

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2014
30 stp

Kartlegging av status for dronebransjen med hensyn på bruksområder for ubemannede luftfartøy i det elektriske kraftnettet

Analysis of the Use of Drones in the Electrical Power
Grid

Ole Anders Vandsemb

Summary

Today's products and technology in the drone market have come a long way in offering products that are applicable to tasks required for the electrical power grid. It is assumed that this development will continue in the coming years. On the other hand, service providers do not appear to be sufficiently prepared to meet marked demands. This relates especially to the central grid. The only service that seem to provide sufficient products, is land surveying of smaller areas, and the models made from such measurements. Also, there are some inspection companies that have reached an acceptable level, but in general there are more adaptations and development to be done in order to fulfill the requirements of transmission line systems and the environment they occur in.

The conclusions in this thesis are based upon a selection of producers and service providers from the drone market that provide products that may be applied in the electrical power grid. Relevant producers and service providers have presented their products through different channels such as seminars, home sites, in meetings or by personal communication. This thesis studies the readiness level of these products with regards to the challenges that the power grid companies face.

Lastly, this thesis presents suggestions for future work, both in general, and with respect to challenges where drones can provide automated solutions.

Sammendrag

Produktene og teknologien på dronemarkedet i dag har kommet langt i å levere droner som kan nyttegjøres i det elektriske kraftnettet. Det antas at dette er en utvikling som vil fortsette. På tjenesteleverandørsiden framstår markedet derimot som mer umodent. Det gjelder spesielt tjenester som retter seg mot kraftnettet og i størst grad sentralnettet. Av tjenestene som fremstår som anvendbare i denne sammenheng er landmåling av mindre områder. Inspeksjonstjenester er også i noen tilfeller på et modent nivå. Ellers kreves tilpasninger og videre utvikling for at de andre tjenestene i større grad skal tilfredsstillе nettselskapenes behov.

Konklusjonen i denne oppgaven baserer seg på et utvalg av produsenter og tjenesteytere fra dronebransjen som tilbyr produkter som kan anvendes på det elektriske kraftsystemet. Aktuelle produsenter og tjenesteytere er oppsøkt gjennom forskjellige kanaler hvor de har presentert sine produkter, som for eksempel på seminarer, hjemmesider, i møter eller ved personlig kommunikasjon. Denne oppgaven har studert modenheten av disse produktene ved å sette de opp mot utfordringer nettselskapene står ovenfor.

Forord

Temaet i denne oppgaven omhandler en ung teknologi. Det har hatt sine fordeler og ulemper. Bransjen fremstår som liten og konsentrert rundt en felles fagklynge. Videre fremstår det som en åpen "alle kjenner alle"-bransje med lav terskel for informasjonsdeling. Som utenforstående kommer man raskt inn i nettverket. Dette har vært til stor hjelp i arbeidet med oppgaven. Denne bransjen er energisk og full av gode visjoner, og derfor kunne enkelte møter derfor grave seg dypt ned i visjoner som ikke var direkte knyttet til oppgavens problemstilling.

Å være student virker også å ha en positiv effekt ved at "alle" synes det er gøy å hjelpe. At oppgaven ble skrevet med veiledning fra Statnett har ikke overraskende vekket stor interesse hos tjenesteytere, som i sin tur har ført til raske tilbakemeldinger. Samtidig medføre det ulempe ved at man må skille overdreven reklame fra tekniske modenhet.

Takk til. Først og fremst rettes det en stor takk til min veileder Sonja Monica Berlijn som har åpnet dørene til sin avdeling og bistått med oppbygningen av denne oppgaven. Denne tilliten har vært til stor motivasjon underveis i arbeidet. Flere som må takkes er alle de ansatte på Statnett som har delt sine tanker om temaet over flere kopper kaffe (for min egen del gikk det mest kakao).

Etter 5 år på universitetet må jeg også takke alle som har bidratt til å gjøre dette til en fornøylig reise. Både familie og venner har gjort studiet Miljøfysikk og fornybar energi til det beste valget jeg har tatt.

"Like all our past creations and innovations, they may be used to improve the human condition, or they may be misused and abused. This is not a technical choice we are faced with, it's a social one." - Raffaello D'Andrea om droner.

(Ole Anders Vandsemb)

Ås, 15. mai 2015

Innhold

1	Innledning	13
2	Oppdragsbeskrivelse og metode	15
2.1	Bakgrunn og mål for for oppgaven	15
2.2	Arbeidsmetode	16
3	Teori og bakgrunn	19
3.1	Nettet	19
3.1.1	Sentralnettet	20
3.1.2	Regionalnettet	21
3.1.3	Distribusjonsnettet	22
3.1.4	Transformatorstasjoner	22
3.1.5	Reguleringen av netttaktørene, NVE	23
3.2	Droner	24
3.2.1	Definisjoner og beskrivelser relatert til droner	24
3.2.2	Historisk perspektiv og introduksjon	25
3.2.3	Viktige komponenter i droner	26
3.3	Sensorer	30
3.3.1	Satellittnavigering	30
3.3.2	RGB-kamera	31
3.3.3	Termografisk/IR-kamera	31
3.3.4	Multispektralt kamera	31
3.3.5	Hyperspektralt kamera	32
3.3.6	Laserskanner/LiDAR	32
3.3.7	Time of flight (ToF) kamera	32
3.3.8	Ultralydsensor	32
3.3.9	Radar	33
3.3.10	Syntetisk Apertur-radar (SAR)	33

3.3.11	Korona-kamera	33
3.4	Reguleringen av kommersiell droneaktivitet	34
3.4.1	Gjeldene regler	34
3.4.2	Kommende regler	35
4	Typiske utfordringer	37
4.1	Utredningsfasen	37
4.1.1	Landmåling	38
4.2	Konstruksjonsfasen	41
4.2.1	Trekke pilotliner	41
4.2.2	Bygningskontroll	43
4.3	Driftsfasen	44
4.3.1	Tilstandsrapportering og inspeksjoner	44
4.3.2	Søke etter feil	45
5	Marked og muligheter	47
5.1	Produsenter	47
5.1.1	Dronene	49
5.1.1.1	Multikopterdroner	49
5.1.1.2	Elektriske fastvingedroner	49
5.1.1.3	Fastvingedroner med forbrenningsmotor	50
5.1.1.4	Helikopterdroner med forbrenningsmotor	50
5.1.1.5	Droner til dedikerte oppdrag	51
5.2	Instrumentene	52
5.3	Tjenesteytende aktører	53
6	Arbeidsmetoder	55
6.1	Fjernmålinger	55
6.1.1	Droner som kan bidra ved utredningsfasen	55
6.1.2	Beredskapsdroner som søker etter årsak til driftsstans	57
6.1.2.1	Fastvinge- og helikopterdrone med forbrenningsmotor	58
6.1.2.2	Utstasjonering av multikopterdroner	59
6.1.3	Inspeksjons- og befaringsdroner	60
6.1.3.1	Multikopterdroner som utfører inspeksjoner	60
6.1.3.2	Inspeksjonsdroner med forbrenningsmotor	61
6.1.4	Termografering	61
6.2	Prosessering av målinger	62
6.3	Kontaktarbeid	62
6.3.1	Trekke pilotline	63

