



Prosjektrapport

Fjernmåling av naturtyper i fjellet - videreutvikling av prototype

En del av FALK (Fjernmåling av landøkologiske Kart)



Tittel: Fjernmåling av naturtyper i fjellet - videreutvikling av prototype
Forfatter: Floris Groesz, Geir Arnesen, Hilde Tandstad og Stian Rostad
Prosjektleder: Floris Groesz
Oppdragsgiver: Miljødirektoratet M-2327 I 2022

Versjon	Dato
1	3. desember 2021
2	10. desember 2021
3	14. Februar 2022

Blom Norway AS

Fornebuveien 7

1366 Lysaker Epost:

Org nr 982 725 402

Kontaktperson: Floris Groesz

Epost: floris.groesz@blom.no

Telefon: 98630541

Sallir Natur

Fjordveien 166

9107 Kvaløya

Org nr 924 582 022

Kontaktperson: Kristin Sommerseth Johansen

Epost: kristin@sallirnatur.no

Telefon: 95058401



INNHOLD

Innhold

Forord

Sammenfatning

1	Introduksjon	7
2	Prosjektområde og data	9
3	Metoder	11
4	Resultater	39
5	Diskusjon	60
6	Konklusjon	79

Ordliste

Referanser

FORORD

Denne rapporten beskriver arbeidet som ble gjennomført i prosjektet «Fjernmåling av naturtyper i fjellet - videreutvikling av prototype» i oppdrag av Miljødirektoratet.

Prosjektet er en fortsettelse av det første FALK prosjektet (Fjernmåling av landøkologiske kart), gjennomført i 2019-2020. Rapporten bygger dermed også videre på den første rapporten. For en del grunnleggende informasjon om bakgrunn og behov, dataene og metoden, henviser vi til den første rapporten. Lenken finnes i referansene og nederst i denne teksten.

Prosjektteamet besto av Geir Arnesen og Hilde Riksheim Tandstad fra Sállir natur og Stian Rostad og Floris Groesz fra Blom Norway. Prosjektlederne i Miljødirektoratet er Agnès Moquet-Stenback og Ellen Arneberg. Vi ønsker å takke for et godt samarbeid, konstruktiv kritikk og gode tilbakemeldinger.

Lenke til FALK1 rapporten:

Fjernmåling av landøkologiske kart, rapport nr. M-1787

(Groesz, F., Arnesen, G., og Rostad, S.)

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1787/m1787.pdf>

SAMMENFATNING

Hovedøkosystemet «Fjell», det vil si arealer som ligger ovenfor den klimatiske skoggrensa, er det hovedøkosystemet som har størst geografisk utbredelse i Norge. Fjellområder har likevel foreløpig blitt lite prioritert for feltbasert NiN-kartlegging. Det er forventet en arealmessig tilbakegang og forringelse av de fleste naturtyper som utelukkende er knyttet til hovedøkosystemet fjell. Effekten av klimaendringer gjør seg allerede gjeldende, og alpine områder er de som er mest utsatt for miljøforandringer. Det arealmessige økologiske kunnskapsgrunnlaget er imidlertid temmelig dårlig, og en har derfor et dårlig utgangspunkt for å operasjonalisere rødlista for naturtyper i fjellområder og starte en overvåkning av arealer. NiN-feltkartlegging er detaljert og tidkrevende, og det er ikke realistisk at den kan dekke Hovedøkosystemet «Fjell» på nasjonalt nivå innenfor rimelig tid og budsjett.

Forventningen er at fjernmåling og maskinlæring kan gjøre kartleggingen raskere og til en lavere kostnad. Flere og flere fjernmålingsdatasett har blitt tilgjengelig på nasjonalt nivå i de siste årene, blant annet data fra ESA sine Sentinel satellitter og laserdata fra Nasjonal Detaljert Høydemodell (NDH).

Det første FALK-prosjektet (Fjernmåling av landøkologiske kart) ble utført i 2019-2020 og ga lovende resultater, basert på pilotområder i Troms og Nordland.

Dette prosjektet er en videreføring og hadde som målsetning å teste ut metoden i andre områder i Norge, nemlig i Trollheimen og Esandsjøen. I tillegg skulle vi teste overførbarheten av metodene mellom prosjektområdet i FALK1 (Storfjord/Kåfjord) og Trollheimen og Esandsjøen. Til slutt var det et mål å validere resultatene med bruk av feltobservasjoner i Trollheimen og med bruk av eksisterende NiN-kart i Storfjord / Kåfjord.

Følgende fjernmålingsdatasett ble brukt: Tidsserier fra Sentinel-2, laserdata og flybilder. Det ble samlet inn referansedata ved bruk av bildetolkning og dataene ble brukt for å trene opp og validere klassifiseringsmodeller. I tillegg ble de samlet inn referansedata i felt i Trollheimen.

Klassifiserings-resultatene basert på trening og validering med referansedata fra flybildetolkning var gode. Vi klarer å oppnå nøyaktigheter rundt 90% i Trollheimen og Esandsjøen. Vi får litt dårligere resultater i FALK1 området Storfjord-Kåfjord: 80%. Når vi kombinerer alle områdene, oppnår vi en nøyaktighet på 86%. Det betyr at metoden er overførbar over større områder og over ulike soner.

Resultatene fra valideringen mot feltregistreringer fra Trollheimen var noe lavere enn forventet: 53% nøyaktighet når vi validerte med alle hovedtypene og 67% nøyaktighet når vi aksepterte noen forvekslinger mellom nærliggende hoved- og grunntyper. Avvikene er imidlertid i all hovedsak knyttet til geografisk grensesetting og til økologisk svært nærliggende utforminger av andre

hovedtyper. Dette er samme trend som en kan se i resultater fra studier der ulike feltkartleggere kartlegger samme areal.

Klassifiseringsalgoritmene estimerer også sannsynlighet per objekt som klassifiseres. Høyere sannsynlighet betyr at klassifiseringen er mer sikker. Ved en validering av kun sikre klassifiseringsresultater (sannsynlighet på 0.8 eller høyere) ble nøyaktigheten 88%.

Visuell sammenligning med eksisterende NiN-kart i Troms viser en lignende trend: der hvor klassifiseringen er sikker, ser vi sammentreff med NiN-kart fra feltkartlegging, men der hvor klassifiseringen ikke er sikkert, blir det en del avvik. Dette er også i tråd med resultater fra studier om usikkerhet i naturtypekartlegging. Typisk blir det avvik der det er vanskelige overgangsformer og stor heterogenitet.

Resultatene viser at det for alle vanlig forekommende hovedtyper fjellet vil være mulig å lage landsdekkende kart for fjellområder. Kartene vil ha en sannsynlighet som konkurrerer med den en aksepterer i forbindelse med feltkartlegging, og mulighet for å kvantifisere, lokalisere og visualisere sannsynlighet og alternativt valg for naturtyper. Kostnadsnivået forbundet med å lage landsdekkende kart for fjellområder er svært akseptable sammenlignet med feltkartlegging.

1 INTRODUKSJON

1.1 Generell bakgrunn

Hovedøkosystemet «Fjell», det vil si arealer som ligger ovenfor den klimatiske skoggrensa, er det hovedøkosystemet som har størst geografisk utbredelse i Norge. Fjellområder har likevel foreløpig blitt lite prioritert for feltbasert NiN-kartlegging. Dette beror på at de fleste fjellområder har mindre utbyggingspress enn lavlandsområder og dermed ikke blir prioritert for kartlegging. Mange av naturtypene som har størst utstrekning i fjellet har imidlertid nå blitt rødlistet fra og med 21. november 2018 da den nye rødlista for naturtyper ble presentert. Klimaendringer er påvirkningsfaktoren som gjør at naturtyper med tilknytning til fjellet kommer på rødlista. Det er forventet en arealmessig tilbakegang og forringelse av de fleste naturtyper som utelukkende er knyttet til hovedøkosystemet fjell. Det er derfor gode grunner til å skaffe mer kunnskap om den arealmessige utbredelsen til naturtyper i fjellet. I Miljødirektoratets instruks for kartlegging av 2019 har derfor de fleste naturtypene i NiN (natursystem) knyttet til fjellområder og alpine systemer blitt innlemmet. Effekten av klimaendringer gjør seg allerede gjeldende, og alpine områder er de som er mest utsatt for miljøforandringer. Det arealmessige økologiske kunnskapsgrunnlaget er imidlertid temmelig dårlig, og en har derfor et dårlig utgangspunkt for å operasjonalisere rødlista for naturtyper i fjellområder og starte en overvåkning av arealer.

1.2 Spesifikke mål for prosjektet

Dette prosjektet har som målsetning å kartlegge fjellets økosystemer etter NiN-natursystem i størst mulig detalj ved hjelp av fjernmåling, terrenganalyser og andre tilgjengelige kartlag. Prosjektet bygger videre på arbeidet gjort i første FALK-prosjektet (Fjernmåling av landøkologiske kart) i 2019-2020.

De spesifikke målene for dette prosjektet er:

- Å teste metodene videre i andre områder i Norge: I Trollheimen og Esandsjøen.
- Å teste robusthet/overførbarhet av metodene mellom prosjektområdet i FALK 1 (Storfjord / Kåfjord) og Trollheimen og Esandsjøen.
- Å validere resultatene med bruk av feltobservasjoner i Trollheimen
- Å validere resultatene med bruk av NiN-kart i Storfjord / Kåfjord

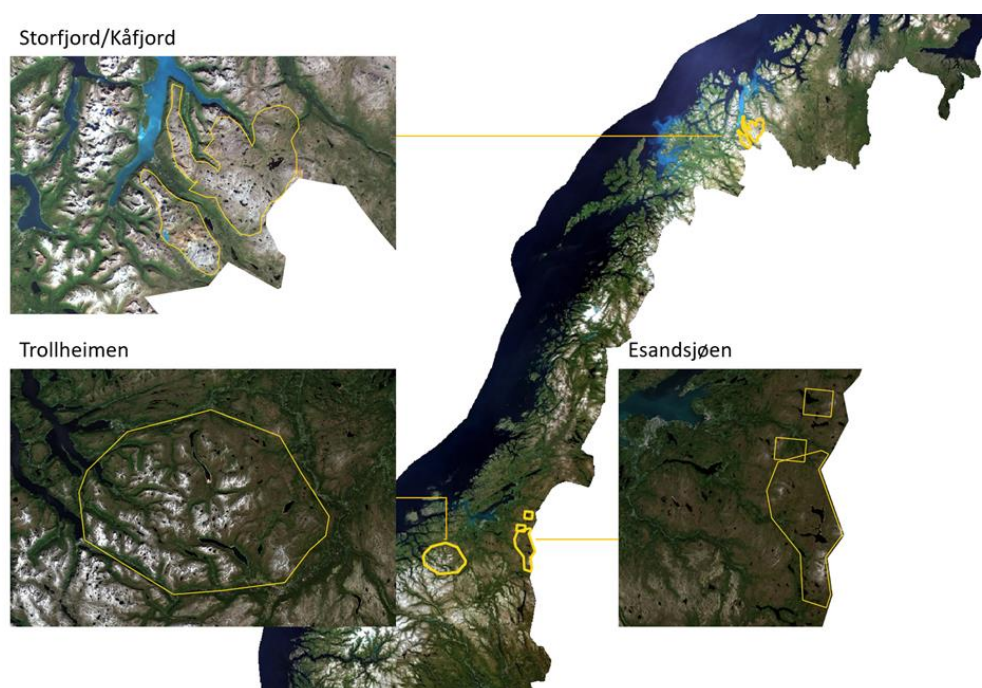
Bare å teste ut en vellykket metode på et annet område er interessant. Fjernmålingsmetoder er ofte tilpasset lokale forhold og ikke alltid lett å overføre til andre områder. Dessuten byr prosjektområdene i Trollheimen og Esandsjøen på

større utfordringer, da de inneholder mye variasjon både bioklimatisk og substratmessig.

2 PROSJEKTOMRÅDE OG DATA

2.1 Prosjektområde

For å dekke mest mulig i bioklimatisk variasjon og ulike berggrunnsforhold valgte vi å bruke to prosjektområder; ett i Trollheimen, og ett rundt Esandsjøen. Prosjektområdene omfatter også våtmarksområder i fjellet. Som en del av prosjektet har vi også prosessert og klassifisert prosjektområdet fra FALK1 prosjektet på nytt, nemlig Storfjord-Kåfjord området. Se Figur 1.



Figur 1. Oversikt over prosjektområdene i Trollheimen og Esandsjøen, og prosjektområde Storfjord-Kåfjord fra FALK1 prosjektet.

Trollheimen er et sammenhengende fjellområde i søndre del av Trøndelag avgrenset av Orkdalen i øst, Sunndalen i sør, kystlinja i vest og Surnadalen i nord. Området inneholder store dalganger som går under skoggrensa, men også med flere dalbunner som ligger over skoggrensa. Store deler av Trollheimen har et alpint preg med opprevet topografi på harde og kalkfattige substratet, men med innslag av rikere fjell og roligere formasjoner i deler av området. Det er lange tradisjoner for seterdrift og fjellgårder i Trollheimen, og flere områder er kulturpåvirket i form av avskoging, beiting og slått.

Det andre prosjektområdet strekker seg fra nordbredden av Aursunden og nordover mot Esandsjøen, og videre mot Stjørdalen. Dette er et stort, sammenhengende fjellområde dominert av rolige, storkuperte formasjoner på kalkholdig berggrunn. Området omfatter også partier med harde og kalkfattige

substrater, spesielt rundt fjellpartiet Sylan som strekker seg opp i høyalpin sone. Prosjektområdet rundt Esandsjøen har også innslag av store våtmarksområder.

Prosjektområdene dekker store deler av oseanitetsgradienten, da de vestligste delene av Trollheimen ligger i klart oseanisk seksjon, mens de østligste delene av både Trollheimen og Esandsjøen går over i svakt kontinental seksjon. Lavalpin sone dominerer i begge prosjektområdene, men det forekommer også større partier i mellomalpin sone, samt innslag av høyalpin sone. I de lavereliggende delene av prosjektområdene blir lavalpin sone erstattet av nordboreal sone, som regel med et markant skille ned mot tregrensa. I områder med mye kulturpåvirkning kan imidlertid denne overgangen mellom nordboreal og lavalpin sone være noe vanskeligere å kartfeste.

2.2 Fjernmålingsdata

I dette prosjektet ble de samme typene fjernmålingsdata brukt som i FALK 1 prosjektet: høydedata fra Nasjonal Detaljert Høydemodell (NDH), flybilder fra omløpsfotograferingen, og Sentinel-2 satellittbilder.

For en nærmere beskrivelse av fjernmålingsdataene henviser vi til kapittel 2 i FALK 1 rapporten (Groesz, 2020).

2.3 Referansedata

Klassifisering av naturtyper med bruk av fjernmålingsdata krever referansedata, både til trening og til validering. Vi har brukt tre ulike metoder/kilder for å lage referansedata:

- Fototolkning av naturtyper
- Feltbefaring i Trollheimen
- Eksisterende NiN-kart i Storfjord-Kåfjord

Siden fototolkning av naturtyper i henhold til NiN systemet en del av metodeutviklingen blir det beskrevet i kapittel 3.

3 METODER

3.1 Generelle vurderinger og valg i henhold til NiN-systemet

Med mål om å modellere heldekkende naturtypekart i fjellet har vi samlet inn referansedata for følgende naturtyper:

- T1 Nakent berg
- T3 Fjellhei, leside og tundra
- T7 Snøleie
- T14 Rabbe
- T19 Oppfrysningsmark
- T22 Fjellgrashei og grastundra
- T27 Blokkmark
- V1 Åpen jordvannsmyr
- V4 – Kaldkilde (få referansedata for denne typen)
- V6 Våtsnøleie og snøleiekilde
- F – Ferskvannssystemer
- I – Snø- og issystemer

For utfigurering av referanseområder har vi tatt utgangspunkt i enheter for terrestrisk naturkartlegging etter NiN versjon 2.2 tilpasset målestokken 1:5000. Denne metodikken skiller seg fra Miljødirektoratets kartleggingsinstruks som ikke legger opp til heldekkende kartlegging, og som i tillegg inkluderer andre variabler for tilstand og naturmangfold. Miljødirektoratets kartleggingsinstruks er likevel basert på NiN versjon 2.2, og for fjellområdene er kartleggingsinstruksen i stor grad sammenfallende. I løpet av prosjektperioden har det parallelt blitt jobbet med revisjonen av NiN-systemet (versjon 3.0) som kommer i 2023. En del av diskusjonene i den forbindelse er svært relevante for FALK, og i enkelte sammenhenger har ny viktig og avklarende kunnskap blitt implementert i våre beskrivelser og tolkninger. Det gjelder blant annet en revidert oppfatning av hovedtypen T22 (fjellgrashei og grastundra) som nå får en betydelig forbedret kunnskapsbase for beskrivelsene.

3.2 Egenskapsdata

3.2.1 Generelt om LKM-er

For hvert referanseområde har vi gjort en vurdering av kartleggingsenhet og trinn langs de aktuelle LKM-ene. Flere av de sentrale LKM-ene i fjellet er relatert til geologiske/fysiske forhold som til en viss grad kan kvantifiseres og standardiseres.

Dette er en av styrkene ved å bruke NiN-systemet i et slikt modelleringsprosjekt. Kartleggingsenhetene er videre i denne rapporten referert til som «naturtyper». Vi har forsøkt å fange opp mest mulig diversitet, også innenfor hver av de nevnte naturtypene, slik at flest mulig kombinasjoner av LKM-trinn er oppfylte. Dette innebærer at vi også har forsøkt å finne varianter av hovedtypene i ulike høydeintervall.

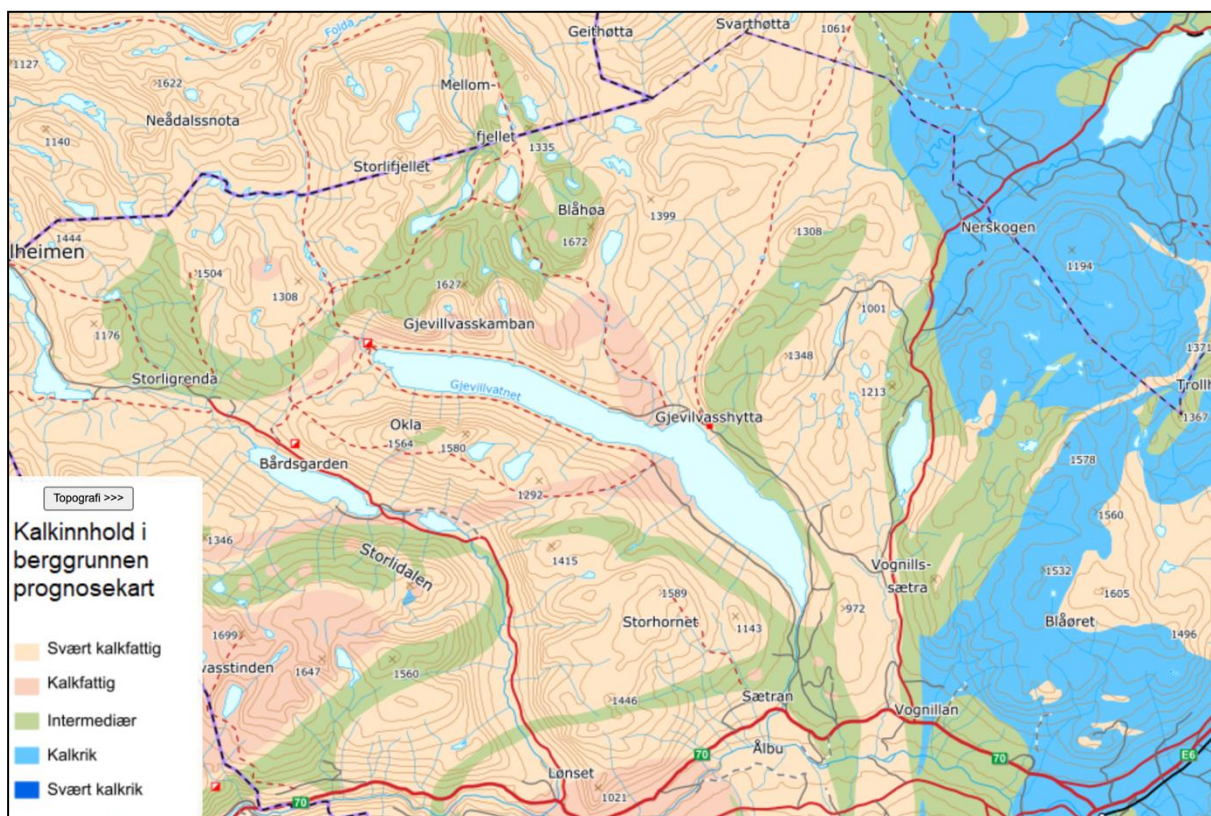
3.2.2 Kalkinnhold (KA)

Kalkinnhold er i NiN beskrevet som variasjon i kjemisk sammensetning og forvitringsegenskaper langs en berggrunnsgeologisk gradient fra silikat- til karbonatbergarter. LKM-en kalkinnhold er strukturerende for alle hovedtypene som dominerer i fjellet, og for naturtypene T3 og T22 er kalkinnhold også den viktigste kilden til variasjon. NGU har laget en første versjon av et landsdekkende kart over kalkinnhold (Heldal & Torgersen, 2020) i skala 1:250 000. I dette kartet er kalkinnhold inndelt i fem klasser basert på gjennomsnittsanalyser av ulike bergartsgrupper (Tabell 1). De fem trinnene samsvarer med trinnene og terminologien som er brukt i NiN v. 2: svært kalkfattig, kalkfattig, intermediaær, kalkrik og svært kalkrik. Kartet over kalkinnhold fra NGU ligger til grunn for våre vurderinger av kalkinnhold i områdene der vi har samlet referansedata (Figur 2). Berggrunnskart i skala 1:250 000 har et detaljnivå som på langt nær er nok for å si noe sikkert om substratforhold på et lite areal som referanseområdene er. Det forekommer masse lokalvariasjon som ikke fanges opp i kartet, og i tillegg påvirker løsmasser og hydrologi i stor grad hvor høyt kalkinnholdet er på et gitt sted. Kartet er likevel trolig det beste verktøyet en har for å kunne si noe om kalkinnhold.

Tabell 1. Tabellen viser hvilke kalktrinn de ulike bergartgruppene samsvarer med. Fargene korresponderer med fargene som er brukt i kalkkartet til NGU.

Bergartgruppe	Gradient
Kvartsitt	Svært kalkfattig
Granitt	
Tonalitt/trondhemitt	
Granodioritt	
Syenitt	
Gneis	
Biotittskifer/gneis	
Kvartsskifer/metasandstein	
Migmatitt	
Ryolitt	
Monzonitt	Kalkfattig
Larvikitt	

Kvartsdioritt	
Mangeritt	
Dioritt	
Anortositt	Intermediær
Eklogitt	
Glimmerskifer/gneis	
Sandstein	
Amfibolitt	
Latitt	
Gabbro	
Gråvakke	Kalkrik
Fyllitt	
Grønnstein/skifer	
Konglomerat	
Kalkskifer	
Dolomitt	Svært kalkrik
Kalkstein/marmor	



Figur 2. Skjermdump fra kalkkartet utarbeidet av NGU, som vi har brukt til å vurdere kalktrinn referansedataene.

3.2.3 Snødekkebetinget vekstsesongreduksjon (SV)

Denne LKM'en er sentral for hovedtypene snøleie (T7), fjellgrashei og grastundra (T22), blokkmark (T27) og ikke minst våtsnøleie og snøleiekilde (V6). Seine snøleier trer godt frem i flybildene som mørke områder, men for å vurdere de moderate utformingene overfor overflater som er temmelig like i flybildene har vi brukt noen hjelpelag for å øke kvaliteten. Topografisk posisjonsindeks (TPI) og topografisk kart har blitt brukt til å lokalisere forsenkninger i terrenget der det vil være plausibelt at det samler seg snø. I tillegg har vi brukt et raster som indikerer hvor mange dager i året snøen ligger i en gitt piksel, og kan dermed relateres til SV.



Figur 3. Et stort snøleie i på aksla sør for Storbekkhøa innerst i Storlidalen (Trollheimen). Sentrale deler til venstre er ekstremsnøleie (SV3), der det kun vokser moser. Fra dette området kan en følge soneringen som radierer ut i seint snøleie (SV2) og de grasdominerte moderate snøleiene (SV1). Foto: Geir Arnesen.

3.2.4 Uttørkingsfare (UF)

Dette er hoved-miljøvariabel for Fjellhei, leside og tundra (T3). Variabelen er korrelert med topografi, jorddybde og jordsmonnutvikling, og gir grunnlag for tre undertyper av fjellhei: leside, lynghei og lavhei. Uttørkingsfare er ikke så lett å kvantifisere, men det er logisk at det er større uttørkingsfare mot toppen av oppstikkende (konvekse) landformer og fuktigere mot bunnen av forsenkninger. Som hjelp i bildetolkningen har derfor derivater fra detaljert høydemodell slik som topografisk posisjonsindeks, helningsgrad blitt brukt for å bli mer sikker på bildetolkningene.

