

SAMKOPIERING AV DATA FRA ULIKE LASERSKANNINGSPROSJEKTER TIL FELLES TERRENGMODELL



INNHold

1.	INNLEDNING	3
1.1.	Oppdragsgiver	3
1.2.	Oppdragstaker	3
2.	TEORETISK DEL	4
2.1.	Innsamling av data og metadata	4
2.2.	Egenkontroll av datasettet	6
2.3.	Merking av laserdata	7
2.4.	Ulike scenarier	7
2.5.	Sammenligning av datasett	10
2.6.	Sammenstilling av datasett	12
2.7.	Generere metadata og oversiktskart	13
2.8.	Oppsummering av teoretisk del	14
3.	PRAKTISK DEL	15
3.1.	Innsamling av data og metadata	15
3.2.	Egenkontroll av datasett	17
3.3.	Sammenligning av datasett	20
3.4.	Sammenstilling av datasett	29
3.5.	Oppsummering av fremgangsmåten i den praktiske delen	35
3.6.	Leveransen	36
4.	KONKLUSJON	37

Oslo, 17. September 2011

Ivar Oveland
Ivar.oveland@blomasa.com

1. INNLEDNING

På oppdrag fra Statens Kartverk har Blom utarbeidet denne rapporten *“Samkopiering av data fra ulike laserskanningsprosjekter til felles terrengmodell”*. Blom har i prosjektet analysert og utviklet metoder for samkopiering av laserdata fra forskjellige opptak der disse varierer i tetthet, nøyaktighet og opptakstidspunkt.

Prosjektet er delt inn i en teoretisk og praktisk del.

- **Teoretisk del**

Hensikten til prosjektet er å avdekke i hvilken grad samkopiering av datasett vil gi en forbedret terrengmodell eller ikke. Flest mulig scenarier skal analyseres og resultatene skal benyttes til krav- og metodeutvikling for samkopiering av laserdata.

- **Praktisk del**

Prosjektets praktiske formål er å utarbeide en anbefalt metodebeskrivelse for hvordan slik samkopiering bør foregå. Dette verktøyet skal lene seg på resultatene fra analysearbeidet.

I den praktiske delen er det benyttet laserdata fra perioden 2005 til 2010 som dekker et valgt område utenfor Hamar.

1.1. Oppdragsgiver

Oppdragsgiver er Statens kartverk Hamar
Prosjektleder er: Bente Kristiansen, Geovekstansvarlig

1.2. Oppdragstaker

Oppdragstaker er Blom Geomatics AS

Blom Geomatics AS
Pb. 34 Skøyen,
N-0212 OSLO
Norway
Telefon: +47 23 25 45 00
Fax: +47 23 25 45 01
epost: firmapost.norge@blomasa.com
F.nr.:NO936888739MVA

Prosjektleder er Ivar Oveland

2. TEORETISK DEL

Sammenstilling av laserdata er en aktuell problemstilling. Mange av utfordringene har paralleller til ajourføring av vektorkart samt vanlige laserprosjekter hvor det forekommer flere innsamlingsdager.

Formålet med en sammenslåing er å få ett datasett å forholde seg til. Dette gir en rekke fordeler i forvaltningen av datasettet. Ved å slå sammen dataene ønsker en å trekke ut det beste fra hvert datasett, som til sammen gir en komplett modell over aktuelt område. En stor utfordring i et slikt arbeid er å definere hva som er det beste datasettet. For å gjøre arbeidet effektivt og automatisk er det viktig å ha klare definisjoner på hva som er best.

2.1. Innsamling av data og metadata

Når en jobber med laserdata er det viktig å ha et bevist forhold til datasettet. Da er det viktig å vite så mye som mulig om datasettet. Informasjon om datasettet vil i det videre arbeidet kalles metadata. Dette er viktig informasjon som kan ha betydning og som kan belyse kvaliteten på datasettet. Følgende metadata kan belyse kvaliteten til datasettet:

- Dato
- Nøyaktighet
- Tetthet
- Vekstsesong/snø
- Klassifiseringsmetodikk
- Flyplan

2.1.1. *Dato*

Med dato menes tidspunktet for datainnsamlingen. Ved store prosjekter vil det være mange innsamlingsdager. Inntil nylig har tidsangivelsen til laserdata blitt gitt i antall sekunder ut i GPS uken. Dette er ikke en entydig tidsangivelse. Vi vet ikke Hvilken uke eller år som er gjeldene. Det er utarbeidet en tidsangivelse som kalles "GPS Standard Time". I denne tidsangivelsen er 0 satt til 6. januar 1980. For å gjøre tallmengden mindre er det vanlig å trekke fra 1000000000.0 sekunder. Dette gir da en entydig beskrivelse av tiden.

For eldre prosjekter kan det være problematisk å finne riktig tidsinformasjon, men tilfredsstillende informasjon om tid kan hentes fra rapporten. For nyere prosjekter kan informasjonen hentes direkte i LAS-formatet.

Tidsangivelsen kan lagres i feltet for tid i LAS-formatet og da som "GPS standard time". Dette vil være den mest nøyaktige metoden som også vil løse problemstillingen for de større prosjektene hvor det er mange innsamlingsdager.

Alternativt kan det lagres på et annet egnet felt i las formatet, men da som dato. Det er da viktig at datoen er entydig. Siden det eksisterer få laserprosjekter fra tiden før år 2000 antas det tilstrekkelig å angi årstallet med 2 siffer. For å kunne angi en entydig dato vil det da være behov for 6 siffer. Ved å plassere året først vil sorteringen etter dato bli relativt enkel. Følgende datoangivelse anbefales: ÅÅMMDD eks 110317 tilsvarer 17. mars 2011. En slik organisering gir at høyest tall gir nyest dato.

2.1.2. Nøyaktighet

Vi kan dele nøyaktighet i 2 typer, relative nøyaktighet og absolutt nøyaktighet. Relative nøyaktighet gir et uttrykk for homogeniteten og støynivået til datasettet. Den absolutte nøyaktigheten ser på det totale bildet og sier noe om hvor godt datasettet passer med det gitte høydesystemet.

2.1.3. Tetthet

Verdien angis i punkt/m². En kan beregne den midlere tettheten for hele prosjektet, men det som er mest hensiktsmessig er å beregne tettheten innenfor mindre delområder. Det er blitt vanlig å operere med delområder med størrelse på 10x10 meter. Denne størrelsen er hensiktsmessig fordi den fanger opp variasjonene innad i en stripe.

2.1.4. Vekstsesong/snø

Vekstsesong angir hvor tett vi kan forvente at vegetasjonen er. Et annet moment er å sannsynliggjøre snømengden. Ved å angi vekstsesong kan en også gi et anslag på snømengden. Her vil det være store usikkerhetsmomenter. Det er ønskelig at snømengden er 0.

En måte å dele inn vekstsesongen på kan være:

Nummer	Beskrivelse
0	Tidlig vår
1	Sein høst etter løvfall
2	sein vår
3	sommer/tidlig høst
4	Vinter

Her deles vekstsesongen inn med numeriske tall slik at et lavt tall betyr lite vegetasjon og et høyt tall betyr mye vegetasjon.

2.1.5. *Klassifiseringsmetodikk*

Det som er viktig er å redegjøre for om den automatiske bakkeklassifiseringen er kontrollert manuelt eller ikke. Denne informasjonen gir indikasjoner på hvor godt punktene er klassifisert.

2.1.6. *Flyplan*

Flyplanen er en viktig faktor når en skal sammenstille punktskyer. Flyplan er med på å sannsynliggjøre den forventede nøyaktigheten, punktettheten, punktfordeling og penetreringsevne. Det kreves noe kjennskap til laserskanning for å kunne hente ut slik informasjon.

2.2. **Egenkontroll av datasettet**

Metadata gir viktig informasjon om datasettet. Med egenkontroll av datasettet menes kontroll av metadata. For noen år tilbake var krav om dokumentasjon ganske begrenset. Dette har bedret seg kraftig de siste årene. Det har nå blitt utarbeidet detaljerte kravspesifikasjoner til rapportering og dokumentasjon. Denne dokumentasjonen er meget viktige data for å vurdere metadataenes kvalitet.

I dag er det vanlig å estimere en RMS-verdi for områdene med overlappende striper. Da brukes z-verdien fra forskjellige striper til å estimere en RMS-verdi. Dersom datasettets relative nøyaktighet er bra vil RMS plottet vise en lav verdi. Ved å lete etter systematiske mønster i RMS-plottet kan en avdekke unøyaktigheter i systemkalibrering samt unøyaktigheter i eventuell stripevis justering av datasettet. En begrensing i RMS plottet er at en kun får informasjon i områdene med overlappende striper. Eldre leveranser ble ofte levert på ASCII format som inkluderte koordinatverdiene og i enkelte tilfeller intensitetsverdiene for punktene. Dette er dessverre ikke nok informasjon til å utarbeide et RMS plott.

Et moment som er viktig å undersøke er eventuelle konstante høydeavvik mellom datasettene. En metode baserer seg på en manuell metode. Første steg er å identifisere områder som en kan anta er stabile i høyde. Slike områder kan være gårdsplasser, veier og lignende. Deretter sammenlignes høydenivået manuelt ved å tegne vertikale profiler over de valgte områdene.

Den beste metoden for å identifisere eventuelle høydeavvik mellom datasettene er å benytte landmålte kontrollflater. Det er da viktig at kontrollflatene befinner seg på områder som over tid har liten forandring i høyde.

2.3. Merking av laserdata

Dataene kan merkes på 2 forskjellige metoder:

1. Generere polygoner som angir godkjente data
2. Kode laserdataene direkte på las formatet ved å bruke ledige datafelt.

2.4. Ulike scenarier

Avsnittet gir en oversikt over de scenariene som kan gi en forskjellig høydeverdi i 2 forskjellige datasett. Dette er ikke en komplett oversikt, men skal gi et godt utgangspunkt for videre praktisk arbeid med sammenstilling av data. Scenariene deles opp i følgende hovedgrupper:

1. Instrumentavhengighet
2. Flyplan
3. Vekstsesongavhengighet
4. Naturlige terrengforandringer
5. Menneskeskapte terrengforandringer
6. Unøyaktig klassifisering av bakkepunktene

2.4.1. *Instrumentavhengighet*

Alle lasersystemer har forskjellige egenskaper. De største forskjellene finner vi mellom ulike leverandører. Det er mange forskjellige egenskaper som kan spille inn men 2 effekter kan være verd å merke seg. Den ene effekten er relatert til systemets håndtering av signalstyrker. Optech Gemini instrumentene har en nøyaktighet som varierer med intensitetsnivået. Dette betyr at veldig lave intensitetsverdier har en lavere nøyaktighet enn de normale verdiene. Vi snakker da om målinger med intensitetsverdi fra 0 til 2.

Leica ALS 60 er konstruert på en annen måte enn Optech Gemini systemet. Dette gjør at målinger med lav intensitet normalt sett er ok. Derimot vil verdiene med maks verdi (255) kunne ha en lavere nøyaktighet enn de punktene med normal verdi.

De lasersystemene som er mest brukt i Norge har et speil som fordeler ut laserpulsene. For instrumenter med vippespeil er det veldig viktig å ha god kontroll på vippespeilets bevegelse. Der speilet retarderer eller akselerer er det utfordrende å modellere bevegelsen. Dette gjør at punktene som er samlet inn hvor speilet retarderer eller akselerer kan ha lavere nøyaktighet enn de resterende punktene.

2.4.2. *Flyplan*

Se kapittel 2.1.6

2.4.3. *Vekstsesongavhengighet*

Med vekstsesongavhengige scenarier menes en situasjon der snø eller tett vegetasjon gjør at laserpulsene ikke når ned til den virkelige bakken.

