

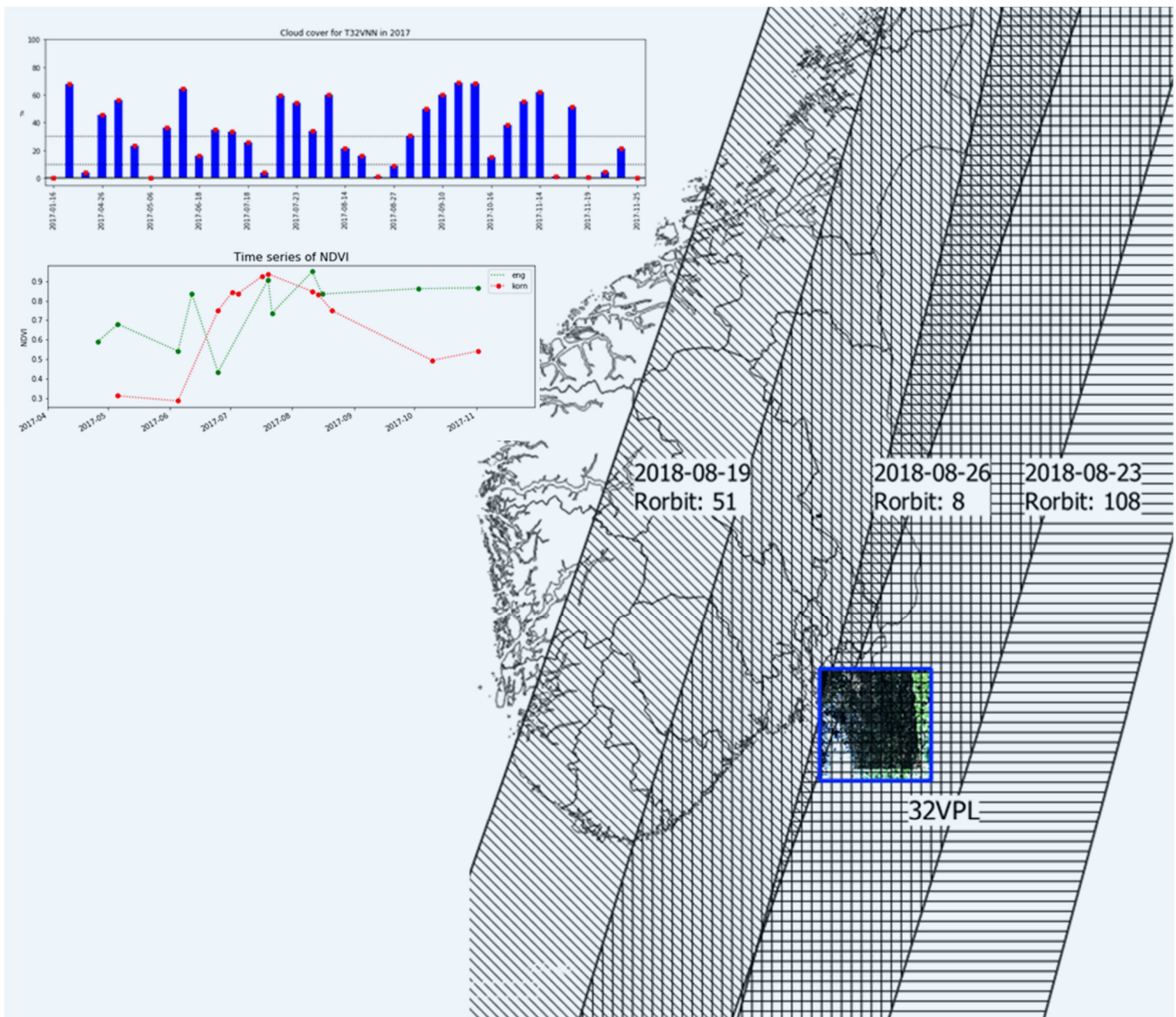


NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Bruk av satellittdata i overvåking av KULA-områder

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR. 94 | 2019



Hanne Gro Wallin, Wendy Fjellstad, Wenche Dramstad, Arnt Kristian Gjertsen,
Gregory Taff og Ulrike Bayr

TITTEL/TITLE

Bruk av satellittdata i overvåking av KULA-områder

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Hanne Gro Wallin, Wendy Fjellstad, Wenche Dramstad, Arnt Kristian Gjertsen, Gregory Taff og Ulrike Bayr

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
09.09.2019	5/94/2019	Åpen	11306-0	18/01340
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02383-8	2464-1162	51	-	

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Riksantikvaren

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Kari Larsen

STIKKORD/KEYWORDS:

Fjernmåling, satellitt, kulturminner, kulturlandskap, arealendringer, KULA

Remote sensing, satellite, cultural heritage, cultural environment, land cover change, KULA

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Arealundersøkelser og Landskapsovervåking

Land Resource Surveys and Landscape monitoring

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Riksantikvaren utarbeider et register over kulturhistoriske landskap av nasjonal interesse (KULA) i samarbeide med fylkeskommunene og Sametinget. Målet er at dette skal bli et verktøy for kommunene slik at de bedre kan ivareta viktige landskapsverdier i sin planlegging. Riksantikvaren ønsker å følge utviklingen i disse områdene, og på sikt er målet å etablere et overvåkingsprogram med bruk av fjernmåling/satellittdata. I denne forbindelse er det behov for å bygge kunnskap om hvilke satellittdata som er tilgjengelige i Norge og hvordan disse kan brukes. Prosjektet har vist at satellittbilder kan brukes til overvåking av arealendringer innenfor KULA-områder. En utfordring er knyttet til den romlige oppløsningen (pikselstørrelse) og nøyaktigheten. Den høye gjentakfrekvensen og tilgang til multispektrale data gjør likevel at man kan undersøke ulike typer arealendringer samt vegetasjonsutvikling, inkludert fjerning av vegetasjon, i løpet av en vekstsesong og fra år til år. Det gjenstår likevel fortsatt noe utviklingsarbeid før et indikatorsett til bruk i en slik overvåking er fullstendig operasjonalisert.

GODKJENT /APPROVED

Hildegunn Norheim

NAVN/NAME

PROSJEKTLÉDER /PROJECT LEADER

Hanne Gro Wallin

NAVN/NAME

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Dette prosjektet ble initiert gjennom et møte mellom NIBIO, NIKU, Norsk Romsenter og Riksantikvaren, samt et påfølgende møte mellom NIBIO og NIKU. I etterkant utarbeidet NIBIO og NIKU et prosjektforslag. Prosjektforslaget tok utgangspunkt i e-post fra Riksantikvaren v/ Kari Larsen datert 21. juni 2018, der oppgavene ble beskrevet. NIBIO tok rollen som prosjektleder og Riksantikvarens kontraktspart, med NIKU som samarbeidspartner. Arbeidsfordeling i prosjektet har vært om lag 65 % hos NIBIO og 35 % hos NIKU.

I løpet av arbeidet ble det avholdt fire workshops. Disse fungerte som tverrfaglige arbeidsmøter og viktige milepæler i prosjektets fremdrift. Riksantikvaren deltok på to av møtene, der vi presenterte status for arbeidet og diskuterte resultater og veien videre. Ett av møtene ble gjennomført på Stordal-anlegget i Oldtidsveien-Skjebergsetta-området, og inkluderte en guidet tur i området.

Ås, 09.09.19

Hildegunn Norheim

Innhold

1	Bakgrunn for prosjektet.....	5
2	Satellitdata fra Copernicus-programmet	6
2.1	Sentinel-1.....	6
2.2	Sentinel-2.....	7
2.3	Metoder for å analysere arealendringer	10
3	Laserskanning og andre datakilder.....	13
4	Sårbarhet	17
5	Resultater og metoder fra Oldtidsveien – Skjebergsetta	18
5.1	Registerdata og rutenett	18
6	Synlighetsanalyse	23
6.1	Det visuelle landskapet.....	23
6.2	Landskap som er synlige fra alle utsiktspunktene – med buffersone.....	27
6.3	Kartlegging fra Oldtidsveien	29
6.4	Landskapsrom.....	31
7	Hva kan overvåkes ved bruk av Sentinel-opptak?.....	34
7.1	Eksempler på registrering av endringer fra Sentinel-2	34
7.2	Eksempel på registrering av endringer fra Sentinel-1	43
8	Mulige indikatorer	44
8.1	Kort om de enkelte indikatorene.....	45
9	Erfaringer og anbefalinger.....	46
10	Konklusjon	49
11	Litteratur.....	50

1 Bakgrunn for prosjektet

Riksantikvaren arbeider med å etablere et register over kulturhistoriske landskap av nasjonal interesse (KULA). Dette gjøres i samarbeid med fylkeskommunene og Sametinget. Målet er at registeret skal bli et verktøy for kommunene slik at de bedre kan ivareta viktige landskapsverdier i sin planlegging. Arbeidet innebærer en identifisering og avgrensning av konkrete landskap. For disse landskapene beskrives de nasjonale interessene og målsettingene for deres ivaretagelse. Det gis også en omtale av relevante trusler.

Så langt er arbeidet ferdig for Troms, Østfold og Hordaland, mens aktivitet er startet opp i flere fylker. Arbeidet viser allerede at de identifiserte områdene vil være svært ulike, både når det gjelder status og potensielle endringer. Riksantikvaren ønsker å følge utviklingen i disse områdene, og på sikt er målet å etablere et overvåkingsprogram. Overvåkingen skal kunne identifisere og måle omfang på endringer som vil ha en negativ påvirkning på kulturhistoriske kvaliteter i KULA-områdene. Eksempler på aktuelle endringer er gjengroing, infrastrukturinngrep og andre arealbruksendringer. På det nåværende tidspunkt er målet å utrede om bruk av satellittdata fra Copernicus-programmet kan være egnet til en slik overvåking. I denne sammenheng er det videre av interesse å vurdere en eventuell målefrekvens, mulige indikatorer, type endringer som vil kunne fanges opp samt hensiktsmessigheten ved å inkludere omkringliggende områder.

For å teste mulighetene ved bruk av satellittdata på et aktuelt område og vise relevante eksempler har NIBIO og NIKU sammen valgt et KULA-område i Østfold som testområde. De ni områdene som er beskrevet i Østfold representerer stor variasjon. De er av svært ulik størrelse, fra Haldenvassdraget med sine 175 km² til Søndre Jeløy landskapsvernområde på 4,9 km². Videre er disse områdene ulike bl.a. med tanke på tematisk innhold, kvalitetene de representerer, potensielle endringer og sårbarhet i forhold til ulike typer trusler mot kvalitetene. Det er også ulikt hvorvidt skjøtsel og aktiv forvaltning / menneskelige inngrep er nødvendig for å ivareta kvalitetene. Landskap som er dominert av jordbruksdrift vil for eksempel kunne være sårbare for opphør av, eller store endringer i, jordbruksproduksjonene. I andre områder kan endringer i bygningsmasse være et spesielt viktig tema. Hva som er akseptable endringer kan være ulikt mellom områdene og hvorvidt arealer utenfor det avgrensede området bør inkluderes vil også kunne være ulikt.

Vi har vurdert at området Oldtidsveien–Skjebergsetta er godt egnet som et første testområde. Området er 58 km² stort, og omfatter et større jordbruksområde med en rekke kulturhistoriske miljøer og kulturminner. Området er utsatt for arealpress bl.a. grunnet sin nærhet til byene Sarpsborg og Fredrikstad. Det vil også være påvirket av de populære hytteområdene i Skjebergkilen og det faktum at E6 og jernbaneforbindelsen Oslo – Göteborg krysser gjennom området. Området er godt beskrevet og godt kartlagt, og det er lett tilgjengelig.

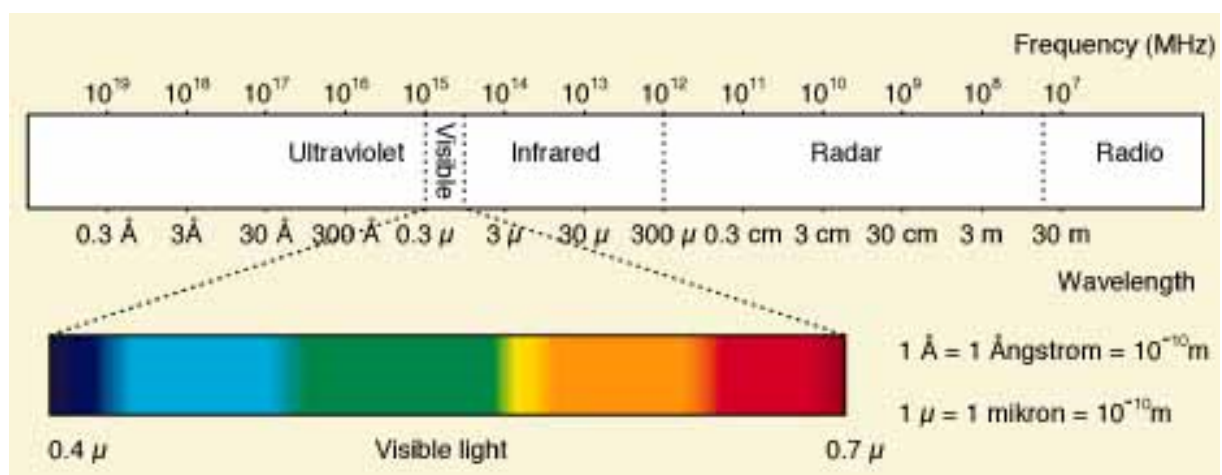
2 Satellitdata fra Copernicus-programmet

Oppdragets fokus er å vurdere hvordan satellittdata fra Copernicus-programmet kan nyttes som verktøy inn i en overvåking av KULA-områdene. Prosjektet skal gi en vurdering av metoder og dataenes egnethet til å kartlegge og dokumentere endringer i landskapssammenheng. I dette ligger også å skissere mulige aktuelle indikatorer.

Copernicus, tidligere kalt Global Monitoring for Environment and Security (GMES), er Europas store satellittbaserte program for miljøovervåking og samfunnssikkerhet. Europa vil gjennom Copernicus ha verdens mest avanserte flåte av miljøsatellitter, de såkalte Sentinellene, som leverer store og økende mengder informasjon. Spesielt aktuelle i denne sammenheng er bruk av data fra Sentinel-1 og Sentinel-2.

2.1 Sentinel-1

Sentinel-1A ble skutt opp i april 2014 og Sentinel-1B i april 2016. Sentinel-1 er radarsatellitter og bærer en SAR-antenne som sender radiopulser skrått ned mot bakken og måler styrken på ekkoet fra pulsene som reflekteres tilbake til antenna. Sentinel-1 har en såkalt C-bånd radar (**radio detection and ranging**) og radiobølgene har en bølgelengde på 5,6 cm (Figur 1). Styrken i ekkoet forteller noe om strukturen på objektene på bakken. Det er særlig ruheten eller mikrorelieffet til overflaten som påvirker styrken på ekkoet. Når en puls treffer ei trekrone med blader vil det meste av pulsen reflekteres før den når bakken. Det er fordi bladene har en utstrekning på størrelse med bølgelengden til pulsen. For radarer med lengre bølgelengder, f.eks. en L-båndradar med 35 cm bølgelengde, vil dette være annerledes. Ved en slik bølgelengde vil en puls være mindre påvirket av bladene og i større grad reflekteres fra bakken eller bli reflektert av greiner og trestammer over bakken. Over en åker etter innhøsting vil styrken i ekkoet fra Sentinel-1 avhenge av om åkeren er pløyd eller ikke. Hvis åkeren ikke er pløyd vil mye av refleksjonen gå i en annen retning enn mot antenna på satellitten, noe som gir et svakt ekko. Hvis åkeren er pløyd vil det være mange overflater som vender mot antenna og mer av refleksjonen vil derfor gå i retning mot antenna, noe som gir et kraftig ekko.

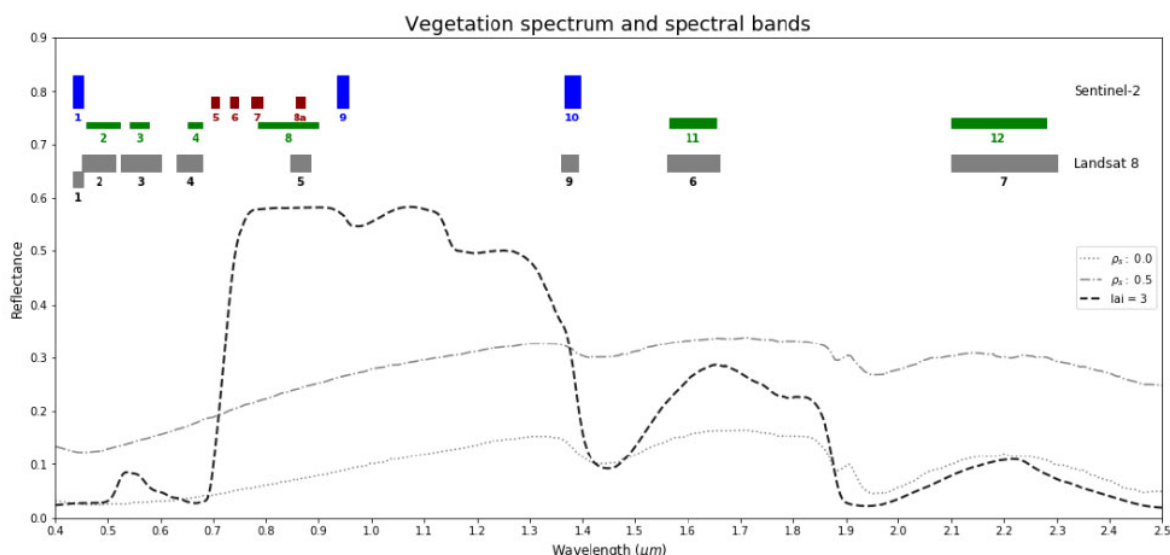


Figur 1. Bånd i det elektromagnetiske spektrumet. Synlig lys og infrarødt lys måles med optiske teleskop, mens radar- og radiobølger måles med antenner. Den infrarøde delen er vanligvis delt inn i undergrupper som nærinfrarødt (NIR), som går fra 0,74 til 1,4 μm og mellominfrarødt (SWIR) som går fra 1.4 til 3 μm. Radardelen er delt inn i bånd som f.eks. C og L som ligger i områdene rundt hhv. 5 og 30 cm.

Satellittene går i en polar bane 693 km over havnivå og har en gjentakfrekvens på 12 dager. Med to satellitter halveres tiden til 6 dager. Instrumentet har ulike opptaksmodi, og over land er det mest vanlig med Interferometric Wide Swath (IW) Mode med 5 x 20 meter oppløsning. Satellitten dekker da et spor på 250 km. Fordi satellitten sender ut pulser med energi, så er den uavhengig av dagslys og kan ta opp både natt og dag. Den er i tillegg tilnærmet upåvirket av værforhold, og radarpulsene trenger gjennom de fleste skyer. Vårt arbeid med bruk av data fra Sentinel-1 i endringsanalyser er kort omtalt på side 43. I dette prosjektet er det først og fremst vurdert bruk av data fra Sentinel-2, eventuelt sammen med data fra andre kilder (f.eks. LIDAR).

2.2 Sentinel-2

Sentinel-2A ble skutt opp i juni 2015, mens tvillingsatellitten Sentinel-2B ble skutt opp i mars 2017. Sentinel-2 har optiske sensorer som registrerer reflektert solstråling i observasjonsbånd/-kanaler innenfor synlig lys, nær-infrarødt (ikke-synlig) lys og kortbølget infrarød stråling. De gir bakkeobservasjoner med en detaljeringsgrad lik 10 x 10 meter (en rute på 10 x 10 m er en piksel) og 20 x 20 meter (Figur 2).



Figur 2. Spektral signatur for bar mark og vegetasjon og de spektrale kanalene til Landsat 8 og Sentinel-2. Landsat 8 har 8 kanaler med 30 meter oppløsning, mens Sentinel-2 har 4 kanaler med 10 meter oppløsning, 6 kanaler med 20 meter oppløsning og 3 kanaler med 60 meter oppløsning. De ulike delene av spekteret er 1) synlig lys fra 0,38 – 0,74 µm; 2) nærinfrarødt lys fra 0,74 – 1,0 µm; 3) mellominfrarød fra 1,4 – 3,0 µm.