3.2.5 Kildevannspåvirkning (KI)

Kildevannspåvirkning er også en strukturerende LKM for både Fjellhei, leside og tundra (T3) og Snøleie (T7). For fjellhei vil kildevannspåvirkede områder se forskjellig ut i ulike høydesoner. I nedre deler av lavalpin sone ser vi kildevannspåvirkede

områder som vierkjerr og bregnedominerte arealer, som kan gjenkjennes som blågrønne og irrg grønne arealer på flyfoto. Oppover i øvre del av lavalpin og i mellomalpin sone blir det for tøft for de buskdannende vierne og høystaudene, og her blir det vanskeligere å skille ut de kildevannspåvirkede områdene på flybilder. Kildevannspåvirkning finnes oftest i forsenkninger og oppover i høyden opptrer kildevannspåvirkning derfor ofte i forbindelse med redusert vekstsesong på grunn av snødekke (SV). Hvis det er vått nok blir våtsnøleie og snøleiekilde en aktuell hovedtype. Generelt bidrar kildevannspåvirkning i stor grad til heterogeniteten i en rekke systemer i fjellet og gjør bildet mer komplekst.

3.2.6 Vindutsatthet (VI)

Dette er hoved-LKM for rabbe (T14) og den er relatert til oppstikkende topografi som bli utsatt for vind hele året. Studier av av topografi er derfor en viktig hjelp ved siden av flybildetolkningen. Vindutsatthet er delt i to trinn, der trinn 1 indikerer betydelig vindpåvirkning, men uten forekomst av vinddeflasjon. Trinn 2 indikerer tilstedeværelse av deflasjonsflater, det vil si at vegetasjonen er fjernet og overflaten består av nakent vitringsmateriale eller jordsmonn med sporadiske enkeltindivider av planter.

3.2.7 Myrflatepreg (MF) og tørrleggingsvarighet (TV)

Disse to variablene er de strukturerende LKM-ene for jordvannsmyr (VI) sammen med kalkinnhold. Både myrflatepreg og tørrleggingsvarighet er komplekse og delvis vanskelig kvantifiserbare gradienter. De er også temmelig vanskelige å vurdere uten å studere artssammensetningen i felt. Spesielt tørrleggingsvarighet er utfordrende å vurdere via flybilder. Hovedfokuset har derfor i første omgang vært å identifisere jordvannsmyr i de alpine miljøene og skille de fra omkringliggende naturtyper som snøleie (T7) og moderate våtsnøleier (V6). Sekundært har en også fokusert på å finne representative referanseområder for henholdsvis myrflate og myrkant. Sistnevnte er da i klar overvekt.

3.3 Om fototolkning av referanseområder i Trollheimen og Esandsjøen

3.3.1 Målsetning og fremgangsmåte

Fokuset under fototolkningen har vært å avgrense homogene områder med minst mulig heterogenitet, i tillegg til å dekke mest mulig diversitet ved å fange opp kombinasjoner av LKM-trinn for de ulike hovedtypene. To personer med lang erfaring med fjellområder har vært involvert flyfototolkningen, der én har produsert mesteparten av referansedataene, mens den andre økologen har utført

feltvalideringen. I starten av arbeidet ble det gjennomført en kalibreringsrunde mellom kartleggerne for å opparbeide en felles oppfatning. Studier av kartleggingsdata fra andre fjellområder har vært en del av denne kalibreringen.

Prosedyren kan oppsummeres slik:

- Flyfoto for prosjektområdet og øvrige kartlag importeres til QGIS
- Panorering innenfor prosjektområdet i QGIS for å lokalisere områder med tydelige, sammenhengende og homogene partier. I dette steget bruker vi også Norge i bilder og Norgeskart parallellt med QGIS for å orientere oss i området, og effektivisere prosessen.
- Videre undersøkelse av området, der topografisk kart brukes til å oppdage tydelige terrengformasjoner (f.eks. forsenkninger, rygger eller store flate partier). Flyfoto brukes til å kjenne igjen fysiognomiske trekk.
- Andre tilgjengelige kartlag (blant annet snøsmeltekart, markfuktighetskart, topografisk posisjonsindeks og vegetasjonsindeks) brukes videre i vurderingen av et referanseområde
- Kalkkartet til NGU brukes for å bestemme kalktrinn

3.3.2 Spesielt om små areal

Vi har laget referanseområder med minsteareal på 250 m², og helst større. Enkelte naturtyper er imidlertid begrenset til svært små arealer. Et eksempel på dette er kaldkilde (V4), som under praktisk feltkartlegging typisk kartlegges som punkt- eller linjepolygoner. Dette egner seg dårlig til modelleringsformålet i FALK fjell, og vi har derfor fokusert lite på V4 i denne runden av FALK. Andre naturtyper som ofte opptrer i små areal er utforminger innen hovedtypen V6 Våtsnøleie og snøleiekilde.

3.3.3 Om våtmarksmosaikker

Mange fjellområder har et naturlig mosaikkipreg, og i kilde- og smeltevannspåvirkede våtmarksområder er dette spesielt vanlig. Arealer med en naturlig finskala mosaikk mellom jordvannsmyr(kant) (V1), kaldkilde (V4) og våtsnøleie og snøleiekilde (V6) er vanlig forekommende, spesielt i snørike fjellområder. For å unngå at denne vanlige mosaikken skaper problemer i modelleringsareidet besluttet vi derfor å inkludere en mosaikktype for disse våtmarkskompleksene. Den er kalt «v_kompleks» i analysene, og det er avgrenset egne referanseområder for denne mosaikken.

3.4 Flyfotokarakteristikk/fysiognomi

I dette avsnittet viser vi eksempler fra referansedataene, og hvilke kjennetegn vi har brukt for å vurdere naturtypen.

3.4.1 Nakent berg (T1)

Nakent berg er vanligvis lett gjenkjennbart på flyfoto, men opptrer i mange ulike fargenyanser og med ulik struktur, som illustrert på figurene under.



Figur 4. T1 Nakent berg

3.4.2 Fjellhei, leside og tundra (T3)

Leside finnes i hellende terreng og skråningen, rett ovenfor snøleier der rabbe-snøleiegradienten er godt utviklet. Utformingen varierer med kalkinnholdet. Fattige og intermediære lesider er blåbærdominerte, og har et tydelig grønt preg på flyfoto. Kalkrike utforminger av leside kan ha et mer brunlig preg, i retning snøleier. Kildepåvirket leside har innslag av mye vier i nedre del av lavalpin sone. Innslaget av vier gjør at denne typen gjenkjennes som blågrønne, litt ruglete partier på flyfoto, ofte langs bekker og små elver (illustrert på de to under).



Figur 5. T3 Fjellhei, leside og tundra, utforming kildevannspåvirket leside

Lynghei finnes i svakt hellende terreng, og kan kjennes igjen på sitt rød-brunlige skjær på flyfoto.



Figur 6. T3 Fjellhei, leside og tundra, utforming fjell-lynghei

Lavhei omfatter den tørreste delen av fjellheia, og typen er utbredt i de flate og svakt hellende delene av heia, og oppover mot ryggene der de erstattes av rabber. Lavhei kan kjennes igjen som lysflekkelige områder på flyfoto, der den lyse fargen kommer av høy dekning av lav.



Figur 7. T3 Fjellhei, leside og tundra, utforming fjell-lavhei,

3.4.3 Snøleie (T7)

Snøleier finnes i hellinger og forsenkninger. På flyfoto har snøleier varierende preg. De moderate snøleiene kan ha et gulbrunt preg, mens snøleiene ofte får et brunere, mørkere preg med økende snødekkevarighet. De kalkrike og kildepåvirkede snøleiene kan også ha innslag av klare, grønne partier pga. stor forekomst av kildemoser og nikkemoser.



Figur 8. T7 Snøleie

3.4.4 Rabbe (T14)

Rabber finnes på konvekse terrengformer der vegetasjonen i hvert fall i perioder er eksponert for vind også om vinteren. På flyfoto kan rabber ses som lyse partier med spredte flekker med vegetasjon. Deflasjonsrabber som er de mest vindeksponerte er oftest helt lyse. Rabber har også vanligvis høy uttørkingsfare, og utforminger som er bare noe eksponert for vind om vinteren ligger derfor økologisk svært nært fjell-lavhei. Overgangsformer mellom T3 fjell-lavhei og lite vindeksponerte rabber er vanlige, noe som fører til ulike tolkninger av slike arealer i forbindelse med kartlegging. Det er også vanskelig å vurdere denne overgangen når en studerer flybilder. Se diskusjonen for mer detaljer om problemstillingen.



Figur 9. T14 Rabbe

3.4.5 Oppfrysningsmark (T19)

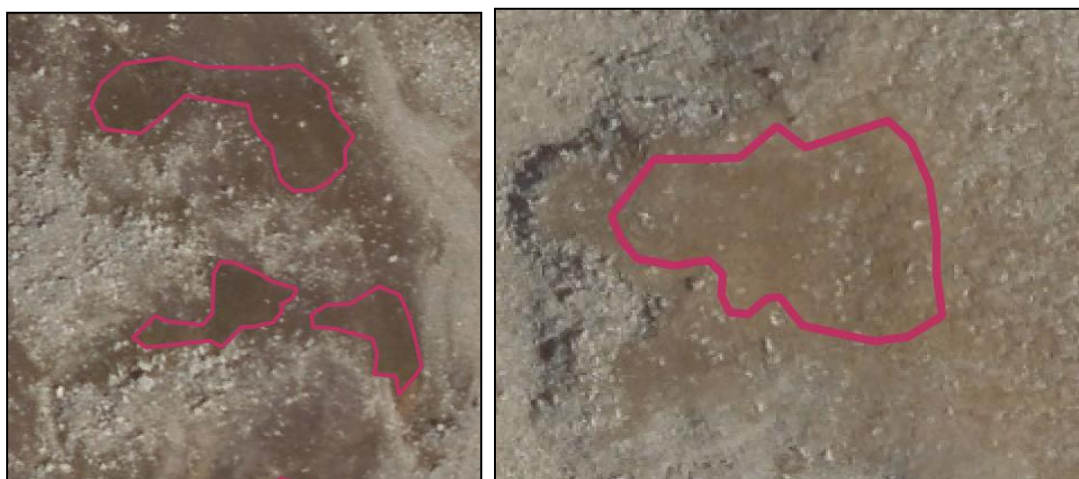
Oppfrysningsmark finnes på flatt til svakt hellende terreng i mellomalpin og lavalpin sone. På flyfoto kan man kjenne igjen oppfrysningsmark som ring- og stripestrukturer, med tydelige steinpolygoner innimellom.



Figur 10. T19 Oppfrysningsmark

3.4.6 Fjellgrashei og grassnøleie (T22)

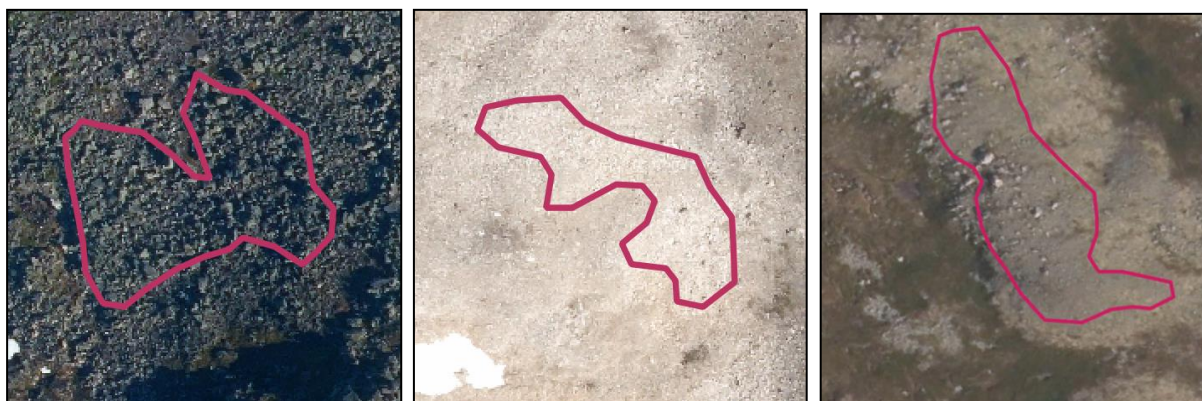
Naturtypen finnes mest i den mellomalpine sonen ovenfor de lyngdominerte fjellheiene som er konsentrert til den lav-alpine sonen. Hovedtypen kjennetegnes av et miljø med ustabile substrater på grunn av frostomrøring og erosjon fra smeltevann, samt mye snø og kort vekstsesong. Disse forholdene gjør at lyng og vedvekster ikke klarer seg, og det blir grasdominans. Kalkrike utforminger kan ha mye urter og bedre utviklet jordsmonn med mosematte. På flyfoto kan fjellgrashei ofte gjenkjennes på sin rødbrune farge da det ofte er dominans av rabbesiv og vardefrytle som har disse fargenyansene. Sammenhengende forekomster av fjellgrashei og grassnøleie finnes på berggrunn som forvitrer lett slik at det blir rolige terrengformer. Dette sammenfaller ofte med kalkrike substrater. Harde bergarter danner oppreven topografi med overvekt av nakent berg når en kommer så høyt opp. Fjellgrashei opptrer i svakt hellende terreng og på flate partier.



Figur 11. T22 Fjellgrashei og grasssnøleie

3.4.7 Blokkmark (T27)

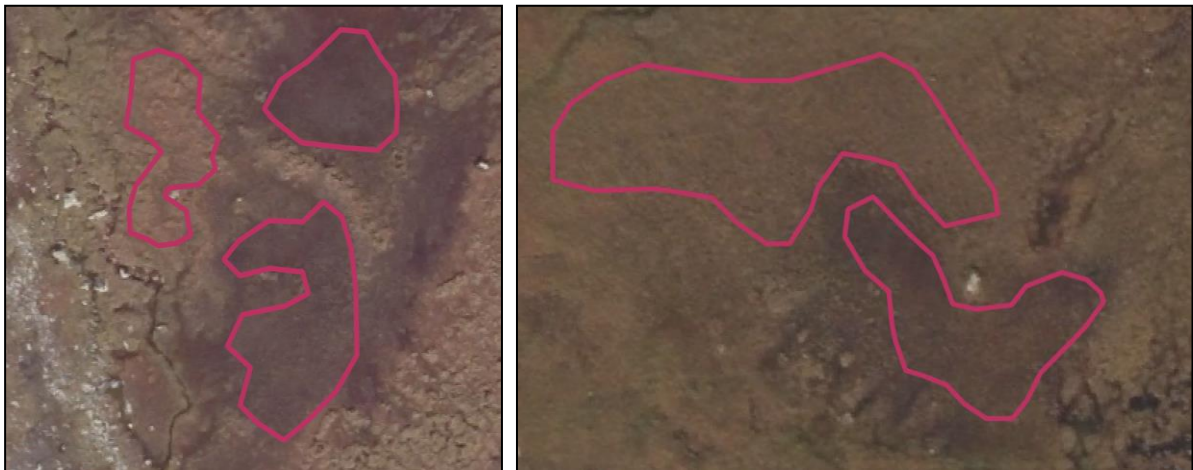
Blokkmark skilles fra nakent berg ved tydelig struktur med synlige blokker. Kan forveksles med T13 rasmark, men sistnevnte ligger i eller rett nedenfor bratte skråninger og fjellsider ($>30^\circ$). Snøleieblokkmark ligger i forsenkninger og har oftest lys farge på flyfoto. Rabbepreget blokkmark ligger på rygger og forhøyninger i terrenget, og er sterkt påvirket av vind. Kan forveksles med deflasjonsrabbe dersom blokkmarka består av fin ur.



Figur 12. T27 Blokkmark, Fra venstre til høyre: «vanlig» blokkmark, snøleieblokkmark og rabbepreget blokkmark.

3.4.8 Åpen jordvannsmyr (V1)

Varierende preg på flyfoto, med alt fra brunlige til grønne toner. Myrflater finnes hovedsakelig i flatt terreng eller i forsenkninger, og har et jevnt preg på flyfoto. Myrkantområder kan ha mer struktur i form av tuer og andre ujevnheter. I fjellet er det også vanlig at små jordvannsmyrer opptrer i mosaikk med moderate snøleier, kilder og moderate våtsnøleier. Disse myrkantene kan ha snødekkebetinget vekstsesongreduksjon tilsvarende SV1.



Figur 13. V1 Åpen jordvannsmyr

3.4.9 Våtsnøleie og snøleiekilde (V6)

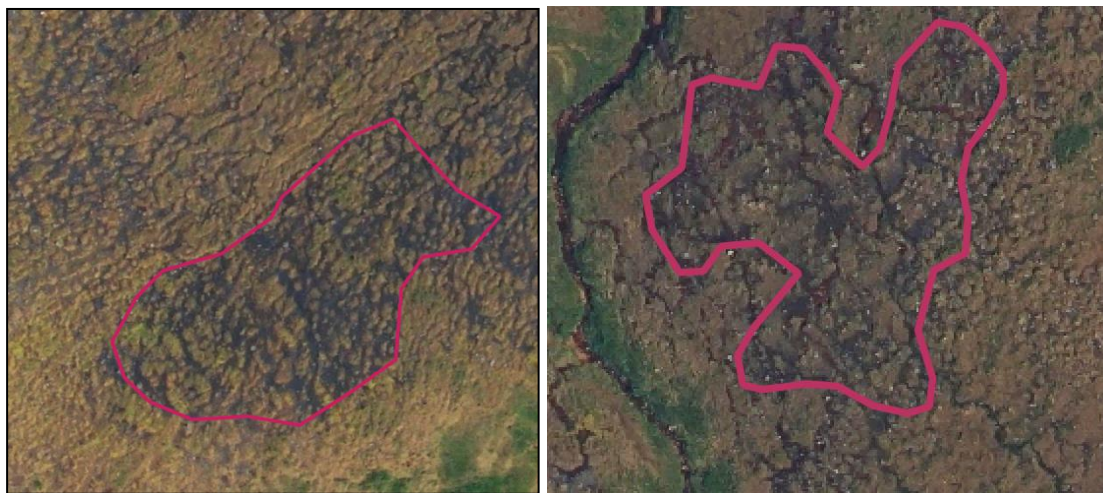
Våtsnøleier omfatter mark som oppfyller våtmarkskriteriet fordi den er påvirket av smeltevann. De finnes derfor oftest nedenfor store snødekte områder som tilfører smeltevann gjennom store deler av vekstsesongen. Skillet mellom moderate utforminger av våtsnøleier og jordvannsmyrer som også er påvirket av redusert vekstsesong ligger i hvorvidt det forekommer torvakkumulasjon. Moderate våtsnøleier har oftest en mosematte, men hvis det blir en svak eller tydelig torvakkumulasjon skal arealet føres til jordvannsmyr (V1). Dette skillet kan være gjenstand for ulik tolkning under feltkartlegging og også temmelig vanskelig å tilnærme seg via flybildetolkning. Seine våtsnøleier er ofte mørke og algedominerte områder som oftest er lette å se på flybilder.



Figur 14. V6 Våtsnøleie og snøleiekilde

3.4.10 Våtmarkskomplekser (v_kompleks)

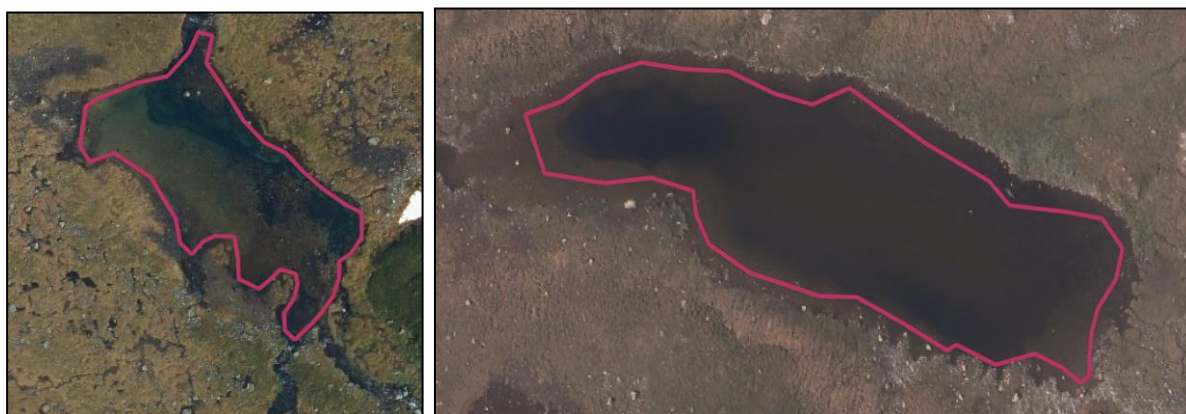
For å utfigurere våtmarkskomplekser har vi gått etter våtmarksområder med et mosaikkipreg. Disse områdene kan ha innslag av myrkant, kilder og trolig noe innblanding av ferskvann. Finnes ofte nært kildehorisonter og bekker/små elver.



Figur 15. Våtmarkskomplekser

3.4.11 Ferskvannssystemer

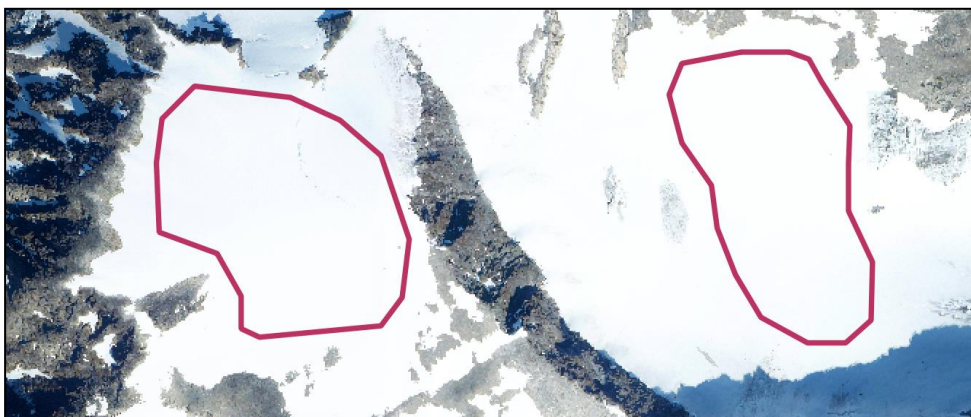
Ferskvannssystemer er lett gjenkjennbare på flyfoto. Vi har inkludert både grunne og dype ferskvannsområder.



Figur 16. Ferskvannssystemer

3.4.12 Snø- og issystemer

Snø- og issystemer er utfigurert i områder med isbreer og andre langvarige snøsystemer, f.eks. store snøfonner.

