

Magnus Guttormsen

Gjenfinning av sau ved hjelp av drone

Masteroppgave i Informatikk

Veileder: Svein-Olaf Hvasshovd

Desember 2019

Magnus Guttormsen

Gjenfinning av sau ved hjelp av drone

Masteroppgave i Informatikk
Veileder: Svein-Olaf Hvasshovd
Desember 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for datateknologi og informatikk

Abstract

Every autumn, sheep farmers all over Norway collect the sheep that have been grazing. This is a time-consuming process where they get help from family, friends and hikers to locate and move the sheep back to the farm. Localization is either by means of tracking equipment that the sheep is equipped with before grazing, or by the exploration crew scouring the terrain looking for clues and listening for bells. Most sheep can be found quickly since they are equipped with tracking technology and bells, but the last 10% can take weeks to find. Although huge amounts of time and resources are used, there are often 10-20 sheep and lambs that are not found and die when winter comes.

In this study we first look at the theory of drone usage. We see that regulations and other air traffic provide strict guidelines on how to use drones and using them in a commercial context requires a lot of paperwork. By looking at previous studies and which equipment is available, we have found potential solutions for recognizing sheep in images and IR-data.

In the experimental stage we test the theory and our hypotheses in practice. For us this involves using a combination of IR-sensors and cameras on the drone to collect data on how sheep are represented in bird's eye view. The data we collect is analyzed by proprietary software to make it readable to humans.

By doing systematic measurements of sheep on fields and in mountains we find that the temperature of sheep is similar to the temperature in the air, which provides a good starting point for further development of algorithms to automatically localize sheep out in the field.

Sammendrag

Hver høst må sauebønder over hele Norge hente inn sauene som har vært på beite. Dette er en tidkrevende prosess hvor de får hjelp av familie, venner og turgåere for å lokalisere og drive sauene til gården. Lokalisering foregår enten ved hjelp av sporingsutstyr som sauene blir utstyrt med før de drar ut på beite, eller ved at letemannskapet saumfarer terrenget og leter etter spor eller lytter etter bjeller. 90% av sauene går raskt å finne siden mange av de er utstyrt med sporingsteknologi og bjeller, men de siste 10% kan ta ukesvis å finne. Selv om det brukes enormt mye tid og ressurser er det ofte 10-20 sau og lam som ikke blir funnet og som dør når vinteren kommer.

I denne studien ser vi først på teori rundt bruk av drone. Vi ser at regelverk og øvrig lufttrafikk setter strenge føringer for hvordan man kan bruke droner, og bruk i kommersiell sammenheng krever mye papirarbeid. Ved å se på hvilke studier som er gjort tidligere og hvilket utstyr som er tilgjengelig har vi funnet potensielle løsninger for å kjenne igjen sau i bilder og IR-data.

I det eksperimentelle stadiet prøver vi ut teorien og våre hypoteser i praksis. For oss innebærer det å bruke en kombinasjon av IR-sensor og kamera på dronen for å samle data om hvordan sau blir representert i fugleperspektiv. Dataen vi samler blir analysert av egenutviklet programvare for å gjøre den lesbar for mennesker.

Ved å gjøre systematiske målinger av sau på jorder og ute i terreng finner vi at temperaturen på sau følger temperaturen i luften, noe som gir et godt utgangspunkt i videre utvikling av algoritmer for å automatisk finne sau ute i terreng.

Forord

Denne masteroppgaven ble skrevet vår og høstsemesteret i 2019 for å fullføre en mastergrad i informatikk fra *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet*, med spesialisering i Programvaresystemer. Arbeidet ble veiledet av Professor Svein-Olaf Hvasshovd som jobber for *Institutt for datateknologi og informatikk*.

Først ønsker jeg å takke Professor Svein-Olaf Hvasshovd for hjelp og veiledning igjennom hele prosjektet. Tusen takk for gode diskusjoner, turer til Storlidalen for å gjøre målinger i felt, med tilhørende middag og omvisning i området. Det har vært et svært lærerikt år hvor vi har gjort mye viktig, og ikke minst morsom jobb sammen.

Ønsker også å takke sauebøndene som har gjort det mulig for oss å samle data ved å stille sauene og tiden sin til disposisjon. En spesiell takk til Anne-Kari Snefjellå som også har svart på mange spørsmål om sau igjennom hele året.

Til slutt ønsker jeg å takke alle dere som har korrekturlest rapporten og gitt meg støtte og innspill underveis.

Magnus Guttormsen

r

Forkortelser

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast.
BCS	Body Condition Score.
BLOS	Beyond Line Of Sight.
CSV	Comma Separated Values.
EVLOS	Extended Visual Line Of Sight.
GPS	Global Positioning System.
IPPC	Internet Pilot Planning Center.
JPEG	Joint Photographic Experts Group.
JPEG-R	Radiometric Joint Photographic Experts Group.
LIDAR	Light Detection And Ranging.
MTOM	Maximum Take Off Mass.
NB-IOT	Narrowband Internet Of Things.
NFZ	No Fly Zone.
NOTAM	Notice To Airmen.
NSM	Nasjonal Sikkerhetsmyndighet.
RFID	Radio Frequency Identification.
RO	RPAS-Operatør.
RPA	Remotely Piloted Aircraft.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle.
VLOS	Visual Line Of Sight.

Innhold

1	Introduksjon	2
1.1	Motivasjon og bakgrunn	2
1.2	Prosjektbeskrivelse	3
2	Teori	4
2.1	Introduksjon	4
2.2	Sensorer og fremgangsmåter	4
2.3	Valg av drone	12
2.4	Eksisterende løsninger	17
2.5	Valg av utstyr	21
2.6	Litteraturstudie	23
2.7	Bruk av drone	26
2.8	Løsning	37
2.9	Teknisk plan for programvare	43
3	Eksperiment	50
3.1	Test på hustak	50
3.2	Kalibrering av transformasjonsalgoritme	53
3.3	Hvilken høyde skal vi fly på	55
3.4	Når på døgnet skal vi fly	56
3.5	Stereokamerakalibrering	56
3.6	Gjenfinning av kyr	61
3.7	Eksperiment i Storlidalen 21.–22. august 2019	62
3.8	Eksperiment i Storlidalen 20.–22. september 2019	65
3.9	Vår programvare, Anvil	66
4	Resultater	69
4.1	Test på hustak	69
4.2	Kalibrering av transformasjonsalgoritme	69
4.3	Stereokamerakalibrering	71
4.4	Gjenfinning av kyr	74
4.5	Storlidalen 21.–22. august	78

5	Diskusjon	81
5.1	Problemer med DJI	81
5.2	Kalibrering av transformasjonsalgoritme	86
5.3	Stereokamerakalibrering	88
5.4	Når på døgnet vi skal fly	89
5.5	Temperaturdata	90
6	Konklusjon	92
7	Videre arbeid	94
7.1	Lovverk	94
7.2	Fastvingedrone	94
7.3	Høyoppløselig IR-sensor	94
7.4	Stereokamerakalibrering	95
	Bibliografi	95
	Figurer	100
	Tabeller	102
A	Tilleggsresultater	105
A.1	Storlidalen 21. august feltlogg	105
A.2	Storlidalen 20.–22. september feltlogg	114
A.3	Storlidalen resultater	125

1 Introduksjon

1.1 Motivasjon og bakgrunn

Hver høst henter bønder over hele Norge sauene sine fra beite. Dette er en tidskrevende jobb som involverer flere runder med søk over store områder. Bonden starter jobben med å gå i områdene sauene har beitet i tidligere, før han selv og frivillige driver sauene tilbake mot gården. Jobben med å drive de tilbake kan gå over flere dager og krever mange mann for å unngå at flokken deler seg. Når flokken er hentet inn er det noen sau som har gjemt seg unna. De er ofte vanskelige å finne siden de gjerne ligger i busker og kratt. De kan være utstyrt med bjelle som gjør at man kan høre de på mellom 500 – 1000m avstand, men det er uansett en tidskrevende oppgave da sauene fort kan bevege seg 10 – 15 km fra gården, noe som gjør at det blir store områder som må ettersøkes, gjerne flere ganger for å finne alle. For bonden tilsvarer dette opp mot 90% av jobben med å finne sauene. Turgåere melder ofte fra til en bonde om de hører eller ser sau, men bonden vet ikke om det er hans sau før han ser øremerket på sauene.

Verdien på en voksen søye ligger på omtrent 2500 – 3000 kr [1] så den er følgelig ikke høy, men når et antall sau forsvinner kan totalbeløpet bli stort. Et av de største problemene for bonden er derimot dyrevelferden. Sau er lette bytter for rovdyr, i tillegg til den norske vinteren. Bønder ønsker å unngå at dyrene lider, som er grunnen til at de er villige til å bruke så mye tid og krefter på å finne dyrene igjen.

Målet vårt er å lage en løsning som kan hjelpe bonden med å søke etter bortkomne sau. Som vi har nevnt er ikke verdien på sau høy, som setter begrensninger rundt kostnaden på løsningen.

1.2 Prosjektbeskrivelse

I denne masteroppgaven skal vi undersøke hvordan vi kan finne igjen bortkommen sau på beite automatisk ved hjelp av drone. Dronen skal fly i en pre-programmert rute og kontinuerlig ta bilder av bakken med både termisk og visuelt kamera. Bildene som tas analyseres om bord på dronen og når den identifiserer sau så får operatøren et varsel med bilde og GPS koordinater til punktet dronene finner sau. Sauen identifiseres ved hjelp av en algoritme som bruker sammensatt data fra både det termiske bildet og det visuelle bildet, slik at vi eliminerer falske positive.

2 Teori

2.1 Introduksjon

I dette kapitlet skal vi undersøke problemstillingen vår teoretisk. Vi skal blant annet definere hva en sau er, se på hvilke sensorer vi kan bruke, hvilke droner som er aktuelle, hvilke løsninger som allerede eksisterer og foreslå en løsning vi skal lage før vi går videre på den eksperimentelle delen og prøver ut dette i praksis.

I Norge er det ca. 19 forskjellige saueraser [2], noe som betyr at det er 19 sett med særtrekk. Siden vi ønsker å finne sau generelt, og ikke en spesifikk rase av sau, simplifiserer vi hva en sau er til følgende: En fullvoksen sau er et dyr som har en størrelse på omtrent 140cm x 40cm x 50cm. Hele sauene bortsett fra ansiktet er dekket av ull med fargene hvit/grå, brun, svart eller en kombinasjon. Sauene har en temperatur som normalt ligger mellom 38,5 og 40 grader [3]. Det går ca. 2,1 million sauer og lam fritt på beite i sommerhalvåret, enten ved kysten eller på fjellet. På vinteren blir bestanden slaktet ned til ca. 1,1 million og tatt inn i fjøs. Sauene produserer kjøtt og ull hvor kjøtt står for 3/4 av inntektene [4].

2.2 Sensorer og fremgangsmåter

2.2.1 Introduksjon

Dersom en datamaskin skal gjenkjenne sau trenger den en eller flere sensorer. Sensoren(e) vil være montert på dronen så det stiller krav til vekt, størrelse og strømforbruk. Det er viktig at sensoren(e) er i stand til å gi gode data selv fra lang avstand slik at vi får dekket et så stort område som mulig. Illustrasjon 2.1 viser hvordan systemet fungerer. Budsjettet til en bonde er begrenset så kostnaden på utstyret kan ikke bli for høyt.

Vi har vurdert følgende kriterier:

- Pris. Det må være mulig for en bonde å kjøpe utstyret.
- Tilgjengelighet. Får vi tak i utstyret?
- Brukervennlighet. Klarer bonden å bruke det?



Figur 2.1: *Illustrasjon av drone som analyserer et område todimensjonalt. Et eksempel kan være et kamera.*

2.2.2 Kamera og bildeanalyse

Bildeanalyse har vært prøvd i tidligere masteroppgaver for å gjenkjenne sau, men kan også brukes innen autonome biler for å detektere kjørebaneer ved hjelp av linjedeteksjon. Løsningen består av å se på samlinger av farger med størrelse lik en sau. Det fungerer bra for hvite sau, men ikke tilfredsstillende for brune eller svarte sau. Dette er fordi det skapes skygge rundt sauene, slik at de svarte sauene ser større ut enn forventet siden vi ser en svart flekk med en svart skygge, og på den måten lures algoritmen til å tro at sauene og skyggen er samme objekt, som er for stort til å være en sau. For brune sau er problemet at landskapet på høsten også blir brunt, slik at sauene går i ett med bakken og omgivelsene rundt.

Tabell 2.1: *Oppfyllelse av kriterier for sensor — kamera og bildeanalyse.*

Hva	Kommentar
Pris	Fra 3 500 kr.
Tilgjengelighet	God. Billig utstyr gjør at det er lett å få tak i.
Brukervennlighet	God. Kan sende bilder kontinuerlig til bakken eller lagre på minnekort for analyse i ettertid med GPS informasjon.

2.2.3 Kamera og maskinlæring

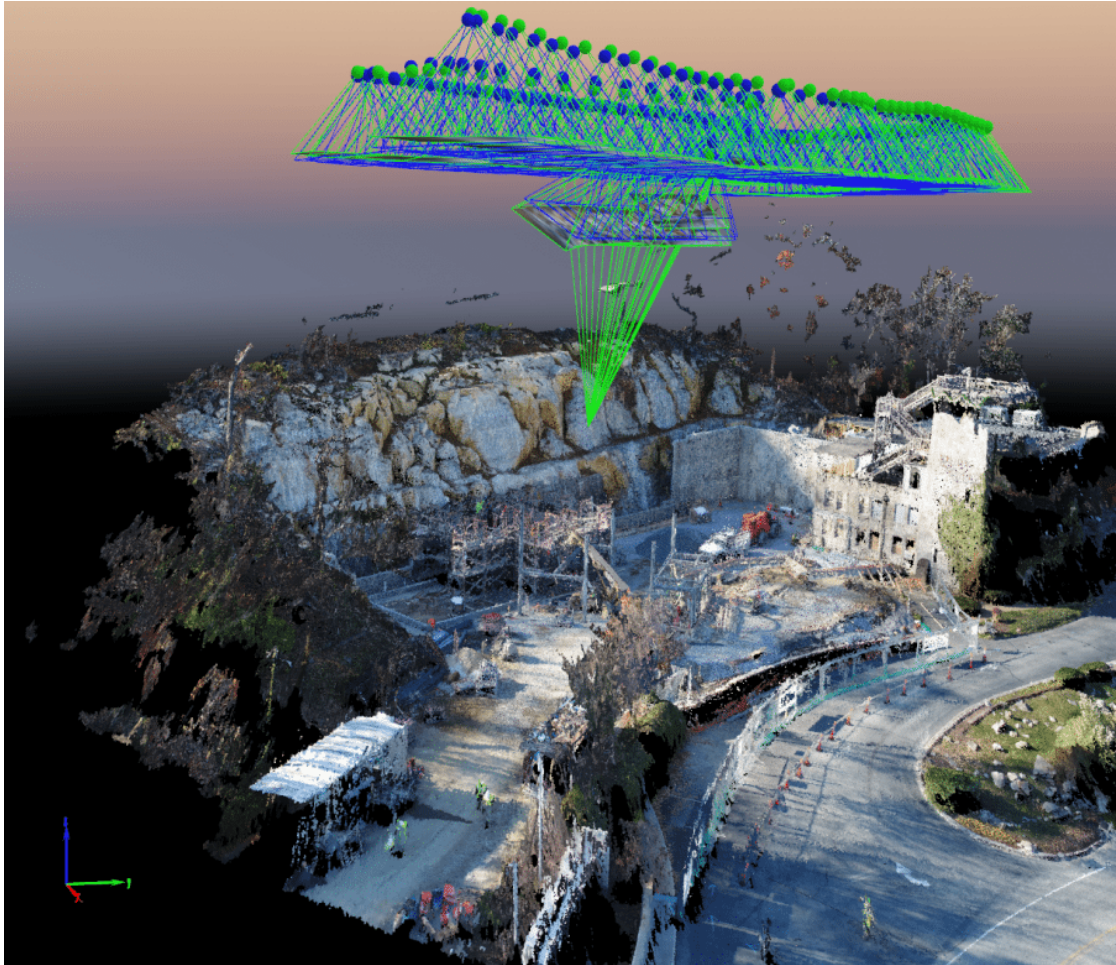
Maskinlæring er en løsning som har vært testet i tidligere masteroppgaver [5]. Maskinlæring er objekt-deteksjon hvor en algoritme klassifiserer objekter ved hjelp av modeller som for eksempel kan være bygd på nevrologiske nettverk. For å generere en modell som kan detektere sau kreves det store mengder bilder (minst 1000) av sau som er merket. Resultatene av de tidligere forsøkene ble lik bildeanalyse ved at hvit sau var enkle å finne, mens brune og svarte sauer var vanskeligere. Selv med gode initielle resultater er det ikke nok bilder med varierende lys og av sau som ikke er hvit.

Tabell 2.2: *Oppfyllelse av kriterier for sensor — kamera og maskinlæring.*

Hva	Kommentar
Pris	Fra 3 500 kr.
Tilgjengelighet	God. Billig utstyr gjør at det er lett å få tak i.
Brukervennlighet	God. Kan sende bilder kontinuerlig til bakken eller lagre på minnekort for analyse i ettertid med GPS informasjon.

2.2.4 Fotogrammetri

Fotogrammetri er en metode hvor man bruker data fra flere bilder til å lage en tredimensjonal punktsky av et område eller et objekt. Dette krever mange bilder tatt fra forskjellige vinkler for å oppnå en punktsky med høy oppløsning. Ideen vår er å lage en punktsky av et område vi vet ikke inneholder sau, når vi så skal lete etter sauen på høsten lager vi en ny punktsky av samme område. Hvis vi så sammenligner de to modellene kan vi fjerne landskapet og kun sitte igjen med differansen, som er dyrene. Vi kan se en illustrasjon av hvordan en 3D-modell generert ved hjelp av fotogrammetri i illustrasjon [2.2](#).



Figur 2.2: *Illustrasjon av hvordan fotogrammetri kombinerer flere bilder til en 3D-modell, med grafikk for å vise hvor bildene ble tatt og hvilken vinkel de ble tatt fra [6].*

Når denne metoden ble undersøkt identifiserte vi følgende problemer:

- Det kreves et høyt antall bilder for å generere en punktsky.
- Bildene må være detaljrike for at det skal være mulig å generere punkter.
- Lysforhold vil påvirke hvor detaljrike bilder man får, og dermed påvirke punktskyen som blir generert. Her vil foreksempel skygger være ødeleggende da de skaper andre farger i bildene.
- Det kreves mye regnekraft for å generere en punktsky fra bilder.
- Det kreves mye regnekraft for å detektere et objekt i en punktsky. Bilder bruker ofte egen maskinvare som er spesiallaget for kunstil intelligens for dette.
- Sauen kan bevege seg før vi er ferdige med å ta bilder fra alle vinkler slik at vi ikke klarer å generere en korrekt punktsky.

Tabell 2.3: *Oppfyllelse av kriterier for sensor — kamera og fotogrammetri.*

Hva	Kommentar
Pris	Fra 3 500 kr.
Tilgjengelighet	God. Vanlig kamera gjør det enkelt å få tak i.
Brukervennlighet	Dårlig. Krever mye flytid, krever gode værforhold og mye regnekraft.

2.2.5 LIDAR

LIDAR fungerer ved å sende en laserstråle mot bakken og måle tiden det tar før lyset returnerer, for på den måten å kalkulere avstand mellom drone og bakke. LIDAR har gode egenskaper for penetrering av vegetasjon og er uavhengig av dagslys for å fungere. En illustrasjon av hvordan en drone med LIDAR ville se ut finner man i figur 2.3, og illustrasjon av hvordan slik data kan se ut visualisert finner vi i figur 2.4.

Tabell 2.4: *Oppfyllelse av kriterier for sensor — LIDAR.*

Hva	Kommentar
Pris	Minst noen titalls tusen.
Tilgjengelighet	Dårlig. Fant ingen tilgjengelig.
Brukervennlighet	Middels. Gir oss en høyoppløselig punktsky, men krever mye regnekraft.

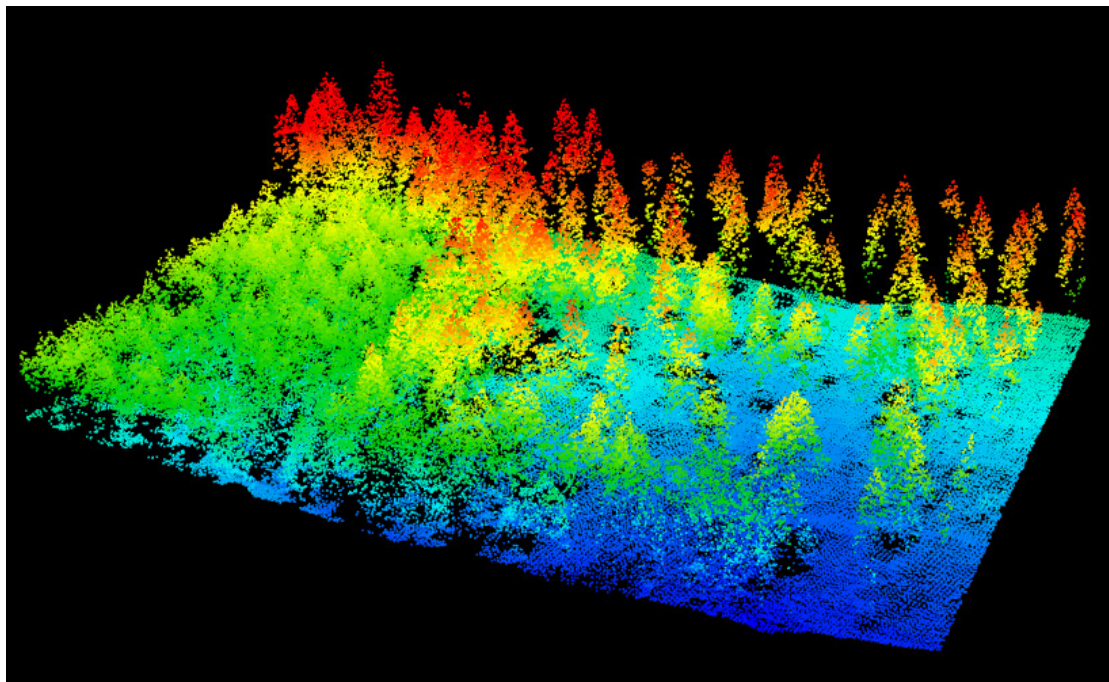
Vi forutså følgende problemer:

- Hvordan skulle vi analysere data? 3D-objekt analyse er komplisert med lite forskning fra fugleperspektiv. På grunn av høyt antall målepunkter er det grunn til å tro at det er ressurskrevende å analysere.
- Vi fant ikke noen på NTNU som hadde en LIDAR å låne bort. Vi kontaktet selskapet Maritime Robotics i Trondheim. De stilte seg positive, men deres LIDAR var enda i bestilling.
- Størrelsen på en LIDAR gjør det vanskelig å montere denne på en drone som er liten og lett nok til at vi kunne fly den uten drone sertifikater, noe som uansett ville satt begrensninger på vår mulighet til å drive datainnsamling.

Siden LIDAR-en til *Maritime Robotics* var i bestilling så utgikk dette alternativet da det ikke er mulig å gjennomføre i tidsperioden vi hadde tilgjengelig.



Figur 2.3: *Illustrasjon av drone som analyserer en linje. Et eksempel på dette kan være LIDAR som samler data.*



Figur 2.4: *Illustrasjon av hvordan data fra LIDAR kan se ut visualisert. I dette eksempelet er det et skogsområde hvor data er samlet fra drone [7].*

2.2.6 IR-sensor

Termiske bilder har tidligere vært testet på rådyr med suksess. Testene har vært gjort for å se om man klarer å identifisere dyr manuelt ved bruk av fargepaletter for å markere varme områder [8]. En IR-sensor leser varmestråling og representerer dette ved en fargepalett hvor en farge tilsvarer en gitt temperatur. I figur 2.5 kan vi se et eksempel på slike paletter med 256 forskjellige farger.

Hovedproblemet med IR-sensorer er at de har lav oppløsning og er kostbare. Lav oppløsning gjør det vanskelig å automatisere gjenkjennelsen av dyr, men det kan gi en oversikt over hvor det er varme områder som bonden kan vurdere å søke i.

Tabell 2.5: *Oppfyllelse av kriterier for sensor — IR-sensor.*

Hva	Kommentar
Pris	Fra 6 500 kr.
Tilgjengelighet	Middels. Vi klarer å få lånt en, men de høyoppløselige er dyre å kjøpe.
Brukervennlighet	Middels. Generelt lav oppløsning selv på dyre modeller, men gir god data ut som vi kan analysere.



Figur 2.5: Eksempel på fargepalett, [9]. Venstre side representerer kaldt område og høyre side representerer varmt område. Brukes for å visualisere temperaturdata fra IR-sensor slik at det blir enklere å tolke det for et menneske.

2.2.7 Kombinert kamera og IR-sensor

En kombinasjon av kamera- og IR-sensor kan gi oss informasjon om varme områder, samtidig som det kan gi et høyoppløselig bilde av det varme området. Denne informasjonen kan så analyseres sammen slik at vi først kan bruke IR-sensoren for å bestemme at et område er interessant, for så å verifisere funnet med vanlig kamera. I tillegg til verifisering av om det er sau kan vi også avkrefte funn av varme steiner eller bakke som ser ut som sau, men som ikke har varmen til sau.

Tabell 2.6: Oppfyllelse av kriterier for sensor — kombinert kamera og IR-sensor.

Hva	Kommentar
Pris	Fra 6 500 kr
Tilgjengelighet	God, lagervare hos flere droneimportører.
Brukervennlighet	God. Enkle å fly og gir både vanlig bilde og temperaturbilde som vi kan analysere

2.2.8 Sammenligning av sensorer

I tabell 2.7 ser vi de forskjellige metodene og sensorene sammenlignet. Pris, tilgjengelighet og brukervennlighet er vurderingskriteriene. Kamera med bildeanalyse og maskinlæring gir ikke gode nok resultater, høydedata fra fotogrammetri og LIDAR er vanskelig å analysere, IR-sensor har for dårlig oppløsning. Vi sitter da igjen med en kombinert sensor som inneholder både kamera og IR-sensor. Denne kombinasjonen gir oss et godt datagrunnlag

som samtidig er håndterbart å analysere. Det er i tillegg lagervare hos mange bedrifter i motsetning til LIDAR som er spesialutstyr.

Kombinert IR-sensor og kamera har ikke mulighet til å kjenne igjen eieren av sau den finner, så det vil være naturlig at bønder som bruker samme beiteområde bruker en felles drone og samarbeider om å søke etter sau. Dette gjør at bøndene kan dele på både investerings- og drifts-kostnadene en drone medfører.

Tabell 2.7: *Sammenligning av sensorer for gjenfinning av sau.*

	Pris	Tilgjengelighet	Brukervennlighet	Kommentar
Bildeanalyse	Fra 3 500 kr	God	God	Fungerer dårlig i praksis
Maskinlæring	Fra 3 500 kr	God	God	For få bilder
Fotogrammetri	Fra 3 500 kr	God	Dårlig	Krever mye regnekraft
LIDAR	Ukjent	Dårlig	Middels	Vanskelig å bruke i praksis
IR-sensor	Fra 6 500 kr	Middels	Middels	Dårlig oppløsning
Kamera og IR-sensor	Fra 6 500 kr	God	God	Gir godt datagrunnlag

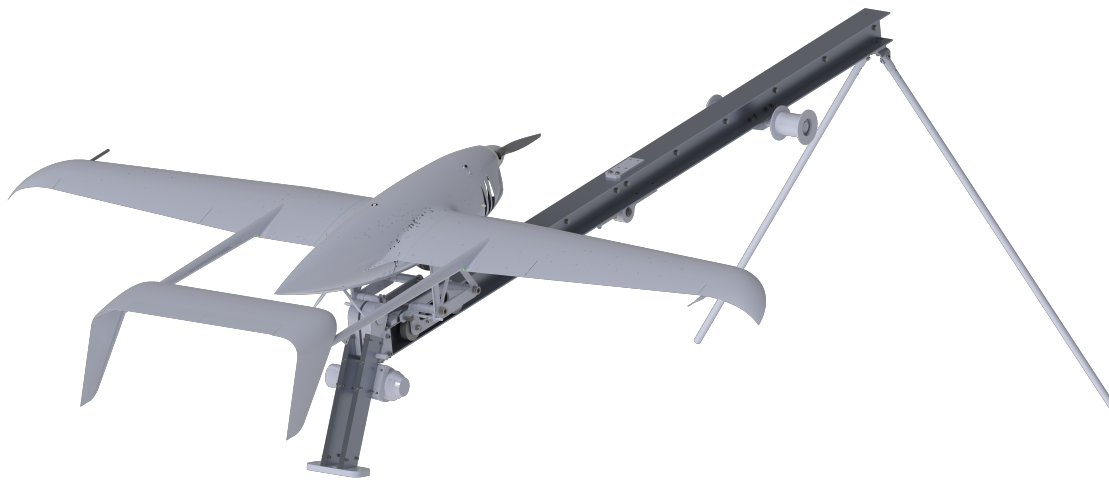
2.3 Valg av drone

Drone og UAV er en fellesbetegnelse for en flyvende, fjernstyrt og ubemannet farkost. De eksisterer i sivil form hvor formålet ofte er å ta bilder/film, eller frakte analyseverktøy for landmåling eller landanalyse. I tillegg til disse profesjonelle områdene, brukes de i stor grad for rekreasjon både innenfor fjernstyrt luftsport og fotografering. I tillegg til sivile formål eksisterer de også i militær form for rekognosering, men de kan også være våpenbærende. I dette kapittelet skal vi diskutere disse tre kategoriene av droner:

- Fastvingedrone
- Helikopterdrone
- Multikopterdrone

2.3.1 Fastvingedrone

En fastvingedrone er en drone som typisk ser ut som et normalt fly med bredt vingespenn. Fordelen med vinge er at de er energieffektive og kan derfor fly over lang tid. Motorene er ofte elektrisk, men det er også mulig å bruke drivstoffmotor, noe som gjør at man slipper å bruke lang tid på å lade batterier, men kan heller bare fylle på mer drivstoff for å fly mer. Siden løft produseres ved hjelp av vinge trengs det rullebane for å få fart på dronen slik at den kan lette og lande. Et alternativ til rullebane er katapult som vi kan se i figur 2.6 for å gi dronen fart under avgang, og vaier eller nett for å fange dronen under landing slik vi kan se i figur 2.7. En annen fordel med vinger er at de produserer mye løft og derfor kan dronen ha større og tyngre utstyr med seg i forhold til andre typer droner.



Figur 2.6: *Illustrasjon av dronekatapult [10].*



Figur 2.7: *Illustrasjon av drone fangst (recovery) system [11].*

2.3.2 Helikopterdrone

En helikopterdrone ser ut som et normalt helikopter i mindre skala slik vi ser i figur 2.8. Fordelen med helikopter i forhold til fastvingedrone er at man slipper rullebane under letting og landing noe som gjør de betydelig enklere i bruk. Også helikopter har historisk brukt elektrisk motor, men de kan også bruke drivstoffmotor slik at man slipper ventetid på lading av batterier. De har vært mye brukt i rekreasjonssammenheng i luftsport, men noe mindre i profesjonell sammenheng sammenlignet med fastvingedroner og multikopterdroner siden de bruker betydelig mer energi for å holde seg i luften enn det et fastvingefly gjør.



Figur 2.8: *Illustrasjon av ubemannet helikopter [12].*

2.3.3 Multikopterdrone

Multikopter er det vi stort sett refererer til når vi snakker om droner i dag. De har mellom 3 og 16 propeller, hvor de mest vanlige er 4 eller 8 hvis den skal løfte tungt. Multikopter som vi kan se et eksempel av i figur 2.9 har samme fordel som helikopter. Den krever ikke rullebane for å lette og lande. Siden de er avhengige av at motorene spinner med et kontrollert turtall så er de elektriske, noe som gjør at de må løfte tunge batterier som også har lang ladetid sammenlignet med helikopter og fly som også kan bruke drivstoffmotorer. En drone som dette med 4 rotorer, også kjent som et quadcopter er mye brukt i rekreasjonssammenheng siden de er svært enkle å fly, noe de fleste klarer uten opplæring. Det at de kan bygges med mange motorer gjør at de relativt lett kan bygges for å løfte tungt utstyr, noe som sammen med at de ikke krever rullebane gjør de godt egnet til forskningsrelatert arbeid.



