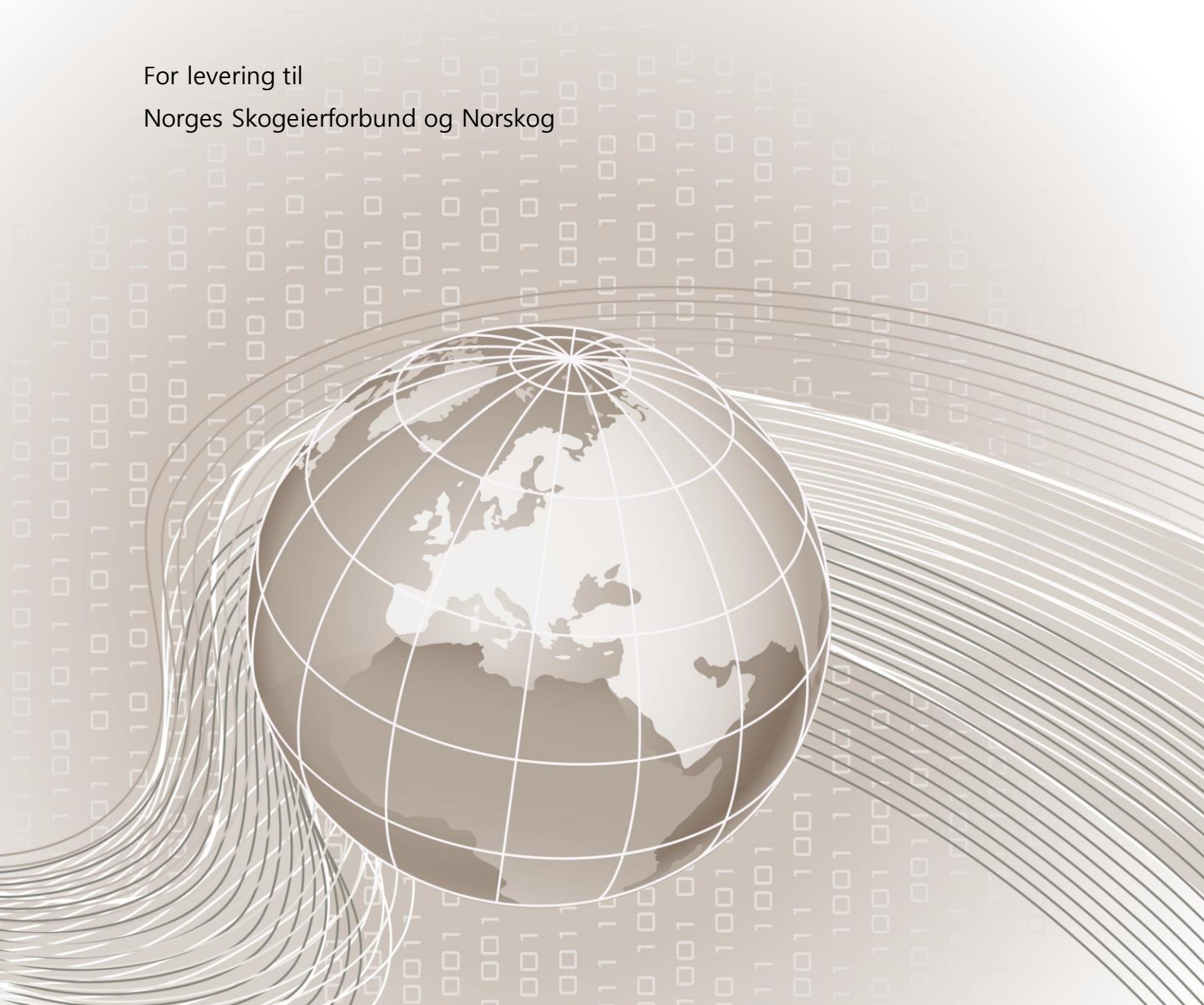




PROSJEKTRAPPORT

OVERVÅKING AV NØKKELBIOTOPER VED BRUK AV FJERNMÅLING

For levering til
Norges Skogeierforbund og Norskog



Tittel:

Overvåking av nøkkelbiotoper ved bruk av fjernmåling

Forfatter(e):

Floris Groesz (Blom Norway AS)

Stian Rostad (Blom Norway AS)

Hans Asbjørn Sørli (Norges Skogeierforbund)

Prosjektnummer:

2095

Oppdragsgiver:

Norges Skogeierforbund

Norskog

Kontaktperson:

Hans Asbjørn Sørli

| Versjon | Dato | Beskrivelse | Godkjent |
|---------|------------|--|---------------|
| 1.0 | 29/11/2018 | Foreløpig rapport for levering til Norsk Romsenter | Floris Groesz |
| 2.0 | 15/01/2018 | Sluttrapport | Floris Groesz |

FORORD

Denne sluttrapporten presenterer arbeidet som har blitt gjort i prosjektet 'Overvåking av nøkkelbiotoper ved bruk av fjernmåling' på oppdrag fra Norges Skogeierforbund og Norskog. Prosjektet har blitt finansiert av Norsk Romsenter, Utviklingsfondet for Skogbruket og Skogtiltaksfondet.

SAMMENDRAG

Norges Skogeierforbund og Norskog har behov for en enhetlig rutine for regelmessig kontroll av omlag alle 90 000 nøkkelbiotoper i Norge. Løpende kontroll med bruk av flybilder krever mye manuelt arbeid og tilgang til ferske flyfoto. Per i dag oppdateres flybildene fra omløpsfotografering cirka hvert femte år. En årlig endringsanalyse basert på optiske Sentinel-2 bilder peker seg ut som et bedre alternativ. Bildene er gratis og blir oppdatert nesten hver andre dag. Dessuten egner bildene seg for automatiserte analyser. I dette prosjektet hadde vi som mål å teste ut om analysene blir bra nok. Vi har testet ulike indekser basert på spektrale kanaler fra Sentinel-2 for å fange opp endringer. Videre har vi testet ulike klassifiseringsmetoder basert på bruken av nevrale nettverk. Forskjell mellom metodene var ulik bruk av tidsserie-data. Vi har undersøkt om bruk av atmosfærisk korreksjon påvirker resultater og om bruk av bilder gjennom ulike sesonger gir utslag i resultatene. Treningen av algoritmene ble gjort på 6 100x100 km Sentinel-2 tiles mens valideringen ble gjort på 1 tile. Som fasitdata har vi brukt laserdata fra 2 ulike tidspunkter. Vi har brukt andel falskt negative resultater (endrede nøkkelbiotoper som ikke blir oppdaget) og andel falskt positive resultater (uendrede nøkkelbiotoper som blir feilaktig klassifisert som endret) som indikator for kvaliteten på analysene. Andel falskt negative resultater varierte fra 0 % (bra) til 26 % (dårlig). Andel falskt positive resultater varierte fra 3 % (bra) til 19 % (dårlig). Bruk av bilder fra sen høst, vinter og tidlig vår medfører støy og dermed større feil i resultatene. Målet var å holde antall falskt negativer lavt, selv om det resulterer i et høyere antall falskt positiver. Disse kan nemlig kontrolleres på en enkel måte ved å en manuell og visuell tolkning av Sentinel-2 bildene.

Konklusjonen er at Sentinel-2 tidsserier kan brukes for å overvåke endringer i nøkkelbiotoper for hele Norge årlig. Vi kan ikke finne tekniske utfordringer som er til hinder for å starte en løpende overvåkingstjeneste.

INNHold

| | |
|--|----|
| FORORD | 3 |
| SAMMENDRAG | 4 |
| INNHold..... | 5 |
| 1 INTRODUKSJON | 6 |
| 2 OVERVÅKINGSSYSTEMET..... | 12 |
| 3 MATERIAL | 21 |
| 4 METODE / ENDRINGSANALYSE..... | 27 |
| 5 RESULTATER..... | 48 |
| 6 VISUELL / MANUELL KONTROLL | 65 |
| 7 NEDLASTING, DATALAGRING OG PROSESSERING | 66 |
| 8 DISKUSJON | 69 |
| 9 KONKLUSJON..... | 73 |
| 10 FORSLAG FOR ENDRINGSANALYSE PÅ NASJONALT NIVÅ | 75 |
| ORDLISTE..... | 78 |
| REFERANSER..... | 79 |

1 INTRODUKSJON

1.1 BAKGRUNN OG PROBLEMSTILLING

For å ivareta hensyn til sjeldne og truede arter i skog er det utviklet en registreringsmetodikk for kartlegging av viktige livsmiljøer i skog. Metodikken heter Miljøregistrering i Skog (MiS). Etter registrering gjennomføres det en prosess med rangering og utvelgelse av livsmiljøer for forvaltning. De utvalgte livsmiljøene med et eventuelt «bufferareal» forvaltes i nøkkelbiotoper. I hovedsak betyr det at disse nøkkelbiotopene skal ha en fri utvikling uten inngrep. I noen av nøkkelbiotopene kan det gjennomføres lukket hogst. Disse tilfellene har vi sett bort i fra i de videre analysene grunnet at det uansett er av interesse i prosjektet å oppdage endringer og fordi dette lett vil kunne avklares med sertifikatholder i etterkant av endringsanalyse. I 2011 oppdaget en sertifikatholder at det var hogd innenfor grensene av en nøkkelbiotop hvor dette ikke var i samsvar med skjøtselsråd. Dette blir sett på som et svært alvorlig avvik og på bakgrunn av dette sendte PEFC Norge brev til samtlige skogsertifiserte bedrifter med oppfordring om å gjennomføre kontroll av nøkkelbiotopene. Totalt ble ca. 57.000 nøkkelbiotoper kontrollert ved hjelp av nyere flybilder. Ved mistanke om hogst ble nøkkelbiotopene kontrollert i felt. For hele landet ble det vurdert at 388 nøkkelbiotoper tilsvarende 0,7 % av nøkkelbiotopene hadde fått ødelagt sin økologiske funksjon som følge av hogst og måtte erstattes. Som erstatning for nøkkelbiotoper som helt eller delvis var ødelagt av hogst ble det etablert 755 nye nøkkelbiotoper. Dette viste at det var behov for å skjerpe rutinene for forvaltning av nøkkelbiotoper og kontroll. Til nå er det registrert om lag 90 000 nøkkelbiotoper. Selv om bruk av GPS i kartlegging og i hogstmaskiner i nyere tid har gitt mindre risiko for feilhogster, skjer det og oppdages det feilhogster også etter man var ferdig med prosessen med registrering og oppretting av avvik. Sekretariatet for PEFC- Norge opplever å få meldinger om feilhogster i nøkkelbiotoper, for eksempel etter kommunens resultat- og miljøkontroll som skjer 3 år etter hogst. Løpende kontroll av omløpsfoto er en kostnadskrevenende for sertifikatholder: det kreves ferske omløpsfoto, som blir tilgjengelig om lag hvert 5. år, og innebærer mye manuelt arbeid.

En utsjekk av nøkkelbiotoper i databasen Kilden viser også at det fremdeles er mange nøkkelbiotoper som er avviksbehandlet, omdisponert osv. men ikke er flyttet eller slettet.

Totalt sett er dette med på å svekke offentlige myndigheters, miljøorganisasjoners og allmenhetens troverdighet til miljøarbeidet i skog og PEFC- skogsertifisering.

1.2 MÅL

Prosjektet går ut på å utvikle, og teste ut, en løsning for overvåking av tilstand og ev. inngrep i alle nøkkelbiotoper. For å få en mest mulig kostnadseffektiv løsning vil vi i prosjektet utvikle og teste endringsdeteksjon i nøkkelbiotopene ved bruk av gratis nedlastbare optiske bilder fra vegetasjonsovervåkings-satellitten Sentinel-2. Informasjon fra endringsanalysen er også tenkt brukt til å utvikle et system som kan sikre harmonisering mellom alle enheter som forvaltes som nøkkelbiotoper etter PEFC Skogstandard og registreringer som finnes i offentlige databaser.

Hovedmål

Utvikle et system for enhetlig overvåking av alle nøkkelbiotoper.

Delmål

Utvikle et system som kan sikre harmonisering mellom alle enheter som forvaltes som nøkkelbiotoper etter PEFC Skogstandard og registreringer i offentlige database.

1.3 HVA ØNSKER VI Å OPPNÅ?

Hver enkelt skogbruksaktør er ansvarlig for å iverksette korrigerende og/eller forebyggende tiltak ved avvik, men det vurderes at det er betydelige økonomiske fordeler ved å utvikle et felles verktøy for overvåkning av nøkkelbiotoper.

Vi ønsker å få:

- En enhetlig rutine for kontroll av kravpunkt om nøkkelbiotoper etter skogbruksloven og PEFC Skogstandard. Med en fellesløsning vil man unngå å få ulike løsninger med ulik kvalitet.
- Reduserte utviklingskostnader kontra om hver enkelt aktør i skogbruket må lage en egen løsning.

- Mulighet til å sette bort hele eller deler av endringsdeteksjonsoppgaven til en aktør.
- Utviklet et effektivt verktøy for å kontrollere at riktige opplysninger om nøkkelbiotoper finnes i sentrale offentlige databaser som SBASE.
- Trygghet for skogeier
- Et system som vil hindre unødig negativ medieoppmerksomhet pga. feil/ikke oppdaterte kartlag i offentlige

1.4 AKTØRER OG ROLLER

Norges skogeierforbund

Norges Skogeierforbund er sentral overbygning for 6 skogeierandelslag, 240 lokale skogeierlag og ca. 35.000 skogeiere over hele landet. Samlet står vi for ca. 80 prosent av produksjon og avvirking av tømmer i Norge.

NORSKOG

Norskog er en medlemsorganisasjon for skogeiere. Norskog representerer skogeiere som står for ca. 15 prosent av den totale avirkningen av skog i Norge. Norskog sitt tømmeromsetningsselskap Nortømmer er PEFC gruppesertifikatholder. I tillegg er Norskog eier av selskapet Norsk Skogsertifisering AS, som tilbyr sertifisering av skogeiendommer etter krav i PEFC uavhengig av fra kontrakt om tømmerkjøp.

En av Norges Skogeierforbunds og Norskogs hovedoppgaver er å jobbe for å sikre aksept for at det kan drives verdiskaping basert på et bærekraftig skogbruk. Det er derfor svært viktig for organisasjonene å stimulere til og bistå de som hogger og omsetter tømmer med rutiner og løsninger som forenkler og styrker skogbrukets etterlevelse av lovpålagte krav, og krav gitt gjennom frivillige miljøsertifiseringsordninger. Skogeierforbundet har derfor påtatt seg en koordinerende rolle og har ledet dette prosjektet.

Skogeier

Skogeier er ansvarlig for at planlegging og gjennomføring av skogbrukstiltak skjer i samsvar med lover og forskrifter som regulerer skogbruk og

miljøsertifiseringsordninger, som Norsk PEFC Skogstandard. Skogeier er ansvarlig for at den som utfører arbeid i skogen har kunnskap om skogens kjente miljøverdier. Skogeiers ansvar og kunnskapsplikt gjelder uavhengig av egen kompetanse. Har ikke skogeier tilstrekkelig kompetanse, må slik kompetanse skaffes til veie.

I mange tilfeller vil skogeier gjennom sertifiseringsavtale eller annen kontrakt kjøpe nødvendig kompetanse av bedrifter sertifisert gjennom PEFC.

PEFC sertifiserte bedrifter

I Norge er det 12 bedrifter som kjøper og omsetter tømmer etter krav i PEFC standarder. Gjennom Norsk PEFC skogstandard stilles det en rekke krav til gjennomføring av hogst og skjøtsel av skog. Sertifisering innebærer å ha systemer og rutiner som sikrer at kravene som er satt etterleves. En sentral del av dette er oppfølging og kontroll, som skjer både ved intern og ekstern kontroll av den enkelte sertifiserte bedrift samt gjennom konsultasjoner med andre interessenter. De aller fleste skogeiendommer i Norge er sertifisert gjennom gruppesertifisering. Det innebærer at skogeiere blir sertifisert under ett felles sertifikat, som forvaltes av en gruppesertifikatholder. Gjennom en slik organisering kan gruppen dele på kostnadene ved sertifisering, samt ta del i et felleskap for informasjon, rådgivning og rutiner knyttet til ordningen. Eiendomsstrukturen i Norge, med stor variasjon i eiendomsstørrelse, og stor bruk av entreprenører gjør gruppesertifisering til en fornuftig og rasjonell metode for å organisere skogsertifiseringen på.

I forbindelse med gruppesertifisering skal sertifikatholder skal ha rutiner for å sikre at skogeier har etterlevd kravpunkt i Norsk PEFC Skogstandard. Utvikling av et felles verktøy for å overvåke nøkkelbiotoper og tidlig avdekke avvik vil kunne inngå som en del av sertifikatholders rutiner for å sikre etterlevelse av krav i PEFC standarder.

Landbruksdirektoratet

Landbruksdirektoratet er nasjonal fagmyndighet på skogområdet og har ansvar for forvaltning av sentral database for skogbruksplan- og miljødata (SBASE). Dette i henhold til forskrift om delegert myndighet fra Landbruks- og

matdepartementet. Direktoratet har også ansvar for utvikling av Skogportalen, hvor det gis innsyn i blant annet nøkkelbiotoper som ligger i SBASE. Det er et mål at all miljøinformasjon som skognæringen må forholde seg til ved drift av skog skal framkomme i Skogportalen. Både SBASE og Skogportalen driftes av NIBIO på oppdrag fra Landbruksdirektoratet.

Landbruksdirektoratet har også et overordnet ansvar for å sikre at bestemmelser i skogloven med tilhørende forskrifter overholdes, gjennom nødvendig styringsdialog med fylkesmannen og kommunene og behandling av klagesaker. Spesielt relevant for dette prosjektet er bærekraftforskriftens bestemmelser om ivaretagelse av verdiene i viktige livsmiljøer og nøkkelbiotoper.

NIBIO v/ Kart og Statistikkdivisjonen

Kart- og statistikkdivisjonens i NIBIO sin hovedoppgave er å gi aktørene i det norske samfunnet et etterrettelig beslutningsgrunnlag knyttet til ressursgrunnlaget, foretaksøkonomi og genressurser i landbruket, og hvordan dette endres over tid. Divisjonen har et særskilt ansvar for kart, statistikk- og geodatatjenester og bidrar med grunnleggende kunnskap om de samfunnsmessige, økonomiske og geografiske rammebetingelsene for utvikling av bioøkonomien. Den skal sikre effektiv datafangst, god dataforvaltning, etterrettelige analyser og bredt anlagt formidling av relevant informasjon. NIBIO V/ Kart og Statistikkdivisjonen forvalter databasen for skogbruksplandata og miljøregistreringer på oppdrag fra Landbruksdirektoratet. Endringsanalyser gjort i dette prosjektet er basert på data fra SBASE

1.5 KORT OM KUNSKAPSSTATUS

Endringsdeteksjon i skog, ved bruk av satellitter, har tidligere vært prøvd ut i flere tilfeller, også i Norge. I 2014 testet Solberg et al. bruk av satellittdata til å kartlegge hogst og skogskader med et spesielt fokus på stormskader. Resultatene her var positive og det konkluderes med at satellittdata har et potensiale for kartlegging av skogskader og hogst. Her ble bl.a. den optiske satellitten Landsat brukt. Landsat har en oppløsning på 30x30 m og en omløpstid på ca. 16 dager. Av utfordringer i dette prosjektet ble det pekt på lav oppløsning i rom og tid. I samme rapport pekes det spesielt på at Sentinel-2 misjonen vil gi tilgang på

optiske data med bedre oppløsning (10x10 m) med bølgelengder i den visuelle og infrarøde delen av spekteret, som er godt egnet for endringsdeteksjon i skog. Sentinel-2 vil også gi hyppigere oppdateringer enn tilsvarende satellitter med 2-4 dagers omløp. Det gjør det lettere å få skyfrie bilder og mer nøyaktige data ved å hente ut gjennomsnittsverdier fra flere skyfrie bilder.

Norge er deltaker i Copernicus-programmet, som står bak utvikling av jordobservasjonssatellitten Sentinel-2A. Her har Norge bidratt med finansiering og utviklingen av satellitten og tjenester. I juni 2015 ble satellitten Sentinel-2A i Copernicus-programmet skutt opp. Oppskytingen var en suksess. Data vil fortløpende frigis til bruk for norsk forvaltning, næringsliv og forskning. I 2017 ble det skutt en satellitt (Sentinel-2B) som er identisk med Sentinel-2A. Det vil øke tilgangen på bilder.

2 OVERVÅKINGSSYSTEMET

2.1 OVERSIKT

Overvåkingssystemet vil baseres på verktøyet som er utviklet for å detektere endringer i Nøkkelbiotoper. Det vil også være nødvendig med en sentral database for å lagre endringer og kunne gi varsel til relevante sertifikatholdere. I neste ledd vil man være avhengig av at sertifikatholderne følger opp varslene og avklarer om det har skjedd en endring (om nødvendig med feltbefaring).

Endringsdeteksjonsverktøyet vil være grundig omtalt i rapporten her refererer vi bare til resultater fra endringsanalysen.

2.2 DATABASE OG BEHANDLING AV DATA FRA ENDRINGSANALYSE

NIBIO forvalter på vegne av Landbruksdirektoratet den offentlige databasen for skogbruksplandata med miljøregistreringer kalt SBASE. Her er hver enkelt Nøkkelbiotop gitt en attributt-tabell med blant annet en unik ID. Databasen er under utvikling i et eget prosjekt kalt SBASE 2.0. Prosjektet er igangsatt blant annet på bakgrunn av behov for en database for å håndtere varsler om endring i nøkkelbiotoper og utvikling av en løsning for å gjøre løpende ajourhold, blant annet basert på avvikshåndteringen i etterkant av endringsanalyse.

2.2.1 VALG AV DATABASE

Som en del av dette prosjektet er det gjort en vurdering av om SBASE kan brukes som database til å behandle data fra endringsanalysen i Nøkkelbiotoper. Det er gjennomført møter med relevante aktører og enighet om at det er mulig å løse behov for databasebehandling i forbindelse med endringsdeteksjon i SBASE. Konkret vil dette innebære at det utvikles:

- Nødvendige attributter tilknyttet hver enkelt nøkkelbiotop (ID)
- Innloggingsløsning for sertifikatholder for å motta og varsler om endringer i Nøkkelbiotoper
- Endringslogg – logg over endringer som er oppdaget og ev. håndtert med justering av grenser erstatningsbiotop m.m.
- Mulighet for sertifikatholder til å gi tilbakemeldingen om varsel om endringer er reelt blant annet som en følge av feltbefaring.

Det siste punktet gir mulighet for å kontinuerlig forbedre endringsverktøyet basert på «bakkesannhet»

Det er mulig å løse alle punkter nevnt over i SBASE og i forbindelse med prosjekt utvikling av SBASE 2.0. Alternativ vil det måtte etableres en egen sentral database for håndtering av meldinger om endringer. Det er en forutsetning for eventuell bruk av SBASE at PEFC- sertifikatholdere og Landbruksdirektoratet blir enige om en løsning for databasebehandling. Prosjektet utvikling av SBASE 2.0 er av ulike årsaker forsinket. Det er også en av grunnene til forsinkelser også i dette prosjektet. Det er imidlertid enighet om hvordan resultater fra endringsanalyse kan behandles i SBASE.

2.2.2 OPPDATERING/OPPRYDDING I DATABASER.

Endringsanalyse kan kun gjennomføres på endringer som har skjedd etter at Sentinel-2 begynte å levere data. Skognæringen gjennomfører i samarbeid med Landbruksdirektoratet derfor et eget prosjekt for å rydde opp i feil og misforhold mellom data i offentlige og private databaser. Denne oppryddingen vil om kort tid være ferdigstilt og det betyr at man vil få en mer effektiv gjennomføring av endringsanalyse.

