

Rapport

Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi

Anvendelser innen naturfare og infrastruktur

Forfattere

Esten Ingar Grøtli
Aksel A. Transeth
Anders Gylland
Petter Risholm
Ida Soon Brøther Bergh



SINTEF IKT

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 Trondheim

Sentralbord:
Telefaks: 73594399

Foretaksregister:

EMNEORD:

Drone
Naturfare
Infrastruktur

Rapport

Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi

Anvendelser innen naturfare og infrastruktur

VERSJON

V01

DATO

2014-11-30

FORFATTERE

Esten Ingar Grøtli, Aksel A. Transeth, Anders Gylland,
Petter Risholm, Ida Soon Brøther Bergh

OPPDRAGSGIVER(E)

Jernbaneverket/NIFS

OPPDRAGSGIVERS REF.

224419

PROSJEKTNR

102008579

ANTALL SIDER:

76

SAMMENDRAG

NIFS (Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred) er et felles satsingsområde mellom etatene Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen. På vegne av NIFS har SINTEF utført en kartlegging av erfaringer og potensial for anvendelser av droneteknologi innen naturfare og infrastruktur relevant for etatene. Rapporten inneholder teknologi og muligheter knyttet til både luftfartøy- og bakkefartøydroner. Med bakgrunn i tilgjengelig materiale dreier rapporten seg i hovedsak om luftfartøydroner og en mengde eksempler på forskjellige anvendelser omtales. Luftfartøydroner er mye brukt for å generere 2D/3D kart/terrengmodeller fra kamerabilder tatt med dronene. I tillegg er det mest vanlig å bruke bilder tatt med slike droner direkte for manuell inspeksjon av områder og infrastruktur. Rapporten foreslår en rekke områder der droneteknologi utgjør et potensial for etatene – både innen naturfare og inspeksjon av infrastruktur. I tillegg kommer rapporten med anbefalinger i forbindelse anskaffelse og utnyttelse av droneteknologi innen etatene.

UTARBEIDET AV

Esten Ingar Grøtli

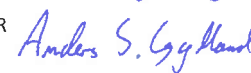
SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Anders Gylland

SIGNATUR



GODKJENT AV

Sture Holmstrøm

SIGNATUR



RAPPORTNR

SINTEF A26527

ISBN

978-82-14-05370-8

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduksjon..... | 4 |
| 1.1 | Bakgrunn | 4 |
| 1.2 | Om etatene | 4 |
| 1.3 | Omfang og innhold | 5 |
| 1.4 | Rapportinndeling | 6 |
| 2 | Ordlister og forkortelser | 7 |
| 3 | Oversikt over typer av luftfartøy- og bakkefartøydroner | 8 |
| 3.1 | Luftfartøydroner, UAV | 8 |
| 3.2 | Bakkefartøydroner, UGV..... | 9 |
| 3.3 | Klassifisering av droner | 9 |
| 4 | Sensorer og sensorteknologier | 11 |
| 4.1 | Satellittnavigasjonssystemer | 11 |
| 4.2 | Gammastråledetektor..... | 11 |
| 4.3 | Radar | 12 |
| 4.4 | Syntetisk apertur-radar..... | 12 |
| 4.5 | LiDAR/Laserskanner | 13 |
| 4.6 | Ultralydsensor..... | 13 |
| 4.7 | Kamera | 14 |
| 5 | Brukergrensesnitt..... | 16 |
| 6 | Regelverk og juridiske forhold | 18 |
| 7 | Kartlegging av anvendelser innen droneteknologi | 20 |
| 7.1 | Drone brukes til å undersøke skredfare [56], [100]..... | 20 |
| 7.2 | Estimering av snødybde ved bruk av dronebasert LiDAR and fotogrammetri [9]..... | 22 |
| 7.3 | Overvåking av områder med fare for snøskred [10]..... | 23 |
| 7.4 | Snødybdemåling og snøskredovervåking med drone [29], [24] | 24 |
| 7.5 | Bruk av fly til assistanse ved flom[12]..... | 26 |
| 7.6 | Bruk av UAV-basert fotogrammetri til inspeksjon av jordvoll mot vei [14]..... | 27 |
| 7.7 | Kartlegging av vei/jernbanekryss ved bruk av UAV [17], [27] | 28 |
| 7.8 | UAV muliggjør inspeksjon av jernbanebro [18], [19] og veibro [151], [162]..... | 29 |
| 7.9 | Robot for inspeksjon av jernbanelinjer [44] | 30 |
| 7.10 | Drone brukt for å effektivisere inspeksjon av signalsystem på jernbane [54] | 31 |
| 7.11 | Inspeksjon av kraftledninger ved hjelp av drone [32] | 32 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.12 | Inspeksjon av høyspentmaster [35]..... | 32 |
| 7.13 | Bruk av drone til å hindre reinpåkjørslers på Saltfjellet [41]..... | 33 |
| 7.14 | Bruk av luftfartøy for autonom fremstilling av 2D og 3D kart [11], [26] | 34 |
| 7.15 | Overvåking av isbredynamikk ved hjelp av UAV [16] | 35 |
| 7.16 | Bruk av UAS i beredskapstjeneste [7] | 36 |
| 7.17 | Droner brukes til kartlegging av ungskog [65] | 37 |
| 7.18 | Droner brukes til kartlegging av skogsverdi [13] | 38 |
| 7.19 | Bruk av drone i politiets tjeneste[40] | 39 |
| 7.20 | Bruk av aerostat for oljesøl [47], [49] | 40 |
| 7.21 | Inspeksjon av offshore fakler ved hjelp av drone [33]..... | 41 |
| 7.22 | Bruk av drone til levering av medisiner [30], [31], [34] | 42 |
| 7.23 | Black Hornet, forsvarsteknologi [60] | 43 |
| 7.24 | Bruk av fjernstyrte anleggsmaskiner[73] | 44 |
| 7.25 | Førerløse biler [74], [105], [107], [108] | 44 |
| 7.26 | Utvikler kommunikasjonsdroner til bruk når telenettet svikter [82]..... | 45 |
| 7.27 | Kartverket tester lasermåling av kystsonen..... | 46 |
| 7.28 | Erfaringer med bruk av UAV for bunntopografimåling i Norge [85]..... | 47 |
| 7.29 | Senter for autonome maritime operasjon og systemer [156]..... | 48 |
| 7.30 | Bruk av drone ved vurdering av steinsprangfare [171] | 49 |
| 7.31 | Laser og radarteknologi steinsprangfare [171]..... | 50 |
| 8 | Oppsummering av kartleggingen | 52 |
| 8.1 | Kort oppsummering av status på dokumenterte erfaringer, modenhet og bruksområder | 52 |
| 8.2 | Fordeler ved bruk av droner | 53 |
| 8.3 | Ulemper med bruk av droner | 54 |
| 8.4 | Utfordringer med bruk av droner | 55 |
| 9 | Potensial for bruk av droneteknologi innenfor naturfare og infrastruktur..... | 57 |
| 9.1 | Potensial for bruk av droner innen naturfare..... | 57 |
| 9.2 | Potensial for bruk av droner innenfor NVEs ansvarsområde | 59 |
| 9.3 | Potensial for bruk av droner til inspeksjon av Jernbaneverkets infrastruktur | 59 |
| 9.4 | Potensial for bruk av droner til inspeksjon av Statens Vegvesens infrastruktur | 60 |
| 10 | Anbefalinger for bruk av droneteknologi | 62 |
| 10.1 | Testforsøk | 63 |
| 10.2 | Anskaffelse av drone- og sensorteknologi..... | 64 |
| 10.3 | Andre anbefalinger | 65 |
| 11 | Konklusjoner | 67 |
| 12 | Referanser..... | 68 |

1 Introduksjon

I dette kapitlet gir vi en kort introduksjon til bakgrunnen for rapporten og hva rapporten inneholder.

1.1 Bakgrunn

Prosjektet NIFS¹ (Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred) er et samarbeid mellom Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Jernbaneverket (JBV) og Statens vegvesen (SVV). Prosjektperioden er 2012-2015. I prosjektet tas det sikte på å samarbeide om felles utfordringer knyttet til naturfare som skaper problemer for infrastruktur og samfunnssikkerhet. Etatene i NIFS har mange av de samme utfordringene, enten det gjelder flom, skred eller uvær. Samtidig har hver etat gjerne «sin» måte å håndtere slike situasjoner, og de ser at det er behov for økt kommunikasjon og samhandling. Prosjektet har som hovedmål å øke kunnskapsutvekslingen og kommunikasjonen. Se www.naturfare.no.

I prosjektet søkes det etter gode, effektive og fremtidsrettede løsninger for overvåking, kartlegging og varsling av naturfarer. Som et ledd i dette arbeidet ønskes det å få utarbeidet en kunnskapsstatus ("state of the art") for bruk av droneløsninger (både luft og bakkebasert) for overvåking, kartlegging og varsling av tilsvarende eller potensielt sammenlignbare hendelser og farer. Denne skal inngå i etterfølgende vurderinger av å ta i bruk slik teknologi i arbeid med å håndtere naturfarer. I tillegg ønskes det at kunnskapsstatusen skal gi oversikt knyttet til bruk av teknologi i en bredere sammenheng, da med fokus på overvåking av infrastruktur.

1.2 Om etatene

Jernbaneverket er statens fagorgan for jernbanevirksomhet. Jernbaneverkets oppgave er å tilby togselskapene i Norge et sikkert og effektivt trafikksystem gjennom å planlegge, bygge ut, drifte og vedlikeholde det statlige jernbanenettet inkludert stasjoner og terminaler. I tillegg har Jernbaneverket ansvaret for den daglige styringen av togtrafikken og trafikkinformasjon til de reisende i forkant av reisen. Informasjon om Jernbaneverket finnes på www.jbv.no.

Statens vegvesen har ansvaret for planlegging, bygging, drift og vedlikehold av riks- og fylkesvegnettet og tilsyn med kjøretøy og trafikanter. Etaten utarbeider også bestemmelser og retningslinjer for vegutforming, vegtrafikk, trafikkopplæring og kjøretøy. Etaten har ansvaret for riksvegferjetilbudet. Informasjon om Statens vegvesen finnes på www.vegvesen.no.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er et direktorat under Olje- og energidepartementet. NVEs mandat er å sikre en helhetlig og miljøvennlig forvaltning av landets vannressurser, fremme effektive energimarkeder og kostnadseffektive energisystemer og bidra til effektiv energibruk. Direktoratet spiller en sentral rolle i den nasjonale flom beredskapsplanlegging og bærer overordnet ansvar for å opprettholde nasjonale strømforsyninger. Fra 2009 er NVE tildelt større ansvar for forebygging av skader forårsaket av ras. NVE er engasjert i forskning og utvikling i sine områder og er det nasjonale kompetansesenter for hydrologi i Norge. Informasjon om NVE finnes på www.nve.no.

Det finnes en del generelle områder hvor droneteknologi antas å kunne være av interesse på tvers av de tre etatene, spesielt med tanke på:

| | |
|--|--|
| Kartlegging og arealplanlegging | <ul style="list-style-type: none">• Oppmåling av elveløp og sideterreng.• Måling av vannføring/vannstander.• Identifisering og kartlegging av potensielle ras og skredområder.• Kartlegging/overvåking av snømasser i fjellene og nært infrastruktur. |
|--|--|

¹ Denne seksjonen er i all hovedsak sitat fra NIFS' beskrivelse av oppdraget som denne rapporten utgjør.

| | |
|----------------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Områdeskanning og modellering i forbindelse med planlegging, bygging og SAT ("Site Acceptance Test"). |
| Sikring | <ul style="list-style-type: none"> • Oppmåling av terreng før, under og etter gjennomføring av sikringstiltak. • Anleggskontroll, massekontroll. • Dokumentasjon og presentasjon av tiltak. • Vedlikeholdsoppfølging. |
| Overvåking/varsling | <ul style="list-style-type: none"> • Måling av brevvolum- og bevegelser. • Måling av snødybder/snødekket areal. • Måling av vannstander og vannføring. • Måling av terrengbevegelser i skredfarlige områder. |
| Krisehåndtering/beredskap | <ul style="list-style-type: none"> • Rask oversikt og dokumentasjon under og rett etter flom og skredhendelser. • Registrering av vannstander, vannføring, skredhendelser. • Kartlegging av vanskelig tilgjengelige områder. • Måling av vannstander, vannføring, terrengbevegelser, skredfarlige områder. |

NVE er et forvaltnings- og fagdirektorat uten eierskap i infrastruktur. Jernbaneverket og Statens vegvesen er på sin side ansvarlig for infrastruktur hvor inspeksjon ved hjelp av droner kan være relevant. For Jernbaneverket gjelder dette bl.a. følgende infrastruktur: Togskinner/-spor og sporvekslere, overgangs- og jernbanebruer, kjøreledninger, signalanlegg, kommunikasjonsnett, og tunneller. Statens Vegvesen har på sin side ansvar for bl.a. følgende infrastruktur: Vei, bruer, tunneller, rekkverk, og skilting.

Utover områder innenfor naturfare og infrastruktur, kan det for Statens Vegvesen finnes andre eksempler hvor droneteknologi kan være nyttig, blant annet innenfor deres ansvar for tilsyn med kjøretøy og trafikanter.

1.3 Omfang og innhold

På vegne av NIFS har SINTEF fått som oppdrag å kartlegge status og potensiale for dronebasert teknologi, spesielt med tanke på applikasjoner innen naturfare og infrastruktur. Begrepet droneteknologi er i denne rapporten avgrenset til luftfartøy og bakkefartøy i henhold til oppdragets spesifisering. Følgende aktiviteter har inngått i prosjektet:

- Aktivitet 1: Kartlegging av status og dokumenterte erfaringer ved bruk av droneteknologi, både generelt og spesielt for overvåkning av naturfare og infrastruktur.
- Aktivitet 2: Kartlegging og evaluering av potensial for bruk av droneteknologi til overvåkning og varsling av ras, skred og flom, samt infrastruktur. Denne aktiviteten vil omfatte kartlegging og evaluering av potensial for bruk av droneteknologi til overvåkning og varsling av ras, skred og flom, samt infrastruktur. Både muligheter og utfordringer, samt relevante pågående forsknings- og utviklingsinitiativ, vil belyses. Vurderingene vil omfatte praktiske aspekter som mobiliseringstid og brukervennlighet samt hensyn som økonomi, juridiske og tekniske forhold, sikkerhet, osv.
- Aktivitet 3: Planlegge, arrangere og rapportere et bransjeseminar hvor kunnskapsstatusen presenteres og debatteres.

Aktivitet 1 og 2 har resultert i denne rapporten. Presentasjon av hovedmomentene fra rapporten blir gitt på et bransjeseminar som avholdes i Trondheim 13. januar 2015 i regi av etatene i NIFS og SINTEF.

1.4 Rapportinndeling

Denne rapporten er strukturert som følger:

- Kapittel 2: Oversikt over noen av ordene og uttrykkene som er brukt innen droneteknologi.
- Kapittel 3: Oversikt ulike typer luftfartøy- og bakkefartøydroner, samt typiske egenskaper.
- Kapittel 4: Oversikt over typiske sensorteknologier anvendt på droner.
- Kapittel 5: Brukergrensesnitt for operasjoner av droner.
- Kapittel 6: Regelverk og juridiske forhold knyttet til operasjon av luftfartøydroner.
- Kapittel 7: Kartlegging av ulike anvendelser av droneteknologi.
- Kapittel 8: Oppsummering av kartleggingen i Kapittel 7.
- Kapittel 9: Potensial for bruk av droneteknologi innenfor naturfare og infrastruktur.
- Kapittel 10: Anbefalinger innen bruk av droneteknologi i etatene.
- Kapittel 11: Konklusjoner.

2 Ordliste og forkortelser

Under listes en del av forkortelsene som brukes i denne rapporten, samt noen forslag til oversettelser på relevante ord og uttrykk som typisk kun brukes på engelsk selv i det norske språket. Listen er sortert alfabetisk etter engelsk ord/uttrykk.

| Engelsk | | Norsk |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Forkortelse | Navn | Navn |
| AIC | Aeronautical Information Circular | |
| BLOS | Beyond-line-of-sight | Utenfor siktrekkevidde |
| | Biped robot | Tobeinet robot |
| | Fixed-wing aircraft | Fastvingefly |
| LOS | Line-of-sight | Siktrekkevidde |
| | Multicopter | Multikopter |
| | Quadroped robot | Firebeinet robot |
| RPA ² | Remotely Piloted Aircraft | |
| RPAS ² | Remotely Piloted Aircraft System | |
| RPS | Remote Pilot Station | Fjernstyringspilotstasjon |
| | Rotary wing aircraft | Rotorvingeluftfartøy |
| UAS ² | Unmanned aerial system | |
| UAV ² | Unmanned aerial vehicle | Luftfartøydrone |
| UGV | Unmanned Ground Vehicle | Bakkefartøydrone |
| VR | Virtual Reality | Virtuell virkelighet |

² UAV refererer ofte kun til fartøyet, mens UAS brukes gjerne om hele "systemet" som inkluderer fartøyet, alt av sensorer, bakkeinfrastruktur, etc. RPA og RPAS brukes, særlig i juridiske sammenhenger, for å fremheve at det er en menneske, en pilot, som er ansvarlig for dronen og eventuelle hendelser dronen måtte være involvert i. Dette skillet er ikke entydig, og noen tilfeller brukes begrepene om hverandre.




3 Oversikt over typer av luftfartøy- og bakkefartøydroner

I dette kapitlet gis en kort oversikt over forskjellige typer ubemannete luft- og bakkefartøy.

3.1 Luftfartøydroner, UAV

Luftfartøydroner kan deles inn i tre hovedkategorier; fastvingedroner, helikopterdroner og multirotdroner. Fastvingedronene ligner små fly og er fartøyet med lengst rekkevidde og størst lasteevne. Samtidig er disse dronene avhengige av å være i bevegelse til enhver tid. De er dermed best egnet for oppdrag hvor store arealer skal kartlegges. Fastvingedroner stiller også visse krav til et landingssted uten hindringer, noe ala en flystripe. Multirotdroner her gjerne fire (quadkopter) eller flere rotor. De har kort rekkevidde og relativt lav lastekapasitet, til gjengjeld kan de manøvreres fleksibelt og kontrollert i lufta og er velegnet for detaljstudier av mindre områder. Avgang og landing gjøres vertikalt. Helikopterdroner plasserer seg i bruksområde og egenskaper generelt sett mellom fastvinge og multirotdroner. Luftballong og luftskip kan også karakteriseres som luftfartøydroner. Tabell 1 gir en oversikt over ulike UAV-kategorier. En oversikt over og klassifisering av ytelse er gitt i Tabell 3 og i Tabell 5. Det bemerkes at det innad i kategoriene er store variasjoner i størrelse og ytelse. Fastvingedroner f.eks. finnes i størrelser fra ca 0,5 m til droner på størrelse med små personfly, helikopterdroner fins i kategorier fra 16g til over 100 kg. Type oppdrag og krav til flytid og nyttelast vil være avgjørende for valg av dronetype.



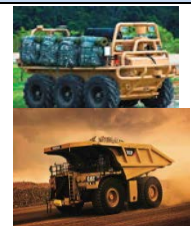
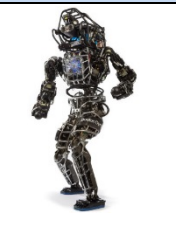

Tabell 1 Oversikt over forskjellige kategorier av luftfartøydroner, UAV

| Luftfartøydroner | | | |
|--|--|--|---|
| Bilder [180] |  |  |  |
| Type | Fastvingedrone | Helikopterdrone / rotorvingedrone | Multirotdrone / rotorvingedrone |
| Typiske kjennetegn | Stor rekkevidde Medium/stor nyttelast | Liten/medium/stor rekkevidde og nyttelast | Liten/medium rekkevidde Liten/medium nyttelast |
| Rapportavsnitt med bilder og eksempel på bruk | 7.4, 7.5, 7.7, 7.15, 7.17 | 7.4, 7.23 | 7.6, 7.8, 7.10, 7.11, 7.12, 7.16, 7.18, 7.19, 7.22 |
| Kommentarer | <ul style="list-style-type: none"> • Brukes i operasjoner både innendørs (helikopter-/multirotdrone) og utendørs (alle luftfartøydroner). • Operasjoner med luftfartøydroner gjøres vanligvis innenfor siktrekkevidde (bortsett fra militært), men operasjoner utenfor siktrekkevidde (BLOS-operasjoner) gjøres også kommersielt og i forskningsøyemed. • Det er en stor base av luftfartøydroneleverandører. I hovedsak utenfor Norge. Særlig gjelder dette for multirotdroner. • Det finnes også fastvingedroner som er beregnet på svært lang flytid og stor høyde (f.eks. 82 timer, 60 000 fot) [182]. • Helikopterdroner kan bli svært små, ned til 16 gram, i f.eks. militære anvendelser [183]. • Luftballonger kan gi noe tilsvarende muligheter som luftfartøydroner. Dette inkluderer å kunne få "et øye i lufta" ved å montere kamera på en luftballong [184]. Se avsnitt 7.20. | | |

3.2 Bakkefartøydroner, UGV

Bakkefartøydroner blir ofte også referert til som roboter. Det fins mange varianter og de fleste er spesialtilpasset enkelte arbeidsoperasjoner. Ubemannede kjøretøy er også definert i denne kategorien hvor man finner bl. a. anleggsmaskiner, personbiler og terrengkjøretøy tilpasset militære formål. Logistikk er også et område hvor bakkefartøydroner er mye brukt. St. Olavs hospital i Trondheim bruker bakkefartøydroner for transport av senger og varer mellom sykehusets enheter. Det fins gående bakkefartøydroner med enten to eller fire bein som kan brukes til mange formål, men dette er teknologi på forskningsstadiet.

Tabell 2 Oversikt over noen kategorier bakkefartøydroner, UGV

| Bakkefartøydroner | | | | | |
|--|---|---|---|--|---|
| Bilder [181] |  |  |  |  |  |
| Type | Mobil manipulator | Mobil robot | Ubemannet kjøretøy | Gående roboter | Skinnegående robot |
| Typiske kjennetegn | Har robotarm for inspeksjon/intervensjon. Lav/medium rekkevidde og nyttelast. | Typisk i bruk for innendørs logistikk. Lav/medium rekkevidde og nyttelast. | Kan håndtere svært stor nyttelast. | Lav nyttelast. Lav rekkevidde. | Nyttelast/rekkevidde ikke oppgitt |
| Rapportavsnitt med bilder og eksempel på bruk | | | 7.24, 7.25 | | 7.9 |
| Kommentarer | <ul style="list-style-type: none"> • Utendørs operasjoner utføres typisk i forbindelse med militære operasjoner eller i kontrollerte omgivelser (f.eks. i dagbrudd). • Mindre fartøy er typisk brukt innenfor logistikk, f.eks. på sykehus, i varehus, osv. | | | | |

3.3 Klassifisering av droner

Luftfartøydroner kan klassifiseres ut i fra deres vekt, størrelse og rekkevidde, uavhengig av type. En forenklet klassifisering er gitt i [165] og gjengitt her som

Tabell 3. En lignende, men mer utførlig klassifisering er tilgjengelig i [93]. I flere land har luftfartsmyndighetene innført egne klassifiseringer. En oppsummering av disse er gitt i [178]. Som et eksempel inkluderes en klassifisering fra IABG i Tyskland (Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft) i Tabell 4 som et utviklet med tanke på sertifisering av UAS. Videre har sikkerhetsmyndighetene i flere land, og forsvarsorganisasjoner som f.eks. NATO, egne klassifiseringssystemer. Disse legger også vekt på styringskontroll og våpensystemer.

Tabell 3 Klassifisering av UAV [165]

| Kategori | Masse [kg] | Rekkevidde [km] | Flyhøyde [m] | Flytid [timer] |
|----------|------------|-----------------|--------------|----------------|
| Micro | < 5 | < 10 | 250 | 1 |

| | | | | |
|------------------------|-------------|---------|-------------|-------|
| Mini | < 25/30/150 | < 10 | 150/250/300 | < 2 |
| Lav rekkevidde | 25 - 150 | 10 - 30 | 3000 | 2 - 4 |
| Medium rekkevidde | 50 - 250 | 30 - 70 | 3000 | 3 - 6 |
| Stor høyde/lang flytid | > 250 | > 70 | > 3000 | > 6 |

Tabell 4 Klassifisering av UAS, IABG-Tyskland

| Klasse | Take-off vekt [kg] | Rekkevidde, klasse | Radius [nm] | Flyhøyde [ft] |
|---------|--------------------|--------------------|-------------|---------------|
| Class 0 | < 25 | Nærfelt | < 10 | 1000 |
| Class 1 | 25 – 500 | Kort rekkevidde | 10 – 100 | 15 000 |
| Class 2 | 501 – 2000 | Medium rekkevidde | 101 – 500 | 30 000 |
| Class 2 | >2000 | Land rekkevidde | > 500 | 30 000 |

På nåværende tidspunkt fins det ingen omforent klassifisering av luftfartøydroner med tanke på ytelse under ulike værforhold. De ulike egenskapene til fartøykategoriene i Tabell 1 åpner likevel for å gjøre en grov klassifisering som vist nedenfor i Tabell 5 (basert på [177]).

Tabell 5 Generell ytelse av UVA-kategorier (+: lav, ++: middels, +++: høy)

| UAV-type | Rekkevidde | Flytid | Evne til å tåle vær og vind | Manøvreringsevne |
|-------------------|------------|--------|-----------------------------|------------------|
| Luftskip | +++ | +++ | + | + |
| Fastvinge m/motor | +++ | +++ | ++ | ++ |
| Fastvinge u/motor | +++ | ++ | ++ | ++ |
| Helikopter | ++ | ++ | ++ | +++ |
| Quadrotor | + | + | + | +++ |
| Multi-rotor (>4) | ++ | ++ | ++ | +++ |

4 Sensorer og sensorteknologier

Dette kapitlet oppsummerer noen av sensorteknologiene som kan brukes på droner, eller som antas å kunne brukes på droner i nær framtid. Det fokuseres her på bruk av sensorer for kartlegging og inspeksjon fra luftfartøydroner med en kort oversikt over teknologier brukt for navigasjon av dronen og bestemmelse av sensorenes egenposisjon.

4.1 Satellitnavigasjonssystemer

En nøyaktig bestemmelse av sensorenes egenposisjon er avgjørende for et godt resultat ved kartlegging som baserer seg på avstandsmåling slik som f.eks. laserskanning. Egenposisjon bestemmes gjerne ved hjelp av satellitnavigasjonssystemer som for eksempel GPS, GLONASS eller Galileo. Ved enkeltpunktbestemmelse gjøres posisjonsbestemmelse med kun en mottaker. Kreves det høyere nøyaktighet enn det som er oppnåelig ved enkeltpunktbestemmelse, må posisjonsbestemmelsen gjennomføres ved hjelp av en eller flere andre mottakere. Grovt sett kan man dele inn i to typer målinger, kodemålinger og fasemålinger, [169]. Bruk av kodemålinger var den opprinnelige metoden for å forbedre presisjonen ved bruk av satellitnavigasjonssystemer. Teknikker for å utnytte fasemålinger er senere blitt utviklet og gir bedre nøyaktighet. Man kan i hovedsak benytte seg av ett av følgende prinsipper for å nyttiggjøre seg fasemålinger [169]:

- Tradisjonell RTK ("Real Time Kinematic"). Systemet består av to tofrekvente satellitmottakere, en i en basestasjon og en i dronen. Basestasjonen settes opp av brukeren i et punkt med kjente koordinater. Basestasjonen sender sine satellitnavigasjonsmålinger til dronen som sammenstiller disse med sine egne målinger og benytter dette til å bestemme vektoren mellom de to mottakerne. Oppnåelig nøyaktighet er på centimeternivå eller bedre.
- Nettverks-RTK. Her trenger man kun en tofrekvent satellitmottaker i dronen som kan motta data fra et nettverk av basestasjoner. Et kontrollsenter vil med utgangspunkt i data fra et nettverk av permanente basestasjoner generere korreksjonsdata som dronen sammenstiller med egne målinger for å bestemme vektoren mellom referanse og dronen. I Norge tilbys f.eks. tjenesten CPOS fra Kartverket, [167]. CPOS beregner virtuelle observasjonsdata fra et satellitnavigasjonssystem for det punktet hvor mottakeren befinner seg, og sender det til brukeren. En virtuell referansestasjon dannes i dette punktet, og bruker gjør så vektormålinger mot den virtuelle referansestasjonen i stedet for en fysisk base. CPOS referansedata distribueres over internett eller mobiltelefonnettet GSM. Oppnåelig nøyaktighet er på centimeternivå eller bedre.
- Etterbehandling med historiske referansedata. I Norge tilbys f.eks. tjenesten ETPOS fra Kartverket, [168]. Denne tjenesten består av datafiler med satellitnavigasjonsobservasjoner fra permanente geodetiske basestasjoner, samt nøyaktige koordinater til disse basestasjonene. Brukerens egne satellitnavigasjonsmålinger kan dermed bli korrigert ved samprosessering med disse datafilene i ettertid for å oppnå en nøyaktighet på centimeternivå eller bedre.

En mottaker for satellitnavigasjonssignaler er ofte også en viktig del av navigasjonssystemet på droner. Navigasjonssystemet brukes blant annet for å bestemme dronens posisjon, orientering og hastigheter. Foruten mottaker for satellitnavigasjonssignaler, består et navigasjonssystem gjerne av sensorer som akselerometer, gyro, magnetometer, og trykksensor.

4.2 Gammastråledetektor

Måleprinsippet baserer seg på i hvilken grad gammastråling avgitt av radioaktive isotoper i jorda blir dempet av vann. Gammastråledetektorer er blant annet blitt brukt for å måle SWE ("Snow Water Equivalents") ved å gjøre målinger før og etter snøen har lagt seg, se [92]. Også vannmengden i det øverste jordlaget blir medregnet. Vekt og kostnad har gjort at denne typen sensor foreløpig er lite egnet til bruk på ubemannede luftfartøydroner, [29].

4.3 Radar

Radar er ikke avhengig av dagslys for å fungere, og er forholdsvis lite påvirket av værforhold som sensorteknologi, noe som gjør den til en egnet sensor i samfunnskritiske operasjoner. Sensorplattformer som f.eks. en luftfartøydroner vil selvfølgelig være påvirket av værforholdene, og kan på det viset forhindre bruken av radar.

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har utviklet en C-bånd radar til bruk på UAV, se [89]. Målinger gjort med radaren fra bemannet fly over Hardangerjøkulen viser at den fungerer til formålet som er å måle tykkelsen på snølag. Det oppgis at den nominelle oppløsning er på 15 cm i luft eller 12 cm i snø. FFI har også utviklet en UWB radar. Begge radarene kan bæres av NORUTs Cyrowing UAV. I tillegg til tykkelsen på snølag, kan radarer også brukes til å måle SWE ("Snow Water Equivalents") og egenskapene til sjøis, noe som er viktige klimaparametere. Måling av SWE er også av interesse for vannkraftindustrien.