<i>INNHold</i>	11
6.3.2 Frakt av utstyr	65
6.4 Oppsummering	66
7 Forslag til videre arbeid	69
7.1 Generelle forslag	69
7.1.1 Tilpasning av arbeidsmetoder	69
7.1.2 Operatør og eierskapsforhold	70
7.1.3 Likestilte institusjoner	70
7.1.4 Forskning	70
7.1.5 Nettverksbygging	71
7.1.6 Bevisstgjøring og informasjonsdeling med den sivile befolkning . . .	71
7.2 Prosjektforslag	71
7.2.1 Opprette testområde	72
7.2.2 Forlag til bruk av elektriske multikopterdroner	72
7.2.2.1 Kartlegge/landmåle små områder	72
7.2.2.2 Verktøy for inspeksjoner fra bakken	74
7.2.2.3 Utvikle en semi-autonom pilotline-drone	75
7.2.3 Helikopterdroner med forbrenningsmotor	76
7.2.4 Fastvingedroner med forbrenningsmotor	76
7.2.5 Informasjonsbehandling	77
8 Konklusjon	79

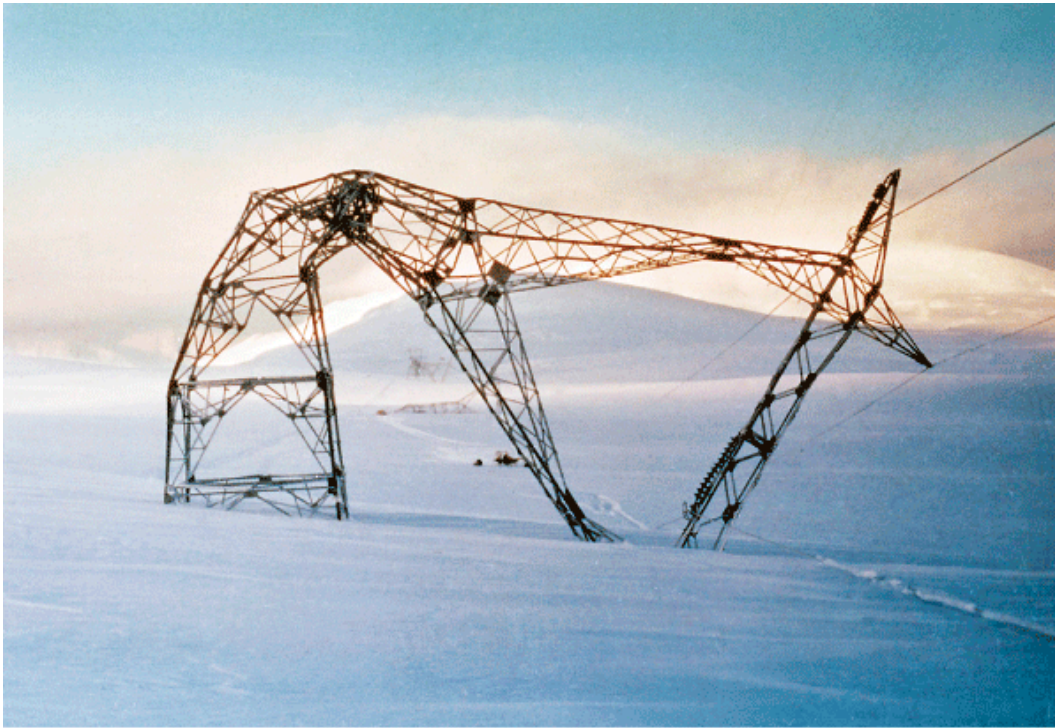
Kapittel 1

Innledning

Drone har gått fra å være et begrep som beskriver en effektiv og treffsikker drapsmaskin, til å bli noe man kan gi barna til jul. I dag kan enhver representant fra befolkningen, så lenge en har betalingsmidler nok kjøpe droner som er så høyteknologiske at de for et tiår siden ville blitt betraktet som science fiction. Denne utviklingsbølgen har mange ildsjeler, gründere og investorer kastet seg på, noe som har ført til at det i dag finnes et utall aktører som tilbyr kommersielle tjenester som springer ut ifra dronen som et verktøy.

Operatører av overføringsnett for elektrisk kraft sitter på sin side på anlegg som bokstavelig talt strekker seg over det ganske land. Nettet går ut til de minste bygder og over de største vidder, og som alle andre anlegg må også nettet inspiseres og vedlikeholdes for å kunne sikre en pålitelig strømforsyning. Dette arbeidet er tidkrevende, repetitivt og utføres ved hjelp manuelle midler. Derfor er det kanskje ikke så overraskende at nettselskaper nå har fattet interesse for droner. Tenk om de kunne trykke på en startknapp og så ble hele anlegget deres inspisert helt automatisk av droner som gjør jobben grundigere enn mennesker. Både Hålogaland Kraft og Hafslund Nett er selskaper som har tatt i bruk drone som et innslag i arbeidshverdagen [14].

Denne oppgaven skal undersøke bruken av droner som et verktøy i nettbransjen. Er teknologien virkelig kommet så langt at det nå er på tide at nettselskapene tar i bruk dette nye verktøyet for å gjøre driften bedre? Hvis ja, har markedet kommet langt nok i å tilby ferdigutviklede tjenester som kan løse aktuelle problemer like bra, eller bedre enn konvensjonelle metoder, eller gjenstår det fortsatt utvikling før tjenestene er gode nok?



Figur 1.1: Mastehavari. Kan droner være med på å styrke nettet? Foto: Oslo Byarkiv.

I kapittel 2 definerer denne oppgaven et klart mål og forklarer bakgrunnen for interessen, etterfulgt av en metodebeskrivelse for hvordan det er blitt arbeidet for å nå dette målet. Oppgavens teoridel definerer hva en drone er. Teoridelen gir også en innføring i virkemåte for droner og beskrivelse av oppbygningen av kraftnettet i Norge. Kapitlet “Typiske utfordringer” presenterer problemstillinger som nettselskaper står ovenfor i avviklingen av driften. I denne oppgaven er kun utfordringer som kan tenkes løst ved hjelp av droner tatt med. I det påfølgende kapittel 5 er det gjort en vurdering av produsenter og tjenester, hvor de mest aktuelle er presentert kategorisk. Disse produkter og tjenester legger grunnlaget for hvilke muligheter markedet kan tilby nettselskaper. Deretter følger kapitlet “Arbeidsmetoder” som vurderer hvilke produkter og tjenester som har gode nok spesifikasjoner til å løse problemstillingene presentert i “Typiske utfordringer”. I kapittel 6 diskuteres også mangler og muligheter ved forskjellige produkter og tjenester sett opp mot nettselskapers behov. Kapitlet avsluttes med en oppsummering av hvor langt markedet har kommet med å tilby tjenester for nettbransjen. Mot slutten presenteres oppgavens forslag til videre arbeid. Det hele avrundes med en konklusjon.