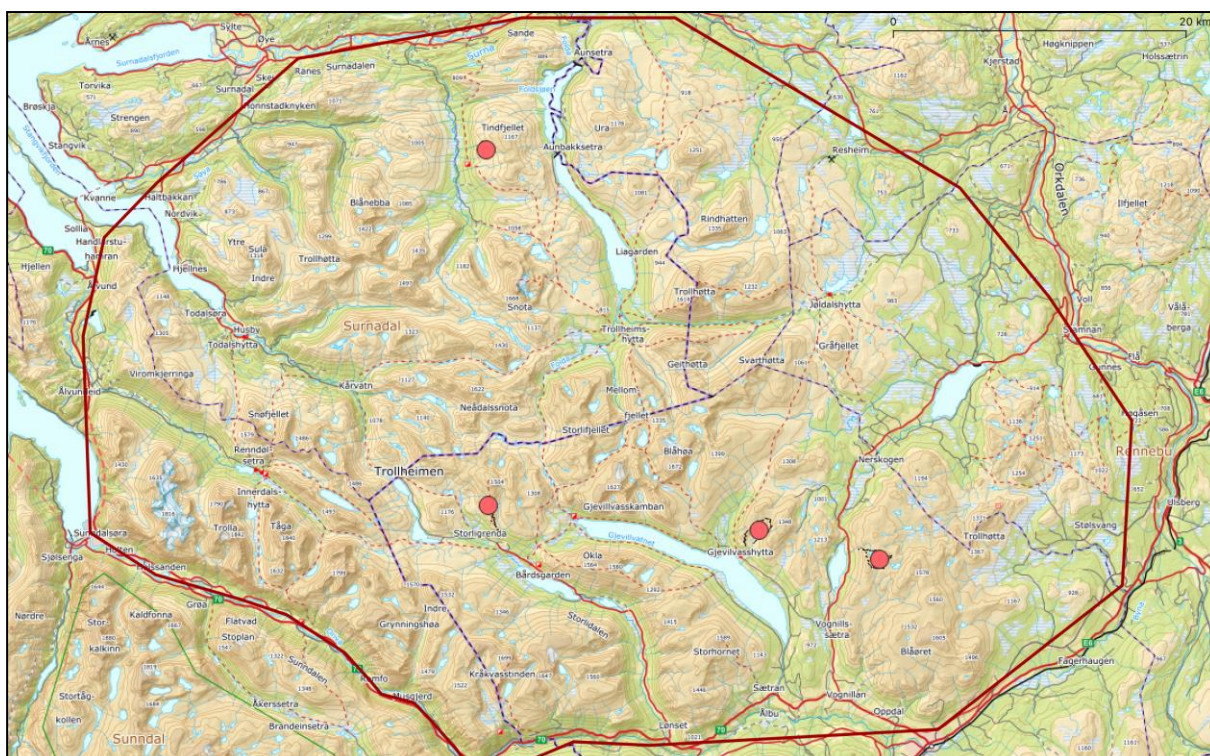


Figur 17. Snø- og issystemer

3.5 Feltbefaring Trollheimen

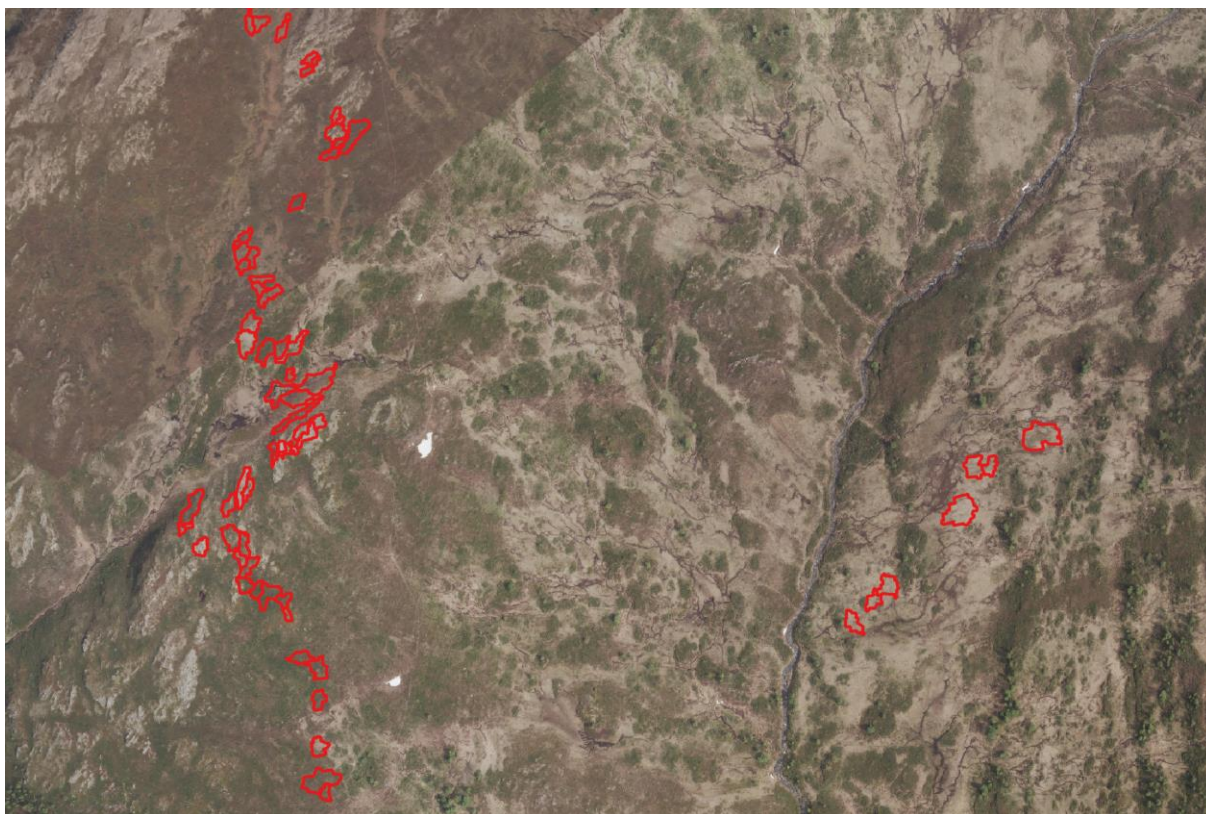
Det ble samlet inn valideringsdata ved feltbefaring i prosjektområdet i Trollheimen. Hensikten med feltbefaringen var å avdekke systematiske feil i referansedataene generert fra flybilder samt å skaffe et datasett til bruk for validering av modellen.

Fire ulike områder i Trollheimen ble valgt ut for befaring og datainnsamling. Områdene ble valgt ut med tanke på regional variasjon i oseanitet, mulighet for forekomst av ulike naturtyper og ikke minst en rimelig tilgjengelighet.



Figur 18. Kartskisse som viser de fire stedene i prosjektområdet i Trollheimen der det ble gjort feltbefaringer. De dekker en gradient i oseanitet, og samlet har områdene en stor del av naturmangfoldet som kan observeres i lavalpint og overgangen mot mellomalpint.

Datainnsamlingen foregikk med nettbrett og ved bruk av GIS-applikasjonen Igis. De samme segmentene som har vært gjenstand for klassifisering i modelleringsprosessen ble brukt som utgangspunkt og lastet inn i Igis med tomme egenskapstabeller. Hovedtype og LKM-er for segmenter ble tastet inn i felt etter hvert som en beveget seg i terrenget. En markør som viste nøyaktig posisjon og flybildebakgrunn under segmentene vistes i applikasjonen og på denne måten var det raskt og effektivt å samle bakke-data om segmentene som ble oppsøkt. Kun segmenter som viste seg å omfatte relativt homogen natur ble registrert, mens heterogene og vanskelig klassifiserbare arealer ikke ble registrert.



Figur 19. Eksempel på segmenter som ble registrert i felt.

3.6 NiN-kart fra feltkartlegging iht. Miljødirektoratets instruks

Miljødirektoratets instruks for kartlegging omfatter de aller fleste overflater i hovedøkosystem «Fjell» da de fleste naturtyper i fjellet er rødlistet. Reglene for kartlegging i kalkrike fjellområder innebærer detaljert kartlegging i skala 1:5 000. Dataene som genereres i forbindelse med slik kartlegging er derfor egnet til validering av modellen som utvikles i forbindelse med FALK fjell. I 2021 ble et område øverst i Kåfjorddalen og rundt innsjøen Guolasjåvre kartlagt etter Miljødirektoratets instruks og med NiN kartleggingsenheter i målestokk 1:5000. Området overlapper med arealet som ble modellert i det første FALK-prosjektet og dette ga mulighet for en validering mot disse feltbaserte kartleggingsresultatene.

Dataene ble ikke tilgjengelige før den 24. november 2021, så kun en enkel visuell sammenligning av klassifisering på hovedtypenivå var aktuelt.



Figur 20. Området i Kåfjorddalen og Guolasjávri som ble kartlagt i henhold til Miljødirektoratets instruks i 2021. De sørvestre delene ligger over skoggrensa og var del av området som ble modellert under det første FALK-prosjektet. Kilde: NiN-web, Miljødirektoratet

3.7 Fjernmåling – Prosessering

3.7.1 Segmentering

I FALK1 prosjektet benyttes flere ulike fjernmålings-sensorer, med mange ulike data-ekstrakter. Rådatasett har på forhånd blitt lastet ned fra ulike datakilder, og det må derfor tas hensyn til ulike projeksjoner, kartblad og oppløsning knyttet til datasettene. Metodikken for å behandle alle dataekstrakter i et samlet system er basert på segmentering av bakkeoverflaten. Fargeverdier fra ortofoto, samt modellerte refleksjonsverdier fra skyggemodeller er brukt til å konstruere polygonbaserte segmenter der overflaten virker homogen. En algoritme kalt «Multiresolution segmentation» i programmet Trimble eCognition er vel egnet til dette. Som et utgangspunkt for segmenteringen er det da generert «Multi-hillshade» i Relief Visualization Toolbox (RVT) fra 1-meter DTM, og farge-normalisert ortofoto, også med 1-meter oppløsning. DTM-datasettet er hentet fra NDH, mens de farge-normaliserte ortofotoene er hentet fra et tidligere prosjekt hvor Blom Norway har brukerrettigheter. Disse to datasettene blir brukt for å kunne oppnå like resultater fra segmenteringen uavhengig av sted i landet. I FALK1 ble mer høyoppløslige ortofoto brukt (0.25-meter), noe som ga mer detaljerte segmenter, men disse var da nært knyttet til ortofoto-prosjektets lokale forhold og fargeverdier.

I dette prosjektet har generalisering blitt prioritert for å kunne produsere segmenter landsdekkende. Hvordan segmenter brukes til klassifisering og kartproduksjon er nærmere forklart i FALK1 rapport (Groesz et al., 2020).

3.7.2 Kartlag

I dette prosjektet har 21 ulike kartlag blitt evaluert og testet til bruk i klassifisering av naturtyper. Mange av disse ble også tatt i bruk og forklart i FALK1. Generelt har prosesseringstiden blitt optimalisert, og filstørrelse redusert.

Tabell 2. Alle kartlag brukt i prosjektet. Nye og foredrede kartlag er markert i siste kolonne (FALK1 alias). NiB: Norge i Bilder, NDH: National Detaljert Høydemodell.

Kartlag	Alias	Oppløsning	Datasett	Kilde	FALK1 alias
Ortofoto-intensitet	OF_intensity	0.25 m	Ortofoto	NiB	Ny
Ortofoto-standardavvik	OF_std	0.25 m	Ortofoto	NiB	Ny
Blokkmark-maskinlæring	OF1_blokkmark	1 m	Ortofoto	Blom Norway	NN1Blokk
Markfuktighet terskel 1000	MF_1000	1 m	DTM	NDH	MF1000
Markfuktighet terskel 5000	MF_5000	1 m	DTM	NDH	MF5000
Forsenkninger	sinks	1 m	DTM	NDH	SINKS
Helning	slope	1 m	DTM	NDH	SLOPE
Topografisk posisjons-indeks radius 50 meter	TPI50	1 m	DTM	NDH	TPI40
Topografisk posisjons-indeks radius 100 meter	TPI100	1 m	DTM	NDH	Ny
Topografisk posisjons-indeks radius 200 meter	TPI200	1 m	DTM	NDH	Ny
Topografisk posisjons-indeks radius 400 meter	TPI400	1 m	DTM	NDH	TPI400 forbedret
Solinnstråling Snitt pr. år	sun/mean	1 m	DTM	NDH	SUN forbedret
Solinnstråling Maks pr. år	sun/max	1 m	DTM	NDH	SUN forbedret
Vanndamp-index	WVP	20 m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	Ny

Snøsmeltedag	snow_days	10 m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	SNO_days
NDVI percentil-90	NDVI/p90	10 m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	NDVI_p90
NDVI percentil-25	NDVI/p25	10 m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	Ny
NDWI (bånd 11) Percentil-90	NDWI11/p90	20m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	NDWI_p90
NDWI (bånd 11) Percentil-25	NDWI11/p25	20m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	NDWI_p25
NDWI (bånd 12) Percentil-90	NDWI12/p90	20m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	Ny
NDWI (bånd 12) Percentil-25	NDWI12/p25	20m	Satellitt-kompositt	Sentinel-2	Ny

For detaljert informasjon om kartlag med FALK1-alias, les mer i FALK1-rapport (Groesz et al., 2020). Nye kartlag beskrives videre.

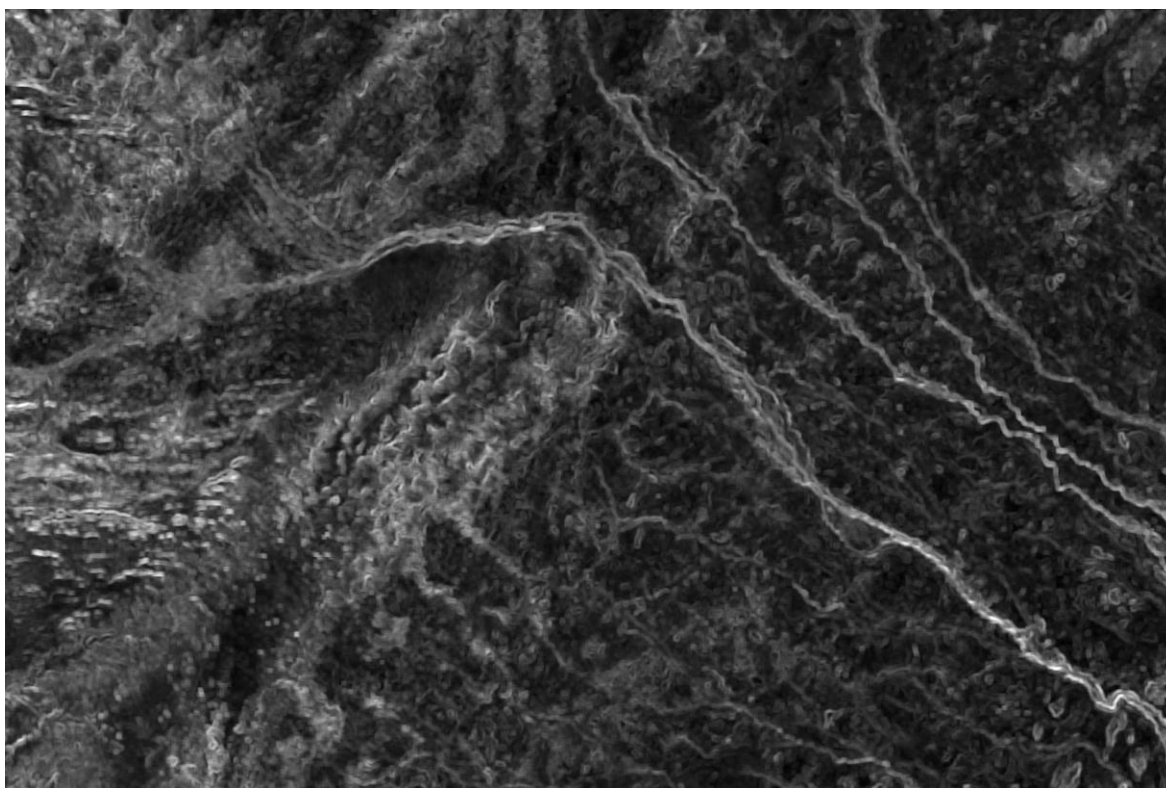
3.7.2.1 Ortofoto intensitet / standardavvik

I FALK1 ble maskinlæring brukt til å trekke ut karakteristiske mønstre i ortofoto, som blokkmark, vann, snø og skygge. Modellene som ble trent opp til å gjøre dette var nært knyttet til de aktuelle fotoprosjektene, og kunne ikke skaleres opp til å brukes på andre flyfotodatasett uten å generere mye mer treningsdata. For blokkmark kunne AR5 benyttes som treningsdata, men for snø og skygge var ikke dette mulig. For vann kunne andre kartlag som MF1000 og MF5000 gjøre samme nytte uten treningsdata. Ortofoto-intensitet (OF_intensity) ble opprettet som et kartlag for å erstatte NN_vann, der intensiteten i gråskala ga tilsvarende mengde informasjon, og var langt lettere å produsere for et større område. Ortofoto-standardavvik (OF_std) ble opprettet som en ekstra informasjonsfaktor for mønstergjenkjenning, der komplekse overflater ville gi høye verdier, mens enklere overflater ville gi lave verdier. I stedet for å utnytte predikerte mønstre som et mellomledd i et kartlag, ble heller mønstervurderingen gjort i den endelige prediksjonen via OF_std.

Begge kartlagene baserer seg på lokale flyfotoprosjekt med høy oppløsning, men komprimeres i enten spektral eller geometrisk oppløsning. OF_intensity tar intensitetsverdien av de sammenslåtte fargekanalene, som resulterer i et gråskala-bilde. OF_std tar standardavviket av alle omliggende piksler med en radius på 20 piksler (5 meter).



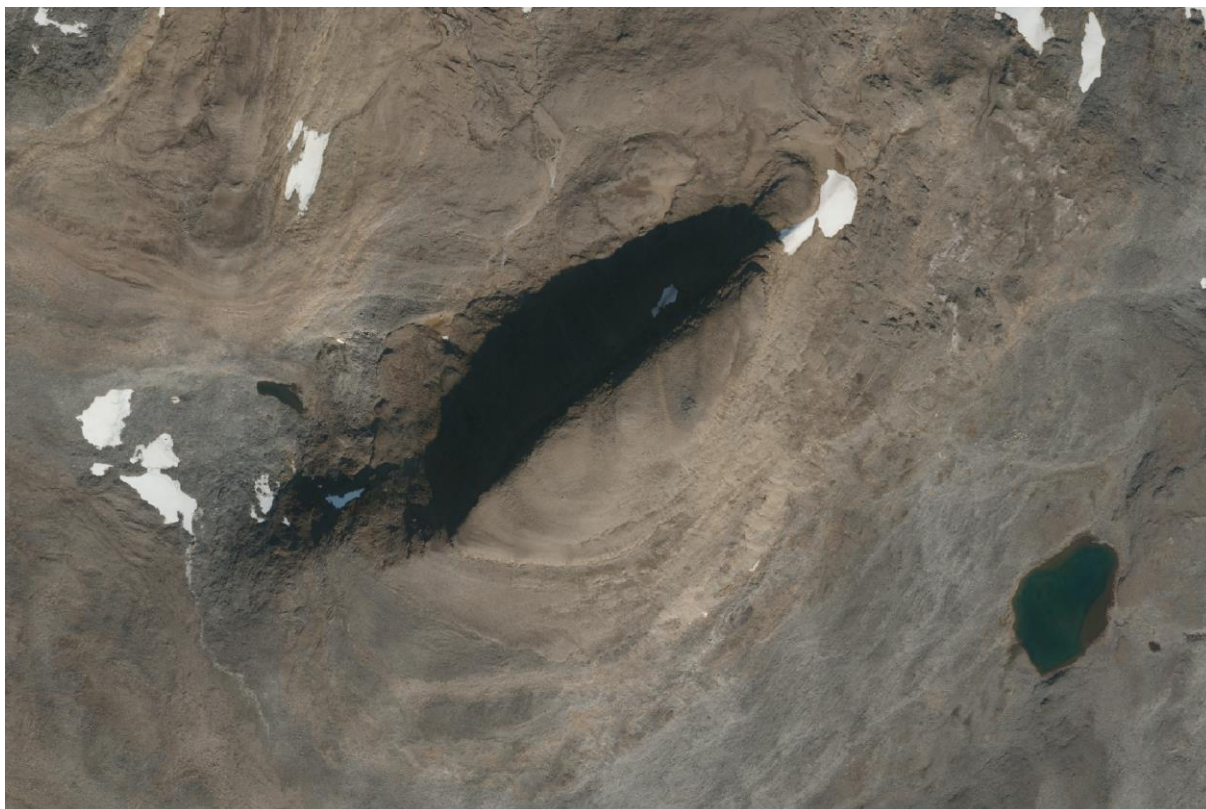
Figur 21 OF_intensity viser overflatens intensitetsverdi



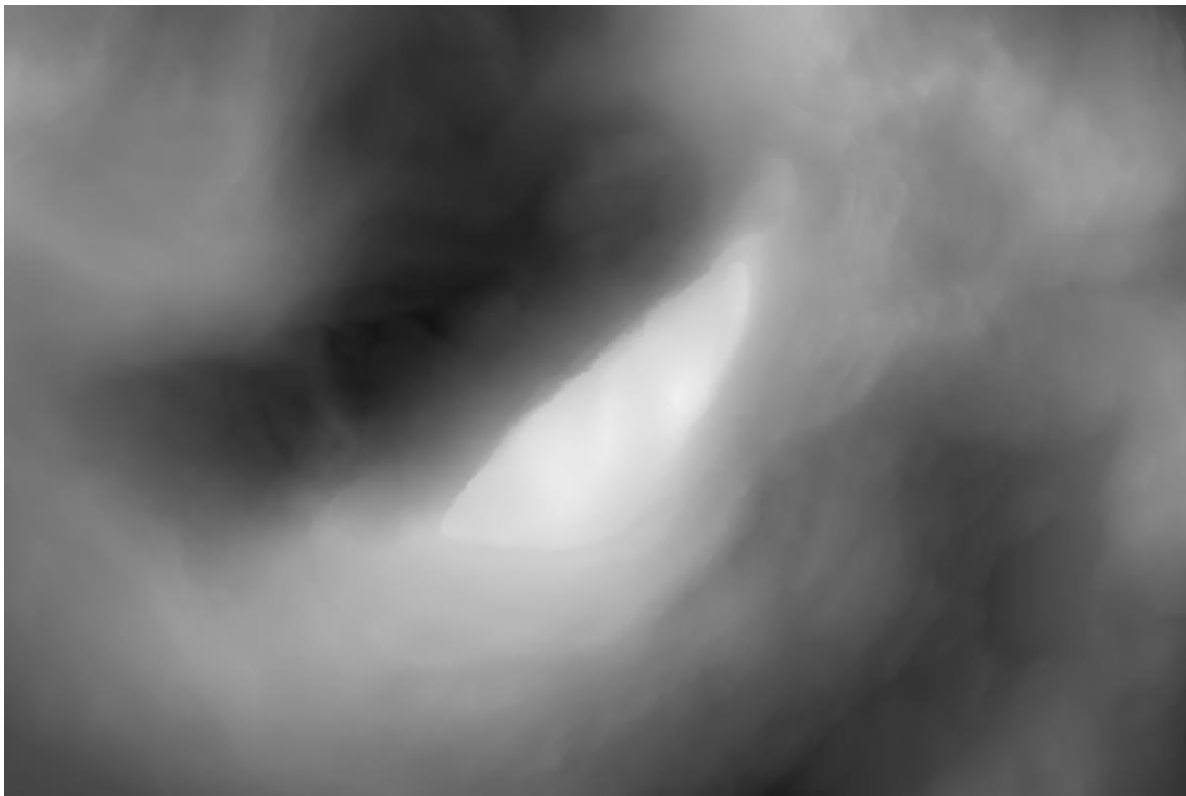
Figur 22 OF_std viser overflatens standardavvik

3.7.2.2 Topografisk posisjonsindeks 100/200/400 meter

Topografisk posisjonsindeks og utregningen av denne beskrives i FALK1 rapport. Når søkeradiusen for TPI blir stor, blir også prosesseringstiden lang. Derfor ble TPI400 i FALK1 generert fra 10-meter DTM. I FALK2 har algoritmen for å kalkulere denne indeksen blitt dedikert til GPU-minnet i maskinen, noe som gjør at prosesseringstiden reduseres til ca. 1/100 av originaltid med CPU. Dette gjør det mulig å produsere TPI med stor søkeradius og med høy oppløsning.



Figur 23 Ortofoto til sammenligning mot TPI.



Figur 24 TPI400 1-meter



Figur 25 TPI400 10-meter

TPI100 og TPI200 er generert på samme måte. Disse skal hjelpe til å fremheve ulike trekk i terrenget.

3.7.2.3 Vanndampindeks

Vanndampindeksen (WVP) fra sentinel-2 er basert på bånd 9 og bånd 10 med 20-meter oppløsning. Generelt sett brukes denne indeksen for atmosfæriske korreksjoner, men en sammenslått kompositt bestående av data fra flere år er interessant å ta med i en klassifisering der mange faktorer spiller inn. WVP består av snittverdier av vanndamp-registreringer fra sentinel-2 for alle tidspunkter fra 2015 frem til og med 2020.



Figur 26 WVP for et utdrag av Trollheimen

3.7.2.4 NDWI (bånd 12)

NDWI ble også brukt i FALK1, men i denne indeksen ble bånd 8A og bånd 11 brukt i beregningen av NDWI. Denne er også med i FALK2 som NDWI11, men i FALK2 har også NDWI basert på bånd 12 blitt tatt i bruk. Dette fordi NDWI beregnet med bånd 12 kan fremheve vann-innhold i vegetasjon på en bedre måte ifølge <https://foodsecurity->

[tep.net/S2_NDWI#:~:text=Sentinel%2D2%20Normalized%20Difference%20Water%20Index%20\(NDWI\)&text=The%20NDWI%20is%20a%20vegetation,water%20content%20of%20the%20vegetation.&text=This%20product%20is%20based%20on,software%20suit%20Sentinel%2D2%20Toolbox](http://tep.net/S2_NDWI#:~:text=Sentinel%2D2%20Normalized%20Difference%20Water%20Index%20(NDWI)&text=The%20NDWI%20is%20a%20vegetation,water%20content%20of%20the%20vegetation.&text=This%20product%20is%20based%20on,software%20suit%20Sentinel%2D2%20Toolbox)

Kartlaget genereres på samme måte som de andre sentinel-komposittene bedre beskrevet i FALK1 rapport (Groesz et al., 2020).

3.8 Fjernmåling – Klassifisering, trening og validering

3.8.1 Klassifiseringsalgoritmer

To ulike modeller ble testet for å finne best klassifiseringsresultat.

Maskinlæringsmodeller
Random Forest
XGBoost

Random Forest lager flere beslutningstrær. Et beslutningstre forsøker å finne de beste egenskapene og terskelverdiene for å dele dataene opp i 2 grupper. Prosessen gjentas på hver gruppe (nodes) helt til man får rene klasser i hver node. Resultatet av beslutningstreet ser ut som forgreininger på et tre. Random forest kombinerer resultatene av mange ulike beslutningstrær i et best mulig resultat.

XGBoost står for "extreme gradient boosting" og kan sammenlignes med en mer dynamisk versjon av en Random Forest modell. XGBoost bruker gradient-boosting på sine beslutningstrær, og kan optimaliseres mer etter forholdene i klassifiseringsproblemet. I mange moderne maskinlæringsoppgaver har XGBoost utkonkurrert Random Forest. Det er interessant å teste ytelsen til Random Forest mot en slik modell, samt at den også åpner for mer optimalisering av hyperparametere.