En is-penetrerende radar er også utviklet ved Center for Remote Sensing of Ice Sheets, University of Kansas i USA [118]. Den vil bli brukt for å måle isens tilstand hvor den møter grunnfjell i Antarktis og på Grønland. I [110], som fokuserer på deteksjon og kartlegging av oljesøl i og rundt is, blir det påpekt at radar er ekstremt nyttig til å karakterisere og kartlegge isens egenskaper.

En av de første anvendelsene med radar var for deteksjon av marine fartøy. Radar vil være en viktig teknologi for i høyere grad kunne ta i bruk luftfartøydroner i kontrollert luftrom. I [113] foreslås en lettvekts X-band radar til bruk for å detektere andre ubemannede luftfartøy, som et hjelpemiddel til kollisjonsunngåelse ved f.eks. operasjoner som krever bruk av flere droner samtidig.

4.4 Syntetisk apertur-radar

Syntetisk apertur-radar (SAR) er en type radar som typisk er montert på en bevegelig plattform (f.eks. et luftfartøy), og som bruker plattformens bevegelse til å oppnå en høyere oppløsning enn det som er mulig med en konvensjonell radar. SAR gir høyoppløselig kartlegging under alle lys- og værforhold, og ansees derfor å kunne være spesielt egnet i forbindelse med hasteoperasjoner eller operasjoner som angår offentlig sikkerhet. Oljesølberedskap er et slikt eksempel hetet fra [110], men som det vil gå fram av dette dokumentet finnes det en rekke anvendelser innenfor etatene NVE, Jernbaneverket og Statens Vegvesen som angår offentlig sikkerhet. Tabellen nedenfor er hentet fra [20], og inneholder et representativt utvalg av SAR til bruk på luftfartøydroner. Overført effekt kan måtte begrenses av hensyn til gjeldende lover og regler, og vil også påvirke strømforbruk. Oppløsning er avhengig av flyhøyde, men er basert på typisk applikasjon.

| Fabrikant og modell | Spektralbånd | Vekt (kg) | Overført effekt (W) | Oppløsning (m) |
|------------------------|--------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------|
| IMSAR NanoSAR B | X og Ku | 1,58 (ikke inkludert antenne og IMU) | 1 | Mellom 0,3 og 5 |
| Fraunhofer FHR MIRANDA | W | - | 0,1 | 0,15 |
| NASA JPL UAVSAR | L | 200 | 2000 | 2 |
| SELEX Galileo PicoSAR | X | 10 | - | 1 |

Northrup Gruman integrerte NanoSAR B i sin BAT-12 i 2010, se [88], mens UAVSAR og PicoSAR har blitt integrert på henholdsvis Global Hawk UAS, og Integrator UAS, [20]. I [111] beskrives bruken av SAR i sammenheng med kartlegging av oljesølet fra Deepwater Horizon. I Norge har FFI utviklet og tilpasset en Ku-band radar til NORUTs CryoWing UAV. Deres applikasjon er blant annet innenfor kartlegging av snø og is. En kombinasjon av P- og X-band radar til bruk på UAS er beskrevet i [116]. Deres applikasjon er generering av digitale terrengmodeller i skogsområder.

4.5 LiDAR/Laserskanner

LiDAR eller laserskanner kan brukes til nøyaktig distansemåling. Bruk av laserskanner på luftfartøydroner har vært utfordrende, enten på grunn høy kostnad og/eller størrelse på laserskannere, men også på grunn av effekten dronens dynamikk har på måleprosessen, [13]. Tabellen nedenfor er hentet fra [20] og inneholder et representativt utvalg laserskannere til bruk på luftfartøydroner. Frekvens betegner antall tusen punkter som genereres per sekund.

| Fabrikant og modell | Søkemønster | Rekkevidde [m] | Vekt [kg] | Angulær oppløsning [grader] | Synsfelt [grader] | Laser klasse og bølgelengde [nm] | Frekvens [kp/s] |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------|
| Ibeo Automotive Systems IBEO LUX | 4 parallelle linjer | 200 | 1 | (H) 0,125 og (V) 0,8 | (H) 110 og (V) 3,2 | Class A 905 | 22 |
| Velodyne HDL-32E | 32 laser/detektor par | 100 | 2 | (V) 1,33 | (H) 360 og (V) 41 | Class A 905 | 700 |
| RIEGL VQ-820-GU | 1 linje | ≥1000 | - | (H) 0,01 | (H) 60 | Class 3B 532 | 200 |

Lasere er godt egnet til avstandsmåling. Hvis man kjenner sensorens posisjon kan man dermed gjøre nøyaktige beregninger av terrengets topografi, altså bakkens elevasjon relativ til havnivået. Noen typer lasere kan også penetrere vann til en viss grad, og kan derfor brukes til dybdemåling, også kalt batymetri, i sjøer, elver og kystnære områder. I et testforsøk på vegne av Statens Kartverk er denne typen laserteknologi brukt på et bemannet fly til å kartlegge terrenget både over og under vann, [90]. I [112] er LiDAR en del av en sensorpakke brukt for å måle endringer i høyde og topografi i sjøis og innlandsis.

Laserteknologi muliggjør blant annet terrengmodellering over områder med tett skog eller annet vegetasjon, noe som ikke er mulig med fotogrammetri basert på kamerabilder.

Velodyne HDL-32E har vært integrert på Phoneix AL-2 multicopter UAS, RIEGL VQ-820-GU på Schiebel CAMCOPTER S-100, RIEGL LMS-Q160 på en Scout B1-100 [20]. mdLaserScan er egen modul tilpasset md4-1000 og md4-3000 fra Microdrone, [39]. Oppløsningen oppgis til 4x4x4 cm ved flyhøde på 25 meter og en flyhastighet på en meter per sekund. RIEGL VUX-1 er integrert på en rekke plattformer, og planlegges integrert med blant annet Camflight X8 fra Bygg Control, [176]. Den kan opereres fra høyder på over 1000 fot over bakken, og kan gjøre målinger med nøyaktighet på centimeternivå. Tatt i betraktning usikkerheten rundt egenposisjon når plassert på en luftfartøydroner, antas det at det er oppnåelig å oppnå terrengmodeller med tilsvarende nøyaktighet som ved dagens fotogrammetrimetoder.

Laserskannere med kort rekkevidde, f.eks. fra produsenter som FARO, SICK og Hokuyo, har vært integrert på en rekke droner blant annet for kollisjonsunngåelse [20], men også for samtidig lokalisering og kartlegging [153].

4.6 Ultralydsensor

Ultralydsensor kan for eksempel brukes til avstandsmåling slik det er gjort i [115]. Rekkevidden og nøyaktigheten er begrenset sammenliknet med laserskannere, men ultralydsensorer kan f.eks. brukes til kollisjonsunngåelse dersom dronen beveger seg nærme terrengoverflaten.

4.7 Kamera

4.7.1 RGB kamera

Vanlig digitalkamera eller RGB kamera som det også kalles, med referanse til fargene rød, grønn og blå i fargemodellen, har en rekke anvendelser. Særlig har det blitt mye brukt til å lage digitale elevasjonsmodeller. Geometriske egenskaper som form, størrelse og beliggenhet kan bestemmes fra foto, også kalt fotogrammetri. Ortofoto er bilder tatt fra satellitt eller luftfartøy og som er geometrisk korrigeret slik at avstander og størrelser gjengis korrekt. Korrigeringen tar blant annet hensyn til kameraets orientering i det bildet ble tatt.

RGB Kamera kan også brukes til å si noe om dronenes posisjon og orientering relativ til omgivelsene. F.eks. kan kameraet brukes til å detektere på forhånd kjente landemerker. Landemerkenes plassering og størrelse i bildet fra kameraet kan brukes for å si noe om dronens relative posisjon (og avstand), mens orienteringen til landemerkene kan si noe om dronens relative orientering. Kamera brukes da gjerne sammen med treghetssensorer som akselerometer og gyroskop, i tillegg til andre navigasjonshjelpemidler som kompass og mottaker for satellittnavigasjonssignaler.

4.7.2 Multispektralt kamera

Et multispektralt kamera fanger bildedata på spesifikke frekvenser på det elektromagnetiske spekteret. Tabellen nedenfor viser et representativt utvalg av multispektrale kamera til bruk på luftfartøydroner, [20].

| Fabrikant og modell | Oppløsning [Mpx] | Størrelse [mm ²] | Pixel størrelse [µm] | Vekt [kg] | Spektralbredde [nm] |
|------------------------------------|------------------|------------------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| Tetracam MiniMCA-6 | CMOS 1,3 | 6,66 × 5,32 | 5,2 × 5,2 | 0,7 | 450-1050 |
| Quest Innovations Condor-5 UAV-285 | CCD 1,4 | 10,2 × 8,3 | 7,5 × 8,1 | 0,8 | 400-1000 |

Tetracam ADC Light er integrert på md4-1000 og md4-3000 fra Microdrone [39], multiSPEC 4C er integrert på eBee Ag fra SenseFly [26], mens Tetracam ADC Micro kan integreres med AscTec Falcon 8.

Multispektrale kamera har blant annet anvendelser innen jordbruk og skogbruk, f.eks. for å se på helsetilstand til avlinger og beplantninger.

4.7.3 Hyperspektralt kamera

Hyperspektrale kamera er i funksjon det samme som multispektrale kamera, men med flere bånd, høyere oppløsning og/eller bredere spektral dekning. Tabellen nedenfor viser et representativt utvalg av hyperspektrale kamera til bruk på luftfartøydroner, [20].

| Fabrikant og modell | Oppløsning [Mpx] | Størrelse [mm ²] | Pixel størrelse [µm] | Vekt [kg] | Spektralbredde [nm] | Spektralbånd og oppløsning |
|---|------------------|------------------------------|----------------------|-----------|---------------------|----------------------------|
| Rikola Ltd. Hyperspectral Camera | CMOS | 5,6×5,6 | 5,5 | 0,6 | 500-900 | 40 og 10 nm |
| Headwall Photonics Micro-Hyperspec X-series NIR | InGaAs | 9,6×9,6 | 30 | 1,025 | 900-1700 | 62 og 12,9 nm |

Headwall's Nano-Hyperspec sensor er blitt integrert med Aibot X6 fra Aibotix, [161]. I [111] foreslås det å gjøre nærmere undersøkelser av hyperspektrale sensorer for å detektere oljesøl i arktiske områder. Hyperspektrale kamera er også foreslått for å måle reflektert energi fra snø- og isdekte overflater, så vel som aerosol i atmosfæren. Slike målinger kan føre til bedre parameterisering av klimamodeller, som igjen resulterer i sikrere værprognoser.

4.7.4 Infrarødt eller termografisk kamera

På samme måte som et optisk kamera bruker synlig lys, bruker et infrarødt kamera infrarød stråling til å danne et bilde. Uttrykkene nær-infrarødt/infrarødt/termisk/termografisk brukes avhengig av hvilken del av det elektromagnetiske spektret som måles, selv om det ikke eksisterer en standardisert klassifisering. Tabellen nedenfor viser et representativt utvalg av termiske kamera for luftfartøydroner hentet fra [20].

| Fabrikant og modell | Oppløsning [Mpx] | Størrelse [mm ²] | Pixel størrelse [µm] | Vekt [kg] | Spektralbredde [nm] | Termisk sensitivitet [mK] |
|---|-------------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------|---------------------|---------------------------|
| FLIR TAU 2 640 | Uncooled VOx Microbolometer 640×512 | 10,8×8,7 | 17 | 0,07 | 7,5-13,5 | ≤ 50 |
| Thermoteknix Systems Ltd. Miricle 307K-25 | Amorphous Silicon 640 × 480 | 16×12,8 | 25 | 0,105 | 8-12 | ≤ 50 |

Termiske kamera brukes for å detektere varmestråling og kan derfor være egnet til søk etter mennesker, varmeutvikling i elektroniske komponenter, eller for å måle varmetap fra bygninger.

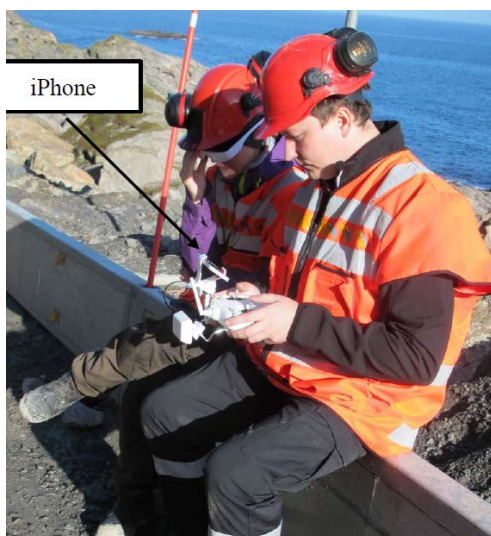
4.7.5 ToF kamera

ToF ("Time-of-flight") kamera, er en type kamerateknologi som baserer seg tiden det tar fra et elektromagnetisk signal emitteres, reflekteres og så registreres på en sensormatrise. Det påpekes i [133] at slike ToF kamera eller kan være et alternativ til bruk av LiDAR eller fotogrammetri. En av fordelene med ToF kamera er at det er mulig å oppnå 3D-data i sanntid og videomodus uten postprosessering, noe som gjør teknologien egnet for bruk i felt. Kinect er en serie instrumenter fra Microsoft som brukes sammen med deres spillkonsoller og som benytter seg av dette prinsippet. I [134] er et PMD CamCube 2.0 kamera brukt på en eksperimentell NEO S-300 luftfartøydroner. LiDAR og fotogrammetri er på sin side bedre egnet til å oppnå høy nøyaktighet, særlig over litt avstand. En av de største ulempene med ToF kamera er at rekkevidden er begrenset til rundt 10 meter, [134]. En annen utfordring med dette måleinstrumentet er at det kan være vanskelig å skille mellom elektromagnetisk stråling sendt ut fra sensoren og annen stråling i samme frekvensbånd som f.eks. sollys.

5 Brukergrensesnitt

I dette kapitlet gir vi en oversikt over mulighetene i forbindelse med styring og overvåkning av droner. Vi fokuserer på luftfartøydroner, men resultatene er i all hovedsak også anvendbare for bakkefartøydroner.

Styring av luftfartøydroner og implementering av autonomi (selvstyring) varierer fra full manuell kontroll til delvis autonomi (typisk automatisert avgang/landing). Det er også utviklet droner som er fullt ut autonome. Manuell styring foregår ved en kombinasjon av direkte visuell observasjon (LOS-operasjoner) og informasjon på skjerm fra kamera ombord via datalink. Sistnevnte kalles FPV ("first person view") hvor dronepiloten ser via VR-briller ("Virtual Reality"-briller) eller skjerm i sanntid fra kamera på dronen. FPV er i liten grad implementert i industriapplikasjoner av droneoppdrag da operasjonen er forbundet med stor risiko. Piloten har ingen informasjon om hva som foregår utenfor synsfeltet og det er ingen eller begrenset dybdesyn. Videre er det en mulighet for å fly ut over dronens rekkevidde når man ikke har direkte visuell kontakt, noe som kan medføre tap av dronen. FPV er også problematisk sett i lys av de krav som juridisk stilles til LOS-operasjoner [172]. Figur 1 og Figur 2 viser eksempler på brukergrensesnitt ved en enkel og avansert droneoperasjon.



Figur 1 Enkel droneoperasjon: droneoperatør og geolog ser opptak via iPhone og skjermbriller [171]



Figur 2 Avansert droneoperasjon: styring fra kontrollsentral [BBC]

For mange droneløsninger kan man på forhånd planlegge flyrute og enten følge denne autonomt, eller få den som en retningslinje for manuell styring. For BLOS-operasjoner trengs en autopilotimplementering pga. potensiale for bortfall og forsinkelse i datalink.

For manuell styring og avlesning av data er det nødvendig med en velfungerende data-link mellom drone og operatør. For LOS datalink benyttes ofte radiofrekvenser i området 35 MHz- 6 GHz [122]. Sistnevnte frekvensområde er mindre påvirket av ekstreme værforhold og benyttes for et bredt spekter av UAVer. Noen droneløsninger benytter Inmarsat satellitt data-link for kommunikasjon og kontroll i BLOS-operasjoner, dette gjelder spesielt droner med lang operasjonstid. Droner med kortere operasjonstid bruker ofte Iridium satellitt data-link. En sikkerhetssvakhet ved denne datakommunikasjonen er at den kan "kapses" eller forstyrres av en tredjepart. Sikre kommunikasjonsprotokoller er tilgjengelig militært, men ikke fullgodt på det sivile markedet [123].

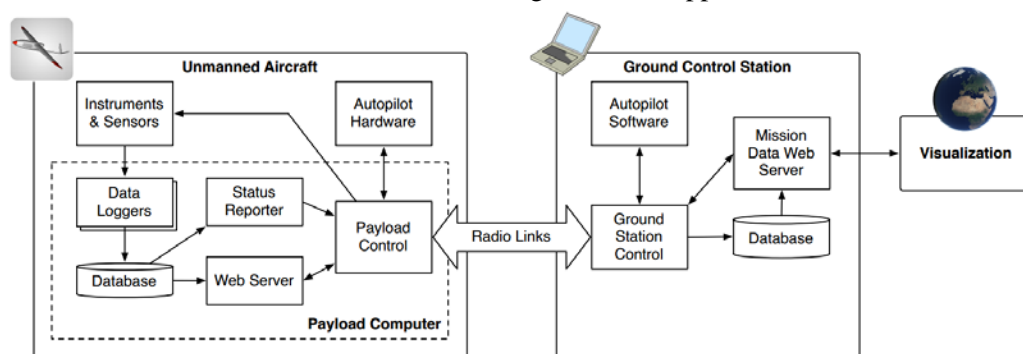
Ved tap av data-link vil det i de fleste droneløsninger iverksettes et autonomt program i dronen som flyr den til et predefinert sted for selvstyrt landing, ofte via en predefinert rute. Alternativt kan det ligge inne en rutine

hvor dronen flyr til et predefinert område i luftrommet for å vente på at data-link skal gjenoprettes. Noen droneløsninger kan ha redundans i form av flere alternative kanaler for datakommunikasjon.

For kompliserte oppdrag som involverer f.eks. BLOS, vanskelig terreng og flere droner er det nødvendig å utføre en omfattende planlegging av oppdraget på forhånd sammen med utstrakt bruk av autonomi. Forskningsfronten i dag fokuserer på droneløsninger som har kapabilitet til å planlegge og å utføre flere handlinger basert på fortløpende analyse av sensordata, uten input fra dronepilot. Dette kan være f.eks. å følge spesifikke objekter eller å unngå hindringer. Et annet sentralt tema er autonom samhandling med andre droner i samme oppdrag [125], [126], [127],[128], [129].

Et typisk droneprosjekt for inspeksjon eller kartlegging vil ofte resultere i store mengder data i form av bilder og/eller annen sensordata. Prosessering av denne datamengden til f.eks. en terrengmodell eller bilde-mosaikk, er en stor del av droneoppdraget, og ofte vil ikke det fulle datasettet være tilgjengelig i oversiktlig format før etter selve droneoppdraget. Det finnes løsninger hvor man kan få delvis prosessert data i lav-oppløselig format under selve flyvningen til støtte for beslutninger under selve oppdraget.

Figur 3 viser et eksempel på systemarkitektur for et sanntids operasjonshåndteringssystem for dronedyvning som presentert i [117]. Eksemplet illustrerer at store deler av datahåndtering og flykontroll utføres i selve dronen. Videre illustreres viktigheten av å opprettholde data-link med dronen under operasjon.



Figur 3 Systemarkitektur for autonomt drone-system [117]

Utfordringer under operasjon av droner er kommunikasjon mellom fagekspert og pilot under flyvning. Det kan også være utfordrende å styre kamera samtidig som dronen skal manøvreres. Videre er tap og/eller forsinkelse av data-overføring en utfordring i vanskelig terreng.

6 Regelverk og juridiske forhold

Ifølge [1] gjelder i utgangspunktet luftfartsloven [104] i sin helhet også for ubemannet luftfart i Norge. Det er i midlertidig ikke tatt høyde for denne aktivitetens spesielle art, og mange av bestemmelsene kan i praksis ikke benyttes. I [§15-1, 104] er det gitt et unntak fra luftfartsloven for luftfartøydroner: "For luftfartøyer som ikke har fører ombord eller ikke drives frem med motor, eller som for øvrig er av særlig art, kan departementet gjøre unntak fra bestemmelsene i denne lov eller gi særlige forskrifter, for så vidt det ikke er betenkelig av hensyn til luftfartens sikkerhet eller av andre grunner. Dog kan det ikke foretas endring i bestemmelser av privatrettslig eller strafferettslig innhold." Det er derfor utgitt en AIC ("Aeronautical Information Circular") som gir noen retningslinjer for hvordan ubemannet luftfart skal foregå i Norge, [2].

Ved nåværende tidspunkt blir søknader betraktet på individuell basis basert på en bedømmelse av en grundig beskrivelse av planlagte aktiviteter og en risikoanalyse som inkluderer korrigerings tiltak i tilfelle feil. For luftfartøydroner med en avgangsvekt på maksimalt 2 kg, finnes det en forenklet operasjonsmanual utarbeidet av Luftfartstilsynet. I den forenklete malen fastsettes en rekke krav til operasjonen, deriblant:

- Luftfartøyets maksimale avgangsvekt skal ikke overstige 2 kg.
- Fartøyet merkes med navn og kontaktinformasjon på operatør samt tillatelsesnummer fra Luftfartstilsynet.
- Operasjoner kan kun utføres i henhold til VLOS kriterier, dog med maksimal avstand fra operatør på 300 meter.
- FPV operasjoner er ikke tillatt.
- Det skal ikke opereres nærmere enn 150 meter fra folkeansamlinger på mer enn 10 personer.
- Flyging over 3. person er ikke tillatt uansett høyde.
- Minimum sikkerhetsavstand til 3. person er minimum 20 meter ved operasjoner under 10 meter over bakken. Sikkerhetsavstand økes proporsjonalt med operasjonshøyde.
- Det kreves også forsikring mot skade eller ødeleggelse på tredjepart eller tredjeparts eiendom.

I tillegg må en risikoanalyse gjennomføres, og korrektive tiltak beskrives. Den overforstående listen er ikke utfyllende, men finnes i [178]. I Norge finnes det per november 2014, 176 godkjente operatører.

Et eget regelverk for ubemannet luftfart i Norge var forventet ferdigstilt i 2014 i følge [side 125, 93]. Østerrike, Tsjekkia, Danmark, Frankrike, Tyskland, Irland, Italia, Litauen, Nederland, Polen, Sverige og Storbritannia er land hvor slike regelverk allerede er i bruk. Regelverket gjelder kun for droner opp til en bestemt vekt, og for operasjoner hvor piloten har visuell kontakt med dronen. Kun Tsjekkia, Frankrike og Polen har utviklet regelverk for operasjoner utenfor visuell kontakt, også kalt BLOS operasjoner, [side 125, 93]. Innen EU er det slik at lovgivningsmessige ansvaret for sivile fjernstyrte luftfartøydroner med en vekt på over 150 kg ligger hos European Aviation Safety Agency, mens ansvaret ligger hos de nasjonale luftfartsmyndighetene dersom vekten er under 150 kg, [side 125, 93].

I utgangspunktet kreves det tillatelse fra Nasjonal Sikkerhetsmyndighet (NSM) for å gjøre opptak fra luften over norsk territorium med luftbårne sensorsystemer. I 2014 ble det utført en prøveordning [5], hvor man slapp å søke om tillatelse fra NSM ved opptak fra luftfartøydroner, forutsatt at dronen er innen synsrekkevidde, og den ikke er i nærheten av et område med fotoforbud. Prøveordningen hadde også noen andre begrensninger, bl.a. måtte det fortsatt søkes om tillatelse ved f.eks. kartlegging med konvensjonelt bemannet fly og ved bruk av andre sensorer enn foto. NSMs formål er hovedsakelig å skjerme områder og bygg mot fotografering av hensyn til nasjonal sikkerhet, og deres regler tar derfor ikke hensyn til personvernet [6].

Bruken av luftfartøy som krenker av privatlivets fred vil derimot begrenses av straffeloven [6][103].

Videre vil bruken av foto tatt med f.eks. luftfartøy være begrenset av åndsverksloven og personopplysningsloven, uavhengig av om det gitt tillatelse til å ta bilder, [4] [102]. Mer informasjon om personvernutfordringer ved bruk av droner som teknologiplattform er diskutert i [6].

Videre kan bruken av luftfartøydroner begrenses av Lov om motorferdsel i utmark og vassdrag [170], som blant annet omfatter "svevende fartøy drevet med motor, samt landing og start med motordrevet luftfartøy". Formålet med denne loven er å regulere motorferdsel i utmark og vassdrag for å verne om naturmiljøet og fremme trivselen.

En spørreundersøkelse utført i [6] mot et representativt utvalg nordmenn om bruken av droner viste en klart positiv holdning til bruk av droner i politi og redning. Den samme undersøkelsen gir negative tall for bruken av droner innen bransjer som eiendomsmegling og media.

Radiofrekvenser er en begrenset ressurs som danner grunnlaget for produksjon av ulike typer tjenester. Kommunikasjon skjer for de fleste luftfartøydroner via radiolink. Det er verdt å merke seg at frekvenstildelingen kan være forskjellig fra land til land. Forvaltning av frekvenser brukt i forbindelse med styring av drone, eller overføring av sensordata kommer inn under post- og teletilsynets regelverk. Frekvens og sendestyrke til aktive sensorer er også begrenset av dette regelverket.

7 Kartlegging av anvendelser innen droneteknologi

Dette kapitlet inneholder konkrete eksempler på bruk av droneteknologi, både generelt og spesielt for overvåking av naturfare og infrastruktur. Hovedfokus har vært på norske eksempler. Eksempler fra utlandet er blitt brukt der det har vært mangel på tilsvarende norske, eller hvor det har vært manglende informasjon om de norske anvendelsene. Bruken av droner er omfattende, og kapitlet er på ingen måte utfyllende. Utvalget av eksempler kan likevel sees på som representativt for statusen innenfor området. Et sammendrag er gitt i Kapittel 8, og leseren kan gå direkte dit uten å miste sammenhengen i dokumentet.

Hvis ikke annet eksplisitt nevnes så gjelder oppføringene under bruk av luftfartøydroner.

7.1 Drone brukes til å undersøke skredfare [56], [100]



Figur 4: Bilder fra skredområdet.

7.1.1 Kort oppsummering

I et samarbeidsprosjekt mellom Statens Vegvesen og Høgskolen i Sør-Trøndelag, har en drone blitt spesialtilpasset til å inspisere mindre og lave skredområder. Hensikten med prosjektet er å se om en enkel og billig drone med videokamera kan gi god nok informasjon til geologen etter at det har gått et skred på veien. I [56], er det deler av Fylkesvei 30 i Gauldalen mellom Støren og Hessdalen som er blitt inspisert med drone, en vei hvor ca. 2000 kjøretøy ferdes i løpet av et døgn.

I [100] beskrives et prosjekt ved Fylkesveg 63 hvor en større og dyrere drone er blitt brukt til å inspisere et løsnemråde som ligger forholdsvis langt fra veien.

7.1.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Man antar at man ved bruk av drone i noen tilfeller kan erstatte bruken av konvensjonelt helikopter, noe som kan være både dyrt, tidkrevende og farlig for personell. Ved å bruke drone kan man raskere få bildene som geologene trenger, og dermed raskere kunne beslutte om en vei kan åpnes.

7.1.3 Dokumentert modenhet

Teknologien er på utprøvningsstadiet hvor man vil se om en enkel og billig drone kan gi god nok informasjon om skredområdet.

7.1.4 Designelementer/Relevante detaljer

Formålet med prosjektet er todelt, [100]. For det første ønsker man å undersøke om ulike typer ubemannede fly effektivt kan fly inn i skredområder og gi geologer nødvendig sanntidsinformasjon fra løsnemrådene etter en skredhendelse. Dronene er utstyrt med videokamera, og informasjon overføres i sanntid. Den kan

styres manuelt, eller automatisk ved hjelp av det innebygde navigasjonssystemet. For det andre ønsker man å evaluere institusjonell, økonomisk og operasjonell gjennomførbarhet med tanke på at dronene kan bli brukt som et operativt verktøy av Statens vegvesens egne folk.

Ved testforsøket ved Fylkesveg 63 i Bispefonna ble et MicroDrone MD4-1000 quadkopter brukt, [100]. Dette har en egenvekt på 2,6 kg, og kan bære en nyttelast på 1,2 kg. Flygetiden er opp mot 50 minutter, og den kan opereres i vindstyrker opp mot 10 meter per sekund. Kostnaden for dronen er ca 400 000 kroner. I tillegg til dronen, trenger man følgende utstyr for å operere: fjernkontroll for dronen, videokamera, sender og mottaker for videooverføring, navigasjonssystem, bærbar datamaskin, videoskjerm, batterilader og bensindrevet generator for å gi strøm til bakkeutstyret.

Ved testforsøket ved Riksveg 30 i Gauldalen, ble et RTF Y6 fra 3D Robotics brukt. Den har en egenvekt på 1,2 kg uten batteri, og kan ta en nyttelast på opptil 1,3 kg. Flytiden er på ca. 12 minutter. Dronen ble utstyrt med et GoPro Hero 3 kamera, og hele dronen inkludert alt av bakkeutstyr kostet ca. 20 000 kroner.

7.1.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Ved testforsøket ved Fylkesveg 63 i Bispefonna, ble følgende observasjoner gjort [100]:

- Det kan være utfordrende med store høyder og lange avstander, og man blir redd for å miste dronen. Vindforholdene kan være annerledes oppe ved løснеområdet.
- Kommunikasjonen mellom sender og mottaker for sanntids videooverføring fungerte dårlig, noe som kan bli en utfordring over lange avstander.
- Dronene er avhengig av forholdsvis gode GPS-signaler for å navigere.
- Bakkeutstyret samt dronene må tåle alle typer værforhold vi har i Norge.
- Det går raskt å få bakkeutstyret på plass og fly dronen opp til løśnieområdet. I dette tilfellet tok det ca. 30 minutter.

Ved testforsøket ved Riksveg 30 i Gauldalen ble følgende observasjoner gjort [100]:

- En del tid gikk med til å forhåndsprogrammere ruten som skulle flys.
- Det var utfordrende å programmere dronen etter GPS koordinater og kartplott slik at man fikk flydd nøyaktig der man ville for å komme nært nok det ustabile bergpartiet.
- Dronen kom ut av kurs på grunn av at den forhåndsprogrammerte ruten hadde for høy stigning i løpet av kort tid.
- Man oppnådde svært gode bilder med kameraet, og det var ingen problemer med sanntidsoverføringen.
- På grunn av liten flytidskapasitet måtte man fly forholdsvis ofte tilbake for å bytte batteri.