En usikkerhet er at bonden pløyer åkrene. Det tilføres normalt ikke mer jord, men jorden kan bli "mer luftig" og dermed ta noe større plass. Jordet vil da kunne få høyere z verdi. I denne studien er det ikke tatt hensyn til denne effekten.

2.4.4. *Naturlige terrengforandringer*

Med naturlige terrengforandringer menes forandringer som naturen selv kan utføre i en tidsperiode på ca. 10 år.

Ulike fenomener som kan påvirke terrenghøyden:

- Erosjon som følge av vind og vann. F.eks. forandring i elveleie, elvedelta
- Ras fra fjell, stein, jord, leire, snø, is, etc.
- Frostrelaterte fenomener telehiv, palsmyrer, etc.
- Postglasial landhevning og interkontinental plateforskyvning

Landhevning vil i et normalt datasett være tatt høyde for. Dette blir tatt høyde for i GNSS beregningene. Ved GNSS metoden Precise point position (PPP) blir landhevningen korrigert for v.h.a landhevningsmodeller. Dette krever at modellen er av god kvalitet. Det er i dag Statens kartverk som har ansvaret for å utarbeide gode landhevingsmodeller. Ved differensiell GNSS beregning bruker en GNSS basestasjoner. Her vil basestasjonen oppleve den tilnærmende samme landhevningen som prosjektområdet. Ved differensiell GNSS er en ikke avhengig av landhevningsmodellen, men metoden tar ikke hensyn til de lokale variasjonene i landhevningen. Med dette menes den variasjonen i landhevningen som forekommer mellom GNSS stasjonene som er brukt i området. Normalt sett vil denne være meget liten og ikke mulig å identifisere.

2.4.5. *Menneskeskapte terrengforandringer*

Menneskeskapte terrengforandringer er forandringer som mennesker har utført på terrenget. Dette gjelder da store masseforflytninger, bygg og anleggsvirksomhet.

2.4.6. *Unøyaktig klassifisering av bakkepunkt*

Med unøyaktig klassifisering av bakkepunkt menes scenariene:

- Falske punkt som ligger under bakken klassifisert som bakkepunkt
- Bruer, verandaer, kjellernedganger etc. klassifisert som bakkepunkt
- Vegetasjonspunkt klassifisert som bakkepunkt
- Reelle bakkepunkt som ikke er klassifisert som bakke

2.5. Sammenligning av datasett

For å analysere dataene er det 2 ulike fremgangsmåter som kan benyttes.

1. Analyse på punktnivå
2. Analyse på gridnivå

Fremgangsmåtene har forskjellige egenskaper i de forskjellige analyseverktøyene. Hvilke analyser som skal utføres vil derfor være med på å bestemme hvilken metode som blir benyttet.

Følgende analyser er hensiktsmessig å utføre:

- Dz-modell på punktnivå
- Standardavvik på grid-nivå mot alle punkt
- Standardavvik på grid-nivå mot bakke punkt
- Punktetthet på grid-nivå

2.5.1. *Dz modell*

For å kunne sammenligne flere datasett vil det være hensiktsmessig å velge et referansedatasett. Referansedatasettet bør være heldekkende og ansett som et anvendbart datasett. Med dette menes at datasettet bør være av relativt god kvalitet slik at deler av datasettet vil være det beste alternativet.

Når referansedatasettet er valgt kan en sammenligne datasettene. Dette gjøres ved å ta hvert enkelt punkt fra et datasett å drapere det ned på en triangulert modell av referansedatasettet. Denne metoden brukes til å finne et høydeavvik til referansedatasettet. Dette gir oss en dz modell for et gitt datasett, som beskriver høydeavviket mellom et gitt datasett og et referansedatasett. Analysen gir oss en detaljert oversikt over hvor godt datasettene passer sammen.

2.5.2. *Arbeidsregler, hva er best*

Ved sammenstilling av datasettene er det viktig å ha klare retningslinjer som bestemmer hvilke datasett som er godkjente. Retningslinjene må også definere hvilke prioriteter som skal gjøres.

Generelt sett ønsker en å bruke datasettet med best mulig kvalitet. I vårt testområde har det nyeste datasettet dtm20 kvalitet, mens resterende har dtm10 kvalitet og bedre tetthet. Generelt sett ønsker en da å bruke de mest nøyaktige datasettene. Dette gjelder derimot ikke om det har forekommet en signifikant og reell forandring av terrenget. I en slik situasjon ønsker en å benytte seg av det nyeste datasettet selv om dette er av dårligere kvalitet.

2.5.3. *Standardavvik på grid-nivå mot alle punkt*

Denne analysen kan brukes til å finne om terrenget inneholder skog eller ikke. Dersom standardavviket er høyt er det sannsynlig at terrenget har vegetasjon. Dersom datasettet av ny og gammel årgang inneholder vegetasjon kan en se for seg at det ikke er utført noen menneskeskapte terrengforandringer. Om ikke dette er tilfelle er det sannsynlighet for unøyaktig klassifisering eller dårlig penetrering.

Dette er nyttig informasjon når en automatisk ønsker å sannsynliggjøre et scenario.

2.5.4. *Standardavvik på grid-nivå mot bakkepunkt*

Standardavvik på grid-nivå mot bakkepunktene gir en indikasjon på støynivået, men må brukes med forsiktigheten fordi verdien er korrelert med terrengets stigning.

2.5.5. *Punktetthet på grid-nivå mot alle punkt*

Punktetthet er en veldig viktig parameter. Punktetthet og nøyaktighet er i dag ganske korrelert. Dette er tilfelle siden prosjekter med høy tetthet ofte er utført med en lav flyhøyde. Tradisjonelt gir lav flyhøyde høy nøyaktighet. Dette betyr at punktsetthet kan være en indikator på nøyaktighet.

2.5.6. *Punktetthet på grid-nivå mot bakkepunkt*

Dersom det er få punkter i bakkemodellen er sannsynligheten større for at bakkepunktene definerer bakken på en mindre detaljert måte. Det kan da forekomme at enkelte bakketopper og lignende ikke er klassifisert som bakkepunkter. Et annet eksempel er hvor få laserskudd har penetrert vegetasjonen.

Punktetthet på grid nivå vil ikke kunne avsløre tilfellene der laseren ikke har penetrert vegetasjonen som eksempel på høye kornåkrer.

2.6. Sammenstilling av datasett

I dag er mange i en situasjon der de har flere datasett for samme område. Ved å sammenstille datasettene vil en forenkle den daglige bruken av dataene. Det er forskjellige metoder for å sammenstille datasett. Dette avsnittet gir en beskrivelse av noen av dem.

2.6.1. *Ny klassifisering*

Et mål i sammenstillingen av datasettene har vært å minimere det manuelle arbeidet. Ny klassifisering av punkt leder ofte til manuelt arbeid. Dette er en reell løsning på selve arbeidet med sammenstillingen av datasettene. Det er mange fordeler knyttet til en slik løsning. Med en slik løsning vil de godkjente områdene fra de forskjellige datasettene kunne legges sammen i en felles punktsky. Deretter kan en utføre en ny automatisk bakkeklassifisering hvor en tar utgangspunkt i de originale bakkepunktene. Dette vil sikre fine overganger mellom datasettene samtidig som en bevarer den best mulige punktettheten. Når en bare bruker de originale bakkepunktene vil en ny klassifisering av bakken kreve lite manuelt kontrollarbeid.

For at en slik løsning skal gi et godt resultat er det viktig å sortere ut dårlige områder. Dette gjelder områder som inneholder følgende scenarier:

- Unøyaktig klassifisering, klassifiserte bakkepunkt som ligger lavere enn den reelle bakken
- I områder hvor det er en reelle forandringer i terrenget som har ført til en heving av bakkenivå må eldre datasett forkastes

Metoden forutsetter følgende:

- Det forutsettes at datasettene som sammenstilles har relativt likt støynivå
- Det må ikke forekomme konstante avvik mellom datasettene.

Ved å slå sammen alle godkjente data fra forskjellige datasett vil en kunne tenke seg at det nye datasettet vil arve nøyaktigheten til det minst nøyaktige datasettet. Om en blander et datasett med DTM10 kvalitet med et DTM20 datasett vil det nye datasettet ha DTM 20 kvalitet.

2.6.2. *Utselgelse av datasett*

Denne metoden går ut på å velge seg ett datasett som skal benyttes innenfor et bestemt område. Metoden gir en relativt enkel fremgangsmåte.

Ulemper:

- Det er vanskelig å få til jevne skjøter mellom områdene
- Benytter seg ikke av fordelene med å ha flere observasjoner på samme område

2.6.3. *Grid-nivå*

De marine virksomhetene har jobbet med sammenstillingsproblematikk i en årrekke. Selskapet Olex AS <http://www.olex.no/> har en løsning hvor ekkolodd data fra fiskere samles inn i en felles havbunnsdatabase. Denne løsningen jobber normalt sett på et 5x5 meters grid. Tanken er at fiskerne kan levere inn ekkolodd-data til en felles base mot at de får tilbake data fra denne basen. Metoden for sammenstillingene av de innsamlede dataene fra fiskerne er ukjent, men baserer seg på statistiske prinsipper.

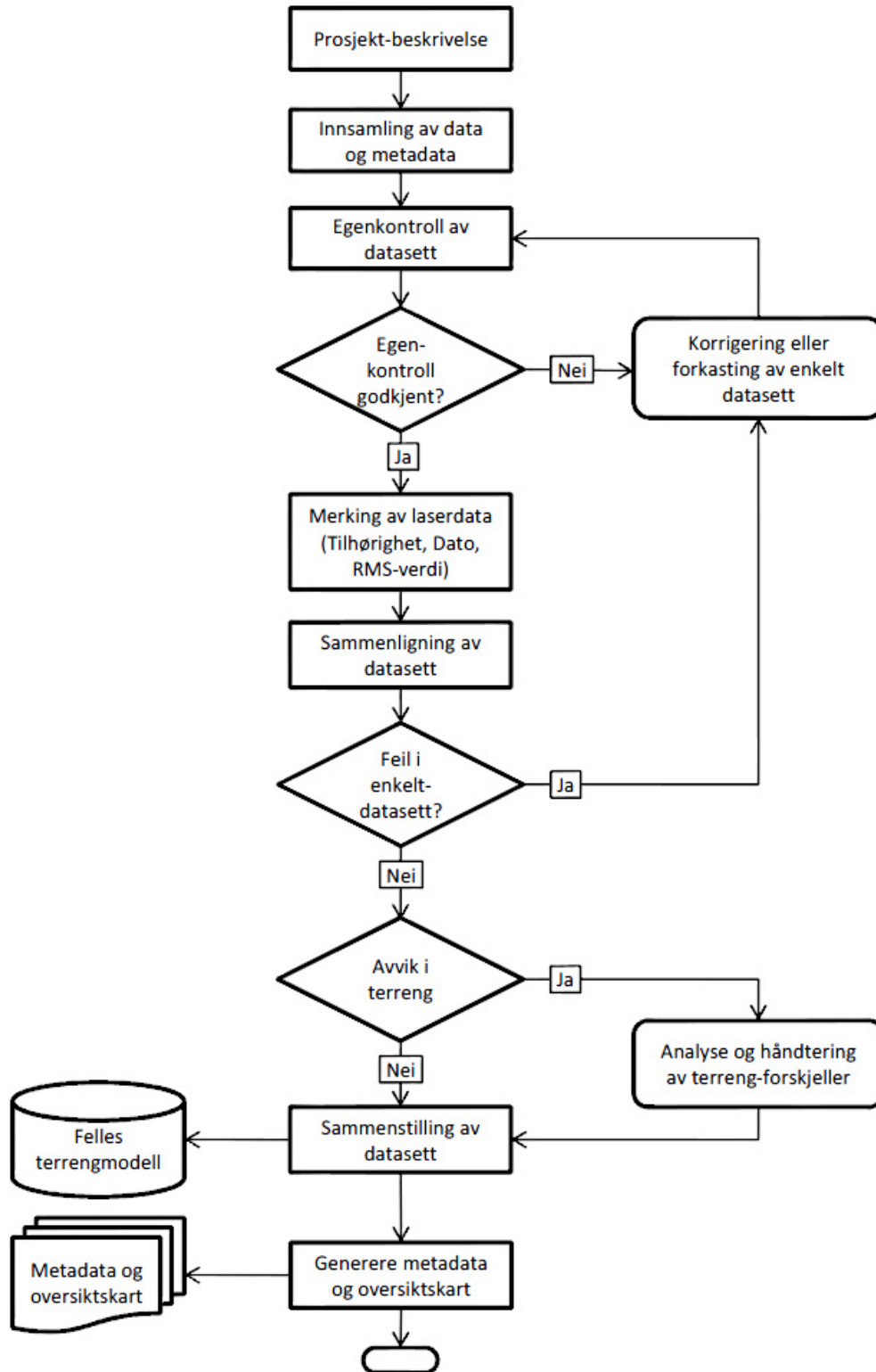
2.7. **Generere metadata og oversiktskart**