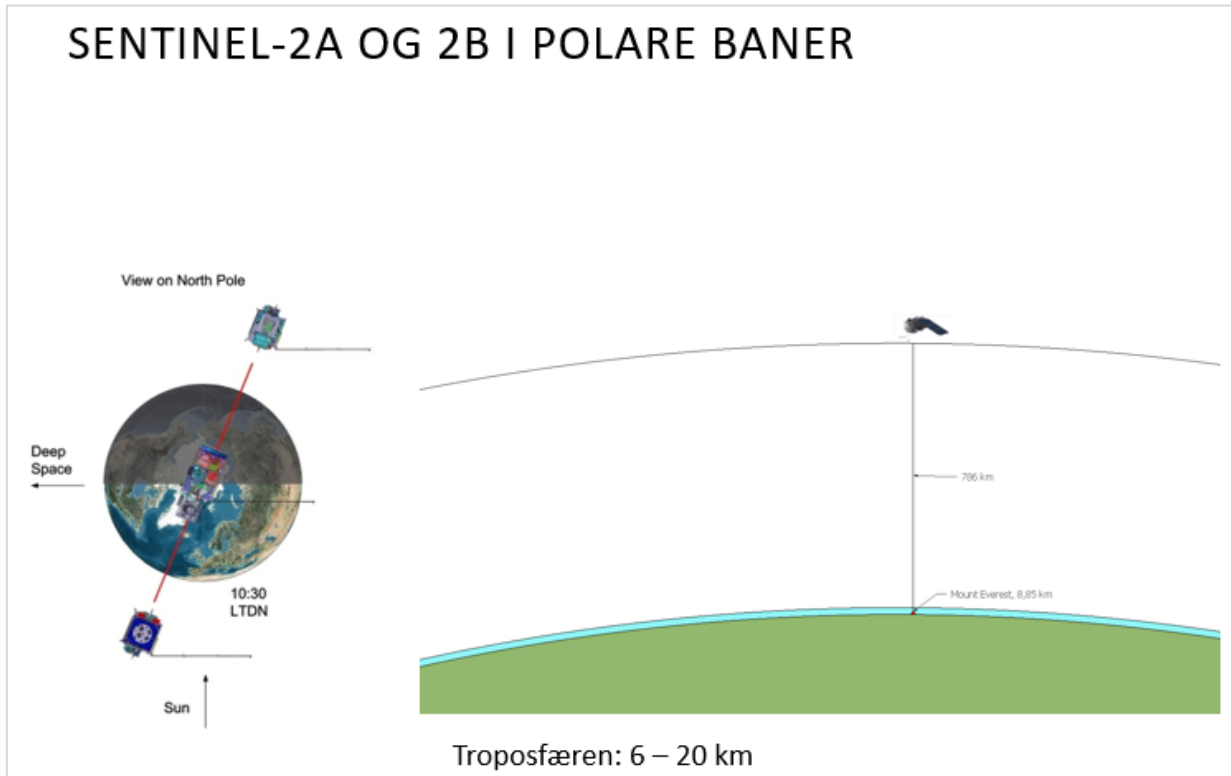
Sentinel-2 har et optisk instrument som måler reflektert sollys i 13 kanaler. Fire av disse har 10 meter oppløsning og ligger i den synlige og nærinfrarøde delen av spekteret (Figur 2); seks har 20 meter oppløsning og ligger i den infrarøde delen av spekteret (derav fire i den nærinfrarøde og to i den mellominfrarøde delen); tre har 60 meter oppløsning og brukes kun til å korrigere de andre kanalene for atmosfærisk påvirkning av målingene.



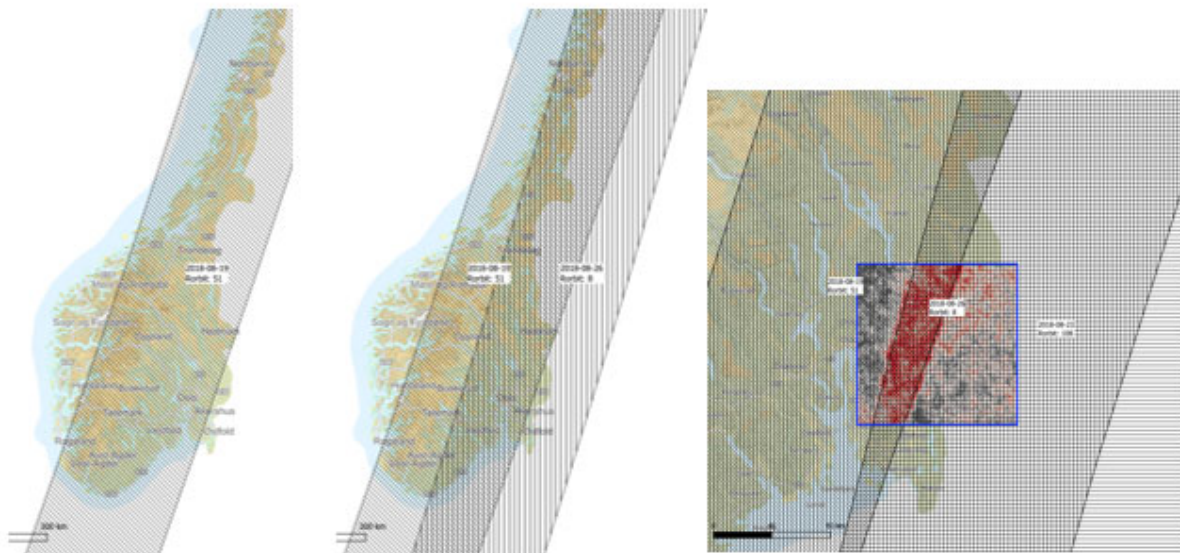
Figur 3. Et utsnitt fra et Sentinel-2 satellittbilde som viser detaljeringsgrad.

Satellittene går i en polar bane rundt jorda og tar opptak om formiddagen, ca. en time før middag. Til sammen gjør de to satellittene opptak over et område på Østlandet ca. hver 3. dag (Figur 5). På grunn av skyet vær så vil imidlertid antall observasjoner av bakken kun være en brøkdel av alle opptakene. Værforholdene varierer fra år til år, men en typisk situasjon er at kun 20 % av opptakene er skyfrie. Det betyr at én piksel på bakken vil få mellom 10 og 20 observasjoner i løpet av vekstsesongen (mai–september).

SENTINEL-2A OG 2B I POLARE BANER



Figur 4. Til venstre illustreres begge Sentinel-2 satellittene i omløp og med 180 grader faseforskjell. Hver satellitt bruker 10 dager på å dekke hele jorda og til sammen bruker begge 5 dager. Til høyre illustreres satellittbanens høyde, som er ca. 786 km over havnivå.



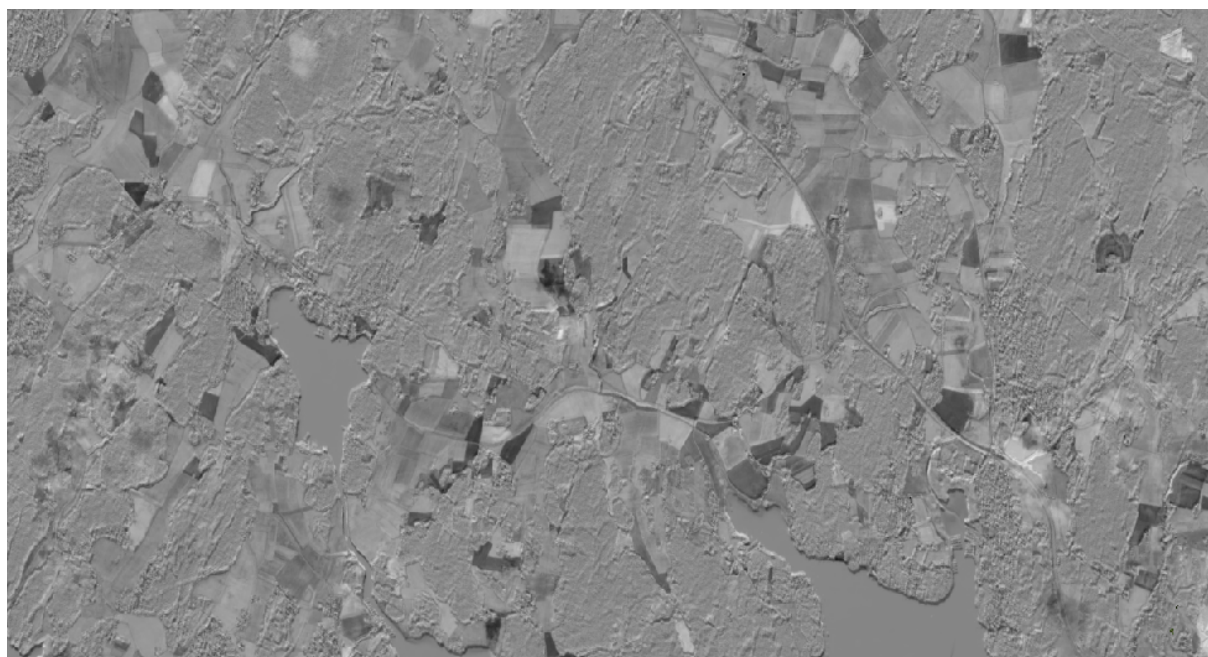
Figur 5. Sentinel-2 dekker en bredde på 290 km. Fordi banen er polar, så vil nabobaner overlape mer på nordlige og sørlige breddegrader og minst på ekvator. Over Norge er sonen med overlapp relativt stor, og over Sør-Norge kan opp til tre baner overlape, noe som er vist helt til høyre i figuren. Over slike områder blir det optak ca. hver 3. dag.

Den høye frekvensen av observasjoner gjør satellittdata svært interessante til overvåkingsformål. Alternative datafangstmetoder, som f.eks. flybaserte metoder, gir vanligvis bare én observasjon med flere års mellomrom. Men til gjengjeld er pikselstørrelsen i flybilder mye mindre, noe som gjør at det er mulig å registrere langt mindre objekter eller mer detaljerte endringer. I Norge er det to forskjellige programmer som organiserer flyfotograferingen: Geovekst fotograferer tettbebygde strøk ca. hvert tredje til femte år med en pikselstørrelse på 20 x 20 cm, mens omløpsfotograferingen fotograferer heldekkende (hele landet med skog og fjell) ca. hvert femte til syvende år med en pikselstørrelse på 25 x 25 cm. Den høye geometriske oppløsningen til flybildene gjør disse spesielt godt egnet til å registrere og kartlegge menneskeskapte strukturer i landskapet; mange av disse struktutene vil være for små til å kunne detekteres og identifiseres i satellittbildene fra Sentinel-2.

Satellittdataenes temporære oppløsning eller høyere gjentakfrekvens gjør dem likevel potensielt nyttige for raskt å fange opp endringer; men den geometriske oppløsningen er mye grovere enn på flyfoto. Fordi sensorene er multispektrale, dvs. registrerer reflektert sollys i et stort antall smale spektralbånd, inneholder satellittbildene mye informasjon knyttet til biogeofysiske egenskaper ved objektene på bakken. Dette åpner muligheter for sikrere spektralanalyser og forbedret tolking av hva arealer på jordoverflaten består av og hvilken tilstand de befinner seg i. Det krever imidlertid mye forarbeid for å lage metoder til denne tolkingen av satellittinformasjon, og dette arbeidet pågår stadig.

2.3 Metoder for å analysere arealendringer

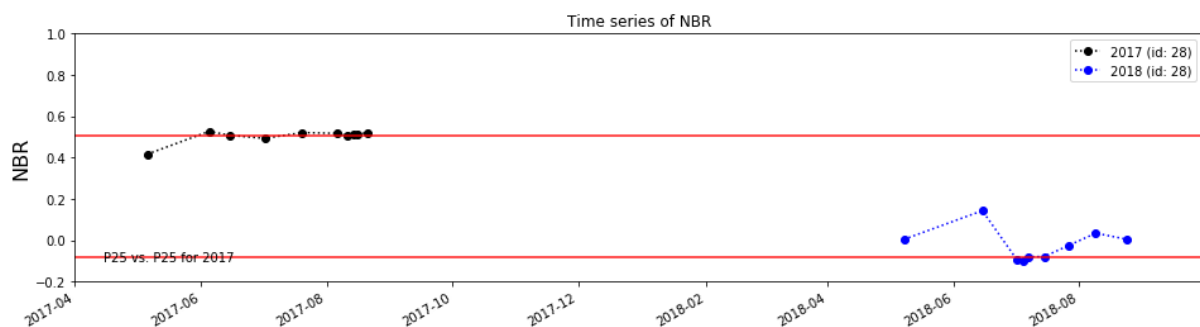
En enkel metode for å registrere endring fra satellittbilder er å ta differansen mellom to Sentinel-2 opptak, f.eks. tatt med ett års mellomrom. Tanken er da at relevante endringer vil tre fram som klare endringer i gråtoneverdiene i en kanal i bildedatasettene. Dette forutsetter imidlertid at signalet vi er interessert i kan skilles fra andre mindre relevante endringer. I praksis er dette som oftest ikke tilfellet, og i tillegg kan de ikke-relevante endringene ha et sterkere signal enn de relevante endringene. Vi har for demonstrasjonens skyld gjort en slik endringsanalyse som illustrerer nettopp dette poenget (Figur 6).



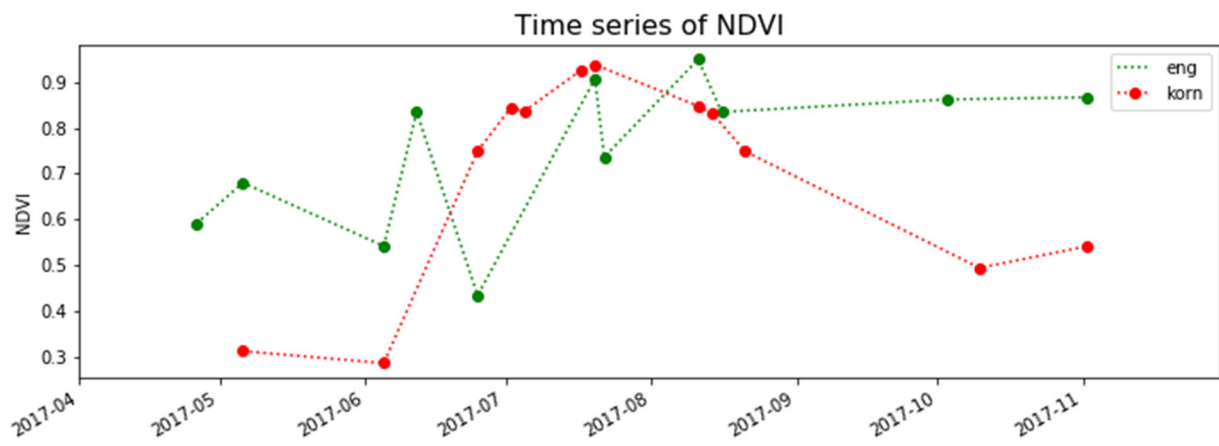
Figur 6. Differanse mellom to Sentinel-2 opptak fra 2016 og 2017. I de veldig lyse og veldig mørke figurene er det endring mellom 2016 og 2017. Mange av endringene skyldes ulik vegetasjonstilstand på fulldyrket mark, og er ingen reell endring i arealbruk.

Et mer nyttig alternativ er tematisk fokuserte metoder der en analyserer satellittbildene for å finne kun én type endring. Det kan f.eks. være om skogen har blitt hogd, om et jordbruksareal har endret dyrkingsform (f.eks. fra korn til eng), om et jorde har blitt høstpløyd, eller om det har kommet nye bygninger på et jordbruksareal. NIBIO jobber med å utvikle slike metoder og bruker ulike analysemetoder for de ulike temaene. De fleste metodene benytter pikselbaserte tidsserier med satellittdata. Det vil si at vi bruker alle opptak for en piksel og analyserer endringer ved å sammenligne tidsserier fra år til år. I Figur 7 vises en tidsserie over to år for en piksel som illustrerer hvordan en hogst om vinteren gir et tydelig hopp i tidsserien med lave verdier for NBR i 2018. NBR er en spektral indeks som kombinerer to av kanalene til Sentinel-2 og er definert med formelen $NBR = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)$. For NIR og SWIR har hhv. kanalene 8 og 12 blitt brukt (se Figur 2). Vegetert areal har høy verdi i NIR og lav i SWIR, mens en ny hogstflate har lav verdi i NIR og høy i SWIR. Indeksen får dermed fram kontrasten mellom disse to tilstandene.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) er en mye brukt spektral indeks for å analysere vegetasjon. I likhet med NBR baserer den seg på differansen mellom to kanaler; i dette tilfellet nærinfrarød (NIR) og rød (R) kanal. Formelen er $NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$. Med NDVI kan man blant annet tolke om jordbruksarealer høstes, og fordi en typisk utvikling / høsting er kjent for ulike produksjoner kan man også tolke om jordbruksarealet brukes til korn (jevn utvikling i vegetasjonen frem mot en høsting) eller gras (høstes flere ganger gjennom sesongen). I Figur 8 vises to typiske tidsserier for hhv. korn og eng. Siden korn høstes kun én gang i løpet av vekstsesongen viser den en typisk klokkeformet kurve; eng derimot, som høstes to eller tre ganger, vil ha korte perioder med lite grønn vegetasjon og dermed lave NDVI-verdier. Ved å analysere slike kurver for en vekstsesong kan en klare å skille skifter med kornproduksjon fra skifter med grasproduksjon. Man kan også tolke om jordbruksarealet høstes eller om det er i en gjengroingsprosess: Manglende høsting vil vises som tidsserier der NDVI ikke faller i verdi før langt utpå høsten ved løvfall når klorofyllet brytes ned.



Figur 7. Figuren viser en typisk endring for en piksel som var skogdekt i 2017 og hogstflate i 2018. Dette arealet ble hogd høst/vinter 2017/2018. NBR er en indeks beregnet fra ulike spektrale data som forteller om mengden vegetasjon. NBR er en indeks basert på differansen mellom kanalene 8 (NIR) og 12 (SWIR).



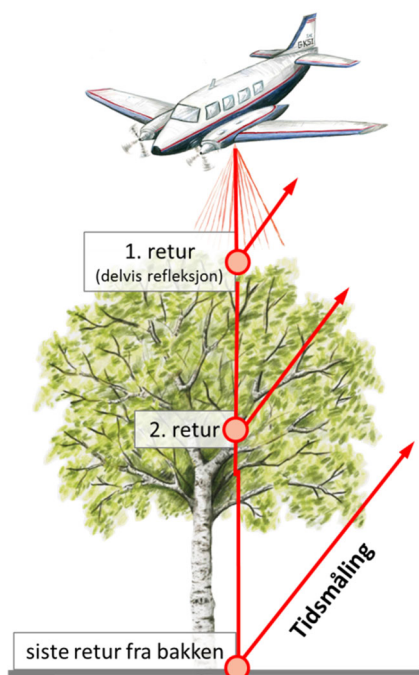
Figur 8. Tidsserie for to piksler: en over en kornåker og en over en eng med kontinuerlig grasdekke. NDVI er en indeks basert på differansen mellom kanalene 8 (NIR) og 4 (Rød).

3 Laserskanning og andre datakilder

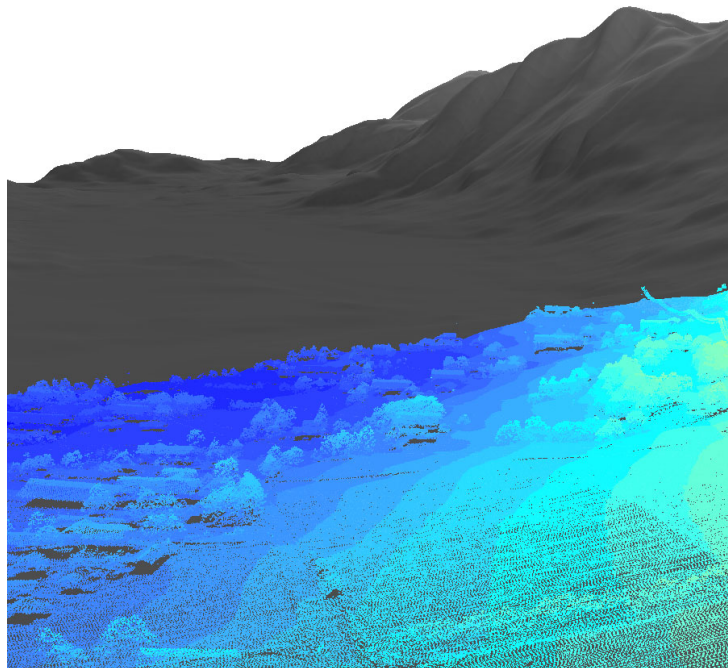
På grunn av den forholdsvis grove pikselstørrelsen i Sentinel-2 (10 x 10 m), er det mange elementer og typer endringer som ikke fanges opp godt nok kun ved bruk av satellittdata. For enkelte formål er derfor kombinasjon av data fra ulike kilder den beste løsningen (Crutchley 2009). Eksempler på tilleggsdata kan være eksisterende eller eldre kartdata (f.eks. AR5), data samlet ved feltbaserte undersøkelser (for eksempel bygningsdokumentasjon fra Riksantikvarens overvåkingsprogram «Gamle hus da og nå»), informasjon om endringer i jordbruksdrift fra søknader om produksjonstilskudd, eller planlagte nye bygninger fra kommunenes egne dataregistre. Kanskje det aller viktigste vil være å integrere informasjon fra kulturminneregistre (som Askeladden og SEFRAK) slik at kulturminnernes plassering i landskapet er kjent. Dette vil gi grunnlag for å tolke betydningen av ulike typer endringer, dvs. hvorvidt arealendringer truer eller fremmer de kulturhistoriske verdiene.