I [100] har man kommet fram til følgende foreløpige konklusjoner:

- En luftfartøydroner er et velfungerende verktøy for å få gode nok bilder og eventuell videooverføring fra løśnieområdene til skred. Det forutsettes godt dagslys for å få gode nok bilder fra dronekameraet.
- For å sikre rask responstid, bør Staten Vegvesen bruke egne dronepiloter, eller eventuelt nærliggende eksternt dronefirma.
- Generelt kan ikke en luftfartøydroner operere i dårligere vær sammenliknet med et bemannet helikopter. Ved lavt skydekke har dronen likevel en fordel, og den gir generelt bedre sikkerhet.
- Valg av dronetype endrer seg med ulike skredoppdrag:
 - Inspeksjoner av løøgneområder som typisk ligger 50-200 meter over vei kan utføres av en enkel drone som f.eks. et multikopter med maksimalvekt på 2,5 kg og flygetid opp mot 20 minutter.
 - Inspeksjoner av løøgneområder som ligger 200-1000 meter over veien krever større og mer robuste droner. Den bør være minst så stor som MicroDrone MD4-1000 quadrotor, med

tanke på at vindstyrker og temperaturforhold kan være en helt annen en kilometer over veien.

- Ved skredområder som ligger opptil en kilometer over veien er det viktig med god kvalitet på sender og mottaker for den trådløse videooverføringen.
- Dersom dronen må opereres i stor høyde over veien vil den være på grensen av hva som er å betrakte som synsrekkevidde. Erfaringen til dronepiloten vil derfor være avgjørende. Det ansees som en fordel hvis piloten kan fly dronen ute av syne, noe som krever spesiell operasjonstillatelse.
- I forbindelse med inspeksjon av akutte skredhendelser bør dronen være utstyrt med muligheter for FPV-flyging. Dette vil gi større frihet og bedre muligheter til å se nøyaktig det man ønsker, sammenliknet med å fly på forhåndsprogrammert rute ved hjelp av GPS koordinater og kartplott. I tillegg vil man kunne spare noe tid da man slipper å programmere inn en flyrute på forhånd.
- I skredområder med bratte fjellsider kan det være en utfordring å ha dekning fra satellittnavigasjonssystemer som f.eks. GPS.
- Det tar ca. 30 minutter å klargjøre utstyret i felt, før man kan begynne operasjonen.
- Droner er sensitive mot regn og ising, noe som begrenser bruken av droner gjennom hele året. Bakkeutstyret bør også tåle alle slags værforhold som inntreffer i Norge.

7.1.6 Kommentarer

Prosjektet i [56] er også beskrevet i [57] og [58]. I [36] beskrives et prøveprosjekt mellom vegdirektoratet og NTNU, hvor droner er tiltenkt bruk til kartlegging av rasområder på E136 gjennom Romsdalen.

Ved en annen kartlegging høsten 2014 ble en luftfartøydroner bruk til å ta hundrevis av bilder fra et potensielt rasfarlig område ved Trollstigen. Ut fra bildene ble det generert en digital terrengmodell ved hjelp av fotogrammetri. Dette var første gangen Statens Vegvesen brukte dronebasert fotogrammetri for storskala skredvurderinger. Ved å ta bilder i flere omganger og legge bildene oppå hverandre kan en se endringer i fjellet. Det er på den måten mulig å overvåke deformasjoner i terrenget, som skyldes bevegelse eller at biter har rast ut. Tilsvarende sensorteknologi er blitt brukt også på Mannen, men med fotoutstyr plassert ombord et bemannet helikopter [187].

7.2 Estimering av snødybde ved bruk av dronebasert LiDAR and fotogrammetri [9]



Figur 5: Foto: Benjamin Vander Jagt, [9]

7.2.1 Kort oppsummering

Formålet med prosjektet er å beregne snødybden ved hjelp av laserskanner og RGB kamera. Ved å vite noe om snødybden i et område kan man også prediktere vannmengden ved snøsmelting. Snømengden vil i noen deler av verden sterkt påvirke nivået i drikkevannskilder og også være avgjørende for vannstand og vannføring i innsjøer og elver, som igjen er viktig for f.eks. landbruket.

7.2.2 Anvendelse/Virksomhetsområde

Anvendelsesområder er oppgitt til prediksjon av vannforsyning til husholdning, landbruk og for rekreasjon. I andre referanser, f.eks. [10] påpekes det at snødybdemåling kan brukes til prediktere nivået i vannkraftmagasiner, og dermed si noe om fremtidige energipriser. Samtidig er snødybdemåling en viktig parameter både i forbindelse med snøskredvarling og flomvarsling, [10].

7.2.3 Dokumentert modenhet

På utviklingsstadiet. Tar i bruk kjent teknologi, og kjente algoritmer.

7.2.4 Designelementer/Relevante detaljer

Utstyr: Oktokopter, tofrekvens GPS mottaker og basestasjon, Microstrain MEMS IMU, Canon DSLR kamera og Ibeo Lux LiDAR. Forbedring i UAV teknologi og sensorteknologi vil forbedre nøyaktighet, målestokk og pålitelighet.

7.2.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Nøyaktigheten i snødybdemålingene er i stor grad påvirket av nøyaktigheten som det er mulig å anslå luftfartøydronens posisjon med. Posisjonsnøyaktigheten vil bl.a. avhenge av tilgjengelighet av GPS-signaler. To komplementære metoder kan brukes for snødybdemåling: LiDAR og fotogrammetri. Kamerakalibrering kan være utfordrende for denne typen anvendelse, da kameraet påvirkes av temperaturen. Kamerakalibrering går ut på å beregne parameterne som trengs i en kameramodell, og hvor en kameramodell brukes for å si noe om transformasjonen av en tredimensjonal scene og et todimensjonalt bildeplan.

Det kan være vanskelig å gjenkjenne piksler fra et bilde til et annet, siden snøen er så homogen (ensfarget og med lite tekstur). En løsning kan være å fly lavere, men dette kan være en utfordring med tanke på sikkerhet. Bruk av UAV er mye mer effektivt enn å gjøre manuelle målinger. Satellittbaserte målinger har grov oppløsning. Her refereres det for eksempel til en oppløsning i planet på 8 ganger 14 km. I tillegg til at UAV har høyere oppløsning, påpekes det at UAv'er også er billigere lettere å vedlikeholde og er utmerket for dataopsamling som er kjedelig eller farlig å gjøre manuelt.

7.3 Overvåking av områder med fare for snøskred [10]

7.3.1 Kort oppsummering

Målet er å overvåke områder med høy fare for snøskred ved hjelp av sensorteknologi ombord satellitter og UAv'er. Viktige egenskaper ved snøen som ønskes avdekkes er dybde, lagdeling og fuktighet. Satellitter har høy arealmessig dekningsgrad og man kan måle snøens fuktighet med satellittbaserte radarmålinger, men ikke lagdeling og heller ikke dybde med mindre man sammenlikner målinger med og uten snø. UAv'er utstyrt med radarer vil penetrere snøen og måle dybde og lagdeling.

7.3.2 Anvendelse

Anvendelsen er først og fremst innen snøskredvarsling. Snøskredvarsel er i dag publisert på varsom.no. Disse varslene er basert på værprognoser og kunnskap om snøforhold i fjellene. Norges vassdrag- og energidirektorat samarbeider med Meteorologisk Institutt om disse varslene. Det blir påpekt at satellittbaserte kart over snøforhold allerede er i bruk av kraftselskap for å beregne snømengde i reservoarene, av forskere, meteorologer, hydrologer med ansvar for flomberedskap og økologer i forvaltning av naturressurser.

7.3.3 Dokumentert modenhet

Referansen beskriver en søknad fra NORUT og Norges Geoteknisk Institutt om å etablere et Senter for Fremragende Forskning innen snøskredovervåking basert på bruk av satellitt og UAV-teknologi. Forskere i Tromsø er allerede verdensledende innen bruk av satellitter for snøobservasjoner.

7.3.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Bruken av satellittbasert SAR for snøskreddeteksjon er beskrevet i [15]. Validering av resultatene ble bl.a. gjort mot ortofoto tatt fra UAV. Ortofotoene hadde en oppløsning på ca. 5 cm.

7.4 Snødybdemåling og snøskredovervåking med drone [29], [24]



Figur 6: Bilder fra operasjonen. Hentet fra [29].

7.4.1 Kort oppsummering

Washington State Department of Transportation benytter seg av en rekke metoder for kontrollert utløsning av snøskred. Disse inkluderer bruken av militære tanks og artilleri til å skyte eksplosiver inn i rasutsatte områder, skikjørere og snøskuterkjørere bringer håndholdte eksplosiver inn, eksplosiver bringes inn ved hjelp av kabelgate, eller mer sjelden, ved at eksplosiver flys inn med et bemannet helikopter. I artikkelen [24] testes ubemannede luftfartøy med tanke på snøskredovervåking og kontrollert utløsning av snøskred.

7.4.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Redusere tiden en vei er stengt grunnet snøskred og/eller snøskredfare.

7.4.3 Dokumentert modenhet

Artikkelen beskriver demonstrasjon av bruken av droner i forbindelse med overvåking av snøskredområder og kontrollert utløsning av snøskred. Dronene skulle testes mot følgende krav:

- Kartlegge terreng nær veibane. Kartlegge startsoner og bane til snøskred.
- Inspisere kontrollsoner for snøskred før bruk av eksplosiver.
- Leverer eksplosiver.
- Operere i fjellterreng og dårlig vær.

Resultatet fra testene viste at luftfartøydroner kunne oppfylle overnevnte krav, men at vær og lav temperaturer ga noen begrensninger.

7.4.4 Designelementer/Relevante detaljer

I valget av ubemannede fartøy var kravet at:

- De skulle kunne transporteres i vanlige vedlikeholdskjøretøy.
- De skulle kunne sendes opp og tas ned på eller i nærheten av veibanen.
- De skulle kunne ta en nyttelast bestående av kamera og andre sensorer som kan brukes for sanntidsovervåking av snø og terreng.
- De skulle kunne autonomt og presist kunne avlevere eksplosiver på minimum 1,8 kg.
- Total kostnad på innkjøp av luftfartøy og støtteutstyr, samt opplæring og vedlikehold skulle ikke overstige 500 000 USD.

- De skulle kunne opereres og vedlikeholdes av ansatte i Washington State Department of Transportation, etter nødvendig opplæring.

I studien ble to forskjellige ubemannede luftfartøy brukt: En fastvinge MLB BAT og et helikopter av typen RMAX fra Yamaha [43].

MLB har følgende tekniske spesifikasjoner: vekt ca. 11 kg, vingespenn ca. 1,8 meter, nyttelast ca. 2,3 kg, marsjhastighet ca. 5 meter per sekund, nominell flytid 5 timer. RMAX har følgende tekniske spesifikasjoner: vekt ca. 93 kg, hovedrotordiameter ca. 3,7 meter, nyttelast ca. 30 kg, flyhastighet 10-30 meter per sekund, flytid 50 minutter. Et bemannet helikopter av typen Bell Ranger 206 er tidligere blitt brukt, og brukes i artikkelen som sammenlikningsgrunnlag.

7.4.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Kravene til det amerikanske luftfartsverket Federal Aviation Administration (FAA), kan oppfattes som for restriktive til kommersiell utnyttelse av potensialet til luftfartøy. En av disse begrensningene er kravet om at operatøren skal oppdage og unngå (Engelsk: "sense and avoid") andre luftfartøy. Snøskredoperasjoner skjer vanligvis i områder med færrest krav fra FAA, blant annet fordi dette er skjer i områder med liten annen lufttrafikk og lite eller ingen bosetning.

Fordelene med dronene i forhold til bemannet helikopter er at de kan brukes når det er dårlig sikt, de kan settes på lufta på under en time, og kan autonomt fly i forhåndsprogrammerte ruter. Bakdelene som trekkes fram er at det er noe usikkerhet knyttet til levetid og pålitelighet når det gjelder droner. Videre påpekes det en motvilje blant tjenesteytere til å bruke droner i dårlig vær med tanke på risikoen for å miste dronen. Evnen til å takle stormfullt og kaldt vær, påpekes som et mulig ankepunkt mot ubemannede fartøy. Samtidig finnes det nødvendigvis ikke et bemannet alternativ under slike værforhold.

7.4.6 Kommentarer

I artikkelen sammenliknes prisene for innkjøp av drone med prisen for leie av bemannet helikopter. Det understrekes at disse prisene er omtrentlig, er noe utdatert da artikkelen er fra 2010 og gjelder innkjøp i USA. Innkjøp av MLB er ca 50 000 USD, mens innkjøp av nok en drone for reserve kommer på ca. 30 000 USD. I tillegg har man kostnader knyttet til opplæring på ca 15000 USD og vedlikehold på ca 500 USD hver 200 timer. Innkjøp av et Yamaha RMAX drone var på ca 270 000 USD. Operasjonskostnader vil være høyere da det trengs minimum to personer for å operere dette fartøyet. Andre kostnader, som f.eks. opplæring, vedlikehold, transport, etc., vil være høyere enn for en liten fastvingedrone som MLB-BAT. Til sammenlikning er kostanden for leie av Bell Ranger 206 bemannet helikopter, 800 USD per time. Det antas at kostanden for en stat ved å stenge en større vei kan overstige en million USD for to timer. For prinsipper av fjernmåling av snø anbefales det å se blant annet i [29] og [91]. I [29] gis det også anbefaling om valg av sensorteknologi til bruk på ubemannet luftfartøydroner for måling av snøparametere. RGB kamera, termisk infrarødt kamera og nær infrarødt kamera, ansees alle som passende sensorteknologier, til bruk sammen med GPS og annet nødvendig utstyr for nøyaktig posisjonsmåling.

7.5 Bruk av fly til assistanse ved flom[12]



Figur 7: Bilder fra operasjonen. Hentet fra [12]. Bildet til høyre viser bildematerialet hentet fra luftfartøydroner ifm. operasjonen.

7.5.1 Kort oppsummering

En større flom i Colorado, USA, i 2013 gjorde det vanskelig for konvensjonelle bemannede fly og helikoptre å komme inn og ut av område. Falcon, et firma som produserer luftfartøy, brukte da disse utstyrt med GPS og kamera til å kartlegge ødeleggelsene av flommen.

7.5.2 Anvendelse/virksomhetsområde

I dette spesifikke tilfellet var målet å skaffe oversikt over ødeleggelsene av flommen. Dette kan ha stor betydning i redningsaksjoner, blant annet med tanke på framkommelighet for utrykningskjøretøy. I tillegg kan man kartlegge hvilke husstander som er isolert, og hvilke aksjoner som må gjøres for å forbedre/repere skadene av flommen.

7.5.3 Dokumentert modenhet

Selve kartlegging fra luftfartøydroner utstyrt med GPS og kamera er velprøvd og kjent teknologi.

7.5.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Artikkelen viser med tydelighet at koordinering av innsats krisesituasjoner kan være en utfordring. Falcon hadde rett til å bruke sitt luftfartøy i deler av Colorado, men tydeligvis ikke avklart denne bruken med de korrekte autoriteter i denne krisesituasjonen, og måtte avbryte sine flygninger.

7.6 Bruk av UAV-basert fotogrammetri til inspeksjon av jordvoll mot vei [14]



Figur 8: Foto/bilder: ©2014 Drones-Ingenieria S.L., Spain.

7.6.1 Kort oppsummering

En luftfartøydroner utstyrt med RGB kamera ble brukt til å ta inspeksjon av jordvoller mot vei. Programvare ble brukt til å ekstrahere 3D terrengmodell (fotogrammetri) fra bildene fra kameraet.

7.6.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Lokalisering av ras i jordvoll mot vei.

7.6.3 Dokumentert modenhet

Ved kontrollmålinger ble nøyaktigheten i lengderetning oppgitt til 0,049 meter, mens nøyaktigheten i høyderetning var på 0,108 meter.

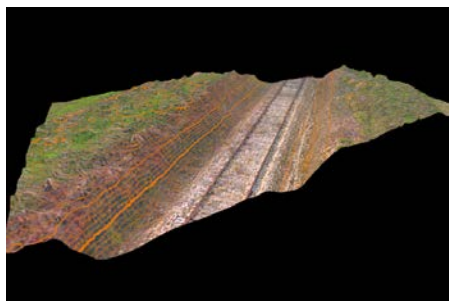
7.6.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Metrologiske betingelser, f.eks. at vind bør være under 5 m/s. Bilder tatt rett mot horisontalplanet gjør det vanskelig å karakterisere overflaten til noen ras. I noen tilfeller ble ikke disse overflatene synlig fordi vinkelen med horisontalplanet var nær 45 grader.

7.6.5 Designelementer/Relevante detaljer

En UAV av typen Microdrone MD4-200 ble brukt, [39].

7.7 Kartlegging av vei/jernbanekryss ved bruk av UAV [17], [27]



Figur 9: Foto: ©2014 DroneMetrex.

7.7.1 Kort oppsummering

I Australia ble en UAV utstyrt med RGB kamera brukt til kartlegging av vei/jernbanekryss, uten stans i trafikken. Et område på 0,5 km i hver retning fra krysset ble kartlagt.

7.7.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Fotografisk kartlegging av områder på og rundt vei og jernbane, jernbaneoverganger, o.s.v. Fra produsentens hjemmeside [27] oppgis også kartlegging av dagbrudd, rørledninger, motorvei, jernbaner, søppelfyllinger og jordbruks- og skogbruksarealer som mulige anvendelser.

7.7.3 Dokumentert modenhet

Teknologien er i bruk kommersielt på ett kjent oppdrag, og har ifølge produsentens hjemmeside [27] bedre nøyaktighet enn det som er rapportert ellers i litteraturen.

7.7.4 Designelementer/Relevante detaljer

Målingene har en absolutt nøyaktighet både i horisontal og vertikal retning på 2,5 cm. Hele prosessen med kartleggingen tok to timer. Avgang og landing skjedde fra et jorde i nærheten.

Flyet som ble brukt er DRONEmetrex sitt TopoDrone-100 med følgende detaljer: Vekt på 4,5 kg, vingspenn 2 meter, lengde 80 cm, høyde 20 cm, flytid 1 time, en 9 kg katapult brukes for å sette det på vingene, lander på buken eller i nett, marsjhastighet 60 km/t. Det kan flys autonomt eller manuelt. Kameraet sitter på en dynamisk stabilisert plattform som kompenserer for aggressive flymanøvre, slik at man får høyere kvalitet på bildene.

Hvert fotografi er stedfestet med en nøyaktighet på 15 mm, ved bruk av globale satellittnavigasjonssystemer (f.eks. GPS), synkronisering av kameralukker med GPS, og etterbehandling ved hjelp av differensiell GPS.

7.7.5 Kommentarer

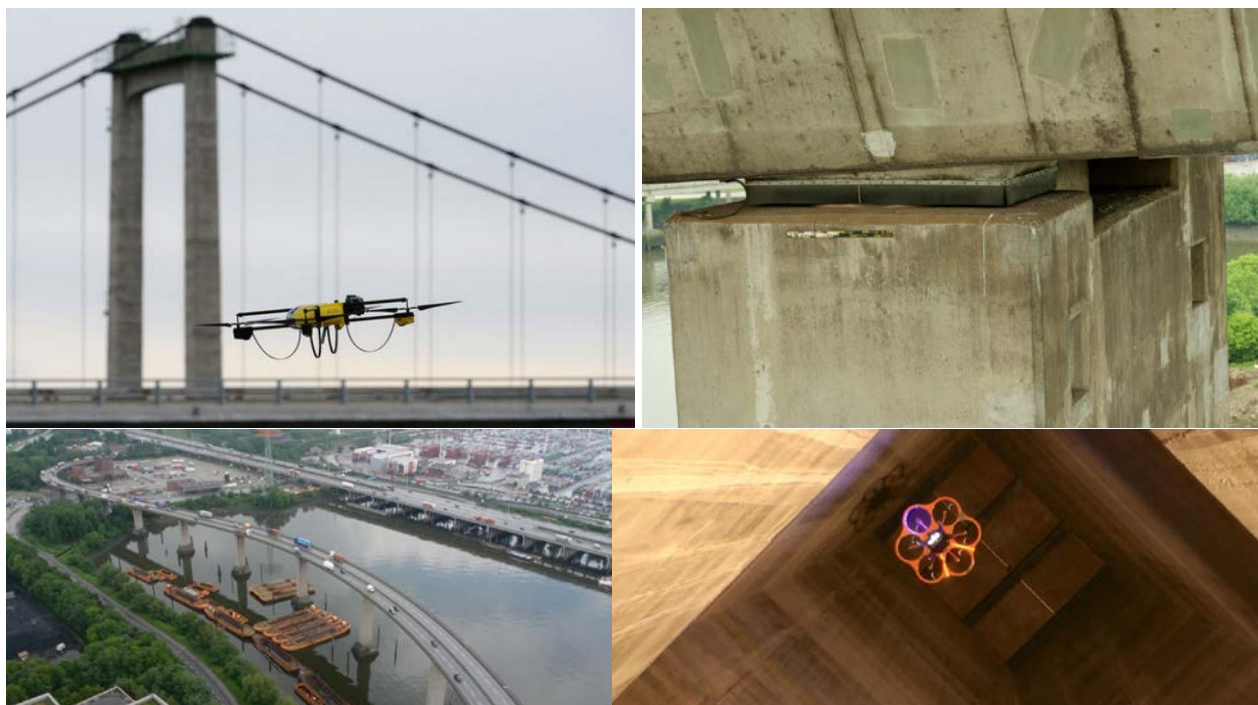
Vanligvis brukes fotogrammetri fra bemannede fly i slike prosjekt, men den lille størrelsen på dette prosjektet gjorde at dette ville blitt et dyrere alternativ. Samtidig ville ikke HMS krav overholdes ved tradisjonelle bakkeoppmålinger, uten at man stoppet driften på toglinjen.

7.7.6 Referanser

I [50] beskrives en operasjon hvor en 2,7 km jernbanestrekning ble fotografert med formålet å produsere digitale elevasjonsmodeller. En horisontal nøyaktighet på 5 cm på bakkeplanet ble oppnådd.

Også norske Asker Oppmåling AS, har utført et prosjekt i Drammen for kartlegging av jernbaneskinnene som en punktsky for generering av 3D modeller og overflatemodeller for prosjektering, [62].

7.8 UAV muliggjør inspeksjon av jernbanebro [18], [19] og veibro [151], [162]



Figur 10: Bilder fra drone på inspeksjonoppdrag ©2014 Aibotix GmbH.

7.8.1 Kort oppsummering

I [18] og [19] beskrives det hvordan det franske jernbanelaget SNCF har utført et eksperiment der det brukes en drone til å inspisere en jernbanebro uten å måtte stanse trafikken. Til inspeksjonen ble det brukt kamera for å detektere sprekker i brostrukturen.

I [151], [152] beskrives det hvordan et multikopter er brukt til å inspisere Köhlbrand bro, som er Tysklands nest lengste med en lengde på ca 3600 meter, og hvor gjennomsnittlig 30 000 kjøretøy passerer om dagen. Det ble demonstrert et stort potensiale for innsparing i både tid og penger sammenliknet med konvensjonelle metoder for inspeksjon som involverer klatrere, stillas, heiskurver og/eller kraner. Hovedinspeksjonen tar tre til fire måneder ved konvensjonelle metoder og må utføres hvert sjette år. Da blir alle betong- og ståloverflater inspisert visuelt.

7.8.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Visuell inspeksjon av infrastruktur som f.eks. broer.

7.8.3 Dokumentert modenhet

Teknologien er testet, og det er sannsynligvis bare et tidsspørsmål før den er rutinemessig i bruk.

7.8.4 Designelementer/Relevante detaljer

Dronen brukt i inspeksjonen av jernbanebroen i [18], [19] var et quadkopter av typen U130 fra Novadem.

Ved inspeksjonen av Köhlbrand bro ble en Aibot X6 fra Aibotix brukt til å skaffe høyoppløselige bilder og videoer. Dronene inspiserer ikke bare utsiden av de femti meter høye pilarene, men også innsiden ved hjelp av LED flomlys. Også taket i bropilarene ble inspisert ved hjelp av en spesialtilpasset løsning hvor et kamera var plassert på toppen av hexakopteret.

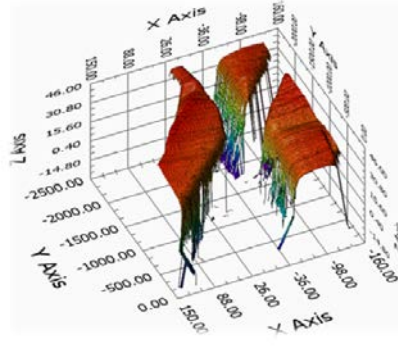
Fra produsentens hjemmeside [161] går det blant annet fram at Aibot X6 har mulighet for automatisk avgang og landing, og at dronen kan holde posisjonen slik at operatøren kan konsentrere seg om styring av kamera. I tillegg kan man sette et virtuelt gjerde som dronen ikke kan forlate. Dette er praktisk når man ønsker å øve på manuell styring.

7.8.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

7.8.6 Kommentarer

I [18] beskrives også muligheten til nattflyvinger for å unngå tyveri av signalkabler og hærverk/graffiti, men at dette sannsynligvis ligger 3-4 år inn i framtiden. Det tyske statsbaneselskapet Deutsche Bahn har allerede testet ut droner for å hindre graffiti, se [96]. Dronene utstyres med infrarøde sensorer som gir en god nok bildekvalitet til at personer kan identifiseres og at bildene brukes som bevismateriale ved tiltale.

7.9 Robot for inspeksjon av jernbanelinjer [44]



Figur 11: Inspeksjonsrobot og eksempel på måleresultat ©2014 Loccioni Group

7.9.1 Kort oppsummering

Felix, er i følge utvikleren Loccioni den første mobile roboten for automatisk inspeksjon av sporvekslere. Inspeksjonen skjer ved at et segment skannes, før målingen lagres, prosesseres og vises operatøren i sanntid. Roboten er fjernstyrt for å øke sikkerheten til operatøren.

7.9.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Dronene utfører diagnose og kvalitetskontroll på jernbanelinjer, noe som har signifikant betydning for sikkerheten til operatører og til syvende og sist reisende. Det blir gjort kontinuerlig måling av bl.a. sporvidde, karakteristiske distanser på veksler og overganger. Det kan også lages 3D kart av inspiserte deler.

7.9.3 Dokumentert modenhet

Produktet har sertifisering når det gjelder inspeksjonskvalitet.

7.9.4 Designelementer/Relevante detaljer

Oppløsning på 0,1 mm. Minimum distanse mellom to påfølgende målinger er 5 mm. Transport, montering og målinger krever to personer. Fungerer kontinuerlig i minst 6 timer. Målinger kan utføres i all slags vær, med temperaturer mellom -10 °C og 50 °C.

I forbindelse med inspeksjonen projiseres laserlys mot skinnene og blir fanget opp med et kamera, [45]. Basert på kamerabildene kan profilen til skinnene og sporvekslerene bestemmes.

7.10 Drone brukt for å effektivisere inspeksjon av signalsystem på jernbane [54]



Figur 12: Luftfartøydroner og eksempel på bilde tatt fra dronen. Hentet fra [54].

7.10.1 Kort oppsummering

Jernbaneverket tester ut muligheten til å bruke droner utstyrt med kamera for å effektivisere inspeksjon av signalsystemet på jernbanenettet.

7.10.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Inspeksjon for å finne signalfeil på jernbanenettet.

7.10.3 Dokumentert modenhet

Dronen er brukt til uttesting. Av videoen i [54] framstår dronen som vanskelig å kontrollere, og bruken av denne typen droner for dette formålet ansees derfor som umoden. Langt mer stabile og robuste droner med kameraoppheng som nær sagt eliminerer alle vibrasjoner finnes på markedet. Det er behov for mye trening for å være en dyktig dronepilot.

7.10.4 Designelementer/Relevante detaljer

Dronen som er brukt er en Parrot AR.Drone. Parrot AR.Drone 2.0, som er foreløpig siste versjon, har følgende tekniske spesifikasjoner [55]: Dimensjon: 77,7x38,3x12,5 mm. Vekt: 31 g. Posisjonell nøyaktighet +/- 2 meter. Bilder overføres i sanntid til mobiltelefoner, og dronen styres også ved hjelp av mobiltelefonen. Produsenten anbefaler at den ikke flys i vindstyrker over 15 km/h. Pris er oppgitt til å være i overkant av 2 kNOK i [54].

7.10.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Droner med RGB kamera kan brukes til å effektivisere reparasjoner på jernbanen, f.eks. ved at man slipper å koble fra strømmen og dermed stanse toget. Å sende opp personell med klatresikring er tidkrevende, og bruk av droner har derfor potensiale til å effektivisere denne delen av inspeksjonen. I tillegg reduserer man risikoen for personell ved å unngå mest mulig klatring.

Parrot AR.Drone er en liten og forholdsvis billig droner. Som det kommer fra av videoen i [45] kan den være vanskelig å kontrollere, noe som gjør det vanskelig å ta bilde av det man ønsker. Samtidig vil raske bevegelser av dronen påvirke bildekvaliteten. Det kan stilles spørsmål om kameraet har god nok kvalitet til å gjengi relevante detaljer i dårlig belysning. Fordelen med at den er såpass billig, er at den også lett kan erstattes.

7.11 Inspeksjon av kraftledninger ved hjelp av drone [32]



Figur 13: Inspeksjon av kraftlinjer © Hålogaland Kraft.

7.11.1 Kort oppsummering

Hålogaland Kraft har bruker droner til fotografisk inspeksjon av kraftledninger. De regner med å spare millioner ved å bruke droner til inspeksjon, et arbeid som tidligere ble gjort til fots, med scooter eller konvensjonelt bemannet helikopter.

7.11.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Inspeksjon av kraftlinje. I artikkelen nevnes det også inspeksjon av dammer og bygninger som andre anvendelsesområder.

7.11.3 Dokumentert modenhet

Luftfartøydroner har vært i bruk i snart et år i Hålogaland Kraft.

7.11.4 Designelementer/Relevante detaljer

Inspeksjon med høyoppløselig stillbilder fra GoPro-kamera. Har fått tillatelse av Luftfartstilsynet til BLOS (utenfor siktrekkevidde) operasjoner. Dronene har innebygget sikkerhetsmekanisme ved tekniske feil, som f.eks. at videolinken med operatøren skulle gå ned. Sikkerhetsmekanismen innebærer at dronene klatrer til en bestemt høyde og flyr hjem og lander på egen hånd. Delene til dronen er levert av det britiske selskapet Vulcan UAV.