2.3 SKISSE OVER PROSESS

Skisse på prosess for løpende endringsdeteksjon:

1. Nøkkelbiotopene sjekkes for ev. feilhogster automatisert ved bruk av fjernmåling. Her kan man stable data fra flere opptak for å få mest mulig, væruavhengig og nøyaktig data.
2. Det gjennomføres en manuell kvalitetssikring av endringsvarsler.
3. Varsel om ev. feilhogster sendes ut til aktuelle sertifikatholdere i regionen via en sentral database.
4. Sertifikatholder kontrollerer avviket:
 - a. Kontroll viser avvik: sertifikatholder avviksbehandler og sørger for at data blir oppdatert i offentlige databaser.

- b. Kontroll viser ikke avvik: sertifikatholder melder tilbake at den aktuelle nøkkelbiotopen ikke var skadet informasjonen lagres i SBASE og brukes til ev. forbedring av endringsdeteksjonsverktøyet.
5. Ny kontroll gjennomføres neste omløp (år) det vil da avdekkes om avviksbehandlingen er oppdatert i offentlige databaser. Hvis avviket/endringen ikke er oppdatert, gis det varsel til sertifikatholder og ev. de som er ansvarlig for å oppdatere SBASE.

2.4 LITT OM KARTLEGGINGSNØYAKTIGHETEN AV MIS-LIVSMILJØER / NØKKELBIOTOPER (FJG)

MiS-registreringene startet som en integrert del av skogbruksplanleggingen i 2001 (Landbruksdirektoratet, 2014 Registrering av MiS-livsmiljøer for prosjekter som planlegges etter 10/06/2017 følger typifisering og beskrivelsessystemet Natur i Norge (NIN) (Landbruksdirektoratet, 2017).

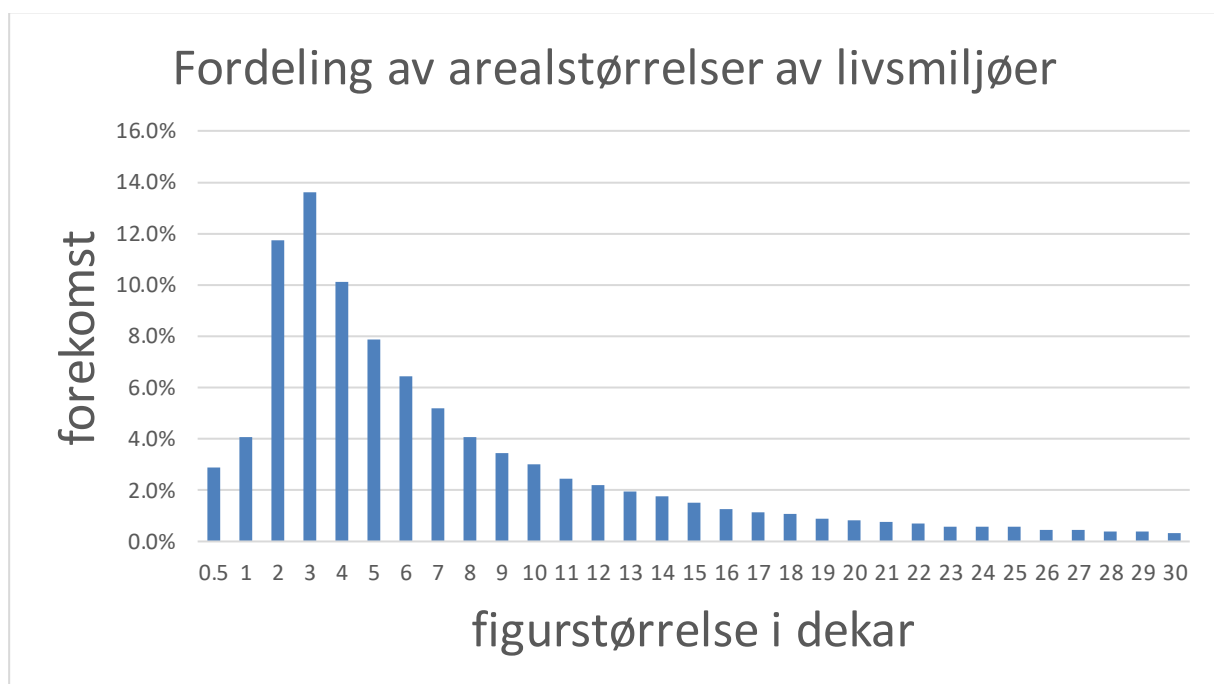
Det eneste kravet på kartleggingsnøyaktighet som vi finner i begge standardene er et krav på minste areal på figurene. Dette minstearealet skal være 2 dekar ifølge den gamle standarden. Livsmiljø under 2 dekar kan punktfestes (Landbruksdirektoratet, 2001). I henhold til ny standard for registrering av MiS-livsmiljøer varierer minste arealet mellom 0.5 dekar og 5 dekar, avhengig av type livsmiljø.

Kartlegging baseres på tolkning av flybilder, typisk med 25 til 50 cm oppløsning, og på kartlegging i felt. De største feilkildene på stedfestingsnøyaktighet er:

- Selve fysiske avgrensning av livsmiljøet: livsmiljøer har sjelden «harde» grenser og avgrensingen kan lett få en usikkerhet på 10 til 20 meter.
- GPS nøyaktighet for eldre kartlegginger i felt. Vi estimerer at eldre feltkartlegging fort kan ha en posisjoneringsfeil på 10 til 20 meter.
- Digitaliseringsfeil og feil forbundet med transformasjoner av koordinatsystemer. Dette gjelder eldre figurer. Det er vanskelig å estimere størrelsen på denne type feil, men flere titalls meter er ikke usannsynlig.

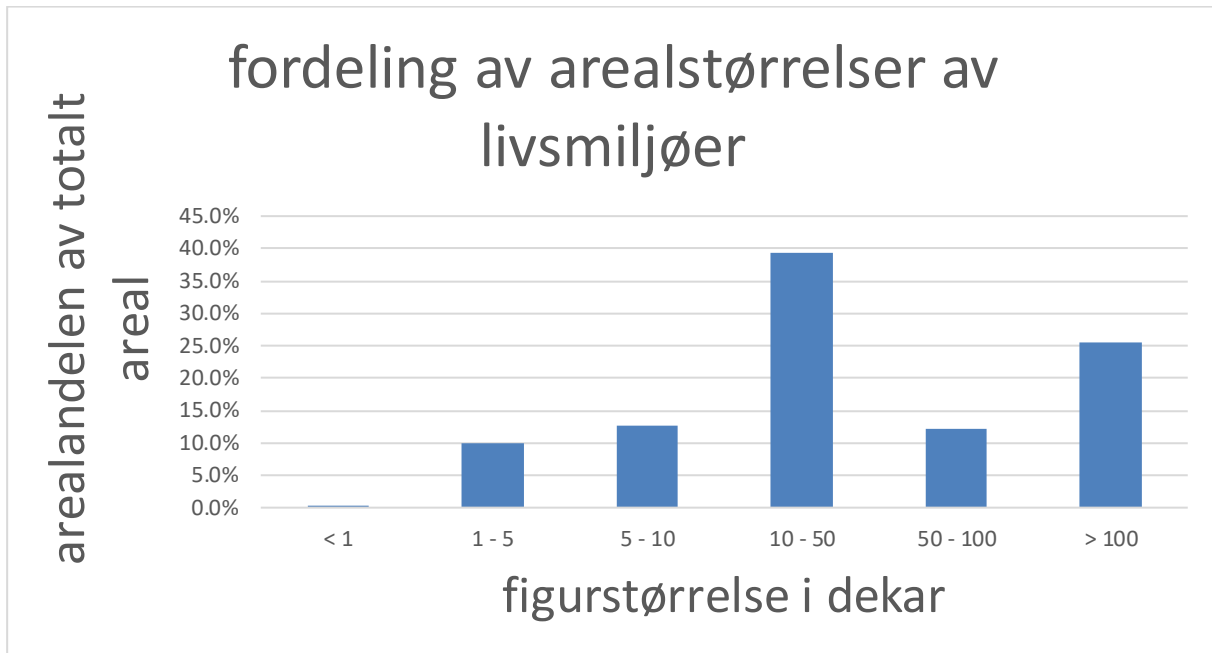
De eldste figurene i SBASE er fra 1995. Over 20 år med kartlegging er en lang periode og dermed kan man forvente at dataene vil ha varierende stedfestingsfeil. Vi har ikke undersøkt stedfestingsfeilen videre i dette prosjektet.

Vi har undersøkt arealstørrelse på figurene. Figur 1 viser fordeling av arealstørrelse av livsmiljøer i SBASE. Totalt antall figurer er nesten 105 000 og inkluderer både livsmiljøer og utvalgte miljøer/nøkkelbiotoper. En del figurer har et areal på 0 m² men det skyldes feil i geometrien av figurene. De fleste figurer har et areal mellom 2 og 3 dekar. Den største figuren har et areal på 7565 dekar. Det kan inngå flere livsmiljøer i en nøkkelbiotop som er forvaltningsenheten.



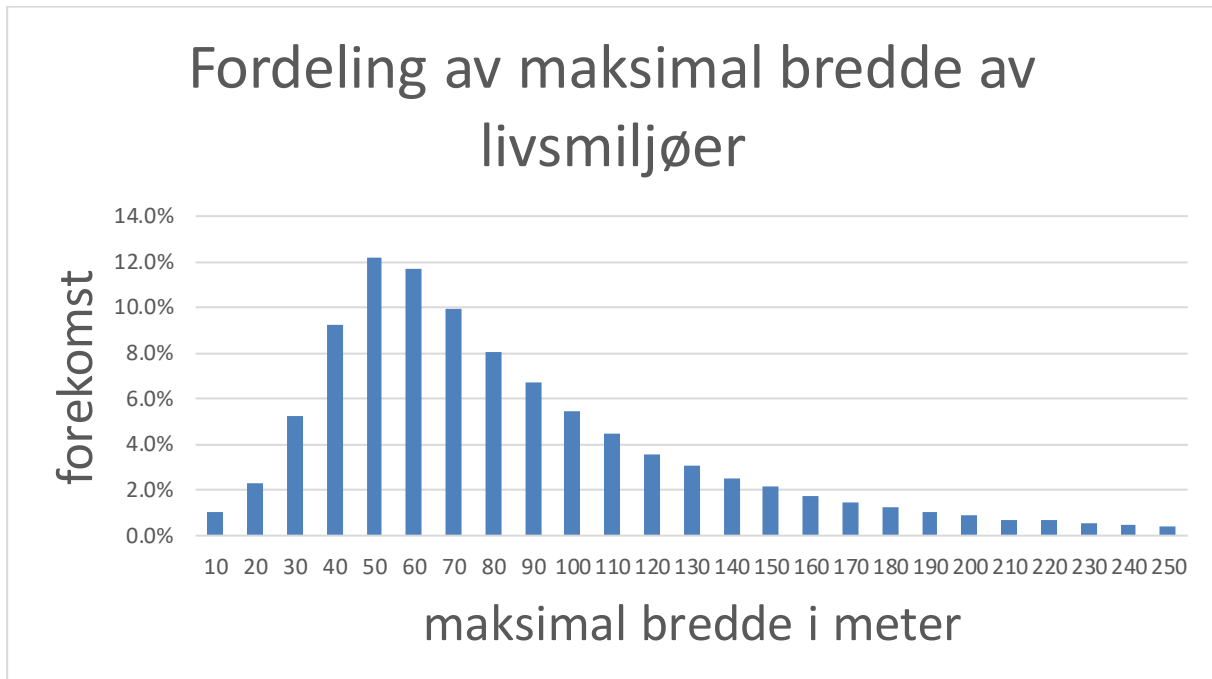
Figur 1. Fordeling av arealstørrelse av livsmiljøer. De fleste figurer har et areal på mellom 2 og 3 dekar (13.6%).

Figur 2 viser fordeling av arealet i størrelsesklasser. Mens det høyeste **antallet** figurer har en størrelse mellom 2 og 3 dekar så ligger det meste **arealet** i figurer som er mellom 10 og 50 dekar store.



Figur 2. Fordeling av arealstørrelse av livsmiljøer som andel av totalt areal. Største delen av livsmiljøarealet er plassert i figurer med en størrelse på mellom 10 og 50 dekar.

Vi har forsøkt å generere noe statistikk om maksimal bredde på figurene, men det finnes en del feil i geometrien som gjør at tallene ikke er særlig brukbare. Figur 3 viser fordelingen av maksimal bredde på figurene. Figurer som har en bredde på under 10 eller 20 meter er ikke representative. Visuelt kontroll viser at de fleste av disse figurene er skapt av en klippe-operasjon og dermed har fått unaturlig geometri.



Figur 3. Fordeling av maksimal bredde på livsmiljøer. De fleste figurer har en maksimal bredde mellom 40 og 50 meter (12.2%).

2.5 KRAV TIL ENDRINGSANALYSEN

Det finnes ulike typer krav man kan stille til et system for endringsanalyser:

- Tematisk nøyaktighet
- Geometrisk nøyaktighet
- Oppdateringsfrekvens
- fremstillingstid
- datautveksling og formater

Norges Skogeierforbund har ikke tatt stilling til alle kravene.

2.5.1 TEMATISK NØYAKTIGHET

Det finnes flere måter å definere tematisk nøyaktighet på.

Et eksempel er gjennomsnittlig klassifiseringsnøyaktighet, definert som andel riktig klassifiserte tilfeller i forhold til totalt antall tilfeller. Det er en bra indikator, men kun hvis alle typer tilfeller forekommer cirka like ofte. Tabell 1 viser en feilmatrix med alle fire muligheter som finnes i klassifiseringsresultatet. En nøkkelbiotop kan enten ha blitt eller være uendret i virkeligheten og i endringsanalysen kan samme nøkkelbiotop bli klassifisert som endret eller uendret. En figur som er uendret i

virkeligheten og klassifisert som uendret kaller vi for «riktig negativt». En figur som er endret i virkeligheten og klassifisert som endret kalles for «riktig positivt».

Tabell 1. Feilmatrixe teoretisk

| | Endret i virkeligheten | Uendret i virkeligheten |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Klassifisert som endret | Riktig Positivt (RP) | Falskt Positivt (FP) |
| Klassifisert som uendret | Falskt Negativt (FN) | Riktig Negativt (RN) |

Tabell 2. Feilmatrixe eksempelverdier og indikatorer

| | Endret i virkeligheten | Uendret i virkeligheten | Sum |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------|
| Klassifisert som endret | 10 | 970 | 980 |
| Klassifisert som uendret | 20 | 9 000 | 9 020 |
| Sum | 30 | 9 970 | 10 000 |
| <hr/> | | | |
| Nøyaktighetsindikator | Formell | verdi | |
| Gjennomsnittsnøyaktighet | $(RP+RN)/totalt$ | 90% | |
| Sensitivitet | $RP/(RP+FN)$ | 25% | |
| Andel falskt negative | $FN/(RP+FN)$ | 75% | |
| Presisjon | $RP/(RP+FP)$ | 1% | |

Tabell 2 viser samme feilmatrixen med eksempelverdier. La oss ta et eksempel på en analyse av 10 000 figurer. Vi forventer at få figurer har blitt endret i virkeligheten: 30 stykk. Klassifiseringsresultatet ser bra ut ved første øyekast: gjennomsnittlig klassifiseringsnøyaktighet er $(10+9000)/10000 = 90\%$. Når vi ser nærmere på det derimot, forteller ikke dette mye om hvor bra endringsdeteksjonen fungerte. Hvis vi hadde markert alle figurer som «ikke endret» - uten å bruke en algoritme- så ville vi ha oppnådd en nøyaktighet på 99,7%! For å kunne si noe om hvor bra deteksjonen fungerer må vi se på andre indikatorer.

Sensitivitet ser på andel endrede figurer som har blitt riktig klassifisert i forhold til totalen endrede figurer, ikke totalen av alle figurer. Av de 30 figurer som har en endring har kun 10 blitt riktig klassifisert: kun 25%.

Andel falskt negativt defineres som antall falske negativer delt på totalt antall endrede figurer: $20/30 = 75\%$. Denne indikatoren pluss sensitivitet blir 100% til sammen.

Presisjon forteller noe om hvor sikker man kan være på at en figur som ble klassifisert som endret også er endret i virkeligheten. I eksempelet ovenfor ble det klassifisert 980 figurer som endret. Kun 10 av disse var endret i virkeligheten: 1%.

I praksis betyr resultatene i dette eksempelet at 20 av 30 endrede figurer ikke oppdages og at man sitter med 970 falske alarmer som man må gjøre noe med. Oppdragsgiverne ønsker begge feiltyper så lave som mulig, men kan ikke sette noen absolutte krav. Vi anser det som viktig at antall uoppdagede endrede figurer er så lavt som mulig; vi ønsker å fange opp alle endringer. Ofte betyr det at antall falske alarmer går opp. Falske alarmer kan i mange tilfeller effektivt avklares ved bruk av visuell kontroll for å eliminere de fleste av disse.

2.5.2 GEOMETRISK NØYAKTIGHET

Endringsdeteksjonen bør helst levere resultater med en geometrisk nøyaktighet bedre enn 10 meter, men det er ikke noe absolutt krav.

Nøkkelbiotoper som slår ut i endringsdeteksjon skal uansett undersøkes nærmere: først og fremst med hjelp av flyfoto eller laserdata hvis det er tilgjengelig. Viser nærmere analysen at nøkkelbiotopen sannsynligvis har blitt endret eller at det ikke finnes detaljerte nyere flyfoto eller laserdata, vil det være nødvendig å oppsøke nøkkelbiotopen i felt for å avklare status.

Eksakt avgrensning er derfor ikke et så viktig krav og det er ingen problem at den geometriske feilen er mellom 10 og 40 meter for en del av resultatene.

2.5.3 OPPDATERINGSFREKVENS

Kravet er å ha en årlig kontroll på alle nøkkelbiotoper i Norge.

Det kan være ønskelig å kontrollere områder med mye aktivitet oftere, men det er ikke absolutt nødvendig og det bør ikke medbringe en betydelig økning av kostnadene.

2.5.4 FREMSTILLINGSTID

Med fremstillingstid mener vi tiden mellom opptak av satellittbildet/-bildene og leveranse av ferdig endringsanalysen.

Det er ikke noe spesielle krav på fremstillingstid, men det er ønskelig med leveransen innfor et par måneder. Det er ikke nødvendig at alle resultater over hele landet leveres samtidig.

2.5.5 DATAUTVEKSLING OG FORMATER

Resultatet av endringsanalysen skal kunne lagres i en sentral database. Til dette kreves det at det brukes standard utvekslingsformater i GIS.

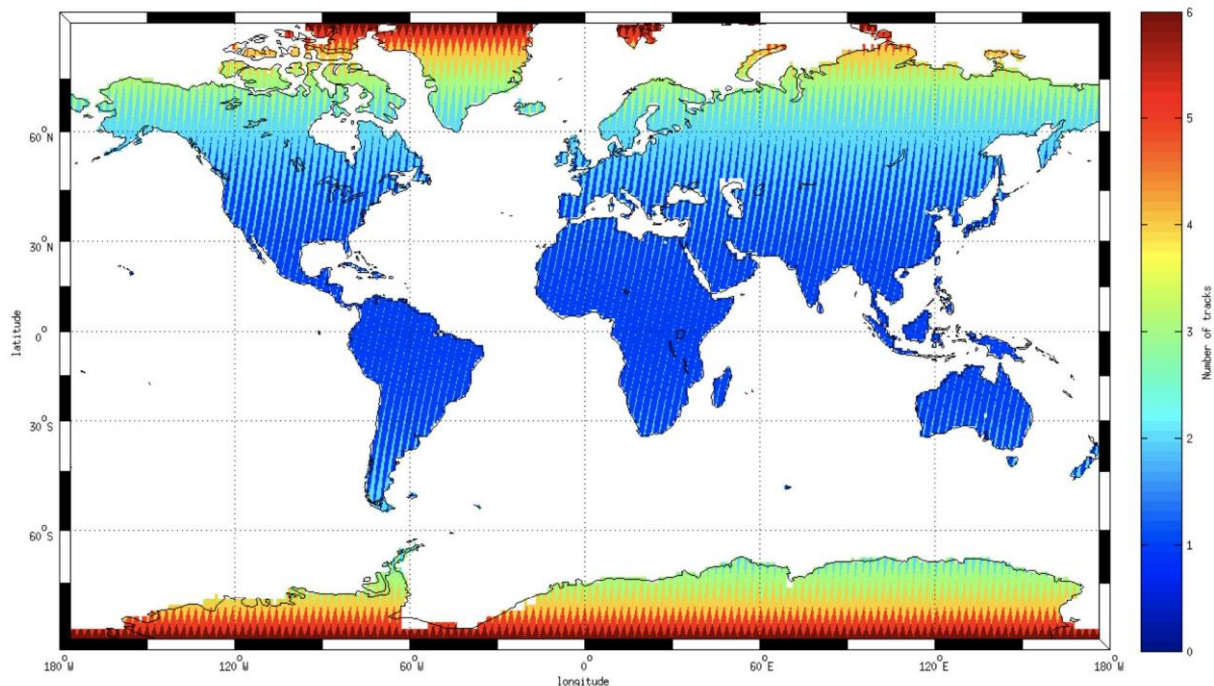
Resultatet av endringsanalysen kan som et minimum leveres som informasjon i tabellformat, forutsatt at hver nøkkelbiotop kan identifiseres med en unik ID.

3 MATERIAL

3.1 SATELLITTDATA / SENTINEL-2

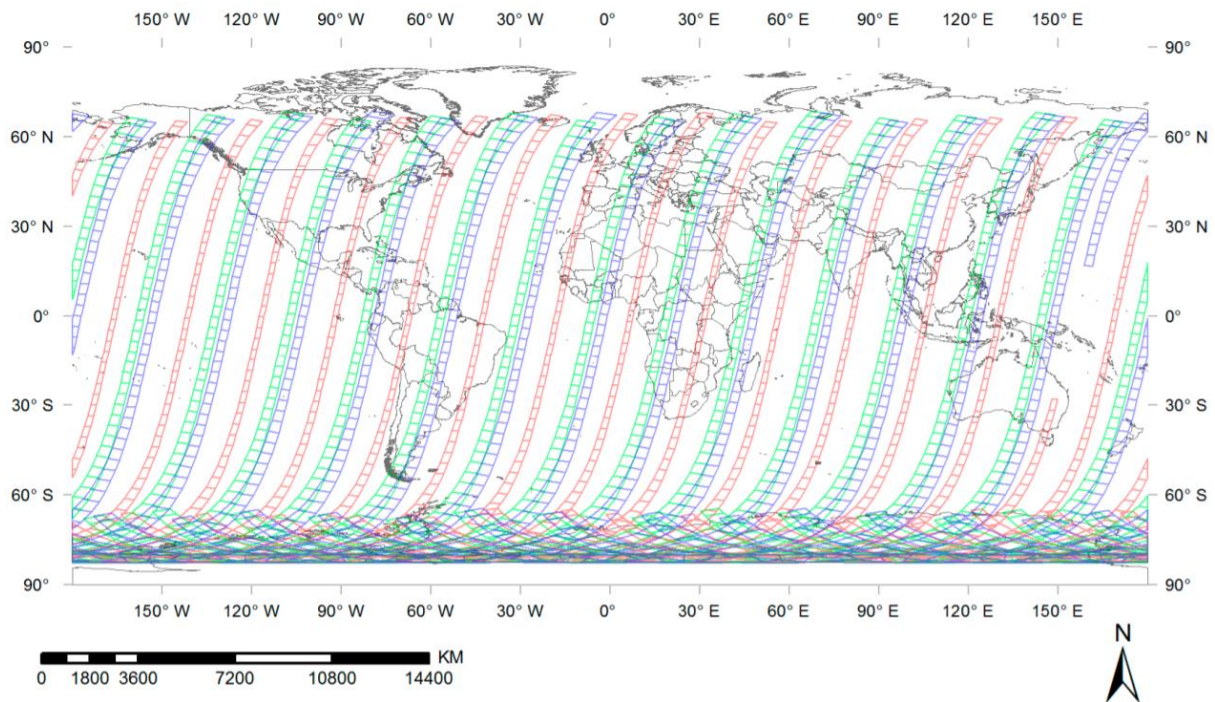
3.1.1 GENERELL INFORMASJON

Sentinel-prosjektet består av flere satellitter konstruert for global datafangst, og er drevet av Copernicus-programmet. Av de ulike typene Sentinel-satellitter er Sentinel-2 bygget for hyppig omløp av bildedata. Copernicus-programmet består i dag av to slike satellitter, Sentinel-2A og Sentinel-2B. Henholdsvis skutt opp 23. juni 2015 og 7. mars 2017 (ESA, 2019a). Sammen gir de en omløpstid på 5 dager ved ekvator og 2-3 dager på nordligere breddegrader (ESA, 2019b). Global omløpstid er visualisert i Figur 4:



Figur 4. Verdenskartet viser omløpstid for sentinel-2 for ulike områder. Verdi er oppgitt i antall dager. (ESA, 2019b)

På vinterstid blir nordligere områder utelatt, ettersom satellitten passerer i mørke. Figur 5 viser situasjonen 21. desember 2016. Nordligere deler av Norge blir her utelatt.