Kapittel 2

Oppdragsbeskrivelse og metode

Dette kapitlet beskriver bakgrunnen for temaet i denne oppgaven og målet med selve oppgaven. Deretter forklares fremgangsmåten for hvordan arbeidet utviklet seg for å nå dette målet.

2.1 Bakgrunn og mål for oppgaven

Den sentrale kraftdistributøren i Norge, Statnett, er som andre nettselskaper opptatt av å forbedre leveringsikkerheten og drifte så effektivt som mulig. Mye av arbeidet med å finne nye løsninger for å få dette til finner sted i avdelingen for forskning og utvikling (FoU). Da droner kan tenkes å tilføre merverdi til nettselskaper, har FoU-avdelingen hos Statnett initiert et "droneprosjekt" for å undersøke nytteverdien av å bruke droner i kraftnettet.

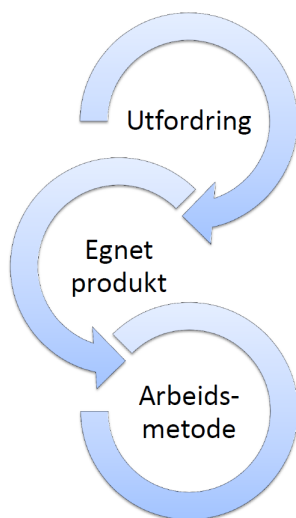
Målet med denne masteroppgaven er å kartlegge, og presentere droneteknologien og tjenestemarkedet slik det fremstår i dag på en slik måte at et nettselskaps FoU-avdeling kan prioritere rekkefølge på FoU-innsatsen og dermed ressursene og rekkefølgen på en eventuell innfasing av droner på en god måte. Hovedfokus vil ligge på problemstillinger knyttet til overføringslinene og master, primært i sentralnettet, men det meste vil være overførbart til andre deler av kraftnettet. Oppgaven vil dog kun ta høyde for de tekniske mulighetene, og ikke økonomiske analyser. Eksempelvis vil oppgaven peke på teknologi som er moden for anvendelse, si noe om potensialet, og beskrive metoder som i fremtiden kan nyttegjøres dersom utviklingen fortsetter.

2.2 Arbeidsmetode

Som det er beskrevet ovenfor er denne oppgaven et litteraturstudie og en utredning som inventariserer dronemarkedet for elementer som kan ha nytteverdi hos nettselskaper. For å gjennomføre denne oppgaven har en enkel, men effektiv fremgangsmetode vært grunnlaget for progresjon. Arbeidet har bestått av:

- å undersøke typiske oppgaver hos nettselskaper som kan løses med innslag av droner
- å finne konkret teknologi og leverandør som kan tilby aktuell løsning på utfordringen i punktet ovenfor

Med en slik arbeidsmetode vil undersøkelse av en typiske utfordring i et nettselskap gi rammebetingelsene for aktuell teknologi og leverandør. Som figur 2.1 illustrerer vil oppgaven presentere en arbeidsmetode som løser en utfordring dersom markedet tilbyr et produkt som oppfyller rammebetingelsene.



Figur 2.1: Arbeidsprosessen

Med hensyn på å kartlegge hvilke aktuelle utfordringene nettselskaper står ovenfor, var det positivt at mye av arbeidet med oppgaven kunne foregå på Statnetts lokaler. Det åpnet for deltakelse på FoU-møter og andre presentasjoner, samt gode samtaler med ansatte som hadde nyttig informasjon om temaet. Dette var et iterativt mønster som varte i hele arbeidsperioden.

For å bli kjent med droneverdenen var første steg å gjennomføre søk i søkemotoren til Google. Blant relevante søkeresultater var artikler fra tidsskrifter og nyhetskringkastere som handlet om profesjonell bruk av droner i forskning og kommersiell sammenheng. Slike artikler ga raskt et bilde på hva som er "vanlig" å gjøre ved hjelp av droneteknologi, og hva som fremstilles som kommende

teknologi.

Andre aktuelle søkeresultater var hjemmesider til forhandlere og nettbutikker av relevant teknisk utstyr. Hjemmesidene gir en umiddelbar tilbakemelding på hvilken teknologi som er tilgjengelig, og legger raskt et grunnlag for å vurdere hvilke muligheter som kan undersøkes nærmere. Sortering av aktuelle resultater var viktig da mengdene kunne bli store, og tiden

begrenset. Derfor ble resultatene etter søk på nett undersøkt etter følgende punkter for å nå oppgavens mål:

- Viktige momenter ved artikler som omtaler ny teknologi:
 - at de handlet om videreutvikling av eksisterende konsepter som er i bruk.
 - i hvilken grad artikkelen omhandler ny, anvendbar teknologi, eller om det presenteres en framtidvisjon som krever videre utvikling.
- Sjekkpunkter på hjemmesider til aktuelle bedrifter og tjenesteytere:
 - Vurdere om produkter og tjenester kunne være relevant for noen av utfordringene hos nettselskaper.
 - Undersøke produktsammensetningen, tjenestene og samarbeidspartnere for å vurdere omfanget.
 - For å få en formening om kvalitet og erfaring ble etableringsdato, tidligere prosjekter og referanser, leverandører og tillatelse hos Luftfartstilsynet undersøkt.

Ut ifra punktene ovenfor ble det opprettet kontakt med aktører dersom vurderingene tilsa det. Kontakt med folk og aktører innen drone-bransjen ble opprettet ved å delta på aktuelle konferanser, tegne studentmedlemskap i interesseorganisasjonen UAS Norway og ved å ta kontakt via hjemmesider.

For å forstå det tekniske aspektet ved denne oppgaven, har søk i google scholar, ELSEVIER, IEEEs database og Oria vært til god hjelp. Publikasjonene fra forskningsprosjektet *Flying Machine Arena* [22] hos ETH Zürich og EU-samarbeidet *Aerial Robotics Cooperative Assembly System* [25] har blitt brukt som pekepinn på hva som kan være kommende teknologi og bruksområder i nær fremtid. I tillegg har forum for amatører som bygger egne droner [4] vært til stor hjelp for de små spørsmålene.