7.11.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Det påpekes at det er mye mer utfordrende med profesjonell flyvning i vær og vind, sammenliknet med å fly på en modellbane. Hålogaland Kraft har operert i regn og snøvær, og i vindstyrker opp til sterk bris.

7.11.6 Kommentarer

Inspeksjon av høyspent er også beskrevet i bl.a. [35].

7.12 Inspeksjon av høyspentmaster [35]

7.12.1 Kort oppsummering

Det er et krav fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) at det utføres inspeksjon fra oversiden av hver høyspentmast minimum hver tiende år. Artikkelen beskriver hvordan droner med RBG-kamera er tenkt brukt til toppbefaring av høyspentmaster.

7.12.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Anvendelsesområdet er toppbefaring av høyspentmaster. I tillegg nevnes det at dronen er blitt brukt til å ta bilder i forskjellige sammenhenger, bl.a. ved planlegging av fremtidige hyttefelt.

7.12.3 Dokumentert modenhet

I utviklingsfasen. Et utviklingsprosjekt mellom Droneservice AS og Stryn Energi AS er startet, hvor de skal utføre komplett dokumentasjon av fire mil med høyspentlinjer. Etter hvert er målet at disse tjenestene kan tilbys til hele landet.

7.12.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

En fordel med å bruke drone i forhold til et konvensjonelt bemannet helikopter er at dronen generer mindre støy, og kan gå nærmere kraftlinja i de tilfellene det er høy skog rundt. Små elektriske droner har også miljømessig fordeler sammenliknet med helikoptre. Energimontørene som har investert i dronene mener at bildene som blir tatt vil gi et minst like bra resultat som ved manuell inspeksjon hvor to fagfolk må klatre og inspisere med speil dersom det er spenning på linja.

7.13 Bruk av drone til å hindre reinpåkjørsler på Saltfjellet [41]



Figur 14: Bilde fra oppdraget © L.P. Kalkenberg / NRK.

7.13.1 Kort oppsummering

Vinteren 2009/2010 ble det påkjørt 211 reinsdyr på Saltfjellet. Artikkelen beskriver et møte mellom assisterende fylkesmann, reindriftnæringa, reindriftsforvaltningen, Jernbaneverket og Saltdal kommune hvor det diskuteres tiltak for å hindre reinpåkjørsler langs jernbanelinja. Et av tiltakene som ble diskutert og demonstrert var bruken av drone til å overvåke skinnegangen.

7.13.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Anvendelsen som beskrives er først og fremst bruken av drone til å hindre reinpåkjørsler. I tillegg nevnes det at dronen har andre bruksmuligheter som rassikring, overvåking av sauer på utmark og i beredskapssammenheng.

7.13.3 Dokumentert modenhet

Artikkelen beskriver en demonstrasjon av bruk av drone til å overvåke skinnegang. Dronen er utstyrt med RGB-kamera, men det er ingen nærmere beskrivelse av hvordan en slik overvåking skal skje i praksis.

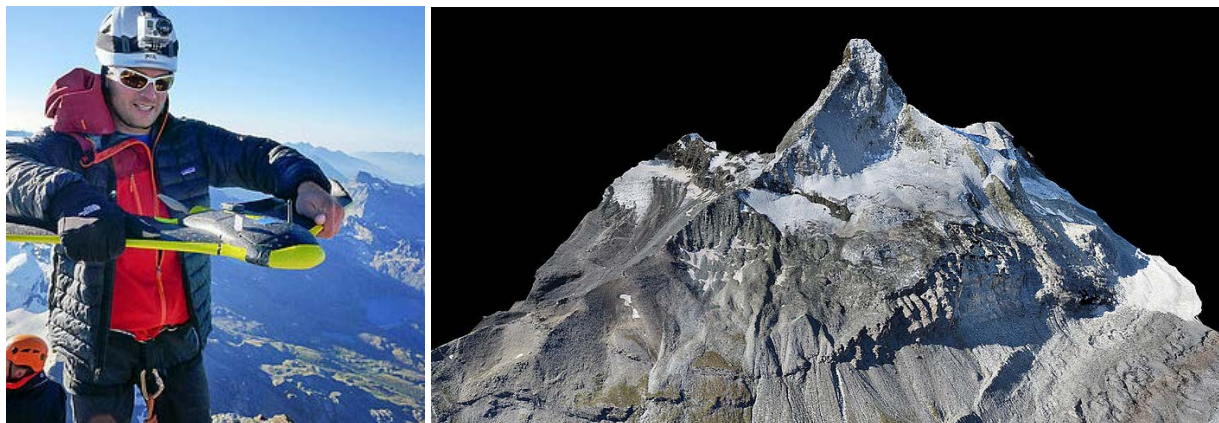
7.13.4 Designelementer/Relevante detaljer

Dronen er av typen Md4-100 fra Microdrone [39], og vil koste en halv million kroner.

7.13.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Fungerende banesjef i Jernbaneverket siteres på at han ikke tror dette er løsningen for å hindre reinpåkjørslar på Saltfjellet.

7.14 Bruk av luftfartøy for autonom fremstilling av 2D og 3D kart [11], [26]



Figur 15: Bilder fra oppdraget ©2014 senseFly Ltd.

7.14.1 Kort oppsummering

I løpet av en dag ble fire fly bruk til å fremstille 2D og 3D terrengekart av Matterhorn, et område på tilsammen 28 kvadratkilometer fra kamerabilder. Flyene har evnen til å samarbeide sømløst for å kartlegge et område, har innebygd kollisjonsunngåelse, og kan selv koordinere tidspunkt for landing. Tilsammen ble det gjort 11 flyvninger, fordelt på 5 timer og 40 minutters flytid og en total distanse på 263,6 km. 2188 bilder ble brukt til å danne en 3D punktsky på over 300 millioner punkter. Oppnådd oppløsning var på 20 cm i alle tre retninger.

7.14.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Fremstilling av 2D og 3D terrengekart typisk fra kamerabilder. Fra hjemmesiden til produsenten av flyene [26], er det delt erfaringer fra andre anvendelsesområder, bl.a.

- Veikonstruksjon: Kontroll og materialer under konstruksjon av vei. Kontroll av uttaks- og fyllmasse.
- Telling av havskilpadder.
- Katastrofehåndtering i Port au Prince, Haiti: Måle søppelkonsentrasjon, estimere antall nye innbyggere, identifisere boligbygging i slummen, bedømme vannavrenning.
- Forvaltning av skog: Evaluere muligheten for kartografi i tett skog.
- Kartlegging av dagbrudd: Generere en nøyaktig 3D modell for å måle volum av uttak.

7.14.3 Dokumentert modenhet

Flyene er i høy grad autonome. Det trengs en overordnet plan gitt av et menneske, men utover det kan flyene kan gjøre 3D planlegging av banen som flyene skal følge. Sammenstillingen av kart gjøres i etterkant, ved å laste all informasjon over på en datamaskin med egnet programvare for fremstilling av 2D og 3D kart.

7.14.4 Designelementer/Relevante detaljer

Fly av typen Sensfly eBee ble brukt [26]. Fra produsentens hjemmeside framstår det som enkelt å planlegge og å utføre en flyvning. Området som ønskes kartlagt oppgis/tegnes inn i medfølgende programvare, samtidig som ønsket geometrisk oppløsning og bildeoverlapping angis. Programvaren vil da beregne nødvendig flyhøyde og flytrajektorie. Programvaren gir mulighet for å ta høyde for ujevnt terreng ved å

bruke elevasjonsdata i beregning av flytrajektorie, noe som kan forbedre geometrisk oppløsning og øke sikkerheten. Det er også mulig å simulere flyvninger med en spesifisert styrke og retning på vinden. Flyet settes på vingene ved at det kastes ut i luften. Under flyvning kan man gjennom basestasjonen følge med på viktige parametere, batterinivå, og fotografering i sanntid. Det er også mulig å omprogrammere flytrajektorien mens flyet er i luften. Lavoppløselig ortomosaikk kan lages raskt og i felt. Geomerkede bilder kan til slutt eksporteres til en dedikert programvare for å generere høyoppløselig 2D ortomosaikk, 3D punkt skyer og 3D modeller.

Noen teknisk detaljer for Sensefly eBee: Maksimal flytid er 50 minutter, nominell hastighet er 40-90 km i timen, opptil tre km radiodekning, veier 700 gram, dekker opptil 12 kvadratkilometer i en flygning, takler opptil 12 m/s vind, oppløsning ned mot 1.5 cm, og landingsnøyaktighet er på ca 5 meter.

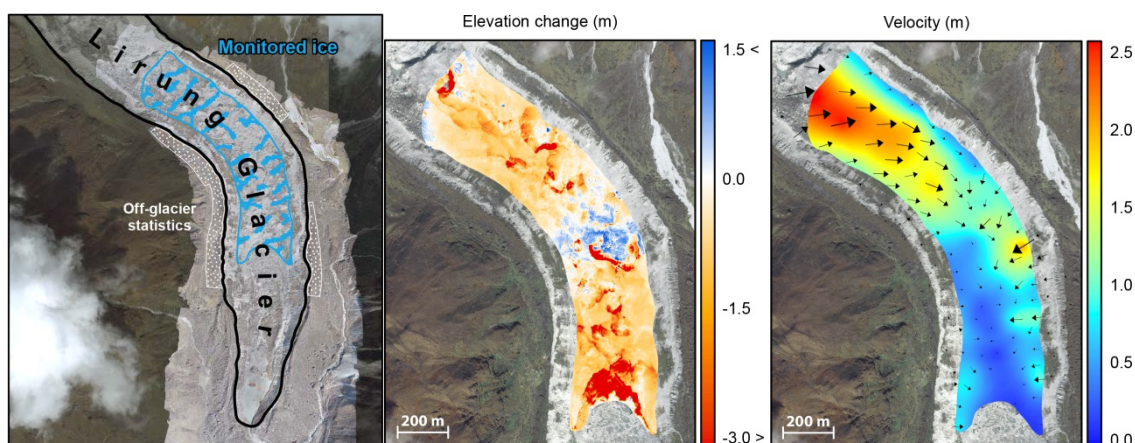
7.14.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Flyene måtte bringes til korrekt utgangsposisjon, som betyr at et av dem måtte bringes til toppen av Matterhorn. Turbulens kan være en utfordring.

7.15 Overvåking av isbredynamikk ved hjelp av UAV [16]



Figur 16: © Eduardo Soterias Jalil, Philip Kraaijenbrink



Figur 17: Illustrasjoner/bilder © Philip Kraaijenbrink

7.15.1 Kort oppsummering

Isbreene i Himalaya er forholdsvis lite studert pga. utilgjengeligheten. Det finnes derfor få feltobservasjoner. Satellittbaserte målinger på sin side har for dårlig romlig oppløsning, og den tidsmessige oppløsning er bestemt av antall tilgjengelige satellitter og deres omløpshastighet. I løpet av 2013 ble det utført to

operasjoner hvor man vha. en UAV studerte en del av Lirung isbreen før og etter smelte og monsun sesongen.

Detaljerte digitale elevasjonsmodeller ble laget basert på kamerabilder, og geometrisk korrigert med differensiell GPS observasjoner. Massetap og overflatastighet av isbreen kunne derfor bestemmes med høy nøyaktighet.

7.15.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Bestemmelse av massetap og overflatastighet av isbre.

7.15.3 Dokumentert modenhet

Brukt operasjonelt.

7.15.4 Designelementer/Relevante detaljer

En fastvingedrone av typen Swinglet CAM fra Sensefly ble brukt [26]. Den har et vingespenn på 80 cm, og nyttelastkapasitet på 0,5 kg. Flytiden er på ca. 30 minutter med cruisehastighet på 36 km/h. Den var utstyrt med GPS-mottaker, altimeter, vindmåler og et digitalt kompaktkamera. Under forsøkene ble kamera satt til autofokus, og valgte automatisk den passende kombinasjonen av blenderåpning, ISO og lukkerhastighet for de regjerende lysforholdene. Brennvidden ble satt til minste mulige verdi for å minske sannsynligheten for bevegelsesvibrering.

7.15.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Dronen ble sendt opp fra en forhøyning, mens landingen skjedde ved dronen ble satt til å utføre en sirkulær auto-landing på ett flatt område i nærheten. Siden vindstyrken normalt øker i løpet av dagen, ble alle flyvninger utført om morgenen.

7.16 Bruk av UAS i beredskapstjeneste [7]

7.16.1 Kort oppsummering

Mot slutten av 2007 ble West Midlands Fire Service den første brann- og redningstjenesten i Storbritannia til å ta i bruk et system for ubemannet luftfartøy i tjenesteoperasjoner.

7.16.2 Anvendelser

- Å gi direkteoverført video til assistanse for etterforskere av en brann som kostet livet til fire brannmenn.
- Å gi oversikt til alle medvirkende da en bygning kollapset (2008).
- Å gi direkteoverført termisk video av varmeutvikling i taket ved brann (2008).
- Å assistere politiet i en leteaksjon etter et barn i nærhet av en frossen innsjø.
- Å gi oversikt ved trafikkulykker.

7.16.3 Dokumentert modenhet

Har blitt brukt for overnevnte anvendelser.

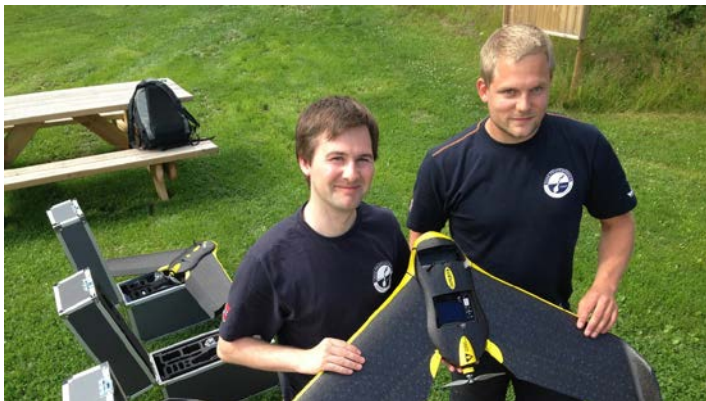
7.16.4 Designelementer/Relevant detaljer

Luftfartøydronen som ble brukt er et multikopter av type MD4-200, utstyrt med sensorer for høykvalitets video og foto, samt infrarødt kamera.

7.16.5 Dokumenterte erfaring og utfordringer

MD4-200, har en vekt på ca. 900 gram, i tillegg kommer eventuell nyttelast. Den lave vekten er en fordel for sikkerheten til brannmenn og andre person i tilfelle krasjlanding. Det er lite sannsynlig at rotorere kan skade et menneske ved kontakt. En annen fordel med dette og liknende systemer, er at det også kan benyttes innendørs. Utfordringen er at den er vanskelig å operere når vindhastigheten passerer 12 m/s.

7.17 Droner brukes til kartlegging av ungskog [65]



Figur 18: © Torfinn Kringlebotn

7.17.1 Kort oppsummering

I en masteroppgave i skogbruk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet vil droner bli testet med formål om kartlegge nødvendige skogbrukstiltak. Oppgaven vil også se om bruken av droner er arbeidsbesparende i forhold til konvensjonelle kartleggingsmetoder.

7.17.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Droner vil bli testet for å finne områder med behov for skogbrukstiltak. Egenskapene som det sees etter er trehøyde, stammeantall og treslagsfordeling mellom bar og løv.

7.17.3 Dokumentert modenhet

I [65] beskrives det hvordan en drone er tenkt benyttet til kartlegging av skog. Dronene som skal brukes er forholdsvis avanserte, men er ennå ikke testet ut til dette formålet. Lønnsomheten med bruk av droner sammenliknet med konvensjonelle metoder er ikke evaluert.

7.17.4 Designelementer/Relevante detaljer

Dronene er av typen eBee fra Sensefly [26], med vekt på 750 gram. De er batteridrevet og kan oppnå en flytid på 45 minutter per ladning. I løpet av den tiden kan dronen trolig kartlegge opp mot en kvadratkilometer. Tre ulike kamera vil bli testet, S110 RGB, S110 NIR og S110 RE, se detaljer på SenseFlys hjemmeside [26]. Kameraene fanger opp forskjellige deler av lysspekteret, og har derfor forskjellige egenskaper.

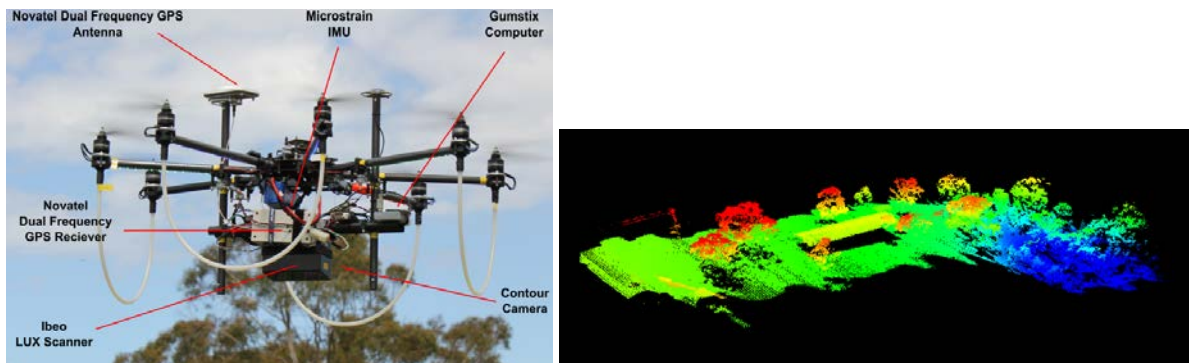
7.17.5 Kommentarer

Det planlegges også et pilotprosjekt med bruk av satellitter med tanke på kartlegging av ungskogpleiebehov. Dette gir muligheter for sammenlikning av teknologier for å finne de beste kartleggingsmetodene.

7.17.6 Referanser

Bruken av luftfartøydroner for skogbrukskartlegging er på ingen måte ny, og i [13] brukes droner blant annet til å beregne skogsverdi.

7.18 Droner brukes til kartlegging av skogsverdi [13]



Figur 19: Bilder av drone og data innhentet fra drone. Hentet fra [13].

7.18.1 Kort oppsummering

Ved University of Tasmania er det utviklet et en drone for måling av skogparametre med laser fra luftfartøydroner.

7.18.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Anvendelsesområdet er kartlegging av skogsverdi ved å bruke dronene som sensorplattform.

7.18.3 Dokumentert modenhet

Teknologien kan karakteriseres til å være på utviklingsstadiet. Selve droneplattformen er kommersielt tilgjengelig, men forskerne ved University of Tasmania har spesialtilpasset nyttelasten med blant annet laserskanner, og utviklet algoritmene for dette skogbruksformålet.

7.18.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Erfaringen med konvensjonell metode, hvor bemannet fly benyttes i kartlegging av skog, er at dette er dyrt og i noen tilfeller også bare kan gjøres på noen tider av året. Luftbårene droneplattformer med mulighet til å samle LiDAR data, har tradisjonelt vært designet for militære og/eller statlige formål. Ulempen med disse plattformene, er at de har en størrelse eller pris som ikke er forenelig med skogsdriftoperasjoner. Små feil i estimatet av dronens egenposisjon, kan føre til store feil i dronenes fjernmålinger. Siden nøyaktigheten i dronens egenposisjon ofte kan forbedres ved å bruke dyrere eller større måleutstyr, har dette ført til dyre og/eller store luftfartøydroner.

LiDAR er et viktig måleverktøy for kunne bruke av en del av teknikkene utviklet for å måle verdien av skog. For eksempel vil punktskyer generert fra kun bilder inneholde få punkter fra inne i kronetaket, og fra bakken i tett bevokste områder. Punktskyer generert ved hjelp av LiDAR målinger gjort fra droneplattformer har dessuten høyere tetthet enn tilsvarende punktskyer basert på målinger fra bemannede fly.

7.18.5 Designelementer/Relevante detaljer

Et multicopter av typen OktoKopter Droidworx/Mikrokopter AD-8 er utstyrt med IMU med akselerometer, gyroskop og magnetometer, i tillegg til GPS mottaker, for å estimere egen posisjon og orientering. I tillegg har dronen en laserscanner og et kamera. Datalogging og tidssynkronisering gjøres ombord dronene ved

hjelp av en liten datamaskin. All annen prosessering skjer i ettertid. Hele nyttelasten veier 2.4 kg, som er innenfor OktoKopters krav på 2.8 kg.

7.19 Bruk av drone i politiets tjeneste[40]



Figur 20: ©2014 Ruben Skarvåg/Politiforum.

7.19.1 Kort oppsummering

Artikkelen beskriver en demonstrasjon holdt av importøren Equipnor for Politiforum og to politibetjenter fra Follo politidistrikt. I [98], [99] meldes det at en rapport fra teknologirådet slår fast at politiet bør ta i bruk droner. Politiet vil selv legge fram sin egen droneplan i løpet av mai 2015.

7.19.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Det nevnes en rekke oppdrag hvor droner kan være nyttig som observasjonsplattform, typisk utstyrt med kamera, f.eks.

- Skarpe situasjoner.
- Redningsaksjoner.
- Naturkatastrofer.
- Leteaksjoner.
- Spaningsaksjoner.

7.19.3 Dokumentert modenhet

Artikkelen beskriver en demonstrasjon av tilgjengelig teknologi, men var ikke i bruk i politiet når artikkelen ble skrevet. Dronene beskrives som enkel i bruk, men har en utfordring når det gjelder vær og vind. Dette understrekes ved at dronen krasjlandet under demonstrasjonen som følge av kastevind.

7.19.4 Designelementer/Relevante detaljer

Dronen er av typen Huginn X1, med vekt på to kilo, er ca 50 cm i diameter, maks flyhøyde rundt 150 meter, og flytid på ca 25 minutter. Videobilder kan overføres live over en avstand på 2 km. Dronene lander automatisk og kontrollert dersom batterinivået begynner å bli lavt. Dersom den mister kontakt med bakkestasjonen, vil den stige opp til makshøyde, fly til predefinert koordinater og lande der av seg selv.

7.19.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Artikkelen viser til en spørreundersøkelse hvor over 90 prosent av de spurte var positive til en bruk av droner i politiet og redningsetatene. Det understrekes at bruken vil knyttes til konkrete oppdrag og hendelser, og

ikke brukes til permanent overvåkning. Likevel er konflikten med personvernet noe som er blitt brukt som et ankepunkt mot droner.

Til en prislapp på 300 kNOK for selve dronen og 100 kNOK for termisk kamera, oppfattes dette fremdeles om dyr teknologi, selv om bruk av bemannet politihelikopter ikke er noe rimeligere totalt sett. Dronen er testet i både sludd og snø, og skal tåle en vindstyrke opptil 10 meter per sekund. Det nevnes at vær og vind sannsynligvis er den store begrensningen med tanke på bruk av droner, og at særlig kastevind er et problem. En annen utfordring for politiet er at media kan ta i bruk droner som lett kan omgå sperrebånd.

7.19.6 Referanser

I [42] er politimester i Vest-Finnmark politidistrikt intervjuet, og kan fortelle at de har gjort enkle tester med droner som alternativ. Forsøket med drone i operativ tjeneste er foreløpig stoppet i påvente av en sentral utredning.

7.20 Bruk av aerostat for oljesøl [47], [49]



Figur 21: © Maritime Robotics [49].

7.20.1 Kort oppsummering

OceanEye er heliumfylt ballong, også kalt aerostat, utviklet av Maritime Robotics for luftovervåkning av både maritime og landbaserte operasjoner. Aerostaten kan forankres i en bakkestasjon eller på dekket til et skip. Et aktivt stabilisert kamerasystem under aerostaten gjør at samme situasjon kan observeres uavhengig av om vindretning skifter eller skipet skifter kurs.

7.20.2 Anvendelse/virksomhetsområde

En slik aerostat antas å ha mange anvendelsesområder, men det fokuseres i første omgang mot oljevern.

7.20.3 Designelementer/Relevante detaljer

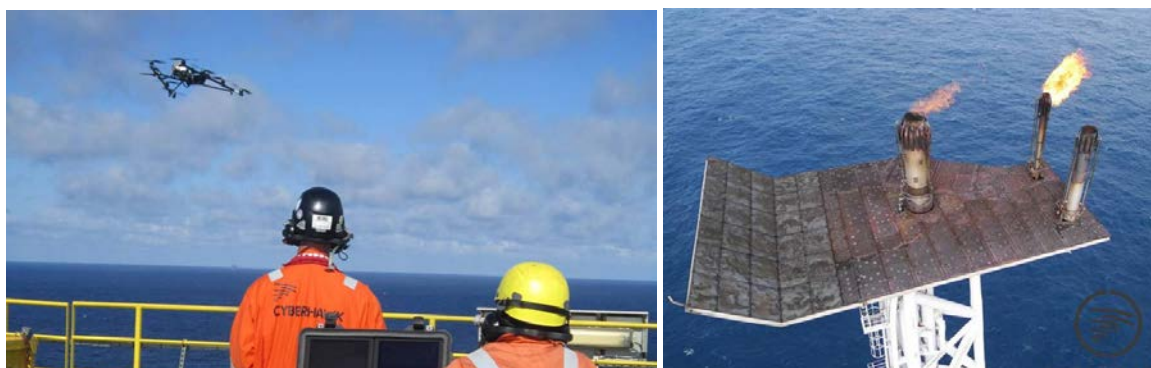
Under aerostaten henger nyttelasten bestående av RGB kamera, og infrarødt kamera. I tillegg har den AIS mottaker for å kunne detektere skip i nærheten.

En bakkeenhet har anlegg for fylling og oppbevaring av helium, kommunikasjonssystemer for overføring av video og data, samt vinsj for å trekke ballongen inn og ut. Kan operere kontinuerlig for flere dager. Systemet er kompakt og får plass på en Europalle for enkel transport på både bil, båt og fly. Vekt: 425 kg. Lengde: 1,2 m. Bredde: 0,8 m. Høyde: 1,59 m.

7.20.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Et todagers opplæringskurs trengs for å operere OceanEye. Kan operere i værforhold som er for tøffe både for ubemannede og konvensjonelle bemannede fly.

7.21 Inspeksjon av offshore fakler ved hjelp av drone [33]



Figur 22: © Statoil/Cyberhawk

7.21.1 Kort oppsummering

I august 2013 ble den første inspeksjonen av en fakkell i drift på norsk sokkel gjennomført på Sleipner A ved bruk av luftfartøydroner. Fordelen med den nye metoden er at inspeksjonen kan gjøres uten at fakkelsystemet stenges ned.

7.21.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Dronen brukes her til inspeksjon av offshore fakler. CyberHawk som utførte operasjonen, har brukt sine droner (både fastvinge og roterende vinge) til en rekke andre anvendelser [52], f.eks. er sensordata blitt brukt til kartlegging av en 33 km lang veistrekning og 27 km med kraftledning i Mull og Kintyre, generering av digital elevasjonsmodeller med 3 cm nøyaktighet i forbindelse med planlagt utvidelse av kraftverk England, og topografisk kartlegging av 400 hektar i Skottland i forbindelse med planlagt utbygging av vindpark.

CyberHawk har også brukt to av sine droner til inspeksjon av Forewinds meteorologiske master i Doggerbank, [53]. De fjernstyrte dronene ble operert fra et skip i nærheten. For å operere dronene trengs to personer, en til å styre dronen og en til å styre kamera for å ta bilder og video av mastene. Ved hjelp av bildene var det mulig å evaluere tilstandene til mastene før man eventuelt utfører vedlikehold. Bruken av droner til inspeksjon fjerner risikoen forbundet med å få personell fra skip til mastens plattform, og med klatring i masta.

7.21.3 Dokumentert modenhet

Droner har tidligere blitt brukt å inspisere fakler på Statoil sine landanlegg på Kårstø og Melkøya, men det er første gang denne type teknologi er blitt brukt offshore på norsk sokkel.

I artikkelen framgår det at teknologien ikke foreløpig kan erstatte ordinær inspeksjon, men vurderes som et aktuelt alternativ.

7.21.4 Designelementer/Relevante detaljer

Inspeksjonen ble utført av CyberHawk, ved bruk av en AscTec Falcon 8, som er et V-formet multikopter med 8 propeller. Tekniske detaljer [51]: Størrelse: 770x820x125 mm. Maksimal vekt ved avgang: 2,2 kg. Maksimal vekt på nyttelast: 750 g. Flytid inkluderer nyttelast: 12-22 minutter. Maksimal høyde over bakken: 1 km. Maksimal lufthastighet: 16 m/s. Operasjonstemperatur: Innenfor 0-35 °C. Kan også opereres utenfor dette temperaturområdet, men da med redusert flytid. Maksimal vindhastighet: 15 m/s. Dronen kan utstyres med en rekke nyttelastkonfigurasjoner når det gjelder foto, video, infrarød og termisk avbildning.

7.21.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

I forkant av en slik operasjon må det gjøres analyser og identifisering med tanke på hvilken avdekke mulige katastrofale hendelser og sannsynligheten for at en slik hendelse er tilstede.

7.22 Bruk av drone til levering av medisiner [30], [31], [34]



Figur 23: Luftfartøydroner for levering av små forsendelser ©2014 Deutsche Post AG.

7.22.1 Kort oppsummering

Pakketransportselskapet DHL skal begynne en regelmessig rute med luftfartøydroner fra Norddeich på fastlandet til øya Juist utenfor den tyske nordvestkysten. Øya har 1500 innbyggere.

7.22.2 Anvendelse/virksomhetsområde

I dette tilfellet er det først og fremst snakk om bruk av droner til levering av medisiner og annet nødvendig utstyr. Store aktører som f.eks. Amazon [37] og Google [38] har utviklingsprogram med mål om å muliggjøre andre typer leveringstjenester ved hjelp av droner.

7.22.3 Designelementer/Relevante detaljer

Dronen som brukes er et md4-1000 multikopter fra Microdrone [39] og er helt autonom, har en rekkevidde på 12 km, nyttelast opptil 1,2 kg, totalvekt 5 kg, og har en maksfart på 18 meter per sekund. Flyhøyden er på 50 meter.

7.22.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Tjenesten er ikke tilgjengelig på heltid, men brukes i stedet i helger og når den regelmessige ferja er ute av drift.

Av sikkerhetshensyn er dronen overvåket av en operatør under hele flytiden, som kan ta over dersom en uforutsett hendelse skulle oppstå. Bakkestasjonen vil også ha kontinuerlig kontakt med flykontrolltjenesten.

7.23 Black Hornet, forsvarsteknologi [60]



Figur 24: © Prox Dynamics

7.23.1 Kort oppsummering

Prox Dynamics er et norsk firma som produserer Black Hornet, en luftfartøydroner på 16 gram. Dronens kamera har blitt brukt av britiske soldater i Afghanistan, til å se etter opprørsstillinger og undersøke områder på bakken etter skjulte trusler før de selv beveger seg inn i et område.