Figur 5. Verdenskartet viser bildetaking fra sentinel-2A (grønn), sentinel-2B (blå) og landsat-8 (rød) den 21. desember 2016. (Li & Roy, 2017)

Sentinel-2 har 13 spektrale kanaler som strekker seg fra den synlige delen av spekteret, til kortbølge-infrarødt. Bølgelengdene for hver kanal er valgt for å egne seg land- og skogbruk. De ulike kanalene har også ulik oppløsning, der 4 av kanalene har 10 m GSD, 6 kanaler har 20 m GSD og 3 kanaler har 60 m GSD. Av kanalene med best oppløsning finner vi rød, grønn og blå, samt en infrarød kanal i overlapsområdet mellom nær og kortbølge.

Tabell 3. De ulike sentinel-2 kanalene, med tilhørende bølgelengde og oppløsning.

| Sentinel-2 kanaler (B*) | Bølgelengde (nm) | | GSD (m) |
|----------------------------|------------------|-------------|---------|
| | Sentinel-2A | Sentinel-2B | |
| B1 – aerosol | 443.9 | 442.3 | 60 |
| B2 – Blå | 496.6 | 492.1 | 10 |
| B3 – Grønn | 560.0 | 559 | 10 |
| B4 – Rød | 664.5 | 665 | 10 |
| B5 – Vegetasjon | 703.9 | 703.8 | 20 |
| B6 – Vegetasjon | 740.2 | 739.1 | 20 |
| B7 – Vegetasjon | 782.5 | 779.7 | 20 |

| | | | |
|---------------------|--------|--------|----|
| B8 – NIR (bred) | 835.1 | 833 | 10 |
| B8A – NIR (smal) | 864.8 | 864 | 20 |
| B9 – vanndamp | 945 | 943.2 | 60 |
| B10 – SWIR - cirrus | 1373.5 | 1376.9 | 60 |
| B11 – SWIR | 1613.7 | 1610.4 | 20 |
| B12 – SWIR | 2202.4 | 2185.7 | 20 |

3.1.2 TILGJENGELIGHET

3.1.2.1 NEDLASTINGSPORTALER

Sentinel-2 data er i utgangspunktet åpne data, og er tilgjengelig for alle. Bildene blir behandlet og prosessert av Sentinel-bakkesegmentet, driftet av Copernicus-programmet. Her blir bildene satt sammen, georeferert og korrigert både spektralt og geometrisk. Deretter blir de tilgjengeliggjort gjennom «Sentinel open access hub» (<https://scihub.copernicus.eu/>) for gratis nedlastning. Her finnes også åpne data fra de andre Sentinel-prosjektene (Sentinel-1, Sentinel-3 og Sentinel-5P). Sentinel-2 data kan også nås gjennom skyløsningene navngitte som Copernicus Data and Information Access Service (DIAS). Hver DIAS består av verktøy for prosessering og analyse av Sentinel-data på servernivå.

3.1.2.2 TILGJENGELIGHET AV BILDER OM VINTEREN

Sentinel-2 tar ikke bilder når det er for mørkt. Det betyr at det ikke finnes bilder rundt:

- Oslo i hele desember
- Trondheim mellom midten av november og slutten av januar.
- Bodø: mellom starten av november og midten av februar.
- Tromsø: mellom slutten av oktober og midten av februar.

3.1.3 FORMATER, RADIOMETRISKE KORREKSJONER, GEOMETRISKE KORREKSJONER

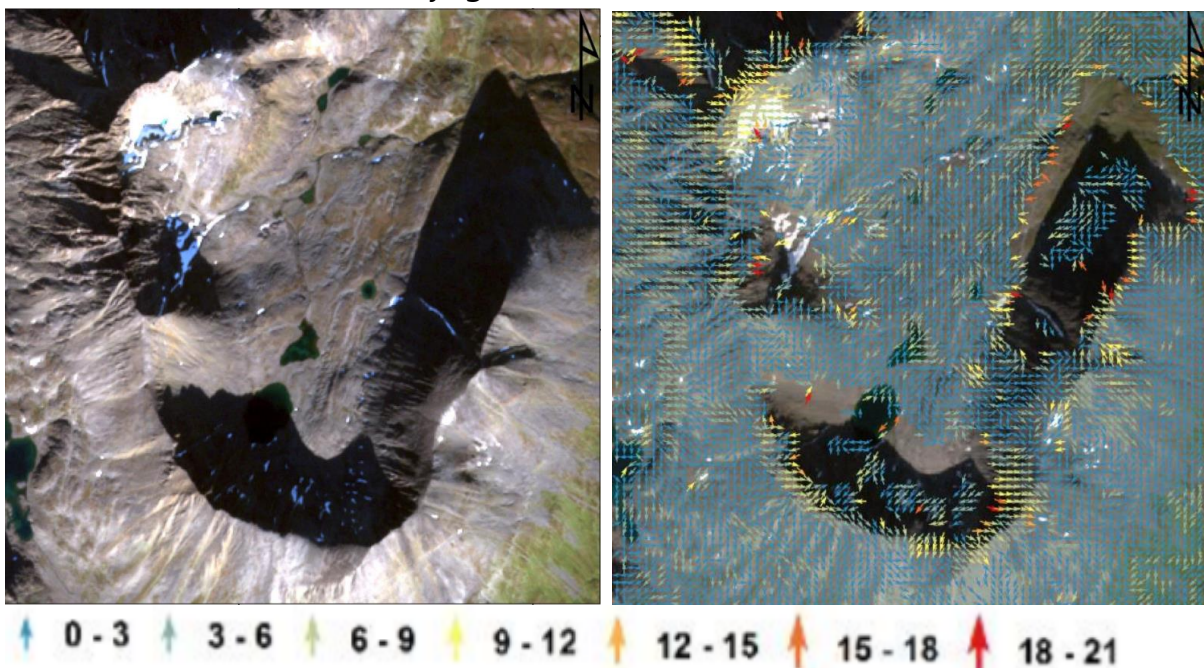
Sentinel-2 produktet behandles på 5 nivå før et optimalt produkt kan benyttes til analyse. De to siste nivåene er tilgjengelig for nedlastning, men disse inneholder også data fra de tre første. Sentinel-2 data som lastes ned fra «Sentinel open

access hub» inneholder både bildene, samt rapporter og metadata fra kvalitetskontroll og behandling. De fem ulike nivåene kan enkelt oppsummeres (ESA, 2019c):

- Nivå-0:
 - Består av rådata fra Sentinel-2. Komprimerte bilder i ISP-format. Feilanalyse, datering og et lavoppløsningsbilde genereres.
- Nivå-1A:
 - Bildet pakkes ut og prosesseres for uthenting av radiometriske verdier. Komprimeres så til JPEG2000.
- Nivå-1B:
 - Her utføres en radiometrisk korreksjon til forholdene over atmosfæren (TOA). Dette innebærer korreksjon av mørke signaler, unormal piksel-respons, defekte piksler og støyfjerning. Bilder vil nå kun inneholde atmosfærisk støy.
 - Også grid-beregninger utføres og sampling av den generelle geometriske registreringen mellom GRI (Globale Referansebilder) og referansekanal. Signalpunkter for både referansekanal og GRI blir filtrert og en triangulering korrigerer bildet til å stemme overens med GRI.
- Nivå-1C:
 - Bildestripene deles inn i tiles. Og bildet samples i forhold til geometriske forhold basert på den aktuelle grid-modellen. I dag brukes en global grid-modell kalt PlanetDEM. Dette danner et ortofoto. Hver kanal blir samplet til å passe geometrisk med ortofotoet. I tillegg kalkuleres endelige TOA reflektansverdier for hver kanal. En sky/land/vann-maske genereres også. 1C-produktet tilgjengeliggjøres i JPEG2000-formatet gjennom Sentinel open access hub.
- Nivå-2A:
 - Her blir reflektansverdier for bunn av atmosfære (BOA) kalkulert basert på data fra nivå-1C. Prosesseringen kan gjøres lokalt etter nedlastning av nivå-1C. Fra mars 2018 kunne nivå-2A også lastes

ned som et eget produkt, men er foreløpig ikke like tilgjengelig som 1C-produktet.

Grid-modellen som brukes til å danne ortofoto i dag (PlanetDEM) gir en utilfreds nøyaktighet i mer kupert deler av Norge. Dette er først og fremst grunnet dårlig oppløsning, men variasjoner i det norske terrenget, som f.eks. nedsmelting av isbreer er også med på å avvike fra PlanetDEM. Kartverket har visualisert disse endringene i en studie knyttet til nasjonal forbedring av grid-modellen. Figur 6 viser en avviksoversikt over Lyngseidet i Troms.



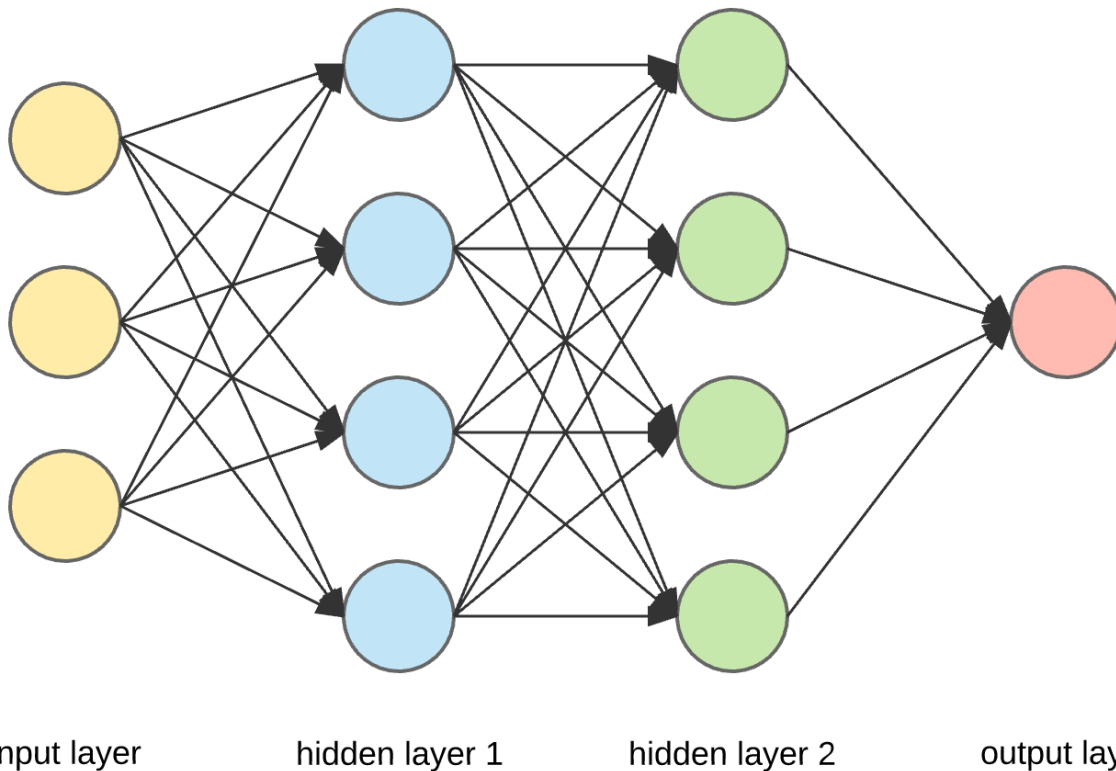
Figur 6. Sentinel-2 bilde over Lyngseidet i Troms. Pilene viser forskyvning av geometri fra faktisk plassering. Utslagsverdi er oppgitt i meter. (Kartverket, 2017)

3.2 NEVRALE NETTVERK

3.2.1 GENERELL INFORMASJON

Nevrale nettverk er i utgangspunktet datastrukturer basert på hvordan nerveceller i hjernen er organisert på. Motivasjonen er å la datastrukturene forme seg etter et gitt klassifiseringsproblem. Slik kan nevrale nettverk brukes som en klassifiseringsmetode på linje med Support Vector Machine (SVM) og Random Forest klassifisering. Nevrale nettverk har som fordel at de kan håndtere store mengder støy i datasett. Der de finner sammenhenger for å skille nyanser i sub-nivåer av modellen. Også kalt skjulte lag. Et nevralt nettverk består av en rekke

sammenkoblede noder vektet ulikt i forhold til hverandre basert på hva modellen er trent opp til. Mellom input og output finnes flere lag av skjulte noder knyttet til hverandre. Dette danner en kompleks struktur med evne til å klassifisere ekstremt nyanserte objekter. (Dvergsdal, 2017)



Figur 7. En forenklet modell av et nevralt nettverk. «Input layer» tilsvarende variabler i datasettet, «hidden layer 1» og «hidden layer 2» tilsvarende de skjulte lagene i nettverket, mens «output layer» tilsvarende klassifiseringsresultatet. (Dertat, 2017)

3.2.2 NEVRALE NETTVERK I PYTHON

Nevrale nettverk er mulig å bruke gjennom en rekke biblioteker i python. Der Google Tensorflow har et sterkt algoritme-grunnlag. Tensorflow er et open-source python bibliotek med høyprestasjons numeriske beregningsevne. Den fleksible arkitekturen gjør det enkelt å bruke på tvers av ulike plattformer (CPU, GPU, TPU), og alt fra stasjonære datamaskiner til mobil og nettbrett. (Tensorflow, 2019)

Algoritmene i Tensorflow kan ved hjelp av python-biblioteket Keras enkelt manøvreres. Keras er et API for å bygge og trene opp nevralt nettverk. Det brukes til prototyping, avansert forskning og produksjon. Keras har et simpelt, konsistent grensesnitt optimalisert for vanlig bruk av Tensorflow-algoritmene.

4 METODE / ENDRINGSANALYSE

4.1 MOTIVASJON FOR ANALYSEN

Målet her er å utvikle en prototype for en landsdekkende endringsanalyse av nøkkelbiotoper. Det skal vurderes hvor omfattende metoden må være for å dekke kravene, hvor ofte analysen må foretas for optimal bruk, samt hvilke hensyn som må tas til støy og særtilfeller. Først vil Sentinel-2 data testes, før det utvikles en algoritme basert på de mest optimale dataene. Ulike algoritmer for å detektere endring vil prøves, og den mest optimale algoritmen vil videre test mot sesongendringer, støyforhold og særtilfeller. En endelig vurdering av algoritmen, samt resultater fra metoden finnes i 5.

4.2 DATA-ANALYSE

Med 13 kanaler tilgjengelig for spektral analyse er det aktuelt å filtrere relevant informasjon, slik at minst mulig data kan benyttes på best mulig måte. De aktuelle kanalene fra Sentinel-2 i vegetasjonsanalyse-sammenheng, er listet opp i Tabell 4:

Tabell 4. Sentinel-2 kanaler egnet for vegetasjonsanalyse med tilhørende bølgelengde og oppløsning. Kanalene er oppgitt med betegnelse B.

| Sentinel-2 kanaler (B*) | Bølgelengde (nm) | | GSD (m) |
|----------------------------|------------------|-------------|---------|
| | Sentinel-2A | Sentinel-2B | |
| B2 – Blå | 496.6 | 492.1 | 10 |
| B3 – Grønn | 560.0 | 559 | 10 |
| B4 – Rød | 664.5 | 665 | 10 |
| B5 – Vegetasjon | 703.9 | 703.8 | 20 |
| B6 – Vegetasjon | 740.2 | 739.1 | 20 |
| B7 – Vegetasjon | 782.5 | 779.7 | 20 |
| B8 – NIR (bred) | 835.1 | 833 | 10 |
| B8A – NIR (smal) | 864.8 | 864 | 20 |
| B11 – SWIR | 1613.7 | 1610.4 | 20 |
| B12 – SWIR | 2202.4 | 2185.7 | 20 |

Vegetasjon har høyest reflektansverdier melle 700 nm – 1400 nm, 1500 nm – 1900 nm og 2000 nm – 2400 nm (Lange et al. 2019). I sammenheng med

nøkkelbiotoper er det også viktig med geometrisk presisjon. Derfor har utgangspunktet blitt å bruke kanalene med lavest GSD.

Tabell 5. Utvalgte Sentinel-2 kanaler med tilhørende bølgelengde og oppløsning. Kanalene er oppgitt med betegnelse B.

| Sentinel-2 kanaler (B*) | Bølgelengde (nm) | | GSD (m) |
|----------------------------|------------------|-------------|---------|
| | Sentinel-2A | Sentinel-2B | |
| B2 – Blå | 496.6 | 492.1 | 10 |
| B3 – Grønn | 560.0 | 559 | 10 |
| B4 – Rød | 664.5 | 665 | 10 |
| B8 – NIR (bred) | 835.1 | 833 | 10 |

Selv om disse kanalene ikke er de optimale spektralt sett, er de valgt ut på grunnlag av oppløsningen (GSD 10 m). Om analysen skulle trenge bedre spektralgrunnlag ville GSD 20 m blitt vurdert.

Basert på disse kanalene har en rekke kombinasjoner i form av indekser blitt vurdert. Først har kanalene blitt testet for utslag på noen utplukkede endringer. Utslaget har blitt målt i prosent av 95% percentil til det totale datasettets utslag pr. dato. Disse utslagene har så blitt sammenlignet med tilsvarende utslag i en rekke kombinasjoner av kanalene kalt indekser. Utslagene i 10 tilfeldig valgte endrings-scenario blir grunnlaget for å plukke ut de indeksene som best mulig skiller naturlige variasjoner fra faktiske endringer i hvert scenario.

Ved å observere indeksene og hvordan de slår ut ved endringer i biotopene, har de mest aktuelle indeksene blitt brukt videre til endringsdeteksjon. Disse analyseresultatene legges frem i 0. De mest aktuelle indeksene er listet opp i Tabell 6.

Tabell 6. Spektralindekser med tilhørende Sentinel-2 kanalkombinasjon. Kanalene er oppgitt med betegnelse B.

| Indeks: | Verdi: |
|----------|---|
| PSRI-NIR | $(B4 - B2) / B8$ |
| EVI2 | $2.5 * (B8 - B4) / (B8 + 2.4 * B4 + 1)$ |
| NDVI | $(B8 - B4) / (B8 + B4)$ |

3 indekser er valgt for å bedre kunne ta stilling til spesialtilfeller der én av indeksene skulle skille seg fra de andre.

4.3 TILRETTELEGGING MED LASERDATA

Til kalibrering og validering i analyseprosessen må fasitdata ligge til grunne.

Datasettene som brukes til dette er basert på laserdata fra NDH. Normaliserte digitale overflatemodeller (NDOM) fra tidspunkter før og etter analyseperiodene brukes til å danne fasitdata for områder som med høy sannsynlighet har blitt hogget. Disse områdene er et godt utgangspunkt for valideringsdata.

Laserdatasettene vil avgrense analyseperioden, og vil derfor bestå av datasett med datering rett før- og etter analyseperioden. Datasettene skal geometrisk dekke test-området, og de ferske dataene skal geometrisk overlapse de gamle. En liste over de aktuelle datasettene før analyseperiode er presentert i Tabell 7. Datoer for datainnsamling er hentet fra hoydedata.no og kan avvike fra faktisk dato.