Flybåren laserskanning

Et godt supplement til satellittbilder er data fra laserskanning. Laserskanning eller LiDAR (*Light Detection and Ranging*) gjør det mulig å lage en detaljert 3D-modell av jordas overflate. I prinsipp fungerer laserskanningen som orienteringssystemet til en flaggermus. Laserskanneren sender hundretusener av laserpulser mot bakken per sekund og når laserpulsen treffer overflaten av et objekt, reflekteres signalet tilbake til skanneren (Figur 9). Fra vegetasjon er det ofte flere signaler per laserpuls som sendes tilbake fordi laserpulsen klarer å trenge gjennom trekronen. For å beregne avstanden mellom skanneren og jordoverflaten, stopper systemet tiden fra da laserpulsen blir sendt til den kommer tilbake. Disse høydemålingene blir framstilt i form av en punktsky (Figur 10). Tettheten av punktskyen (og dermed oppløsningen) er avhengig av hvor mange laserpulser skanneren klarer å sende ut per kvadratmeter. På landskapsnivå er det vanlig å bruke oppløsninger mellom 1 og 5 punkt per m².



Figur 9: Prinsipp av laserskanning. Utsendte laserpuls blir reflektert en eller flere ganger fra objekter og sendt tilbake til skanneren.



Figur 10: Eksempel av en laserpunktsky med 2 pkt/m². Allerede i rådataene blir mange landskapselementer synlig som f.eks. bygninger, vegetasjon, kraftlinjer eller steingjerder

Sammenlignet med satellittbilder har laserskanning noen fordeler. Mens en satellitt passivt måler reflektert sollys fra bakken, bruker laserskanneren en egen lyskilde og den regnes dermed som en aktiv fjernmålingsmetode. Fordelen med dette er at en laserskanning kan gjennomføres uavhengig av tid på dagen og været. Laserskanning gir informasjon både om terrengform og alle objektene på overflaten. Videre har laserskanningen mye høyere oppløsning enn satellittbilder (<0,5 m fra LiDAR mot 10 m fra satellitt). Dette gjør at også små objekter som f.eks. stolper, kraftlinjer, busker eller steinrøyser blir registrert. LiDAR leverer imidlertid kun høydeinformasjon av terrenget og objekter, og ikke noe bildeinformasjon. Det er derfor vanlig å bruke LiDAR i kombinasjon med flybilder eller satellittbilder. Det er viktig å være oppmerksom på at en laserskanning produserer enorme datamengder, noe som stiller høye krav til det tekniske utstyret når dataene skal prosesseres.

Potensialet ved bruk av LiDAR for kartlegging og overvåking av kulturmiljøer

Muligheter til bruk av LiDAR innen kulturminneforvaltningen har tidligere blitt undersøkt av NIKU i prosjektet «Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer» (Risbøl mfl. 2011). Rapporten konkluderer at LiDAR egner seg svært godt til registrering og kartlegging av de fleste typer kulturminner, bl.a. fangstgroper, gravhauger, kullmiler og kullgroper. Særlig avgjørende i denne sammenheng er med hvilken punkttetthet laserskanningen blir gjennomført. Innen kulturminneforvaltningen anbefaler Risbøl mfl. (2011) en punkttetthet av 3-5 pkt/m². Men også andre landskapselementer som enkelttrær, steingjerder og steinrøyser kan registreres med LiDAR.

Figur 11 og Figur 12 viser et eksempel fra Hemsedal bygdetun som illustrerer detaljgraden og oppløsning som kan oppnås med en laserskanning.

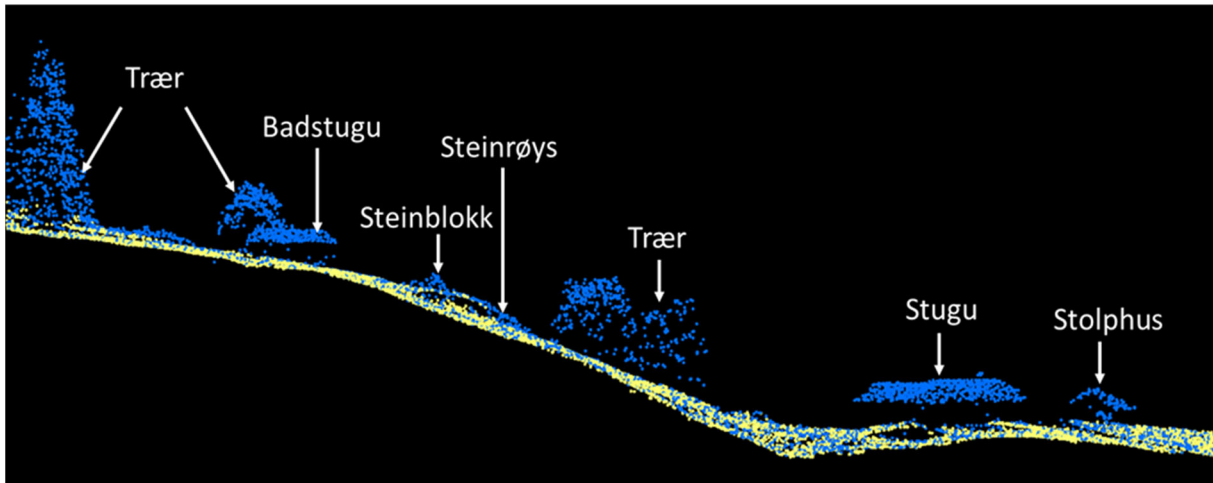
Selv om laserdata egner seg svært godt for registrering og kartlegging av landskapselementer på ett tidspunkt, finnes det fortsatt noen utfordringer når målet er overvåking. Gjennom arbeidet i Kartverkets prosjekt «ny nasjonal detaljert høydemodell (NDH)» vil det innen 2022 foreligge laserdata for hele landet fra minst ett tidspunkt med en punkttetthet av 2 pkt/m² (enkelte områder 5 pkt/m²). Dessverre er det lite sannsynlig at en slik systematisk skanning kommer til å bli gjentatt, slik at framtidige skanninger må bestilles etter behov. Selv om noen områder faktisk har laserdata fra to tidspunkt, er datagrunnlaget ennå ikke omfattende nok for endringsanalyser over lang tid. Likevel kan de dataene som allerede eksisterer fungere som en «baseline» og være et utgangspunkt for videre analyser med fly- og satellittbilder.



A) Syn fra midten av bygdetunet oppover mot bakken. Steinrøyser som er markert nedenfor er godt synlig i midten av bildet. Foto: U. Bayr, NIBIO

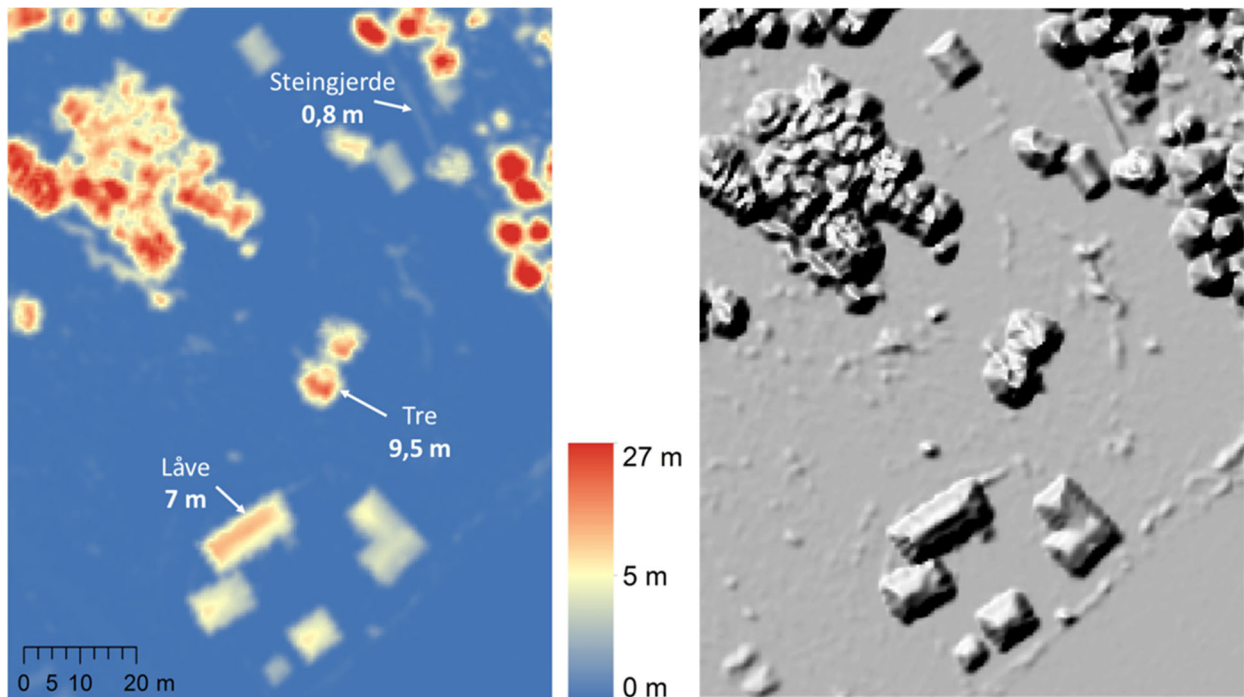


B) Det røde rektangelet i flybildet viser plassering og retning av tverrsnittet



C) Tverrsnitt av en laserpunktsky som viser bakken (gul) og forskjellige objekter på overflaten (blå)

Figur 11: Laserskanning av Hemsedal bygdetun.



Figur 12: Normalisert overflatemodell (venstre) med tilsvarende skyggemodell (høyre). Terrengmodellen ble trukket fra overflaten slik at vi får informasjon om hvor høye de enkelte objektene er.

Det ligger mye potensial i LiDAR, men det kommer sannsynligvis til å ta noen år før denne teknologien virkelig kan tas i bruk som metode for systematisk overvåking. Vi regner likevel med at det vil bli enklere i framtida å gjennomføre laserskanninger, for eksempel gjennom bruk av droner eller satellittbasert LiDAR. Enn så lenge ser vi LiDAR som en supplerende datakilde til satellittbildene for mer detaljerte analyser av mindre områder. For eksempel kan LiDAR hjelpe til å registrere små elementer som satellitten ikke klarer å fange opp med sin oppløsning. I tillegg kan LiDAR levere nøyaktig høydeinformasjon for vegetasjon og ulike objekter. Særlig i forhold til gjengroing kan laserskanning gi en tidlig indikasjon på at et areal er i ferd med å gro igjen. Ikke minst kan en LiDAR-basert overflatemodell brukes til å avgrense landskapsrommene og evaluere synligheten fra utvalgte ståsteder som vi har demonstrert i denne rapporten (se kapittel 6.4 Landskapsrom)

4 Sårbarhet

Det kan være mange ulike typer endringer som kan true kvalitetene i kulturhistoriske landskap. Eksempler kan være byggeprosjekter, intensivering av jordbruk, gjengroing av jordbruksareal og utvikling av infrastruktur som veier og jernbaner. Truslene kan være ulike i ulike landskap, men også i ulike deler av et landskap. For å kunne vurdere trusselbildet kan det være aktuelt å dele inn enkelte områder i ulike soner. Som eksempel vil neppe de samme potensielle endringer være aktuelle eller relevante langs hele Haldenvassdraget. Hva som er hensiktsmessig i så måte må imidlertid vurderes for det enkelte område.

Truslene vil også opptre på ulike romlig skala, fra en enkelt bygning på en privat eiendom til for eksempel den større jernbaneutbyggingen som for tiden diskuteres i Sarpsborg/Fredrikstad. Det er sannsynligvis også slik at ulike deler av disse utvalgte områdene har ulik følsomhet for endringer (sårbarhet), og også for ulik type endringer. For eksempel, en bygning som ikke vurderes å påvirke kvaliteter negativt i ett område, kan oppleves å medføre vesentlig forringelse i et annet. I rapporten «Kulturhistoriske landskap av nasjonal interesse i Østfold» (Riksantikvaren 2015) er det et kapittel for hvert område hvor sårbarhet og forvaltning er presisert. Dette er et godt utgangspunkt for at de som bruker og forvalter landskapet forstår hva faglige myndigheter definerer som særtrekk og spesielle kvaliteter i det enkelte landskapet.

5 Resultater og metoder fra Oldtidsveien – Skjebergsetta

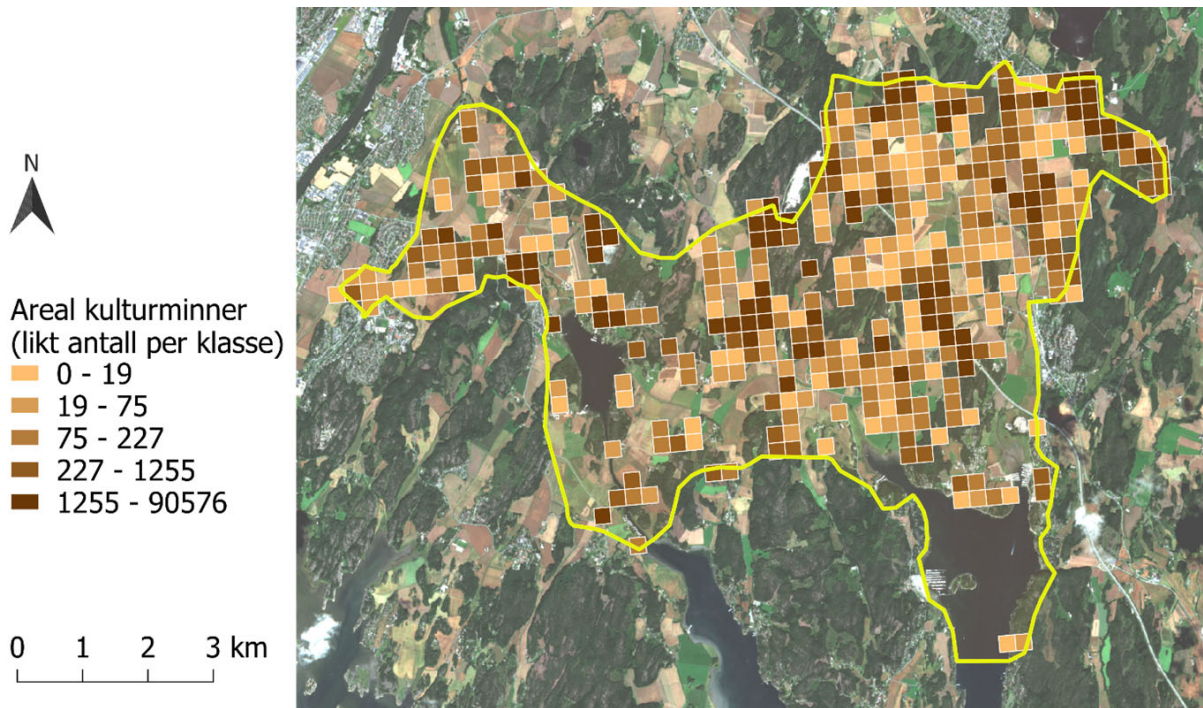
5.1 Registerdata og rutenett

Det kulturhistoriske landskapet Oldtidsveien-Skjebergsetta er preget av et stort antall kulturminner, knyttet til dyrking, ferdsel, bosetting og gravlegging over svært lang tid. Et første trinn for å lage et grunnlag for overvåking er å få oversikt over hvordan de ulike kulturminnene er fordelt i landskapet. Fordi det er mange små objekter, fordelt over et stort areal, er ikke kulturminnene direkte synlig på et kart over hele området. Derfor er det nyttig å oppsummere og visualisere kulturminnenes fordeling ved hjelp av ruter. Vi valgte å bruke rutenettet til SSB (Strand & Bloch 2009), fordi dette gjør det mulig å koble endringer i rutene til drivkrefter, som for eksempel befolkningsvekst og endring i bygningsmasse. Dette er statistikk som SSB publiserer for de samme rutene. For å få et nyansert bilde av landskapet har vi valgt å bruke ruter på 250 x 250 m.



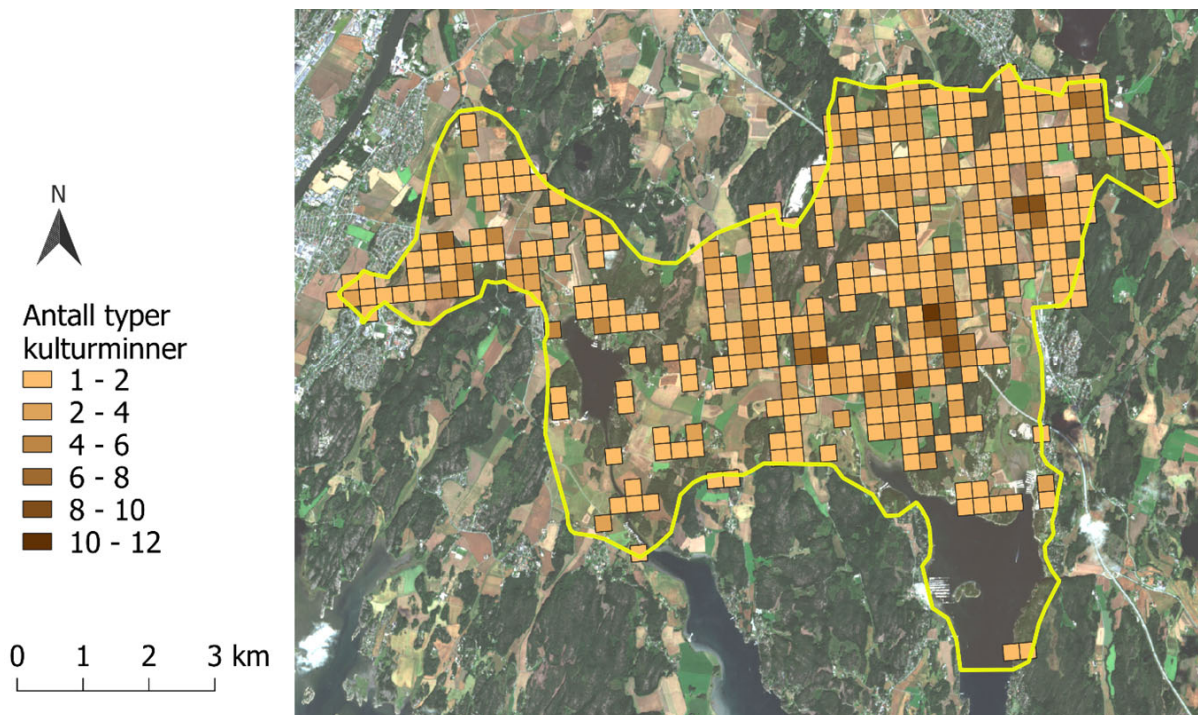
Figur 13. Det kulturhistoriske landskapet Oldtidsveien-Skjebergsetta er preget av et stort antall kulturminner av mange ulike typer fordelt rundt i landskapet. Foto: W. Dramstad, NIBIO.

Vi hentet kulturminnedata fra Riksantikvarens database Askeladden, lastet ned fra geodata.no (Kulturminner – enkeltminner). Den aller enkleste oppsummeringen er å se på antall kulturminner per rute. Dette ble imidlertid ikke direkte meningsfylt, fordi databasen inneholder svært mange ulike typer kulturminner og det er ikke nødvendigvis slik at 25 stolpehull er «like mye verdt» som en bygdeborg. En annen mulig tilnærming som kan være mer meningsfull, er å oppsummere etter *areal* kulturminner per rute (se Figur 14). Alle enkeltminner har et areal i Askeladden, også det man kunne tenke på som «punktelementer» slik som stolpehull. Dersom man skal bruke denne fremgangsmåten er det viktig å være klar over at utgangspunktet er enkelminnene, og at verdi-spørsmålet er et vesentlig bakteppe for å tyde og bruke resultatene.