Figur 2.9: *Eksempel på multikopter [13].*

2.3.4 Sammenligning av dronertyper

I dette delkapittelet har vi sett på forskjellige typer drone og hvilke styrke og svakheter de har. Som vi allerede har lest og som vi kan se i tabell 2.8 vil multikopter være den beste løsningen for oss under utvikling og testing av algoritme for å gjenkjenne sau. Dette er fordi vi slipper rullebane noe som gjør at vi kan bære dronen opp på fjell og starte flygning i kontrollerte forhold der, samtidig som den har høy løfteevne for å bære måleutstyr i tillegg til at vi slipper mye og komplisert opplæring før vi kan fly.

Når dette er sagt vil det være naturlig at det i en kommersiell sammenheng blir brukt en fastvingedrone da den kan løfte tyngre og potensielt bedre/billigere utstyr i tillegg til at den bruker mindre energi på å holde seg selv i luften slik at den kan fly over lengre perioder, som igjen gjør at man kan dekke et større område på en enkelt flygning.

Tabell 2.8: *Sammenligning av dronetype.*

	Rullebane	Løfteevne	Drivstoff	Brukervennlighet
Fly	Ja	Høy	Elektrisk og Drivstoff	Middels
Helikopter	Nei	Lav	Elektrisk og Drivstoff	Lav
Multikopter	Nei	Høy	Elektrisk	Høy

2.4 Eksisterende løsninger

Det finnes løsninger for gjenfinning av sau allerede, men de har til felles at de er dyre slik at ikke alle sauer har sporingsutstyr. Vi skal se på noen løsninger som baserer seg på mobilnett, kombinasjon av mobilnett og HF-Radio, samt satellittbasert løsning før vi sammenligner de. Vi vurderer følgende kriterier:

- Kostnad
- Levetid
- Pålitelighet

2.4.1 Mobilnett sporing

Shiip

Shiip er en relativt ny løsning som kommuniserer ved hjelp av NB-IOT levert av *Telia* [14]. De tar 750 kr for en sporingsenhet i tillegg til et årsabonnement på 99 kr per enhet. De beregner 5–10 års batterilevetid basert på hvor ofte bonden ønsker sporing. Sporingen fungerer ved at sporingsenheten har GPS og sender posisjonsdata til en webtjeneste som bonden kan aksessere med en applikasjon. Et problem som kan oppstå er at sauen går inn i et område uten dekning. Da opphører sporingen siden kommunikasjonsutstyret ikke lenger har kontakt med noen basestasjoner.

Smartbjella

Smartbjella [15] er en annen løsning som også baserer seg på NB-IOT. Den koster 830 kr for en sporingsenhet og årsabonnement er 99 kroner. De leverer inntil 20 års batterilevetid eller 14 000 sporinger. De fungerer på samme måte som *Shiip* ved at de sender GPS posisjon til en sentral server via mobilnettet. Bonden kan så følge posisjonen på dyrene ved hjelp av PC, nettbrett og mobiltelefon. Det er samme problemer her som med *Shiip*, hvor det er høye kostnader og krav om dekning via mobilnettet.

Telespor

Telespor [16] bruker en kombinasjon av å sende GPS posisjon over mobilnett og HF-radio. Ved kjøp av 500 stk koster hver enhet 850 kr i tillegg til sesongabonnement på 119 kr. I motsetning til *Shiip* og *Smartbjella* har denne en fordel med at den har HF radio slik at den kan spores selv om det ikke er mobildekning i området. Ulempen derimot er at batteriet må byttes hver sesong, noe som koster 55 kr per stykk siden de bruker et proprietær batteri. Total sesongpris kommer derfor opp i 174 kr per enhet.

2.4.2 Satellittsporing

FindMy

FindMy [17] bruker GPS for posisjonering, men skiller seg ut ved at de benytter en satellitt istedenfor basestasjoner. Satellitten som brukes er en russisk satellitt i polar bane.

Det vil si at den flyr betydelig lavere enn andre satellitter og dekker hele jordoverflaten i løpet av en dag. Det gir full dekning i hele Norge, men man får kun sporingsdata på gitte tidspunkt som blir definert når man slipper sauene ut på våren. Bonden holder oversikt over hvor dyrene er ved hjelp av en applikasjon på mobiltelefon og nettbrett. Prisen per enhet er 1 890 kr, i tillegg kommer en årlig kostnad på 195 kr for drift. En oversikt over priseksempel for 100, 250 og 500 sau finner vi i tabell 2.9.

2.4.3 Sammenligning av eksisterende løsninger

Utstyret som eksisterer i dag er ganske likt og består av en enhet med GPS og kommunikasjonsutstyr som festes til halsbåndet til sauene, gjerne sammen med vanlig bjelle. I figur 2.10 har vi en oversikt over noe av utstyret som eksisterer i dag, og hvordan det brukes.

Tabell 2.9: *Sammenligning av eksisterende løsninger.*

	Enhetskostnad	Driftskostnad	Batterilevetid	Teknologi
Shiip	750 kr	99 kr	5–10 år	NB-IOT
Smartbjella	830 kr	99 kr	Inntil 20 år	Mobilnett
Telespor	850 kr	174 kr	1 år	Mobilnett og HF-radio
Findmy	1 890 kr	195 kr	1 år	Satellitt

Tabell 2.10: *Priseksempel eksisterende løsninger for 100, 250 og 500 sau.*

	Shiip	Smartbjella	Telespor	Findmy
Investeringskostnad 100 sau	75 000 kr	83 000 kr	85 000 kr	189 000 kr
Årlig kostnad 100 sau	9 900 kr	9 900 kr	17 400 kr	19 500 kr
Total første års kostnad	84 900 kr	92 900 kr	102 400 kr	208 500 kr
Investeringskostnad 250 sau	187 500 kr	207 500 kr	212 500 kr	472 500 kr
Årlig kostnad 250 sau	24 750 kr	24 750 kr	43 500 kr	48 750 kr
Total første års kostnad	212 250 kr	232 250 kr	256 000 kr	521 250 kr
Investeringskostnad 500 sau	375 000 kr	415 000 kr	425 000 kr	945 000 kr
Årlig kostnad 500 sau	49 500 kr	49 500 kr	87 000 kr	97 500 kr
Total første års kostnad	424 500 kr	464 500 kr	512 000 kr	1 042 500 kr



Figur 2.10: Eksempel på utstyret som eksisterer i dag fra (a) Shiip og (b) Telespor.

2.5 Valg av utstyr

M. Israel har tidligere utført et forsøk på rådyr deteksjon i åker ved hjelp av IR-sensor [8]. Ifølge hans beregninger finner han at et piksel på IR-sensoren maksimalt kan utgjøre halvparten av objektet en ser på for at det ikke skal forsvinne i støy. Med dette som krav til oppløsningen endte vi opp på følgende kriterier for valg av kombinert kamera og IR-sensor:

- Pris: Den må være innenfor budsjettet vi har tilgjengelig.
- Tilgjengelighet: Den må kunne leveres slik at vi rekker å ta den i bruk innenfor de tidsrammene vi har.
- Oppløsning: Kamera og IR-sensor må være høyoppløselige nok til at vi kan se sau.
- Flyhøyde: Vi må kunne måle temperatur fra lang avstand.

2.5.1 Gimbal (sensorstabilisator)

En gimbal er en motorisert stabilisator som holder sensorer og kameraer stabile uansett hvilke bevegelser resten av dronen gjør. Dette betyr at vi for eksempel kan vippe dronen fremover for å fly fremover, uten at det påvirker vinkelen kameraet peker. Et eksempel på en 3-akset bildestabilisator er vist i bilde 2.11. Grunnen til at vi vil ha en gimbal på dronen er for å kunne peke sensoren(e) og/eller kameraet dit vi vil, i tillegg til å holde det så stabilt som mulig for å få best mulig resultat.



Figur 2.11: *Bilde av en 3-akset gimbal.*

2.5.2 Flir Duo Pro R

Flir Duo Pro R er et kamera med innebygget IR-sensor. Som vi kan se i bilde 2.12 så består kameraet av et vanlig kamera som ser synlig lys i tillegg til en IR-sensor som ser infrarødt lys. Oppløsningen på IR-sensoren er 640px * 512px, og på kameraet er det 4000px * 3000px. Basert på oppløsningen og synsvinkel finner vi at vi kan fly maksimalt 153 meter høyt og fortsatt sørge for at en sau har 14 piksler på IR-sensoren, og 768 piksler på kameraet.

Kameraet koster fra 70.000 kr i Norge noe som gjør det dyrt. Størrelsen og vekt på kameraet er også en utfordring da det krever en drone som kan løfte 375g i tillegg til gimbal på 700g, hvilket gir en total utstyrsvekt på ca. 1,1kg. Siden utstyret veier så mye er det vanskelig å finne en drone som er kraftig nok og samtidig veier under 2,5kg som fører til at det kreves drone sertifikat som vi skal se på i kapittel 2.7.1.

Tabell 2.11: *Flir Duo Pro R fra 100 meter høyde med 13mm termisk linse.*

	IR-sensor	Kamera
Horisontalt synsfelt (cm)	8284,27	10634,18
Vertikalt synsfelt (cm)	6691,90	8284,27
Cm pr piksel Horisontalt	12,94	2,65
Cm pr piksel Vertikalt	13,07	2,76
Horisontal objektstørrelse i px	10,04	48,89
Vertikalt objektstørrelse i px	3,06	14,48
Total objektstørrelse i px	30,76	708,31



Figur 2.12: *Bilde av et Flir Duo Pro R kamera.*

2.5.3 DJI Mavic 2 Enterprise Dual (M2ED)

DJI Mavic 2 Enterprise Dual (DJI M2ED) er en multirotor drone med gimbal som har både kamera og IR-sensor. Kameraet har en oppløsning på 4000px * 3000px og IR-sensoren en oppløsning på 640px * 480px. Prisen på 30 000 kr gjør den billig nok til at vi kan kjøpe denne, og vekten på kun 1 kg gjør at den kan bæres med seg, også til fots på fjelltur. Da den veier under 2,5kg trenger vi ikke noen sertifikater for å fly denne selv, noe som øker brukervennligheten betraktelig.

2.5.4 Hvorfor vi valgte DJI M2ED

Tabell 2.12: Sammenligning av kombinert IR-sensor og kamera.

	Pris	Tilgjengelighet	Brukervennlighet	Maksimal flyhøyde
<i>FLIR Duo Pro R</i>	70 000 kr	Bestillingsvare	Krever egen strømkilde	153m
<i>DJI M2ED</i>	30 000 kr	Lagervare	God	117m

Selv om vi ble tilbudt å låne et Flir kamera fra *Maritime Robotics* så endte vi opp med å kjøpe en DJI M2ED. Hovedgrunnen var at vi fikk tilgang på utstyret umiddelbart slik at vi kunne begynne å samle og analysere data. En annen viktig faktor var at vi kunne kan fly utstyret selv uten sertifikater (med noen begrensninger), noe som letter arbeidet med å samle inn data og teste løsninger da vi ikke er avhengig av en pilot. Egenvekten på dronen og det faktum at den er sammenleggbart slik at den er enkel å transportere, også på fjellturer, var viktig for oss da sauene ofte beiter på fjellet langt fra vei.

2.6 Litteraturstudie

I kapittel 2.5.4 valgte vi en kombinasjon av visuelt kamera og termisk kamera. På bakgrunn av dette utførte vi et litteraturstudium.

2.6.1 "Infrared thermal imaging in studies of wild animals"

I 2012 utførte *Justyna Cilulko, Pawel Janiszewski, Marek Bogdaszewski og Eliza Szczygielska* en studie med tittel *Infrared thermal imaging in studies of wild animals* [18]. I studien ble det identifisert at det termiske kameraet var mest effektivt på dag- og nattestid når det var overskyet vær. Dette fordi sollys varmer huden til dyret slik at man ikke får målt

kroppstemperaturen, men heller den oppvarmede huden til dyret. I tillegg så varmer solen opp bakken så mye at for eksempel stein kan gi falske positive. Om det har regnet så har det en lignende effekt hvor både dyret og bakken blir for kald og temperaturene havner utenfor områdene man leter etter.

De fant også at vegetasjon som er mellom dyret og IR kameraet påvirker måleresultatene. Vegetasjon som trær og andre planter gjør dyret usynlig for det termiske kameraet på samme måte som det vil bli for et vanlig visuelt kamera. De beste resultatene fikk de fikk de når det var overskyet, på relativt flatt terreng med lite vegetasjon.

2.6.2 "Autonomous UAVs Wildlife Detection Using Thermal Imaging, Predictive Navigation and Computer Vision"

I studien *Autonomous UAVs Wildlife Detection Using Thermal Imaging, Predictive Navigation and Computer Vision* [19] så de på muligheten til å detektere hund med varmesøkende kamera og en multirotor drone. Dette gjorde de ved å bruke en *Flir Lepton* IR-sensor som var koblet til en *Raspberry Pi 2* mini-datamaskin som analyserte bildene i sanntid på dronen. Selve analysen ble gjort med Blob detection ved hjelp av OpenCV. De testet ved å fly på 10 meters høyde og klarte å skille ut dyr på bildet, uten at de klarte å si at det var en hund.

2.6.3 "Application of remote thermal imaging and night vision technology to improve endangered wildlife resource management with minimal animal distress and hazard to humans"

I artikkelen *Application of remote thermal imaging and night vision technology to improve endangered wildlife resource management with minimal animal distress and hazard to humans* [20] undersøker de å bruke IR kamera for å detektere sykdom på dyr i fangenskap, spesielt rettet mot dyr det kan være farlig for mennesker å oppholde seg sammen med, for eksempel neshorn. Siden de fokuserer på dyr i fangenskap, tar de utgangspunkt i å ta bilder fra siden, og ikke ovenfra. De viste at det er mulig å få konklusjoner basert på hvor høy temperatur et dyr utstråler. For eksempel er det mulig å detektere om en sebra er gravid siden den vil få en betydelig varmere mage enn en som ikke er gravid.

2.6.4 "Automatic assessment of dairy cattle body condition score using thermal imaging"

I artikkelen *Automatic assessment of dairy cattle body condition score using thermal imaging* [21] beskriver de hvordan de bruker termisk kamera for å beregne konturen, og derav størrelsen til kyr. Innenfor dyrevelferd gir man kyr en poengsum, BCS, som beskriver hvor rund ei ku er, og her gjør de det ved å beregne en parabolisk kurve basert på billedata. Hele prosessen er automatisert ved at ei ku identifiseres med en RFID brikke i øret når de spiser, og da tas det samtidig bilder som sendes til analyse. Teorien er at man automatisk kan identifisere underernærte kyr og varsle bonden om dette.

2.6.5 "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Surveying Marine Fauna: A Dugong Case Study"

Amanda Hodgson Natalie Kelly og David Peel har i *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Surveying Marine Fauna: A Dugong Case Study* [22] gjort en studie på å bruke ei drone med et vanlig visuelt kamera fløyet på 500, 750 og 1000 fots høyde for å telle antall sjøkuer i et område. Studien har tatt utgangspunkt i at mennesker manuelt skal se på bildene som en drone tar og telle de. De har altså ikke brukt eller utviklet algoritmer for å gjøre analyse på bildene. Resultatet fra denne studien var at det var fullt mulig å bruke drone for å samle data istedenfor å bruke bemannede fly.

2.6.6 "Fast animal detection in UAV images using convolutional neural networks"

I *Fast animal detection in UAV images using convolutional neural networks* [23] skrevet av *Benjamin Kellenberger, Michele Volpi og Devis Tuia* ser de på bruk av maskinlæring med objekt-deteksjon for å automatisk finne store dyr. De har brukt drone for å ta bilder fra luften av *Kuzikus Wildlife Preserve* i *Nambia*. Under testing var kriteriet for et funn at det var minst 50% overlapp av hva algoritmen detekterte som et dyr og det som de manuelt har merket i test data på forhånd. Et annet krav til deres algoritme var at den skulle være rask. I deres resultat kom de frem til at de klarte 60% nøyaktighet og de klarte å analysere hele 73 bilder i sekundet.

2.6.7 "A UAV-based roe deer fawn detection system"

I artikkelen *A UAV-BASED ROE DEER FAWN DETECTION SYSTEM* [24] skrevet av *M. Israel* bruker de drone for å detektere rådyr i kornåker for å unngå at de blir påkjørt og skadet av slåmaskiner. For å detektere dyrene bruker de termisk kamera montert på en drone for å ta bilder av åkeren i fugleperspektiv. I denne artikkelen ser de at de må ha minst to piksler per dyr for å unngå at støy gir et falskt positiv. De har ikke utviklet en algoritme for å prosessere bildene i dette forsøket, men så på om de kunne se på bildene manuelt for å detektere dyr, noe de klarte.

2.6.8 "Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges"

I artikkelen *Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges* [25] ser de på hvor langt i utviklingen av droner man har kommet, og hva som må videreutvikles før det kan tas i bruk i kommersielle sammenhenger. I denne artikkelen kommer de blant annet frem til at fastvinge drone er mest egnet basert på flytid, pris og bruk. Dette bekrefter våre antagelser som vi kom frem til i kapittel 2.3. De har i stor grad tatt for seg om det er mulig å overvåke viltbestanden med drone, noe de foreløpig ikke er overbevist om at er mulig på grunn av dårlig nøyaktighet på algoritmer, men de er samtidig overbevist om at det er verdt å satse på videre forskning for å undersøke mulighetene i andre felt.

2.6.9 Sammendrag

Disse artiklene har gitt oss god oversikt over hva som er gjort innen deteksjon av dyr fra luften. Vi har sett i flere artikler at det er mulig å gjøre jobben manuelt, og vi har sett at noen også har prøvd å utvikle algoritmer, blant annet ved hjelp av objekt-deteksjon i maskinlæring for å identifisere dyr. Vi har fått bekreftet at det vi ønsker er mulig manuelt, men samtidig at det er utfordringer som må løses med hensyn på algoritmedesign for å kunne gjøre de maskinelt.

2.7 Bruk av drone

I dette delkapittelet gir vi en innføring i hvilke lover som regulerer dronebruk i Norge. Etter å ha lest dette skal man ha nok teoretisk kompetanse til å vurdere om en flygning er

lovlig, og at man har tatt de nødvendige forhåndsregler som kreves for en trygg flyvning. Kapittelet inneholder mange akronymer som bør leses først for å få full forståelse av resten av innholdet.

Visual Line Of Sight (VLOS)

VLOS er når man flyr innen synsrekkevidde uten bruk av hjelpemidler for å se fartøyet.

Extended Visual Line Of Sight (EVLOS)

EVLOS er basert på VLOS flygning men man har lov til å bruke hjelpemidler som kikkert eller observatør for å holde øye med fartøyet.

Beyond Line Of Sight (BLOS)

I BLOS flyr man utenfor synsrekkevidde og er avhengig av trådløse hjelpemidler for å vite hvor fartøyet befinner seg og hva det gjør.

Maximum Take Off Mass (MTOM)

MTOM beskriver maks vekt på fartøyet inkludert egenvekt og last.

Remotely Piloted Aircraft (RPA)

RPA er et fjernstyrt luftfartøy.

Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)

RPAS er et sett fjernstyrt luftfartøys systemer. I tillegg til å være RPA så inkluderer dette sensorer eller andre enheter som kan fjernstyres.

RPAS-Operatør (RO)

En RPAS-Operatør er en person som styrer hele eller deler av et luftfartøy.

Notice To Airmen (NOTAM)

NOTAM er et varsel til andre luftfartøy om endring i normal trafikk.

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B)

ADS-B er transpondere som brukes for å overvåke luftfartøys posisjoner.

Internet Pilot Planning Center (IPPC)

IPPC er et nettbasert verktøy for å planlegge flygninger.

Global Positioning System (GPS)

GPS er et satellittnettverk som brukes for posisjonering.

Light Detection And Ranging (LIDAR)

LIDAR er en enhet som brukes for å måle avstand til et objekt ved hjelp av laser.

Narrowband Internet Of Things (NB-IOT)

NB-IOT er et mobilnett basert på lavfrekvents kommunikasjon for størst mulig dekning. Nettet er tiltenkt maskin-til-maskin kommunikasjon med lave krav til båndbredde.

Nasjonal Sikkerhetsmyndighet (NSM)

Nasjonal Sikkerhetsmyndighet har ansvar for informasjons- og objektsikkerhet i Norge.

Dagslys

Dagslyssperioden er definert som fra soloppgang til solnedgang. Innen luftfart er dagslys definert som inntil 6° under horisonten.

2.7.1 Sertifikat

I Norge er krav til droner og pilot skilt inn i fire klasser. Privat bruk går under klassen modellfly, og kommersielt har vi klasse RO-1, RO-2 og RO-3. Hvilke klasse dronen, piloten og bruksområdet tilhører definerer hvilke krav som stilles og hvilke begrensninger man er underlagt. Det er krav om RO-1, -2 eller -3 ved kommersiell bruk.

Privat Flygning

Privat flygning av drone går under *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv. Kapittel 2. Flygning med modellfly*. I korte trekk begrenser forskriften oss fra å fly i mørket, fly over 120m over bakken, nærmere personer, motorkjøretøy eller bygninger enn 150 meter og vi må holde oss unna forbudsområder. Vi kan heller ikke overstige kravene for RO-1.

RO-1

RO-1 er definert i forskriftens kapittel 4 [26]. Det har MTOM på inntil 2.5kg, maksimal hastighet på 60 knop (111 km/t) og skal kun brukes i dagslys og VLOS. For å operere i denne klassen kreves det innsendt egenerklæring til Luftfartstilsynet på at man har satt seg inn i gjeldende regelverk og har en operasjonsmanual som er godkjent av *Luftfartstilsynet*. I tillegg må det betales et gebyr til *Luftfartstilsynet* på 350 kr for å registrere bedriften [27].

RO-2

RO-2 er definert i forskriftens kapittel 5 [26]. Det har MTOM på inntil 25kg, maksimal hastighet på 80 knop (148 km/t), skal opereres i VLOS, EVLOS og innenfor sikkerhetsavstander. Det kan også operere i BLOS om retningslinjene beskrevet i kapittel 2.7.3 følges. RO-2 krever godkjent operasjonsmanual i tillegg til bestått e-eksamen. Prisen for å

registrere seg som RO-2 operatør hos *Luftfartstilsynet* er 6 460 kr, i tillegg til et årsgebyr på 4 310 kr [27].

RO-3

RO-3 er definert i forskriftens kapittel 6 [26]. Det har MTOM på inntil 150kg, og har maksimal hastighet på 80 knop (148 km/t). Man kan operere i BLOS over 120 meter. Man kan også operere nærmere folkeansamlinger enn RO-1 og 2. RO-3 krever godkjent operasjonsmanual i tillegg til bestått e-eksamen. Om man skal fly BLOS på en høyde under 120 meter kreves det at NOTAM er utstedt. Prisen for å registrere seg som RO-3 operatør hos *Luftfartstilsynet* avgjøres etter regning basert på hvor mye jobb det er å godkjenne bedriften, hvor timespris er 1 280 kr per time. Årsavgiften for å beholde klassifiseringen er 11 850 kr [27].

Sammenligning av sertifikatklasser

En sammenligning av de forskjellige klassene finnes i tabell 2.13. Som vi ser ønsker vi minimum en RO-3 klarering da det gir oss mulighet til å fly BLOS, over 25 kg og opp til 150kg takeoff vekt, fly høyere enn 120 meter og nattflyging slik at man kan utnytte hele døgnet.

Tabell 2.13: *Sammenligning av sertifikater for droneflygning.*

	Privat	RO-1	RO-2	RO-3
VLOS	Ja	Ja	Ja	Ja
EVLOS	Nei	Nei	Ja	Ja
BLOS	Nei	Nei	Ja	Ja
Nattflyging	Nei	Nei	Nei	Ja
E-Eksamen	Nei	Nei	Ja	Ja
Kommersielt	Nei	Ja	Ja	Ja
MTOM	2.5kg	2.5kg	25kg	150kg
Høyde	120m	120m	120m	Ubegrenset
Hastighet	60 knop 111 km/t	60 knop 111 km/t	80 knop 148 km/t	80 knop 148 km/t
Registrering	—	350 kr	6 460 kr	1 280 kr per time
Årsavgift	—	—	4 310 kr	11 850 kr

2.7.2 Varsling til Nasjonal Sikkerhetsmyndighet

I *Forskrift om kontroll med informasjon innhentet med luftbårne sensorsystemer* [28] § 2 er luftbårne sensorsystemer definert som *luftbårne sensorsystemer; alle sensorsystemer som brukes fra innretninger i luften som kan innhente, behandle eller lagre informasjon i alle deler av frekvensspekteret, uavhengig av plattform eller bruksmåte.*

Luftbårne fotosensorer defineres som *sensorsystemer som gjør dagslysbasert monokrom- eller fargeavbildning med inntil fire spektralbånd innenfor bølgelengdeområdet til synlig lys, fra 380 til 750 nanometer.*

Siden vår drone har en IR-sensor som opererer i spekteret 800 til 1400 nanometer så er dronen bærer av et luftbårent sensorsystem, i tillegg til et luftbårent fotosensorsystem for det vanlige kameraet.

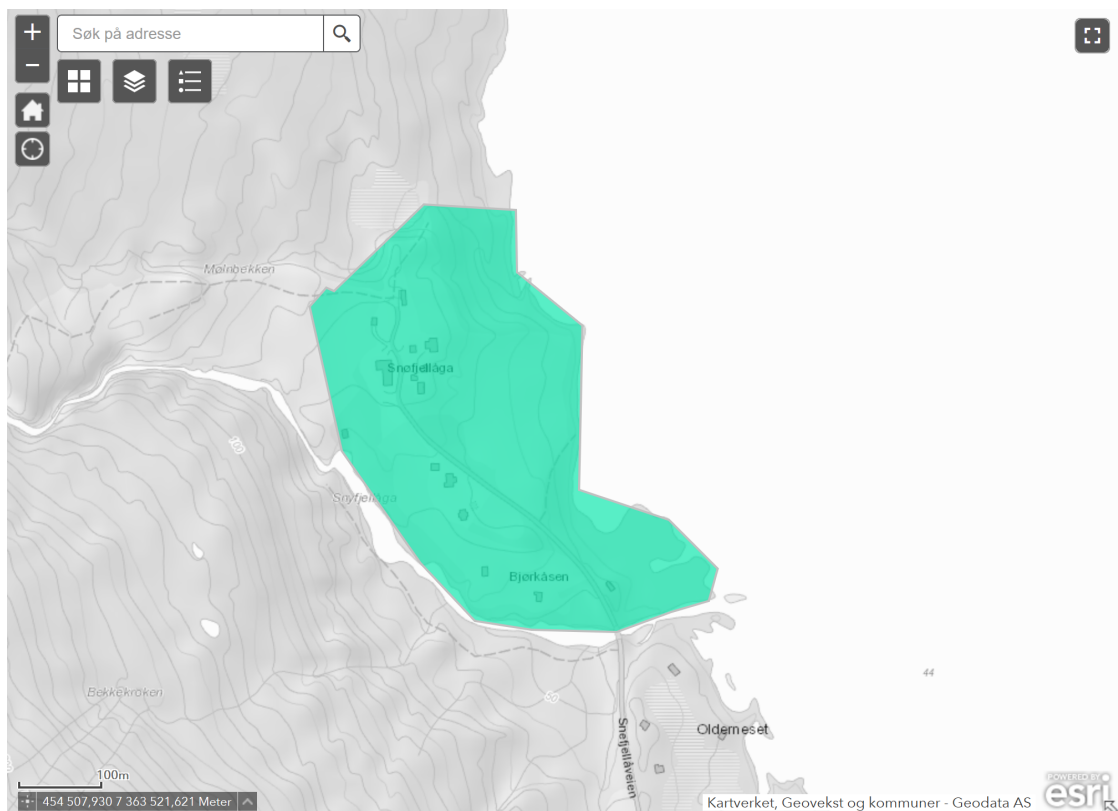
I §5 *Bruk av luftbårne sensorer* heter det *Benyttes andre luftbårne sensorsystemer enn fotosensorer utenfor fastsatte forbudsområder, skal Nasjonal sikkerhetsmyndighet varsles. Nasjonal sikkerhetsmyndighet fastsetter nærmere frist for varsel om slikt bruk.* Det er altså krav om at vi varsler om bruk av dronen. NSM stiller ingen frist for varsling av sensorinnhenting [29]. Begrunnelsen for varsling er at det kan eksistere flyforbudsområder som ikke er offentliggjort. Et eksempel kan være et skjult militært anlegg.

Varslingen foregår på en nettside [30] NSM drifter hvor man fyller inn informasjon om

- Firma
- Navn
- Adresse
- Telefon
- E-post
- Formål med innhenting
- Tidspunkt for start
- Tidspunkt for slutt
- Om det er bemannet eller ubemannet sensorplattform

- Eventuelt registreringsnummer
- Hvilket utstyr som er på dronen
- Eventuelt utfyllende informasjon
- Området man skal fly i

Selve området tegnes opp i et interaktivt kart hvor man markerer hvor man skal fly. Eksempel på et slikt kart finnes i figur 2.13 hvor det er tegnet opp et område rundt Snefjellå Gård i Mo i Rana.



Figur 2.13: Illustrasjon av varslingsområde til NSM, Snefjellå Gård.

2.7.3 Flygning utenfor synsrekkevidde

Siden vi ønsker å dekke store områder i vår flygning er vi avhengig av at vi kan fly utenfor synsrekkevidde. I *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.* [26] er dette definert som *BLOS (Beyond visual Line Of Sight): flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord utenfor synsrekkevidde for pilot, fartøysjef eller observatør.*

Etter § 29, § 51 og § 56–59 [26] kan vi fly BLOS om vi oppfyller kravene til en RO-2 tillatelse. Da er vi fortsatt begrenset av

- Maks flyhøyde på 120 meter
- Ikke nærmere enn 50 meter fra personer, motorkjøretøy eller bygning som ikke er under pilotens og fartøysjefens kontroll.
- Maks vekt på 25kg
- Maks hastighet på 80 knop (148 km/t)
- Krav om Antikollisjonslys
- Utstedelse av NOTAM minst 12 timer før flyvning (se kapittel 2.7.6)

I tillegg til disse kravene følger det krav om tillatelse fra *Luftfartstilsyent*. For å få denne tillatelsen må man etter § 29 [26] levere en søknad som inneholder risikoanalyse og operasjonsmanual som dokumenterer driften og vedlikehold av utstyr. I tillegg må pilot eller fartøysjef etter § 36 [26] ha bestått e-eksamen.

Om vi ønsker å fly over 120 meters høyde eller ha en større vekt enn 25kg trenger vi RO-3 tillatelse.

2.7.4 Sikkerhetsavstander

Etter *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv* [26] § 51 så heter det *All flyging må skje på en hensynsfull måte som ikke utsetter luftfartøy, personer, fugler, dyr eller eiendom for risiko for skade eller for øvrig er til sjenanse for allmennheten.*

Det settes følgende begrensninger:

- Ikke fly høyere enn 120m
- Nærmere enn 150 meter fra folkesamlinger på mer enn 100 personer
- Nærmere enn 50 meter fra personer, motorkjøretøy eller bygning som ikke er under pilotens og fartøysjefens kontroll

Det er unntak fra disse bestemmelsene hvis man er RO-3 operatør og følger bestemmelsene i forskriftens kapittel 9, og de vilkår som er gitt i tillatelsen.

2.7.5 Flygning i mørket

Flygning i mørket kan kun skje under RO-2 og 3 flygninger. Det stilles ekstra krav til belysning slik vi kan lese om i *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv* § 60 [26, 31]. Det stilles krav om antikollisjonslys og navigasjonslys. Antikollisjonslys vil typisk være strobelys for å fange oppmerksomheten til andre luftfartøy, mens navigeringslys en kombinasjon av røde og grønne lys for å markere styrbord og babord. Om fartøyet er utstyrt med antikollisjonslys skal det også benytte dette under dagslyspeperioden.

2.7.6 NOTAM

Hva er NOTAM

NOTAM er et varsel som utstedes ved avvik fra normal lufttrafikkavvikling. Etter *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv* [26] er det definert som *NOTAM (Notice to Airmen): En melding som distribueres ved telekommunikasjon og som inneholder opplysninger om opprettelse, tilstand eller endring av navigasjonshjelpemiddel, tjeneste, prosedyre eller fareforhold som det er viktig i tide å få kjennskap til for personell som har med planlegging og gjennomføring av flygninger å gjøre*. NOTAM er altså en viktig ressurs for profesjonelle piloter for trygg lufttransport.

Oversikt over NOTAM

I Norge er det *AIS/NOTAM i Avinor Flysikring AS* som har ansvaret for reiseplansmeldinger [32]. De har laget en nettside som heter ippc.no [33] hvor de publiserer NOTAM på vegne av seg selv og andre aktører. For vår del er det aktuelt å bruke områdeverktøyet som lar oss tegne opp området vi skal fly i. Vi får så en PDF med en liste over aktuelle NOTAM i området.