Tabell 7. Navn på laserdatasett fra hoydedata.no med tilhørende dato for datafangst. Utvalget består av datasett før analyseperiode.

| Datasett | Dato |
|------------------|------------|
| Gjøvik_2013 | 08.07.2013 |
| Hurdal_2007 | 01.01.2007 |
| Søndre_Land_2012 | 08.09.2012 |
| Sør-Aurdal_2008 | 01.01.2008 |
| Toten_2009 | 01.01.2009 |

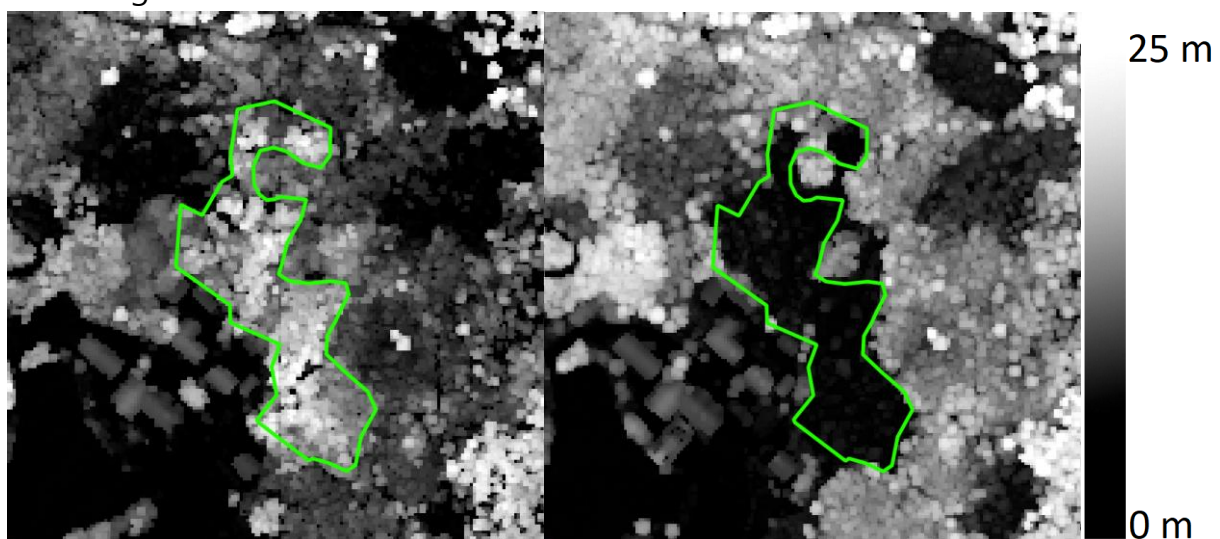
En liste over de aktuelle datasettene etter analyseperiode er presentert i Tabell 8:

Tabell 8. Navn på laserdatasett fra hoydedata.no med tilhørende dato for datafangst. Utvalget består av datasett etter analyseperiode.

| Datasett | Dato |
|--------------------------------|------------|
| Eidsvoll-Hurdal_Totenåsen_2017 | 12.10.2017 |
| Gjøvik-Sondre_Land_2017 | 23.07.2017 |
| Hedalen_2017 | 18.08.2017 |
| Søndre_Land_2017 | 12.07.2017 |
| Valdres_2017 | 19.07.2017 |

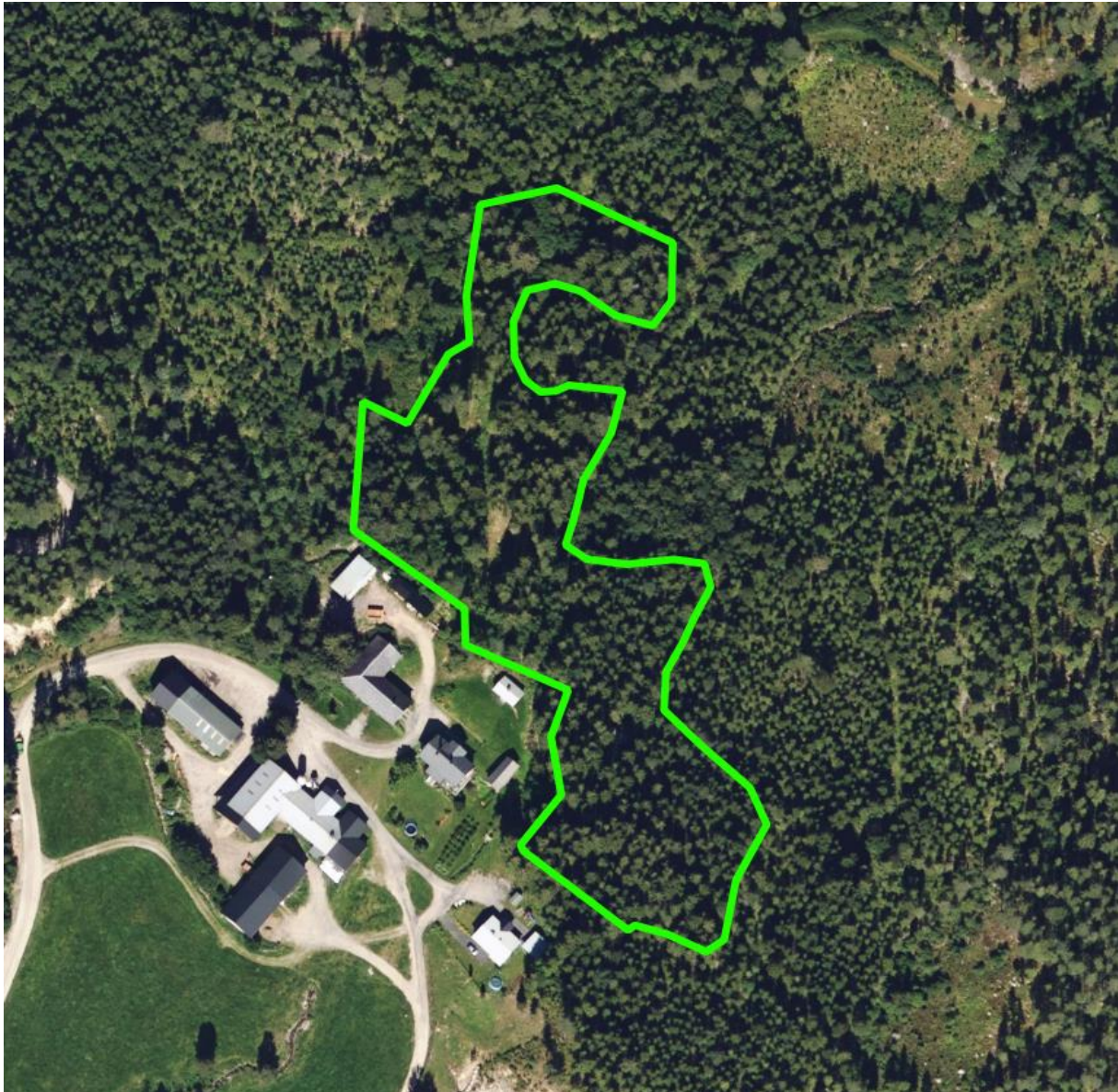
Laserdatasettene rammer inn mulig analyseperiode til intervallet 08.07.2013 – 12.07.2017. Noen steder vil seneste dato avvike da de ulike laserdatasettene har forskjellige datoer for datafangst. F.eks. vil en test-flate dekket av Hedalen_2017 vil kunne overskride rammen definert ovenfor.

Med laserdata på to ulike tidspunkter kan en med sikkerhet si at en endring har skjedd. Laserdataene blir først prosessert til å danne en normalisert digital overflatemodell (NDOM) som gir utslag med centimeters presisjon i høyde. Dermed kan trær enkelt skilles ut fra lav vegetasjon og bar bakke. Om trær skulle felles gir dette et utslag i høyde, og endringer kan enkelt detekteres. Et eksempel vises i Figur 8.



Figur 8. Nøkkelbiotop (grønn polygon) i to ulike NDOM-representasjoner av laserdata. Hvite verdier tilsvarer høyder over 25 meter. Svarte verdier tilsvarer 0 meter. I venstre NDOM er nøkkelbiotopen urørt, mens den i høyre bilde er hogget.

Denne nøkkelbiotopen har blitt felt. Høydeverdiene har gått fra opp mot 25 m til ned mot 0 m. I Figur 9 vises det flyfoto fra Norgebilder.no. Dette bildet er eldre enn fellingen, så nøkkelbiotopen fremstår som uberørt av hogst.



Figur 9. Nøkkelbiotop (grønn polygon) i flyfoto-visualisering. Nåværende flyfoto fra norgebilder.no er ikke oppdatert etter dagens situasjon.

Videre blir de to laser-NDOM bildene subtrahert fra hverandre. En terskel for endringsverdi på det subtraherte resultatet settes. Dette gir en oversikt over hvilke flater som med sikkerhet har blitt endret, og hvilke som med sikkerhet ikke er berørt. Dataene brukes videre som validering.

4.4 ALGORITME-UTVIKLING

Det er utprøvd en rekke metoder for å finne en fungerende deteksjonsalgoritme. Algoritmene er utprøvd fra enklest mulig, til mer komplekse, helt til et godt brukbart resultat kunne verifiseres. De ulike algoritmene er beskrevet i dette kapitlet.

4.4.1 TEST-OPPSETT

Ved testing av de ulike algoritmene er visse kriterier lagt til grunn. Uendrede nøkkelbiotoper vil multipliseres med antall datoer for endringsanalyse. Ettersom disse eksponeres for analysen i alle bildene. En uendret nøkkelbiotop vil derfor kunne betegnes riktig eller feil like mange ganger som analysen eksponeres for nøkkelbiotopen.

Endrede nøkkelbiotoper vil kun eksponeres én gang i analyseperioden. Men om endringer gjør utslag på algoritmen etter endringstidspunkt blir ikke dette sett på som feil. Dette blir kun utelatt av analysen. Ettersom de da uansett vil være irrelevante for videre analyse. Ved falsk negativ i det samme tilfelle vil en falsk positiv etter endringstidspunktet likevel telle som sann positiv, ettersom da endringen detekteres. Blir de i motsetning betegnet som endrede før endringstidspunktet, blir dette sett på som falske positive.

Algoritmene ble testet på totalt 1096 nøkkelbiotoper. Som inneholdt 39 endrede og 1057 uendrede biotoper. Skjevfordelingen er begrunnet med likhet til et virkelig scenario, hvor kun et fåtall av nøkkelbiotopene vil være endret. Alle testbiotoper ligger i en egen Sentinel-2 tile, hvor trening av algoritmen ikke vil bli foretatt. Tidsløpet for Sentinel-2 bilder strekker seg fra 14.08.2016 til 06.30.2017. Dette er perioden hvor laserdata er tilgjengelig for validering, som beskrevet i 4.3. Bildene som er brukt er tatt på følgende datoer: 14.08.2016, 18.09.2016, 10.05.2016, 28.10.2016, 06.05.2017, 23.05.2017, 30.06.2017, 20.07.2017. Siden siste bilde overskrider tidsintervallet definert i 4.3, vil endringer som detekteres på denne datoen kun finnes i de laserdatasettene som er datert etter 20.07.2017. Datoene er fordelt utover ulike sesonger for å utfordre metodenes evne til å håndtere sesongbaserte endringer.

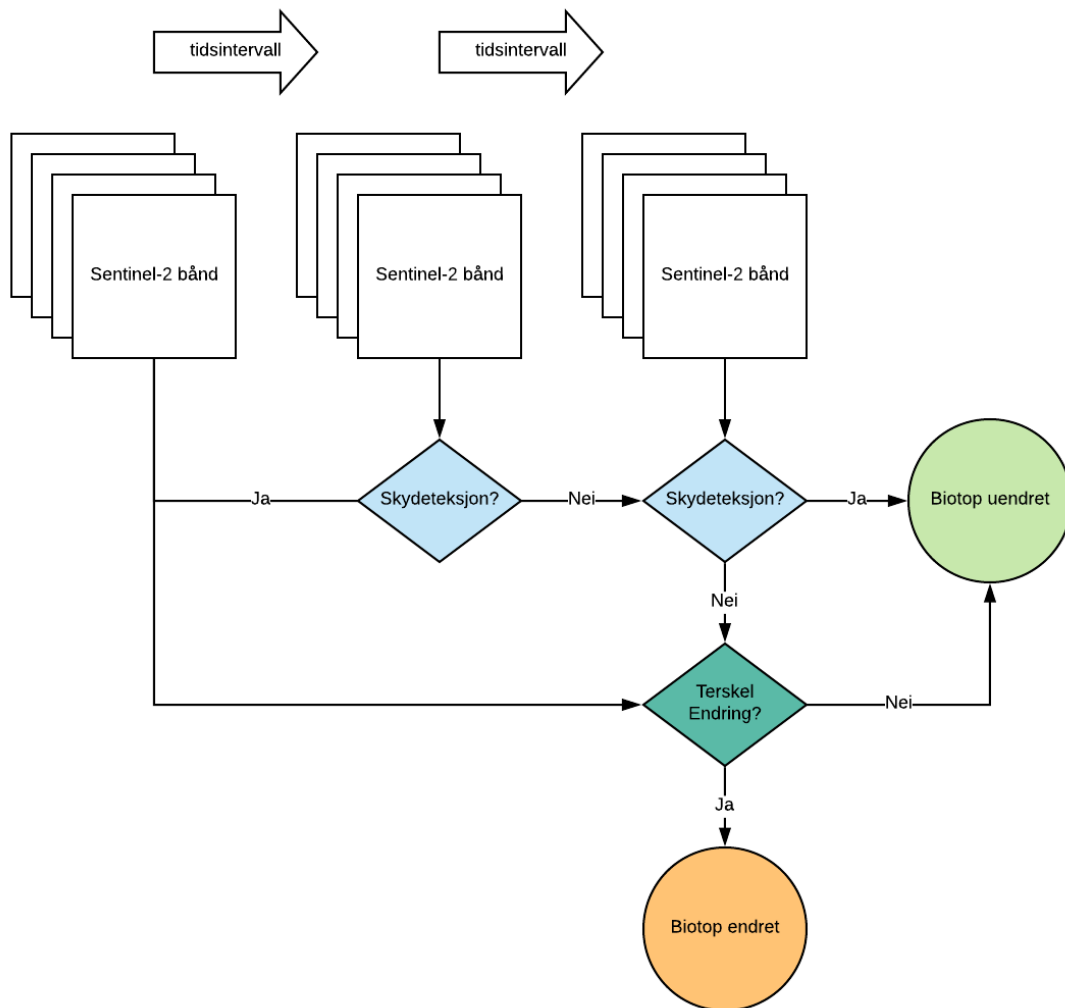
De ulike klassifiseringsalgoritmene har gjennomgått en vurdering basert på ulike kriterier for å plukke ut den mest aktuelle algoritmen for formålet. Det er ikke først og fremst klassifiseringsnøyaktighet som teller høyest til et slikt formål. Evne til å ikke overse endringer er f.eks. viktigere enn å unngå falske alarmer. Dette kalles «Andel falskt negative» Spesielt i et oppsett hvor det er langt flere tilfeller av den ene klassen. Et annet kriterium er at algoritmen må være i stand til å prosessere store mengder data på kort tid. For enkle algoritmer kan kreve for mye manuelt arbeid til å håndtere hele Norge, mens for avanserte algoritmer kan kreve mer prosesseringstid enn nødvendig. Algoritmene blir vurdert på kriteriene listet opp i Tabell 9. Se også avsnitt 2.5.1 for en nærmere forklaring av begrepene.

Tabell 9. Kriterier for vurdering av ulike algoritmer for endringsdeteksjon.

| Kriterier: | Beskrivelse: |
|-----------------------|--|
| Andel falskt negative | Hvor stor andel av faktiske endringer som ikke er oppdaget |
| Presisjon | Hvor mange oppdagede endringer som faktisk er sanne |
| Fremstillingstid | Tiden det tar å gjennomføre endringsanalysen |

4.4.2 TERSKLING

Enkleste form for endringsdeteksjon. Indeksverdier registreres for hvert bilde, og endring registreres hvis indeksverdien endres med mer enn et gitt tall. En skydeteksjonsalgoritme er også inkludert for å kunne skille ut skyer fra faktiske endringer. Om det skulle være skyer den første av to datoer, brukes et tidligere bilde. En visualisering av algoritmen presenteres i Figur 10:



Figur 10. 4 av kanalene i Sentinel-2 for 3 datoer (hvitt). De to siste datoer brukes først til å avgjøre om det finnes skyer (blått). Endringer blir funnet ved hjelp av en terskel (turkis), og avgjør om en endring har skjedd (orange) eller ikke (grønn).

Usikkerheten i denne metoden ligger i tersklene som settes for hva en endring innebærer. Disse kan variere fra sesong til sesong, og fra bilde til bilde. Manglende informasjon om biotopens utvikling over tid vil også føre til problemer med å detektere endringer som er oppstått under skydekke i flere enn to etterfølgende bilder.

4.4.3 NEVRALE NETTVERK LASSIFISERING

Ved å la en mer avansert klassifiseringsmetode avgjøre hva en endring er, basert på en rekke parametere, kan en mer nyansert endringsdeteksjon konstrueres. Der mye støy i datasettet gjør det vanskeligere å sette klare terskler, vil et nettverk av vektorer kunne avgjøre mer nyansert hva som gjør en relevant endring i en nøkkelbiotop. Det nevrale nettverket er bygget på Google Tensorflow biblioteket i python.

Nettverker har blitt trent opp og validert med trenings- og valideringsdata beskrevet i 4.5. Et utvalg variabler fra Sentinel-2 dataene har blitt brukt som input for nettverket. I tillegg til gjennomsnittsverdier for hvert av de valgte båndene, samt indekser, brukes det også temporale derivater og differanseverdier. De ulike variablene listes opp i de ulike scenario.

Nettverket skal være i stand til å skille mellom de ulike klassene beskrevet i Tabell 10.

Tabell 10. Beskrivelse av de ulike klassene som brukes i klassifisering av nøkkelbiotopene for å finne relevante endringer.

| Klasse | Beskrivelse |
|------------------------|---|
| Ingen relevant endring | Enten uendret, eller endret pga. sesong. |
| Relevant endring | Hogst |
| Skyer | Alt av skydekke fra tett til lett gjennomtrengelig. |
| Skyskygger | Mørke, skyggelagte områder. Først og fremst forårsaket av skyer, men en tilsvarende effekt kan komme av lav sol og bratt terreng. |
| Snø | Alt av snølagte områder. |
| Dis | Dis som påvirker bildesituasjonen. |

Her er det klassen «relevant endring» som gir utslag for deteksjon. De andre klassene vil ved klassifiseringen passere. Noen unike funksjoner har likevel de andre klassene. Ved klassifisering som «ingen relevant endring» vil verdiene for biotopen brukes slik de er i en eventuell tidsserie. Skyer, skyskygge, snø og dis, som kan kategoriseres som forstyrrende fenomener, vil bli gitt gjennomsnittsverdier for biotopene klassifisert som «ingen relevant endring». Dette for å kunne gi et bedre bilde på hvordan biotopens verdier varierer uten påvirkning fra disse forstyrrende fenomenene.

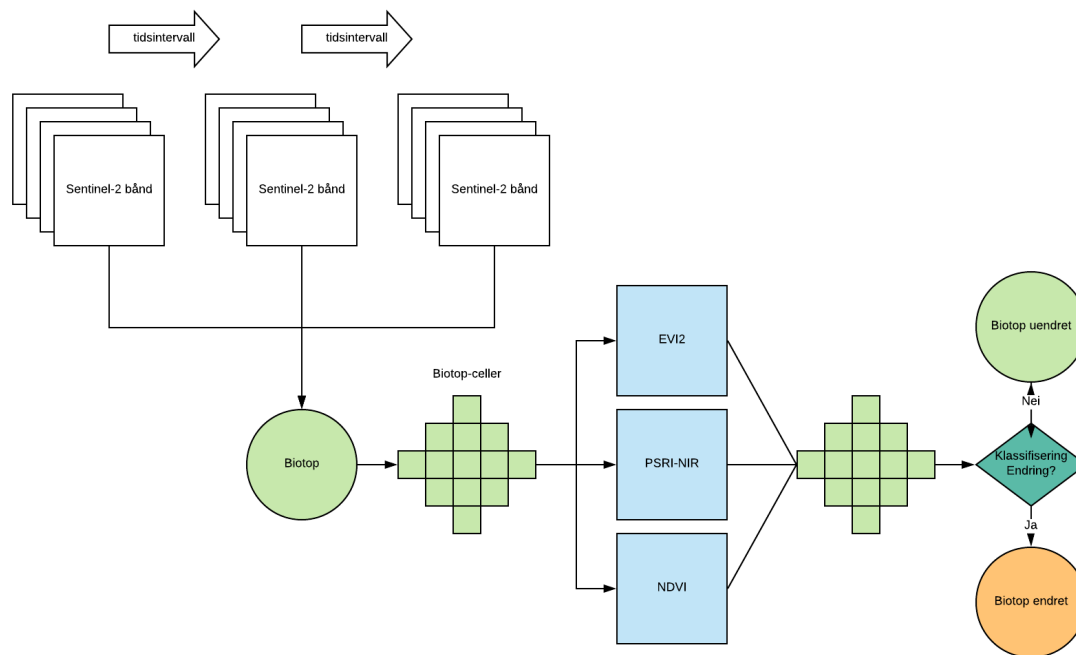
4.4.3.1 SITUASJONSBASERT KLASSIFISERING

Med situasjonsbasert menes at verdiene ved siste billedtakning er utgangspunkt for analysen. Bruk av flere parameter skiller denne metoden fra tersklingsmetoden. Fortsatt er algoritmen basert kun på de tre siste bildene, men her inkluderes flere indekser og separate spektralbånd, samt ulike statistiske verdier fra disse.

Tabell 11. Variabler brukt i klassifiseringen, samt hvilke kanaler de ulike variablene er hentet fra. Klassifiseringen består her av 8 variabler.

| Variabel | Kanaler |
|--------------|---|
| Gjennomsnitt | B2, B3, B4 |
| Max | B8 |
| Min | B8 |
| PSRI-NIR | $(B4 - B2) / B8$ |
| EVI2 | $2.5 * (B8 - B4) / (B8 + 2.4 * B4 + 1)$ |
| NDVI | $(B8 - B4) / (B8 + B4)$ |

Hver biotop har her også blitt delt opp i mindre celler, som analyseres hver for seg. Hver celle består av 3x3 piksler, for å glatte ut støy. Her blir ingen skydeteksjon gjort i forkant, men det nevrale nettverket er trent opp til å kunne detektere skyer. En visualisering av algoritmen presenteres i Figur 11:



Figur 11. 4 av kanalene i Sentinel-2 for 3 datoer (hvitt), blir tilegnet hver av grid-cellene i en nøkkelbiotop (grønt). Variabler for hver celle kalkuleres (blått) og det nevrale nettverket (turkis) avgjør om en endring har skjedd (orange) eller ikke (grønn).

Fordelen med en avansert klassifiseringsmetode er at en unngår forhåndsdefinerte terskler. Etersom den spektrale situasjonen kan variere mellom hvert bilde, er nevrale nettverk en egnet klassifiseringsmetode da den er robust ved støybelagte data. I denne metoden er likevel klassifiseringen kun basert på de aktuelle verdiene for billedtakningen. Usikkerheten kommer da frem i at disse verdiene i seg selv sier mer om den spektrale situasjonen og mindre om dette er en reell endring fra tidligere. En mer omfattende tidsserie vil kunne trekke mer karakteristikk ut fra biotopens variasjonsmønster over tid.

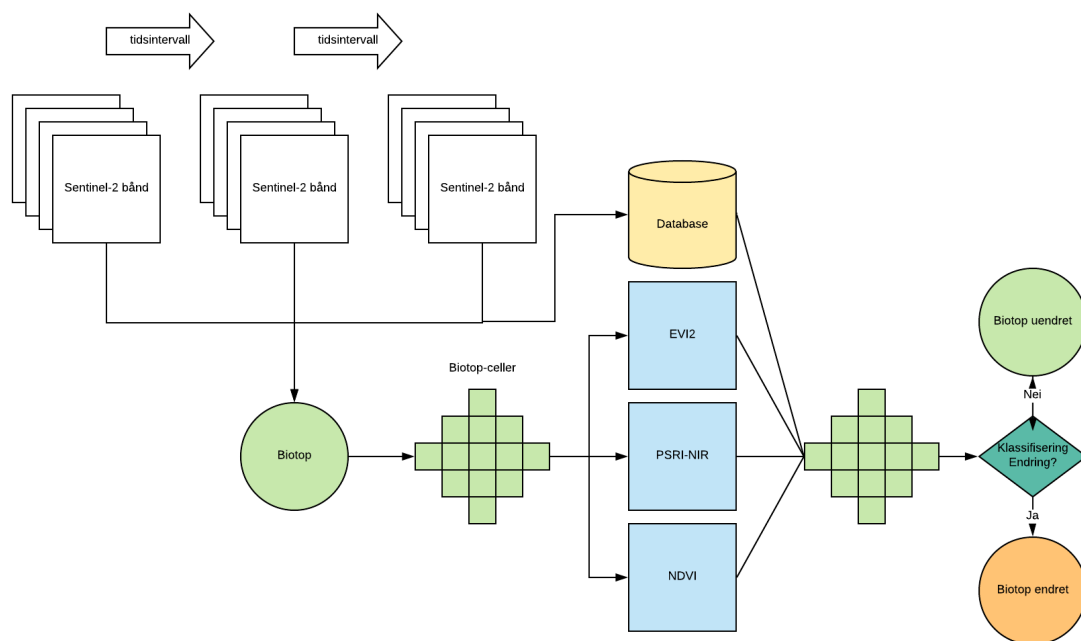
4.4.3.2 TIDSSERIE OG SITUASJONSBASERT KLASSIFISERING

Denne metoden bevarer verdier for tidligere Sentinel-2 bilder i en database, og inkluderer disse verdiene ved klassifiseringen. En biotops temporale spekter kan detektere endringer til tross for sesong og skyer.