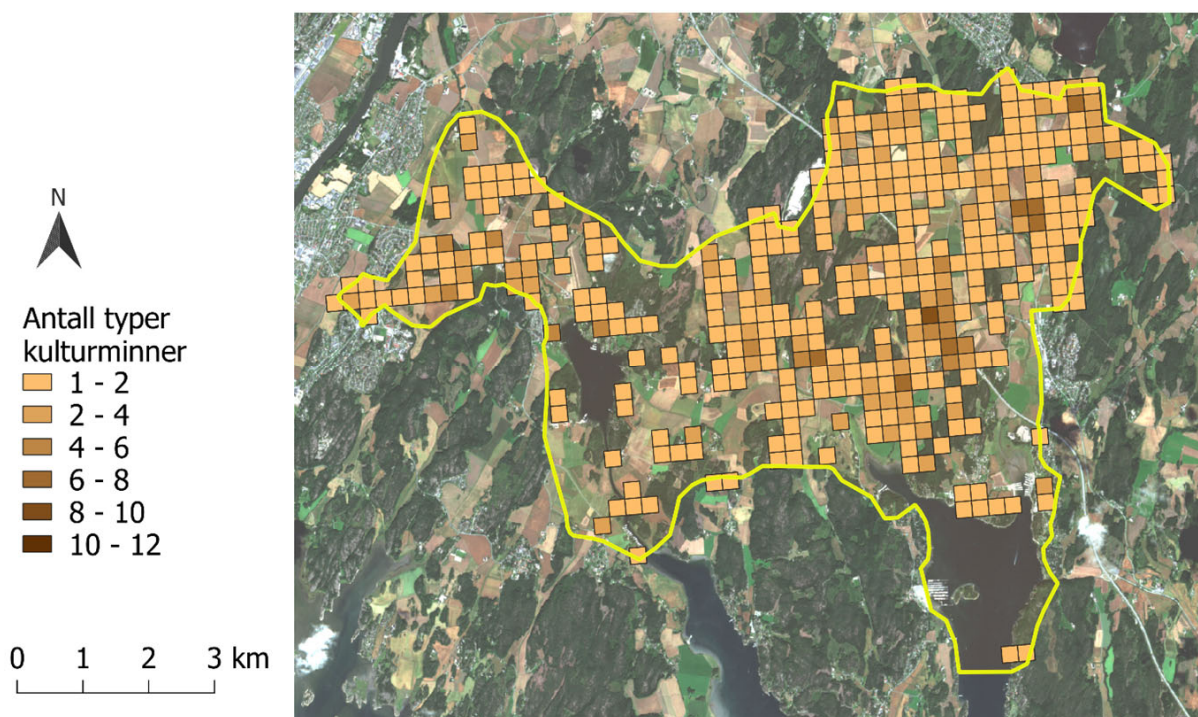


Figur 14. Areal kulturminner per rute (kvadratmeter). Rutene er fargelagt for å framheve forskjellene. Klasseinndelingen er gjort slik at hver klasse får like mange ruter.

Det kulturhistoriske landskapet Oldtidsveien-Skjebergsetta inneholder ikke bare et stort antall kulturminner, men også et stort mangfold av kulturminner. Også for dette målet er det imidlertid nødvendig med videre bearbeiding for å få en meningsfull oppsummering fordi noen typer kulturminner er mer like enn andre. Derfor kan det være nødvendig å gruppere nærliggende typer, som for eksempel ulike typer steinstreng, steingjerder osv. Dette vises i Figur 15 og Figur 16 med resultat for område før og etter en omklassifisering av typer, der like typer er gruppert sammen.



Figur 15. Antall typer kulturminner.



Figur 16. Antall typer kulturminner, justert ved å gruppere typer som er veldig like hverandre.

I beskrivelse av KULA Oldtidsveien-Skjebergsetta framheves det at området har en stor tidsdybde, med kontinuerlig bruk fra yngre steinalder til i dag. Gitt at stor tidsdybde er en kvalitet ved landskapet, mener vi det kunne vært interessant å synliggjøre denne tidsdybden på rutenivå og framheve ruter hvor mange ulike epoker er representert. Datering av kulturminner er imidlertid ikke lett og mens noen enkeltminner er datert til en presist definert periode, er det mange som har en mye grovere

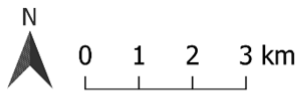
datering (Tabell 1). Dette gjør det vanskelig å gi en god representasjon av antall tidsepoker representert, i hvert fall dersom man ønsker en detaljert skala på tidsepokene. Alternativt kan man benytte grovere inndelinger i tidsepoker. I Figur 17 har vi fargelagt området etter den eldste registreringen i hver rute. Man kommer likevel ikke bort fra begrensningen med usikre dateringer og vi anbefaler ikke å gå videre med denne indikatoren på det nåværende tidspunkt. En slik tilnærming kunne imidlertid være aktuell om for eksempel faglige myndigheter gjorde en vurdering av hvor det var / ikke var spesielt stor tidsdybde.

Uansett viser dette at metoden med inndeling i rutenett gjør det mulig å knytte forskjellige typer av egenskaper til kulturminnene som deretter kan analyseres som bakgrunn for å bestemme typer av overvåking.

Tabell 1. Antall kulturminner i ulike dateringsklasser (KM_DAT). Noen klasser er presist definert, f.eks. 031, mens andre er mye grovere f.eks. 072. Helleristningsfelt er et eksempel på et vanlig kulturminne i området, mens steinringene er noe man bare finner to steder. Foto: W. Dramstad, NIBIO.

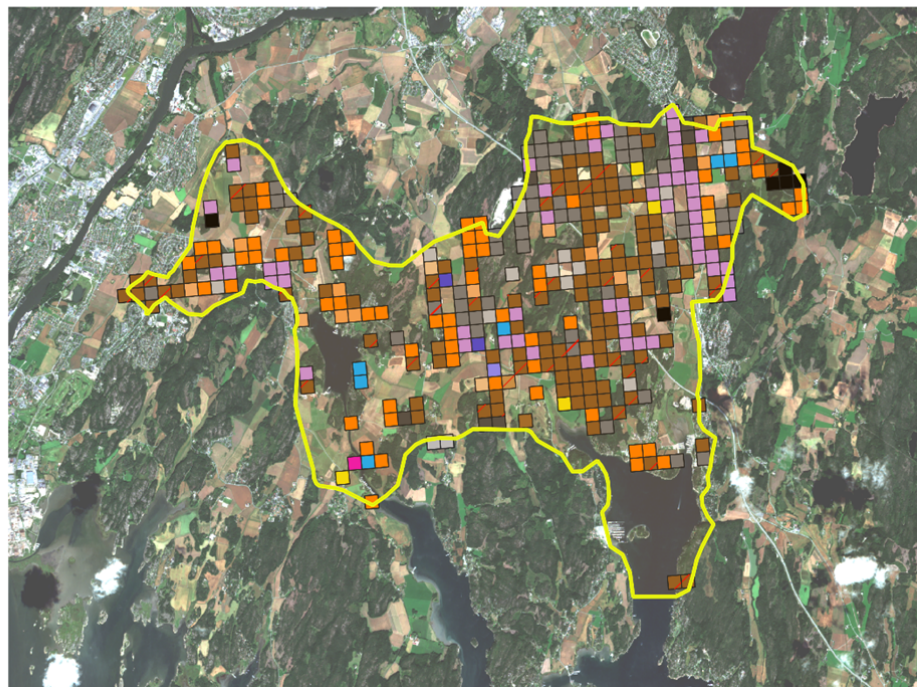
KM_DAT	Periode	Antal
000	Førreformatorisk tid	48
010	Istid	5
020	Steinalder	70
021	Eldre steinalder	10
022	Yngre steinalder	21
030	Bronsealder	220
031	Eldre bronsealder	4
032	Yngre bronsealder	13
040	Jernalder	549
041	Eldre jernalder	24
042	Førromersk jernalder	23
043	Romertid	18
044	Folkevandringstid	7
045	Yngre jernalder	3
046	Merovingertid	11
047	Vikingtid	8
050	Middelalder	18
051	Tidlig middelalder	2
052	Høymiddelalder	2
053	Senmiddelalder	3
070	Steinalder - bronsealder	11
071	Senneolitikum - bronsealder	7
072	Bronsealder - jernalder	317
073	Jernalder - middelalder	10
074	Yngre jernalder - middelalder	1
075	Vikingtid - middelalder	4
100	Etterreformatorisk tid	4
161	1600-1624	1
170	1700-1799	2
172	1725-1749	1
181	1800-1824	1
182	1825-1849	1
183	1850-1874	2
190	1900-1999	1
999	Uviss tid	16
Sum		1438





Eldste KM_DAT

- Førreformatorisk tid
- Istid
- Steinalder
- Eldre steinalder
- Yngre steinalder
- Bronsealder
- Eldre bronsealder
- Yngre bronsealder
- Jernalder
- Eldre jernalder
- Førromersk jernalder
- Folkevandringstid
- Merovingertid
- Vikingtid
- Middelalder
- Høymiddelalder
- Steinalder - bronsealder
- Bronsealder - jernalder
- Vikingtid - middelalder
- Etterreformatorisk tid
- 1900-1999
- Uviss tid



Figur 17. Kartet er fargelagt etter den eldste registrering i hver rute.

Disse ulike framstillinger av enkeltminner i området er et første trinn for å lage *et grunnlag* for overvåking. Man kan for eksempel tenke at denne type fremstilling sier noe om sårbarhet i ulike deler av området. Målet vil være å bruke dette videre for å tallfeste hvordan endringer i kulturminnenes omgivelser vil kunne endre opplevelsen av det kulturhistoriske landskapet. Det vil være viktig å se på hvordan endringer i vegetasjonen og nye menneskelige inngrep påvirker området – både i umiddelbar nærhet til kulturminner, men også i forhold til deres visuelle tilgjengelighet. Visuelle forhold er fremhevet som viktig for dette KULA-området, både gjennom omtale i rapporten for Østfold (Riksantikvaren 2015) og under befaringen i området. Spesielt viktig er endringer i det visuelle landskapet som oppfattes fra Oldtidsveien. Det er også noen siktlinjer i landskapet som er viktige å ivareta. Da det å overvåke visuelle aspekter ved landskapet generelt er mindre utviklet metodisk enn for eksempel å overvåke endringer i vegetasjon eller arealbruk, samtidig som det er formidlet som spesielt viktig i vårt testområde, har vi valgt å legge litt ekstra arbeide i å prøve ut metoder for en slik overvåking. I de neste delene beskriver vi hvordan satellittdata i kombinasjon med terrengmodeller og såkalte overflatemodeller vil kunne bidra til slik overvåking.

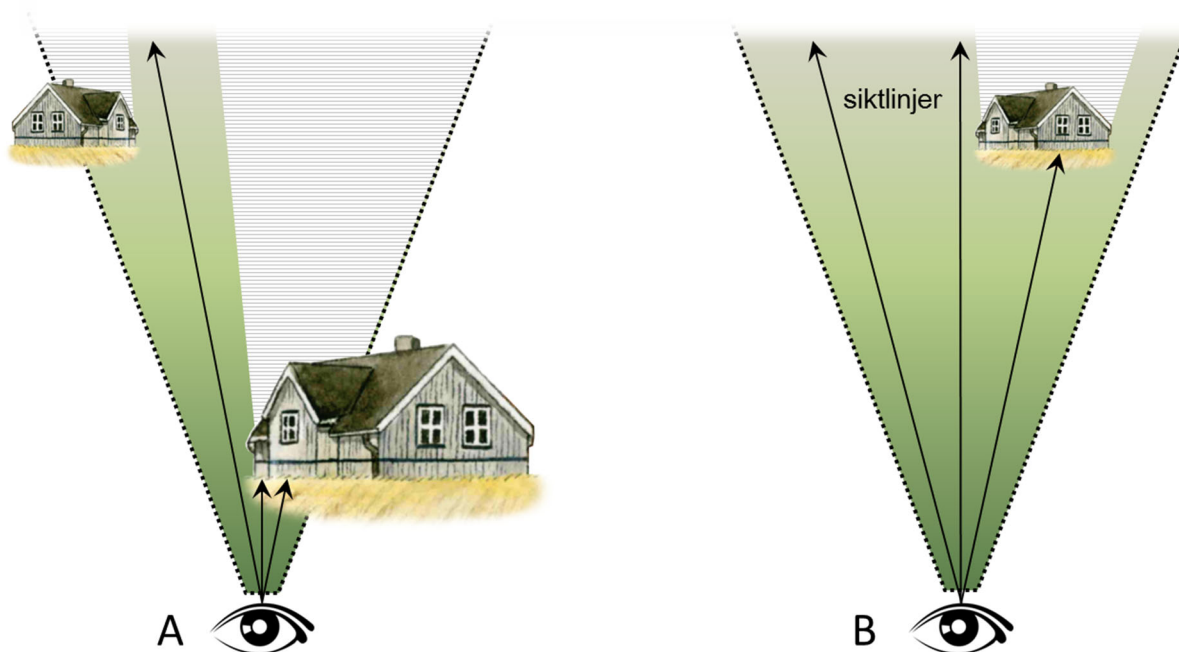
6 Synlighetsanalyse

Det er viktig å være bevisst at data som brukes i overvåking, f.eks. fra satellitt eller flybilder, viser landskapet i et «fugleperspektiv». Vår opplevelse av landskapet skjer fra et helt annet perspektiv. Dette gir en del forskjeller i hva som fanges opp i landskapet som det er nødvendig å være oppmerksom på, og det er ikke alltid mulig å overføre direkte fra det ene til det andre perspektivet.

6.1 Det visuelle landskapet

I denne delen bruker vi terreng- og overflatemodeller til å undersøke landskapets visuelle tilgjengelighet. Vi identifiserer hvilke deler av landskapet som er synlige fra sentrale utsiktspunkter og hvor mange utsiktspunkter ulike deler av landskapet er synlige fra. Synlighet spiller en viktig rolle for hvordan vi opplever landskapet. Endringer i synligheten, f.eks. som følge av gjengroing påvirker denne opplevelsen i stor grad. Til hvilken grad synligheten fra et punkt blir redusert er avhengig av hvor og i hvilket omfang endringene skjer. For eksempel har det mye større negativ virkning når et hus bygges nær et utsiktspunkt enn når det bygges langt unna (

Figur 18). Samtidig kan denne endringen langt unna ha større virkning i forhold til et annet utsiktspunkt.



Figur 18: Landskapsendringer som f.eks. nedbygging påvirker siktlinjene i et landskapsrom på ulik måte. Når endringer skjer nær et utsiktspunkt (A) reduseres synsfeltet og siktlinjer avbrytes i større grad enn når endringer skjer på lang avstand (B).



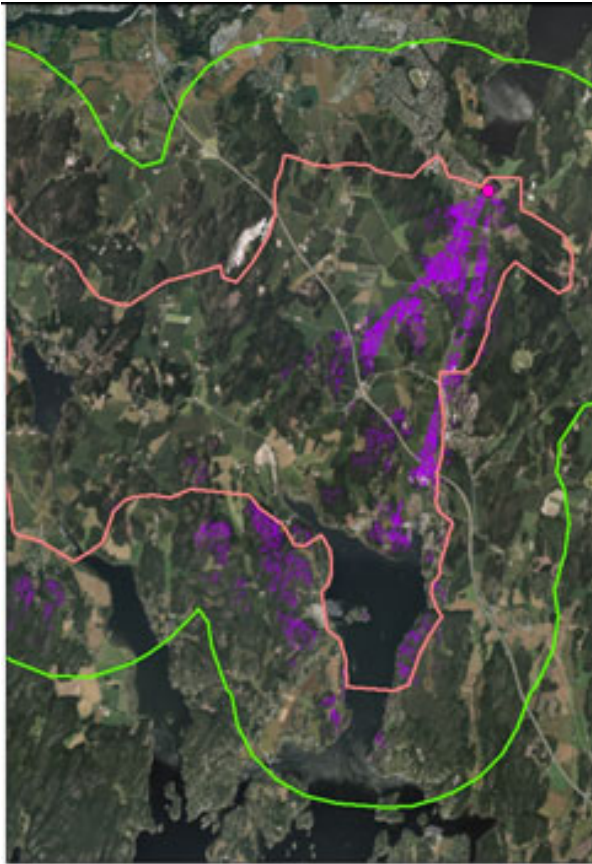
Figur 19. Oldtidsveien-Skjebergsletta er kjennetegnet av nettopp store slettearealer avgrenset av lave skogkledde åser som gir store landskapsrom og lange siktlinjer. Foto: W. Dramstad, NIBIO

I studieområdet ble til sammen 23 sentrale utsiktspunkter pekt ut av Lars Ole Klavestad, rådgiver og landskapsarkitekt fra Fylkeskonservatoren i Østfold. Dette inkluderte punkter langs veier og typiske utsiktspunkter for turister, som Borge varde og Solbergtårnet. Synligheten fra ulike ståsteder er vanskelig å vurdere kun basert på satellittbilder siden det er i hovedsak terrengform og høyden til ulike objekter som bestemmer synlighetsgraden. En forenklet metode basert på satellittbilder hadde vært å kartlegge alle elementer som potensielt kan redusere synligheten (f.eks. vegetasjon og bebyggelse), men for et mer realistisk resultat er vi nødt til å kombinere satellittdataene med en digital høydemodell. Her anbefaler vi å bruke en digital overflatemodell med minst 5 m oppløsning som inkluderer høydeinformasjon for både terreng og landskapselementer.

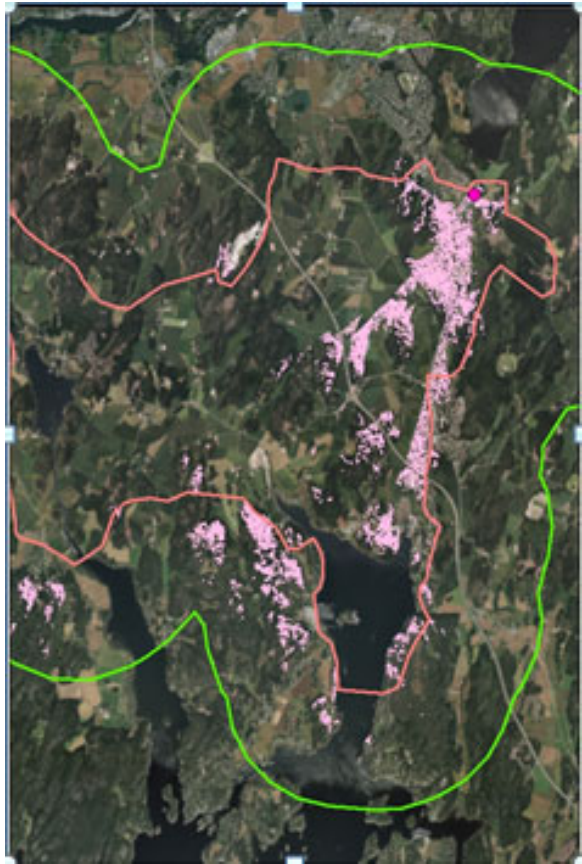
Vi testet to ulike alternativer å generere en overflatemodell:

1. Digital overflatemodell 1 ble laget som en kombinasjon av:
 - a. Digital høydemodell (Statens kartverk) med 10 meters oppløsning og
 - b. LiDAR (laserdata) overflatekartlegging med 4 meters oppløsning for å få inn overflater i form av vegetasjon, bygninger og annet i landskapet som vil påvirke synligheten.
1. Digital overflatemodell 2 var basert på TanDEM-X, en tysk aktiv radar satellitt som bruker mikrobølger. Den har originalt 12 meters oppløsning, men vi har resamplert dataene til 10 meters oppløsning. TanDEM-X består av to satellitter som går tett sammen. De bytter på å sende ut radar-pulser mot jordoverflaten, mens begge mottar det samme ekkot. I og med at satellittene har ulike plasseringer i rom da de mottar ekkoen så blir det faseforskjeller mellom de to radarbildene, og disse kan brukes til å beregne høyden på jordoverflaten (Solberg mfl. 2014). Bølgelengden som brukes trenger ikke gjennom vegetasjon, bygninger og annet, slik at resultatet blir en overflatemodell. (Sentinel-1 kan i utgangspunkt ikke brukes på tilsvarende måte fordi de to satellittene ikke er tett nok sammen, men det jobbes internasjonalt for å finne metoder for å lage overflatemodell også fra Sentinel, se f.eks. Arellano-Pérez mfl. 2018).

a)



b)