Utstedelse av NOTAM

Etter *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv* må vi utstede NOTAM om vi skal fly BLOS i klasse RO-2 i luftrom klasse G. Det er opp til piloten å avgjøre om det er nødvendig å utstede varsel ved VLOS eller EVLOS flygning om vi flyr høyere enn 120m.

Utstedelse av NOTAM gjøres via www.notam.avinor.no minst 12 timer før planlagt flygning. Ifølge veiledningen [34] heter det at vi skal utstede varsel ved *tilstedeværelse av fareforhold som har betydning for luftfarten (inkludert luftfartshindringer, militære øvelser, flyoppvisninger, fallskjerm utsprang av større omfang utenfor kunngjorte steder)*. Det betyr at om vi flyr i områder hvor vi kan komme i konflikt med andre fartøy så bør vi utstede varsel slik at de kan ta nødvendige forhåndsregler. Et eksempel på et tilfelle hvor vi bør vurdere varsling er om vi flyr nært *St. Olavs Hospital* i Trondheim da vi vet det er mye helikoptertrafikk i området.

2.7.7 E-eksamen

E-eksamen [35] er en teoretisk eksamen som avlegges hos en av *Statens Vegvesens* trafikkstasjoner på vegne av *Luftfartstilsynet*. Prøven består av 40 spørsmål hvor 30 må være godkjent. Eksamensgebyret er på 1010 kr, og bestått eksamen gir rett til å fly droner i klasse RO-2 og RO-3. Forberedelsene består av gratis nettkurs levert av *Luftfartstilsynet*. Kurset inneholder 7 moduler med varighet på ca. 30 minutter hver og gir innføring i

- Luftfart
- Droner
- Teknisk og Operative prinsipper
- Luftrom
- Lufttrafikktenesten
- Landingsplasser
- Regelverk
- Meteorologi

- Kommunikasjon
- Spesielle krav til RPA og BLOS

Etter dagens regelverk er det ingen gyldighetstid på godkjenningen, men det forutsettes at man holder seg oppdatert på regelverk og praktiske flyferdigheter.

2.7.8 Operasjonsmanual

Om vi skal fly RO-1, 2 eller 3 kreves det en operasjonsmanual. Etter *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv* [26] § 24 skal en operasjonsmanual minst inneholde

- Beskrivelse av virksomhetens oppbygging
- Beskrivelse av de operasjonstyper som inngår i virksomheten
- Beskrivelse av vedlikeholdsprosedyrer
- Oversikt over alle luftfartøy som inngår i virksomheten

Luftfartstilsynet har publisert maler for operasjonsmanualer på sine nettsider [36]. RPAS RO-1 manualen er i hovedsak en egenerklæring som ikke krever mer utfylling, mens RPAS RO-2 og 3 manualen krever omfattende utfylling og godkjenning fra *Luftfartstilsynet*.

Poenget med operasjonsmanualen er å beskrive hvordan organisasjonen fungerer, hvem som har ansvaret for hva og hvordan flygningene skal gjennomføres.

2.7.9 Flykontrolltjenesten

Formålet med flykontrolltjenesten er å sørge for at det ikke skjer sammenstøt mellom luftfartøy, objekter og personer på bakken. For å unngå dette er det i regulert luftrom viktig å samarbeide med andre fly og helikoptre. Måten dette gjøres på er å levere flyplaner og annen relevant informasjon til *Flykontrolltjenesten*. I de fleste tilfeller er dette kun anbefalt, men skal man fly for eksempel nærmere en flyplass enn 5 km er det påbudt. Kommunikasjonen med *Flykontrolltjenesten* skal helst foregå over toveis radiokommunikasjon, noe som krever radiosertifikat, men kan også foregå ved hjelp av telefonkommunikasjon. Ved flyging i BLOS vil kommunikasjon med *Flykontrolltjenesten* via radio eller telefon normalt være påkrevd.

2.7.10 Oppsummering

dette kapittelet er det en hel del begrensninger på flyvning med drone. Det er klart at vi må ha en kommersiell tillatelse for at det i det hele tatt skal være lovlig å fly dronen, men i tillegg ønsker vi en tillatelse i klasse RO-3 for å unngå å bli begrenset med hensyn på flygning i mørket og flygning utenfor synsrekkevidde. Klasse RO-3 fjerner også krav om at vi må holde oss en viss avstand fra personer, bygninger og motorkjøretøy. Et annet viktig moment ved klasse RO-3 er at vi kan fly over 120 meters høyde, slik at vi kan effektivisere søket ved å fotografere større områder og på den måten spare tid.

For å oppsummere dette kapittelet er det viktig å sette seg inn i hvilke sertifikater som gjelder for den enkelte flygningen. En enkel sjekk finner man i tabell 2.13. Basert på hvor man er kan det være nødvendig å se etter NOTAM meldinger hos IPPC. Når dette er gjort må vi varsle NSM da vi har utstyr for luftbårne sensorinnhentinger som ikke kan komme i konflikt med eventuelle militære installasjoner. Under flygningen må vi følge med at vi ikke kommer i konflikt med andre luftfartøy, dette kan gjøres ved å bruke ADS-B overvåkning.

2.8 Løsning

Dette delkapittelet beskriver hvordan vi ønsker å gå frem for å utvikle og teste en løsning for identifisering av sau ved hjelp av *DJI M2ED* drone. Løsningen kommer ikke til å være en nøkkelklar løsning for en bonde, men en versjon av løsningen som en person med teknisk bakgrunn kan benytte til å teste algoritmen og fremgangsmåten.

2.8.1 Hvordan løsningen skal anvendes

Bonden bør ha mulighet til å styre hele løsningen via en applikasjon på mobiltelefon eller nettbrett. Applikasjonen må ha et brukergrensesnitt som gjør det enkelt å se hvor dronen har funnet sau og åpne de bildene dronen har funnet for manuell inspeksjon. Det må også være mulig å markere et område på et kart for slik at dronen flyr dit og analysere området fullautonomt. Når dronen returnerer laster den opp bildene til en skytjeneste hvor analysen foregår, dette sørger for at bonden ikke trenger å kjøpe dyrt utstyr som står ubrukt mesteparten av tiden, i tillegg til høy kapasitet slik at han kan få raske resultater. Etter endt analyse får bonden en push notifikasjon hvor han kan gjennomgå resultatene.

Flyhøyden settes automatisk basert på kameraenes oppløsning og synsvinkel slik at man får det optimale forholdet mellom areal som kan dekket og krav til oppløsning for identifisering av objektene man leter etter.

Kratt, trær og andre busker er vanlige gjemmesteder for sau. Forhåpentligvis klarer IR-sensoren å detektere noe varme igjennom vegetasjonen, men i verste fall må dronen søke i samme området flere ganger, med nok tid mellom til at man kan anta at sauene har beveget seg. Problemet reduseres ytterligere ved at det i hovedsak skal brukes på høsten for innsanking av sau når løvet på trærne allerede har falt.

2.8.2 Hva skal vi gjøre

Vi skal lage programvare som fungerer som verktøy vi som utviklere kan bruke for å gjøre analyser på bilder mens vi jobber mot en løsning som er kommersialiserbar og kan brukes av bønder. Det betyr at det vi lager er typisk *MVP - Minimum Viable Product* hvor målsetningen er at det kun skal fungere på vårt eget utviklingsmiljø da vi er de eneste brukerne av disse verktøyene. Løsningen må altså være svært modifiserbar siden vi i praksis lager en forskningsplattform og forutsetninger kan endre seg underveis.

2.8.3 Hvor skal vi teste

For å teste løsningen og samle data er vi avhengige av noen områder som vi kan teste i. Områdene må oppfylle følgende krav:

- Det må være sau i området.
- Må ha tillatelse av bonden.
- Terreng som er likt det vi kan finne på beite.
- Må flyge innenfor regelverket.

Snefjellå Gård, Rana

Snefjellå Gård ved *Anne-Kari Snefjellå* har stilt seg til disposisjon for å teste systemet. Gården ligger like utenfor Mo i Rana og sauene beiter på Snyfjellet. Hun har selv erfaring med bruk av drone for å lokalisere sau i tillegg til bruk av *Smartbjella* og *Telespor* for

lokalisering ved hjelp av GPS og mobilnett. Erfaring med forskjellige sporingsteknologier og en lyst til å bidra med å stille seg selv til vår disposisjon gjør de godt egnet til videre samarbeid.

Jan Øystein Svaleng, Rana

Gården til *Jan Øystein Svaleng* egner seg godt for testing da de er vant til å bruke drone for å lete etter sau. I tillegg til dette har de sau ute på jordet tidligere enn andre sauebønder, noe som gjør at vi kan samle initiell data på et tidlig tidspunkt.

Storlidalen, Oppdal

I Storlidalen har veileder *Svein-Olaf Hvasshovd* hytte. I hele dalen befinner det seg gårder som driver med sauehold. I tillegg er det store beitearealer i fjellene rundt. Det at *Svein-Olaf* er godt kjent i området og terrenget rundt gjør Storlidalen godt egnet til å samle data på sau på beite.

2.8.4 Hvordan skal vi teste

Løsningen skal testes ved at vi i samarbeid med sauebonde drar til gården eller på beite hvor vi vet det er sau.

Forarbeid

Før en flygning utføres planlegges den ved å studere kart over område. Da vi ofte skal fly i beiteområdene på fjellet ønsker vi å finne veiene opp før vi drar.

Flygningen planlegges ved å melde inn til NSM over område vi tror sauen kan befinne seg i, med god margin da vi ikke kan regne med at det er dekning på mobilnettet som er god nok til at vi kan melde inn et nytt område når vi er på fjellet.

Siden vi bruker en *DJI M2ED* kan vi bli begrenset av *DJI Geofence 2.0* som hindrer oss i å fly i forbudssoner. I tillegg til forbudssoner er det også noen restriksjonssoner som krever godkjenning før bruk. Vi må derfor kontrollere at vi ikke mangler noen rettigheter for å gjennomføre flygningen, eventuelt anskaffe de rettighetene som trengs.

Drone må testes at fungerer i tillegg til å pakkes med:

- 3 Oppladede batterier
- Oppladet fjernkontroll
- Nødvendige kabler
- Ekstra sett propeller
- Antikollisjonslys
- 2 Bærbare pc med programvare (en i reserve)
- Batteribank for lading av telefoner
- Bekreftelse på varsling til NSM
- Oppdragsbeskrivelse med kart over flyområde

Været sjekkes ved hjelp av tjenester som *yr.no* og *pent.no*. Det vil bli foretatt en helhetsvurdering av væremeldingen og dets pålitelighet, og følgende kriterier kan vi ikke vike for

- Det kan ikke regne: Dronen er ikke vannsikker. Fuktighet vil ødelegge elektronikken.
- Det kan ikke være kraftig vind: Dronen klarer ikke fly i kraftig vind.
- Kan ikke være lavt skydekke: Vi må ha sikt opp til dronen slik at vi vet hvor den er og at den ikke kolliderer med noe.

Om vi er i et område vi har grunn til å tro at det kan være helikoptertrafikk vil vi måtte kontrollere om det er utstedt NOTAM for lavtflygende trafikk.

Flygning

Flygningen gjennomføres ved at vi finner et område som er plant og åpent nok til at vi klarer å lette og lande dronen uten risiko for personene tilstede eller omgivelsene rundt. Dronen monteres i henhold til instruksjonene i bruksanvisningen og kobles til en mobiltelefon eller nettbrett slik at vi kan strøomme video fra dronen i sanntid og justere

innstillinger. Det visuelle kameraet lar vi stå på full automatikk, mens det termiske kameraet bruker vi følgende innstillinger så langt det lar seg gjøre:

- Grå palett
- Minimum temperatur 0 grader celsius
- Maksimum temperatur 45 grader celsius

Grunnen til at vi sier så langt det lar seg gjøre er fordi det i noen tilfeller kan være nødvendig å endre skalaen slik at vi får visualisert objektene i bildet bedre, men da er det viktig at den nye skalaen skrives ned og at bildene merkes slik at det ikke blir noen unødvendige problemer under analyse. Innstillingene er valgt er fordi vi antar at vi kun er interessert i objekter som har en temperatur mellom 0 og 45 grader, og fordi det er enkelt å beregne pikselverdi til temperatur i en grå palett. Dette kan leses mer om i kapittel 3.9. Før flygningen er det viktig at drone, og spesielt propeller inspiseres for skade slik at ikke dronen blir defekt under flygning og detter ned da det potensielt kan gjøre mye skade om den treffer personer, dyr eller ting.

Avslutning av flygning

Etter flygning er det viktig at propeller og drone inspiseres for skader, og eventuelt repareres før neste flygning. Dette for å unngå at den blir defekt under flygning. Om man har landet i gress eller at andre objekter har kommet borti sensorer, propeller eller kamera er det viktig at dette vaskes med alkoholservietter så snart som praktisk mulig for å unngå riper og andre skader. Drone pakkes forsvarlig slik at ikke motorer eller annet blir skadet, helst i koffert eller beskyttende bærevekke.

Etterbehandling

Bildene hentes fra dronen og loggfiler hentes fra mobiltelefonen eller nettbrettet som ble brukt under flygning. Bildene blir så analysert av egnet programvare og resultater loggført.

2.8.5 Hvordan vi skal teste løsningen

Testing av løsning vil foregå i forskjellige faser.

1. Vi samler test data
2. Vi samler data av sau
3. Vi tester løsningen på sau

Vi starter med å samle test-data ved bruk av droner som filmer hunder. Grunnen til at vi har valgt hunder i utgangspunktet er fordi sauer i april (når dette skrives) har lamming, slik at bonden ikke ønsker å ta de utendørs. Hunder derimot er lett tilgjengelige, og vi ønsker i første omgang å bli kjent med og teste drone og sensorer. Dataen vi samler her kan analyseres ved hjelp av klyngealgoritmer for å finne varme grupperinger, for så å beregne oss frem til de samme områdene i det synlige kameraet. Resultatet er at vi nå har vanlige bilder med markeringer basert på IR-sensoren.

Når sauen så slippes ut på beite i juni kan vi starte med å samle data rundt de. Vi bruker nå samme fremgangsmåte som for test data, men kan nå avgjøre om det de varme flekkene er sau eller ikke. Ved hjelp av dette kan vi videreutvikle algoritmen for å gjenkjenne sau, og ikke bare varme objekter.

I september skal sauen hentes inn igjen fra beite. Da ønsker vi å teste løsningen i felt i samråd med en bonde hvor vi ikke vet om det er sau, for å se om løsningen vår hjelper med problemet på å finne sau.

2.8.6 Håndtering av falske positive

En falsk positiv inntreffer om vi detekterer et varmt område som viser seg å ikke være sau. Dette er problematisk siden det det kan bli mange bilder som ikke inneholder sau som bonden må vurdere, noe som reduserer brukervennligheten betraktelig. For å håndtere disse tilfellene ønsker vi å lage en database som inneholder koordinater og størrelse på objekt som er falske. På denne måten kan vi hindre at vi ser falske positive mer enn en gang, og på denne måten spare tid.

2.9 Teknisk plan for programvare

I dette kapitlet skal vi se på hvilke teknologier vi har valgt for å lage en minimumsversjon av et analyseverktøy for analyse av IR-sensor data og bilder fra dronen vår. Vi skal diskutere hvilke teknologier vi har valgt og hvordan vi planlegger programvaren ved hjelp av skisser for brukergrensesnitt og brukerhistorier for funksjonalitet.

2.9.1 Krav til Løsning

For å beskrive funksjonalitet i programvaren vår bruker vi brukerhistorier. En brukerhistorie beskriver hvem, hva og hvorfor slik at en utvikler forstår hva som skal gjøres. Ved å gjøre dette sikrer vi en god strategi og sørger for at vi ikke glemmer detaljer underveis. Siden vi utvikler alene gjør vi kun en grov planlegging og er forberedt på at vi kan avvike fra dette senere. De brukerhistoriene vi har valgt er kan vi se i tabell [2.14](#).

2.9.2 Brukergrensesnitt

Vi har brukt utviklingsverktøyet *Visual Studio* for å raskt kunne lage prototyper og skisser av det grafiske brukergrensesnittet ved hjelp av dra og slipp verktøyet deres for *Windows Presentation Foundation* i *Dotnet Core 3.0*. Implementasjonen av brukergrensesnittet vil måtte ansees som en prototype beregnet for utvikling og vil være spesialtilpasset en oppløsning på 1920px X 1080px fordelt på en 24" skjerm. På grunn av tidsbegrensninger kan det ikke forventes at andre oppløsninger støttes.

2.9.3 Teknologier

Vi kommer til å benytte oss av programmeringsspråket *C#* siden det har gode verktøy for utvikling og er et moderne språk som nylig har hatt en full omskriving til *Dotnet Core*. For koding kommer vi til å bruke *Visual Studio 2019*, som er helt nytt med god auto fullføring av kode (intellisense) og inneholder mange feilsøkingverktøy og analyseverktøy. Dette er en god kombinasjon da *Microsoft* står bak både programmeringsspråket og kodeeditoren slik at de har god integrasjon mellom seg. Disse teknologiene ble i hovedsak valgt fordi vi har god erfaring med de fra tidligere prosjekter, og håper å kunne ta med kunnskap fra de videre.

Tabell 2.14: Brukerhistorier for analyseverktøy.

ID	Definisjon
P1	Som en bruker vil jeg se bilder fra IR-sensoren og kameraet side om side slik at jeg enklere klarer å tolke bildedata fra IR-sensoren.
P2	Som en bruker vil jeg sortere bildene fra en flyøkt, og flyøkter under dato slik at de blir mer oversiktelige.
P3	Som en bruker vil jeg kunne klikke på et punkt på det termiske bildet slik at jeg ser temperaturen på det punktet.
P4	Som en bruker vil jeg se høyden over bakken et bilde ble tatt slik at jeg kan loggføre dette.
P5	Som en bruker vil jeg se gjennomsnittstemperaturen i bildet slik at jeg kan loggføre dette.
P6	Som en bruker vil jeg kunne gi kommentarer til et bildepar slik at jeg kan notere avvikk mens jeg ser på bildene.
P7	Som en bruker vil jeg kunne sette et flagg på et bildepar om jeg ser sau i det synlige bildet slik at jeg kan lage statistikk på dette.
P8	Som en bruker vil jeg kunne sette et flagg på et bildepar om jeg ser sau i det termiske bildet slik at jeg kan lage statistikk på dette.
P9	Som en bruker vil jeg kunne sette et flagg på et bildepar om jeg ser sau i kombinasjonsbildet (msx) slik at jeg kan lage statistikk på dette.
P10	Som en bruker vil jeg bruke hurtigtaster for å sette flaggene på bildeparene slik at jeg sparer tid når jeg analyserer mange bildepar.
P11	Som en bruker vil jeg kunne eksportere informasjonen i bildeparene til en fil som kan åpnes av regneark (excel) slik at jeg kan lage statistikk og få et mer overordnet blick på hva vi har funnet ut. Informasjonen inkluderer dato/klokkeslett, flyhøyde, koordinater, temperaturer, kommentarer og flagg som er satt..
P12	Som en bruker vil jeg endre nedre temperatur og øvre temperatur fra IR-sensoren for å manipulere fargene i bildet slik at det blir enklere å se detaljer.
P13	Som en bruker vil jeg kunne velge bildemappe som skal analyseres slik at jeg kun får se de bildene jeg velger.
P14	Som en bruker vil jeg velge loggfiler fra <i>DJI</i> for å lagre tilleggsinformasjon til bildeparene som koordinater og flyhøyde slik at det kan føres statistikk på dette.

Et annet argument for valg av C# er at *DJI* har lansert et SDK som bygger på *Dotnet Core* som lar oss kommunisere direkte med dronen. Dette i kombinasjon med at *Microsoft* har lansert *ML.NET* som er et rammeverk for maskinlæring gir det oss mulighet til å hente bilder fra dronen i sanntid og analysere de med maskinlæringsalgoritmer. Dette er ikke noe vi kommer til å prioritere, men vi ønsker å ha muligheten til å gjøre dette hvis vi får tid.

2.9.4 Biblioteker

For å lette på arbeidsmengden vår og å få en raskere utvikling har vi valgt å bruke noen ferdige biblioteker som vi beskriver i dette del-kapittelet.

Serilog

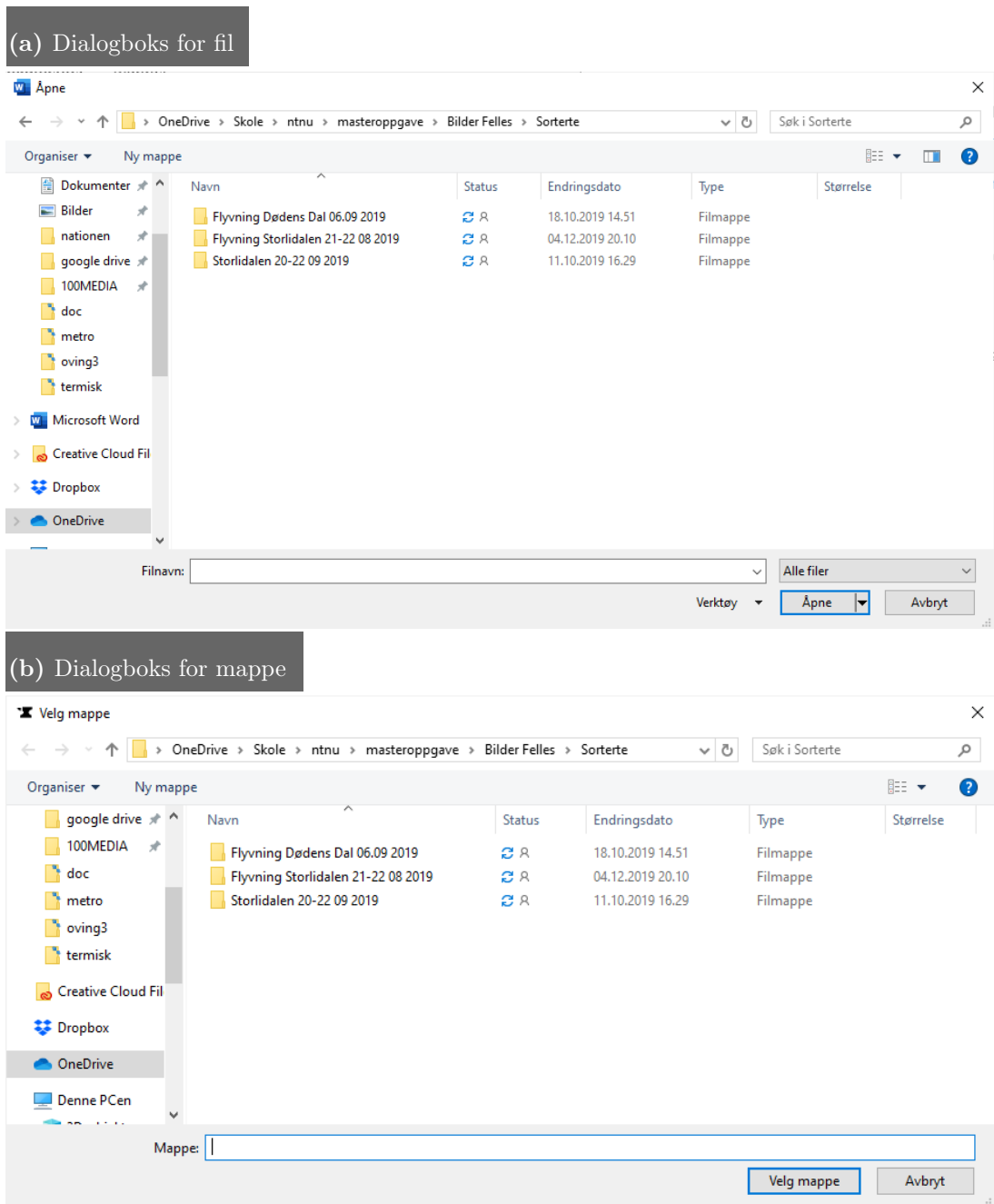
Serilog er et bibliotek som er laget for strukturert logging [37]. Grunnen til at vi valgte å bruke Serilog er tredelt:

1. Siden vi lager en GUI applikasjon har vi ikke en konsoll å skrive loggdata til. Derfor trenger vi en måte å håndtere det.
2. Vi ønsket stor fleksibilitet i logging. Serilog lar oss justere hvilket nivå vi ønsker å logge på, og det lar oss konfigurere hvordan vi skal logge.
3. Fargekodede loggmeldinger slik at det er enkelt å finne de man er ute etter.

I vårt tilfelle byttet vi på å logge til fil og å logge til en konsoll. Fordelen med å logge til konsoll er at man får loggmeldinger i sanntid mens programmet kjører, mens fordelene med å logge til fil er at loggmeldingene fortsatt er der når man lukker programmet. Ved hjelp av Serilog kunne vi også logge til begge deler samtidig.

Ookii Dialogs

Windows har ikke støtte for dialogboks for å velge mapper, de har kun dialogboks for å velge filer. Siden vi ønsker å velge mapper for loggfiler og mapper for bilder så valgte vi å bruke *Ooki Dialogs* som er et bibliotek som inneholder forskjellige dialogbokser, blant annet en for å velge mapper [38]. Vi kan se forskjellen på dialogboksene i figur 2.14.



Figur 2.14: Eksempel på forskjell mellom dialogboks. I (a) ser vi en dialogboks for valg av filer, mens i (b) ser i en dialogboks for valg av mapper.

MahApps.Metro

MahApps.Metro er et brukergrensesnitt rammeverk som inneholder forhåndsdesignede elementer slik at programvare med brukergrensesnitt blir estetisk finere å se på [39]. Vi brukte dette for å gjøre programvaren litt mer innbydende og moderne. Et eksempel på hvordan forskjellen er med og uten stilsetting ser vi i figur 2.15.

DBSCAN.RBush

For å slippe å implementere DBSCAN algoritmen selv med R-trær brukte vi biblioteket *DBSCAN.RBush* [40]. Denne implementasjonen er spesielt god siden den bruker R-trær for å senke kjøretiden fra $O(N^2)$ til $O(n \log n)$.

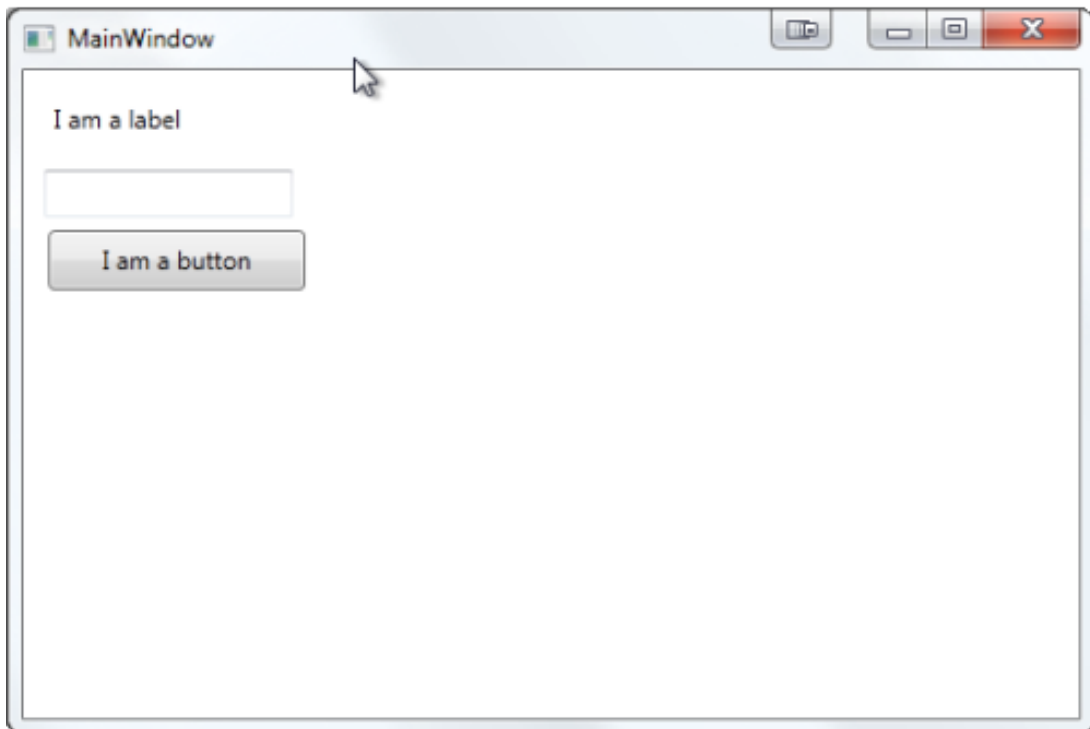
2.9.5 Maskinvarekrav

Originalt har ideen vært å prosessere bildene helt eller delvis på dronen, for å kun sende potensielt interessante bilder ned til bakken via radiolink. I dette prosjektet er dette ikke aktuelt av flere grunner:

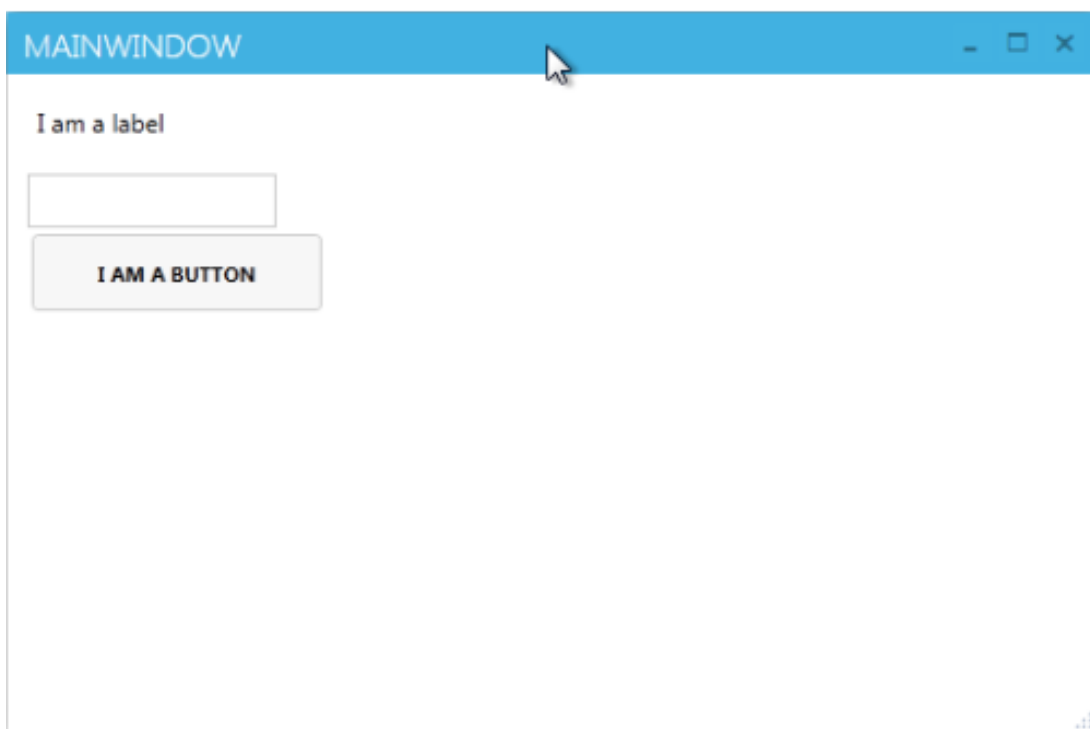
1. Vi kan ikke kjøre egen kode på dronen vi har valgt å teste med.
2. DBSCAN er en tung algoritme å kjøre. Det vil være lite energieffektivt og usikkert om vi finner en prosessor som er liten nok til å passe på dronen, samtidig som den er kraftig nok til å analysere bildene i sanntid.
3. I forskningsfasen som vi er i nå trenger vi ikke å analysere bildene i sanntid. Det er viktigere å ha bilder og IR-data som vi kan teste algoritmen på mens vi utvikler, og det mest interessante er at vi finner sau. Vi vil heller tilpasse algoritmen til å fungere godt på en drone ved en senere anledning.

Siden vi ikke prosesserer bildene på dronen eller på bakken i sanntid, lagres bildene på et minnekort på dronen. Når dronen har landet tar vi ut minnekortet og kopierer bildene over på en PC. I tillegg kopierer vi ut loggfilene fra telefonen/nettbrettet som var koblet til dronen under flygning for å hente ut tilleggsdata til bildene vi har samlet.

(a) Standard stilsetting



(b) Metro stilsetting



Figur 2.15: Eksempel på standard stilsetting for WPF (Windows Presentation Foundation) applikasjoner i (a) og Metro stilsetting ved hjelp av Mahapps.Metro i (b).