Kapittel 3

Teori og bakgrunn

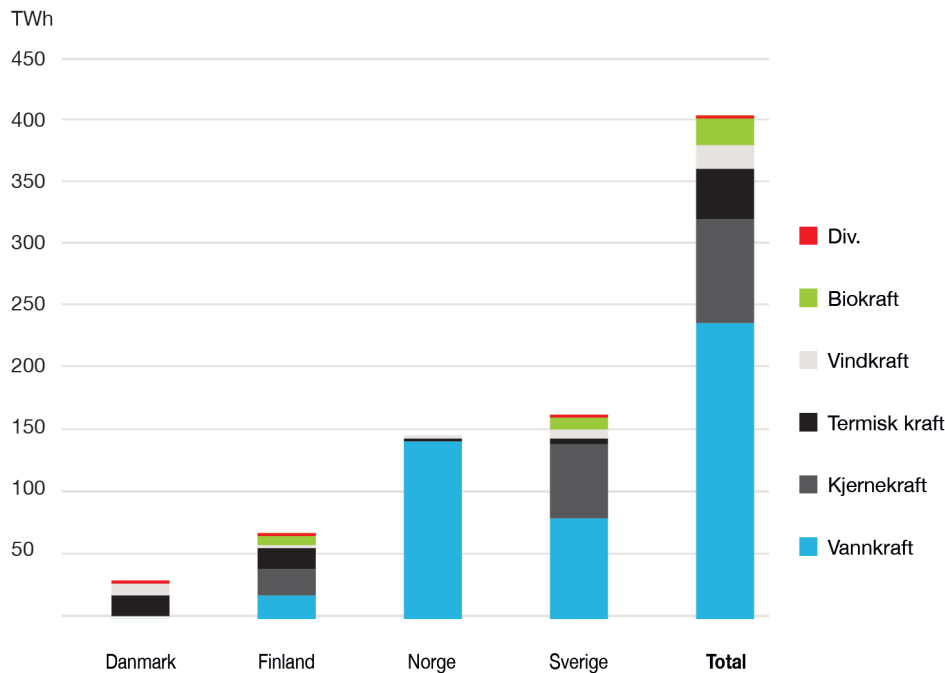
Dette kapitlet presenterer først en kort beskrivelse av hvordan elkraftsystemet er bygget opp i Norge, hvor i dette systemet nettselskapene befinner seg og til slutt en kort beskrivelse av NVE's reguleringsmetode av selskapene. Deretter følger en introduksjon og definisjon av hva droner er. Den påfølgende seksjonen presenterer aktuelle sensorteknologier som har vært i bruk på droner og kapitlet avsluttes med en gjennomgang av hvilke regler som gjelder for bruk av droner.

3.1 Nettet

For en grundigere gjennomgang av kraftnettets oppbygning og bestanddeler anbefales supplerende litteratur på fagfeltet [78, 54].

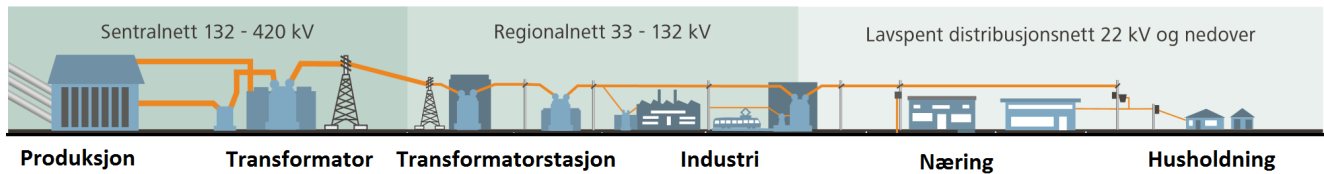
Ett hvert elkraftsystem består av tre hoveddeler. Først produseres elektrisiteten hos en kraftprodusent. Denne elektrisiteten transformeres opp til spenningsnivåer som benyttes av transmisjonsleddet som overfører kraften til de områder og aktører som har et behov for elektrisk energi. Til slutt forbrukes kraften hos sluttbrukerne i form av bedrifter eller privatpersoner. Produksjonen må til enhver tid være lik forbruket for å opprettholde et stabilt nett.

I Norge har vi en særstilling når det kommer til produksjon av elektrisitet, hvor mer enn 95% av energien kommer fra raskt regulerbar vannkraftproduksjon [65]. Det er en stor fordel i balanseringen av kraftproduksjonen sammenliknet med store kraftverk som driver dampturbiner (termisk, bio- og kjernekraft) eller vindmøller eller solceller som drives av uregulerbare naturkilder. Figuren på neste side illustrerer fordelingen av kraftkilder i Skandinavia.



Figur 3.1: Fordeling av kildene til kraftproduksjon i Skandinavia (2011). Graf: NVE.

Elektrisiteten som produseres i det norske (og Europeiske) nettet genereres i 3-fas konfigurasjon med en frekvens på 50 Hz. I Norge er nettet videre delt inn i sentralnettet, regionalnettet og distribusjonsnettet.



Figur 3.2: Skissering av hvordan det elektriske kraftnettet er bygget opp og delt inn i sentral-, regional- og distribusjonsnett [52]. Illustrasjon: NVE.

3.1.1 Sentralnettet

I Norge er det store avstander mellom kraftprodusenter og forbrukere, og sentralnettet har i oppgave transportere kraften over de lange avstandene, slik det er illustrert i figur 3.3. Statnett er statsforetaket som har i samfunnsoppdrag å drifte sentralnettet og sikre forsyningsikkerheten til brukerne av strømmnettet, samtidig som de balanserer produksjon,

forbruk og import/eksport i det norske nettet. Dette arbeidet skal gjennomføres på en slik måte at elektrisiteten får høyeste grad av leveringssikkerhet, samtidig som driften er samfunnsøkonomisk og bærekraftig.

For å redusere ohmske tap, og ikke minst imøtekomme stadig økt effektbehov hos sluttbrukerne, opererer sentralnettet med de høyeste driftsspenningsene på opptil 420 kV.



Figur 3.3: Utstrekningen av sentralnettet i Norge. Illustrasjon: NVE.

3.1.2 Regionalnettet

Regionalnettet driftes hovedsaklig av private nettselskaper¹ og er tilknyttet sentralnettet. Denne delen av nettet leverer kraft til større industri og bidrar til ytterligere transmisjon og

¹Private selskaper i regional- og distribusjonsnettet har offentlig eierskap for å i større grad ivareta samfunnets interesser. Historisk sett er mange kraft- og nettselskaper i utgangspunktet driftet som offentlige foretak.

redundans og danner maskestruktur ved sammenkopling av områder med kunder. Typiske driftsspenninger på linjer og kabler er 33-45-66-110 eller 132kV.

3.1.3 Distribusjonsnett

Distribusjonsnett er tilkoblet regionalnettet og driftes av mange private nettselskaper med nettspenninger ned mot det som leveres til private boliger. Distribusjonsnett fordele strømmen ut til hver enkelt kunde og er det lengste nettet på grunn av alle forgreiningene.

3.1.4 Transformatorstasjoner

Mellom hvert spenningsnivå i nettet finner man transformatorstasjonene. Disse har i oppgave å transformere spenningen opp for transmisjon, eller spenningen ned for distribusjon. Disse stasjonene inneholder også nødvendige komponenter og systemer for å verne om nettet og brukerne. Ved feil må vernet være i stand til å predikere hvor i nettet feilen befinner seg slik at de nødvendige kurser kobles ut.

Figuren på neste side er et eksempel på en transformatorstasjon. Bygningsmassen på bildet inneholder blant annet vernene og selve transformatorene. Nord for bygningene står det utvendige anlegget med blant annet brytere som fysisk kobler ut linene ved behov. Vest for stasjonen ligger Ring 3 i Oslo til sammenlikning. Denne stasjonen transformerer spenningen ned for distribusjon til den østlige delen av Oslo.



Figur 3.4: Ulven transformatorstasjon. Foto: Kartutsnitt fra Norge i Bilder.