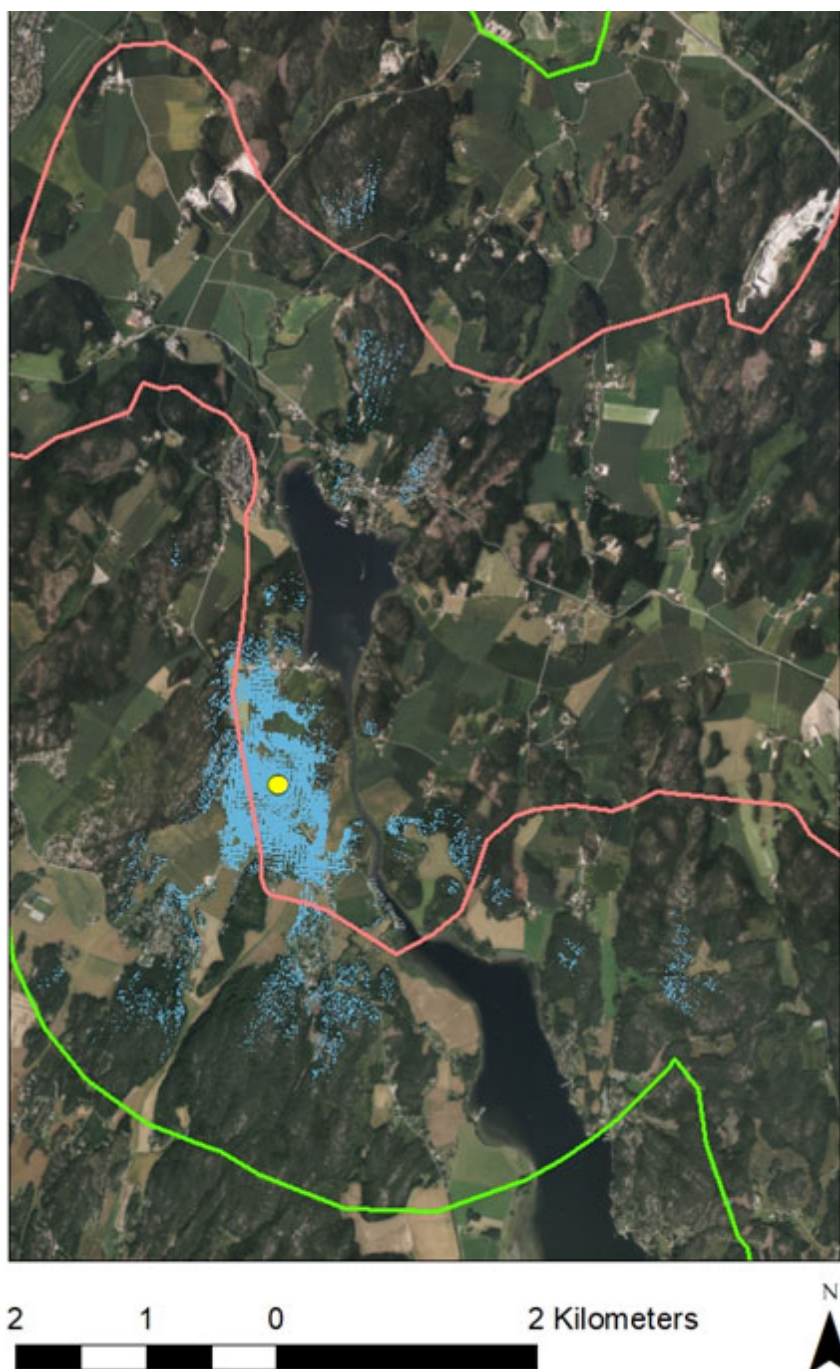


Figur 20. Kartene viser piksler synlige fra Rokkeveien – Bodalsvei ved bruk av hhv modell 1 og modell 2. Bildet under viser samme punkt fra Google Street View.



Som dette kartparet viser kommer det kartlagte området ganske likt ut i de to modellene, men modell 1 (LIDAR) er noe mer konservativ enn modell 2. Med det mener vi at noe færre piksler kommer ut som

synlige i modell 1 enn i modell 2. Modell 1 kartene har også en noe høyere romlig oppløsning (4m) sammenlignet med modell 2 kartene. Det medfører at effekten av mindre objekter, som store trær, blir mer korrekt gjengitt i modell 1. Å bruke modell 1 basert på LIDAR gir derfor en mer nøyaktig fremstilling, og vi velger derfor kun å bruke denne modellen i de videre analysene. Figur 21 viser piksler synlige fra ett av utsiktspunktene.



Figur 21. Kartet viser piksler synlige fra Grimstadveien.

6.2 Landskap som er synlige fra alle utsiktspunktene – med buffersone

Kartet i Figur 22 viser hvilke deler av landskapet som er de mest synlige. Hver piksel er fargelagt basert på antall utsiktspunkter som den er synlig fra (av de 23 forhåndsdefinerte utsiktspunktene). Vi har brukt modell 1 og LIDAR for å analysere synlighet. Analysen viser at det er enkelte deler av landskapet som er mer synlige fra viktige utsiktspunkter enn andre. Dette er noe man bør ta hensyn til i forvaltningen av det visuelle landskapet.

Vi har også vurdert en buffersone utenfor området for å se hva som er synlig i buffersonen. Endringer i buffersonen vil kunne påvirke opplevelse av det kulturhistoriske landskapet og elementene i det. Betydningen av dette er noe man har erfart andre steder. Særlig større konstruksjoner (f.eks. vindmøller, store broanlegg) kan ha stor betydning for landskapsopplevelsen, selv om de er plassert utenfor det området som er i fokus. Vi har valgt en enkel tilnærming ved å etablere en buffersone med en definert bredde (2 km) uavhengig av terrenget. En slik analyse kan gi grunnlag for å definere en buffersone ut fra terreng og hva som faktisk vil være synlig fra selve KULA-området.

Under vises antallet piksler som er synlige fra hvert av de ulike utsiktspunktene (Tabell 2). Det er ingen piksler som er synlige fra flere enn ni av de 23 definerte utsiktspunktene, og maksimumsverdien i tabellen er derfor ni.

Tabell 2. Antall piksler i studieområdet, buffersonen og hele studieområdet inkludert buffersonen.

Antall utsiktspunkt pikselet er synlig fra	Antall piksler i studieområdet	Antall piksler i buffersonen	Antall piksler i hele studieområdet inkludert buffersonen
1	575 879	442 747	1 018 626
2	192 381	123 216	315 597
3	89 531	34 958	124 489
4	54 143	12 303	66 446
5	23 642	7 250	30 892
6	8 713	3 089	11 802
7	1 323	938	2 261
8	99	294	393
9		20	20

Som tabellen viser er det veldig mange piksler som er synlige fra ett punkt, mens bare ca 30 % av disse er også synlige fra to punkt. Litt under en tredel av disse igjen er synlige fra tre punkt, osv. Vår anbefaling er at man i forvaltning og overvåkingsøyemed bør være spesielt oppmerksom på de delene av landskapet som er synlige fra mange utsiktspunkt.

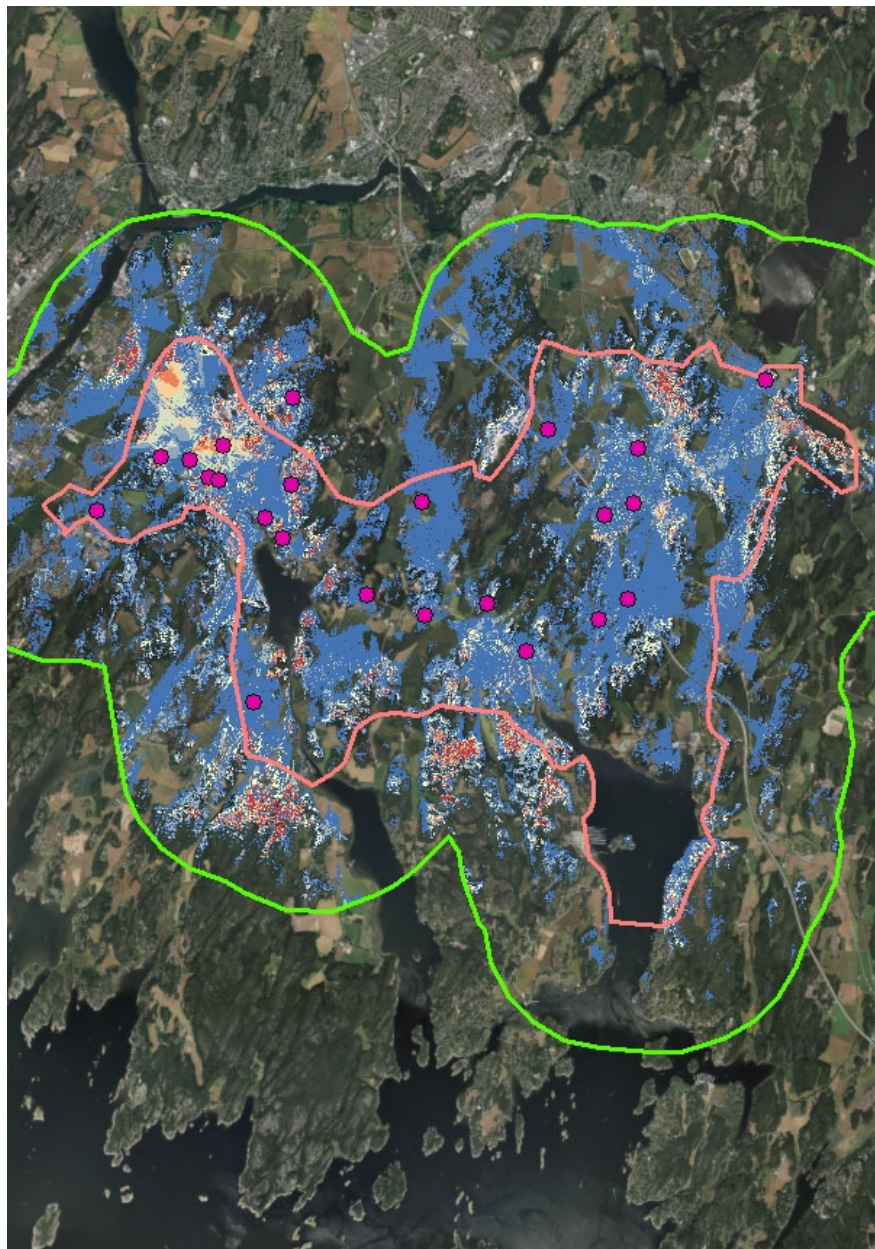
Analysene viser at dette spesielt er områder nordvest i landskapet – det er her man finner arealene som er synlige fra en stor andel av punktene. Dette er delvis fordi det er flere utsiktspunkter plassert i denne delen av landskapet, men det betyr jo også at dette er en viktig del av landskapet når det gjelder den visuelle opplevelsen. Dette er også en veldig åpen del av landskapet med lite terrengvariasjon. Størstedelen av arealet her ligger fra 15 til 35 meter over havnivå. Dette betyr at fortsatt jordbruk i denne delen av landskapet har stor betydning for å ivareta den visuelle tilgjengeligheten.

Også i sør finner analysene at det er mange punkter som er svært viktige, til tross for at det i denne delen av landskapet er færre utsiktspunkter. Også i denne delen av landskapet er jordbruket en viktig årsak, men i tillegg bidrar naturligvis sjøområdene til å sikre åpenheten. I denne delen av landskapet

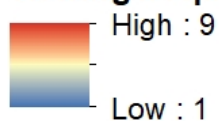
vil det å ivareta jordbruk eller andre former for arealbruk som ikke begrenser synbarheten sør for riksvei 110 sikre at man beholder de lange siktlinjene som finnes i landskapet i dag.

Åsene nord i landskapet er også synlige fra store deler av området. Det innebærer at svært synlige inngrep i disse områdene vil være synlige fra store deler av landskapet.

Det neste kartet viser det samme men med et flybilde som underlag, for å gjøre det enklere å kjenne igjen hvilke arealer som er mest synlige.



Viewing frequency from lookout points



Figur 22. Synbarhetsfrekvens fra de 23 utsiktspunktene. Rød farge indikerer at pikselen er synlig fra flere utsiktspunkter. De 23 utsiktspunktene er markert med rosa farge.

6.3 Kartlegging fra Oldtidsveien

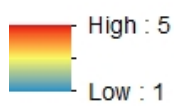
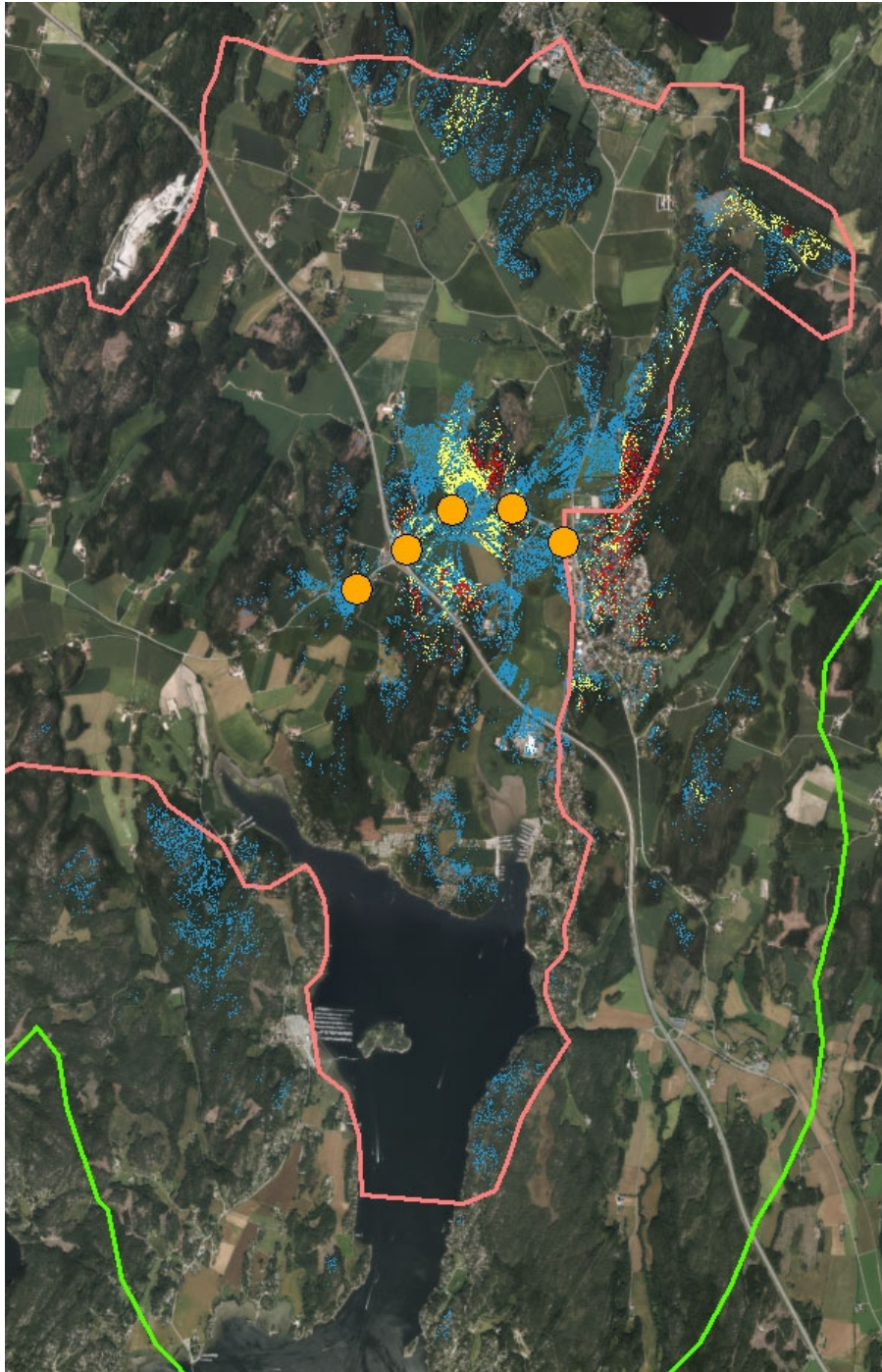
Ved siden av landskapets synlighet fra viktige utsiktspunkter, har også synligheten fra hovedveiene stor betydning for å styrke både gjenkjennelsesverdien og bevissthet om regionens egenart. «Grønne tunneler» som følge av gjengroing langs veiene har blitt et stort problem i mange regioner, særlig i områder der reiselivet er en viktig næring (Bryn mfl. 2013). Også i kulturhistorisk verdifulle kulturlandskap kan en reduksjon i synligheten ha store negative virkninger.

Målet med denne analysen var å erfare hvilke deler av landskapet som er synlige når man kjører langs de ulike delene av Oldtidsveien. For å analysere dette delte vi den totale lengden av Oldtidsveien innenfor studieområdet i fem seksjoner. Innenfor hver seksjon markerte vi fem punkt langs veien, med 500 meters avstand (Figur 24). For hver av de fem seksjonene analyserte vi hvor mange ganger hver piksel i studieområdet og en to kilometer bred buffersone er synlige fra de fem punktene. Dette ga en synbarhetsfrekvens for hver piksel med verdier mellom null og fem. Vi lagde kart som viser resultatene av denne analysen for de fem seksjonene av Oldtidsveien, fra øst til vest. I tillegg hentet vi enkelte skjermbilder fra *Google Street View* nær senter av de fem veiseksjonene for å vise hvordan dette faktisk ser ut (Figur 23).

Vi vil anbefale å gjøre en slik førstegangsanalyse av synligheten på grunnlag av en digital overflatemodell for å få realistiske resultater. Satellittbilder kan brukes i de påfølgende årene for å identifisere endringer som kan påvirke synligheten, for eksempel som følge av gjengroing eller utbygging.



Figur 23. Bildet representerer den midterste gule sirkelen på Figur 24, og fotoretningen er nordover.



Figur 24. Synlighet fra fem punkter med 500 meters avstand i seksjon 1.
Rød farge indikerer piksler som er synlige fra alle fem punkt.

6.4 Landskapsrom

Begrepet «landskapsrom» blir ofte brukt i visuelle landskapsanalyser og beskrives av Gansum mfl. (1997) som en sammensetning av «gulv» (flate områder), «vegger» (landskapselementer) og «tak» (himmelen). Landskapsrommene er tett knyttet til hvordan vi opplever et landskap og dermed områdets særegenhet. Siden utformingen av landskapsrommene bestemmer hvordan vi opplever et landskap og elementene i det, vil endringer påvirke denne opplevelsen. Innen arkeologifaget avgrenses landskapsrommene kun basert på terrengformen, mens i landskapsplanleggingen kan også vegetasjon og bygninger fungere som vegger og dermed brukes til avgrensning (Gansum mfl. 1997).

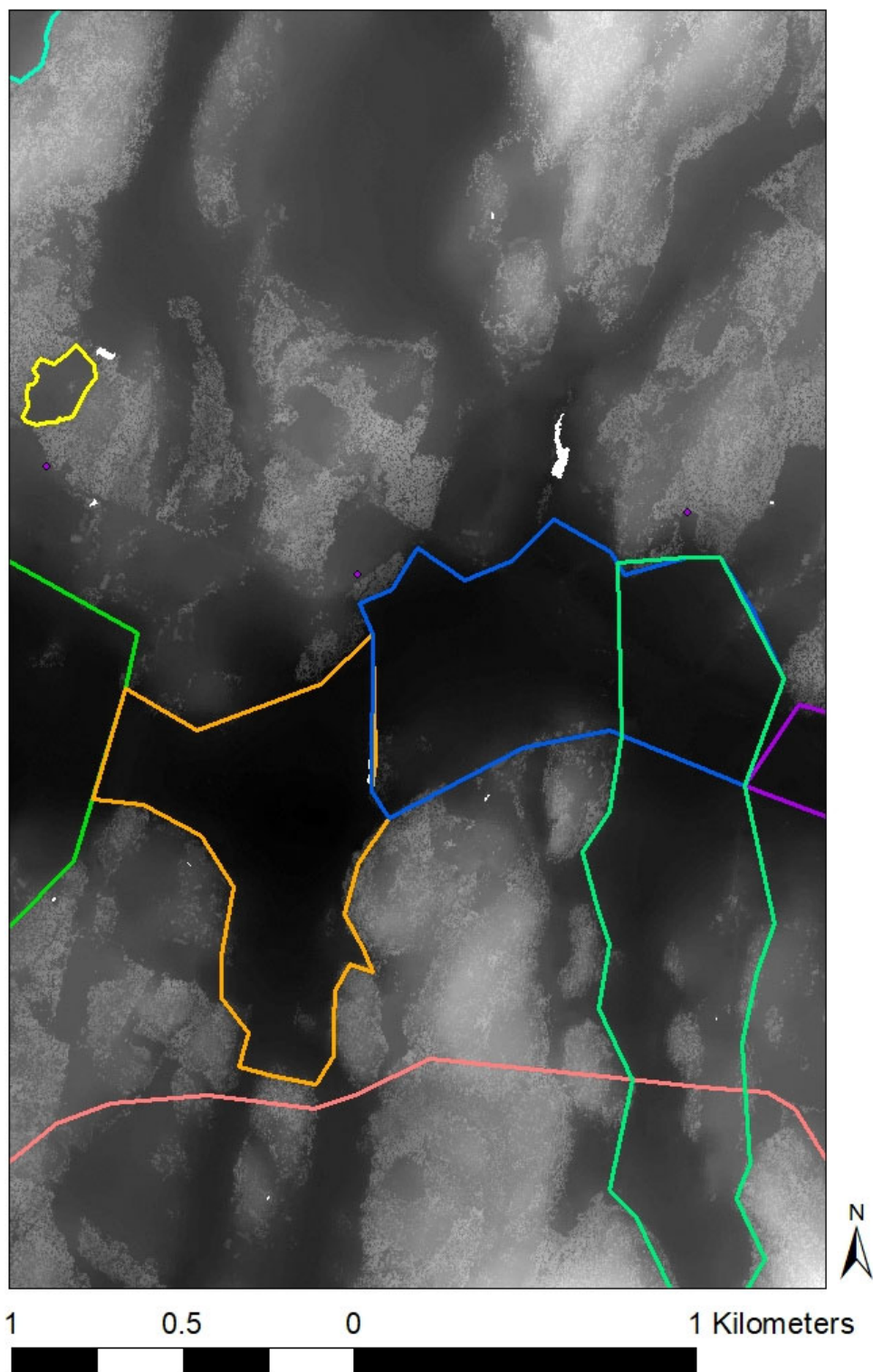
De store, åpne landskapsrommene er noe av særpreget ved dette landskapet, slik det også ble fremhevet i vår befarings og workshop i området. Vi har derfor prøvd å avgrense ulike landskapsrom innen studieområdet. Vi valgte å ta utgangspunkt i den LiDAR-baserte overflatemodellen (modell 1) som gir raskt indikasjon på de ulike landskapsrommene og er relativt enkelt å tolke visuelt. Landskapsrommene er imidlertid langt vanskeligere å avgrense maskinelt. For å demonstrere en tilnærming til dette har vi i denne sammenheng tegnet på grensene i rommene for hånd, basert på både overflatemodellen og flybilder fra området. Vi har begrenset oss på et utsnitt av studieområdet for å skape et grunnlag for en diskusjon av hva landskapsrommene er, hvordan de kan og bør avgrenses og for å vurdere om og i hvilken grad det vil være mulig å automatisere en slik prosess.