Tabell 12. Variabler brukt i tillegg i denne klassifiseringen, samt hvilke indekser de ulike variablene er hentet fra. Klassifiseringen består her totalt av 14 variabler.

| Variabel | Indekser |
|--|----------------------|
| Differanse fra gjennomsnitt av tidligere verdier | PSRI-NIR, EVI2, NDVI |
| Dobbeltderivert av verdi fra de tre siste situasjonene | PSRI-NIR, EVI2, NDVI |

Parameteren er ellers de samme som i en standard nevralt nettverk klassifisering. En visualisering av algoritmen presenteres i Figur 12:



Figur 12. 4 av kanalene i Sentinel-2 for 3 datoer (hvitt), blir tilegnet hver av grid-cellene i en nøkkelbiotop (grønt). Variabler for hver celle kalkuleres (blått), sammen med avvik fra tidligere variabelverdier hentet fra database (gul) og det nevralt nettverket (turkis) avgjør om en endring har skjedd (oransje) eller ikke (grønn).

Metoden krever dedikert lagringsplass for tidligere bilder, i form av tabellverdier for hver biotop-celle. Over tid kan dette bety store mengder lagring. Her kan optimaliseringer gjøres for å kun beholde de mest aktuelle og informasjonsbærende data.

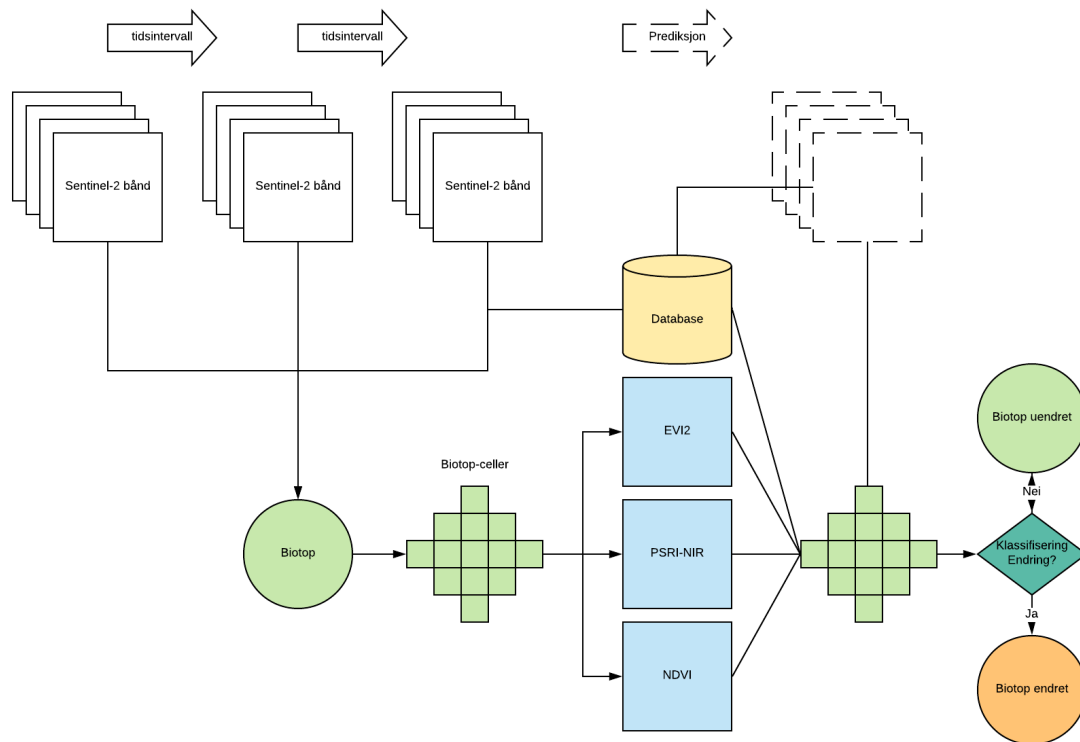
4.4.3.3 TIDSSERIE KLASSIFISERING MED LSTM PREDIKSJON

Denne metoden har i tillegg til en tidsserie-database også prediksjonsdata om fremtidig situasjon. Dette ved å ta i bruk Long term-Short term (LSTM) funksjonaliteten i Tensorflow Recurrent Nevrale Networks. Algoritmen (RNN) bruker data fra tidsserier til å predikere mest sannsynlige neste verdi. Et stort avvik fra predikert verdi kan resultere i en mulig endring. Dermed dekker denne metoden både informasjon fra tidligere situasjoner, nåværende situasjon og fremtidig situasjon. Alle parametere brukes til å klassifisere biotopene.

Tabell 13. Variabel brukt i tillegg i denne klassifiseringen, samt beskrivelse av hvordan kanalene presenteres i variabelen. Klassifiseringen består her totalt av 15 variabler.

| Variabel | Kanaler |
|--------------------------------------|---|
| Avvik for prediksjon mot reell verdi | Gjennomsnittlig standardavvik av B2, B3, B4 og B8 samlet. |

En visualisering av algoritmen presenteres i Figur 13:



Figur 13. 4 av kanalene i sentinel-2 for 3 datoer (hvitt), blir tilegnet hver av grid-cellene i en nøkkelbiotop (grønt). Variabler for hver celle kalkuleres (blått), sammen med avvik fra tidligere variabelverdier hentet fra database (gul) og predikert utgave av den seneste dato, sammenlignet med faktiske verdier (hvitt stiplet), brukes i det nevralt nettverket (turkis), som avgjør om en endring har skjedd (oransje) eller ikke (grønn).

Fordelen med metoden er en sikrere indikator på endring. Det er likevel på bekostning av mer fremstillingstid.

4.5 VALIDERING

Valideringsprosessen som innebæres ved å forholde seg til nøkkelbiotoper og Sentinel-2 bilder omfatter en rekke fenomener som er nødvendig å ta høyde for ved en endringsanalyse som denne. En rekke fenomener og spesialtilfeller har blitt oppdaget underveis i utviklingen. I forhold til Sentinel-2 gjelder dette atmosfæriske forhold, solvinkel og geometrisk nøyaktighet. I forhold til nøkkelbiotoper gjelder dette sesongendringer, helningsgrader på underlag og ulikheten mellom vegetasjonstyper og livsmiljø. Ved å få kontroll over disse fenomenene kan valideringsprosessen utformes. Fasisdata må også innhentes til å teste algoritmens presisjon. Et test-område for dette må defineres, og treningsdata må hentes fra områder utenfor test-området.

4.5.1 SESONG- OG TIDSPERIODER

Sentinel-2 er aktiv stort sett hele året med unntak av vinterstid. Dette fører til at nøkkelbiotopene eksponeres med ulikt utseende basert på årstidene. Vår, sommer og høst har mye å si for biotopenes radiometriske verdier. Valideringen vil omfatte en test av endringsdeteksjon på tre ulike utvalg av datoer for eksponering. Utvalg, A, utvalg B og utvalg C. Der A inneholder flest sesongvariasjoner, og C inneholder færrest.

Tabell 14. De ulike utvalgene, med ulik kombinasjon av sesonger. Det antas at færre sesonger gir et enklere klassifiserings-scenarior.

| Utvalg | Sesonger utelatt |
|----------|---|
| Utvalg A | Vinter |
| Utvalg B | Vinter, tidlig vår, sen høst |
| Utvalg C | Vinter, tidlig vår, sen høst, vår, høst |

Endringsdeteksjonen vil bli testet på de tre ulike tilfellene av sesongpåvirkning, og resultatene vil sammenlignes. Dette vil kunne hjelpe til med å definere hvor ofte det vil være verdifullt å foreta endringsanalyse med Sentinel-2. I tillegg vil sesongendringer analyseres ut ifra gjennomsnittsverdier for test-datasettet over den aktuelle tidsperioden.

4.5.2 ATMOSFÆRISK KALIBRERING

Pr. 2019 kan de fleste Sentinel-2 bilder lastes ned med en fullstendig atmosfærisk kalibrering gjennom nivå 2A-produktet. Dette er likevel ikke tilfelle for bilder tatt i test-perioden. Disse bildene har blitt kalibrert lokalt med SNAP-verktøyet sen2cor. Kalibreringen er derfor interessant å vurdere som en innvirkning på klassifiseringsresultatet. Hvorvidt det finnes signifikante forbedringer i en slik kalibrering blir testet, der et identisk test-senario blir satt opp uten atmosfærisk kalibrering og sammenlignet med test-senario hvor atmosfærisk kalibrering har blitt foretatt.

4.5.3 TOPOGRAFI

Både helningsretning og helningsgrad kan påvirke strålingen Sentinel-2 fanger opp. Ettersom Sentinel-2 er en passiv sensor, og dermed avhengig av sollys, vil

det i bratte nord-vendte områder oppstå skyggedannelse til tross for skyfrie bilder. I tillegg til dette vil bratte områder ha en annen spektral karakter enn flatmark i skogsammenheng. Med utgangspunkt i attributter fra SBASE vil det vurderes hvorvidt utslagene i helning påvirker resultatene. I tillegg til dette er alle faktiske nøkkelbiotoper i den angitte test-tilen blitt analysert for hvordan topologien påvirker indeksverdiene brukt i algoritmen. Resultatet for dette finnes i 5.5.2.

4.5.4 VEGETASJONSTYPER OG LIVSMILJØ

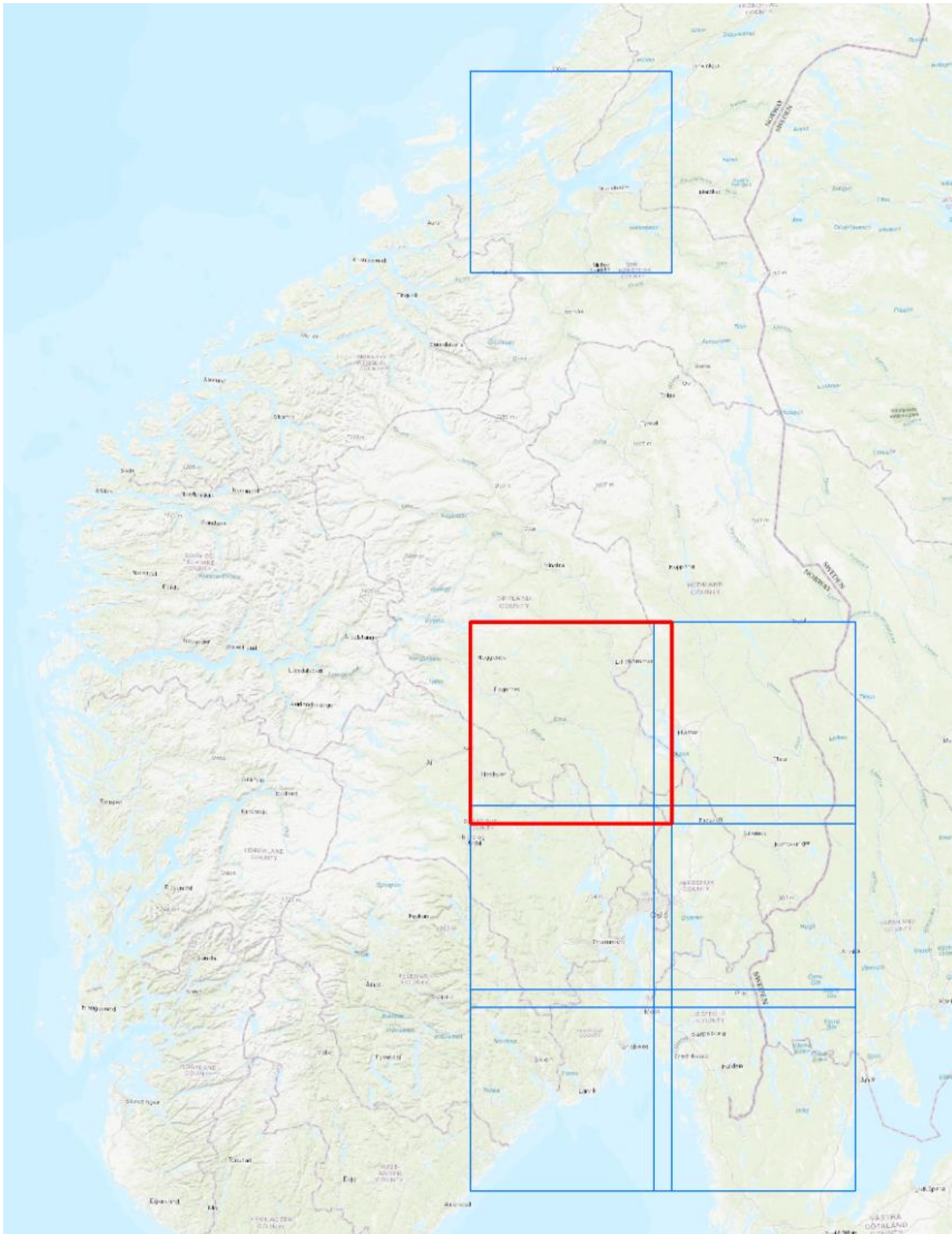
Nøkkelbiotoper er ofte særegne, og kan variere i vegetasjonstyper og livsmiljø. Dette er noe som kan påvirke dataene fra Sentinel-2. Hvor mye de ulike vegetasjonstypene og livsmiljøene påvirker indeksverdiene i algoritmen er analysert ved å se på gjennomsnittlige indeksverdier for alle nøkkelbiotoper i den angitte test-tilen. Også dette med utgangspunkt i attributter fra SBASE. Gjennomsnittsverdiene for hvert tidspunkt presenteres i 5.5.1.

4.5.5 GEOMETRISK NØYAKTIGHET

De fleste Sentinel-2 bilder har en god geometrisk nøyaktighet, der piksler stort sett representerer samme område fra bilde til bilde. Det er likevel flere bilder hvor områder blir forskjøvet med 1-2 piksler. Det er også oppdaget forskyvninger opp til 4 piksler i noen områder. En pikselforskyvning på 1-2 piksler kan forbindes med avviket mellom posisjonsbestemmelsen til Sentinel-2A og Sentinel-2B, mens større avvik kan knyttes til PlanetDEM for ortofotodannelse. Det er lite som kan gjøres for å forbedre geometrien i disse bildene. En nasjonal grid-modell har blitt brukt i prosesseringen for flere Sentinel-2 bilder, men for få er tilgjengelige i analyseperioden. Det er derfor ikke tatt noen spesielle hensyn til geometrisk oppløsning annet enn at algoritmene som brukes baserer seg på 9x9 piksler fremfor én og én piksel. Dette vil jevne ut verdier og gi mindre støy i resultatet. Overganger i grensesoner mellom skog og andre areal typer vil da heller ikke slå ut i like stor grad. En visuell kontroll av en hogstflate funnet i de aktuelle Sentinel-2 bildene er gjort ved å sammenligne den observerte hogstflaten med presise LiDAR-data av samme område. Ellers er ikke den geometriske nøyaktigheten blitt analysert i sammenheng med prosjektet.

4.5.6 OMRÅDEBESKRIVELSE

Prosjektområdet er definert ut ifra Sentinel-2 bilde-inndelingen vi kaller tiles. Disse har en utstrekning på 100x100 km² og overlapper hverandre med ca. 10 %. De blå tilene er brukt til trening og den røde til testing. De aktuelle tilene er vist i Figur 14:



Figur 14. Oversikt over Sentinel-2 tiles brukt til trening (blå) og validering (rød).

4.5.7 VALIDERINGSDATA

Testområdet er valgt til å dekke nedre del av Oppland, fordi det her befinner seg biotoper i ulikt terreng. Typiske flate skogområder, brattere strøk og fjell-landskap befinner seg i denne delen. Tilrettelegging for valideringsdata er basert på faktiske endringer i skoglandskapet. Endringene må ha skjedd i perioden for analyse, må finne seg i testområdet og må være relevante for deteksjon.

Perioden for analyse er basert på temporal dekningsgrad av laserdata. Ut ifra de brukte laserdataene til validering beskrevet i 4.3, er den aktuelle perioden definert fra 08.07.2013 til 12.07.2017, da med mulighet for unntak i noen områder.

Innenfor denne perioden er det blitt analysert 8 Sentinel-2 bilder. Disse er listet opp i Tabell 15.

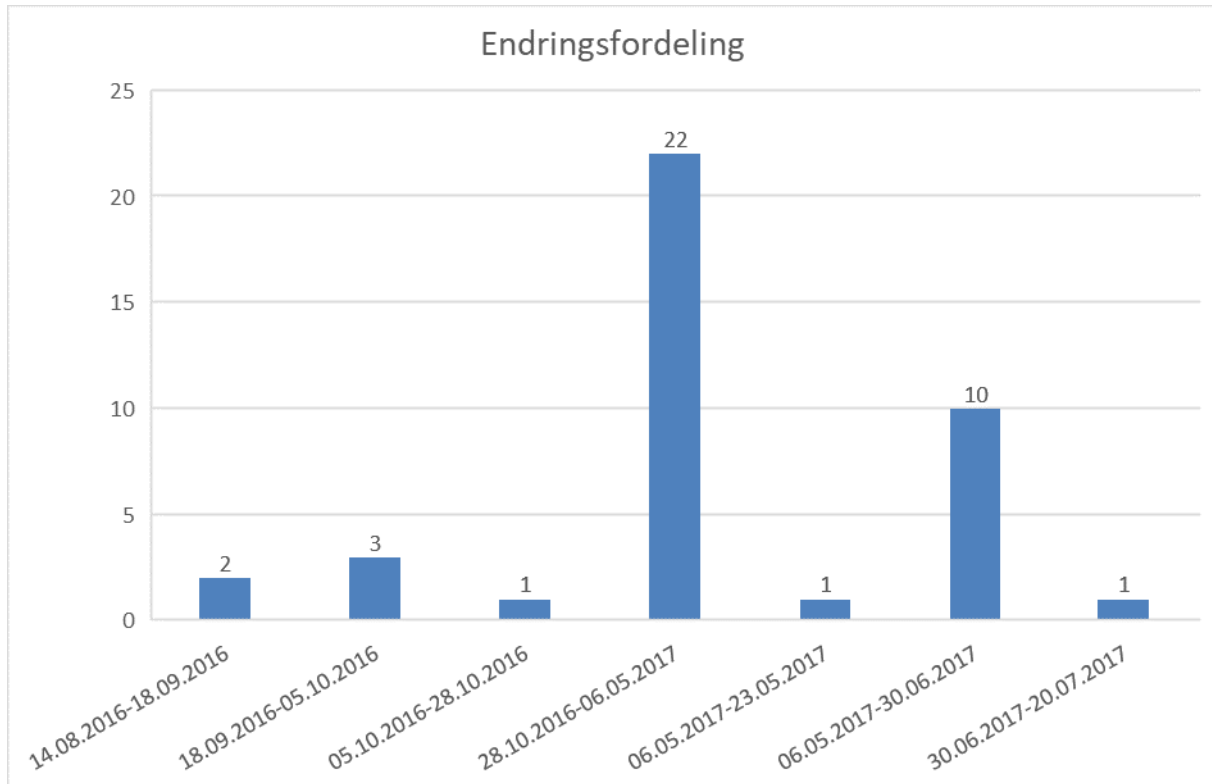
Tabell 15. De ulike datoene for Sentinel-2 bildene brukt i analysen, samt årstid og hvilke analyse-utvalg de ulike bildene er med i.

| Dato: | Årstid: | Utvalg: |
|------------|------------|---------|
| 14.08.2016 | Sommer | A, B, C |
| 18.09.2016 | Høst | A, B |
| 05.10.2016 | Høst | A, B |
| 28.10.2016 | Sen høst | A |
| 06.05.2017 | Tidlig vår | A |
| 23.05.2017 | Vår | A, B |
| 30.06.2017 | Sommer | A, B, C |
| 20.07.2017 | Sommer | A, B, C |

Det er relativt få endringer som skjer i nøkkelbiotoper i utgangspunktet, og filtrert basert på oppgitte krav finnes det for få til å kunne brukes til pålitelig validering. Valideringsdata har derfor i tillegg til totalen på 3 reelle endringer i nøkkelbiotoper, blitt konstruert ut ifra endringer utenfor nøkkelbiotoper. Endringene er funnet ved hjelp av laserdatagrunnlaget, og markert som endringer. Dette har gitt 36 kunstige endringer, som gir et pålitelig grunnlag for validering.

Det er ikke tatt hensyn til hverken brann eller vindfall, og valideringsdata finnes ikke for slike tilfeller.

Ut ifra intervallene for Sentinel-2 data, er det noen perioder som inneholder flere hogstflater enn andre. Spredningen av endringer visualisert i Figur 15.



Figur 15. Histogram for antall endringer pr. tidsintervall. Her med alle bilder inkludert. De fleste endringene skjer i tidsintervallet 28.10.2017 til 06.05.2017.

Flest endringer skjer i tidsperioden mellom høst og vår. En jevnere fordeling av endringstidspunkt ville vært å foretrekke, men kunne ikke oppnås basert på tidsperiode og område kombinert.

4.5.8 TRENINGSDATA

6 tiles er valgt ut til treningsgrunnlag. Der biotoper innad i disse tilene brukes til å trene opp det nevrale nettverket. De utvalgte tilene er sentrert rundt Østlandet. En tile i Midt-Norge er også inkludert for å korrigere for eventuelle særtilfeller på Østlandet. I et mer omfattende prosjekt vil også flere landsdeler inkluderes. Treningsdataene er valgt ut til å inneholde områder med ulik helningsretning og helningsgrad. Ulike skogtyper er også tatt høyde for. Bilder fra alle årstider utenom vinter er brukt for å konstruere et mangfold av utfall for hver klasse. Samt

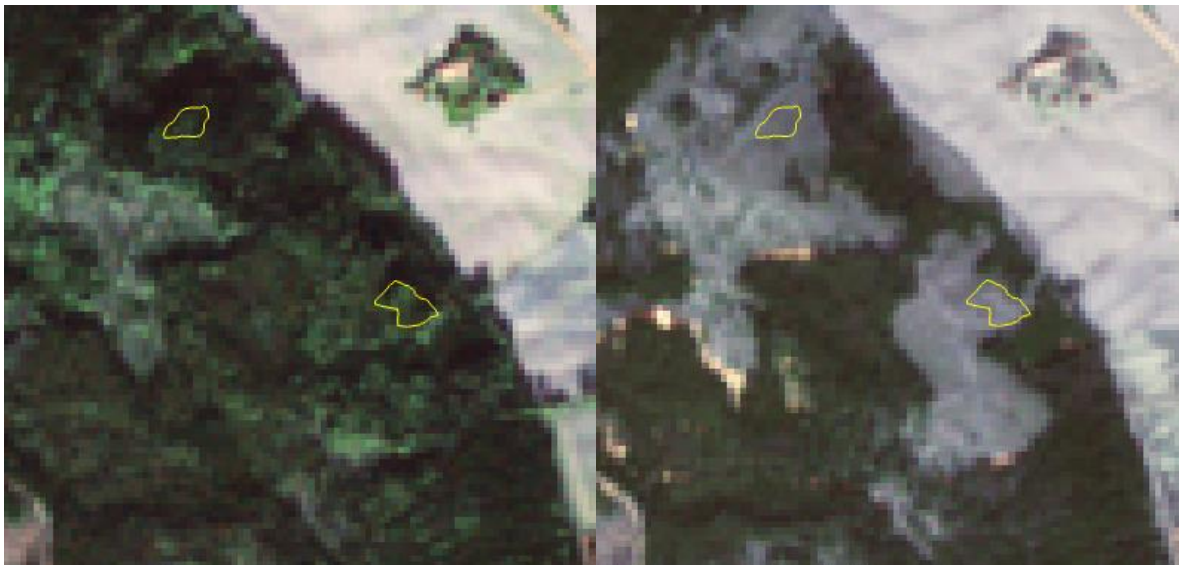
data fra både Sentinel-2A og Sentinel-2B, da disse har noe forskjellig oppsette for kanalene. Ingen trening er gjort på skogområder preget av brann og vindfall.