2.9.6 Versjonskontroll

Vi bruker en modifisert smidig utviklingsmetodikk uten fastsatte sprinter da det hovedsakelig kun vil være en utvikler på prosjektet. Kodebasen vil håndteres ved hjelp av versjonskontrollverktøyet *Github*, bruk av branches, commits og merges. For å holde oversikt over oppgaver som må gjøres og feil i koden vil vi bruke *Github* sin *Issue Tracker* med *labels*. Vi kommer til å bruke følgende *labels* for å klassifisere oppgaver

- *Bug* beskriver en feature med en feil, og skal brukes sammen med code eller design
- *Code* beskriver at det er et kode problem
- *Design* beskriver at det er et design problem
- *Feature* beskriver noe nytt som skal lages, og skal brukes sammen med code eller design
- *Idea* beskriver eks. en ny feature som må evalueres videre før det er klart for implementasjon. Trenger ikke nødvendigvis være en feature
- *Important* brukes for å beskrive noe som må prioriteres.
- *Need specification* sier at noe må diskuteres mer før vi kan gå videre med implementasjonen. Dette er ofte et mellomstadium mellom *Idea* og *feature*, men kan også være en *feature* hvor man har støtt på et problem som må diskuteres med andre.
- *Won'tfix* er rett og slett noe som vi ikke fikser
- *Question* er et spørsmål. Er også mest sannsynlig det korrekte valget om ingen av de andre labelene passer

Grunnen til at akkurat disse *labels* er valgt er fordi vi har erfaring med å organisere kodeproblemer på denne måten fra andre prosjekter.

2.9.7 Oppsummering

I dette kapitlet har vi sett hvordan vi har planlagt løsningen vår. Vi har definert krav, laget brukergrensesnitt skisser, sett på teknologivalg, biblioteker og hvorfor programvaren ikke kan kjøres på dronen.

3 Eksperiment

I dette kapitlet skal vi bruke teorien vi har lært oss i kapittel 2 i praksis og gjøre eksperimenter og forskning på hvordan vi kan finne sau. Vi skal se på hvilke tester vi gjorde på hustak for å vise at vi klarer å analysere termisk data, vi skal se på testplaner, hvordan vi har prøvd å gjøre stereokamerakalibrering mellom termisk kamera og visuelt kamera i tillegg til hvilke målinger vi har gjort i felt. Resultatene fra eksperimentene presenteres i kapittel 4.

3.1 Test på hustak

Tidlig i prosjektet ønsket vi å se om vi klarte å finne varme områder fra en IR-sensor på et visuelt bilde. Vi fant et datasett fra en *Flir Duo Pro R* tatt fra drone. Datasettet inneholdt mange bilder av hustak hvor vi plukket ut noen som på forhånd var analysert ved hjelp av programmet *Flir Tools*, slik at vi visste hvilke områder vi kunne forvente å finne. Eksperimentet besto av

1. Lese temperaturdata
2. Gruppere områdene
3. Visualisere funnene

De neste delkapitlene vil beskrive de tre del-eksperimentene i mer detalj.

3.1.1 Lese temperaturdata

Bildene var tatt i et *Flir* proprietært format kalt Radiometric Joint Photographic Experts Group (JPEG-R). JPEG-R inneholder flere versjoner av samme bilde i samme fil, inkludert den termiske fremstillingen fra IR sensoren. For å skille ut den radiometriske versjonen

brukte vi verktøyet *Flir ThermoFolder* som leste bildene og ga oss en Comma Separated Values (CSV) fil som kun inneholdt den termiske dataen vi var interessert i.

3.1.2 Gruppering av varme områder

For å gruppere varme områder trengte vi en grupperingsalgoritme. Hovedkriteriet i valg av algoritme var at det må støtte et ukjent antall kluster, da vi ikke vet hvor mange varme grupper vi har i bildet på forhånd.

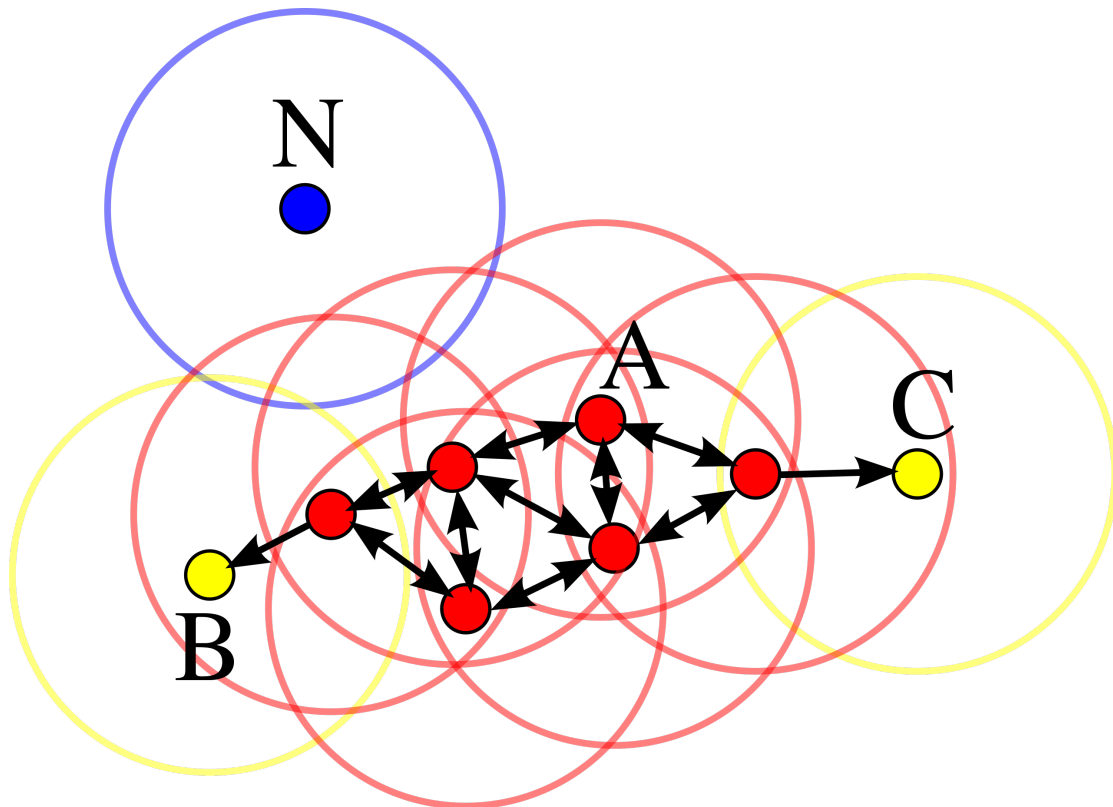
Valget falt på *DBSCAN*, en tetthetsbasert algoritme som genererer nye kluster ved behov. *DBSCAN* fungerer ved at det tar et punkt og leter etter naboer basert på en distanseparameter. Hvis algoritmen finner nok naboer gitt av en parameter for minimum kluster størrelse til at det kan danne et kluster, generes klusteret og algoritmen fortsetter å søke etter nye naboer å legge til i dette klusteret. Den gjør dette til den har vært igjennom alle punktene. I tillegg til å danne grupperinger markerer algoritmen støypunkt som ikke er inneholdt i noe kluster slik at disse enkelt kan fjernes.

Da algoritmen besøker alle punkter fra alle punktene så har den en kjøretid på $O(n^2)$, derfor er det viktig for oss å redusere størrelsen på datasettet om mulig. Siden algoritmen er tetthetsbasert, er den ikke avhengig av en forhåndsdefinert form og vil derfor egne seg godt til å identifisere objekter hvor vi ikke vet hvordan formen på objektet er. Vi kan se et eksempel på et kluster med røde punkter, to gule kantpunkter og et blått støypunkt i figur 3.1.

3.1.3 Visualisering av resultat

For å visualisere og bekrefte resultatet valgte vi å plassere punktene fra gruppene vi fant i kapittel 3.1.2 over pikslene fra det visuelle kameraet. Ideen her var at om de varme områdene ble plassert over hustakene slik at det ikke lenger syntes så hadde vi funnet det område vi var ute etter. På denne måten kunne vi også kontrollere

- At vi ble kvitt støypunkter
- At formen på klusteret er lik formen på hustaket
- At klusteret ikke inneholder hull



Figur 3.1: Illustrasjon av DBSCAN klyngealgoritme hvor *A* (rødt) markerer en klynge, *B* og *C* (gule) markerer ytterpunkt i klyngen, mens *N* (blå) markerer et støypunkt som blir fjernet siden det ikke tilhører noen klynge [41].

3.1.4 Konvertere fargedata til temperatur

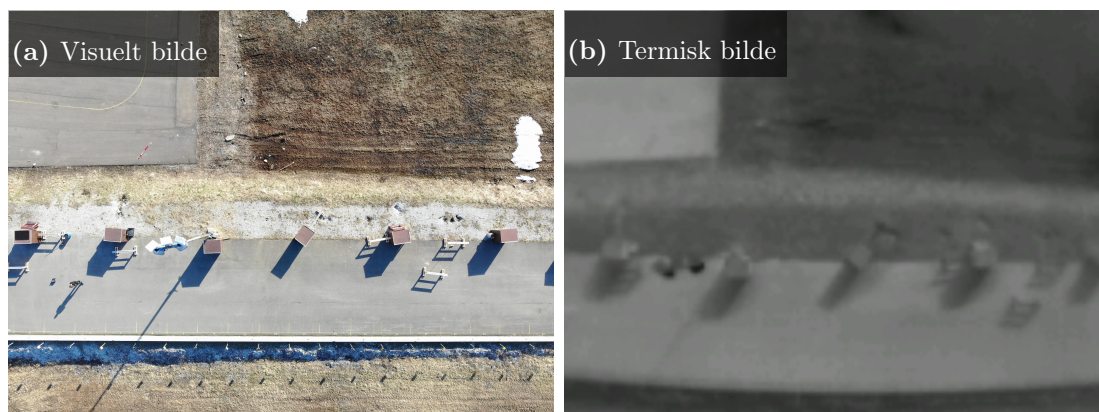
Siden vi jobber med termisk data som visualiseres i bilder istedenfor rådata må vi selv konvertere bildet til et todimensjonalt array av temperaturer. Dette gjør vi ved å lese fargen i hver piksel og kalkulere en temperatur basert på pikselintensitet. Formelen for en slik konvertering er følgende

$$\text{RGB}/255 * (\text{max} - \text{min}) + \text{min} = \text{Temperatur}$$

RGB er da gjennomsnittet av rød, grønn og blå mellom 0–255. Max er den øvre grenseverdien for paletten som er brukt, min er den nedre grenseverdien for paletten som er brukt.

3.2 Kalibrering av transformasjonsalgoritme

Da kamera oppfatter virkeligheten i piksler ved hjelp av en rund linse vil ikke et piksel midt i bilde representere en like stor del av virkeligheten som et piksel langt ut i bildet. Dette er kjent som «distortion» eller forvridning på norsk. Eksempel på dette kan sees i bilde 3.2. Det er sannsynlig at denne forvridningen gjør at vi ikke klarer å ta et punkt i bilde fra IR-sensoren og finne samme punktet i det visuelle bildet, og det er dette vi ønsker å lage en algoritme som kan rette opp i.



Figur 3.2: Eksempel på forvridning i bilde. Begge bildene er tatt samtidig av samme område side om side. Det visuelle bildet er allerede korrigert, men det termiske bilde mangler korrigering og får dermed avrundninger langs kantene.

3.2.1 Gjennomføring

Vi trenger et stort område hvor vi kan sette opp fakler. Fakler er valgt da det ved testing med stearinlys ser ut til å gi god varme slik at det blir synlig på IR sensoren samt at de er store nok til at det blir godt synlig på det visuelle kameraet. Ved valg av område må følgende vurderes

- Brannfare: På grunn av varme og glør fra fakler.
- Lover for flygning i område
- Varme i bakken: Kaldere bakke vil gi større kontrast mot faklene.

Vi setter ut ni fakler med kjent avstand mellom de i et 3x3 mønster og tar bilder i 5 meters intervaller fra 15 meters høyde til og med 50 meters høyde.

Det tas fem bilder per høyde i følgende oppsett:

1. Faklene er sentrert i bildet
2. Faklene har senter oppe til venstre i bildet
3. Faklene har senter oppe til høyre i bildet
4. Faklene har senter nede til venstre i bildet
5. Faklene har senter nede til høyre i bildet

Vi starter på 15m da vi trenger minst 9m synsfelt på bakken om faklene plasseres 3m fra hverandre. Vi stopper på 50m da vi ikke tror at vi kommer til å få spesielt brukbare eller nødvendige bilder høyere opp, vi ser da 54 meter x 39 meter av bakken.

Det er mulig noen bilder blir forkastet. Dette vil vurderes underveis basert på hvor godt polynomet blir, og hvor store endringer flere punkter gir. Det er heller ikke sikkert at faklene vil synes godt på verken den termiske IR sensoren eller det synlige kameraet høyden blir stor, dette vurderes i post-prosesseringen.

3.2.2 Analyse av data

Bildene skal etterpå brukes for å lage et polynom for å beskrive forvridningen når vi oversetter en koordinat fra det termiske kameraet til det visuelle kameraet. Dette gjøres ved å sette inn koordinatene i Geogebra. For eksempel tar vi en X-koordinat fra det termiske kameraet og setter det inn på X-aksen, så finner vi tilsvarende X-koordinat i det visuelle bildet via bildebehandlingsprogram og setter det inn på Y-aksen. Dette gjøres for alle punkter og vi genererer et polynom. Vi gjør det samme for Y-aksen i bildene.

3.2.3 Evaluering

Evaluering vil gjøres ved å implementere polynomet i transformasjonsalgoritmen og kjøre den på et testsett av bilder, hvor vi så vurderer hvor vi tegner på det visuelle bildet.

3.3 Hvilken høyde skal vi fly på

Vi ønsker å finne optimal høyde for deteksjon av sau både for IR sensoren og for det visuelle kameraet. Om vi flyr for høyt så vil vi ikke få nok punkter å analysere til at vi kan si at det er en sau i bildet. Om vi derimot flyr for lavt så får vi mer enn nok punkter, men vil dekke et mindre område per måling og derfor få lengere flytid, som til slutt vil påvirke effektiviteten og kostnaden.

3.3.1 Gjennomføring

For å gjennomføre dette eksperimentet drar vi til *Snefjellå Gård* ved *Anne-Kari Snefjellå* beskrevet i kapittel 2.8.3. Her er det *Vær* som beiter på et lite, avgrenset område utenfor fjøset, noe som gjør det enkelt å gjennomføre eksperimentet.

Av forberedelse er område vi skal fly i som kan sees i figur 2.13 meldt inn til NSM. Det er i tillegg avtalt tid med eieren av gården. Dronen settes opp til å se på temperaturområdet 0 grader til 40 grader celsius med en svart-hvit palett.

Selve testen gjøres ved at dronen posisjoneres et gitt antall meter over bakken hvor vi tar både termisk bilde og synlig bilde av sauene. Vi tar bilder i 10 meters intervaller fra 10 meters høyde til og med 120 meters høyde, og testen vil bli gjennomført tre ganger på dagtid for å verifisere resultatene.

3.3.2 Analyse av data

Bildene vi får analyseres ved hjelp av vår deteksjonsalgoritme. Vi noterer:

- Høyden dronen har
- Temperatur av sauene
- Synlighet MSX
- Synlighet IR
- Synlighet visuelt

3.4 Når på døgnet skal vi fly

Når på døgnet vi flyr påvirker målingene vi gjør da grunnen sauene står på blir varmere utover dagen. Vi ønsker å finne det tidspunktet som gir optimal kontrast mellom sau og grunn, samtidig som vi gjenkjenner sauene. Denne testen blir noe begrenset av restriksjoner på flygning i mørket som ble beskrevet i kapittel 2.7 siden vi ikke har tillatelse til å fly i mørket.

3.4.1 Gjennomføring

For å gjennomføre dette eksperimentet drar vi til *Snefjellå Gård* ved *Anne-Kari Snefjellå* som tidligere nevnt i kapittel 2.8.3. Her står det *Vær (hannsau)* utendørs ved siden av fjøset deres.

Vi flyr på den høyden vi fant i eksperimentet *Hvilken høyde skal vi fly på?* (kapittel 3.3). Vi tar tre bilder av sauene hvor de har forskjellig posisjon i bildet.

3.4.2 Analyse

Vi analyserer bildene ved hjelp av deteksjonsalgoritmen vår og noterer

- Klokkeslett
- Temperatur av sauene
- Hvilket vær det var (overskyet eller sol)
- Temperatur på bakken rundt sauene

3.5 Stereokamerakalibrering

Siden vi ønsker å bruke begge kameraene til å lete etter sau og verifisere om objektet vi har funnet faktisk er sau, er det ønskelig at vi kan velge ett punkt fra det termiske kameraet og finne tilsvarende punkt i det visuelle kameraet, og motsatt. Dette vil gi oss muligheten til å dobbelt verifisere funnene våre slik at vi unngår falske positiv. Et eksempel på et tilfelle hvor dette vil være nyttig er om vi ved hjelp av det visuelle kameraet finner en

samling hvite piksler, så kan vi bruke den termiske sensoren for å sjekke om samlingen hvite piksler har temperatur tilsvarende en sau. På den måten kan vi skille et funn av en sau mot en falsk positiv. For å kunne finne samme punkt i begge kameraene må vi utføre stereokamerakalibrering som vi skal snakke om i dette kapitlet.

3.5.1 Hva er en stereokamerakalibrering

En stereokamerakalibrering består av å finne Intrinsic matrix og Extrinsic Matrix [42] slik at vi kan beregne hvor kameraene er i forhold til hverandre og hvor et punkt er i forhold til kameraene. Normalt brukes dette i forbindelse med 3D kamera hvor man beregner avstanden til et punkt i et bilde.

Intrinsic matrix

Intrinsic matrix består av en matrise som tar høyde for:

- Brennvidde
- Optisk senter
- Forvridning på grunn av linse

Matrisen beskriver altså det individuelle kameraets fysiske parameter og kan brukes for å normalisere bildet ved å fjerne forvridningen i bildet.

Extrinsic matrix

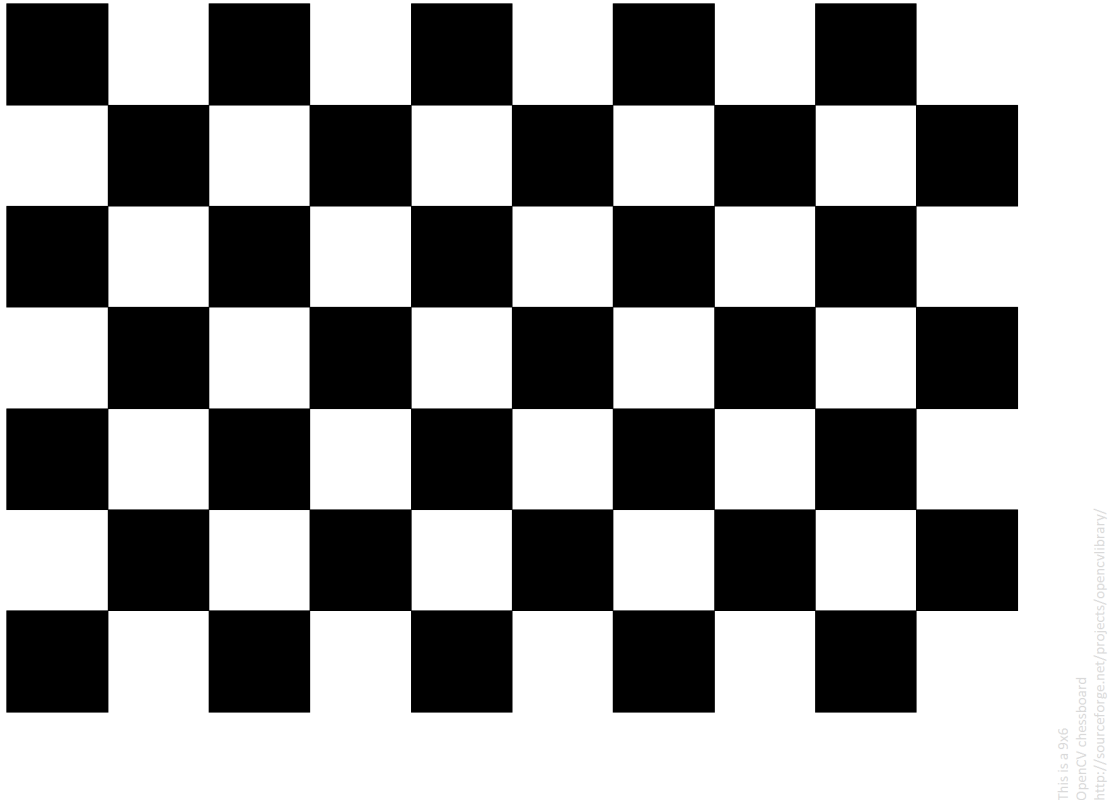
Extrinsic matrix består av en matrise som tar høyde for:

- Rotasjon
- Translasjon

Matrisen beskriver hvor kameraet står i forhold til objektet vi tar bilde av, i dette tilfellet et kalibreringsmønster. Denne matrisen brukes for å beregne hvor det termiske kameraet står, og hvilken vinkel det har i forhold til hvor det visuelle kameraet står og hvilken vinkel det har.

3.5.2 Gjennomføring

Dette eksperimentet har en utfordring i at vi skal ta bilde samtidig med både termisk kamera og visuelt kamera av et kalibreringsmønster som skal synes i begge spektrene samtidig. Vi brukte et kalibreringsmønster som vi kan se i figur 3.3 som er et rutenett hvor en algoritme etterpå skal finne hjørnene.

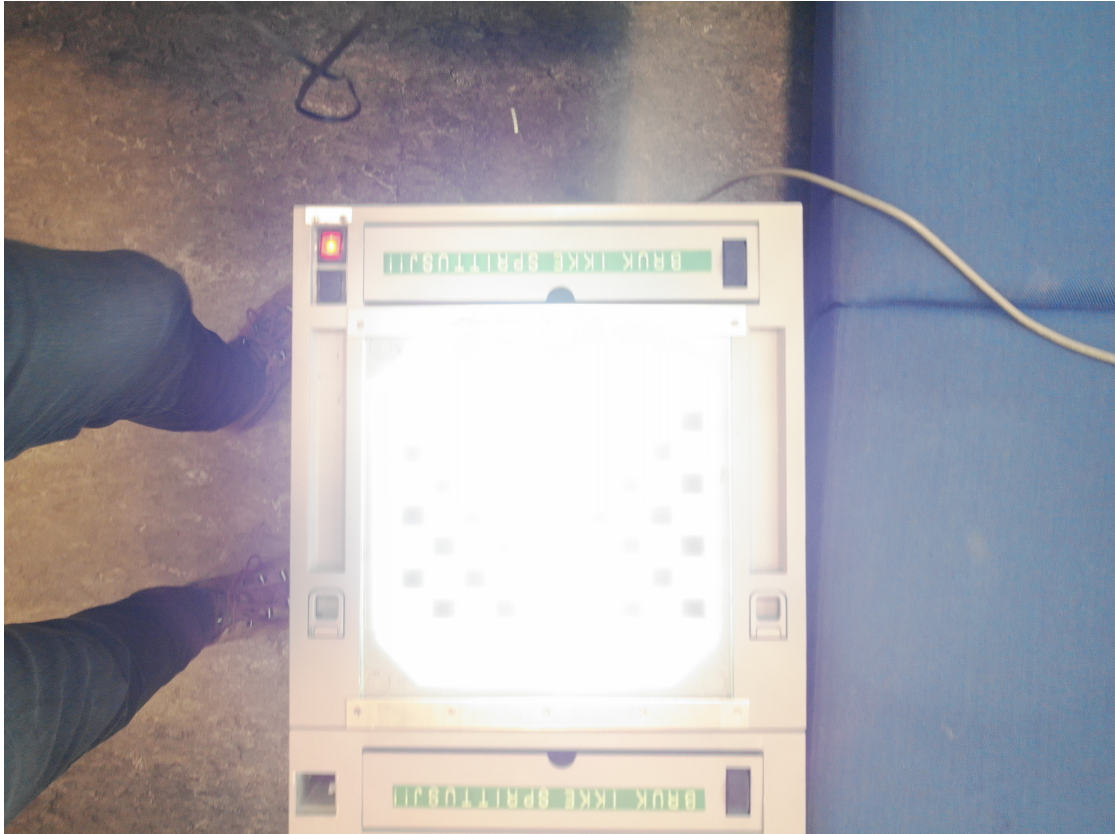


Figur 3.3: Illustrasjon av kalibreringsmønster fra OpenCV.

For at dette skal synes i både visuelt spekter og termisk spekter samtidig printet vi dette på transparent overhead film, som vi deretter la på en overhead slik at den ved hjelp av lyset skal varme opp de svarte rutene slik at de blir varme på det termiske kameraet. Problemet med dette er at den samme kraftige lampen som varmer opp de svarte rutene også gir for lyse bilder til det visuelle kameraet som vi kan se i figur 3.4.

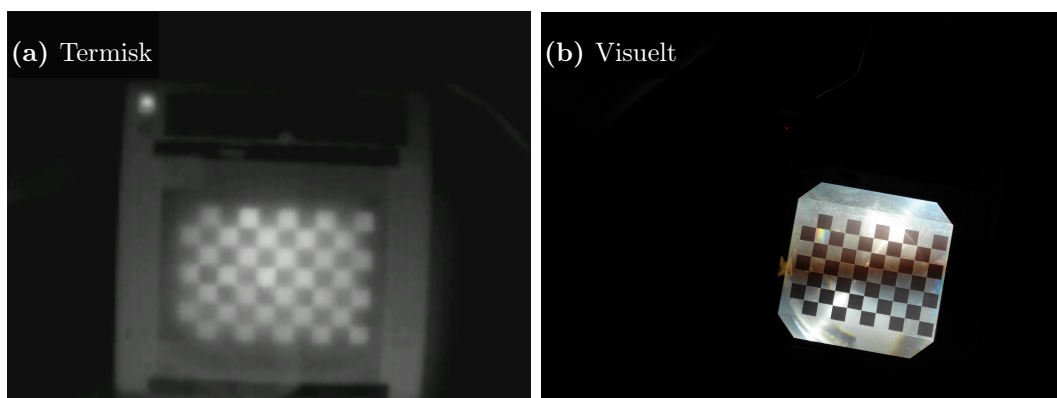
Løsningen på det problemet var justere lukkertiden på det visuelle kameraet så langt ned vi kunne slik at det fanget mindre lys, men samtidig nok. Da fikk vi et bildepar hvor kalibreringsmønster både var synlig i termisk spekter og synlig i visuelt spekter. Et eksempel på et slikt bildepar er i figur 3.6.

Når dette var gjort brukte vi *Camera Calibrator App* i *Matlab* og kalibrerte termisk kamera og visuelt kamera hver for seg for å teste at den automatisk klarte å gjenkjenne

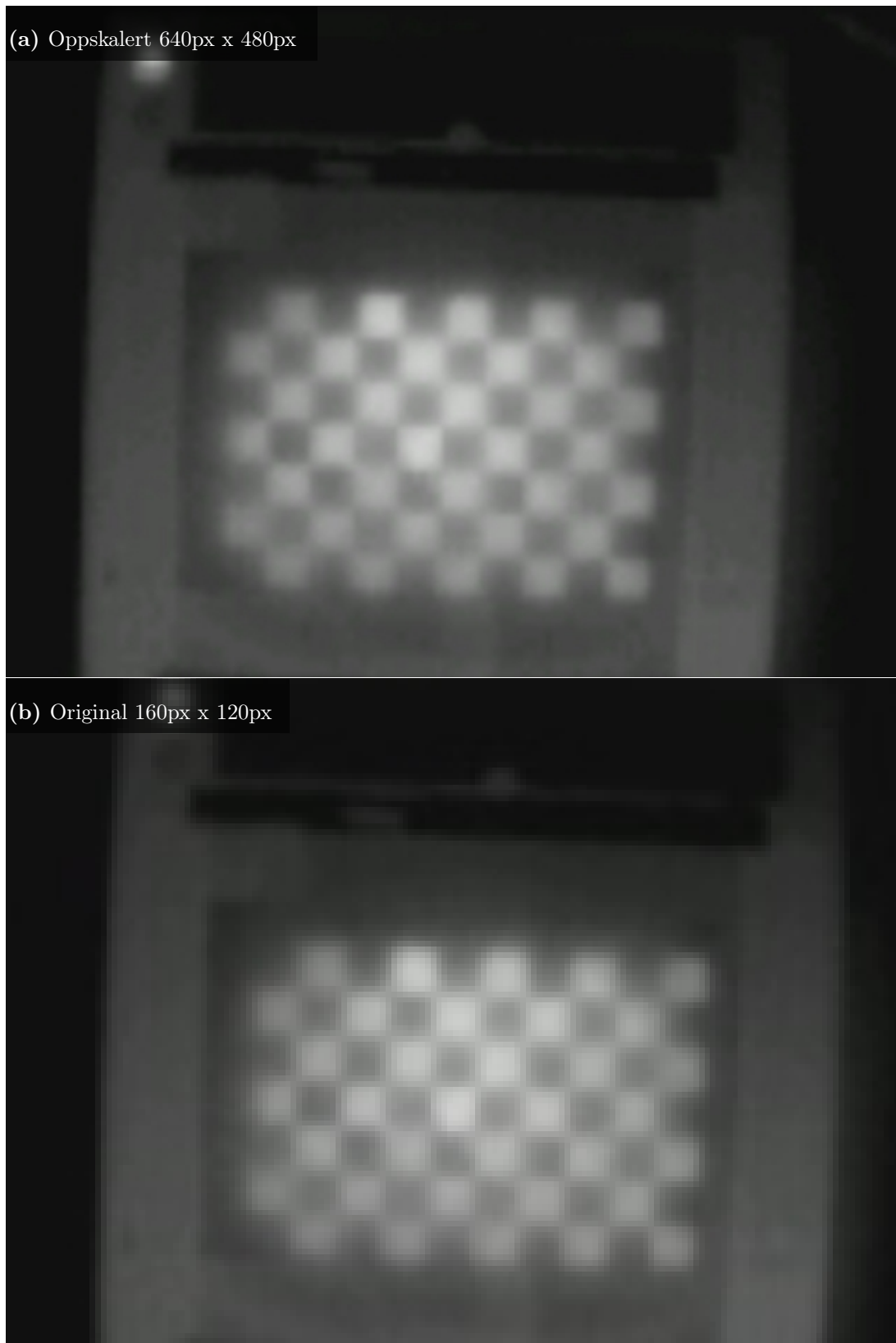


Figur 3.4: Eksempel på problem med å ta bilder mot overhead.

hjørnene. Det fungerte greit på de visuelle bildene, men det feilet på de termiske bildene. Teorien her er at sensoren på det termiske kameraet kun er 160 piksler * 120 piksler, men så oppskalerer *DJI* bildene til 640 piksler * 480 piksler ved å jevne ut overgangen mellom, slik at vi ikke får tydelige kanter, men heller uklare, graderte kanter. For å motvirke dette reduserte vi antall piksler i bildet fra 640*480 til 160*120, og fikk bedre resultater under kalibreringen. Vi kan se et eksempel på disse forskjellene i figur 3.5 hvor vi ser at figuren med lavere pikselantall har betydelig skarpere kanter enn den med høyt pikselantall.



Figur 3.6: Eksempel på termisk og visuelt bildepar.



Figur 3.5: Oppskalert bilde og originalt bilde. Bilde (a) er eksportert IR-data fra drone. Sensorstørrelsen tilsvarer derimot bilde (b).

3.6 Gjenfinning av kyr

5. august 2019 fikk vi en mail fra *Maritime Robotics* om at de hadde vært på en datainn-samling på en gård i Sverige. Der hadde de fått tatt bilder av kyr på 50 meter, 100 meter og 120 meter høyde med en *Flir Duo Pro R* som er en kombinasjon av både visuelt og termisk kamera. Grunnen til at de hadde tatt bilder av kyr og ikke sau var at gården ikke hadde sau. I det datasettet de ga oss fant vi noen bilder vi kjørte en lignende analyse som vi gjorde på hustak i kapittel 3.1, men modifisert for å passe bedre til kyr, noe man kan lese i kapittel 3.6.1. Resultatene fra dette eksperimentet kan vi lese om i kapittel 4.4. Selv om datasettet er av kyr og ikke sau så er det interessant for oss å gjøre tester på det kan bekrefte at fremgangsmåten vår fungerer på andre dyr, og da er det nærliggende å tro at det kommer til å fungere på sau også.

