

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Sammen drag

I løpet av de siste tiårene er laserskanning fra fly blitt en akseptert datainnsamlingsmetode som stadig er under utvikling. Resultatet av laserskanning er ei punktsky med informasjon om både terreng, vegetasjon og andre objekter. Anvendelsen av laserdata blir stadig mer utbredt, men fremdeles gjenstår mange nye mulige utnyttelsesområder.

Arealressurskartet AR5 er et kartdatasett som Skog og landskap tilbyr. Det skal beskrive Norges arealressurser og må derfor holdes løpende à jour siden arealer forandres med tiden.

I denne rapporten oppsummeres erfaringene med bruk av laserdata til å avdekke muligheter for å støtte ajourhold av arealressurskartet AR5. Det er lagt vekt på gode beskrivelser av de ulike stegene i prosessen for at Skog og landskap skal dra nytte av denne erfaringen og kunnskapen i videre sammenhenger.

Et laserskannet område i Ås kommune våren 2008 er valgt som testområde. Den gjennomsnittlige punkttettheten, inkludert overlapp mellom flystriper, er ca 2,5 punkt per m². I LidarStat etableres det rasterbilder ut av laserdataene med 2 meters pikselstørrelse som bl.a. viser høyder, pulsreturer og intensiteter. Analysen av laserdataene blir delt i to, der den ene delen bygger på objektbasert bildeanalyse (OBBA) i eCognition Developer, mens den andre baserer seg på overlagsanalyse i ArcMap.

I eCognition etableres regelsett der rasterbildene først gjennomgår en *løsning av NoData* for at disse verdiene ikke skal forstyrre i videre statistiske beregninger. En *chessboard-segmentering* for å knytte rasterne til AR5 utføres, før en *multiresolution-segmentering* blir gjort for å dele områder inn i homogene segmenter. Disse segmentene *klassifiseres* etter gitte kriterier og plasseres i de klassene som beskriver dem best. Tilslutt eksporteres et resultat med de interessante områdene til et vektorkart som kan studeres nærmere i GIS-programmer.

Resultatene fra eCognition viser at høyder på fulldyrka jord blir detektert, skogområder blir delt i skog og ikke-skog, og hushøyder kan skilles fra trehøyder i mange tilfeller. eCognition klarer å klassifisere skogøyer og skogkanter uten skog, og gi forslag til sammenslåing av skogkanter med nabo-segmenter.

ArcMap kombinerer AR5 med de etablerte rasterbildene. Basert på kunnskap om de ulike informasjonsekstraktene fra laserdata, velges passende rastere til sine formål og en *overlagsanalyse* trekker ut de områdene som er av interesse. Flere visuelle betraktninger av rastere er også gjort i ArcMap der fokuset er å vise hvor gode bilder laserdataene kan gi av bakken.

Resultatene av rasterkombinasjonen fra ArcMap viser at høyder skilles ut både i skog og på fulldyrka jord, og at bygninger kan ofte skilles fra vegetasjon ved å se på ulike pulsreturer. Med god punkttetthet kan intensitetsrastere likne på ortofoto, og derfor skape et godt visuelt bilde av bakken. Høydemodeller benyttes til å lage skygge- og helningsrastere som beskriver terrenget.

Erfaringer fra denne oppgaven tilsier at det finnes store muligheter for å kunne bruke laserdata som hjelpemiddel ved ajourhold av AR5. Med stor nok punkttetthet vil det oppnås gode visuelle bilder som kan benyttes til tolkning av bakken. Både ved å utarbeide regelsett i eCognition og utføre overlagsanalyser i ArcMap vil forslag til mulige endringer kunne detekteres.

Abstract

Over the past decades, airborne laser scanning has become an accepted method of data collection. This method is continuously under development. The result of a laser scanning is a point cloud with information about the terrain, vegetation and other objects. The application of laser data is becoming more widespread, but there are still many new areas to be explored.

Land resource map AR5 is a map data set that the Norwegian Forest and Landscape Institute (Skog og landskap) offers. It describes Norway's land resources and therefore must be kept up to date since land use changes with time.

This report summarizes the experience with the use of laser data to identify opportunities to support the updating of land resource map AR5. The emphasis is on good descriptions of the various steps of the process so the Norwegian Forest and Landscape Institute will benefit from this experience and knowledge in a wider context.

An area that was laser scanned in Ås, Norway, (spring 2008), has been selected as the test area. The average point density, including the overlap between the airstrips, is about 2.5 points per m². LidarStat creates the raster images from the laser data with 2-meter pixel size, showing heights, pulse returns and intensities. The analysis of laser data is divided in two; where one part is based on object-based image analysis (OBIA) in eCognition Developer, while the other is based on overlay analysis in ArcMap.

eCognition establishes rulesets where raster images first examine a solution of NoData. This is to ensure that these values do not interfere in the further statistical calculations. Chessboard segmentation is performed to link the raster images to AR5, then a multiresolution segmentation is done to divide areas into homogeneous segments. These segments are classified according to specified criteria and placed in the category that best describes them. Finally, the result of the interesting areas is exported to a vector map that can be studied in more detail in GIS applications.

The results in eCognition show that heights on fully cultivated lands are detected, forests are divided into forest and non-forest areas, and the altitude of buildings can be distinguished from the height of trees in many cases. eCognition is able to classify forested patches on fully cultivated lands and forest edges without trees. It also provides suggestions for merging forest edges with neighboring segments.

ArcMap, in contrast, combines the AR5 with the established raster images. Based on the knowledge of the various information in the laser data, raster images are selected due to suitability for their purpose and an overlay analysis draws out the areas of interest. Several visual observations of the raster images are also done in ArcMap where the focus is to demonstrate the quality of the pictures provided by the laser data.

The results from the combination of raster images in ArcMap show that the heights in both forests and fully cultivated lands are detected. Buildings can also be separated from the vegetation by looking at different pulse returns. With good point density raster images including intensity can resemble orthophotos, and thus create a good visual image of the ground. Height models are used to create hillshade and slope images describing the terrain.

The results of this study indicate that laser data could be a useful tool with numerous opportunities to update AR5. With sufficient point density, good visual images could be created and be used for interpreting the ground. Both by drawing up rulesets in eCognition and making the overlay analyses in ArcMap, proposals for possible changes could be detected.

Forord

Denne oppgaven avslutter min masterutdanning innenfor Geomatikk ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB). Helt fra starten av studiet har interessen for laserskanning vært stor, samtidig som jeg synes utnyttelsespotensialet til en skanning er spennende. Derfor falt det seg naturlig å velge en oppgave innenfor dette emnet.

Oppgaven er et resultat av et samarbeid med Skog og landskap og Blom Geomatics. Arbeidet har pågått store deler av tiden i Blom Geomatics sine lokaler på Skøyen vårsemesteret 2011. Det har vært svært givende og lærerikt å sitte i et miljø der det jobbes aktivt med laserskanning. Hovedveileder har vært amanuensis Ivar Maalen-Johansen som jobber ved Geomatikkseksjonen på Institutt for Matematiske realfag og teknologi på UMB. Takk for innspill gjennom perioden.

En takk rettes også til sjefsingeniør Knut Bjørkelo ved Seksjon Geomatikk på Skog og landskap for utforming av problemstillinger, for å ha skaffet ulike data til utførelsen av arbeidet og tilbakemeldinger.

Videre takkes alle behjelpelige i Blom Geomatics, spesielt Production Manager Floris Jan Groesz og Processing Engineer Cecilia Cerdeira for all hjelp med de ulike programvarene som blei brukt og for alle idéer til analysen.

UMB, Ås, 16. mai 2011

Halvard Bjerke

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	II
Abstract	IV
Forord.....	VI
Innholdsfortegnelse	VII
Figurer	XI
Tabeller	XIII
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstillinger	1
1.2 Tidligere arbeid relevant for problemstillingene	2
1.3 Oppgavens oppbygning.....	3
1.4 Terminologi	4
1.5 Samarbeidspartnere	7
1.5.1 Skog og landskap.....	7
1.5.2 Blom Geomatics	8
2 Bakgrunn	9
2.1 Laserskanning	9
2.1.1 Prinsippet	10
2.1.2 Spesielle egenskaper.....	10
2.1.2.1 Aktiv sensor	10
2.1.2.2 Intensitet.....	11
2.1.2.3 Pulsreturer	11
2.1.2.4 To lysbølger.....	12
2.1.3 Bruksområder	12
2.2 AR5	13
2.2.1 Historisk	13
2.2.2 Hva er AR5?.....	14
2.2.3 Geometri	14
2.2.4 Arealegenskaper	16
2.2.4.1 Arealtype	16

2.2.4.2	Treslag.....	17
2.2.4.3	Skogbonitet.....	17
2.2.4.4	Grunnforhold.....	18
2.2.5	Minsteareal.....	19
2.2.6	Kvalitet.....	20
2.2.7	Kvalitetsangivelse.....	20
2.2.7.1	Målemetode.....	21
2.2.7.2	Nøyaktighet.....	21
2.2.7.3	Synbarhet.....	21
2.2.8	Ajourføring.....	23
2.2.8.1	Hvem har ansvar for hva?.....	23
2.2.9	Bruksområder.....	24
3	Forberedelse.....	25
3.1	Beskrivelse av tilgjengelige data.....	27
3.1.1	Laserdata.....	27
3.1.2	Raster.....	28
3.1.3	AR5.....	30
3.1.4	Ortofoto.....	32
3.2	Anvendt programvare.....	33
3.2.1	TerraScan (i MicroStation).....	33
3.2.2	LidarStat.....	33
3.2.3	eCognition Developer.....	34
3.2.4	ArcMap.....	34
3.2.5	Microsoft Office.....	35
3.2.6	EndNote.....	35
3.3	Interesseområder.....	36
3.4	Mulige hjelpemidler fra laserdata.....	40
3.4.1	DHM, DOM, DTM og nDOM.....	40
3.4.2	Pulsretur.....	42
3.4.3	Intensitet.....	43
3.4.4	Standardavvik.....	44
3.4.5	Helning.....	44
3.4.6	Skyggelegging.....	44
4	Gjennomføring.....	45
4.1	Tilretteleggelse av data.....	45
4.1.1	Løse opp AR5.....	45

4.1.1.1	Framgangsmåte	46
4.1.1.2	Resultat	48
4.1.1.3	Merknader	48
4.1.2	Etablering av LASdz	50
4.1.2.1	Framgangsmåte	50
4.1.2.2	Resultat	51
4.2	Etablering av rastere i LidarStat	52
4.2.1	Teori	52
4.2.1.1	Punkttetthet	52
4.2.1.2	Statistikk i LidarStat	55
4.2.2	Utførelse	56
4.2.2.1	Persentil	57
4.2.3	Ferdigetablerte rastere i LidarStat	60
4.3	DOM og DTM fra TerraScan	64
4.4	Etablering av rastere i ArcMap	66
4.4.1	Utførelse	66
4.4.1.1	Helning	66
4.4.1.2	Skyggelegging	67
4.4.2	Ferdigetablerte rastere i ArcMap	68
4.5	Analyse i eCognition	70
4.5.1	Introduksjon	70
4.5.1.1	Objekttegenskapen Median	71
4.5.1.2	Chessboard-segentering	73
4.5.1.3	Multiresolution-segentering	75
4.5.1.4	Klassifisering	77
4.5.2	Import	79
4.5.3	NoData	80
4.5.3.1	Medianfiltrering	81
4.5.3.2	Framgangsmåte	82
4.5.4	Sammenstilling av AR5 og rastere	84
4.5.5	Fulldyrka jord	86
4.5.5.1	Multiresolution-segentering	87
4.5.5.2	Klassifisering av høyder på fulldyrka jord	87
4.5.5.3	Klassifisering av skogøyer på fulldyrka jord	88
4.5.6	Skog	89
4.5.6.1	Multiresolution-segentering	89
4.5.6.2	Klassifisering	90
4.5.6.3	Sammenslåing av skogkant	91
4.5.7	Bebyggelse i skog	92

4.5.7.1	Multiresolution-segmentering	92
4.5.7.2	Klassifisering	92
4.5.8	Eksport	94
4.6	Analyse i ArcMap	95
4.6.1	Introduksjon	95
4.6.2	Forberedelse	95
4.6.2.1	NoData	95
4.6.2.2	Konvertering av vektor til raster	96
4.6.3	Analysen	98
5	Resultater	99
5.1	Resultat fra eCognition	99
5.1.1	Høyder på fulldyrka jord	99
5.1.2	Skog/ikke-skog	100
5.1.2.1	Skogøyer på fulldyrka jord	101
5.1.2.2	Skogkant og sammenslåing	102
5.1.3	Bebyggelse i skog	104
5.1.4	Løsning av interesseområder i eCognition	106
5.2	Resultat fra ArcMap	109
5.2.1	Høyder på fulldyrka jord	109
5.2.2	Hus eller vegetasjon på fulldyrka jord	110
5.2.3	Skog/ikke-skog	111
5.2.4	Bebyggelse i skog	112
5.2.5	Åpen fastmark med skog	113
5.2.6	Intensitetsanalyse	114
5.2.7	Løsning av interesseområder i ArcMap	116
5.3	Andre rasterkombinasjoner	119
6	Diskusjon	121
6.1	Kommentar til resultater	121
6.2	Laser eller ortofoto	125
7	Konklusjon	127
8	Videre arbeid	128
9	Vedlegg	129
10	Litteraturliste	133

Figurer

Figur 2.1 – Laserskanningsprinsippet (forsys.cfr.washington.edu)	9
Figur 2.2 – Prinsippet med mange pulsreturer	11
Figur 2.3 – Digital overflatemodell og digital terrengmodell (Statens kartverk 2008).....	12
Figur 2.4 – Kilden - til arealinformasjon.....	13
Figur 3.1 – Oversikt over de ulike LAS-filene (Intensitetsraster)	27
Figur 3.2 – Et utvalg av punktverdier fra LAS-fil i TerraScan	28
Figur 3.3 – Eksempel på ASC-fil som er åpnet i Notisblokk	29
Figur 3.4– Originalt AR5-kart over testområdet.....	30
Figur 3.5 – Ortofoto av testområdet med filnavn	32
Figur 3.6 – Interesseområder (1)	37
Figur 3.7 – Interesseområder (2)	38
Figur 3.8 – Etablering av nDOM	41
Figur 3.9 – Pulsreturer vist i TerraScan	42
Figur 3.10 – Vegetasjon: Ekskludering av puls med kun én retur	43
Figur 3.11 – Hus: Ekskludering av puls med flere returer.....	43
Figur 4.1 – Kartbladinnndeling i AR5.....	45
Figur 4.2 – Oppløsning av kartbladinnndeling i AR5-datasettet.....	47
Figur 4.3 – Statistikk fra et valgt område.....	48
Figur 4.4 – Sammenslått polygon pga like egenskapsverdier.....	48
Figur 4.5 – Enkelte fiktive AR5grenser blir fjernet med Dissolve	49
Figur 4.6 – Fra LAS til LASdz	51
Figur 4.7 – LAS vs. LASdz	51
Figur 4.8 – Intensitetsraster med ulik oppløsning (1x1 og 10x10)	53
Figur 4.9 – Informasjon om LAS-filene.....	53
Figur 4.10 – Intensitetsraster av hele testområdet med 2x2 meter pikselstørrelse.....	54
Figur 4.11 – Laserpunkt til pikselverdi	55
Figur 4.12 – LidarStat	56
Figur 4.13 – 90 % persentil.....	58
Figur 4.14 – LidarStat2	59
Figur 4.15 – Rastere fra LidarStat (1)	62
Figur 4.16 – Rastere fra LidarStat (2)	63
Figur 4.17 – Forskjell på rastermodell og triangelmodell.....	64
Figur 4.18 – Sammenlikning av DTM fra LidarStat og TerraScan.....	65
Figur 4.19 - Slope-verktøyet i ArcMap	66

Figur 4.20 – Hillshade-verktøyet i ArcMap	67
Figur 4.21 – Fra DOM til helningsraster (t.v.) og skyggelagt DOM (t.h.)	68
Figur 4.22 – Ulik verdi for Z factor (t.v. 1 og t.h. 5).....	69
Figur 4.23 – eCognition	71
Figur 4.24 – Forskjell på objekttegenskapene gjennomsnitt og median	72
Figur 4.25 – Chessboard-segentering med ulik rutenettstørrelse	73
Figur 4.26 – Algoritmen for chessboard-segentering.....	74
Figur 4.27 – Effekt på grenser ved rasterisering.....	74
Figur 4.28 – Multiresolution-segentering med to ulike resultat	75
Figur 4.29 – Parameterforklaring for multiresolution-segentering (Definiens 2009a)	76
Figur 4.30 – Algoritmen for multiresolution-segentering	76
Figur 4.31 – Eksempel på klassifisering av høyder på fulldyrka jord	77
Figur 4.32 – Algoritmen for Assign class.....	78
Figur 4.33 – Oversikt over importerte datasett.....	79
Figur 4.34 – Medianfiltrering	81
Figur 4.35 – Løsning av NoData for nDOM	83
Figur 4.36 – Regelsett og resultat av en chessboard-segentering og inndeling av klasser	84
Figur 4.37 – Informasjon om et valgt segment.....	85
Figur 4.38 – Klassifisering av høyder på fulldyrka jord	87
Figur 4.39 – Klassifisering av skogøyer på fulldyrka jord	88
Figur 4.40 – Klassifisering av skog.....	91
Figur 4.41 – Klassifisering av bebyggelse i skog.....	93
Figur 4.42 - Eksporteringseksempel.....	94
Figur 4.43 – Overlagsanalyse (http://las.depaul.edu)	95
Figur 4.44 – ArcMap sin løsning av NoData	96
Figur 4.45 – Vektor til raster	97
Figur 5.1 – eCognition: Analyseresultat av høyder på fulldyrka jord (1)	99
Figur 5.2 – eCognition: Vegetasjon avdekket med nDOMene	100
Figur 5.3 – eCognition: Analyseresultat av skog – Høy/Lav skog.....	100
Figur 5.4 – eCognition: Analyseresultat av skog – Skogøy.....	101
Figur 5.5 – eCognition: Analyseresultat av skog – Skogkant	102
Figur 5.6 – eCognition: Analyseresultat av skog – Sammenslåing.....	103
Figur 5.7 – eCognition: Analyseresultat av bebyggelse i skog (1).....	104
Figur 5.8 – eCognition: Analyseresultat av bebyggelse i skog (2).....	105
Figur 5.9 – Løsninger på interesseområder i eCognition (1)	106
Figur 5.10 – Løsninger på interesseområder i eCognition (2)	107
Figur 5.11 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med nDOM	109

Figur 5.12 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med nDOMene (1) og nDOMfms (2).....	110
Figur 5.13 – ArcMap: Skog kombinert med nDOMfms.....	111
Figur 5.14 – ArcMap: Skog kombinert med nDOM2-20 og nDOMfms.....	112
Figur 5.15 – ArcMap: Åpen fastmark kombinert med nDOMfms	113
Figur 5.16 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med intensitet (1).....	114
Figur 5.17 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med intensitet (2).....	115
Figur 5.18 – Løsninger på interesseområder i ArcMap (1)	116
Figur 5.19 – Løsninger på interesseområder i ArcMap (2)	117
Figur 5.20 – Visualiseringseksempler fra laserdata (1) og (2).....	119
Figur 5.21 – Visualiseringseksempler fra laserdata (3) og (4).....	120
Figur 5.22 – Visualiseringseksempler fra laserdata (5).....	120
Figur 6.1 – Datamaskinens spesifikasjoner	123
Figur 6.2 – Prosesseringstid for de to analysene for fulldyrka jord.....	124
Figur 6.3 – Ortofoto eller laserdata	125
Figur 6.4 – Framgangsmåte for bruk av laserdata i ajourføring av AR5	126

Tabeller

Tabell 1 – AR5-begreper (Bjørndal & Bjørkelo 2006)	15
Tabell 2 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen arealtyper	16
Tabell 3 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen treslag.....	17
Tabell 4 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen skogbonitet	18
Tabell 5 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen grunnforhold	18
Tabell 6 – Oversikt over hovedregler for minstearealer til AR5flater	19
Tabell 7 – Vanlige målemetoder	21
Tabell 8 – Registreringssikkerheten for AR5grenser	22
Tabell 9 – Tolkningssikkerhet for AR5flater	22
Tabell 10 – Beskrivelse av egenskapstabellen til AR5 (SOSI-standard 2009)	31
Tabell 11 – De ulike programmene i TerraSolid	33
Tabell 12 – Oversikt over sentrale statistiske mål i LidarStat.....	55
Tabell 13 – Eksempler på NoData-verdier	80
Tabell 14 – Parametere multiresolution-segmentering for fulldyrka jord	87
Tabell 15 – Parametere multiresolution-segmentering for skog	89
Tabell 16 – Parametere multiresolution-segmentering for bebyggelse I skog	92
Tabell 17 – Kombinasjon av rastere i ArcMap	98

1 Innledning

Kartlegging av landskapet har vært viktig i store deler av menneskenes historie. Hva som befinner seg i terrenget og hvordan man lettest mulig kommer seg fram har vært viktig for de fleste. Etablering av kart og terrengmodeller har blitt gjort gjennom alle år, og spesielt etter at datamaskinene kom, har det blitt enklere å rette opp feil og forbedre kartene. Etter hvert har altså nøyaktigheten på kartene blitt bedre og bedre, og stadig er nye metoder for kartlegging under utvikling.

En av de nyeste metodene for kartlegging er bruk av laserskanning fra fly. Resultatet av en slik skanning er en georeferert punktsky som det ligger mye informasjon i. Ulike metoder og teknikker er brukt til å trekke ut informasjon til bruk i forskjellige sammenhenger.

Skog og landskap har etablert et kart som kalles AR5. Dette er et kart som gir informasjon om Norges arealressurser. Ajourhold og kontroll av et slikt kart er viktig siden arealressursene i Norge forandres fra år til år.

1.1 Problemstillinger

Målet med denne masteroppgaven er å se hva slags muligheter som kan ligge i ei punktsky etter en laserskanning fra fly, spesielt i forbindelse med ajourføring av arealressurskartet AR5 til Skog og landskap.

Mer spesifikt:

- Beregne statistikk for kjente arealtyper og vurdere muligheten for klassifisering
- Finne arealgrenser og sammenlikne mot eksisterende AR5grenser
- Visualisere ulike informasjonsekstrakter som kan brukes som hjelpemiddel ved ajourhold av AR5

Under løsinga av problemstillingene vil det bli lagt vekt på *tekniske løsninger og muligheter*, framfor å vurdere kvaliteten. Hvordan kvalitetskontroller kan gjennomføres vil bli gjort rede for i diskusjonskapittelet.

1.2 Tidligere arbeid relevant for problemstillingene

Blom jobber aktivt med å utvikle ulike metoder for manuell og automatisk analyse av laserdata. Spesielt innenfor skoganalyse har Blom utviklet prosedyrer for å gjøre rede for bl.a. trebestand og lokalisering av enkelttrær i urbane strøk. Deres kompetanse er derfor en viktig byggestein for oppgaven.

Ulike analysemetoder for skog er offentliggjort i flere publikasjoner. Bruk av laserdata til andre formål enn skoganalyse er ikke like utbredt, og enda færre artikler omhandler laserdata kun i kombinasjon med vektorkart slik AR5 er.

Detektering av bygninger kommenteres i en artikkel utgitt av Finnish Geodetic Institute med tittelen "Classification tree based building detection from laser scanner and aerial image data" (Matikainen et al. 2007). I denne artikkelen brukes bilder utledet fra første og siste pulsretur sammen med et ortofoto i analysen. Den gjennomsnittlige punkttettheten for laserskanninga blir 17 punkt per m² hvis overlapp inkluderes. Ei segmentering deler opp bildene i segmenter som inneholder ulike egenskaper som areal, kontrast til nabopiksler etc. På bakgrunn av disse egenskapene kan klassifiseringer utføres, og plassere segmentene i de klassene som passer for kriteriene som er satt. Artikkelen konkluderer med en nøyaktighet på 90 % ved sammenlikning med et bygningskart, og at siste pulsretur er mest effektiv under klassifisering.

I en annen artikkel fra Stuttgart University of Applied Sciences med tittelen "LiDAR data classification with remote sensing tools" presenteres kun bruk av laserdata i klassifiseringa (Arefi et al.). Gjennomsnittlig punkttetthet ganske nær ett punkt per m². I to ulike steg klassifiseres trær og bygninger hver for seg. Også her blir forskjellig informasjon i laserdataene eksportert ut som et bilde, og eksisterende fjernanalyseverktøy og algoritmer testes på dataene. Resultatet av testene konstaterer 97 % sannsynlighet for at bygninger og trær blir detektert.

"Object-oriented land cover classification of lidar-derived surfaces" (Brennan & Webster 2006) ser kun på laserdata. Intensitet, normaliserte høyder, en digital overflatemodell og pulsreturer utgjør de fire bildene som brukes i denne artikkelen. Gjennom flere trinn blir til sammen ti klasser opprettet med gjennomsnittlig nøyaktighet på 94 %, men den øker til 98 % hvis klassifiseringa blir aggregert til sju klasser. Konklusjonen er at det vil være mulig å etablere arealkart basert på ekstrakter fra laserdata.

På bakgrunn av det som er blitt gjort før av studier rundt analyse av laserdata, blir en foreløpig framgangsmåte for oppgaveløsingen:

- Behandle laserdata i et egnet program for å produsere ulike *rastere*
- Gjøre analyser på rastere sammen med *vektorkartet AR5*
- Eksportere ut resultatene for videre analyse i GIS-programvare

1.3 Oppgavens oppbygning

Denne oppgaven består hovedsakelig av tre deler, der første delen tar for seg laserskanning generelt og en oversikt over hva AR5-kartet er.

Andre del består av teori og metoder som er brukt til å løse problemstillingen. Det som legges mest vekt på er hva slags muligheter som kan ligge i resultatet av en laserskanning, og om det kan brukes til ajourhold og oppdatering av AR5-kartet.

I tredje og siste del blir resultatet lagt fram og vurdert. Tanker og muligheter for videre arbeid gjøres rede for i denne delen.

1.4 Terminologi

Dette kapittelet skal gi en kort forklaring av uttrykk og begreper som blir brukt, og som er viktig for forståelsen av oppgaven.

Enkelte begreper hentet direkte fra:

(Wikipedia), (Caplex), (Store norske leksikon) og (Produktspesifikasjon FKB-Laser 2011)

Ajourhold/ajourføring

Oppdatering av kartinnhold der det kartlagte område er endret.

AR5

Nasjonalt klassifikasjonssystem og kartdatasett som beskriver arealressursene i Norge.

American Standard Code for Information Interchange (ASCII)

Et tegnssett, det vil si en standard for utveksling av tekst mellom datamaskiner.

Chessboard-segmentering

Segmentering som gjøres for å rasterisere AR5 i eCognition.

Dekar

Offisiell norsk arealenhet som ofte brukes om jordbruksarealer. Symbol daa: 1 daa = 1000 m².

Digital høydemodell (DHM)

En digital representasjon av høydeverdier som varierer over en flate. (eng. DEM – Digital Elevation Model)

Digital terrengmodell (DTM)

En høydemodell som beskriver terrengoverflaten. (eng. DTM – Digital Terrain Model)

Digital overflatemodell (DOM)

En høydemodell som beskriver en nærmere spesifisert flate - f.eks. vegetasjon, takflater, og lignende. (eng. DSM – Digital Surface Model)

European Reference Frame 1989 (EUREF89)

Geodetisk referansesystem som benytter projeksjonen Universal Transverse Mercator (UTM).

Felles KartdataBase (FKB)

Norges offentlige kartverk i digital form. Består av en samling datasett som til sammen utgjør det offentlige kartgrunnlaget. Dataene skaffes til veie av kommunene og Statens kartverk i fellesskap.

Geografiske Informasjons System (GIS)

Datamaskinbaserte systemer som brukes til å registrere, modellere, lagre, hente, manipulere, analysere og presentere geografisk refererte data.

Global Positioning System (GPS)

Amerikansk satellittbasert navigasjonssystem med global dekning.

Inertial Measurement Unit (IMU)

Instrument i INS som brukes sammen med GPS-mottakeren for å bestemme flyets/laserens posisjon. Tre akselerasjonsmålere og tre gyroer måler henholdsvis akselerasjonene og vinkelhastigheter rundt tre ortogonale akser.

Inertial Navigation System (INS)

Treghetsnavigasjonssystemet som brukes ved laserskanning fra fly.

Klasse/Klassifisering

Et segment plasseres i en klasse etter en klassifisering på bakgrunn av objektegenskaper.

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

Utstråling av lys med samme frekvens og fase og betegnelse på det apparatet som skaper slik utstråling. Laserlyset kjennetegnes ved stor intensitet og skarp avgrensning.

Light Detection and Ranging (LiDAR)

Optisk fjernmålingsteknikk. Ved målinger av reflektert lys kan avstanden til og andre egenskaper ved objekter beregnes. En vanlig anvendelse er å bruke laser for å måle avstand eller fart.

Medianfiltrering

Digital filtreringsteknikk som kan brukes for å fjerne NoData.

Mosaikking

Elektronisk sammenstifting av rasterbilder til en sømløs dekning.

Multiresolution-segmentering

Segmentering som gjøres innenfor de valgte arealtypene for å dele området opp i homogene segmenter.

NoData

Pikslar uten pikselverdier får betegnelsen NoData, og tildeles en verdi som skiller seg ut fra de øvrige pikselverdiene.

Normalisert digital overflatemodell (nDOM)

Subtraksjon mellom en DTM og en DSM, der absolutt høydeverdi for objektene framskaffes. (eng. nDSM – Normalized Digital Surface Model)

Objektbasert bildeanalyse (OBBA)

Tar hensyn til bildeobjekter i stedet for pikslar og bruker objektegenskapene til analyse. Bildeobjekter lages ved å dele opp bildet i meningsfulle segmenter. (eng. OBIA – Object-Based Image Analysis)

Objekt-/segmentegenskap

En objekttype eller et objekts karakteristikk. Følgende type objektegenskaper finnes: spektrale egenskaper, form, størrelse, tekstur, kontekst (naboinformasjon/ topologi).

Ortofoto

Bilde av bakken tatt fra fly og som ved prosessering får de samme egenskapene som et kart.

Ortometrisk høyde

Et punkts avstand til geoiden. Benevnes ofte som høyden over havet (o.h.).

Outlier

En målefeil i datasettet.

Overlagsanalyse

GIS-analyse der flere kartlag legges på hverandre og informasjon fra lagene kombineres.

Persentil

Statistisk begrep som rangerer data og deler datamengde i hundredeler. (eks: median = 50 % persentil)

Piksel/pikselverdi

Bildeelementer i et rasterbilde med tilhørende verdi.

Puls/pulsretur

Knyttet til generering av laserlyset. Flere tusen pulser blir sendt ut per sekund, mens laseren sveiper over bakken. Pulsen returneres når den treffer bakken eller objekter på landjorda.

Punktverdi

Verdi til hvert enkelt laserpunkt. Eks: høydeverdi, intensitetsverdi, pulsretur.

Raster (rasterbilde/kart)

Bilderepresentasjon med piksler med tilhørende pikselverdier (rasterbilde).

Regelsett (engl. Ruleset)

Inneholder ulike kommandoer og avanserte funksjoner som kjøres på et utvalg av datasett.

Segment/Segmentering (objekt)

I objektbasert bildeanalyse deles bildet opp i segmenter/objekter (gruppe av piksler) med segmenteringsalgoritmer.

Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon (SOSI)

Dataformat som er en Norsk Standard utviklet av Statens kartverk for utveksling av digitale kartdata.

Spatial Analyst

Verktøy i ArcMap som lar deg analysere romlige relasjoner, bygge romlige modeller, og utføre komplekse rasteroperasjoner.

Temalag (engl. Layer)

Betegnelsen på et kartlag som brukes i GIS-sammenheng.

Vektor (vektorbilde/kart)

Bilderepresentasjon med funksjoner av punkter, linjer og flater. Egenskapstabeller kan være knyttet til kartet.

1.5 Samarbeidspartnere

Skog og landskap og Blom Geomatics var med og hjalp til i arbeidet med masteroppgaven underveis. Begge stod for faglig kompetanse og var store bidragsyttere gjennom hele prosessen.

1.5.1 Skog og landskap

Norsk institutt for skog og landskap (Skog og landskap) ble etablert i 2006 som et resultat av en sammenslåing av Skogforsk og Norsk Institutt for Jord- og Skogkartlegging (NIJOS), og er et nasjonalt institutt for kunnskap om arealressurser. Instituttet har sitt hovedkontor på Ås i Akershus og tre regionkontorer i Nord-Norge (Målselv), Midt-Norge (Steinkjer) og Vest-Norge (Bergen). Til sammen er det ca 220 ansatte.

Skog og landskap har som formål å "forske og framskaffe informasjon knyttet til skog, jord, utmark og landskap, og videreformidle kunnskap til myndighetene, næringslivet og allmennheten". Instituttet skal også "bygge opp og vedlikeholde kompetanse som nasjonalt faginstitut, og forskningen skal være på et høyt internasjonalt nivå. Instituttet skal ha en fri og uavhengig stilling i alle faglige spørsmål" (Woxholt 2010).

I oppstarten av masteroppgaven ble Skog og landskap kontaktet for å høre om et eventuelt samarbeid. Kontaktpersonen fra Skog og landskap ble Knut Bjørkelo, som straks kom med forslag til en problemstilling der laserskanning var sentralt. Instituttet stod også for det meste av dataene.

1.5.2 Blom Geomatics

Blom Geomatics ble opprettet i 2003 etter en sammenslåing av Fotonor AS, Norkart sin kartavdeling og Blom Kart AS, og tilhører Blom Gruppen (Blom ASA). I dag er firmaet et av Norges ledende innen kartlegging. Hovedkontoret ligger på Skøyen i Oslo, mens Rakkestad flyplass fungerer som base for flygninger. Firmaet har ca 50 ansatte i Norge.

Blom Geomatics aktiviteter omfatter:

- Vertikalfotografering
- Laserskanning
- Skanning av flybilder
- Fotogrammetrisk kartlegging
- Ortofotoproduksjon
- Produksjon og foredling av geografiske data
- Rådgivning og konsulentbistand innenfor kartlegging, IT og GIS

Blom ble kontaktet i denne sammenheng for å bidra med praktisk kompetanse. De var svært positive og ville hjelpe til med oppgaven. Det resulterte i et godt samarbeid med Floris Jan Groesz og Cecilia Cerdeira. Tidligere hadde de gjort noen liknende forsøk på å trekke arealgrenser, og de var av den grunn nysgjerrige på oppgaven. Hjelp til utførelse av prosesseringer og behandling av datasett ble gått nøye gjennom underveis.

2 Bakgrunn

I kapittel 1 ble det gjort klart at man ennå ikke er sikker på hvor mye informasjon det faktisk er mulig å hente ut av en punktsky. Laserskanningssystemene utvikles raskt, og stadig kommer nye og mer nøyaktige instrumenter i bruk som også registrerer mer og mer informasjon. Samtidig utvikles det programmer og prosedyrer for analyse av laserdata, også i samband med andre datakilder som allerede etablerte *vektorkart* f.eks. AR5.

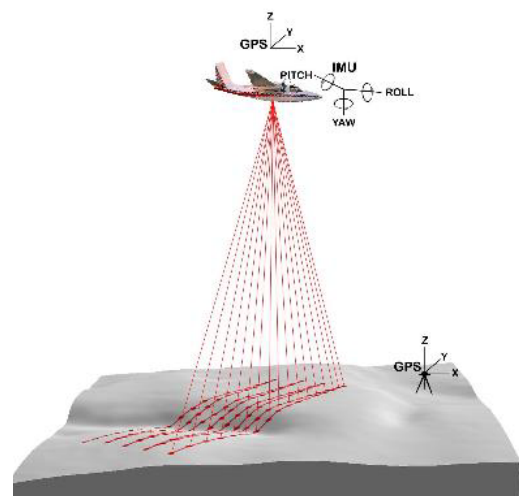
For forståelsen videre tar dette kapitlet for seg det grunnleggende om laserskanning og deretter en beskrivelse av AR5. For en grundigere beskrivelse av laserskanning, anbefales (Barstad 2002) og (Flatman & Rasmussen 2000). Beskrivelsen av AR5 er hentet fra (Bjørddal & Bjørkelo 2006), (Bjørkelo et al. 2009) og (Ringdal 2010).

2.1 Laserskanning

Ordet *laser* er en forkortelse for “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*”. Et annet begrep som også blir brukt for laserskanning er *LiDAR* (Light Detection And Ranging). LiDAR er selve betegnelsen på fjernmålingsteknikken som brukes, mens laserlyset benyttes til å måle avstanden til objektet.

Laserskanningen er ikke en ny teknologi. Like lenge som laseren har eksistert, har ideen om å bruke laserlys til avstandsmåling fra fly, helikopter og romfartøyer vært tilstede. National Aeronautics and Space Administration (NASA) skal på 70-tallet ha gjort ulike forsøk på høydebestemmelse med lasermåling, men det var først etter utbredelsen av *Global Positioning System* (GPS) laserskanningssystemene slo gjennom. GPS gjorde det mulig å georeferere resultatet av en slik skanning.

Måling med laser var lenge kjent som en svært nøyaktig målemetode, men først på 1990-tallet da GPS blei fullt operativt, økte interessen for denne typen avstandsmåling. Parallelt med utbredelsen av GPS, gjorde utviklinga av *Inertial Navigation System* (INS) det mulig å bestemme flyets orientering. Til sammen tre ulike system benyttes altså i laserskanning fra fly; laserskanner, GPS og INS.



Figur 2.1 – Laserskanningsprinsippet
(forsys.cfr.washington.edu)

2.1.1 Prinsippet

Avstandsmåling er det grunnleggende prinsippet i laserskanning. Flyet flyr over terrenget med en laserskanner som måler avstanden fra flyet og ned på bakken. Dette gjøres kontinuerlig ved at laseren genererer laserlys som sendes ut som små pulser, *laserpulser*, mens en sveipemekanisme sprer pulsene på tvers av flyretningen. Hver puls reflekteres av terrenget og mottas av skanneren. Siden lysets hastighet er kjent, er det mulig å regne seg fram til en avstand.

Mens laserskanneren sveiper over terrenget, logges flyets posisjon kontinuerlig med en GPS-mottaker. Samtidig bestemmer INS orienteringa til flyet med en *Inertial Measurement Unit* (IMU). Alle tre systemene må på forhånd refereres til ett system ved at avstanden mellom enhetene blir bestemt. I tillegg må aksesystemene til laseren og IMUen sammenstilles.

Med kjennskap til flyets posisjon og orientering er det nå mulig å georeferere hvert punkt laserskanneren har registrert med X, Y og Z koordinater, og få ei georeferert punktsky.

2.1.2 Spesielle egenskaper

Den raske og automatiserte datafangstmetoden gjør flybåren laserskanning populær. Det skal heller ikke gjøres mye etterarbeid før et sluttprodukt er ferdigstilt og kan leveres ut til brukeren. Dette delkapittelet ser på spesielle egenskaper som laserskanning har, der noen av egenskapene kan ha betydning for oppgaven.

2.1.2.1 Aktiv sensor

Måling med laser er ikke bare en rask metode, men også en metode som ikke krever sollys. Brukes f.eks. multispektrale bilder for å kartlegge terrenget, må de tas i dagslys. En passiv sensor brukes for å ta bildene, altså en sensor som kun registrerer mottatt lys.

Laseren er en såkalt aktiv sensor som vil si at laseren selv sender ut lyset som observeres av sensoren. Det blir derfor mulig å utføre målinger om natten, eller i skyggelagte områder. Det er spesielt aktuelt i områder som er kontrastfattige, f.eks. ved kartlegging av isbreer.

Ulempen med denne formen for avstandsmåling er at sensoren er avhengig av at laserpulsen som sendes ut blir reflektert tilbake. Vannflater og hustak med mye helning kan sende hele pulsen fra laseren i en annen retning, slik at ingenting av lyset blir registrert. Det blir da hull i laserdataene som det må tas hensyn til i videre prosesseringer og analyser.

2.1.2.2 Intensitet

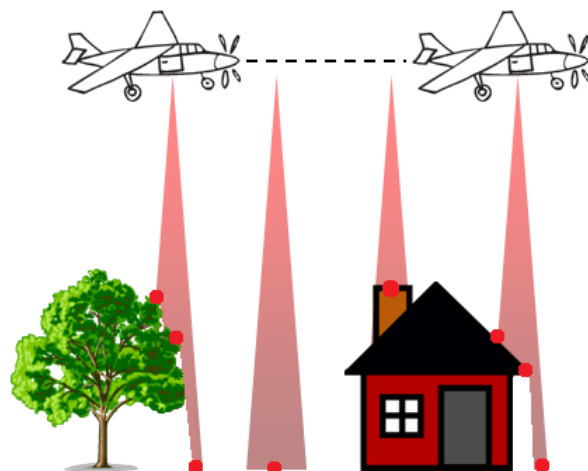
Hvordan intensitet presist skal defineres og måles er systemavhengig og kan variere fra punktsky til punktsky. Intensitetsverdien er et uttrykk for hvor mye av det utsendte signalet som reflekteres og returneres. Altså styrken på den mottatte pulsen i forhold til hva som ble sendt ut. Materialer reflekterer signalet i ulik grad, og det er da mulig å identifisere overganger mellom forskjellige objekttyper på jordoverflaten. F.eks. reflekterer snø mye signal (ca 90 %), mens asfalt reflekterer lite av signalet (ca 15 %).

Andre årsaker som påvirker intensitetsverdien er forhold i atmosfæren som luftfuktighet og forurensning. For å få best måling bør atmosfæren derfor være kjølig, tørr og klar. Intensitet er altså ikke en konstant verdi siden den hele tiden påvirkes av ytre forhold.

2.1.2.3 Pulsreturer

En av egenskapene som skiller laserskanning ifra andre avstandsmålinger, er evnen sensoren har til å registrere og skille to eller flere *pulsreturer* fra samme utsendte puls. Det er nettopp derfor måling av skogarealer er attraktivt med laser siden laserpulsene kan trenge gjennom vegetasjon og treffe bakken i tett skog, og dermed kan høyden på treet beregnes.

Figur 2.2 viser at laserpulsene treffer først i toppen av treet, og returnerer den første returen. Noe av pulsen fortsetter videre og treffer en grein, og en ny retur mottas. Er det fremdeles noe igjen av pulsen, treffer den kanskje bakken. I alt blir tre pulser returnert bare fra treet. Mellom treet og huset treffer pulsen bar bakke, og returnerer derfor én puls. Det samme skjer med pulsen som treffer pipa på huset, mens på kanten av hustaket blir pulsen sendt tilbake med tre returer.



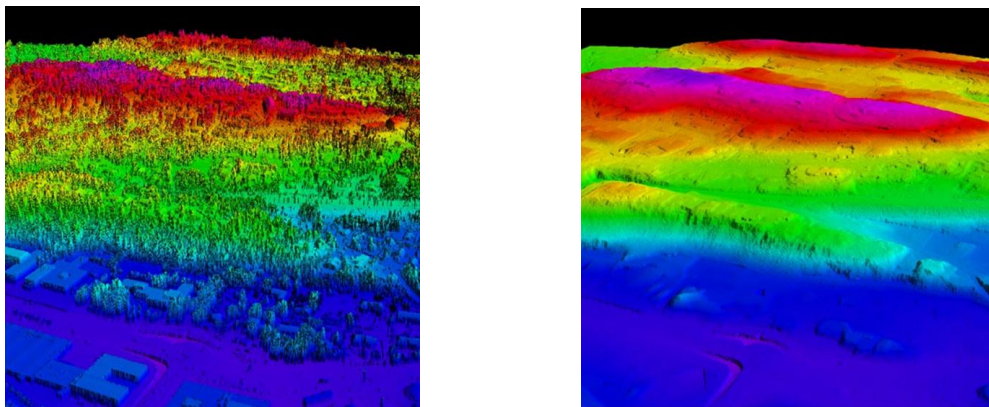
Figur 2.2 – Prinsippet med mange pulsreturer

2.1.2.4 To lysbølger

Den siste egenskapen å nevne er muligheten for å måle avstander med to typer lysbølger. Noen lasersystemer bruker infrarødt lys og samtidig grønt lys for å måle havdyp. Vannoverflaten vil reflektere det infrarøde lyset, mens det grønne lyset vil trenge gjennom vannet og bli reflektert fra bunnen.

2.1.3 Bruksområder

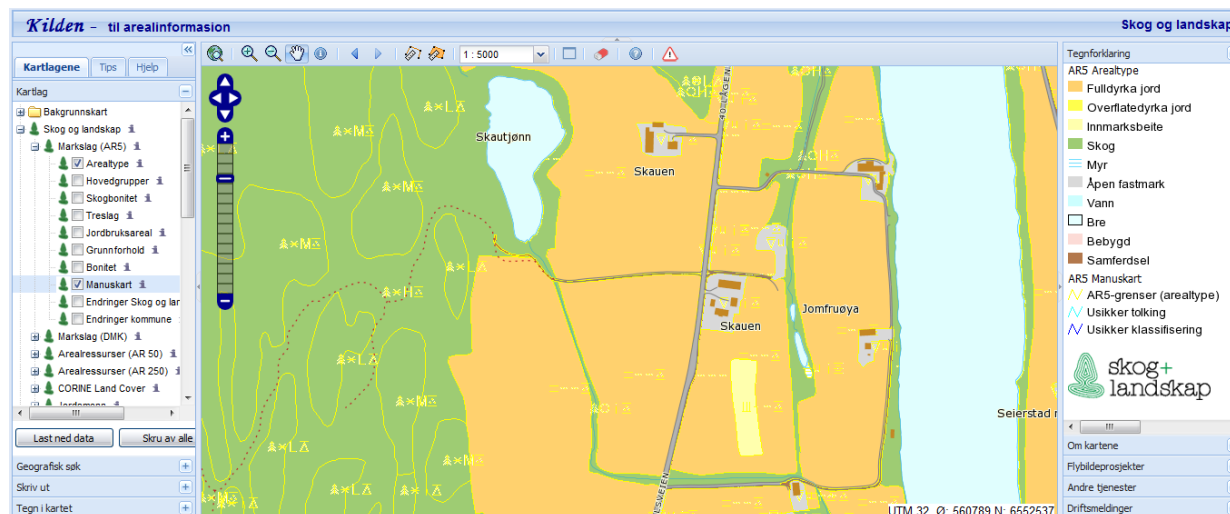
Fremdeles er det høydeinformasjonen fra laserdata som er det viktigste produktet. Denne informasjonen brukes til å produsere *digitale terrengmodeller* (DTM) eller *digitale overflatemodeller* (DOM). Ved siden av disse produktene er det mulig å lage høydekurver, flomanalyser, tredimensjonale bygninger og skogtakseringer. Samtidig forskes det på nye teknikker for å se om laserdataene kan brukes til andre formål.



Figur 2.3 – Digital overflatemodell og digital terrengmodell (Statens kartverk 2008)

2.2 AR5

Norsk institutt for skog og landskap har etablert en åpen karttjeneste på nett som kalles Kilden (*Kilden - til arealinformasjon* 2011). Denne kartklienten skal gi brukeren tilgang til arealinformasjon om Norge, bl.a. såkalte AR5-kart.



Figur 2.4 – Kilden - til arealinformasjon

2.2.1 Historisk

Det har gjennom flere år vært aktuelt å få etablert en oversikt over landarealet i Norge. Allerede på midten av 60-tallet ble det bestemt at det skulle startes oppretting av økonomisk kartverk (ØK) hovedsakelig i målestokk 1:5000. Det skulle ta 40 år med arbeid for Jordregistreringsinstituttet og Norsk institutt for jord- og skogforskning (NIJOS) før førstegangsregistreringen av markslag ble fullført. Dette kartlaget, som var en del av ØK, skulle være en inndeling av landarealet, der arealtilstand, driftsforhold for jordbruk og produksjonsevne eller bonitet for skog skulle være de sentrale temaene.

På slutten av 80-tallet kom de digitale hjelpemidlene som gjorde det mulig å starte produsering av digitalt markslagskart (DMK). Dataformatet som i dag brukes til den digitale kodingen, er Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon (SOSI), og er utviklet av Statens kartverk for utveksling av digitale kartdata.

Fra 2007 har et nytt klassifikasjonssystem, AR5, tatt over for DMK. Grunnen til at det nye systemet har blitt etablert, er at noen av klassene i DMK forandres lite over tid og blir sett på

som et statisk datasett. AR5 har derfor ikke like mange inndelingsklasser som DMK, noe som gjør *ajourhold* enklere.