Etter at dataene er sammenstilt er det viktig å generere ny metadata for datasettet. Da er det viktig å dokumentere:

- En oversikt over de opprinnelige metadataene
- Resultatet fra kontrollen av metadataene
- Dokumentere hvilke data som er godkjent
- Dokumentere hvilke data som er ekskludert

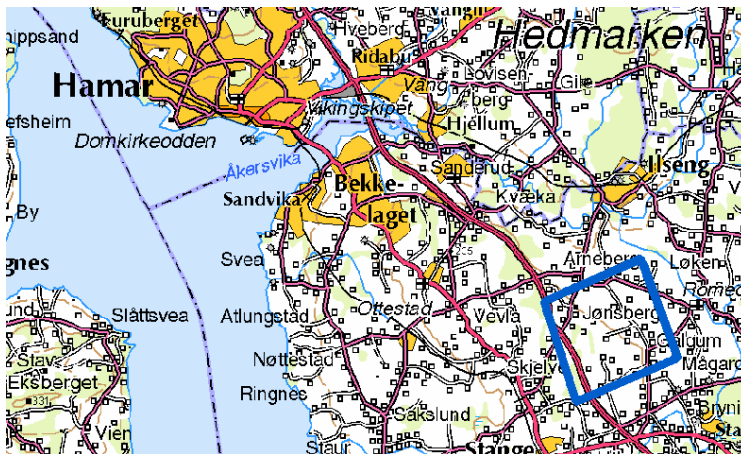
2.8. Oppsummering av teoretisk del

De forskjellige deloppgavene beskrevet i den teoretiske delen kan sammenfattes i følgende flytskjema:



3. PRAKTISK DEL

Den praktiske delen tar utgangspunkt i data tilgjengeliggjort av Statens kartverk Hamar. I Hedmark er det utført en rekke laserskanninger i siste årene. Skanningene er utført med forskjellige instrumenter og med forskjellige punktetthet. Dette gjør at denne regionen egner seg godt for et slikt prosjekt. I den praktiske delen er det valgt ut et lite område som er laserskannet 4 forskjellige år.



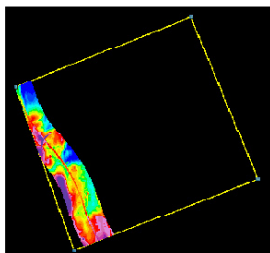
Blå firkant viser lokaliseringen av prosjektområdet

3.1. Innsamling av data og metadata

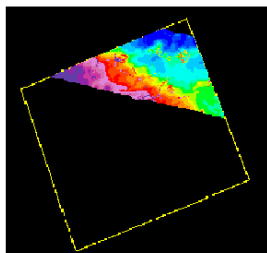
I utarbeidelsen av denne rapporten er det valgt et område hvor det har vært utført 4 separate skanninger.

Prosjekt navn	Datsett	År	Dato	Tid (UTC)
DTM_Hedmarken_E6_Hamar_stange	B	2005	-	-
DTM_HeOp_Loten_Stange_Hamar	C	2007	5. juni	10:39 – 10:42
DTM_Stange	D	2008	14. mai	10:56 - 11:41
DTM_Hamar	E	2010	8. august	9:34 – 12:51

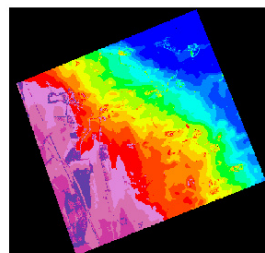
Datsett B



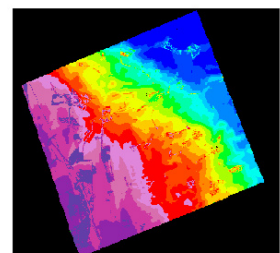
Datsett C



Datsett D



Datsett E



Metadata ble hentet fra rapporten for hvert enkelt prosjekt.

Datasett	stripe	Klassifisering	Koord. system	UT M	Originalt	Høyde-system	Ant. Kont.flater
B	-	-	EUREF89	32	Href2004e	NN2010b	min 3
C	37	Aut + man	EUREF89	32	href2007b	NN2010b	2
D	2-7	Aut + man	EUREF89	32	Href2007b	NN2010b	4
E	121-124, 144	Aut + man	EUREF89	32	href2008a	NN2010b	12

Metadataene gir et inntrykk av kvaliteten til hvert enkelt datasett. Denne informasjonen er viktig og danner grunnlaget for det videre arbeidet.

Datasett	Laser system	SN	AGL	PRF	Sc freq	half angle	Fart	tetthet	Kvalitet	RMS
<u>B</u>	<u>TOPEYE, MKII</u>	-	<u>600</u>	<u>50000</u>	-	<u>20</u>	<u>56</u>	<u>4</u>	<u>>DTM10</u>	<u>Ca 0.05</u>
<u>C</u>	<u>Optech, Gemini</u>	<u>05SEN180</u>	<u>1150</u>	<u>100000</u>	<u>40</u>	<u>24.5</u>	<u>75</u>	-	<u>DTM10</u>	<u>0.1</u>
<u>D</u>	<u>Optech, Gemini</u>	<u>05SEN180</u>	<u>1100</u>	<u>100000</u>	<u>47</u>	<u>21</u>	<u>75</u>	<u>1.4</u>	<u>DTM10</u>	<u>0.1</u>
<u>E</u>	<u>Optech, Gemini</u>	<u>05SEN180</u>	<u>1600</u>	<u>70000</u>	<u>33</u>	<u>16</u>	<u>80</u>	<u>0.7</u>	<u>DTM20</u>	<u>0.2</u>

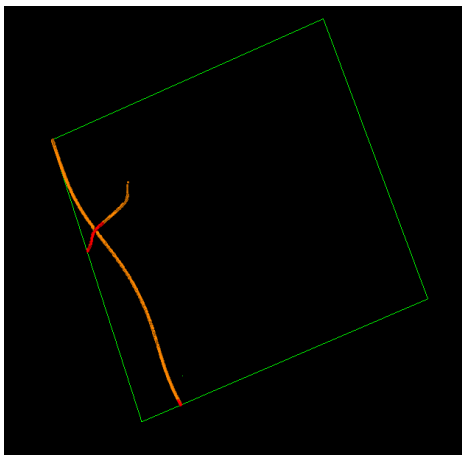
Både datasett D og E er fulldekkene og egner seg ut i fra dette kriteriet som referansedatasett. Videre har D høyere tetthet og bedre nøyaktighet. Dette gjør at D blir valgt som referansedatasett selv om dette ikke er det nyeste datasettet.

3.2. Egenkontroll av datasett

For å kontrollere datasettene er dataene plassert i et felles laser prosjekt.

3.2.1. Høydeoffset mellom datasett

Første undersøkes datasettene for eventuelle høydeskift. Statens vegvesen har levert landmålte kontrollpunkt langs veibanen vest i prosjektområdet.



Plottet viser plasseringen av de landmålte kontrollpunktene.

Ved å sammenligne de landmålte punktene med bakkemodellen kan en estimere et høydeavvik for hvert datasett. De landmålte punktene er transformert til høydesystemet NN2000. Grove feil er utelatt i resultatene.

Datasett	midlere avvik	st.dev
B	-0.020	0.020
C	-	-
D	-0.057	0.042
E	-0.033	0.043

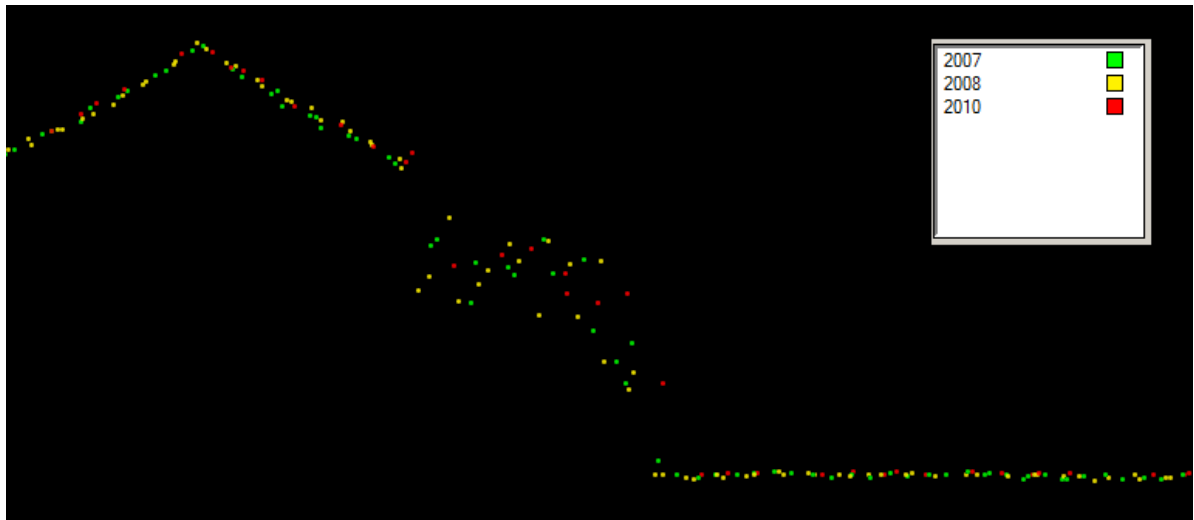
Tabellen viser resultat fra høydekontrollen

Datasett D utmerker seg med et noe høyt avvik. Alle datasettene har høydeavvik i samme retning. Dette indikerer at den absolute nøyaktigheten kan forbedres ved en justering av datasettene. I et normalt prosjekt ville det derfor være naturlig å justere for dette høydeavviket. Det er derimot ikke utført noen høydejustering i dette prosjektet. Her er datasettene allerede justert i sine opprinnelige prosjekter. For å utføre en høydejustering ville det vært fornuftig å kikke tilbake på den opprinnelige justeringen. Dette sikrer at det store og hele bildet blir ivaretatt.