3.6.1 Analyse

For å analysere bildene har vi som sagt gått for en lignende fremgangsmåte som beskrevet i kapittel 3.1. Før vi starter med å justere algoritmen fant vi at kyrene i bildene hadde en temperatur på ca. 50 grader celsius. Dette gjorde vi gjennom *Flir* sin proprietære programvare *Flir Tools* for post-prosessering av *Radiometric JPEG* som er formatet *Flir* lagrer bildene sine i. Siden et termisk bilde egentlig er et todimensjonalt array av temperaturdata kan vi bruke følgende fremgangsmåte for å finne kyr i bildene:

- Fjerne for varme og for kalde punkter
- Generere kluster med DBSCAN (kapittel 3.1.2) hvor distanseparameter er 1 og minPts er 10
- Sjekker areal, bredde og høyde på gruppene vi får for å filtrere bort de som ikke ligner på kyr

Det vi sitter igjen med er kluster som representerer kyr. Vi har ikke gjort stereokamerakalibrering som er det endelige målet for å merke visuelle bilder, men resultatene vi har fått viser at det er mulig å automatisk generere kluster og på den måten merke de termiske bildene. Siden dette datasettet er av kyr er det begrenset hvor mye tid vi er villig til å bruke på det, og vi gjør derfor ikke videre arbeid på dette datasettet.

3.7 Eksperiment i Storlidalen 21.–22. august 2019

21. august dro Magnus Guttormsen og Svein-Olaf Hvasshovd til Storlidalen, Oppdal, hvor Svein-Olaf har hytte. Hyttfeltet er omgitt av flere gårdsbruk som driver med sau, og variert terreng som godt representerer områder vi normalt kan forvente å finne sau i. Målet med turen er å finne ut av hvor høyt vi kan fly å fortsatt se sau på bildene med *IR-kamera*, *MSX* og *visuelt-kamera*. Grunnen til at vi ønsker å finne ut hvor høyt vi kan fly er fordi jo høyere vi flyr, jo større område dekker vi med ett enkelt bilde. Hvis vi kan dekke ett større område fører det til at vi kan redusere kravet om flytid på dronen.

3.7.1 Forberedelse

Før turen ble det foretatt noen forberedelser. I uken før fulgte vi med på værprognoser fra *yr.no* da vi ikke ønsker regn siden utstyret vårt ikke tåler dette. Når værprognoser så lovende ut meldte vi inn området vi skulle fly på til NSM. Siden vi ikke var sikre på nøyaktig hvor i området sauen befant seg meldte vi inn et betydelig større areal enn det vi egentlig hadde behov for. Utstyret ble sjekket innendørs før avreise for å kontrollere at drone fortsatt fungerte som forventet.

3.7.2 Gjennomføring

Det ble planlagt i alt 11 måleserier hvor vi målte med 10 meters intervaller og evaluerte synlighet av sau. For hvert intervall ble følgende informasjon registrert:

- Flyhøyde over bakken
- Synlighet av sau ved IR-kamera
- Synlighet av sau ved MSX
- Synlighet av sau ved visuelt-kamera
- Tidspunkt
- Vær
- Temperatur

I alt ble 6 av de 11 målingene gjennomført. Grunnen for avbrytelse av enkelte målinger var enten tåke eller at vi ikke fant sau. Målingene ble foretatt ved at en person styrte dronen og utførte synlighets test på sanntidsbilder fra dronen, mens den andre skrev ned resultatene av testen.

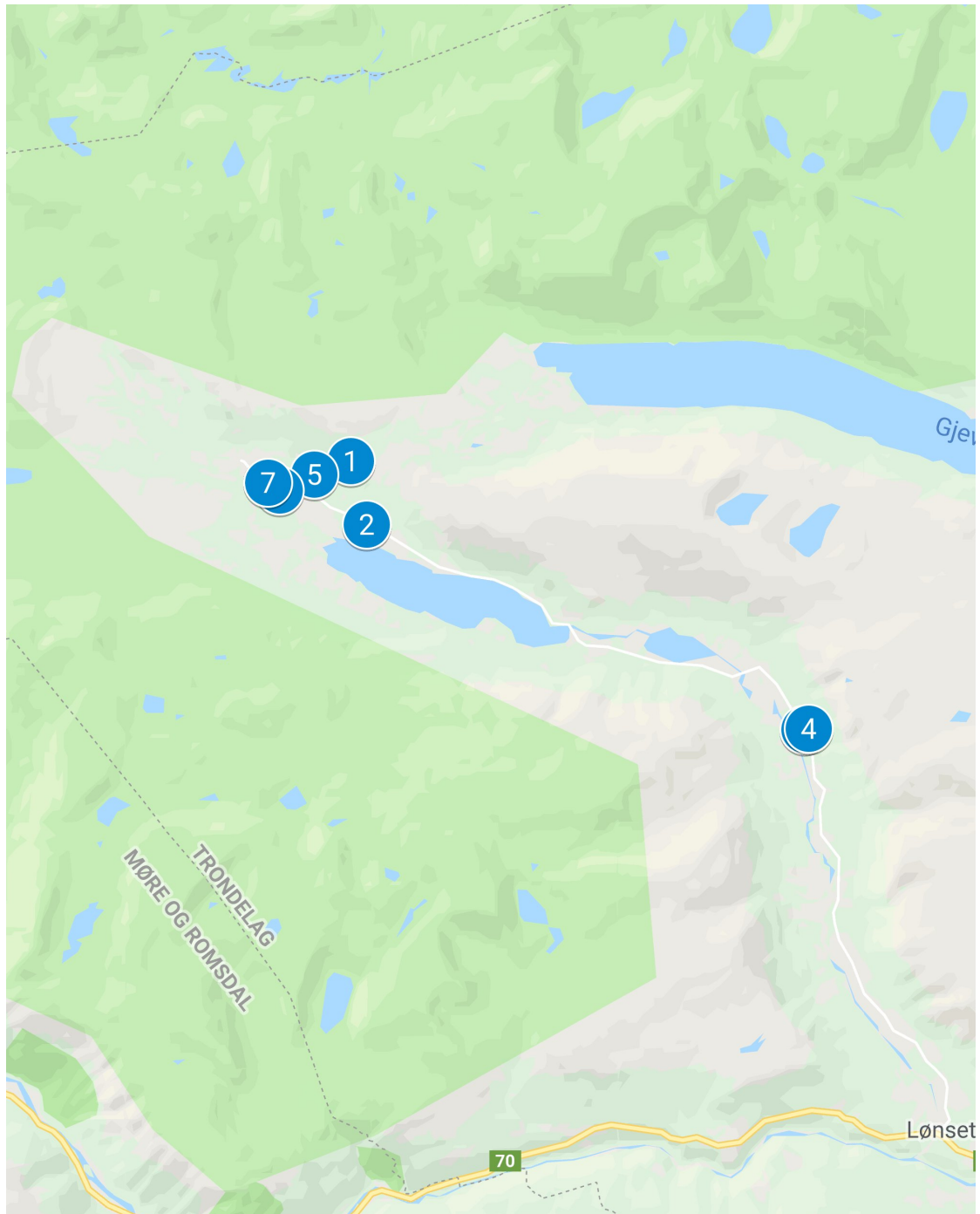
Vi ser på kart i figur 3.7 hvor de forskjellige målingene vi har utført fant sted. Måleseriene som vises på dette kartet er kun gjennomførte måleserier, og inkluderer ikke de avbrutte. Se derfor tabellen under for hvilke nummer på kartet som referer til hvilken måleserie.

3.7.3 Behandling av data

Etter at forsøket var ferdig gikk vi igjennom alle bildene som ble tatt og registrerte om vi så sau i bildene på de gitte høydene som vi sjekket når vi var ute i felt. I tillegg til dette registrerte vi:

- Klokkeslett
- Koordinater
- Temperatur på sau
- Temperatur i luften
- Høyde over bakke

Selv om flere av punktene over ble registrert under gjennomføring i felt ble de registrert på nytt, mer nøyaktig ved hjelp av metadata og loggfiler fra dronen. For å få til dette brukte vi et egenutviklet program, *Anvil* som vi forklarer mer i detalj i kapittel 3.9. Data ble registrert i et Excel dokument som vi deretter brukte for å plote grafer som kan sees i kapittel 4.5. Rådata kan ses i tillegg A.3.



Figur 3.7: Kart over hvor vi tok målingene.

3.8 Eksperiment i Storlidalen 20.–22. september 2019

20.–22. September dro Magnus Guttormsen, Svein-Olaf Hvasshovd og Kari Meling Johannesen tilbake til Storlidalen for å fullføre målingene vi ikke fikk tatt under turen 21.–22. august. Vi fulgte samme forberedelse og testplan som er beskrevet i kapittel 3.7. I tillegg til *DJI M2ED* hadde vi lånt en *DJI Inspire 2* fra *Fakultet for ingeniørvitenskap* ved *NTNU*. Denne dronen brukte vi til å ta høyoppløselige visuelle bilder som vi distribuerte til andre grupper som også skriver oppgave om gjenfinning av sau.

Gjennomføring og behandling av data

Gjennomføring og behandling av data blir gjort likt som når vi var i *Storlidalen* 21. og 22. August, som vi kan lese om i kapittel 3.7.

3.8.1 Problemer

Denne gangen støtte vi dessverre på noen problemer under gjennomføringen som satte begrensninger for hva vi kunne gjøre. Dette delkapittelet tar for seg hva de var og hvordan vi løste de.

Begrenset flygning

Under noen målinger ble vi begrenset av dronen med at vi fikk fly maksimalt 30 meter over bakken og maksimalt 50 meter horisontalt fra fjernkontrollen. Normalt er begrensningene på 120 meter over bakken og 4–5 km fra fjernkontrollen. Dette begrenset noen av våre måleserier og måtte derfor gjentas. Vi fant ikke ut hva årsaken til problemene var, men vi fant at om vi slo på *Local Data Mode* så forsvant problemene. *Local Data Mode* sørger for at dronen ikke er koblet til internett og fjerner noen av restriksjonene som er satt av *DJI*, inkludert noen av rekkevidde- og høydebegrensningene [43].

Høy vind

Under forsøkene opplevde vi at det var noen store vindkast som satte begrensninger og ga oss noen problemer i gjennomføringen. Vindkast kan potensielt være farlig da vi kan miste kontrollen over dronen i luften. For en *DJI M2ED* vil det si at et objekt på 1 kg

kan falle ned fra luften, mens med *DJI Inspire 2* vil det være et objekt på 4,25 kg, noe som kan volde stor skade om det treffer noe eller noen. Vi opplevde heldigvis ikke det, men derimot at dronen ikke bestandig klarte å stå stille, og at den til tider driftet slik at vi måtte motvirke denne effekten manuelt. Begge dronene har varslingsystemer til piloten hvor den først varsler om høy vind og at man må være forsiktig, blir vinden enda høyere så vil den be oss om å lande så snart som mulig. Vi fikk et slikt varsel under den ene flygningen og avbrøt målingene og landet for å unngå farlige situasjoner. Målingene ble fullført etter en kort pause.

Regn

På grunn av regn måtte vi utsette turen til *Storbidalen*, og noen av måleseriene måtte også utsettes da det var regn i luften. Dette fordi motorene til dronene ikke er beskyttet, og dermed ikke tåler fukt. Dette påvirket oss ikke i stor grad, men var noe vi måtte ta hensyn til under planlegging og utføring av målingene.

3.9 Vår programvare, Anvil

Anvil er programvaren som er laget basert på kravene beskrevet i kapittel 2.9. Der har vi tatt utgangspunkt i teknologivalg, brukergrensesnitt og brukerhistorier. Programvaren er spesialtilpasset vårt behov for å sette metadata på bildepar for å undersøke hvor godt vi kan observere sau fra drone ved hjelp av IR-sensor og vanlige bilder.

IR-sensoren gir oss som kjent ikke bilder, men termisk data representert som en todimensjonal liste som er representert som et bilde i vårt tilfelle. Bildene ble tatt i en grå palett (altså alle RGB-verdier er like, mellom 0–255), og i temperaturområdet 0 til 45 grader celsius, hvor 0 er svart og 45 er hvit. Dette gjør for eksempel at en sau som er 10 grader vil pikslene som representerer dette være nær svart i farge, og derfor vanskelig for mennesker å se. For å løse dette problemet laget vi en programvare som vi har døpt *Anvil*. *Anvil* lar oss åpne et bilde og endre hvilket temperaturområde vi er interesserte i, slik at om vi heller ønsker temperaturområdet 0 til 30 vil hver grad få 8,5 pikselverdier mot tidligere 5,6 pikselverdier, noe som vil si at mørke objekter blir lysere.

Anvil kan også beregne en mye mer nøyaktig høyde enn den vi får fra dronen under flyging. Dette gjør vi ved å analysere loggfiler og finner høyde over havet basert på data fra GPS. Vi finner så koordinatene til dronen og gjør en spørring mot *Kartverket* sin tjeneste *Høydeprofil*[44]. Ved å gi inn koordinater til denne tjenesten returnerer den bakken sin høyde over havet. På denne måten kan vi beregne dronens faktiske høyde over bakken

ved å bruke formelen:

$$\text{Dronens høyde} - \text{Bakkens høyde} = \text{Dronens høyde over bakken}$$

Siden vi kan beregne temperatur basert på piksel intensitet implementerte vi også muligheten til å klikke på et piksel og lese ut temperaturen på det punktet. Dette brukte vi for å registrere temperaturen på et vilkårlig punkt på en vilkårlig sau i bildene. Formelen for å regne ut temperatur er følgende:

$$\text{RGB}/255 * (\text{max} - \text{min}) + \text{min}$$

Dette er samme formel som brukes for å beregne gjennomsnittstemperatur i bilde.

Anvil kan også sette flagg på bildeparene for å merke om det er sau synlig i termisk bilde, kombinert termisk og visuelt bilde, og i det visuelle bildet. Dette kan gjøres ved å klikke på avkryssingsbokser eller ved å bruke hurtigtastene Numpad 4, Numpad 1 og Numpad 0. Disse hurtigtastene ble spesifikt valgt siden de er nært piltastene som brukes for å endre hvilket bildepar man ser på.

Programvaren har også implementert en *SQLite* database som ikke krever en server for å mellomlagre resultater. Når *Anvil* åpner et bilde sjekker den først om vi allerede har data i databasen før det eventuelt beregner dette. Det er viktig da API-et til *Kartverket* er tregt, og har man 1000 bildepar så kan det ta lang tid å åpne alle sammen. Databasen brukes til å:

1. Lagre metadata om bilder
 - a) Beregnet flyhøyde basert på *kartverket* og loggfiler.
 - b) Koordinater til hvor bildeparet ble tatt.
 - c) Gjennomsnittstemperatur i det termiske bildet.
 - d) Dato og klokkeslett bildeparet ble tatt.
 - e) Hvilke flagg som er satt på bildeparet.
 - f) Eventuelle kommentarer til bildeparet
2. Lagre metadataene til en CSV fil som kan leses av regneark for videre prosessering og analyse.

Vi kan se et skjermbilde av *Anvil* i figur [3.8](#).

The screenshot displays the ANVIL software interface. On the left, a blue navigation bar contains the ANVIL logo and buttons for 'settings' and 'display cupcakes'. Below the navigation bar, there are two buttons: 'CHOOSE LOG CONTENT FOLDER' and 'CHOOSE ROOT IMAGE FOLDER'. The main area is divided into two sections. The top section shows a list of log files with timestamps from 21.08.2019 11:32 to 11:39. The bottom section shows a large heatmap image of a field. To the right of the heatmap is a metadata panel with the following fields:

- Original low temperature: 0
- Original high temperature: 45
- New low temperature: 0
- New high temperature: 45
- Picture taken: 21.08.2019 11:32
- Height: 13.247998046874955
- Coordinates: 62.6929556N 9.1332067W
- Mean temperature: 8.537588036053834
- Temperature: 13.0078125

Below the metadata panel is a 'SAVE ANALYSIS' button. On the right side of the heatmap, there are several controls: 'Hotkey Num4' with a checked checkbox for 'Sheep visible in IR', 'Hotkey Num1' with an unchecked checkbox for 'Sheep visible in MSX', 'Hotkey Num0' with a checked checkbox for 'Sheep visible in Visual', and a 'Comment' text input field.

Figur 3.8: Skjermbilde av Anvil.

4 Resultater

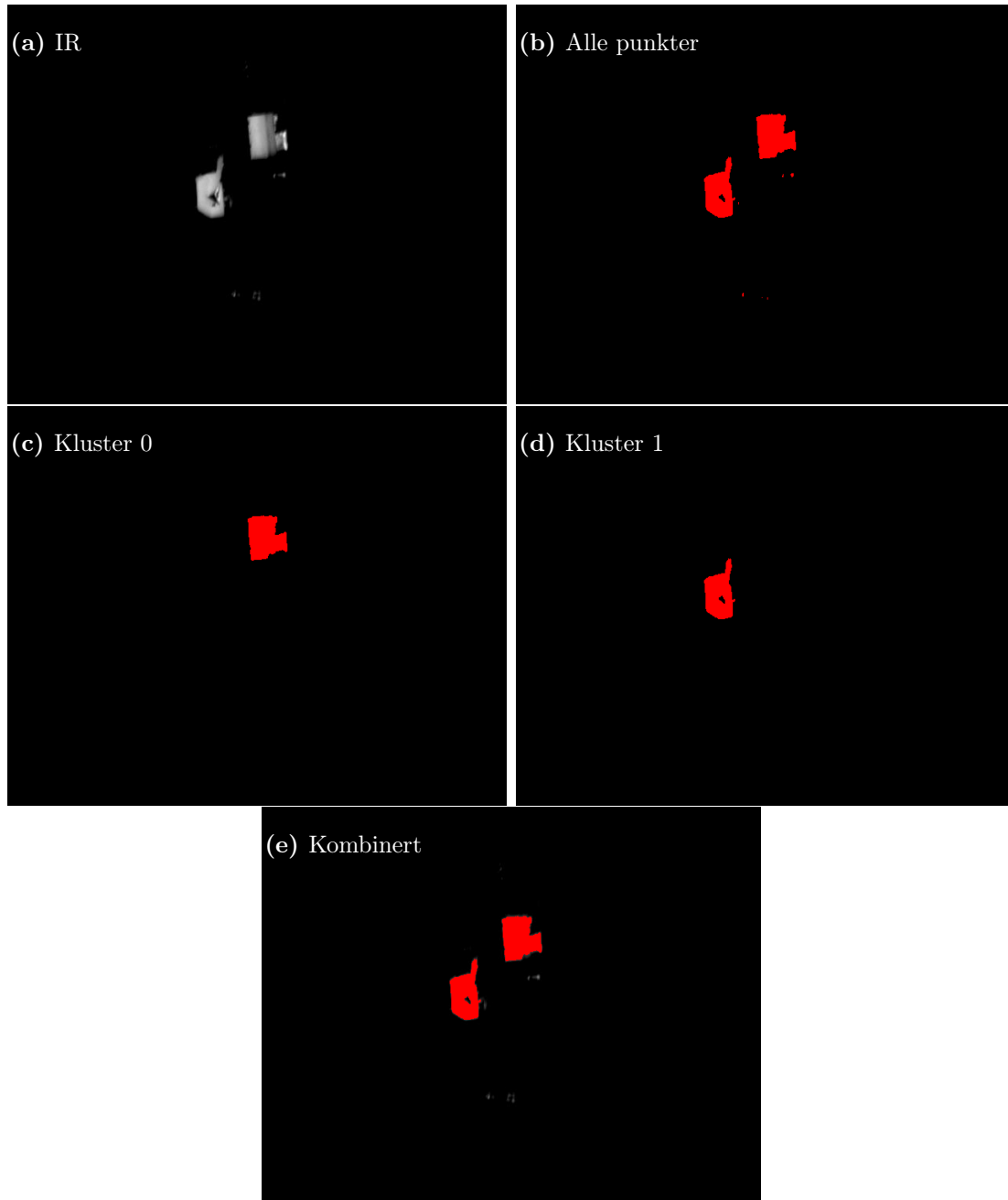
4.1 Test på hustak

Som vi kan se i figur 4.1, har det originale IR-bildet i (a) noen hvite flekker utenfor hustakene som er støypunkter. I (b) har vi hentet ut alle temperaturpunkter fra IR-sensoren mellom 20 og 40 grader celsius. Støypunktene blir veldig tydelig her. I (c) og (d) viser vi kluster 0 og 1, som er resultatene av *DBSCAN*-algoritmen. Vi ser at støypunktene har forsvunnet. I den siste delfiguren, (e), er klusterene visualisert over IR-bildet fra delfigur (a). Som vi ser, har vi funnet de to varme områdene vi er interesserte i og i tillegg klart å utelukke støyen. Vi ser at det er et hull i det ene klusteret, men det er forventet da vi ser det samme hullet i delfigur (a). Fra bildene vi har tilgjengelig ser det ut til at det er et takvindu som ikke er like varmt som takplatene rundt, og derfor representeres som et hull.

Resultatet vi satt igjen med var svært lovende for videre arbeid med algoritme for å gjenkjenne sau.

4.2 Kalibrering av transformasjonsalgoritme

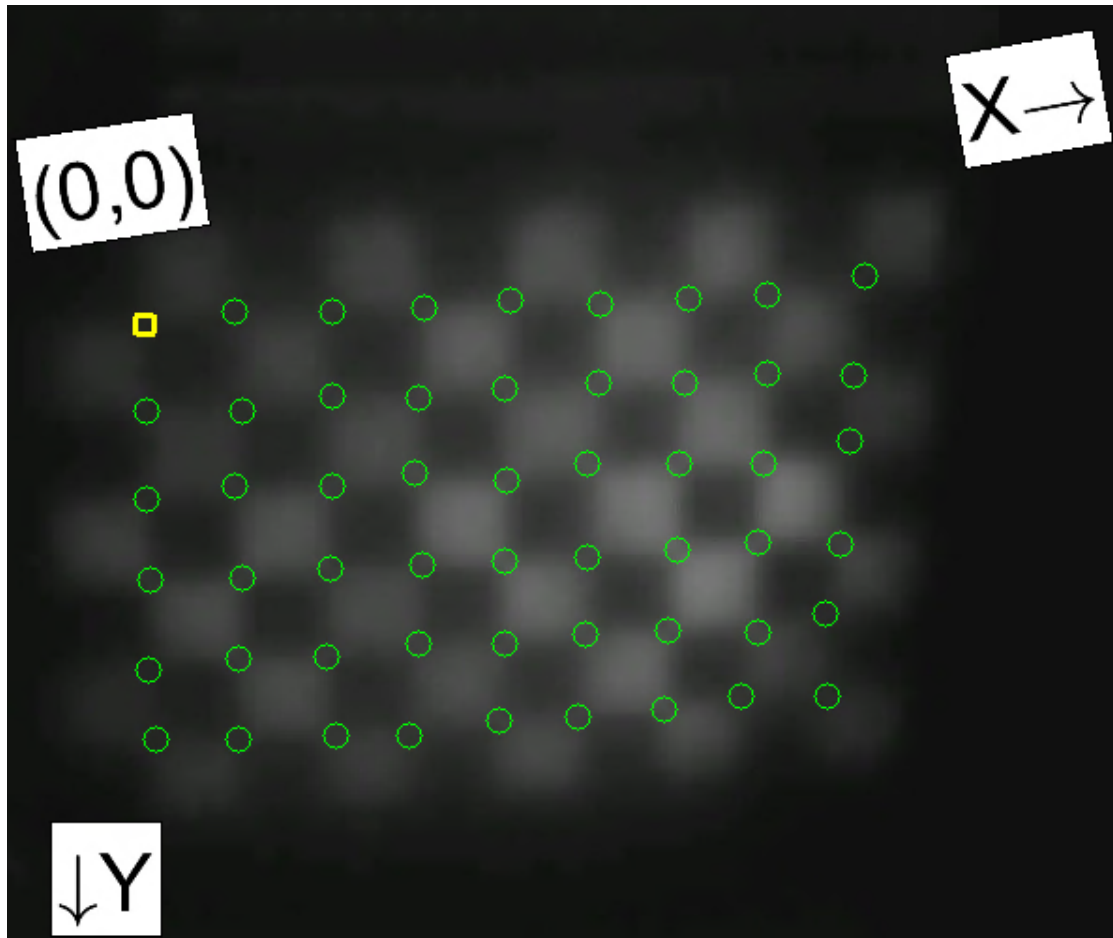
Kalibrering av transformasjonsalgoritmen mislyktes. Hypotesen vår på at vi kunne lage et polynom for å kompensere for forvriddning på grunn av linse er feil, og vi må gjøre en større jobb med stereokamerakalibrering for å oppnå målet vårt om å kunne transformere en pikselkoordinat fra IR-sensoren til en pikselkoordinat i bildet fra det visuelle kameraet. Hvordan dette foregår beskrives i kapittel 3.5. Diskusjon rundt hvordan det gikk med kalibrering av transformasjonsalgoritme kan leses i kapittel 5.2.



Figur 4.1: Test av gruppering (klustering) av tak.

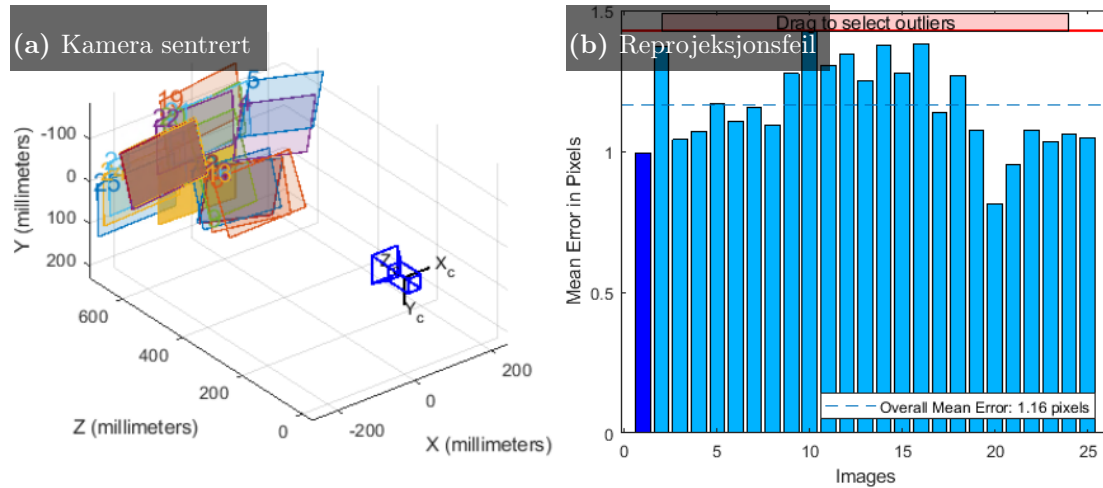
4.3 Stereokamerakalibrering

I figur 4.2 ser vi at *Matlab* sin *Camera Calibrator App* har problemer med å posisjonere alle hjørnene i kalibreringsbildene fra IR-sensoren korrekt, noe som var en gjenganger i de fleste bildene. Dette fører til at kalkulasjonene som skal beskrive forvriddningene i bildet blir feil, slik at en stereokamerakalibrering basert på disse dataene vil gi dårlig resultat. De resultatene vi fikk fra kalibreringen kan vi se i figur 4.3. Den viser en reprojeksjonsfeil på 1,16 piksler.

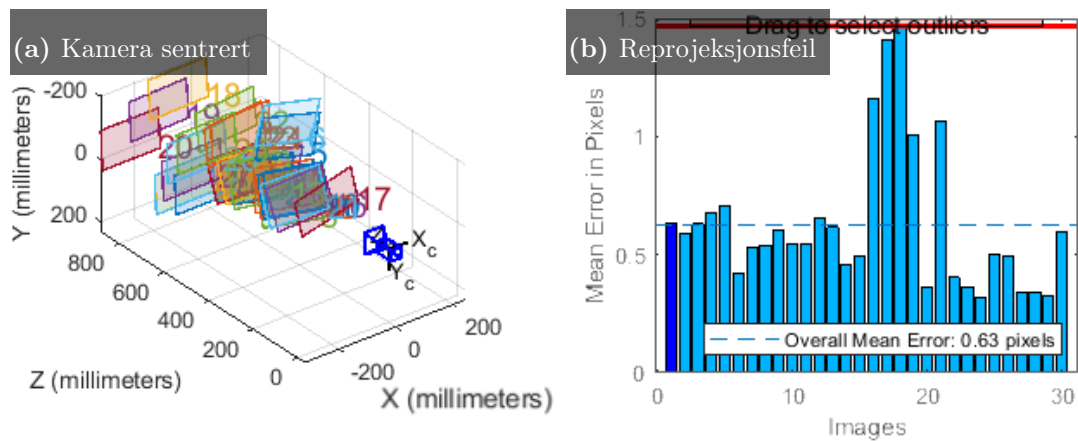


Figur 4.2: Eksempel på hvordan *Matlab* feilplasserte hjørnene. De grønne ringene indikerer ett hjørne og den gule firkanten definerer start på kalibreringsmønsteret. Feilen er størst nederst i høyre hjørne.

I figur 4.5 ser vi samme type kamerakalibrering på vanlige, visuelle bilder. Dette er også gjort ved hjelp av *Matlab* sin *Camera Calibrator App* og vi oppnådde betydelig bedre resultater. Det er fortsatt kun 30 av 126 bilder hvor alle hjørnene blir detektert, men til gjengjeld er hjørnene plassert riktig slik at vi her kan få gode matriser. Som vi ser i figur 4.4 (b) så er reprojeksjonsfeilen kun på 0,63 piksler, det betyr at avstanden mellom det faktiske hjørnet og det detekterte hjørnet kun er på 0,63 piksler, som er en ubetydelig feil.



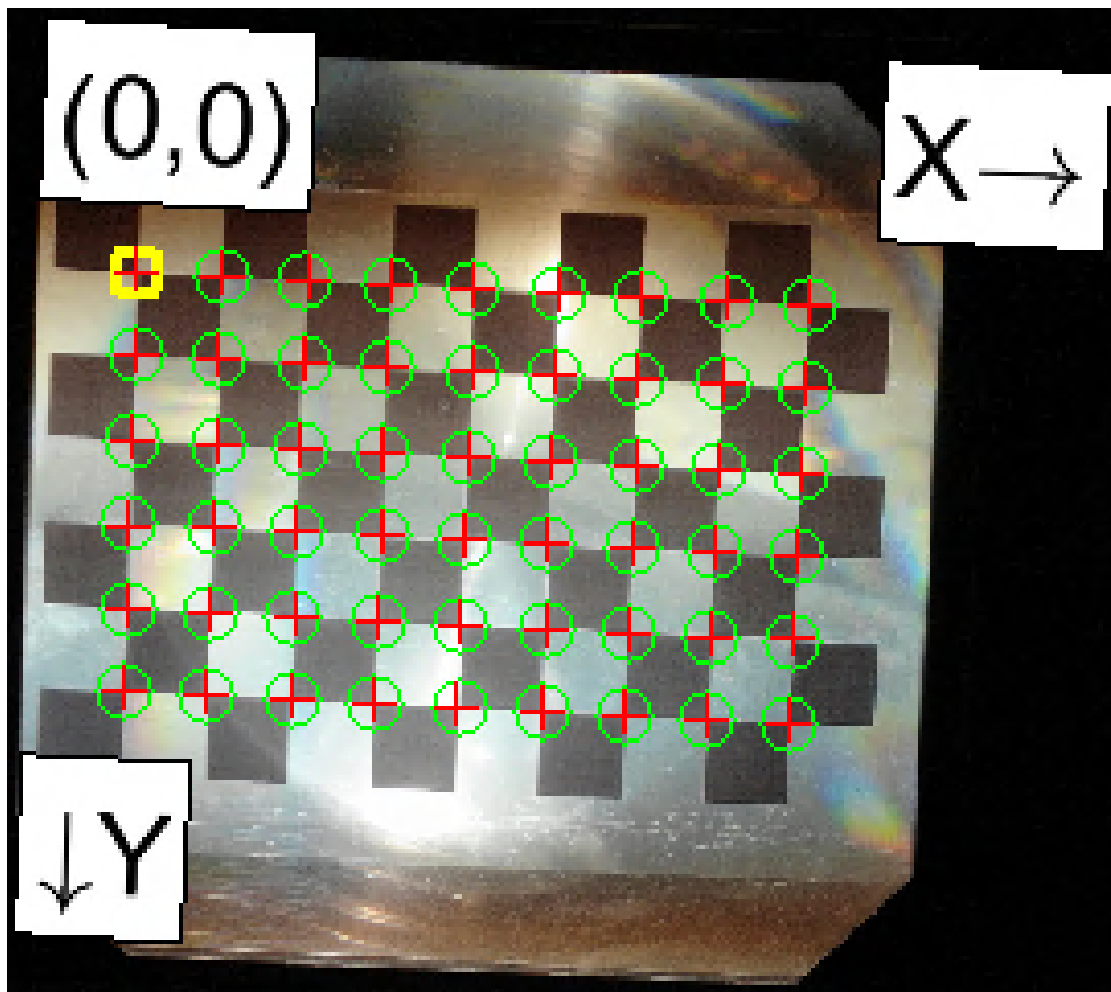
Figur 4.3: Resultater fra kamerakalibrering av IR-sensor i Matlab.