Som sagt kan det i startfasen være aktuelt å avgrense landskapsrommene manuelt basert på mer detaljerte datakilder. Denne avgrensningen kan deretter brukes som et sammenligningsgrunnlag i framtidige endringsanalyser basert på satellittbilder. For eksempel kan gjengroing av busker og trær på nedlagte arealer danne nye «vegger» og dermed bryte etablerte siktlinjer. Generelt lar sterk vekst av trær og buskvegetasjon seg registrere med satellittbildene, men den relativt lave oppløsningen tillater ikke registrering av de tidlige faser av gjengroing. Likevel kan vi bruke satellittdataene for å finne ut f.eks. om et areal er tatt ut av jordbruksdrift permanent eller kun midlertidig. Dermed får vi en tidlig indikasjon på områder som har en høy risiko for gjengroing framover. For denne oppgaven er Sentinel-2 med sin høye opptaksfrekvens sågar bedre egnet en flybilder. Flybilder tas ved ett tidspunkt hvert 3-8 år og gir dermed kun et øyeblikksbilde. Vi kan altså ikke være helt sikre på at et areal har vært ubrukt kontinuerlig mellom flybildeopptakene. Med satellittbilder får vi derimot en mer kontinuerlig overvåking og dermed et bedre grunnlag til å si om et jorde faktisk er gått ut av bruk permanent. Når nedlagte arealer er identifisert i satellittbildene på et landskapsnivå, kan det være hensiktsmessig å bruke flybilder og 3-dimensjonale data fra LiDAR for å analysere vegetasjonsstrukturen på et mer detaljert nivå.

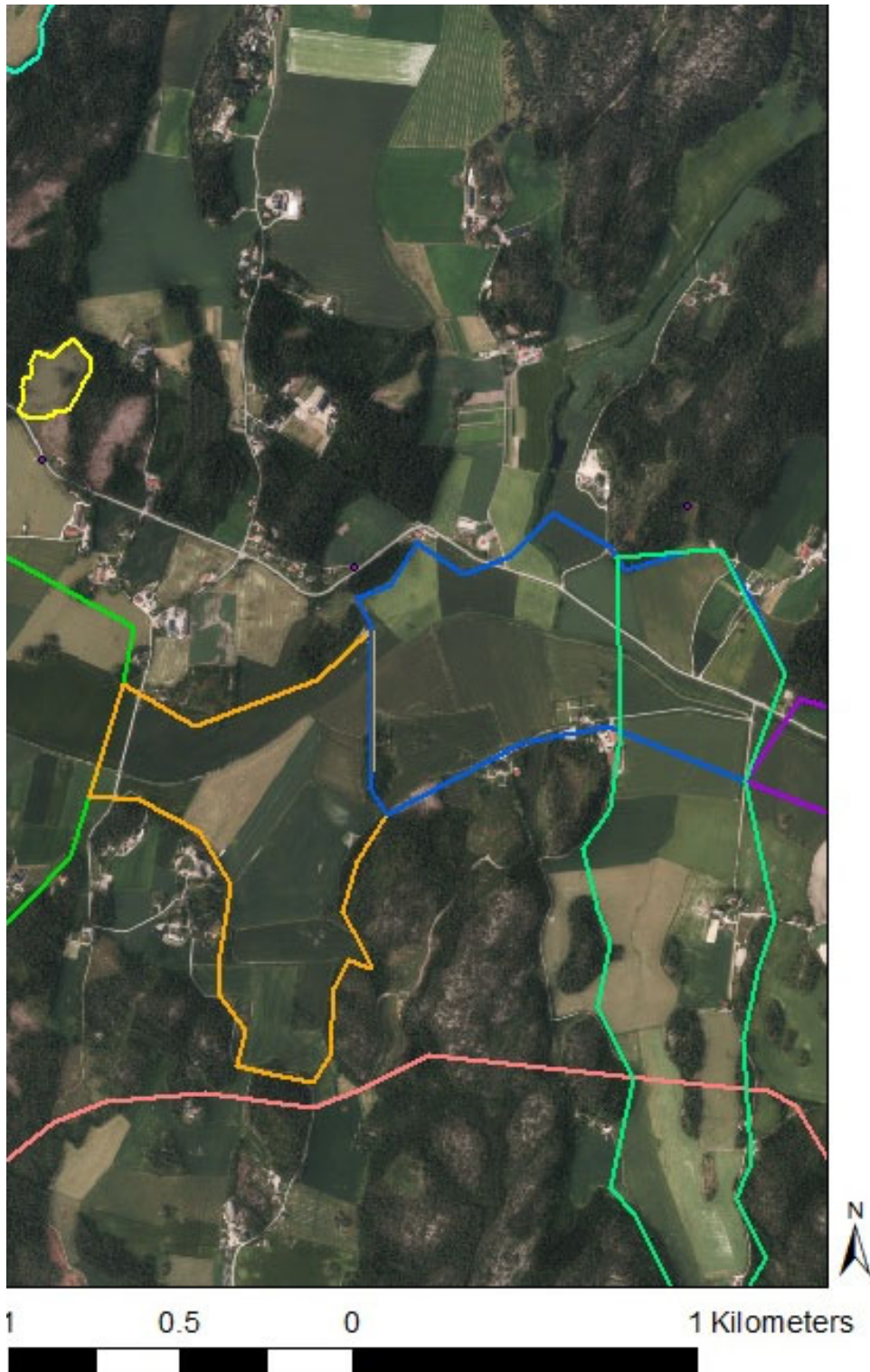
Selv om avgrensningen bør basere på andre datakilder, mener vi satellittbilder kan være godt egnet for å overvåke den videre utvikling av landskapsrommene på grunn av de store arealene som dekkes i hvert bilde. Vi forventer at en avgrensning av landskapsrom kan være til nytte når man analyserer endringer, ved at endringer som for eksempel berører flere ulike landskapsrom vil ha en større potensiell effekt. Om man videre ser dette i sammenheng med kulturminnernes fordeling i de ulike landskapsrommene kan dette gi et grunnlag for å vurdere endringenes alvorlighetsgrad. Dette er imidlertid noe vi mener bør testes nærmere, da det så langt vi er kjent med ikke er gjort noe tilsvarende.

Metodisk tenker vi at ved å gi alle piksler en tilhørighet til enten en kant ("vegg") eller en åpen flate ("gulv") i ett spesielt landskapsrom, kan vi overvåke om endringer påvirker størrelse og utforming av landskapsrommene. På denne måten vil vi for eksempel kunne fange opp om kantene flytter seg, ved at vegetasjonen utvikles og brer seg ut fra de opprinnelige kantene. En nyetablert vegetasjonslinje med tett buskvegetasjon, for eksempel langs en grøft som gjenåpnes, vil kunne danne en helt ny «vegg».

Man kan også tenke seg at landskapsrom åpnes eller slås sammen ved at kantsoner fjernes. En overvåking av endringer knyttet til landskapsrom bør vurderes særlig i utvalgte områder der landskapsrom fremheves som et karakteristisk aspekt.



Figur 25. Vi brukte modell 1 (LIDAR) og flybilder for å dele inn landskapet i landskapsrom basert på en visuell tolkning.



Figur 26. Dette er et flybilde der inndeling i landskapsrom er tegnet på, for å hjelpe med å identifisere og synliggjøre rommene.

7 Hva kan overvåkes ved bruk av Sentinel-opptak?

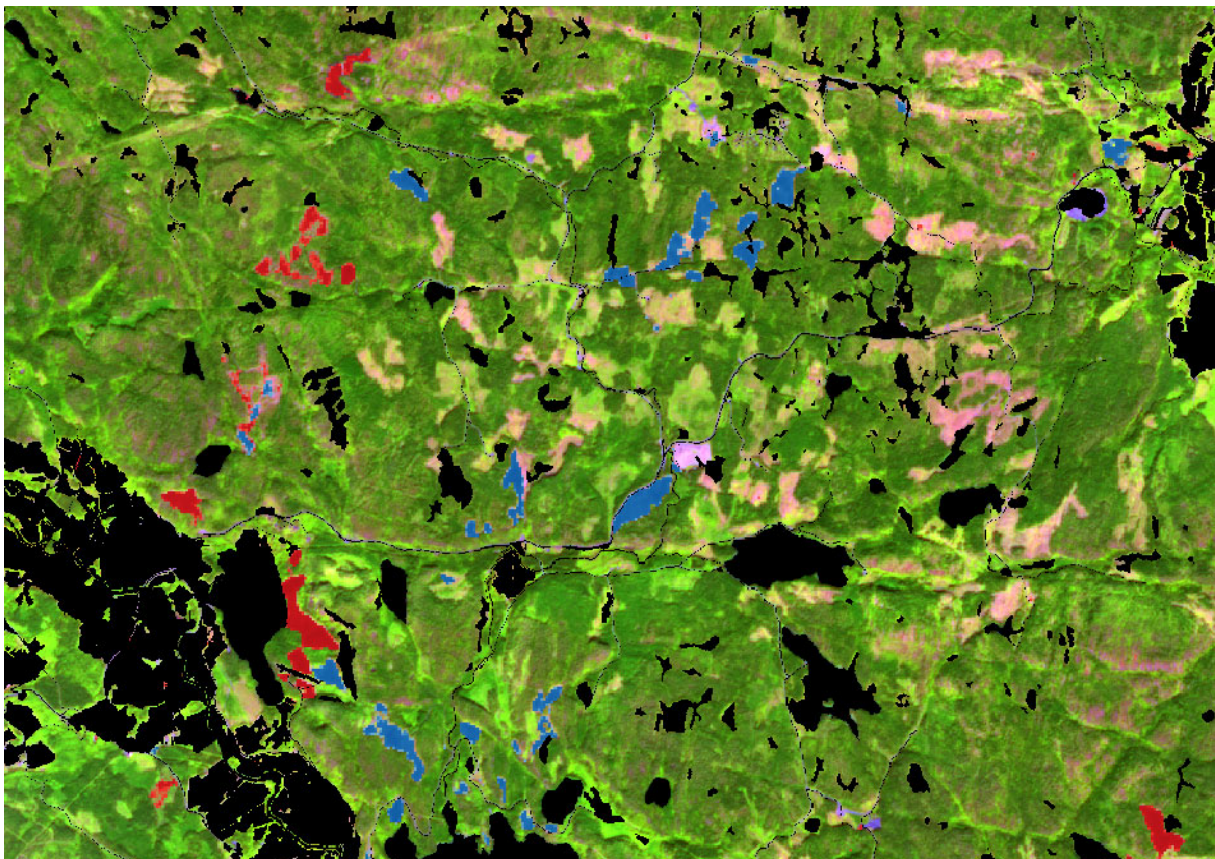
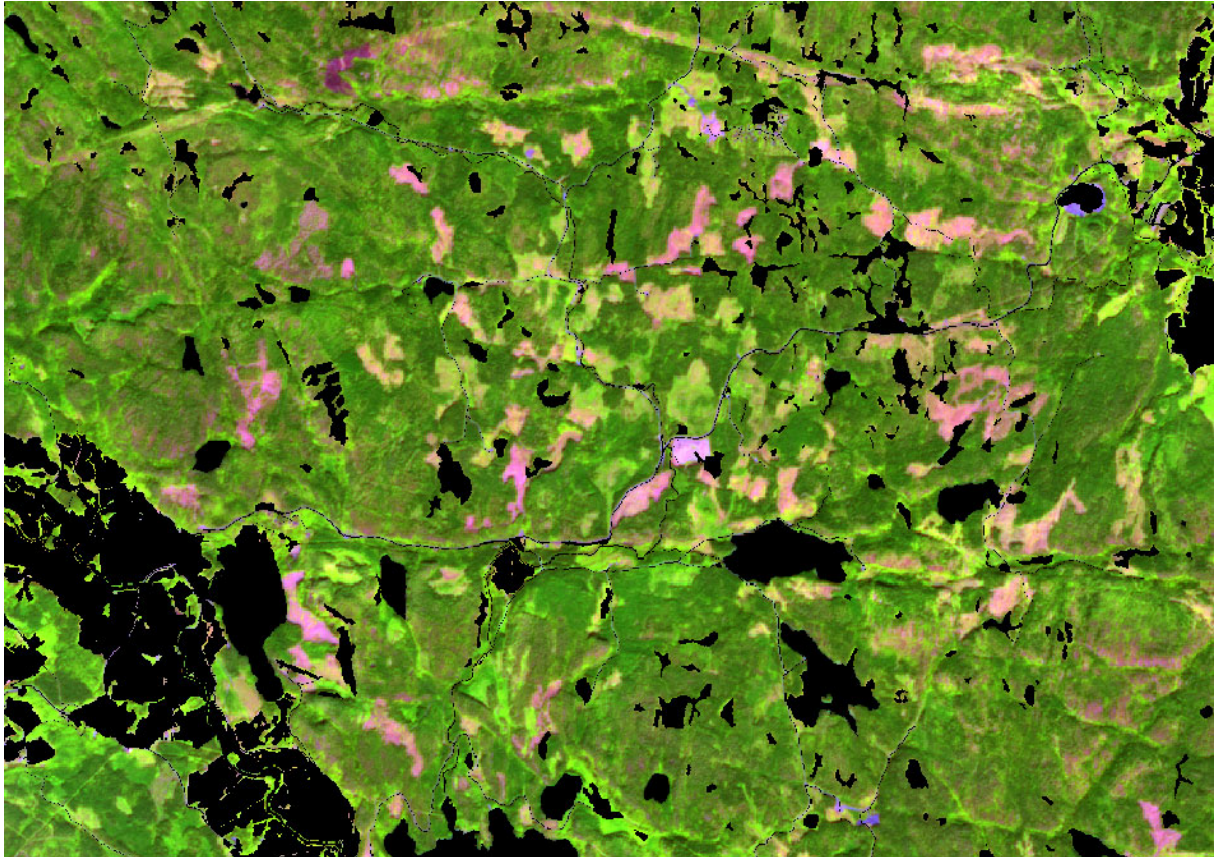
Sentinel-satellittene har kun vært operative noen få år og data ble fullt tilgjengelig for bruk først da det norske satellittdatasenteret (satellittdata.no) ble operativt høsten 2017. Metoder er derfor fortsatt under utvikling og utprøving, og det er derfor svært begrenset hva vi kan demonstrere, spesielt i forhold til analyser av data over flere år. Rent teoretisk vet vi likevel noe om hva som kan, eller ikke kan, fanges opp. I det følgende har vi vurdert en del spesifikke landskapsendringer vi opplever er relativt vanlige / sannsynlige.

7.1 Eksempler på registrering av endringer fra Sentinel-2

Hogstflater og snauflater

En av de første anvendelsene vi har utviklet er deteksjon og kartlegging av nye hogstflater. Hvert år hogges mellom syv og ni millioner kubikkmeter tømmer. Det er rundt 120 000 skogeiere i Norge og de fleste eiendommene er tilknyttet gårdsbruk. Relativt få skogeiere tar seg tid til å ferdes i skogen og vurdere behov for skjøtselstiltak, f.eks. foryngelse på snauflater. Samtidig fins det i dag ikke et nasjonalt program for årlig kartlegging av nye hogstflater, og en viktig grunn har vært mangel på data som kunne gjøre dette mulig. Med data fra Sentinel-satellittene har dette endret seg, og vi har nå opptak hvert år som kan brukes til å kartlegge nye snauflater. I Figur 7 viste vi en tidsserie over et skogareal som ble hogd mellom 2017 og 2018. Figuren viser at verdien til indeksen NBR synker brått i dette tidsrommet. NBR vil ha høye verdier på tredekte arealer og lav verdi på nye hogstflater. Vi kan dermed bruke dette til å identifisere om det har vært hogst og følgelig klassifisere arealet til hogstflate. Naturlige årsaker til at et areal har blitt snaut kan også forekomme, men vi har så langt ikke en ferdig metode for dette. Vi har imidlertid startet opp utvikling av metoder for å detektere skogskader forårsaket av insekter (barkbiller, furubarveps) og skogbrann som vil kunne føre til snau skogarealer der skadeomfanget er stort.

I Figur 27 vises et lite utsnitt av et Sentinel-2 datasett fra sommeren 2018. Det viser mange nye snauflater i skogen, som framstår i rosa fargetoner. Det skyldes at arealene mangler vegetasjon som absorberer det røde lyset og bruker det i fotosyntesen; dermed reflekteres det meste av energien i dette båndet. Vår metode for hogstflatekartlegging bruker tidsserier med Sentinel-2 data som går over to år. I figuren vises resultatet av to slike kartlegginger: 2016 til 2017 og 2017 til 2018 vist i hhv. blå og rød farge. Det er mange snau arealer som ikke er fanget opp og forklaringen på det er at de ble hogd i en tidligere periode og derfor ikke ble fanget opp av metoden. Vår metode er designet for å fange nye hogstflater og ikke alle snauflater.



Figur 27. Figuren viser et Sentinel-2 bilde tatt 27. juli 2018. Øverst ser vi mange hogstflater, som trer fram i lyse rosa toner. Nederst ser vi hogstflater markert med enten røde eller blå toner. De blå ble hogd mellom 2016 og 2017 og de røde mellom 2017 og 2018. De andre hogstflatene som en kan se ble hogd før 2016.

Jordbruksarealer

På dette området har vi ennå ikke helt ferdige metoder, men flere som er under utvikling og utprøving.