3.1.5 Reguleringen av nettaktørene, NVE

Alle nettselskaper er regulert av NVE gjennom regulering av inntektsrammen. Inntektsrammen avhenger av selskapets drifts- og vedlikeholdskostnader og leveringssikkerheten de har til sine kunder. I tillegg påløper en kvalitetsjustert kostnad ved ikke levert energi (KILE-kostnad) som følge av brudd på strømleveringen [76]. Med andre ord favoriseres nettselskaper som leverer strøm effektivt og leveringssikkert (fremfor selskaper som ikke gjør det). Den relative differansen mellom selskapene påvirker også inntektsrammen. Dette bidrar til at nettselskapene hvert år søker å levere elektrisk energi bedre enn sine konkurrenter. For å gjøre dette må de kutte kostnadene, samt ha en daglig drift som ivaretar leveringssikkerheten.

Når det gjelder Statnett, som systemansvarlig nettselskap, er prinsippene for regulering lik som for andre nettselskaper, men det gjøres en sammenlikning med andre europeiske systemansvarlige nettselskaper [83, 20].

3.2 Droner

Dette kapitlet er ment å gi et inntrykk av den historiske plasseringen av dronen og hvordan den har utviklet seg. De essensielle teknologiske konseptene som gjør droner mulig slik de er i dag presenteres også i en historisk kontekst.

Videre beskrives et detaljert eksempel på en drone som selges med åpen kildekode. Dette gir et godt inntrykk av hvilke teknologiske løsninger som brukes i dag for å oppnå ønskede flyegenskaper.

3.2.1 Definisjoner og beskrivelser relatert til droner

Begrepet drone brukes mye for tiden og betyr så mangt. Drone kan innebære alt fra ombygde konvensjonelle helikoptre, fly, fugleliknende roboter, og til det vi kanskje forbinder mest med droner i dag: et leketøy eller et våpen i det amerikanske forsvaret. Siden denne oppgaven omhandler luftfartøy vil gjelde følgende definisjoner:

Drone vil i denne oppgaven omfatte luftfartøy uten fører om bord, som brukes til ervervs-messige formål.

Innenfor denne definisjonen av droner eksisterer det i hovedsak to undergrupper:

Fastvingedroner avhenger av en fremdrift for å generere oppdrift (som fly).

Kopterdroner eller VTOL-droner, benytter en rotor (helikopter) eller flere rotorere (multikopter) for å generere oppdrift.

Multikopter som har 4, 6 eller 8 rotorere omtales henholdsvis som quad-, hexa- eller oktokopter. I figur 3.5 presenteres et eksempel på en fastvinge-, helikopter- og multikopterdrone (oktokopter i dette tilfellet). Alle spesifikasjonene til dronene på denne figuren presenteres senere i oppgaven, i henholdsvis tabell 5.4, 5.5 og tabell 5.2.



Figur 3.5: Fra venstre mot høyre: F-330 fra UMS Group; Camcopter S-100 fra Schiebel; AscTec Falcon 8 fra Ascending Technologies.

I tillegg til definisjonene nevnt ovenfor, brukes også forkortelsene i tabell 3.1 i denne oppgaven.

Tabell 3.1: Forkortelser som brukes i denne oppgaven.

Forkortelse	Engelsk	Norsk
AIC	Aeronautical Information Circular	Informasjons sirkulære for luftfarten
AMS	-	Avanserte måle- og styringssystem
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight	Utenfor synsrekkevidde
EVLOS	Extended visual Line of Sight	Forlenget synsrekkevidde
FPV	First Person View	(Flyging m.) første persons utsyn via direkteoverført videolink
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems	Luftfartøy uten fører om bord
UAS	Unmanned Aerial Systems	Ubemannet luftfartøy
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Ubemannet luftfartøy
UVS	Unmanned Vehicle Systems	Ubemannede kjøretøy
VLOS	Visual Line of Sight	Innenfor synsrekkevidde
VTOL	Vertical Take Off and Landing	Vertikal avgang og landing

3.2.2 Historisk perspektiv og introduksjon

Inspeksjon eller overvåkning med bruk av fjernstyrte enheter er et gammelt konsept. På siste halvdel 1800-tallet ble det tatt rekognoserende bilder under krigføring, da med varmluftsballong eller drage som hjelpemiddel [28].

Da Nikola Tesla i 1898 publiserte sin patent på radiostyring av sjøfartøy [77], ble et viktig fundament lagt til rette for fjernstyrte luftfartøy. Ikke overraskende var det militære krefter som var i førersetet på utviklingen av denne type teknologi. Det første ubemannede flyet kom allerede i 1917. Det var radiokontrollert og var tenkt brukt som skyteskive, men slet med å holde høyden etter avgang. Likevel hadde Teslas radiokontrollering nå tatt til vingene [66]. Samme år ble et annet fly lastet med eksplosiver og fløyet med radiokontroll med en distanse på omlag 8 mil. Den store nyvinningen som gjorde dette mulig var bruk av gyrostabilisator som ble kommersialisert i 1913 [75]. I løpet av første og andre verdenskrig ble det laget henholdsvis glidebomber og kontrollerbare lufttorpedoer, som senere utviklet seg til kryssermissilene. Mange prosjekter ble utviklet i etterkrigstiden, og det er nærliggende å tro at ubemannede luftfartøy var av interesse under militærkappløpet under den kalde krigen. Felles for disse prosjektene var at radiokontrolleringen hadde en del rekkeviddebegrensinger, slik at basestasjoner (på bakken eller luftbårne) måtte være i nærheten, eller innenfor fri sikt.

For å styre ubemannede luftfartøy over lange distanser, var det neste store steget innføringen av satellittnavigering (se 3.3.1). Arbeidet med GPS (Global Positioning System) ble startet av det amerikanske militæret på 1960-tallet og i 1983 ga president Reagan GPS “free of charge” til verden [38]. I 1994 gjorde dronen “Predator” sin første flyging med satellittnavigering, og støttet det samme året NATO under krigen i Bosnia. Først ble dronen brukt til rekognosering, men senere, under Kosovokrigen kunne dronen lokalisere og markere fienden med laser, slik at annet armert personell ble mer treffsikkert [32]. I 2001 gjennomførte det amerikanske forsvaret et vellykket, laserguidet testskudd med et “Hellfire”-missil skutt ut fra en ubemannet “Predator” [10], og dronen var nå blitt et dødelig våpen. Under flere operasjoner som de fleste kjenner til, som i Irak og Afghanistan, har droner blitt brukt som våpen og vært kilde mange omdiskuterte episoder.

Med unntak av radiokontrollert modellflyging, som kan dateres tilbake til 1937 [85], er det først i de senere årene vi har sett kommersiell bruk av høyteknologiske droner på det sivile markedet. Cyberhawk er en skotsk inspeksjonsbedrift som baserer seg på bruk av droner til datainnsamling. De var blant de første i Europa og ble etablert i 2008 [46]. Deres tyske leverandør av droner, AscendingTechnologies opplyser at de ble opprettet i 2007 [6]. Giganten Deutsche Post DHL annonserte i 2012 at de investerer i et prosjekt for å kunne levere pakker med droner [12]. Prosjektet var i samarbeid med en annen tysk leverandør, Microdrones som ble etablert i 2005 [47]. Investeringsviljen i den sivile fremfor den militære bruken av droner har vist seg gjeldene de siste årene [36].