5 RESULTATER

Resultater for de ulike analysene beskrevet i kapittel 4 er formidlet her. Noen resultater er likevel utelatt, da kun den mest aktuelle algoritmen for endringsdeteksjon har blitt fullstendig validert.

5.1 EKSEMPLER

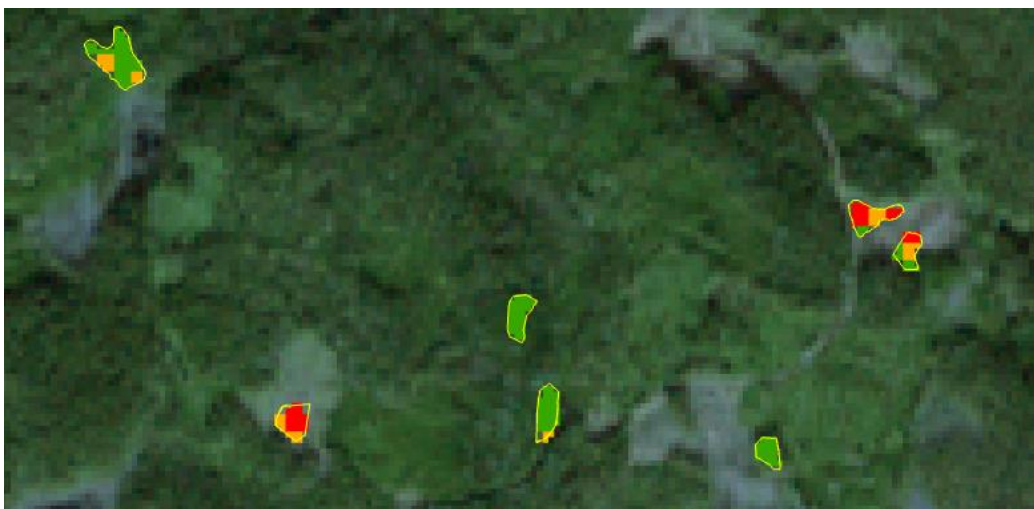
For å få en ide om hvordan endringer i nøkkelbiotoper ser ut i Sentinel-2 bilder presenteres det noen eksempler i dette avsnittet. Det gjør oppmerksom på at det i prosjektet er laget egne polygoner som skal simulere nøkkelbiotoper. Dette for å få nok endringsdata og at endringer som vist i eksempler her derfor ikke trenger å være avvik i sertifiseringsammenheng.



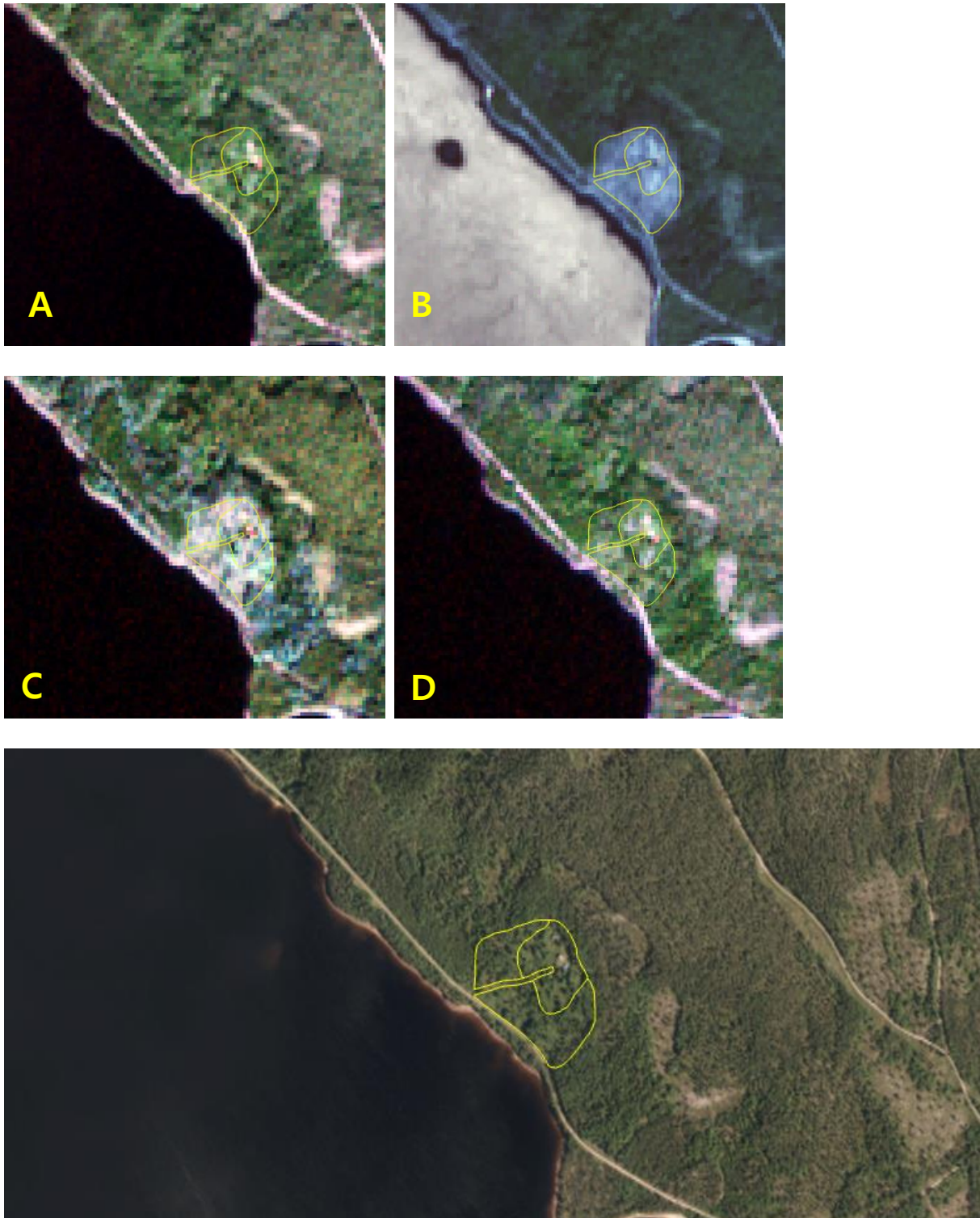
Figur 16. To nøkkelbiotoper som har blitt avvirket. Bildet på venstre siden viser situasjonen før og bildet til høyre viser situasjonen etter avvirkingen. Nøkkelbiotopene vises med gult omriss.



Figur 17. To nøkkelbiotoper før de ble avvirket med flyfoto fra Norge i Bilder i bakgrunnen.



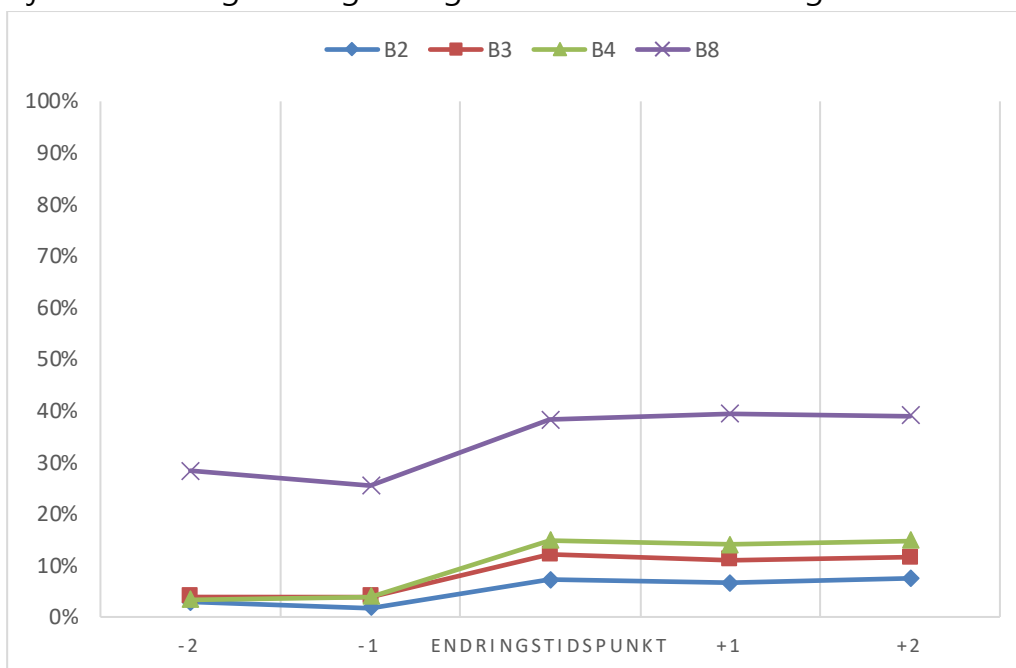
Figur 18. Tre nøkkelbiotoper med en endring og 4 uten endring. Øverste bildet er før endringene, bildet i midten er etter endringen har skjedd og bildet nederst viser klassifiseringen. Grønn farge betyr ingen endring, rød farge betyr endring og oransje betyr kanskje en endring.



Figur 19. nøkkelbiotop gjennom sommer (A), vinter (B), vår (C) og sommer året etterpå (D). (E) viser figuren med flyfoto i bakgrunnen. Det har ikke vært noen endring selv om figuren viser store forskjeller mellom bildene. Det er et område med hagemark og kun en liten del av arealet dekkes av trekroner (lauvtrær). Dette gjør at overflaten påvirkes sterkt av sesongene.

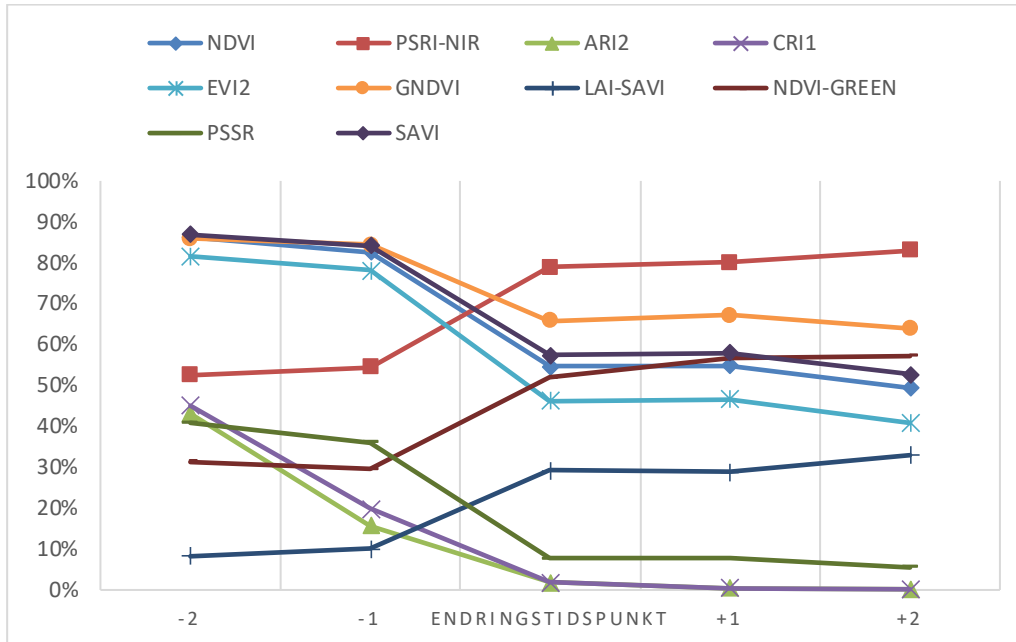
5.2 INDEKSRESULTATER

I avsnitt 4.2 blir Sentinel-2 kanalene analysert for å finne de mest aktuelle indeksene til en endringsdeteksjon. Et utvalg på 10 tilfeldige endringer ble grunnlag for å velge ut de mest aktuelle indeksene. Gjennomsnittsverdier av disse 10 blir fremstilt for de ulike kanalene, samt de testede indeksene. De tilfeldige endringene skjer ikke på samme tidspunkt i alle tilfellene, og for at gjennomsnittet skal kunne fremstilles grafisk, har endringene blitt forskjøvet til å skje samtidig. To tidspunkt før og etter er tatt med for å vise utviklingen. Gjennomsnittlig endringsutslag for kanalene finnes i Figur 20:



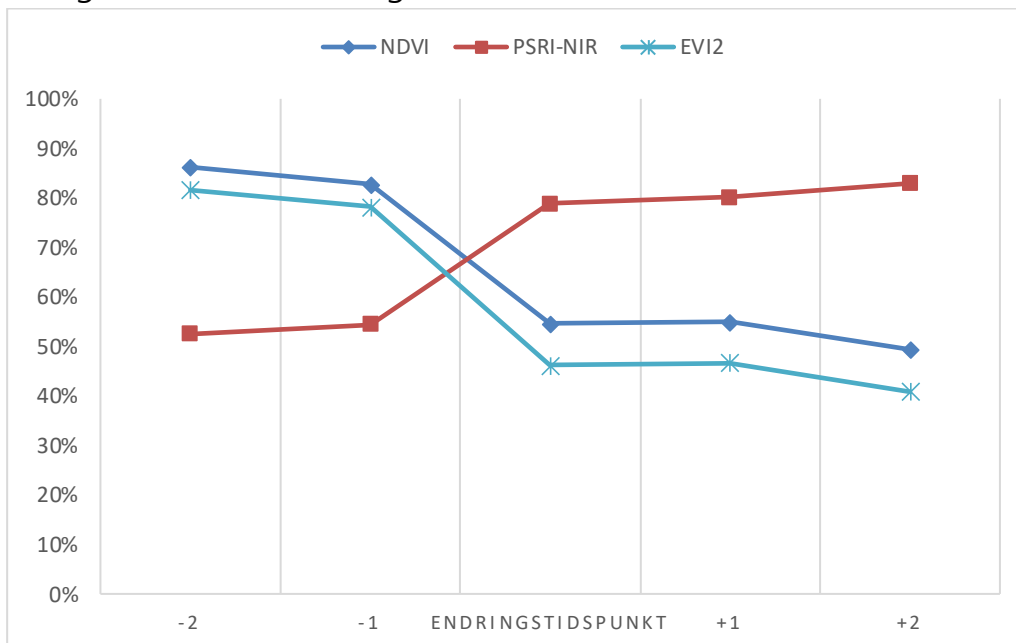
Figur 20. Gjennomsnittlige spektralverdier for endringer fra de ulike kanalene over tid. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Endringen er plassert i midten, med 2 tidspunkter før og etter. Dette fordi ikke alle endringer skjer på samme tidspunkt.

Og for de ulike indeksene i Figur 21:



Figur 21. Gjennomsnittlige spektralverdier for endringer fra de ulike indeksene over tid. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Endringen er plassert i midten, med 2 tidspunkter før og etter.

Det er tydelig at indeksene gir større utslag. De av indeksene som gir tydeligst utslag er PSRI-NIR, EVI2 og NDVI:



Figur 22. Gjennomsnittlige spektralverdier for endringer fra de mest aktuelle over tid. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Endringen er plassert i midten, med 2 tidspunkter før og etter.

Gjennomsnittlig endring i prosentpoeng er oppgitt i Tabell 16:

Tabell 16. Differanse i prosentpoeng for de ulike indeksene før og etter endringstidspunkt.

| Indeks | Gjennomsnittlig endringstall |
|----------|------------------------------|
| EVI2 | 28 % |
| PSRI-NIR | 25 % |
| NDVI | 32 % |

5.3 ALGORITME-VURDERING

De ulike algoritmene har blitt vurdert basert på kriteriene nevnt i Tabell 9. Her presenteres først hvilke vurderinger de har fått. I Tabell 17 er resultatet for kriteriene av hver algoritme presentert. Lav andel falskt negative og høy presisjon er optimalt:

Tabell 17. De ulike algoritmene blir her vurdert basert på kriteriene, og resultatene avgjør hvilken som egner seg best for videre analyse.

| Algoritme | Kriterie | Resultat |
|------------------------------------|-----------------------|----------|
| Terskling | Andel falskt negative | 30 % |
| | Presisjon | 20 % |
| | Fremstillingstid | Høy |
| NN situasjonsbasert | Andel falskt negative | 5 % |
| | Presisjon | 4 % |
| | Fremstillingstid | Lav |
| NN Tidsserie klassifisering | Andel falskt negative | 0 % |
| | Presisjon | 7 % |
| | Fremstillingstid | Lav |
| NN LSTM | Andel falskt negative | 0 % |
| | Presisjon | 7 % |
| | Fremstillingstid | Middels |

Fra vurderingen kommer det frem at best mulige algoritme å bruke er NN Tidsserie klassifisering. Denne har lav fremstillingstid og gir gode resultater. Algoritmen er derfor valgt til å bruke i prosjektet.

5.4 KLASSIFISERINGSRESULTATER

Algoritmen valgt til prosjektet har blitt testet videre på ulike scenario som beskrevet i Tabell 14. I tillegg er testene foretatt med og uten atmosfærisk kalibrering, som beskrevet i 4.5.2. Resultatene for testene legges frem med forvirringsmatrise og relevante statistiske mål.

5.4.1 UTVALG A

Utvalg A er basert på 8 datoer for analyse, der de 2 første er brukt til forberedelser for algoritmen, og de 6 neste er analysert. Se Tabell 15. U.kal vil si uten atmosfærisk kalibrering, mens m.kal er med atmosfærisk kalibrering.

Tabell 18. Forvirringsmatrise og klassifiseringsresultater for Utvalg A. Først uten kalibrering, deretter med kalibrering.

| Utvalg A - u.kal | Faktisk endret | Faktisk uendret | Total |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
| Predikert endret | 28 | 161 | 189 |
| Predikert uendret | 10 | 6260 | 6270 |
| Total | 38 | 6421 | 6288 |

| | |
|-----------------------|------------|
| Presisjon | 15% |
| Andel falskt negative | 26% |
| Nøyaktighet | 97% |

Gjennomsnittlig fordeling av falskt positive pr. bilde er 26,8 nøkkelbiotoper.

| Utvalg A – m.kal | Faktisk endret | Faktisk uendret | Total |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
| Predikert endret | 38 | 929 | 967 |
| Predikert uendret | 0 | 5456 | 5456 |
| Total | 38 | 6385 | 5494 |

| | |
|------------------------|------------|
| Presisjon | 4% |
| Andel falskt negativer | 0% |
| Nøyaktighet | 86% |

Gjennomsnittlig fordeling av falskt positive pr. bilde er 154,8 nøkkelbiotoper.

Med kalibrering blir nøyaktighet og presisjonen dårligere, mens andel falskt negativer blir bedre. Med kalibrering får klassifiseringsresultatet mer støy.

5.4.2 UTVALG B

Utvalg B er basert på 6 datoer for analyse, der de 2 første er brukt til forberedelser for algoritmen, og de 4 neste er analysert. Se Tabell 15.

Tabell 19. Forvirringsmatrise og klassifiseringsresultater for Utvalg B. Først uten kalibrering, deretter med kalibrering.

| Utvalg B – u.kal | Faktisk endret | Faktisk uendret | Total |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
| Predikert endret | 28 | 216 | 244 |
| Predikert uendret | 10 | 4053 | 4063 |
| Total | 38 | 4269 | 4081 |

| | |
|------------------------|------------|
| Presisjon | 11% |
| Andel falskt negativer | 26% |
| Nøyaktighet | 95% |

Gjennomsnittlig fordeling av falskt positive pr. bilde er 54 nøkkelbiotoper.

| Utvalg B – m.kal | Faktisk endret | Faktisk uendret | Total |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
| Predikert endret | 38 | 473 | 511 |
| Predikert uendret | 0 | 3774 | 3774 |
| Total | 38 | 4247 | 3812 |

| | |
|-----------------------|------------|
| Presisjon | 7% |
| Andel falskt negative | 0% |
| Nøyaktighet | 89% |

Gjennomsnittlig fordeling av falskt positive pr. bilde er 118,3 nøkkelbiotoper.

5.4.3 UTVALG C

Utvalg C er basert på 4 datoer for analyse, der de 2 første er brukt til forberedelser for algoritmen, og de 2 neste er analysert. Se Tabell 15.

Tabell 20. Forvirringsmatrise og klassifiseringsresultater for Utvalg C. Først uten kalibrering, deretter med kalibrering.

| Utvalg C - u.kal | Faktisk endret | Faktisk uendret | Total |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
| Predikert endret | 32 | 88 | 120 |
| Predikert uendret | 6 | 2023 | 2029 |
| Total | 38 | 2111 | 2055 |

| | |
|-----------------------|------------|
| Presisjon | 27% |
| Andel falskt negative | 16% |
| Nøyaktighet | 96% |

Gjennomsnittlig fordeling av falskt positive pr. bilde er 44 nøkkelbiotoper.

| Utvalg C – m.kal | Faktisk endret | Faktisk uendret | Total |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------|
| Predikert endret | 37 | 317 | 354 |
| Predikert uendret | 1 | 1795 | 1796 |
| Total | 38 | 2112 | 1832 |

| | |
|-----------------------|------------|
| Presisjon | 10% |
| Andel falskt negative | 3% |
| Nøyaktighet | 85% |

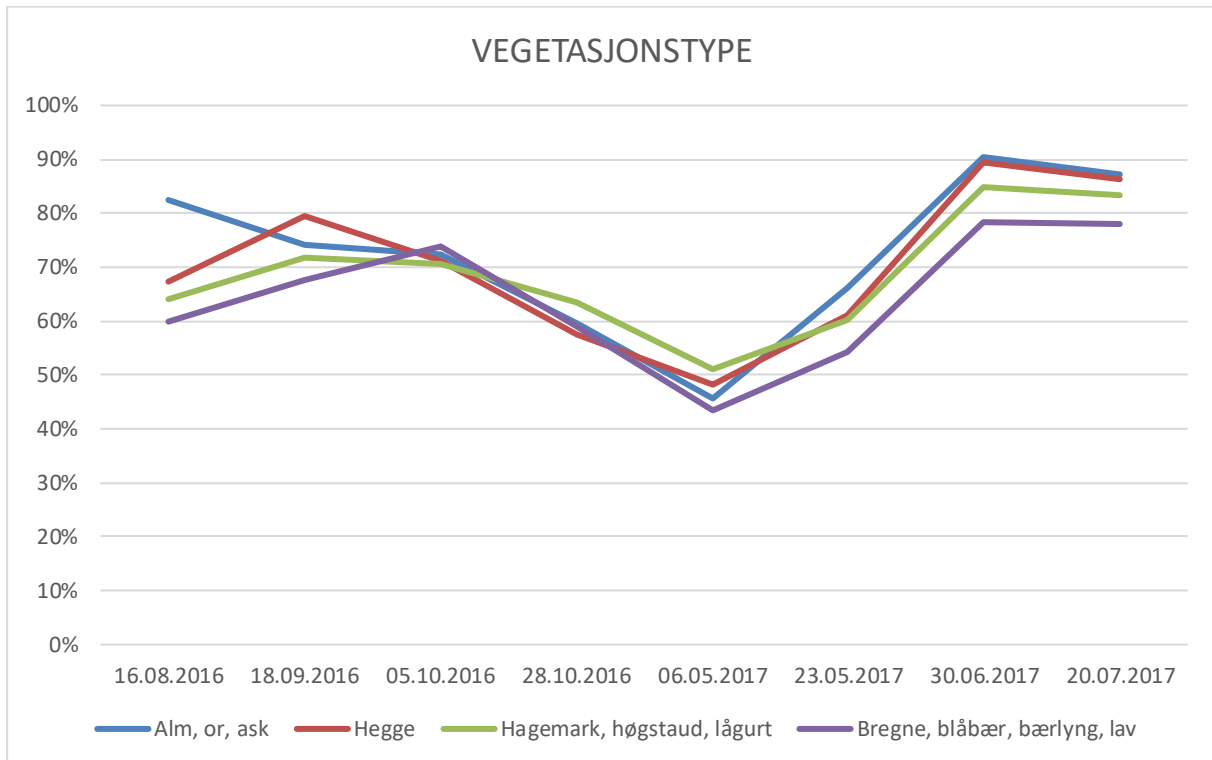
Gjennomsnittlig fordeling av falskt positive pr. bilde er 158,5 nøkkelbiotoper.