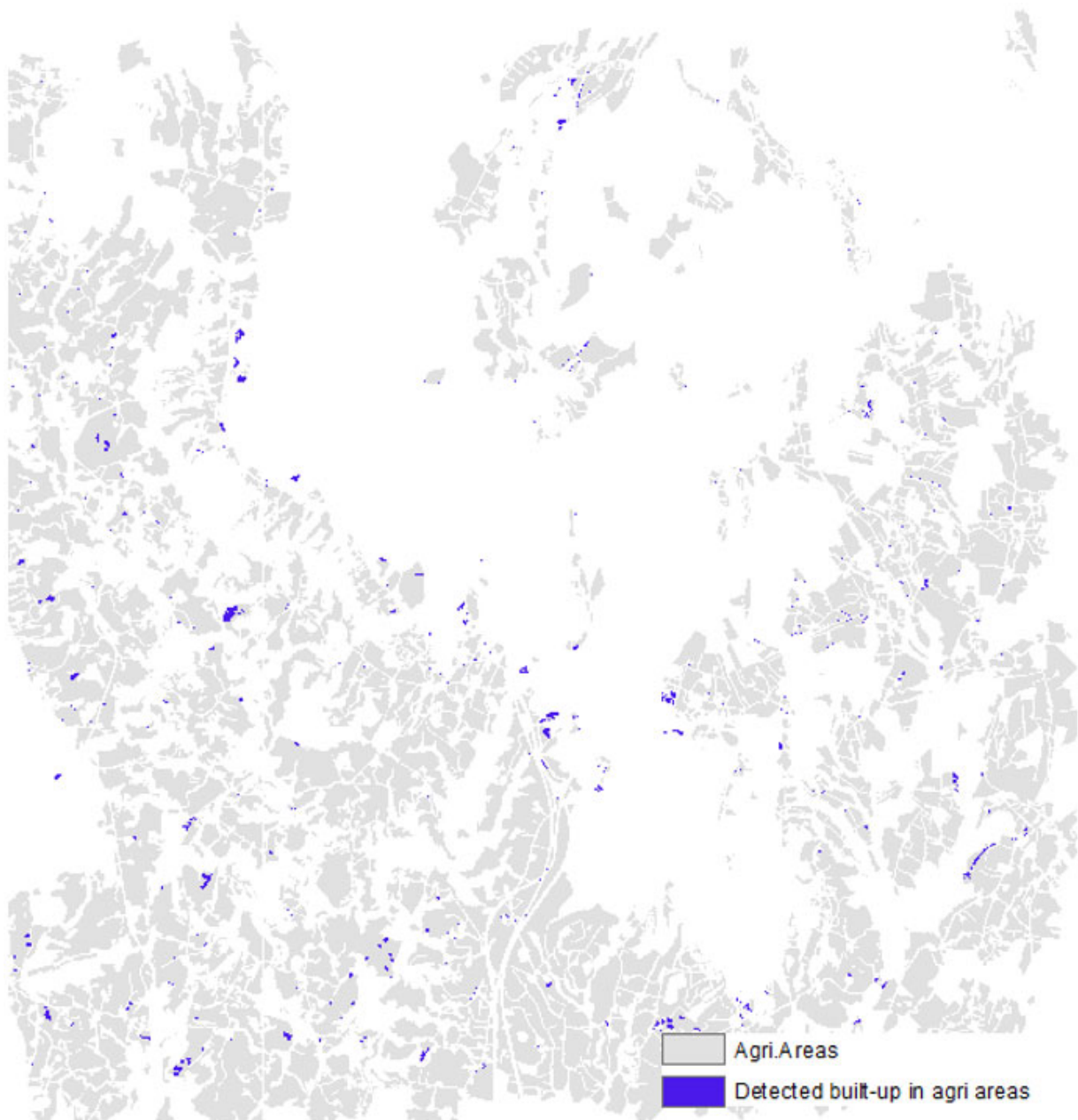
Skille korn, eng og areal ute av drift

En applikasjon vi utvikler er metode for å kunne skille ut jordbruksarealer som er ute av drift, og som dermed ikke høstes, fra arealer i drift. For arealer i drift utvikler vi en metode for å skille på avlingstypene korn og eng. I Figur 8 viste vi tidsserier med Sentinel-2 data over en vekstsesong for hhv. eng og korn. Kurvene har ulike forløp gjennom sesongen, noe som skyldes ulikheter i fenologi og antall innhøstinger. Korn høstes én gang i vekstsesongen, mens eng som regel høstes flere ganger. Kornarealer modnes og blir gule og høstes deretter, mens eng høstes mens gresset er grønt og frodig og arealet er gult kun en kort stund etter slått. Arealer ute av drift antar vi vil ha en annen profil på tidsserien: kurven vil være preget av at det er grønn vegetasjon det meste av vekstsesongen og det vil ikke forekomme plutselige fall i NDVI-verdien pga. høsting. Vi vil fortsette med utvikling av denne metoden i løpet av de neste 12 månedene.

Detektere nye bygninger

Vi prøver ut metoder for å detektere nye bygninger på jordbruksareal (Figur 28). Metoden baserer seg på ett enkelt opptak i løpet av vekstsesongen og bruker dermed ikke tidsserier. Ulike spektrale indekser som involverer kanalene 3, 4, 8, og 12 (se Figur 2) brukes for å skille arealer med og uten vegetasjon, våte og tørre arealer, og materialer relatert til bygninger. Bygninger skiller seg ofte fra andre typer objekter ved at de ikke er dekket med vegetasjon (noen unntak), de har varmere temperaturer enn bakgrunnen, de er tørre i tørt vær, de er laget av metaller, stein, trevirke eller kombinasjon av disse. Ved å kombinere flere indekser kan bygninger i hovedsak skilles ut fra andre arealer. En begrensning er små bygninger som kun delvis dekkes av en 10 x 10 meter piksel. Slike piksler vil også fange opp bakgrunnen. Er bakgrunnen vegetert kan den dermed maskere signalet fra bygningen. Vi bruker kartet AR5 og matrikkelen til å plukke ut treningspiksler som så anvendes i en maskinlæringsalgoritme som klassifiserer hele bildet. Klassene er nedbygd areal, åpent areal, skog, og vann. Vi får en del feilklassifikasjon over åker hvor vegetasjonen ennå ikke dekker bakken, noe som medfører at jord og stein bidrar sterkt til den spektrale signaturen. Hustak er ofte dekket av uorganiske materialer som har svært lik refleksjon som bar jord og derfor kan disse objektene forveksles.

En mulig forbedring av metoden består i å kombinere metoden med resultater fra metoden med tidsserier beskrevet over. Tidsserieanalysene vil kartlegge om et areal er i bruk og høstes og vil kunne fjerne arealer som har blitt feilklassifisert til bygninger. I tillegg vil kartlegging av høstpløying med Sentinel-1 data også kunne avdekke slike feilklassifikasjoner.



Figur 28. Detektering av nedbygd jordbruksareal. Jordbruksareal vises i grått og mulige nye bygninger i blått.

Detektere ulike objekter

Flere eksempler på mulig bruk av Sentinel-2 data er illustrert med bildeeksempler. Dette er eksempler der vi ikke har utviklet automatiske tolkingsmetoder og eksemplene er ment å illustrere i hvilken grad ulike objekter i jordbrukslandskapet kan ses i et Sentinel-2 bilde.

Bildene i **Feil! Fant ikke referansekilden.** er tatt i 2016 og 2018. I denne perioden ble det bygget et nytt storfjøs og et nytt gjødseldeponi på en gård i Kråkstad kommune. Dette er eksempler på typiske endringer i et jordbrukslandskap, og derfor interessante illustrasjoner og eksempler. Vi har hentet Sentinel-2-bilder fra 2016 og 2018 for å demonstrere i hvilken grad slike endringer er synlige. Innenfor det oransje rektangelet ligger tunet helt i nedre kant. Det nye storfjøset er lagt i nordre ende av tunet, og vi kan se dette i 2018 bildet. Et nytt gjødseldeponi er også opprettet og er veldig tydelig i 2018 bildet, på jordet midt i rektangelet. I området er det også laget ny E18-trasé. I 2016 ser man tydelig veitraséen med tilhørende anleggsområde. På 2018 bildet er veien tydelig og kantsonene er i

ferd med å bli vegetasjonsdekt. I venstre kant av bildet, ved blå pil, ser vi også tydelig en ny vei i skogen.

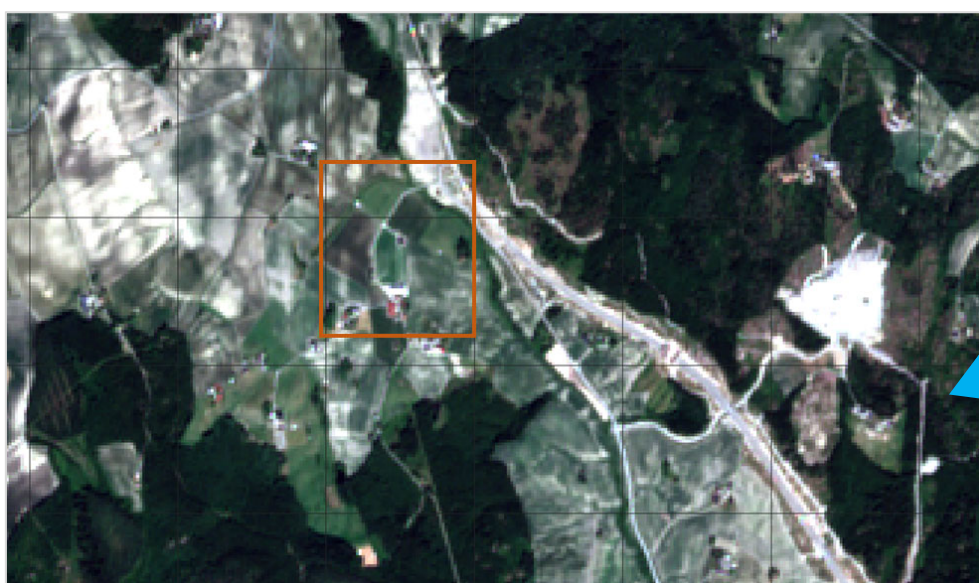
En prosess med endringsanalyse for disse to bildene vil typisk vise mange andre endringer også. Som en følge av tørkesituasjonen i 2018 fremstår kornarealene som veldig annerledes enn i 2016. Dette er jo ingen reell endring, men ved en automatisk analyse vil dette allikevel komme som endring, se også Figur 6. Med en tidsserieanalyse vil man imidlertid kunne følge pikslene og se der det er en varig endring, som f.eks. nedbygging.

På grunn av årlige variasjoner i været trenger man med andre ord en analyseperiode over flere år for å kunne synliggjøre reelle endringer.

2016-08-16



2018-07-02



Figur 29. Illustrasjon av hva man kan «fange» av endringer fra Sentinel-2. Innenfor det oransje rektangelet er det kommet både et nytt storfjøs og et nytt gjødseldeponi. Blå pil viser tydelig ny vei i skogen.

Vindmøller

Det anlegges nye vindkraftparker flere steder i landet, også der det er skog. I Figur 30 vises et eksempel på hvordan endringen slike anlegg medfører kommer fram i et Sentinel-2 opptak.



Figur 30. Anlegg av ny vei og fundament for nye vindmøller er tydelig i bildet fra 2018.

Gårdsdammer

Gårdsdammer har blitt etablert som brannsikring eller for å sikre vann til husdyr. Godt tilsig av næringsstoffer har imidlertid ofte ført til et rikt plante- og dyreliv i disse dammene, og de er derfor et verdifullt innslag i kulturlandskapet. Tidligere ble mange dammer fylt igjen, men i senere tiår er flere nye dammer etablert. Vi har testet om vi kan se to gårdsdammer i Østfold (Figur 31). Som figuren illustrer så kan vi ikke se dammene i bildene, verken i et RGB-bilde eller i NDVI-bilde. I NDVI-bildet skal vannflater bli svært synlige da vannflater generelt har veldig lave NDVI-verdier. Grunnen til at de ikke kan sees i våre eksempler er nok dels at dammene er små, dels at vegetasjonen langs kantene påvirker refleksjonen fra vannflata. Pikslene dekker vannflata kun delvis og dekker også kantene med vegetasjon. Signalet fra vannet blir derfor maskert av vegetasjonen.

Når det gjelder dammer er med andre ord både grad av vegetasjon på dammen og langs kanten viktig, i tillegg til størrelsen på vannflata. Større dammer med mindre vegetasjon vil vi forvente kan fanges opp.



Figur 31. To gårdsdammer lokalisert med gule prikker er ikke mulig å se i bildene: øverst RGB og nederst NDVI.

Massetak

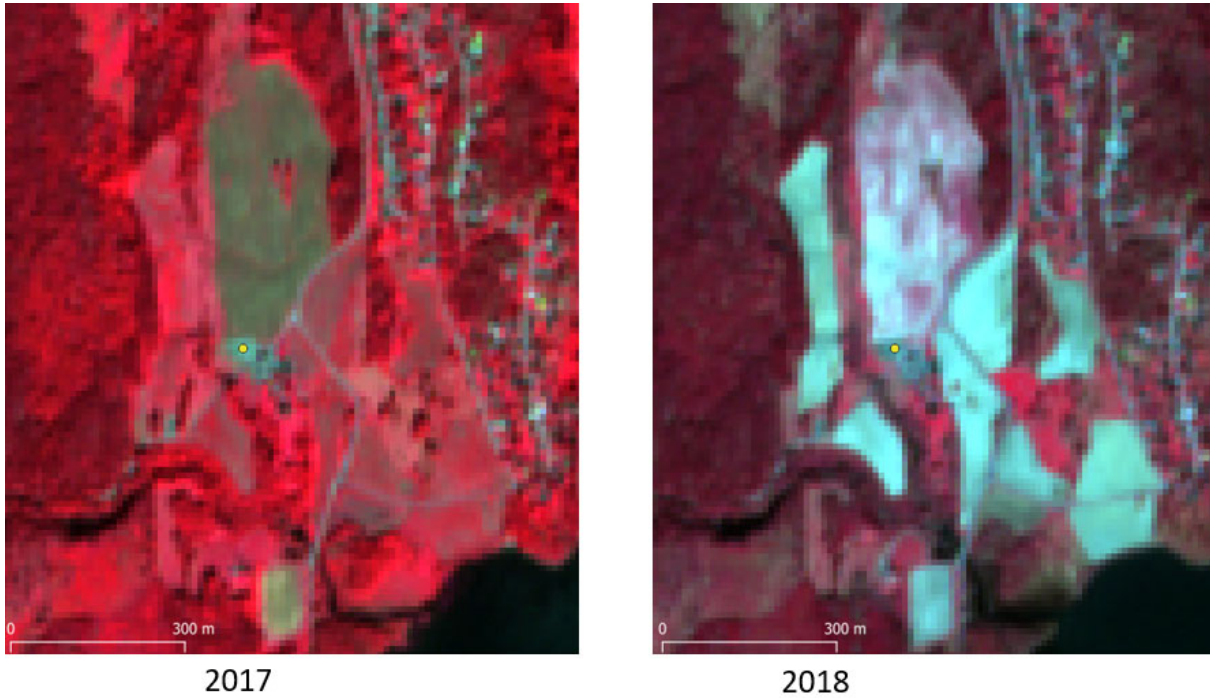
Massetak er ofte relativt store inngrep i landskapet, og inngrep som medfører fjerning av skog. Signalet fra steinmasser og sand er svært ulik signalet fra vegetasjon og skog og disse inngrepene er derfor lette å detektere. I Figur 32 ser vi et stort massetak i et opptak fra 2017 og 2018. I bildet fra 2018 kan vi se at det har blitt oppført bygninger på anlegget.



Figur 32. Massetak i bilder fra 2017 og 2018.

Parkeringsplass

I Figur 33 vises et eksempel på anlegg av parkeringsplass på dyrka mark. Det er mulig å se at parkeringsarealet skiller seg ut fra resten av jordbruksfiguren, men det er ikke mulig å identifisere at det er en parkeringsplass. Bruk av tidsserier som tidligere beskrevet kan identifisere at det ikke dyrkes på arealet, men arealbruken kan ikke bestemmes. Med metoder vi utvikler kan slike arealer med tiden trolig klassifiseres som nedbygd.



Figur 33. Gul prikk lokaliserer en parkeringsplass anlagt på jordbruksareal. Det er mulig å detektere at arealet skiller seg ut fra resten av jordbruksfiguren, men ikke identifisere arealbruken som parkering.

Våtmark

I Figur 34 vises bilder av våtmark som er i ferd med å fylles igjen. Vannet har tydelig kontrast til stein og jord som brukes for å fylle igjen vannet og prosessen er dermed lett å følge.

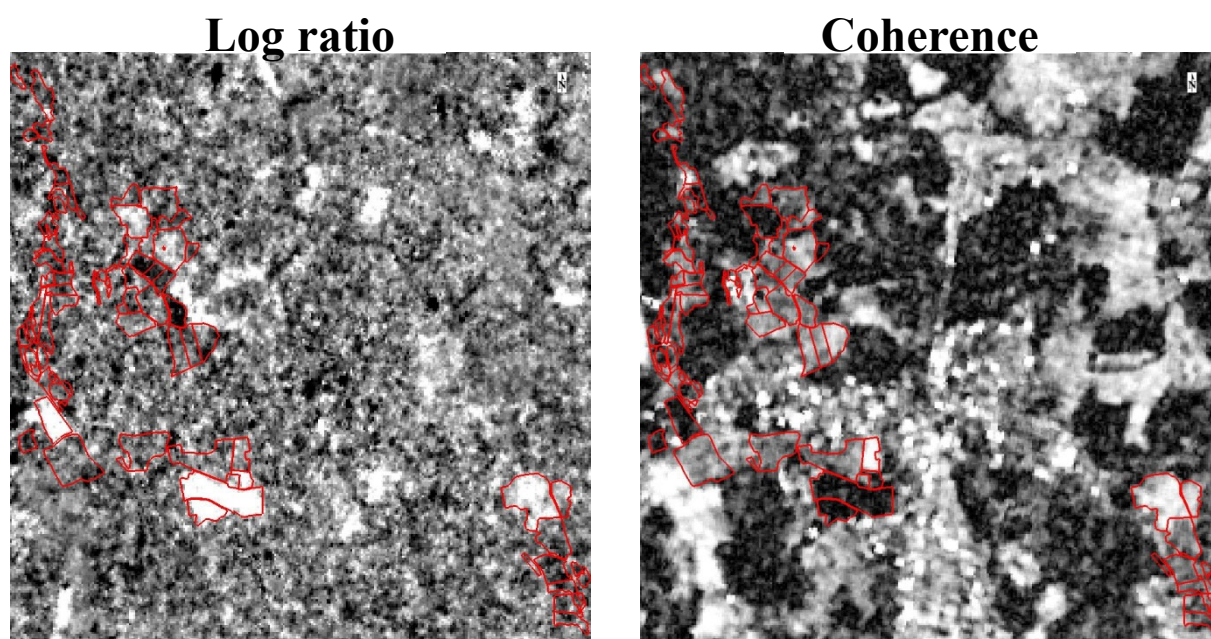


Figur 34. Bildene viser våtmark som er i ferd med å bli gjenfylt fra 2016 til 2018.

7.2 Eksempel på registrering av endringer fra Sentinel-1

Jordbruksarealer

NIBIO utvikler også metoder for endringsdeteksjon basert på radarbilder fra Sentinel-1. I Figur 35 vises to mulige måter å analysere endring på: ved å ta forholdet mellom ekkoet på to ulike tidspunkt eller koherensen mellom de to tidspunktene. Koherens måler i hvilken grad de to signalene (bølgene) er statistisk korrelert med hverandre. Når strukturen på bakken blir endret eller objekter flytter på seg, så blir radarsignalet endret ved at styrken på ekkoet endrer seg og/eller at fasen på bølgen endres mellom to tidspunkter. Koherensen er lav når fasen til bølgene er ulik og høy når fasen er lik.



Figur 35. Endringsdeteksjon med radarbilder fra Sentinel-1 satellitten. Deteksjon av pløying med to ulike indikatorer: logaritmekvotient til venstre og koherens til høyre. Åkrer er markert med røde polygoner. I begge tilfeller vil en pløyd åker framtre med en tydelig annen gråtone enn åkrer som ikke har blitt pløyd. Skogen vil også se ut som endret areal, men det er uvesentlig i denne sammenhengen.

8 Mulige indikatorer

Når det gjelder ulike indikatorer for bruk i overvåking og rapportering på endringer ser vi for oss at de som er presentert i Tabell 3 nedenfor er indikatorer der data fra Sentinel-2 kan brukes, eventuelt i kombinasjon med andre datakilder i en overvåking av KULA-landskap.

Tabell 3. Tabellen viser mulige indikatorer, hvilket tema de fanger informasjon om, hvilken romlig skala de fanger informasjon på og hva som er en aktuell gjentakfrekvens. NB: Det er en forutsetning at endringen er av en slik størrelse at den er synlig i satellittbildene, dvs. ca. 10 x 10 m som er minste størrelse på en piksel fra Sentinel-2. Med deteksjon menes en ren registrering av at det har skjedd en endring, mens med identifisering mener vi at vi også kan fortelle hva endringen er.