For en grundigere forståelse av historien til ubemannet luftfart anbefales denne kilden [50] fra flere hold.

3.2.3 Viktige komponenter i droner

I appendiks A (etter bibliografien) finnes enn skisse av et eksempel på faktiske komponenter fra et relativt avansert quadkopter. Dette quadkopteret består av komponenter med åpen kildekode slik at dronen kan bygges og programmeres av “amatører”. Quadkopteret var de første dronene av sitt slag² og har høyere krav til intern datakommunikasjon sammenliknet med modellfly [51].

Fra eksemplet i appendiks A er det et utvalg av komponentene som er essensielle for å oppnå en flyvende plattform med tilstrekkelig luftdyktighet for utendørsaktivitet.

Hovedkortet (Flight Controller) er sentralbordet til dronen som de andre komponentene kobles til og kommuniserer med. Det er forskjell på hvor avanserte hovedkortene er. Nyere hovedkort inneholder som regel IMU (beskrives nedenfor) og prosessor. Hoved-

²Luftfartøy med rotoroppdrift fra faste propeller som nøytraliserer hverandres spinn, slik at halerotor ikke er nødvendig.

kortet må posisjoneres riktig i forhold til dronens ramme, slik at operatørens definisjon av "framover" samsvarer med dronens bevegelse.

IMU (Inertial Measurement Unit) måler bevegelsene til en drone ved hjelp av for eksempel minst 3 akselerometere (en X, Y og Z retning i rommet) og to gyroskoper (måler tilt og vridning). Ved å kombinere disse registreringene kan dronens oppførsel kalkuleres. Denne informasjonen sendes til hovedkortet som gjør de nødvendige korrigeringene slik at dronens bevegelse gjenspeiler operatørens kommando. IMU-enheten må også posisjoneres riktig i forhold til dronens ramme.

GNSS-mottaker (Global Navigation Satellite System) registrerer satellittsignaler fra satellitter den har tilgang på og kalkulerer sin egen posisjon i rommet (se 3.3.1). De fleste GNSS-mottakere har også innebygd kompass for å angi retning. Derfor har GNSS-mottakeren krav til orientering når den monteres, i likhet med IMU og hovedkortet. Ved innendørsflyging er ikke GNSS-mottaker nødvendig eller anvendbar

Batteri energikilden på dronen som drifter motorene, og alle andre komponenter. I dag brukes det i all hovedsak litium-polymer-batterier (LiPo) på grunn av energitettheten med hensyn på masse.

ESC (Electronic Speed Control) regulatoren som på signal fra hovedkortet styrer strømmtilførselen fra batteriet til motorene. Regulatoren har et gitt antall utganger, med andre ord lages de for regulering av typisk 4, 6, eller 8 motorer.

Motorer driver propellene som igjen gir oppdrift til luftfartøyet. Motorene er likestrøms og børsteløse, og styres av regulatoren (ESC). Det er alltid et partall antall motorer, hvor halvparten roterer en vei, mens den andre halvparten roterer motsatt vei. Dette er helt sentralt for å balansere det totale spinnets fra alle rotorene.

Fjernkontroll sender operatørens styringskommandoer til mottakeren i dronen via radiobølger.

Mottaker fanger opp fjernkontrollens radiosignaler og gir hovedkortet operatørens kommandoer.

I tillegg til komponentene som er nevnt ovenfor finnes det flere muligheter som bestemmes av hvilke applikasjoner dronen er tenkt å ha. Beskrivelsene som følger under er et utvalg av andre komponenter som kan være del av en drone.

Telemetri (Down Link) er et radiosamband som for eksempel kan sende informasjon fra sensorer som er montert eksternt på dronen (mer om disse i 3.3), ned til en bakkeenheter.

Sambandet likner systemer som *bluetooth* og *WiFi*, og rekkevidden er varierende. Kommunikasjonen kan også være to-veis.

Gimbal er et gyrostabilisert kamerafeste i denne sammenheng. Den monteres på dronen og fungerer som oppheng for kameraer og annen type sensor som er avhengig av å opprettholde en gitt retning i rommet, uavhengig av dronens bevegelser. Slik kan også kameraets retning styres fra bakken.

INS (Internal Navigation System) er et system som ved å registrere signalene fra IMU, kan kalkulere hastighet og retning. Slike systemer forbedrer autopilot og ved signalbrudd til operatør eller GNSS-mottakeren bidrar INS til økt redundans. INS er også viktig ved etterbehandling av data for geomatisk målinger (se 3.3.1).

Barometer er en lufttrykkmåler som utnytter at lufta har avtagende tetthet med høyden, noe som muliggjør høydeestimering.

Alarmer i form av lyd eller lys kan programmeres til å varsle ønskede forhold. Som for eksempel lav batteritilstand.

Som sagt viser figuren i appendiks hvordan de viktigste komponentene er koblet sammen. I figuren på neste side er er noen av disse komponentene gjengitt for enkelhets skyld.



Figur 3.6: Noen av komponentene i en drone. Fra venstre mot høyre: hovedkort, GNSS-mottaker, batteri, ESC, motor, mottaker, telemetri og gimbal. Utsnitt av figuren i appendiks A.

3.3 Sensorer

For at droner skal utgjøre et godt verktøy må de være utstyrt med riktig sensorteknologi. Det tilbys mange sensorer på markedet i dag og blant disse er et utvalg egnet for bruk på droner uten øvrige modifikasjoner. Siden droner har nådd forbrukermarkedet kommer det stadig nye modeller av profesjonell sensorteknologi som er dedikert til bruk på flyvende fartøy. Nye sensorer må ta høyde for vektbegrensingene ubemannede fartøy har. Eksempler på disse presenteres senere i oppgaven (se 5.2).

Sensorteknologien som presenteres under (mulig unntak av korona-kameraet i 3.3.11) er tidligere dokumentert brukt på droner i forskjellige prosjekter, enten ved forskning eller med kommersielt øyemed [9].

3.3.1 Satellitnavigering

I mange tilfeller av fjernmåling og spesielt under prosesseringen av innsamlet data, er egenposisjonen til sensor i forhold til det som måles en viktig parameter. Egenposisjonen til en drone kan ved hjelp av kontakt med flere satellitter samtidig, kalkuleres slik at egenposisjonen sammenfaller med et koordinat i rommet. Det finnes flere typer satellittsystemer som kan brukes hvor de mest aktuelle er GPS fra USA, GLONASS fra Russland og Galileo som er et europeisk samarbeid. De viktigste forskjellene mellom disse satellittsystemene er blant annet at Galileo er det nyeste og i utgangspunktet er rettet mot den sivile befolkningen [11]. Det er ikke gitt at en satellitmottaker kan kommunisere alle satellittsystemer.