Figur 4.4: Resultater fra kamerakalibrering av kamera i Matlab.

Tabell 4.1: Antall bilder analysert.

	Totalt	Avviste	Aksepterte	Aksepterte i %
Visuelle bilder	126	96	30	23,80%
Termiske bilder	87	62	25	28,73%



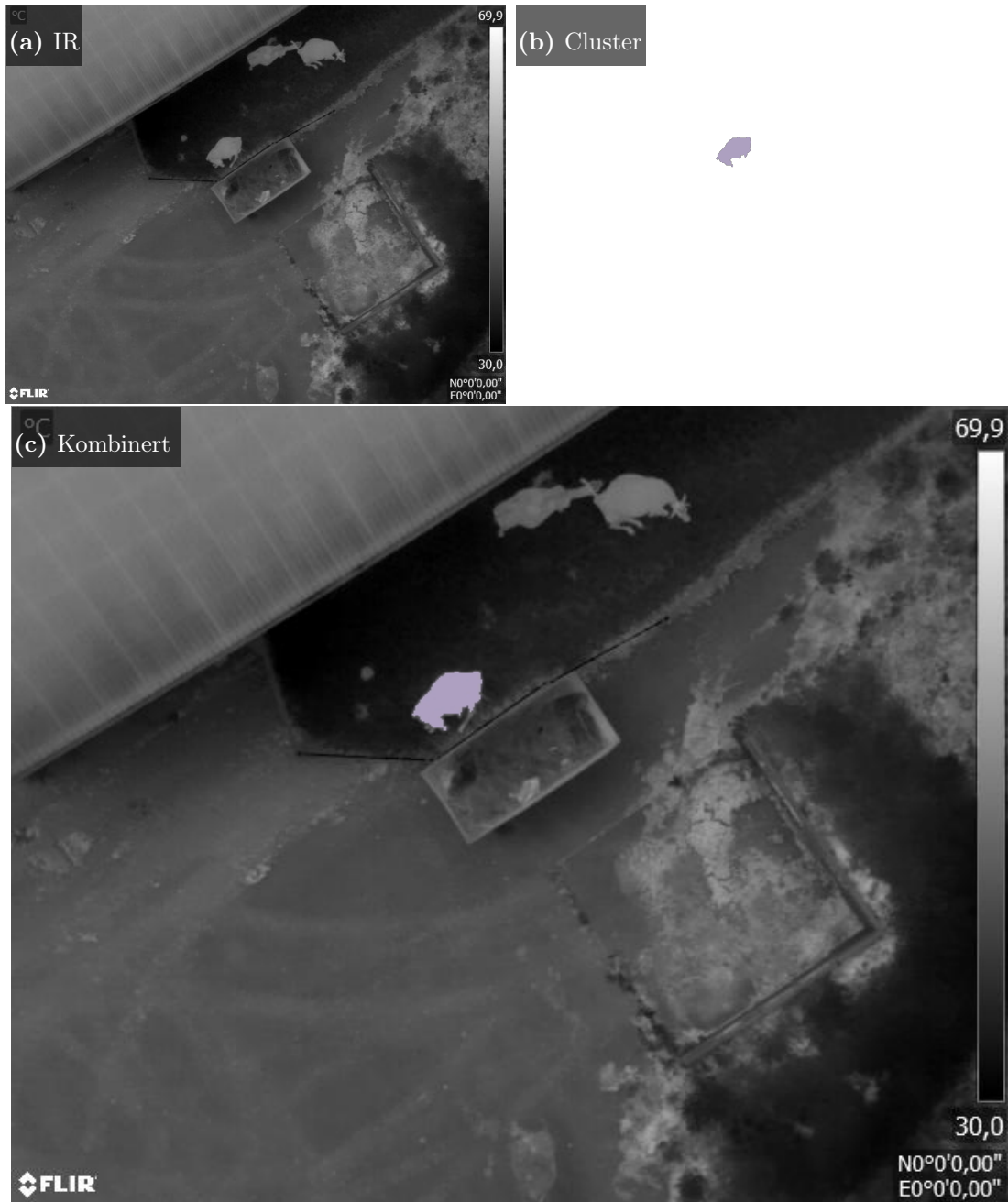
Figur 4.5: Eksempel på hvordan Matlab plasserer hjørnene. De grønne ringene indikerer ett hjørne og den gule firkanten definerer start på kalibreringsmønsteret. De røde kryssene indikerer hvor hjørnene bør være.

Som vi ser i tabell 4.1 så klarer vi å detektere hjørner i under 30% av bildene vi tar. Dette sier dessverre fortsatt ingen ting om muligheten til å gjøre stereokamerakalibrering. En av kravene for å gjøre stereokamerakalibrering er at vi har bildepar, altså at vi må detektere hjørnene i både det termiske bildet og det visuelle bildet som er tatt samtidig for å klare å gjennomføre stereokamerakalibreringen. Dette er et problem fordi det kun er 6,83% sannsynlighet for at vi klarer å produsere et slikt bilde, og vi trenger 10–20 for å få en god kalibrering.

I kapittel 5.3 skal vi se på hva resultatene av dette forsøket betyr for oss.

4.4 Gjenfinning av kyr

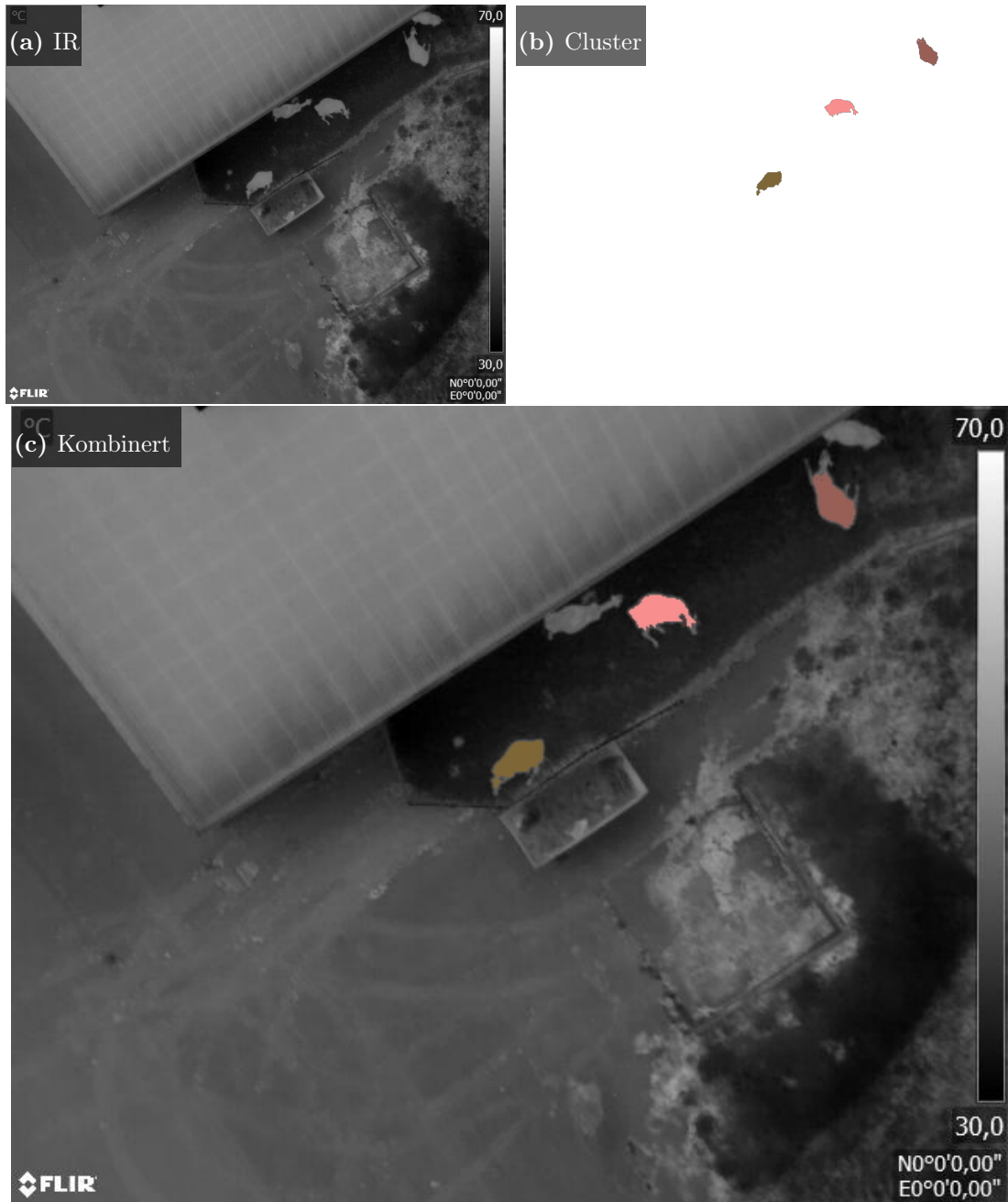
I eksperimentet vi gjorde med utgangspunkt i datasettet av termiske bilder på kyr som beskrevet i kapittel 3.6 fikk vi resultater som bekrefter at det er mulig å finne kyr ved hjelp av kun termisk data. Resultatene fra forsøket er visualisert i figur 4.6, figur 4.7 og figur 4.8. Vi ser at vi ikke nødvendigvis finner alle kyrene i ett enkelt bilde, men ved hjelp av flere bilder finner vi alle kyrene. Om vi hadde brukt mer tid på algoritmen forventer vi at vi kunne fått bedre resultater, men som nevnt i kapittel 3.6 så har vi begrenset med tid å bruke, og velger derfor å ikke utforske dette videre med data basert på kyr.



Figur 4.6: Test av gjenfinning av kyr.



Figur 4.7: Test av gjenfinning av kyr.



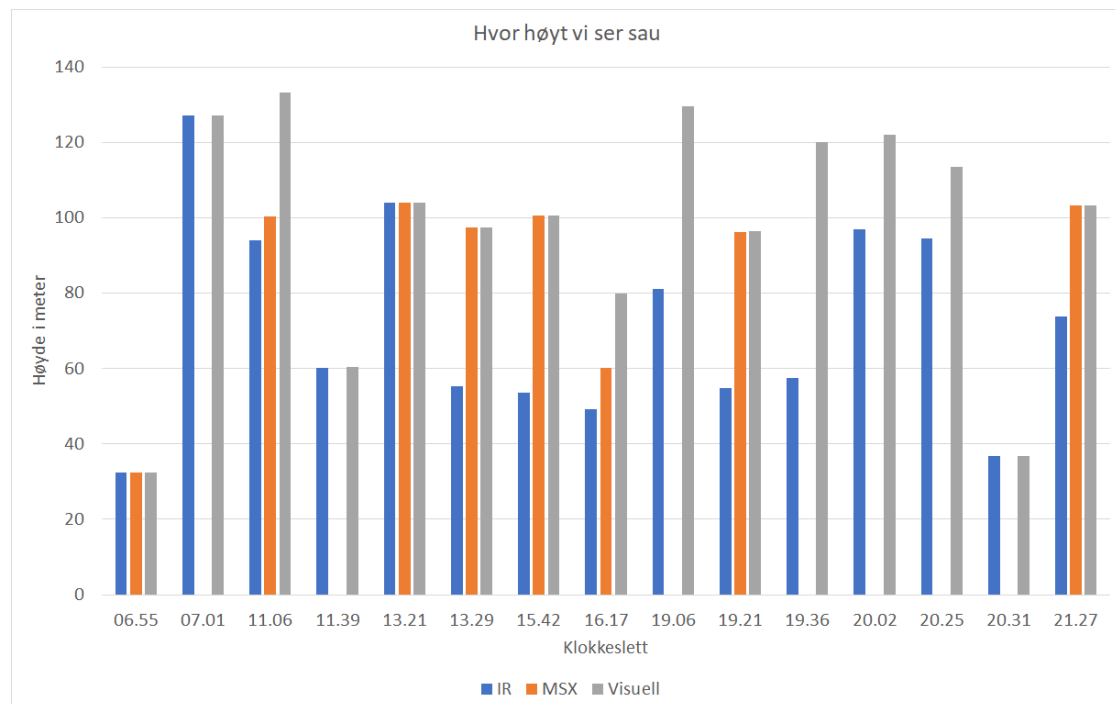
Figur 4.8: Test av gjenfinning av kyr.

4.5 Storlidalen 21.–22. august

Fra Storlidalen har vi analysert data som vi har visualisert i grafer. I figur 4.9 ser vi høyden vi klarer å observere sau på fra de forskjellige målingene. I figur 4.10 ser vi hvilke gjennomsnittstemperaturer vi har målt på sau, luft og bakke under de forskjellige måleseriene vi har gjennomført. Til slutt har vi figur 4.11 som viser oss maksimal og minimal temperatur fra hver måleserie.

4.5.1 Høyde

Fra høydedata som vi finner i tabell 4.2 ser vi at vi i gjennomsnitt kan observere sau opp til 71,43 meters høyde ved hjelp av IR-sensoren. Når vi sier observere sau mener vi at vi kan se varmesignaturen til sauene. Om vi ser på MSX data så økes gjennomsnittshøyden til 86,78 meters høyde. Problemet med MSX er at den ikke klarer å lage konturer på svarte og brune sau, slik at den kun finner hvite sau. I det visuelle kameraet klarer vi i gjennomsnitt å se sau opp til 97,1 meters høyde før de forsvinner. Dette gjelder hvite, brune og svarte sau.



Figur 4.9: Høyder vi så sau fra. Kilde er målinger fra begge turene til Storlidalen.

Tabell 4.2: *Høyden i meter sau ble observert på. Kilde er målinger fra begge turene til Storlidalen.*

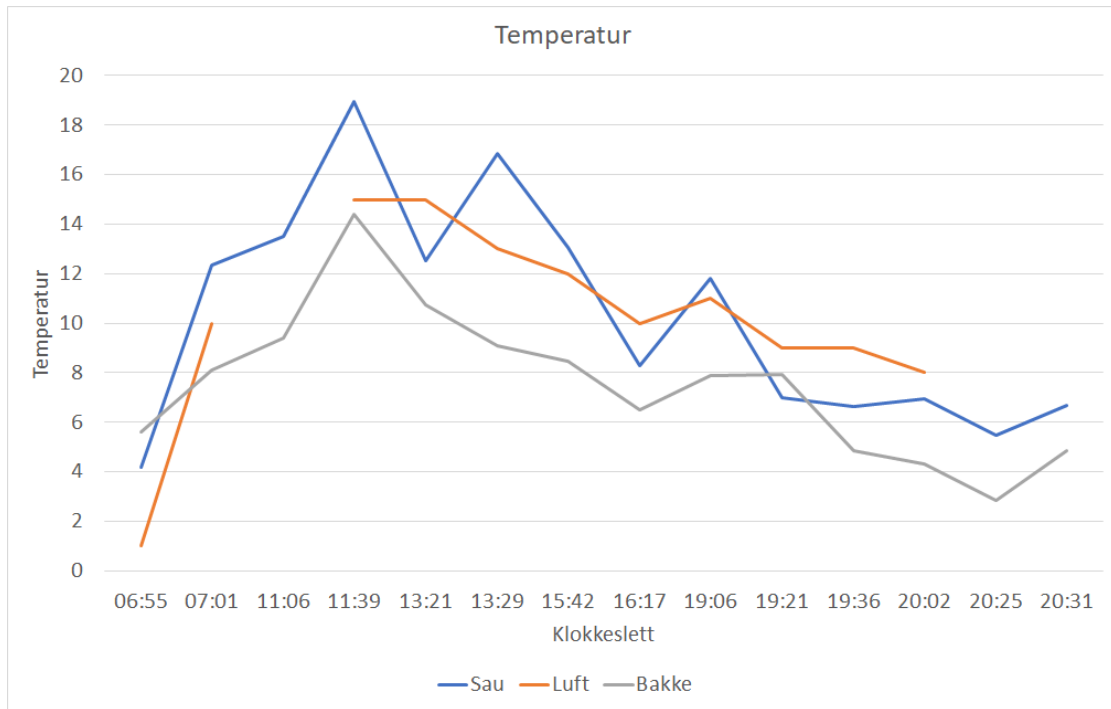
	IR-sensor	MSX	Visuelt kamera
Maksimal høyde	127,01	103,98	133,2
Minste høyde	32,42	32,53	32,53
Gjennomsnittlig høyde	71,43	86,79	97,1

4.5.2 Temperatur

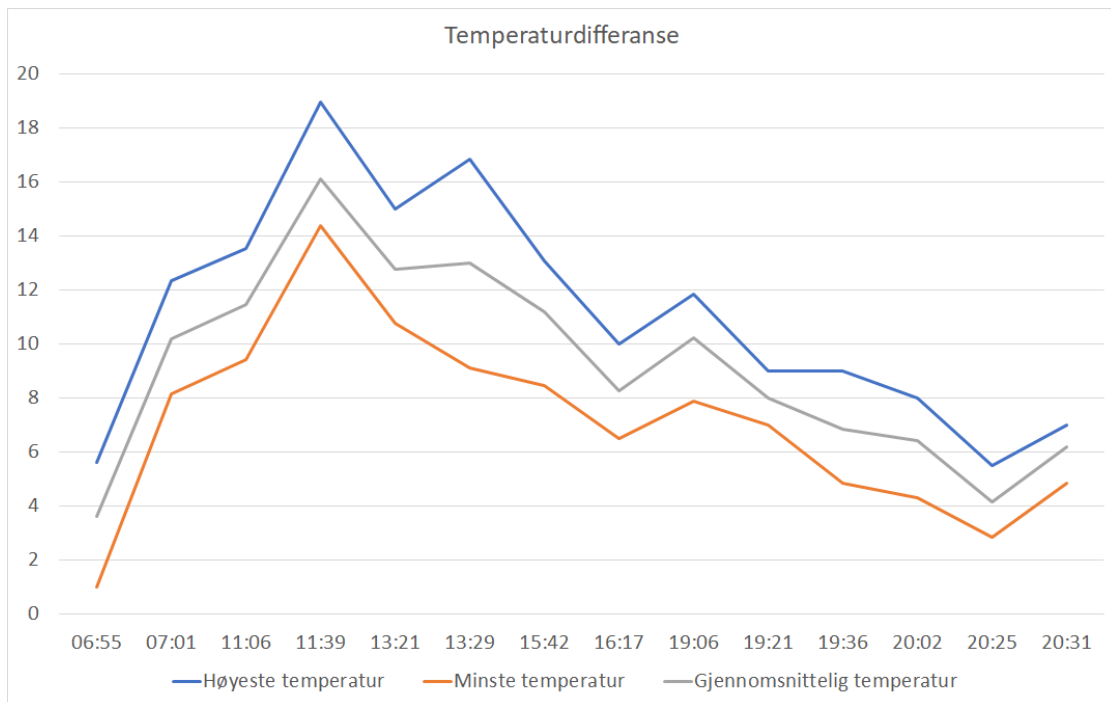
Basert på figur 4.10 ser vi at det er kjølig på morgenen, før temperaturen stiger brått mellom klokken 06:00 og 12:00, før den gradvis synker ut over ettermiddagen og kvelden. Det betyr at temperaturen fluktuerer ganske kraftig i løpet av en dag noe som vi også får bekreftet av tabell 4.3. Det som er interessant med de grafene vi har i figur 4.10 og 4.11 er at temperaturen i bakken, luften og det vi måler på sau stiger og synker relativt likt. Vi ser at temperaturen på sau ligger noen grader høyere enn bakken, og ca. likt temperaturen i luften. I grafen i figur 4.11 hvor vi ser på maksimal og minimal temperatur i hver måleserie så ser vi at de grafene beveger seg likt. Den minste temperaturdifferansen vi har mellom de to kurvene er på 2 grader, den høyeste på 7,75 grader og gjennomsnittet ligger på 3,89 grader. Hva dette betyr for oss skal vi se på i kapittel 5.5.

Tabell 4.3: *Målt temperatur i °C med IR-sensor i Storlidalen.*

	Sau	Luft	Bakke
Maksimal temperatur	18,94	15	14,38
Minste temperatur	4,2	1	2,83
Gjennomsnittlig temperatur	10,1	9,77	7,59



Figur 4.10: Temperaturdata fra målinger gjort på sau, luft og bakke fra turene i Storlidalen.



Figur 4.11: Maksimal-, minimal- og gjennomsnittlig-temperatur registrert fra turene i Storlidalen.

5 Diskusjon

5.1 Problemer med DJI

DJI leverer generelt gode ferdigløsninger for droner som er så enkle i bruk at man bare kan pakke den ut og dra rett ut og fly, uten mye opplæring eller studering på forhånd. Uheldigvis har de også noen elementære feil som de, basert på kommunikasjon med selskapet, ikke har noen interesse av å løse, som vi skal diskutere i dette kapitlet.

5.1.1 GeoFence

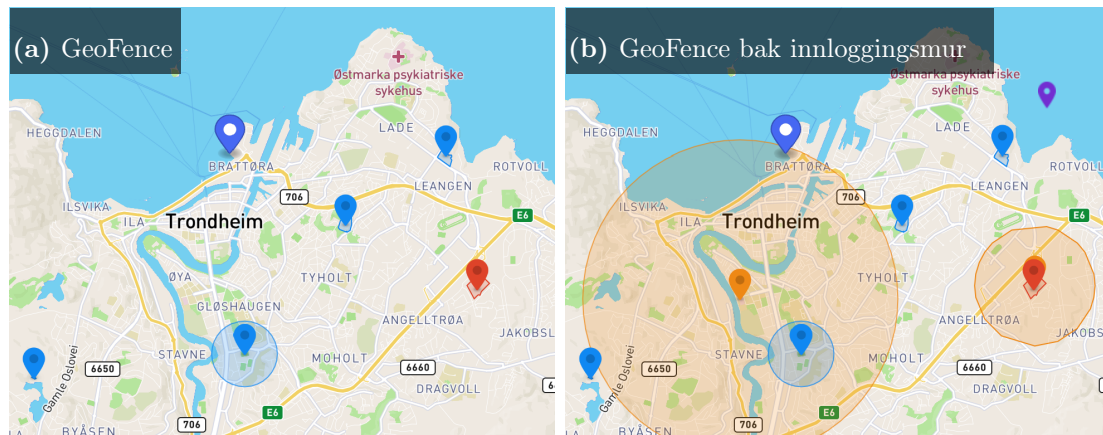
GeoFence er en løsning *DJI* har laget i et forsøk på å overholde No Fly Zone (NFZ) og restriksjonsområder. Dette hindrer oss i å:

- Fly høyere enn 120m
- Fly nært flyplasser
- Fly nært militære områder
- Fly i andre sensitive områder

Det er mulig å få åpnet opp for flygning i disse områdene om man kan vise til en tillatelse fra myndighet som regulerer område, for eksempel *Luftfartstilsynet*. Problemet for vår del kom når vi skulle utføre et eksperiment i *Dødens Dal* ved *NTNU Gløshaugen* for en annen gruppe som skriver en oppgave beslektet denne. Før flygning sjekket vi *GeoFence* kartet [45] som ikke viste noen restriksjonssoner der hvor vi skulle fly. Da vi skulle gjøre eksperimentet ble vi likevel hindret fra å fly høyere enn 30m på grunn av en restriksjonssone som hører til *St. Olavs Hospital* sin helikopterlandingsplass. Dette ble veldig forvirrende og vi sjekket på nytt kartet uten at vi fant en restriksjonssone. Til slutt finner vi ut at om vi bruker "unlockingtjenesten deres som er et søknadssystem for å åpne låste soner,

så finner vi et kart hvor sonene er merket. Det er altså inkonsistens mellom kartene deres som vi kan se i figur 5.1, i tillegg til at det korrekte kartet er bak en innloggingsmur.

Selv om det ved første øyekast virker å være naturlig å tro at helikopterlandingsplass er regulert luftrom så er det ikke det etter norsk lov. Det betyr at *DJI* har strengere sperrer enn det lovverket tilsier er nødvendig. Problemet med denne fremgangsmåten er at *Luftfartstilsynet* nekter å gi tillatelse til flyging i luftrom som ikke har begrensninger [46], samtidig som *DJI* krever det. Når vi opplyser *DJI* kundestøtte om dette, får vi et tydelig standardsvar hvor de beskriver at dette er med vilje, selv om både *Tek.no* [47] og *UASNORWAY.no* [48] har skrevet artikler hvor *DJI* innrømmer at de har gjort feil og rettet opp i de samme sonene som nå har kommet tilbake.



Figur 5.1: Inkonsistens mellom DJIs GeoFence kart.

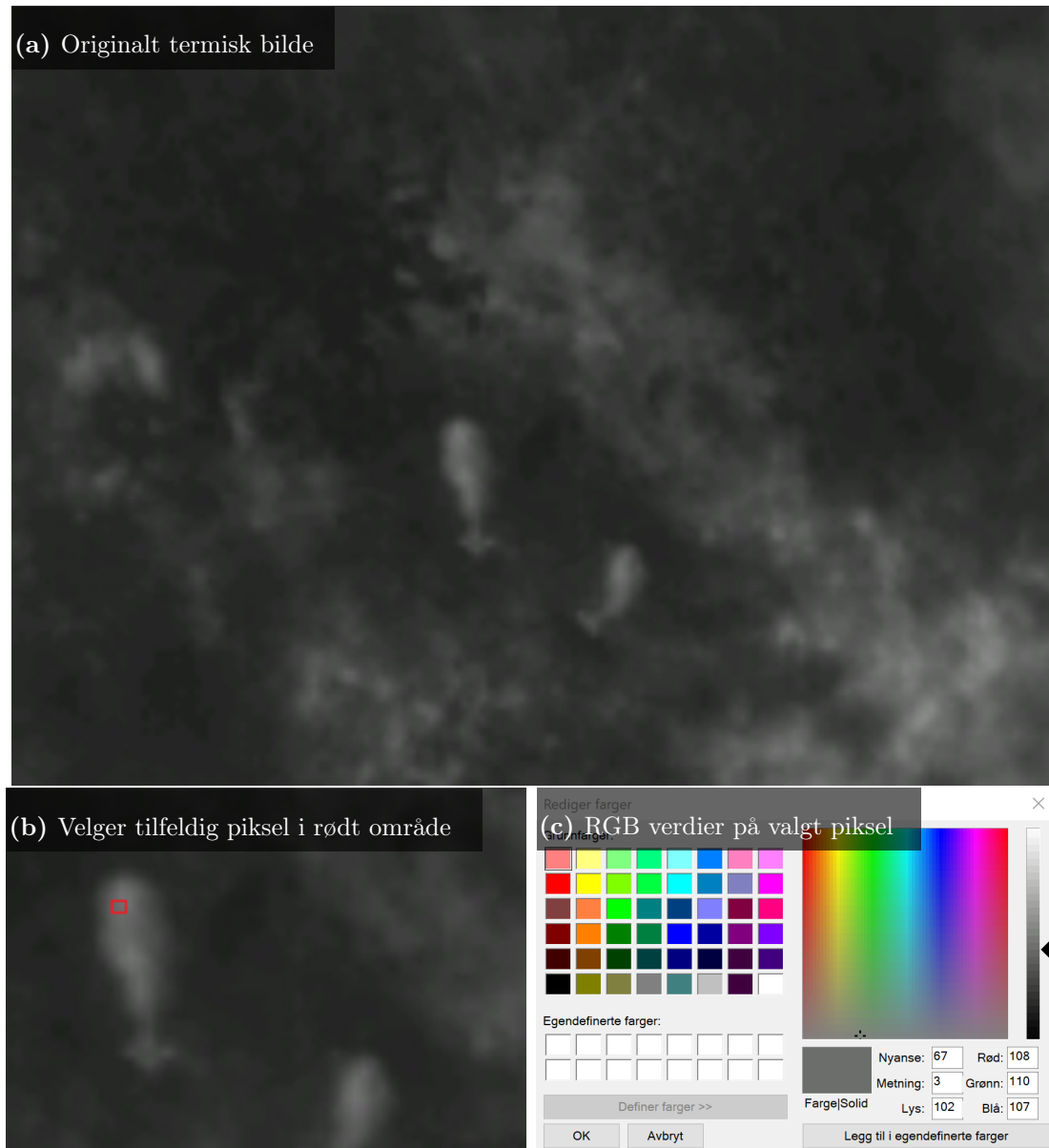
5.1.2 Programvarefeil

Vi har også funnet noen feil i programvaren til *DJI*. Også her har vi blitt blant avvist når vi har prøvd å rapportere feilene, selv med tydelige eksempler.

Grå bilder inneholder farger

Den første programvarefeilen vi fant er at de termiske bildene som er tatt med en grå fargepallette inneholder andre farger enn grå. Dette er noe som er veldig enkelt å bevise ved å åpne et termisk bilde og velge en vilkårlig piksel. Om bildet er grått er kravet at rød-, grønn- og blå-verdiene er like, det ser vi i figur 5.2 at de ikke er.

I dette tilfellet har vi rød på 108, grønn på 110 og blå på 107. Om vi da tar gjennomsnittet av disse får vi 108,33. Da har vi maksimalt 1,67 i pikselintensitet feil, noe som betyr 0,29 grader celsius om vi benytter formelen vi finner i kapittel 3.9 og temperaturområdet vårt



Figur 5.2: Eksempel på termisk bilde som inneholder farger.

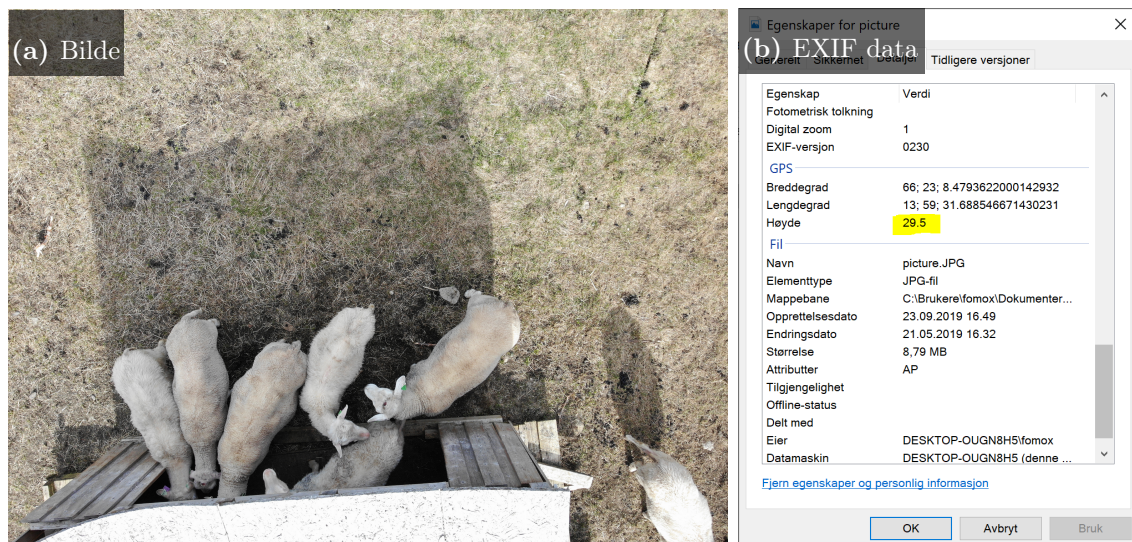
er 0 til 45 grader celsius. Om vi hadde brukt et større temperaturområde ville feilen bli større siden en pikselintensitet vil representere en større verdi siden intensitetsskalaen kun går fra 0-255. Selv om dette i vårt tilfelle er en ubetydelig feil så er det en unødvendig feil som godt kunne blitt rettet opp i, men *DJI* avviser blankt at det er noe feil. Konsekvensen av denne feilen er at det blir noe unøyaktighet når vi beregner temperaturer basert på farger i bildene.

Vi har en teori om at dette er fordi de lagrer bildene i JPEG format. JPEG er et filformat for bilder hvor bildene også kan komprimeres. Komprimering gjør naturlig nok at størrelsen på bildene går ned, men kan også føre til at de enkelte pikselverdiene i bildet blir endret. Gitt at bildet ikke er komprimert i for høy grad er det sjeldent synlig for oss mennesker, men for maskiner kan det bli en påvirkning, slik det er i dette tilfellet. Den beste løsningen på dette problemet vil være om *DJI* gir oss tilgang til rådataen som brukes for å generere bildet, enten i tillegg til bildet eller istedenfor bildet.