2.2.2 Hva er AR5?

”AR5 er et standardisert klassifikasjonssystem og kartdatasett for arealressurser i Norge som skal dekke behov innen arealplanlegging, landbruksforvaltning og landbruksnæringer. Kartet skal holdes løpende à jour basert på opplysninger fra saksbehandling, synfaring eller bilder.” (Bjørndal & Bjørkelo 2006)

Selve betegnelsen AR5 står for arealressurskart i målestokk 1:5000. Det er en del av Felles KartdataBase (FKB), og derfor skal det holdes løpende à jour etter de regler som gjelder for FKB (SOSI-standard 2009). Dette kartet deler landarealet etter kriterier for *arealtype*, *treslag*, *skogbonitet* og *grunnforhold*. Et areal vil alltid inneholde opplysninger om disse fire egenskapene, samt såkalte *metadata* eller tilleggsdata som hvilken metode, hvilken nøyaktighet og når kartlegginga er gjort med mer. I selve kartet tegnes ulike AR5-symboler som beskriver egenskapene, men er en egenskap ikke relevant, vises den ikke.

2.2.3 Geometri

Det kan sies at AR5 er en funksjon som returnerer en kombinasjon av egenskapsverdier for ethvert punkt i kartet. Dette følger den internasjonale standarden ”Schema for coverage geometry and functions”, der AR5 er et ”discrete surface polygon coverage” i henhold til denne standarden (ISO 19123 2005). Ei *AR5grense* deler kartet inn i flere *AR5flater*, der hver *AR5flate* får sin *AR5klasse*.

Kurvene som etablerer AR5grensene, blir laget ved å registrere punkter langs kantene i terrenget. Avstanden mellom punktene som danner kurvene bør normalt være mellom 5 – 50 meter, og tettheten bør være så stor at kurvens buktninger kan gjengis best mulig. Deretter blir rette linjer trukket mellom punktene. Høydeverdier på AR5grenser og AR5flater registreres normalt ikke.

Som nevnt i forrige kapittel blir også ulike metadata registrert. Av den grunn kan et areal bestående av en AR5klasse, bli delt opp i flere AR5flater siden metadataene er forskjellig for polygonene. I noen tilfeller er alle data like for to naboarealer. Da er grensa mellom arealene etablert med tanke på størrelsen til polygonet, og merket som fiktiv. Et eksempel er veinettet i

Norge. Veier er sammenhengende, og ville uten en inndeling i polygoner, resultert i ett stort polygon som ikke ville være håndterbart.

AR5flate	Et sammenhengende areal som er tilordnet de samme egenskapsverdiene i henhold til klassifikasjonskriteriene for AR5 og er geometrisk representert som et polygon. Polygonet kan ha hull.
AR5grense	Avgrensing for en eller to AR5flater.
AR5klasse	En unik og lovlig kombinasjon av egenskapsverdier i henhold til klassifikasjonskriteriene for AR5; dvs. for egenskapene arealtype, skogbonitet, treslag og grunnforhold.

Tabell 1 – AR5-begreper (Bjørndal & Bjørkelo 2006)

2.2.4 Arealegenskaper

2.2.4.1 Arealtype

Arealtype, Tabell 2, den viktigste å registrere. I kartet skal alt areal klassifiseres og kodes etter hva slags klasse det tilhører. Er et areal ikke registrert, oppgis det med en egen egenskapsverdi.

Arealtype kan til sammen ha 11 ulike klasser: *fulldyrka jord, overflatedyrka jord, innmarksbeite, skog, myr, åpen fastmark, vann, snøisbre, samferdsel, bebygd og ikke kartlagt*.

Egenskap (kodeverdi)	Symbol	RGB-verdier	Definisjon
Fulldyrka jord (21)	≡	255-209-110	Jordbruksareal som er dyrka til vanlig pløyedjup, og kan benyttes til åkervekster eller til eng, og som kan fornyes ved pløying
Overflatedyrka jord (22)	≡≡	255-255-76	Jordbruksareal som for det meste er rydda og jevna i overflata, slik at maskinell høsting er mulig
Innmarksbeite (23)	≡≡≡	255-255-173	Jordbruksareal som kan benyttes som beite, men som ikke kan høstes maskinelt. Minst 50 % av arealet skal være dekt av grasarter eller beitetålende urter
Skog (30)		158-204-115	Areal med minst 6 trær per dekar som er eller kan bli 5 meter høye, og disse bør være jevnt fordelt på arealet
Myr (60)	≡	209-209-255	Areal med myrvegetasjon og minst 30 cm tjukt torvlag
Åpen fastmark (50)	▽	217-217-217	Fastmark som ikke er jordbruksareal, skog, bebygd eller samferdsel
Vann (80)	va	204-245-255	Uspesifisert vannflate
Snøisbre (70)	*	230-255-255	Blanding av snø og isbre som ikke smelter i løpet av sommeren
Bebygd (11)	bb	252-219-214	Areal som er utbygd eller i betydelig grad opparbeida, samt tilstøtende arealer som i funksjon er nært knytta til bebyggelsen
Samferdsel (12)	sf	179-120-76	Areal som brukes til samferdsel
Ikke kartlagt (99)	ik		Areal som har ukjent beskaffenhet

Tabell 2 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen arealtyper

2.2.4.2 Treslag

Den neste egenskapen er *treslag*, Tabell 3. Her er det forholdet mellom kronedekket av bartrær og lauvtrær innenfor et areal som avgjør hvilket treslag som skal definere arealet. Kronedekket er den delen av arealet som er dekt av trekroner.

Etter at området er registrert, får det verdi etter følgende seks klasser: *barskog, lauvskog, blandingskog, ikke tresatt, ikke registrert og ikke relevant*.

I tillegg til skog skal myr og innmarksbeite også klassifiseres etter treslag der grad av vegetasjon holder kravet til skog.

Egenskap (kodeverdi)	Symbol	RGB-verdier	Definisjon
Barskog (31)	✖	125-191-110	Minst 50 % av skogdekt areal er dekt av bartrær
Lauvskog (32)	○	128-255-8	Mindre enn 20 % av skogdekt areal er dekt av bartrær
Blandingskog (33)	⊗	158-204-115	Mellom 20 - 50 % av skogdekt areal er dekt av bartrær
Ikke tresatt (39)	U	207-204-145	Arealet har ikke tresetting som holder kravet til skog
Ikke relevant (98)	~		Opplysning om treslag er ikke relevant
Ikke registrert (99)	-		Opplysning om treslag er ikke registrert

Tabell 3 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen treslag

2.2.4.3 Skogbonitet

Bonitet, Tabell 4, brukes som oftest innen skogbruket for å uttrykke arealets evne til å produsere trevirke, og i AR5 er det barskog som blir vurdert.

Det er sju klasser for bonitet: *særs høg, høg, middels, lav, impediment, ikke registrert og ikke relevant*.

Arealtypene som skal klassifiseres etter skogbonitet er skog, myr og åpen fastmark.

Egenskap (kodeverdi)	Symbol	RGB-verdier	Definisjon
Særs høg (15)	S	0-173-59	Mer enn 1,0 m ³ tilvekst per dekar og år
Høg (14)	H	125-191-110	0,5 – 1,0 m ³ tilvekst per dekar og år
Middels (13)	M	158-204-115	0,3 – 0,5 m ³ tilvekst per dekar og år
Lav (12)	L	209-232-181	0,1 – 0,3 m ³ tilvekst per dekar og år
Impediment (11)	i	235-245-209	Mindre enn 0,1 m ³ tilvekst per dekar og år
Ikke relevant (98)	~		Opplysning om treslag er ikke relevant
Ikke registrert (99)	-		Opplysning om treslag er ikke registrert






Tabell 4 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen skogbonitet

2.2.4.4 Grunnforhold

Den siste egenskapen er *grunnforhold*, Tabell 5, som sier noe om typen og tykkelsen av jorddekket.

Sju klasser beskriver grunnforholdet: *Organiske jordlag, jorddekt, grunnlendt, fjell i dagen, blokkmark, ikke registrert og ikke relevant.*

Fulldyrka jord, overflatedyrka jord, innmarksbeite, skog og åpen fastmark klassifiseres etter grunnforhold. Myr skal ha egenskapen *organiske jordlag*.

Egenskap (kodeverdi)	Symbol	RGB-verdier	Definisjon
Organiske jordlag (45)		212-186-122	Areal som har et organisk jordlag tjukkere enn 30 cm (20 cm)
Jorddekt (44)		143-128-99	Fastmark der mer enn 50 % av arealet har større jorddybde enn 30 cm
Grunnlendt (43)		168-161-148	Areal der mer enn 50 % har mindre jorddybde enn 30 cm, men som ikke kan klassifiseres som fjell i dagen
Fjell i dagen (42)		207-201-189	Areal der mer enn 50 % er bart fjell og mindre enn 10 % har jord dypere enn 30 cm
Blokkmark (41)		242-240-230	Areal der overflata i hovedsak er dekt med steinblokker
Ikke relevant (98)	~		Opplysning om treslag er ikke relevant
Ikke registrert (99)	-		Opplysning om treslag er ikke registrert.

Tabell 5 – Tegnforklaringer for egenskapsklassen grunnforhold

2.2.5 Minsteareal

Skog- og landbruksarealer kan forekomme som forholdsvis store polygoner. Disse kan da bli delt opp i mindre deler som f.eks. vegnett i Norge er blitt, se kapittel 2.2.3. Da det gjelder minimumsstørrelse på et polygon, eller *minsteareal*, er det definert noen regler som skal sikre jevn detaljeringsgrad. Noen hovedretningslinjer er at jordbruksarealer skal skilles ut ned til 0,5 dekar, og områder ned til 0,2 dekar skal skilles ut innenfor fulldyrka jord. Ellers skal arealer mindre enn 2 dekar eller smalere enn 2 meter ikke skilles ut som egen AR5flate.

Arealtype	Minsteareal (dekar)	Forklaring av spesialtilfeller
Fulldyrka jord	0,5	
	0,2	Gjelder alle typer "ikke jordbruksareal" inni fulldyrka jord
Overflatedyrka jord	0,5	
	0,5	Gjelder alle typer "ikke jordbruksareal" inni overflatedyrka jord
Innmarksbeite	0,5	
	1	Gjelder alle typer "ikke jordbruksareal" inni innmarksbeite
Skog	2	
	5	Innen skog med 1 bonitetsklasse forskjell, eller grunnforhold organiske jordlag
	10	Innen skog med ulike grunnforhold for øvrig
Myr	2	
	5	Der omkringliggende arealer er lite produktive
Åpen fastmark	2	
	0,5	Der arealet er et godt orienteringspunkt
	5	Innen åpen fastmark med ulike grunnforhold (organiske jordlag)
	10	Innen åpen fastmark med ulike grunnforhold (grunnlendt, fjell i dagen, blokkmark)
	5	
Bebyggd	0,5	Samferdselsflater som ikke finnes i offisielle samferdselsdata
		Mindre flater som er levert med offisielle samferdselsdata blir normalt beholdt, uansett areal
Vann	0,5	Vann som ikke finnes i offisielle vanndata
		Mindre flater som er levert med offisielle vanndata blir normalt beholdt, uansett areal
Snøisbre	25	
Ikke kartlagt	2	

Tabell 6 – Oversikt over hovedregler for minstearealer til AR5flater

Allikevel er ikke disse definisjonene absolutte. Bruk av skjønn når polygoner dannes er viktig. Det skal tas hensyn til omgivelsene, og områder som skiller seg klart ut i terrenget bør markeres som egne arealer, selv om definisjonene av minstearealet sier noe annet. Tabell 6 er hentet fra (Bjørddal & Bjørkelo 2006) og viser en oversikt over de mest sentrale hovedreglene for minstearealer til AR5flater.

2.2.6 Kvalitet

Slik situasjonen er i dag, anbefales det å prioritere fullstendig og rask ajourhold framfor nøyaktighet. Allikevel stilles det noen krav til kvalitet.

Nøyaktighetskravet til stedfesting av AR5grenser er 2 meter som er det samme for tydelige markslagsgrenser i ØK. Dette gjelder for grenser som er direkte synlige i terrenget, men siden AR5grenser ofte representerer gradvise overganger som ikke er synlige, vil avviket overstige 2 meter. I andre tilfeller bør stedfestingsnøyaktigheten være bedre enn 2 meter.

Det finnes mange datasett som består av objekter som er registrert med høy nøyaktighet. Veisystemer og bebyggelse, er som oftest registrert i egne databaser, og da er det viktig at AR5grensene tilpasses disse dataene. Resultatet blir god nøyaktighet på grensene.

Hva slags egenskap AR5flaten har, er vanskeligere å bestemme. Riktig nok er det enkelt å skille vann fra skog, men når det snakkes om skogbonitet må det brukes skjønn. Kravet til nøyaktighet er "så godt som mulig med normal innsats". Er det tvil, skal det settes en verdi og oppgi dårlig kvalitet istedenfor å ikke registrere egenskapen.

2.2.7 Kvalitetsangivelse

Det å angi riktig kvalitet på de ulike objektene i AR5, er med på å gjøre bruk og ajourhold av AR5 lettere. Det er derfor viktig at den som utfører kvalitetskontrollen og setter kvalitetsangivelse er bevisst på de ulike forhold som påvirker kvaliteten. I alt er det tre faktorer av betydning:

- Overganger mellom fenomenene som kartlegges
- Tolkningsgrunnlag
- Målegrunnlag eller målemetode

For AR5grenser innvirker alle tre punktene på kvaliteten, mens for AR5flatene og egenskapene til disse, er det de to første som påvirker resultatet. Kvalitetsangivelsen deles inn i målemetode, nøyaktighet og synbarhet i samsvar med (SOSI-standard 2009).

2.2.7.1 Målemetode

Målemetode skal beskrive målemetoden som er benyttet til etableringa av AR5grenser og AR5flater. Tabell 7 viser de vanligste målemetodene og deres verdier. Verdiene som oppgis er standard SOSI-koder.

AR5grenser	Målemetode - kode	Målemetode – generell forklaring i SOSI
	15	Utmål fra objekt
	45	Digitalisert fra ortofoto
	81	Digitalisert fra krokering på kart
	82	Digitalisert direkte på skjerm
	91	GPS kodemåling, relative målinger (med korreksjonsdata)
	92	GPS kodemåling, enkeltmålinger (uten korreksjonsdata)
	96	GPS fasemåling RTK
AR5flate	Målemetode - kode	Målemetode – generell forklaring i SOSI
	45	Digitalisert fra ortofoto
	81	Digitalisert fra krokering på kart
	82	Digitalisert direkte på skjerm

Tabell 7 – Vanlige målemetoder

2.2.7.2 Nøyaktighet

Nøyaktighet skal oppgis i centimeter og fortelle hvor god nøyaktighet aktuell målemetode og registreringsgrunnlag har. Nøyaktighet skal ikke angis på AR5flater, men kun på AR5grenser.

2.2.7.3 Synbarhet

Synbarhet er den tredje kvalitetsangivelsen. Den brukes for å angi registreringsikkerhet på AR5grenser og tolkningssikkerhet på AR5flater. Siden de ulike AR5-objektene etableres etter stor grad av skjønn, skal usikkerhet kun angis i de tilfeller der det er spesielt vanskelig å gjøre en riktig registrering.

Sikker (Verdi: 0)	Grensa kan trekkes etter synlige skiller i terrenget, eller fastlegges med normal sikkerhet i gradvise overganger mellom arealer med ulike egenskaper. Det vil ikke være mulig å trekke en vesentlig riktigere grense selv om man oppsøker stedet i felt med riktig måleutstyr.
Svært uklar overgang (Verdi: 1)	Overgangen mellom arealer med ulike egenskaper er ikke mulig å fastlegge med den sikkerhet man bør kunne forvente, fordi overgangen er særdeles uklar og vanskelig å tolke.
Svært usikker registrering (Verdi: 3)	Overgangen mellom arealer med ulike egenskaper har ikke vært mulig å fastlegge med den sikkerhet man bør kunne forvente, fordi man ikke har tilstrekkelig godt grunnlag for registreringene.

Tabell 8 – Registreringssikkerheten for AR5grenser

Som Tabell 8 viser, er registreringssikkerheten for AR5grenser delt inn tre klasser. Meningen med de to siste kvalitetsangivelsene er å bevisstgjøre den som skal ajourføre AR5 om usikkerheten skyldes forhold i terrenget, eller bare dårlig registreringsgrunnlag. Er målemetoden nøyaktig, skal det ikke angis dårlig nøyaktighet på ei AR5grense som trekkes i uklar overgang mellom AR5flater med liknende egenskaper. Et eksempel er overgang mellom høy og middels skogbonitet.

Tolkningssikkerheten for AR5flater deles i to klasser:

Sikker (Verdi: 0)	Arealets egenskaper er bestemt med normal sikkerhet ved hjelp av relevante observasjoner og datakilder.
Svært usikker tolkning (Verdi: 3)	Man har ikke hatt til rådighet nødvendig informasjon til å bestemme arealets egenskaper med normal sikkerhet.

Tabell 9 – Tolkningssikkerhet for AR5flater

Sikker tolkning kan angis der det er gjort feltarbeid, og all relevant informasjon om området er samlet inn, selv om det er tvil om klassifisering.

Svært usikker tolkning settes på de AR5flatene der man ikke har nok grunnlag for å avgjøre egenskapene til arealet som f.eks. ved utbygging eller nydyrking. I bilder med skyggelagte områder er det ofte vanskelig å vurdere egenskapene. Da skal også *svært usikker tolkning* angis. Ved denne tolkningssikkerheten skal det være en forutsetning at ved å oppsøke området med riktig utstyr eller å se på bilder med bedre kvalitet, kan det gjøres en vesentlig bedre bestemmelse av arealets AR5klasse.

Tolkningsikkerheten skal bevisstgjøre brukeren og de som skal utføre ajourhold om hvor pålitelig AR5-klassen til den valgte flata er. Er tolkningen usikker, er det nødvendig med en spesiell kontroll av flatene ved ajourhold.

2.2.8 Ajourføring

Siden AR5 har røtter helt tilbake til 60-tallet, og med tiden har blitt tolket ved bruk av ulike metoder, som frihåndstegning og flybilder, vil det ha blitt gjort menneskelige feil. Arealene er rett og slett tolket galt. De kan f.eks. være avgrenset galt eller ha gal arealtype, men det skjer også gradvise forandringer etter hvert som årene går. Jordarealer blir til industriområder, skogområder ryddes og beiteområder gror igjen. Alt dette er med på å endre egenskapsverdiene i datasettet. Det er derfor viktig å utføre hyppig ajourføring av AR5 for å ha en god kontroll på arealressursene.

I løpet av et år kan det komme flere nye versjoner av AR5-datasettet som et resultat av et kontinuerlig ajourhold. Dette må gjøres hvis AR5 skal være et pålitelig grunnlag for arealplanlegging, landbruksforvaltning og næringsliv. Spesielt innenfor jordbruksareal er ajourhold viktig fordi kravet til nøyaktighet er størst her, og AR5 blir ofte brukt i tilskuddsforvaltning. Skog og utmark endrer seg ikke i samme grad som jordbruksareal kan gjøre, og ajourføres periodisk med noen års mellomrom.

2.2.8.1 Hvem har ansvar for hva?

Den enkelte kommune skal utføre kontinuerlig ajourhold av AR5. I kommunen er det Landbruksetaten og Geodataetaten som registrerer endringene i egnet programvare. Det er opptil hver enkel kommune å avgjøre hvilket program som skal brukes til ajourføringa. Programleverandører som GISLINE, WinMap og andre mulige verktøy har tilrettelagt funksjonalitet, tegneregler og objektkataloger slik at AR5-endringer skal kunne registreres.

Etter at kommunens endringer er gjort, sendes disse videre inn til Statens kartverk. Statens kartverk sammen med Fylkesmannen skal følge opp at kommunene sender inn et oppdatert FKB-datasettet, som inkluderer AR5, minst én gang per år. De skal også sammen sørge for at AR5 kommer inn i de fylkesvise geodataplanene og sende en vurdering om behovet for periodisk ajourhold videre til Skog og landskap.

Det periodiske ajourholdet skal kontrollere og rette opp feil i det kontinuerlige ajourholdet utført av kommunene. Skog og landskap står for ansvaret og utfører et periodisk ajourhold med

en frekvens på 4 – 7 år. Da kontrolleres kommunens innsendte datasett sammen med ortofoto og opplysninger fra førstegangs kartlegging, og eventuelle feil rettes opp i FYSAK. FYSAK er Statens Kartverks egen programvare som i stor grad benyttes internt i kartverket. Det er et effektivt og slagkraftig verktøy for kartredigering, men med et avansert brukergrensesnitt.

Etter det periodiske ajourholdet av AR5, sammenliknes det oppdaterte datasettet med det gamle og endringsstatistikk registreres. Behovet for denne kontrollen er ikke så stor hvis det kontinuerlige ajourholdet i kommunene fungerer bra. Derfor holder Skog og landskap kurs rundt i kommunene om hvordan man skal vurdere markslaget ute i felt og hvordan programvaren for ajourholdet virker.

2.2.9 Bruksområder

Hele poenget med et slikt datasett er å få kartlagt landets arealressurser. Den detaljerte informasjonen som ligger i AR5 kan f.eks. vise hvor man finner fulldyrka jord, eller hvilket produksjonspotensial et areal med skog har. For at dette produktet skal være mest mulig troverdig for brukeren, er det derfor viktig at egenskapene til et valgt areal, faktisk stemmer med virkeligheten.

Bruken av denne informasjonen kan brukes i mange forskjellige sammenhenger:

- Dokumentasjon av arealressurser
- Arealplanlegging
- Konsekvensutredning
- Jordvern
- Næringsutvikling
- Lovsaker
- Tilskuddsforvaltning i landbruket

3 Forberedelse

I denne sammenheng er det på forhånd nødvendig å se på:

- Hva selve oppgaven går ut på?
 - Problemstillinger (kapittel 1.1)
- Hvilke datakilder er det tilgjengelige?
 - Laserdata
 - Vektorkart
- Hvilke programvarer er tilgjengelige?
 - GIS-programmer
 - Analyse/tolknings-programmer
- Finnes det feil i AR5 som kan avdekkes bare ved å studere kartet?
 - Interesseområder
- Hvilke metoder kan i teorien være mulige løsninger?

Hovedpoenget med oppgaven er å se hvordan laserdata, om mulig, kan brukes til å ajourholde AR5. Siden AR5 er et omfattende kartlag med mange ulike egenskaper, er det viktig å begrense omfanget av oppgaveløsninga. Derfor velges de arealer som er spesielt interessante, og siden alle arealer skal ha arealtype, er det naturlig å se på denne egenskapen først. Egenskapene treslag, skogbonitet og grunnforhold settes foreløpig til side. Det er viktig å tenke på at mye i AR5 er basert på skjønn, og derfor er det nødvendig å fortsette skjønnen i analysen med laserdataene også.

Skog og landskap har stort fokus på jordbruksareal, og av den grunn er det naturlig å fokusere på fulldyrka jord. Overflatedyrka jord, innmarksbeite og myr er også interessante områder, men datasettet består av et lite antall av disse arealtypene og blir derfor nedprioritert. Skog, bebyggd og åpen fastmark er også sentrale arealtyper som i likhet med fulldyrka jord endres over tid, både av naturlige og menneskeskapt påvirkninger.

Til slutt kommer myr, vann og samferdsel. Det er ikke mange av arealene i datasettet som består av myr og vann. Myrområder er vanskelig å detektere, og derfor kan det være interessant å se hvordan laserdataene av et myrområde framtrer. Forekomster av vann er også vanskelig å finne, siden skog kan gjøre grensene på vannet uklare. Det at laseren registrerer flere pulsreturer, kan gjøre det mulig å trenge gjennom skogen. For samferdsel finnes det gode datasett som oppdateres jevnlig, og disse brukes videre i AR5. Derfor kan det antas at samferdsel er godt ajourholdt.

En rangert prioriteringsliste blir som følger:

- Fulldyrka jord
- Bebygd og skog
- Åpen fastmark
- Overflatedyrka jord og innmarksbeite
- Myr og vann
- Samferdsel

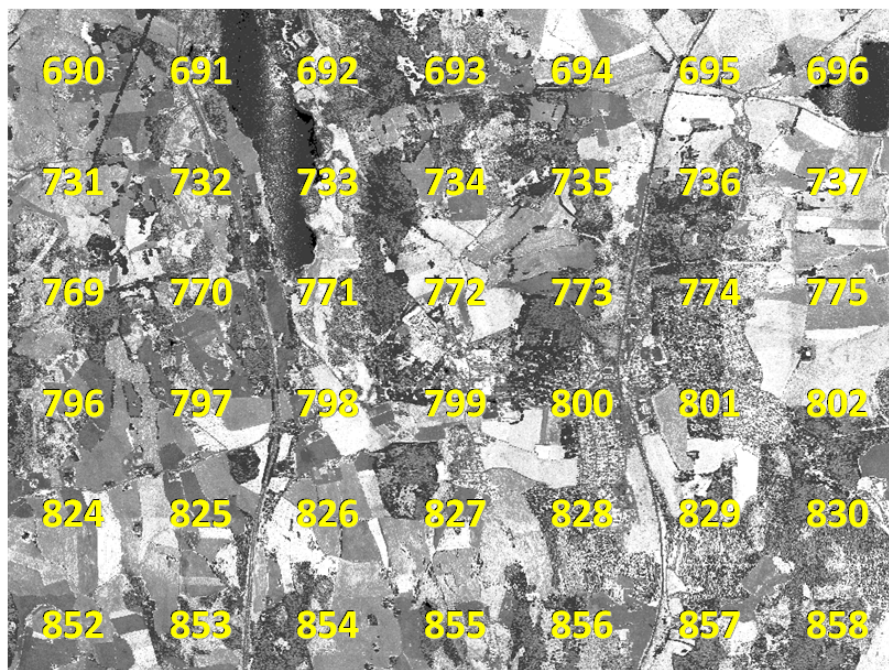
I de neste delkapitlene blir forberedelsen beskrevet. Hvilke datasett og programvarer som blir brukt, samt deteksjon av interessante områder og muligheter for løsninger blir presentert.

3.1 Beskrivelse av tilgjengelige data

Før analysen kan settes i gang, må det gis en oversikt og forklaring på datasettene som blir brukt i oppgaven. I utgangspunktet er to datasett brukt, men andre kilder ble tatt med som hjelp til tolkning av området. Det ene hoveddatasettet er en samling av flere filer med laserdata på formatet LAS, mens det andre er ei shape-fil med AR5. Begge er utsnitt over samme område ifra større datasett. Dataene fra laserskanninga brukes ikke direkte til analyse, men eksporteres først til et bilde.

3.1.1 Laserdata

For å kunne gjøre eventuelle befaringer ute i felten, velges et område på ca 42 km² over Ås kommune som testområde. Dette er et område som inneholder de fleste arealtypene, men likevel er området for lite til å være representativt for hele Norge. Området er forholdsvis flatt, og det er for få arealer av enkelte areal typer, samtidig som laserdataene er spesielt gode i datasettet. Slik situasjonen i Norge er i dag er det ikke mange store områder som har denne punkttettheten.

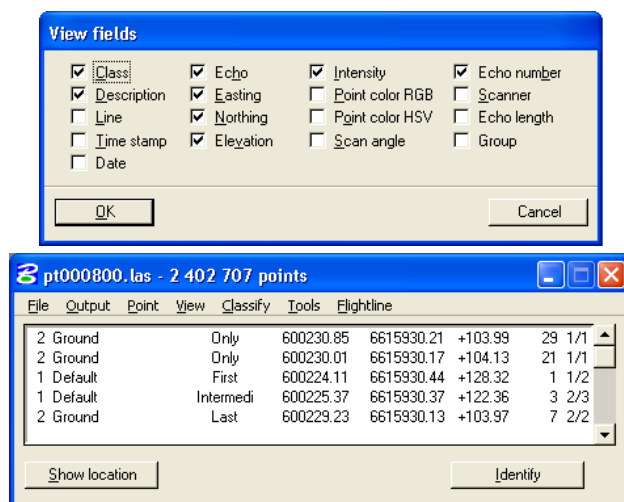


Figur 3.1 – Oversikt over de ulike LAS-filene (Intensitetsraster)

Laserdataene som blir brukt er en del av ei laserskanning gjort over Follo, utført av Blom Geomatics 17.-19. april 2008. Punktene koordinater er i EUREF89, UTM sone 32 med ortometrisk høyde. Punkttettheten for hele prosjektet ligger mellom 1,5 og 2,8 punkt per

kvadratmeter, og det kan derfor antas at det gjelder også for testområdet. For hvert punkt skal det i teorien kunne fås opptil fire typer returer. Punktene er ferdig prosessert, klassifisert av Blom og lagret i 42 LAS-filer (Blom Geomatics 2008).

LAS-formatet er et standardisert binært datautvekslingsformat som inneholder endelige laserdata. Georefererte koordinater, XYZ, blir produsert og lagret i dette formatet sammen med ulike metadata eller *punktverdier* som høydeverdier, pulsreturer, intensitetsverdier, klassifisering av punkt etc. (LAS Specification 2008). Det kreves spesielle programvarer for å lese inn slike binært kodede LAS-filer, men disse programmene kan igjen konvertere filene slik at de blir lesbare tekstfiler, eller ASCII-filer. Dvs. at filformatet lagres i en standard for utveksling av tekst, og filene som er opprettet, er lesbare i vanlige tekstbehandlingprogram som Microsoft Office Word eller Notisblokk.



Figur 3.2 – Et utvalg av punktverdier fra LAS-fil i TerraScan

Grunnen til at filene i dette datasettet består av binære koder er med tanke på datamengden. En binær fil tar betydelig mindre plass enn en tekstfil, og det fører til at dataprosesseringa går raskere ved bruk LAS-filer.

3.1.2 Raster

Analyse av laserdata kan gjøres på mange måter. Hele punktskyen kan importeres og analyseres i 3D, eller bilder med informasjon om laserdata kan lages. I denne oppgaven er det den siste metoden som blir brukt. LAS-filene eksporteres som et *rasterbilde*. Det er et digitalt bilde som de fleste kjenner til med små firkanter eller *pikslar*. Hver piksel har sine rad- og kolonnekoordinater i bildet, samt en tilordna *pikselverdi*. I vanlige bilder er denne verdien

vanligvis en farge, men i denne sammenheng skal bildet representere geografiske data og data som antall pulsreturer. Da har hver piksel sin x- og y-koordinat fra et valgt koordinatsystem (her: EUREF89), og pikselverdien kan f.eks. være en høydeverdi. Typiske filformater for bilder kan være JPG, TIFF og GIF. Programmet som brukes for å etablere rasterbilder i denne oppgaven lagrer bilder med filekstensjonen ASC som brukes for ASCII-filer. Bildeformatet ASC kan lastes inn i ArcMap som kan tolke ASCII-filer.

Figur 3.3 viser et eksempel på hvordan et rasterbilde med høydeverdier er representert som ASC-format. Fila består av et *hode* som beskriver antall piksler bildet består av, hvilke koordinatverdier bildeorigo har, størrelsen på hver piksel og til slutt oppgis verdien for piksler som ikke har registrert verdi (se kapittel 4.5.3). Etter hodet kommer selve datadelen med alle pikselverdiene.

```
nDSM_res2_max - Notisblokk
Fil Rediger Format Vis Hjelp
ncols      3501
nrows      3001
xllcorner  596220.57
yllcorner  6612928.64
cellsize   2
nodata_value -9999
0 0 0 0 0 0 0.03 0 0 0 0 0.09 0.11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.1 0 0 0.07 0.09 0.06 0 0.11 0.09 0 0.1 0 0.1 0 0 0 0
0.14 0.07 0.12 0.14 0.1 0 0.09 0.11 0.08 0.12 0.15 0.1 0 0.13 0.05 0.12 0.09 0.12 0 0.08 0.1 0.09 0.14 0.13 0.
.27 5.86 0.52 0 5.69 12.52 16.56 13.59 6.43 7.31 18.38 16.82 13.37 7.01 9.9 9.81 7.38 18.08 17.77 17.91 17.39
21 19.04 16.31 17.81 18.78 18.51 18.3 18.1 20.69 19.99 18.65 18.76 18.08 17.32 13.9 10.75 10.35 10.67 8.46 5.1
22 11.24 0 0.21 0 11.51 0 0 0.67 0 8.54 16.94 21.96 22.4 20.37 23.16 25.32 23.33 19.3 6.62 15.66 14.88 15.08 0
5.08 7.86 8.44 5.95 6.83 6.42 6.58 7.76 8.73 7.7 6.39 8.14 8.15 8.18 6.11 6.13 9.2 8.92 8.95 8 8.13 5.38 3.45
09 19.17 18.37 21.91 22.31 20.44 21.88 19.62 15.35 12.58 20.98 22.01 22.75 19.39 15.8 14.49 13.78 13.29 9.01 1
13 0 0 0.13 0 0 0 0 0 0.14 0 0.15 0 0 0.48 0.77 7.47 0.21 1.32 0.21 0.09 0 0.38 0 0 0 0.15 0 0 0 0.13
15.62 5.37 5.9 3.58 4.62 0.01 0 1.64 0.83 0 6.4 10.02 8.38 8.23 0.1 7.45 8.86 7.78 8.96 0.2 0 7.24 7.57 8.79 3
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
.3 21.7 21.11 12.16 14.11 15.8 19.73 23.46 19.97 23.23 24.23 18.75 14.03 22.01 15.9 17.49 17.44 18.27 22.61 22
16 11.75 11.04 11.25 16.06 14.37 11.13 9.73 14.43 13.68 17.72 13.66 14.82 18.14 19.43 17.46 16 18.07 20.19 15.
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.07 0 0.08 0.08 0.07 0.06 0.08 0.1 0 0.06 0.11 0 0 1 7.31 7.66 -9999 8.96 -9999 -9999 7.71 0.11 0.09 0.08 0
0 0 0 0 0.11 0 0 0 0 0 0.09 0.1 0.16 0.08 0 0.13 0.1 0 0.09 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.11 0.1 0 0 0
12 0.05 0 0.08 0.12 0.15 0.16 0.03 0.08 0.1 0.12 0.12 0.1 0.07 0.12 0.14 0.11 0.14 0.13 0.16 0.18 0.1 0.16 0.1
5 10.02 0.83 6.01 12.54 16.23 14.64 6.06 13.03 14.34 11.58 6.37 13.74 15.07 11.71 12.29 16.86 20.28 21.78 19.3
57 19.08 17.85 18.1 20.2 19.48 19.07 18.49 16.2 17.6 18.02 18.55 13.39 15.72 14.81 12.57 5.87 6.52 8.29 0 5.03
0 12.91 17.65 0 0.18 0 0 9.68 9.64 0.47 0 11.65 19.03 22.53 22.81 19.87 19.81 18.02 23.37 23.92 21.83 21.81
4.7 6.88 7.31 7.51 9.25 6.68 8.01 8.51 8.32 8.63 7.23 7.12 3.73 5.19 5.14 5.85 6.33 8.44 9.49 5.51 7.09 9.65 6
20.29 16.05 19.92 22.41 21.44 23.65 24.73 18.32 20.88 18.7 19.63 17.79 21.09 18.03 9.03 14.62 20.69 22.59 21.2
0 0 0 0.1 0 0 0 0 0 0 0 0.11 0 0.12 0.08 0.1 0 0.19 2.83 2.7 1.29 0.13 0 0.37 0.13 0.16 0 0.07 0.15
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 0 0.27 14.68 6.85 7.9 6.61 8.42 9.49 10.05 6.85
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0.17 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
83 17.01 13.83 18.69 19.54 20.41 22.02 23.32 23.53 17.72 9.88 16.87 19.73 20.88 23.69 22.29 21.85 16.87 16.64
69 11.08 10.65 12.58 11.88 10.44 11.82 11.9 11.45 8.7 11.85 10.52 9.44 8.17 7.42 8.07 5.49 11.93 9.44 13.13 14
```

Figur 3.3 – Eksempel på ASC-fil som er åpnet i Notisblokk

Et rasterbilde er enkelt og raskt å bruke, men samtidig opptar det mye diskplass. En annen ulempe er at ved dårlig oppløsning, der pikslene er store, er det vanskelig å identifisere enkeltobjekter i bildet. Derfor brukes rasterdata ofte i analyse av flatefenomener som kontinuerlig varierer over et område, som f.eks. vegetasjon, befolkningstetthet og arealbruk.

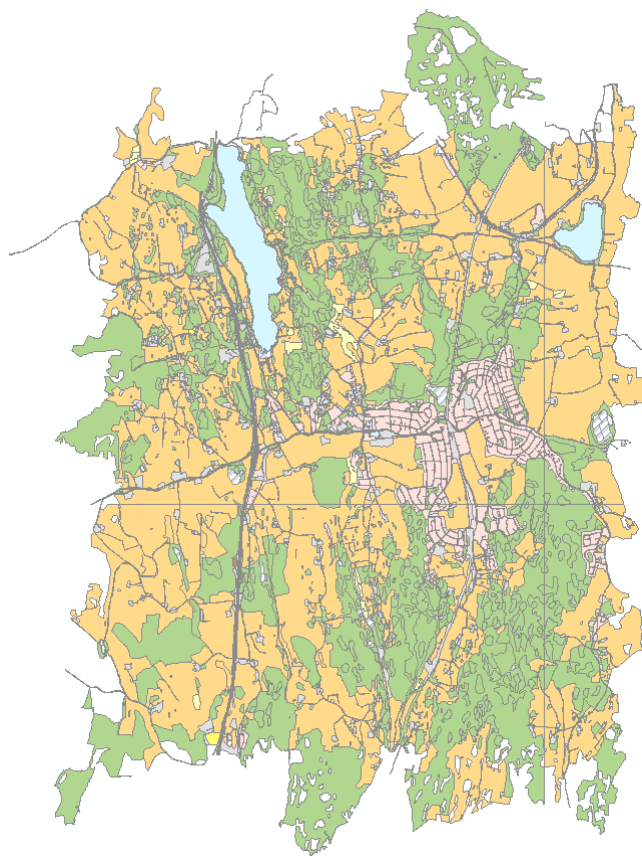
3.1.3 AR5

Det andre datasettet er en del av AR5-databasen. Kvalitetskontroll (*Gårdskartprosessen*) er avsluttet juni 2008, men noen objekter er oppdatert i 2009 ved det kontinuerlige ajourholdet.

I motsetning til laserdataene som til slutt skal vises som et rasterbilde, blir geografiske data i AR5 representert som *vektorbilde*. Siden det er snakk om et kart, kan representasjonen kalles et *vektorkart*. Den visuelle forskjellen mellom et rasterbilde og et vektorkart er at ved mye forstørring blir pikslene i rasterbildet etter hvert synlige. Bildet blir uklart, mens i et vektorkart beholdes linjer og flater skarpe. Dette er fordi denne form for representasjon er bygget opp av punkter, linjer og flater.

Fordelen med vektorkartet er at hus, veier, skogflater og andre enkeltobjekter kan defineres med klare grenser, og videre lagres i mindre størrelse enn et rasterbilde. Ulempen er at det er tidkrevende å tegne og prosessere vektordata, men det finnes ulike programmer som brukes til å ta seg av redigeringa som GISLINE og FYSAK. Se kapittel 2.2.8 om ajourføring av AR5.

AR5-datasettet består av en *shape*-fil med filekstensjonen SHP. Shape er et filformat for lagring av geografiske data, og som nevnt består et vektorkart av tre typer objekter; punkt, linjer og flater. Disse objektene er lagret i shape-fila, men i tillegg er det flere hjelpefiler tilknyttet denne fila. Den viktigste hjelpefila er en DBF-fil som inneholder ekstra informasjon i for hvert objekt. De ulike *egenskapene*, organiseres i en tabell som enkelt kan redigeres i programmer som Microsoft Office Excel 2007. For AR5 finnes det bl.a. informasjon om arealtype, skogbonitet, areal og nøyaktighet i denne tabellen. Med vektorkartet sammen med egenskapstabellen kan f.eks. en verdi for skog velges, og områder der det finnes skog markeres i kartet.



Figur 3.4– Originalt AR5-kart over testområdet

Elementnavn	Beskrivelse
OBJTYPE	Objekttypens navn.
ARTYPE	Hovedinndeling etter kriterier for vegetasjon, naturlig drenering og kulturpåvirkning.
ARSKOGBON	Inndeling etter arealets evne til å produsere trevirke.
ARTRESLAG	Inndeling etter fordeling av kronedekket mellom bartrær og lauvtrær.
ARGRUNNF	Inndeling etter tjukkelse, type og fordeling av jorddekket.
AREAL	Størrelsen på polygonet i m ² .
MAALEMETOD	Verdi for målemetoden som er benyttet.
NOYAKTIGHE	Nøyaktigheten angis i cm som den nøyaktighet dataregistreringen forutsettes å ha.
SYNBARHET	Beskrivelse av hvor godt den kartlagte detalj var synbar ved kartleggingen.
VERIFISERI	Ved ny verifisering (f.eks. at det gjennom fotogrammetrisk ajourføring er verifisert at objektet fortsatt finnes) er det påkrevd med VERIFISERINGSDATO i tillegg til DATAFANGSTDATO.
DATAFANGST	Skal alltid registreres på data som "fanges" etter at FKB versjon 4.0 iverksettes.
KARTID	Kartblad i 1:20000-inndeling. Brukes som oppdateringsenhet.
KJORINGSID	Dato og klokkeslett for innlegging i database.
ARKARTSTD	Informasjon om hvilket klassifikasjonssystem som er brukt.
OPPHAV	Referanse til opphavsmaterialet, kildematerialet, organisasjons/publiseringskilde.
KARTBLAD	Brukes ikke.
SL_SDEID	Unik objekt ID.
INFORMASJO	Informasjon for alle tema.
GEO_AREA	Areal flate (lages automatisk i database).
GEO_LEN	Omkrets rundt flate (lages automatisk i database).

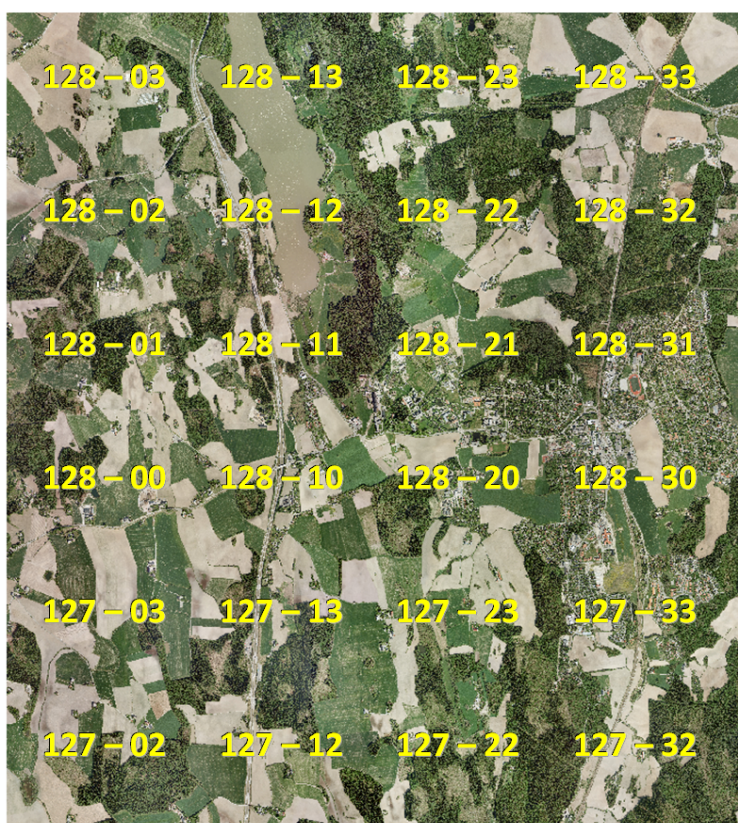
Tabell 10 – Beskrivelse av egenskapstabellen til AR5 (SOSI-standard 2009)

3.1.4 Ortofoto

Et *ortofoto* er et georeferert fotografi av landjorda tatt fra satellitter eller fly, og brukes ofte i sammenheng med andre digitale kartdata som et hjelpemiddel. Det er fordi et ortofoto har de samme egenskapene som et kart, men inneholder mer detaljer.

Datasettet med ortofotoene er produsert av Blom Geomatics, og er en del av Follo-prosjektet i 2008. Fotodato er 13. mai 2008 som er vesentlig siden laserdataene er fra april 2008. Lite forandres på én måned, og derfor kan datasettet med ortofotoene være til god hjelp for avdekking av områder som kan inneholde feil og for å kontrollere resultater etter analyser.

Ortofotoene leveres som bilder på formatet JPG, og kan derfor kalles et raster i samsvar med kapittel 3.1.2. Bakkestørrelsen er 0,10 meter og koordinatsystemet som er benyttet er EUREF89, UTM sone 32



Figur 3.5 – Ortofoto av testområdet med filnavn

3.2 Anvendt programvare

En rekke programmer er brukt under gjennomførelsen av denne oppgaven, og dette kapittelet gir en oversikt over hva slags programmer og hvilke formål de har.

3.2.1 TerraScan (i MicroStation)

TerraScan er en del av TerraSolids omfattende pakke med programmer som er utviklet i Finland for prosessering, visuell betraktning og bruk av flybåren og bakkebasert laserdata. Programmet gjør det mulig å lese inn laserpunkter, bevege seg rundt i disse, utføre både enkle og avanserte prosesseringer og til slutt eksportere ut et resultat (*TerraSolid* 2011).

For å kjøre TerraScan brukes MicroStation som plattform. Dvs. at TerraScan åpnes ved å skrive en kommando i MicroStation, og deretter kan kommandoer i begge programmer brukes sammen.

TerraScan	Innlesning av laserdata, klassifikasjon av laserpunkt til ulike punktklasser, visualisering og eksport
TerraMatch	Kalibrere/utjevning av laserdata
TerraModeler	Etablere terrengmodeller fra laserdata
TerraPhoto	Kalibrere kamera og prosessere bildene
TerraSurvey	Bruk av feltmålinger for kontroll og korrigeringspunkter

Tabell 11 – De ulike programmene i TerraSolid

3.2.2 LidarStat

LidarStat er et program utviklet av Asger S. Petersen i Blom, for å effektivisere etablering av rastere. Programmet beregner rasterbasert statistikk på et sett av laserfiler. Ulike egenskaper og parametere velges på samme måte som er mulig med TerraScan i MicroStation, og et raster blir laget på de valgte premissene. En grunn til at Blom har utviklet *LidarStat*, er at de har behov for å prosessere laserdata over store områder. Datamengden blir for stor for TerraScan og andre tilgjengelige programmer som eventuelt må bruke *mosaikking*.

LidarStat klarer å håndtere større mengder data, samtidig som programmet har flere statistiske muligheter for å bestemme pikselverdier. *LidarStat2* er utviklet for å kunne ta i bruk *persentil* som statistisk beregningsmåte i etableringen av rastere. Dette vil bli beskrevet seinere.

3.2.3 eCognition Developer

eCognition Developer er et program for *objektbasert bildeanalyse* (OBBA). Det brukes i ulike fagmiljøer for å utvikle *regelsett* for automatisk analyse av fjernmålingsdata. Regelsett inneholder ulike kommandoer og avanserte funksjoner som kjøres på de valgte datasettene. Datasettene kan f.eks. være rasterbilder som satellittbilder og flyfoto, laserdata som har kommet inn i de siste versjonene av eCognition, eller tematiske kart som AR5 er.

Raskt forklart blir de ulike datasettene importert i eCognition, før regelsettet etableres. Et regelsett starter som regel med ei *segmentering* som utgjør grunnlaget for den videre analysen. Ei segmentering deler opp rasterbildet i *segmenter* eller *objekter* etter satte kriterier. Analysen kan bestå av *klassifisering* av segmentene. Hva formålet med oppgaven er, avgjør hvordan klassifiseringen gjøres. Resultatet av analysen kan eksporteres både som et rasterbilde eller som et vektorbilde. Dette gjør det mulig å fortsette analysen i ArcMap eller Excel for å visualisere og se på statistikk (*eCognition Developer 2011*).

Tidligere var det Definiens som stod for driften av programmet, men i 2010 tok Trimble, et av verdens ledende selskaper innen utstyr og system for geomatikk, over utviklingen og markedsføringen. Dette hadde liten betydning for kunder rundt i verden, siden utviklerne fra Definiens blei med over til Trimble (*Company History - Trimble 2011*).

3.2.4 ArcMap

ArcMap er hovedapplikasjonen i programvaren ArcGIS fra ESRI som er en av verdens ledende leverandører av GIS-programvare. ArcGIS brukes i dag verden over av GIS-eksperter, saksbehandlere, feltarbeidere, studenter og andre som jobber med GIS. I tillegg til ArcMap består pakken av ArcCatalog som brukes for å organisere og administrere geografiske data og databaser samt for innsamling og visning av metadata.

I ArcMap er det mulig å utvikle nye kart ved å legge til data f.eks. fra shape-filer, geodatabaser og tabeller med ulike egenskaper. Samtidig muliggjør programmet kartbaserte analyser eller redigeringsoppgaver for alle typer geografiske data i kart. Ved å bruke disse dataene kan forhold mellom forskjellige objekter i kartet avdekkes. Objekter kan klassifiseres etter symboler eller farger, antall objekter kan summeres og ulike statistiske diagrammer kan lages.