Til å begynne med var metoden for satellittposisjonering det som kalles kodemålinger. Nå brukes en forbedret metode som kalles fasemålinger [71]. Sistnevnte gir best presisjon, men det finnes forskjellige prinsipper ved bruk av fasemålinger, med varierende presisjon. Hvilket prinsipp man benytter avhenger av type operasjon. Noen applikasjoner krever sanntidsposisjonering, mens andre ikke er like avhengig av sanntid men krever høy presisjon. Under beskrives viktige prinsipper for bruk av fasemålinger som er relevant for dronebruk:

RTK (Real Time Kinematic) krever minst to tofrekvente GNSS-satellitmottakere. En i basestasjonen i kjente koordinater, og en i dronen. Basestasjonen sender sine målinger til dronen som sammenstiller disse med egne målinger for å kunne kalkulere vektoren mellom drone og basestasjon. Presisjon i grunnriss er på centimeternivå eller bedre. Normalt bør avstanden mellom drone og basestasjon ikke overskride 10 km.

Nettverks-RTK krever en tofrekvent GNSS-mottaker i dronen og tilgang til GNSS-nettverk av basestasjoner. Et kontrollsenter sender korrigerede data fra nettverket til dronen, og dronen kan sammenstille disse med egne satellitmålinger for å beregne vektoren til et gitt referansepunkt. I Norge tilbys tjenesten CPOS fra Kartverket, som er et slikt

permanent GNSS-nettverk [34]. Dronen må da kommunisere med deres kontrollsenter, enten via internett eller mobilnettet (GSM). Presisjon i grunnriss er på centimeternivå eller bedre.

Etterbehandling av egne GNSS-målinger kan gjøres opp mot GNSS-observasjoner fra permanente basestasjoner med kjente koordinater. For dette tilbyr Kartverket tjenesten ETPOS [35]. Presisjon i grunnriss er på centimeternivå eller bedre.

For droner er god satellittnavigasjon et viktig moment med hensyn på blant annet BVLOS-operasjoner. Følgelig er det viktig å forstå begrensningene ved de forskjellige observasjonstypene av satellittsignaler, og videre lesing anbefales [71, 33].

3.3.2 RGB-kamera

RGB-kameraet er det “vanlige” kameraet. Lyssensoren i kameraet fanger opp elektromagnetisk stråling som representerer bølgelengdene for synlig lys, og lagrer målingene digitalt i fargene rødt, grønt og blått (RGB).

Siden dette er en populær og tilgjengelig kameratype, er det blitt etablert gode metoder for å behandle og trekke ut informasjon av bildene. Blant disse behandlingsmetodene er bildeanalyse og geomatisk analyse (fotogrammetri) gode verktøy. I de fleste tilfeller trekkes viktig informasjon ut av bildene automatisk ved hjelp av egnet software. Gjennom bildeanalyse kan for eksempel legemer med kjent form gjenkjennes, mens ortofoto, terrengmodeller og andre geometriske egenskaper kan modelleres ved hjelp av geomatisk verktøy. Se avsnitt 4.1.1.

3.3.3 Termografisk/IR-kamera

Alle legemer med en temperatur over null kelvin sender ut elektromagnetisk stråling. Jo varmere legeme, desto mer energetisk er utstrålingen. Det finnes ingen standard, men IR-kamera detekterer stråling fra objekter som er “rødglødende” (bølgelengde ca 750 nm) ned til overflater som føles kalde (ca 1400 nm), og dekker dermed store deler av det infrarøde (IR) spekteret.

3.3.4 Multispektralt kamera

Sensorteknologien i slike kameraer kan fange opp stråling innenfor bestemte små områder av det elektromagnetiske spekteret (bånd). Dette kan gjøres ved å splitte opp innstrålingen i et prisme slik at intensiteten fra hvert bånd måles. Hvor smale disse båndene er, og hvor stort totalspekter på den elektromagnetiske skalaen kameraene kan operere innen, varierer mellom

modellene. Typiske områder multispektrale kameraer kan registrere er fra og med nært infrarødt lys (NIR) til og med synlig lys og noe ultrafiolett lys. Med andre ord er dette nesten et RGB-kamera, men et multispektralt foto inneholder en større mengde informasjon om lyssammensetningen og intensiteten fra det fotograferte objekt. Denne type teknologi åpner for muligheten til å gjenkjenne overflater med kjente utstrålings- og refleksjonsparametere, for eksempel tilstanden til vegetasjon.

3.3.5 Hyperspektralt kamera

Hyperspektrale kamera er av funksjon sammenlignbart med multispektrale kamera, men kan registrere flere opptaksbånd samtidig (typisk fler en 10).

3.3.6 Laserskanner/LiDAR

Laserskannere er aktive sensorer i form av at de sender ut et signal som de analyserer refleksjonen av. Slik kan de gjøre nøyaktige distanseberegninger og beskrive delvis transparente miljøer, slik som vegetasjon og bunntopografi i vann. Det finnes også gode programvarer som med bakgrunn i lasermålinger kan lage gode modeller tilsvarende de som kommer fra fotogrammetri, ofte med bedre presisjon. På grunn av nøyaktigheten kan lasermåling av konstruksjoner brukes til sammenlikning med plantegninger for å konstatere at alt går som planlagt.

3.3.7 Time of flight (ToF) kamera

ToF kameraer sender ut en kort elektromagnetisk impuls som reflekteres tilbake fra nærliggende objekter. Kameraet registrerer refleksjonen i en sensormatrise, og ved å bruke tiden strålen brukte frem og tilbake kan avstanden til hvert enkelt punkt i matrisen beregnes. Matrisen kan dermed fremstilles som 3D-modell i sanntid.

Det er to viktige begrensninger med de vanligste ToF-kamera. Den første er kort rekkevidde (typisk 10 m), og den andre er at sensoren blir lett forstyrret av andre lyskilder (som sola). Den siste utfordringen kan forbedres ved å ha en ekstra lyssensor som kun måler forstyrrende lyskilder slik at dette korrigeres i sensormatrisen.

3.3.8 Ultralydsensor

I motsetning til de fleste sensorer som baserer seg på måling innen det elektromagnetiske spekter, utnytter en ultralydsensor høyfrekvente lydbølger. Denne sensoren er også aktiv i

form av at den sender ut et lydsignal og måler tiden det tar før det kommer tilbake. Med andre ord måler den ekko.

Ultralydsensoren har i likhet med ToF-kameraet kort rekkevidde, men fordelene er at den er liten og billig, og kan være nøyaktig nok for at mindre droner kan unngå kollisjoner. En produsent av droner bruker en slik sensor for å holde konstant avstand til bakken [87].

3.3.9 Radar

I likhet med ultralydsensoren, sender en (aktiv) radar ut en elektromagnetisk radiobølge, og registrerer refleksjonen som kommer tilbake. Den åpenbare fordelene med radar er at signalet i liten grad påvirkes av vær- og lysforhold. Signalet har også en inntrengningsevne i snø og kan dermed brukes til å estimere tykkelsen på snølag. Forsøk har vist at presisjonen ligger på 15 cm i luft og 12 cm i snø [57]. Historisk sett har radarer vært relativt store i forhold til annen sensorteknologi, men de blir stadig mindre og tilpasses mindre mindre droner.

3.3.10 Syntetisk Apertur³-radar (SAR)

SAR er av teknologi det samme som en vanlig radar, men den utnytter at den forflyttes samtidig som den registrerer refleksjonene. Sensoren i radaren blir "syntetisk" forlenget på grunn av hastigheten, noe som gir høyere oppløsning sammenliknet med konvensjonell radar.