Tema	Hva som registreres	Romlig skala	Gjentaksfrekvens	Tolkingsnivå	Våre vurderinger
Produksjon og hevd (f.eks. korn/eng)	Høstingsfrekvens	Piksel	Gjennom vekstsesongen	Identifisering	Vi kan skille korn fra eng med tidsserier dersom vi får mange nok (> 10) skyfrie observasjoner i en vekstsesong.
Areal brukt til jordbruksproduksjon	Høstingsfrekvens	Piksel	Mellom år	Identifisering	Vi mener det vil bli mulig å skille jordbruksareal i bruk fra areal ute av bruk ved bruk av tidsserier.
Opphør av bruk av jordbruksareal	Høstingsfrekvens	Piksel	Mellom år	Identifisering	Vi mener det vil bli mulig å skille jordbruksareal i bruk fra areal ute av bruk ved bruk av tidsserier.
Nye snauflater i skog	Vegetasjonsdekke	Piksel	Mellom år	Identifisering	Vi kan kartlegge nye snauflater som skyldes hogst. Vi skiller foreløpig ikke på andre årsaker, som f.eks. insekter, brann, vindfall.
Gjengroing	Vegetasjonsdekke	Piksel	Mellom år	Identifisering	Gjengroing på hogstflater og andre snauflater vil kunne oppdages vha. NDVI som vil øke kraftig når pionervegetasjon etableres.
Fangdammer, gårdsdammer, åpne grøfter, etc.	Vann	Piksel	Mellom år	Deteksjon?	Gårdsdammer er generelt for små til å kunne detekteres. Vi har ikke testet ifht fangdammer. Arealet på dammene er avgjørende og det må være piksler uten vegetasjon for at vann kan oppdages.
Utvidelse av tun/ fjerning av bygninger	Bygninger	Piksel	Mellom år	Deteksjon?	Bygninger er ofte for små til at de kan sees. Resultat avhenger også av om arealet går fra vegetert til bygning (enkler), eller fra grus til bygning (vanskeligere).
Form og størrelse på massetak	Massetak	Grupper av piksler	Mellom år	Identifisering	Store endringer der en fjerner vegetasjon vil kunne sees.
Nedbygging/ endret infrastruktur	Alt nedbygd («soil sealing»)	Piksel / hele landskapet	Mellom år	Deteksjon?	Små bygninger er vanskelig å se. Minsteareal for registrering er generelt 100m ² (en piksel).
Endring i kantsoner	Landskapsrom	Landskapsrom	Mellom år		Basert på en klassifisering av piksler vha. LIDAR kan senere endringer oppdages vha. Sentinel-2.
Grad av variasjon i landskapsinnhold	Landskaps-heterogenitet	Hele landskapet / ulike landskapsrom	Mellom år (1-5)		Indekser for romlig variasjon kan synliggjøre endringer, i form av om landskapet blir mer/mindre homogent, men type endring må tolkes.

8.1 Kort om de enkelte indikatorene

Arealdekke og arealbruk er indikatorer som brukes i en lang rekke sammenhenger i overvåking. Arealbruk rent generelt er viktig for opplevelsen av landskap, for eksempel omtales Oldtidsveien-Skjebergsetta som et aktivt jordbrukslandskap med leirsletter. Om det skjer omfattende endringer i omfanget av jordbruk i landskapet vil det kunne få stor betydning for opplevelsen av landskapet og kulturhistorien.

Veg, jernbane og bygninger er enkeltelementer i landskapet som også potensielt har stor betydning for opplevelsen av landskapet. Disse objektene kan også ha stor betydning for den fysiske tilgjengeligheten i landskapet, og særlig hva gjelder vei og jernbane antar vi at disse ofte har «følge-effekter». For eksempel vil ny industri gjerne søke mot infrastruktur.

Massetak er et element som kanskje er spesielt for vårt valgte studieområde. Her er det imidlertid en historie med større og mindre massetak, mange på privat eiendom og i lokal regi. Disse oppleves som en uttalt risiko og vi anbefaler at de følges spesielt.

Vegetasjonsutvikling, i form av NDVI, er tidligere foreslått brukt som et raskt tidlig varslingsystem for å overvåke gjengroing i arkeologiske kulturmiljøer (Barlindhaug mfl. 2007). Vi ønsker å videreutvikle bruken til å fange informasjon om skjøtsel av jordbruksarealene gjennom sesongen, i tillegg til å se på forskjeller mellom år. Dette vil gi et tidlig signal både på om arealer går ut av bruk, men også om de endrer bruk. Vegetasjonsendring vil gi informasjon, for eksempel om beiter går til skog eller kantsoner langs vassdrag fjernes eller utvides.

Landskapsrom og landskapsheterogenitet er indikatorer på en større romlig skala. Begge disse fokuserer mer på helheten og sammenhengene i landskapet. Heterogenitet sier noe om variasjon i rommet. En endring, for eksempel økt heterogenitet, kan bety at landskapet får mange nye elementer på nye steder. Landskapsrom sier noe om landskapets skala og utforming. Dette har stor betydning for opplevelsen av landskapet.

9 Erfaringer og anbefalinger

Generelt er det slik at objekter eller endringer som er mindre enn ca. 100m² i utgangspunktet vil være vanskelig å registrere ved bruk av Sentinel-2 data (Tapete og Cigna 2018). Dette er imidlertid ikke absolutt. Noen typer kulturminner/ kulturmiljøer er antagelig også store nok til å kunne følges mer direkte fra Sentinel-2 data (for eksempel bygdeborger). Oppgaven i dette prosjektet har imidlertid ikke vært å vurdere hvorvidt det er mulig å overvåke de enkelte kulturminner eller kulturmiljøene. Vi har derfor ikke analysert dette videre, men fokusert på

- hvordan man kan etablere det vi mener vil være et godt grunnlag for en overvåking og
- hvilke typer objekter og endringer som kan / ikke kan fanges opp ved bruk av Sentinel-data.

I tillegg har vi forsøkt å vurdere mulige indikatorer. En oppsummering av dette arbeidet er vist i tabell 3.

Å utvikle gode indikatorer er en utfordrende oppgave. Først og fremst er det viktig at indikatorene tilfredsstillende en del kvalitetskrav. Gode indikatorer skal bl.a. være godt faglig fundert, prosessen skal være gjennomiktig og repeterbar, og de skal kommunisere så entydig som mulig. Det er også viktig at indikatorene fanger endringer på et riktig detaljingsnivå, og med god nok nøyaktighet. For indikatorer som skal fange opp landskapsendringer over tid innebærer det at foreslåtte indikatorer bør testes på ulike landskap og i ulike situasjoner. Det har det ikke vært mulig å gjøre i dette prosjektet.

Men målsetningen med prosjektet var heller ikke først og fremst indikatorutvikling. Målsetningen var primært å etablere et grunnlag for å vurdere hvorvidt satellittbilder, i form av Sentinel-2-bilder, er egnet til bruk i overvåking av Kulturlandskap av nasjonal interesse, de såkalte KULA-områdene. Det var også en målsetning å gi en oversikt over status i landskapet. Det ble understreket fra Riksantikvaren at det fra deres side ikke var noe ønske om å følge med på status eller endring knyttet til enkeltminner. I en eventuell overvåking ved bruk av satellittbilder er det landskapet og endringer i landskapet som er av interesse. Vi mener likevel en gjennomgang av de ulike kulturminnene og epokene som er representert i landskapet vil være et nyttig grunnlag for å kunne vurdere resultatene av en eventuell overvåking, blant annet fordi en slik oversikt vil kunne si noe om de observerte endringene berører noe som er vanlig og spredt i landskapet eller sjeldent og bare finnes på et fåtall lokaliteter. En slik bakgrunnsinformasjon kan med andre ord signalisere hvorvidt endringer som indikatorene fanger opp er mer eller mindre alvorlige, og skissere grad av sårbarhet i ulike deler av landskapet.

Et viktig spørsmål når man skal vurdere satellittbilder som datakilde er naturligvis hva som kan registreres. Dette gjelder både i rom og tid, og dette har vært et sentralt spørsmål i arbeidet med dette prosjektet. Det er også et tema der det finnes relativt begrenset med erfaringer nasjonalt å bygge på. En årsak til dette er den korte tiden de egnede satellittene, som Sentinel, har vært operative og levert data. Vi har derfor kun et svært begrenset materiale å teste på, og det er svært begrenset hvilke endringer vi kan forvente i en slik kort periode. Dette er imidlertid noe som forbedres kontinuerlig, ettersom data akkumuleres. For å bøte på dette har vi vurdert en del endringer vi kjenner til og som vi mener er relativt vanlige, uavhengig av hvor de finnes.

En stor fordel med satellittbilder sammenlignet med for eksempel flybilder eller høydedata er oppdateringsfrekvensen. Sentinel-2-satellittene passerer et område i Norge ca. hver tredje dag. Det betyr imidlertid ikke at man er sikret 10 skyfrie opptak hver måned. I praksis viser det seg å være mellom 10 og 20 opptak i vekstsesongen (mai – september). Dette er likevel langt oftere enn hva som er det typiske når man baserer datafangsten på flybilder, der man ofte har flere år mellom hvert datasett. Med bruk av tidsserier vil alle skyfrie bildepiksler bli benyttet i den automatiske bildeanalysen vi har utviklet. Det er også en fordel med satellittbilder at hvert bilde fanger et større område.

Når det gjelder den romlige oppløsningen, kan Sentinel-2 fange opp objekter ned mot 100 m² i størrelse (10x10m piksler). Vi mener det er viktig også å koble endringer i landskapet/arealbruk mot kulturmiljøer og registerdata for å kunne følge med på mer enn bare landskapsendringer. Samspillet mellom kulturmiljøer og landskapet danner det utvalgte kulturlandskapet. Ved analyser kan man registrere hva som er tapt både på nasjonalt, regionalt og lokalt nivå.

I vårt studieområde for dette prosjektet Oldtidsveien-Skjebergsetta i Østfold er det et svært stort antall kulturminner fra en lang rekke ulike epoker. Landskapet har blant annet Norges største konsentrasjon av helleristninger fra bronsealder, samt flere store gravfelt. Samtidig er landskapet, slik det er beskrevet i rapporten om områder i Østfold, et aktivt jordbrukslandskap omkranset av lave skogkledde åser. Det er leirsletter som er tidligere havbunn og morenerygger i området, kiler trenger inn langs kysten og området er produktivt som jord- og skogbruksområde. Det er også et landskap som er preget av ferdsel og menneskelig aktivitet og bosetning gjennom lang tid.

Også i dag fremstår dette landskapet som produktivt og preget av menneskelig bosetning, aktivitet og ferdsel. Det er flere viktige ferdselsårer i landskapet, E6, jernbanen, fylkesvei 110 og 535 blant andre. Landskapet ligger nært byområdene i Sarpsborg og Fredrikstad, som begge har ambisjoner om vekst. Dette er viktige forhold også med tanke på hva som er sannsynlige utviklingstrekk i denne typen landskap, og som en overvåking må kunne fange opp.

Hva som er de viktige sidene ved landskapet, og som det derved er mest interessant å overvåke vil variere mellom de ulike KULA-områdene. Rapporten som beskriver særtrekk og sårbarhet ved området Oldtidsveien–Skjebergsetta understreker forhold knyttet til de stedvis lange siktlinjene, gårdstun med tradisjonell gårdsbebyggelse (bl.a. de røde låvene), kantsoner mellom jordbruksarealer og annen form for arealbruk og vegetasjonslinjer i form av alléer, trekker og bekkedrag som viktige i landskapsopplevelsen.

Med dette som utgangspunkt mener vi satellittdata kan gi en lang rekke nyttige typer av informasjon i en eventuell overvåking. Vi anbefaler å overvåke endringer i landskapet med utgangspunkt i SSBs standardiserte rutenett, men for eksempel med rutestørrelse lik 250x250 meter. En illustrasjon av dette kan sees i Figur 17. Å bruke et slikt rutenett som grunnlag mener vi vil gi god statistikk over endringer i landskapet, for eksempel i form av antall ruter som har endret innhold fra jordbruk til vegetasjon eller fra skog til åpen mark. Man kan også knytte rutenettet mot kulturminner og –miljøer og si noe om påvirkning av disse. En av fordelene med å bruke rutenett er at man fanger opp geografien, det vil si om deler av landskapet er mer utsatt for endringer enn andre. Videre vil en statistikk på rutenivå forhindre at gjennomsnittsverdier for hele landskapet kamuflerer endringer som «nuller hverandre ut». Rutenett vil dessuten forenkle prosessen med å sammenligne på tvers av landskap, da man kategoriserer rutene og analyserer endringer for eksempel for ruter dominert av jordbruk eller skog.

Arealbruk og endringer i arealbruk mener vi bør være sentralt i registreringene.

Spesielt vil vi anbefale at man basert på gjentakende satellittbilder registrerer følgende

- Hogstflater
- Gjengroing av tidligere åpen mark (beite, åker, o.lign.)
- Endringer i infrastruktur (veier, parkeringsplasser, o. lign.)
- Endringer i bebyggelse
- Endringer knyttet til utbredelse og form på massetak
- Endringer i landskapsrom
- Endringer som berører siktlinjer
- Endringer i landskapets arealbruk (innhold og sammensetning)

Dette er endringer vi mener man bør registrere med en frekvens på tre til fem år

(Se også Tabell 3). Vi vil videre anbefale at man gjennomfører en «sårbarhetsanalyse» også for arealene utenfor selve området, for å identifisere spesielle steder som har potensiale for å ha betydning for opplevelsen av landskapet innenfor selve området.

Vi vil også anbefale at man fanger opp informasjon om endringer som berører etablerte siktlinjer, og endringer i utforming av et utvalg spesielt viktige landskapsrom. Her vil vi anbefale at siktlinjer defineres spesielt for det enkelt området, og man kan for eksempel etablere faste punkter som man mener skal være synlige. Gjennom relativt enkle analyser kan man da overvåke om det skjer endringer som forventes å påvirke dette (nye bygninger, gjengroing, nyplanting el. lign.). Per nå er det ingen av Sentinel satellittene som produserer en overflatemodell, men man kan produsere en overflatemodell fra flyfoto. Det vil si at det blir lengre tidsintervall mellom analysene, men de kan gjøres. Det er også mulig å bruke informasjon om arealdekke til å lage en forenklet overflatemodell, der en standard gjennomsnittshøyde angis for hver arealtype.

Vi vil videre anbefale at man arbeider videre med analyser av landskapsrom. Her kan man tenke en tilnærming der man identifiserer ruter som har "tilhørighet" til ulike landskapsrom, og ruter som representerer kantsoner. Endringer i disse vil da kunne indikere at landskapsrommene endres. Her gjenstår imidlertid en del metodeutvikling og utprøving, da dette i liten grad er gjort tidligere.

Andre indikatorer vi har diskutert men foreløpig ikke hatt mulighet til å teste er fordeling av bygninger i landskapet, hvordan dette endres og også mer detaljer som struktur på enkelt-tun og deres beliggenhet i landskapsrommene. Vi mener at dette er interessante forhold og noe man bør se nærmere på, men at det per i dag finnes bedre datakilder enn satellittdata til slike analyser, som for eksempel Matrikkelen. Det kan for eksempel også være aktuelt å overvåke endringer i landskapet i form av tiltak som ikke er meldepliktig etter Plan- og bygningsloven og/eller Kulturminneloven, dvs. som ikke byggemeldes, da disse vanligvis ikke fanges opp av planleggingen og innsigelsesmulighetene den gir.

Når man skal registrere endringer på landskapsnivå, for eksempel forekomst av landskapselementer, landskapets utforming og variasjon er det mye erfaring å bygge på basert på overvåking ved hjelp av flybilder, slik det for eksempel gjøres i 3Q-programmet (Dramstad mfl. 2002). Generelt vil vi anbefale at det som er foreslått testes både på endringer over tid, og i ulike typer landskap.

10 Konklusjon

Prosjektet har vist at satellittbilder kan brukes til overvåking av arealendringer innenfor KULA-områder. Den høye gjentakfrekvensen og tilgang til multispektrale data gjør at man kan undersøke vegetasjonsutvikling, inkludert fjerning av vegetasjon, i løpet av en vekstsesong og fra år til år. Dette kan gi en mye mer detaljert informasjon på den temporære skalaen enn det som er mulig fra flybilder. Det krever imidlertid en omfattende utvikling av metoder og algoritmer for å oppdage hver av de ulike typer endringer (pløying, oppdyrking, gjengroing, hogst, bebyggelse osv.). Vi arbeider med å utvikle metoder for å registrere vegetasjonsutvikling gjennom sesongen, noe som gjør det mulig å identifisere om et areal brukes til korn eller gras, eller ikke i det hele tatt, basert på høstingsfrekvens. Dette er metoder som skal videreutvikles.

Det kan være ulike kombinasjoner av spektral informasjon som er best egnet for å oppdage ulike type endringer. Når disse metodene først er utviklet vil analyser av satellittdataene kunne gjøres automatisk. Det vil imidlertid fortsatt være behov for noe tilrettelegging av dataene og kontroll av resultatene, men arbeidsinnsatsen per areal vil sannsynligvis bli betraktelig mindre enn ved manuell tolking av flybilder.

Utover dette behov for metodeutvikling er den største ulempen med Sentinel-2 den forholdsvis grove pikselstørrelsen på 10x10 m. Dette begrenser detaljeringsgraden i analyser sammenlignet med det man kan få til fra flybilder. Man kan imidlertid bøte noe på problemet ved å knytte andre datakilder til endringskartet. For eksempel kan detaljerte kulturminnedata fra registre brukes i kombinasjon med arealinformasjon. På samme måte kan data fra søknader om produksjonstilskudd gi tilleggsinformasjon ifht. jordbruksdrift. Med en rutenettanalyse kan man overvåke endringer geografisk, på en romlig skala som er relevant i forhold til Sentinel-2 dataene. Det vil også gi grunnlag for å rapportere på nasjonalt og regionalt nivå, og man unngår at endringer i et større område «nuller hverandre ut».

En fordel med å avgrense landskapsrom i KULA-områdene vil være at kulturminnenes fordeling i de ulike landskapsrommene kan gi et grunnlag for å vurdere sårbarhet i ulike deler av landskapet og derved endringenes alvorlighetsgrad. Dette er noe vi mener bør testes nærmere, da det så langt vi er kjent med ikke tidligere er gjort noe tilsvarende.

Innenfor prosjektets ramme har vi belyst mulige metoder som kan være aktuelle for overvåking av KULA-områder. I og med at metodene for bildeanalyser ikke er ferdig utviklet enda, har det ikke vært mulig med en fullverdig testing av overvåkingsmetodene i utprøvningsområdet. Vi har derfor valgt å vise hvordan andre data kan brukes for å utfylle Sentinel-2-dataene når informasjon om arealendringer blir tilgjengelig.

11 Litteratur

- Arellano-Pérez S., Castedo-Dorado F., López-Sánchez C.A., González-Ferreiro E., Z. Y., R.A. D.-V., J.G. Á.-G., J.A. V., A.D. R.-G. 2018. Potential of Sentinel-2A data to model surface and canopy fuel characteristics in relation to crown fire hazard. *Remote Sensing* 10(10), p. 1645.
- Barlindhaug S., Holm-Olsen I.M., Tommervik H. 2007. Monitoring archaeological sites in a changing landscape - Using multitemporal satellite remote sensing as an 'early warning' method for detecting regrowth processes. *Archaeological Prospection* 14(4), p. 231-244. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/arp.307>
- Bryn A., Flø B.E., Daugstad K., Dybedal P., Vinge H. 2013. Cultour - et forskningsprosjekt om reiseliv, kulturminner og gjengroing. Sluttrapport og konferanserapport fra NFR-prosjektet Cultour; Cultural landscapes of tourism and hospitality. ISBN: 978-82-311-0179-6, <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2453878>
- Crutchley S. 2009. Ancient and modern: Combining different remote sensing techniques to interpret historic landscapes. *Journal of Cultural Heritage* 10, p. E65-E71.
- Gansum T., Jerpåsen G.B., Keller C. 1997. Arkeologisk landskapsanalyse med visuelle metoder. AmS-Varia 28. Arkeologisk museum i Stavanger.
- Riksantikvaren 2015. Kulturhistoriske landskap av nasjonal interesse i Østfold. Riksantikvaren, Oslo. <https://www.riksantikvaren.no/Prosjekter/Kulturhistoriske-landskap-av-nasjonal-interesse-KULA>
- Risbøl O.A., Rigmor H., Bollandsås O.M., Nesbakken A. 2011. Flybåren laserskanning til bruk i forskning og til forvaltning av kulturminner og kulturmiljøer. Dokumentasjon og overvåking av kulturminner. NIKU Rapport 45: 40 sider.
- Solberg S., Bjørkelo K., Gjertsen A.K., May J., Pierzchala M., Timmermann V., Solheim H. 2014. Satellittkartlegging av hogst og skogskader. Norsk institutt for skog og landskap, Ås. <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2473631>
- Tapete D., Cigna F. 2018. Appraisal of Opportunities and Perspectives for the Systematic Condition Assessment of Heritage Sites with Copernicus Sentinel-2 High-Resolution Multispectral Imagery. *Remote Sensing* 10(4).

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.