5.5 RESULTATER FOR ULIKE NØKKELBIOTOPER

Som nevnt i 4.5 er ulike forhold og særtrekk ved biotopene blitt analysert. Dette har vært viktig for å utvikle en best mulig klassifiseringsalgoritme. De ulike hensyn tatt til nøkkelbiotopenes oppførsel over tid presenteres her.

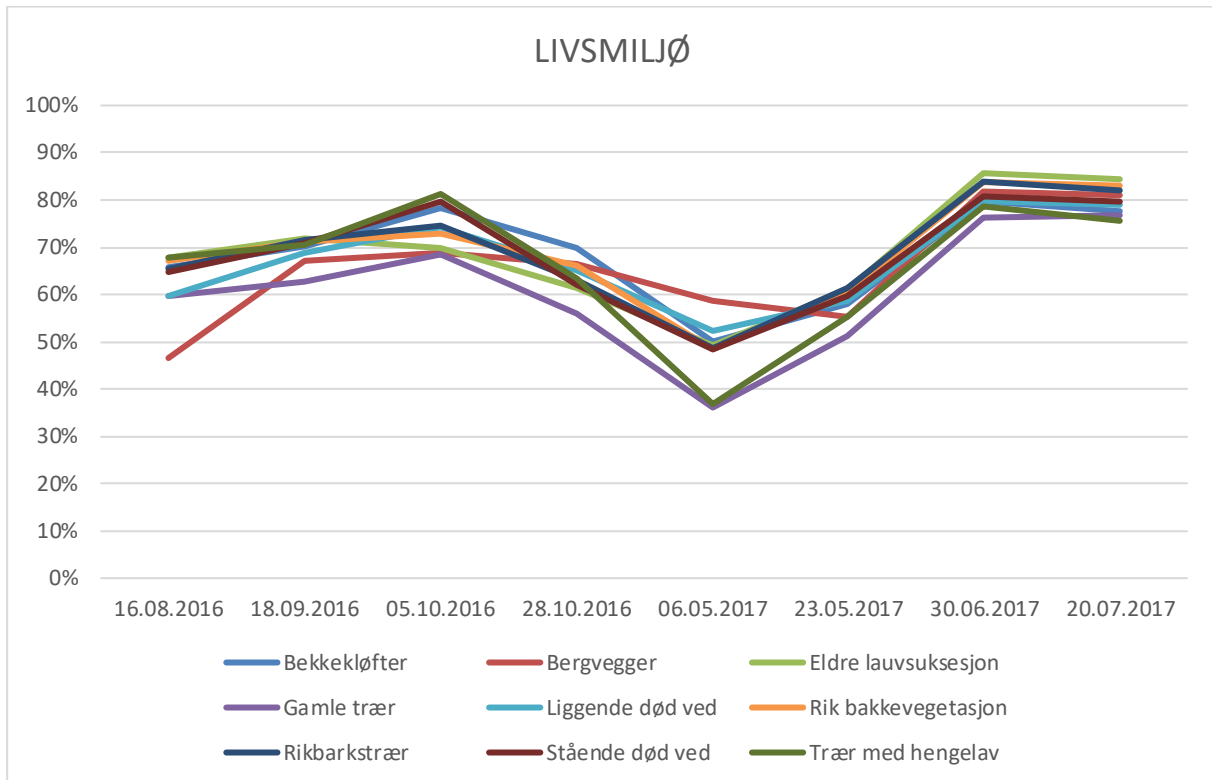
5.5.1 VEGETASJONSTYPER OG LIVSMILJØ

Gjennomsnittsverdier for ulike vegetasjonstyper har blitt sammenlignet. Verdiene er hentet fra testområdet. Totalt et 10000 nøkkelbiotoper blitt brukt til beregning. Tidsperioden er den samme som for klassifiseringen. Verdiene som vises er fra EVI2-indeksen, som var den mest beskrivende i denne sammenheng. Resultatene visualiseres grafisk i Figur 23:



Figur 23. Indeksverdier fra EVI2-indeksen. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Verdiene er delt opp etter vegetasjonstype. Det finnes noe variasjon i inndelingen, men variasjonen i sesong er tydelig større.

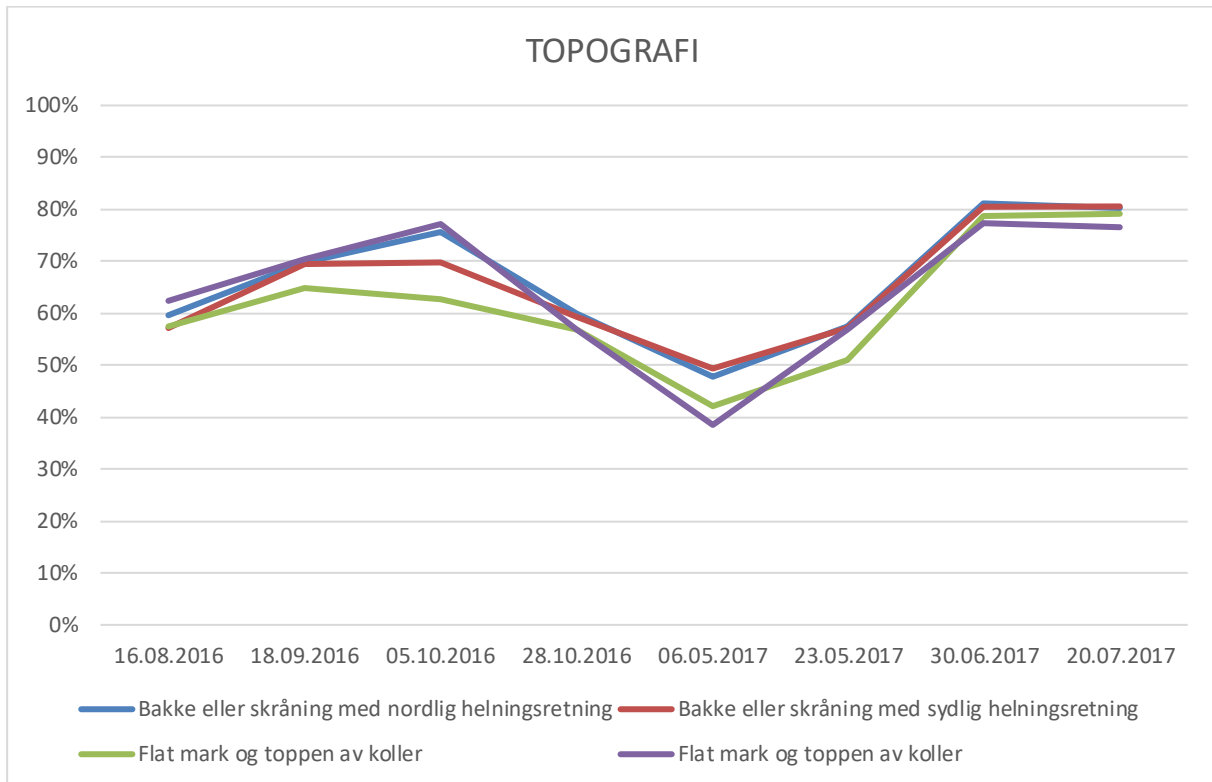
Det samme er gjort for livsmiljø. Også her er EVI2-indeksen brukt for verdier. Resultatene visualiseres grafisk i Figur 24.



Figur 24. Indeksverdier fra EVI2-indeksen. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Verdiene er delt opp etter livsmiljø. Det finnes noe mer variasjon i denne inndelingen enn med vegetasjonstype.

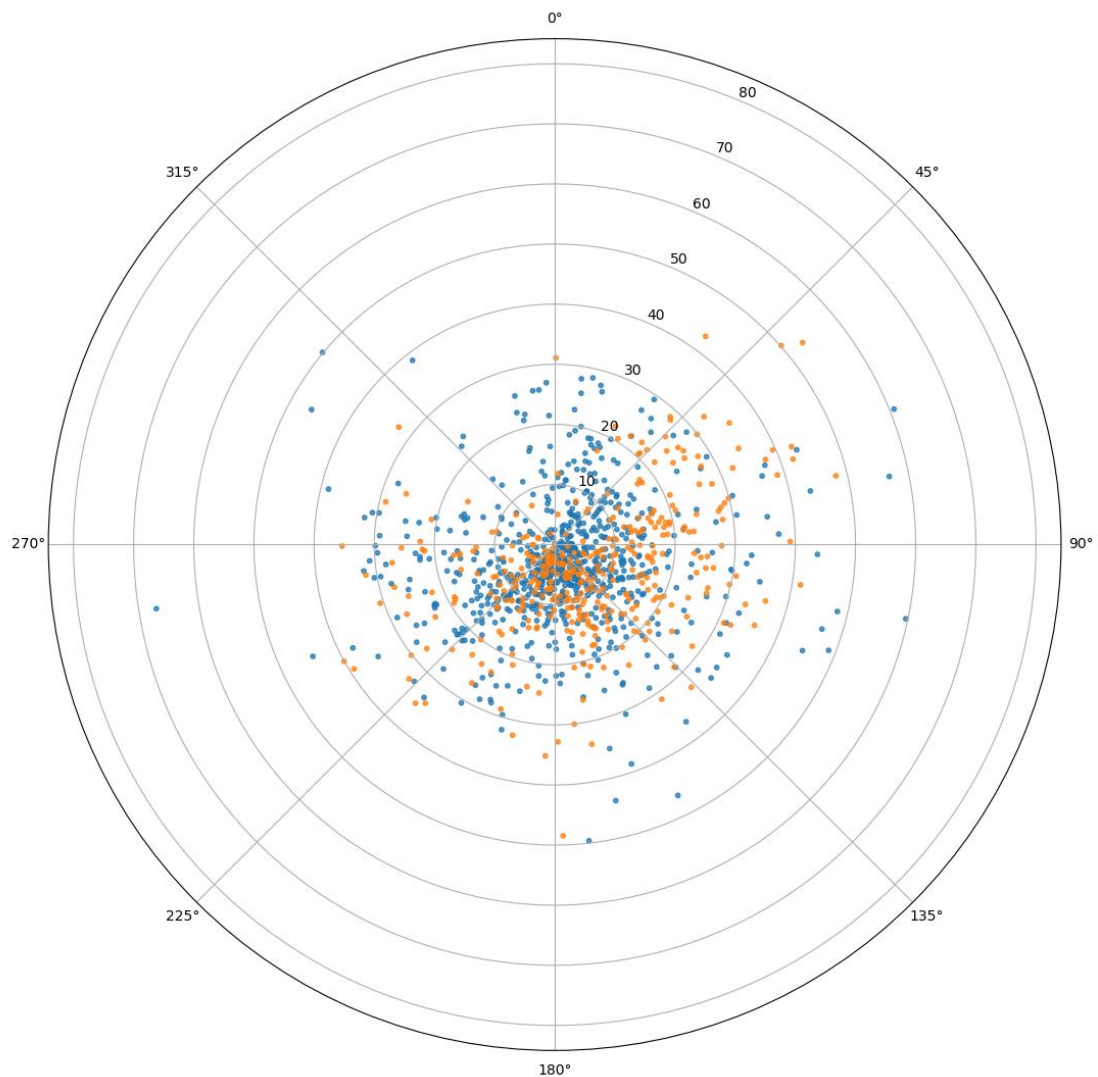
5.5.2 TOPOGRAFI

Som omtalt i 4.5.3 påvirker topografien nøkkelbiotopenes verdier. Dette kommer frem i Figur 25:



Figur 25. Indeksverdier fra EVI2-indeksen. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Verdiene er delt opp etter topografi. Det finnes noe variasjon i inndelingen, men variasjonen i sesong er tydelig større.

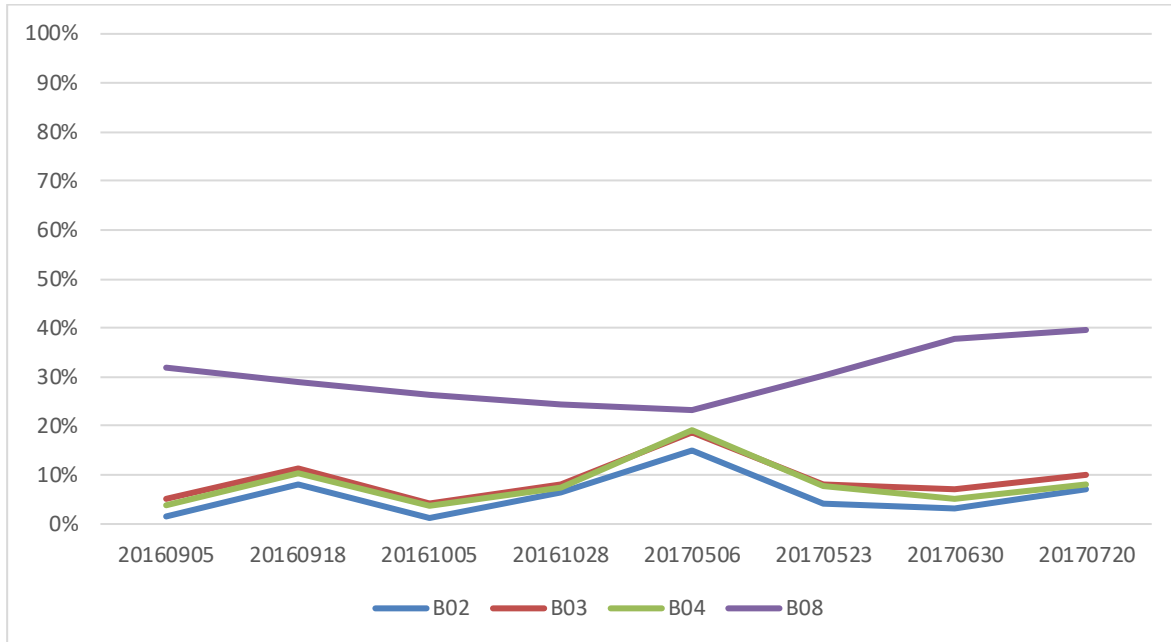
Test-flatene brukt i klassifiseringen ble også vurdert i sammenheng med helningsgrad og retningsvinkel. Resultatet er presentert i Figur 26.



Figur 26. Polarplottet visualiserer helningsgrad og retningsvinkel. Retningsvinkel danner en sirkel, mens helningsgrad blir større lengre ut fra sentrum. Blå verdier er riktig klassifisert, mens orange er feilklassifisert.

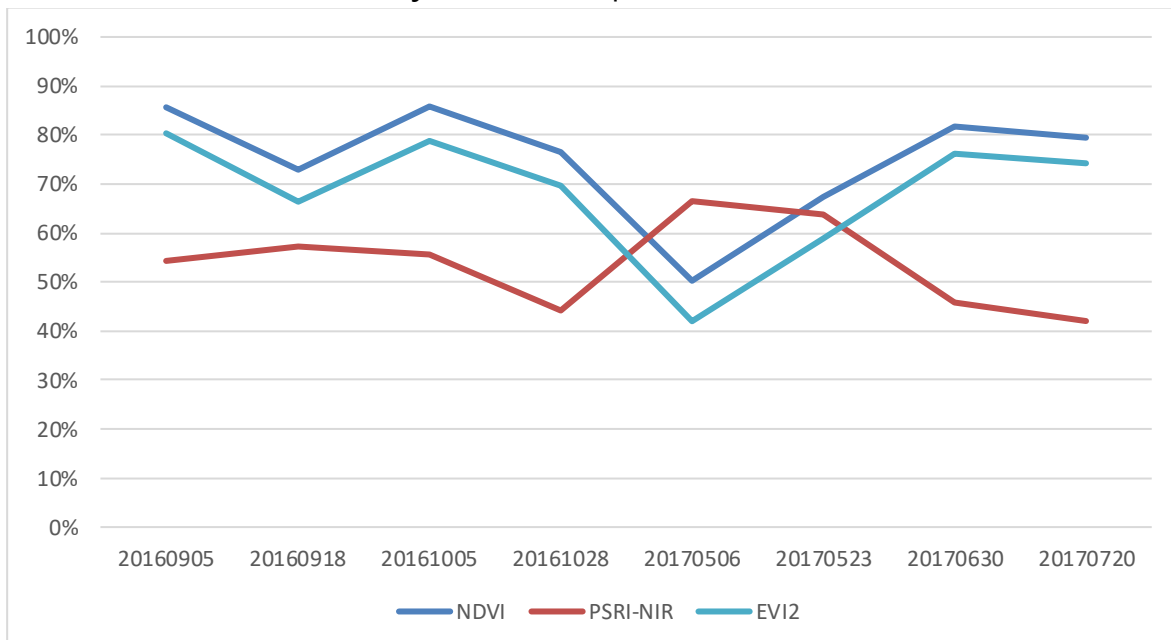
5.5.3 SESONGVARIASJON

Sesongvariasjoner har blitt analysert, og er beskrevet i 4.5.1. Ut ifra gjennomsnittsverdier for de ulike kanalene i Sentinel-2 på alle aktuelle test-overflater, dannes et bilde av de naturlige endringene i nøkkelbiotopenes oppførsel ved ulike tidspunkt på året.



Figur 27. Gjennomsnittsverdier fra de ulike Sentinel-2 kanalene. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Tidsserien viser et utvalg på alle uendrede nøkkelbiotoper.

Indeksene for samme situasjon. Fremstilt på samme måte.



Figur 28. Gjennomsnittsverdier fra de utvalgte indeksene. Fremstilt som en tidsserie. Med prosent av 99% percentil spenn av verdier i hele datasettet. Tidsserien viser et utvalg på alle uendrede nøkkelbiotoper.

Sesongvariasjonene varierer i utvalg. Gjennomsnittlig endring i sesongovergangene presenteres i Tabell 21.

Tabell 21 Gjennomsnittlig endringsverdier for indeksene PSRI-NIR, EVI2 og NDVI i sesongoverganger. Oppgitt i prosentpoeng.

| Indeks | Tidlig vår – Vår | Vår – Sommer | Sommer – Høst | Høst – Sen høst | Sen høst – Tidlig vår |
|----------|------------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| PSRI-NIR | 3 % | 20 % | 11,6 % | 11,6 % | 23 % |
| EVI2 | 17 % | 16 % | 0 % | 5 % | 28 % |
| NDVI | 17 % | 13,5 % | 1,2 % | 5,7 % | 26 % |

Ved å se på avviket mellom gjennomsnittlig endringsprosent og sesongendringsprosent, kommer det frem hvilke perioder som er mest utsatt for falske endringer. Hvor mye større faktiske endringer er enn sesongendringene, vises i Tabell 22

Tabell 22 Viser avvik mellom gjennomsnittlig faktisk endring, og sesongendringer. Høye tall vil si at faktiske endringer overgår sesongendringer, mens lave tall viser at sesongendringer med vanskelighet kan skilles fra faktiske endringer. Basert på indeksverdier.

| Indeks | Tidlig vår – Vår | Vår – Sommer | Sommer – Høst | Høst – Sen høst | Sen høst – Tidlig vår |
|----------|------------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| PSRI-NIR | 22 % | 5 % | 13,3 % | 13,3 % | 2 % |
| EVI2 | 11 % | 12 % | 28 % | 23 % | 0 % |
| NDVI | 15 % | 18,5 % | 30,8 % | 26,3 % | 6 % |

5.6 KONTROL AV GEOMETRISK NØYAKTIGHET

Som beskrevet i 4.5.5 er det foretatt en visuell kontroll av nøyaktighet. Avvik i antall piksler er regnet i meter, da hver piksel har en oppløsning på 10 m². Retningen avviket er skjøvet og hvilken av Sentinel-2 satellittene bildene er tatt fra er inkludert i kontrollen. Resultatene presenteres i Tabell 23:

Tabell 23. Avvik i antall piksler, presentert i meter, og i hvilken retning avvikene gjelder. Nyere Sentinel-2 bilder er her mer stabile og har lavere avvik.

| Dato | Avvik fra laserdata | Retning | Sentinel-sat |
|------------|---------------------|---------|--------------|
| 16.08.2016 | 20 m | SØ | 2A |
| 18.09.2016 | 10 m | NØ | 2A |
| 05.10.2016 | 20 m | NØ | 2A |
| 28.10.2016 | 20 m | NØ | 2A |
| 06.05.2017 | < 10 m | S | 2A |
| 23.05.2017 | < 10 m | N | 2A |
| 30.06.2017 | < 10 m | NV | 2B |
| 20.07.2017 | < 10 m | NV | 2B |

5.7 LAGRING AV RESULTATENE I SBASE 2.0

Resultatene fra endringsanalysen skal leveres og lagres i SBASE 2.0.

Hver nøkkelbiotop i SBASE 2.0 har et unikt nummer som kan brukes som koblingsnøkkel. I tillegg til resultatet: «endret/ja» eller «uendret/nei» er det fornuftig å levere tidsrommet for analysen og eventuelt et sannsynlighetsestimat.

Tabell 24. Egenskaper som bør leveres til SBASE

| Egenskap | Beskrivelse | eksempelverdi |
|---------------|--|---------------|
| ID | Unikt nummer | |
| Endret | Resultatet fra endringsanalysen | Ja Nei |
| Dato_T1 | Dato på første satellittbildet som ble brukt i analysen | 01/07/2018 |
| Dato_T2 | Dato på det siste satellittbildet som ble brukt i analysen | 05/08/2019 |
| Sannsynlighet | Estimat på sannsynlighet av resultatet, fra 0 til 1 | 0.92 |

6 VISUELL / MANUELL KONTROLL

Resultater fra automatiske analyser er sjelden perfekte og i dette prosjektet har vi også sett at det finnes mange feilklassifiseringer. Vi tenker at falsk negative resultater (endrede figurer som ikke blir oppdaget) må unngås. Dette resulterer i et høyt antall falskt positive (uendrede figurer som blir klassifisert som endret).

I testene som ble gjort, ligger andelen falskt positive mellom 3% og 19% av totalt antall figurer. Vi regner med at denne andelen kan gå ned med mer trening av algoritmene, men det vil alltid bli en del feil. Hver figur som blir klassifisert som endret, blir sendt til den aktuelle sertifikatholderen som må undersøke figuren nærmere og komme med en tilbakemelding. Dette er arbeidskrevende og derfor er det ikke ønskelig å ha for mange falskt positive resultater.

En stor del av feilklassifiseringene skyldes små skyer og atmosfærisk støy samt belsningsforskjeller. Selv om klassifiseringen blir feil så er denne typen feil forholdsvis lett å oppdage gjennom visuell etterkontroll av resultatene.

En slik visuell kontroll kan gjøres ved å gå gjennom alle figurer som ble klassifisert som endret, med Sentinel-2 bildene i bakgrunnen.

Man kan redusere antall falskt positive resultater betraktelig med visuell kontroll, men det er ikke mulig å gi eksakte tall.

Visuell kontroll med bruk av nye flybilder eller laserdata vil være vanskelig fordi det ikke finnes nye flybilder og laserdata over store områder. Dessuten er flybildene og laserdataene ofte minst 6 måneder gamle før de distribueres til brukerne.