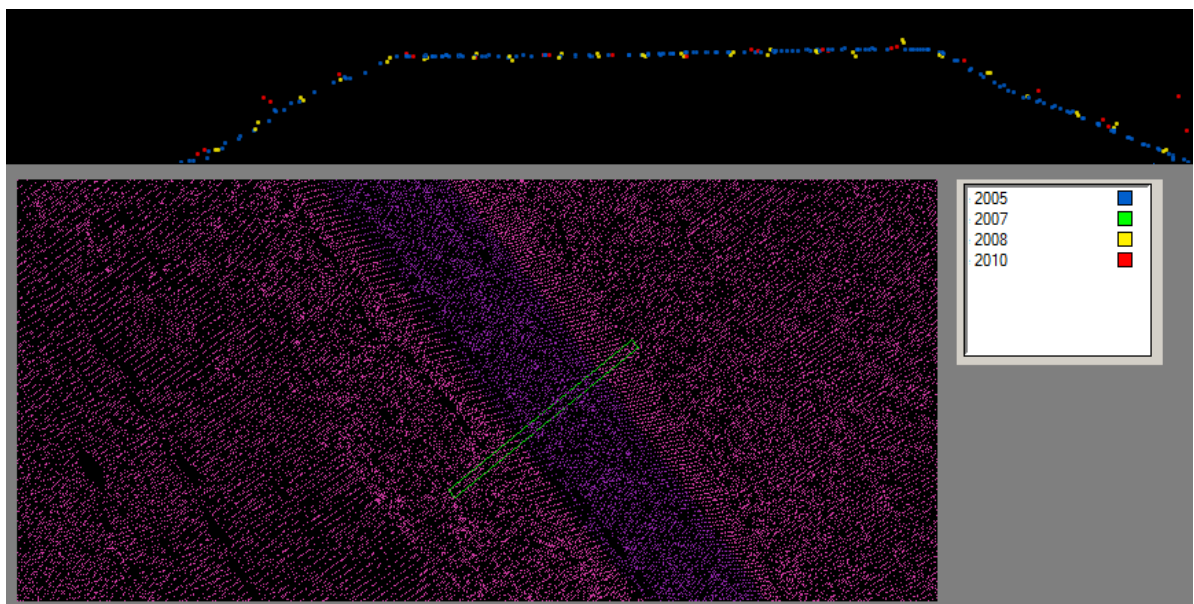
Resultatet viser at dataene spriker relativt lite i høyde. Det maksimale spriket er 0.037 meter. Dette indikerer den relative nøyaktigheten mellom datasettene og ut i fra dataenes kvalitet antas dette for å være godt nok.

De estimerte standardavvikene gir et bedre resultat en hva metadataene tilsier. Dette tyder på at metadataene ikke lover mer enn de kan.

Datasett C dekkes ikke av de landmålte punktene. For å kontrollere høydenivået til datasett C ble det utført en mer manuell kontroll. Det ble valgt ut steder som antatts å være stabile. Deretter sammenlignes datasettene.



Plottet over viser høydenivået mellom datasettene C, D og E.

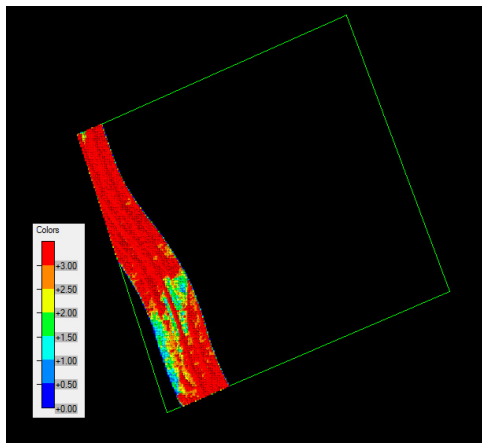


Plottet over viser høydenivået mellom datasettene B, D og E.

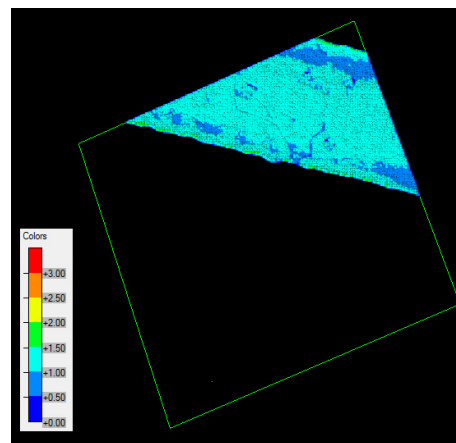
Ut i fra denne visuelle kontrollen samt høydeavviket til de kontrollmålte punktene antas det at høydeavvikene mellom datasettene er akseptabelt.

3.2.2. Kontroll av tetthet

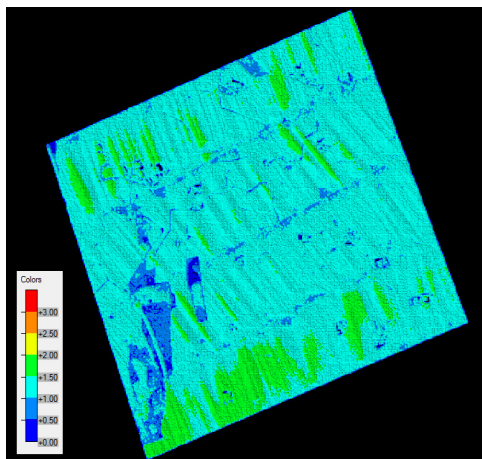
I den praktiske utførelsen er det lagt vekt på bakkepunktene. Tetthetsanalysen er derfor utført på bakkepunktene. Denne analysen gir et godt bilde på hvor mange punkt som er med i bakkeklassen. I områder med få punkter kan det være svakheter i bakkeklassifiseringen eller tett vegetasjon med svak penetrering. Resultatet avdekker ikke områder hvor laserskuddene ikke har penetrert vegetasjonen.



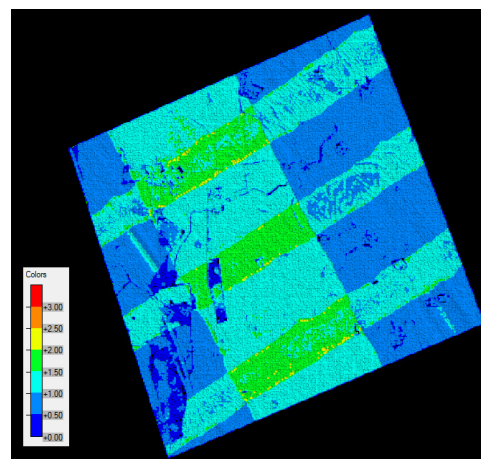
Datsett B



Datsett C



Datsett D



Datsett E

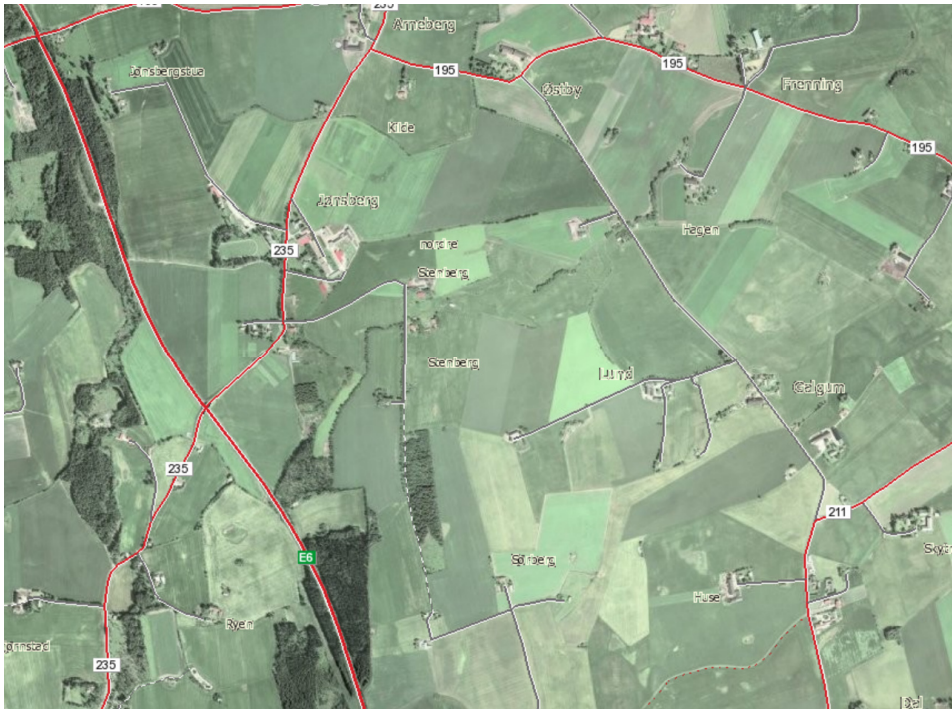
I plottene over er punktettheten er beregnet ved å analysere delområder på 10 x 10 meter. Datsett B har høyest tetthet.

Den midlere tettheten er estimert ved å analysere hele området:

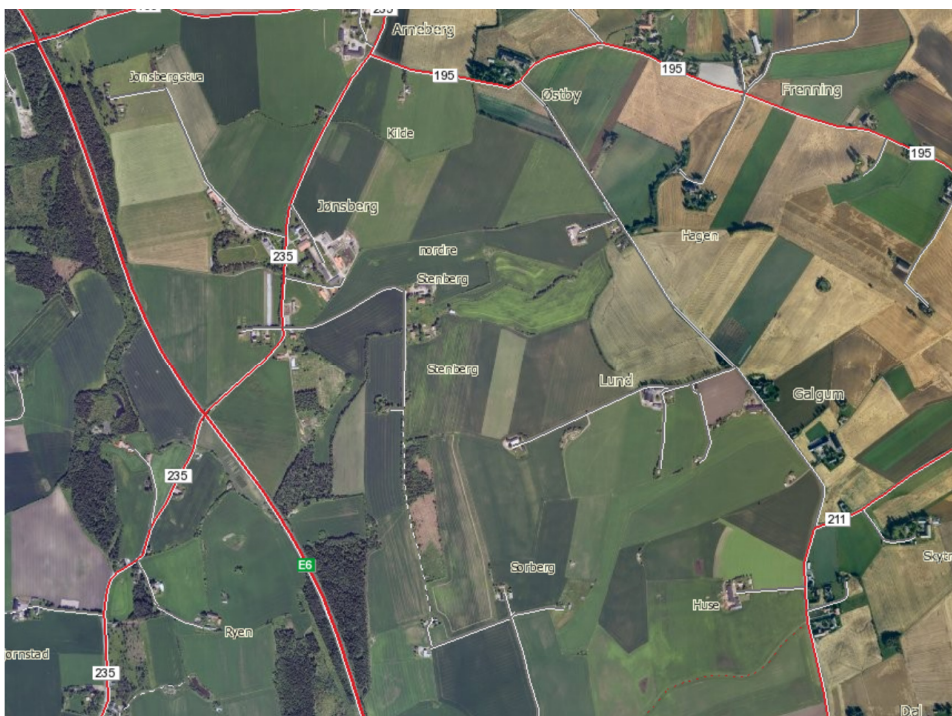
Datsett	Midlere tetthet bakkemodell (ρ/m^2)
B	3.4
C	1.0
D	1.3
E	1.0

3.3. Sammenligning av datasett

Når en skal sammenligne datasett er all informasjon om område nytting. Det er derfor nyttig å ha flyfoto, ortofoto og god lokalkunnskap til området. Fra www.norgebilder.no ble det funnet at det eksisterer 3 ortofoto som dekker prosjektområdet. Fotodatoene er 1. august 2002, 19. juni 2005, 9. september 2005 og 16. juni 2010. Ortofotoene er meget nyttig og øker sikkerheten i sammenslåingsprosessen.