7.23.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Anvendes til rekognosering i stridsområder. I følge [59], ønsker Prox Dynamics også å selge systemet til sivile myndighetsorganer, som f.eks politi eller brannvern, og kan også selge eller leie systemet til kjente seriøse ikke-myndighetsorganer, som for eksempel Røde Kors.

7.23.3 Dokumentert modenhet

Black Hornets britiske distributør inngikk i 2011 en kontrakt med det britiske forsvaret på levering av systemer med ramme på inntil 20 millioner pund.

7.23.4 Designelementer/Relevante detaljer

Selve dronen veier 16 g med et skrog på 120 mm. Den kan operere i minst 25 minutter og har en rekkevidde på 1000 meter ved fri sikt. Maksimal vindhastighet er oppgitt til 15 knop, men det framgår av artikkelen at det også kan holdes i lufta i 30 knops vind. Ladetiden på et helikopter er 40 minutter, men hvert system består av to helikoptre slik at lengre nedetid unngås.

7.23.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Av personvern hensyn, og frykten for at systemet skal bli brukt til overvåkning eller annen uberettiget informasjonsskaffelse, ønskes det ikke en spredning av systemet.

7.23.6 Referanser

Prox Dynamics ønsker også å selge dronene til det sivile markedet, [59]. De peker selv på politiet som den organisasjonen som er mest moden for å ta i bruk et ubemannet flysystem, da de allerede har egne helikoptertjenester.

7.24 Bruk av fjernstyrte anleggsmaskiner[73]



Figur 25: © H. Grevsjøtt.

7.24.1 Kort oppsummering

I forbindelse med at Forvaret ryddet sitt nedlagte skytefelt på Hjerkinns for miner og blindgjengere, ble 40-tonns tunge gravemaskiner styrt med joystick via TV-skjerm av maskinførere trygt plassert i en bunker, [73].

7.24.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Anvendelsen her er rydding av miner og blindgjengere. Samme teknologi kan forøvrig brukes i annen anleggsvirksomhet, f.eks. ved nybygging av vei, eller i dagbrudd.

7.24.3 Dokumentert modenhet

Teknologien er i bruk, men måtte utvikles spesielt for prosjektet og er altså ikke kommersielt tilgjengelig.

7.24.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

En av utfordringene var blant annet at bildeoverføring via satellitt skapte for stor forsinkelse. Derfor ble det utviklet et eget system for å sende signaler direkte mellom containeren med maskinføreren og maskinen. Også styringssystemet for maskiner og hydraulikk måtte utvikles i prosjektet. For dumperen eller anleggslatebilen ble det utviklet et system slik disse kunne kjøre autonomt i opptil 20 km/h.

7.24.5 Referanser

Se også [73] for en historisk gjengivelse av bruken av fjernstyrte or autonome anleggsmaskiner.

7.25 Førerløse biler [74], [105], [107], [108]

7.25.1 Kort oppsummering

Etaten for forskningsprosjekter innen det amerikanske forsvaret, DARPA, gjennomførte i 2004 den første Grand Challenge. Dette var en konkurranse hvor målet var å navigere et førerløst kjøretøy (en bil) i høy hastighet gjennom stier og veier i ørkenen. Ingen av kjøretøyene greide å fullføre denne konkurransen. En ny konkurranse ble avholdt i 2005 hvor fem kjøretøy greide å fullføre den 244 km lange løypa, og hvor vinneren brukte i underkant av sju timer, [107]. En tredje konkurranse, kalt Urban Challenge ble avholdt i 2007. Her måtte den førerløse vinneren kjøre en 97 km lang rute i et urbant miljø, samhandle med andre biler og overholde trafikkregler, [108]. Konkurransene genererte enorm interesse, og har ført til økt fokus på autonomi blant bilprodusenter verden. Google forventer å ha sin selvkjørende bil tilgjengelig for allmenheten

i 2017, mens mange andre bilprodusenter forventer å ha sine førerløse biler på markedet i årene mellom 2020 og 2030.

7.25.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Sivile og militære anvendelser innen bruk av biler som ikke har behov for aktiv medvirkning fra sjåfør (dette inkluderer førerløse biler).

7.25.3 Dokumentert modenhet

Googles førerløse biler har loggført mer enn 1,13 millioner km uten uhell i California og Nevada, [109].

7.25.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

I artikkelen [74] pekes det på en rekke mulige utfordringer med førerløse biler. Dette gjelder bl.a. kravet til oppdaterte kart der man skal ferdes. Det nevnes også at bilen ikke har vært kjørt på vinterføre, og at sikkerhetshensyn har forhindret testing i kraftig regnvær. En førerløs bil vil dessuten ha problemer med å se forskjellen på objekter i veibanen, det være seg en stein eller søppel, og vil derfor sannsynligvis prøve å styre utenom begge deler. Videre vil ikke en slik bil typisk kunne se forskjellen på en politikonstabel som signaliserer at bilen skal stoppe, og en hvilken som helst annen person ved siden av veggen. Kjøretøyene har også problemer med å gjenkjenne midlertidig trafikkskilt, og de kan heller ikke evne til å navigere på parkeringsplasser eller i parkeringshus.

I [105] refereres det fra en konkurranse avholdt i Korea i 2014 hvor biler skulle kjøre autonomt rundt en testbane. Resultatet av konkurransen synliggjorde noen av fordelene og ulempene med førerløse biler i dårlig vær. En fordel ved glatt underlag er for eksempel at en førerløs bil kan regulere hastigheten på hvert hjul individuelt for å oppnå best mulig friksjonsegenskaper. Dette er noe en menneskelig fører ikke har muligheten til, men kan oppnås ved å ha et avansert styresystem også i biler med fører. De væravhengig utfordringene som slike førerløse biler har, er nesten utelukkende knyttet til evnen til å oppfatte omgivelsene. Våte veier kan gjøre det vanskelig å detektere for eksempel veioppmerking, men sollys direkte inn i kameraene kan gjøre det vanskelig å oppfatte veiskilt. Tåke, regn, snø og mørke byr alle på utfordringer når det gjelder å oppfatte omgivelsene riktig, og gir derfor dårlig beslutningsgrunnlag for den førerløse bilen.

7.26 Utvikler kommunikasjonsdroner til bruk når telenettet svikter [82]

7.26.1 Kort oppsummering

Ved storbrannen i Lærdal i 2014 brant de 13 basestasjonene som Telenor i har Lærdal fullstendig utbrent, noe som førte til at både fastnett og mobilnett lå nede. I artikkelen foreslås det at droner brukes til å sette opp et midlertidig kommunikasjonsnettverk dersom infrastrukturen faller ut. Dronene kan føre signalet fra mobiltelefoner på bakken til basestasjoner som er operative lenger unna katastrofeområdet.

7.26.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Bruk av droner til å sette opp et midlertidig kommunikasjonsnettverk enten fordi infrastrukturen har falt ut, eller fordi permanent infrastruktur ikke er bygd ut.

7.26.3 Dokumentert modenhet

Bruken av droner til å sette opp et midlertidig kommunikasjonsnettverk er ett av mange mulige anvendelser til prototypen som er utviklet. Dette tyder på at utviklingen ikke er spesifikk mot denne typen anvendelser, og teknologien må derfor kunne karakteriseres som umoden.

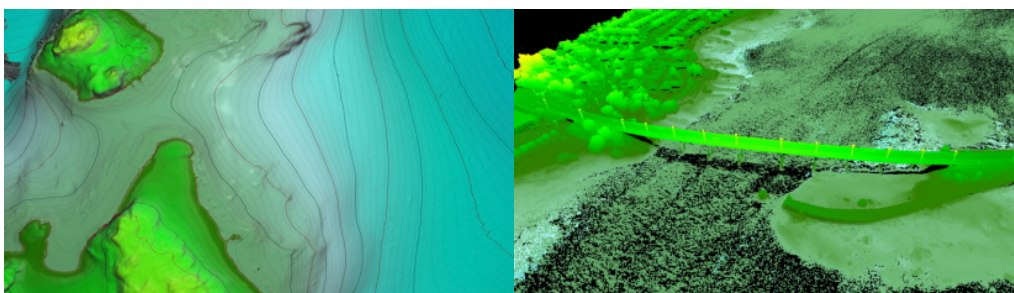
7.26.4 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Kommunikasjonskrisen i Lærdal ble delvis og midlertidig løst ved at Telenor og Netcom satte opp mobile basestasjoner i Lærdal. Situasjonen ble også bedret ved at teleselskapet økte effekten på andre basestasjoner i nærheten som ikke ble berørt av brannen, [83].

7.26.5 Referanser

Det er flere pågående forskningsprosjekt hvor droner brukes til å gi midlertidig mobildekning i krisesituasjoner, se [78] og [79].

7.27 Kartverket tester lasermåling av kystsonen



Figur 26: ©2014 Kartverket/AHM

7.27.1 Kort oppsummering

I et prosjekt utført på vegne av Statens Kartverk er et konvensjonelt bemannet fly utstyrt med RGB-kamera og LiDAR for datainnsamling i kystnære områder. Formålet med prosjektet er å teste kvalitet, bruksområde og nytteverdi av laserskanninger for eventuelle storskalainnsamlinger på et senere tidspunkt.

Foreløpig er eksperimentet utført med konvensjonelle bemannede fly, men det antas at det bare er et tidsspørsmål før slike undersøkelser også kan utføres med droner. Laserskanneren som ble brukt i dette forsøket har f.eks. også blitt integrert i luftfartøydronen Schiebel Camcopter. Fra hjemmesiden til produsenten av lasersystemet går det også fram at de også utvikler sin egen plattform RiCOPTER, som kan utstyres med et liknende lasersystem.

7.27.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Kombinert topografisk og bathymetrisk skanning av fjorder, kystlinjer, øyer, elver og innsjøer, hvor målet er å fylle ut det manglende gapet i kartlegging av sjø og land.

7.27.3 Dokumentert modenhet

Dette var et pilotprosjekt utført for Statens Kartverk med tanke på eventuelle senere storskalainnsamlinger. Teknologien er også tidligere blitt brukt for kartlegging av elver og innsjøer.

7.27.4 Designelementer/Relevante detaljer

Sensorpakken bestod av en Riegl VQ-820G laserskanner, et Hassleblad H39 RGB kamera, et GoPro3 videokamera og et Infratec HD900 termografisk kamera. Utstyret var påmontert et tomotors bemannet fly av typen Tecnam2006t. Kartleggingen skjedde med en hastighet på ca. 3,5 kvadratkilometer per time.

Flyhastigheten var ca 80 knop mens flyhøyden var på ca 500 meter over bakken for at laseren ikke skulle utgjøre en fare for øyeskade hos personell på bakken. En 20 graders inklinasjon på laseren betyr at det også er mulig å få målinger fra under broer og annen kryssende infrastruktur. Bølgelengden på laseren er på 532

nm. Denne typen lasermåling kan brukes på land og også under vann, til en dybde ned mot 15 meter. Nøyaktigheten i dette tilfellet var på ca 5 cm under vann, med over 20 punktmålinger per kvadratmeter. Det var ikke brukt bakkekontrollpunkter. Noe manuelt arbeid inngår i å bestemme modellparametere for det aktuelle området, mens den tidkrevende prosessering av data stort sett skjer automatisk.

7.27.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Følgende utfordringer ble nevnt:

- Dersom vanddybden ikke er stor nok er det ikke mulig å skille mellom ekko fra vannoverflaten og fra sjøbunnen.
- Total refleksjon er mulig dersom vannoverflaten er for stille, og man vil da ikke penetrere vannoverflaten.
- Dersom vannet er for klart eller har for lav turbiditet, så vil laseren penetrere et stykke inn i vannet før det reflekteres, og da gi et feilaktig signal på hva som er vannoverflaten.

I tillegg må eventuelle bølger være en del av vannoverflatemodellen.

7.27.6 Kommentarer

Den samme teknologien er blitt brukt til kartlegging av Bodensjøen på grensen mellom Tyskland, Østerrike og Sveits, av over 3000 km med elver, og av kystnære vindparker i Danmark. Det er også planer om å bruke teknologien for kartlegging av kraftnett.

7.28 Erfaringer med bruk av UAV for bunntopografimåling i Norge [85]

7.28.1 Kort oppsummering

Artikkelen tar for seg en pilotstudie hvor bunntopografimodellering langs en to kilometer lang strekning av elva Surna ble utført basert på foto fra et ubemannet fly. Studien viste at optiske bunntopografimålemetoder basert på bruk av luftfartøydroner har stort potensial forutsatt at datainnsamlingen er godt forberedt og finner sted under passende værforhold.

7.28.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Generering av 2D og 3D modeller både under vann og i nærliggende områder, for å undersøke effekten av reguleringen av elver og innsjøer i forbindelse med vannkraftverk.

7.28.3 Dokumentert modenhet

Pilotstudie.

7.28.4 Designelementer/Relevante detaljer

Luftfartøydronen som ble brukt var en Microdrone MD4-1000 med en vekt på 5 kg inkludert kamera. Kameraet ble utløst ved hjelp av en manuell utløser med et intervall på ca. 1 sekund. Flyhøyden var på 70 til 135 meter. For å kunne geo-referere bildene var det nødvendig å plassere ut kontrollpunkt med bestemte intervaller på begge sider av elvesletta. Den eksakte posisjonen av kontrollpunktene ble bestemt ved bruk av differensiell GPS kombinert med RTK satellittnavigasjonsteknikk. Et fjernstyrt fartøy utstyrt med sonar ble brukt til å måle dybden i de dypere delene av elva.

7.28.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

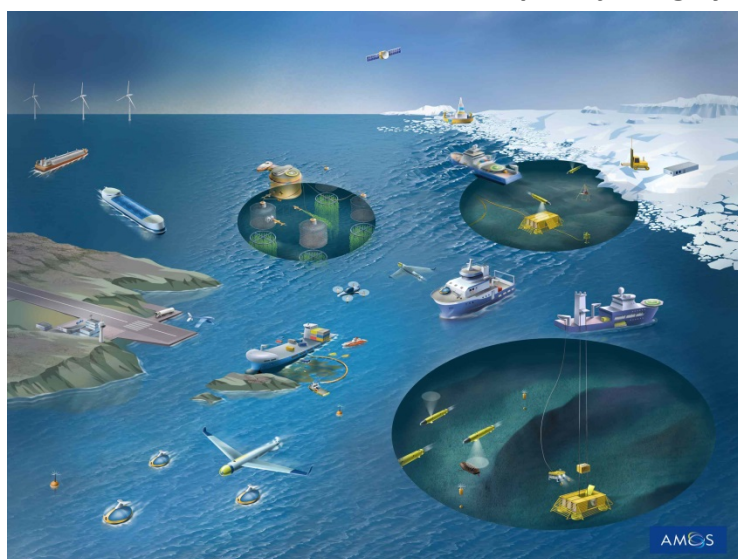
Måling av elvedybder har en lang historie. En målemetode baserte seg på å feste lodd festet til en snor, for deretter lese av lengden på snora i det loddet traff bunnen. Denne metoden ble så avløst ved å plassere bl.a. sonar på elvegående fartøy. Denne typen metoder er fremdeles tidkrevende, og kan også være farlig i elver med sterk strøm. Nye metoder er derfor i utvikling som baserer seg på fjernmåling, hovedsakelig ved bruk av

bilddata fra satellitt, eller ved hjelp av kamera eller lasermålinger gjort fra fly. I [136], [137] betegnes bruken av LiDAR som unøyaktig og fortsatt uegnet for kartlegging i grunt vann. Optiske målemetoder på sin side har vist gode resultat i elver, [138]. Noen av forutsetningen for metoden som brukes i denne artikkelen er klart, gjennomsiktig, stillestående vann, uten overhengende trær, skygger eller islag som hindrer sikten eller påvirker målingene fra kameraet.

7.28.6 Kommentarer

Det går fram av konklusjonen at resultatet fra metoden er veldig avhengig av gode og stabile vær- og lysforhold. Vannet må også være klart og stillestående. Dette betyr at metoden er lite egnet til bruk under flom eller etter kraftig storm.

7.29 Senter for autonome maritime operasjon og systemer [156]



Figur 27: © 2014 Bjarne Stenberg/NTNU.

7.29.1 Kort oppsummering

AMOS er et senter for fremragende forskning ved NTNU hvor man forsker på utfordringer relatert til autonomi og marine operasjoner. Senter tar sikte på løse nødvendige utfordringer relatert til miljø og klima, sikker maritim transport, kartlegging og overvåkning av kystområdene, offshore fornybar energi, fiskeri og havbruk samt Arktisk olje- og gassutvinning på dypt vann. Et av delprosjektene innenfor senteret går på bruk av luftfartøydroner. De største forskningsutfordringene innen marine operasjoner med luftfartøydroner er knyttet til krav om drivstoff, vekt, pålitelighet og operasjonell sikkerhet, og ikke minst autonomi, kommunikasjon, styring og navigasjon.

Mer informasjon om prosjektet kan bl.a. finnes på web [156].

7.29.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Luftfartøydroner utstyrt med sensorer, kommunikasjonsutstyr og annen nyttelast kan brukes til støtte i det som kalles "ice management", altså summen av alle aktiviteter med mål om å redusere eller unngå påvirkning fra is fortrinnsvis mot oljeinstallasjoner i Arktis. De kan også brukes til overvåkning av naturressurser eller kartlegging av oljesøl, eller monitorering av trafikk og operasjoner til havs. Forskingen vil fokusere på operasjoner med luftfartøydroner som har evnen til å håndtere en rekke operasjonelle hendelser uten å måtte styres av en operatør. Dette inkluderer blant annet replanlegging av flyrute, energihåndtering, feiltollerant regulering, automatisk utsendelse og mottak på skip, operasjonell sikkerhet og

kollisjonsunngåelse, håndtering av kommunikasjonstjenestekvalitet, og utføring av oppdrag basert på behandling av sanntidsdata fra nyttelast.

7.29.3 Dokumentert modenhet

Dette er et forskningsprosjekt.

7.30 Bruk av drone ved vurdering av steinsprangfare [171]



Figur 28: © V. Aronsen.

7.30.1 Kort oppsummering

Som et alternativ til helikopterbefaring ble det brukt en luftfartøydroner utstyrt med kamera for å kunne påvise løснеområdet etter steinsprang. Løснеområdet og første treffpunkt av steinspranget var ikke synlig fra vegen eller annet sikkert sted i terrenget. Ved hjelp av dronen kunne man påvise løснеområdet og skredbanen videre nedover mot vegen.

7.30.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Påvisning av løснеområdet etter steinsprangfare og stabilitetsvurdering.

7.30.3 Dokumentert modenhet

Egenskapene til en luftfartøydroner ble her testet med tanke på å bruke den til å kunne påvise løснеområdet etter steinsprang.

7.30.4 Designelementer/Relevante detaljer

Viktige momenter i valget av drone var at den burde ha mer enn 30 minutters flytid, kunne fly tilstrekkelig høyt, takle opp mot 10 m/s vind, og kunne gi god kvalitet på bilde og videooverføring. Dronen som ble brukt var et firerotor multicopter av typen DJI P2V+ utstyrt med kamera for 14 MP stillbilder og HD video. Ved å se på direkteoverførte bilder kunne geologer instruere piloten om hvor dronen skulle flys og kameraet orienteres. Det første batteriet, som tilsvarte ca 10 minutter flytid, ble brukt av droneoperatøren til å gjøre seg kjent i terrenget.

7.30.5 Dokumenterte erfaringer og utfordringer

Følgende erfaringer ble gjort:

- Det var vanskelig å vite eksakt hvor dronene var i forhold til terrenget. Det hadde vært fordelaktig med en ekstra person som kunne holde øye med dronens plassering i forhold til fjellet.
- Dersom geologer skal veilede dronepiloten i hvor dronen skal posisjoneres og kameraet orienteres, så bør det på forhånd avtales hvordan dette skal kommuniseres.
- Det er utfordrende at operatøren både styrer dronen og kameraet orientering, og det hadde vært fordelaktig med en person for å styre dronen og en for å styre kameraet.
- Styring via skjerm for å få ønskede bilder kan føre til at piloten mister oversikten over dronens plassering i forhold til terrenget.
- Overføringsforholdene fra drone til mottaker var ikke optimale, og det vil være behov for bedre kommunikasjonsutstyr.
- Det hadde vært fordelaktig med en større skjerm med bedre kvalitet for å få et bedre inntrykk av droneoperasjon.
- Det hadde vært ønskelig med bilder som hadde vært tatt enda nærmere løснеområdet.
- Det anbefales at man tar hensyn til solens posisjon for å finne optimalt tidspunkt for en slik operasjon. Valget bør tas med tanke på at man i størst grad unngår sterke kontraster i bildet mellom sol og skyggepartier. I tillegg er det ikke ønskelig med sterkt motlys for dronepilot.
- Det kan være vanskelig å se opptak på skjerm ute i sterkt dagslys, selv om man er i skyggen.
- Kvalitet på foto og video var høy, og detaljeringsgraden god. Bildene var likevel veldig fordreid i ytterkant på grunn av vidvinkel. Korrigering på grunn av vidvinkel kan gjøres i felt, men tar noe tid.

Sammenliknet med befaring med konvensjonelt bemannet helikopter ble arbeidsmetoden ganske annerledes. Ved konvensjonell helikopterbefaring vil man vanligvis observere, vurdere og fortløpende konkludere under flyving. I dette tilfellet ved bruk av drone ble det først tatt bilder og videoopptak, som deretter ble analysert før man kunne gjøre en vurdering og konklusjon. Denne metoden krever at man har et tilstrekkelig antall foto, og at disse er av tilfredsstillende kvalitet. Konklusjonen var likevel at skredfarevurdering kunne gjennomføres, og at det anbefales å bruke luftfartøydroner der man ikke har godt nok innsyn til løснеområdet fra et trygt sted.

7.31 Laser og radarteknologi steinsprangfare [171]



Figur 29: Venstre bilde: Bakkebasert radar på stålfundament (forgrunnen), bakkebasert laserskanner på trefot (bakgrunnen til venstre). Høyre bilde: Radardata projisert på terrengmodell. Foto hentet fra [135].

7.31.1 Kort oppsummering

I en øvelse med tenkt akutt steinspranghendelse fra Svarthamran på Sunndalsøra, ble nytten av bakkebasert radar og bakkebasert laserskanning testet, [135].

I dette forsøket ble det benyttet bakkebasert radar og laserskanner. Det antas likevel at det bare er et tidsspørsmål før slike målinger kan gjøres fra en luftfartøydroner.

7.31.2 Anvendelse/virksomhetsområde

Kartlegging ved akutt steinspranghendelse

7.31.3 Designelementer/Relevante detaljer

Plassering av radar ble gjort basert på en avveining av fire ulike hensyn:

- God sikt til det ustabile fjellpartiet, siden oppløsningen blir bedre jo nærmere radaren står måleområdet;
- Siktelinje bør være nærmest mulig den forventede bevegelsesretning da radaren måler endring i avstand mellom fjellet og seg selv;
- Praktiske hensyn som f.eks. bilvei lengst mulig fram, tilgang på strøm med mindre man har med strømaggregat, etc.;
- Sikkerhet for personell og utstyr. Laseren krever også god sikt til det ustabile fjellpartiet, men er batteridrevet, lettere og enklere å sette opp.

Rapporten fra øvelsen konkluderer med at dette vil være nyttige data for å gjøre best mulig geologisk analyse av stabilitetssituasjonen, som da kan inngå i en vurdering om evakuering, opprettholdelse eller avvikling av veistegning, osv. I den korte perioden øvelsen pågikk, knappe fire timer, ble det ikke målt bevegelse i området. Øvelsen beskrives som vellykket og dokumenterte at oppsett, måling og presentasjon av resultater kan gjøres raskt og effektivt i en krisesituasjon. De første resultatene for vurdering av stabilitet kunne gjøres etter et par timer etter at skanningen startet. Utrykningstid i en krisesituasjon er dog avhengig av hvor brukerpersoneell og utstyr befinner seg, hvor lang tid som trengs til pakking av utstyr, samt kjøretid til rasområdet. Norges Geologiske Undersøkelse og Åksnes/Tafjor Beredskap som utførte målingene har ingen vakt- eller beredskapsordning.

8 Oppsummering av kartleggingen

Kartleggingen av droneteknologi innen naturfare og infrastruktur har i all hovedsak dreiet seg om resultater ved bruk av luftfartøydroner da det er her hovedvekten av relevante resultater har vært tilgjengelig. Kun et tilfelle av en skinnegående (på jernbaneskinne) bakkefartøydroner er funnet. Det er mye fokus på førerløse biler, men det har ikke blitt funnet noen konkrete anvendelser i forbindelse med naturfare og infrastruktur.

8.1 Kort oppsummering av status på dokumenterte erfaringer, modenhet og bruksområder

I tabellen nedenfor gir vi en kort oppsummering av Kapittel 7 med hensyn status på dokumenterte erfaringer ved bruk av droneteknologi, modenhet av teknologien, samt typiske bruksområder for droneteknologi.

| | |
|---|---|
| Status på dokumenterte erfaringer ved bruk av droneteknologi | <ul style="list-style-type: none"> • Luftfartøydroner er mye brukt innen militære anvendelser for bl.a. overvåkning og "skarpe" situasjoner. • Kommersielle anvendelser er i hovedsak basert på bruk av luftfartøydroner påmontert RGB-kamera. • Kamerabildene brukes enten direkte (dvs. at en person ser på bildene for og, f.eks., avdekke feil under en inspeksjon eller få en oversikt over status på området der bildene er tatt), eller som underlag til og delvis automatisk å generere to- eller tredimensjonale kart/terrengmodeller med svært høy oppløsning (~centimeter) av området som er inspisert. • Droneoperasjoner utføres typisk i godt vær, men det finns også eksempler på bruk i sterk vind (stiv kuling) og nedbør. En del luftfartøydroner er bygget for å takle større vindstyrke, og regn, og aerostat er et eksempel på drone som er laget for å tåle tøft vær. |
| Modenhet av teknologi | <ul style="list-style-type: none"> • RGB-kamera relativt modent. Dårlig sikt/vær kan fort være begrensende på kvaliteten til bildene som tas. • Teknologien for å generere 2D og 3D terrengkart er kommet langt. • Tilbudet i Norge karakteriseres av noen større profesjonelle aktører samt mange små aktører som tar enkeltoppdrag. Det som karakteriserer typiske norske tjenesteleverandører er at de har få ansatte, og må levere ett vidt spekter av tjenester for å ha nok omsetning. |
| Typiske bruksområder | <p>En luftfartøydroner brukes typisk sammen med et påmontert kamera. Et slikt oppsett er mest brukt til:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kartlegging og inspeksjon, f.eks. i og rundt vei og jernbane, [17], [29], [24], [56], [54]. • Eiendomsdeling: bilder av hus og eiendom. • Masseuttakberegninger i dagbrudd [67] og oversikt over anleggsområder. |

I tabellen nedenfor gir vi en oppsummering av anvendelsene som nevnes i Kapittel 7 og gir en oversikt over tilhørende sensorsystemer som ble brukt for å løse anvendelsene.

| Anvendelse | Nyttelast relevant for anvendelsen ³ |
|--------------------------------------|---|
| Skredfare, Kapittel 7.1 | RGB kamera, videokamera |
| Estimering av snødybde, Kapittel 7.2 | Laserskanner, RGB kamera |
| Snøskredvarsling, Kapittel 7.3 | Radar, RGB kamera |

³ Sensorer/systemer brukt utelukkende for posisjonsbestemmelse, navigasjon eller kommunikasjon er ikke tatt med dersom dette ikke er nevnt eksplisitt.

| | |
|---|--|
| Snødybdemåling og snøskredvarling, Kapittel 7.4 | Kamera, termografisk kamera, nær-infrarødt kamera anbefales. Laserskanner, gammastråledetektor og SAR har begrensninger med tanke på kostnad/vekt. |
| Assistanse ved flom, Kapittel 7.5 | RGB kamera |
| Inspeksjon av jordvoll mot vei, Kapittel 7.6 | RGB kamera |
| Kartlegging av vei/jernbanekryss, Kapittel 7.7 | RGB kamera |
| Inspeksjon av jernbanebro og veibro, Kapittel 7.8 | RGB kamera, videokamera |
| Inspeksjon av jernbanelinje (jernbanelinjegående drone), Kapittel 7.9 | RGB kamera |
| Inspeksjon av signalsystem på jernbane, Kapittel 7.10 | RGB kamera |
| Inspeksjon av kraftledninger, Kapittel 7.11 | RGB kamera, videokamera |
| Inspeksjon av høyspentmaster, Kapittel 7.12 | RGB kamera |
| Hindre reinpåkjørslar på jernbane, Kapittel 7.13 | RGB kamera |
| Fremstilling av 2D og 3D kart, Kapittel 7.14 | RGB kamera |
| Overvåking av isbredynamikk, Kapittel 7.15 | RGB kamera |
| Beredskapstjeneste, Kapittel 7.16 | RGB kamera, videokamera, termografisk kamera |
| Kartlegging av ungskog, Kapittel 7.17 | RGB kamera, nær-infrarødt kamera, og kamera med filter spesifikt for å evaluere vegetasjonsindekser |
| Kartlegging av skogsverdi, Kapittel 7.18 | Laserskanner, RGB kamera |
| Innenfor politiets tjeneste, Kapittel 7.19 | RGB kamera, termografisk kamera |
| Oljevernberedskap (Aerostat), Kapittel 7.20 | RGB kamera, infrarødt kamera |
| Inspeksjon av offshore fakler, Kapittel 7.21 | RGB kamera, videokamera |
| Levering av medisiner, Kapittel 7.22 | Videokamera brukes for overvåking av dronen og eventuell fjernstyring |
| Rekognosering i stridsområder, Kapittel 7.23 | RGB kamera |
| Fjernstyring av anleggsmaskiner, Kapittel 7.24 | Videokamera brukes for fjernstyring |
| Førerløse biler, Kapittel 7.25 | Bruker en hel rekke sensorer for navigasjon: RGB kamera, videokamera, laserskanner, radar, treghetsnavigasjonssystem, mottaker for satellittnavigasjon, etc. |
| Midlertidig kommunikasjonsnettverk, Kapittel 7.26 | Må inneholde kommunikasjonsutstyr for overføring av data |
| Oppmåling av kystsonen (Bemannet fly), Kapittel 7.27 | Laserskanner, RGB kamera, videokamera, termografisk kamera |
| Bunntopografimåling, Kapittel 7.28 | RGB kamera |
| Senter for autonome maritime operasjoner og systemer, Kapittel 7.29 | I forskningen tas det i bruk en rekke forskjellige sensorteknologier |
| Vurdering av steinsprangfare, Kapittel 7.30 | Videokamera, RGB kamera |
| Vurdering av steinsprangfare (bakkemontert utstyr), Kapittel 7.31 | Radar, laserskanner |

8.2 Fordeler ved bruk av droner

Droner brukes ikke nødvendigvis fordi resultat blir bedre. Ofte brukes de fordi de er billigere i bruk enn konvensjonell metoder. For luftfartøydroner så gjelder dette blant annet en del inspeksjonsoppdrag hvor manuell inspeksjon er tidkrevende, eller leie av konvensjonelt bemannet helikopter er for dyrt. Luftfartøydroner brukes også for ikke unødige utsette mennesker for risiko. Et eksempel er innenfor

inspeksjonsoppdrag som ville medført klatring. Droner kan i mange tilfeller brukes i dårlig vær uten risiko for menneskelig. Sammenliknet med konvensjonelle bemannede helikoptre er luftfartøydroner som oftest mye mindre, og kan gå nærmere infrastruktur. De gjør også mindre skade ved en eventuell kollisjon.