7 NEDLASTING, DATALAGRING OG PROSESSERING

7.1 LOKAL PROSESSERING

Dette prosjektet ble utført på en standard måte: det vil si at man laster ned satellittbilder, analyserer bildene med algoritmer lokalt, og til slutt leveres resultatene. Denne metoden kan bli utfordrende når man skal analysere store datamengder, for eksempel for en nasjonal tjeneste. Om det blir utfordrende påvirkes av ulike faktorer:

- Datamengden fra satellitten.
- Hardware/Infrastruktur som er tilgjengelig.

Norges skogareal dekkes av 62 Sentinel-2 tiles. Datamengden per tile er:

- 700 MB for Nivå-1C produktet som må lastes ned.
- 1.2 GB for Nivå-2C produktet (etter atmosfærisk kalibrering).

Atmosfærisk korrigerende produktet som ble brukt i dette prosjektet består av 4 kanaler/bånd og en skymaske og er $110 \text{ MB} \times 5 = 550 \text{ MB}$ per tile.

Datamengder gjelder for en tile med heldekkende data. En tile med delvis dekning krever mindre lagringsplass.

Nedlastingstid fra den Norske ColHub tjenesten var cirka 15 sekunder til maksimalt 1 minutt per tile.

Prosesseringstiden tok cirka 12 minutter per tile, men er avhengig av antall figurer per tile som skal analyseres.

Hvis vi antar at man trenger cirka 4 til maksimalt 10 opptak per tile per år, blir

- nødvendige lagringsplassen (for produktet som brukes i analysene) mellom 140 GB og 350 GB. Legg merke til at man ikke behøver å lagre alle Sentinel-dataene. Data kan slettes etter en tile er analysert.
- nedlastingstiden mellom 1 time og maksimalt 10 timer (248 til 640 tiles).
- prosesseringstiden mellom 50 timer og maksimalt 125 timer.

I praksis må man regne med mer prosesseringstid på grund av tilpassinger som må gjøres og feil som oppstår. Endringer i rutinene vil også ha utslag på prosesseringstiden. Fordelen med å analysere dataene per tile er at tilenene kan prosesseres parallele hvis ønskelig. Tallene er basert på vår erfaring og våre ressurser. Vi har brukt gode men standard arbeidsstasjoner raskt nettverk og en rask server for datalagring.

7.2 PROSESSERING I SKYEN

Fordelen med prosessering i skyen er at man ikke trenger å laste ned satellittdataene og heller ikke trenger å lagre de. I stedet for at man bringer dataene til algoritmene bringer man algoritmene til dataene. Man laster opp programvaren og algoritmene til servere som har tilgang til Sentinel-2 data. Det finnes ulike tjenester. DIAS (Data and Information Access Services) tjenester som er satt opp i regi av ESA. Det finnes 4 ulike, delvis konkurrerende tjenester:

- ONDA
- SOBLOO
- CREADIAS
- MUNDI

I tillegg finnes det tjenester som har blitt utviklet av kommersielle aktøren i egen regi:

- Amazon AWS
- Google Earth Engine

Alle tjenester har ulike betalingsmodeller: betaling for lagringsplass og for prosesseringskapasitet. Vi har ikke undersøkt skytjenester nærmere.

Fordelen med prosessering i skyen er at man ikke trenger investeringer i hardware og at tjenester som man utvikler er enklere å skalere opp. Dessuten trenger man ikke å vedlikeholde egen hardware/IT-infrastruktur. Fordelen med lokal prosessering er at man ikke trenger å betale direkte for all prosessering man gjør.

Det er umulig å si hva som er den beste løsningen for aktører som har bra hardware fra før.

8 DISKUSJON

8.1 ERFARINGER FRA GJENOMFØRTE TESTER

8.1.1 ATMOSFÆRISK KORREKSJON

I resultatene fra klassifiseringen ble det lagt frem ulike utfall av et test-scenario for endringsdeteksjon. Kombinasjoner av ulike sesonger med og uten atmosfæriske korreksjoner ga ulike resultater. Med atmosfæriske korreksjoner ble sensitiviteten høyere, mens presisjonen ble lavere. Uten atmosfæriske korreksjoner ble sensitiviteten lavere og presisjonen høyere. Om det er atmosfærisk korreksjon som er hovedårsak for ulikhetene i klassifiseringsresultatene er vanskelig å si. Dette fordi de ulike datasettene (m. og u. korr) ikke er klassifisert av samme nevralt nettverk. For å kunne danne to situasjoner, måtte også to nettverk trenes opp. Ulike aktiveringer kan ha blitt gjort i de ulike nettverkene. Dermed kan vi ikke med sikkerhet si at ukalibrerte bilder er årsak for mindre støy. Dette er noe som kan analyseres nærmere. Det vi kan tolke ut ifra ulikheten av resultatene derimot, er at små endringer i den nevralt nettverksstrukturen kan føre til en balansering av sensitivitet mot presisjon. Det skal være mulig å finjustere det nevralt nettverket til å optimalisere balansene mellom sensitivitet og presisjon. En atmosfærisk korreksjon gir antakelig en bedre sensitivitet, men dette kan heller ikke med sikkerhet verifiseres på samme grunnlag som nevnt for ovenfor. Det gir likevel mening at kalibrerte bilder har en bedre evne til å plukke opp reelle endringer, da bildene før kalibrering inneholder flere artefakter som kan villedde treningen av nettverket. Et gunstig utfall ville være å beholde modellen basert på kalibrerte data, men med justeringer for å minimere støy. Det viktigste her vil vi likevel si er å la tallet for uoppdagede endringer være så lavt som mulig. Å manuelt gå gjennom falske endringer trenger ikke være en tidkrevende prosess, så lenge det ikke er altfor mange. I resultatene har vi maksimalt 929 falske endringer fordelt over 6 deteksjonstidspunkt. Dette gir gjennomsnittlig 155 falske endringer pr. bilde. Ettersom vårt test-sett består av 1000 biotoper, som er ca. 1,5 % av totalt antall nøkkelbiotoper, vil det tilsvare ca. 10000 falske endringer pr. analyse av hele Norge. Utelater vi de vanskeligste sesongene, sen høst og tidlig vår, vil tallet bli totalt 8000 falske endringer. Dette er tall basert på analysen gjort

med atmosfærisk kalibrering. Samme situasjon uten kalibrering gir totalt 3600 falske endringer, men her blir også en god del endringer ikke oppdaget.

8.1.2 ANALYSEFREKVENNS

Å ha en hyppigere analyse vil bety en hyppigere strøm av falskt positive som må kontrolleres. Dette tilsvarer mer manuelt arbeid. Ved å kun gjøre én analyse i året vil det bli mindre manuelt arbeid, men resultatene viser at det også blir flere falskt negative, samt flere falskt positive knyttet til hvert bilde. Dette kan komme av at flere av endringene har skjedd lenge før analysetidspunktet, og dermed ikke kommer like tydelig frem på analysetidspunktet. En mellomting kan derfor være gunstig. Hvor de vanskeligste sesongene, som sen høst og tidlig vår, utelates.

8.1.3 SESONG

Sesong har vist seg å gjøre utvalg på alle indeksene brukt til klassifisering av endringer. Dette vil si at støy, eller andel falskt positive, kan skyldes sesongendringer som oppfattes som faktiske endringer i algoritmen. Spesielt ser vi i Tabell 22 at forandringene fra sen høst til tidlig vår er tilnærmet like store som forandringene i en gjennomsnittlig endring. I hvor stor grad dette påvirker klassifiseringsalgoritmen kan vi ikke si, da de 15 ulike attributtene som brukes kan være i stand til å skille en sesongendring fra f.eks. en reell hogst. Noen vegetasjonstyper og livsmiljø kan likevel fra erfaring se veldige like ut som reelle endringer. F.eks. kan et gammelt eiketre se ut som en hogst når alle bladene faller av, og bakken kommer til syne. Her kan Sentinel-2, med 10 m oppløsning, ikke se stammene fra eiketrærne.

8.1.4 VEGETASJONSTYPER OG LIVSMILJØ

Ved å studere Figur 23 og Figur 24 ser vi også at det finnes forskjeller mellom ulike inndelinger. De ulike vegetasjonstypene spriker lite i forhold til endring og sesong, men har tendenser til å variere mer i sommersesongen. Spennet varierer mellom 4% og 13%. Livsmiljøene spriker mellom 10% og 15% gjennom året. Ettersom gjennomsnittlig endringsverdi for den brukte indeksen her er 28%, kan det antas at livsmiljø og vegetasjonstyper har lite innvirkning på klassifiseringsresultatet. Likevel kan det vurderes om disse attributtene burde tas med i endringsalgoritmene for å redusere andelen falskt positive.

8.1.5 TOPOGRAFI

Når det gjelder topografi ser vi ingen tydelige tegn på at helningsgrad og retningsvinkel påvirker algoritmen. Noen mulige mønstre er likevel mulig å tolke fra Figur 26, der brattere helning ser ut til å øke feilprosenten. Også i retning nord-øst ser det ut til å befinne seg en høyere andel feilklassifiseringer. Dette kan ha både noe med grid-modellen PlanetDEM å gjøre, samt solvinkel og skyggeforhold. Disse variablene, i motsetning til vegetasjonstype og livsmiljø, kan være vanskelige å kompensere for. Det finnes et attributt om topologi i SBASE, men lite detaljert med kun 4 ulike klasser. Disse ble også analysert, og klassen «flat mark og toppen av koller» ser ut til å gi størst utslag på sesongendringer. Dette strider imot Figur 26, der det var bratte nordvendte helninger som ga flest feilklassifiseringer.

8.1.6 GEOMETRI

Feilklassifiseringer kan også oppstå på grunnlag av dårlig geometri. Det kommer frem i Tabell 23 at forskyvninger i bilder kan bli opptil 40 m. Dette kan f.eks. trekke en veistrekning i bildet inn i en biotop, og falske alarmer vil da oppstå. Det kommer også frem i Tabell 23 at den geometriske kvaliteten i Sentinel-2 bildene er forbedret etter 2017. Et standardavvik på under 10 m er stabilt nok til å unngå de verste tilfellene av forskyvning, og vi kan heller ikke forvente noe særlig bedre enn dette. Det kan likevel være større avvik i brattere strøk, da planetDEM fortsatt er brukt i alle bildene til denne analysen. Hvor store disse utslagene er mulig å se nærmere på.

8.2 VALIDERING

I dette prosjektet har vi brukt ferske og gamle laserdata for å validere resultatene. Vi valgte testområder der det fantes egnede laserdatasett. I et nasjonalt prosjekt vil det ikke være mulig å bruke samme opplegget, fordi det ikke finnes nok nye og gamle laserdata. Nyere flyfotodatasett vil heller ikke være tilgjengelig over store områder. Uavhengig validering av resultatene vil derfor være utfordrende. De eneste to muligheter som vi ser er

1. å validere resultatene basert på Sentinel-2 bilder (som også har blitt brukt i den automatiske analysen)

2. å bruke utvalgte områder der det finnes nyere laser- eller billededata for en validering.

Det er selvsagt mulig å bruke en kombinasjon av begge metodene.

En ulempe med (delvis) manglende validering er at feil, særlig falskt positive resultater kan skape en del arbeid hos sertifikatholderne. Leverandøren av endringsanalysen kan minske dette antallet ved å bruke bedre rutiner eller ved å bruke mer tid på visuell kontroll. Dette medfører økt tidsbruk. Leverandøren får derimot ikke noen konsekvenser for et høyt antall falskt negative resultater. Hvis bestilleren stiller høye krav til antall tillate falskt positive kan dette gå på bekostning av antall riktig oppdagete endringer. Å stille strenge krav på alle typer feilklassifiseringer kan være litt urimelig, siden leverandører ikke kan påvirke alle faktorer som skaper feilklassifiseringer.

8.3 HØYERE HYPPIGHET OG KORTERE FRAMSTILLINGSTID

Kravet til hyppighet av endringsanalysen er en gang per år og det har vi fokusert på i dette prosjektet. Vi ser imidlertid at oppdateringsfrekvensen av Sentinel-2 bilder er så høy at man overvåke mye oftere. I tillegg gjør bruk av automatiske rutiner det mulig å analysere dataene oftere uten at kostnadene stiger mye. Automatiske analyser er også raske og det gjør at man kan levere resultater fortere enn noen gang før. Det blir en kort vei til å kunne tilby overvåking kontinuerlig der det finnes nye brukbare satellittpoptak og framstillingstid /leveransetid kan i teori gå ned til timer eller dager etter optaket ble gjort.

9 KONKLUSJON

Hovedkonklusjonen er at Sentinel-2 tidsserier kan brukes for å overvåke endringer i nøkkelbiotoper for hele Norge årlig.

Tematisk nøyaktighet

Det ble ikke satt noe krav på antall tillate feil: falskt positive og falskt negative.

Metodene som ble brukt kan få antall falskt negative ned til 0.

Antall falskt positive blir dermed høy: mellom 3% og 10% av totalt antall figurer.

Visuell kontroll av denne gruppen basert på Sentinel-2 bilder kan minske dette antallet betraktelig. Vi forventer at algoritmen kan forbedres betydelig ved å lage et større treningsdatasett. Resultater fra visuell kontroll kan brukes til dette.

Geometrisk nøyaktighet

Oppløsningen / GSD på Sentinel-2 bildene er godt nok for deteksjon av endringer i nøkkelbiotoper. Stedfestingsnøyaktigheten på Sentinel-2 bildene er stort sett bra nok, men kan gi noen utfordringen i fjellområder.

Stedfestingsnøyaktigheten på gamle nøkkelbiotoper kan variere.

Oppdateringsfrekvens

Det finnes mer enn nok brukbare Sentinel-2 opptak for å kontrollere nøkkelbiotopene årlig. Det er også mulig å analysere endringer oftere hvis ønskelig. Opptak fra sen høst, vinter og tidlig vår er krevende å bruke i endringsanalysen og det anbefales å holde de utenfor.

Fremstillingstid

Det er fullt mulig å laste ned Sentinel-2 data, prosessere de og levere resultatene i løpet av uker/måneder for hele landet. Denne konklusjonen er basert på vår erfaring og våre ressurser. Det ble ikke brukt ekstrem raske datamaskiner i dette prosjektet.

Diverse funn

- Laserdata fra 2 tidspunkter kan brukes for å lage trenings- og valideringsdata med høy nøyaktighet.
- Livsmiljø og vegtasjonstype har lite innvirkning på endringsutslagene.
- Små skyer, skyskygge og dis skaper mye støy i resultatene: figurer som blir feilaktig klassifisert som endret (falskt positive resultater).
- Atmosfærisk kalibrerte data har ikke vist seg å forbedre presisjonen i klassifiseringssammenheng.
- Endringer er vanskeligere å oppdage om de har skjedd lenge (ca. 1 år) før analysetidspunktet. Ferske endringer oppdages lettere.
- Sesongendringer som løvfall kan være vanskelig å skille fra hogst i Sentinel-2 satellittbilder.
- Bratt, nordvendt terreng er vanskeligere å klassifisere riktig. Dette pga. skygge og dårlig DEM-grunnlag.
- Posisjonsbestemmelsen i Sentinel-2 bilder har blitt bedre. Bilder avviker ikke fra hverandre mer enn 10 m (1 piksel) i nyere Sentinel-2 bilder.
- RNN og LSTM klassifisering hvor fremtidig situasjon predikeres, har ikke gitt et bedre resultat enn vanlig NN klassifisering med tidsseriedata.

10 FORSLAG FOR ENDRINGSANALYSE PÅ NASJONALT NIVÅ

10.1 ULIKE KRAV TIL ENDRINGSANALYSE

Resultatene fra dette prosjektet tilsier at det kan settes i gang en nasjonal overvåking av nøkkelbiotoper basert på Sentinel-2 bilder. Erfaringene fra prosjektet gjør det mulig å komme med konkrete forslag på noen områder, mens vi må nøye oss med generelle råd på andre områder.

10.1.1 TEMATISK NØYAKTIGHET

Det er vanskelig å definere konkrete nøyaktighetskrav på en endringsanalyse. Absolutt nøyaktighet sier for lite om kvaliteten av en endringsanalyse og anbefales derfor ikke. Antall falskt negative og antall falskt positive som man tillater er bedre indikatorer.

Utfordringen er at disse indikatorene kan variere:

- fra område til område,
- per nøkkelbiotop-datasett,
- kvaliteten på satellittbildene.

Dette er stykk for stykk variabler som leverandøren til endringsanalysen ikke kan påvirke.

På en annen side kan leverandøren påvirke disse indikatorene ved å:

- Bruke gode algoritmer og rutiner
- Bruke tid på visuell kontroll av resultatene.

Største utfordringen er at det er vanskelig å validere resultatene mens prosjektet løper. I dette prosjektet har vi validert resultater tilbake i tid. Til dette kan det brukes høyoppløselige laser- og bildedatasett for å kontrollere resultatene.

I en løpende analysetjeneste vil man ikke ha valideringsdata for nye endringer som man finner. Tilbakemelding (fra sertifikatholdere) kan komme lang tid etter at resultatene har blitt levert.

10.1.2 GEOMETRISK NØYAKTIGHET

Det er ikke relevant å stille krav på geometrisk nøyaktighet i en endringsanalyse bortsett fra det kravet at det skal brukes 10 meter kanaler fra Sentinel-2.

Nøyaktigheten på Sentinel-2 bildene ligger fast og er lik for alle. Nøyaktigheten på nøkkelbiotopene kan heller ikke påvirkes av den som utfører endringsanalysen.

10.1.3 HYPPIGHET OG FRAMSTILLINGSTID

Det er fullt mulig å overvåke alle nøkkelbiotoper i Norge årlig.

Man må regne med at man ikke kan kreve at alle nøkkelbiotoper blir analysert med opptak fra samme dato.

Det er også mulig å overvåke hele Norge eller utvalgte områder oftere, men vanskelig å kunne garantere et bestemt antall ganger for hele Norge.

Det er opp til bestilleren om det ønskelig å få alle analyseresultater levert samtidig eller om man ønsker delleveranser en viss tid etter at Sentinel-2 opptak har blitt tilgjengelig.

Krav på framstillingstid er opp til bestilleren. Vi vurderer at det rimelig å kreve en framstillingstid på noen måneder.

10.1.4 INTERAKSJON MED SBASE

Det er viktig at den aktøren som utfører endringsanalysen får tilgang til SBASE ved prosjektoppstart for å planlegge prosjektet. Videre trenger man tilgang til den nyeste versjonen av databasen hver gang en endringsanalyse skal utføres.

Leveranse av resultater kan gjøres med enkle tabeller som kobles til SBASE eller en egen sentral database med bruk av en unik ID per nøkkelbiotop.

Det ønskelig at tilbakemeldinger fra sertifikatholderne lagres i SBASE eller en tilsvarende sentral database. Strukturert tilbakemelding om endrede figurer (sant, usant) er verdifull for å kunne forbedre endringsanalysen over tid.

10.2 KOSTNADER

I dette avsnittet gir vi et anslag på den årlige kostnaden for den tjenesten som har blitt definert i dette kapittelet. Estimatenes er basert på våre erfaringer i prosjektet og er avhengig av følgende generelle variablene:

- Kompetanse av ansatte innenfor prosessering og analyser av satellittbilder og dermed forventet timebruk
- Tilgjengelighet av IT-utstyr

Vi ser for oss at et årlig overvåkingsprosjekt kan bestå av følgende aktivitetene:

| Aktivitet | Time-estimat |
|--|--------------|
| prosjektledelse | 50 |
| data-utveksling, nedlasting og leveranse | 50 |
| utvikling/tilpassing av analysemetoder | 300 |
| prosessering og gjennomføring av analysene | 250 |
| kvalitetskontroll og rapportering | 150 |
| Sum | 800 |

Hvis man tar en timepris på 1250 Kroner blir totalt budsjett 1 million Kroner.

Selv om vi har testet ulike rutiner over flere Sentinel-2 tiles i Norge så finnes det en del usikkerhet om hvordan endringsanalysen vil fungere over hele landet.

For selve prosjektet finnes ser vi følgende variablene som er usikre eller kan være kostnadsdrivende:

- Valg av metode for endringsanalysen og grad av automatisering
- Kvalitetsnivået som må oppnås. Den er vanskelig å definere.
- Kvaliteten av SBASE over hele landet.
- Kvaliteten på Sentinel-2 bilder framover. Vi forventer at den blir bedre men det er ikke utenkelig at det oppstår uforventede problemer.

ORDLISTE

| | |
|----------|---|
| BOA | Bottom-Of-Atmosphere |
| ESA | European Space Agency |
| GSD | Ground Sampling Distance («oppløsning» i for eksempel flybilder) |
| LSTM | Long term-Short term |
| MiS | Miljøregistreringer i skog |
| NDOM | Normalisert Digitalt OverflateModell |
| NDH | Nasjonal detaljert høydemodell. Et prosjekt i regi av Kartverket som har som mål å samle inn detaljerte laser- og bildematchingsdata for hele Norge (https://www.kartverket.no/Prosjekter/Nasjonal-detaljert-hoydemodell/) |
| NiN | Natur i Norge. NiN er et system for inndeling og beskrivelse av natur i Norge |
| NIR | Nær-Infrarød. En del av lysets spektrum (cirka fra 700 nm til 1000 nm hos de vanligste storformat kameraer) |
| NN | Nevrale Nettverk. (Styrt klassifiseringsalgoritme) |
| Ortofoto | Et georeferert (fly)bilde slik at bildet har samme geometriske egenskaper som et kart og kan brukes til kartlegging og analyser. |
| PEFC | Programme for the Endorsement of Forest Certification |
| RF | Random Forest. Styrt klassifiseringsalgoritme. |
| RNN | Recurrent Nevrale Nettverk |
| SVM | Support Vector Machine. Styrt klassifiseringsalgoritme. |
| TOA | Top-Of-Atmosphere |

REFERANSER

- Dertat, A. 2017. Hentet 15. januar 2019 fra <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-1-artificial-neural-networks-d7834f67a4f6>
- ESA, 2019a. Hentet 15. januar 2019 fra https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Introducing_Sentinel-2
- ESA, 2019b. Hentet 15. januar 2019 fra <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/revisit-coverage>
- ESA, 2019c. Hentet 15. januar 2019 fra <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>
- Kartverket, 2017. Hentet 15. januar 2019 fra https://www.kartverket.no/globalassets/arkiv/kart/satelittdata/host-2017/norgedigitalt-faggruppesatelittdata_presentasjon-kartverket-07112017.pdf
- Landbruksdirektoratet, 2001. Håndbok i registrering av livsmiljø i skog, Hefte 3: Instruks for registrering.
- Landbruksdirektoratet, 2014. Hentet fra <https://www.landbruksdirektoratet.no/no/eiendom-og-skog/skog-og-miljoregistreringer/miljoregistreringer#om-miljoeregistrering-i-skog->
- Landbruksdirektoratet, 2017. Veileder for kartlegging av MiS-livsmiljøer etter NiN.
- Lange, H. & Solberg, S. (2019). Forest reflectance modelling of hyperspectral data.
- Li, J., & Roy, D. P. 2017. A global analysis of sentinel-2A, sentinel-2B and Landsat-8 data revisit intervals and implications for terrestrial monitoring. Remote Sensing, 9(9), 902.
- Solberg, S; Lohne, T,P. 2014. Kartlegging av stormskader på skog med ny teknologi. Skog og Landskap Oppdragsrapport.
- Tensorflow, 2019. Hentet 15. januar 2019 fra <https://www.tensorflow.org/>
- Dvergsdal, Henrik. 2017. Nevralt Nettverk. I Store norske leksikon. Hentet 15. januar 2019 fra https://snl.no/nevralt_netverk