Ortofoto fra 2002 (www.norgebilder.no)

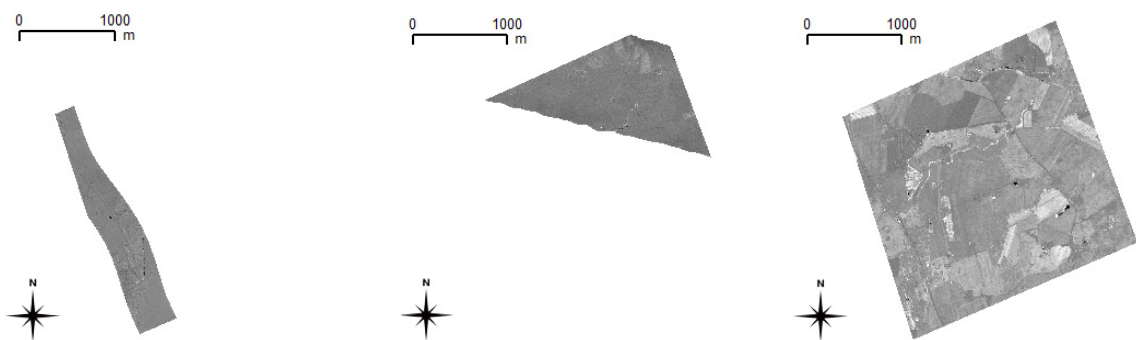


Ortofoto fra 2005 (www.norgebilder.no)



Ortofoto fra 2010 (www.norgebilder.no)

For å sammenligne datasettene er det utført en høydekontroll. I den praktiske gjennomføringen er datasett D valgt som referansedatasett. I høydekontrollen blir hvert enkelt bakkepunkt drapert ned på en triangulert modell av referanseflaten. Differansen mellom originalpunktet og det draperte punktet blir det som kalles høydeavviket, eller dz-verdien.



Datasett D vs. B

Datasett D vs. C

Datasett D vs. E

Resultatet over er presentert med gråtoneverdier. En mørk farge indikerer et lite høydeavvik fra referanseflaten, mens en lys farge representerer et stort høydeavvik. Ut i fra dette ser en at datasett E skiller seg ut med relativt store avvik.

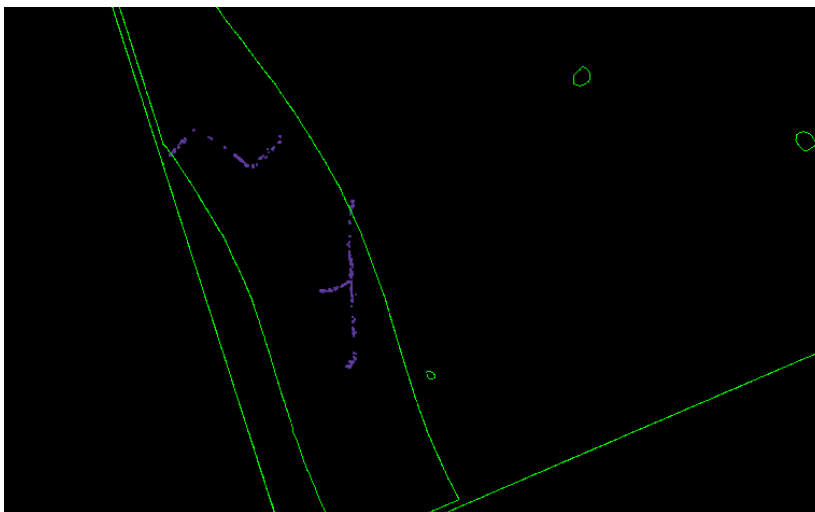
Det antas at det ikke er signifikante høydeavvik mellom datasettene og at feilen er normalfordelt. Videre antas det at de forskjellige datasettene har følgende standardavvik:

Datasett	Kvalitet	St.dev	3 sigma
B	>DTM10	Ca 0.05	+/- 0.15
C	DTM10	0.1	+/- 0.30
D	DTM10	0.1	+/- 0.30
E	DTM20	0.2	+/- 0.60

Når feilen er antatt å være normalfordelt vil alle målinger som avviker mer enn 3 sigma nivået være potensielle terrengforandringer. Ut i fra denne tankegangen er derfor høydeavvik større eller mindre enn 3 sigma nivået undersøkt.

I den følgende analysen er punkter som er innenfor 3 sigma nivået er fjernet. I tillegg er en rekke enkeltpunkt i skogsområder fjernet manuelt.

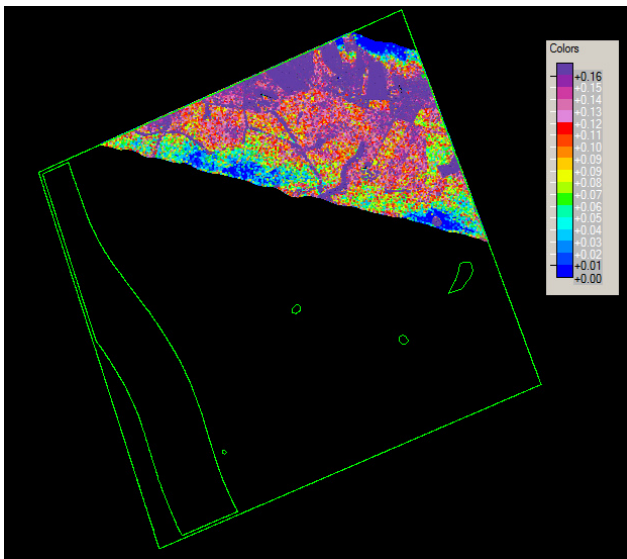
3.3.1. Datasett D vs B



Plottet viser punkter som har høydeavvik ut over 3 sigma nivået (+/- 0.3 meter)

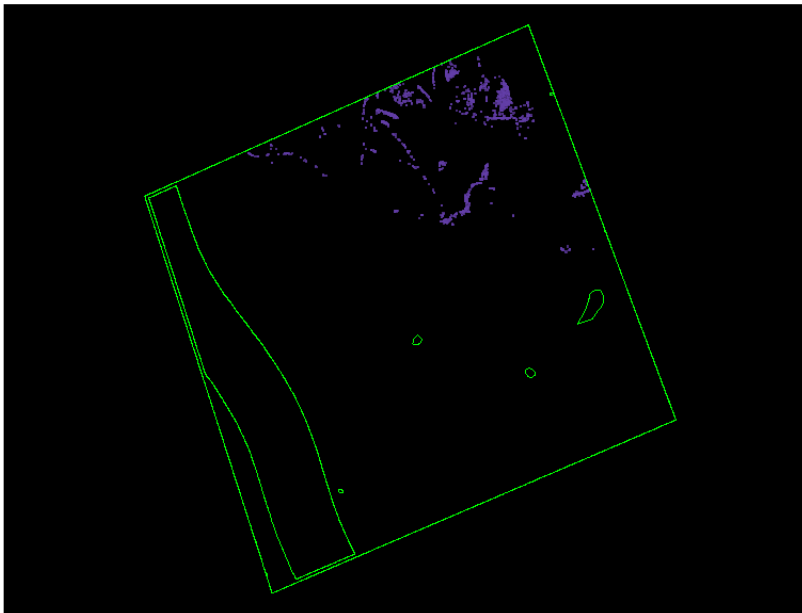
Årsaken til det høydeavviket i skyldes dårlig penetrering av vegetasjon kombinert med klassifiseringssvakheter. Datasett B har den høyeste tettheten og den beste penetreringsevnen. Det er ikke påvist store terrengforandringer i datasett B. Det gjør at datasett B blir brukt i sin helhet. Datasett B, D og E har forskjellig nøyaktighet. Dersom datasett B, D og E blandes vil datasettet arve nøyaktigheten til datasettet med lavest nøyaktighet. For å bevare den høye nøyaktigheten til datasett B er det derfor valgt å ekskludere datasett D og E i området som dekkes av datasett B.

3.3.2. Datasett D vs C



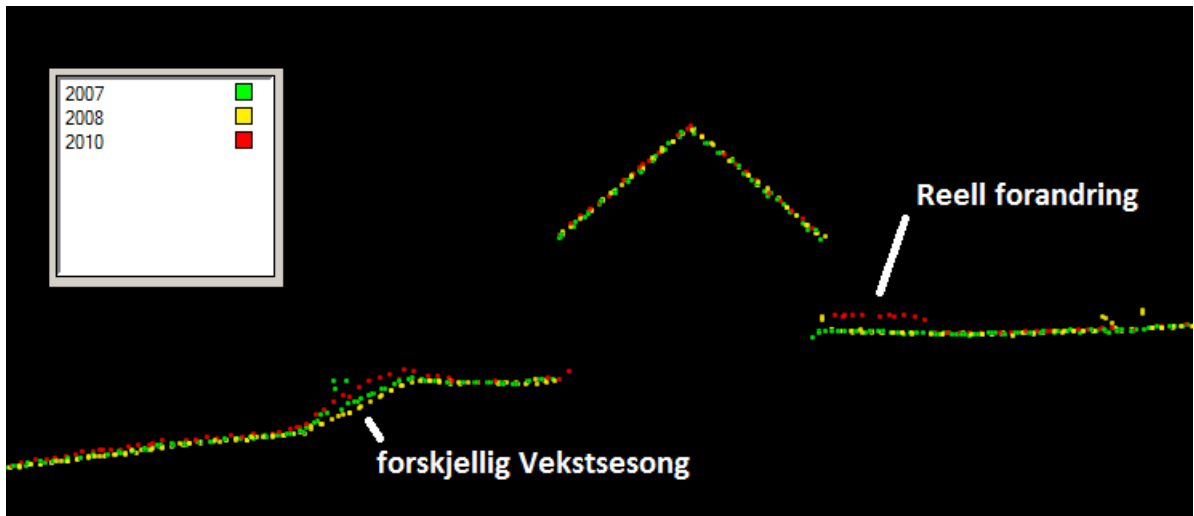
Plottet over viser alle høydeavvik for datasett C.

I plottet over fremkommer et gitt mønster hvor kanten av skannet er blåere enn det resterende datasettet. Siden Datasett C kun inneholder 1 stripe kan en forestille seg at punktene i kanten av skannet har en restfeil fra systemkalibreringen av lasersystemet. Det er derfor valgt å ekskludere store deler av de blå områdene langs kanten av skannet. Dette kan virke som en litt underlig konklusjon siden blått egentlig indikere et lite høydeavvik.

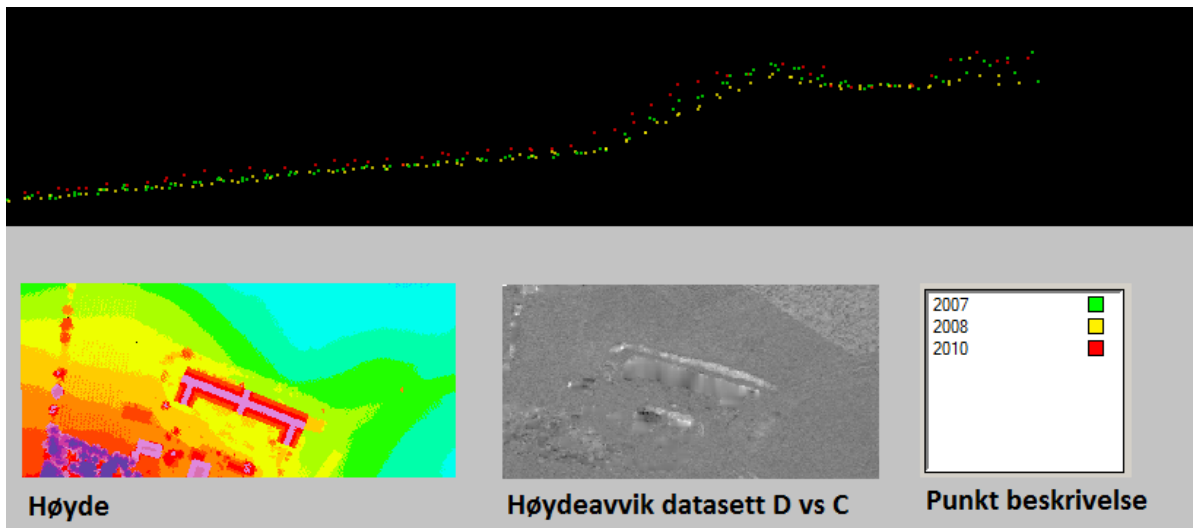


Plottet viser punkter som har høydeavvik ut over 3 sigma nivået (± 0.3 meter)

Etter manuell kontroll er det sannsynlig at de signifikante avvikene vist over skyldes svak penetrering som følge av tett vegetasjon og forskjellig vekstsesong. Nedenfor vises tre eksempler på dette.