Bruk av bakke- og luftfartøydroner gir mange muligheter. Dette inkluderer bl.a.:

- Få visuell oversikt over områder som er vanskelig tilgjengelig / utilgjengelig (f.eks. bratte fjellsider eller skredutsatte områder) – dette gjelder hovedsakelig for luftfartøydroner.
- Få plassert en sensor (f.eks. et kamera) nærmere punktet/objektet som er av interesse under en inspeksjon.
- Mulighet for å gjøre inspeksjon / få oversikt uten å måtte sende ut folk.
- Repeterbarhet i målinger: Bruk av droner gir mulighet til å gjøre opptak på nøyaktig samme sted gang etter gang for lettere å kunne sammenligne med tidligere utførte inspeksjoner.
- Automatisering av datainnsamling: En luftfartøydroner kan f.eks. programmeres til og automatisk ta bilder av et landområde eller en veistrekning.

8.3 Ulemper med bruk av droner

I forbindelse med storbrannen i Lærdal i 2014, måtte politiet innføre flyforbudssone over Lærdal sentrum etter at en drone skapte problemer i redningsarbeidet, [76]. Dronen skapte problemer for helikoptre som deltok i redningsarbeidet, og førte til en anmeldelse av dronepiloten i etterkant. Luftforsvaret som leverte anmeldelsen begrunnet den med at de vil ivareta sikkerheten for sine flygere, [75]. Kommunikasjonsdirektør i Luftfartstilsynet påpeker at det er viktig at operasjoner i nærheten av et ulykkessted, skjer i samråd med skadestedsleder, [76].

Stabssjef i Sør-Trøndelag politidistrikt stiller seg kritisk til at det ikke stilles krav til de som kjøper seg droner, og mener at effektivt redningsarbeid er avhengig av at luftrommet er fritt, [75]. I samme artikkel uttrykker Norsk Luftambulans sin bekymring med prøveordningen til Nasjonal Sikkerhetsmyndighet hvor man nå under visse forutsetninger blant annet med tanke på personvern, kan slippe å søke for å få filme og fotografere fra droner, se også [77]. Det påpekes at en drone kan ha fatale konsekvenser dersom den kommer inn i rotorsystemet til et helikopter. Droneflygere som opererer i privat regi eller uten de nødvendige tillatelser, er sannsynligvis også uten radioforbindelse, og man vet derfor ikke hvor de befinner seg. Det finnes en rekke eksempler i media på misbruk av droner, f.eks. til uønsket filming [70]. I [175] er det et eksempel på at en kvinnelig triatlet ble skadet som følge av at en drone styret.

Under en konsert i Verdal kommune ble en luftfartøydroner fløyet over folkemengden, [158]. I dette tilfellet hadde vedkommende som fløy dronen en tillatelse til fotografering fra lufta, men han hadde ikke tillatelse fra luftfartstilsynet. Man trenger ingen tillatelse for å fly modellfly, men så snart flyvingen ikke handler om rekreasjon, sport eller konkurranse så må tillatelse innhentes. I dette tilfellet ble det bedrevet nytteflyving uten nødvendig tillatelse. Flyvingen skjedde sågar over en folkemengde, med den risiko det medfører, og det var heller ikke avklart med publikum på noe som helst måte at de ble filmet. Flyoperativ inspektør i Luftfartstilsynet er sitert på at det er et problem at folk ikke ser skadepotensialet ved bruk av droner.

Regelverket kan også være komplekst å forholde seg til, i og med at bruk av kamerabærende luftfartøydroner er regulert av rekke lover og regelverk. Overskrifter gjengitt i media som "Nå kan alle gjøre det", [77], eller "Fritt frem for filming med drone", [159], "Nå kan alle fly droner", [160], kan gi et forenklet inntrykk av regelverket. I [161] framgår det at EU-kommisjonen vil rydde opp i regelverket slik at det blir en felles standard for bruk og utvikling av droner. De foreslår felles regler for privatlivets fred, databeskyttelse, forsikring og erstatningsansvar. Utviklingen av regelverk for luftfartøydroner har vært begrenset av to hensyn: Man ønsker at lovverket skal sikre mot uønskede effekter, men samtidig må det være liberalt nok til at industrien kan ta teknologien i bruk og være konkurransedyktig i utviklingen av disse. Blant

tjenesteleverandører er det uttrykt bekymring for at useriøse aktører og hobbyflygere kan bidra til et strengere regelverk for bruk av droner.

8.4 Utfordringer med bruk av droner

Det er en del faktorer som må evalueres før man kan konkludere om at luftfartøydroner kan brukes effektivt og rutinemessig for innsamling av data relatert til naturfarer eller infrastruktur. Noen av disse faktorene er blitt belyst i [101], [139]:

| | |
|----------------------------------|---|
| Flyforhold | For å være et effektivt hjelpemiddel må dronene kunne operere over ulendt terreng og i mange slags værforhold. Dette inkluderer kraftig vind, regn, snø, lave temperaturer og dårlig sikt. |
| Rekkevidde og utholdenhet | Mange kommersielle luftfartøydroner benytter seg av batteri siden disse ofte er mer pålitelig enn bensinmotorer samt at det er enklere å bruke. Batteri gir på sin side en ganske begrenset flytid, særlig dersom nyttelasten eller sensorene dronen skal løfte er tung eller energikrevende. |
| Sensorer | Den mest brukte nyttelasten er RGB kamera, men mange andre sensorteknologier er blitt foreslått og testet. Det er et åpent spørsmål om hvilke sensorer som bør brukes for miljøovervåkning, og hvilke som kan brukes på små luftfartøydroner med tanke på vekt, energiforbruk, størrelse og flystabilitet. |
| Regelverk | All bruk av luftfartøydroner i Norge må være godkjent av Luftfartstilsynet. Prosesseringstiden av søknader for flytillatelse kan være til hinder for spontan bruk av luftfartøydroner, og bruk i beredskaps- og krisesituasjoner. Da det gis generell tillatelse til å operere med visuell kontakt og under 130 meter, ansees ikke dette å være noe stort problem. Det nåværende regelverket vanskeliggjør bruk av operasjoner hvor piloten ikke har direkte visuell kontakt med dronen, noe som også gir en del begrensninger i mulige applikasjoner. |
| Kostnad | Kostnaden ved bruk av luftfartøydroner minker, mens kapasiteten og mulighetene stadig øker. Det finnes mange eksempler på at droner gjør det mulig å utføre operasjoner enklere og bedre enn hva tilfellet er i dag. Dette betyr ikke nødvendigvis at de er lønnsomme, og det kan da være uklart om en kunde er villig til å betale ekstra for en forbedret tjeneste. I tillegg bør man, hvis man har tenkt å gjennomføre droneoperasjoner med jevne mellomrom, også budsjettere med sporadiske tap av droner, da disse så langt har hatt en hyppig kræsrate. Til slutt finnes det eksempler, særlig fra militær bruk, på at den totale kostnaden og det totale personellbeslaget har økt ved innføring av droner, nettopp på grunn av de helt nye mulighetene disse har introdusert. |
| Eierskap | NIFS er som sluttbruker først og fremst interessert i luftfartøydroner som sensorplattformer, og hva de kan skaffe til veie av måledata. Et relevant spørsmål er da om hvordan eierstrukturen bør være. Fordelen med å kjøpe tjenester er at man ikke trenger å bygge den samme kompetansen rundt bruk av droner og sensorteknologi, og heller ikke gjøre store investeringer. Samtidig finnes det ikke noen dronetjeneste i Norge som tilbyr døgnekstremt beredskap. |

I [71] beskrives en situasjon hvor en luftfartøydroner og et annet luftfartøy var nær ved å kollidere. For å unngå denne typen hendelser, og for i høyere grad kunne dele luftrom med andre luftfartøy er det viktig med maskinvare og programvare for aktiv kollisjonsunngåelse. Bruk av radar og transponder er mulige teknologier, [186]. En av utfordringene med radar er at det går på bekostning av annen nyttelast, eventuelt at flytid eller rekkevidde blir redusert. Utfordringen med helautomatisk kollisjonsunngåelse for luftfartøydroner er ikke løst i dag og det gjøres mye forskning og utvikling på området.

En annen sikkerhetsmessig utfordring ved droner er at deler av den autonome funksjonaliteten baserer seg på bruk av satellittnavigasjonssystemer. Ikke bare er de svake signalene fra satellittnavigasjonssystemer utsatt for støy bevisst eller ubevisst, men i [163], [164] er det er mulig å overta styringen av en drone ved at man sender ut signaler som dronen forveksler med de ekte satellittnavigasjonssystemene. Dronen forholdt seg i dette forsøket til de falske signalene, og ved intelligent generering av slike signaler kan i prinsippet dronen styres hvor som helst.

Det finnes også en rekke applikasjoner for droner hvor det er manglende dekning fra satellittnavigasjonssystemer. Innendørs og inne i tunneller er et selvsagt eksempel, men også ved polområdene er det manglende eller kun delvis dekning noe som fører til redusert posisjonell nøyaktighet, [66]. Manglende dekning kan også være et problem nær høy bebyggelse eller høye fjell. Det siste kan være en utfordring for kartlegging av skredfare, nettopp på grunn av beliggenheten i bratte skråninger og nær høye fjell som begrenser mottaket for satellittsignaler. Det samme problemet kan oppstå ved inspeksjon i dype bekkedaler eller raviner.

I følge [155] påpekes det at en av hovedutfordringene med luftfartøydroner er at sannsynligheten for at farkosten går tapt er betydelig, typisk 50 % i dårlig vær og 5-10 % i godt flyvær. Skal man investere i en mer pålitelig luftfartøydroner når man rask kostnaden til en bemannet plattform. Det skal presiseres at denne rapporten var fra 2009 og at teknologiutviklingen stadig vil gjøre luftfartøydroner mer robuste.

Bruksområdet for luftfartøydroner til oljevernberedskap ble i [155] nettopp på grunn upåliteligheten begrenset til to områder:

- Systematisk vertikalfotofering av et kystområde for å identifisere oljepåslag. Sensoren er billig, slik at tap kan aksepteres.
- Flyvning ut fra skip i åpen hav under krevende værforhold der helikopter og fly ikke kan operere.

I industrier hvor man har høye krav til sikkerhet, som f.eks. innen olje- og gasssektoren, har man typisk oppnådd sikkerhet ved å introdusere redundans. For luftfartøydroner har dette vært utfordrende siden man har begrenset løftekapasitet, og at den kapasitet som er tilgjengelig ønskes brukt til sensorer eller eventuelt batteri for å øke flytiden. Innen olje- og gasssektoren har man også en rekke standarder og strenge krav til dokumentasjon på ytelse og sikkerhet. Å innføre slike krav ved bruk av luftfartøydroner kan øke sikkerheten ved bruk av droner, men det kan også virke hemmende på næringen som helhet med skjerpede krav. Luftfartøydroner er til en viss grad i bruk i olje- og gassindustrien i dag for inspeksjonsoppdrag.

I forbindelse med bruk av luftfartøydroner i beredskapssituasjoner er det flere utfordringer. For rask tilstedeværelse kreves det de nødvendige fly- og fototillatelse er på plass, at kvalifisert personell og eventuell støtteinfrastruktur er tilgjengelig. Med tanke på mobiliseringstid, er det også avgjørende at personell og utstyr ikke befinner seg for langt fra ulykkesområde.

Generering og prosessering av store mengder data kan være utfordrende. Ved bruk av for eksempel hyperspektral kamera genereres det så mye data at lagring i seg selv kan være et problem. Prosessering av 2D- og 3D-modeller kan også være tidkrevende. Enkelte produsenter tilbyr lavoppløselig forhåndsvisning, slik at man kan få umiddelbar tilbakemelding på bildekvaliteten, [26].

De store mengdene data som droneinspeksjoner potensielt kan generere gir også utfordringer når det gjelder å få tatt i bruk disse dataene innad i organisasjonen. Det gjelder å få lagt opp arbeidsprosessene i organisasjonene slik at disse er tilpasset det utvidete datamateriale som bruk av droner kan gi. Dette gjelder både bruk av ikke-tidskritiske data (som f.eks. ved rutineinspeksjoner), samt hurtig håndtering og inkludering av tidskritisk data som f.eks. opptak gjort i forbindelse med håndtering av en nødsituasjon på grunn av flom/ras.

9 Potensial for bruk av droneteknologi innenfor naturfare og infrastruktur

Droneteknologi har gjennomgått en rivende utvikling, og luftfartøydroneteknologi ble i 2011 kåret til en av de elleve viktigste teknologiene utviklet det siste tiåret. Interessen for droneteknologi er fortsatt økende, og det finnes stort potensiale for en rekke sivile applikasjoner. Dette kapitlet inneholder en oversikt over potensialet for bruk av droneteknologi innenfor naturfare og infrastruktur.

På generell basis så tilbyr bruk av droneteknologi bl.a. mulighetene som ble nevnt i Kapittel 8.2 og gjengitt her for økt leservennlighet:

- Få visuell oversikt over områder som er vanskelig tilgjengelig / utilgjengelig (f.eks. bratte fjellsider eller skredutsatte områder) – dette gjelder hovedsakelig for luftfartøydroner.
- Få plassert en sensor (f.eks. et kamera) nærmere punktet/objektet som er av interesse under en inspeksjon.
- Mulighet for å gjøre inspeksjon / få oversikt uten å måtte sende ut folk.
- Repeterbarhet i målinger: Bruk av droner gir mulighet til å gjøre opptak på nøyaktig samme sted gang etter gang for lettere å kunne sammenligne med tidligere utførte inspeksjoner.
- Automatisering av datainnsamling: En luftfartøydroner kan f.eks. programmeres til og automatisk ta bilder av et landområde eller en veistrekning.

I det som følger gir vi en oppsummering av potensialet for bruk av droneteknologi innen naturfare – et område som har mange felles utfordringer for NIFS-etatene. Deretter går vi mer spesifikt inn på potensialet for de enkelte etatene med fokus på ansvarsområder og infrastruktur. For infrastruktur generelt så har droneteknologi potensial innen bl.a.

- Rutineinspeksjoner.
- Inspeksjoner som følge av feilmelding e.l.
- Sikkerhet og overvåkning.

I tillegg kan redusert kostnad for operasjoner ved bruk av droneteknologi være en potensiell faktor. En slik kostnadsreduksjon kan f.eks. skyldes redusert behov for nedstengning av infrastruktur i forbindelse med inspeksjonsoppdrag siden risikoen for personskader er redusert når man slipper å sende personell i nærheten av inspeksjonsområdet.

9.1 Potensial for bruk av droner innen naturfare

Nedenfor følger en liste over noen potensielle bruksområder av luftfartøydroner innen naturfare:

- **Snøskred** kan føre til stengte veier og toglinjer. I [139] er overvåkning av snøskredsoner anbefalt som et av bruksområdene for luftfartøydroner. Studiene gjort i f.eks. [24], [29] og [149] viser at luftfartøydroner er egnet til å bære sensorer som kan gi målinger av snø og is av høy kvalitet. Luftfartøydroner som krever lite plass, utstyr og infrastruktur for avgang og landing kan brukes som et støtteverktøy for å overvåke snøskredfare ved vei- og jernbanelinje. Større droner med lengre rekkevidde og flytidskapasitet kan brukes til å estimere snøvolum med tanke på flomberedskap og produksjon av vannkraft. Relevant sensorteknologi: Terrengmodeller basert på bilder RGB kamera eller laserskanninger kan brukes for å estimere endringer i snødybder, [112]. Syntetisk Aperture Radar kan brukes til å måle SWE ("Snow Water Equivalent"), mens kamera som detekterer nær-infrarøde bølgelengder er velegnet for å måle parametere relevante for prediksjon av snøskred [29].
- **Sørpeskred** er saktegående bevegelser av snø og vann, som er i stand til å generere kraftige destruktive krefter på grunn av den store massen og tettheten. Sørpeskred kan oppstå når snøen demmer opp bekker og elver, eller når store vannmengder bygges opp i snødekket. De går ofte i terreng med liten helning og rulle utover tilnærmet horisontale områder. Ansamlingen er ofte langt på fjellet, og potensielle startområder for sørpeskred er terrengforsenkninger, myrer, vann, dreneringsløp eller steder hvor snøbarrierer kan demme opp vann i snødekket. Skredene går ofte i faste bekker, og lokalkjente vet hvor de bruker å gå. Her kan en for eksempel se for seg at luftfartøydroner

kan brukes for inspeksjon av løsnemåte og av forhold etter en skredhendelse. Dette gjøres ikke i dag. En mulighet er å bygge oppsamlingsbasseng. Dette er bl.a. gjort i Sjønesheia i Rana kommune. Dette som følge av at det i 1981 gikk det en rekke sørpeskred som resulterte i tilsammen 5 dødsfall og stengte både E6 og Norlandsbanen, [157]. I 2004 ble 35 biler sperret inn av hele 20 sørpeskred i Kjøsnestjørdalen i Jølster, [157]. Et alternativt tiltak til oppsamlingsbasseng er skredoverbygg. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, videokamera, laserskanner, radar.

- I [139] er også luftfartøydroner foreslått til overvåking og kartlegging av **jordskred**. Det vises for eksempel til [141], hvor man ved undersøkte jordskred i Frankrike og konkluderte med at luftfartøydroner kan bidra betydelig i å bedømme forflytning til jordskred, og at lavkostnads luftfartøydroner er egnet til å gi høyoppløselig målinger av jordskred. Under og etter skredhendelser kan sensordata fra luftfartøydroner benyttes som grunnlag for stabilitetsberegninger. Den vanligste utløsende årsak til skred i Norge er utglidning av bekk eller ravine og skyldes erosjon. Nå identifiseres kritiske vassdrag manuelt, og ved at man tar bilder og sammenlikner de fra år til år. Droneteknologi kan brukes for å innhente disse bildene, samt kan potensielt sammenligningsjobben automatiseres. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, videokamera, laserskanner, radar.
- Etter f.eks. **kvikkleireskred** er man nødt til å gjøre stabilitetsberegninger for å finne ut om skredet er "ferdig". Dette gjøres for å få et grunnlag for om eventuelle evakuerte kan flytte tilbake. Inspeksjon kan ikke gjøres manuelt på grunn av ytterligere rasfare, men i stedet benyttes en bakkemontert laserskanner et stykke fra skredet. Dette er en teknikk som ofte ikke fungerer hvis skredet skjer på flatt land. Til slike målinger kan det potensielt brukes luftfartøydroner. Dette vil sette store krav til bestemmelse av dronens egenposisjon. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, laserskanner, radar.
- Luftfartøydroner ansees også å være nyttige ved **rutinemessig oppdrag**, slik som for å overvåke potensielle steinskred, kartlegge og overvåke bekker og raviner, eller for å få et oversiktsbilde over sideterrenget og store bekker under vårløsninga. I tillegg kan man følge opp fra år til år og få tallfestet eventuell bevegelse. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, laserskanner, radar, ToF kamera.
- **Flomskred** oppstår ofte som følge av aktiv erosjon og høy sedimenteringstransport langs elver og vassdrag. Mye masse følger med vannet og kan skape store ødeleggelser. En indikasjon kan være at bekken er blitt stor nede ved vei eller bane, men det er også mulig at bekken har tatt nye veier og det vil da være nyttig å ta i bruk luftfartøydroner for overordnet inspeksjon langs bekketraseer. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, videokamera.
- Dersom **stikkrenner** har gått tett i forbindelse med en fylling, så kan man få utglidning under vei eller bane. Alternativt så kan det skyldes at en vei- eller linjegrøft har gått full over lengre tid, noe som fører til mating av vann inn i fyllingen under veien eller sporet og som hever grunnvannsspeilet. Dette gir større poretrykk og lavere effektivspenninger i fyllingen, og som svekker skjærstyrken og kan føre til utglidning. Potensialet for bruk av luftfartøydroner ansees å være mindre i dette tilfellet, spesielt ved jernbane, da konduktører plikter å si ifra om fulle linjegrøfter. Stikkrenner langs jernbanelinjene kontrolleres dessuten stort sett hver vår og høst. Spesielt utsatte steder undersøkes enda oftere. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, videokamera.
- Luftfartøydroner kan brukes som et hjelpemiddel ved **inspeksjon etter naturskader**. F.eks. for å undersøke et stort område hvor trær har blåst ned, for å undersøke hvordan det ser ut i rasgropa etter at et ras har gått, eller hvordan det ser ut der hvor steinen løsnet fra ved et steinsprang. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, videokamera.
- Ved **flom** er det viktig å få oversikt over flommens utbredelse, blant annet for å kunne gjøre nødvendige evakueringer. Luftfartøydroner kan i så henseende være et nyttig verktøy. Relevant sensorteknologi: RGB kamera og videokamera kan benyttes for å få oversikt over vannmassene. Bilder av flomområdet kan sammenliknes med kart for å estimere vannmassene. Det er også mulig å sammenlikne terrengmodeller før og etter flomhendelsen (hvis slike historiske data foreligger), hvor terrengmodellene er basert på bilder fra kamera, eller fra laserskanning av området.
- Luftfartøydroner antas også å ha potensiale til å benyttes i **kartlegging av preventive tiltak i forbindelse med flomhendelser**, som f.eks. til terrengmodellering for analyse av flomveger ved

ekstreme avrenningshendelser, [179]. Slik terrengmodellering gjøres i dag basert på målinger fra bemannede fly, men kan potensielt også gjøres fra luftfartøydroner. Relevant sensorteknologi er LiDAR.

- I [25] er det foreslått å bruke luftfartøydroner til å slippe mikrosensorer over et potensielt **flomområde**. Disse mikrosensorene sender ut et unikt identifikasjonssignal helt til batteriet er utladet. Dette identifikasjonssignalet kan plukkes opp av luftfartøydroner med direktiv antenne, og det er på den måten mulig å følge bevegelsene til mikrosensorene ettersom de blir tatt av flomvannet. Liknende operasjoner er allerede gjennomført, blant annet har luftfartøydroner sluppet GPS målere ned på isfjell for presist kunne måle posisjonen isbergene hadde over tid, [119].
- I [142] påpekes det at luftfartøydroner er naturlig å bruke ved **nødsituasjoner**, siden de har en høy grad av mobilitet, kan opereres under en lang rekke værforhold, og kan overføre sanntids sensordata. I bl.a. USA og Tsjekkia har luftfartøydroner blitt fløyet over flomområder, [142], [166]. Overføring av bilder i sanntid har bidratt i arbeidet med skadevurdering, redningsoperasjoner, og beredskapsplanlegging. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, videokamera, termografisk kamera.
- Luftfartøydroner kan brukes som en reserveløsning dersom **mobilnettet** skulle være **ute av drift** slik det for eksempel var under flommen i 2011, se [81]. Etter storbrannen i Lærdal sentrum var både mobilnett og fastnett nede, etter at de 13 basestasjonene som Telenor hadde i Lærdal sentrum ble fullstendig utbrent, [82]. En slik anvendelse krever kommunikasjonsløsninger med lang rekkevidde og høy overføringshastighet.

9.2 Potensial for bruk av droner innenfor NVEs ansvarsområde

Flere potensielle anvendelser av droner innenfor NVEs ansvarsområde er allerede nevnt under bruk av droner innen naturfare. Dette gjelder blant annet kartlegging av fare for forskjellige typer skred, flom og ras. For NVE vil utviklingen av mindre laserskannere med større rekkevidde og nøyaktighet være spesielt interessant med tanke på kartlegging av terreng, snømengder eller vannstander, i områder med vegetasjon. Kantvegetasjon langs vassdrag og i skredutsatte områder gjør at fotogrammetri alene vanskelig kan brukes. Batymetri, altså kartlegging av terrenget under vann er et annet eksempel hvor laserskanner har potensiale. Utvikling av mindre og lettere radarer gjør at de lettere kan plasseres på luftfartøydroner. Radar kan godt brukes i beredskapssituasjoner med tanke på at den er uavhengig av dagslys og er lite påvirket av værforhold. Mulighetene for å bruke radar til overvåking av snøskredsoner og til estimering av snøvolum er andre grunner til at radar er en interessant sensorteknologi.

9.3 Potensial for bruk av droner til inspeksjon av Jernbaneverkets infrastruktur

Nedenfor følger en liste over potensiell bruk av luftfartøydroner til inspeksjon av Jernbaneverkets infrastruktur.

- **Tuneller** inspiseres typisk manuelt ved hjelp av en lift på en arbeidsvogn. Det kan ofte være 7-8 meter oppe i taket på jernbanetunneler. Siden kontaktledningsanlegget kan ligge der, må dette slås av ved inspeksjon. Potensialet i å bruke en luftfartøydroner ligger her i at tunnelen kan inspiseres raskere, og inspeksjonen kan gjøres uten at strømmen på kontaktledningsanlegget blir slått av. Relevant sensorteknologi: Dårlig lysforhold gjør at dronen bør utstyres med en aktiv lyskilde i tillegg til RGB kamera. Termologisk kamera kan være relevant for å detektere varmeutvikling i eventuelle elektriske komponenter.
- En del av Jernbaneverkets **infrastruktur** ligger **et stykke fra jernbanesporet**. Dette gjelder f.eks. f.eks. GSMR-master og rassikringstiltak. På Flåmsbanen er det eksempel på rassikringstiltak gjort ganske langt oppe i en fjellskråning, og som er forholdsvis utilgjengelige. Her kan en luftfartøydroner være nyttig som et supplement til manuell inspeksjon. Det er også mulig at droner kan brukes til å innhente måledata fra fjellbolting som brukes for å måle utglidning i rasutsatte områder. Relevant sensorteknologi: RGB kamera.
- En del av infrastruktur som ligger nærmere jernbanelinjen kan også være vanskelig å inspisere. Særlig gjelder dette **infrastruktur i bratt terreng, eller infrastruktur som tilstøter vann**. Eksempler er

støttemurer eller bratte fyllinger. Fyllingene kan være utsatt for erosjon i vannkanten, og må derfor inspiseres regelmessig. Manuell inspeksjon kan medføre at man må klatre ned ovenfra, eller alternativt inspisere fra båt på vann. Relevant sensorteknologi: RGB kamera.

- **Bruer, snøskjerner og tunnelportaler** er eksempler på infrastruktur hvor manuell **inspeksjon** kan være krevende, og sannsynligvis medfører klatring. En luftfartøydroner vil kunne gjøre inspeksjonen enklere og sikrere. Relevant sensorteknologi: RGB kamera.
- Man kunne tenke seg at luftfartøydroner kunne brukes som **kommunikasjonsnett** for jernbanelinjen, men i og med at GSMR nettet har en viss redundans ansees potensialet som heller lite. Relevant sensorteknologi: Robust kommunikasjonsutstyr med god rekkevidde og dataoverføringskapasitet.
- Luftfartøydroner kan i prinsippet brukes til å detektere **solslyng eller vilt på sporet**. Dette er i midlertidig forbigående fenomener som vil kreve kontinuerlig overvåking av sporet i kort avstand foran toget. Med tanke på hastigheten til togene og antall tog vil dette være komplekst å innføre generelt. I tillegg har man selvfølgelig en del utfordringer knyttet til det å fly over så lange strekninger, både med tanke på flytid og med tanke på risikoen forbundet med dronene som skal fly inn- og ut av tett befolkede områder. Til sist er det jo også en mulighet for alternative måter å overvåke banene på, slik som permanente kameraer, intelligente sensorer på linjene, etc. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, LiDAR.
- Luftfartøydroner har på sikt også potensiale til å brukes for **visuell inspeksjon** av f.eks. sporvekslere ved feilmeldinger. Man kan se for seg å sende ut en luftfartøydroner i stedet for personell for en første inspeksjon. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, LiDAR.

Når det gjelder bakkegående droner til inspeksjon av Jernbaneverkets infrastruktur, så ansees potensialet å være mye mindre. Inspeksjon av selve skinnegang gjøres i dag hovedsakelig fra en arbeidsvogn. Teknologisk er det ingenting som tilsier at det samme arbeidet ikke kan utføres med en bakkegående drone, men med mindre man greier å overføre all funksjonalitet over på dronene er det sannsynligvis lite å tjene på dette. Linjegående droner for inspeksjon av sporvekslere er f.eks. blitt introdusert [45]. Linjegående droner kunne også vært sendt ut i forkant av et tog for å avdekke avvik på skinnene. En av de begrensede faktorene for bruk av slike er kapasiteten til jernbanenettet. Argumentet for å introdusere slike førerløse inspeksjonsdroner i stedet for dagens arbeidsvogner, er noe tilsvarende argumentasjonen for å introdusere førerløse tog. Luftfartøydroner har den fordelen at de ikke er begrenset av kapasitet til jernbanenettet. De kan derfor i noen tilfeller tenkes brukt uten at man trenger å gjøre stopp i trafikken.

I stedet for å introdusere skinnegående droner kan det være mer aktuelt å utstyre arbeidstog eller rutegående tog med mer måleutstyr. Det franske nasjonale jernbaneselskapet SNCF har for eksempel gått til innkjøp av en laserskanner som kan plasseres direkte på en skinnegående enhet, [114]. Disse brukes til å detektere naturlig hindringer langs jernbanenettet som f.eks. vegetasjon, detektere infrastrukturbegrensninger for spesialtransport, og inspeksjon av skinne og grunnforhold. I tillegg kan den brukes til å registrere og georeferere infrastruktur langs jernbanenettet, og på den måten oppdage endringer i f.eks. avstanden mellom tog og plattform. Fordelen med å plassere slikt utstyr på tog som allerede er i rute, er at man slipper å ha egne arbeidsvogner, førerløse eller ikke, som tar opp kapasitet på nettet og på den måten fører til forsinkelser.

9.4 Potensial for bruk av droner til inspeksjon av Statens Vegvesens infrastruktur

Nedenfor følger en liste over potensiell bruk av luftfartøydroner til inspeksjon av Statens Vegvesens infrastruktur:

- Luftfartøydroner kan brukes til inspeksjon av **tuneller**. Sammenliknet med manuell inspeksjon kan inspeksjonen gjøres mer effektivt, som først og fremst har den betydning at veien kan åpnes igjen raskere. Ved bruk av drone, er det ikke behov for klatring og man unngår den risiko det medfører.