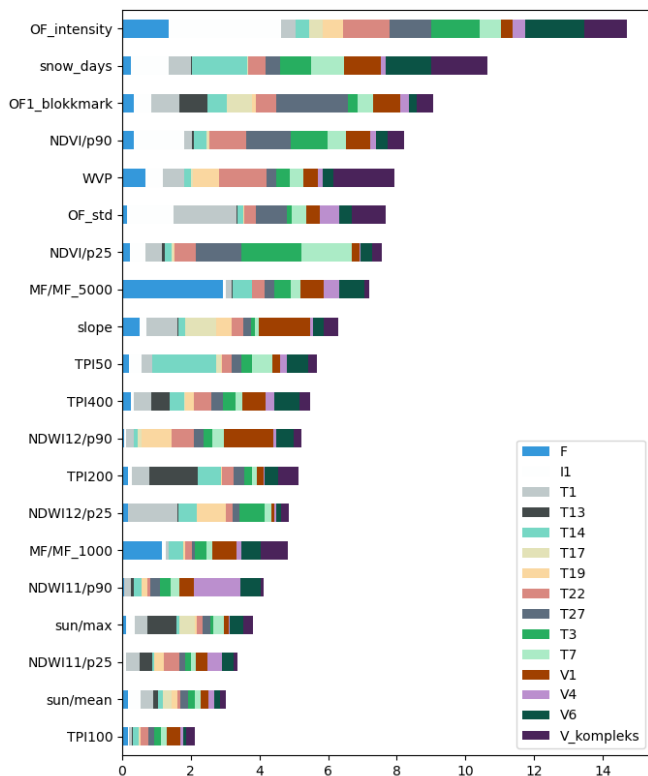
Disse to modellene vil bli testet og optimalisert basert på treningsdatasettene, men vil også bli brukt uten optimalisering mot test-data, for å avgjøre om optimaliseringen overtilpasses eller ikke. Alt i alt skal 20 modeller trenes opp, da prosjektet består av klassifiseringsproblem både på hovedtyper og LKM-er. Dette ved hjelp av 21 ulike kartlag definert i 3.7.2.

3.8.2 Utvalg av forklaringsvariabler

Et utvalg av kartlag er gjort for å finne den optimale mengden egenskaper til klassifisering. Ved for mange egenskaper kan en modell lett overtilpasses, noe som vil gjøre klassifiseringen dårligere på nye områder den ikke tidligere har trent på. En halvmanuell metodikk brukes for å plukke ut de best egnede kartlagene. Først brukes alle kartlagene i en modell for å finne de viktigste. Dette beregnes ved hjelp

av shapley-verdier
[book/shapley.html](https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/shapley.html))

([https://christophm.github.io/interpretable-ml-](https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/shapley.html)



Figur 27 Shapley-verdier for alle kartlag. Her for en XGBoost modell

Deretter velges den beste fra hver sensor (flyfoto, satellitt og laser) basert på hvor viktige de fremstår. Et utvalg pr. antall egenskaper settes opp slik:

Antall:	Egenskaper:
1	'OF_intensity'
2	1 + 'NDVI/p90'
3	2 + 'TPI50'
4	3 + 'snow_days'
5	4 + 'MF/MF_1000'
6	5 + 'OF1_blokkmark'
7	6 + 'NDWI12/p90'
8	7 + 'slope'
9	8 + 'OF_std'
10	9 + 'NDVI/p25'
11	10 + 'TPI400'
12	11 + 'NDWI12/p25'

13	12 + 'MF/MF_5000'
14	13 + 'WVP'
15	14 + 'sun/mean'
16	15 + 'NDWI11/p90'
17	16 + 'TPI100'
18	17 + 'NDWI11/p25'
19	18 + 'TPI200'
20	19 + 'sun/max'
21	20 + 'sinks'

Alle disse kombinasjonene av kartlag testes. Hvor mange kartlag som presterer best beskrives i resultatene.

3.8.3 Klassifiseringseksperiment, Hovedtype, LKM og testområder

Trening av maskinlæringsmodeller er gjort med 4 ulike kombinasjoner av referansedata fra flybildetolkningen.

Tabell 3. ulike testområder

Referansedata
Referansedata Storfjord-Kåfjord
Referansedata Trollheimen
Referansedata Trollheimen + Esandsjøen
Referansedata Trollheimen + Esandsjøen + Storfjord-Kåfjord

Tanken er å teste hvert prosjektområde separat og å teste sammenslåtte områder. De er interessant å se om det blir forskjell i nøyaktighet for de ulike områdene. Klassifisering på sammenslåtte områder blir interessant for å se om trening og validering fungerer over store områder. Vi har for få referanseflater på Esandsjøen for å kjøre en egen klassifisering.

Per område har vi klassifisert hovedtype, og hver relevante LKM per hovedtype.

Tabell 4. I tillegg til klassifisering av hovedtype, har noen hovedtyper også unike LKM-klasser

Klassifiseringsproblem	Hovedtype
Hovedtype	-
Kalkinnhold	T1, T3, T7, T14, T19, T22, T27, V1
Snødekkebettinget vekstsesongreduksjon	T7, T22, T27

Vindutsatthet	T14, T27
Uttørkingsfare	T3
Struktur	T19
Myrflatepreg	V1
Kildevannspåvirkning	T3, T7
Tørrleggingsvarighet	V1

3.8.4 Trening og validering

Trenings- og valideringsdata produseres fra referanseflatene ved hjelp av segmentering. Segmentene blir generert på samme måte som beskrevet i avsnitt 3.7.1.



For hvert segment hentes snittverdi av alle underliggende piksler, for hvert kartblad. Slik får hvert segment én verdi pr. kartblad. Dette blir egenskapsverdiene brukt til klassifisering. Ettersom segmenter innenfor samme referanseflate inneholder høy korrelasjon, blir disse holdt separert fra hverandre i treningsprosessen. Dvs. at segmenter fra samme referanseflate ikke testes mot hverandre, men at de enten kun er med i trening eller kun i validering.

Selve treningsprosessen gjøres på en annen måte enn i FALK1. I stedet for å dele opp treningsdatasettet i trening og valideringsdata, blir kryssvalidering benyttet. Dette er en metodikk hvor hele treningsdatasettet blir utnyttet, samtidig som en viss andel holdes utenfor treningen. Dette gjøres ved å systematisk holde en del av datasettet utenfor treningen, og gjøre flere treninger, til hele datasettet har blitt brukt til validering. I dette prosjektet er en 10-fold kryssvalidering brukt. Som innebærer at treningsdatasettet deles opp i 90% trening og 10% validering, med 10 rotasjoner.

Validering	Trening	Trening
Trening	Validering	Trening
Trening	Trening	Validering

Figur 28 Eksempel på en 3-fold kryssvalidering. Her tilsvarer én rute 1/3 av treningsdata. For hver rad kjøres en trening, med et nytt valideringssett hver gang.

Mange ulike kombinasjoner av modeller og antall egenskaper blir brukt til å finne best mulig resultat. En optimaliseringsprosess for modellene blir også brukt i noen tilfeller. Dette tilsvarer et tilfeldig søk i modellenes hyperparametere, som antall trær, modell-dybde, samplings-mengde osv. Den kombinasjonen som presterer best basert på samlet kappa-verdi fra kryssvalideringen, blir brukt videre som en «optimalisert» modell.

Random Forest hyperparametere (scikit-learn)	Søkeverdier
n_estimators	5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000
max_features	auto, sqrt, 2, 3, 4
max_depth	5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, None
min_samples_leaf	1, 2, 4
min_samples_split	2, 5, 10
max_samples	0.1, 0.3, 0.6, 0.8, None
bootstrap	True, False

XGBoost hyperparameter (scikit-learn)	Søkeverdier
n_estimators	5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000
learning_rate	0.1, 0.01, 0.001
min_child_weight	1, 2, 3, 4, 5
max_depth	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
gamma	0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
subsample	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1
colsample_bytree	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1

Når en modell er trent på et referansedatasett med et utvalg kartlag, samt med justerte hyperparametere, kan den brukes til å predikere segmenter.

3.8.5 Validering med referansedata fra feltbefaring i Trollheimen

Valideringsdata fra felt lagres som segmenter på samme måte som trening- og prediksjonsdata. Det vil si at sammenligning av predikerte segmenter mot feltvaliderte segmenter kan gjøres ved å sammenligne klasseverdien i de aktuelle segmentene. Dette kan deretter plottes i forvirringsmatriser.

3.8.6 Validering med NiN-kart i Storfjord-Kåfjord

Denne valideringen ble gjort visuelt. Siden målestokk og aggregeringen av NiN-kartet og vårt fjernmålingskartet ikke er helt sammenlignbare hadde det vært krevende å gjøre en nyttig statistisk analyse.

3.9 Produksjon av heldekkende kart

Prosesseringsløypa for generering av kartlag, segmenter og prediksjoner er i dette prosjektet samlet til én enkel metode. Alle kartlag er kvalitetssikret for å kunne fungere i en landsdekkende sammenheng. Samtidig er innhenting av data til trening, kombinerer av ulike referansedata, klassifisering og predikering, samt testing mot feltdata kombinert i samme prosess. Ulike modeller kan være trent på ett enkelt referanseområde, en kombinasjon av flere referanseområder, eller kun mot visse hovedtyper og LKM-er. Les mer om de ulike funksjonene i prosessen i 3.8.

Heldekkende kart er basert på segmenter. Disse er generert for hele kartblad, med dekning i alle prosjektområder. For hvert kartlag er snittverdien i segmentene kalkulert, slik at hvert segment består av 21 egenskapsverdier. Ved prediksjon kan modellen lese inn disse segmentene i tabellformat (antall x egenskapsverdier) og predikere heldekkende kart pr. kartblad. Etter at hovedtype er predikert, blir riktig LKM-modell valgt ut, og LKM-er predikert basert på segmentets hovedtype.

4 RESULTATER

4.1 Klassifisering av hovedtype validert mot referanseflater (kryssvalidering)

4.1.1 Trollheimen validert med referanseflater kun fra Trollheimen

Høyest oppnådd nøyaktighet i Trollheimen med bruk av 10 kartlag (forklaringsvariabler) var 91% (kappa 0.88). Random Forest ble brukt som klassifikator. Tabell 5 viser forvirringsmatrisen Tallene i hver rute viser antall segmenter som ble klassifisert. Legg merke til at 1 flate med referansedata kan (og stort sett vil) bestå av mange flere segmenter. Segmentene i den grønne diagonalen ble riktig klassifisert, mens tallene utenfor diagonalen representerer feilklassifiserte segmenter. Det finnes for eksempel 277 segmenter med T13 som ble klassifisert (prediktert) til å være T27. F1-score i siste kolonnen er et mål på nøyaktighet per hovedtypen. De fleste hovedtypene ble klassifisert med bra nøyaktighet, men rasmark (T13) og kaldkilde (V4) skiller seg ut med en langt dårligere nøyaktighet. Disse naturtypene hadde imidlertid lite fokus i analysene.

Tabell 5. Feilmatrixe for klassifisering av hovedtype i Trollheimen.

		Predicted																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
--	--	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabell 6. En liste over hovedtyper og koder som ble brukt.

Kode	Type
F	Vann
I1	Is
T1	Nakent berg
T13	Rasmark
T14	Rabbe
T17	Aktiv Skredmark
T19	Oppfrysningsmark
T22	Fjellgrashei og grastundra
T27	Blokkmark
T3	Fjellhei, leside og tundra
T7	Snøleie
V1	Åpen jordvannsmyr
V4	Kaldkilde
V6	Våtsnøleie og snøleiekilde
V_kmpl /V_kompleks	Våtmarkskomplekser

4.1.2 Trollheimen og Esandsjøen validert med referanseflater fra begge områdene om hverandre

Antall fototolkede referanseflater var ikke høy nok i Esandsjøen for å kjøre en egen klassifisering. Derfor har vi kun kjørt en klassifisering i kombinasjon med Trollheimen for dette området.

Nøyaktigheten i Trollheimen og Esandsjøen kombinert, også med bruk av 10 kartlag og Random Forest, er 90% med en kappa på 0.87. Denne er nesten helt lik som resultatet for Trollheimen alene. Vi kan også se at nøyaktighetene per hovedtype er forholdsvis like som i Trollheimen.

Tabell 7. Feilmatrise for klassifisering av hovedtype i Trollheimen og Esandsjøen kombinert

	Predicted																sum	recall	precision	f1-score
	F	I1	T1	T13	T14	T19	T22	T27	T3	T7	V1	V4	V6	V_kmpl						
Actual	F	1042	5	3	0	0	0	4	1	1	5	28	0	6	8	1103		90 %	97 %	92 %
	I1	1	8028	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	8045		100 %	99 %	100 %
	T1	1	8	1111	37	0	2	54	57	0	0	0	0	1	0	1271		87 %	87 %	87 %
	T13	0	0	38	231	0	0	4	267	3	1	0	0	0	0	544		30 %	46 %	35 %
	T14	0	0	1	0	470	0	17	14	129	1	0	0	0	0	632		74 %	76 %	75 %
	T19	0	0	0	0	0	365	1	40	0	0	0	0	0	0	406		91 %	95 %	91 %
	T22	3	0	58	0	15	1	431	0	53	15	18	0	1	10	605		72 %	81 %	75 %
	T27	3	36	63	187	46	27	2	1770	0	0	0	0	0	0	2134		84 %	84 %	82 %
	T3	0	0	0	0	81	0	16	0	1273	23	32	0	0	16	1441		88 %	82 %	85 %
	T7	1	0	3	2	8	0	22	0	60	643	36	0	26	10	811		79 %	86 %	82 %
	V1	10	0	0	0	1	0	5	0	17	17	761	0	0	80	891		85 %	80 %	82 %
	V4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	17	2	3	4	4	33		10 %	10 %	10 %
	V6	11	0	7	0	0	0	4	0	0	29	0	0	120	0	171		74 %	81 %	74 %
	V_kmpl	0	0	0	0	0	0	2	0	21	2	95	0	0	1442	1562		92 %	91 %	91 %
	sum	1072	8077	1284	457	621	395	562	2165	1560	753	972	3	158	1570	19649				
Overall accuracy		90 %																		
kappa coefficient		0.87																		

4.1.3 Storfjord-Kåfjord validert kun med referanseflater fra samme område

Høyest oppnådd nøyaktighet i Storfjord-Kåfjord med bruk av 10 kartlag (forklaringsvariabler) var 80% (kappa 0.75). Random Forest ble brukt som klassifikator. Dette er betydelig lavere enn resultatet i Trollheimen. Vi ser også at V6 har en betydelig lavere nøyaktighet (35%) enn de andre hovedtypene (tolkningen av V6 i Kåfjord/Storfjord stammer fra 2019 og var basert på en eldre oppfatning av den naturtypen).

Tabell 8. Feilmatrise for klassifisering av hovedtype i Storfjord-Kåfjord

	Predicted													sum	Recall	precision	f1-score
	F	I1	T1	T14	T17	T22	T27	T3	T7	V1	V6						
Actual	F	755	0	0	0	0	0	0	0	3	5	1	764		75 %	78 %	76 %
	I1	0	55	2	0	0	0	2	0	4	0	0	63		64 %	70 %	67 %
	T1	0	0	140	47	1	0	70	3	23	0	0	284		66 %	81 %	70 %
	T14	0	0	20	1059	1	57	15	115	51	0	0	1318		80 %	80 %	79 %
	T17	0	0	2	3	38	0	5	0	5	0	0	53		80 %	83 %	79 %
	T22	0	0	0	50	1	1505	0	136	229	2	4	1927		75 %	73 %	73 %
	T27	0	0	0	7	3	1	1698	0	120	0	0	1829		96 %	93 %	93 %
	T3	1	0	0	73	0	104	0	1346	151	8	0	1683		79 %	77 %	77 %
	T7	0	0	1	78	7	309	42	103	1796	5	22	2363		77 %	71 %	73 %
	V1	3	0	0	0	0	2	0	9	25	215	28	282		70 %	71 %	70 %
	V6	5	0	0	0	0	18	1	19	103	23	112	281		28 %	50 %	35 %
	sum	764	55	165	1317	51	1996	1833	1731	2510	258	167	10847				
Overall accuracy		80 %															
kappa coefficient		0.75															

4.1.4 Alle prosjektområdene validert mot referanseflater fra alle områdene

Høyest oppnådd nøyaktighet i de tre områdene kombinert med bruk av 10 kartlag (forklaringsvariabler) var 86% (kappa 0.83). Random Forest ble brukt som

klassifikator. Det er et godt tegn at nøyaktigheten ligger mellom den fra Trollheimen og Storfjord-Kåfjord hver for seg. Nøyaktighetene per hovedtype ligger grovt sett også mellom de resultatene fra Trollheimen og Storfjord-Kåfjord (Se Tabell 10).

Tabell 9. Feilmatrix for klassifisering av hovedtype i Trollheimen, Esandsjøen, og Storfjord-Kåfjord kombinert.

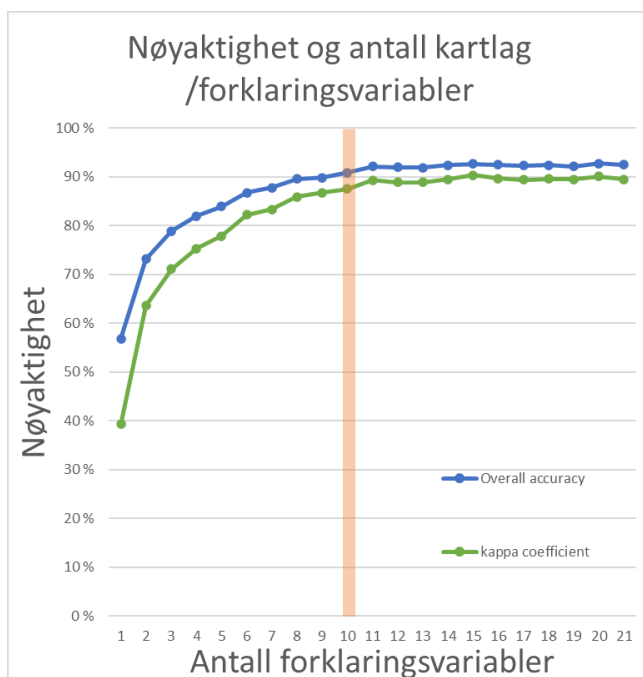
		Predicted																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
--	--	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabell 10. Nøyaktighet per hovedtype for Trollheimen, Trollheimen & Esandsjøen, og for Troms.

	f1-score			
	Trollheimen	Trollheimen + Esandsjøen	Troms	Alt kombinert
F	95 %	92 %	76 %	96 %
I1	99 %	100 %	67 %	100 %
T1	86 %	87 %	70 %	84 %
T13	35 %	35 %		24 %
T14	78 %	75 %	79 %	77 %
T17			79 %	71 %
T19	92 %	91 %		91 %
T22	73 %	75 %	73 %	70 %
T27	86 %	82 %	93 %	87 %
T3	82 %	85 %	77 %	81 %
T7	75 %	82 %	73 %	73 %
V1	79 %	82 %	70 %	81 %
V4	23 %	10 %		8 %
V6	73 %	74 %	35 %	57 %
V_kmpl	92 %	91 %		89 %

4.1.5 Nøyaktighet og antall forklaringsvariabler

Figur 29 viser hvordan nøyaktigheten endrer seg (øker) når antall forklaringsvariabler (kartlag) som brukes i klassifiseringen øker. Nøyaktigheten går bratt opp fra 1 til 4 forklaringsvariabler. Rundt 10 variabler flater nøyaktigheten ut.



Figur 29. Nøyaktighet i Trollheimen ved bruk av ulikt antall kartlag som input i klassifikasjonen.

4.1.6 Klassifiseringsalgoritmer

Resultatene fra XGBoost og Random Forest er svært like. Vi har ikke brukt ressurser for å undersøke forskjellene mellom disse to.

4.1.7 Resultater Klassifisering LKM-ene Trollheimen

Tabellen nedenfor viser resultatene av klassifiseringen av de ulike LKM-ene per hovedtype. Nesten alle resultatene er akseptable, bortsett fra kalkinnhold for blokkmark (T27), som har en kappaverdi på -0.01. Kappa større enn 0.3 viser at det er en viss sammenheng.

Tabell 11. Oversikt over oppnådd nøyaktighet på LKM-ene, per hovedtype i Trollheimen.

LKM	Hovedtype	Overall accuracy	kappa
Kalk	T3	60 %	0.32
	T14	82 %	0.55
	T19	80 %	0.33
	T22	73 %	0.48
	T27	96 %	-0.01
	V1	87 %	0.69
Sno_red	T7	74 %	0.51
	T22	95 %	0.62
	T27	94 %	0.91
Uttork	T3	73 %	0.58
Vind	T14	67 %	0.30
	T27	100 %	0.98
Struktur	T19	82 %	0.62
Torr_varr	V1	59 %	0.37
MF_preg	V1	92 %	0.82

4.2 Resultater fra Trollheimen validert med feltdata

4.2.1 Standard validering

Høyest oppnådd nøyaktighet med validering mot feltdataene i Trollheimen, med bruk av 10 kartlag (forklaringsvariabler) var kun 53% (kappa 0.41), noe som er lavt. Random Forest ble brukt som klassifikator. Hovedtyper med større forekomster i feltdataene, som Fjellhei, leside og tundra (T3) og Snøleie (T7), har litt høyere nøyaktighet enn de andre hovedtypene. Det er stor forvirring mellom T22 (Fjellgrashei og grassnøleie), og de vanlige hovedtypene Fjellhei leside og tundra (T3) og Snøleie (T7). Summene på antall predikerte segmenter og antall feltregistrerte segmenter (fasiten) for T7 og T22 er også svært ulike. Det tyder på systematiske avvik. Det er også forvirring, men i mindre grad, mellom T3 og T14 (Rabbe), og mellom Nakent berg (T1) og snøleie (T7).

En nærmere inspeksjon av avviket mellom feltregistrert og modellert hovedtype viser at det i svært stor grad er snakk om forvekslinger av meget nærtstående grunntyper som likevel er tilordnet ulike hovedtyper. For eksempel forveksles ofte de mest uttørkingsseksponerte forekomstene av Fjellhei (T3) med rabbe (T14), og moderate og seine snøleier (T7) forveksles ofte med den økologisk tilgrensende typen fjellgrashei (T22). Avvikene er beskrevet i stor detalj i diskusjonen.

Tabell 12. Feilmatrix for valideringen av hovedtype mot feltdataene fra Trollheimen.

	Predicted																sum		recall	precision	f1-score
	F	I1	T1	T13	T14	T17	T19	T22	T27	T3	T7	V1	V4	V6	V_kmpl						
Actual	F																				
	I1																				
	T1			0		3	0		0	0	0	0	0	0	0	3		0 %	0 %		
	T13																	0 %			
	T14			0		40	0		0	0	1	0	0	0	0	41		98 %	63 %	77 %	
	T17			0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0					
	T19																		0 %		
	T22			2		3	0		14	0	2	0	0	0	0	0	21		67 %	14 %	23 %
	T27			2		0	0		0	1	1	1	0	0	0	0	5		20 %	50 %	29 %
	T3			0		16	0		17	0	145	1	1	0	0	3	183		79 %	67 %	72 %
	T7			15		1	0		62	1	54	89	3	0	22	8	255		35 %	86 %	50 %
	V1			0		0	0		1	0	10	4	11	0	4	10	40		28 %	39 %	32 %
	V4			0		0	0		0	0	1	0	0	0	0	0	1		0 %		
	V6			0		0	0		5	0	4	9	13	0	21	3	55		38 %	45 %	41 %
V_kmpl			0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0			0 %		
sum			19		63	0		99	2	218	104	28	0	47	24	604					
Overall accuracy		53 %																			
kappa coefficient		0.41																			

4.2.2 Validering mot data der økologisk tilgrensende utforminger er slått sammen.

Siden det ble observert at en stor del av avvikene mellom modellert hovedtype og feltregistrert hovedtype ligger i økologisk tilgrensende grunntyper ble det utført en ny validering der visse avvik ble akseptert. Denne type avvik er vanlig også ved feltkartlegging og kan sammenlignes med ulike tolkninger gjort av ulike kartleggere. I den nye valideringen ble forvekslinger mellom de mest nærstående kartleggingsenhetene i ulike hovedtyper ignorert.

Følgende avvik ble akseptert (Se tabell 13):

- Overgangen mellom snøleie (T7) og fjellgrashei (T22): T7 med en snødekket betinget vekstsesongreduksjon (SV) 2 som har blitt klassifisert som T22.
- T3 med uttørkingsfare 3 (det vil si alle grunntypene av fjell-lavhei) som har blitt klassifisert som rabbe (T14).
- Feil mellom ulike hovedtyper av våtmark: forveksling mellom jordvannsmyr (V1), og moderate utforminger av våtsnøleie (V6), samt kalldkilde (V4) og våtmarkskompleks.
- Feltregistreringer som nevner at hovedtyper er en overgangsform.

Totalt ble det «godkjent» 84 tilfeller av slike overgangsformer i feltdataene.

Tabell 13. Feilmatrixe for valideringen av hovedtype mot felldataene fra Trollheimen med scenario.