En viktig del av ArcMap er ArcToolbox som er et integrert verktøy i ArcGIS. ArcToolbox er en verktøykasse som bl.a. tar for seg konvertering av data og geobearbeiding. I enkelte

sammenhenger er det også mulig å importere inn egne verktøy til spesielle prosedyrer (*Hva er ArcGIS Desktop?* 2011).

3.2.5 Microsoft Office

Microsoft Office er en programvarepakke som inneholder ulike programmer for bl.a. oppretting av dokumenter (Word), regneark (Excel) og presentasjoner (PowerPoint). I denne oppgaven blir hovedsakelig kun to av disse brukt. Word blir brukt i forbindelse med oppgaveskrivingen, mens Excel brukes for endring av egenskapstabeller, beregne og analysere data og lage diagrammer til oppgaven.

3.2.6 EndNote

EndNote er et av de mest brukte referansehåndteringsverktøyene som finnes i dag. Programmet organiserer alle referanser og gjør det mulig å importere disse direkte inn i Microsoft Office Word underveis i skrivingen. Den importerte referansen havner automatisk inn i en litteraturliste som kan plasseres i dokumentet.

3.3 Interesseområder

Interesseområder er områder i AR5-kartet som *er* eller *kan* være klassifisert feil. Områdene er avdekket på forhånd ved å studere AR5-kartet, samtidig som et ferskt ortofoto er brukt som et bakgrunnsbilde. Dette vil gi en god indikasjon på hva slags type problemer AR5 kan inneholde, og hvor disse oftest ligger. Fra beskrivelseskapittelet om AR5, blei det nevnt noen slike problem. Utbygging både på landbruksarealer og i skog, nedhogging av skog, gjengroing av beitearealer er alle mulige faktorer som må ajourføres jevnlig i AR5 for at kartet skal stemme. Med disse områdene i bakhodet kan AR5-datasettet studeres.

Figur 3.6 og Figur 3.7 på de neste sidene er eksempler på interesseområder. Det dreier seg stort sett om arealtypene bebygd, fulldyrka jord, skog og åpen fastmark.

Følgende problemer er avdekket bare ved å se over AR5 sammen med ortofotoene:

1. Åpen fastmark som består av skog, kunne vært slått sammen med naboarealet som er et skogareal.
2. Et areal i skog som har egenskapen åpen fastmark, men skiller seg ikke spesielt ut i fra skogarealet.
3. Fulldyrka jord med uriktig grense mot skog. Grensa burde vært flyttet til skogkanten.
4. Et stort areal som kunne vært delt inn i flere mindre arealer
5. Fulldyrka jord som ifølge ortofoto ser ut til å være åpen fastmark, samtidig som arealet består av et hus.
6. Fulldyrka jord som kan være åpen fastmark ifølge ortofoto, og kunne vært slått sammen med sideliggende areal.
7. Fulldyrka jord som ser ut som å ha samme overflate som myr.
8. Bebyggelse i skogarealer, ved allerede eksisterende arealer med egenskapen bebygd.
9. Hus i skogareal.
10. Hus i skogareal, samt fulldyrka jord som ikke er lengre dyrka.
11. Mye bebyggelse i skogareal.
12. Skogareal som burde vært bebygd eller åpen fastmark.
13. Skogareal som burde vært bebygd eller åpen fastmark.
14. Utbygging på fulldyrka jord
15. Utbygging på fulldyrka jord, samt skog som kanskje ikke lengre er skog.
16. Bebyggelse i skog, samt parkeringsplass innenfor fulldyrka jord.



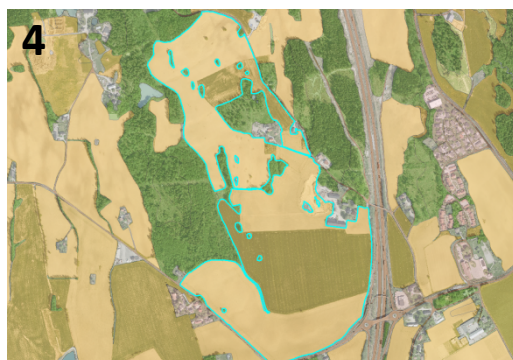
For stor åpen fastmark



Åpen fastmark som burde vært skog



Uklare grenser mellom fulldyrka jord og skog



Store områder med fulldyrka jord



Fulldyrka jord burde vært åpen fastmark



Fulldyrka jord burde vært åpen fastmark



Myrområde på fulldyrka jord



Boligområder i skog

Figur 3.6 – Interesseområder (1)



Hus i skogareal



Hus i skogareal



Hus i skogareal



Skogareal som er bebyggt



Skogareal som er bebyggt



Utbygging på fulldyrka jord



Utbygging på fulldyrka jord



Områder kan være åpen fastmark/bebyggt

Figur 3.7 – Interesseområder (2)

En rekke interesseområder i AR5 er avdekket. Flere steder finnes det hele arealer eller deler av arealer som burde hatt en annen arealtype som egenskap. Problemet med utbygging går spesielt igjen. I noen tilfeller burde hele skogarealer vært endret til bebygd eller åpen fastmark, interesseområde 8, 12 og 13, men også tilfeller der kun deler av skog er bebygd, forekommer, interesseområde 9, 10 og 11. Flere steder avdekkes det hus og utbygging også på fulldyrka jord. Bebygde områder utvides, og følgen er at grensene blir ukorrekte og må flyttes. Flere grenser stemmer ikke med virkeligheten. Interesseområde 1 og 3 viser at grenser burde vært annerledes fordi det hogges ned skog og jordbruksarealer utvides, og fordi skogarealer øker ved at naboarealer gror igjen.

Innenfor skogarealene finnes flere områder der det ikke finnes skog. Det er ikke riktig å slå fast at arealet derfor ikke skal ha egenskapen skog siden det også kan være en hogstflate. Først da det produseres et nytt laserdatasett over det samme området etter f.eks. fem år, og den samme analysen kjøres på det nye datasettet, kan det slås fast om området kan betegnes som skog eller ikke. Hvis hogst var utført og planting foretatt, ville trær blitt observert i det nye datasettet.

Ut i fra ortofoto er det mulig å skille mellom fulldyrka jord og åpen fastmark. Likevel finnes enkelte områder innenfor et areal med egenskapen fulldyrka jord som kan være åpen fastmark og omvendt.

Alt dette sammen med teori om laserskanning og hvilken informasjon som ligger i laserdataene, er med å avgjøre hva slags rastere som kan brukes for å løse de ulike problemene:

- Er det mulig å avsløre utbygging i skog?
- Hva med utbygging eller vegetasjon på fulldyrka jord?
- Kan skogarealer uten skog detekteres?
- Kan fulldyrka jord og åpen fastmark skilles fra hverandre?

3.4 Mulige hjelpemidler fra laserdata

I kapittel 1.2 om de tidligere studiene som er gjort, presenteres noen av de brukte rasterne for denne typen analyse og visuell betraktning av laserdata, og hvordan disse *kan* brukes.

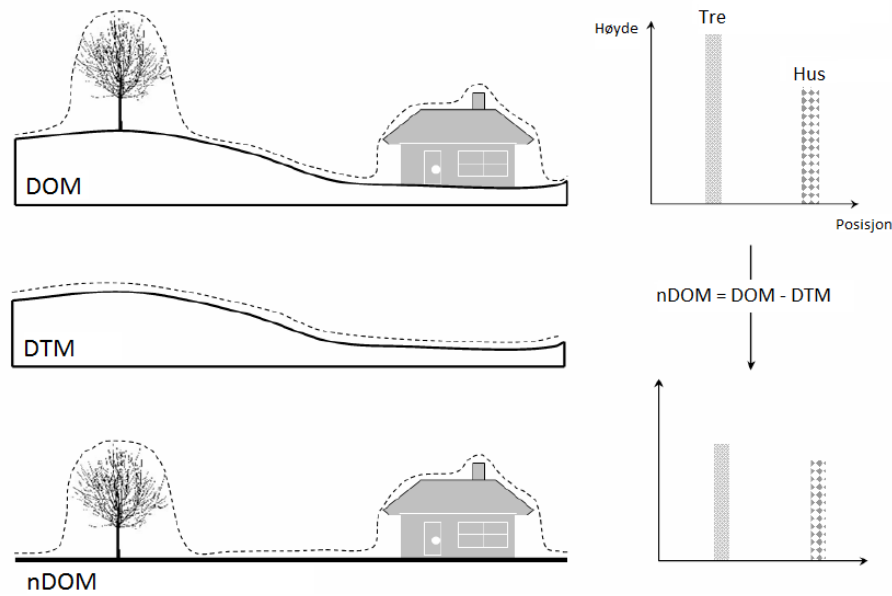
Programmer som eCognition bruker avanserte segmenterings- og klassifiseringsalgoritmer til analyse, mens ArcMap kan brukes for visuell tolkning. Kombinasjoner av disse rasterne er også mulig, og vil bli beskrevet seinere.

3.4.1 DHM, DOM, DTM og nDOM

Et velkjent produkt som blir produsert ut fra en laserskanning er en *digital høydemodell* (DHM) som beskriver høydeverdier over en flate. I dag brukes dette produktet foreløpig stort sett til å etablere høydekurver, selv om det er flere andre områder en slik modell kan brukes til. En DHM er en fellesbetegnelse på ulike høydemodeller, men de to betegnelse DOM og DTM brukes også ofte.

En *digital overflatemodell* (DOM) er en type høydemodell som beskriver jordas overflate med alle objekter som trær og bygninger. For hver laserpuls blir det som nevnt registrert en høyde, og i en DOM hentes disse høydeverdiene ut, slik at alle detaljer på jordoverflaten blir tatt med i høyderepresentasjonen. I andre tilfeller ønskes en høydemodell der *ikke* trær, bygninger og andre objekter er på overflaten. Det snakkes da om en *digital terrengmodell* (DTM) som viser kun terrenget eller bakken.

Hverken i en DOM eller i en DTM kan høydene til hvert enkelt objekt bestemmes. Det blir først mulig ved å kombinere disse to høydemodellene, og å etablere en tredje type DHM, en såkalt *normalisert digital overflatemodell* (nDOM). En nDOM lages ved å subtrahere en DTM fra en DOM. På den måten "dras" alle objekter i DOMen ned på et nullnivå, slik at alle høydeverdier er relative til bakken. Hvert objekt har nå fått sin absolutte høyde. Figur 3.8 er hentet fra (Changok 2007) og fornskjet og viser prosessen for å etablere en nDOM. Resultatet blir en høydemodell der treets høyde kan bestemmes og sammenliknes med høyden på huset, siden bakken har høyden null.



Figur 3.8 – Etablering av nDOM

Høydemodeller blir viktige rasterer som brukes i videre analyser. Spesielt det at objekter i en nDOM får sin bestemte høyde, kan gjøre det mulig å detektere hus, trær og andre oppstikkende objekter på områder der høyden i utgangspunktet burde vært null. Dette svarer til interesseområdene i forrige kapittel der det er utbygging på fulldyrka jord, eller der skog kan ha blitt plantet.

Et annet eksempel for bruk av nDOM er for å avgjøre om skogarealer faktisk har skog, siden områder med skog i utgangspunktet bør ha høydeverdier. Detekteres det områder i skog som ikke har høyder, kan det antas følgende alternativer:

- at det ikke er skog, feil i kartet
- at området er hogd
- at det ikke vokser trær der, men at området er for lite til å skille ut som egen flate (eks: små myrområder)

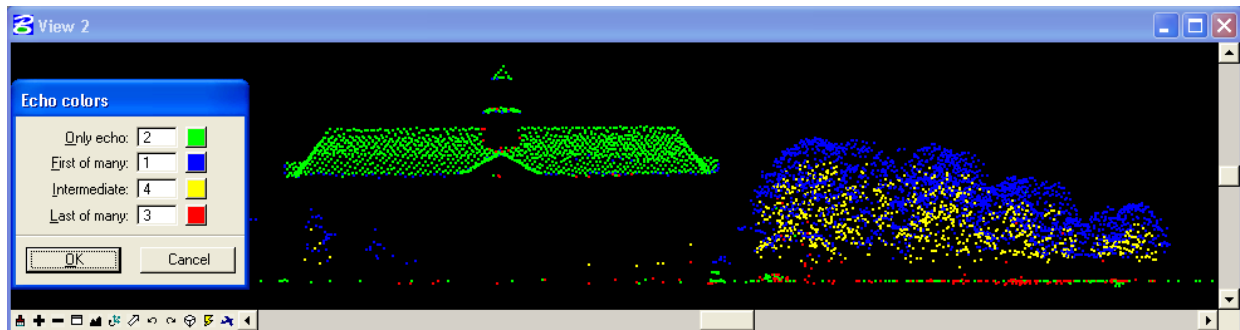
En DOM eller DTM kan brukes sammen med andre rasterer i forbindelse med å kontrollere vannarealer, myrområder og andre flate arealer. I et land som Norge, vil det være få steder, foruten vann, som består av slike store horisontale flater.

3.4.2 Pulsretur

I kapittel 2.1.2 om laserens spesielle egenskaper blei muligheten for at en puls kan trenge gjennom vegetasjon nevnt. Kun én puls blir sendt ut fra laseren, men hele fire ulike typer pulsreturer kan bli registrert av laseren. I TerraScan brukes fire betegnelser (fritt oversatt til norsk):

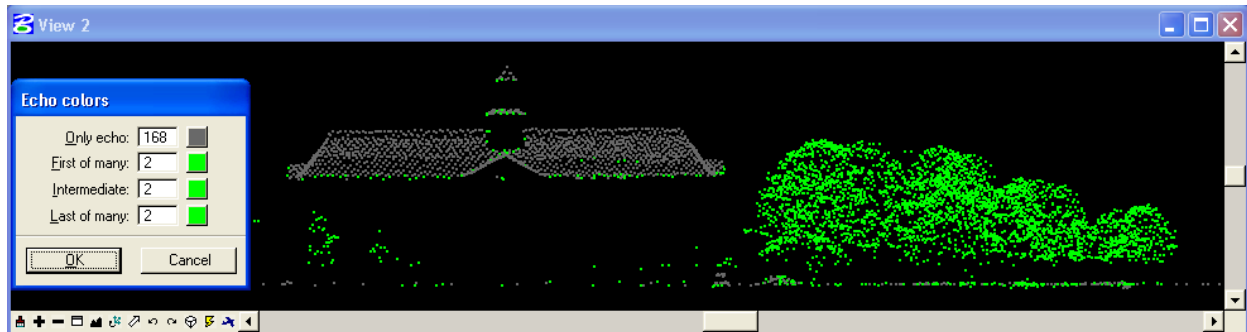
- *Only echo* (eneste retur)
- *First of many* (første retur)
- *Intermediate* (mellomliggende retur)
- *Last of many* (siste retur)

Hver pulsretur merkes med én av de overstående betegnelse. Figur 3.9 viser hvordan de ulike returene kan presenteres i TerraScan med fire ulike farger for hver type retur. Hustaket reflekterer for det meste kun én retur (grønn), mens i vegetasjonen treffer de fleste pulsene toppen (blå), fortsetter videre ned i treet (gul) før den tilslutt treffer bakken (rød).

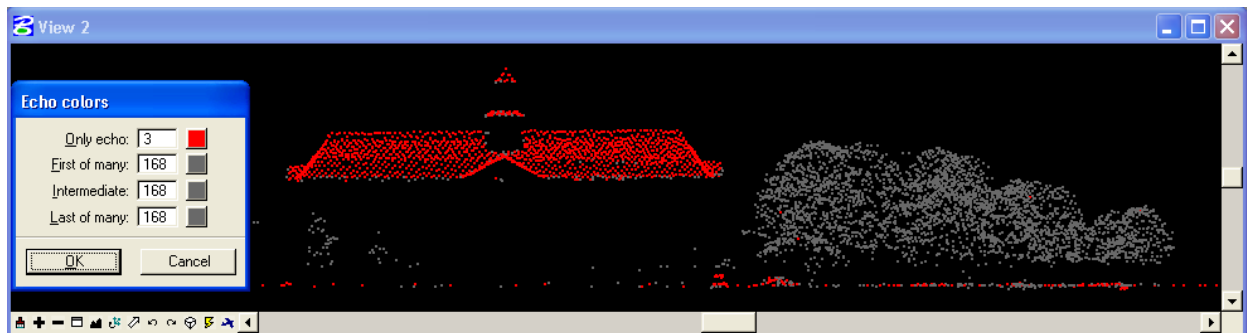


Figur 3.9 – Pulsreturer vist i TerraScan

Rastere med ulike kombinasjoner av disse fire typer pulsreturer kan være interessante. Figuren over viser at punkter som er registrert med kun én retur hovedsakelig befinner seg på hustak og på bakken. I dette tilfellet finnes det svært få punkter med kun en eneste retur i trærne. Det betyr at ved å ekskludere punkter med Only echo står vegetasjonen alene igjen, Figur 3.10. Alle bygninger og ugjennomtrengelige objekter blir ikke tatt med i rasterbildet. Ved å gjøre motsatt kan vegetasjonen ekskluderes og kun bygninger og bakketreff står igjen, Figur 3.11. Et raster med kun bygninger vil være interessant for å detektere bygninger i skog eller i områder der det ikke er registrert bebyggelse.



Figur 3.10 – Vegetasjon: Ekskludering av puls med kun én retur



Figur 3.11 – Hus: Ekskludering av puls med flere returer

I tett granskog vil ikke dette nødvendigvis være tilfellet. Vegetasjonen er i slike områder så tett at hele laserpulsen returneres i én retur slik at i realiteten står bygninger og tett vegetasjon igjen i rasterbildet.

3.4.3 Intensitet

Å bruke et intensitetsraster som datakilde i en analyse kan være problematisk i denne sammenheng, hvis målet er å etablere en automatisk prosedyre for oppdatering av AR5. Siden intensitetsverdier kan forandres for hver laserskanning jamfør kapittel 2.1.2, vil det være vanskelig å få til en universell framgangsmåte som kan gjennomføres på hvilket som helst intensitetsraster.

En mulighet er å bruke intensitetsbilde som et visuelt bilde. Et rasterbilde eksportert som et intensitetsbilde er et godt egnet produkt for å kunne skille ulike typer jorder. Et jorde som er nypløyd vil ikke ha samme intensitet som et spirende jorde. For interesseområde 4, som viser et stort areal med fulldyrka jord, kan det være mulig å få splittet arealet i mindre områder ved å bruke et intensitetsraster.

3.4.4 Standardavvik

Denne typen raster sier noe om spredningen av punktverdier, for f.eks. høyde, innenfor pikselen. En høy pikselverdi betyr at spredningen av høydeverdien til laserpunktene er stor. I skog vil standardavviket være stort, for der er det ujevne høyder, men på bakken og på hustak bør det bli en liten verdi på spredningen. Det samme gjelder for vannflater. En rolig vannflate vil, hvis laserpulsene returneres, ha lavt standardavvik.

3.4.5 Helning

Et helningsraster kan si noe om hvor bratt terrenget er. Karter basert på helning brukes ofte av kommuner for å vurdere hvilke områder som er for bratte for utbygging. I denne sammenheng kan slike rastere brukes i studie av vann og myrområder som vil forekomme som flate områder.

3.4.6 Skyggelegging

En skyggelagt DTM er et annet raster som kan visualisere tydeligere hvordan topografien i terrenget er. På engelsk brukes *hillshade* som betegnelse på slike rastere. En fiktiv sol plasseres for å stråle på terrenget slik at konturene i terrenget trer fram. Det vil da være enkelt for en bruker å avgjøre hvilke områder som har helning og hvilke som ikke har det. Vann vil skilles ut, og skog med myr kan bli skilt ut siden myrområder har forholdsvis flatt areal.

4 Gjennomførelse

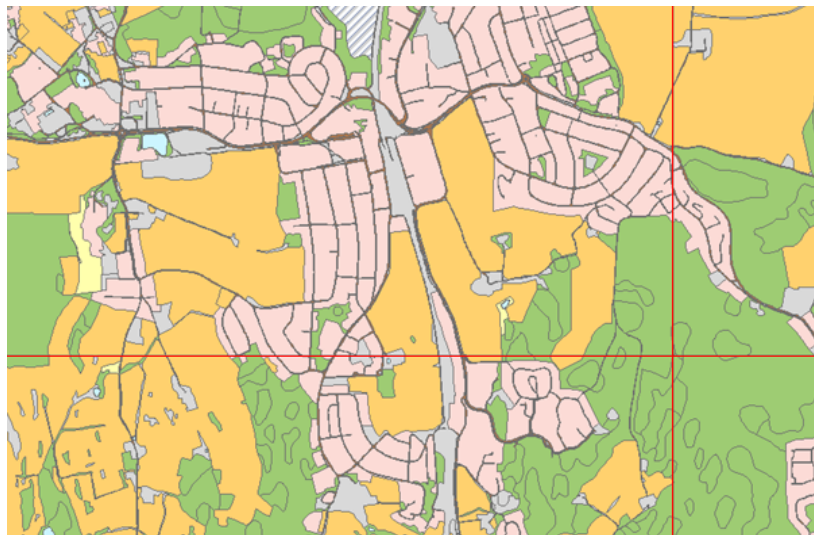
Denne delen av oppgaven skal beskrive framgangsmåten for hvordan løsninger av problemstillingene kan utføres. Den første delen beskriver hva som måtte gjøres for å tilrettelegge datasettene til analyse. Deretter blir framgangsmåten for å etablere rastere presentert. Videre beskrives de ulike analysene og tolkningene som er gjort, både i eCognition og i ArcMap.

4.1 Tilretteleggelse av data

For å få en optimalisert analyse av dataene måtte både shape-fila med AR5 og LAS-filene med laserdata gjennomgå en tilretteleggelse.

4.1.1 Løse opp AR5

I Figur 4.1 vises en del av det originale AR5-datasettet i ArcMap. Merket med rødt er kartbladinnndeling til AR5, tilsvarende kartblad i 1:20000 i EUREF89 UTM32. Inndelingen splitter polygoner, slik at det oppstår to arealer med like egenskaper. Dette ønskes ikke og med verktøyet *Dissolve* i ArcMap kan disse nabopolygonene slås sammen ved å løse opp linjen som splitter dem.



Figur 4.1 – Kartbladinnndeling i AR5

4.1.1.1 Framgangsmåte

I ArcMap velges:

ArcToolbox → Data Management Tools → Generalization → Dissolve

I dialogboksen som kommer opp velges det originale datasettet som input, og et navnforslag på det nye lages automatisk i output-feltet. Alle egenskapene fra egenskapstabellen kommer opp i et felt og de egenskapene som skal være med i sammenslåinga av polygonene markeres.

Dissolve

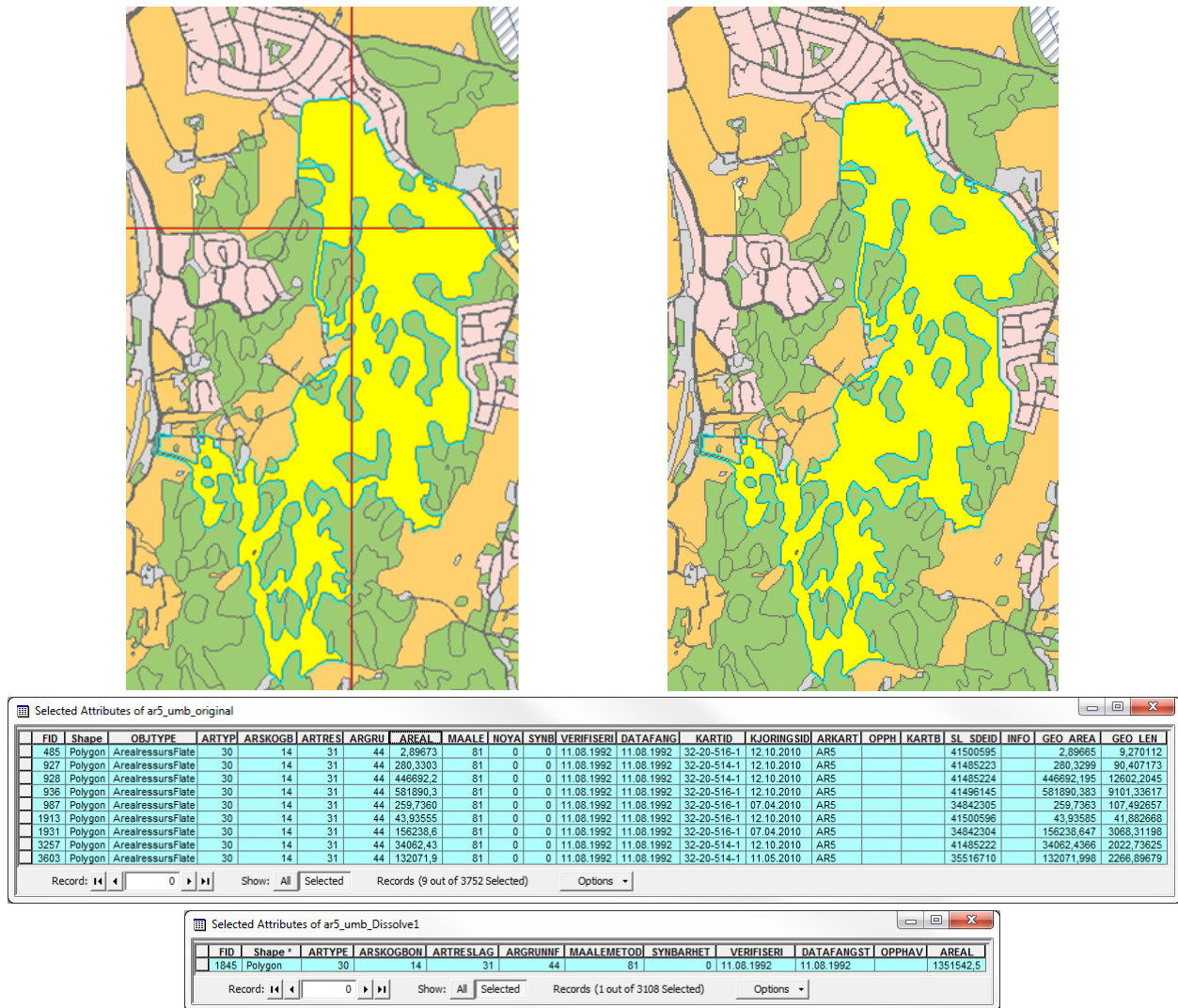
Denne funksjonen kan også brukes der det er ønskelig å lage et kart kun basert på arealtype. Ved å velge ARTYPE, vil alle polygoner som grenser til hverandre og har lik arealtypeverdi slås sammen. Det betyr at alle arealer som har verdi for skog slås sammen, og det samme for fulldyrka jord.

For at polygoner som grenser til hverandre skal slås sammen, må alle egenskapene som velges være like for de to polygonene. I dette tilfellet har kartbladinndelingen splittet polygonene som i utgangspunktet skal ha like verdier i egenskapstabellen. Det betyr at de fleste egenskapene kan velges, bortsett fra de som har unike verdier for hvert enkelt polygon, f.eks. *FID*, *AREAL*, *GEO_AREA* og *GEO_LEN*. Disse må derfor utelates.

Egenskapene *OBJTYPE*, *KARTID*, *KJORINGSID*, *ARKARTST*, *KARTBLAD*, *SL_SDEID* og *INFO* tas heller ikke med siden de ikke har noen betydning for videre analyse. *NOYAKTIGHE* tas ikke med siden dette ikke gjelder for AR5flater. De som står igjen som gjeldende egenskaper i denne sammenheng er:

ARTYPE, *ARSKOGBON*, *ARTRESLAG*, *ARGRUNNF*, *MAALEMETODE*, *SYNBARHET*,
VERIFISERI, *DATAFANGST* og *OPPHAV*

For å bevare hvert polygon må *Create multipart features* ikke markeres. Hvis det skjer, vil også polygoner som ikke grenser til hverandre bli koblet sammen.



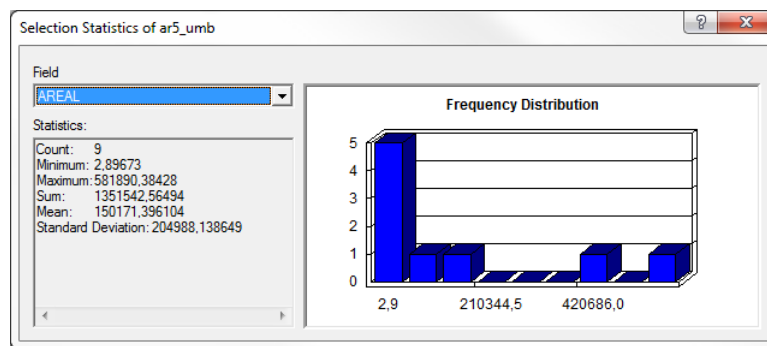
Figur 4.2 – Oppløsning av kartbladinndeling i AR5-datasettet

Siden egenskapen *AREAL* er en interessant egenskap som bør tas med videre, lages en ny kolonne i egenskapstabellen og arealer for samtlige polygoner beregnes automatisk i ArcMap:

- Åpne egenskapstabellen til det nye datasettet
 - Options → Add Field → Angi navnet: AREAL → Type: Double → OK
- En ny kolonne er opprettet. En arealberegning gjøres på følgende måte:
 - Høyreklikk på kolonnenavnet → Calculate Geometry → Property: Area og Units: Square Meters → OK
- En beregning starter og arealer blir lagt inn i de tomme feltene

4.1.1.2 Resultat

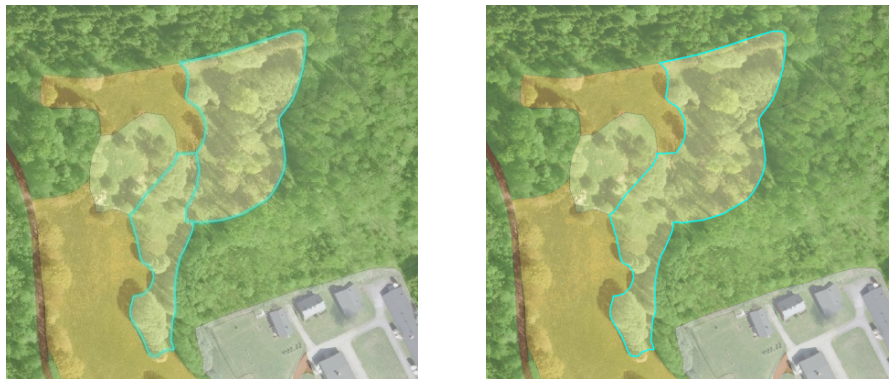
Resultatet fra denne operasjonen blir et datasett uten kartbladinndeling som vist i Figur 4.2. Figuren viser også et eksempel der kartbladinndelinga har splittet et skogareal til i alt ni polygoner. Disse polygonene har like verdier for de tidligere nevnte egenskapene, og slås derfor sammen til kun ett polygon. Som en kontroll av kan summen av polygonenes areal fra det originale datasettet, sammenliknes med det nye polygonet som er opprettet. Figur 4.3 summerer de ni polygonenes areal, og konklusjonen er at det nye sammenslåtte polygonet er like stort. Det kan derfor antas at sammenslåinga er godkjent.



Figur 4.3 – Statistikk fra et valgt område

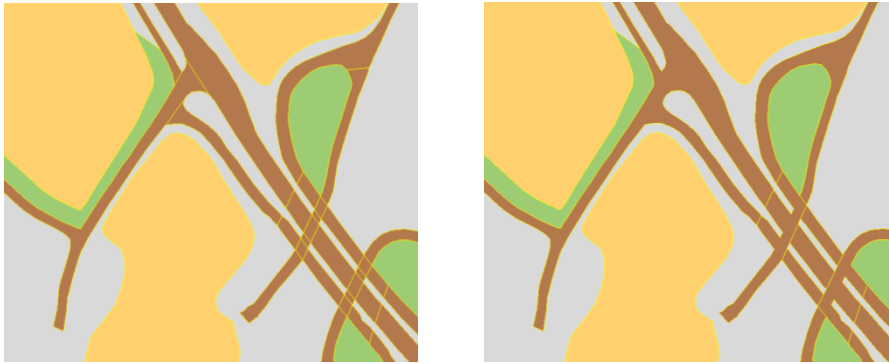
4.1.1.3 Merknader

Det er verdt å merke seg at steder i AR5-kartet, som ikke påvirkes av kartbladinndelingen, også slås sammen ved denne handlingen. Enkelte nabopolygoner består av de samme egenskapene som Dissolve baserer seg på, og slås derfor sammen, Figur 4.4. Grunnen til at polygoner som er splittet på denne måten kan være for å redusere størrelsen på polygonet, eller at nabopolygoner tidligere har hatt forskjellige egenskaper. En sammenslåing får liten betydning for videre arbeid siden polygonene er identiske i følge egenskapstabellen.



Figur 4.4 – Sammenslått polygon pga like egenskapsverdier

Tidligere er det nevnt at samferdsel blir delt opp i fiktive grenser, for at ikke hele veisystemet i Norge skal bestå av ett enkelt polygon. Noen av de fiktive grensene løses her opp, Figur 4.5, men det får liten betydning siden testområdet er lite, samtidig som veier ikke blir sentralt i denne oppgaven.



Figur 4.5 – Enkelte fiktive AR5grenser blir fjernet med Dissolve

4.1.2 Etablering av LASdz

Et godt egnet raster for å bestemme høyder på objekter er en nDOM. Flere av de avdekkede interesseområdene tar for seg problemer i AR5 som knytter seg til høyder, hovedsakelig objekter seg i mellom. Ved å trekke et DTM-raster fra et DOM-raster får alle objekter sin egentlige høyde over bakkenivået, se kapittel 3.4.1. Den nevnte metoden er bare én av flere muligheter, og i denne oppgaven er en metode i TerraScan benyttet.

Ved å bruke *makroer* som Blom har laget, kan TerraScan produsere nye LAS-filer som består av normaliserte høyder, dz. Det vil si at alle laserpunkter som er bakke får høyde lik null, mens alle punkt over bakken får en høyde i forhold til bakken. Fordelen med å gjøre dette direkte på LAS-filene er at det kan lages mer avanserte informasjonsraster fra dz-dataene.

Makro (www.pc-hjelpen.com)

En egenskap programmer som tekstbehandling, regneark, databaser o.s.v. innehar. Det gjør det mulig effektivt å programmere oppgaver som har mange gjentakelser og assosiere en slik oppgave med et tastetrykk.

4.1.2.1 Framgangsmåte

To makroer brukes for å produsere LASdz som videre skal etablere nDOM:

1. *LAS2ASCII_dz*

Denne makroen importerer alle punkter fra den leverte LAS-fila, der punktene er klassifisert som bakke og ikke bakke. Punkter klassifisert som *ikke* bakke knyttes til punktene klassifisert som bakke. Alle høyder for bakkepunktene får 0 som verdi, og et punkt som ligger over bakkenivå får relativ høyde til bakken.

Figur 4.6 viser hvordan tre punkter klassifisert som bakke, *Ground*, blir satt til 0, mens to punkt klassifisert som ikke-bakke, *Default*, får en høyde som tilsvarer høyde over bakke. Relative høyder er framskaffet. Resultatfila blir en ASCII-fil som er betydelig større enn LAS-formatet.

2. *ASCII2LAS_dz*

For å redusere filstørrelsen transformerer den andre makroen resultatfila til ei ny LAS-fil, men nå med relative høyder, LASdz.

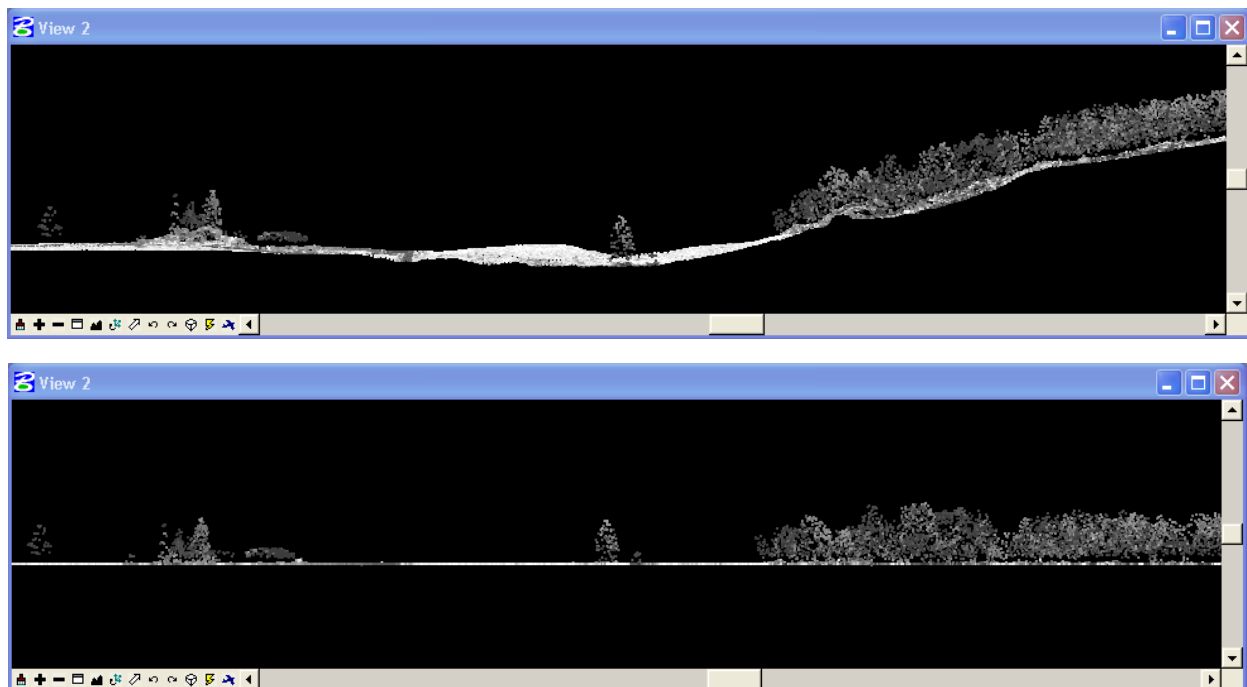
File	Output	Point	View	Classify	Tools	Flightline
2	Ground	Only	600230.85	6615930.21	+103.99	29 1/1
2	Ground	Only	600230.01	6615930.17	+104.13	21 1/1
1	Default	First	600224.11	6615930.44	+128.32	1 1/2
1	Default	Intermedi	600225.37	6615930.37	+122.36	3 2/3
2	Ground	Last	600229.23	6615930.13	+103.97	7 2/2

File	Output	Point	View	Classify	Tools	Flightline
2	Ground	Only	600230.85	6615930.21	+0.00	29 1/1
2	Ground	Only	600230.01	6615930.17	+0.00	21 1/1
1	Default	First	600224.11	6615930.44	+24.36	1 1/2
1	Default	Intermedi	600225.37	6615930.37	+18.41	3 2/3
2	Ground	Last	600229.23	6615930.13	+0.00	7 2/2

Figur 4.6 – Fra LAS til LASdz

4.1.2.2 Resultat

De to makroene gjør det mulig at alle LAS-filene blir prosessert samtidig, og resultatet blir et datasett med 42 nye filer. Ved å ta et profil av laserpunktene i TerraScan, Figur 4.7, kan effekten av prosesseringa tydelig visualiseres. Bakken er en horisontal flate, med oppstikkende objekter på, og objektene høyder kan sammenliknes. På denne måten kan trehøyder estimeres og hvis det er god punkttetthet vil trekronen sammen med høyden utgjøre trees volum.



Figur 4.7 – LAS vs. LASdz

4.2 Etablering av rastere i LidarStat

Det finnes flere ulike programmer som kan produsere rastere. Både TerraScan og eCognition har sine egne prosedyrer for å få rasterbilder ut av laserdata. Deres metoder er robuste for et mindre antall LAS-filer, men det aktuelle området består av 42 filer med en størrelse på til sammen 2,8 GB. Programmene vil konstant lagre data i datamaskinens minne som tilslutt ikke klarer å håndtere datamengden. Et alternativ for denne oppgaven er å bruke LidarStat, kapittel 3.2.2, som er Blom sitt eget program for å etablere rastere.

4.2.1 Teori

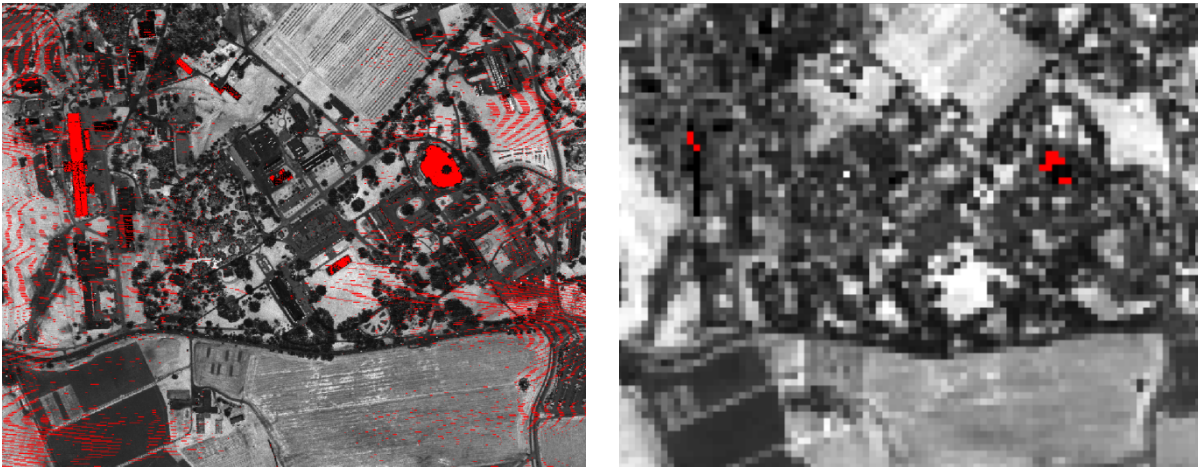
For å etablere rastere fra laserdata er det ulike faktorer som avgjør det endelige resultatet:

- Hvilken punkttetthet har laserdataene?
- Hva er formålet med rasterbildet?
- Hva skal vises i rasteret?

4.2.1.1 Punkttetthet

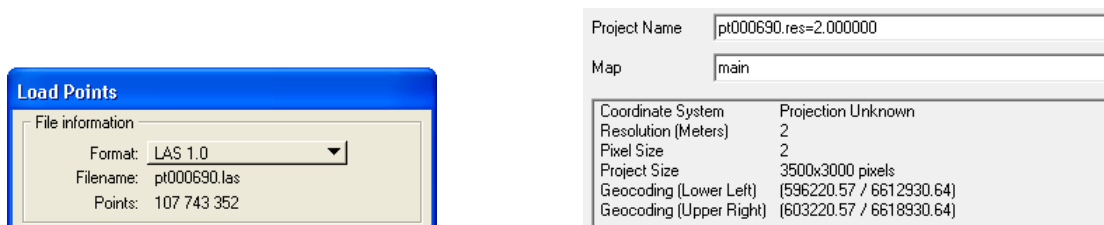
Punkttettheten i laserdataene avgjør den minste oppløsninga rasterbildet kan ha. For et tilfelle av ei for fin oppløsning av rasteret, vil forekomsten av piksler uten noen verdi forekomme hyppig. Det blir hull i dataene og disse pikslene blir merket som *NoData*. Andre tilfeller som fører til *NoData* er der laserpulsen treffer vannflater og blanke flater som skrå hustak. De nevnte flatene kan sende pulsen i en annen retning, slik at punktet der pulsen treffer ikke blir registrert. Områder med store sammenhengende arealer vil høyst sannsynlig være et vann eller et hustak.

Figur 4.8 viser ulik oppløsning på intensitetsrastere. Til venstre er en pikselstørrelse på 1x1 m valgt. Detaljer vises godt i et slikt raster, men som figuren viser er forekomsten av piksler med *NoData* (rød farge) stor. Til høyre er pikselstørrelsen 10x10 meter. Detaljgraden er blitt lavere, men derimot er piksler med *NoData* er redusert. De områdene som fremdeles har *NoData* vil, som nevnt, være større områder som ikke reflekterer laserpulsen tilbake til laseren. Ei stor nok oppløsning vil altså kunne fylle de fleste piksler med en verdi, men detaljene i rasteret reduseres.



Figur 4.8 – Intensitetsraster med ulik oppløsning (1x1 og 10x10)

En måte å avgjøre hvilken oppløsning rasterbildet bør ha, er å bestemme gjennomsnittlig punktetthet til laserdataene. Hvor mange punkt har blitt registrert over det skannede området? I rapporten som følger med LAS-filene står det at punktettheten ligger mellom 1,5 og 2,8 for *hele* Follo-prosjektet. Flere programmer kan brukes for å automatisk regne ut gjennomsnittlig punktetthet, men ved å kikke på LAS-filene i tilgjengelige programmer kan tettheten for det utvalgte området estimeres.

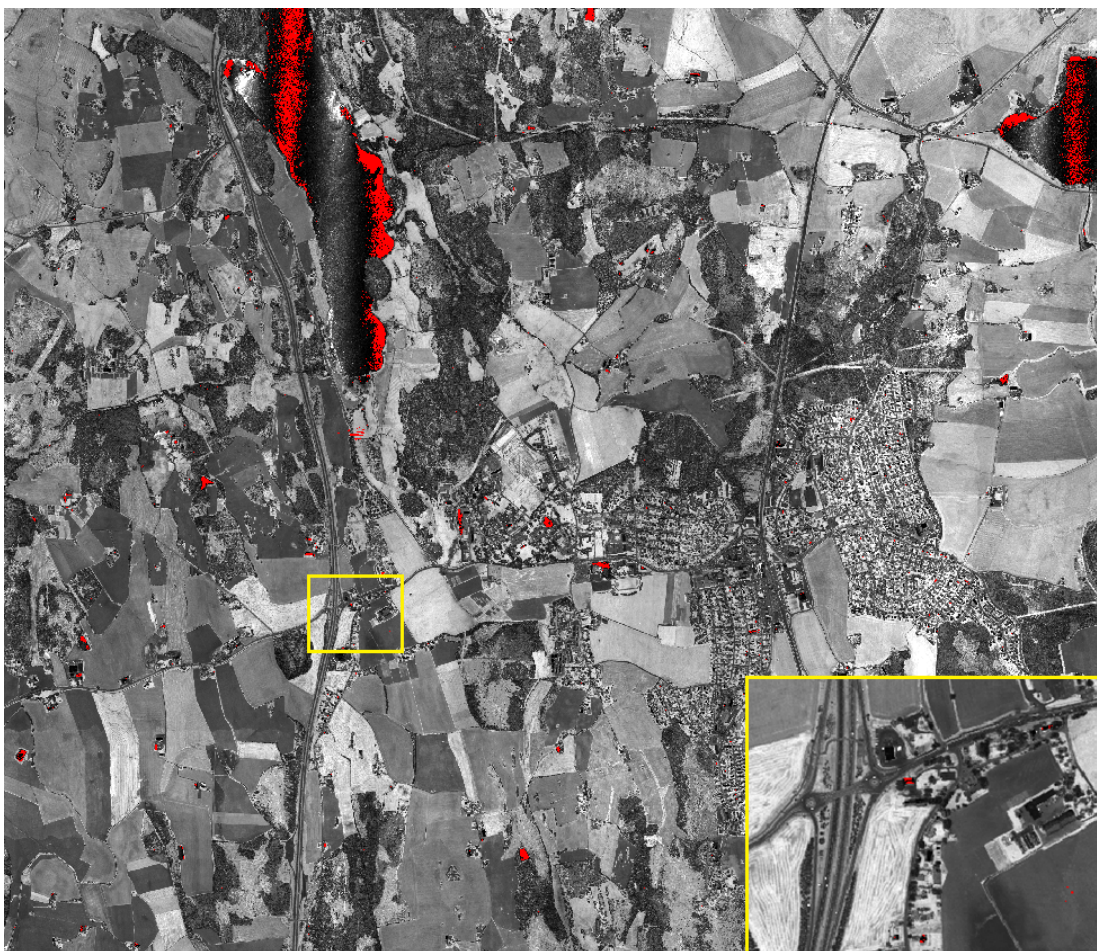


Figur 4.9 – Informasjon om LAS-filene

Til venstre i Figur 4.9, er LAS-filene klargjort til å bli lest inn i TerraScan, og antall punkt blir oppgitt. (Programmet tillater riktig nok ikke å laste inn alle 42 filene, pga ikke nok minne på datamaskinen.) Arealet av hele området kan bestemmes ved å kikke i eCognition. Til høyre lastes filene inn i eCognition, og en avgrensning av laserdataene i geografiske koordinater oppgis. Et areal kan beregnes utav koordinatene til ca 42 km² og siden antall punkt er ca 108 millioner, kan gjennomsnittlig punktetthet, estimeres til ca 2,5 punkt per m². Dette er en svært god punktetthet som igjen fører til mange detaljer på bakken.