Relevant sensorteknologi: RGB kamera, videokamera og aktiv lyskilde. Termologisk kamera kan benyttes for å detektere varmeutvikling i eventuelle elektriske komponenter.

- **Infrastruktur som ligger langt fra vei** kan lettere inspiseres ved hjelp av en luftfartøydroner. Eksempler på slik infrastruktur er rassikring og bolter. Relevant sensorteknologi: RGB kamera
- **Støttemurer og fyllinger** kan i noen tilfeller være vanskelig å inspisere manuelt. Fyllingene kan for eksempel være utsatt for erosjon i vannkanten, og må derfor inspiseres regelmessig. Manuell inspeksjon kan medføre at man må klatre ned ovenfra, eller alternativt inspiserer fra båt. Relevant sensorteknologi: RGB kamera.
- **Bruer, snøskjermer og tunnelportaler** er eksempler på infrastruktur hvor manuell inspeksjon kan være krevende, og sannsynligvis medfører klatring. En luftfartøydroner vil kunne gjøre inspeksjonen enklere. Luftfartøydroner har allerede vært brukt som et lavkostnadsverktøy for å inspisere bruer [158], veioverflater og annen infrastruktur innen transport,[143], [148]. Relevant sensorteknologi: RGB kamera, laserskanner og radar.
- Luftfartøydroner brukes allerede i forbindelse med **anleggsarbeid** langs vei. Det er sannsynlig at droner i enda større grad kan benyttes, f.eks. i planleggingsfasen av nye veitraseer med tanke på klassifisering av vegetasjon eller deteksjon av forhistoriske kulturminner. Relevant sensorteknologi: multispektrale eller hyperspektrale kamera for vegetasjonklassifisering og radar for deteksjon av fortidsminner.
- Mindre luftfartøydroner kan benyttes til inspeksjon av **gruverom og oljelager** hvor det ikke er ideelt å sende inn personer. Også høye bergrom med vanskelig tilkomst kan være et mulig bruksområde. Relevant sensorteknologi: RGB kamera med aktiv lyskilde.

Statens Vegvesen har også en del andre ansvarsområder hvor luftfartøydroner kan brukes. F.eks. kan droner brukes til innhenting av data relatert til veitrafikk som trafikkvolum, kølengde, etc [113],[145], [146], [147].

Potensialet for bruk av bakkegående droner ansees foreløpig å være noe mindre. I [140] beskrives en utprøving av teknologi for nøyaktig og effektiv posisjonering av objekter i tilknytning til veiinfrastruktur, f.eks. trafikkskilt, overvannsrenner, rekkverk, for registrering i Nasjonal vegdatabank. En slik registrering kan potensielt gjøres med førerløse biler i fremtiden. Førerløse biler kan forøvrig også utstyres med sensorer for å undersøke tilstanden til veioverflate eller detektere snømengde. Det overstående gjelder selvsagt også for biler med fører. Det er også sannsynlig at lastebiler og anleggsmaskiner i fremtiden kan opereres førerløst og brukes til f.eks. brøyting, grusing eller annet vintervedlikehold.

10 Anbefalinger for bruk av droneteknologi

Dette kapitlet gis det anbefalinger og tilrådninger basert på den foregående kartleggingen av dokumenterte erfaringer og evaluering av potensiale for bruk av droneteknologi.

Det er ingen tvil om at potensialet til droner er stort, og at det i mange sammenhenger vil være et nyttig verktøy innenfor NIFS-etatens interesseområder. Vi vil likevel understreke at droner i dette tilfellet kun er interessante som sensorplattformer (og ikke for intervensjon). Fokus må derfor være på kvalitet på måledata, tidsforbruk, områdedekning, etc. En høy grad av autonomi kan derfor være fordelaktig for å forenkle bruken av droner. Samt at det kreves et sterkt fokus på hvordan man får dataene fra dronebruk inn i organisasjonenes systemer og arbeidsprosesser. Teknologien er i stadig utvikling og fører til lettere sensorer, høyere nyttelastkapasitet, større rekkevidde, etc. Samtidig er det viktig å påpeke at det innenfor den militære industrien finnes eksempler på at luftfartøydroner har blitt stadig dyrere, og krever stadig mer personell.

Det finnes sensorteknologi og droneplattformer som er moden for en rekke anvendelser innenfor overvåking og kartlegging av naturfare og infrastruktur. Likevel er det en del utfordringer knyttet til det å kunne operere i regn, og vind, samt snø, kulde, og manglende dagslys i vinterhalvåret. Dette er aspekter som bør utredes videre.

Vanlig feil på luftfartøydroner skyldes tap av kommunikasjon, sensorfeil, aktuatorfeil, ising i forgasser eller drivstoffinntak, eller ising på droneskroget. Særlig under visse atmosfæriske forhold kan islag bygges seg opp på skroget som dramatisk påvirker aerodynamikken og resulterer i dårligere ytelse eller til og med mangel på styring av dronen. Batterilevetid kan også minke drastisk i svært kaldt vær. Slike feil kan være kritisk for bruken av luftfartøydroner, og en stor kostnad er knyttet til tap av droner som skyldes en eller flere av de ovenfor nevnte feilene.

For å kunne identifisere de største teknologiske og operasjonelle utfordringene anbefales det at NIFS inviterer tjenesteytere til å teste ut sin teknologi under relevante omstendigheter. Slike tester bør både granske evnen til å operere i dårlige værforhold, beredskapstid, samt dronenes utholdenhet og rekkevidde og kvalitet på sensordata. En annen type test bør gå repeterbarhet av operasjoner, og håndtering og presentasjon av data, slik at analyse av endring av data over tid lett kan gjøres av sluttbruker. Slike utlysninger vil være pådrivere for å rette opp for teknologiske og operasjonelle mangler, slik at tjenesteytere besitter en kvalitet som gjør droner enda mer anvendelig for NIFS som sluttbrukere.

På generell basis så ligger potensialet for bruk av droneteknologi i NIFS-etatene på kort sikt innen blant annet følgende områder:

- Ta i bruk eksisterende teknologi og kompetanse mer aktivt. F.eks. økt bruk av luftfartøydroner for visuell inspeksjon i vanskelig tilgjengelige områder.
- Ta i bruk eksisterende teknologi på en bedre måte. For å få god utnyttelse av mulighetene som droneteknologi kan tilføre må organisasjonen være giret for å ta i bruk den dataen som blir tilgjengelig. Data fra oppdrag med droner må inn i eksisterende arbeidsprosesser og systemer, og der det er behov må nye prosesser og systemer utarbeides.

På lengre sikt er følgende områder aktuelle

- Være en pådriver for å ta i bruk teknologi som ikke er del av dagens "normaloperasjoner". F.eks. økt bruk av laserskanner fra luftfartøydroner. Dette kan gjøres i samarbeid med tjenesteleverandører.
- Bidra til utvikling av ny teknologi som gir flere muligheter og enklere operasjoner. Dette gjelder bl.a. økt grad av autonomi i selve droneoperasjonene (som igjen f.eks. kan muliggjøre å ha "garasjer" med droner som på lang sikt utfører oppdrag helt eller delvis autonomt), samt automatisk analyse av dataene som kommer fra dronen. Sistnevnte vil bli mer og mer aktuelt da mengden data som samles inn med drone lett kan bli overveldende å håndtere manuelt på en god og effektiv måte.

Blant annet har EU insentivordninger som kan bidra med kapital i offentlig-private utviklingssamarbeid.

10.1 Testforsøk

Som foreslått i [139] kan en slik evaluering av droners nytteverdi best gjennomføres ved at norske og europeiske system- og tjenesteleverandører får demonstrere sin teknologi. Demonstratoren bør dekke et relevant ansvarsområde for NIFS etatene, som f.eks. kartlegging av snø- eller jordskredfare.

En egnet sted for en slik test vil

- være i nærheten av fjellterreng med typiske karaktertrekk for snø- og/eller jordras, og
- ha nær tilgang til kost- og losji for deltakerne.

Dersom europeisk tjenesteleverandører skal kunne delta på en slik test, er det best om man kan avklare med Luftfartstilsynet om en felles tillatelse for disse testdagene. En mulighet er at en institusjon har alt det operasjonelle ansvaret. Det anbefales at man oppfordrer til at både leverandører med både fastvinge- og rotorvingedroner deltar, slik at man kan sammenlikne og evaluere nytten av plattformtypene.

Minimumskrav til tjenesteleverandørene for å få delta er at deres system:

- kan operere i kuldegrader, ned mot -15 grader celsius
- kan fly i vind opptil 10 meter per sekund
- kan fly autonomt opp mot 1000 meters høyde
- kan fly autonomt i en forutbestemt bane
- har tilstrekkelig utholdenhet til å fullføre en kartlegging og returnere sikkert til landingsområde
- er utstyrt med kamera og kan overføre video i sanntid av valgte geologiske kjennetegn og detaljer, slik som f.eks. skredbane eller snøskavel, og infrastruktur som vei eller jernbanelinje
- er utstyrt med kamera som kan ta stillbilder og/eller video i høy oppløsning av ovenfor nevnte geologiske detaljer
- kan brukes til å demonstrere en annen sensor, f.eks. termografisk sensor eller laserskanner.

En utlysning bør skje i god tid før testen slik at interesserte har tid til å søke og å forberede seg. I søknaden bør det kreves at spesifikasjoner av systemet framgår, samt et overslag av utstyrs kostnader fra systemleverandører eller operasjonelle kostnader fra tjenesteleverandører. Dette er en viktig del av demonstratoren da kostnadene kan brukes som et utgangspunkt for å evaluere om NIFS bør kjøpe og drifte egne systemer, leie tjenester fra andre, eller gå for en mellomting.

Det kan være fordelaktig, som påpekt i [139] at hver leverandør er involvert i tre flyvninger av økende kompleksitet:

- Den første flygningen fremskaffer visuell data over veier, broer, eller annen transportinfrastruktur.
- Den andre flygningen er over kupert terreng, for å samle inn generell informasjon.
- Den tredje flygningen involverer innsamling fra et spesifikt sted knyttet til snøskred, løsnemråde for jordskred, eller et annet geologisk karaktertrekk.

I evalueringen av hver enkelt deltaker bør det blant annet legges vekt på følgende faktorer (i tilfeldig rekkefølge):

- Mobilitet, altså hvor enkelt det er å frakte med seg drone og tilhørende utstyr.
- Mobiliseringstid.
- Kvalitet, prosesseringstid og presentasjon av sensordata.
- Utholdenhet.

- Brukervennlighet.
- Robusthet mot vær og vind.
- Robusthet mot kommunikasjonsfeil.

Det bør tas hensyn til at ikke hver deltaker nødvendigvis opererer under samme værforhold, spesielt ikke dersom testen går over flere dager.

En slik test som beskrevet over er veldig nyttig i den videre evaluering av droneteknologi med tanke på å:

- Utforske de teknologiske mulighetene for luftfartøydroner til å bidra med sensorinformasjon ved naturfarer som snøskred, jordskred, flom, etc.
- Fremskaffe opplysninger relatert til de institusjonelle og økonomiske muligheten luftfartøydroner har som et verktøy for å støtte NIFS i sine operasjoner.

Tjenesteleverandører som effektivt kan gjennomføre operasjonen vil da være godkjent for tilsvarende oppdrag innen NIFS.

10.2 Anskaffelse av drone- og sensorteknologi

Selv om en slik demonstrator bidrar i evaluering av kostnadssiden ved anskaffelse av dronesystem, enten ved kjøp eller leie, så er det ekstremt vanskelig å forsøke tallfeste nytten i kroner og øre.

Dersom droner kan erstatte menneskelig arbeidskraft, helt eller delvis, går det an med god kjennskap til organisasjonen og operasjonene som skal utføres å gjøre beregninger på kostnader med og uten dronebruk. Men som denne kartlegging viser gir droner tilgang til informasjon som tidligere ikke var mulig. Med tanke på at denne informasjonen i ytterste konsekvens kan ha betydning for liv eller død i forbindelse med evaluering av naturfarer, er det ekstremt vanskelig å tallfeste nytteverdien i anskaffelse av droneteknologi.

Dersom det er aktuelt etatene i NIFS å gjøre en storskala innføring av droneteknologi, anbefales det å gjøre en samfunnsøkonomisk beregning for å ha dekning for en slik investering, samt at en slik innføring gjøres stegvis.

Uten å ha tatt resultatet fra testen over i betraktning, kan det være fordelaktig å dele opp nødvendige tjenester på følgende vis⁴:

- Statens Vegvesen, Jernbaneverket og NVE bør selv ha sine egne droner for inspeksjon og kartlegging i beredskapssituasjoner. Dette bør være en type droner som er enkel i bruk (dvs. typisk multirotor- og ikke fastvingedrone), og hvor en eller maks to personer trengs for å utføre operasjonen. De må samtidig være små nok til at de kan tas med i en vanlig tjenestebil, kreve lite eller ingen annen infrastruktur, har lav kostnad slik at man kan akseptere tap av drone, og de bør ha lav vekt slik at konsekvensen ved en krasjlanding minimeres. Et viktig moment å ta i betraktning her er at beredskapssituasjoner kan innebære operasjoner i dårlig vær. Det vil være krevende å operere luftfartøydroner under slike forhold og det bør derfor etableres rutiner for jevnlig flytøying.
- Rutinemessig kartlegging og inspeksjon bør vurderes som en kombinasjon av tjenester kjøpt av tjenestetilbydere samt tjenester utført av NIFS-etatene. Sistnevnte har den fordel at man da opprettholder flyvekompetansen som er nødvendig i beredskapssituasjoner. En del slike operasjoner kan utsettes til det er mindre vind eller nedbør. Ved bedre operasjonsforhold er det mindre fare for tap av drone, og man kan derfor bruke dyrere utstyr som stort sett betyr bedre resultat av

⁴ Denne oppdelingen er basert på vurderinger gjort av SINTEF samt innspill fra Ed McCormack fra Universitetet i Washington.

kartlegging- og inspeksjonsdata. Likevel vil det i deler av Norge være både kaldt og mørkt i vinterhalvåret, og det er viktig at tjenesteleverandører kan operere under slike forhold.

- Kartleggingsprosjekt over større områder bør sannsynligvis fortsatt gjøres ved hjelp av konvensjonelle bemannede fly og helikoptre dersom det er teknisk og geografisk mulig. Denne typen tjenester kjøpes fra tjenesteleverandører. Eventuelt så kan det være opp til tjenesteleverandør å finne ut hva som er mest hensiktsmessig.

10.3 Andre anbefalinger

Foruten forut nevnte testforsøk og tilrådning angående anskaffelse av drone- og sensorteknologi, har vi følgende anbefalinger:

- Etatene i NIFS bør vurdere å opprette et tett samarbeide med tjenesteleverandører. Mange leverandører har god erfaring med å levere tjenester innen bl.a. bygg- og anlegg. Kartlegging og overvåking av naturfare vil muligens være en type oppdrag disse leverandørene ikke er like godt kjent med, og det er derfor viktig i at disse kan opparbeide seg den nødvendige erfaringen for å kunne levere resultat som er tilpasset behovet til NFIS-etatene. I tillegg til kvalitet på tjenester, bør valget av leverandører basere seg på at man har en god geografisk dekning av etatenes interesseområder.
- NIFS bør involvere seg i testprosjekter med laser på drone. Laserteknologi har en rekke anvendelser, men det er først i det siste at slik teknologi er blitt tilgjengelig for mindre luftfartøydroner. Laserteknologi muliggjør blant annet terrengmodellering over områder med tett skog eller annet vegetasjon, noe som ikke er mulig med fotogrammetri basert på kamerabilder.
- NIFS bør involvere seg i testprosjekter med radar på drone. Radarteknologi har en rekke anvendelser, og kan være særlig nyttig i beredskapssituasjoner da den ikke er avhengig av dagslys, og kan fungere under mange slags værforhold.
- Flere av de nevnte potensielle applikasjonene for droneteknologi innebærer at dronen flyr i områder med dårlig dekning av satellittnavigasjonssystemer. Eksempler inkluderer i raviner og nær høye fjell. NIFS bør derfor vurdere å involvere seg i testprosjekter for feiltolerante navigasjonsløsninger som har en viss robusthet mot midlertidige tap av satellittnavigasjonssignaler.
- For å få gode måledata av aktuelle kartleggingsområder kan det være at dronen i noen tilfeller bør styres utenfor det som måtte være visuell siktelinje dronepilots naturlig ståsted. Dette innebærer at dronen må styres ved "first person view" (FPV), og NIFS bør derfor vurdere å involvere seg i testprosjekter for robuste kommunikasjonsløsninger med god rekkevidde og høy dataoverføringskapasitet.
- NIFS bør også ha en tett dialog med Luftfartstilsynet for å finne gode løsninger for gjennomføring av operasjoner utenfor visuell siktlinje i nærheten av vei og jernbane.
- Politi, brannvesen og andre viktige redningsaktører vurderer også bruk av droner. Blant annet konkluderes det med i [174] at droner kan øke politiets beredskapsevne og gi bedre responstid og situasjonsforståelse ved akutte situasjoner. Ved søk og redning kan droner utstyrt med varmesøkende kamera og andre sensor "effektivisere søk etter savnede i skog-, sjø- eller fjellområder. Små helikopterdroner kan raskt sendes i luften og gi overblikk i områder som er farlig og vanskelige tilgjengelig for personell, slik som ved skred, brann og flom." Mulighetene beskrevet over er i sterkt samsvar med deler av behovet som er avdekket for NIFS-etatene. Det anbefales derfor at NIFS følger utvikling og initierer til å samarbeide der hvor dette er naturlig.
- Det anbefales at etatene ser på mulighetene til å utnytte eksisterende kompetanse og infrastruktur for behandling av sensordata. Noen typer sensorteknologi generer store mengder data, og det trengs effektive løsninger for prosessering og lagring. Det sistnevnte er spesielt viktig for repeterende målinger, hvor endringer i terrenget over flere år skal analyseres. Ved akutte hendelser er det viktig at det finnes muligheter for å presentere sensordata på en god måte slik at de riktige beslutningene kan tas. Vegtrafikksentralene er allerede vant med å håndtere store bildemengder. Jernbaneverket bygger på sin side opp en operativ sentral i Trondheim. NVE har en koordinerende rolle i

krisesituasjoner, og ved større hendelser vil det opprettes en felles nødsentral lokalt av f.eks. sivilforsvaret. Det kan fremdeles være fordeler med at sensordata overføres til beredskapsvakta i Oslo for en eventuell videre analyse eller distribusjon av data.

- Å gå til innkjøp av ny teknologi kan sees på som den enkle delen av prosessen. Utfordringene ligger i å ta i bruk teknologien, og få dette inn i arbeidsprosessene. NIFS bør derfor gjøre en nøye vurdering av hvordan dette på mest mulig vis kan organiseres, og innkjøpsprosesser bør foregå trinnvis. Antall hendelser og lokasjonen til hendelser har betydning den geografiske distribusjonen av eventuelt kjøpt utstyr. Distribuerte depot med droner bør vurderes basert på en slik analyse. Større vedlikehold kan likevel skje sentralt. En effektiv organisering forutsetter et innkjøp av et begrenset antall forskjellige typer droner, f.eks. en type rotorvinge- og en type fastvingedrone.
- Ved kjøp av utstyr eller tjenester kan det være en utfordring at sluttbruker ikke kjenner muligheter og begrensinger ved drone- og sensorteknologi. Det er derfor viktig at etatene fortsetter å bygge kompetanse på dette området. UAS Norway arrangerer et f.eks. UAS Nordic Conference, som er Nordens største konferanse om ubemannet flyteknologi. Det anbefales også at NIFS går i dialog med UAS Norway for å få demonstrert teknologi som er relevant for NIFS. Både drone- og sensorteknologi utvikles raskt, og det bør tas høyde for betraktelig kapasitetsøkning i årene som kommer, [174].

11 Konklusjoner

Droneteknologi er mye i bruk i militære anvendelser, men kommersielle anvendelser av droneteknologi er også mange og markedet og mulighetene er økende. Denne rapporten har gitt en oversikt over en mengde anvendelser av droneteknologi og kommet med innspill til potensialet fremover innenfor dette området, samt anbefalinger for videre arbeid med droneteknologi innen etatene i NIFS.

Droneteknologi er allerede i bruk i NIFS-samarbeidet og det er potensial for utvidet bruk rettet både mot naturfare og inspeksjon av infrastruktur. For å oppnå dette på en effektiv og hensiktsmessig måte bør det jobbes for å få på plass arbeidsprosesser som strømlinjeformer både operativ bruk av droneteknologi, samt det å kunne ta i bruk informasjonen som kommer fra dronene på en effektiv måte og innlemme denne i organisasjonenes arbeidsprosesser.

12 Referanser

- [1] Ubemannede luftfartøy – RPAS (FAQ), Aksessert: 16.09.2014, Lenke: <http://www.luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/RPAS-FAQ/>
- [2] AIC–N, Aksessert: 16.09.2014, Lenke: <http://www.luftfartstilsynet.no/regelverk/aic-n/article10861.ece>
- [3] Foto fra luften, Aksessert: 16.09.2014, Lenke: <https://www.nsm.stat.no/tjenester/foto-fra-lufta/>
- [4] Kameradonar og andre ubemanna luftfartøy – kva er lov?, Publisert: 04.04.2014, Lenke: <http://datatilsynet.no/Teknologi/Dronar--kva-er-lov/>
- [5] Ny prøveordning for foto fra luften, Aksessert: 16.09.2014, Lenke: <https://www.nsm.stat.no/aktuelt/ny-proveordning-for-foto-fra-luft/>
- [6] Personvern 2013. Tilstand og trender. ISBN 978-82-92447-57-4 (elektronisk utgave). Aksessert 16.09.2014, Lenke: http://datatilsynet.no/Global/04_veiledere/personvernrapport_tilstand_trender2013.pdf
- [7] P. Mika, Emergency Service Use of UAS, 2009/2010 UAS: The Global Perspective, 2009. Lenke: http://www.microdrones.com/uploads/tx_news/emergency-service-use-microdrones-West-Midlands-Fire-Service-UK.pdf
- [8] C. Koll, Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge (UAS) bei der Unfallaufnahme, 1-3, 2012, Lenke: http://www.microdrones.com/uploads/tx_news/Einsatz-unbemannter-Luftfahrzeuge-bei-der-Unfallaufnahme.pdf
- [9] B. V. Jagt, Snow depth estimation using UAV-based LiDAR and photogrammetry, Presentasjon, Aksessert 26.11.2014, Lenke: http://egl.asprs.org/wp-content/uploads/2013/11/UAV_Snow.pdf
- [10] E. Malnes, Tromsø scientists want to establish a centre of excellence for avalanche monitoring, Publisert: 30.09.2013, Lenke: <http://norut.no/en/news/satellites-make-ski-treks-safer>
- [11] E. Ackerman, SenseFly and Drone Adventures Toss UAVs Off the Summit of Matterhorn, Publisert: 14.10.2013, Lenke: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/aerial-robots/sensefly-and-drone-adventures-toss-uavs-off-the-summit-of-the-matterhorn>
- [12] E. Ackerman, [UPDATED] UAV Provides Colorado Flooding Assistance Until FEMA Freaks Out, Publisert 16.10.2013, Lenke: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/aerial-robots/falcon-uav-provides-colorado-flooding-assistance-until-fema-freaks-out#.Ujcb6Jpx1P4.hackernews>
- [13] L. Wallace, A. Lucieer, C. Watson og D. Turner, Development of UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory, Remote Sensing, 1519-1543, 2012
- [14] F. Carvajal, F. Agüera og M. Pérez, Surveying a Landslide in a Road Embankment Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry, I Proc. of the Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, 1-6, 2011
- [15] E. Malnes, M. Eckerstorfer, Y. Larsen, R. Frauenfelder, Á. Jónsson, C. Jaedicke og S. A. Solbø, Remote sensing of avalanches in northern Norway using Synthetic Aperture Radar, I Proc. of the International Snow Science Workshop, 955-959, 2013
- [16] W. W. Immerzeel, P. D. A. Kraaijenbrink, J. M. Shea, A. B. Shrestha, F. Pellicciotti, M. F. P. Bierkens, S. M. de Jong, High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles, Remote Sensing of Environment, 2014
- [17] Highly Accurate Railway Mapping Project with TopoDrone UAV, Publisert 15.08.2013, Lenke: <http://www.gim-international.com/news/mapping/uas/id7567-highly-accurate-railway-mapping-project-with-topodrone-uav.html>
- [18] French National Railway Company (SNCF) Tests Infrastructure Inspection by UAS, Publisert 13.11.2013, Lenke: <http://www.uasvision.com/2013/11/13/sncf-tests-infrastructure-inspection-by-uas/>
- [19] SNCF run successful UAV project, Publisert 19.03.2014, Lenke: <http://www.totallyunmanned.com/2014/03/19/sncf-run-dedicated-uav-project/>
- [20] I. Colomina og P. Molina, Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 79-97, 2014
- [21] Civil UAV Assessment Team, Earth Observations and the Role of UAVs, 2006

- [22] A. Rango, A. Laliberte, J. E. Herrick, C. Winters, K. Havstad, C. Steele og D. Browning, Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management, *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 3, 2009
- [23] The Use of Unmanned Aerial Systems for Steep Terrain Investigations, Caltrans Division of Research, Innovation and System Information, 2014
- [24] E. McCormack og J. Stimberis, Small Unmanned Aircraft Evaluated for Avalanche Control, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2010
- [25] M. Abdulaal, M. Algarni, A. Shamim og C. Claudel, Unmanned Aerial Vehicle based flash flood monitoring using Lagrangian trackers, *I Proc. of the International Workshop on Robotic Sensor Networks*, 2014
- [26] Sensefly, Lenke: <https://www.sensefly.com>
- [27] DroneMetrex maps a railway with unsurpassed accuracy from its TopoDrone-100, Lenke: <http://new.dronemetrex.com/dronemetrex-maps-a-railway-with-unsurpassed-accuracy-from-its-topodrone-100/>
- [28] N. Pfeifer, P. Glira og C. Briese, Direct georeferencing with on board navigation components of light weight UAV platforms, *I Proc. of International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 487-492, 2012
- [29] J. Lundquist, E. McCormack, F. White, K. Gauksheim, J. Vagners, Snow depths from the heights: Developing a mission specific civilian unmanned aircraft system for sensing the mountain snowpack, 2013
- [30] S. Ø. Flæten, Denne dronen skal frakte medisiner til en øy i Nordsjøen, Publisert: 26.09, 2014, Lenke: http://www.tu.no/it/2014/09/26/denne-dronen-skal-frakte-medisiner-til-en-oy-i-nordsjoen?utm_source=newsletter-2014-09-29&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter
- [31] E. Ackerman, When Drone Delivery Makes Sense, Publisert: 25.09.2014, Lenke: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/aerial-robots/when-drone-delivery-makes-sense>
- [32] S. Ø. Flæten, Sparer millioner på å sjekke kraftlinjene med droner, Publisert: 18.02.2014, Lenke: <http://www.tu.no/kraft/2014/02/18/sparer-millioner-pa-a-sjekke-kraftlinjene-med-droner>
- [33] L. Taraldsen, Statoil bruker fjernstyrte helikoptre for å inspisere fakler, Publisert: 18.10.2013, Lenke: <http://www.tu.no/petroleum/2013/10/18/statoil-bruker-fjernstyrte-helikoptre-for-a-inspisere-fakler>
- [34] DHL parcelcopter launches initial operations for research, Publisert: 09.24.2014, Lenke: http://www.dpdhl.com/en/media_relations/press_releases/2014/dhl_parcelcopter_launches_initial_operations_research_purposes.html
- [35] K. K. Langeland, Vil bli pionerar på inspeksjon av høgspennmaster, Publisert: 09.04.2012, Lenke: <http://www.nrk.no/sognogfjordane/bruker-droner-til-inspeksjon-1.8066037>
- [36] T. Engås, Vaktar ras med dronar, Publisert: 18.11.2013, Lenke: <http://www.smp.no/nyheter/article8644649.ece>
- [37] E. Ackerman, Amazon Promises Package Delivery By Drone: Is It for Real?, Publisert: 02.12.2013, Lenke: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/aerial-robots/amazon-prime-air-package-drone-delivery>
- [38] D. Rushe, Google reveals home delivery drone program Project Wing, Publisert: 29.08.2014, Lenke: <http://www.theguardian.com/technology/2014/aug/29/google-joins-amazon-in-testing-home-delivery-drones>
- [39] Lenke: <http://www.microdrones.com/en/home/>
- [40] E. Inderhaug, Politiets nye hjelper?, *Politi Forum*, Nr 4, Lenke: http://www.politiforum.no/filestore/Politiforum/Filer/PDF_av_bladet/2013/April2013.pdf
- [41] L.-K. Kalkenberg og B. H. Johansen, Jernbaneverket skeptisk til drone, Publisert: 15.04.2010, Lenke: <http://www.nrk.no/nordland/jernbaneverket-skeptisk-til-drone-1.7081298>
- [42] A. Klo og J. H. Tomassen, Vil ta i bruk politidroner, Publisert 28.04.2014, Lenke: <http://www.nrk.no/nordnytt/vil-ta-i-bruk-politidroner-1.11687306>
- [43] Yamaha, Lenke: <http://rmax.yamaha-motor.com.au/>
- [44] Railway switch inspection robot, Aksessert: 26.11.2014, Lenke: http://research.loccioni.com/wp-content/uploads/2013/11/Felix_web.pdf