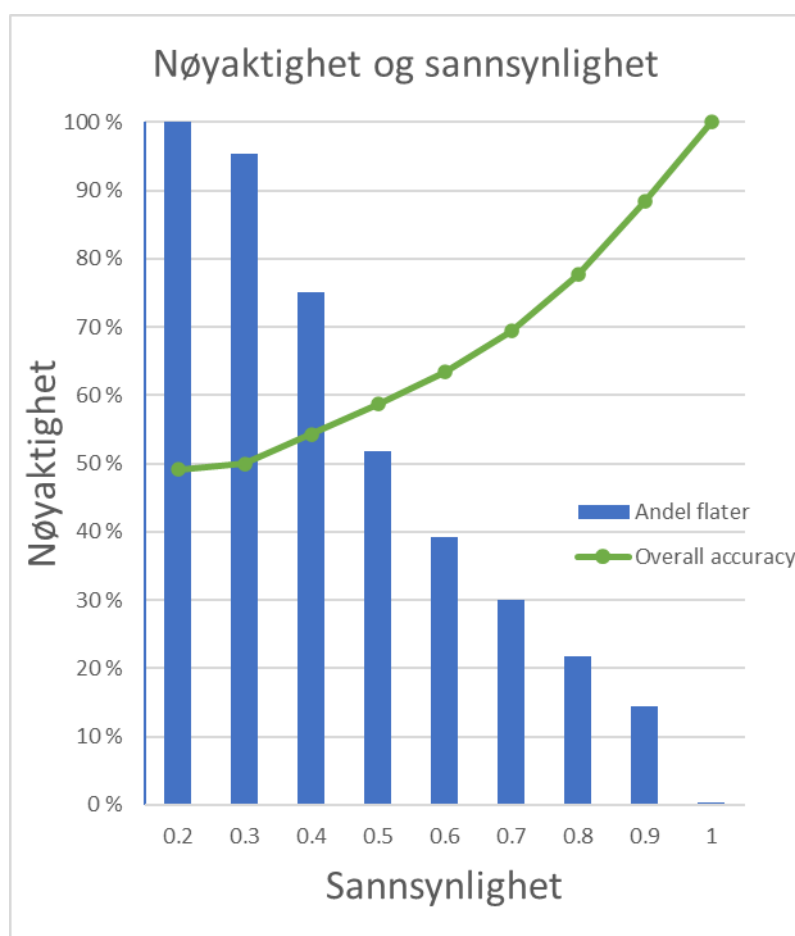
	Predicted																recall	precision	f1-score
	F	I1	T1	T13	T14	T17	T19	T22	T27	T3	T7	V1	V4	V6	V_kmpl	sum			
Actual	F																		
	I1																		
	T1			0		3	0	0	0		0	0	0	0	0	3	0 %	0 %	
	T13																	0 %	
	T14			0	40	0		0	0	1	0	0	0	0	0	41	98 %	80 %	88 %
	T17			0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	T19																	0 %	
	T22			2		3	0	16	0	0	0	0	0	0	0	21	76 %	26 %	39 %
	T27			2		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	5	20 %	50 %	29 %
	T3			0	3	0		17	0	158	1	1	0	0	3	183	86 %	69 %	77 %
	T7			15	1	0		23	1	54	128	3	0	22	8	255	50 %	90 %	64 %
	V1			0	0	0		1	0	10	4	25	0	0	0	40	63 %	86 %	72 %
	V4			0	0	0		0	0	1	0	0	0	0	0	1	0 %		
	V6			0	0	0		5	0	4	9	0	0	37	0	55	67 %	63 %	65 %
	V_kmpl			0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0 %	
	sum			19	50	0		62	2	229	143	29	0	59	11	604			
Overall accuracy		67 %																	
kappa coefficient		0.57																	

Nøyaktigheten går opp til 67% (med en kappa på 0.57). Nøyaktigheten (F1-score) per klassen for T14, T3, T7, og V (samlet) blir også betydelig bedre. Det er derimot fortsatt en del avvik i forhold til felldataene, blant annet ser fjellgrashei (T22) ut til å være overrepresentert i klassifiseringsresultatet.

4.2.3 Validering og klassifiseringssannsynlighet

I de forrige to valideringstabellene har vi validert alle klassifiseringsresultatene. Vi vet imidlertid at resultatene ikke er like sikre for alle flater: klassifiseringsalgoritmen estimerer sannsynligheten for at et segment skal klassifiseres som en av alle hovedtypene som er med i analysen. Den hovedtypen som har høyest sannsynlighet blir resultatet.

Noen resultater får et estimat på nesten 100% sannsynlighet, mens andre resultater kan få sannsynligheter helt ned til 10% (svært usikker). Allikevel «tvinges» algoritmen å velge hovedtype. Når vi ser på valideringen og estimert sannsynlighet samtidig får vi et interessant bilde.



Figur 30. Validering med feltdata: klassifiseringssannsynlighet versus nøyaktighet.

Figur 30 viser at total nøyaktighet av resultatet ligger rundt 50% når man validerer alle resultatene mot feltregistreringene. Vi kan derimot også velge å kun validere klassifiseringsresultater som har en sannsynlighet på 0.9 eller høyere. Det er de resultatene klassifiseringsalgoritmen er mest sikker på. Da ender vi opp med en nøyaktighet på 88%. Senker vi terskelen litt, til 0.8 eller høyere, da får vi en nøyaktighet på 78%.

Det er to viktige observasjoner: den første er at vi oppnår en høy nøyaktighet for de feltflatene vi har en sikker klassifisering på. Den andre er at nøyaktigheten går ned når sannsynlighetsestimatet også går ned. Det betyr at sannsynlighetsestimatet henger sammen med feltvalideringen, i hvert fall i denne klassifiseringen. Det er ikke en selvfølge at de to henger sammen, og det er derfor et godt tegn at de gjør det. Det betyr at vi faktisk kan bruke sannsynlighetsestimatet for å si hvor sikre vi er på at klassifiseringen stemmer.

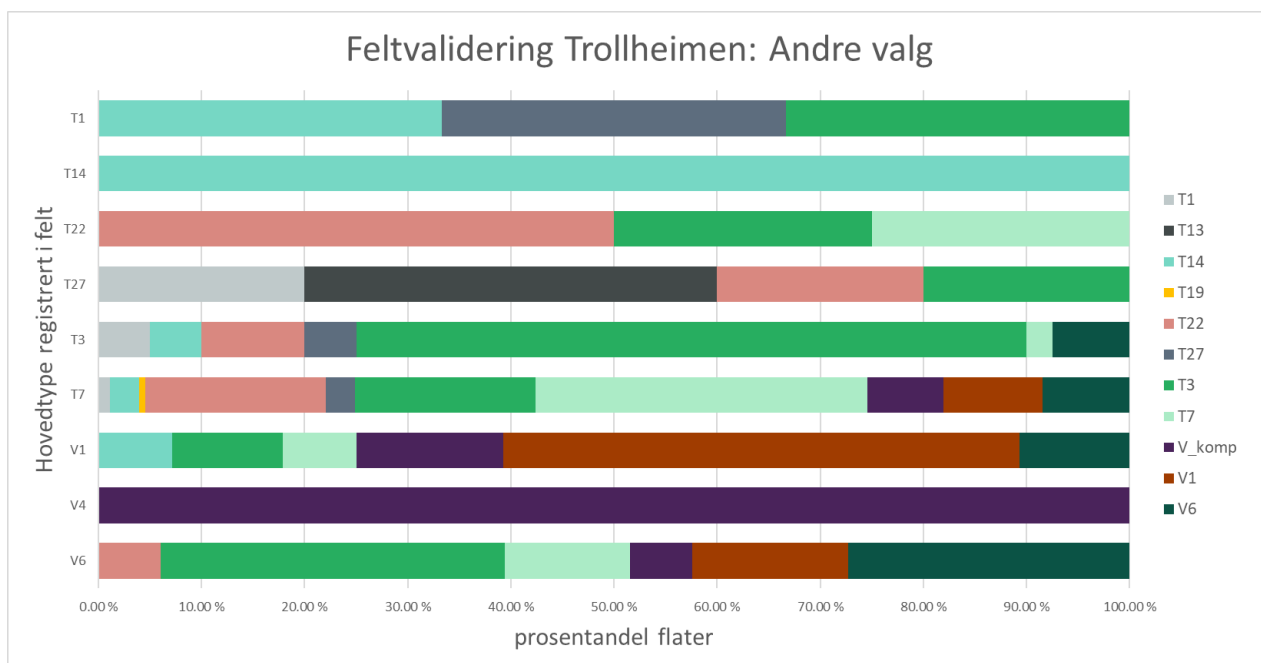
Figuren viser også andel av feltvaliderte flater som er del av nøyaktighetsstatistikken. De blå søylene viser at 14% av valideringsflatene har en klassifiseringssannsynlighet på 0.9 eller mer og en nøyaktighet på 88%. tallet er basert på antall og ikke på areal, men hvis man antar at flatene har omtrent likt areal, så kan man tolke det 14% som arealandel. Med andre ord, ønsker man kun å

ha med sikre resultater (sannsynlighet på 0.9 og høyere), får man kun 14% av arealet kartlagt. Ønsker man å ha mer areal kartlagt, så må man nøye seg med en lavere nøyaktighet. Dette gjør det veldig synlig at kartresultatet ikke har en nøyaktighet, men at nøyaktigheten varierer i kartet. Dessuten varierer nøyaktigheten både mellom klassene (hovedtypene) og innenfor hovedtypene. Det vil si at noen utforminger er klassifisert med høy sannsynlighet/nøyaktighet, mens andre utforminger er klassifisert med lav sannsynlighet/nøyaktighet.

Dette konseptet er nok logisk, og vi vet fra tradisjonell feltkartlegging at noen arealer er alle kartleggere enige om, mens andre overflater vil det være diskusjon og avvik i tolkningen. Ulempen med feltkartlegging er at man ikke har heldekkende estimater på usikkerheten. Det hadde vært mye arbeid å estimere usikkerhet på alle feltregistreringene og dessuten er det utfordrende å definere usikkerhet på en objektiv måte i felt. Fordelen med fjernmåling er at usikkerhetsestimatene følger med automatisk og er heldekkende. Dette åpner også opp for å ta hensyn til usikkerhetsestimatene når man tar kartene i bruk og når man tar beslutninger basert på kartene.

Et annet eksempel av mulighetene med sannsynlighetsestimater er å se flere forslag fra klassifiseringen. I kartene vises vanligvis kun ett klassifiseringsresultat, men det også interessant å vite hva modelleringens andrevalg ville hadde vært.

Figur 31 viser for et utvalg av klassifiseringsresultatene, nemlig de hvor klassifiseringen ikke samsvarte med feltregistreringen, samt hva andrevalget til klassifiseringen er. For rabbe (14) ser vi for eksempel at 100% av flatene, som var feilklassifiserte, hadde nettopp T14 som andrevalg. For fjellgrashei (T22) ser vi at 50% av de feilklassifiserte flater hadde T22 som andrevalg. Figuren viser både hvor nær man hadde vært ved det «riktige svaret», samt hvilke hovedtyper som ligner på hverandre ifølge klassifiseringsalgoritmen.



Figur 31. Feltvalidering av andrevalget i klassifiseringsresultatene. Figurer viser for flater, som er feilklassifisert, hva andre valget hadde vært. Fasiten fra felt (hovedtype) vises horisontalt. Vi kan se at en stor andel (cirka 65%) av feilklassifiserte T3 flater har T3 som andre valg.

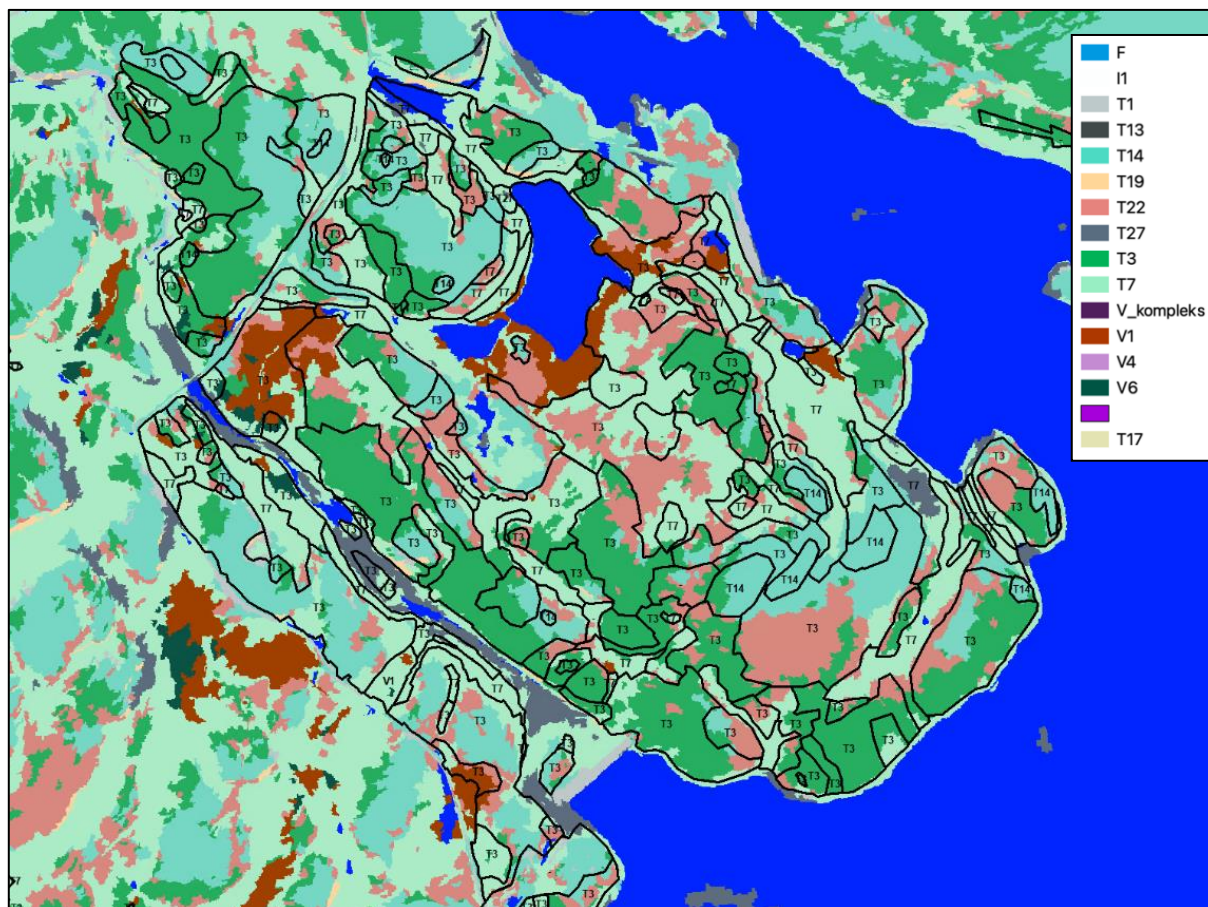
4.3 Validering med NiN kart Troms

4.3.1 Generelt om sammenligning med feltdata generert fra kartlegging etter miljødirektoratets instruks

Denne valideringen ble gjort ved å sammenligne data ekstrahert fra kartlegging etter Miljødirektoratets instruks med resultatene fra klassifikasjonen. Siden kartleggingene er utført på forskjellig vis og på ulik skala er sammenligningen kun gjort ved en visuell sammenligning uten statistikk. Resultatene presenteres i form av en rekke kartlillustrasjoner over et område rundt den lille innsjøen Guolašáivi som viser avvik og muligheter som ligger i de modellerte dataene.

Det er viktig å poengtere at feltkartleggingen også er å betrakte som én kartleggers tolkning av overflatene i dette området. Disse dataene har også en usikkerhet som ikke er kvantifisert eller lokalisert, men det er åpenbart at den vil variere fra liten til betydelig avhengig av kompleksiteten i økologien i området. Avgrensningene fra feltkartleggingen må derfor ikke betraktes som den absolutte sannhet, men ved godt utviklede og typiske utforminger har en oftest liten usikkerhet ved feltkartlegging. Arealer preget av overgangsformer og finskalavekslinger kan imidlertid ha stor usikkerhet.

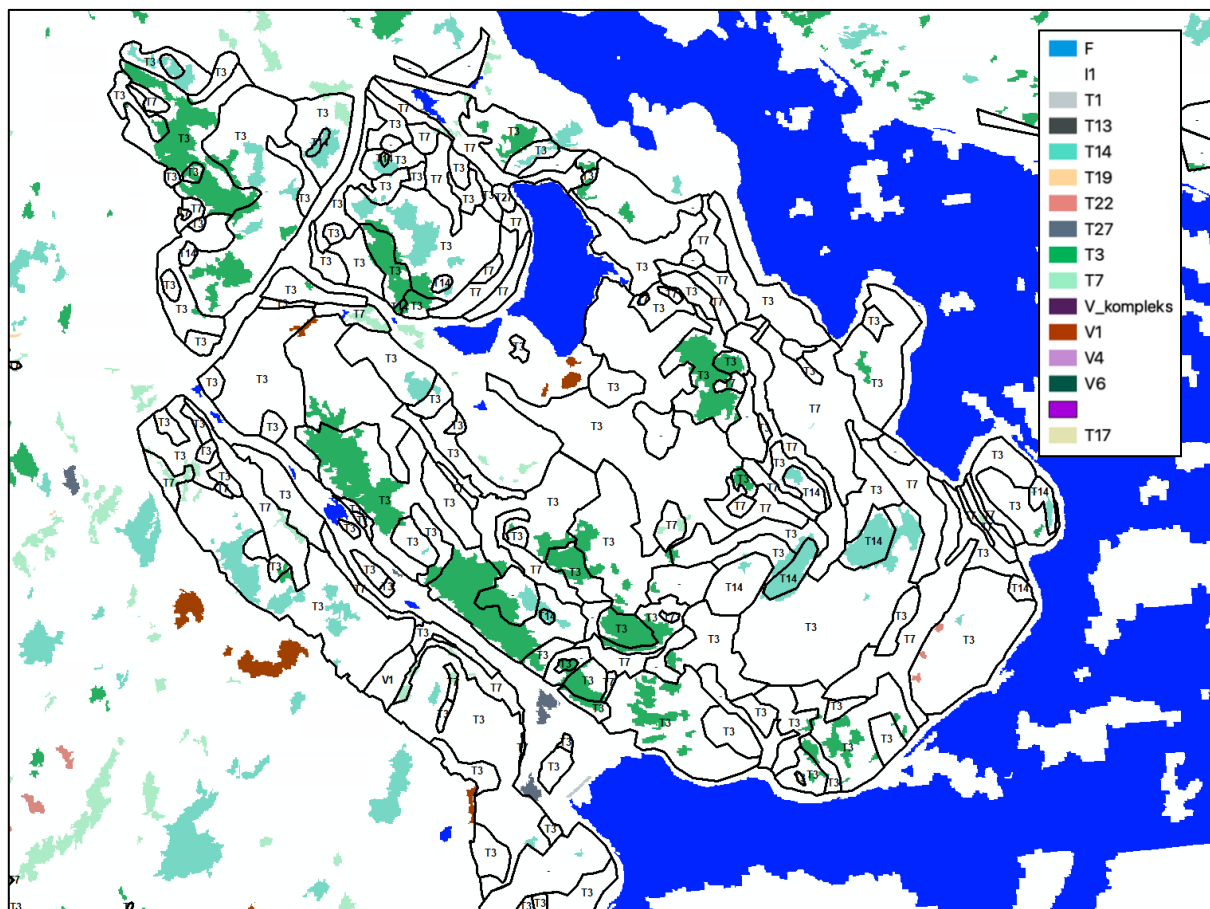
4.3.2 Samlet visning av alle dataene



Figur 32. Guolašáivi. Heldekkende resultater fra klassifiseringen vises i farger. Avgrensning av hovedtyper fra feltkartlegging etter Miljødirektoratets instruks vises med svart omriss og kode for hovedtype. Kartet inneholder kun informasjon om hovedtype fra de to kartleggingsmetodene. Tilsynelatende er det temmelig store avvik og vanskelig å få oversikt

Hvis en viser alle klassifiseringsresultatene samlet, selv de som har stor usikkerhet får en et heldekkende kart. Figur 32 viser klassifiseringsresultatet på dette viset rundt Guolašáivi, sammenholdt med avgrensninger fra feltkartleggingen. Dette kartet viser ukritisk alle avvik mellom de to kartleggingsmetodene, og de er tilsynelatende mange. I en slik visning er det heller ikke mulig å se hvor alvorlige avvikene er og hvor usikkerheten er stor.

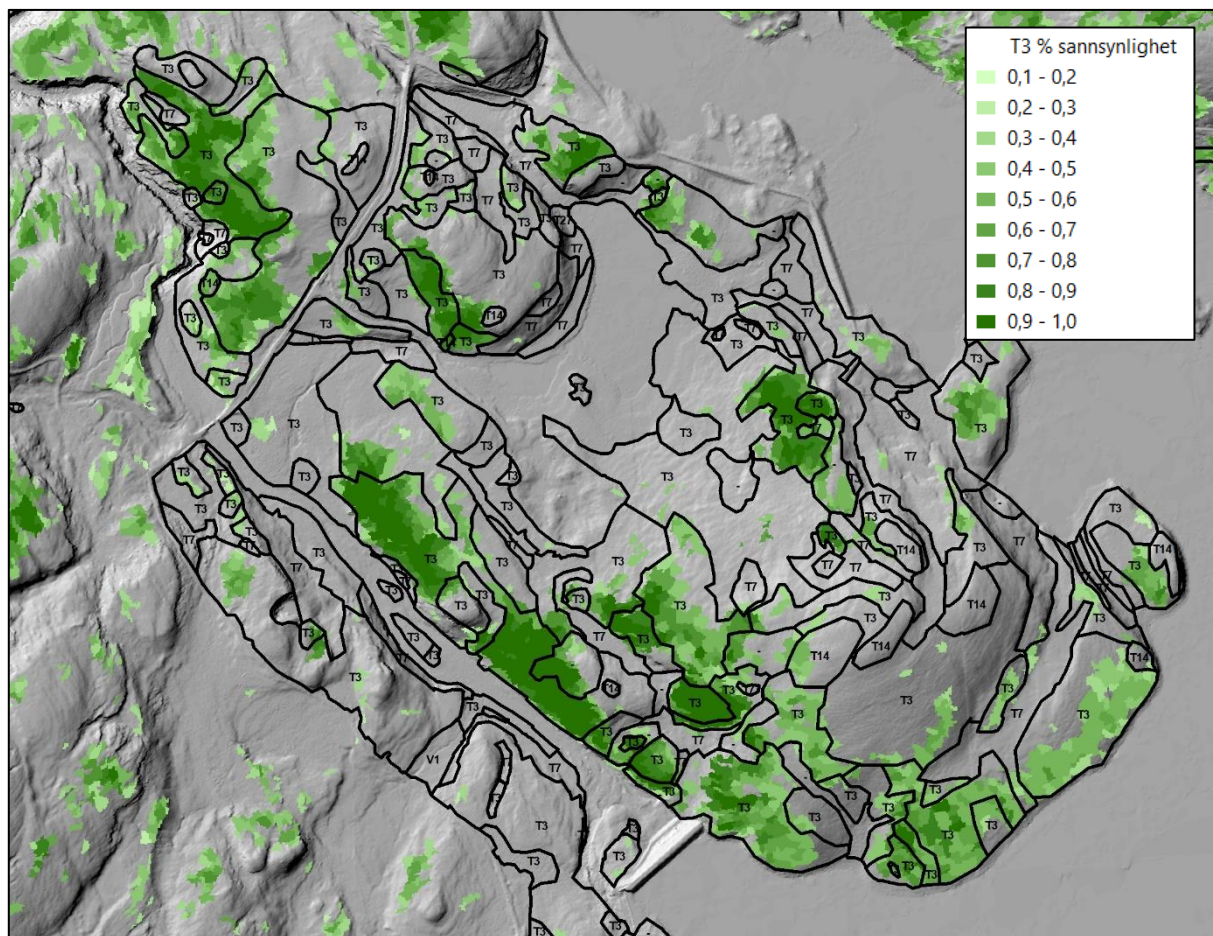
4.3.3 Visning av data med høy sannsynlighet i klassifikasjonen



Figur 33. Guolašáivi. Klassifiseringsresultater med en sannsynlighet på 80% og høyere vises i farger. Avgrensning av hovedtyper fra feltkartlegging etter Miljødirektoratets instruks vises med svart omriss og kode for hovedtype. Kartet inneholder kun informasjon om hovedtype fra de to kartleggingsmetodene.

Figur 33 viser kun klassifiseringsresultater som har en sannsynlighet på 80% eller høyere. Her kan vi se at de fleste områder samsvarer med NiN feltkartet, men at en stor del av arealet ikke blir tildelt en hovedtype. I disse områdene har modellen en lavere sannsynlighet enn 80%. Det er naturlig å anta at modellen gir høy sannsynlighet for overflater som er homogene og godt utviklet, og det er nettopp slike områder som også har lavest usikkerhet ved feltkartlegging. Det er derfor betryggende, og verdt å merke seg at det er temmelig godt samsvar mellom de to kartleggingsmetodene for arealene der sannsynligheten for de modellerte klassene er høy.