Det er verdt å merke seg at laserdataene har overlapp som vil påvirke punkttettheten. Disse områdene inneholder flere laserpulser enn resten av datasettet. TerraScan kan fjerne overlappen, men behovet er ikke til stede for denne oppgaven.

Siden tettheten av laserpunkt for området er 2,5 punkt per m², vil en pikselstørrelse på 2x2 meter, Figur 4.10, være bra. Datasettet vil inneholde enkelte områder med NoData, men det er for det meste vannflater og hustak. I første omgang ønskes det en detaljrik raster, og økes pikselstørrelsen, vil bildet bli glattet ut. Problemet med NoData kan løses seinere med kommandoer i eCognition. LidarStat tildeler automatisk piksler med NoData, verdier som avviker fra de andre pikselverdiene. F.eks. gir LidarStat slike NoData-piksler negativ høydeverdi og intensitetsverdi. Slik kan en bruker skille ut NoData-pikslene.

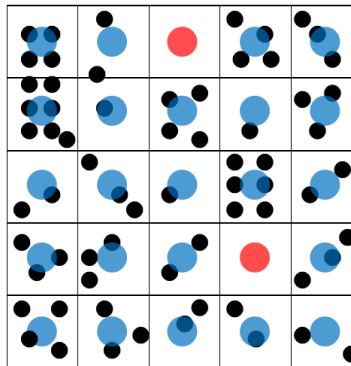


Figur 4.10 – Intensitetsraster av hele testområdet med 2x2 meter pikselstørrelse

4.2.1.2 Statistikk i LidarStat

En punkttetthet er bestemt for laserdataene. Det neste blir å se på hvordan laserpunktene verdier ender opp som pikselverdier. I den sammenheng er det naturlig å beskrive de ulike statistiske betegnelsene i LidarStat. Denne statistikken avgjør hvordan flere laserpunkt og deres punktverdier eksporteres ut som én piksel med én pikselverdi.

Figur 4.11 viser et eksempel på hvordan en punktsky med svarte laserpunkt blir plassert innenfor et raster med en oppgitt pikselstørrelse på 5x5 piksler. Enkelte piksler inneholder ett eller flere laserpunkter, mens andre ikke har noen punkter fra laserskya i seg. Disse pikslene blir automatisk merket som NoData (rød sirkel). For de resterende pikslene må det bestemmes en statistisk beregningsmetode for å kunne avgjøre pikselverdien (blå sirkel). En enkel metode er å finne det laserpunktet med den største verdien, og tildele pikselen samme verdi.



Figur 4.11 – Laserpunkt til pikselverdi

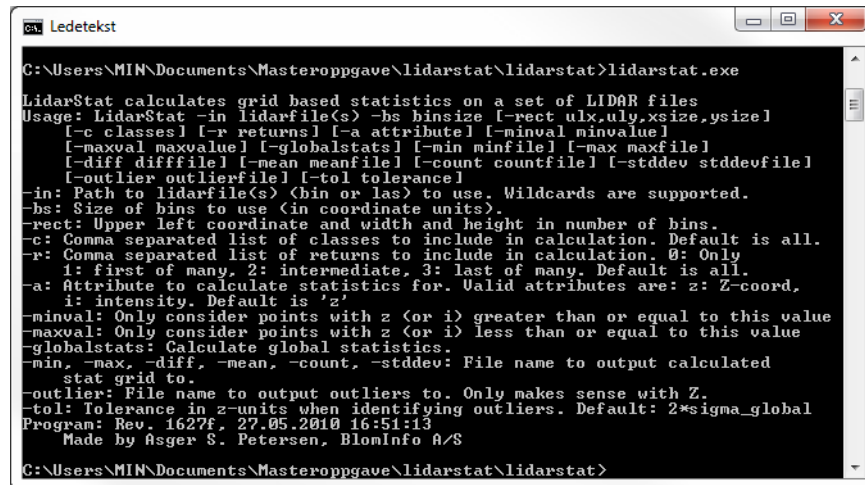
LidarStat tilbyr flere muligheter for statistikk som kan gjøres på laserpunktene verdier. Tabell 12 gir en oversikt den sentrale statistikken som blir brukt i denne oppgaven.

Statistisk mål	Beskrivelse
max	Velger den største verdien av punktverdiene som pikselverdi
min	Velger den minste verdien av punktverdiene som pikselverdi
mean	Summerer alle punktverdier og dividerer på antall laserpunkt
stddev	Sier noe om variasjonen av punktverdier innenfor pikselen
count	Bruker informasjon om pulsreturer som pikselverdi
minval	Ei nedre grense blir satt, slik at kun punktverdier som er større blir tatt med i beregningen
maxval	Ei øvre grense blir satt, slik at kun punktverdier som er mindre blir tatt med i beregningen

Tabell 12 – Oversikt over sentrale statistiske mål i LidarStat

4.2.2 Utførelse

Med kunnskap om punkttetthet og ulike metoder for å bestemme pikselverdien, sammen med diskusjonen av mulige hjelpemidler fra laserdata i kapittel 3.4 kan rastere bli etablert i LidarStat.



```

C:\Users\MIN\Documents\Masteroppgave\Lidarstat\lidarstat>lidarstat.exe

LidarStat calculates grid based statistics on a set of LIDAR files
Usage: LidarStat -in lidarfile(s) -bs binsize [-rect ulx,uly,xsize,ysize]
        [-c classes] [-r returns] [-a attribute] [-minval minvalue]
        [-maxval maxvalue] [-globalstats] [-min minfile] [-max maxfile]
        [-diff difffile] [-mean meanfile] [-count countfile] [-stddev stddevfile]
        [-outlier outlierfile] [-tol tolerance]
-in: Path to lidarfile(s) (.bin or .las) to use. Wildcards are supported.
-bs: Size of bins to use (in coordinate units).
-rect: Upper left coordinate and width and height in number of bins.
-c: Comma separated list of classes to include in calculation. Default is all.
-r: Comma separated list of returns to include in calculation. 0: Only
    1: first of many, 2: intermediate, 3: last of many. Default is all.
-a: Attribute to calculate statistics for. Valid attributes are: z: Z-coord,
    i: intensity. Default is 'z'
-minval: Only consider points with z (or i) greater than or equal to this value
-maxval: Only consider points with z (or i) less than or equal to this value
-globalstats: Calculate global statistics.
-min, -max, -diff, -mean, -count, -stddev: File name to output calculated
    stat grid to.
-outlier: File name to output outliers to. Only makes sense with Z.
-tol: Tolerance in z-units when identifying outliers. Default: 2*sigma_global
Program: Rev. 1627f, 27.05.2010 16:51:13
        Made by Asger S. Petersen, BlomInfo A/S

C:\Users\MIN\Documents\Masteroppgave\Lidarstat\lidarstat>
  
```

Figur 4.12 – LidarStat

LidarStat kjøres via *Ledetekst* i Windows og bruker derfor MS-DOS-kommandoer. Siden flere rastere skal etableres, skrives alle kommandoene inn i en *batch*-fil. Dette er veldig arbeidsbesparende, i og med at kommandoene ikke trengs å skrives inn manuelt for hver gang. I programbeskrivelsen i figuren over er det en beskrivelse av alle kommandoene.

Programmet krever en kommando som skal hente mappen med LAS-filene, en pikselstørrelse, et statistisk mål, og tilslutt en mappesti med filnavnet på rasteret. Utover disse kan flere kommandoer brukes. Bl.a. benyttes høydeverdi automatisk hvis ikke noe annet oppgis. For et intensitetsbilde må en egen kommando derfor brukes. Det gjelder også for å skille mellom de ulike pulsreturene. Hvis ingenting nevnes, tar programmet med alle pulsreturene, istedenfor å lage et eget raster f.eks. for første pulsretur.

Eksempler på kommandoer for å etablere rastere i LidarStat:

- 1) lidarstat -in C:\...*.las -bs 2 -stddev C:\...\DOM_stddev.asc
- 2) lidarstat -in C:\...*.las -bs 2 -minval 2 -maxval 20 -max C:\...\DOM.asc
- 3) lidarstat -in C:\...\DZ*.las -bs 10 -min C:\...\nDOM.asc
- 4) lidarstat -in C:\...*.las -bs 2 -mean C:\...\intensitet.asc -a i
- 5) lidarstat -in C:\...*.las -bs 2 -count C:\...\pulsretur.asc
- 6) lidarstat -in C:\...*.las -bs 2 -count C:\...\pulsretur_forste.asc -r 1,3

På forrige side er seks ulike rastere laget. Resultatet blir følgende:

- 1) DOM med pikselstørrelse 2x2 meter og pikselverdi basert på standardavvik.
- 2) DOM med pikselstørrelse 2x2 meter og pikselverdi basert på maksimal punktverdi, men i tillegg er det satt ei nedre og øvre grense som forteller at kun høyder mellom 2 og 20 meter skal tas med.
- 3) nDOM med pikselstørrelse 10x10 meter og pikselverdi basert på minimal verdi. Legg merke til at her brukes LASdz-filene.
- 4) Intensitetsraster med pikselstørrelse 2x2 meter og basert på gjennomsnitt av alle punktverdier. For at intensitetsverdier skal brukes, må "-a i" skrives til slutt.
- 5) Pulsreturraster med pikselstørrelse 2x2 meter. Alle returer mer med.
- 6) Pulsreturraster med pikselstørrelse 2x2 meter, men kun første og siste retur er med.

Det finnes utallige kombinasjoner som kan gjøres i LidarStat, for å få ut informasjon av laserdataene til ulike formål. En annen versjon av LidarStat er *LidarStat2*. Dette programmet bruker *persentil* som statistisk metode for å beregne pikselverdier.

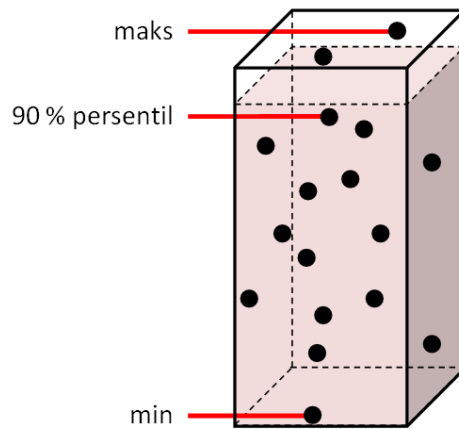
4.2.2.1 Persentil

I statistikken er persentil en oppdeling i hundredeler, altså en prosent av en datamengde. Et persentil rangerer alle verdiene fra størst til minst og trekker ut den verdien som svarer til det oppgitte persentilet. Et kjent begrep er *median* som svarer til et 50 % persentil, altså det midterste tallet i en tallrekke, men også andre persentilverdier kan velges.

Når et raster produseres blir, som nevnt i foregående kapittel, normalt den maksimale punktverdien, den minimale eller et gjennomsnitt av alle punktverdier, pikselens endelige verdi. Svakheten med disse statistiske begrepene er at de er svært ustabile ovenfor feil i dataene. For laserdata kan slike feil forekomme som *outliers*. Dette er en statistisk betegnelse for en verdi som er fjern fra de omkringliggende verdiene. F.eks. kan fugler bli truffet av laserpulsene eller refleksjon forlenge reisen til pulsen. Da vil punktet ligge henholdsvis høyere eller lavere enn der punktet egentlig skulle blitt registrert. Tas disse verdiene inn i beregningen av en maksimal eller gjennomsnittlig verdi, blir resultatet feil. Et persentil er derimot forholdsvis stabilt overfor slike tilfeller.

En pikselverdi beregnet på bakgrunn av en persentilverdi, vil ikke påvirkes i den grad. Outliers vil havne i hver sin ende av rangeringen av dataene, siden verdien til punktet er forskjellig fra de andre verdiene. I eksporteringa av en nDOM som skal representere høydeverdier, og en outlier hadde vært en maksimal punktverdi, ville pikselverdien blitt feil. Hvis et 90 % persentil

velges som kriterium, kan den maksimale verdien ekskluderes. Den 90. persentil er den verdien der 90 % av høydeverdiene ligger under, og 10 % ligger over.



Figur 4.13 – 90 % persentil

LidarStat2 produserer slike rastere som bruker persentiler. Programmet fungerer på samme måte som LidarStat, ved å skrive inn kommandoer i en batch-fil.

Eksempler på kommandoer for å etablere rastere i LidarStat2:

- 1) `lidarstat2 -in C:\...*.las -bs 10 -percentiles 90 -percentilemethod NearestLowerRank -chunkheight 4000 -chunkwidth 4000 -out C:\...\Pers_nDOM_res10`
- 2) `lidarstat2 -in C:\...*.las -bs 2 -percentiles 50 -percentilemethod NearestLowerRank -chunkheight 4000 -chunkwidth 4000 -out C:\...\Pers_nDOM_res2`

To ulike rastere laget. Resultatet blir følgende:

- 1) nDOM med pikselstørrelse 10x10 meter og en 90 % persentil.
- 2) nDOM men pikselstørrelse 2x2 meter og en 50 % persentil.

(percentilemethod og chunkheight/width er kommandoer som programmet krever. Valg av disse parametere er tatt fra den standarden Blom anbefaler. En nærmere forklaring vil ikke bli gjort.)



```
ca. Ledetekst
C:\Users\MIN\Documents\Masteroppgave\lidarstat\lidarstat2>lidarstat2.exe
lidarstat2 version 1608:1640f, 01-06-2010 10:51:19
Copyright © Blom ASA 2010

Errors:
 * Missing required option "in".
 * Missing required option "cellsize".

Options:
 -help, -?, -h          Print usage help

Extent:
  Output grid extents
  -cellsize, -bs        Grid cell size
  -cols                 Number of columns
  -rows                 Number of rows
  -ulx                  Upper left x
  -uly                  Upper left y

Filters:
  Filters applied to input data
  -classfilter, -c      Comma separated list of classes to
                        include in calculation. Default is all.
  -maxz                 Maximum Z
  -minz                 Minimum Z
  -returnfilter, -r     Comma separated list of returns to include
                        in calculation. 0: Only, 1: first of many, 2:
                        intermediate, 3: last of many. Default is all.

Input:
  Input data
  -in                  Path to lidarfile(s) (bin or las)
                       to use. Wildcards are supported.

Output:
  Output data
  -out                 Output directory

Processing:
  Processing options
  -chunkheight          Processing chunk height in world coordinate units
  -chunkwidth           Processing chunk width in world coordinate units
  -parallel             Allow parallel processing (uses
                       more RAM). Default is true.

Statistics:
  Statistic measures
  -percentilemethod     Percentile calculation method. Options
                       are: NearestLowerRank, NearestRank,
                       NearestHigherRank or Interpolate
  -percentiles          Comma separated list of percentiles to calculate

Made by asger.skovbo.petersen@blomasa.com
C:\Users\MIN\Documents\Masteroppgave\lidarstat\lidarstat2>
```

Figur 4.14 – LidarStat2

4.2.3 Ferdigetablerte rastere i LidarStat

Etter at batch-fila har blitt kjørt, er flere ulike rastere etablert. Nedenfor beskrives de mest sentrale rasterne som er etablert i LidarStat

(a) DOM – 90 persentil:

Pikselverdier er høydeverdier i meter relatert til koordinatsystemet EUREF89, og pikselverdien er beregnet på bakgrunn av 90 % persentil.

(b) DTM:

Samme som en DOM men benytter kun punkter som er klassifisert som bakkepunkter. Hus og tett skog får verdi NoData, siden punktene i disse tilfellene ikke er klassifisert som bakkepunkter.

(c) nDOM – 90 persentil:

Alle verdier er normaliserte høydeverdier i meter, og pikselverdien er beregnet på bakgrunn av 90 % persentil. Bakkenivået skal alltid være 0.

(d) nDOM – 10 persentil:

Samme som forrige, men her er pikselverdien blitt beregnet med et 10 % persentil.

(e) Alle pulsreturer:

Pikselverdi tilsvarer antall pulsreturer innenfor pikselen. Rasteret viser flystripene, siden overlappen inneholder returer fra begge stripene. Vegetasjon og huskanter kan detekteres i et slikt raster. Vann og hustak som ikke reflekterer pulsen får verdi 0.

(f) Første, mellomliggende og siste pulsretur:

Pikselverdi er antall pulser klassifisert som første, mellomliggende og siste retur innenfor hver piksel. Særlig vegetasjon, men også konturer av bygninger vises.

(g) nDOM(90pers) – eneste pulsretur:

Alle høyder er estimert ut ifra der kun én pulsretur er returnert, og 90 % persentil er benyttet.

(h) nDOM(90pers) – eneste og første pulsretur:

Alle høyder er estimert ut ifra der kun én pulsretur og første pulsretur er returnert. Både vegetasjon og bygninger vises godt i rasteret.

(i) nDOM(90 pers) – eneste og siste pulsretur:

Alle høyder er estimert ut ifra der kun *én* pulsretur og *siste* pulsretur er returnert. Vegetasjonen er betydelig mindre siden siste pulsretur som oftest trenger gjennom trær og returneres fra bakken. Bygninger trer tydeligere fram.

(j) nDOM(10 pers) – eneste og siste pulsretur:

Samme som forrige raster, men her er 10 % persentil brukt. Bare små deler av vegetasjon er igjen, men hus har krympet pga huskantene har fått tildelt pikselverdi etter et lavt laserpunkt.

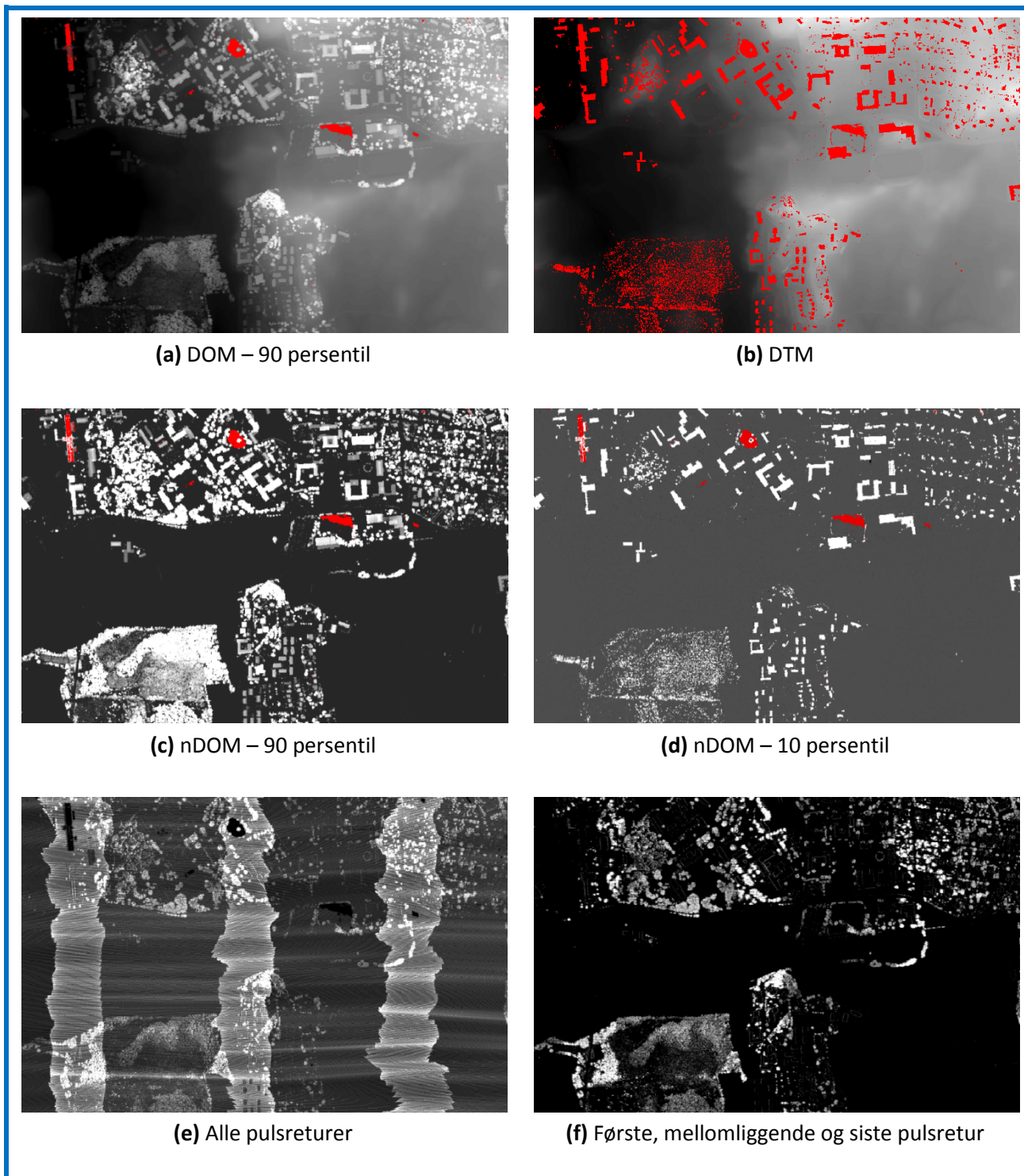
(k) nDOM – standardavvik:

Høy pikselverdi tyder på stor variasjon av høydetreff for laseren. Legg merke til at huskanter får stor verdi sammen med lasertreff i skog.

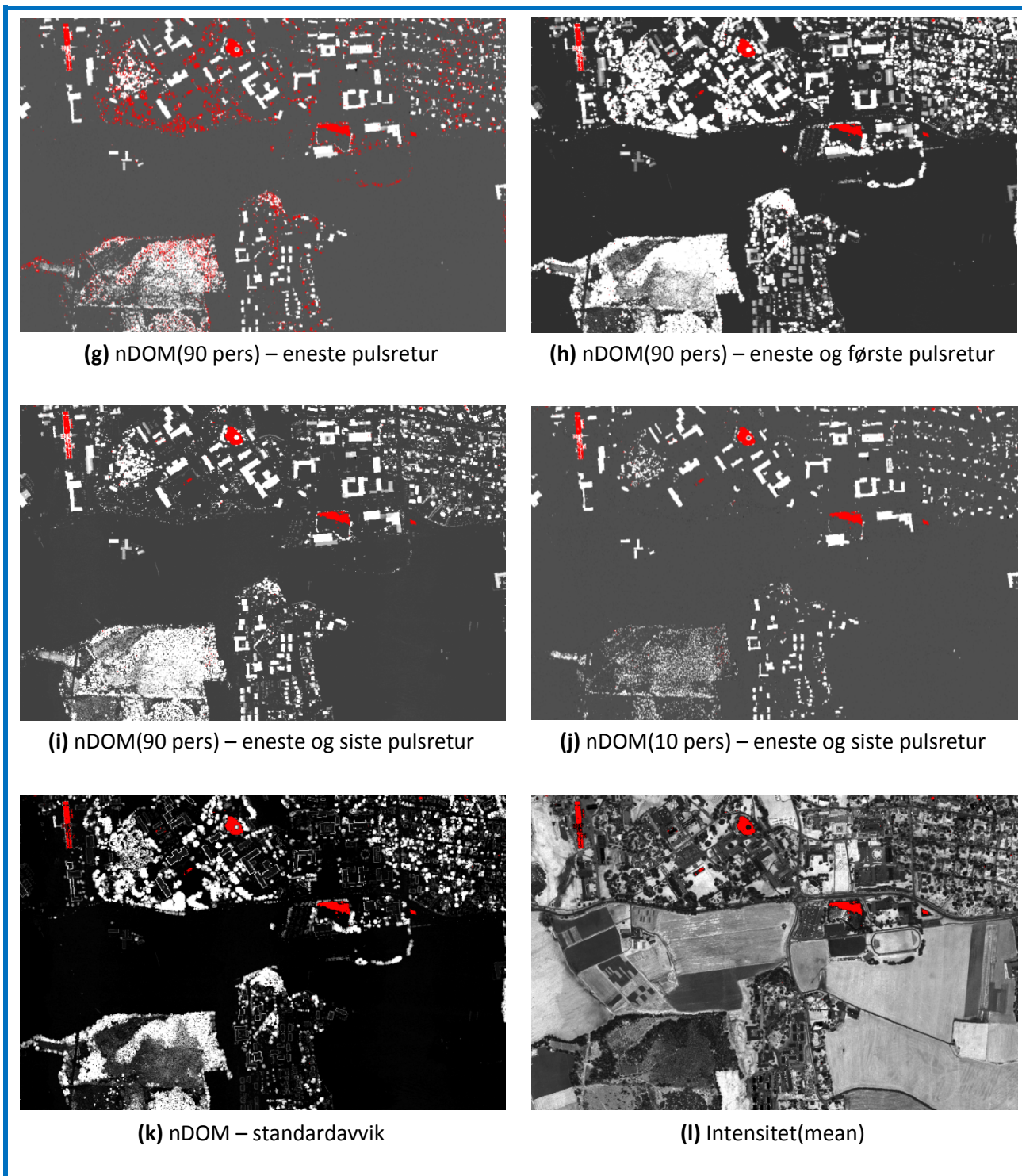
(l) Intensitet(mean):

Intensitetsraster basert på gjennomsnitt av intensitetsverdier. Hvor mye av laserlyset som returneres.

De neste figurene viser et utsnitt fra de nevnte rastere som kan bli brukt i videre analyser. Rastere sammenliknes, og det pekes på forskjeller mellom rastere på bakgrunn av ulike statistiske beregningsmetoder. Lys gråtone tilsvarer høy pikselverdi, piksler med NoData er markert med rødt, og hvis ikke annet er oppgitt har alle rastere pikselstørrelse 2x2 meter.



Figur 4.15 – Rastere fra LidarStat (1)



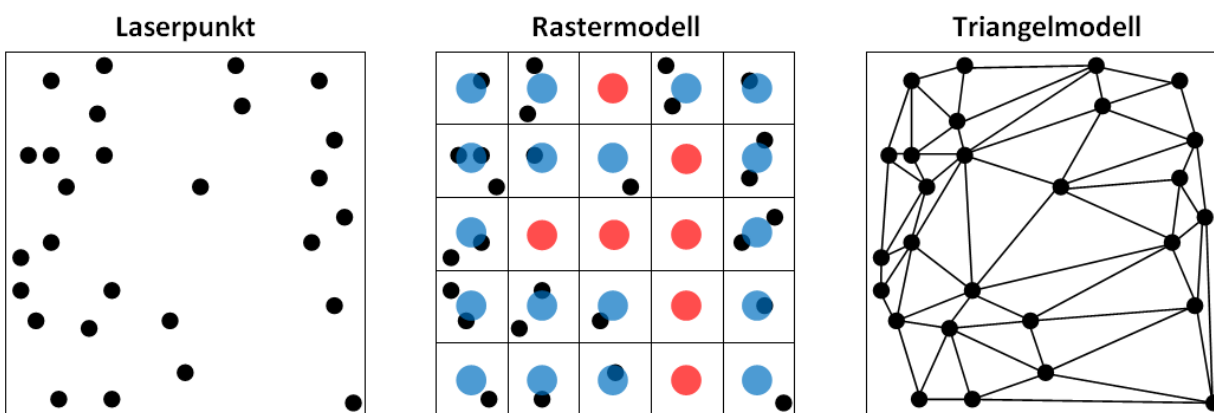
Figur 4.16 – Rastere fra LidarStat (2)

4.3 DOM og DTM fra TerraScan

I forrige kapittel om etablering av rastere i LidarStat blir det bl.a. laget en DOM, en DTM og en nDOM. Metoden som brukes har sine svakheter da det gjelder tidligere nevnte NoData-verdier. Figurene på de foregående sidene viser at det forekommer NoData av ulik grad i rasterne. Spesielt en DTM (b) inneholder store huller pga rasteret kun er basert på bakkepunkt. Alle laserpunkt klassifisert som ikke-bakke, vil utelukkes fra rasteretableringa. Noen piksler vil ikke inneholde laserpunkter, og kan av den grunn ikke gi ut en pikselverdi. Resultatet blir en tom piksel, som døpes NoData.

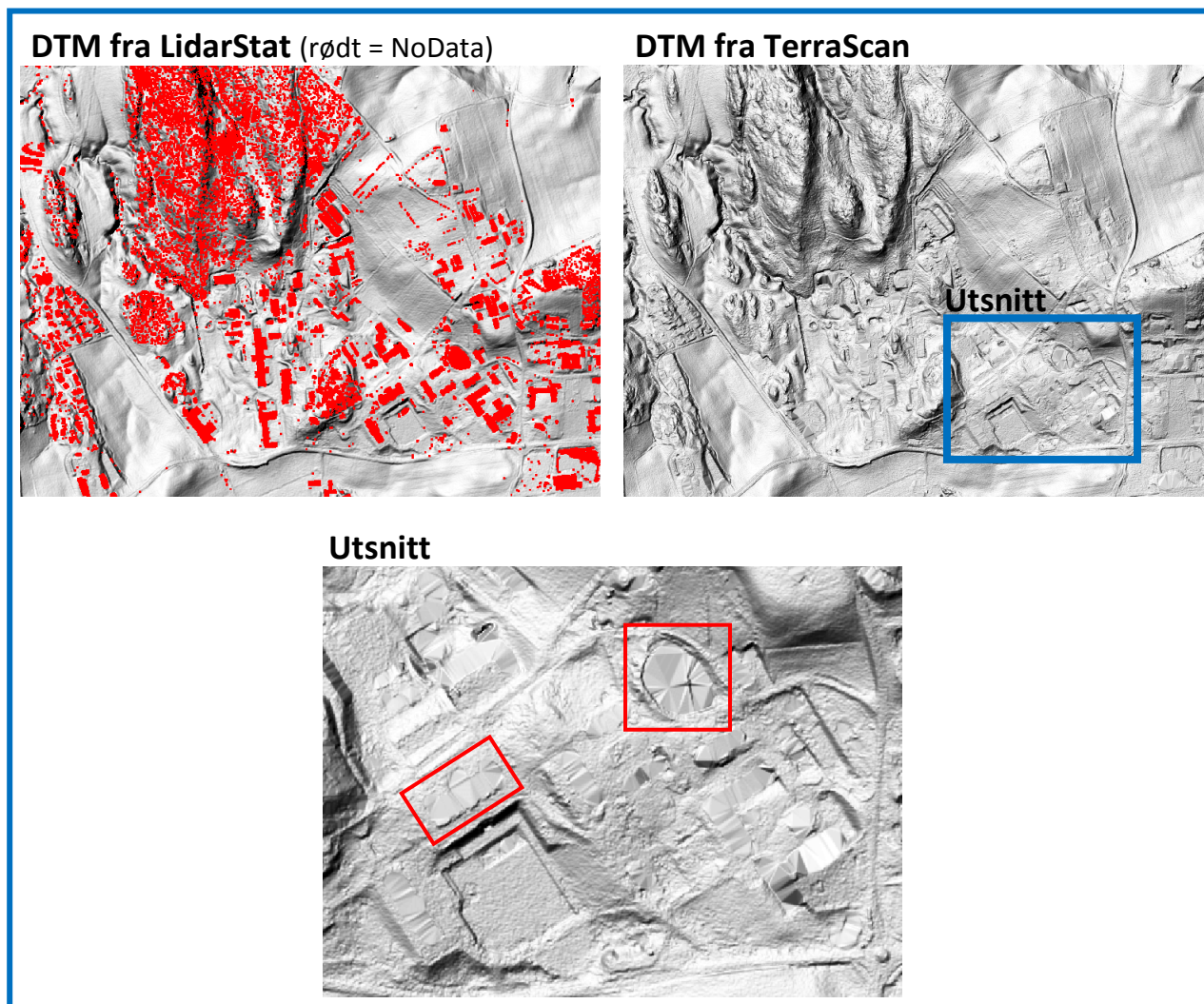
Senere vil det bli lagt fram muligheter i eCognition og ArcMap for å løse problemene med NoData. Allikevel er ikke metodene som brukes til dette gode nok da det gjelder en DOM og en DTM fra LidarStat. Derfor bør en annen metode benyttes for å etablere disse høydemodellene. TerraScan kan bygge overflater ved hjelp av en *triangelmodell*.

En triangelmodell danner trekanter mellom alle laserpunkt, Figur 4.17. En matematisk prosess definerer den minst mulige trekanten mellom tre punkt. Siden hvert laserpunkt har en verdi, f.eks. høyde, kan modellen benyttes til å generere profiler, etc. (wikinova.info).



Figur 4.17 – Forskjell på rastermodell og triangelmodell

Figuren over viser hvordan et rasterresultat i LidarStat hadde sett ut, kontra bruk av TerraScan sin triangelmodell. De røde prikkene tilsvarer piksler med NoData, mens de blå får verdi pga de inneholder laserpunkt. I triangelmodellen vil ikke dette problemet være til stede, siden de innsamlede punktene er bundet sammen i et nettverk av trekanter.



Figur 4.18 – Sammenlikning av DTM fra LidarStat og TerraScan

Figur 4.18 sammenlikner de to terrenngmodellene fra LidarStat og TerraScan, og viser helt tydelig hvordan TerraScan kompletterer modellen. Utsnittet nederst i figuren viser hvordan trekantene har fylt opp der det ikke har vært noen laserpunkt (eksempler markert med røde firkanter).

Modellene over er ikke direkte resultater fra LidarStat og TerraScan. De er *skyggelagte* terrenngmodeller som vil bli forklart i neste kapittel.

4.4 Etablering av rastere i ArcMap

Det finnes enkelte interessante rastere som ikke produseres direkte av LidarStat og TerraScan, og som kan bidra til visualisering av terrenget. Rastere som inneholder informasjon om høydeforhold kan etableres i ArcMap på bakgrunn av allerede etablerte høydemodeller.

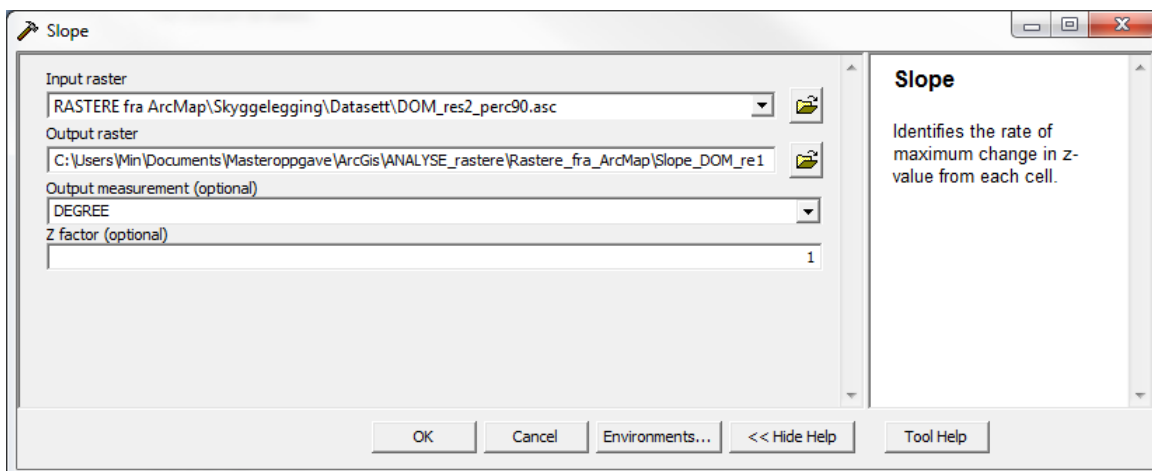
4.4.1 Utførelse

Høydemodeller må etableres på forhånd før de kan lastes inn i ArcMap. Rastertypene som ArcMap skal etablere er et *helningsraster* og en *skyggelagt høydemodell*.

4.4.1.1 Helning

Verktøyet *Slope* hentes fram:

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Slope



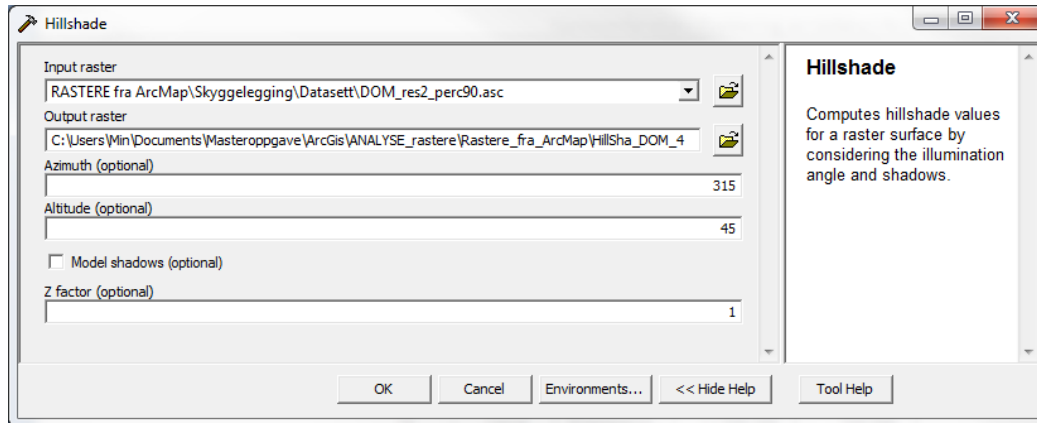
Figur 4.19 - Slope-verktøyet i ArcMap

Slope gir høydemodellen farger etter helningsgraden på en skala fra 0-90 grader. En DOM eller DTM lastes inn og et passende navn for et resultatraster oppgis. Helningen kan måles i grader ved å velge *DEGREE* under *Output measurement*. *Z factor* er en verdi som multipliseres med pikselverdiene slik at resultatet blir en overdrivelse av høydegjengivelsen. Dette gjøres kun for den visuelle betraktningen.

4.4.1.2 Skyggelegging

Verktøyet *Hillshade* hentes fram:

ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Hillshade

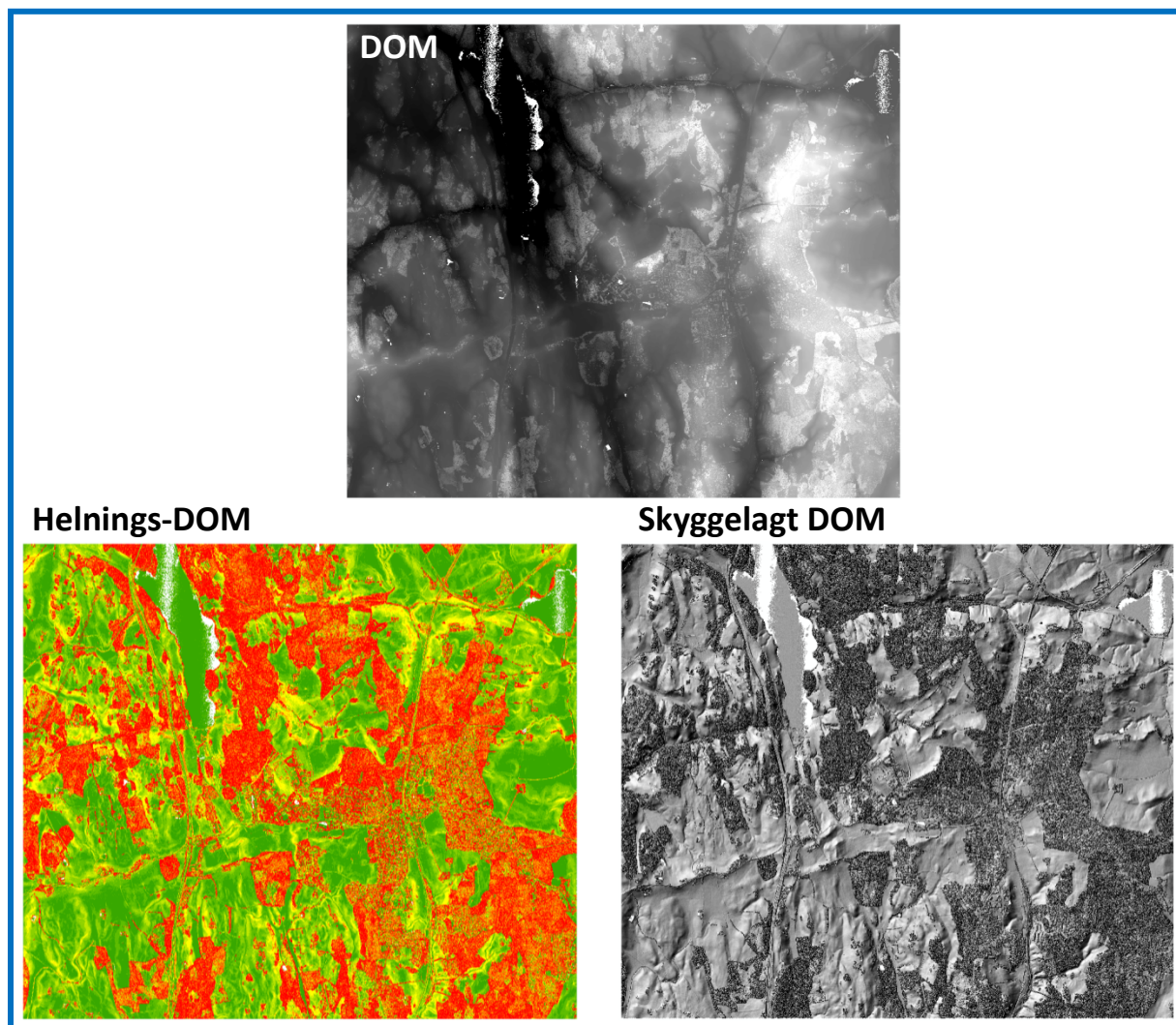


Figur 4.20 – Hillshade-verktøyet i ArcMap

Hillshade lager et rasterbilde der høydemodellen er skyggelagt. Konturer i et forholdsvis livløst raster trer fram ved å angi lyskildens posisjon. *Azimuth* og *Altitude* bestemmer henholdsvis hvor i forhold til nord og hvor høyt over horisonten lyskilden er. 315 grader i forhold til nord og 45 grader over horisonten er standardverdier. Som for helningsrasteret kan *Z factor* benyttes.

4.4.2 Ferdigetablerte rastere i ArcMap

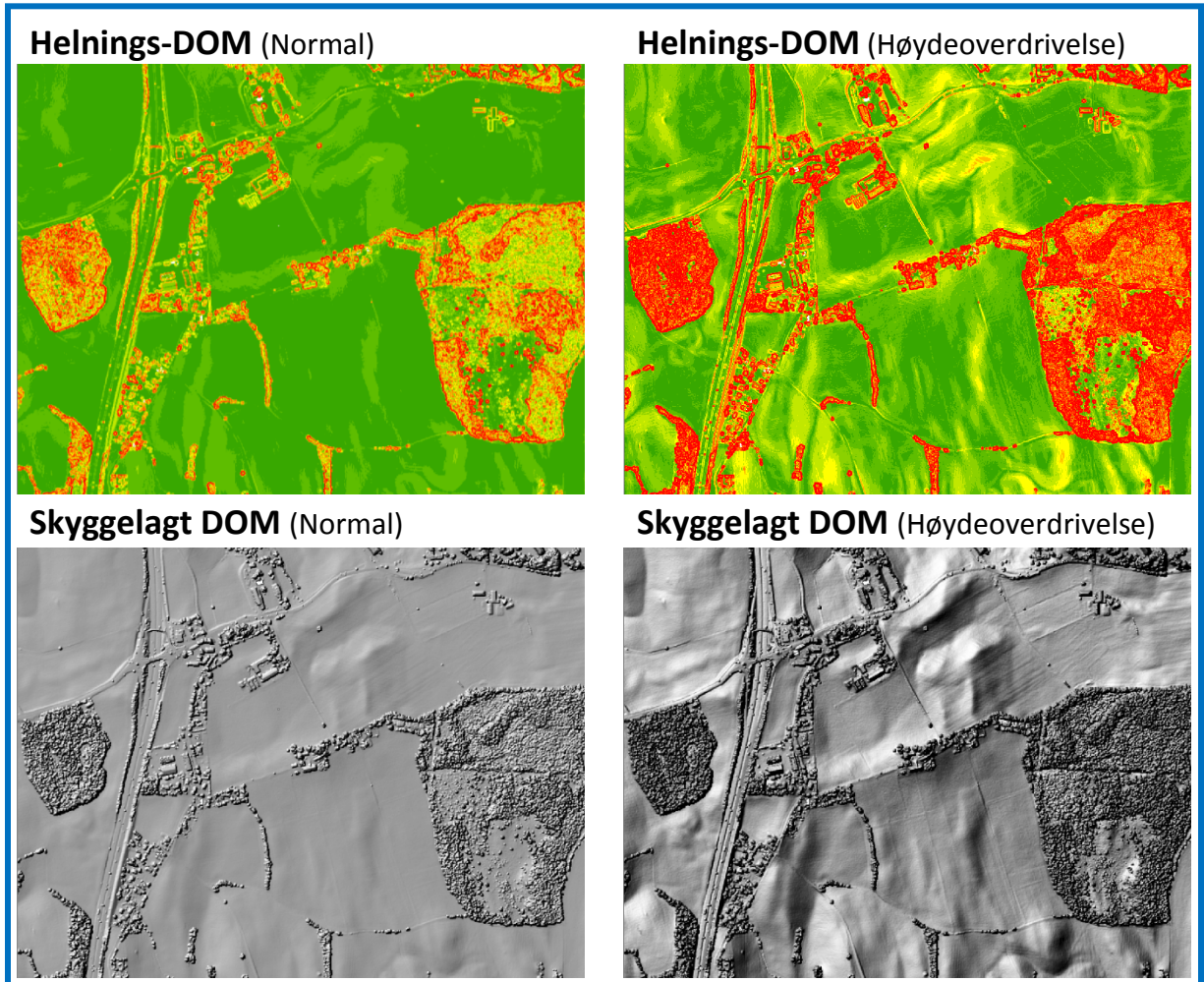
En ubehandlet høydemodell forteller en bruker lite om terrenget. Et nærmest tåkete landskap blir avbildet slik som øverst i Figur 4.21. Et bedre visuelt inntrykk av landskapet kan framskaffes ved å etablere to rastere. I figuren under er det tatt utgangspunkt i en DOM og både et helningsraster og en skyggelegging av DOMen er etablert.



Figur 4.21 – Fra DOM til helningsraster (t.v.) og skyggelagt DOM (t.h.)

Helningsrasteret beskriver hvor i modellen det er mye helning. Grønt tilsvarer liten helning, mens rødt er stor grad av helning. Siden figuren over er en DOM vises vegetasjon som rødt pga høydeforskjellen mellom tretopp og bakke. Det andre rasteret har fått skygger pga effekten etter en fiktiv sol plassert fra nordvest. Et slikt resultat burde være leselig for de fleste pga mange kart bruker nettopp denne metoden.

Figur 4.22 viser hvordan endring av Z factor kan påvirke rasterets utseende. En oppskalering av høydeverdier (pikselverdier) vil framheve konturer som kan ha betydning for tolkning senere.



Figur 4.22 – Ulik verdi for Z factor (t.v. 1 og t.h. 5)

4.5 Analyse i eCognition

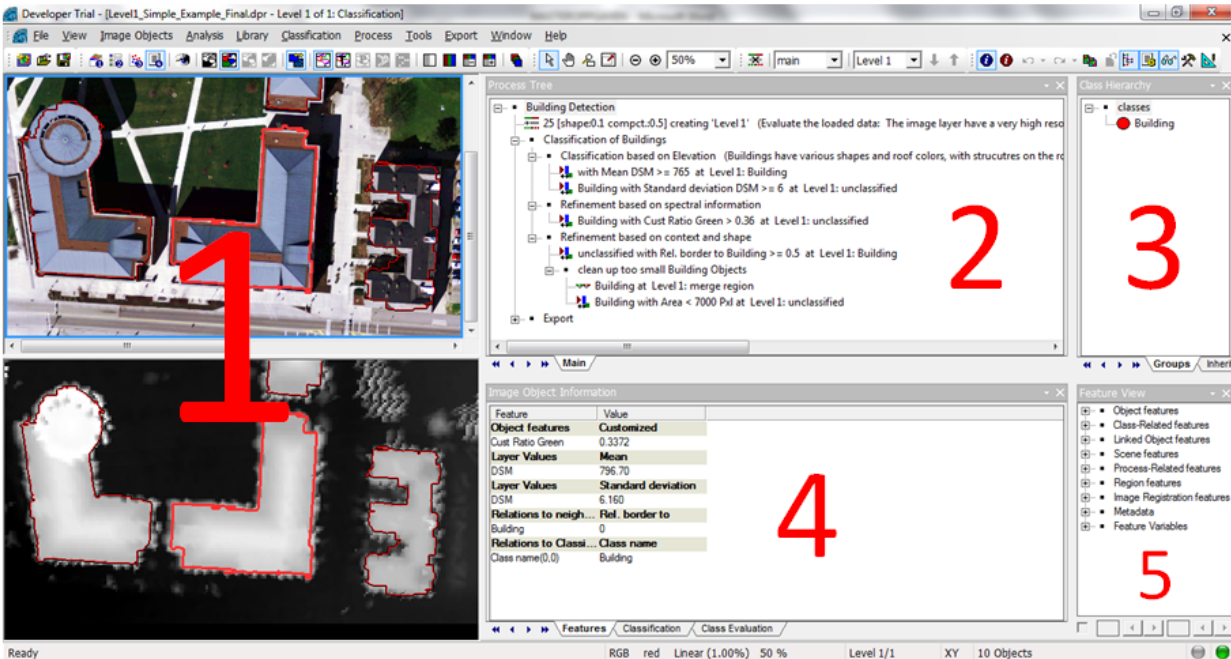
Både eCognition og ArcMap skal benyttes for å se på løsninger av problemstillingene i denne oppgaven. Innenfor OBBA er eCognition et av de mest avanserte programmene som finnes på markedet. Det finnes utallige muligheter i programmet som gjør det mulig å importere, analysere og eksportere ulike former data. Ved å oppgi kommandoer i et oversiktlig regelsett kan en bruker eller operatør gå inn senere og selv utføre stegene i analysen. Dette kapitlet skal gi en oversikt over metodene som er brukt for å se på mulighetene for ajourhold av AR5. Beskrivelser av algoritmer og funksjoner er hentet fra eCognition Reference Book og User Guide (Definiens 2009a; Definiens 2009b).