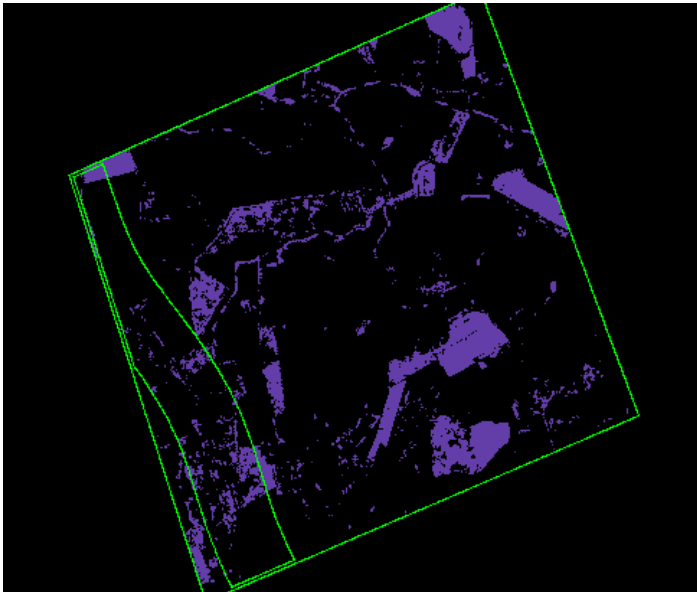


Plottet over viser forskjellen mellom vekstsesonger



Plottet over viser forskjellen mellom vekstsesonger

3.3.3. Datasett D vs E

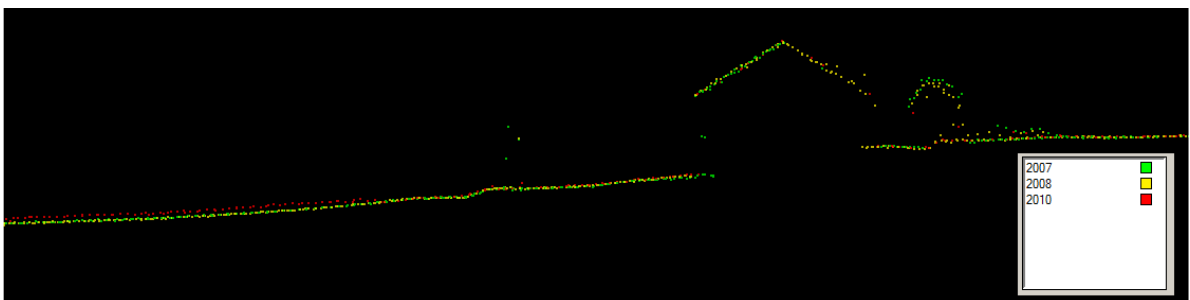


Plottet viser punkter som har høydeavvik ut over 3 sigma nivået (+/- 0.6 meter)

Analyser av datasettet viser at datasett E har en del rariteter som ikke styrker den endelige nøyaktigheten. Det er avdekket enkelte hull i bakkeklassen samt problemer med vekstsesongen på den dyrkede marken.



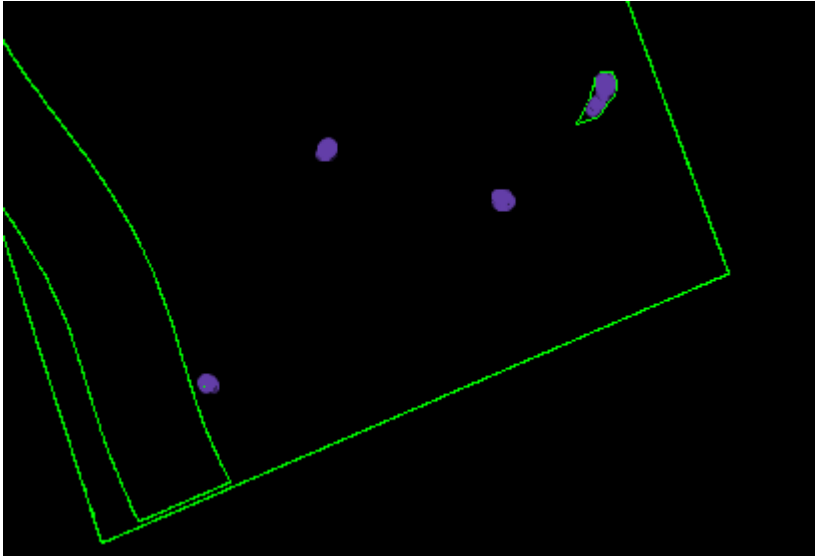
Gråtonen i plottet viser avviket i høyde mellom datasett E og referansedatasett D. En lys farge indikerer et stort høydeavvik.



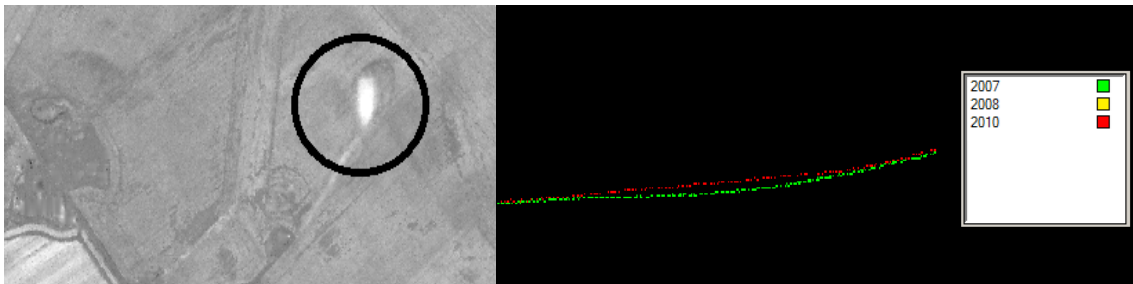
Plottet viser tydelig hvordan vekstsesongen har påvirket resultatet

Eksemplene over viser hvordan forskjellig vekstsesong kommer til uttrykk i datasettet. I den praktiske gjennomføringen er områder med reell terrengvariasjon manuelt identifisert ut i fra 3 sigma plottet som er vist over. Metoden avdekker

større områder med endring, men er ikke nøyaktig når det gjelder mindre områder (ca. 20x20 meter).



De lilla områdene angir områder med reelle terrengvariasjoner i datasett E.



Fargen i plottet viser avviket i høyde mellom datasett E og referanse datasett D. Sirkelen viser et område med reell terrengforandring.

Datasett E er det nyeste datasettet. Dette betyr at data fra Datasett E blir benyttet i områdene med reelle terrengforandringer, mens alle andre datasett blir ekskludert fra de samme områdene.

Langs Fv 195 i prosjektområdet ble det avdekket signifikante avvik. Her kommer det tydelig frem at veien bølgjer litt opp og ned i forhold til tidligere datasett.



Fargen i plottet viser avviket i høyde mellom datasett E og referanse datasettet D. En lys farge indikerer et stort høydeavvik.

Fra Statens vegvesen ved Jørn Sagstuen ble det informerte om at denne vegstrekningen ble modifisert i perioden sommer/høst 2008 til våren 2009. Vegen ble enkelte steder lagt om samt at nytt dekke ble lagt. Ved å sammenligne ortofoto fra 2005 med ortofoto fra 2010 ser en tydelig at veien er utbedret. Dette forklarer avviket mellom datasett E og D langs Fv 195. Avviket beskriver dermed en reell terrengforandring.

Ortofoto hentet fra www.norgeibilder.no.



Ortofoto fra 2005



Ortofoto fra 2010

Dette eksempelet viser at enkelte situasjoner kan være vanskelige å årsaksbestemme uten synfaring, flyfoto, ortofoto eller god lokalkunnskap til området.

Oppsummering

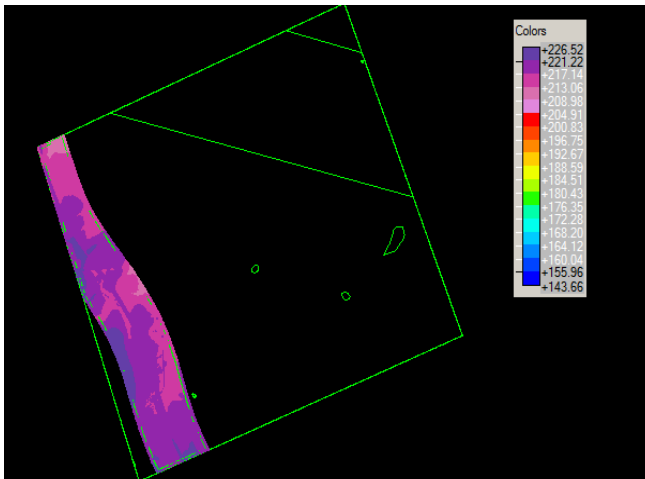
- Datasett B brukes i sin helhet pga. den høye punktettheten og nøyaktigheten.
- Datasett C har samme kvalitet som datasett D, men litt av kantene blir ekskludert. Det er også påvist reell terrengforandring på og langsmed Fv 195. Dette området blir ekskludert fra datasett C.
- Datasett D blir ekskludert i området som dekkes av datasett B samt områdene med reelle terrengforandringer som ble påvist i datasett E. Dette inkluderer data på og langsmed Fv 195.
- Datasett E har et DTM20 nøyaktighetsnivå. Dette betyr at datasett E har et vesentlig lavere nøyaktighetsnivå enn de 3 andre datasettene. Når en sammenstiller data vil den endelige nøyaktigheten bli lik det svakeste leddet. Siden datasett E og D dekker det samme område er det derfor valgt å ekskludere datasett E i den praktiske testen, med unntak av de områdene med reelle terrengforandringen.

3.4. Sammenstilling av datasett

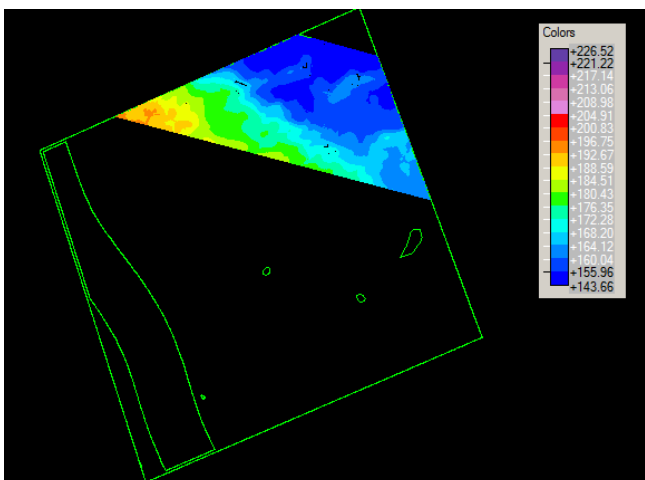
Ved sammenstilling av datasett kan en legge sammen flere datasett. I landmålingen er dette en vanlig metode for å verifisere en måling. En mye brukt tommelfinger regel sier at en ikke har utført en måling før en har utført 3 målinger. Da har en nok observasjoner til å verifisere resultatet. Denne tankegangen er også mulig å bruke for et sammenstillingsprosjekt av laser data. Da fremstår en datainnsamling som en måling. I denne praktiske gjennomføringen har en da 4 målinger.

