97 %	
September ground=	184337			
Høydeforskjell raster 0.5m celler				
1 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
April	0.0100	0.0892	0.7041	-0.5740
September	0.3462	0.2146	2.1550	-0.3596
5 minus 5 punkt/m2 april	Mean:	STD:	Max:	Min:
September	0.0871	0.2071	1.3797	-0.6562