For å organisere de ulike mulighetene for analyse i eCognition legges det opp til først en felles del som inneholder en introduksjon av eCognition, en forklaring av datasettimport, løsning av NoData for rasterne og første segmentering for å kombinere AR5 med laserdataene. Deretter deles kapitlene inn etter hva slags analyse som er gjort videre på f.eks. skog og bebygd. Flere prosjekter blir opprettet for å ha en god kontroll på løsningene. En sammensetning av alle analyser i et prosjekt vil komplisere sluttresultatet for en bruker som senere skal se på hva som er gjort. Resultater vil bli kommentert i kapittel 5.

4.5.1 Introduksjon

I Figur 4.23 er et eksempel på et ferdiganalysert prosjekt i eCognition (eCognition - Guided Tour Level 1 2010). Fra venstre er en *viewer* (1) som visualiserer to valgte raster sammen med resultatet av analysen. Programmet kan vise forskjellige raster ved å dele vieweren inn i flere vinduer. I eksempelet er et fargebilde og en DOM valgt for visning.

Process Tree (2) inneholder selve regelsettet. En strukturert form på kommandoene er viktig for senere bruk av prosjektet. Etter hvert som regelsettet bygges opp og segmentering blir gjort, vil klassifisering av segmentene føre til flere *klasser*. Alle klassene ender opp i *Class Hierarchy* (3), og kan organiseres derifra. *Image Object Information* (4) inneholder informasjon om et valgt segment/objekt. Segmentets gjennomsnittsverdi, areal, klassesammenheng etc. er informasjon som kan vises ved å velge ut *objektegenskaper* fra *Feature View* (5).



Figur 4.23 – eCognition

4.5.1.1 Objektegenskapen Median

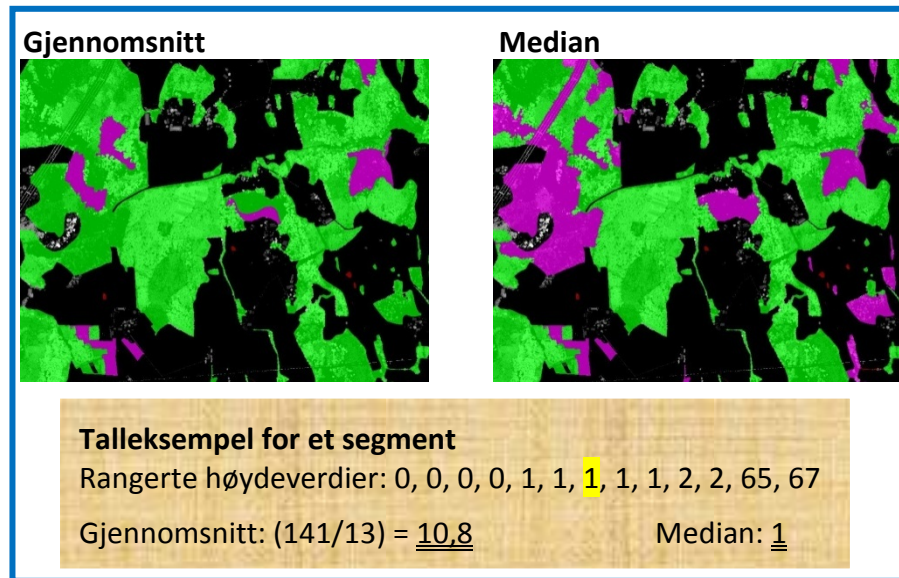
Brukergransesnittet på eCognition er oversiktlig og samtidig komplekst pga alle mulighetene som ligger i programmet. Allikevel er det enkelte funksjoner og egenskaper som må legges til manuelt.

Ved etablering av rastere brukes ulike statistiske begreper som kommer igjen i eCognition som objektegenskaper. Dette er beregninger som gjøres på pikselverdiene innenfor hvert segment i det aktive laget. En maksimalverdi, en gjennomsnittsverdi og et standardavvik for pikselverdier er eksempler på objektegenskaper som allerede ligger integrert i eCognition.

I kapittel 4.2 blei det gjort klart at disse statistiske begrepene har sine svakheter siden alle verdier blir med i beregningene. Å bruke median blei da nevnt som en mulig bedre statistisk metode. Siden eCognition ikke har median lagt inn som objektegenskap, må en egen fil som inneholder beregningskommandoer for median importeres.

Blom har fra før av lagt denne fila inn i sine systemer, men pga den nye 64 bits-versjonen av eCognition, som blir brukt i oppgaven, er ikke median-fila lesbar. Løsninga er å lage eller kompilere fila på nytt med den nyeste versjonen av eCognition. Det gjøres ved at det originale programmeringsprosjektet (*Plugins to eCognition 2011*) som inneholder programkodene åpnes

i Microsoft Visual Studio 2010. Deretter kjøres programmet, og en ny medianfil, som nå er kompatibel med eCognition 64 bit, etableres.



Figur 4.24 – Forskjell på objekttegenskapene gjennomsnitt og median

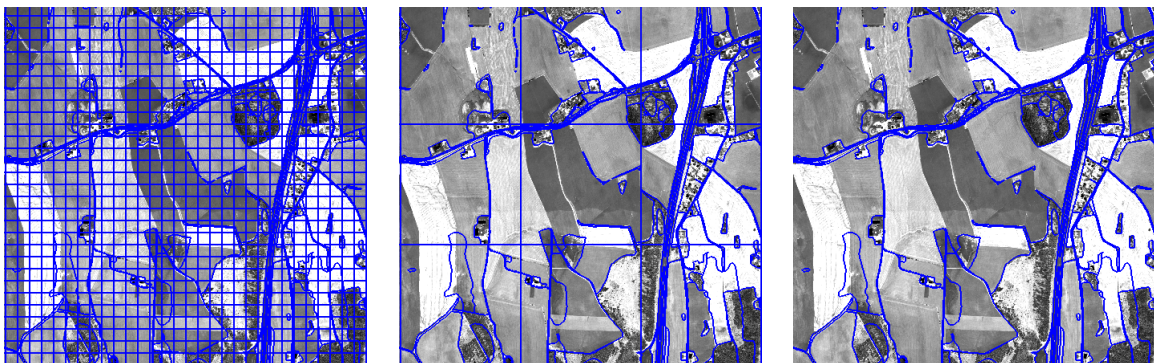
Figur 4.24 illustrerer en analyse av skog der områder uten høyde (< 2 meter) skal skiller ut. Til venstre er en gjennomsnittsverdi for segmentenes høydeverdier estimert, mens til høyre er en medianverdi benyttet. Resultatet av analysen viser en forskjell i de områdene der det finnes mange lave høyder, men også få store høyder. I bestemmelsen av en gjennomsnittsverdi brukes alle høydeverdier. De pikselverdiene som består av store verdier trekker opp verdien, slik at områdene får høy gjennomsnittlig verdi. En median er mindre følsom for ekstreme observasjoner. (Merk: Ekstreme observasjoner er ikke nødvendigvis målefeil (outliers)!) I enkelte tilfeller kan en median være et bedre estimat. En kraftgate går gjennom skog øverst til venstre i figuren på forrige side. Treffene på ledningene medfører pikselverdier med stor høyde i rasterbildet. En medianverdi vil ikke ta hensyn til treffene på ledningene og derfor definere kraftgata som skog uten høyde.

4.5.1.2 Chessboard-segentering

eCognition består av til sammen sju forskjellige segmenteringsalgoritmer, og i denne oppgaven er to av disse brukt. Den første segmenteringen som benyttes er en *chessboard-segentering* som segmenterer på pikselnivå.

En chessboard-segentering deler raskt opp et bilde i kvadratiske firkanter med lik størrelse. I figuren nedenfor er tre chessboard-segenteringer foretatt i samband med AR5. Forskjellen er størrelsen på rutenettet, *Object Size*, som er valgt for algoritmen. Til venstre er det valgt en lav verdi, 30 piksler, i midten 300, mens til høyre er 3000 piksler valgt. Figuren viser at for å lage segmenter kun på bakgrunn av vektorkart må størrelsen på rutenettet være større enn selve rasterbildet. I eksempelet nedenfor består rasteret av 900x900 piksler, slik at et rutenett på 3000x3000 piksler vil holde.

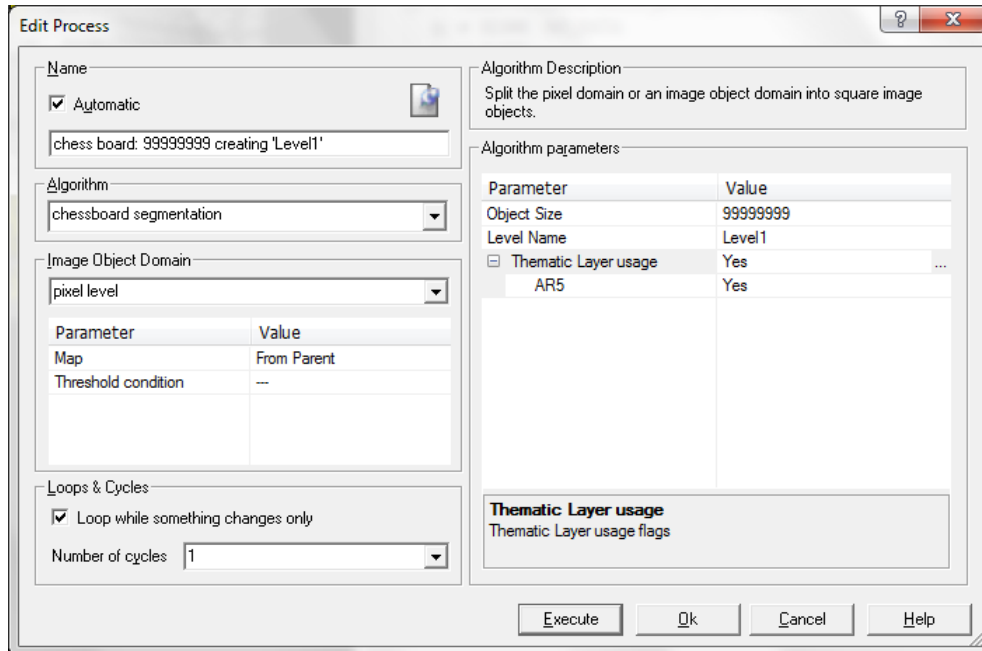
Resultatet blir et kart som inneholder AR5grensene, slik vist til høyre i figuren, og hver AR5flate inneholder nå informasjon om rasterbildene. Vektorkartet er *rasterisert*, altså gjort om til et rasterbilde med piksler.



Figur 4.25 – Chessboard-segentering med ulik rutenettstørrelse

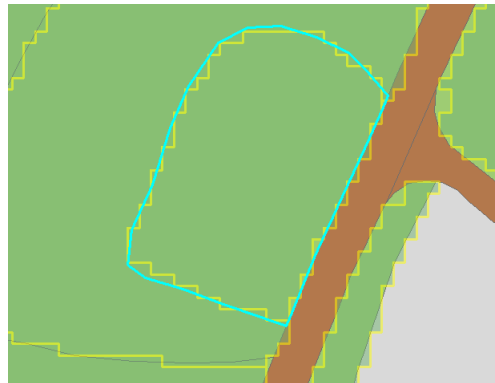
For å etablere segmenter kreves det at det opprettes et *Level*. Det betyr at etter hver segmentering plasseres resultatet på et *nivå*. Disse nivåene brukes for å skille mellom de ulike segmenteringene utover i analysen. Ved klassifiseringer kan informasjon fra de ulike nivåene kombineres. Chessboard-segentering er den første, og det er derfor naturlig å kalle resultatet Level1.

Figuren på neste side er et eksempel på oppsett av en segmentering i eCognition. Legg merke til stor verdi for Object Size, 99999999.



Figur 4.26 – Algoritmen for chessboard-segentering

En effekt av rasteriseringen av AR5 er at grensene blir hakkete siden de nå følger kantene på pikslene. Figur 4.27 viser hvordan den opprinnelige AR5grensen (turkis linje) går i forhold til grensen i det rasteriserte vektorkartet (gul linje). Dette medfører at et segmentareal i eCognition vil avvike noe fra AR5-arealet.

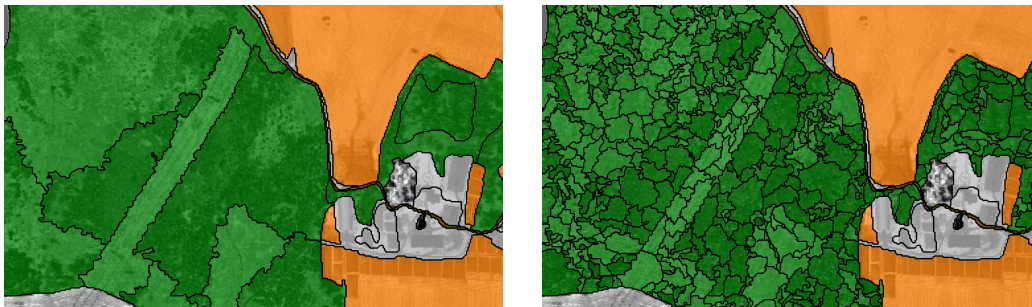


Figur 4.27 – Effekt på grenser ved rasterisering

4.5.1.3 Multiresolution-segentering

Den andre algoritmen som skal dele opp rasteret i segmenter er en *multiresolution-segentering*. I oppgaven brukes denne for å dele opp eksisterende segmenter, AR5flater, i mindre arealer.

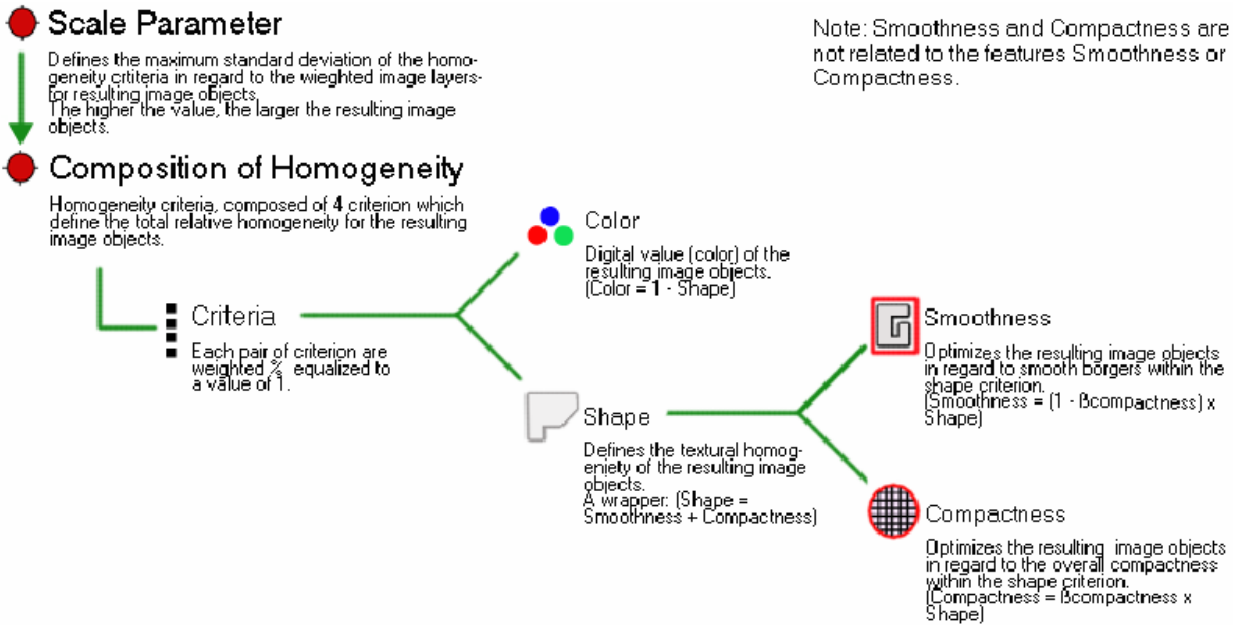
Figur 4.28 viser to resultater av en multiresolution-segentering. Den finner de områdene som er mest homogene etter gitte kriterier. Algoritmen er mer kompleks og bruker også lengre tid enn chessboard-segenteringa. Flere faktorer påvirker resultatet og det er vanskelig å sette en konstant verdi for de mange parameterne.



Figur 4.28 – Multiresolution-segentering med to ulike resultat

I de to resultatene over er kun én parameter endret. En segentering innenfor skog er gjort med utgangspunkt i et intensitetsraster (Under *Image Layer weights* blir bare intensitetsrasteret vektet). De segmentene som dannes passer til verdiene som er satt. I begge tilfellene er segmenter skilt ut, men antallet varierer. Til venstre er en høy verdi for *scale parameter* valgt. Den sier noe om hvor grov inndeling av segmenter blir. En lav verdi i et heterogent datasett vil føre til mange segmenter slik som til høyre i figuren.

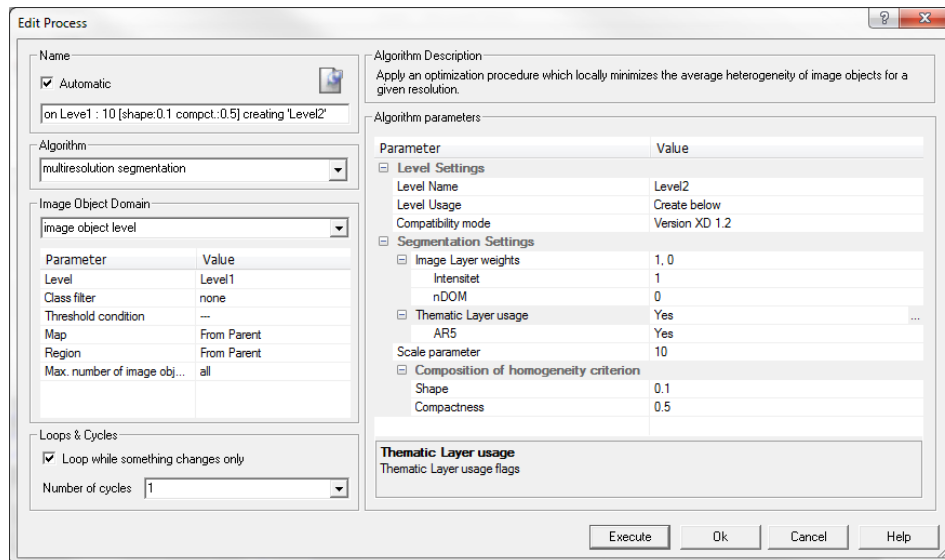
Flere andre parametere påvirker også resultatet, men hovedsakelig er det scale parameter som påvirker segenteringa mest. En oversikt over alle parametere er vist i figuren nedenfor.



Figur 4.29 – Parameterforklaring for multiresolution-segentering (Definiens 2009a)

Valg av disse er tatt på bakgrunn av testing av flere kombinasjoner, og det resultatet som var mest tilfredsstillende. De endelige valgene for *Image Layer weights*, *Scale parameter*, *Shape* og *Compactness* vil bli oppgitt for hver analyse.

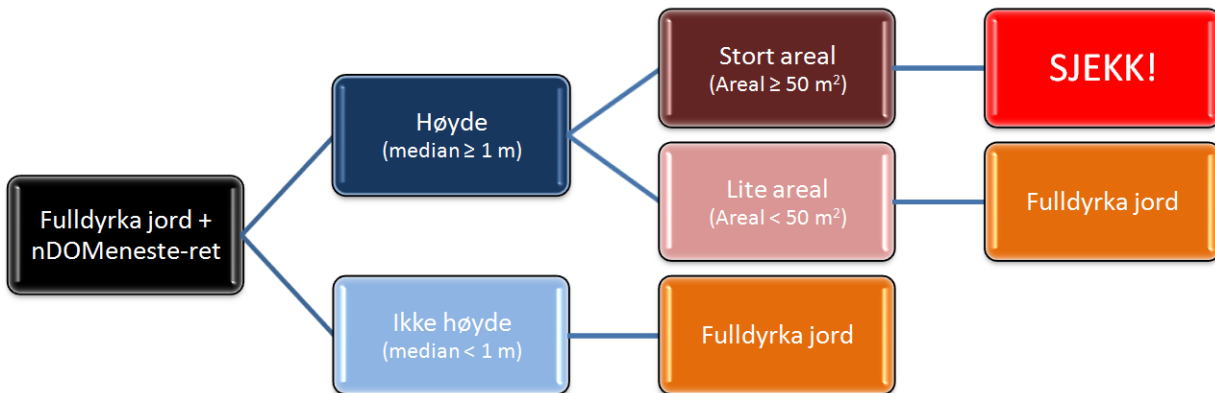
Siden en ny segmentering gjennomføres må et nytt nivå, *Level2*, etableres og legges under *Level1*. Det er dette nivået videre klassifiseringer i utgangspunktet bygger på.



Figur 4.30 – Algoritmen for multiresolution-segentering

4.5.1.4 Klassifisering

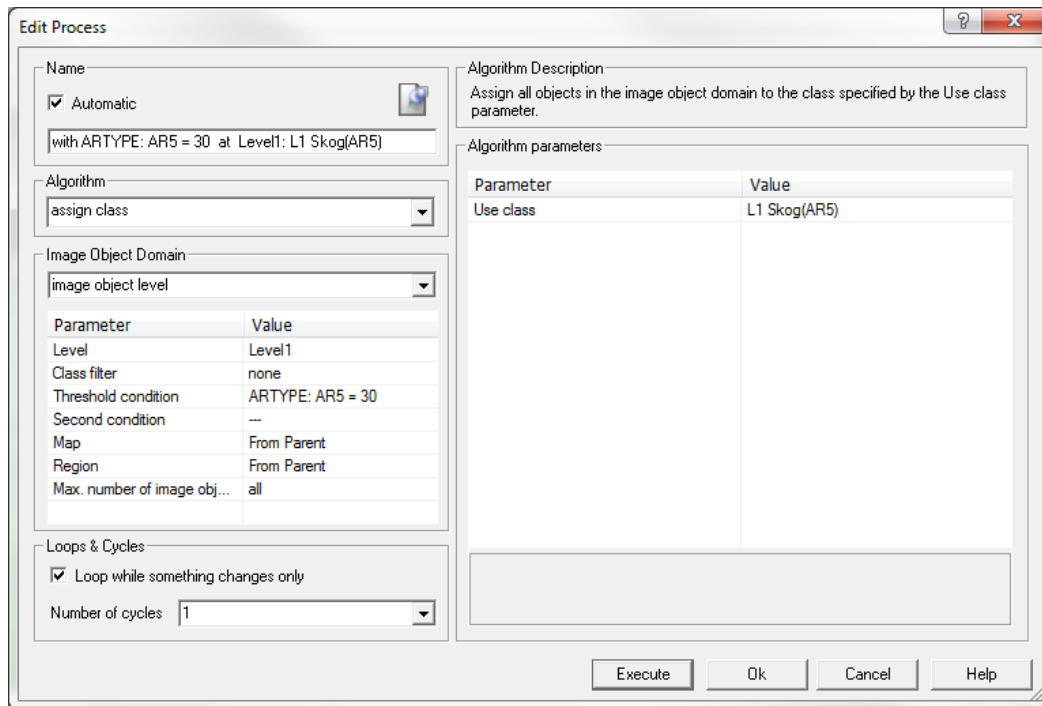
Etter at en multiresolution-segentering er gjort er rasterbildet delt inn i flere segmenter som hver har sine objektegenskaper. En klassifisering er for å etablere klasser som beskriver de ulike segmentene best mulig. Objektegenskaper tilhørende hvert segment avgjør selve klassifiseringa. Det er viktig å merke seg at parameterne for klassifiseringene er justert for et best mulig resultat for dette datasettet. Nedenfor er det vist et eksempel på hvordan en klassifisering av høyder på fulldyrka jord kan gjøres.



Figur 4.31 – Eksempel på klassifisering av høyder på fulldyrka jord

Det er utallige muligheter for å få tilpasset en best mulig klassifisering. Når arealtypene skal hentes til segmentene etter en chessboard-segentering, benyttes den enkleste klassifiseringsalgoritmen, *Assign class*. Innenfor segmentene i Level1 settes et krav eller en *terskel* slik at den ønskede arealtypen hentes ut og legges i en klasse. Egenskapsverdien til arealtypen må defineres slik Figur 4.32 viser.

Et annet eksempel der *Assign class* kan brukes er for å klassifisere høyde etter medianverdi. Segmentene innenfor klassen for skog, fra multiresolution-segenteringa i Level2, skal ha en terskelverdi der median fra nDOM skal være større enn 2 meter. For de segmentene som oppnår dette kravet plasseres i en ny klasse.



Figur 4.32 – Algoritmen for Assign class

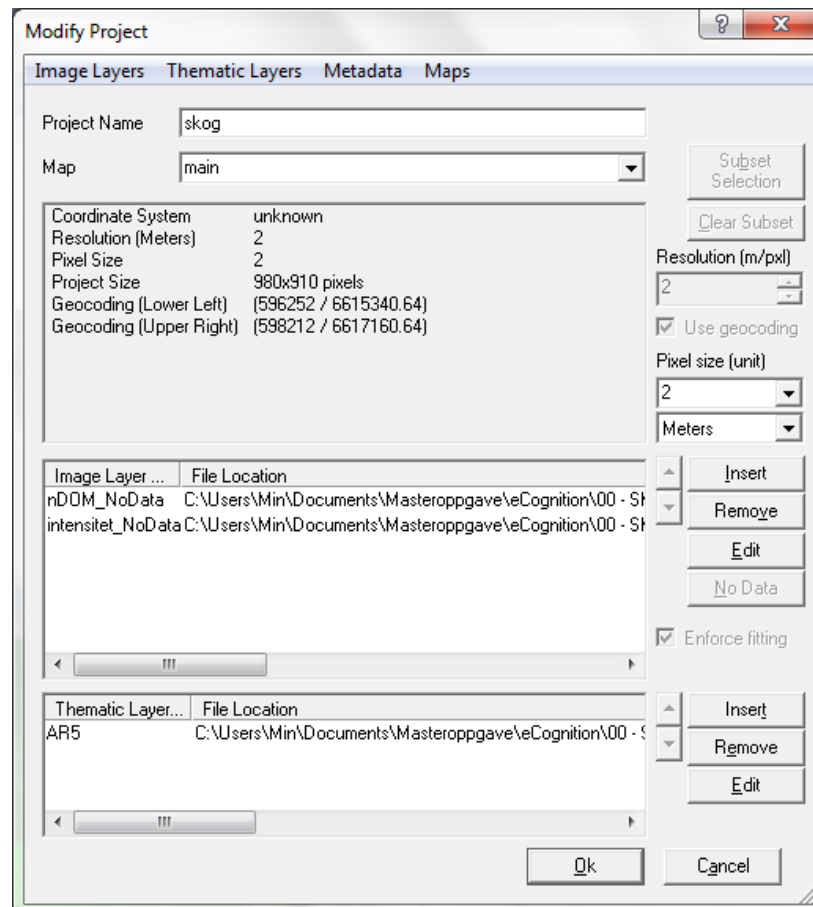
En mer avansert klassifiseringsalgoritme er *Classification* som kun blir brukt i skogkant-klassifiseringa i denne oppgaven. Denne algoritmen setter ikke klare terskler slik som i eksemplene over. Det snakkes om en medlemskapsverdi for en klasse. Her kan flere kriterier settes, samtidig som kriteriene er mer fleksible. For nærmere forklaring se (Definiens 2009a).

4.5.2 Import

For hvert prosjekt som opprettes må de rasterne som skal benyttes lastes inn i eCognition som *Image Layers*, og døpes til et egnet navn. Informasjon om oppløsning og geografiske koordinater til rasterne oppgis automatisk. Samtidig gir programmet en mulighet for å angi pikselstørrelse og pikselenhet.

I denne oppgaveløsninga skal AR5 inngå som et *Thematic Layer*. Det vil si at egenskapene som ligger i egenskapstabellen kan tas med i analysen.

For større områder vil det ta tid å gjennomføre ei segmentering og andre tyngre operasjoner. Et mindre område eller et *subområde* bør derfor velges ut fra det totale datasettet. Det bør være representativt for hele datasettet, ettersom analysene i stor grad tilpasses manuelt for at resultatene skal bli best mulig. Utvalgte kommandoer vil da kun foregå på subområdet. Når regelsettet er komplett, kan det lille området slettes og en analyse på hele datasettet kjøres.



Figur 4.33 – Oversikt over importerte datasett

4.5.3 NoData

Et problem som bør løses i starten av analysen er piksler som har NoData som pikselverdi. Når et datasett fra en laserskanning blir eksportert ut som et raster i LidarStat, tildeles en piksel med NoData en ekstrem verdi for å skille pikselet fra de andre pikslene. Hvis disse verdiene blir stående vil de tas med i analysen i eCognition og påvirke evt. statistiske beregninger. Derfor er det viktig å endre disse verdiene til noe mer logisk.

Tabell 13 viser noen eksempler på NoData-verdier som LidarStat tildeler ulike rasterbilder. Verdien kan være forskjellig avhengig av hvilket program som brukes, men også etter hva slags type raster som blir laget. ArcMap oppgir NoData-verdien under *Layer Properties* for alle rasterye som importeres.

Raster	NoData-verdi
nDOM	-9999
DOM	-9999
nDOM – persentil	-999
nDOM – eneste pulsretur	9999
pulsretur	-1
intensitet	-999
standardavvik	-99

Tabell 13 – Eksempler på NoData-verdier

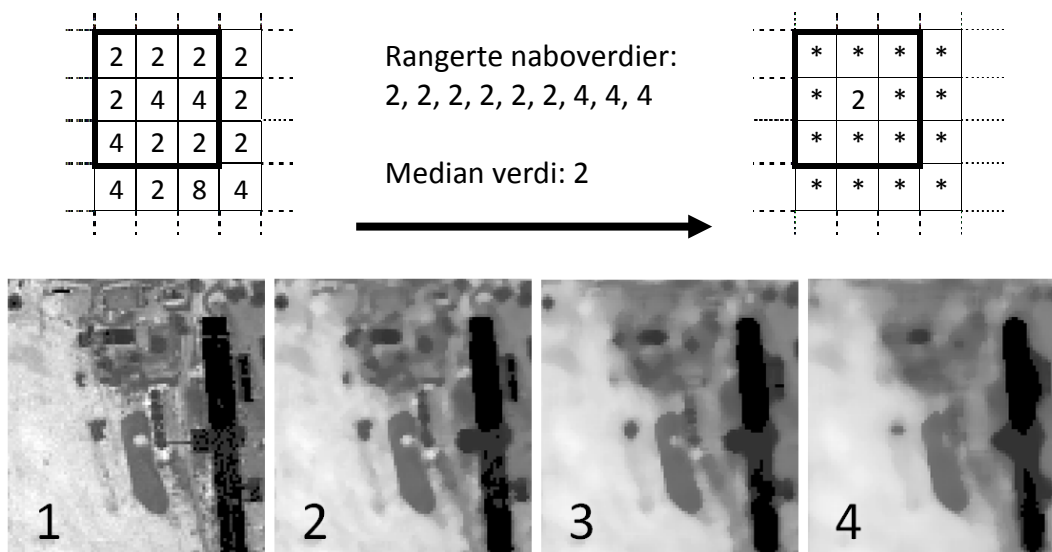
Det finnes flere måter i eCognition som løser problemet. Den enkleste måten er å detektere alle NoData-piksler og endre pikselverdien til 0. Dette kan være en uheldig operasjon i tilfeller med høyder som pikselverdier. Tidligere er det nevnt at for en DOM, som består av høyder over havet, vil det bli galt å tildele piksler verdien 0. Derimot i en nDOM der ellers alle bakkepunkter har verdi 0, kan det være en rask og god løsning.

I forbindelse med NoData er det tidligere nevnt at spesielt vannflater og blanke flater kan reflektere bort all utsendt puls fra laseren. Siden intensitetsrasterye sier noe om mengde reflektert lys, blir det riktig å si at disse flatene kan erstattes med verdi lik 0. Allikevel er det tilfeller der andre forhold har gjort at laserpulser ikke er registrert. Finnes det små huller i dataene på dyrka områder eller i skog, bør disse fylles med verdi fra nabopiksler. Det samme kan gjøres med nDOM for å ha muligheten til å fylle enkeltpiksler med høyder fra nabopiksler.

En mulighet er å lage flere rastere med grovere oppløsning enn originalrasteret, for så å fylle NoData-pikslene med verdier fra disse rasterne. Å bruke LidarStat til denne prosessen er en svært kostbar metode, siden det tar tid å lage rastere. eCognition kan bruke en raskere metode som er vanlig i bilderedigeringsprogrammer, en *medianfiltrering*.

4.5.3.1 Medianfiltrering

Medianfiltrering brukes for å fjerne støy i bildet eller glatte ut bildet. Det gjøres ved å bestemme ei kvadratisk matrise som jobber seg gjennom datasettet. Innenfor matrisa velges medianverdien av pikslene, og plasseres i sentrum av matrisa i det nye bildet. Figur 4.31 illustrerer hvordan en 3x3 matrise jobber seg gjennom og resultatet blir et mer glattet raster (2). Ved å øke til 5x5 (3) og 7x7 (4) blir glattingen større. De svarte pikslene i figuren er NoData. En glatting fører til at disse fylles på bakgrunn av nabovertiene. Allerede ved en matrise-størrelse på 3x3 fylles store deler av de tomme pikslene.



Figur 4.34 – Medianfiltrering

4.5.3.2 Framgangsmåte

Framgangsmåten for å løse NoData er delvis lik for alle rasterne som brukes i analysen. Her beskrives hvordan huller i en nDOM kan fylles.

I eCognition etableres et regelsett for å løse problemet med NoData på følgende måte:

➤ *Variabler*

En start- og maksimalstørrelse på matrisa som skal brukes defineres. Fra forrige side viser figuren at større områder med NoData ikke fylles pga mangel på naboer med logiske pikselverdier. På bakgrunn av dette vil det ikke være nødvendig å gjennomføre en medianfiltrering med en matrisestørrelse større enn 7x7 piksler.

➤ *Midlertidig fil*

Et temporært raster, nDOM_data, som er identisk med originalrasteret, nDOM_NoData, etableres for å håndtere data.

➤ *Løkke*

Løkka gjennomfører filtrering og oppretter ei ny fil med det glatta rasteret, medianx. Deretter går eCognition gjennom det temporære rasteret og lokaliserer stedene med NoData. Den første runden med medianfiltrering har sørget for å fylle enkelte huller, og siden pikselstørrelsen er lik i de to rasterne, kan NoData-verdiene erstattes med verdier fra medianx. Figur 4.31 på forrige side viser at jo større filtreringsmatrisa er, desto mer glattet blir rasteret og sannsynligheten for å fylle flere huller blir større. Derfor økes matrisestørrelsen og en ny runde med å erstatte NoData gjennomføres. Løkka går så lenge matrisa er mindre eller lik maksimalstørrelsen som er satt av variablene.

➤ *Raster uten NoData*

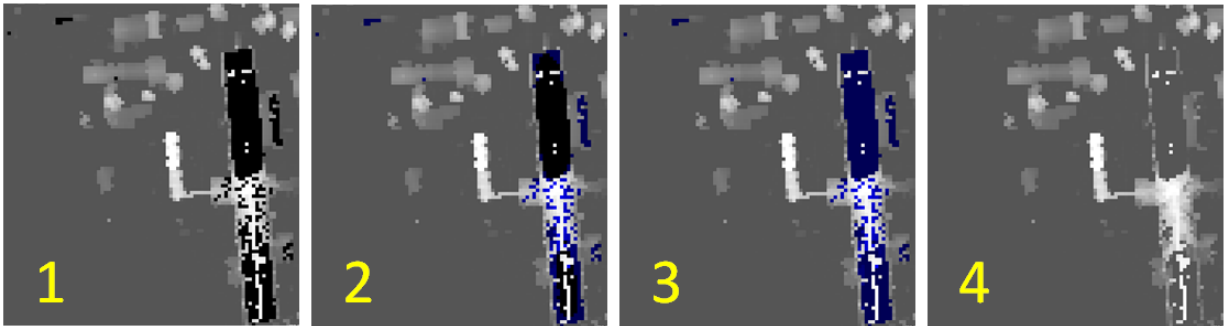
Det finnes fremdeles huller i rasteret etter at maksimalstørrelsen på matrisa er nådd, og siste runde med å fylle NoData er gjennomført. Dette er større områder der laseren ikke har mottatt noen retur. Å fylle slike områder vil kunne forverre snarere enn å forbedre, siden det ikke er mulig å si noe om hva som befinner seg på bakken i slike tilfeller.

Dessuten består naboskapet av for mange pikselverdier med NoData. NoData-pikslene som gjenstår tildeles derfor 0 som verdi, og et raster uten huller ferdigstilles, nDOM.

Figur 4.35 viser hvordan regelsettet og resultatet for den nevnte operasjonen blir. Objektet som er avbildet er en låve som har reflektert bort laserpulsene (1). Filtringa klarer å fylle enkelte deler av taket samt mindre steder rundt låven (2). De store områdene uten noen lasertreff vil

fremdeles ha NoData, og disse områdene får verdi 0 (3). Det betyr at hele låvens takhøyde i dette tilfellet ikke registreres (4). Hadde området derimot bestått av et vann, ville denne avsluttende operasjonen vært riktig.

- 0.405 nDOM - LØSNING NoData (Fyller NoData med verdier fra medianfiltrering)
 - <0.001s VARIABLER (Definerer ulike variabler)
 - <0.001s medianwindow = 3 (Størrelse på matrisa (AxA))
 - <0.001s medianwindow_max = 7 (Max størrelse på matrisa (helst < 7))
 - 0.031 TEMP (Etablering av midlertidig fil fra importraster)
 - 0.031 layer arithmetics (val "(nDOM_NoData)", layer nDOM_data[float]) (Lager kopi av originaldata)
 - 0.327 LØKKE (Fyller NoData etter de kriterier som er satt)
 - 0.327 loop: while medianwindow <= medianwindow_max (Løkke som følger de satte variabler)
 - 0.280 median filter (medianwindow x1): 'nDOM_NoData' => 'medianx' (Kjør en medianfiltrering)
 - 0.047 layer arithmetics (val "((nDOM_data<0)*medianx)+((nDOM_data>0)*nDOM_data)", layer nDOM_data[float]) (Erstatter NoData-verdier med verdier fra det nye rasteret)
 - <0.001s medianwindow += 2 (Øker størrelsen på matrisa med 2)
 - <0.001s delete image layer 'medianx'
 - 0.047 nDOM uten NoData (Fyller resterende NoData med 0)
 - 0.047 layer arithmetics (val "(((nDOM_data>0)*nDOM_data)^2)^0.5", layer nDOM[float]) (Resterende NoData-verdier blir satt til 0)
 - <0.001s delete image layer 'nDOM_data'



Figur 4.35 – Løsning av NoData for nDOM

Svakheten for denne løsningen av NoData er at objekter som i utgangspunktet burde hatt høyde ikke får noen høyde. Figuren over viser at store deler av en låve "forsvinner" og karakteriseres isteden som bakke. En betingelse for å kunne beskrive bakken er at det finnes punkter på bakken. Eksisterer det ikke punkter, kan heller ikke bakken beskrives.

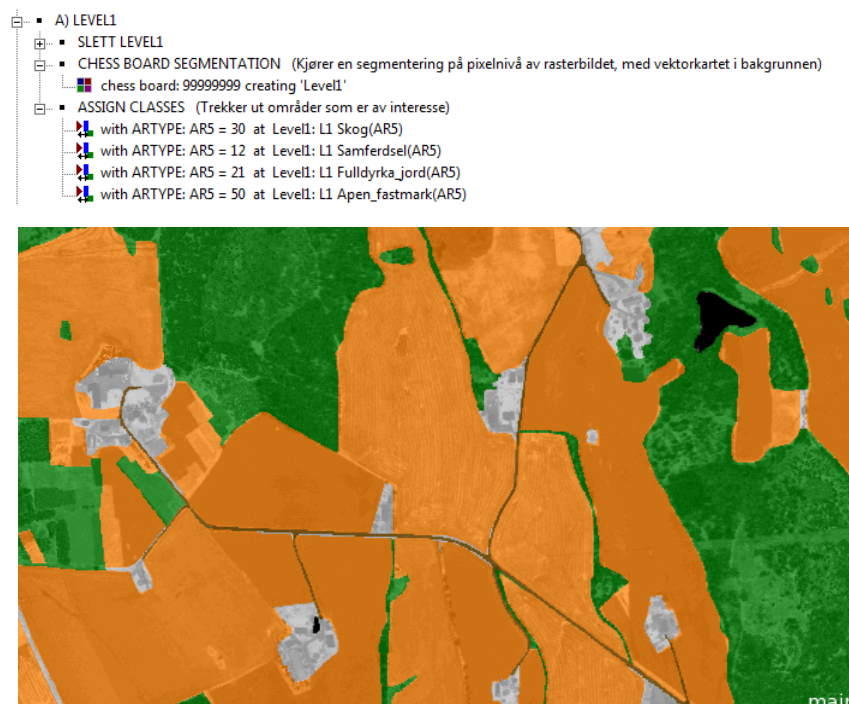
Huller i rasterbilder trenger ikke alltid å være vann og objekter som har reflektert bort pulsene, men feil i selve laserdataene. I oppgaven blir poenget å endre de ekstreme verdiene, -9999, til verdier som kan benyttes senere i analysene.

For analysen i eCognition brukes regelsettet i Figur 4.35 for alle løsninger av NoData hvis ikke annet er nevnt.

4.5.4 Sammenstilling av AR5 og rastere

Etter at NoData er løst og alle piksler har fått en logisk verdi, starter selve analysen. Rasterbildet basert på laserdataene skal på bakgrunn av vektorkartet AR5 deles opp i segmenter, slik at alle AR5flater finnes igjen i rasteret.

Med en chessboard-segmentering blir rasteret delt opp i segmenter som representerer AR5flater. Siden hvert segment nå er tilknyttet egenskapstabellen for AR5, er det mulig å hente ut hvilken arealtype hvert segment består av. Som tidligere nevnt kan algoritmen Assign Class brukes for å gjennomføre en klassifisering der arealtype trekkes ut som egenskap. Ved å angi den unike verdien for f.eks. bebygd, 11, danner eCognition en klasse som representerer bebygd. Klassen må få et egnet navn og en farge som skal representere arealene. Dette kan gjøres for alle arealtyper som skal være en del av den valgte analysen. Alle klasser som etableres havner i klassehierarkiet som forklart i kapittel 4.5.1.



Figur 4.36 – Regelsett og resultat av en chessboard-segmentering og inndeling av klasser

I Figur 4.36 er en segmentering og en klassifisering av arealtype skog, fulldyrka jord, åpen fastmark og samferdsel gjennomført. De rasterne som er importert kan nå fortelle noe om segmentene. All tilgjengelig informasjon om segmentene kan hentes fra eCognition sitt egenskapsbibliotek. Her ligger også den importerte objektegenskapen median. De ønskede

egenskapene plukkes ut, og ved å klikke på et segment i rasteret kommer en rekke verdier opp i informasjonsfeltet.

Image Object Information	
Feature	Value
Layer Values	
intensitet	24.53
nDOM	0.6253
Layer Values	
Standard deviation	
intensitet	3.979
nDOM	0.5099
Pixel-based	
Max. pixel value	
nDOM	5.320
To neighbors	
Mean Diff. to neighbors	
intensitet (0)	6.472
nDOM (0)	0.4422
Layer Values	
Median	
nDOM	0.6600
Geometry	
Extent	
Area	3680 m ²
Number of pixels	920
Width	49.83 m
Geometry	
Shape	
Compactness	1.561
Roundness	0.7821
Thematic object attribute	
AR5	
ARGRUNNF	44
ARSKOGBON	14
ARTRESLAG	31
ARTYPE	30

Figur 4.37 – Informasjon om et valgt segment

AR5-datasettet og laserdataene i rasterbildene er nå knyttet sammen, og informasjon fra rasterne kan brukes videre. I de neste stegene av analysen skal nye segmenteringer innenfor et valgt nivå utføres. Dvs. at innenfor skogsegmenter som er framskaffet i Level1, skal nye segmenter etableres i et nytt Level2.

Herifra deles analysen inn i de ulike studiene:

- Fulldyrka jord
- Skog
- Bebygd

4.5.5 Fulldyrka jord

Fulldyrka jord består som regel av store flater uten objekter med høyde. I Norge er det sjeldent at vekster som dyrkes blir høyere enn én meter. Uansett er laserskanningen utført på et tidspunkt der vekstsesongen akkurat har startet. Dette medfører at alle punkter som treffer disse dyrkede områdene blir klassifisert som bakke. I en nDOM får altså områder med fulldyrka jord høyden 0. Hus, trær og andre objekter som ikke er klassifisert som bakke vil evt. skiller ut.

Dette kan brukes i analyse av fulldyrka jord. Ved å trekke ut egenskapen fulldyrka jord fra AR5-datasettet og bruke en nDOM, kan områder med høyder i AR5 avsløres. Det skal ikke være høyder i et areal som er fulldyrka jord.

Et problem ved denne antakelsen er at store trær som står på naboarealer til fulldyrka jord kan komme i konflikt med de satte AR5grensene. Analysen vil påstå at det er høyde på jordet, selv om ikke det er tilfellet. For å minimalisere dette problemet settes et minstekrav på bredden til et segment. Egenskapen *width* sier hvor bredt segmentet er, og hvis bredden er mindre enn minstekravet, ekskluderes segmentet fra analysen.

To forskjellige analyser er testet på bakgrunn av teori om fulldyrka jord og ulike typer nDOM. Ved å velge nDOM som har tatt utgangspunkt i laserpulser med kun én retur, vil hovedsakelig bygninger vises i rasteret, og problemet som er nevnt over er minimalt. Allikevel vil noe vegetasjon avsløres i et slikt raster pga tett skog også kan returnere bare én enkel retur.

I den andre analysen skal eventuelle *skogøyer* innenfor fulldyrka jord detekteres. En *skogøy* er definert som et areal som er omringet av fulldyrka jord. En nDOM med alle typer pulseturer unntatt eneste, vil vise der det finnes vegetasjon i rasteret. Problemet med skogkanter vil dukke opp, men også eventuell vegetasjon på jorder kan detekteres.

Datasett i analysen av fulldyrka jord: AR5, nDOM 90 persentil på bakgrunn av eneste retur (nDOMene), og en nDOM på bakgrunn av første, mellomliggende og siste retur (nDOMfms).

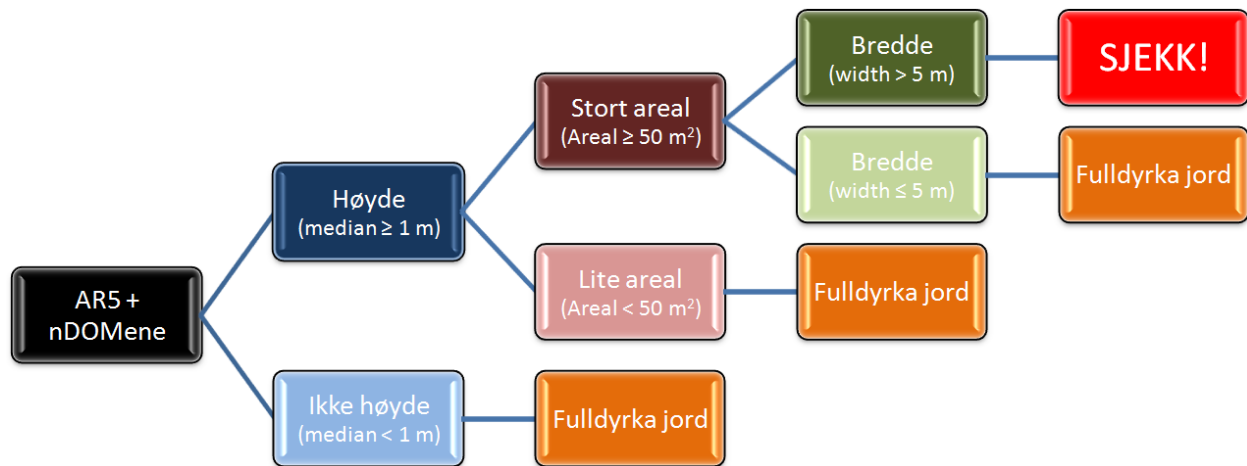
4.5.5.1 Multiresolution-segmentering

Fra chessboard-segmenteringa er kun fulldyrka jord trukket ut som arealtype. Innenfor segmentene tilknyttet denne arealtypen, skal det kjøres en multiresolution-segmentering. Homogene områder vil bli delt inn i egne segmenter på bakgrunn av parameterne algoritmen består av.