- [45] Vision-guided robotics: Mobile robots inspect rails, consumer goods, Publisert: 01.10.2012, Lenke: <http://www.vision-systems.com/articles/print/volume-17/issue-9/departments/technology-trends/vision-guided-robotics-mobile-robots-inspect-rails-consumer-goods.html>
- [46] J. R. Edwards, J. M. Hart, S. Sawadisavi, E. Resendiz, C. P. L. Barkan og N. Ahuja, Aksessert 26.11.2014, Lenke: http://railtec.illinois.edu/cee/pdf/Edwards_et_al_AREMA_2009_Final.pdf
- [47] Noca opp i skyene med robotballong, Publisert: 17.06.2013, Lenke: <http://noca.no/nyheter/noca-opp-i-skyene-med-robotballong/>
- [48] Felix, the robot for railroad switch dimensional measurement, Aksessert 26.11.2014, Lenke: http://research.loccioni.com/wp-content/uploads/2013/11/Felix_web1.pdf
- [49] Lenke: <http://www.maritimerobotics.com/>
- [50] Updating Deutsche Bahn railway mapping with UAV, Aksessert: 26.11.2014, Lenke: http://issuu.com/blomgroup/docs/deutsch_bahn_uav_screen
- [51] Astec, Lenke: <http://www.asctec.de/en/>
- [52] The Cyberhawk, Lenke: <http://www.thecyberhawk.com/>
- [53] Cyberhawk buzzes Dogger masts, Publisert: 28.04.2014, Lenke: <http://renews.biz/65660/cyberhawk-buzzes-dogger-masts/>
- [54] E. Martinsen, Drone på jobb for toget, Publisert 26.03.2013, Lenke: <http://www.nrk.no/ostlandssendingen/drone-pa-jobb-for-toget-1.10964299>
- [55] Parrot, Lenke: <http://ardrone2.parrot.com/>
- [56] E. B. Mathisen, P. M. Nilsen og A. H. Røstad, Bruker drone til å sjekke skredfaren, Publisert 26.06.2014, Lenke: <http://www.nrk.no/trondelag/bruker-drone-til-skredkartlegging-1.11800276>
- [57] J. S. Wangen, Bruker drone til å sjekke skredfaren, Publisert 25.06.2014, Lenke: <http://www.adressa.no/nyheter/sortrondelag/article9846975.ece>
- [58] Bruker droner til skredkartlegging, Publisert 25.06.2014, Lenke: <http://www.vegvesen.no/Om+Statens+vegvesen/Media/Pressemeldingsarkiv/Region+midt/S%C3%B8r-Tr%C3%B8ndelag/bruker-droner-til-skredkartlegging>
- [59] T. Sundlisæter, Vil selge droner til politiet, Publisert 02.12.2012, Lenke: <http://www.tu.no/industri/2012/12/02/vil-selge-droner-til-politiet>
- [60] P. E. Dalløkken, Flygende spion veier 16 gram, Publisert 03.05.2012, Lenke: <http://www.tu.no/industri/2012/05/03/flygende-spion-veier-16-gram>
- [61] P. E. Dalløkken, Se norsk UAV i strid, Publisert 07.02.2013, Lenke: <http://www.tu.no/industri/2013/02/07/se-norsk-uav-i-strid>
- [62] Lenke: <http://www.askeroppm.no/>
- [63] Commercial RPAS Operator & Operations: Upcoming EU Regulations: FAQs, UVS International, Aksessert: 26.11.2014, Lenke: http://uvs-international.org/phocadownload/03_10_RPAS-Operators-and-Operations/RPAS-Operators&Operations-FAQs_140214_V8.pdf
- [64] K. Bragstad, Teknologirådet: - Droner kan redde liv i Arktis, Publisert 14.10.2014, Lenke: <http://www.nrk.no/nordland/-norge-bor-satse-pa-droner-1.11984149>
- [65] V. Stensrud, Droner skal kartlegge ungskog i Ringsaker, Publisert 19.07.2014, Lenke: <http://www.nrk.no/ho/kartlegger-skog-med-droner-1.11839338>
- [66] B. Makuch, Making Drones for the Arctic is Harder than it Looks, Publisert: 10.10.2014, Lenke: http://motherboard.vice.com/read/ice-fog-and-frozen-weather-is-chilling-canadas-arctic-drone-takeover?trk_source=recommended
- [67] F. Saugstad, Haukeblikk over anlegget, Publisert: 22.07.2013, Lenke: <http://www.tungt.no/anleggsmagasinet/article844912.ece>
- [68] F. Wennerød, Tjener penger på drone-foto, Publisert: 18.03.2014, Lenke: http://www.pd.no/lokale_nyheter/article7237716.ece
- [69] B. H. Pettersen, Viser huset ditt ovenfra, Publisert 08.12.2011, Lenke: <http://www.oblad.no/nyttig/eiendom/viser-huset-ditt-ovenfra-1.6654337>

- [70] N. Eriksen, Tannlegepasient skrek av frykt da hun ble filmet av NRK-drone, Publisert: 10.09.2014, Lenke: http://www.dagbladet.no/2014/09/10/nyheter/drone/presseetikk/norsk_presseforbund/nrk/35210289/
- [71] P. E. Dalløkken, Flyet var 50 meter fra å kollider med dronen, Publisert 25.06.2014, Lenke: <http://www.tu.no/industri/2014/06/25/flyet-var-50-meter-fra-a-kollider-med-dronen>
- [73] H. Grevskott, Fjernstyrer 40-tonns gravere, Publisert: 23.08.2013, Lenke: <http://www.klikk.no/produktjhemmesider/vimenn/reportasje/article858512.ece>
- [74] L. Gomes, Hidden Obstacles for Google's Self Driving Cars, Publisert: 28.08.2014, Lenke: <http://www.technologyreview.com/news/530276/hidden-obstacles-for-googles-self-driving-cars/>
- [75] B. Ringseth, Luftambulansopiloter frykter dødskrasj med droner, Publisert: 07.04.2014, Lenke: <http://www.adressa.no/nyheter/trondheim/article9448917.ece>
- [76] A. Henriksen, Dronertrøbbel i Lærdal bekymrer Luftfartstilsynet, Publisert: 21.01.2014, Lenke: <http://www.aftenposten.no/kultur/Dronertrøbbel-i-Lærdal-bekymrer-Luftfartstilsynet--7440292.html>
- [77] R. T. Bråten, Nå kan alle gjøre det, Publisert: 02.04.2014, Lenke: <http://www.adressa.no/nyheter/sortrondelag/article9435783.ece>
- [78] <http://lis2.epfl.ch/CompletedResearchProjects/SwarmingMAVs/>
- [79] Lenke: <http://smavnet.epfl.ch/#Overview>
- [80] Flight of the drone, Publisert 08.10.2011, Lenke: <http://www.economist.com/node/21531433>
- [81] O. Døvik, E. Pettersen, E. M. Bulai og A. A. Nilsen, – Det mest alvorlige som har skjedd det norske mobilnettet, Publisert 11.06.2011, Lenke: <http://www.nrk.no/norge/mest-alvorlige-skade-pa-mobilnettet-1.7670422>
- [82] K. Mikalsen, S. Steinum, - Droner kan være redningen når telenettet svikter, Publisert 21.01.2014, Lenke: <http://www.nrk.no/nordland/droner-kan-gi-mobildekning-1.11485777>
- [83] E. Senel og E. Hattrem, Slik skal Lærdal få mobildekning igjen, Publisert 19.01.2014, Lenke: <http://www.nrk.no/norge/mobile-basestasjoner-pa-plass-1.11480308>
- [84] Lars G. Golmen, Karsten Kvalsund, Erik M. Bruvik, Forsøk med drone til miljøovervaking i innsjø, Rapport – Norsk institutt for vannforskning, 2014
- [85] P. Zinke og C. Flener, Experiences from the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for River Bathymetry Modelling in Norway
- [86] C. Kilnes, P. Solberg og R. T. Bråten, Skredspottere kjørte 29 mil med drone i bagasjen, Publisert: 28.10.2014, Lenke: <http://www.adressa.no/nyheter/moreromsdal/article10285401.ece>
- [87] Lenke: <http://www.riegl.com/media-events/single-news/article/iriegli-vq-820-gu-succesfully-integrated-in-schiebel-camcopter-s-100/>
- [88] Lenke: <http://www.imsar.com/blogs/news/northrup-gruman-bat-integrates-nanosar-b>
- [89] M. J. Øyan, S.-E. Hamran, L. Damsgård og T. Berger, Compact Airborne C-Band Radar Sounder, IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing, vol. 52, pp 6326-6332, 2014
- [90] Lenke: <http://kartverket.no/Om-Kartverket/Nyheter/Testar-lasermaling-av-kystsona/>
- [91] A. J. Dietz, C. Kuenzer, U. Gessner, S. Dech, Remote sensing of snow – a review of available methods, International Journal of Remote Sensing, Vol. 33, pp 4094-4134, 2012
- [92] S. S. Carroll, T. R. Carroll, R. W. Poston, Spatial modeling and prediction of snow water equivalent using ground-based, airborne, and satellite snow data, Journal of Geophysical Research, 104, 19623-19629, 1999
- [93] van Blydenburgh, 2014 Yearbook – RPAS: The Global Perspective, 2014
- [94] RIEGL VQ-820-GU successfully integrated in Schiebel CAMCOPTER S-100, Lenke: <http://www.riegl.com/media-events/single-news/article/iriegli-vq-820-gu-succesfully-integrated-in-schiebel-camcopter-s-100/>
- [95] RIEGL's New "Flying Laser Scanner" RiCOPTER, Lenke: <http://www.riegl.com/media-events/single-news/article/iriegli-launches-the-ricopter-unmanned-aerial-system-copy-1/>
- [96] German railways to test anti-graffiti drones, Publisert 27.05.2013, Lenke: <http://www.bbc.com/news/world-europe-22678580>

- [97] I. Steadman, Deutsche Bahn will use drones to catch graffitiists in the act, 28.05.2013, Lenke: <http://www.wired.co.uk/news/archive/2013-05/28/german-graffiti-drones>
- [98] K. Holthe, Slik skal politiet bruke droner for å gjøre bedre arbeid, Publisert: 25.04.2014, Lenke: <http://www.tv2.no/a/5532053>
- [99] Ekspertgruppe: Norge bør få politidroner, Publisert: 25.04.2014, Lenke: <http://teknologiradet.no/sikkerhet-og-personvern/droner/ekspertgruppe-norge-bor-fa-politidroner/>
- [100] G. Håland, Uttesting av drone til overvåking av akutte skredhendelser, Presentasjon på Teknologidagene, 2014
- [101] E. McCormack, Using Unmanned Aircraft Systems (UAS) with NIFS (Naturfare – Infrastruktur – Flom – Skred),
- [102] Lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven), Lenke: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1961-05-12-2/KAPITTEL_6#KAPITTEL_6
- [103] Om lov om endringer i straffeloven, Lenke: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/jd/dok/regpubl/otprp/2008-2009/otprp-nr-22-2008-2009-5/11.html?id=540403>
- [104] Lov om luftfart (luftfartsloven), Lenke: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1993-06-11-101>
- [105] E. Ackerman, Korean Copetition Shows Weather Still a Challenge for Autonomous Cars, Publisert: 11.11.2014, Lenke: http://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/advanced-cars/japan-competition-shows-weather-still-a-challenge-for-autonomous-cars/?utm_source=carsthatthink&utm_medium=email&utm_campaign=1112
- [106] J. Sprinkle, J. M. Eklund, H. Gonzalez, E. I. Grøtli, B. Upcroft, A. Makarenko, W. Uther, M. Moser, R. Fitch, H. Durrant-Whyte og S. S. Sastry, Model-based design: a report from the trenches of the DARPA Urban Challenge, Software & Systems Modeling, vol. 8, 551-566, 2009
- [107] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp, D. Stavens, A. Aron, J. Diebel, P. Fong, J. Gale, M. Halpenny, G. Hoffmann, K. Lau, C. Oakley, M. Palatucci, V. Pratt, P. Stang, S. Strohband, C. Dupont, L.-E. Jendrossek, C. Koelen, C. Markey, C. Rummel, J. van Niekerk, E. Jensen, P. Alessandrini, G. Bradski, B. Davies, S. Ettinger, A. Kaehler, A. Nefian og P. Mahoney, Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge, Journal of Field Robotics, vol. 23, 661-692, 2006
- [108] C. Urmson, J. Anhalt, D. Bagnell, C. Baker, R. Bittner, M. N. Clark, J. Dolan, D. Duggins, T. Galatali, C. Geyer, M. Gittleman, S. Harbaugh, M. Hebert, T. M. Howard, S. Kolski, A. Kelly, M. Likhachev, M. McNaughton, N. Miller, K. Peterson, B. Pilnick, R. Rajkumar, P. Rybski, B. Salesky, Y.-W. Seo, S. Singh, J. Snider, A. Stentz, W. Whittaker, Z. Wolkowicki, J. Zigar, H. Bae, T. Brown, D. Demitrish, B. Litkouhi, J. Nickolaou, V. Sadekar, W. Zhang, J. Struble, M. Taylor, M. Darms og D. Ferguson, Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge, Journal of Field Robotics, vol 25, 425-466, 2008
- [109] E. Ackerman, Google's Autonomous Cars Are Smarter Than Ever at 700 000 Miles, Publisert: 29.04.2014, Lenke: <http://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/google-autonomous-cars-are-smarter-than-ever>
- [110] T. Puestow, L. Parsons, I. Zakharov, N. Cater, P. Bobby, M. Fuglem, G. Parr, A. Jayasiri, S. Warren og G. Warbanski, Oil spill detection and mapping in low visibility and ice: surface remote sensing, Report from Arctic Oil Spill Response Technology Joint Industry Programme, 2013
- [111] B. Minchew, C. E. Jones og B. Holt, Polarimetric Analysis of Backscatter From the Deepwater Horizon Oil Spill Using L-Band Synthetic Aperture Radar, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, 3812-3830, 2012
- [112] R. I. Crocker, J. A. Maslanik, J. J. Adler, S. E. Palo, U. C. Herzfeld og W. J. Emery, A Sensor Package for Ice Surface Observations Using Small Unmanned Aircraft Systems, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 50, 1033-1047, 2011
- [113] A. Moses, M. J. Rutherford og K. P. Valavanis, Radar-based Detection and Identification for Miniature Air Vehicles, Proc. of the IEEE Multi-Conference on Systems and Control, 933-2011
- [114] Lenke: <http://www.riegl.com/media-events/single-news/article/first-vmx-450-rail-delivered-to-sncf/>

- [115] E. Ackerman, SenseFly's eXom Drone Uses Vision and Ultrasound to Fly Precisely, Safely, Publisert 06.11.2014, Lenke: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/aerial-robots/sensefly-exom-drone-vision-and-ultrasonic-sensors>
- [116] M. A. Remy, K. A. C. de Macedo og J. R. Moreira, The first UAV-based P- and X-band interferometric SAR system, Proc. of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 5041-5044, 2012
- [117] D. Stødle, N. T. Borch og R. Storvold, High-Performance Visualization of UAS Sensor and Image Data with Raster Maps and Topography in 3D. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013, pp.385-390
- [118] R.D. Hale, W.R. Donovan, M. Ewing, K. Siegele, R. Jager, E. Leong og W.B. Liu. The Meridian UAS: Detailed Design Review. Technical Report, Center for Remote Sensing of Ice Sheets, 2007.
- [119] P.R. McGill, K.R. Reisenbichler, S.A. Etchemedy, T.C. Dawe og B.W. Hobson. Aerial surveys and tagging of free-drifting icebergs using an unmanned aerial vehicle (UAV), 2010.
- [120] J. Inoue og J.A. Curry. Application of Aerosondes to high-resolution observations of sea surface temperature over Barrow Canyon. Geophysical research letters, Vol. 31, 2004.
- [121] J.J. Cassano, J.A. Maslanik, C.J. Zappa, A.L. Gordon, R.I. Cullather og S.L. Knuth. Observations of Antarctic Polynya with Unmanned Aircraft Systems. EOS Trans. AGU, Vol. 91, No. 28., 245-252, 2010.
- [122] M. Neale og M.J. Schultz. Current and future unmanned aircraft system control & communication datalinks. In proc. of AIAA Infotech and Aerospace Conference and Exhibit, 2007.
- [123] R.S. Stansbury, M.A. Vyas og T.A. Wilson. A Survey of UAS Technologies for Command, Control, and Communication (C3). J. Intell. Robot. Syst., Vol. 54, 61-78, 2009.
- [124] D. Diez Barrero, N. Borch, og A. Andersen. A flexible and collaborative middleware for an unmanned aerial vehicle platform: when one-fit-all solution is required. I Proc. of the Middleware Doctoral Symposium, 2010.
- [125] E. I. Grøtli og T. A. Johansen, Path- and data transmission planning for cooperating UAVs in delay tolerant network, I Proc. of 3rd International Workshop on Wireless Networking & Control for Unmanned Autonomous Vehicles: Architectures, Protocols and Applications, 2012
- [126] E. I. Grøtli og T. A. Johansen, Path planning for UAVs under communication constraints using SPLAT! and MILP, Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 65, 265-282, 2012
- [127] A. Grancharova, E. I. Grøtli, D.-T. Ho og T. A. Johansen, UAVs Trajectory Planning by Distributed MPC under Radio Communication Path Loss Constraints, Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2014
- [128] P. B. Sujit, D. E. Lucani og J. B. Sousa, Bridging Cooperative Sensing and Route Planning of Autonomous Vehicles, IEEE J. Selected Areas in Communications, Vol. 30, 912-922, 2012
- [129] D.-T. Ho, E. I. Grøtli, P. B. Sujit, T. A. Johansen og J. Borges de Sousa, Performance evaluation of cooperative relay and particle swarm optimization path planning for UAV and wireless sensor network, I Proc. of the Globecom 2013 Workshop – Wireless Networking and Control for Unmanned Autonomous Vehicles, 1403-1408, 2013
- [130] E. W. Frew og T. X. Brown, Networking issues for small unmanned aircraft systems, Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 54, 21–37, 2008
- [131] D. Henkel og T. X. Brown, On controlled node mobility in delay-tolerant networks of unmanned aerial vehicles, I Proc. of International Symposium on Advanced Radio Technologies, 2006
- [132] C. Dixon og E. W. Frew, Optimizing Cascaded Chains of Unmanned Aircraft Acting as Communication Relays, IEEE J. Selected Areas om Communications, Vol. 30, 883-898, 2012
- [133] M. Nitsche, J. M. Turowski, A. Badoux, D. Rickenmann, T. K. Kohoutek, M. Pauli og J. W. Kirchner, Range imaging: a new method for high-resolution topographic measurements in small- and medium scale field sites, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 38, 810-825, 2013
- [134] T.K. Kohoutek og H. Eisenbeiss, Processing of UAV Based Range Imaging Data to Generate Detailed Elevation Models of Complex Natural Structures, I Proc. of ISPRS Congress, 405-410, 2012
- [135] L. Kristensen, T. Oppikofer og T. Bergeng, Overvåking ved akutte skredhendelser – NIFS øvelse ved Svarthamran, Sunndalsøra, med ÅTB og NGU i regi av Statens Vegvesen, 2013

- [136] J. Hohenthal, P. Alho, J. Hyypä og H. Hyypä, Laser scanning applications in fluvial studies. Progress in Physical Geography, 2011
- [137] C. J. Legleiter, Remote measurement of river morphology via fusion of LiDAR topography and spectrally based bathymetry, Earth Surface Processes and Landforms, vol. 37, 499-518, 2012
- [138] C. J. Legleiter og D. A. Roberts, A forward image model for passive optical remote sensing of river bathymetry, Remote Sensing of Environment, vol 113, 1025-1045, 2009
- [139] E. McCormack, NPRA and Unmanned Aircraft System (UAS), 2014
- [140] N. Sokolova, A. Morrison, T. A. Håkonsen og Å. Hansen, High Accuracy Object Positioning in Degraded GNSS Signal Environments, Presentasjon gitt ved Geomatikkdagene, 2014
- [141] U. Niethammer, M. R. James, S. Rothmund, J. Travelletti og M. Joswig, UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results, Engineering Geology, 2-11, 2012
- [142] W. Rahmeyer, Development of Flood Emergency Response Capability Using UAV's, Report as of FY2010 for 2010UT141B, 2011
- [143] S. L. Barfuss, A. Jensen og S. Clemens, Evaluation and Development of Unmanned Aircraft (UAV) for UDoT Needs, Utah Department of Transportation Report No. UT-12.08, 2012
- [144] C. Zhang og A. Elaksher, An Unmanned Aerial Vehicle-Based Imaging System for 3D Measurement of Unpaved Road Surface Distresses, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 118-129, 2012
- [145] A. Puri, A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance, Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida, 2005
- [146] PB Farradyne, Use of Unmanned Aerial Vehicles in Traffic Surveillance and Traffic Management, Technical Memorandum, Florida Department of Transportation, 2005
- [147] K. Kanistras, G. Martins, M. J. Rutherford og K. P. Valavanis, Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Traffic Monitoring, Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, 2643-2666, 2014
- [148] Aibotix UAS Inspects Germany's Second-longest Bridge, Publisert 20.11.2013, Lenke: <http://www.uasevent.com/aibotix-uas-inspects-germanys-second-longest-bridge/>
- [149] W. Crowe, K. D. Davis, A. la Cour-Harbo, T. Vihma, S. Lesenkov, R. Eppi, E. C. Weatherhead, P. Liu, M. Raustein, M. Abrahamsson, K.-S. Johansen, D. Marshall, R. Storbvold og B. Mulac, Enabling Science use of Unmanned Aircraft Systems for Arctic Environmental Monitoring, Arctic Monitoring and Assessment Programme Technical Report, 2012
- [150] F. Tobe, Are ag robots ready? 27 companies profiled, Publisert: 18.11.2014, Lenke: <http://www.therobotreport.com/news/ag-in-transition-from-precision-ag-to-full-autonomy>
- [151] Aibotix UAS Inspects Germany's Second-longest Bridge, Publisert: 18.11.2013, Lenke: http://www.gim-international.com/news/mapping/uas/id7751-aibotix_uas_inspects_germanys_secondlongest_bridge.html
- [152] Lenke: <http://www.aibotix.com/hpg-inspection-of-a-bridge.html>
- [153] S. Shen, Y. Mulgaonkar, N. Michael og V. Kumar, Multi-Sensor Fusion for Robust Autonomous Flight in Indoor and Outdoor Environments with a Rotorcraft MAV, I Proc. of the 2014 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2014
- [154] A. Bachrach, S. Prentice, R. He og N. Roy, RANGE – robust autonomous navigation in GPS-denied environments, Journal of Field Robotics, vol. 28, 644-666, 2011
- [155] H. V. Jensen, J. H. S. Andersen, C. Brekke, Ø. Nordstrønen, J. Hjelmstad, K. Karstad, K. Aasebø, J. Rødal, T. Reve og K. H. Bryne, Fjernmåling av akutt oljeforurensning på sjøoverflaten, Norsk oljevernforening for operatørsleskap – NOFO, 2009
- [156] Lenke: <http://www.ntnu.edu/amos/project-5>
- [157] C. Jaedicke, Sørpeskred, den "ukjente" skredtypen, Publisert: 27.02.2008, Lenke: <http://www.ngi.no/no/Arkiv/Aktualiteter---ARKIV/Sorpesked-den-ukjente-skredtypen/>
- [158] K. Stokdahl, Droneflyging kan få etterspill, Publisert: 16.06.2014, Lenke: <http://www.verdalingen.no/nyheter/article9809686.ece>

- [159] R. T. Bråten, -Fritt frem for filming med drone, Publisert: 02.04.2014, Lenke: <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/-Fritt-frem-for-filming-med-drone-7523952.html>
- [160] P. S. Thomsen, Nå kan alle fly droner, Publisert: 05.04.2014, Lenke: <http://www.dt.no/nyheter/na-kan-alle-fly-droner-1.8368679>
- [161] P.-I. Nikolaisen, EU vil gripe inn mot droner som truer privatlivets fred, Publisert: 09.04.2014, Lenke: <http://www.tu.no/industri/2014/04/09/eu-vil-gripe-inn-mot-droner-som-truer-privatlivets-fred>
- [162] Lenke: <http://www.aibotix.com/press/articles/new-uav-hyperspectral-imager-solution.html>
- [163] Lenke: <http://www.wired.com/2012/07/drone-hijacking/all/>
- [164] J. Robert, Drones vulnerable to terrorist hijacking, researchers say, Publisert: 25.06.2014, Lenke: <http://www.foxnews.com/tech/2012/06/25/drones-vulnerable-to-terrorist-hijacking-researchers-say/>
- [165] A. M. Samad, N. Kamarulzaman, M. A. Hamdani, T. A. Mastor og K. A. Hashim, The Potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Civilian and Mapping Application, IEEE International Conference on System Engineering and Technology, 313-318, 2013
- [166] Monitoring Czech Floods with a UAV, Publisert: 07.06.2013, Lenke: <http://www.gim-international.com/news/mapping/uas/id7439-monitoring-czech-floods-with-a-uav.html>
- [167] Lenke: <http://www.statkart.no/Posisjonstjenester/CPOS/>
- [168] Lenke: <http://www.statkart.no/Posisjonstjenester/ETPOS/>
- [169] Satellittbasert Posisjonsbestemmelse, Versjon 2.1 – Desember 2009, Standard, Statens kartverk, Geodesidivisjonen, 2009
- [170] Lov om motorferdsel i utmark og vassdrag, Lenke: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1977-06-10-82>
- [171] V. Aronsen, E10-30 Solbjørnneset-Hamnøy, Rassikring Lofoten Ingeniørgeologisk Oppfølging, Erfaring: Bruk av Drone (RPAS) ved vurdering av steinsprangfare, 2014
- [172] K.-S. Johansen, UAV – Ubemannede flygninger i lovtomt rom?, Liten masteroppgave i rettsvitenskap ved Universitet i Tromsø, 2008
- [173] G. D. Strøm, D. A. Moldestad, E. K. Øydvin, J. Dehls, H. Bjordal og P. A. Fevang, Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatelitter og InSAR-metodikk. Grunnlag for en strategisk plan for offentlig bruk av interferometri i Norge, NRS-rapport(2014)2, Norsk Romsenter, 2014
- [174] Droner i politiets tjeneste, Fra rådet til tinget nr. 1, Teknologirådet, 2014
- [175] CASA investigating Geraldton drone incident, Publisert 07.04.2014, Lenke: <https://au.news.yahoo.com/thewest/regional/gascoyne/a/22444769/casa-investigating-geraldton-drone-incident/>
- [176] P. Amon, Introducing New Class of Survey-Grade Laser Scanning by use of Unmanned Aerial Systems (UAS), Presentasjon gitt ved FIG Congress, 2014
- [177] H. Eisenbeiss, UAV-borne Laser Scanning, ETH presentation 2010 http://dgk.auf.uni-rostock.de/uploads/media/11_Eisenbeiss_DFGRRundgespraech.pdf
- [178] J. Maddalon, Perspectives on Unmanned Aircraft Classification for Civil Airworthiness Standards. NASA-report TM-2013-217969, 2013. <http://shemesh.larc.nasa.gov/people/jmm/NASA-TM-2013-217969.pdf>
- [178] Forenklet mal for RPAS operasjonsmanual (OM) til mindre fartøy, Lenke: <http://www.luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/UAS/article14220.ece>
- [179] Hvordan leve med farene, Aksessert: 26.11.2014, Lenke: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/regpubl/stmeld/2011-2012/meld-st-15-20112012/6.html?id=676547>
- [180] UAV: GA MQ-9 Reaper http://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-9_Reaper, Saab SKELDAR V200 Land, http://www.saabgroup.com/Land/ISTAR/Unmanned_Systems/Skeldar_V-200_Land/, Microdrone quadcopter <http://www.microdrones.com/index.php>
- [181] X-WAM mobile robot manipulator: <http://www.robotnik.es/en/products/mobile-manipulators/x-wam>, Kiva warehouse UGV: <http://www.kivasystems.com/>, Lockheed Martin Squad Mission Support System: <http://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed/data/mfc/pc/smss/mfc-smss-pc.pdf>, Komatsu's 930E FrontRunner unmanned trucks: <http://www.auvsi.org/1132013/1132013MineoftheFuture>, "Big Dog" 4-

- legged robot: http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html, "Atlas" biped robot: http://www.bostondynamics.com/robot_Atlas.html.
- [182] Zephyr Solar-Powered HALE UAV, United Kingdom, Aksessert 24.11.2014, Lenke: <http://www.airforce-technology.com/projects/zephyr/>
- [183] Prox Dyanmics. Aksessert 20.11.2014, Lenke: <http://www.proxdynamics.com/home>
- [184] Maritime Robotics AS. Aksessert 06.11.2014, Lenke: <http://www.maritimerobotics.com/>
- [185] NTNU Autonomous Marine Operations and Systems, Aksessert 25.11.2014, Lenke: <http://www.ntnu.edu/amos>
- [186] V. E. Hovstein, A. Sægrov og T. A. Johansen, Experiences with coastal and maritime UAS BLOS operation with phased-array antenna digital payload data link, I Proc. of International Conference on Unmanned Aerial Systems, 2014
- [187] Ny teknologi testes ut på Mannen og i Trollstigen, Aksessert 30.11.2014, Lenke: <http://www.naturfare.no/?id=715142>



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

Denne rapportserien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

F.o.m 51. utgivelse i 2014.

- Nr. 51 Forslag til nytt vektsystem i modellen for kostnadsnormer
- Nr. 52 Jord- og sørpeskred i Sør-Norge mai 2013. Monica Sund
- Nr. 53 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak for 2013
- Nr. 54 Naturfareprosjekt DP. 1 Naturskadestrategi
- Nr. 55 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv...
- Nr. 56 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv...
- Nr. 57 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging..
- Nr. 58 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging...
- Nr. 59 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Likestilling mellom bruk...
- Nr. 60 Skredfarekartlegging i Høyanger kommune
- Nr. 61 Flaumsonkart Delprosjekt Førde. Orvedal og Peereboom
- Nr. 62 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie.
- Nr. 63 Naturfareprosjektet DP. 3.2 Datasamordning Ministudie av...
- Nr. 64 Naturfareprosjektet. Delprosjekt 2. Beredskap og krisehåndterin
- Nr. 65 Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med...
- Nr. 66 Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller.
- Nr. 67 Effekt av lagringstid på prøve kvalitet. Marie Haakensen / NIFS.
- Nr. 68 Effect of storage time on sample quality. Marie Haakensen / NIFS
- Nr. 69 Flomsonkart. Delprosjekt Fagernes. Ahmed Reza Naserzadeh..
- Nr. 70 Status høsten 2014 - resultater og veien videre. Marie Haakensen
- Nr. 71 Aktive vannføringsstasjoner i Norge, Lars Evan Pettersson.
- Nr. 72 Smarte målere (AMS) og feedback. VasaaETT og Heidi Kvalvåg.
- Nr. 73 Filefjell og Anestølen. Evaluering av måledata for snø,..
- Nr. 74 Avbrotstatistikk 2013. Astrid Ånestad.
- Nr. 75 Energibruk i undervisningsbygg. Langseth og Multiconsult m.fl.
- Nr. 76 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 2. Beredskap og krisehåndterin
- Nr. 77 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire. Haakensen.
- Nr. 78 Status og prognoser for kraftsystemet 2014. Synnøve Lill Pauler
- Nr. 79 Snøskredvarslingen. Evaluering av vinteren 2014. NIFS. Barfod.
- Nr. 80 Norwegian Avalanche Warning Service. Program Review. NIFS. Gr
- Nr. 81 Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
- Nr. 82 Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
- Nr. 83 Inventory of glacier-related hazardous events in Norway. Jackson
- Nr. 84 Evaluering av flomvarslingas modellverktøy. Ingjerd Haddeland.
- Nr. 85 Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. Magnussen.
- Nr. 86 Elsertifikat Årsrapport 2013
- Nr. 87 Naturfareprosjektet: Droneteknologi. Haakensen/NIFS.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