For at dette skal gi et godt resultat er det viktig å ekskludere data som ikke er godkjent. Dette gjelder da særlig data som ligger lavere enn det virkelige terrenget. Punkt som ligger høyere enn virkelig terreng blir automatisk fjernet dersom det eksisterer målinger som er lavere. Dersom det ikke eksisterer punkt som er lavere vil dette punktet være det beste punktet for å gjengi terrenget.

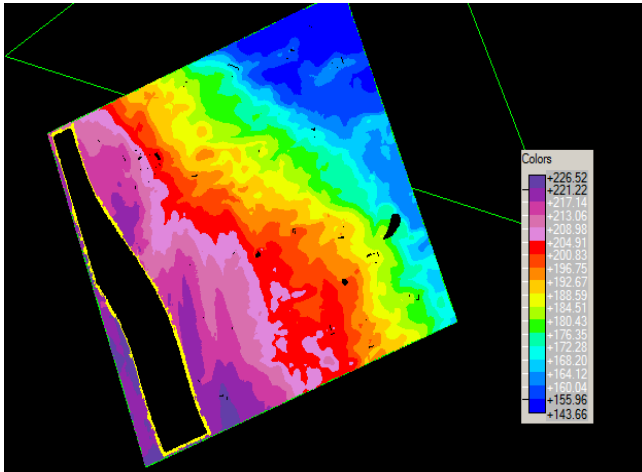
Første steg er å godkjenne data fra hvert datasett:



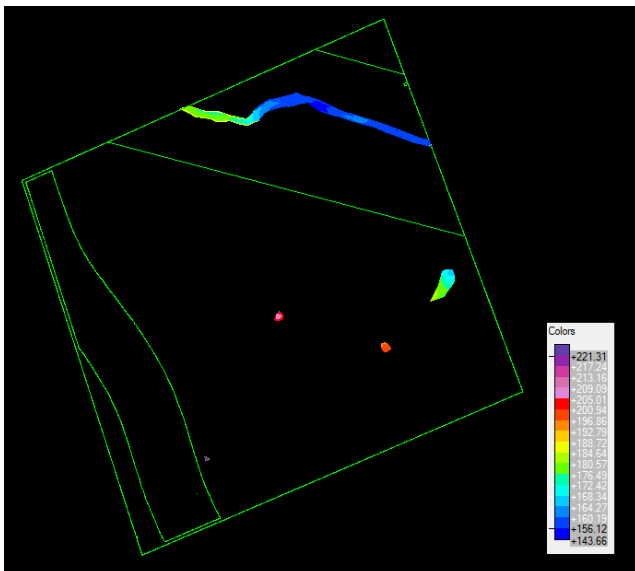
Godkjente data fra datasett B



Godkjente data fra datasett C



Godkjente data fra datasett D

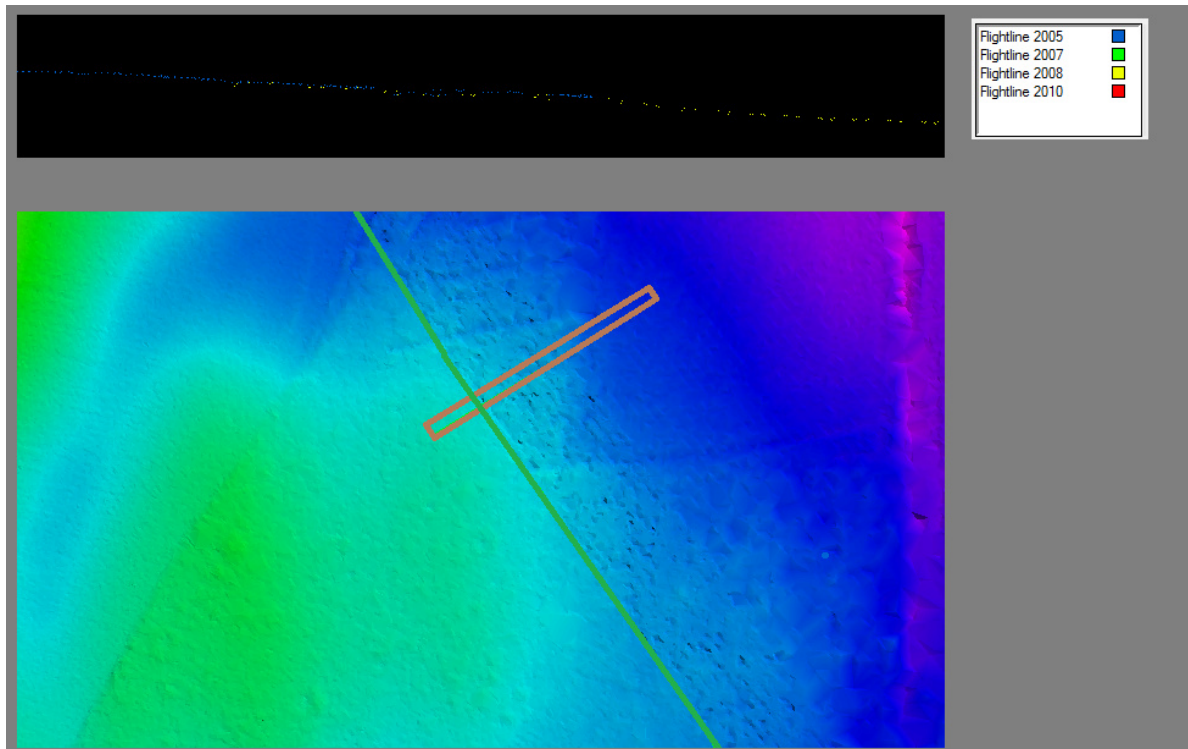


Godkjente data fra datasett E

Det er viktig at de godkjente datasettene har overlappsoner. Dette sikrer en mest mulig jevn overgang samt at en unngår huller i sluttresultatet. De godkjente datasettene slås sammen til en klasse. Deretter kjøres en ny bakkeklassifisering. Denne metoden sikrer at laveste terrenghøyde blir valgt i de områdene hvor vekstsesongen har skapt problemer.

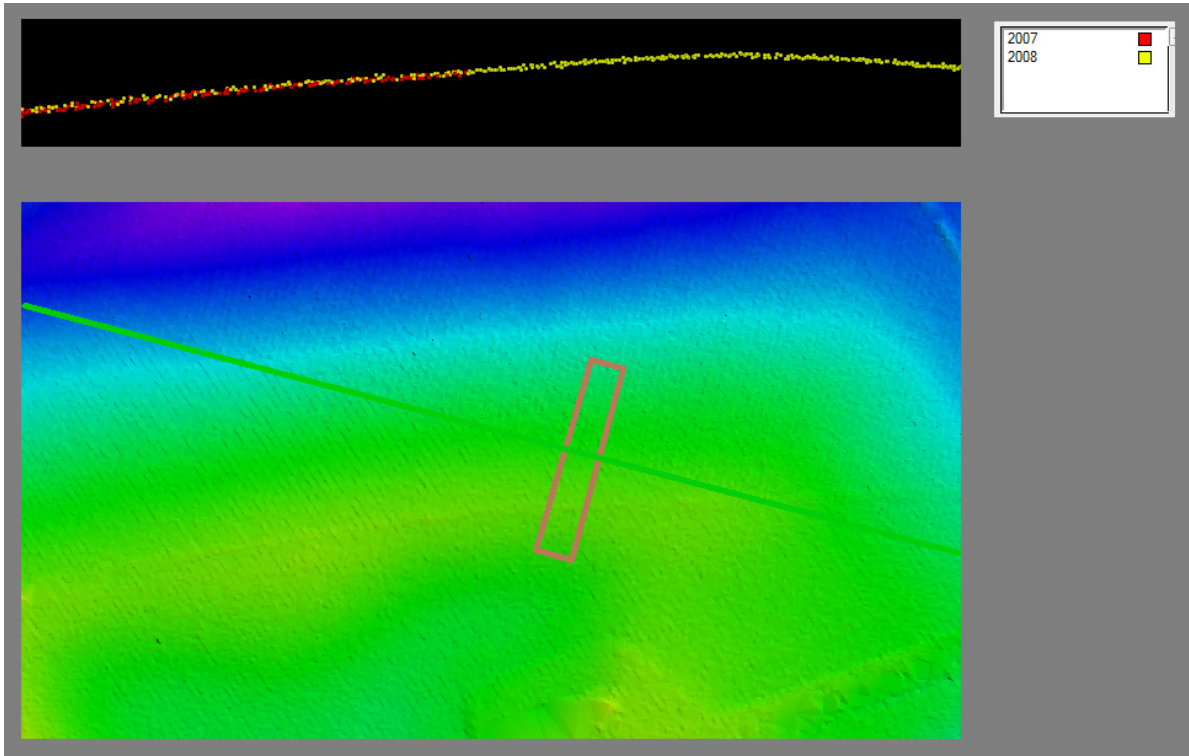
3.4.1. Evaluering av sammenslåingen, skjøtene mellom datasettene

Sammenslåingen kan evalueres ved å undersøke skjøtene mellom datasettene.



Skjøt mellom datasett B og D

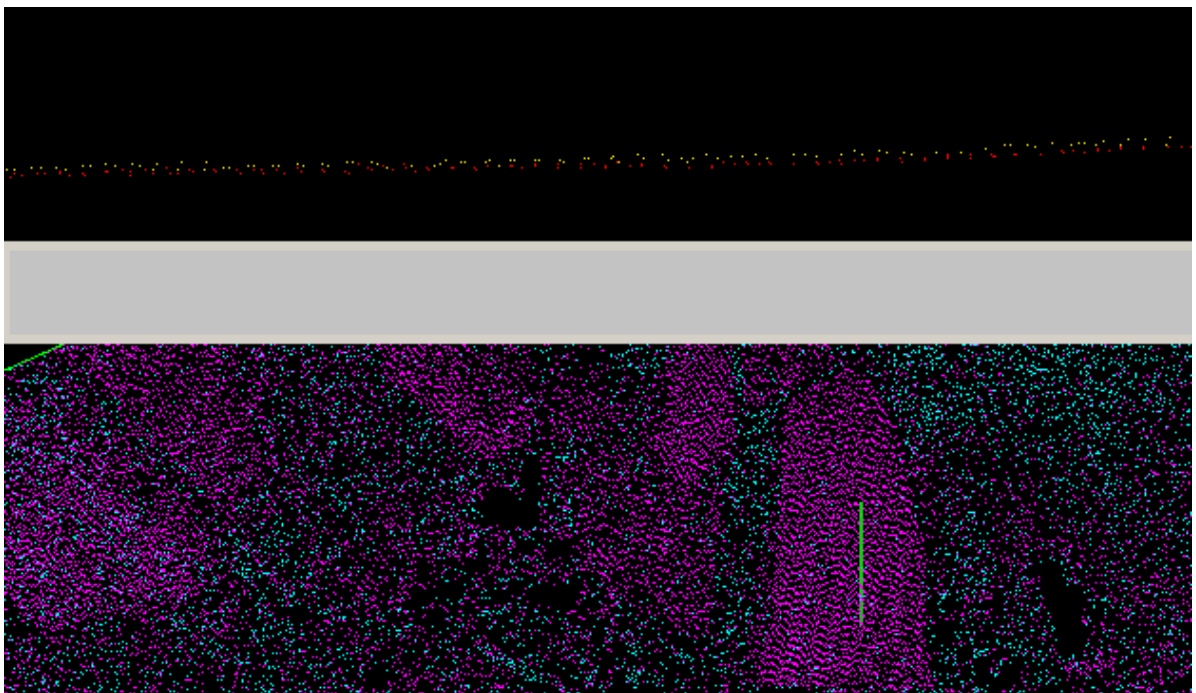
I skjøten ser en at terrenngmodellen blir noe støyet. Den viktigste årsaken til dette er at det her blandes sammen 2 datasett med forskjellig støynivå og tetthet.