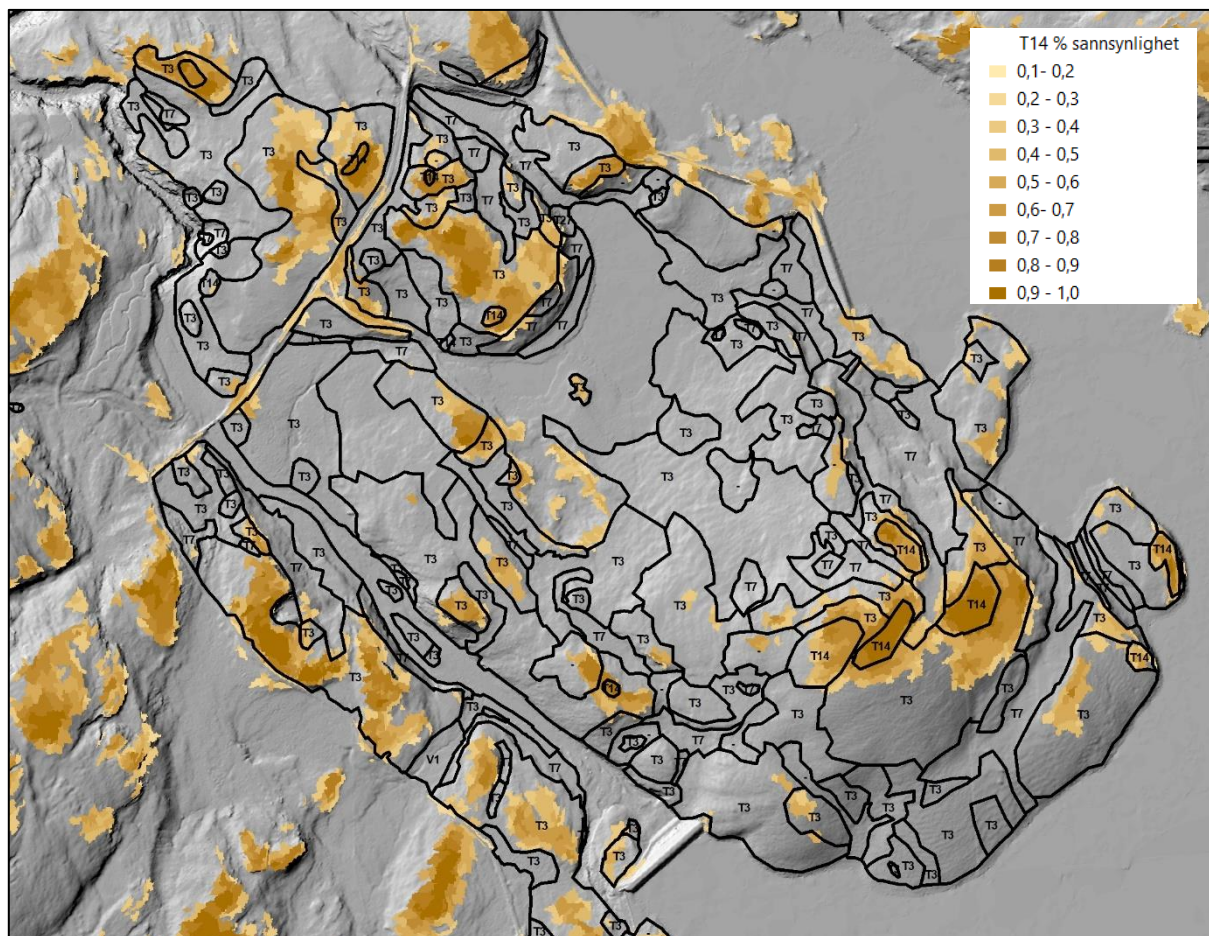
4.3.4 Fjellhei leside og tundra (T3), visning av grader av sannsynlighet



Figur 34. Guolašáivi. Visualisering av sannsynlighet for fjellhei, leside og tundra (T3) angitt i prosent. Mørkere grønnfarge indikerer høyere sannsynlighet. Avgrensning av hovedtyper fra feltkartlegging etter Miljødirektoratets instruks vises med svart omriss og kode for hovedtype. Kartet inneholder kun informasjon om hovedtype fra de to kartleggingsmetodene.

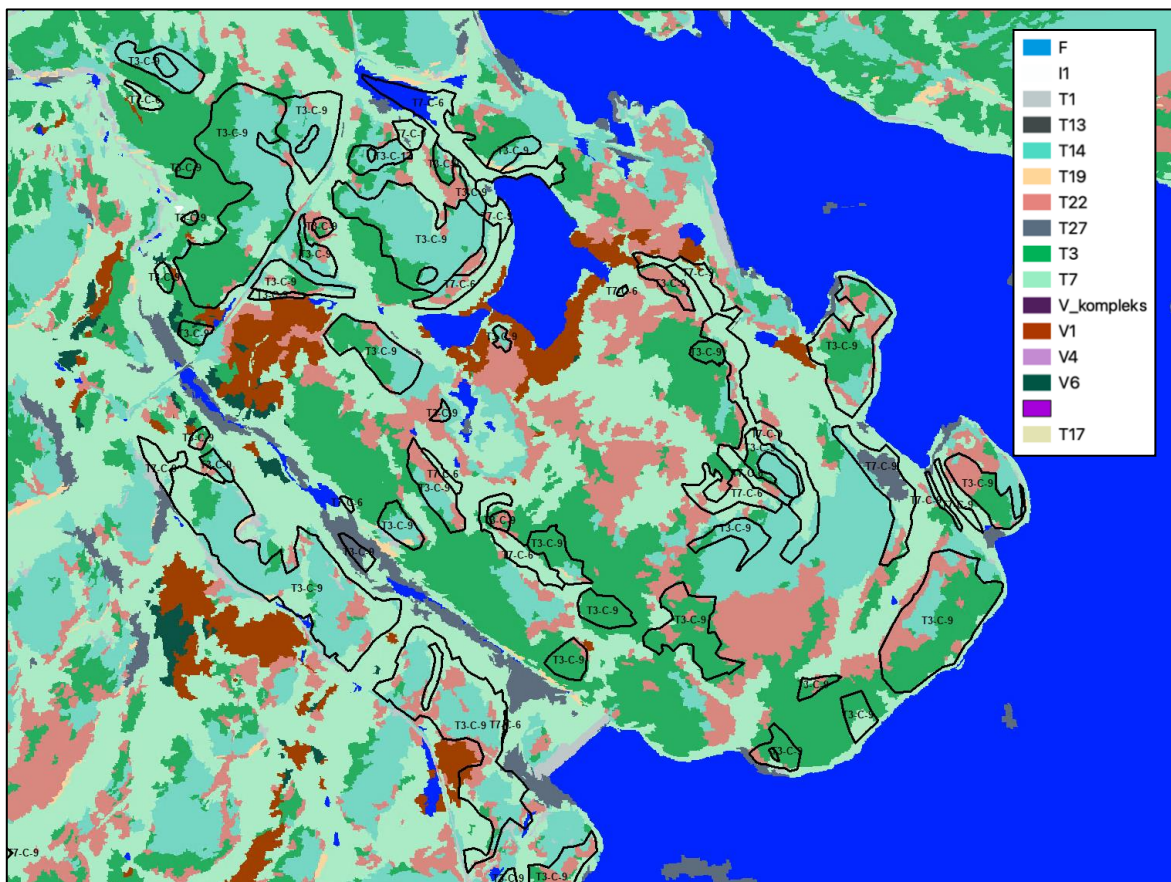
Figur 34. viser arealene som modellen klassifiserer som fjellhei, leside og tundra, samt sannsynligheten for at klassifikasjonen faktisk er rett. Sterkere/mørkere farger representerer høyere sannsynlighet. I arealene som ikke er grønne er det ifølge modellen større sannsynlighet for andre naturtyper.

4.3.5 Rabbe (T14), visning av grader av sannsynlighet



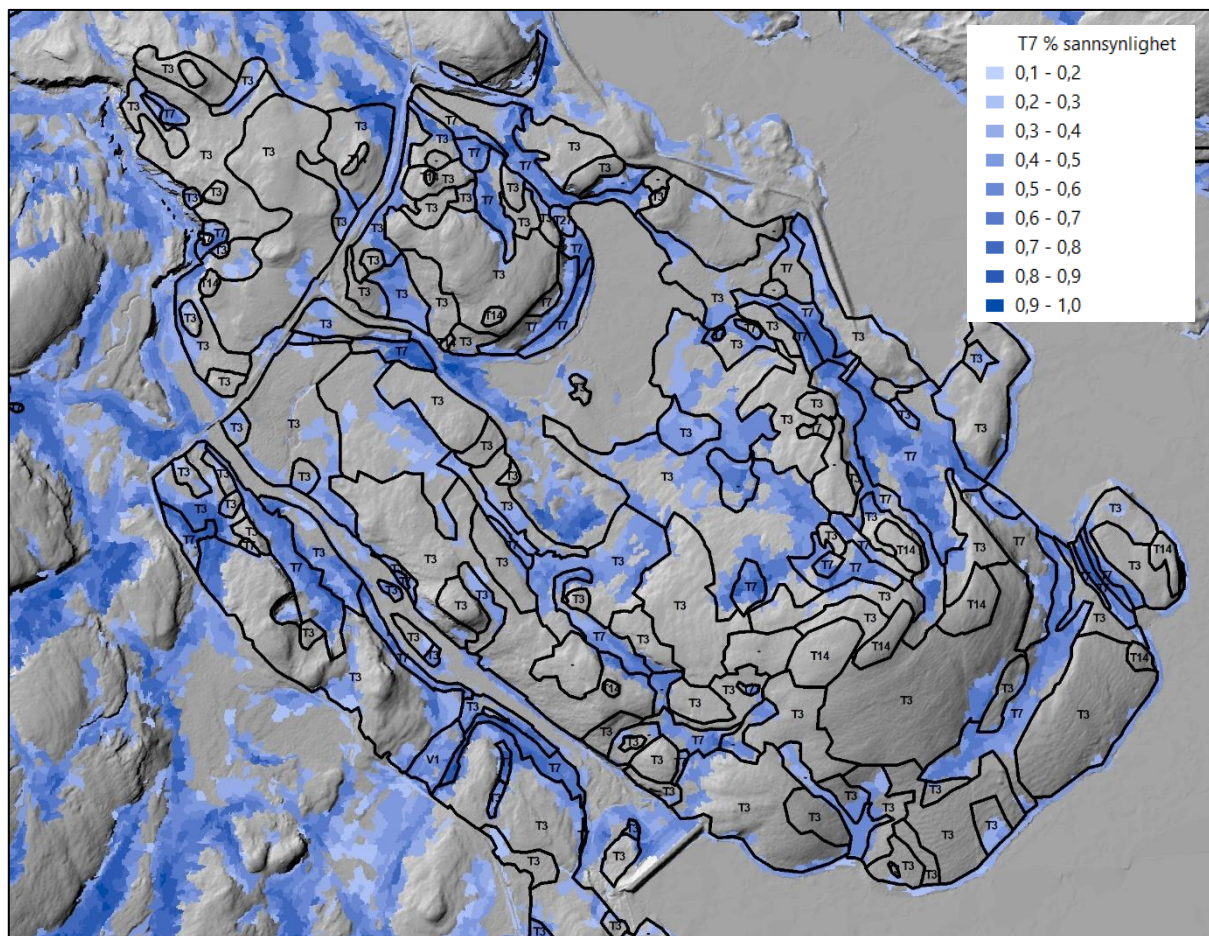
Figur 35. Guolašáivi. Visualisering av sannsynlighet for Rabbe (T14) i prosent. Mørkere brunfarge indikerer høyere sannsynlighet. Avgrensning av hovedtyper fra feltkartlegging etter Miljødirektoratets instruks vises med svart omriss og kode for hovedtype. Kartet inneholder kun informasjon om hovedtype fra de to kartleggingsmetodene.

Figur 35 viser arealene som modellen klassifiserer som rabbe (T14), og sannsynlighet for at det faktisk er rabbe. Illustrasjonen viser klart at modellen har høyest sannsynlighet for rabber i plausible eksponerte terrengposisjoner, men naturtypen er notorisk overrepresentert i forhold til feltkartet, og går inn, riktignok med lavere sannsynlighet, i områder som i felt er klassifisert som fjellhei, leside og tundra på konvekse landformer. Det visuelle inntrykket gir en sterk indikasjon på at uttørkingseksponerte utforminger av fjellhei (fjell-lavhei) i modellen blir klassifisert som rabber (se også figur 35). Dette understøttes av at modellens andrevalg i de aller fleste tilfeller også er nettopp rabbe (T14). Dette avviket må derfor betegnes som et systematisk avvik der det er vanskelig bestemme hvor i en kompleks gradient grensen skal settes. Modellen kan kalibreres for å treffe bedre og mer i overensstemmelse med resultatene fra feltkartleggingen.



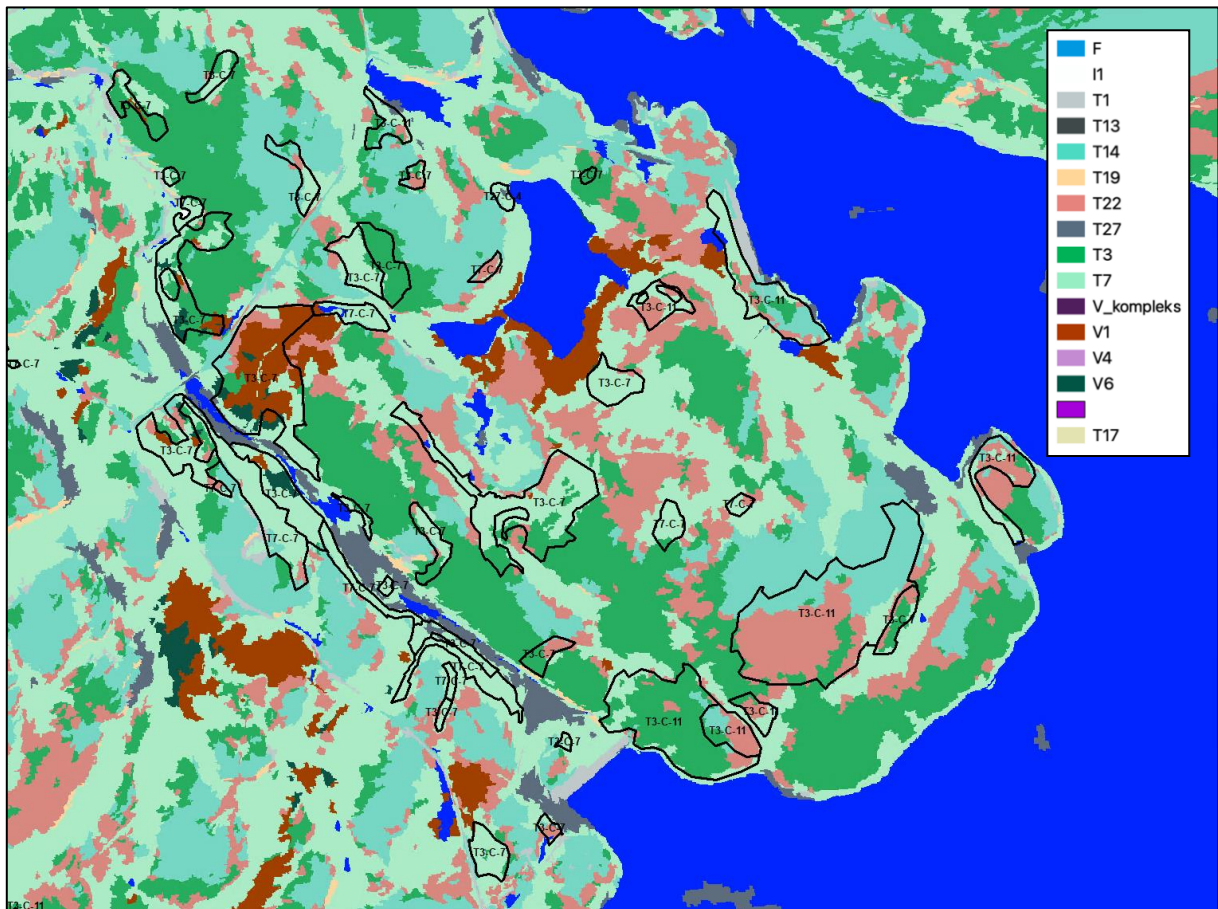
Figur 35. Guolašáivi. Heldekkende klassifiseringsresultater i farger. NiN feltkart med svart omriss viser kun forekomster av fjell-lavhei, det vil si de utformingene av hovedtypen fjellhei, leside og tundra (T3) med høyest uttørkningsfare. Nesten alle av disse har blitt klassifisert som enten T3 eller T14. Illustrasjonen underbygger i stor grad scenariet om at avvikene først og fremst handler om å sette grensen på rett sted i komplekse gradienter og det er liten grad av vilkårlige feil som er vanskelig å adressere.

4.3.6 Snøleie (T7), visning av grader av sannsynlighet



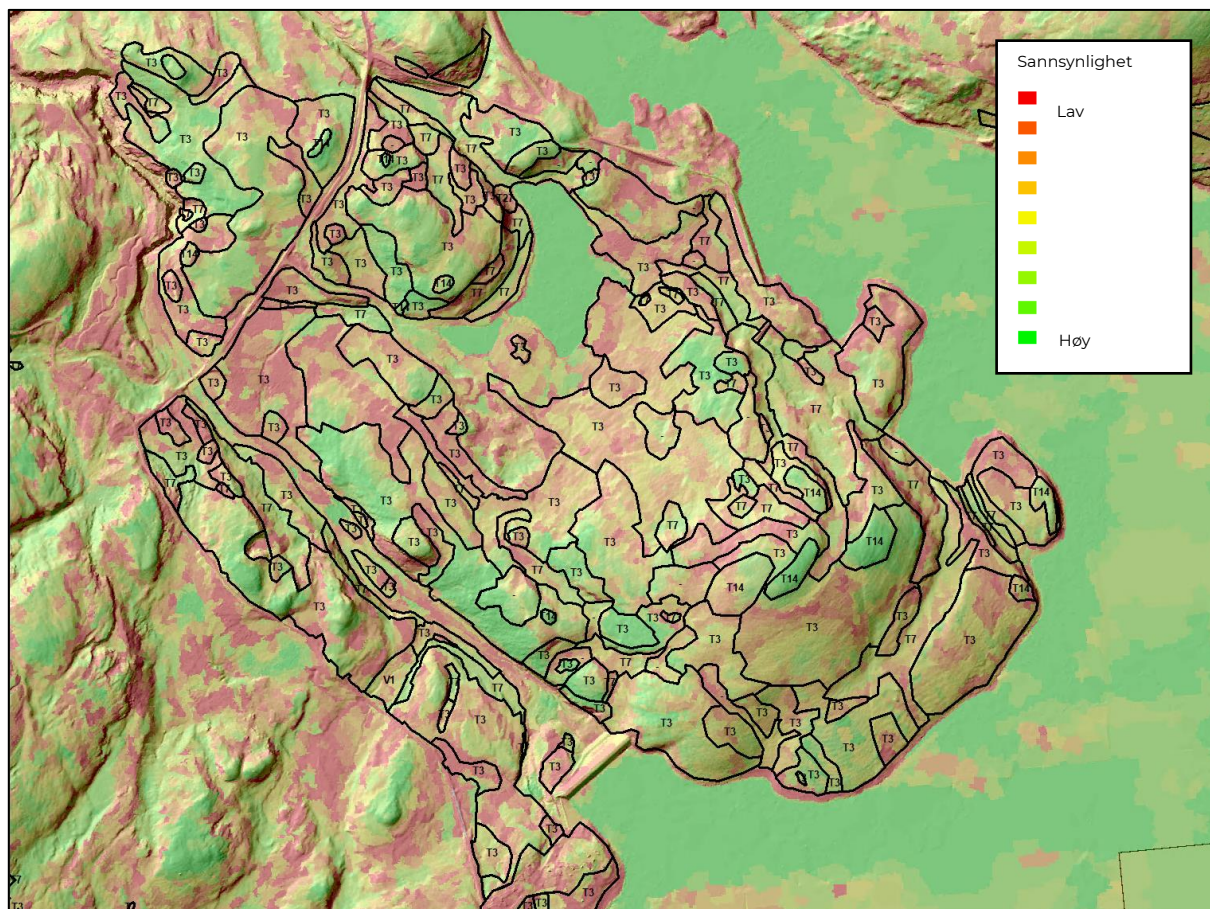
Figur 36. Guolašáivi. Visualisering av sannsynlighet for Snøleie (T7) i prosent. Mørkere blåfarge indikerer høyere sannsynlighet. Avgrensning av hovedtyper fra feltkartlegging etter Miljødirektoratets instruks vises med svart omriss og kode for hovedtype. Kartet inneholder kun informasjon om hovedtype fra de to kartleggingsmetodene.

Figur 36 viser sannsynlighet for Snøleie (T7). For denne hovedtypen er det bedre samsvar med feltkartleggingen, men en del områder med Fjellhei, leside og tundra (T3) har også blitt klassifisert som Snøleie (T7) av modellen. Også for snøleier er det i områder der modellen er mer usikker at det er klart mest avvik i forhold til feltkartleggingen. På samme måte som overgangen mellom de mest uttørkingspåvirkede delene av fjellhei (fjell-lavhei) og rabbe er det en tilsvarende overgang mellom nedre leside (fuktigste delen av fjellhei, leside og tundra) og de minst vekstsesongreduserte snøleiene. Det virker klart at modellen også for snøleie kan finkalibreres for å treffe denne grensen bedre, og mer i forhold til det som observeres i felt. Figur 37 illustrerer også dette



Figur 36. Guolašáivi. Heldekkende klassifiseringsresultater i farger. NiN feltkart med svart omriss viser kun forekomster av leside, det vil si de utformingene av hovedtypen fjellhei, leside og tundra (T3) med lavest uttørkningsfare. Nesten alle av disse har blitt klassifisert som enten T3 eller T7. Det er også noe innslag av fjellgrashei (T22), som ofte danner overganger mot moderat snøleie på grensen til mellomalpin sone som dette området ligger i. Illustrasjonen underbygger i stor grad scenariet om at avvikene først og fremst handler om å sette grensen på rett sted i komplekse gradienter og det er liten grad av vilkårlige feil som er vanskelig å adressere.

4.3.7 Generell visning av usikkerhet

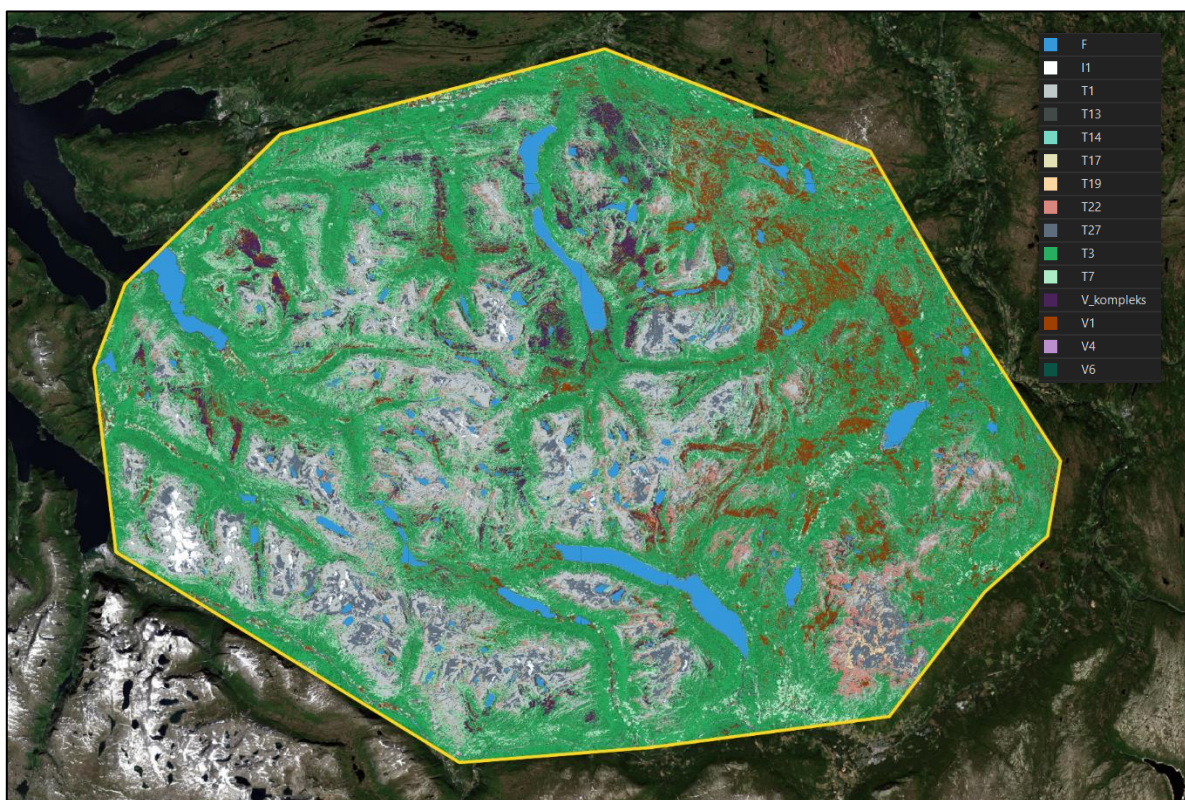


Figur 38. Guolašáivi. Avgrensning av hovedtyper fra feltkartlegging etter Miljødirektoratets instruks vises med svart omriss og kode for hovedtype. Fargene representerer klassifiseringssannsynlighet for modellen. Grønne områder viser at klassifiseringsalgoritmen var sikker mens røde områder har lav sannsynlighet / høy usikkerhet.