Høyder på fulldyrka jord		Skogøyer på fulldyrka jord	
Parameter	Verdi	Parameter	Verdi
Image Layer weights	nDOMene	Image Layer weights	nDOMfms
Scale parameter	10	Scale parameter	10
Shape	0,2	Shape	0,2
Compactness	0,7	Compactness	0,7

Tabell 14 – Parametere multiresolution-segmentering for fulldyrka jord

4.5.5.2 Klassifisering av høyder på fulldyrka jord



Figur 4.38 – Klassifisering av høyder på fulldyrka jord

Første del av klassifiseringa er å finne segmenter med høyde. En medianverdi større enn 1 m skal indikere høyde, og segmentene som tilfredsstiller kravet klassifiseres som *Høyde*. Resten av segmentene havner i *Ikke høyde*, siden de har medianverdi lavere enn 1 meter. Innenfor *Høyde* skal segmenter med areal større enn 50 m² bli klassifisert som *Stort areal*. Alle andre plasseres i *Lite areal*, ettersom de har mindre størrelse enn det gitte kriteriet.

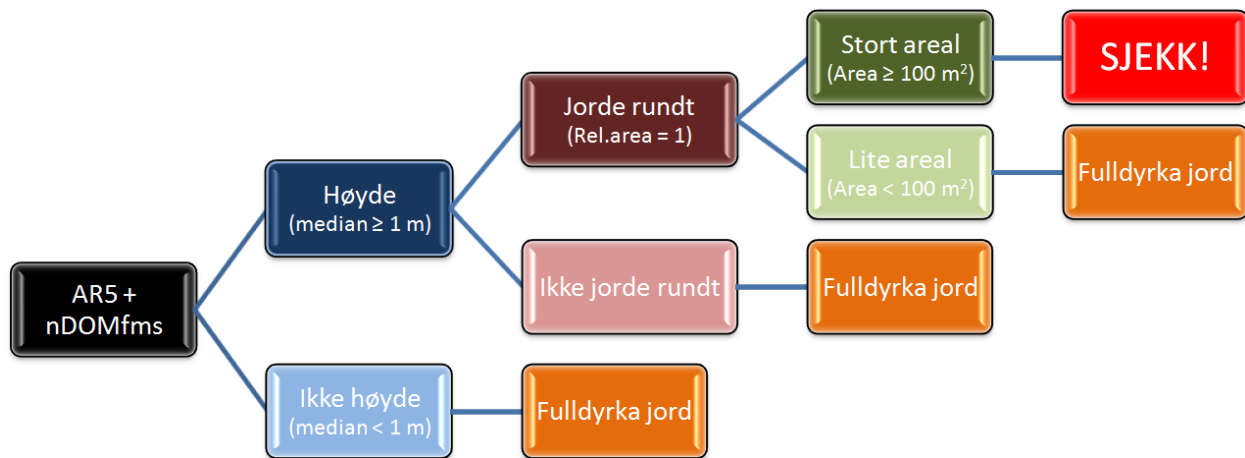
Bredde er klassen for de segmentene med høyde og stort areal som er bredere enn 5 m. Eventuelle skogkanter ekskluderes. Til slutt i klassifiseringa slår alle segmenter som er i samme

klasse seg sammen. *Sjekk!* er da klassen som i følge analysen består av objekter som bør studeres nærmere. Segmentene som utover i klassifiseringa ikke innfrir kravene betraktes som områder med fulldyrka jord. De har ikke høyde, segmentene er for små til å skilles ut og de er for smale.

4.5.5.3 Klassifisering av skogøyer på fulldyrka jord

Den andre analysen starter også med en klassifisering av høyde. *Høyde* og *Ikke høyde* klassifiseres ved samme kriterier som i den første klassifiseringa, etterfulgt av en sammenslåing av segmentene i *Ikke høyde*. Neste steg er å bruke de sammenslåtte segmentene til å detektere skogøyer.

Tidligere i kapittelet blir skogøy definert som et areal som er omringet av fulldyrka jord. I analysen kan klassen *Ikke høyde* betraktes som fulldyrka jord. Et krav om at *Høyde* skal befinne seg 100 % innenfor fulldyrka jord vil avdekke de segmenter med høyde, og som har fulldyrka jord på alle kanter. (Naboegenskapen *Rel. Area of* settes til 1 for fullt naboskap.) Den siste klassifiseringa i analysen plukker de segmentene over 100 m².



Figur 4.39 – Klassifisering av skogøyer på fulldyrka jord

4.5.6 Skog

For skog er det hovedsakelig interessant å skille mellom områder *skog* og *ikke-skog*. Samme framgangsmåte som i forrige kapittel kan brukes. Ved å trekke ut skogområder fra AR5 og samtidig se på en nDOM, kan skogområder uten høyde selekteres ut.

Tidligere er det nevnt at det ikke nødvendigvis kan slås fast om dette betyr at det er feil i AR5. Et område uten deteksjon av trær på et tidspunkt kan være et hogstfelt som akkurat er hogget ned eller et plantefelt der trær er såpass små at analysen ikke avdekker de. Disse områdene er da fremdeles skogområder. Det samme gjelder for små områder i skog. Kravet om minsteareal for utskillelse av områder innenfor skog i AR5 på 2 dekar må tas hensyn til under analysen. Utover dette bør de områdene som avdekkes studeres nærmere.

Denne analysen skal se nærmere på de områdene som klassifiseres som ikke-skog. *Skogkanter* som grenser mot andre arealer samt *skogøyer* på fulldyrka jord er sentrale områder. I forrige kapittel om analyse av fulldyrka jord skulle *skogøyer* som ikke var merket i kartet detekteres. Her er det eksisterende *skogøyer* som skal studeres nærmere.

En naturlig følge av utvidelse både for bebyggelse og fulldyrka jord, er at skogområder krymper. Finnes det skogkanter som avdekkes som ikke-skog, kan en løsning være å slå sammen det arealet med naboliggende arealer.

Datsett i analysen av skog: AR5, nDOM 90 persentil (nDOM), og et intensitetsraster for å kunne si noe om naboliggende arealer (intensitet).

4.5.6.1 Multiresolution-segentering

I denne analysen skal ikke bare skog men også naboarealer studeres. Derfor må flere areal enn kun skog bli hentet ut av AR5. I chessboard-segentering leses skog, samferdsel, fulldyrka jord, åpen fastmark og bebygd inn som arealtyper. Innenfor skogsegmentene kjøres en multiresolution-segentering på bakgrunn av nDOM.

Høyder i skog	
Parameter	Verdi
Image Layer weights	nDOM
Scale parameter	10
Shape	0,2
Compactness	0,7

Tabell 15 – Parametere multiresolution-segentering for skog

4.5.6.2 Klassifisering

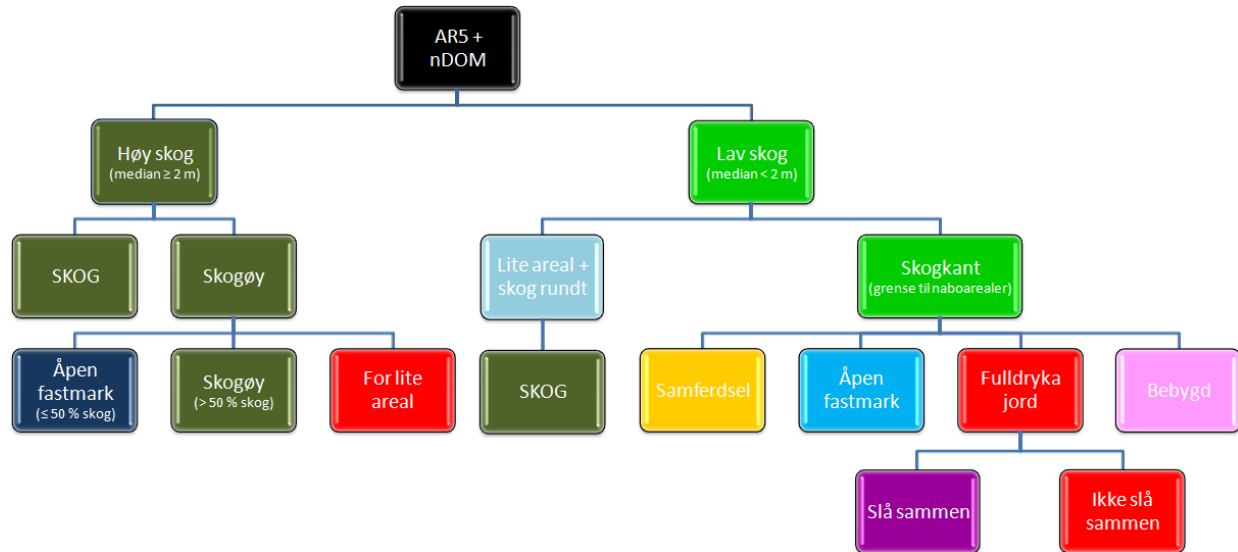
I oppgaven er dette den største analysen siden den tar for seg flest klasser. Det skal ikke bare detekteres hvor det er skog og hvor det ikke er skog, men videre skal analysen peke på muligheter for grundigere klassifiseringer.

Klassifiseringa starter med en deteksjon av høyder med median større eller lik 2 meter. Segmenter som havner under *Høy skog* er *Skog* og *Skogøy*. Klassen som inneholder *Høy skog* tas med videre i analysen av skogøyer på fulldyrka mark for å se på tetthet av skog på øyene. For å vurdere dette, må Level1 fra chessboard-segmenteringa og Level2 fra multiresolution-segmenteringa kombineres. Skogøyene må defineres fra Level1, og informasjon om hvor det finnes skog/ikke-skog hentes fra resultatet av den første klassifiseringa i Level2.

For at ei skogøy skal være skog må den bestå av minst 50 % av *Høy skog*. Dette er et fritt valgt kriterium og kan endres. Tilfredsstilltes ikke kravet, klassifiseres skogøya som et område som kunne vært *Åpen fastmark*. Enkelte områder avdekkes som mindre enn minstearealverdien for utskillelse av områder innenfor fulldyrka jord. Disse havner i *For lite areal*.

Den andre hoveddelen av klassifiseringa tar for seg områder med *Lav skog* (median mindre enn 2 meter). Segmenter med areal mindre enn 2 dekar (minstearealet for områder innenfor skog) og som befinner seg i områder med skog på alle kanter, klassifiseres som *Skog*.

Skogsegmenter uten høyde som ligger inntil andre areal typer skal klassifiseres som *Skogkant*. De fire typene skogkanter er skogkant til *Samferdsel*, *Fulldyrka jord*, *Åpen fastmark* og *Bebyggd*. To objekttegenskaper settes for at segmenter skal defineres som *Skogkant*. *Width*, som også blir brukt i analysen av fulldyrka jord, brukes for å bestemme at bredden på en kant må være mindre enn 30 meter. *Rel. border to* skal angi hvor stor del av skogsegmentet som må grense til den valgte arealtypen. (MERK: Denne verdien er flytende og er tilpasset slik at resultatet i oppgaven best mulig.)



Figur 4.40 – Klassifisering av skog

4.5.6.3 Sammenslåing av skogkant

For å vise at det er mulig å slå sammen skogkanter uten skog med andre arealtyper, skal det pekes på noen eksempelområder der skogkant kan slås sammen med fulldryka jord. (Dette er ikke gjort på hele datasettet.) En sammenslåing kan gjøres hvis intensitetsverdier for skogkanten og de omkringliggende segmentene er like. Er de like kan det antas at skogen er hogd ned til fordel for annet areal.

En multiresolution-segmentering kjøres innenfor det arealet som grenser til skogkanten. Dette gjøres for å dele opp arealet i mindre og mer homogene segmenter. Et område med fulldryka jord vil ikke nødvendigvis være homogent, og brukes hele området i en sammenlikning vil det bli vanskelig å detektere likhet mellom skogkanten og jordet. Ved å se på nabolikhet kan det avgjøres om kantsegmentet bør klassifiseres som *Slå sammen* eller *Ikke slå sammen*.

Objektegenskapen *Mean intensitet Ratio PPO* benyttes i denne oppgaven for å se på nabolikhet. Den ser på forholdet mellom gjennomsnittlig intensitetsverdi for skogkantsegmentet og nabosegmentene fra fulldryka jord. Se side 253 i (Definiens 2009a).

4.5.7 Bebyggelse i skog

Den siste analysen ser på mulighetene for å skille bebyggelse fra vegetasjon. Dette kan bl.a. brukes til å finne steder innenfor arealtypen skog som er bebygde, og videre vurdere om området burde bli omklassifisert.

Til analysen brukes to typer nDOM. Den ene med kun høyder fra laserpunkt med én retur (nDOMene), mens den andre består av høydeverdier fra første, mellomliggende og siste retur (nDOMfms). Ved å trekke en nDOMfms fra en nDOMene og danne et nytt raster nDOM, vil mer av vegetasjonen bli ekskludert. Dette kan få tydeligere fram objekter som hus.

4.5.7.1 Multiresolution-segentering

I likhet med forrige analyse trekkes skog ut av AR5 ved en chessboard-segentering, og en multiresolution-segentering kjøres med parameterne i Tabell 16.

Bebyggelse i skog	
Parameter	Verdi
Image Layer weights	nDOM
Scale parameter	10
Shape	0,2
Compactness	0,7

Tabell 16 – Parametere multiresolution-segentering for bebyggelse i skog

4.5.7.2 Klassifisering

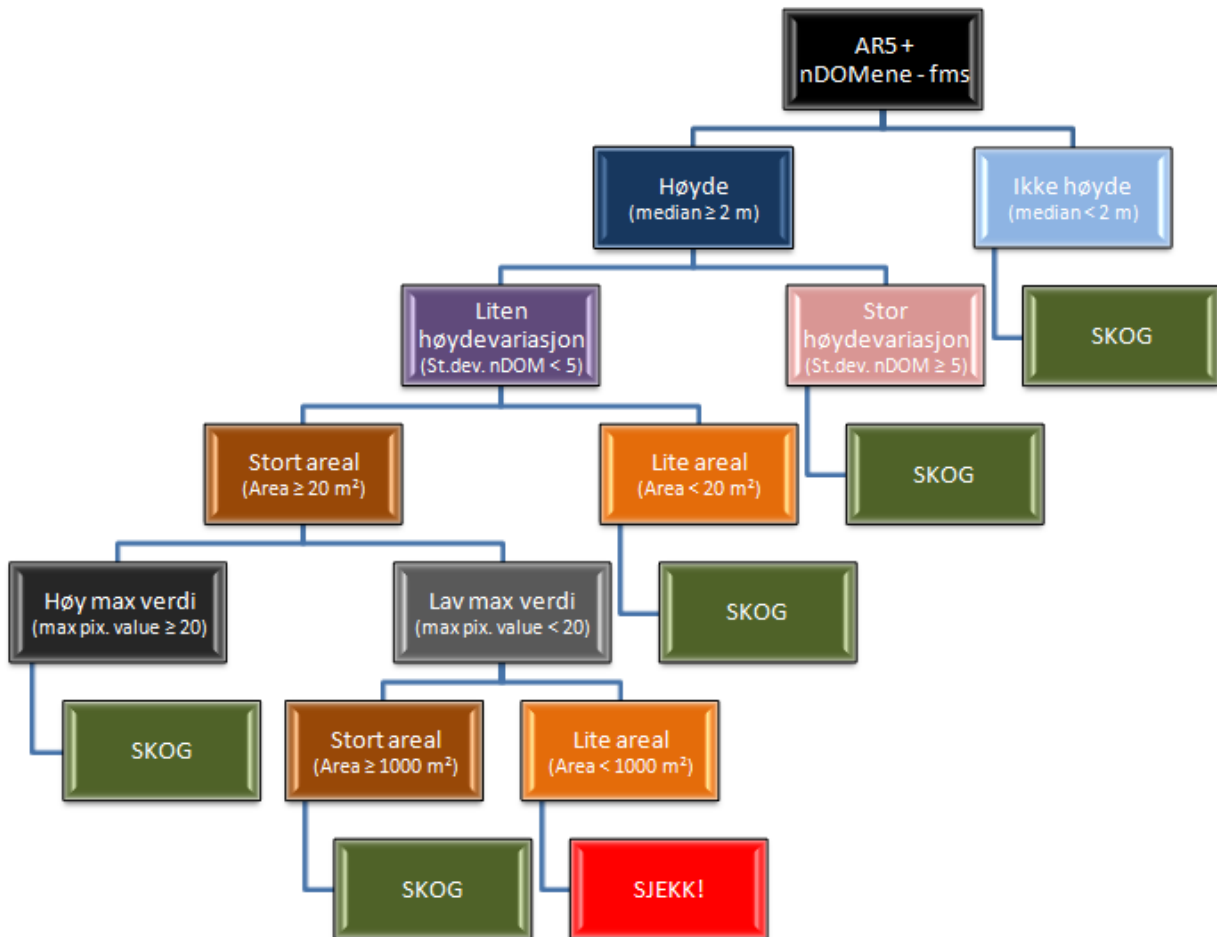
Denne klassifiseringa skal forsøke å skille hus fra vegetasjon i skogområder, med utgangspunkt i en subtraksjon mellom to typer nDOM med ulike pulsreturer.

I likhet med de andre klassifiseringene dannes først to klasser på bakgrunn av høyde. Klassen *Høyde*, som inneholder segmenter med en medianverdi over 2 meter, tas med videre for å se på høydevariasjonen. Standardavvik er en objekttegenskap som sier noe om variasjonen av pikselverdier, her høyder. En *stor høydevariasjon* kan bety at segmentet består av skog, siden tretopper har ujevne høyder. Et hustak har jevnere overflate og en *liten høydevariasjon* kan tyde på mulig hus. En minimums størrelse på areal på eventuelle hussegmenter settes deretter til 20 m².

Videre i klassifiseringa skal eCognition se på segmentenes maksimale pikselverdi. Finnes det segmenter som har *høy maksimal høydeverdi*, over 20 meter, antas disse segmentene å være

skog. Antakelsen er på bakgrunn av påstanden om at hus er lavere enn 20 meter. Altså en *lav maksimal pikselverdi* betyr at segmentet kan være hus.

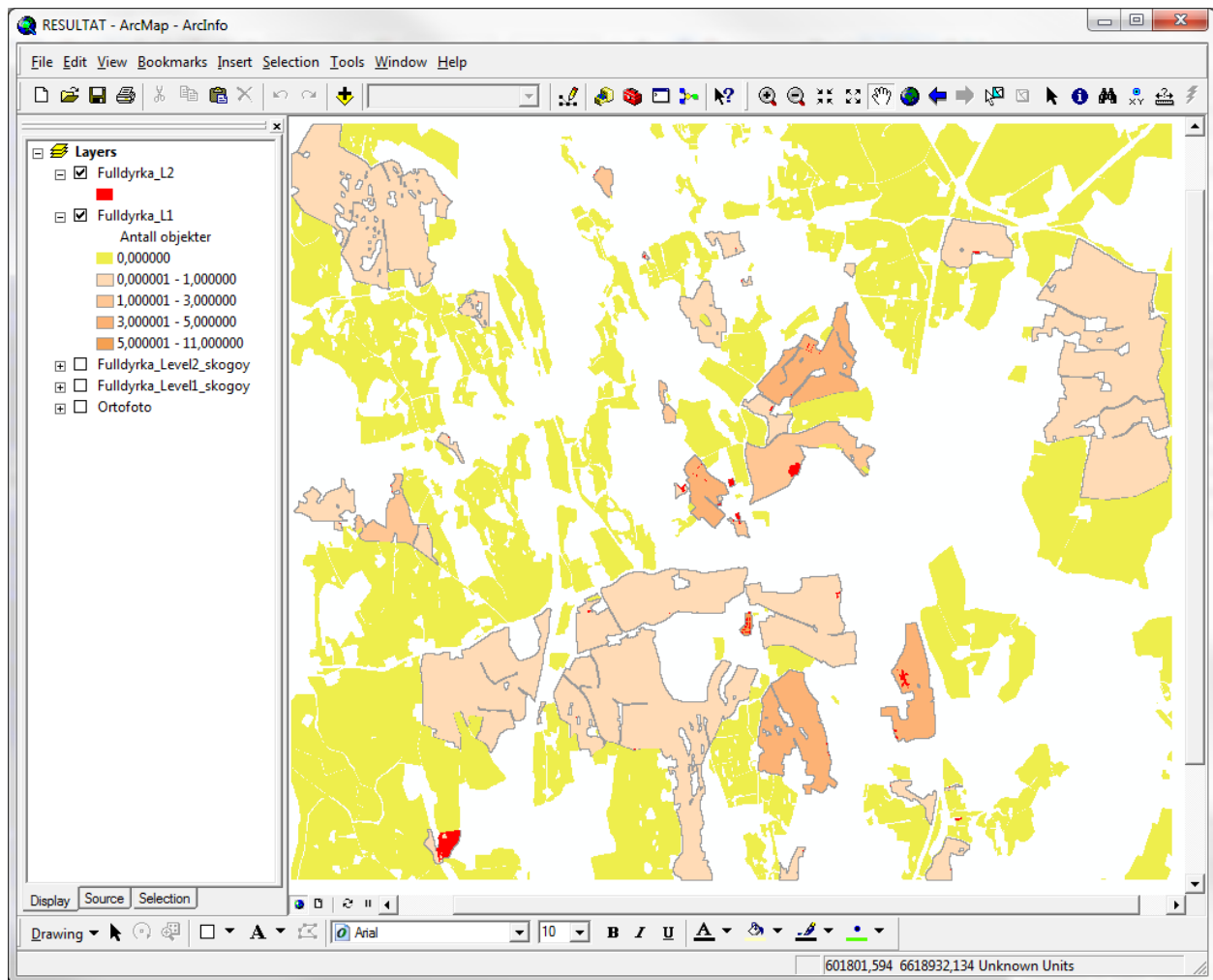
Den siste klassifiseringa ser igjen på areal. Segmenter som så langt har innfridd alle krav til mulige hus slås sammen. Hvis de sammenslåtte segmentene har et areal større enn 1000 m² klassifiseres de som skog. Segmentene som står igjen anbefales nærmere studering.



Figur 4.41 – Klassifisering av bebyggelse i skog

4.5.8 Eksport

For alle analyser skal det eksporteres ut ei eller flere shape-filer med resultater. Det gjøres for at en bruker skal kunne importere resultatet inn i ArcMap og finne tilbake til de interessante områdene som er avdekket. eCognition gjør det mulig å plukke ut både egenskaper fra AR5-datasettet og objekttegniskaper som er av interesse. Alle egenskapene legges i en ny egenskapstabell. Nedenfor vises et eksempel der høyder på fulldyrka jord har blitt detektert og eksportert ut. Klassen med detekterte høyder, samt egenskapen som forteller hvor mange segmenter som har høyde innenfor en AR5flate er vist i ArcMap.



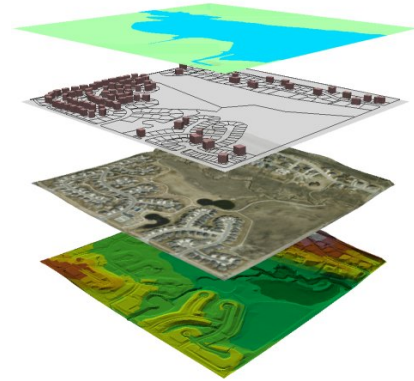
Figur 4.42 - Eksporteringseksempel

4.6 Analyse i ArcMap

eCognition byr på avanserte funksjoner og algoritmer i sin analyse. Dette kapittelet skal beskrive muligheter for å bruke rasterne kun til visuell tolkning i GIS-programvaren ArcMap. For enkelte vil en slik type analyse være mer forstående.

4.6.1 Introduksjon

I (Grinderud 2008) betegnes *overlagsanalyse* som en av de vanligste GIS-analysene. I en slik analyse kombineres flere kart med forskjellig informasjon for å lage nye kart. En betegnelse for disse kartene er *temalag*. GIS-programmer, som ArcMap, kan plassere flere temalag på hverandre og trekke ut informasjon fra disse til etablering av nye temalag. Dette kan gjøres både for vektorkart og rasterkart, selv om det er vanlig å konvertere samtlige vektordata over til rasterdata før en analyse utføres.



Figur 4.43 – Overlagsanalyse
(<http://las.depaul.edu>)

De allerede etablerte rasterbildene er temalag som inneholder informasjon fra den opprinnelige laserskya. Forskjellige overlagsanalyser vil bli gjennomført for å se mulighetene for å avdekke interesseområdene som er funnet i kapittel 3.3. På samme måte som ved bruk av eCognition deles analysen inn i kategorier etter hva som er ønskelig å detektere.

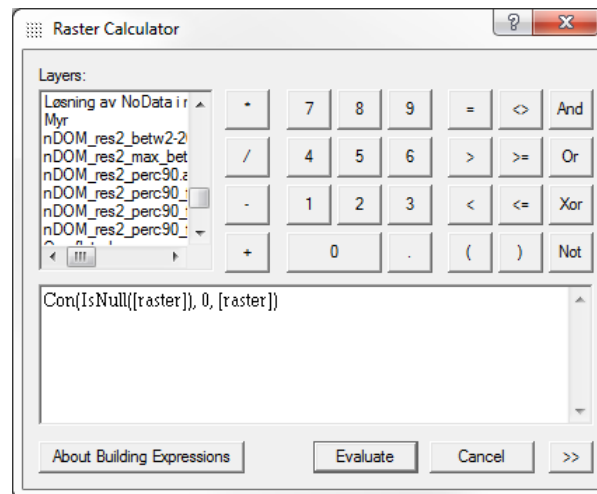
4.6.2 Forberedelse

Enkelte forberedelser må også her utføres for å få en god analyse. Rasterbildene må i noen tilfeller løse NoData-problematikken, vektorkartet AR5 må konverteres til rasterbilde og arealtypene skal skilles ut i egne raster.

4.6.2.1 NoData

I den objektbaserte bildeanalysen var det viktig å få løst problemene med NoData, siden pikslene ville påvirket analysen. Dette problemet er ikke like gjeldene i denne sammenheng, men ArcMap har en metode for å sette verdier på NoData-pikslene. Det er ønskelig å erstatte alle NoData-verdier med 0 i de tilfellene der nDOM er benyttet. For de fleste analysene som skal gjøres, er det denne rastertypen som blir benyttet.

I ArcMap kan verktøykassen *Spatial Analyst* brukes til å utføre rasteroperasjoner. Med verktøyet *Raster Calculator* kan flere operasjoner utføres på rasterbildene ved å skrive inn en kommando. Når NoData skal løses må kommandoen i figuren nedenfor skrives inn. "raster" er navnet på rasteret som skal få erstattet NoData-verdiene.



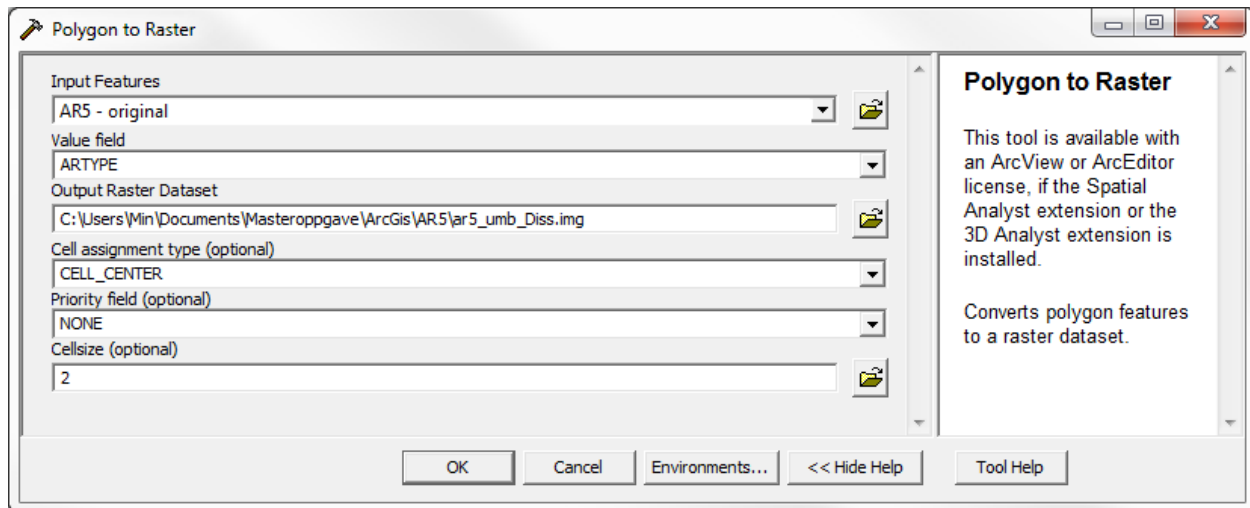
Figur 4.44 – ArcMap sin løsning av NoData

4.6.2.2 Konvertering av vektor til raster

For å kunne kombinere informasjon fra AR5 og rasterbildene, er det som tidligere nevnt vanlig å konvertere vektorkart til rasterbilder. Samtidig kan det for denne oppgaven være effektivt å selektere ut de ulike arealtypene i egne raster. Dette kan gjøre en analyse enklere da ikke alle egenskapene tas med i analysen.

Framgangsmåten blir som følger:

- Åpne egenskapstabellen til AR5
- Plukk ut en av arealtypene:
 - Options → Select By Attributes → eks. ARTYPE = 30 (all skog)
- Alle skogareal er markert og et raster skal etableres ut av disse arealene:
 - ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polygon to Raster
- Vinduet i figuren nedenfor kommer opp og følgende verdier brukes:
 - AR5 med egenskapen ARTYPE
 - Et navn på resultatet lages automatisk
 - Pixelstørrelsen settes lik det rasterne med laserdataene har
- Denne framgangsmåten gjøres for alle arealtypene



Figur 4.45 – Vektor til raster

4.6.3 Analysen

Selve analysen består først og fremst i å kombinere rasterbildene fra LidarStat og ArcMap, men også bare av å studere de enkelte rasterbildene. På bakgrunn av tidligere nevnt teori om hva de ulike rasterne inneholder av laserdata bør det kunne skaffes visuelle resultater som kan brukes i ajourhold av AR5.

Konverteringen fra vektor til raster i ArcMap gir rasterne pikselverdi etter egenskapsverdien. F.eks. får et skograster pikselverdi 30. For å kompensere trekkes egenskapsverdien ifra. Høydeverdiene i rasterne etablert av AR5-datasettet vil nå være 0. Kombineres disse med en nDOM vil høyder på f.eks. fulldyrka jord avsløres.

En rekke rasteroperasjoner er utført i ArcMap og en oversikt finnes i tabellen nedenfor. Hva slags type raster som er brukt og hvilke kommandoer som gitt Raster Calculator oppgis.

Analyse	Kommando til Raster Calculator
Høyder på fulldyrka jord	
Alle høyder	Fulldyrka_jord + nDOM_res2_perc90 - 21
Hus	Fulldyrka_jord + nDOM_res2_betw2-20_perc90_eneste-ret - 21
Vegetasjon	Fulldyrka_jord + nDOM_res2_perc90_f-m-s-ret - 21
Skog/ikke-skog	Skog + nDOM_res2_perc90_f-m-s-ret - 30
Bebyggelse i skog	nDOM_res2_max_betw2-20 - nDOM_res2_perc90_f-m-s-ret + Skog - 30
Åpen fastmark med skog	Åpen_fastmark + nDOM_res2_perc90_f-m-s-ret - 50
Intensitet på fulldyrka jord	Fulldyrka_jord + intensitet_res2_mean - 21

Tabell 17 – Kombinasjon av rastere i ArcMap

Utover dette er også visuelle betraktninger av rastere som inneholder f.eks. helning, standardavvik etc. studert og kommenteres i resultatdelen.

5 Resultater

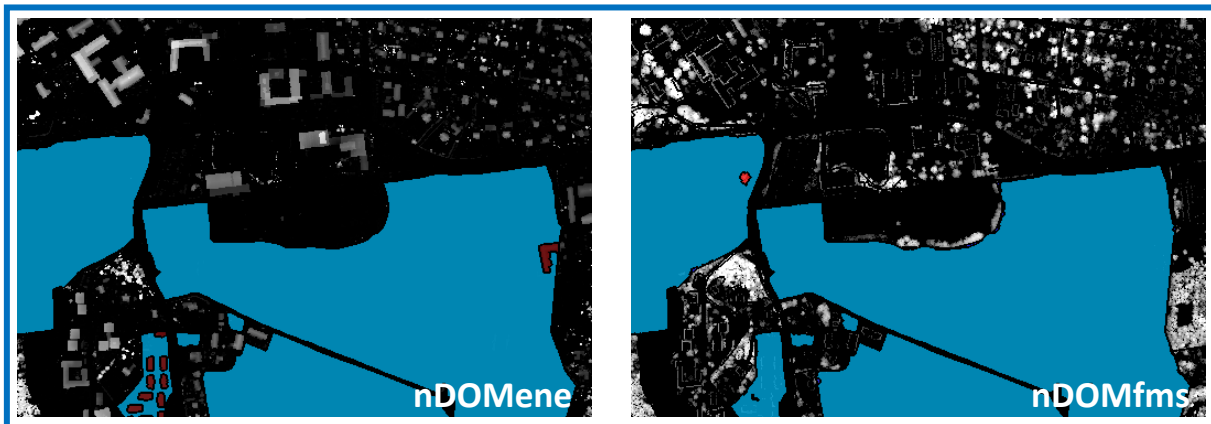
Resultatdelen deles i to der resultater fra eCognition og ArcMap vises og forklares hver for seg. Interesseområdene fra kapittel 3.3 som blei avdekket i starten av oppgaveløsningen blir også forsøkt detektert med de etablerte analysene.

5.1 Resultat fra eCognition

Etter den automatiske analysen er segmenter delt inn i de klassene som beskriver dem best. Innenfor hver analyse vil det bli vist til eksempler for de ulike klassifiseringene.

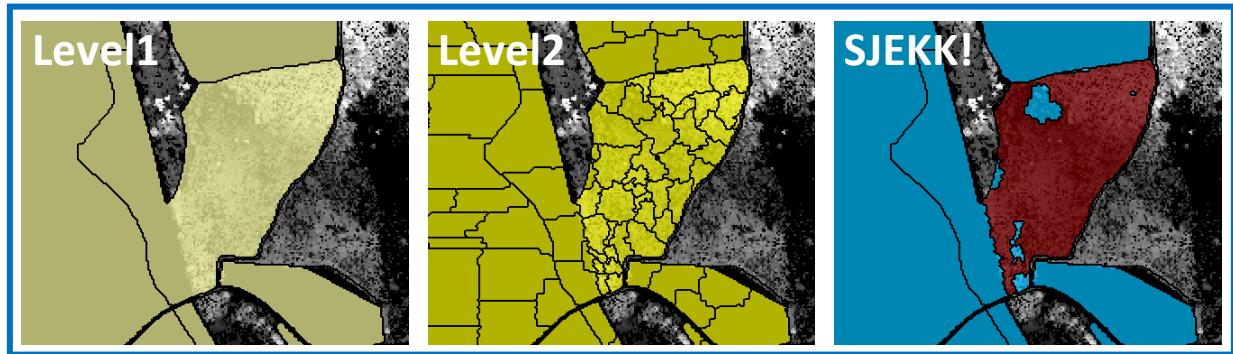
5.1.1 Høyder på fulldyrka jord

Ved å etablere et regelsett med segmenteringsalgoritmer og påfølgende klassifiseringer, jamfør kapittel 4.5.5, dukker interessante fenomener opp i områder med fulldyrka jord. I de to analysene som er gjort er resultatene, som forventet, forskjellige.



Figur 5.1 – eCognition: Analyseresultat av høyder på fulldyrka jord (1)

Til venstre i Figur 5.1 er resultatet etter en klassifisering av høyder basert på én pulsretur (nDOMene). De røde objektene er segmenter som er klassifisert som bygninger. Til høyre detekteres ikke bygningssegmentene siden analysen er basert på flere returer (nDOMfms). Derimot oppdager analysen vegetasjon på jordet i vest. Dette segmentet har høyde over 1 meter, omringet av fulldyrka jord og har et areal større enn 100 m² slik klassifiseringa setter krav om. (MERK: Skogøyer er ikke like store som analysen tilsier, da arealet av segmentet er trekrona og ikke arealet av bakken under vegetasjonen!)

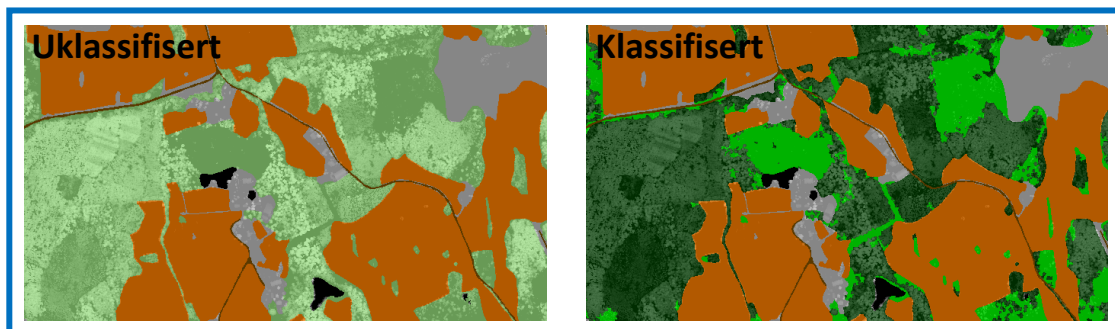


Figur 5.2 – eCognition: Vegetasjon avdekket med nDOMene

Figuren over viser hvordan vegetasjon avsløres i laserdataene. Et område satt til fulldyrka jord, klassifiseres som høyde og skiller ut i analysen. Deler av den opprinnelige AR5flaten er uten høyder, og eCognition klarer å finne grensen mellom området med høyder og ikke. Det kan antas at en ny grense til jorde kan settes, og at det rød-markerte segmentet kan omklassifiseres til skog.

5.1.2 Skog/ikke-skog

Klassifiseringa som tar for seg skog deler først inn skogsegmenter i *Høy skog* eller *Lav skog*. *Høy skog* forblir grønn slik som i Level1, mens *Lav skog* tildeles en lys grønnfarge, Figur 5.3.



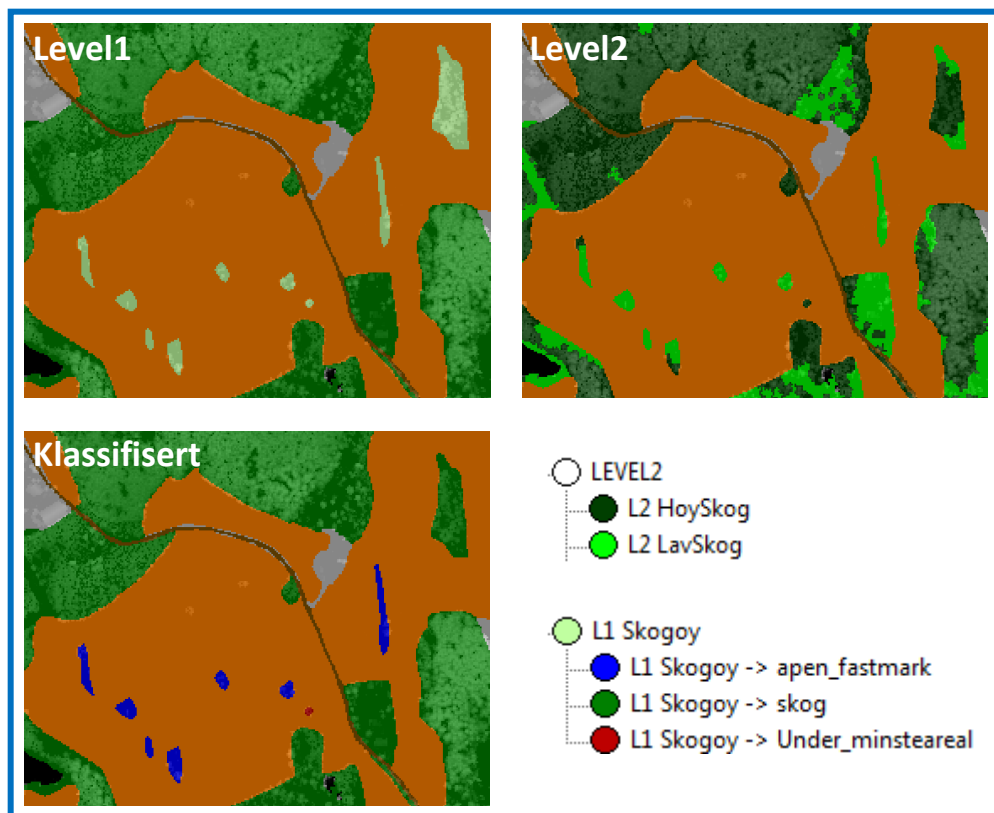
Figur 5.3 – eCognition: Analyseresultat av skog – Høy/Lav skog

Segmenter i *Lav skog* som ikke er store nok i følge kravet om minsteareal slås sammen med *Høy skog*. Videre klassifiserer programmet segmenter i to retninger, skogøyer og skogkanter.

5.1.2.1 Skogøyer på fulldyrka jord

Figuren nedenfor viser utgangspunktet og resultatet i klassifiseringa av skogøyer. eCognition henter ut klassen *Skogøy* fra Level1 ved å angi at skog skal ha 100 % tilhørighet til fulldyrka jord. Alle områder omringet av jorder blir funnet.

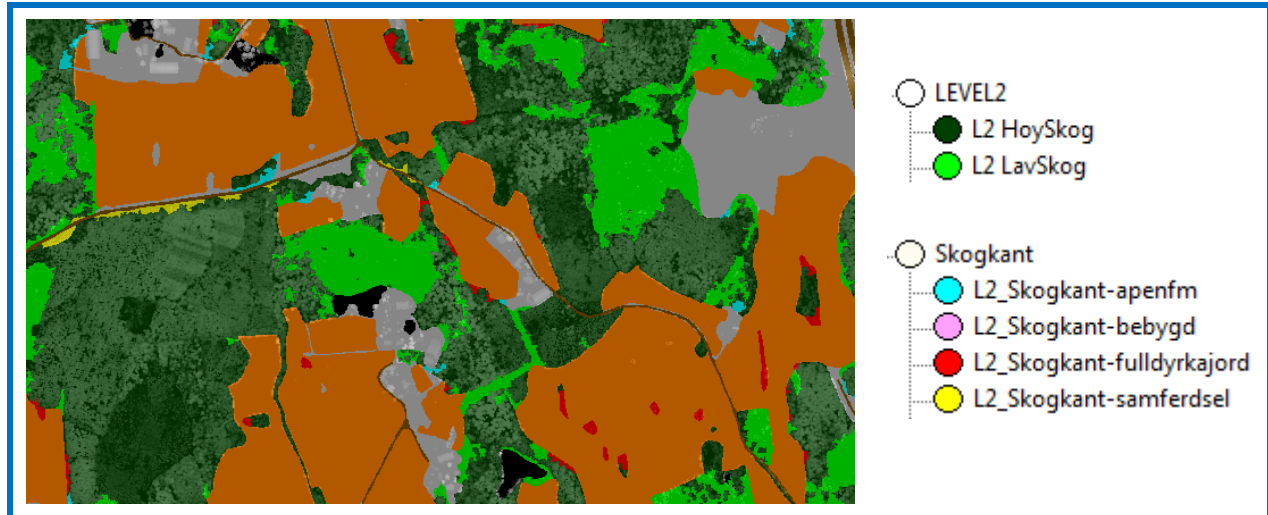
I Level2 ligger opplysninger om hvor *Høy skog* og *Lav skog* er. Disse opplysningene brukes i klassifiseringa om hvor stor andel av *Skogøy* som har høyde ifra nDOM. Det dannes tre klasser der skogøyer med mindre enn 50 % høydetreff klassifiseres som *Åpen fastmark*. Øyer som tilfredsstillt kravet om 50 % skog blir klassifisert som *Skogøy*, mens de arealene som ifølge analysen er mindre enn 0,2 dekar havner i *For lite areal*.



Figur 5.4 – eCognition: Analyseresultat av skog – Skogøy

5.1.2.2 Skogkant og sammenslåing

Innenfor *Lav skog* kan alle segmenter plasseres i skogkantklasser etter hva slags arealtype de grenser mot, Figur 5.5 Det kan evt. si noe om mulighetene for å slå sammen arealer.



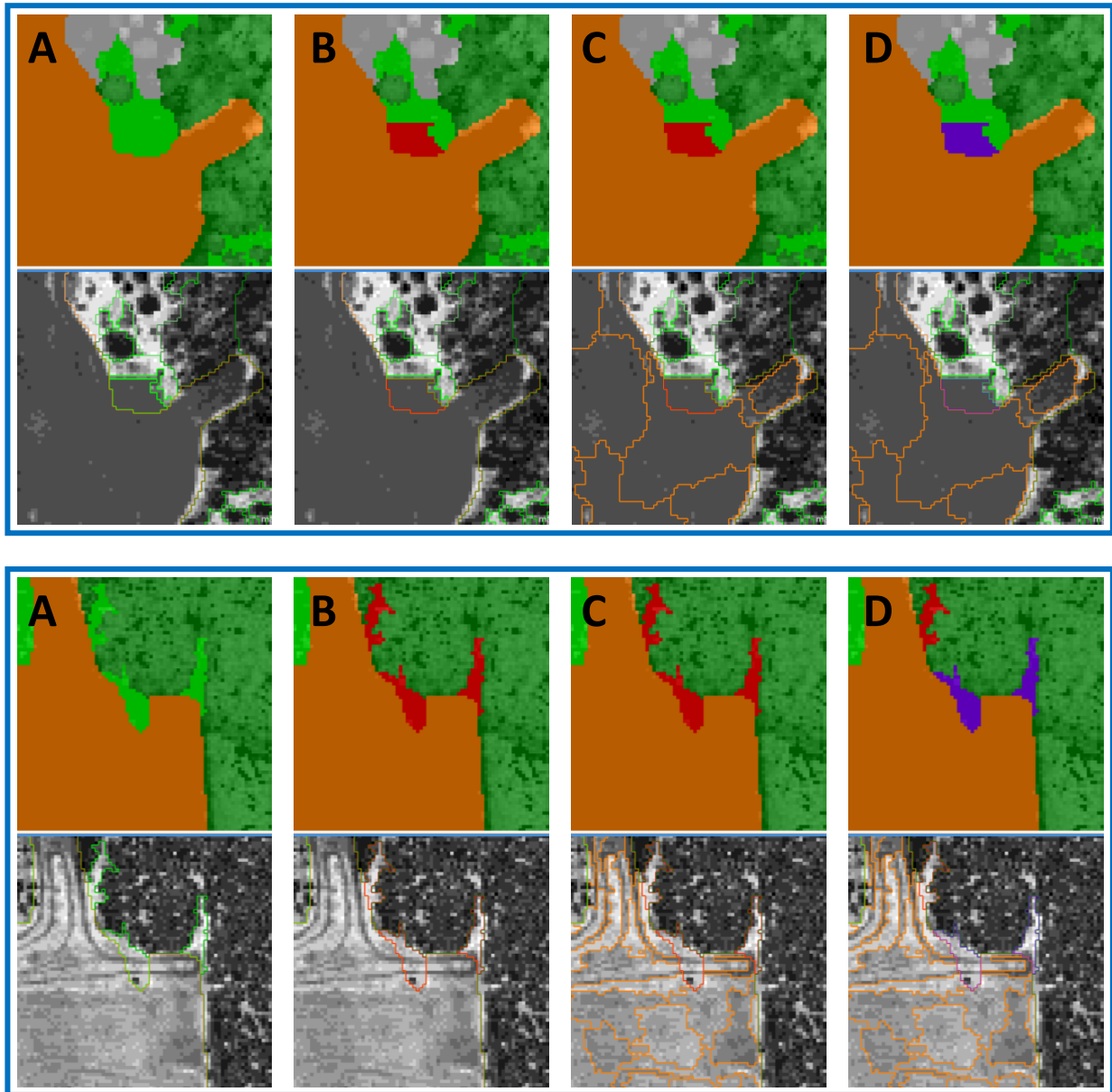
Figur 5.5 – eCognition: Analyseresultat av skog – Skogkant

Siden skogkanter uten skog er detektert, kan det nå ses på muligheter for å slå sammen kantene med naboarealet. Dette kan gjøres for alle arealtyper, men i oppgaven er det kun forsøkt med fulldyrka jord. (MERK: Sammenslåing av skogkant med fulldyrka jord er kun gjort på enkelte områder og ikke hele datasettet.)