Skjøtt mellom datasett D og kombinasjonen C + D

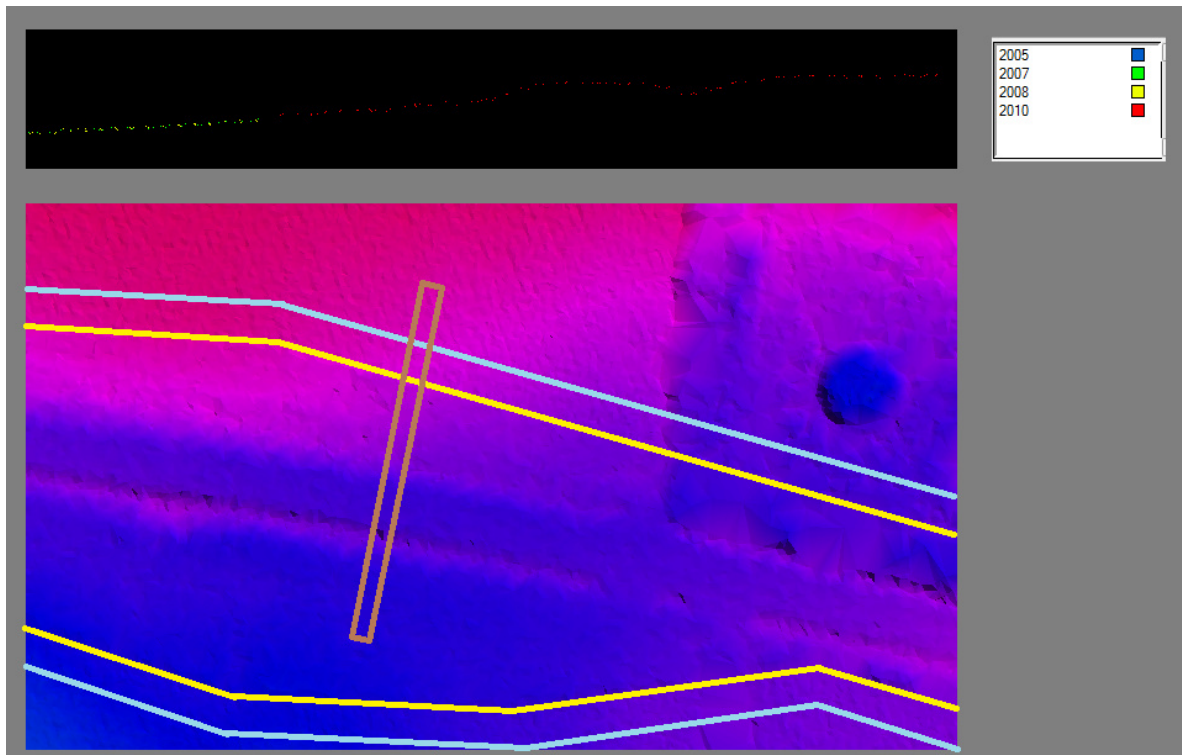
I overgangen mellom datasett D og kombinasjonen C + D er støynivået vesentlig lavere da datasettene har relativt lik kvalitet.

Den automatiske bakkeklassifiseringen håndterer de forskjellige vekstsesongene. Metoden sørger for at laveste markhøyde blir benyttet.



Figurer viser hvordan de røde punktene som er virkelig bakke automatisk blir klassifisert til bakke.

Skjøt mellom datasett E og kombinasjonen C + D er illustrert v.h.a. en tin modell av de godkjente bakkepunktene.

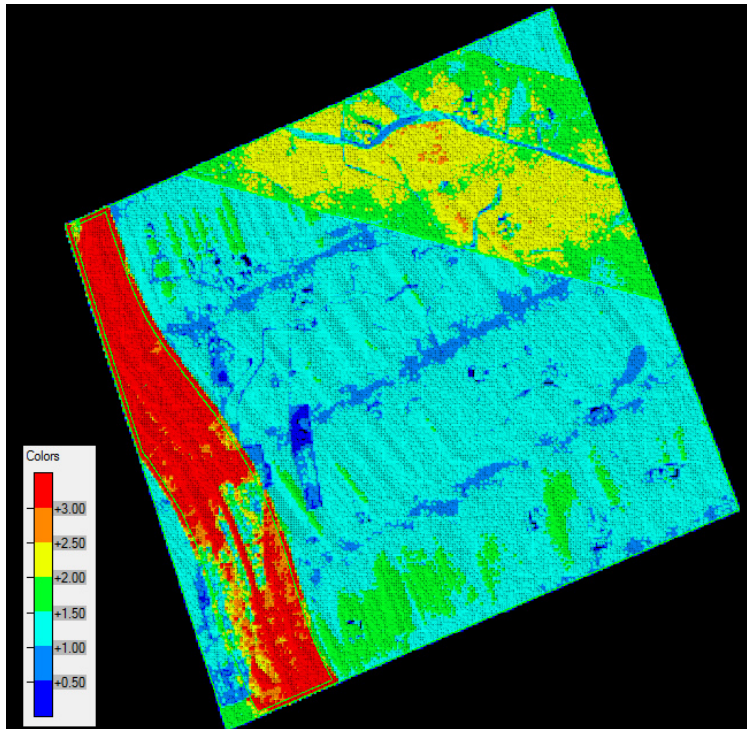


Figuren over viser skjøten mellom datasett E og kombinasjonen C + D

Det ble funnet at Fv 195 var utbedret. Dette førte til at datasett D og C ble forkastet innenfor det gule polygonet. Punkter innenfor det blå polygonet fra datasett E ble godkjent. Dette gav en 5 meter overlappssone som sikret en jevn overgang mellom datasettene. I tin modellen kan en se noe lange trekanter. Dette indikerer en noe lav punktetthet i bakkemodellen. Dette er en følge av ekskluderingen av datasett D og C.

3.4.2. Evaluering av sammenslåingen, tetthet

I den praktiske gjennomføringen er det valgt å slå sammen alle godkjente data for deretter å kjøre en ny automatisk bakkeklassifisering. I områdene hvor flere datasett er godkjent er det en markant bedring i punkttettheten til bakkemodellen.



Figurer over viser punkttettheten på bakkemodellen etter sammenslåingen av datasettene.

I fellesområdet mellom datasett D og C er punkttettheten i bakkemodellen økt fra 1.3 p/m² til 2.3 p/m².

Datasett	Midlere tetthet bakkemodell (p/m ²)
B	3.4
C	1.0
D	1.3
E	1.0
Sammenslått	1.6

Resultatet av sammenslåingen gir en bakkemodell med høyere tetthet. I områdene hvor flere datasett er godkjent får bakkemodellen høyere tetthet.

3.4.3. *Smoothing/Glatting*

En tilleggs operasjon kan være å benytte seg av det faktum at en har flere målinger av samme terreng. En kan da bruke en operasjon som ofte kalles "smoothing". Metoden benytter seg av alle godkjente målinger og forsøker å flytte punkter mot hverandre innenfor angitte grenser. Metoden fjerner tilfeldige feil i datasettet og glatter ut punktmodellen. Prosessen er iterativ hvor hvert enkelt punkt blir sammenlignet med de omliggende punkt. I teorien kan en tenke seg at datasett med høy punktetthet vil få større vekt i forhold til datasett med lav tetthet. Dette er i de fleste tilfeller en ønsket effekt.

Metoden glatter ut modellen, men har problemer med å hente inn unøyaktighet i bratt terreng. Dette gjør at metoden trolig vil fungere dårlig over større områder. I praksis vil trolig slike metoder fungere best dersom en jobber på grid nivå og ikke punktnivå slik det er valgt å jobbe i denne praktiske gjennomgangen.

3.5. **Oppsummering av fremgangsmåten i den praktiske delen**

I den praktiske delen er følgende fremgangsmåte benyttet:

1. Innsamling av metadata
2. Kontroll av metadata, viktigste moment er (høydeoffset og tetthet)
3. Valg av referansedatasett
4. Beregning av høydeavvik til referansedatasett
5. Godkjenne datasett
6. Ekskludere områder som ikke er godkjente fra datasettet
7. Legge alle godkjente bakkepunkt inn i en felles klasse
8. Kjøre ny automatisk bakkeklassifisering ut fra godkjente bakkepunkt
9. Kontroll av skjøter samt kontroll av klassifisering

3.6. Leveransen

I tillegg til rapporten er data fra den praktiske delen levert pr. FTP. Oversikt over leveransen:

Filnavn	Bekrivelse
datasett_B.las	Datasett B
datasett_C.las	Datasett C
datasett_D.las	Datasett D
datasett_E.las	Datasett E
Sammenstilte data bakke i klasse 2.las	Resultat fra praktisk del

Tabellen gir en oversikt over totalleveransen.

Resultatfilen "Sammenstilte data bakke i klasse 2.las" er på las format med følgende klasseinndeling:

- Klasse 1: originale bakkepunkt som godkjent men som har falt ut i den nye bakkeklassifiseringen.
- Klasse 2: godkjente bakkepunkt
- Klasse 7: Ikke godkjente bakkepunkt fjernet med genererte polygoner
- Klasse 8: Vegetasjonspunkt / ikke bakkepunkt

4. KONKLUSJON

Laserdata fra forskjellige innsamlingstokt har forskjellige egenskaper. Det er variasjon i støynivå, nøyaktighet, tetthet, vekstsesong, snømengde og klassifiseringsmetodikk. Selv om det kan forekomme store forskjeller kan alle data være med å styrke sluttresultatet, når en tar hensyn til datasettenes egenskaper. Da vil sammenslåing av ulike datasett ha stor nytteverdi.

Det er mulig å genere et felles datasett som inneholder det beste fra hvert enkelt datasett. Da med tanke på nøyaktighet, tetthet, kvalitet og ferskhet. Dette gjør at bruken og håndtering av laserdata blir lettere. Eieren av datasettene vil da ha ett datasett å forholde seg til. Dette vil gjøre forvaltningen av datasettet vesentlig lettere.

Ved å benytte seg av ulike målekampanjer får en verifisert kvaliteten på datasettene. I sammenslåingsprosessen er det mulig å avdekke svakheter knyttet til:

1. Instrumentavhengighet
2. Flyplan
3. Vekstsesong
4. Unøyaktig klassifisering av bakkepunktene

I den praktiske gjennomgangen ble det påvist store effekter som skyldes vekstsesongavhengigheter, svak penetrering og unøyaktig klassifisering.

Sammenslåingsprosessen generer nye metadata slik at eieren av datasettet har en riktig oppfatning av kvaliteten til bakkemodellen. Denne oppgaven har ikke tatt stilling til form og innhold til dokumentasjonen som bør leveres ved et sammenslåingsprosjekt. Viktige momenter som bør være med er:

- Metadata fra de opprinnelige datasettene
- Resultatet fra kontrollen av metadataene
- Resultatet fra sammenligningen av datasettene
- Resultatet fra sammenstilling av datasettene med oversikt over godkjente og ekskluderte data
- Metadata samt oversiktskart over det nye sammenslåtte datasettet

Metoden beskrevet i denne rapporten kan avdekke reelle forandringer i terrenget, både menneskeskapte og naturlige. Ved enkelte tilfeller vil en støte på problemstillinger som kan være vanskelige. En kan komme i situasjoner som krever støtte fra flybilder, ortofoto, lokalkunnskap eller synfaring for å få en nøyaktig konklusjon. Problemstillingene er da ikke relatert til sammenstilling av laser data, men mer begrensningene til lasermetodikken. Nettopp det at en sammenstiller data gjør det mulig å avdekke slike problemområder.

I den praktiske delen er reelle terrengforandringer avdekket delvis automatisk og delvis manuelt. Enkelte av prosessene vil være mulig å utføre mer automatisk, men det vil trolig gjenstå en manuell kontrolljobb for å sikre kvaliteten.