Feil høyde i EXIF

Etter at vi hadde tatt en del bilder på *Snefjellå Gård* og skulle begynne å analysere de oppdaget vi at metadataen til filene oppga en høyde som var svært høy i forhold til so var naturlig å tro på det aktuelle bildet. *DJI* ble igjen kontaktet hvor vi la ved bildene og mente noe måtte være galt. Det ble en del frem og tilbake men de konkluderte til slutt med at det var en sammensetning av data fra forskjellige sensorer på dronen slik at vi ikke kunne forvente høy nøyaktighet på høydedata i EXIF informasjonen i bildet. Dette syns vi var svært merkelig men til slutt fant vi et program som heter *DatCon* [49] som lot oss dekryptere loggfilene som ligger på mobiltelefonen eller nettbrettet som er koblet til fjernkontrollen under flygningene. Der fant vi absolutt GPS høyde, og ved å sammenligne høyden fra tidspunktet hvor bildet ble tatt mot høyden når dronen ble slått på så fant vi store avvik.

Starthøyde for bildet vi kan se i figur 5.3 var ifølge loggfilen var 64,6m over havet, høyden når vi tok bildet var 69,16m over havet, noe som tilsier at høyden over bakken på tidspunktet var 4,56m. Ser vi så på metadataen til bildet så sier den at vi var 29,5m over bakken, noe som er en feil på hele 24,94m! Denne feilen er altså ikke en liten avrundingsfeil, men representerer et større problem. Løsningen for vår del ble å ignorere bildets metadata og heller generere vår egen ved å analysere loggfiler. Selv med dette som bevis holder *DJI* fast på at alt fungerer som det skal.



Figur 5.3: Eksempel på at høydedata til bildet åpenbart er feil.

5.1.3 Problem i Storlidalen, Oppdal

Under målingene vi tok i *Storlidalen, Oppdal* (kapittel 3.8) ble vi på fredags kveld plutselig begrenset i at vi kun fikk fly 50m fra punktet vi tok av fra, og maksimalt 30m opp. Vi fikk ingen feilmelding som forklarte hvorfor vi var begrenset slik man normalt får når man flyr i *GeoFence* soner, vi kunne ikke finne noen restriksjonssoner på kart og fant heller ingen løsninger ved søk på internett. Ved hjelp av litt tilfeldighet og flaks fant vi en innstilling på mobilapplikasjonen *DJI Pilot* som het *Local Data Mode* og som begrenser muligheten dronen har til å kommunisere med *DJI* sentralt, begynte dronen å fly som normalt. Hva sammenhengen her er vet vi ikke, og vi har heller ikke fått noen svar fra *DJI* på hva som har skjedd.

5.1.4 Løsning

Siden *DJI* utvilsomt har dårlig kundestøtte og en del uforutsette problemer de ikke er villige til å ta tak i som påvirker prosjektet bør man vurdere tiltak. Ett av tiltakene er naturlig nok å bruke en annen drone, men man kan også velge å kun fjerne sperrere *DJI* har lagt inn selv om det ikke løser problemer med programvaren.

Annen drone

Det første alternativet er å bruke utstyr fra andre leverandører enn *DJI*. Et alternativ til en ferdigløsning tilsvarende vår *DJI M2ED* er *Parrot ANAFI THERMAL* (*Parrot*

AT) [50]. *Parrot AT* er en sammenleggbare transportabel drone akkurat som *DJI M2ED* som også har vanlig optisk kamera samt et termisk kamera levert av *FLIR*. Den er noe billigere, ca 22 000 kr [51] mot DJI som er priset til ca. 30 000 kr [52], og det er ingen tegn per dags dato til at de har noen begrensninger som kan minne om *DJI GeoFence*.

Fjerning av sperrer

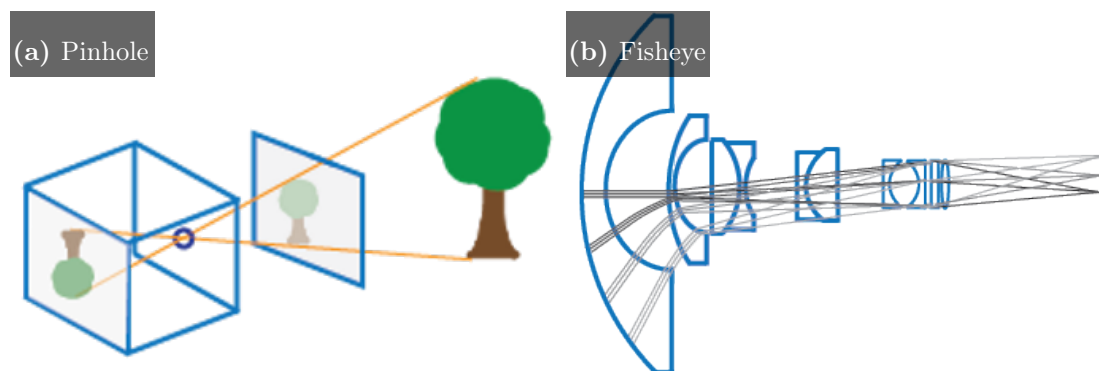
Et annet alternativ som har dukket opp er muligheten til å fjerne begrensningene på *DJI* droner. Begrensningene som kan fjernes er:

- No Fly Zone (NFZ)
- Høydebegrensninger
- Fartsbegrensninger
- Begrensninger på tilbakerulling av programvare
- Avstandsbegrensninger

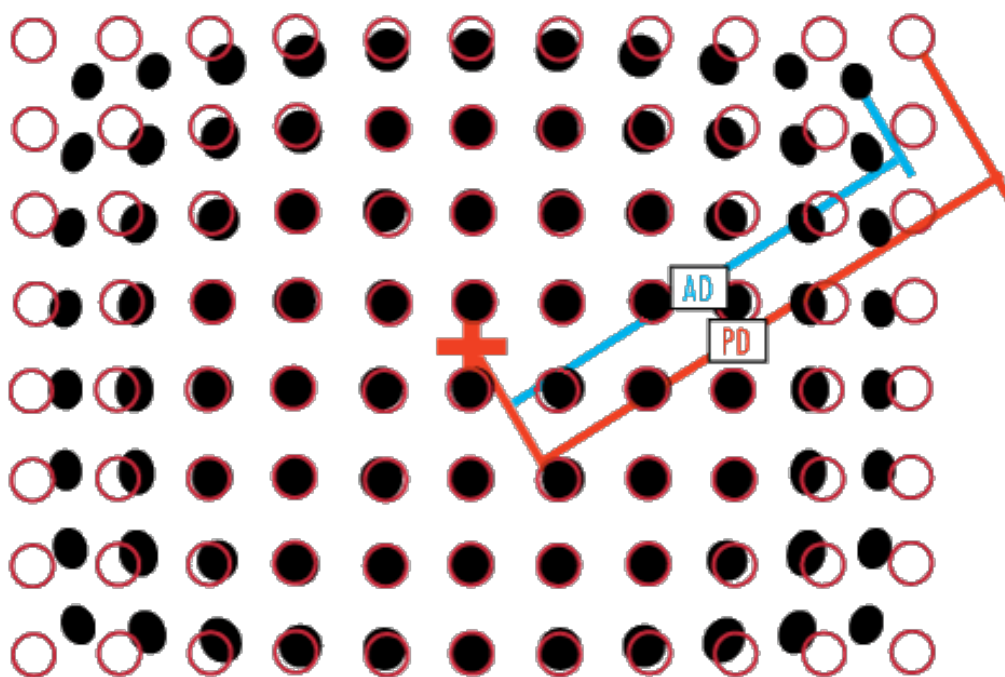
For å fjerne disse begrensningene kan man bruke *nolimitdrones* sin programvare *NLD MOD CLIENT* [53]. Dette bør undersøkes nærmere da det er mulig det vil påvirke garantien på dronen.

5.2 Kalibrering av transformasjonsalgoritme

Da vi startet å jobbe med å finne en løsning på hvordan vi kan ta et punkt i det termiske kameraet og så finne samme punktet i det visuelle kameraet så hadde vi en hypotese på at det var så enkelt som å lage et polynom for å beskrive avstanden fra senter av bilde, det var det ikke. Grunnen til at det ikke var så enkelt er fordi linsen på kameraet gir en fisheye effekt som vrir lyset inn på bildesensoren og endrer dermed posisjonen på både X og Y akse slik vi kan se en illustrasjon av i figur 5.4 (b). Selv om vi fikk noe som så ut som korrekte resultater i sentrum av bildet ble resultatene mer og mer feil jo lengre ut i bildet vi kom. I figur 5.5 ser vi eksempel på hvordan disse feilene oppstår.



Figur 5.4: Illustrasjon av pinhole kamera og fisheye linse [54].



Figur 5.5: Illustrasjon av hvordan vi oppfatter virkeligheten (røde ringe) mot hvordan virkeligheten oppfattes av en fisheye linse (svarte ringe) [55].

5.3 Stereokamerakalibrering

Vi fant ut mye under eksperimentet med stereokamerakalibrering (kapittel 3.5) på hvordan vi kan gå frem for å kalibrere termisk kamera mot visuelt kamera, men det var ikke nok til å fullføre eksperimentet. De spesifikke punktene som stoppet oss var at vi ikke fikk nok kalibreringsdata, algoritmen var ikke god nok til å detektere kanter, krav fra algoritmen om at bildene måtte ha samme antall piksler og til slutt så gikk vi tom for tid.

5.3.1 Kantgjenkjenning

Algoritmen som leter etter kanter i bildene fungerte ikke tilfredsstillende, spesielt i de termiske bildene. Det gikk stort sett greit hvor den plasserte de detekterte kantene i kryssene på kalibreringsmønsteret, men i en del tilfeller så bommet den og plasserte kryssene utenfor. Siden de termiske bildene i utgangspunktet har så lav oppløsning så vil en feil på kun et piksel i det termiske kameraet få store følgefeil i Intrinsic matrix som blir generert og som vi så baserer stereokamerakalibreringen på. Dette løses ofte ved at man tar mange bilder, noe vi skal se på i neste delkapittel.

5.3.2 Datamengde

Det viste seg å være vanskelig å klare å ta nok gode stereokamerabilder hvor kalibreringsmønsteret var godt synlig i både det termiske spekteret og det visuelle spekteret samtidig. Dette fordi det ofte ble for lyst i det visuelle kameraet, eller at det termiske kameraet ikke klarte å oppfatte kantene godt nok da den transparente overheadfilmen vi brukte ble for varm. Resultatet var at vi ikke hadde nok bilder til å generere en god Intrinsic matrix.

5.3.3 Lik bildestørrelse

Selv om vi til slutt klarte å kalibrere det termiske kameraet og det visuelle kameraet hver for seg så viste det seg at algoritmen i *Matlab* krevde at de termiske og de visuelle bildene hadde samme antall piksler. Her fant vi ikke umiddelbart på en god løsning, men en potensiell løsning beskriver vi i fremtidig arbeid, kapittel 7.4.

5.3.4 Tidsbruk

Stereokamerakalibrering viste seg å være mye mer komplisert og tidkrevende enn først antatt, og til slutt måtte vi kaste inn håndkleet. I tillegg til at vi brukte veldig mye tid på dette så var vi usikker på om det ville gitt resultater i akkurat dette prosjektet. Det er uten tvil viktig på sikt å kunne hente informasjon fra samme område i begge kameraene for å detektere sau uten for mange falske positive, men på grunn av tidsbegrensninger så det ikke ut til at vi kunne bruke resultatene til noe fornuftig i vårt prosjekt.

5.3.5 Oppsummering

Selv om vi ikke kom frem til en løsning som fungerte, har vi fremdeles noen teorier på hvordan jobben kan gjøres ferdig som vi kan lese om i fremtidig arbeid som vi finner i kapittel 7.4. Konsekvensen av at vi ikke fullførte dette eksperimentet er at vi ikke kan ta et punkt på bakken i det visuelle kameraet og finne samme punktet i det termiske kameraet, og motsatt.

5.4 Når på døgnet vi skal fly

Det er ikke noen åpenbart korrekt høyde å fly på. Basert på data vi har nå vil vi anbefale maksimalt 50 meters høyde om man er avhengig av å se sau ved hjelp av IR-sensoren, men man kan godt gå opp til 135 meters høyde om man kun vil basere seg på det visuelle kameraet. Forsøket vårt ble begrenset av lovverk som hindrer oss i å fly utenfor dagslyperioden, som vi kan lese mer om i kapittel 2.7.5.

Et potensielt problem er at forsøket baserer seg på klokkeslett for å si noe om hvor lyst det er ute, men det vi egentlig ønsker er å finne ut når på dagen vi har best lysforutsetninger for å se sau. Dette er et problem fordi tidspunktet for soloppgang og solnedgang endrer seg fra dag til dag. For eksempel er solnedgangen 1. oktober 2019 klokken 18:49, mens det allerede en uke senere, 7. oktober 2019 er 18:28, en forskjell på 21 minutter [56]. Forsøket bør gjentas med utstyr for å måle lysintensitet, eller eventuelt se om man kan angi klokkeslettene som relative i forhold til soloppgang/solnedgang.

5.5 Temperaturdata

Eksperimentene i denne rapporten har i hovedsak dreid seg om å samle bilder og temperaturdata på sau. I dette kapitlet skal vi se på hva en IR-sensor er, hvorfor det er vanskelig å finne sau i termisk spekter og potensiell fremgangsmåte på å finne sau basert på temperaturdata.

5.5.1 Hva er IR-sensor

I løpet av produksjonen av denne rapporten var det en gjenganger at folk refererte til IR-sensoren som et kamera. Det at det ble referert til som et kamera virker å lure en del mennesker til å ikke tenke på hva pikslene i bildene faktisk betyr, nemlig at de representerer en temperatur. Som vi skal se på i neste del-kapittel endrer temperaturen til sauene seg basert på eksterne faktorer, det betyr at om vi tar et bilde av en sau som står utendørs i 20 varmegrader så vil den representeres grafisk annerledes enn en sau som står utendørs i 5 varmegrader. Resultatet av to slike bilder er at samme sau har forskjellig farge i de to bildene. Når vi da i tillegg bruker utstyr som *DJI M2ED* som ikke gir oss rådata, men kun visualisert temperaturdata i form av bilder, så mangler vi konteksten til hva fargene betyr, slik at vi kun sitter igjen med et bilde hvor et område kan være relativt varmt i forhold til et annet område, uten at vi vet hva varmt faktisk betyr.

På grunn av dette er det viktig å huske at det er en IR-sensor som produserer varmedata i en todimensjonal liste, representert ved hjelp av et grafisk bilde. Bildet alene kan kun brukes til å finne ut om et område er varmt relativt til et annet område, men om vi har nedre og øvre temperaturområde som IR-sensoren var innstilt på kan vi konvertere bildet til en faktisk todimensjonal liste med temperaturer

5.5.2 Hvorfor det er vanskelig å finne sau i termisk spekter

Det som gjør sau spesielt vanskelig å finne i termisk spekter er at vi må ha en temperatur å lete etter, og sauene har ikke en fast temperatur som er målbar fra utsiden. Grunnen til dette er fordi sauene har et tykt lag med ull som isolerer kroppstemperaturen slik at vi ikke kan måle den ved hjelp av IR-sensor. Ulla til sauene har derimot en temperatur som følger temperaturen på lufta, hvor den høyeste differansen vi har målt mellom luft og sau er på 7,75 grader. Hvordan vi kan potensielt utnytte dette ser vi på i neste delkapittel.

5.5.3 Potensiell fremgangsmåte

Siden vi vet at vi klarer å gjøre gjenkjenning på hustak og kyr ved hjelp av filtrering og gruppering er det grunn til å tro at vi kan gjøre det med sau også. Det som var problemet på sau var at vi ikke visste hvilke temperaturer vi lette etter, men etter målingene i Storlidalen vet vi nå at temperaturen på sau følger temperaturen på lufta. En potensiell fremgangsmåte kan derfor være:

1. Fjern punkter som er under gjennomsnittstemperaturen i bildet
2. Fjern punkter som er mindre/høyere enn 7,75 grader fra temperaturen i lufta
3. Gjør gruppering med *DBSCAN*
4. Filtrer bort for små eller for store objekter

Denne fremgangsmåten er ikke testet, men vil være en god start for videre arbeid på gjenfinning av sau ved hjelp av IR-sensor.

6 Konklusjon

I denne masteravhandlingen har vi sett på hvordan vi kan bruke drone for automatisk å detektere sau ved hjelp av IR-sensor og kamera. Fokuset har vært teoretisk hvor vi har sett på hvilke juridiske begrensninger vi har, hvilke maskinvarebegrensninger som er basert på dagens teknologi og hvordan utstyret kan kalibreres. I tillegg til dette har vi tatt både termiske og visuelle bilder av sau i *Storlidalen* og utviklet programvare for å analysere bildene og de termiske dataene som ble samlet inn.

Lovverket vi har i Norge i dag for droner er svært begrensende for bønder som ønsker å ta i bruk denne typen teknologi. I hovedsak er dette fordi det settes krav til en omfattende operasjonsmanual, eksamen og kostbar årsavgift for å få lov til å fly dronen utenfor synsrekkevidde. Det er også et problem at det i Norge ikke er noe praksis rundt det å fly drone uten pilot, slik at det kreves et omfattende samarbeid med *Luftfartstilsynet* for å få dispensasjon til å kommersialisere et produkt som bønder kan bruke. Under samtaler med *Luftfartstilsynet* er de ikke negative til at dette kan la seg gjøre, og de forventer å få forespørsler om det i fremtiden, men per dags dato er det ikke lovlig å fly uten pilot.

Vi valgte å gjøre våre forsøk med en multirotor drone for å slippe rullebane slik at avgang og landing er enklere siden vi kan utføre dette vertikalt. Selv om det egner seg godt under utvikling så er slike typer droner svært begrenset i flytid siden det kreves mye energi kun for å holde de oppe i luften. For en kommersialiserbar løsning er det naturlige valget å bruke en fastvinge drone som genererer løft ved hjelp av vinger. Vinger gjør dronen betydelig mer energieffektiv slik at den kan løfte tyngre og holde seg i luften lenger, og på den måten analysere et større område. I tillegg er fastvingedroner enklere å utstyre med drivstoffmotor. Drivstoff er betydelig mer energieffektivt per vekt enhet enn batterier er. I tillegg er det raskere å fylle på mer drivstoff enn å lade batterier.

For å analysere bilder og termisk data har vi utviklet et eget verktøy. Verktøyet lar oss konvertere termiske bilder tilbake til en todimensjonal liste med temperaturer som vi kan analysere ved hjelp av blant annet klusteringalgoritmer. I tillegg lar det oss justere temperaturområdene vi ønsker å se slik at det blir enklere å inspisere termiske bilder ved å justere hvilke temperaturområder vi ønsker å se, og rekalkulere fargene i bildet til de nye temperaturområdene. Verktøyet lar oss også måle temperatur på spesifikke punkter,

se hvor høyt over bakken bildet er tatt og beregne gjennomsnittstemperatur i hele bildet. Dette mellomlagres så i en database slik at fremtidige analyser går raskere. Verktøyet har vist seg uvurderlig under arbeidet vårt siden det beregner rådata og korrekt metadata i motsetning til det som genereres av dronen.

Selv om vi ikke har fullført kamerakalibrering av IR-sensoren og det visuelle kameraet har vi funnet en måte å samle bilder som er synlig i både det termiske og visuelle spekteret samtidig ved hjelp av en overhead. Dette er viktig for fremtidig stereokamerakalibrering slik at vi kan overlappet IR-sensoren med det visuelle bildet og på den måten dobbeltverifisere funn av sau.

Vårt viktigste funn i løpet av denne avhandlingen er at temperaturen til sau følger temperaturen til luften ute. Dette er verdifull informasjon når vi ønsker å bruke termisk data for å lete etter sau siden vi må vite hvilke temperaturer vi leter etter. Det som gjør at temperaturen følger temperaturen til luften er sannsynligvis ulla til sauene som isolerer den. Et annet funn vi har gjort er at både temperaturen til sau og temperaturen til luften aldri er lavere enn temperaturen til bakken, og siden det meste av termisk data som fanges opp er av bakken kan vi finne temperaturen til bakken ved å beregne gjennomsnittet av temperaturen i bildet. På den måten kan vi finne et temperaturområde som inneholder sau, og ved å filtrere bort alle temperaturer under gjennomsnittstemperaturen og alle temperaturer 7,75 grader over luften sitter vi igjen med punkter som kan analyseres for sau.

7 Videre arbeid

7.1 Lovverk

Som vi har sett så er ikke lovverket laget for autonome droner uten pilot. *Luftfartstilsynet* kan gi dispensasjon til dette, men de har ingen praksis å vise til per dags dato slik at en slik prosess kan bli tungvint og langvarig før man får lov til å teste slik funksjonalitet. I tillegg er det stor sannsynlighet for at de stiller ekstra krav til dronen som kan gjøre den dyr. Eksempler på slike krav er hva dronen gjør hvis en feilsituasjon oppstår. Vi anbefaler at kommunikasjon med *Luftfartstilsynet* opprettes og at man undersøker hva som skal til i en slik prosess for at man skal kunne fly dronen uten pilot.

7.2 Fastvingedrone

I denne avhandlingen har vi kun brukt multirotordrone, men som vi nevnte i kapittel 2.3 må vi ta sikte på å bruke fastvingedrone i fremtiden for en kommersialiserbar løsning. I denne forbindelse vil det være lurt å begynne å teste hvordan kamera og IR-sensor oppfører seg når de er montert på en fastvingedrone. En av de tingene som må undersøkes er hvordan utstyret fungerer i fart. Som vi vet er den IR-sensoren vi bruker i dag (Flir Lepton 3) sensitiv for bevegelser siden den registrer annen hver linje når den måler temperatur. Dette betyr at vi sannsynligvis må bytte sensoren til en annen som tar hele bildet samtidig, og teste hvordan denne fungerer i bevegelse.

7.3 Høyoppløselig IR-sensor

Et naturlig steg videre i arbeidet mot å målet å automatisk kunne gjenfinne sau ved hjelp av drone vil være å samle data med en høyoppløselig IR-sensor, for eksempel *Flir Duo Pro R*. Med høyoppløselig data bør man kunne fly høyere slik at man kan dekke et større område, men man burde også kunne se flere detaljer av sauen slik at det kan bli enklere å

lage algoritmer som kan kjenne den igjen. En høyoppløselig IR-sensor bør også kunne gjøre det enklere å utføre stereokamerakalibrering, som vi skal se på i kapittel 7.4.

7.4 Stereokamerakalibrering

Som vi så i kapittel 4.3 og 5.3 så ble vi ikke ferdig med stereokamerakalibrering. Når vi undersøkte hvorfor så vi at det er en mulighet for at pikselreduksjon i de termiske bildene kan øke mengden hjørner *Matlab* klarer å detektere. Dette er sannsynligvis fordi *DJI* oppskalere bildene på en måte som lager uskarpe kanter. Ved å redusere det oppskalerte bildet fra 640 piksler * 480 piksler til 160 piksler * 120 piksler som er den faktiske sensorstørrelsen så fikk vi skarpere kanter og bedre resultater med hjørnegjenkjenningen i *Matlab*. Vi hadde dessverre ikke tid til å fortsette arbeidet med stereokamerakalibreringen, men vi tror dette er et godt utgangspunkt til videre arbeid.

Et annet problem vi fikk under stereokamerakalibrering er at *Matlab* krever at de termiske bildene og de visuelle bildene er like store. Dette er et problem fordi de visuelle bildene er 4056 piksler * 3040 piksler, mens de termiske bildene kun er 640 piksler * 480 piksler. En mulig løsning på dette er å lage et nytt ensfarget termisk bilde som er like stort som det visuelle bildet, og så legge det termiske bildet sentrert over det nye bildet. Da blir de termiske bildene og de visuelle bildene like store og vi kan gå videre med stereokamerakalibreringen. Dette er kun en teori, men om vi hadde hatt bedre tid hadde vi prøvd dette.

Et alternativ er å få tilgang til en høyoppløselig IR-sensor, for eksempel *FLIR Duo Pro R*. En slik høyoppløselig IR-sensor vil kunne produsere termiske kalibreringsbilder med høyere oppløsning og dermed klarere og tydeligere linjer slik at hjørnedeteksjon via for eksempel *Matlab* eller *OpenCV* fungerer bedre. Med god hjørnedeteksjon bør det være mulig å fullføre stereokamerakalibreringen slik at man kan overlape IR-sensoren og kameraet, og på den måten samkjøre datakildene for å få et bedre datagrunnlag til deteksjon av sau.

Bibliografi

- [1] “Veiledende priser for sau. Veiledende priser for livdyr høsten 2018”, 2018-06, adresse: <http://www.nsg.no/livdyrpriser/category693.html> (sjekket 2019-03-25).
- [2] “Sauerasene i Norge”, adresse: <http://www.nsg.no/saueraser-i-norge/category719.html> (sjekket 2019-09-23).
- [3] *Sauehelsenett*, [Online; accessed 5. Apr. 2019], 2017-09, adresse: <https://www.animalia.no/no/Dyr/sauehelsenett/diagnostikk/kliniske-tegn-pa-sjukdom>.
- [4] *sau – Store norske leksikon*, [Online; accessed 5. Apr. 2019], 2018-04, adresse: <https://snl.no/sau>.
- [5] J. H. Muribø, “Locating Sheep with YOLOv3”, adresse: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2619041> (sjekket 2019-11-22).
- [6] “Photogrammetry offers easy, accurate solutions for owners and trade partners”, adresse: <https://www.emjcorp.com/news/photogrammetry-accurate-construction-site-measurements/> (sjekket 2019-12-14).
- [7] “Segment individual trees and compute metrics”, adresse: <https://github.com/Jean-Romain/lidR/wiki/Segment-individual-trees-and-compute-metrics> (sjekket 2019-12-14).
- [8] M. Israel, “A uav-based roe deer fawn detection system”, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, årg. XXXVIII-1/C22, s. 51–55, 2011, DOI: [10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-51-2011](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-51-2011).
- [9] “Mavic 2 enterprise series user manual”, s. 49, 2018-12, adresse: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2_Enterprise/20181220/Mavic_2_Enterprise_Series_User_Manual_EN.pdf (sjekket 2019-04-07).
- [10] Skyeton, “File:Raybird catapult.png”, 2018-04-18, adresse: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raybird_catapult.png (sjekket 2019-11-05).
- [11] “File:ScanEagle recovery on USS Saipan.jpg”, 2006-08-18, adresse: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ScanEagle_recovery_on_USS_Saipan.jpg (sjekket 2019-11-05).
- [12] U. gov, “File:RQ-8A Fire Scout.jpg”, adresse: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RQ-8A_Fire_Scout.jpg (sjekket 2019-11-05).

- [13] A. Glinz, “File:Hexacopter Multicopter DJI-S800 on-air credit Alexander Glinz.jpg”, adresse: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hexacopter_Multicopter_DJI-S800_on-air_credit_Alexander_Glinz.jpg (sjekket 2013-08-25).
- [14] “FAQ - Ofte stille spørsmål”, adresse: <https://www.shiip.no/faq> (sjekket 2019-03-28).
- [15] “Smartbjella”, adresse: <https://smartbjella.no/> (sjekket 2019-03-28).
- [16] “ELEKTRONISK OVERVÅKING AV HUSDYR”, adresse: telespor.no/ (sjekket 2019-03-28).
- [17] “Priser og bestilling”, adresse: <https://www.findmy.no/priser-og-bestilling> (sjekket 2019-03-28).
- [18] J. Cilulko, P. Janiszewski, M. Bogdaszewski og E. Szczygielska, “Infrared thermal imaging in studies of wild animals”, *European Journal of Wildlife Research*, årg. 59, s. 17–23, 2013-02, DOI: [10.1007/s10344-012-0688-1](https://doi.org/10.1007/s10344-012-0688-1).
- [19] S. Ward, J. Hensler, B. Alsalam og L. F. Gonzalez, “Autonomous uavs wildlife detection using thermal imaging, predictive navigation and computer vision”, s. 1–8, 2016-03.
- [20] C. Lavers, K. Franks, M. Floyd og A. Plowman, “Application of remote thermal imaging and night vision technology to improve endangered wildlife resource management with minimal animal distress and hazard to humans”, *Journal of Physics: Conference Series*, årg. 15, s. 207–212, 2005-01, DOI: [10.1088/1742-6596/15/1/035](https://doi.org/10.1088/1742-6596/15/1/035).
- [21] I. Halachmi, M. Klopčič, P. Polak, D. Roberts og J. Bewley, “Automatic assessment of dairy cattle body condition score using thermal imaging”, *Computers and Electronics in Agriculture*, årg. 99, s. 35–40, 2013, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.012>.
- [22] A. Hodgson, N. Kelly og D. Peel, “Unmanned aerial vehicles (uavs) for surveying marine fauna: A dugong case study”, *PLOS ONE*, årg. 8, 2013-11, DOI: [10.1371/journal.pone.0079556](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079556).
- [23] B. Kellenberger, M. Volpi og D. Tuia, “Fast animal detection in uav images using convolutional neural networks”, s. 866–869, 2017-07.
- [24] M. Israel, “a Uav-Based ROE Deer Fawn Detection System”, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, årg. 3822, s. 51–55, 2011-09, DOI: [10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-51-2011](https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-51-2011).
- [25] J. Linchant, J. Lisein, J. Semeki, P. Lejeune og C. Vermeulen, “Are unmanned aircraft systems (uass) the future of wildlife monitoring? a review of accomplishments and challenges”, *Mammal Review*, årg. 45, s. 239–252, 2015, eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/mam.12046>, DOI: [10.1111/mam.12046](https://doi.org/10.1111/mam.12046).

- [26] “Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.”, 2016-01-01, adresse: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404/KAPITTEL_4#%C2%A724 (sjekket 2019-03-27).
- [27] “Forskrift om gebyr til Luftfartstilsynet mv.”, adresse: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2018-12-20-2202/KAPITTEL_5#KAPITTEL_5 (sjekket 2019-12-14).
- [28] “Forskrift om kontroll med informasjon innhentet med luftbårne sensorsystemer”, 2018-09-01, adresse: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2018-06-22-951> (sjekket 2019-03-27).
- [29] “Luftbårne sensorsystemer”, 2018-08-22, adresse: <https://www.nsm.stat.no/om-nsm/tjenester/fysisk-sikring/foto-fra-lufta/> (sjekket 2019-03-27).
- [30] “Innmelding av sensorflygning”, adresse: <https://nsmstat.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=872fc758d9bb40459758243fc56f0aa9> (sjekket 2019-03-27).
- [31] “Kommissjonens gjennomføringsforordning(eu) nr.923/2012 av 26. september 2012 om fastsettelse av felles lufttrafikkregler og driftsmessige bestemmelser knyttet til tjenester og framgangsmåter for flysikring, og om endring av gjennomføringsforordning (eu) nr.1035/2011 og forordning (ef) nr.1265/2007, (ef) nr.1794/2006, (ef) nr.730/2006, (ef) nr.1033/2006 og (eu) nr.255/2010(*), *EØS-tillegget til Den europeiske unions tidend*, årg. 79, s. 16–17, 2017-12, adresse: <https://lovdata.no/static/NLX3/32012r0923.pdf> (sjekket 2019-04-08).
- [32] “KUNNGJØRING AV LUFTFARTSDATA OG INFORMASJON - ANSVARSMATRISSE AIP NORGE”, s. 9, 2016-07-21, adresse: https://avinor.no/globalassets/_microsite/ais-portal/aip-informasjon/vedlegg1.pdf (sjekket 2019-04-03).
- [33] “Internet Pilot Planning Center”, adresse: <https://www.ippc.no/ippc/index.jsp> (sjekket 2019-04-03).
- [34] “AV-H-X001-05 Veiledning til bestilling av NOTAM”, 2016-10-13, adresse: https://avinor.no/globalassets/_microsite/ais-portal/aip-informasjon/vedlegg4.pdf (sjekket 2019-04-03).
- [35] “Informasjon om nettkurset”, adresse: <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/informasjon-om-nettkurset/> (sjekket 2019-04-03).
- [36] “Maler for RPAS operasjonsmanualer”, adresse: <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/maler-for-rpas-operasjonsmanualer/> (sjekket 2019-04-03).
- [37] “Flexible, structured events - log file convenience”, adresse: <https://serilog.net/> (sjekket 2019-12-02).
- [38] “Ooki.Dialogs”, adresse: <http://www.ookii.org/software/dialogs/> (sjekket 2019-12-02).