I de to eksemplene på neste side, Figur 5.6, er det vist gangen i en slik sammenslåing. Det er i begge tilfellene tatt utgangspunkt i en skogkant mot fylldyrka jord (B). Multiresolution-segmenteringa innenfor kun fulldyrka jord har sørget for å dele opp jordet i homogene arealer (C). Klassifiseringskravet som er satt er at forholdstallet mellom gjennomsnittlig intensitetsverdi må ligge mellom 0,95 og 1,05. Altså kreves det stor likhet mellom segmentene for at en sammenslåing kan utføres (D).

Skogkantsegmentet som blir skilt ut som et mulig segment som kan slås sammen med fulldyrka jord og legges i klassen *Slå sammen*.

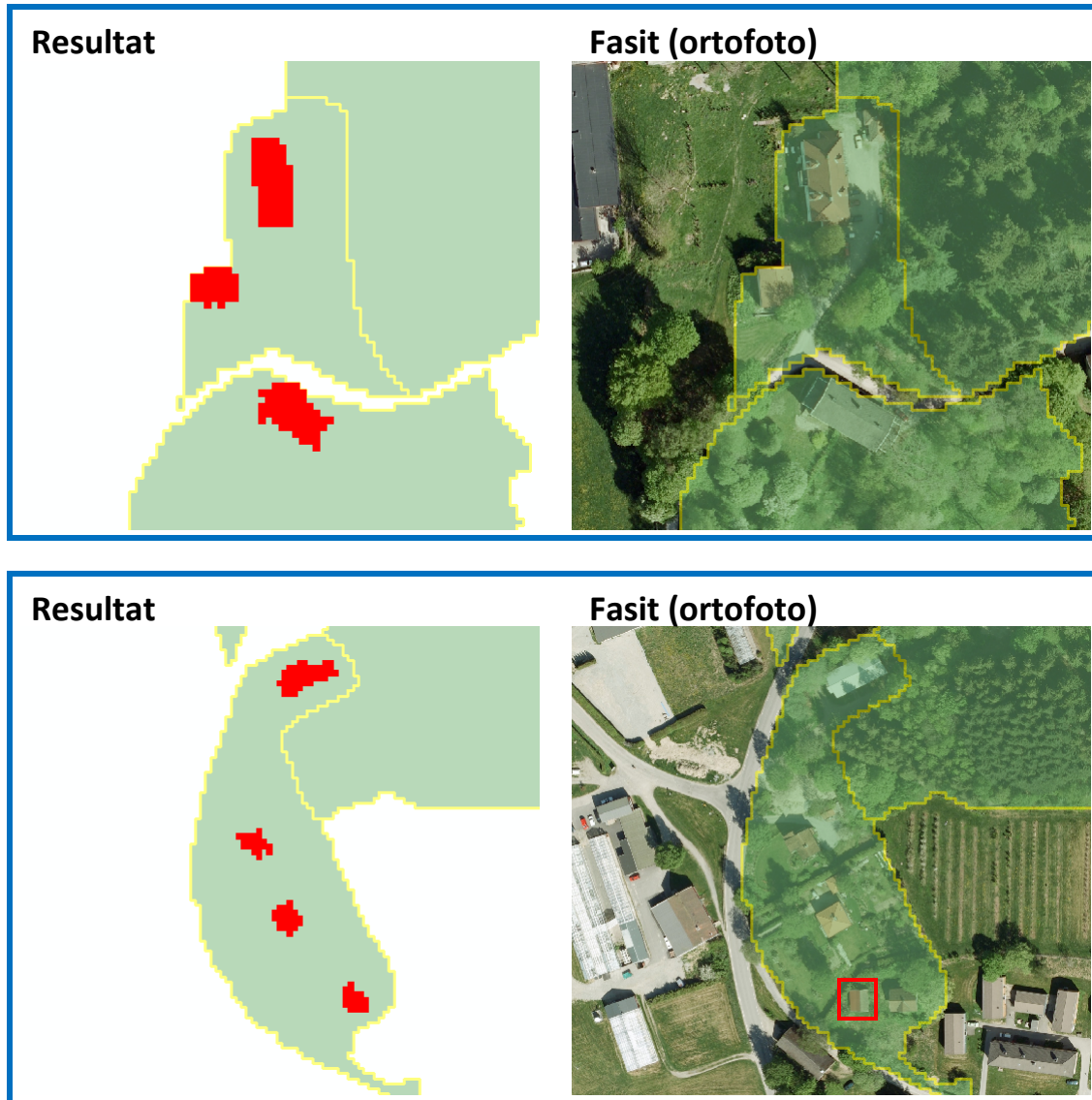
I det andre eksempelet er det vist til en svakhet ved de satte kravene for denne analysen. To av tre segmenter klassifiseres som *Slå sammen*. Det ene strekker seg innover i skogen og det har sannsynligvis ingen sammenheng med jordet. Forbedringer som kan gjøres er enten å stramme inn hva som skal klassifiseres som skogkant mot fulldyrka jord, eller legge et krav om at skogkanten skal grense over 50 % med nabosegmentet.



Figur 5.6 – eCognition: Analyseresultat av skog – Sammenslåing

5.1.3 Bebyggelse i skog

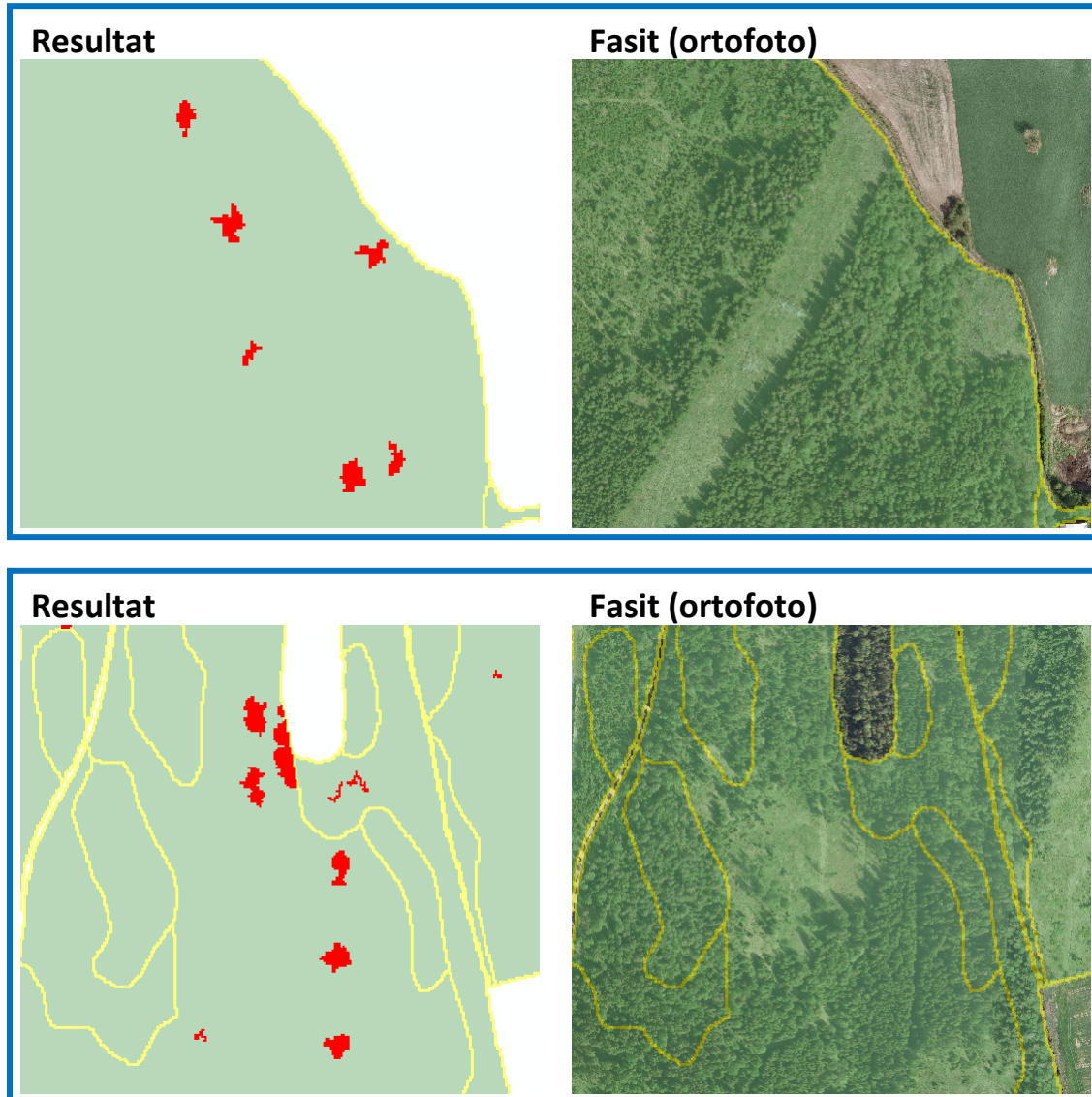
Resultatet av klassifiseringa som er gjort for å skille bebyggelse fra skog har ulik grad av suksess. Figuren nedenfor viser noen eksempler der hus har blitt skilt ut fra skogområdene.



Figur 5.7 – eCognition: Analyseresultat av bebyggelse i skog (1)

Eksemplene viser at hus har blitt skilt ut fra skogområdene. I det øverste eksempelet har alle tre hus blitt detektert, mens i det andre er det ett hus (rød firkant) som ikke har blitt funnet av analysen.

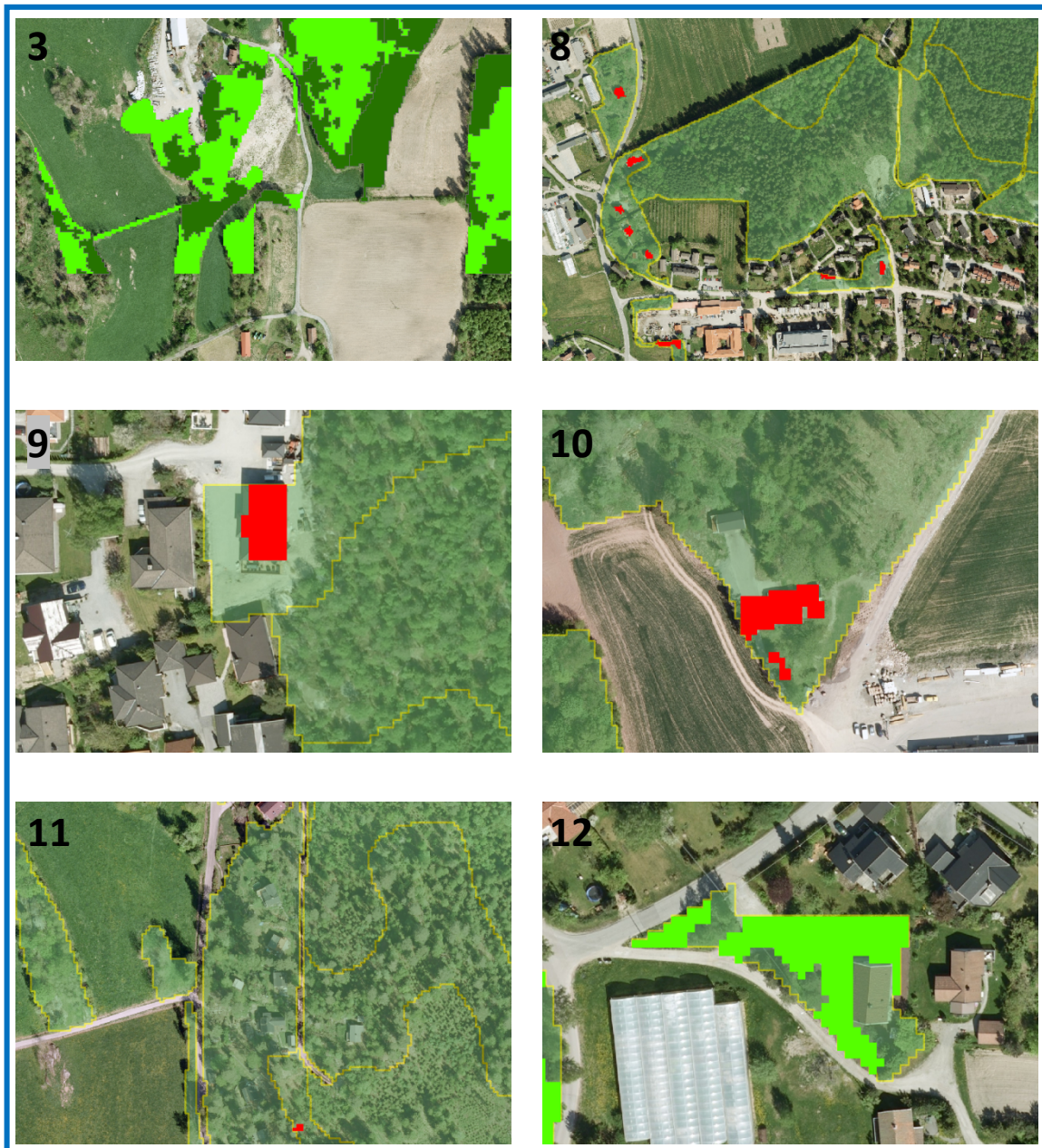
I andre områder har segmenter som er skog innfridd alle betingelser for husdeteksjon og blitt klassifisert som mulige hus. Eksemplene nedenfor viser typiske eksempler fra resultatet der det er gjort feilklassifisering.



Figur 5.8 – eCognition: Analyseresultat av bebyggelse i skog (2)

5.1.4 Løsning av interesseområder i eCognition

Resultatene av analysene i eCognition skal i dette kapittelet forsøke å avdekke problemene som interesseområdene bestod av. Det blei ikke etablert analyser i eCognition for alle områdene, men idéer til mulige løsninger vil bli forklart. (Henviser til kapittel 3.3 side 36 for oversikt over interesseområdene.)



Figur 5.9 – Løsninger på interesseområder i eCognition (1)



Figur 5.10 – Løsninger på interesseområder i eCognition (2)

Figur 5.9 og Figur 5.10 viser de eksporterte resultatene fra eCognition for de områder som analysene dekket. Listen nedenfor beskriver figurene, og inneholder også beskrivelser av hva analysene for de resterende interesseområdene kunne bestått av.

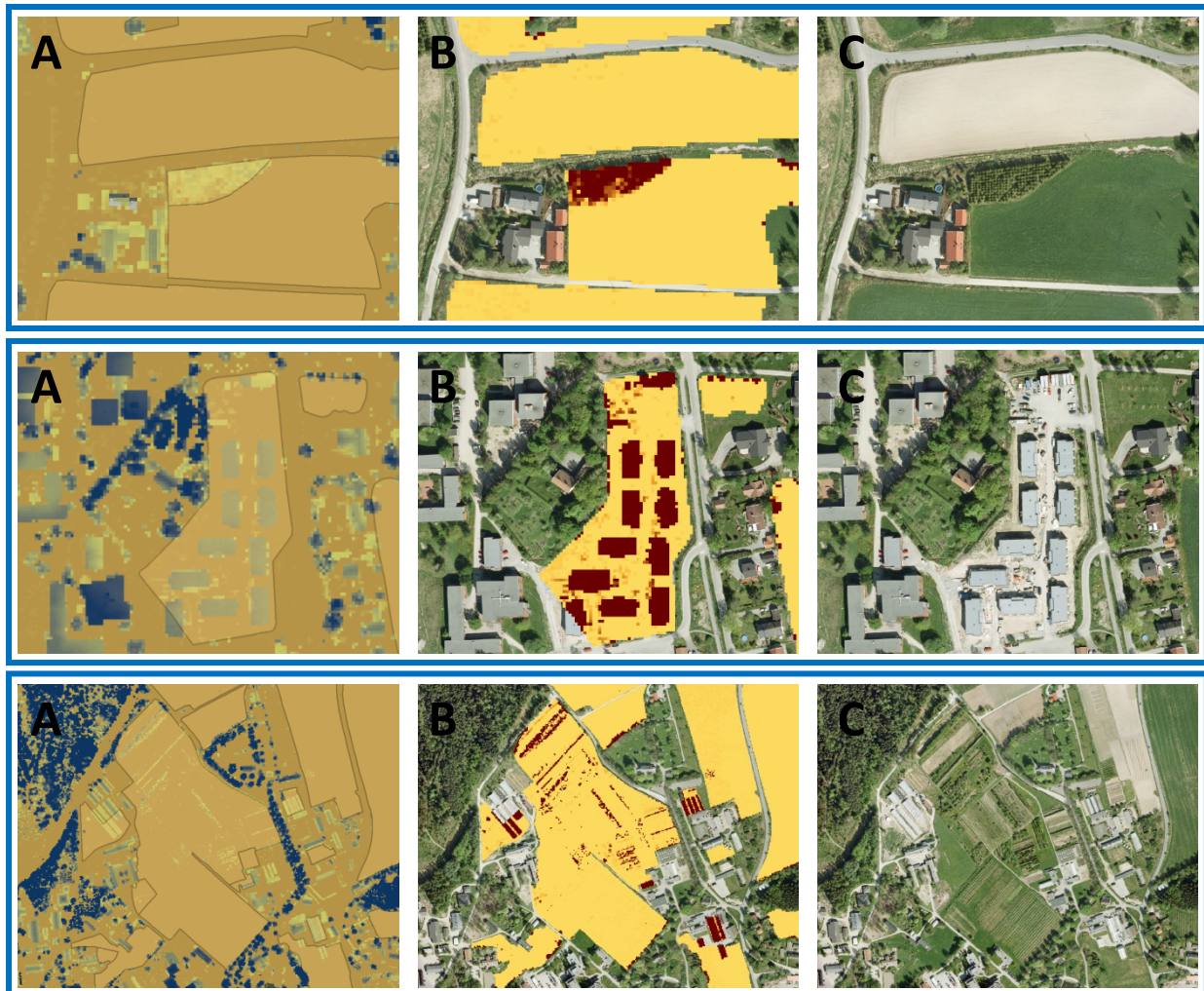
1. (Ikke analysert) Analysen for skogdeteksjon kan kjøres på områder med åpen fastmark. Områder med og uten vegetasjonshøyder kan separeres, og ved å bruke naboegenskaper kan en regel blitt satt for å slå sammen åpen fastmark som er skog med naboliggende skogareal.
2. (Ikke analysert) Samme som punkt 1. En analyse som forteller om det er vegetasjon eller ikke innenfor området vil kunne avgjøre om det skal skilles ut. En betingelse for hvor stor andel trær det må være kan bestemmes.
3. (Analysert!) En skogdeteksjon avslører områder uten skog. Arealet kan betraktes som en skogkant, men analysen detekterer ikke kanten med de gitte betingelser. En sammenslåing av naboarealer kunne vært mulig hvis området var blitt skilt ut.
4. (Ikke analysert) Ved å ta utgangspunkt i et intensitetsraster og kjørt multiresolution-segmentering på fulldyrka jord kunne arealet blitt delt inn i homogene segmenter. Det ville resultert i en mulig oppdeling av området.

5. (Området er utenfor laserdataene) Analyse på intensitet kunne sagt noe om området liknet på andre fulldyrka områder, og en høydedeteksjon på fulldyrka jord kunne detektert huset.
6. (Ikke analysert) Analyse av intensitet kunne sagt noe om variasjonen av intensitetsverdier, og krav kunne blitt satt for å skille ut områder der variasjonen er for stor.
7. (Området er utenfor laserdataene) En analyse av fulldyrka jord på bakgrunn av intensitetsraster kunne skilt ut området fra resten av arealet, ettersom den delen har antatt større variasjon av verdier.
8. (Analysert!) eCognition skiller ut åtte segmenter der seks viser seg å være hus. De to andre er feilklassifisert. Området inneholder også et hus som ikke er detektert.
9. (Analysert!) Analysen av bebyggelse i skog klarer å skille ut huset fra skogen.
10. (Analysert!) To segmenter skilles ut av analysen av bebyggelse i skog. Et segment er riktig. Området består av et hus som ikke er detektert av analysen. For området der fulldyrka jord ikke lengre eksisterer, kan en intensitetsanalyse detektere variasjon i pikselverdier.
11. (Analysert!) For dette området av bebyggelse i skog klarer ikke denne analysen å detektere noen hus pga for mye vegetasjon rundt.
12. (Analysert!) Analysen for bebyggelse i skog klarer ikke å skille ut huset, men ved å justere scale parameter i multiresolution-segenteringa fra 10 til 7 detekteres huset. Deteksjon av skog gir ut et resultat som tilsier at området består av forholdsvis lite skog, noe som ifølge ortofotoet ser ut til å stemme.
13. (Analysert!) I motsetning til forrige punkt der huset ikke skiltes ut, klarer analysen å skille ut huset som et segment. Samtidig sier skoganalysen at også her er det lite tilfeller av vegetasjon.
14. (Analysert!) Tre analyseresultater er kombinert. Det første resultatet viser at delen av bygget som befinner seg på fulldyrka jord er detektert. Analysen av bebyggelse i skog skiller ut delen som er i skogen, mens den siste analysen av skogdeteksjon forteller at noe av området rundt bygget ikke er skog.
15. (Analysert!) Tre analyseresultater er kombinert. Deteksjon av skog og ikke skog avslører at skogområdet ikke inneholder mange skoghøyder, og analysen av høyder på fulldyrka jord skiller ut bygget. Det blå segmentet beskriver en skogøy som er klassifisert som åpen fastmark, ettersom kriteriet for mer enn 50 % skoghøyder *ikke* er innfridd.
16. (Analysert!) Et godt eksempel som skiller ut bebyggelse fra skog, samtidig som analysen for skoghøyder sier at områdene rundt husa er uten trehøyder. For området der fulldyrka jord er blitt parkering kan en intensitetsanalyse detektere variasjon i pikselverdier.

5.2 Resultat fra ArcMap

Bare ved å studere de ulike informasjonsekstraktene som er hentet ifra laserdatasettet avdekkes interessante fenomener i rasterbildet. Analysen kombinerte de utvalgte rasterbildene og resultatet framstilles i dette kapittelet. For hver analyse er det trukket fram eksempler som viser rasterne som er kombinert (A), resultatet av kombinasjonen sammen med et ortofoto (B) og hva ortofotoet viser (C). (Henviser til Tabell 17 på side 98 for rasterkombinasjoner)

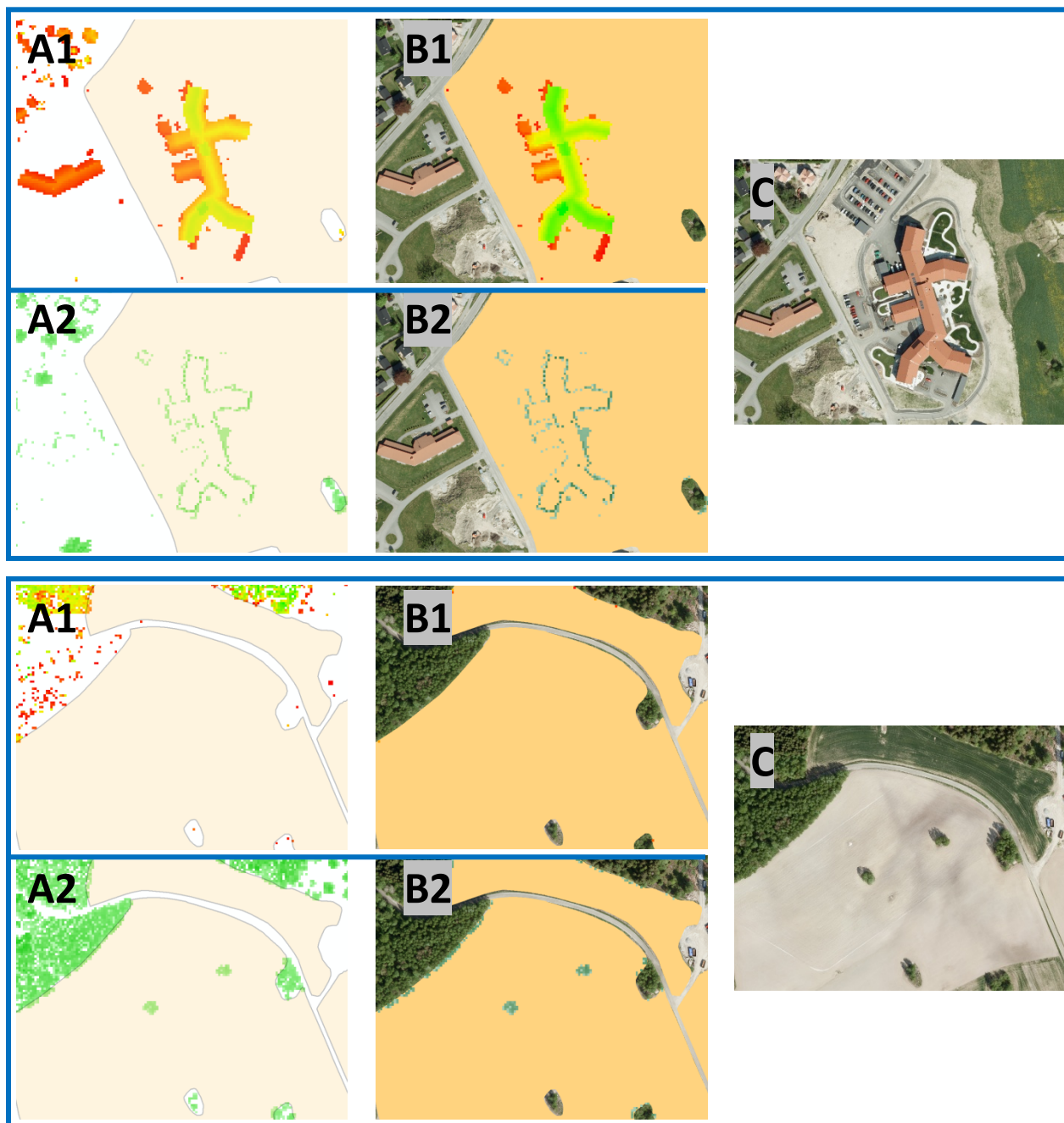
5.2.1 Høyder på fulldyrka jord



Figur 5.11 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med nDOM

Ikke overraskende dukker områder med høyder, markert mørke brune, opp i kombinasjonen fulldyrka jord og nDOM. For å prøve å skille mellom vegetasjon og bebyggelse er to andre analyser gjennomført.

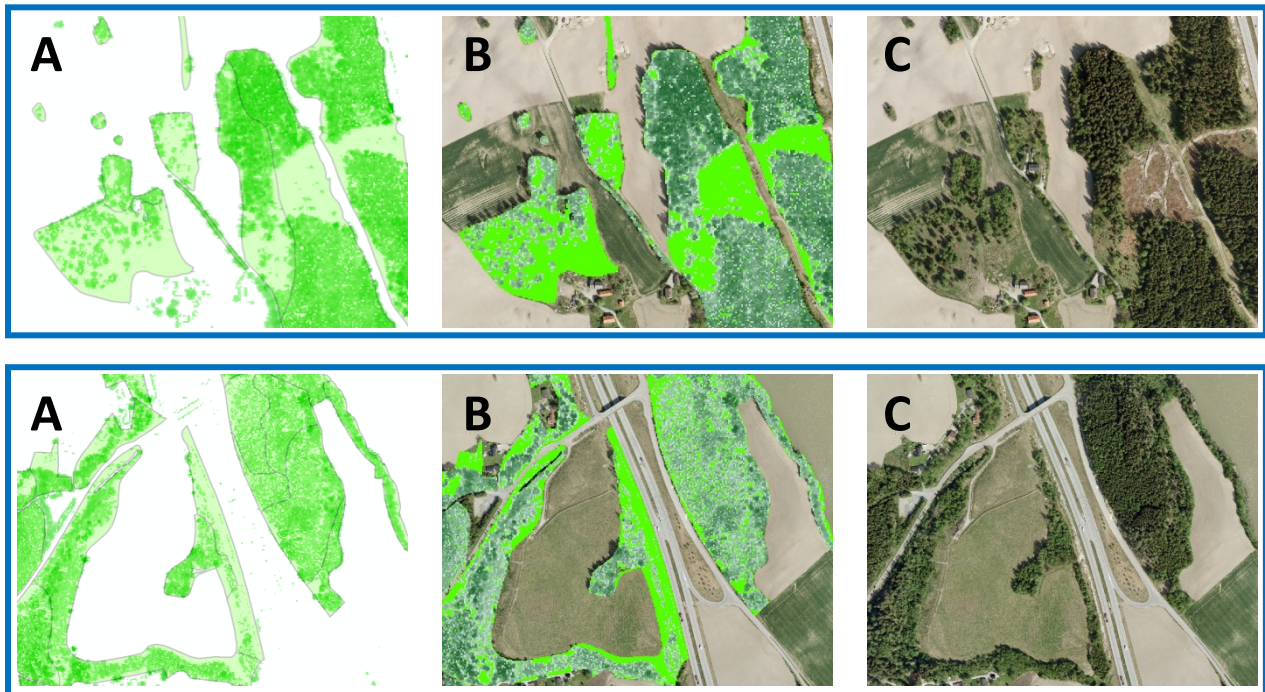
5.2.2 Hus eller vegetasjon på fulldyrka jord



Figur 5.12 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med nDOMene (1) og nDOMfms (2)

Figur 5.8 på forrige side viser eksempler på at enkelte ganger er mulig å skille mellom hus og vegetasjon på bakgrunn av nDOM med forskjellig type pulsreturer. Hus sender ofte tilbake kun én pulsretur, mens vegetasjon kan ha flere. Ved å skille pulsreturene fra hverandre i to forskjellige nDOM kan dette visualiseres. (A1 og B1 – nDOM med én retur (nDOMene), A2 og B2 – nDOM med første, mellomliggende og siste retur (nDOMfms))

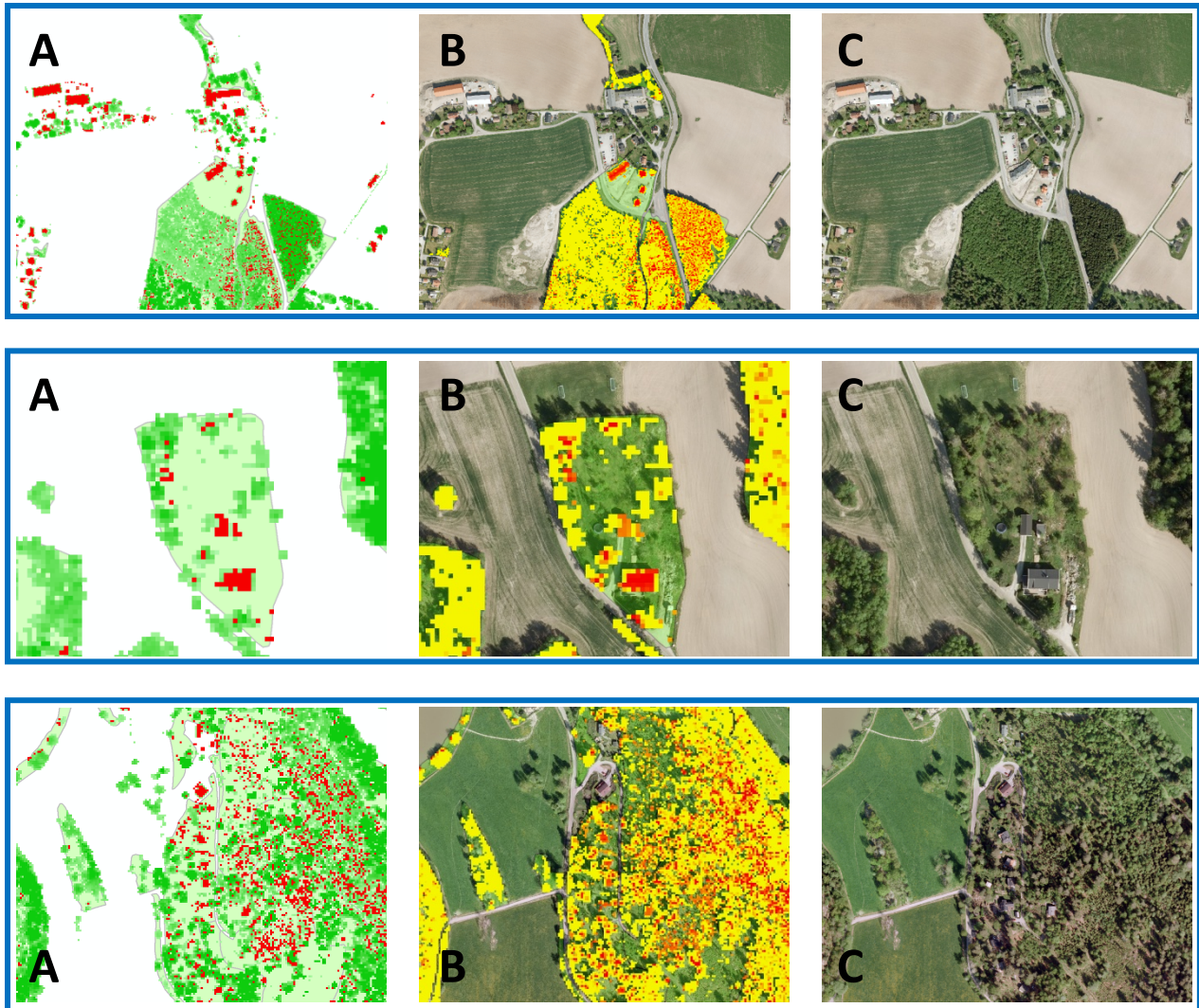
5.2.3 Skog/ikke-skog



Figur 5.13 – ArcMap: Skog kombinert med nDOMfms

I likhet som eCognition klarer ArcMap å skille ut skogområder uten skog. I figuren er steder uten skog markert med lys grønnfarge. Det er steder som kun har én enkel pulsretur. Alle andre returer representerer antatt treff i vegetasjon. Første, mellomliggende og siste retur (nDOMfms) er visualisert med en mørkere grønnfarge. Figuren viser helt tydelig at områder uten vegetasjon mangler disse returene.

5.2.4 Bebyggelse i skog



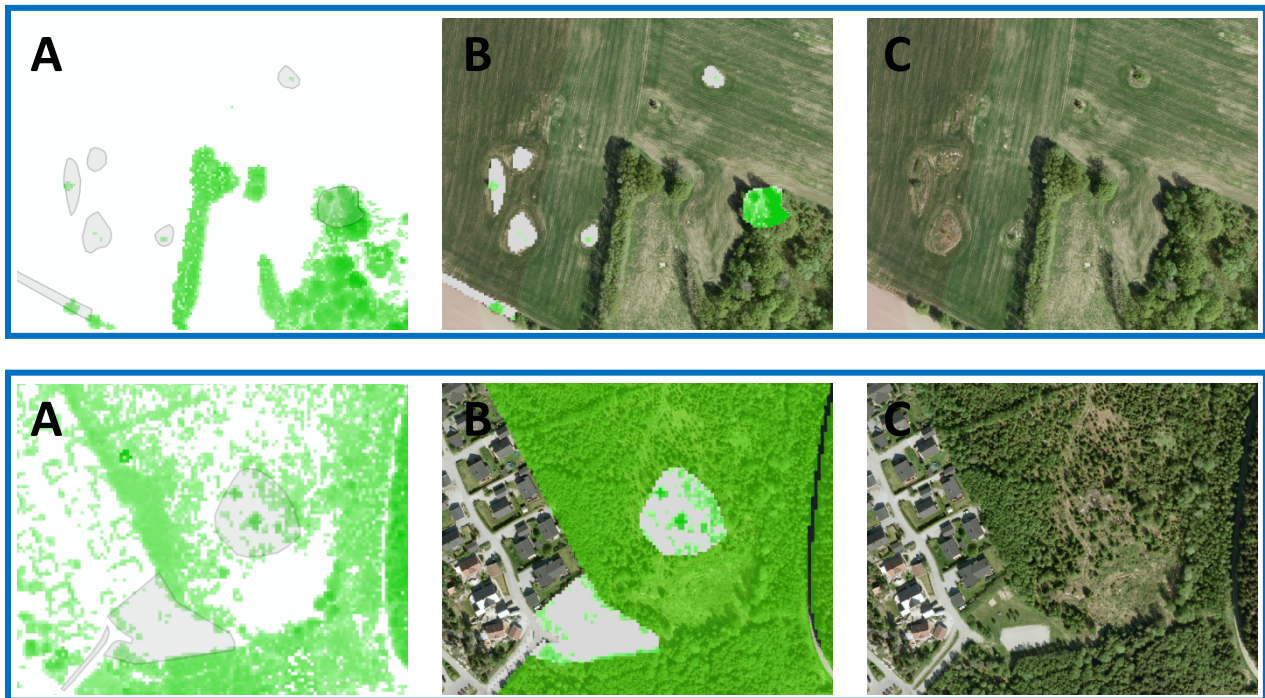
Figur 5.14 – ArcMap: Skog kombinert med nDOM2-20 og nDOMfms

Denne rasteroperasjonen benytter to typer rasterer fra laserdataene. En nDOM som har høyder mellom 2 og 20 meter (nDOM2-20) velges siden det kan antas at hushøyder ligger et sted i dette intervallet. For å fjerne vegetasjon velges en nDOM der høydeverdier kun er laget fra laserpunkt med flere returer (nDOMfms). Ved å skille ut de høydene som inneholder første, mellomliggende og siste retur fra den opprinnelige nDOMen, blir resultatet et raster som stort sett skal inneholde høyder fra objekter som reflektere kun én retur. (Merk: Ikke det samme som nDOM fra LidarStat med én enkel retur!)

Bebyggelse bør da tre fram i rasteret. Øverste eksempel i Figur 5.10 viser at hus som står alene, uten vegetasjon, skiller godt ut. Bygninger som står under eller i nær forbindelse med trær vil

være vanskeligere å detektere. I tidligere nevnt teori vil huskanter bestå av flere pulsreturer. Det betyr at i en nDOM med flere pulsreturer vil et lite hus ved vegetasjon nærmest forsvinne, siden rasteroperasjonen fjerner disse pikslene, slik vist i nederste del av figuren. Å avsløre hus med tett vegetasjon kan være problematisk.

5.2.5 Åpen fastmark med skog



Figur 5.15 – ArcMap: Åpen fastmark kombinert med nDOMfms

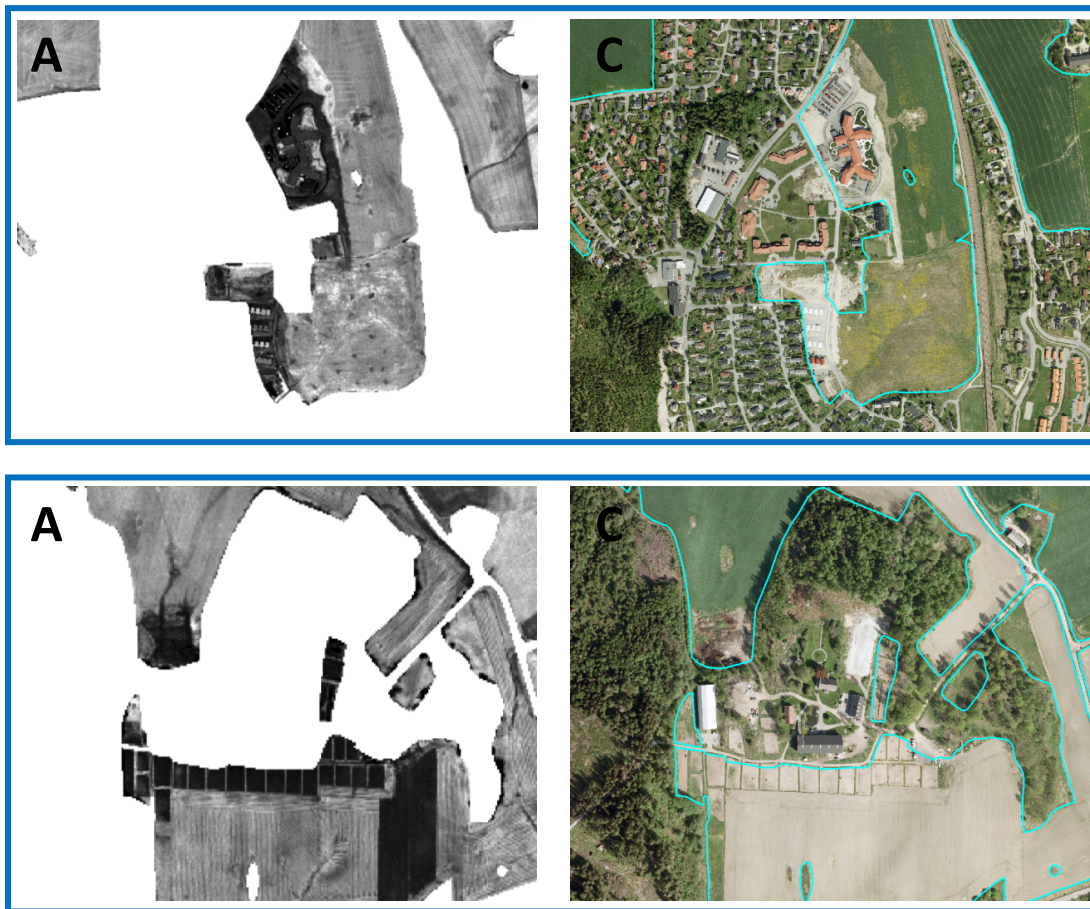
Åpen fastmark kan være områder som ikke tilfredsstillende kravene til skog. Om arealene virkelig mangler skog, kan detekteres ved å kombinere raster med åpen fastmark og en nDOM med flere pulsreturer (nDOMfms). Dette blir den samme analysemetoden som for skog/ikke-skog, og det nye rasteret vil vise hvilke areal som inneholder mange treff i vegetasjon.

I figuren over er det henvist til to eksempler. Det øverste viser hvordan resultatrasteret avslører et område oppgitt som åpen fastmark som inneholder stor grad av vegetasjon. Sammenliknes resultatet med et ortofoto, vises det at arealet kunne vært skog. Her er det interessant å se på naboområdet for og kanskje kunne slå sammen arealene. Er naboen et skogområde kan en endring av arealtype være en løsning.

I det andre eksempelet er åpen fastmark omgitt av skogareal. nDOMen viser at det er ingen forskjell på grad av vegetasjon mellom naboarealene. Spørsmål om hvorfor arealet er skilt ut som åpen fastmark kan stilles.

5.2.6 Intensitetsanalyse

Intensitetsraster kan betraktes nærmest som et bilde. Er det en god nok oppløsning på rasterbildet blir det som et svart-hvitt-fotografi av bakken. En tolkning av et slikt raster vil derfor likne på ortofototolkning.



Figur 5.16 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med intensitet (1)

I figuren på forrige side avsløres interessante områder innenfor fulldyrka jord. Intensitetsforskjeller oppdages i rasteret og det kan slås fast at dette ikke er vanlige jordbruksarealer. Nok engang kan ortofoto som bakgrunnskart si noe mer om forholdene på bakken.

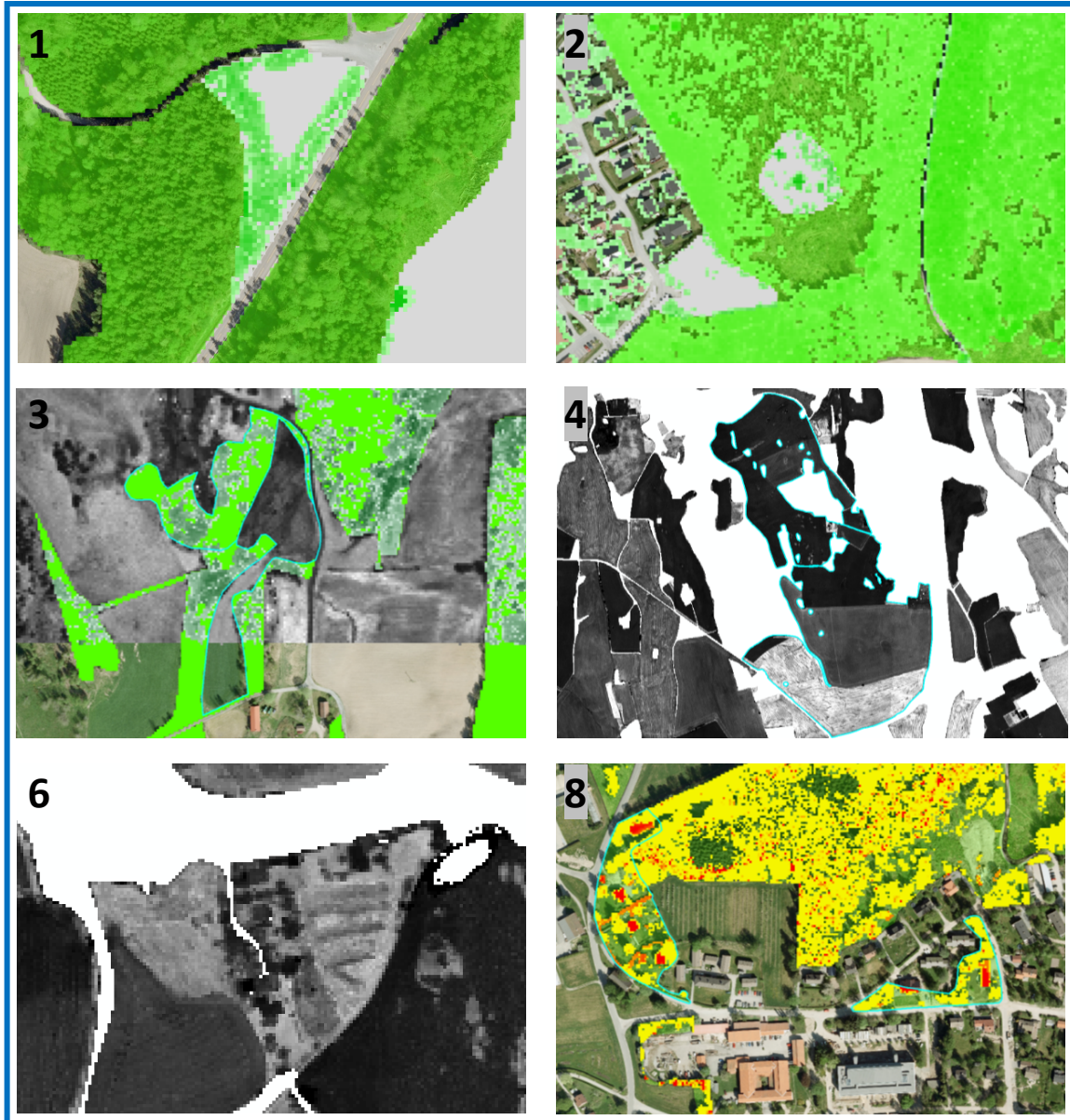
I figuren nedenfor kan intensitetsrasteret si noe om hvordan bonden deler inn jordene på samme måte som et ortofoto kunne gjort.