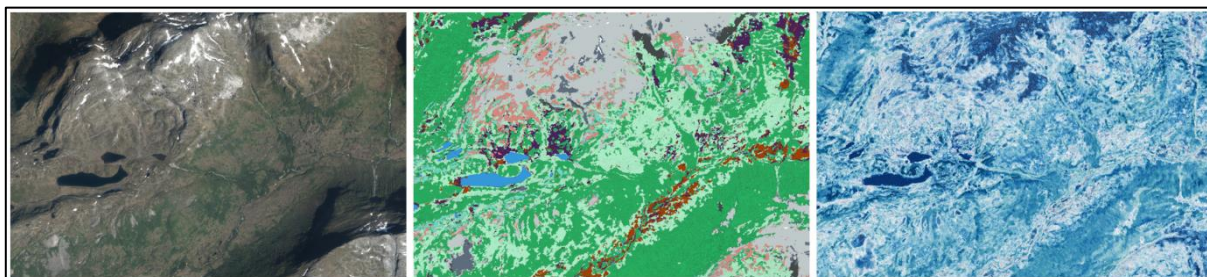
Som del av en innsynsløsning for et heldekkende kart over fjell kan en tenke seg en rekke muligheter for å kvantifisere og visualisere usikkerhet slik som vist i de foregående figurene. En kan også vise kun usikkerhet som et eget lag slik som figur 38 er et eksempel på.

4.4 Produksjon av heldekkende kart

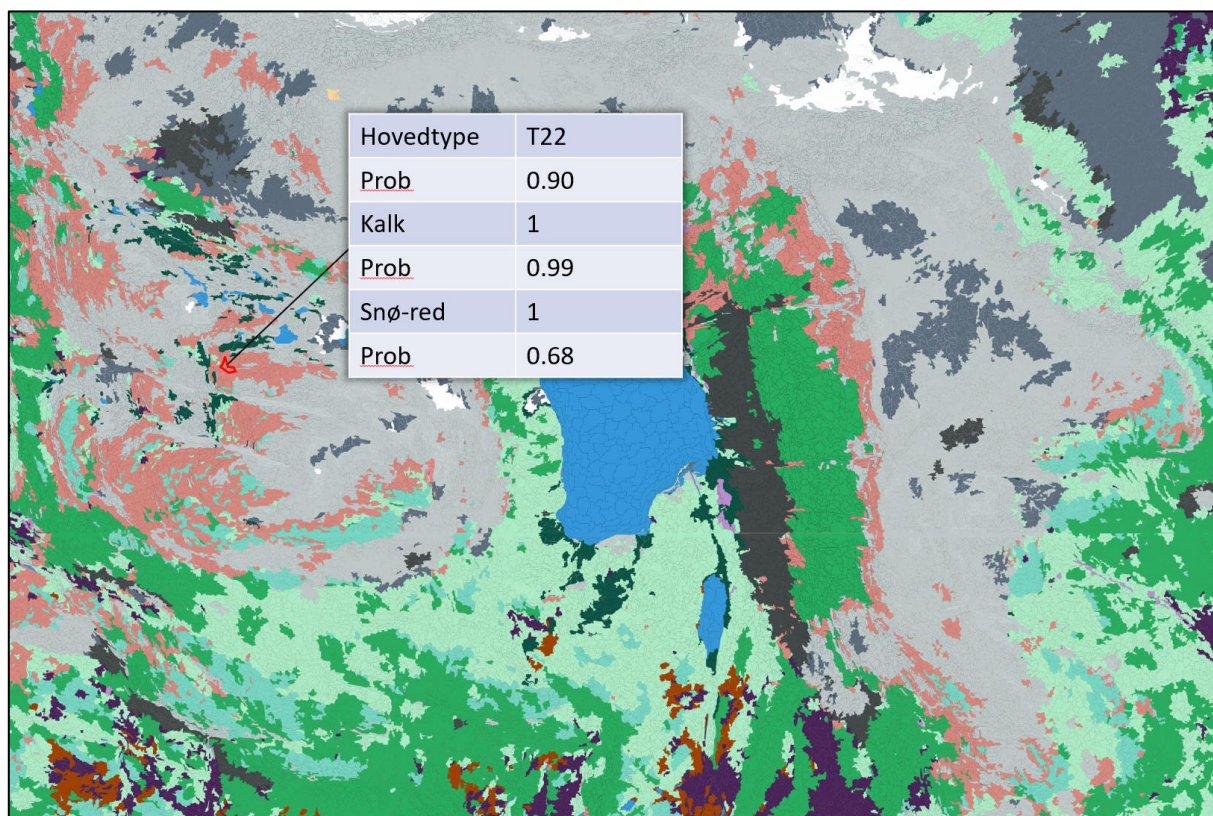
Hele kartet leveres som geografiske filer og distribueres midlertidig i en online innsynsløsning. I dette avsnittet viser vi noen eksempler av resultatene og hvordan de kan vises frem. Et offentlig tilgjengelig nasjonalt kart kan publiseres på en lignende måte og de foregående kapitlene viser en del av mulighetene som vil ligge i resultatene.



Figur 37. Eksempel på et heldekkende kart over Trollheimen, fargelagt etter hovedtype.



Figur 38. Eksempel på resultatet, med ortofoto (til venstre), hovedtype (i midten) og et sannsynlighetskart (til høyre). Mørkeblå farger representerer nærmest 100% sannsynlighet, mens lyse farger representerer lav sannsynlighet (høy usikkerhet i resultatet).



Figur 39. Eksempel som viser at resultatet er et vektorkart med flater, hvor hver flate har egenskaper som predikert hovedtype og tilhørende predikert LKM. Alle prediksjoner får med et estimat av sannsynlighet («Prob» i egenskapstabellen).

5 DISKUSJON

5.1 Naturkartlegging under lupa

5.1.1 Om usikkerhet i naturkartlegging

Før vi begynner å diskutere våre resultater i detalj er det nødvendig å klargjøre en del basale problemstillinger rundt naturkartlegging generelt, og forskjellene mellom en feltbasert tilnærming og en tilnærming basert på fjernmåling.

All kartlegging av natur er basert på tolkning av arealer i henhold til et sett av kriterier. Denne type tolkning vil alltid ha tilknyttet en usikkerhet som kommer til uttrykk som avvik når ulike kartleggere blir bedt om å tolke det samme arealet. Graden av usikkerhet varierer og har sammenheng med flere faktorer. En åpenbart ting er kartleggerens erfaringsgrunnlag, både i form av praktisk kartleggingserfaring, kjennskap til kriteriesettet (i dette tilfellet NiN-systemet), arts kunnskap, regional kunnskap og spesialkompetanse på forskjellige økologiske systemer. Andre mer tilfeldige faktorer er dagsform, værforhold og tilgjengelig tid.

I forbindelse med aktiviteten rundt bruken av NiN-systemet er det kommet to studier (begge fra 2018) som adresserer variasjoner mellom kartleggere som bruker NiN-systemet (Ullerud et al., 2018 og Eriksen et al., 2018). Studiene brukte ulike kartleggere til å klassifisere de samme områdene. Selv om kartleggerne brukte samme verktøy og samme metodikk, viser resultatene at naturtypekartene kan bli nokså ulike. Graden av usikkerhet i kartet (avvik mellom kartleggere) er sterkt avhengig av målestokken. Sammenlignet med grovere klassifiseringssystemer som brukes i en del land muliggjør NiN-systemet en detaljert kartlegging og muligheten for større avvik er derfor betydelig til stede.

I studiet til Ullerud et al. (2018) utførte tre kartleggere en heldekkende kartlegging innenfor et avgrenset område. Hver kartlegger laget to heldekkende kart basert på to ulike kartleggingssystemer: NIBIOs vegetasjonstypesystem og NiN-systemet, der førstnevnte har 12 hovedtyper og 54 kartleggingsenheter, mens NiN-systemet er inndelt i 59 hovedtyper og 277 kartleggingsenheter. Resultatene viste at det var flere avvik i kartlegging med høyere detaljnivå enn i kartet med større målestokk og grovere økologisk inndeling. En sammenligning av kartene med størst målestokk viste en overensstemmelse mellom kartleggere på 83 % (NIBIOs system med 12 hovedtyper), mens kartene med minst målestokk og høyest detaljnivå (NiN-kartleggingsenheter) viste 44 % overensstemmelse. Ulikhetene i kartleggingen var knyttet til både vurderinger av naturtyper, antall utfigurerte polygoner og geografiske avgrensninger.

I det andre studiet (Eriksen et al. 2018) utførte 11 kartleggere en individuell kartlegging hvor NiN-hovedtyper, kartleggingsenheter og utvalgte miljøvariabler ble bestemt i 120 punkter, uten at kartleggerne hadde kjennskap til hverandres vurderinger. I neste omgang ble det laget et konsensuskart med omforente

tolkinger av NiN-hovedtyper og kartleggingsenheter basert på diskusjoner og gruppekartlegging i de samme områdene. Resultatene viste at de ulike kartleggerne hadde sammenfallende NiN-hovedtype som konsensuskartet ved 83.6 % av datapunktene, mens for det mer detaljerte nivået (kartleggingsenheter i 1:5 000 skala) var resultatet 65 %. Studien viste også at kartleggerne var mer enige med konsensuskartet enn med hverandre, der enigheten mellom kartleggerne i gjennomsnitt var 80 % for hovedtyper og 57 % for kartleggingsenheter. I 55 % av punktene var alle 11 kartleggerne enige om hovedtype, mens tilsvarende tall for kartleggingsenheter er nede i 22 %. Klassifikasjoner som avvek fra konsensuskartet var imidlertid i de fleste tilfeller tolket til økologisk nærliggende naturtype.

I dette studiet ble det tatt i bruk et mål på avvik fra konsensustypen basert på økologisk avstand. Dette er et grunnleggende begrep i NiN-systemet, hvor én økologisk avstandsenhet tilsvarer 25 % utskifting i artssammensetning. Ved hjelp av dette standardiserte målet kan man kvantifisere differansen mellom ulike naturtyper og kartleggingsenheter, og dermed kategorisere i grove og mindre alvorlige feil.

Resultatene fra disse studiene er en svært viktig bakgrunn for å forstå hva klassifisering av natur innebærer og hva som er de naturlige og praktiske begrensningene. Det er flere forhold som er viktige å tenke på når en skal se på kart som viser naturtypedata:

- Mange avvik i naturkartlegging kommer når kartleggere må bestemme seg for hvor den geografiske grensen skal settes mellom to naturtyper som skilles av en kontinuerlig økologisk gradient i et naturområde.
- Det er stor forskjell i alvorlighetsgraden på avvik. De fleste avvik i tolkninger er mindre alvorlige og har opphav i nyanser av tolkningsforskjeller. Dette fører til at grenser settes noe ulikt og arealer klassifiseres ulikt, men som økologisk nærliggende typer.
- Små nyanseforskjeller i tolkninger fører til avvik i kartlegging av hele arealer. Slike avvik er klart mest vanlig når en kartlegger med fin inndeling, men kan også ofte oppstå i overganger mellom hovedtyper.

Det må også nevnes at disse studiene ble gjennomført i lavlandet på Østlandet, hvor NiN-systemet er mer modent og uttestet enn de fleste naturtyper innenfor hovedøkosystem fjell. Dette gjelder spesielt enkelte naturtyper som opptrer i mellomalpin sone og oppover, blant annet fjellgrashei (T22), hvor datagrunnlaget og kunnskapsnivået ikke er tilstrekkelig. Uansett kartleggingsmetode må en derfor forvente mer avvik generert av at NiN-

systemet er ikke er like «modent» i fjelløkosystemer sammenlignet med i skogsystemer. Dette vil i stor grad bli forbedret i NiN versjon 3.0.

5.1.2 Feltkartlegging vs. fjernmålingsbasert kartlegging

De to studiene gjelder feltkartlegging, men er akkurat like relevant for en klassifikasjon basert på fjernmåling og terrengdata slik som FALK. Det er en innarbeidet praksis å kalle treningsdata for «bakkesannheter», noe som kan gi inntrykk av at feltobservasjoner er å betrakte som en fasit. Som disse studiene nyanserer på en veldig bra måte er feltobservasjoner kun én persons tolkning, og resultatet påvirkes av en rekke faktorer.

Fordelen med feltkartlegging er at en er i posisjon for å observere arter og småskala variasjon i naturen. En erfaren feltkartlegger kan derfor bruke bakkeobservasjoner av substratets egenart og artenes økologiske tilpasninger som indikatorer for å få et veldig detaljert bilde av den økologiske variasjonen på et sted. Dermed kan det under ideelle forhold gjøres en svært nyansert vurdering av naturtypetilhørighet.

I praksis vil det likevel ofte ikke være ideelle forhold, og erfaringsgrunnlaget til kartleggere varierer både med geografi, firmatilhørighet, generell fartstid, og annet. I tillegg kommer faktorer som værforhold, årstid, tilgjengelig tid og dagsform. Feltkartlegging vil derfor få mange avvik på grunn av en rekke varierende forhold. Hverken under kartleggingen eller i ettertid har en knapt noen måter å objektivt kvantifisere eller lokalisere usikkerhet i kartleggingsdata generert med feltkartlegging, og når kartleggingen er utført er det ingen måte å revurdere eller nyansere tolkningene som ble gjort. En må gjøre en helt ny kartlegging for å få ny informasjon.

Kartlegging ved hjelp av fjernmåling har en helt annen natur, og må sees på som en prosess en bestemmer seg for å starte med og foredle så lenge en har bruk for produktet. Konseptet er velkjent, og baserer seg på å trene opp en modell med referansedata som genereres ved hjelp av tolkninger i felt eller tolkninger av flyfoto slik som tilfellet har vært i FALK-fjell. En har ikke mulighet til å vurdere artsinnhold og substratforhold i avgrensningene, og en svært findelt klassifisering er derfor vanskeligere. Fordelen er at modellen kan forbedres og nyanseres med mer treningsdata og justeringer i algoritmene i det uendelige, og en kan ta i bruk nye produkter som flybilder, satellittbilder, bedre høydemodeller og annet som måtte bli tilgjengelig i fremtiden for å gjøre modellen bedre og bedre. I et kart basert på algoritmer og modellering kan en også lokalisere og kvantifisere usikkerhet og visualisere dette i egne kartlag, noe som er et stort fortrinn i forhold til feltbaserte kartleggingsdata.

5.2 Oversikt over de viktigste resultatene

Modellering av mange naturtyper i flere forskjellige områder og med ulike valideringsmetoder gir en veldig stor mengde resultater og det kan være vanskelig

å få oversikt. Vi gir derfor en oppsummering av de resultatene som har størst betydning for formålet (nasjonal kartlegging).

5.2.1 Modellen er robust og referansedata fra ulike fjellområder kan brukes om hverandre

Klassifiseringsresultatene basert på trening og validering med referansedata fra flybildetolkning er gode. Nøyaktigheten ligger rundt 90% og kappaverdier litt under 0.90. Det er også svært interessant og en viktig avklaring at vi får ut gode resultater i ulike testområder: Trollheimen, Esandsjøen og Trollheimen kombinert og i Troms. Dette viser at metoden ikke bare fungerer på et sted, men på ulike steder. I tillegg viser resultatene fra en samlet klassifisering over alle områder at metoden er robust og overførbart over større områder. Det er lovende at treningsdataene kan brukes på kryss og tvers av områder uten at det går på bekostning av nøyaktigheten. Dette indikerer at fjellnatur har lignende intern variasjon på tvers av regioner.

Når man bruker en kryssvalidering er det alltid en viss fare for overtilpasning av modellene, og at rapporterte tall på nøyaktighet dermed blir litt for høye. Vi har vært bevisste på å unngå dette ved å ikke tillate et ubegrenset antall forklaringsvariabler i klassifiseringen. Vi har testet versjoner med mange variabler, men holder oss til cirka 10 variabler når vi ser på resultatene.

En annen mulig årsak for litt for kunstig høye nøyaktighetstall er at vi har brukt fototolkning for å lage referansedata. Referanseflatene er valgt ut manuelt og da ligger det en preferanse i homogene områder. Disse flatene er enklest å tolke på flyfoto. Det er også slik at disse flatene egner seg best som treningsdata. Vi ønsker å trene modellene med representative områder med tydelige utforminger, ikke med heterogene områder med utydelige utforminger. Ulempen er at statistikken over nøyaktigheten kan bli kunstig høy: den gjelder for homogene områder, og ikke for hele arealet. Samtidig mener vi at man har få andre alternativer. Det er selvfølgelig mulig å validere modellene i heterogene områder eller i områder med utydelige utforminger. I slike tilfeller vil nøyaktighetsstatistikken vil bli lavere, men samtidig vil konfidensen av selve valideringen også gå ned.

5.2.2 Avvik mellom modell og feltvalidering er tilsvarende avvik en får ved feltkartlegging

Gjennom to perioder med FALK-fjell er det bygget opp en modell som er tilpasset kartlegging for hele landet. Det har blitt gjort validering mot referansedata og en øvelse med validering mot feltdata i Trollheimen. En første gjennomgang tydet på betydelige avvik, men justeringer av referansedataene, analyser av avvikene, samt modellens usikkerhet tyder på at resultatene ikke står mye tilbake for det en ville fått ved heldekkende feltkartlegging i tilsvarende områder. Selv om avvikene er mange, er det i all hovedsak snakk om at grensene mellom naturtyper trekkes noe

ulikt rent geografisk, eller at avvikene skyldes nyanseforskjeller i tolkninger av overganger som gjør at en del arealer blir tolket til å være en økologisk nærliggende enhet. Dette er helt i tråd med typiske avvik som en ser mellom ulike feltkartleggere som kartlegger samme område.

En kan gjøre enda mer for å bedre kvaliteten på resultatene i klassifikasjonen. Det kan være snakk om flere referanseflater både fra flyfoto og fra feltarbeid, samt små justeringer av algoritmen i modellen.

5.3 Viktige erfaringer

5.3.1 Om tolkning av flybilder

Referansedataene er potensielt en stor feilkilde i alle fjernmålingsbaserte klassifiseringer, og systematiske feilklassifiseringer vil gi store utslag som kun kan avdekkes ved feltbesøk. Tilgjengelige flybilder for ulike områder varierer i stor grad både når det gjelder kvalitet og opptakstidspunkt. Dette har stor innvirkning på kvaliteten mulighetene for en god tolkning av naturtype. For det første er oppløsningen viktig. Det er ingen tvil om at de nyeste flybildene med ca. 20 cm oppløsning gir vesentlig mer detaljer og er lettere å tolke enn eldre bilder. Nyere bilder har vanligvis også en mer korrekt eksponering. Overeksponerte foto kan gi inntrykk av at vegetasjonen er mer tørkeutsatt enn den faktisk er fordi lyse farger overdrives og blashet gir dårlig kontrast.

Dato for opptak er også viktig for å kunne gi godt grunnlag for gode tolkninger. For å unngå snø i bildene er det nødvendig at bildene er fra seint utpå sommeren da også snøleiene er snøbare. En stor del av flyfototolkningen er basert på fargenyanser som er en viktig del av preget til de ulike naturtypene i fjellet. Gjennom sesongen varierer nyansene, og om høsten går fargene fra grønt mot gult rødt og brunt. Noen naturtyper kan være noe enklere å tolke på høstbilder, mens andre blir nesten umulige (for eksempel fjellgrashei). Tilgang til flyfoto fra prosjektområdet både fra sensommeren og høsten kan derfor være en fordel. Det må også nevnes at gode topografiske kart med ekvidistanse 1m eller 5m er viktig for å kunne lese terrenget og gjøre gode vurderinger under produksjonen av referansedata

5.3.2 Supplement av feltbaserte referansedata vil trolig redusere avvik for enkelte overganger

I kapittel 6.4 har vi oppsummert noen økologiske overganger som er generelt vanskelige, og ekstra vanskelige å tolke kun basert på flyfoto. For disse overgangene kan et supplement av feltbaserte referansedata gjøre at grensen i det modellerte kartet settes mer i tråd med det et gjennomsnitt av feltkartleggere ville gjort.

5.4 Praktisk og teoretisk grensesetting i økologiske gradienter

5.4.1 Hvor går grensen mellom to hovedtyper i en kontinuerlig gradient?

Hovedtyper i NiN-natursystem er definert ut fra forekomst av én (eller flere) strukturerende gradienter (LKM´er). Hvis en forestiller seg situasjonen der en er på en forhøyning i fjellet skal sette grensen mellom fjellhei og rabbe så skal den teoretisk trekkes der effekten av vindutsatthet (VI) blir så stor at den forårsaker en endring av artssammensetningen sammenlignet med omkransende fjellheiområdene av et bestemt omfang. Den grensen trer ikke frem i naturen på en slik måte at en kan se et skille fordi fysiognomien i de uttørkingseksponerte fjell-lavheiene og i de moderat vindeksponerte og like uttørkingseksponerte rabbene som ligger rett inntil er svært lik. En må ofte ned på knærne for å se etter indikatorarter for vindeksposisjon for å gjøre seg opp en mening om hvor grensen kan trekkes.

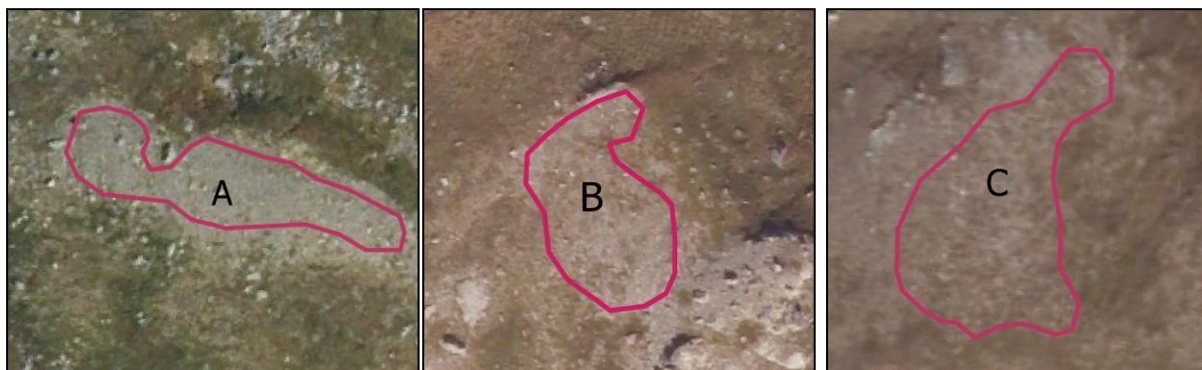
Slike vanskelig observerbare overganger finnes det en del av (andre er heldigvis vesentlig tydeligere), og flere av dem er mellom hovedtyper. Det er derfor vanlig at det i kartlegging av disse typene blir mye avvik fordi grensene og nyansene ofte settes noe ulikt. I det meste av tenkelig praktisk bruk av dataene har likevel disse avvikene mindre betydning. For kart generert ved feltkartlegging vil det være et mangfold av ulike tolkningsregimer proporsjonalt med antall kartleggere som har vært i aktivitet og alt det de har vært utsatt for under kartleggingen. I kart generert ved fjernmåling vil det kun ligge én tolkning til grunn og i tillegg kan usikkerhet, kvantifiseres og lokaliseres og en kan gjøre mye for å forbedre resultatet. For de formålene der avvikene faktisk har noe å si vil det derfor det fjernmålingsbaserte kartet være svært interessant.

I det følgende har vi gjort rede for de økologiske overgangene som er relevante i fjellet der det ofte oppstår avvik uansett kartleggingsmetode.

5.4.2 Overgangen mellom fjell-lavhei og moderat vindeksponerte rabber

Både resultatene fra sammenligning med NiN-kartleggingen i Kåfjorddalen og feltebefaringen i Trollheimen indikerer at en del arealer med det som i felt er klassifisert som fjell-lavhei er klassifisert som rabbe av modellen. Fjell-lavhei er den mest uttørkingseksponerte delen av fjellheia og opptrer ofte inntil og i mosaikk med rabber. Grensen mellom rabbe og fjell-lavhei er vanskelig å vurdere både i felt og under fototolkning (Figur 40). Begge naturtypene fremtrer som lyse og kvaliteten på flyfoto vil være avgjørende for god tolkning. Et overeksponert og blasst flyfoto vil gi inntrykk av at vegetasjonen er tørrere og resultere i overrepresentasjon av rabber i referansedataene. Det er også lettere å klassifisere deflasjonsrabber (vindutsatthet trinn 2), der vindvirkningen er så sterk at permanente plantesamfunn av flerårige arter ikke kan opprettholdes. Deflasjonsrabber kan kjennes igjen som lyse, grusdominerte områder på

høydedrag og rygger. Rabber som er mindre vindpåvirkede kan lettere forveksles med lavhei, da de har en del vegetasjon mellom grus og stein. Både rabber og fjell-lavhei er uttørkingseksponerte og kan derfor fysiognomisk fremstå som svært like på grunn av tørkestresset. Kun rabbene er kraftig vindutsatt og har derfor et knippe av spesialtilpassede arter, men dette kan det være vanskelig å se på flybilder.



Figur 40. Den viser den gradvise overgangen fra lavhei til rabbe, der referanseområde A er tolket som en klar deflasjonsrabbe, mens referanseområde B er tolket som rabbe med svakere vindvirkning. Referanseområde C er tolket som lavhei, men kan potensielt være en rabbe.

Med tanke på videre modellering av disse naturtypene har dette pilotprosjektet gitt veldig gode indikasjoner på hvor grensen mellom fjell-lavhei og rabbe skal trekkes. En enkel revisjon av referansedataene i siste fase av dette pilotprosjektet reduserte avviket signifikant og det kan åpenbart gjøres mer for å få et bedre samsvar. Flere referansedata som adresserer overgangen og supplement med feltsjekk og referansedata fra feltbefaring er det mest åpenbare.