-
- [39] “let your desktop apps shine”, adresse: <https://mahapps.com/> (sjekket 2019-12-02).
- [40] “DBSCAN”, adresse: <https://github.com/viceroypenguin/DBSCAN> (sjekket 2019-12-02).
- [41] W. user Chire, “Dbscan illustration”, 2011-10-20, adresse: <https://en.wikipedia.org/wiki/DBSCAN#/media/File:DBSCAN-Illustration.svg> (sjekket 2019-04-08).
- [42] Mathworks, “What Is Camera Calibration?”, adresse: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/camera-calibration.html> (sjekket 2019-11-11).
- [43] “DJI Launches Privacy Mode For Drone Operators To Fly Without Internet Data Transfer”, 2017-10-02, adresse: <https://www.dji.com/newsroom/news/dji-launches-privacy-mode-for-drone-operators-to-fly-without-internet-data-transfer> (sjekket 2019-11-01).
- [44] “Høydeprofil”, adresse: <https://www.kartverket.no/data/Hoydeprofil/> (sjekket 2019-09-13).
- [45] “Fly SafeGEO ZONE MAP”, adresse: <https://www.dji.com/no/flysafe/geo-map> (sjekket 2019-09-23).
- [46] “Geofencing stopper dronen min før regelverket gjør det. Hva gjør jeg?”, 2019-03-27, adresse: <https://luftfartstilsynet.no/om-oss/nyheter/nyheter-2019/geofencing-stopper-dronen-min-for-regelverket-gjor-det.-hva-gjor-jeg/> (sjekket 2019-09-25).
- [47] “Drone-eiere fortviler: Oppdatering satte dronene på bakken”, 2018-04-02, adresse: <https://www.tek.no/artikler/drone-eiere-fortviler-oppdatering-satte-dronene-pa-bakken/462039> (sjekket 2019-09-23).
- [48] “DJI beklager. Oppdaterer Geofence i Norge”, 2019-04-02, adresse: <https://www.uasnorway.no/dji-beklager-oppdaterer-geofence-i-norge/> (sjekket 2019-09-23).
- [49] “DatCon Introduction”, adresse: <https://datfile.net/DatCon/intro.html> (sjekket 2019-03-25).
- [50] “Anafi Thermal”, adresse: <https://www.parrot.com/us/drones/anafi-thermal> (sjekket 2019-03-25).
- [51] “Parrot Anafi Thermal drone”, adresse: <https://www.komplett.no/product/1133833/hjem-fritid/droner-tilbehoer/droner/parrot-anafi-thermal-drone> (sjekket 2019-03-25).
- [52] “DJI Mavic 2 Enterprise (Dual)”, adresse: <https://djioslo.no/produkt/mavic/dji-mavic-2-enterprise-dual/> (sjekket 2019-03-25).
- [53] “Unleash the FULL potential of your DJI drone”, adresse: <https://nolimitdrones.com/> (sjekket 2019-03-25).
- [54] “Fisheye Calibration Basics”, adresse: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/fisheye-calibration-basics.html> (sjekket 2019-11-17).

- [55] “Distortion”, adresse: <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/distortion/> (sjekket 2019-11-17).
- [56] “Trondheim, Norge — Soloppgang, solnedgang og dagens lengde, oktober 2019”, adresse: <https://www.timeanddate.no/astronomi/sol/norge/trondheim?month=10&year=2019> (sjekket 2019-11-19).

Figurer

2.1	Illustrasjon av drone som analyserer et område todimensjonalt. Et eksempel kan være et kamera.	5
2.2	Illustrasjon av hvordan fotogrammetri kombinerer flere bilder til en 3D-modell, med grafikk for å vise hvor bildene ble tatt og hvilken vinkel de ble tatt fra [6].	7
2.3	Illustrasjon av drone som analyserer en linje. Et eksempel på dette kan være LIDAR som samler data.	9
2.4	Illustrasjon av hvordan data fra LIDAR kan se ut visualisert. I dette eksempelet er det et skogsområde hvor data er samlet fra drone [7].	10
2.5	Eksempel på fargepalett, [9]. Venstre side representerer kaldt område og høyre side representerer varmt område. Brukes for å visualisere temperaturdata fra IR-sensor slik at det blir enklere å tolke det for et menneske.	11
2.6	Illustrasjon av dronekatapult [10].	13
2.7	Illustrasjon av drone fangst (recovery) system [11].	14
2.8	Illustrasjon av ubemannet helikopter [12].	15
2.9	Eksempel på multikopter [13].	16
2.10	Eksempel på utstyret som eksisterer i dag fra (a) Shiip og (b) Telespor.	20
2.11	Bilde av en 3-akset gimbal.	21
2.12	Bilde av et Flir Duo Pro R kamera.	22
2.13	Illustrasjon av varslingsområde til NSM, Snefjellå Gård.	32
2.14	Eksempel på forskjell mellom dialogboks. I (a) ser vi en dialogboks for valg av filer, mens i (b) ser i en dialogboks for valg av mapper.	46
2.15	Eksempel på standard stilsetting for WPF (Windows Presentation Foundation) applikasjoner i (a) og Metro stilsetting ved hjelp av <i>Mahapps.Metro</i> i (b).	48
3.1	Illustrasjon av DBSCAN klyngealgoritme hvor A (rødt) markerer en klynge, B og C (gule) markerer ytterpunkt i klyngen, mens N (blå) markerer et støypunkt som blir fjernet siden det ikke tilhører noen klynge [41].	52
3.2	Eksempel på forvridning i bilde. Begge bildene er tatt samtidig av samme område side om side. Det visuelle bildet er allerede korrigert, men det termiske bilde mangler korrigerings og får dermed avrundninger langs kantene.	53
3.3	Illustrasjon av kalibreringsmønster fra OpenCV.	58

3.4	Eksempel på problem med å ta bilder mot overhead.	59
3.6	Eksempel på termisk og visuelt bildepar.	59
3.5	Oppskalert bilde og originalt bilde. Bilde (a) er eksportert IR-data fra drone. Sensorstørrelsen tilsvarer derimot bilde (b).	60
3.7	Kart over hvor vi tok målingene.	64
3.8	Skjerm bilde av Anvil.	68
4.1	Test av gruppering (klustering) av tak.	70
4.2	Eksempel på hvordan <i>Matlab</i> feilplasserte hjørnene. De grønne ringene indikerer ett hjørne og den gule firkanten definerer start på kalibreringsmønsteret. Feilen er størst nederst i høyre hjørne.	71
4.3	Resultater fra kamerakalibrering av IR-sensor i <i>Matlab</i>	72
4.4	Resultater fra kamerakalibrering av kamera i <i>Matlab</i>	72
4.5	Eksempel på hvordan <i>Matlab</i> plasserer hjørnene. De grønne ringene indikerer ett hjørne og den gule firkanten definerer start på kalibreringsmønsteret. De røde kryssene indikerer hvor hjørnene bør være.	73
4.6	Test av gjenfinning av kyr.	75
4.7	Test av gjenfinning av kyr.	76
4.8	Test av gjenfinning av kyr.	77
4.9	Høyder vi så sau fra. Kilde er målinger fra begge turene til Storlidalen.	78
4.10	Temperaturdata fra målinger gjort på sau, luft og bakke fra turene i Storlidalen.	80
4.11	Maksimal-, minimal- og gjennomsnittelig-temperatur registrert fra turene i Storlidalen.	80
5.1	Inkonsistens mellom DJIs GeoFence kart.	82
5.2	Eksempel på termisk bilde som inneholder farger.	83
5.3	Eksempel på at høydedata til bildet åpenbart er feil.	85
5.4	Illustrasjon av pinhole kamera og fisheye linse [54].	87
5.5	Illustrasjon av hvordan vi oppfatter virkeligheten (røde ringer) mot hvordan virkeligheten oppfattes av en fisheye linse (svarte ringer) [55].	87

Tabeller

2.1	Oppfyllelse av kriterier for sensor — kamera og bildeanalyse.	6
2.2	Oppfyllelse av kriterier for sensor — kamera og maskinlæring.	6
2.3	Oppfyllelse av kriterier for sensor — kamera og fotogrammetri.	8
2.4	Oppfyllelse av kriterier for sensor — LIDAR.	8
2.5	Oppfyllelse av kriterier for sensor — IR-sensor.	10
2.6	Oppfyllelse av kriterier for sensor — kombinert kamera og IR-sensor. . . .	11
2.7	Sammenligning av sensorer for gjenfinning av sau.	12
2.8	Sammenligning av dronetype.	17
2.9	Sammenligning av eksisterende løsninger.	19
2.10	Priseksempel eksisterende løsninger for 100, 250 og 500 sau.	19
2.11	Flir Duo Pro R fra 100 meter høyde med 13mm termisk linse.	22
2.12	Sammenligning av kombinert IR-sensor og kamera.	23
2.13	Sammenligning av sertifikater for droneflygning.	30
2.14	Brukerhistorier for analyseverktøy.	44
4.1	Antall bilder analysert.	72
4.2	Høyden i meter sau ble observert på. Kilde er målinger fra begge turene til Storlidalen.	79
4.3	Målt temperatur i �C med IR-sensor i Storlidalen.	79
A.1	Resultater fra målinger på Storlidalen.	126

Appendix

A Tilleggsresultater

A.1 Storlidalen 21. august feltlogg

Måling av Synbarhet av Sau ved Bruk av Drone

Innledning

Den 21. og 22. august var Magnus Guttormsen og Svein-Olaf Hvasshovd i Storlidalen for å estimere synbarheten av sau i bilder tatt med dronebaserte kamera.

Vi utførte til sammen 10 måleserier hvorav 8 var suksessfulle. For hver måleserie utførte vi estimering av synlighet av sau for hver 10 meter fra ca. 10 meter over bakken til ca. 120 meter over bakken. For enkelte måleserier ble synbarhet ikke estimert for noen av disse.

Estimering av synbarhet ble utført over det meste av døgnet med unntak av nattes tid. Vi ble utsatt for tett tåke fra ca. midnatt til 0900 neste morgen. Vi så ingen hensikt i å foreta målinger i tett tåke.

Vi presenterer de enkelte måleseriene i de følgende kapitlene. For hver måleserie angis hvor målingen er foretatt, tidspunktet den ble gjennomført, solforhold og temperatur. Derneft følger en tabell over resultater for måleserien.

Lokasjonen for målingen angis dels ved vha kartkoordinater og dels ved et tekstlig tillegg.

Målingene ble utført ved at en person kjørte dronen og estimerte synligheten mens den andre noterte og førte logg.

Temperatur på sauene ble målt som overflatetemperatur i ulla på sauene ved hjelp av dronens temperaturmåler. Merk at dette ikke er kroppstemperaturen til sauene.

For hver enkelt måling angir vi:

- Flyhøyde over bakken angitt i antall meter (*Høyde*),
- Synbarheten av sau ved hjelp av infrarødt kamera (*IR*),
- Synbarheten av sau ved hjelp av kombinasjonen av infrarødt og vanlig fargebilde (*IR+Vanlig*)
- Synbarheten av sau ved hjelp av vanlig fargekamera (*Vanlig*)

Måleresultatene angis ved:

- JA – Sauene i bildet er klart synlig. De er meget tydelige.
- NEI – Sauene i bildet er ikke synlig.
- DELVIS – Kun noen sauer synes. Det vil oftest angis ved et tillegg hvilke sauer som er synlige.

Måleserie 1

Måleserien ble tatt rett nord for Hvasshovd's hytte. Vi fulgte ATV-stien til opp til den gamle strandsonen, til der stien krysser ATV-stien.

- Kartkoordinat: 51.03 / 06.05
- Temperatur; Ca. 15 grader celsius
- Vær: Sol fra skyfri himmel
- Tid: Ca. 1400
- Temperatur sau: 12 grader celsius
- Antall sau: ???

Høyde (meter)	Infrarødt (IR)	IR + vanlig	Vanlig bilde
17	JA	JA	JA
20	JA	JA	JA
25	JA	JA	JA
30	JA	JA	JA
35	JA	JA	JA
40	NEI	JA	JA
45	NEI	JA	JA
50	NEI	JA	JA
60	NEI	JA	JA
65	NEI	JA	JA
70	NEI (helt borte)	JA (meget små)	JA (likner stein)
75	NEI	JA	JA
80	NEI	JA	JA
85	NEI	JA	JA
90	NEI	NEI	NEI
95	NEI	NEI	NEI
100	NEI	NEI	NEI

Vi ser her at det infrarøde gir seg allerede ved 40 meters høyde mens IR holder seg til 90 meter.

Måleserie 2

Måleserien ble tatt ved søple-plassen hvor det er utplassert minst 3 store containere.

- Kartkoordinat: 50.04 / 05.00
- Temperatur: 13 grader celsius
- Sauens temperatur; 12 grader celsius
- Vær: Lett overskyet.
- Tid: 15.45
- Antall sau: 1 grå voksen sau, 2 svarte lam. En flokk til dukket opp. Ukjent antall

Høyde (meter)	Infrarødt (IR)	IR + vanlig	Vanlig bilde
10	JA	JA	JA
20	JA	JA	JA
25	JA	JA	JA
30	JA	JA	JA
40	JA	JA	JA
45	JA (vanskelig)	JA (vanskelig)	JA (hvite tydelige, svarte vanskelige)
50	JA (Vanskelige)	JA (svarte vanskelige)	JA (hvite tydelige, svarte vanskelige)
60	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
65	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
70	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
75	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
80	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
85	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
90	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
95	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)
100	NEI	JA (hvite tydelige, svarte borte)	JA (hvite tydelige, svarte borte)

Det er verdt å merke seg at det kun er en grad forskjell på sauens overflatetemperatur og den generelle temperaturen i lufta.

Måleserie 3

Måleserien ble tatt opp øst for Steinbueng langs Storlidalsveien. Serien ble tatt opp noen hundre meter vest for «fjøset».

- Kartkoordinat: 46.08 / 15.00
- Temperatur: 12 grader celsius. Det ble i skyggen målt 9,6 grader celsius
- Sauens temperatur: 10,5 grader celsius.
- Vær: Overskyet
- Tid: 16.15
- Antall sau: Dette var en større gruppe sau på innhegnet beite.

Høyde (meter)	Infrarødt (IR)	IR + vanlig	Vanlig bilde
20	JA	JA (Ser hvite, Ikke svarte)	JA
30	JA	JA (Ser hvite, Ikke svarte)	JA
40	JA	JA (Ser hvite, Ikke svarte)	JA (vanskelig å skille fra stein)
50	NEI	JA (Ser hvite, Ikke svarte)	JA (vanskelig å skille fra stein)
60	NEI	JA (vanskelig)	JA (vanskelig å skille fra stein)
70	NEI	JA (vanskelig)	Ja (ser kun 1 sau)
80	NEI	JA (kun 1 sau synlig)	NEI

Måleserie 4

Måleserien ble tatt opp samme sted som måleserie 3, se denne for ytterligere informasjon.

- Kartkoordinat: 46.08 /15.00
- Temperatur: 11 grader celsius
- Vær: Skyet. Sol bak fjell i syd vest.
- Tid: 19.20
- Antall sau: Dette er en større gruppe sau på innhegnet beite

Høyde (meter)	Infrarødt (IR)	IR + vanlig	Vanlig bilde
20	JA	JA	JA
30	JA	JA (Ser hvite, ikke svarte)	JA
40	JA	JA (Ser hvite, ikke svarte)	JA
50	JA	JA (Ser hvite, ikke svarte)	JA
60	JA	JA (ser hvite, ikke svarte)	JA (Ser hvite)
70	JA (ser hvit flekk)	JA (ser hvite, ikke svarte)	JA (ser hvite)
80	NEI	NEI	NEI
90	NEI	NEI	NEI

Måleserie 5

Denne måleserien ble avbrutt da vi ikke fant sauene. Sauene oppholdt seg inne mellom tett område med bjørkeskog. Dette er første gang vi erfarer problemene med å detektere sau inne i dette skogholt.

Denne målingen ble planlagt utført på Thorvald Storli's oppsamlingsplass ved mobilmasta langt inne i Storlidalen.

- Kartkoordinat:
- Temperatur: 9 grader celsius
- Vær: Overskyet
- Tid: 2000
- Antall sau: Sau ikke funnet.

Måleserie 6

Denne måleserien ble tatt tett på Hvasshovd's hytte.

- Kartkoordinat:
- Temperatur: 8 grader celsius i lufta
- Vær: Sol hadde gått ned.
- Tid: 21.30
- Antall sau: Ca. 5 sau
- Sau temperatur: 7 grader celsius
- Omgivelsestemperatur: 7 grader celsius.
- Temperatur på vei: 5,3 grader celsius

Høyde (meter)	Infrarødt (IR)	IR + vanlig	Vanlig bilde
10	JA	JA	JA
20	JA	JA	JA
30	JA	JA	JA
40	JA (uklar)	JA	JA
50	NEI (for nær hytta)	JA	JA
60	NEI (for nær hytta)	JA	JA
70	NEI (på varm vei)	JA	JA
80	NEI (på varm vei)	JA	JA
90	JA	JA	JA
100	JA	JA	JA

Annen fargepalett ble testet. Ingen fungerte bedre enn den grå paletten.

Måleserie 8

Denne ble utført samme sted som måleserie 3, øst for Steinbueng.

Vi fant ikke sauene. Vi hørte hvor de var. Følgelig hadde vi retningen mot der de befant seg. Vi kunne dermed trekke konklusjon om at de befant seg inne i tett bjørkeskog. Vi var heller ikke denne gangen i stand til å se sau i bjørkeskog.

- Kartkoordinat: 46.08 / 15.00
- Temperatur: Ikke målt
- Vær: det har blitt halvmørkt.
- Tid: 2200
- Temperatur: Ikke målt

Avbrudd

Ca klokka 2300 kom tett tåke rullende inn og dekket hele den indre delen av Storlidalen. Dette gjorde det umulig å foreta målinger.

Tåka dekket dalen til ca. klokka 1000 neste morgen. Vi fortsatte våre målinger så snart tåka hadde letta.

Måleserie 9

Vi forsøkte å finne sauene øst for Steinbueng. Disse var fortsatt trukket inn i skogen. Vi klarte fortsatt ikke finne de. Følgelig ble målingene avbrutt.

- Kartkoordinat: 46.08 / 15.00
- Temperatur: 10 grader celsius
- Vær: Overskyet
- Tid: Ca 10.30
- Antall sau: Sau ikke funnet

Måleserie 10

Denne måleserien ble tatt opp øst for vår originale parkeringsplass på vinteren. Målingene ble utført tett på Storlidalsveien.

- Kartkoordinat:
- Temperatur: 10 grader celsius
- Vær: Overskyet
- Tid: 1100
- Antall sau: Ca 3 svarte og 1 hvit
- Temperatur på sau: 13,5 grader celsius

Høyde (meter)	Infrarødt (IR)	IR + vanlig	Vanlig bilde
20	JA	JA	JA
30	JA	JA	JA
40	JA	JA	JA
50	JA	JA	JA
60	NEI	JA	JA
70	NEI	NEI	JA
80	NEI	NEI	NEI
90	NEI	NEI	NEI (ser hvit sau)
100	NEI	NEI	NEI

Måleserie 11

Denne måleserien ble utført ved Torvald Storli's lagerplass.

- Kartkoordinat:
- Temperatur: 10 grader celsius
- Vær: Overskyet
- Tid: 11.15
- Antall sau: Alle sau er hvite

Høyde (meter)	Infrarødt (IR)	IR + vanlig	Vanlig bilde
20	JA	JA	JA
30	JA	JA	JA
40	JA	JA	JA
50	JA	JA	JA
60	JA	JA	JA
70	JA	JA	JA
80	JA	JA	JA (kun en prikk)
90	JA	JA	JA (kun en prikk)
100	JA	JA	JA (kun en prikk)
110	JA	JA (under tvil)	NEI
120	JA	JA (under tvil)	NEI

A.2 Storlidalen 20.–22. september feltlogg

Measurements of Sheep Visibility by Application of Drones

20., 21., and 22. September 2019

*Svein-Olaf Hvasshovd
Kari Meling Johannessen
Magnus Guttormsen*

Introduction

September 20, 21 and 22, 2019 Kari Meling Johannessen, Magnus Guttormsen and Svein-Olaf Hvasshovd performed:

- Experiments to correlate images from normal camera and infrared camera.
- Production of images to be used in automatic location of sheep in images.
- Experiments to determine when infrared and normal camera performs equally well in detecting free range sheep.

All work was performed in the Storlidalen valley. We stayed at Hvasshovd's cabin.

A large part of the free range sheep were gathered up. The gathered sheep were kept at fenced fields. Sheep are normally kept like that to fatten up before being delivered to slaughter. We were given permit by Hallvard Storli to fly drones and take pictures on his land and of his sheep.

In the area north of Hvasshovd's cabin a number of sheep were roaming free. We used these sheep to produce images of free range sheep.

We used two drones. Both drones were DJI drones. The drones were (hvis jeg husker feil kom med korleksjoner):

- DJI Mavic Flir (small drone – small)
- DJI Inspire 2 (large drone – large)

We had the first afternoon lots of problems with the smallest the FLIR drone. It only allowed us the fly max 30 meters away from our start position. The problem was solved the next morning. It was solved by not connecting the drone to DJI – not any sensible correlation.

Measurements

- Height: The height is given as the number of meters above the drone's starting location.
- Measurement results:
 - Yes: The sheep are clearly visible
 - NO: The sheep are not visible
 - Some other comments: The sheep are partially visible. The comment indicates how they are visible.

Correlation of infrared and normal images

We need to find a formula to translate a location in an infrared image to a normal camera image and vice versa. Since two cameras are not producing identical images the correlation formula is needed.

We used the big parking lot in front of Jan Storli's farm house at the inner end of Storlidalen road. We put out all in all 9 points each marked by one to three candle lights. Candle lights were used because the heats they produce when lit are visible by the infrared camera at the same time as they are visible by the normal camera.

We put out groups of three candle lights at each of the four corners of the image when the drone kept still at 30 meters height. Then each side of the produced square was subdivided again by putting another candle light at the length's halfway. Finally a candle light was located at the center of the square. All in all we put candle lights at nine locations. At the four outer locations three candle lights were used.

A number of pictures were taken at different heights and angles. Kari worked on marking the pictures the cabin. She will over the next days test her correlation formula on the generated images.

Test 0

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 20.10 – partially cloudy
- **Temperature:** +7C

Comment: Only the large drone was tested.

- When the drone was flying 40 meters over the sheep they all moved quickly away from the drone.
- The same effects on the sheep at 50 meters height.
- At 60 meters height the sheep did not react.

Test 1

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 20.10 – partially cloudy
- **Temperature:** +7C

- **Comment:** We were not allowed to fly higher or further away than 30 meters. This imposed a severe limitation on our measurements. We did the few measurements we could and focused on trying to fix the problems.

Height	Ordinary	IR
10 m	Yes	Yes
20 m	Yes	Yes
30 m	Yes	Yes

Any further measurements that evening was dropped due to the drone problems.

Test 2

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 06.50 – before sunrise.
- **Temperature:** +7C
- **Comment:** We were still not allowed to fly higher or further away than 30 meters.

Height	Ordinary	IR
10 m	Yes	Yes
15 m	Only white sheep visible	Only white sheep visible
20 m	Yes	Yes
30 m	Yes	Yes

Test 3

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 07.50 – before sunrise.
- **Temperature:** +7C
- **Comment:** The 30 meters restriction has been removed. It keeps removed for the rest of all measurements.

Pictures are taken while the drone is fast flying along the field. The drone starts from the road just down from the farm houses

Test 4

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 07.50 – before sunrise. Sunrise at 08.20
- **Temperature:** +7C
- **Comment:** The large drone is applied in this test.

We are flying up to 500 meters. We are taking picture for every 50 meters on the way up. All sheep are nicely visible at every level including at 500 meters.

The visibility all the way up is due to the much better camera at his drone.

Test 5

- **Location:** By Hvasshovd's cabin
- **Time:** 08.50
- **Temperature:** +7C
- **Comment:** A test to get pictures of wood land without sheep.

We are simply flying to get pictures of wood land without sheep.

We are catching a few pics of two bird dogs kept on leach by their owner. The owner is out catching birds.

Test 6

- **Location:** The intersection of the track up from Hesjingveien and Torvald Storli's all wheel drive track. At the edge of the ancient shore line.
- **Time:** 1200
- **Temperature:** +15 C
- **Comment:** We walked up from Hvasshovd's cabin, due north.

We found a group of sheep where the track crosses Thorvald's motor track. The sheep were mostly black. Kari followed the sheep. Hvasshovd talked to Nordset.

Nordset's dog on leach was filmed.

Test 7

- **Location:** Approximate 300 meters west of Stølan. Probably Veslslætthaugen.
- **Time:** 1300
- **Temperature:** +15 C
- **Comment:** Filmed from the main road. We concentrated on testing the visibility of brown sheep. There was no brown sheep on Hallvard's land.

Height	White sheep	Brown sheep	Infrared	Gray and brown
20 m	yes	yes	yes	yes
30 m	yes	yes	yes	yes
40 m	yes	yes	yes	yes
50 m	yes	yes	yes	yes
60 m	yes	yes	yes	yes
70 m	yes	yes	yes	yes
80 m	yes	yes	yes	yes
90 m	yes	yes	yes	yes
100 m	yes	yes	yes	yes
110 m	yes	yes	yes	yes
120 m	yes	yes	yes	yes

All the sheep gathered up in one huge clump when we were flying the drone over them. The sheep were obviously worried of the look and sound of the drone.

The sheep were located about 20 meters higher than where we stood. The height information we get from the drone has its zero level from where the drone starts flying. Because of this the heights given are somewhat higher than the actual height.

Test 8

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 19.05
- **Temperature:** +10 C. Sunset time.
- **Comment:** All working well

Height	White sheep	Black sheep	Brown sheep	Infrared
20 m	Yes		Yes	Yes
30 m	Yes		Yes	Yes
40 m	Yes		Yes	Yes
50 m	Yes		Yes	Yes
60 m	Yes		Yes	Yes
70 m	Yes		Yes	Yes
80 m	Yes		Yes	Can't see all
90 m	Yes		Yes	Can't see all
100 m	Yes	Yes	Yes	Can't see all
110 m	Yes	Yes	Yes	NO
120 m	Yes	Yes	Yes	NO

We had not planned to see that black sheep. They therefore popped into the picture first at 100 meters height. It is rather evident that they are visible all heights below 80 meters.

This is very evident infrared result. The infrared camera gets problems at 80 meters height and does not show any sheep above 100 meters height. It is evident that our infrared camera works only up to 70 meters.

Test 9

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 19.35
- **Temperature:** +9 C. Sun is below horizon. Sunshine still over the edge of the western mountains. It is still enough natural light to read a paper outdoor.
- **Comment:** No brown sheep in the pictures.

Height	White sheep	Black sheep	Infrared
20 m	yes	yes	yes
30 m	yes	yes	yes
40 m	yes	yes	yes
50 m	yes	yes	yes
60 m	yes	yes	yes
70 m	yes	yes	yes
80 m	yes	yes	NO
90 m	yes	yes	NO
100 m	yes	yes	NO
110 m	yes	yes	NO
120 m	yes	yes	NO

Test 10

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 20.00
- **Temperature:** +9 C. Sun is below horizon. Western sky is red. Can still with some problems read a paper outdoors.
- **Comment:** No brown sheep in the pictures.

Height	White sheep	Black sheep	Infrared
20 m	yes	yes	yes
30 m	yes	yes	yes
40 m	yes	yes	yes
50 m	yes	yes	yes
60 m	yes	yes	yes
70 m	yes	yes	yes
80 m	yes	yes	yes
90 m	yes	yes	yes
100 m	yes	yes	NO
110 m	yes	yes	NO
120 m	yes	yes	NO

Test 11

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 20.25
- **Temperature:** +8 C. Sun is down. Impossible to read paper outdoors without artificial light.
- **Comment:** No brown sheep in the pictures.

Height	White sheep	Black sheep	Infrared
20 m	yes	yes	yes
30 m	Can't see sheep's color	Can't see sheep's color	yes
40 m	Can't see sheep's color	Can't see sheep's color	yes
50 m	Can't see sheep's color	Can't see sheep's color	yes
60 m	Can't see sheep's color	Can't see sheep's color	yes
70 m	Can't see sheep's color	Can't see sheep's color	yes
80 m	NO	NO	yes
90 m	NO	NO	NO
100 m	NO	NO	NO
110 m	NO	NO	NO
120 m	NO	NO	NO

It is possible with the normal lights camera to see the sheep all the way up to 70 meters even though we can't determine sheep's color.

The infrared camera is however working flawless up to 80 meters.

Test 12

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 20.50
- **Temperature:** +7 C. Sun is down. Impossible to read paper outdoors without artificial light.
- **Comment:** No brown sheep in the pictures.

Height	White sheep	Black sheep	Infrared
20 m	NO	NO	yes
30 m	NO	NO	yes
40 m	NO	NO	yes
50 m	NO	NO	yes
60 m	NO	NO	yes
70 m	NO	NO	yes
80 m	NO	NO	The cluster is visible
90 m	NO	NO	NO
100 m	NO	NO	NO
110 m	NO	NO	NO
120 m	NO	NO	NO

The infrared camera is working up to 70 meters.

Test 13

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 06.00, September 22.
- **Temperature:** +1 C. It is frost in some parts of the grass. It had obviously been about 0 degrees during the night.
- **Comment:** The temperature range of the infrared camera had to be readjusted to cover the low temperature. The new range was set to -10C to +25C.

Height	White sheep	Black sheep	Infrared
20 m	NO	NO	Yes (initially no before the temp range is reset)
30 m	NO	NO	yes
40 m	NO	NO	yes
50 m	NO	NO	yes
60 m	NO	NO	yes
70 m	NO	NO	yes
80 m	NO	NO	The cluster is visible
90 m	NO	NO	The cluster is visible
100 m	NO	NO	Some disappeared from the cluster
110 m	NO	NO	Some disappeared from the cluster
120 m	NO	NO	Some disappeared from the cluster

Test 14

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 06.30, September 22. It's getting significant brighter. The sun is however not yet over the horizon.
- **Temperature:** +1 C. It is frost in some parts of the grass. It had obviously been about 0 degrees during the night.
- **Comment:** There was fog over Angardsvannet. The fog started slowly rolling towards west. The deep fog stopped well before Nergarden's fields. There was a very light fog mist over the field.

Height	White sheep	Black sheep	Infrared
20 m	Yes	Yes	Yes
30 m	Yes	Yes	Yes
40 m	Yes	NO	Yes
50 m	Yes	NO	Yes
60 m	Yes	NO	Yes
70 m	Yes	NO	Missing some sheep
80 m	Yes	NO	Sees cluster, not individuals
90 m	Yes	NO	Sees cluster, not individuals
100 m	Yes	NO	Sees cluster, not individuals
110 m	Yes	NO	One cluster
120 m	Yes	NO	NO

Test 15

- **Location:** Nergarden farm field. Field just south of farm's main house.
- **Time:** 0700, September 22. Sun is just slightly below the horizon. The sheep has started baaing.
- **Temperature:** +1 C. It is frost in some parts of the grass. It had obviously been about 0 degrees during the night.
- **Comment:** The fog has stopped moving and is starting to dissolve. There is still frost in the grass.

Height	White sheep	Black sheep	Infrared
20 m	Yes	Yes	Yes
30 m	Yes	Yes	Yes
40 m	Yes	Yes	Yes
50 m	Yes	Yes	NO
60 m	Yes	Yes	NO
70 m	Yes	Yes	NO
80 m	Yes	Yes	NO
90 m	Yes	Yes	NO
100 m	Yes	Yes	NO
110 m	Yes	Yes	NO
120 m	Yes	Yes	NO

A.3 Storlidalen resultater

Tabell A.1: Resultater fra målinger på Storlidalen.

Vær	Tid	Høyde (m)			Temperatur målt (°C)			Temperatur (°C)		
		IR	MSX	Visuell	Sau	Luft	Bakke	Max	Min	Diff.
	06:55	32,42	32,53	32,53	7,12	7	9,03	9,03	7	2,03
Lyst, men ikke sol	07:01	127,01		127,01	4,2	1	5,59	5,59	1	4,59
Overskyet	11:06	94,09	100,29	133,2	12,35	10	8,13	12,35	8,13	4,21
	11:39	60,16		60,47	13,52		9,39	13,52	9,39	4,14
	13:21	103,98	103,98	103,98	18,94	15	14,38	18,94	14,38	4,56
Overskyet	13:29	55,33	97,31	97,31	12,54	15	10,74	15	10,74	4,26
Sol/Overskyet	15:42	53,67	100,68	100,68	16,85	13	9,1	16,85	9,1	7,75
Overskyet	16:17	49,26	60,18	79,86	13,08	12	8,45	13,08	8,45	4,63
Sol	19:06	81,18		129,58	8,28	10	6,48	10	6,48	3,52
Overskyet	19:21	54,75	96,16	96,34	11,83	11	7,87	11,83	7,87	3,97
Sol gått ned	19:36	57,57		120,14	7	9	7,92	9	7	2
Sol gått ned	20:02	96,99		122	6,64	9	4,83	9	4,83	4,17
Sol gått ned	20:25	94,47		113,38	6,95	8	4,3	8	4,3	3,7
Overskyet	20:31	36,8		36,8	5,47		2,83	5,47	2,83	2,64
Sol gått ned	21:27	73,82	103,18	103,18	6,68	7	4,83	7	4,83	2,17