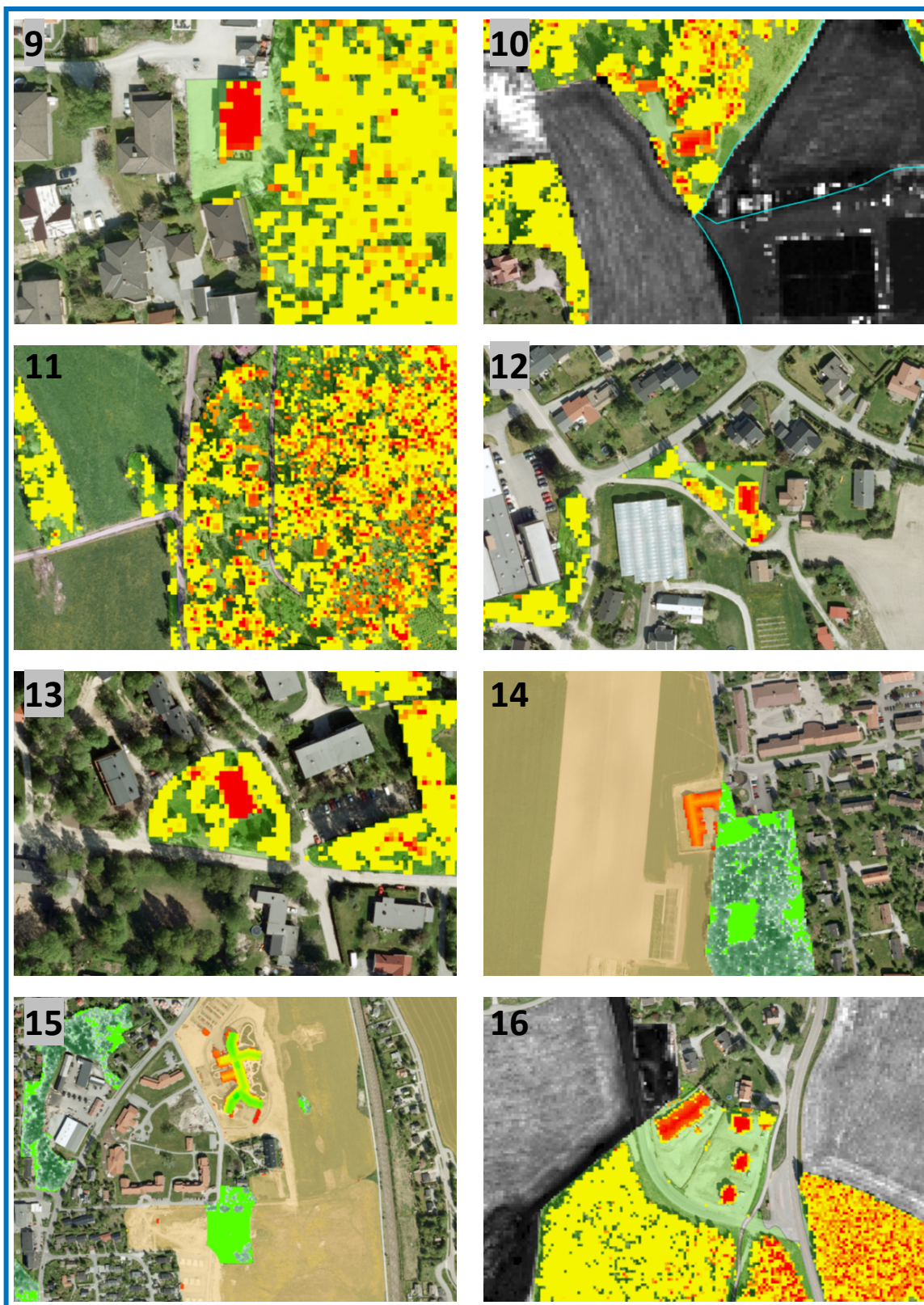
Figur 5.17 – ArcMap: Fulldyrka jord kombinert med intensitet (2)

5.2.7 Løsning av interesseområder i ArcMap

Resultatene av overlagsanalysene i ArcMap brukes her til å avdekke problemene interesseområdene bestod av. (Henviser til kapittel 3.3 side 36 for oversikt over interesseområdene)



Figur 5.18 – Løsninger på interesseområder i ArcMap (1)



Figur 5.19 – Løsninger på interesseområder i ArcMap (2)

Stort sett avsløres alle interesseområdene ved å visualisere ulike rastere fra analysen i ArcMap:

1. Skogdeteksjon i områder med åpen fastmark sammen med et raster som viser skogarealer i AR5 kan gi svar på om det bør settes nye skogsgrenser.
2. Se kapittel 5.2.5
3. Både skogdeteksjon og intensitet sammen bør kunne avsløre at nye grenser bør etableres. Skogdeteksjon finner områder uten skog som ligger i nærheten av fulldyrka jord. Det er derfor interessant å studere området nærmere, og et intensitetsraster kan benyttes.
4. Se kapittel 5.2.6
5. (Området er utenfor laserdataene!) På slike områder kan variasjon i intensitet kunne avsløre at det ikke er fulldyrka jord. Dessuten kan høyder på fulldyrka jord bli avslørt.
6. Et intensitetsraster avslører helt tydelige intensitetsvariasjoner for området.
7. (Området er utenfor laserdataene!) Igjen kan det antas at området skilles ut i et intensitetsraster.
8. Analysen av hus i skog klarer å avsløre bygningene i boligområdet.
9. Analysen av hus i skog klarer å avsløre bygningene i boligområdet.
10. Bygninger i skog blir detektert og med intensitetsrasteret kan evt. nye grenser settes.
11. Se kapittel 5.2.4.
12. Analysen av hus i skog klarer å avsløre bygningene i boligområdet.
13. Analysen av hus i skog klarer å avsløre bygningene i boligområdet.
14. Bygningen på jordet detekteres med analysen av hus på fulldyrka jord, samtidig som skogdeteksjonen avslører ingen skog i området rundt bygningen.
15. Analyse av hus på fulldyrka jord finner bygningen, og skogdeteksjon finner lite vegetasjon i skogarealet. Dessuten vil et intensitetsraster vise store variasjoner i intensitetsverdier for området jamfør kapittel 5.2.6.
16. Både med analyse av hus i skog og med skog/ikke-skog avsløres skogområdet som ikke lengre som skog. Intensitetsraster kan brukes for å danne nye grenser slik at parkeringa ikke lengre er fulldyrka jord.

5.3 Andre rasterkombinasjoner

Utover de nevnte analysene i ArcMap finnes utallige andre rasterkombinasjoner som viser hvordan lasedata kan brukes som visuelle bilder. Dette kapittelet viser noen eksempler på rastere og kombinasjoner av rastere som kan brukes for å kunne skape en god forståelse av hva som befinner seg på bakken.

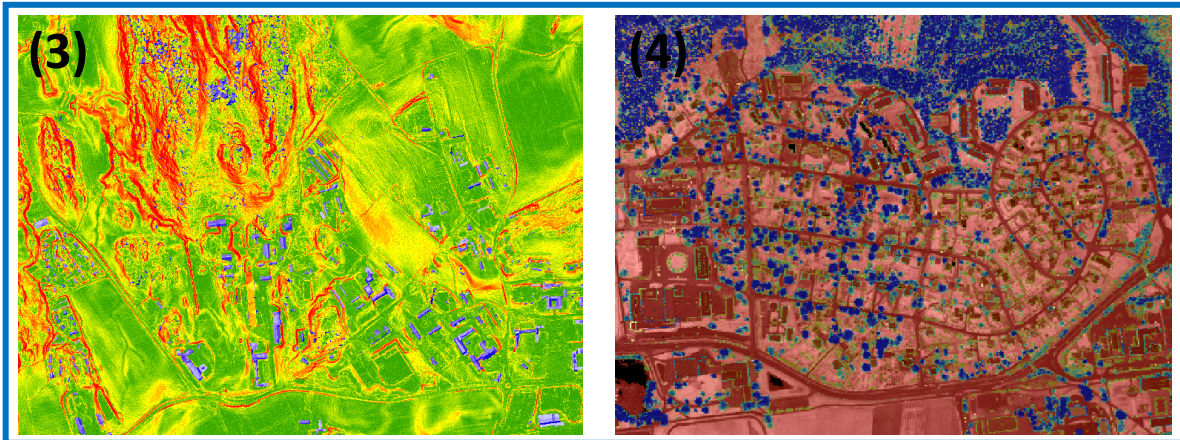
Eksempel nummer (1) og (2) viser henholdsvis en DOM og DTM som er produsert i TerraScan med triangelmодellen og skyggelagt i ArcMap. Siden punkttettheten er god, kommer konturene av bakken tydelig fram i en DTM. En nDOM kan framstilles ved en subtraksjon mellom disse overflatemodellene, jamfør kapittel 3.4.1.



Figur 5.20 – Visualiseringseksempler fra laserdata (1) og (2)

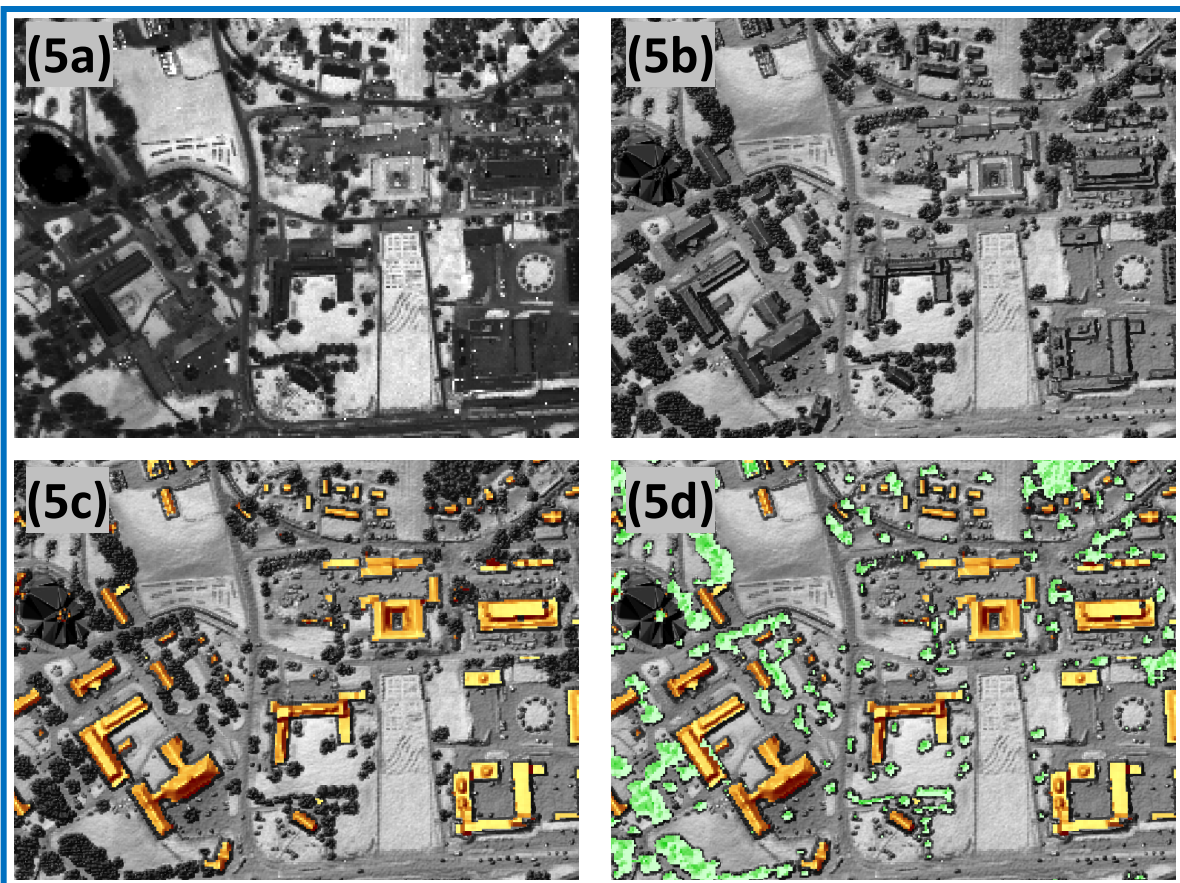
I eksempel (3) på neste side har ArcMap blitt brukt til å produsere et helningsraster av en DTM. En skyggelagt nDOM basert på én retur er lagt over. Resultatet beskriver hvor i terrenget det er mest helning, og hvor bygninger ligger. Rød farge beskriver stor grad av helning, grønt er lite helning, mens bygningene og andre piksler registrert med én retur visualiseres med en blåfarge.

I de analysene som er gjort, er det brukt et raster med første, mellomliggende og siste pulsreturn for å få fram vegetasjon. Hvis en utsendt puls returneres i flere omganger kan det bety at laserpulsen har trengt gjennom vegetasjon. En annen rastertype som også kan si noe om vegetasjon er et raster på bakgrunn av standardavvik (kapittel 3.4.4). Eksempel (4) på neste side viser hvordan et slikt raster kan kombineres med et intensitetsraster der blåfargen representerer stor variasjon i høyder. Konturer av hus kan også vises pga høydeforskjellen mellom bakken og hustaket.



Figur 5.21 – Visualiseringseksempler fra laserdata (3) og (4)

Det siste eksempelet (5) illustrerer en kombinasjon av fire raster. For hvert steg legges et raster på det eksisterende og resultatet blir en kombinasjon bestående av et intensitetsraster (5a), en skyggelagt DOM (5b), en nDOM med én retur (5c) og en nDOM med første, mellomliggende og siste retur (5d).



Figur 5.22 – Visualiseringseksempler fra laserdata (5)

6 Diskusjon

Diskusjonen vil ta for seg kommentarer til resultatene og tanker om bruk av laser ved ajourhold av AR5.

6.1 Kommentar til resultater

I løpet av forberedelsen og utførelsen av analysene, er det tatt flere valg som påvirker resultatene. I dette kapitlet er det listet opp noen kommentarer til oppgaven som er viktig å være bevisst på. Her vil det også bli tatt opp momenter som burde vært annerledes for og styrket oppgaven.

➤ *Laserdata*

Den gjennomsnittlige punkttettheten er forholdsvis god i sammenlikning med andre laserskannede områder i Norge. Foreløpig finnes det ikke en laserskanning av hele Norge, og slik situasjonen er i dag vil et prosjekt på den størrelsen antakeligvis ende opp med en noe lavere punkttetthet bl.a. pga pris. Det betyr at færre punkter registreres, og et rasterbilde må øke pikselstørrelsen. Bildene mister noe av detaljgraden. For framtida er det naturlig å tru at laserskanning blir rimeligere slik at store områder med større punkttetthet kan skannes.

➤ *Datamengde*

Datamengden i laserdatasettet (42 LAS-filer) er forholdsvis lav med tanke på at området er valgt ut av et større prosjekt (936 LAS-filer). Allikevel blei det tidlig kjent at store mengder laserdata skaper vanskeligheter i ellers stabile programmer som TerraScan og eCognition. Riktignok er det mulig å etablere rasterbilder over hele området i TerraScan med bruk mosaikking, men siden Blom har utviklet LidarStat, som er spesielt rettet mot rasteretablering, blei dette programmet benyttet. Dessuten har LidarStat flere muligheter for hvordan rasterbildene kan lages.

➤ *DOM og DTM i TerraScan*

Metoden som blei brukt i LidarStat bestod i å definere en rasterstørrelse og tildele pikselverdi etter verdien til laserpunktene som lå innenfor pikselen. Dette førte til ulik mengde av NoData-verdier i rasterne, men eCognition klarte i de fleste tilfeller å fylle de tomme pikslene med logiske verdier. For høydemodellene DOM og DTM var løsningen i eCognition ikke aktuell.

Etter å ha brukt verdier fra nabopiksler, avsluttet eCognition med å sette resterende NoData-verdier til 0. En høydeverdi lik 0 vil for dette tilfellet være feil i en høydemodell. Derfor burde en DOM og DTM for hele området vært etablert med TerraScan ved hjelp av en triangelmodell. Dette ville gjort at en DOM og DTM hadde blitt komplett, men siden høydemodellene kun blei brukt i visuell analyse utgikk denne operasjonen. Et mindre område med kun fire LAS-filer blei laget i TerraScan for å vise muligheten.

➤ *Regelsett i eCognition*

Laserdataene er en liten del av et større prosjekt som igjen er en liten del av Norge. Derfor er det viktig å ta hensyn til at regelsettene som er utarbeidet kan gi gode resultater i dette tilfellet, men kanskje dårlige resultater for et annet område. Bruk av en laserskanning med f.eks. annen punktetthet, vil også kunne endre resultatet. En bedre punktetthet vil kunne bedre resultatet, mens en dårligere kan forverre.

➤ *Segmentering i eCognition*

Multiresolution-segenteringene i eCognition er gjort på bakgrunn av flere tester. Algoritmen bak segmenteringa holdes hemmelig for omverden. Det finnes ingen dokumentasjon på hva den inneholder, og derfor er de parameterne som har gitt best resultat blitt valgt som endelige verdier.

➤ *Klassifiseringer i eCognition*

Det største forbedringspotensialet ligger i klassifiseringene gjort i eCognition. Klassifiseringsbetingelser og grenser som er satt, er gjort på bakgrunn av selvvalgte parametere sammen med enkelte kriterier Skog og landskap har for AR5. For å styrke klassifiseringsmetodene burde det settes regler for de ulike klassifiseringskriteriene i samarbeid med Skog og landskap. F.eks. hvor stor prosentandel skog innenfor ei skogøy det skal være for at arealet er skog? Antall hus i skog? Etc..

Det er uten tvil analysen om bebyggelse i skog som trenger mest oppfølging. Ifølge Skog og landskap er det tillatt med hus i skog, men mengden hus er avgjørende for evt. endringer til bebygd. Hvis en analyse i eCognition detekterer hus i skog, finnes det muligheter for å kunne si noe om de klassifiserte segmentenes plassering i forhold til annen bebyggelse. Bebygd kan tas inn, og hvis segmentene er innenfor en viss avstand til arealtypen, kan et forslag om sammenslåing gis. Er segmentene derimot midt inne i et skogområde, kan de forbli klassifisert som skog.


➤ *Klassifiseringskvalitet*


Klassifiseringskvaliteten varierer for de forskjellige analysene. Deteksjon av høyder på fulldyrka jord avslørte de fleste interesseområdene, og ellers mange andre områder. Derimot for bebyggelse i skog var det dårligere resultater. Flere hus blei riktignok detektert, men hus i tett skog var vanskelig å skille ut.

Det nevnes i problemstillinga at oppgaven skal legge vekt på tekniske løsninger og muligheter, framfor å vurdere kvaliteten for brukerne. For å bestemme en nøyaktighet på klassifiseringene burde det vært opprettet fasitområder med f.eks. et kjent antall bygninger og sett på suksessen til analysen. Ettersom dette ikke blei gjort i denne oppgaven henvises det til de tidligere studier som er nevnt i kapittel 1.2. Der oppgis resultatenes nøyaktighet sammen med punkttettheten. Ved å sammenlikne punkttettheten fra tidligere studier med oppgavens punkttetthet, kan det skaffes et visst inntrykk av mulig nøyaktighetsoppgjøring.

➤ *Prosesseringstid*

Prosesseringstid er en viktig del av en evt. bruk av laserdataene. Mye data krever kraftige datamaskiner for å effektivisere operasjonene. I denne oppgaven blei en bærbar datamaskin, Figur 6.1, brukt til å etablere rasterne i LidarStat og gjøre analysene i eCognition. TerraScan var for øvrig på Blom sine stasjonære datamaskiner.

System	
Produsent:	Hewlett-Packard
Modell:	HP Pavilion dv6 Notebook PC
Klassifisering:	 Windows-opplevelsesindeks
Prossessor:	AMD Athlon(tm) II Dual-Core M320 2.10 GHz
Installert minne (RAM):	4,00 GB
Systemtype:	64-biters operativsystem

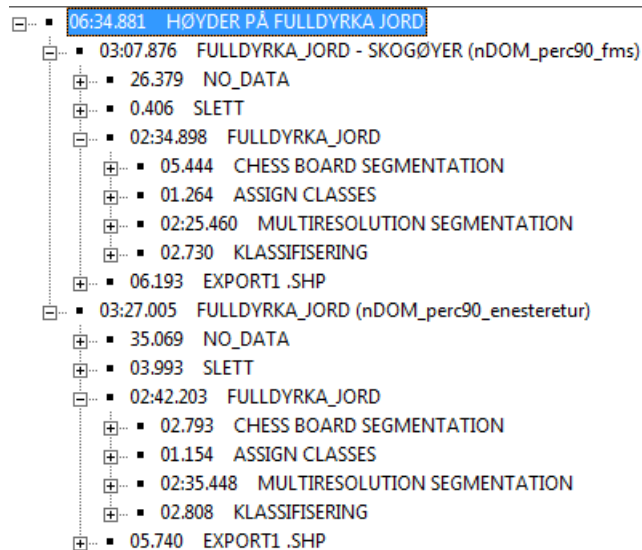


Figur 6.1 – Datamaskinens spesifikasjoner

LidarStat sin håndtering av laserdata var den prosessen som brukte mest tid. Spesielt bruk av persentiler var tidkrevende. For enkelte rasterne som skulle bestå av alle 107 millioner punkter tok det oppimot én time og etablere ett raster. Andre trengte bare minutter på å etableres.

I eCognition blir tida for hver operasjon som gjøres registrert. Det blei som nevnt benyttet subområder i starten av analysen, ettersom enkelte kommandoer i regelsettet var tidkrevende, spesielt multiresolution-segmenteringene. Etter hvert som analysen blei

ferdigstilt, kunne regelsettet kjøres på hele området. Ingen av analysene som oppgaven består av brukte mer enn fem minutter. For større områder er det usikkert hvor lang tid en analyse i eCognition vil ta. Figur 6.2 viser prosesseringstida for de to analysene for høyder på fulldyrka jord.



Figur 6.2 – Prosesseringstid for de to analysene for fulldyrka jord

➤ *Interesseområdene*

Tidlig i oppgaven blei det gjort rede for flere interesseområder. Analysene både i eCognition og ArcMap avdekket mange av disse områdene. Å konkludere med at AR5-kartet er feil på bakgrunn av observasjonene gjort i laserdataene, blir ikke riktig. Det finnes to typer problemer:

- Nytt fenomen. Kan ha skjedd en forandring og derfor *ikke feil* i AR5-data.
- Feil i ajourhold som betyr *feil* i AR5-data

Dessuten kan et laserdatasett, som andre datakilder, bestå av feil. I tilfeller der det er usikkert hva som befinner seg på bakken bør en feltsjekk gjøres. Dette kan kontrollere området.

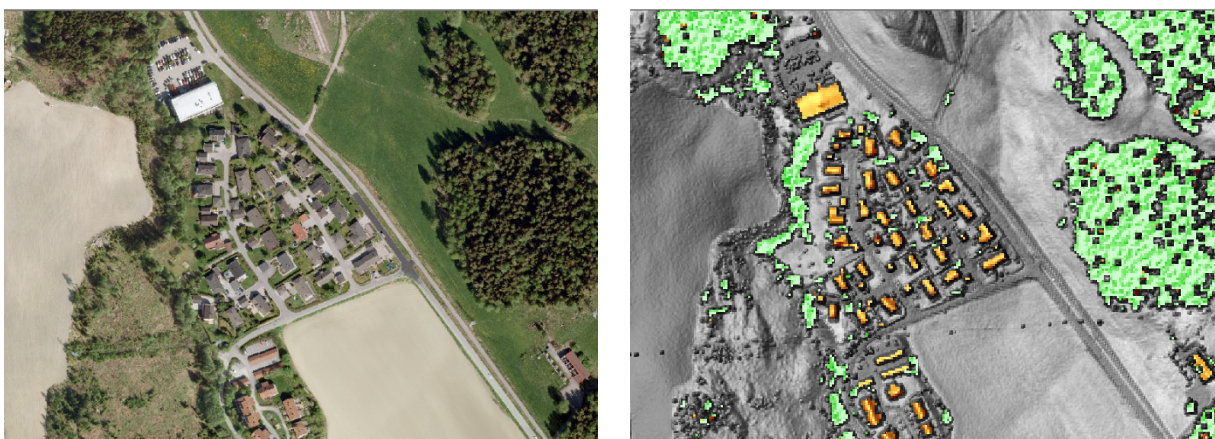
➤ *eCognition eller ArcMap*

Begge programmene er gode verktøy for å kunne studere laserdata. I eCognition kan avanserte operasjoner gjøres på datasettet og trekke ut fenomener ved ulike klassifiseringer. ArcMap gjør enklere operasjoner, men får fram mange av de sammen fenomenene kun ved overlagsanalyser. Mye av ajourholdet kan bli utført kun ved å bruke laserdata til visualisering.

6.2 Laser eller ortofoto

I denne oppgaven er det sett på muligheter som ligger i laserdata for å beskrive landjorda, og videre bruke denne informasjonen til ajourhold av AR5. Fram til i dag har ortofoto vært den viktigste datakilden til ajourholdet, og for at laserdata skal kunne bli en støtte, må det ses på fordelene et laserdatasett har. Samtidig finnes det også svakheter ved laserskanning som bør nevnes.

De resultatene og erfaringene som er oppnådd gjennom arbeidet med oppgaven tilsier at det ligger mye potensial i laserdata til å visualisere bakken. Hentes det ut informasjon om intensitet, og punkttettheten er god, ca 1-3 pkt per m², vil det kunne framstilles nærmest et fotografi av bakken. Dette blir riktignok et gråtonebilde, men ved å kombinere ulike informasjonsraster og tildele farger til hvert raster, kan en farget overflate dannes (til høyre i Figur 6.3).



Figur 6.3 – Ortofoto eller laserdata

Høydeinformasjonen fra laserdata er en av de største forskjellene fra ortofoto. Riktignok kan høyder også framstilles av flybilder ved stereofotogrammetri, men det blir en ekstra tidskostnad. Laserhøydene skaffes raskt og kan brukes i flere typer analyser slik oppgaven viser til.

En annen stor forskjell fra flybilder er evnen laserdata har til å "se" i mørket. Teknikken med den aktive sensoren gjør det mulig å avdekke evt. objekter som befinner seg i skyggelagte områder i ortofotoet.

De eksporterte resultatene av analysene har markert ut områder som er interessante. En operatør som skal ajourholde AR5 kan åpne resultatet i et GIS-program og raskt få et innblikk i hvor AR5 trenger nærere tilsyn. Benyttes kun et ortofoto vil ikke operatøren få indikasjoner på hvor områdene er, og må evt. søke seg gjennom.

Det er naturlig å forestille seg at i framtida vil punkttettheten for større områder bli bedre og rasterbilder på bakgrunn av laserdata kan få finere oppløsning. Flere detaljer vil tre fram, og bilder som kan likne på ortofoto vil kunne framstilles.

Laserskanning har også sine svakheter i enkelte områder, og det var helt nødvendig å ha ortofoto for å kontrollere resultatene fra analysene. Et ortofoto er et komplett bilde av bakken, mens i rasterbilder fra laserdataene finnes det huller. Hullene kan bl.a. være resultat av ingen pulsretur pga vann eller andre blanke flater har reflektert bort pulsene.

Laserdataene gjennomgår flere prosesser fra de er registrert av laseren til et endelig produkt kan leveres. Stort sett er det automatiske prosesser som bl.a. sammenbinder de ulike flystripene og gjør klassifiseringer av laserpunktene. Det kan forekomme feil i disse prosessene som leverandørene ikke detekterer og blir med i leveransen til brukerne.

Med god kunnskap om hva slags muligheter som ligger i laserdata kan Skog og landskap bestille et utvalg rasterbilder som kan brukes i analyser. Figuren nedenfor er et eksempel på en framgangsmåte for hvordan laserdata kan benyttes som hjelpemiddel i ajourhold av AR5.



Figur 6.4 – Framgangsmåte for bruk av laserdata i ajourføring av AR5

7 Konklusjon

Utgangspunktet for konklusjonen er problemstillingene som jamfør kapittel 1.1 er:

- Beregne statistikk for kjente arealtyper og vurdere muligheten for klassifisering
- Finne arealgrenser og sammenlikne mot eksisterende AR5grenser
- Visualisere ulike informasjonsekstrakter som kan brukes som hjelpemiddel ved ajourhold av AR5

Det er liten tvil om at muligheter for bedre utnyttelse av laserdata er til stede. Objektbasert bildeanalyse byr på mange muligheter for å trekke ut informasjon av segmentene som dannes, og klassifisere segmentene etter gitte kriterier. I denne oppgaven er det vist at eCognition kan brukes både til å detektere områder uten skog, men også klassifisere disse områdene i alternative klasser. Disse alternative klassene kan eksporteres ut slik at en operatør kan bevisstgjøres om at enkelte områder trenger nærmere tilsyn. Ved bruk av andre datasett, som ortofoto, kan områdene eventuelt endres til mer passende arealtyper.

Siden de ulike rasterbildene segmenteres til små segmenter, kan nye arealgrenser etableres etter hvor f.eks. skoghøyder ikke lengre eksisterer. Arealgrenser for områder som bygges ut er ikke like lett å sette, siden en husdeteksjon kun detekterer bebyggelsen og ikke eventuelle tilhørende områder.

Teknikken ved å etablere normaliserte DOM kan brukes i flere sammenhenger. Ikke bare i avanserte analyser med eCognition, men også til visuell betraktning i GIS-programmer som ArcMap. Å finne høyder på fulldyrka jord tyder på endringer som bør studeres nærmere. Enkle rasteroperasjoner kan gjøres for å visualisere de områdene innenfor fulldyrka jord som har interessante områder. nDOM på bakgrunn av pulsreturer kan fortelle noe om vegetasjon i rasterbildet, og ved å legge dette på eksisterende områder i AR5 kan arealer der det ikke finnes vegetasjon detekteres.

Hvis en bruker på forhånd kan vite hva slags informasjonsekstrakter som er aktuelle for sitt bruksformål, kan rastere etableres på bakgrunn av dette og sendes brukeren. Har brukeren tilgang på programmer som eCognition eller ArcMap vil informasjonen i rasterne kunne utnyttes med de nevnte metodene i denne oppgaven.

8 Videre arbeid

Underveis i arbeidet med oppgaven blei det avdekket stadige nye muligheter for eventuelle forbedringer og forenklinger av analyser og tolkning. I denne oppgaven var hovedfokuset å se kun på laserdata som datakilde. Hvis andre datasett som et nærinfrarødt bilde, som brukes til å finne frisk vegetasjon, tas inn kan dette styrke analysen.

Studieområdet for denne oppgaven er for lite til å kunne konkludere med at regelsettene i eCognition er et fullverdig regelsett som kan brukes i alle tilfeller. De er tilpasset for en best mulig analyse av kun det utvalgte området. Et mer håndfast regelsett kunne vært dannet ved å ha flere tilfeldige områder rundt i Norge med spredt beliggenhet, og sett på analysens resultat ut ifra dette.

Å teste metodene i denne oppgaven på laserdatasett med en annen punkttetthet er interessant siden det benyttede datasettet her er spesielt godt.

Skannes det samme området om fem år vil skogområdene uten høyde i denne analysen kanskje ha høyder. Sammenliknes de to resultatene fra hver laserskanning kan de områdene som fremdeles er uten høyder antas å ikke lengre være skog.

Regler og betingelser for klassifiseringene bør bestemmes i samarbeid med Skog og landskap. For å se på kvaliteten til klassifiseringene bør det opprettes fasitområder som består av et kjent antall bygninger, skogkanter som bør slås sammen med nabo arealer etc..

Oversikt for videre arbeid:

- Se på større områder
- Se på laserskanninger med forskjellig punkttetthet
- Se på en laserskanning gjort fem år etter
- Samarbeid med Skog og landskap om klassifiseringsbetingelser
- Lage fasitområder med kjente fenomener

9 Vedlegg

Oppgaven består av kun fire vedlegg A, B, C og D. To regelsett fra eCognition er tatt med, sammen med to analyseresultater. For å sammenlikne resultatene i eCognition og ArcMap er det vedlagt resultater av to analyser basert på samme mål. Finne skog og ikke-skog (A og B) og finne høyder på fulldyrka jord (C og D). Resten av analyseresultatene er vanskelige å visualisere og ligger på vedlagt CD. Der finnes også alt av data som er brukt i oppgaven, regelsett i eCognition, visualiseringer i ArcMap, artikler, PDF-versjon av rapporten etc.

A) Regelsett for analyse skog/ikke-skog i eCognition

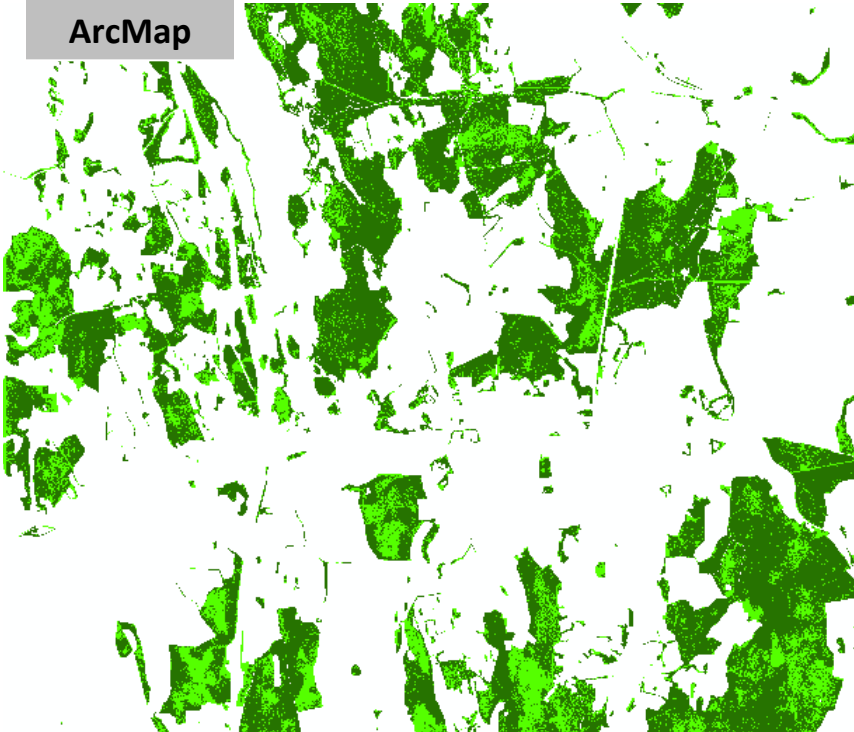
- 04:29.990 SKOG
 - 01:15.083 NODATA
 - 0.422 SLETT
 - 03:14.485 ANALYSE
 - 10.857 A) LEVEL1
 - <0.001s SLETT LEVEL1
 - 05.350 CHESS BOARD SEGMENTATION (Kjører en segmentering på pixelnivå av rasterbildet, med vektorkartet i bakgrunnen)
 - 05.507 ASSIGN CLASSES (Trekker ut områder som er av interesse)
 - 03:03.628 B) LEVEL2
 - <0.001s SLETT LEVEL2
 - 02:43.566 MULTIREOLUTION SEGMENTATION
 - 02:43.566 L1 Skog(AR5) at Level1: 10 [shape:0.2 compct.:0.7] creating 'Level2' (Lager et nytt Level2, under Level1 som består av skog)
 - 20.062 KLASSIFISERING (L2)
 - <0.001s VARIABLER
 - <0.001s minsteareal_skog = 2000 (minsteareal for skogflater)
 - <0.001s minsteareal_skogoyer = 200 (minsteareal for skogflater)
 - <0.001s medianhoyde = 2 (medianverdi i analysen)
 - <0.001s bredde_skogkant = 30 (maksimal bredde på skogkant)
 - 06.428 SLETT KLASSIFISERING
 - 0.109 AR5klasser fra Level1
 - 02.324 lav eller høy skog
 - 01.185 L2 Skog with Median nDOM <= medianhoyde at Level2: L2 LavSkog (segmenter med median mindre enn medianvariabel blir klassifisert som L2 LavSkog)
 - 0.843 L2 Skog with Median nDOM > medianhoyde at Level2: L2 HoySkog (segmenter med median større enn medianvariabel blir klassifisert som L2 HoySkog)
 - 0.078 L2 LavSkog at Level2: merge region (sammenslåing av segmenter i klassen med lav skog)
 - 0.218 L2 HoySkog at Level2: merge region (sammenslåing av segmenter i klassen med høy skog)
 - 0.094 små segmenter LavSkog i skog slås sammen med høy skog
 - 0.063 L2 LavSkog with Rel. border to L2 HoySkog = 1 at Level2: L2 LavSkog_LiteAreal
 - <0.001s L2 LavSkog_LiteAreal at Level2: L2 HoySkog
 - 0.031 L2 HoySkog at Level2: merge region
 - 11.107 EXPORT

B) Analyseresultat skog/ikke-skog

eCognition



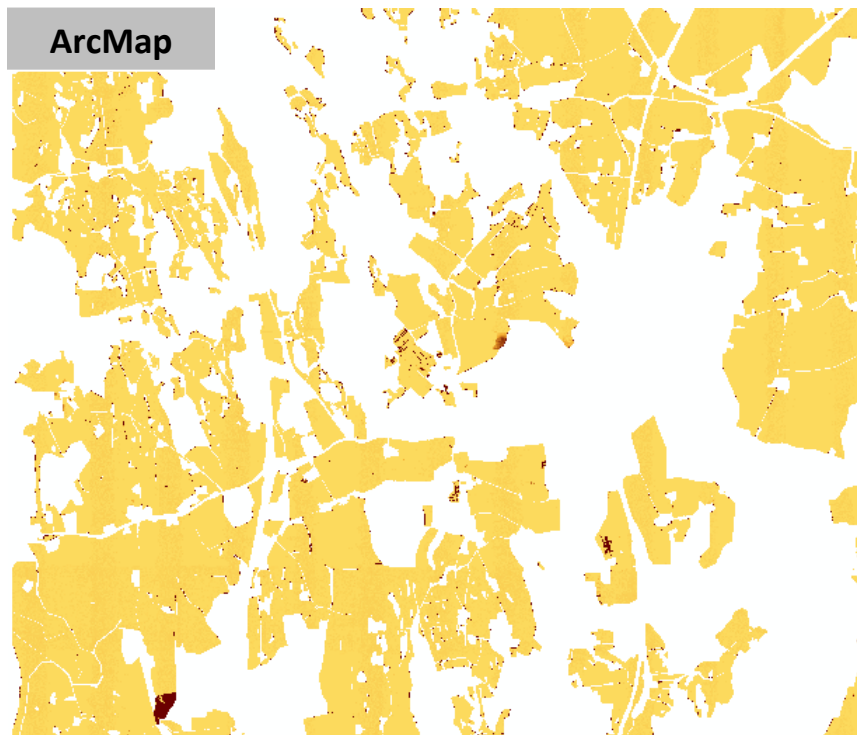
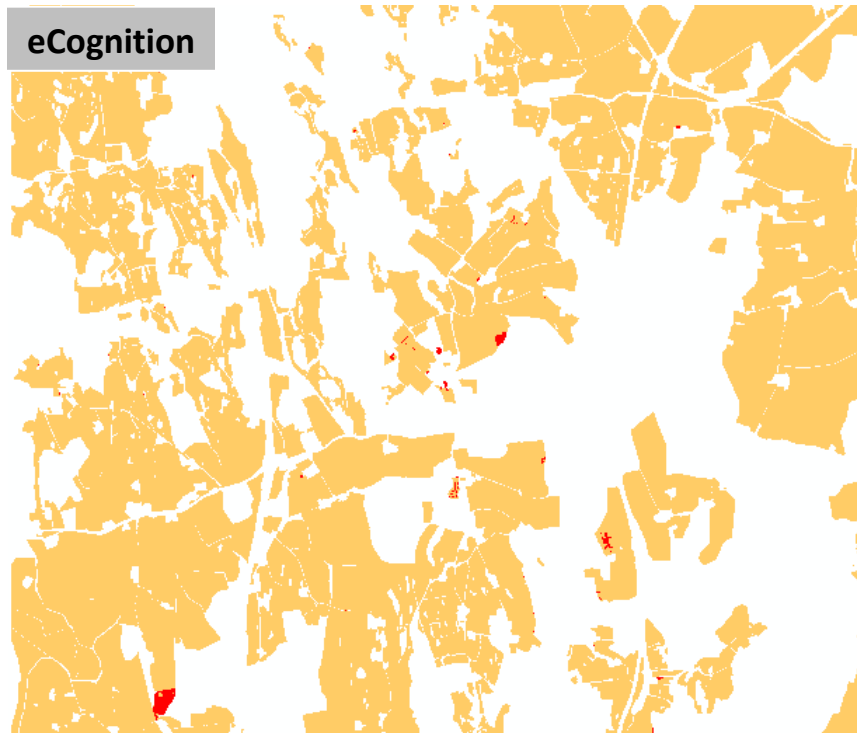
ArcMap



C) Regelsett for analyse av høyder på fulldyrka jord i eCognition

- 06:59.028 HØYDER PÅ FULLDYRKA JORD
 - 03:08.324 FULLDYRKA_JORD - SKOGØYER (nDOM_perc90_fms)
 - 26.068 NO_DATA (løsning av NoData)
 - 0.406 SLETT (sletter segmenteringsresultatene Level1 og Level2)
 - 0.281 at Level1: delete
 - 0.125 at Level2: delete
 - 02:35.314 FULLDYRKA_JORD
 - 04.305 CHESS BOARD SEGMENTATION (vektorkartet rasteriseres)
 - 04.305 chess board: 99999999 creating 'Level1'
 - 01.170 ASSIGN CLASSES (henter arealtypen fra AR5-datasettet)
 - 01.170 with ARTYPE: AR5 = 21 at Level1: L1 Fulldyrka_jord(AR5)
 - 02:27.015 MULTIREOLUTION SEGMENTATION (innenfor segmentene for fulldyrka jord kjøres en MR-segentering)
 - 02:26.984 L1 Fulldyrka_jord(AR5) at Level1: 10 [shape:0.2 compct.:0.7] creating 'Level2' (nytt Level2, under Level1 som består av fulldyrka jord.)
 - 0.031 with Existence of super objects L1 Fulldyrka_jord(AR5) (1) = 1 at Level2: L2 Fulldyrka_jord (tar med klassen "L1 Fulldyrka_jord(AR5)" til Level2)
 - 02.824 KLASSIFISERING
 - 01.232 L2 Fulldyrka_jord with Median nDOMfms >= 1 at Level2: L2 Hoyt (segmenter med median større og lik 1 blir klassifisert som L2 Hoyt)
 - 01.217 L2 Fulldyrka_jord with Median nDOMfms < 1 at Level2: L2 Lavt (segmenter med median mindre enn 1 blir klassifisert som L2 Lavt)
 - 0.375 L2 Lavt at Level2: merge region (alle segmenter under median 1 slås sammen)
 - <0.001s L2 Hoyt with Rel. area of L2 Lavt (0) = 1 at Level2: L2 Skogoy (segmenter fra L2 Hoyt som ligger i L2 Lavt klassifiseres som L2 Skogoy)
 - <0.001s L2 Skogoy with Area >= 100 m² at Level2: L2 Skogoy_stor (alle segmenter større og lik 100 kv.m blir klassifisert som L2 Skogoy_stor)
 - 06.536 EXPORT
 - 06.271 L1 Fulldyrka_jord(AR5) at Level1: export vector layers (segmenter som er klassifisert som fulldyrka jord eksporteres)
 - 0.265 L2 Skogoy_stor at Level2: export vector layers (segmenter som er klassifisert som stor skogoy eksporteres)
 - 03:50.704 FULLDYRKA_JORD (nDOM_perc90_enesteretur)
 - 37.658 NO_DATA (løsning av NoData)
 - 07.395 SLETT (sletter segmenteringsresultatene Level1 og Level2)
 - 0.780 at Level1: delete
 - 06.615 at Level2: delete
 - 02:59.833 FULLDYRKA_JORD
 - 03.151 CHESS BOARD SEGMENTATION (vektorkartet rasteriseres)
 - 03.151 chess board: 99999999 creating 'Level1'
 - 01.373 ASSIGN CLASSES (henter arealtypen fra AR5-datasettet)
 - 01.373 with ARTYPE: AR5 = 21 at Level1: L1 Fulldyrka_jord(AR5)
 - 02:52.485 MULTIREOLUTION SEGMENTATION (innenfor segmentene for fulldyrka jord kjøres en MR-segentering)
 - 02:52.469 L1 Fulldyrka_jord(AR5) at Level1: 10 [shape:0.2 compct.:0.7] creating 'Level2' (nytt Level2, under Level1 som består av fulldyrka jord.)
 - 0.016 with Existence of super objects L1 Fulldyrka_jord(AR5) (1) = 1 at Level2: L2 Fulldyrka_jord (tar med klassen "L1 Fulldyrka_jord(AR5)" til Level2)
 - 02.824 KLASSIFISERING
 - 01.248 L2 Fulldyrka_jord with Median nDOMene >= 1 at Level2: L2 Hoyt (segmenter med median større og lik 1 blir klassifisert som L2 Hoyt)
 - 01.217 L2 Fulldyrka_jord with Median nDOMene < 1 at Level2: L2 Lavt (segmenter med median mindre enn 1 blir klassifisert som L2 Lavt)
 - <0.001s L2 Hoyt with Area < 50 m² at Level2: L2 Hoyt_lite_objekt (segmenter klassifisert som høyt og mindre areal enn 50 kv.m klassifiseres som L2 Hoyt_lite_objekt)
 - <0.001s L2 Hoyt with Area >= 50 m² at Level2: L2 Hoyt_stort_objekt (segmenter klassifisert som høyt og større areal enn 50 kv.m klassifiseres som L2 Hoyt_stort_objekt)
 - <0.001s L2 Hoyt_stort_objekt with Width <= 5 m at Level2: L2 Hoyt_lite_objekt (høyt stort objekt, men med bredde mindre enn 5 meter klassifiseres som L2 Hoyt_lite_objekt)
 - 0.359 L2 Lavt at Level2: merge region (alle segmenter under median 1 slås sammen)
 - <0.001s L2 Hoyt_lite_objekt at Level2: merge region (alle segmenter som er høye og små slås sammen)
 - <0.001s L2 Hoyt_stort_objekt at Level2: merge region (alle segmenter som er høye og store slås sammen)
 - 05.818 EXPORT
 - 05.444 L1 Fulldyrka_jord(AR5) at Level1: export vector layers (segmenter som er klassifisert som fulldyrka jord eksporteres)
 - 0.374 L2 Hoyt_stort_objekt at Level2: export vector layers (segmenter som er klassifisert som høyt stort objekt eksporteres)

D) Analyseresultat høyder på fulldyrka jord



10 Litteraturliste

- Arefi, H., Hahn, M. & Lindenberg, J. LiDAR data classification with remote sensing tools: Dept. of Geomatics, Computer Science and Mathematics, Stuttgart University of Applied Sciences. 6 s.
- Barstad, B. (2002). *Høgdekartlegging med laserskanning frå fly*. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for kartfag Seksjon fotogrammetri.
- Bjørddal, I. & Bjørkelo, K. (2006). *AR5 klassifikasjonssystem: klassifikasjon av arealressurser*. Håndbok fra Skog og landskap, b. 01/2006. Ås: Norsk institutt for skog og landskap. 25 s.
- Bjørkelo, K., Bjørnerød, A. & Nilsen, A. (2009). Kartografi for AR5. 9 s.
- Blom Geomatics. (2008). LIDAR Rapport - Follo. *BNO08749*. 18 s.
- Brennan, R. & Webster, T. L. (2006). Object-oriented land cover classification of lidar-derived surfaces. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 162-172 s.
- Caplex. Tilgjengelig fra: <http://www.caplex.no/>.
- Changok, L. (2007). Estimation of Urban Tree Crown Volume based on Objekt-Oriented approach and LIDAR Data. 87 s.
- Company History - Trimble. (2011). Tilgjengelig fra: http://www.trimble.com/about_history.shtml (lest 15.03.11).
- Definiens. (2009a). eCognition Developer 8 - Reference Book. 276.
- Definiens. (2009b). eCognition Developer 8 - User Guide. 236.
- eCognition - Guided Tour Level 1. (2010). Getting started - Example: Simple building extraction. 87.
- eCognition Developer. (2011). Tilgjengelig fra: <http://www.ecognition.com/products/ecognition-developer> (lest 15.03.11).
- Flatman, A. C. & Rasmussen, J. K. (2000). *Laserscanning - En Kvalitetsvurdering*. Afgangsprosjekt. Aalborg: Aalborg Universitetet, Landinspektøruddannelsen. 129 s.
- Grinderud, K. (2008). *GIS: geografiens språk i vår tidsalder*. Trondheim: Tapir akademisk forl. 212 s. s.
- Gårdskartprosessen. Skog og landskap. Tilgjengelig fra: <http://www.skogoglandskap.no/temaer/gardskartprosessen> (lest 06.05.11).

Hva er ArcGIS Desktop? (2011). Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/node/61867> (lest 10.03.11).

ISO 19123. (2005). Schema for coverage geometry and functions.

Kilden - til arealinformasjon. (2011). Skog og landskap. Tilgjengelig fra: <http://kilden.skogoglandskap.no/map/kilden/index.jsp> (lest 05.01.11).

LAS Specification. (2008). Version 1.2: 13.

Matikainen, L., Kaartinen, H. & Hyyppä, J. (2007). Classification tree based building detection from laser scanner and aerial image data: Finnish Geodetic Institute, Department of Remote Sensing and Photogrammetry. 280-287 s.

Plugins to eCognition. (2011). Prashanth Reddy Marpu. Tilgjengelig fra: <https://webvirt.hrz.tu-freiberg.de/filetransfer/FILES/b1d97b19/index.html> (lest 15.03.11).

Produktspesifikasjon FKB-Laser. (2011). *Produktspesifikasjon: Nasjonal modell for høydedata fra laserskanning (FKB-Laser)*: Statens kartverk, . 22 s.

Ringdal, E. (2010). *Ajourføring av AR5 i FYSAK G 1.52*. Veileder fra Skog og landskap, b. Kokebok versjon 2010-04-20: Norsk institutt for skog og landskap. 25 s.

SOSI-standard. (2009). *SOSI Del 3 Produktspesifikasjon for FKB - AR5*: Statens kartverk. 14 s.

Statens kartverk. (2008). Laserskanning i Geovekst-prosjekter. 15.

Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://www.snl.no/>.

TerraSolid. (2011). Tilgjengelig fra: www.terrasolid.fi (lest 10.03.11).

wikinova.info. Tilgjengelig fra: http://wikinova.info/doku.php/no:np:base:menu:terrain_model:triangle_model (lest 07.05.11).

Wikipedia. Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org>.

Woxholt, S. (2010). *Årsmelding 2009*: Norsk institutt for skog og landskap. 40 s.