Vi vil også fremheve at under tradisjonell feltkartlegging er trolig vurderingen av overgangen mellom rabbe og fjell-lavhei en av de som oftest tolkes ulikt av ulike kartleggere. Erfaringsmessig har noen kartleggere en tilbøyelighet til å tolke i retning av friskere utforminger og dermed kartlegger mindre arealer med fjell-lavhei, mens andre systematisk oftest oppfatter vegetasjonen som tørrere og i denne sammenhengen vil kartlegge større arealer med fjell-lavhei.



Figur 41. Rabbevegetasjon med vindutsatthet-indikatoren fjellpryd (den kompakte vinrøde arten nede til høyre i bildet) og fokklav på enkelte steiner som indikerer at området vanligvis ikke er snødekt om vinteren. Dette er ikke en deflasjonsrabbe, og det er lett å forveksle en slik overflate med fjell-lavhei. Foto: Geir Arnesen.



Figur 42. Fjell-lynghei i forgrunnen som går over i mer uttørkingsekspontert fjell-lavhei bakover i bildet. Kanskje er noen av de bakre ryggene vindeksponerte nok til å kalles rabbe. Modellen har i stor grad modellert slike uttørkingseksponterte areal som rabbe. Foto: Geir Arnesen.

5.4.3 Moderate snøleier og lesider i kalkrike miljø

I svært kalkrike miljø har moderate snøleier svært lik fysiognomi som lesider. Begge typene har et sammenhengende vegetasjonsdekke og i kalkrike områder er det mindre innslag av blåbærlyng i lesidene sammenlignet med mer kalkfattige miljø. Det foregår en utskifting av artsmangfoldet, men hvor grensen går mellom de to hovedtypene er vanskeligere å observere fordi en ikke kan basere seg på at den lett synlige sammenhengende lyngvegetasjonen i lesider tynnes kraftig ut mot de vekstsesong-reduerte miljøene i snøleiene. De kalkrike lesidene likner derfor mer på vegetasjonen i et moderat snøleie, og i dokumentasjonen av NiN-systemet er disse oppgitt som forvekslingstyper, da artsinventaret også er delvis overlappende. Avviket kan reduseres ved å fokusere mer på å skaffe mer referansedata fra kalkrike lesider.



Figur 43. Kalkrik leside på Kåfjordfjellet i forgrunnen og moderate snøleier lenger bak i bildet. Foto: Hilde Riksheim Tandstad.

5.4.4 Jordvannsmyr (V1), våtsnøleie (V6), kaldkilde (V4) og kildevannspåvirket moderat snøleie (T7)

De første resultatene etter validering mot feltdata indikerte temmelig store avvik når det gjelder disse våtmarkshovedtypene. Etter en revisjon av referansedataene og analyser av avvikene er det det klare forbedringer. En del utforminger av disse hovedtypene har også typisk lignende fysiognomi, og i praksis er det ofte vanskelig å avgjøre hvor grensene skal trekkes mellom dem, og om det er den ene eller den andre hovedtypen.

Til nå har det også vært liten erfaring med å kartlegge jordvannsmyr og kilder i fjellet, og i forbindelse med den siste revisjonen av referansedataene har det blitt tatt initiativ til faglige diskusjoner som har kastet lys på faktiske forhold som ikke var tatt inn i den gjeldende versjonen av NiN-systemet. At jordvannsmyr (V1) kan ha vekstsesongreduksjon er kanskje det viktigste som har kommet frem.



Figur 44. Dette området på aksla sør for Storbekkhøa har et stort område som har snøleiepreget våtmark. Mye av områdene er temmelig sikkert moderate utforminger av våtsnøleie (V6), men mange vil argumentere for at det også er noe jordvannsmyr (VI) med på bildet. Foto: Geir Arnesen.

Moderate utforminger av våtsnøleier og snøleiekilder kan på flybilder og under feltkartlegging være vanskelig å skille fra moderate snøleier og også jordvannsmyr (se figur 50). Disse typene kan ofte opptre i mosaikk og utgjør en betydelig del av samlekategoriene vi har kalt våtmarkskompleks i denne rapporten (se kapittel 3.1.2). Det godt potensial for at flere referansedata på denne typen vil redusere avvikene sammenlignet med gjennomsnittet av feltkartleggeres tolkning. Dette er likevel kanskje det avviket der det er aller mest aktuelt å samle en del av referansedataene i felt for å forbedre resultatene.

5.4.5 Fjellgrashei og grastundra T22 og forholdet til snøleier og fjellhei

Fjellgrashei og grastundra er en hovedtype der de gjeldende beskrivelsene i NiN er preget av kunnskapsmangel og noen feiloppfatninger. Dette har kommet tydelig frem gjennom arbeidet med FALK-fjell og andre prosjekter gjennom 2021 og 2022. Definisjonen og beskrivelsene av fjellgrashei blir kraftig revidert og forbedret i neste utgave av NiN. Vi skal ikke foregripe dette med beskrivelser i denne rapporten, men det er klart at fjellgrashei finnes i områder ovenfor lyngheiene i fjelle, og har kontakt og overgangsformer mot både snøleier (T7) og fjellhei, leside og tundra (T3). Det er derfor økologisk nærliggende uforminer i disse hovedtypene.

Det er også liten erfaring med naturtypen gjennom Miljødirektoratets kartleggingsprosjekter og følgelig lite kalibrering av kartleggere for hovedtypen. Området i Kåfjord i Troms som ble kartlagt i 2021 og er en del av valideringen mot feltdata som er gjennomført i dette prosjektet er trolig de første arealene som potensielt kunne ha fjellgrashei i denne typen kartleggingsprosjekter.

De mangelfulle beskrivelsene som kartleggerne måtte forholde seg til i 2021 førte trolig til at de svært kalkrike utformingene av fjellgrashei som finnes på Kåfjordfjellet i mange tilfeller ble tolket til å være de økologisk temmelig nærliggende utformingene kalkrike moderate snøleier.

Et lite egnet flyfoto skapte også noen systematiske feiltolkninger i referansedatanene av fjellgrashei i Trollheimen, og det var store avvik sammenlignet med feltdataene som ble samlet i samme område. I siste fase av prosjektet ble det utført noen enkle revisjoner og resultatene er nå forbedret som følge av dette. Dette kan en åpenbart forbedre mer ved å skaffe referansedata fra andre områder.



Figur 45. Område med relativt kalkfattig fjellgrashei fra fjellet Bønntuva i Troms. Slike arealer er ofte dominert av rabbesiv som på dette bildet, en art som gir en rødbrun farge til naturtypen. Foto: Geir Arnesen.



Figur 46. Fjellgrashei i nede del av mellomalpin sone på Kåfjordfjellet i Troms. Naturtypen har innslag av en del tørketolerante arter, samtidig som det er forekomst av flere arter som er assosiert med snøleier. Fjellgrashei kan være vanskelig å skille fra T3 i overgangen mellom lavalpin og mellomalpin sone, men T22 har lite innslag av lyngvekster. Også enkelte snøleier kan ha fysiognomisk likhet med noen utforminger av fjellgrashei (T22) Foto: Hilde Riksheim Tandstad.

5.5 Kommentarer til klassifisering av våtmarksområder i fjellet

Ett av målene med prosjektet er å vurdere hvor godt våtmarksområder i fjellet kan modelleres ved hjelp av metodene utviklet i FALK fjell. Feilmatrisen for klassifisering av hovedtype (tabell 7, kombinert for Esandsjøen og Trollheimen) viser en nokså høy nøyaktighet for våtmarkstypene. For V1 (åpen jordvannsmyr) er nøyaktigheten på 82 %. Åpen jordvannsmyr er en hovedtype som inneholder mye variasjon, der enkelte utforminger vil være lettere å gjenkjenne på flyfoto. Dette gjelder spesielt myrområder dominert av myrull (torvull og duskull), som har en fargesignatur som skiller seg tydelig fra andre naturtyper i fjellet. Slike myrer dekker store arealer i fjellet, og modellen har stort potensiale for å fange opp disse.

Det mest utfordrende med kartlegging og modellering av våtmark i fjellet er imidlertid å gjøre gode klassifiseringer i overgangssonene mot fastmark. Dette gjelder i hovedsak overgangene til kildepåvirkede moderate snøleier og kildepåvirkede lesider. Våtmark kan ha et svært variert preg på flyfoto, og typisk vil

bare de tydeligste våtmarksområdene bli brukt som referansedata, mens tvilstilfellene ikke blir brukt. Myrkantsområdene faller ofte utenfor i referansedataene fordi de kan minne om ulike typer av både våtmark og fastmark på flyfoto. Hvilken naturtype disse områdene blir klassifisert som vil gi store utslag i det modellerte kartet. Feilmatrisen kombinert for Esandsjøen og Trollheimen (tabell 7) viser at enkelte segmenter for V1 har blitt klassifisert som T7 (Snøleie), T3 (Fjellhei, leside og tundra), T22 (Fjellgrashei og grassnøleie) og ferskvann. De fleste feilklassifiseringene av V1 har likevel havnet innenfor våtmarkskomplekser. Dette er ikke en grov feilklassifisering, siden våtmarkskompleksene som regel inneholder partier med åpen jordvannsmyr.

Våtmarkskompleksene ble inkludert i metodikken for å fange opp kildepåvirkede våtmarksområder som inneholder mye variasjon. Selv om dette er heterogene områder som potensielt kan generere mye støy, viser resultatene at nøyaktigheten for våtmarkskompleksene er høy (91 %, basert på Trollheimen og Esandsjøen kombinert). Våtmarkskomplekser ble imidlertid ikke validert i felt, og for å konkludere ytterligere om slike områder bør det lages flere referanseområder, i tillegg til å oppsøke dem under feltvalideringen.

5.6 Referansedata: flybildetolkning versus punktmålinger i felt

5.6.1 Trening versus validering

Det er viktig å skille mellom to typer bruk av referansedataene: trening og validering. Til trening er det viktig at man har mange, representative eksempler av det man ønsker å klassifisere. Man ønsker å lage en så klassifisering som er så bra som mulig. Treningsdata trenger ikke å være riktig statistisk fordelt.

Valideringsdata har et annet formål: Den må kunne validere kvaliteten til klassifiseringen på en statistisk forsvarlig måte.

5.6.2 Samle inn treningsdata med flybildetolkning

Vi har opplevd en del utfordringer med bruk av flybildetolkning for å lage referansedata, men når en er klar over begrensninger og kan jobbe med egnede foto mener vi likevel at det er en bra metode. Alternativet er å bruke punktmålinger fra for eksempel ANO-registreringer. ANO-punktmålinger ligger i forhåndsbestemte rutenett og i hver rute som er utvalgt skal det måles 18 sirkler, hvert med en radius på 8,92 m (250 m²).

Å bruke flybildetolkning og fleksibelt utvalg for å lage referansedata har følgende typer fordeler:

- Overblikk
- Representative eksempler NiN

- Representative eksempler fjernmålingsdata
- Finner sjeldne naturtyper
- Definerte og fleksible referanseflater
- Kostnadseffektiv

Overblikk

Ved bruk av flybildetolkning kan man lete over store områder etter gode referansedata. Man er ikke låst til forhåndsbestemte områder. Hva vi mener med gode referansedata følger fra de neste punktene

Representative eksempler NiN

Til trening av klassifiseringsalgoritmene er det viktig å ha gode eksempler/utforminger av hver naturtype. Tilfeldig valgte punkt (ANO) vil ofte ligge i en overgang mellom ulike naturtyper eller bestå av en mosaikk av ulike naturtyper. I en slik registrering blir man tvunget til å velge en kategori, mens man egentlig ikke er helt sikker, evt. oppgi at arealet har flere naturtyper. Slike registreringer er ikke egnet til å trene opp klassifiseringsalgoritmer.

Representative eksempler fjernmålingsdata

Det er viktig at referansedataene er representative i fjernmålingsdataene som skal brukes. Bruker man for eksempel terrenginformasjon og fargeinformasjon fra flybilder i klassifiseringen, er det viktig at referansedataene er tatt i ulike områder i terrenget og i «fargerommet» fra flybildene. Hvis en naturtype forekommer både i flate områder og i skråninger, må en også sørge for å ha referansedataene i begge disse terrengsituasjonene. Hvis ikke en får til dette vil klassifiseringen trenes opp feil: at naturtypen kun blir modellert til å ha forekomster i flate områder eller i skråninger. Eksempelet er enkelt, men det blir komplisert når man bruker mange kartlag i klassifiseringen. Å bruke flybilder for å samle inn referansedata er bedre for å få dette til enn å registrere punkt i felt. Med flybildetolkning kan man ta hensyn til andre viktige kartlag (terreng, satellittindekser). Å samle inn nye referansedata der hvor en første klassifisering har tatt feil er også en måte å ta hensyn til representativitet. Slike iterative metoder er praktisk umulig å gjøre hvis man kun bruker tilfeldig utvalgte punkt i feltnålinger.

Finner sjeldne naturtyper

En del naturtyper er naturlig sjeldne og har få forekomster. Disse er nesten umulige å fange opp med tilfeldig utvalgte ANO ruter, selv om bruker stratifisering. Det vil kreve svært mange ekstra ruter for å sikre seg at man fanger opp alle sjeldne naturtyper. Flybildetolkning har som fordel at man kan lete over store områder etter sjeldne naturtyper, til en forholdsvis lav kostnad.

Definerte og samtidig fleksible referanseflater

Å registrere punkt/sirkler med fast størrelse er suboptimalt. Mange steder vil man ha heterogent innhold i sirkelen, som betyr at registreringen ikke er så egnet til å trene opp klassifiseringen. Andre steder vil man treffe større homogene områder. Der vil man kun ha en begrenset sirkel. Med flybildetolkning registrerer man valgfrie figurer. Er området homogent, så registrerer man et stort område. Det gjør at man enkelt skaper mye treningsdata der hvor det er mulig.

En annen fordel med flybildetolkning er at områdene har en selv valgt avgrensning. Det blir dermed ingen tvil senere om området virkelig var homogen og om hvor området stopper. I treningsprosessen har man da etter fleksibilitet å sample referansedataene etter behov. Bruker man 10 meter satellittdata kan man sample annerledes enn når man bruker segmenter basert på flybilder. Med ANO punktdata har man ikke den fleksibiliteten.

Kostnadseffektivt

Selv om vi ikke har et regnestykke på plass, mener vi at det ikke er noen tvil om at det er mer kostnadseffektivt å tolke referansedata fra flybilder enn utelukkende samle referansedata basert på feltarbeid. Det er også slik at man er mer fleksibel med flybildetolkning. Arbeidet kan gjøres utenom feltsesongen og kan gjøres i deltid: man trenger ikke å reservere hele dager/uker for arbeidet, men kan gjøre det når det passer.

Det krever heller ikke dyrt utstyr (nøyaktig GPS). Det er også kostnadseffektiv fordi man alltid kan «gå tilbake» til området for kontrollere ting eller for å plukke ut noen ekstra referanseflater.

Tilegne egenskapsdata til forhåndsdefinerte homogene segmenter i felt

I dette prosjektet ble det samlet feltdata til bruk for validering ved å tilegne egenskapsdata til de forhåndsdefinerte segmentene som brukt i klassifiseringen (se kapittel 4.5). På lignende vis kan en tenke seg å samle referansedata i felt på en effektiv måte som et supplement til de fototolkede referanseområdene.

5.6.3 Valideringsdata

Flybildetolkning kan også brukes for å samle inn referansedata til validering, men det er noen ulemper:

- Å velge ut referansedata selv i flybilder gjør at valideringen ikke er statistisk forsvarlig.
- Å velge ut homogene områder gjør at valideringen kun gjelder for andre homogene områder. Den kan også gjelde for heterogene områder, men det kan man ikke uttale seg om.

- Flybildetolkning kan gi bias /systematiske avvik.

5.7 Kartlegging av fjellområder i hele landet

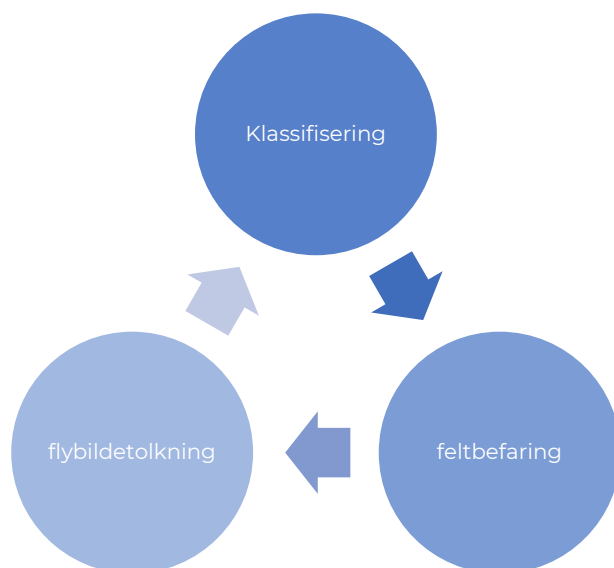
5.7.1 Generelle betraktninger rundt en oppskalering

Resultatene fra fjernmåling viser at metoden er robust nok for oppskalering til hele landet. At man kan bruke referansedata på kryss og tvers av store områder, uten at nøyaktigheten i klassifiseringen går ned, vil gjøre det vesentlig enklere å skalere opp metoden enn først antatt.

Praktiske saker rundt prosessering av fjernmålingsdataene har allerede blitt beskrevet i FALK1 rapporten og vi har ikke møtt noen nye hindringer i dette oppfølgende prosjektet. Heller tvert imot: noen forenklinger i bruk av flyfoto/ortofoto i dette prosjektet gjør at prosessering på nasjonalt nivå blir enklere enn vi skisserte i FALK1 rapporten.

De to FALK-fjell prosjektene har gitt svært nyttige erfaringer om hva som fungerer og hva en må passe på i ulike faser av kartproduksjonen. Basert på disse erfaringene foreslår vi en arbeidsflyt for å generere og kvalitetssikre referansedata basert på flyfototolkning som vi mener er hensiktsmessig og vil gi de beste resultatene.

Det virker klart at arbeidet med en nasjonal kartmodell over fjellområder må være en iterativ prosess som består av de tre elementene; flybildetolkning, klassifisering, og feltbasert validering (Fig. 46).



Figur 46. Flyttdiagram som skisserer foreslått arbeidsflyt for å oppnå best mulig resultater ved modellering av naturtyper.

En slik iterativ løsning er mulig å gjennomføre fordi:

- Prosessering og klassifisering av områder er sterkt automatisert og kan gjentas mange ganger uten store kostnader
- Referansedata fra flybildetolkning kan gjøres over større områder (dataene er overførbare over større områder). Dermed står man friere å velge områder som har gode flybilder, og som ligger gunstig til for feltbesøk.

5.7.2 Generere referansedata ved tolkning av flybilder

Det naturlige er å starte med å generere referansedata ved basert på flybildetolkning. Som utgangspunkt bør en bruke flybilder med lite snø, men uten høstfarger i vegetasjonen. I praksis vil det i de fleste tilfeller si bilder fra siste halvdel av august. I år med lite snømengder kan noe tidligere opptaksdato også være aktuelt, mens i svært snørike år kan det hende at det ikke er egnede flyfoto. Bildematerialet bør ha oppløsning 20 cm, det vil si flybilder som er tatt opp de siste 5-6 år.

5.7.3 Klassifisering

Før en gjør feltarbeid er det nødvendig å gjøre et første forsøk på klassifisering ved bruk av modellen som er utviklet i pilotprosjektene er neste trinn i prosessen. Resultatene fra dette første utkastet må så evalueres. Det gjøres både ved visuell sjekk mot kart og flybilder og med statistikk og ikke minst ved validering med feltbesøk.

5.7.4 Validering (feltarbeid og visuell sjekk av kartresultatet mot flybilder.

Ekte validering foregår ved feltarbeid. Metoden er at en beveger seg igjennom terrenget og klassifiserer de samme segmentene som brukes i modelleringen ved bruk av egnet GIS-applikasjon på nettbrett. Feltarbeidet bør planlegges slik at en kan oppsøke områder med referansedata generert fra flybildetolkningen. Referansedataene kan da oppsøkes i felt og kontrolleres direkte, i tillegg til at en kan generere et valideringsdatasett med klassifikasjoner med feltkontrollerte segmenter. Når en har fått avklaringene i felt kan det også være aktuelt å gjøre en del iterasjoner der en validerer kartresultatet mot flyfoto og gjør nye klassifiseringer. Segmenter som er klassifisert via feltarbeid kan også inngå som referansedata i modellen. Dette kan være aktuelt for naturtyper som er spesielt krevende å modellere og som generelt har en liten arealmessig utbredelse.

5.7.5 Slutføring

Iterasjonene må fortsette til en er fornøyd med resultatet. Anslagsvis virker 2-3 fulle iterasjoner som et sannsynlig utfall for å få et landsdekkende kart av en kvalitet som er fornuftig. Noen flere iterasjoner uten feltarbeid med fokus på vanskelige

overganger er aktuelt og noen særegne og sjeldne naturtyper krever kanskje spesiell innsats.

En konsekvens av en slik iterativ prosess er at den må ha romslig med tid tilgjengelig. Som et minimum må det være anledning til å utføre flyfototolkning i forkant og oppsøke fjellområder fysisk i løpet av to sesonger gjennom prosjektperioden. I tillegg må det være rimelig tid til justeringer og slutføring i etterkant.

6 KONKLUSJON

FALK-fjell er et pilot-prosjekt for å avklare hvorvidt kvaliteten på fjernmålte data har blitt så bra at en faktisk kan drive naturkartlegging på et fornuftig nivå etter NiN-natursystem i ikke-tresatte naturområder slik som hovedøkosystem fjell. For å få denne avklaringen måtte en starte prosessen med å samle referansedata og gjøre grovarbeidet med å lage en modell. Modellen måtte foredles såpass at den med overveiende sannsynlighet indikerer at videre foredling vil gi de resultatene en ønsker. Alternativt måtte det avklares med rimelig sikkerhet at en ikke ville få tilfredsstillende resultater.

Resultatene viser nå etter tester i tre ulike områder og en iterasjon med forbedringer etter gjennomført validering mot felldata at det for alle vanlig forekommende hovedtyper i fjellet vil være mulig å lage landsdekkende kart for fjellområder.

Flybildetolkning er en effektiv måte å lage referansedata over større områder. Resultatene viser også at referansedataene kan overføres mellom ulike geografiske områder. Feltvalideringen har vist at det er en viss risiko for feiltolkning av naturtyper i flybilder. Kvaliteten til flybildene er en faktor som i stor grad påvirker denne risikoen. En annen faktor er manglende lokal erfaring med enkelte hovedtyper. Dårlig kvalitet på flybilder vil ikke generere problemer av betydning. Siden referansedataene er overførbare over større avstander kan man velge ut områder for bildetolkning der hvor man har flybilder med god kvalitet. Manglende lokal erfaring kan løses ved å planlegge for feltbesøk i utvalgte områder når en skal lage et nasjonalt kart.

En eventuell nasjonal kartlegging bør gjennomføres som en iterativ prosess: I stedet for å ha en lineær prosess med flybildetolkning – klassifisering – feltvalidering vil en iterativ prosess gi mulighet til å eliminere systematiske feil og «tune» modellen korrekt i vanskelige overganger. Kartene vil ha en sannsynlighet som konkurrerer med den en aksepterer i forbindelse med feltkartlegging, og mulighet for å kvantifisere, lokalisere og visualisere sannsynlighet og alternativt valg for naturtyper. Kostnadsnivået forbundet med å lage landsdekkende kart for fjellområder er svært akseptabelt sammenlignet med feltkartlegging.

ORDLISTE

CNN	Convolutional Neural Network
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terreng Modell
GSD	Ground Sampling Distance (~pikselstørrelse)
KI	Kildevannspåvirkning
k-NN	k Nearest Neighbor
LKM	Lokale Komplekse Miljøvariabler
NB	Naive Bayes
NDH	Nasjonal Detaljert Høydemodell
NDSM	Normalized Digital Surface Model
NiN	Natur I Norge
NN	Neural Network (Nevralt nettverk)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
RGB	Rød-Grønn-Blå («vanlige» farger i et fargebilde)
SV	Snødekkebetinget vekstsesongreduksjon
SVM	Support Vector Machine
UF	Uttørkingsfare
VI	Vindutsatthet

REFERANSER

Gao, Bo-Cai. "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space." *Remote sensing of environment* 58.3 (1996): 257-266.

Eriksen, Eva Lieungh, et al. "Point of view: error estimation in field assignment of land-cover types." *Phytocoenologia* 49.2 (2018): 135-148.

Groesz, F., Arnesen, G., og Rostad, S. 2020. Fjernmåling av landøkologiske kart – Prosjektrapport. M-1787. Miljødirektoratet.

<https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1787/m1787.pdf>

Halvorsen, R., medarbeidere og samarbeidspartnere, 2016. NiN – typeinndeling og beskrivelsessystem for natursystemnivået. – *Natur i Norge*, Artikkel 3 (versjon 2.1.0): 1–528 (Artsdatabanken, Trondheim; <http://www.artsdatabanken.no>.)

Ullerud, HA, Bryn, A, Halvorsen, R, Hemsing, LØ. Consistency in land-cover mapping: Influence of field workers, spatial scale and classification system. *Appl Veg Sci*. 2018; 21: 278– 288. <https://doi.org/10.1111/avsc.12368>