3.3.11 Korona-kamera

Korona er et fenomen som oppstår når lufta utsettes for så store spenningsgradienter at den ioniseres [79]. Da bli luften blir elektrisk ledende og det oppstår hva man kan kalle en gnist (dielektrisk sammenbrudd). Ved en slik prosess skjer en rekke fenomener som resulterer i blant annet støy, UV og synlig lys, radiostøy og dannelse av korrosive gasser [78, 26]. Følgelig finnes det forskjellige måter å detektere korona på, hvor mikrofoner (støy) er billigst og korona-kameraet er mest pålitelig. Et korona-kamera baserer seg på å detektere UV-lys som sendes ut når de eksiterte⁴ elektronene i gnisten deeksiterer tilbake til grunntilstanden.

³Apertur, også kalt blenden, er i kamasammenheng en regulerbar åpning som bestemmer lysmengden som slippes inn til kameraets sensor.

⁴Ved å tilføre et elektron som er bundet til et atom tilstrekkelig med energi, kan det heves til en høyere energi tilstand. Elektronet er da eksitert. Eksiterte elektroner er ustabile og deeksiterer tilbake til grunntilstanden ved å sende ut et foton tilsvarende energidifferansen i elektrontilstandene.

3.4 Reguleringen av kommersiell droneaktivitet

I det man tar et luftfartøy og bruker det til ervervsmessige formål, er aktiviteten underlagt Luftfartsloven. Det samme gjelder i utgangspunktet også for ubemannet luftfart, "men det er ikke tatt høyde for denne aktivitetens spesielle art, og mange av bestemmelsene kan i praksis ikke benyttes" [39]. Det jobbes for tiden med å implementere ubemannet luftfart inn i deler det sivile luftrommet, og mye av dette arbeidet handler om at nye regler og forskrifter skal sikre at dette skjer på en forsvarlig måte [27].

3.4.1 Gjeldene regler

Dagens gjeldene retningslinjer for luftfart er AIC - N 14/13 [41]. Enhver som skal bruke droner til nytteflyging eller kommersiell flyging må ha tillatelse etter søknad hos Luftfartstilsynet. Søknaden skal inneholde en risikoanalyse, operasjonsmanual og beskrivelse av gjennomføringen av planlagt(e) aktivitet(er). For små droner (maksimal avgangsvekt under 2 kg) finnes det en forenklet operasjonsmanual [40] med enkelte fastsatte krav, som blant annet:

- Kun VLOS-operasjoner, med maksimal avstand på 300 m.
- FPV-operasjoner er ikke tillat.
- Ikke lov å operere nærmere enn 150 m fra folkeansamlinger på fler enn 10 personer
- Minimum sikkerhetsavstand til 3. person er minst 20 m ved operasjoner lavere enn 10 meter over bakken. Deretter øker sikkerhetsavstanden proporsjonalt med operasjonshøyde.
- Krav om forsikring mot skade på tredjeperson og tredjepersons eiendom.

Utover selve flygingen med droner, som reguleres av Luftfartstilsynet og Luftfartsloven, kan også den videre bruken av dronen være regulert.

- Nasjonal Sikkerhetsmyndighet gir ikke tillatelse av opptak fra luften over norsk territorium dersom det innebærer fotografering av områder eller bygg som er viktig for den nasjonale sikkerhet [67].
- Bruk av luftfartøy som krenker privatlivets fred vil bryte med straffeloven [58].
- Lov om motorferdsel i utmark og vassdrag omfatter blant annet "svevende fartøy drevet med motor, samt landing og start med motordrevet luftfartøy" [55].

- Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (før post og teletilsynet) forvalter radiofrekvenser og senderstyrke til aktive sendere. Radiolink mellom drone og operatør kan derfor være regulert av dette regelverket, avhengig av frekvens og signalstyrke (rekkevidde) [37]. Noen frekvenser er tillat å bruke på bestemte vilkår, disse er beskrevet i Fribruksforskriften [62].

3.4.2 Kommende regler

Reglene fra den gjeldende AIC kan forventes å bli byttet ut med "Forskrift om luftfartøy uten fører om bord mv." [42], som hadde høringsfrist 21 april. Den gjeldene holdningen under utarbeidelsen av de nye reglene er at droner skal tilpasse seg den ordinære luftfarten, samtidig som det tas hensyn til de positive mulighetene som kommer med droner. Regelverket vil ta høyde for kommende utviklinger noe som medfører at det vil oppdateres ved behov.

Utkastet presenterer tre forskjellige operatørtyper for flyging med ubemannet luftfartøy, med navnet RPAS-operatører (RO) i kategori 1, 2 eller 3. Under presenteres et utdrag fra den nye forskriften [74]:

RO_1 trenger ikke søke tillatelse for å fly, kun en melding til Luftfartstilsynet. Sentrale krav som må oppfylles:

- Maksimal masse under 2.5 kg, maks hastighet under 60 knop og kun VLOS-operasjoner.
- Det skal foreligge en operasjonsmanual for bedriften.
- Bruk kun luftdyktige fartøy som er merket med eier og kontaktinfo
- Pilot må kunne demonstrere ferdigheter

RO_2 må søke tillatelse hos Luftfartstilsynet, som innebærer godkjenning av operasjonsmanual og risikoanalyse av aktiviteten. Sentrale krav:

- Maksimal masse under 25 kg, maks hastighet under 80 knop og kan fly VLOS og EVLOS.
- Luftfartøy skal være dokumentert luftdyktige og dokumentert testet for planlagt operasjonstype.
- Teknisk flytid for fartøy og kritiske komponenter skal loggføres
- Krav til vedlikeholdsprogram for hver type luftfartøy.

- Luftfartøy skal merkes operatør og telefonnummer, samt identifikasjonsnummer tildelt av Luftfartstilsynet.
- Pilot og fartøysjef må ha bestått teorieksamen for LAPL (Light Aircraft Pilot license), PPL (Private Pilot license), CPL (Commerical Pilot License, utvidelse av PPL) eller ATPL (Airline Transport Pilot License) i samsvar med type luftfartøy. Må i tillegg kunne demonstrere ferdighet, og opprettholde disse ved vedlikeholdstrening.

RO_3 må søke tillatelse hos Luftfartstilsynet, som innebærer godkjenning av operasjonsmanual og risikoanalyse av aktiviteten. Sentrale krav:

- Gjelder når maksimale masse overstiger 25 kg, maks hastighet overstiger 80 knop, turbinmotor, BVLOS-operasjoner, eller over eller i nærheten av folkemengder.
- Luftfartøy skal være dokumentert luftdyktige og dokumentert testet for planlagt operasjonstype.
- Teknisk flytid for fartøy og kritiske komponenter skal loggføres.
- Krav til vedlikeholdsprogram for hver type luftfartøy.
- Luftfartøy skal merkes med operatør og telefonnummer, samt identifikasjonsnummer tildelt av Luftfartstilsynet.
- Pilot og fartøysjef må ha (se RO_2 for beskrivelse) LAPL, PPL, CPL eller ATPL i samsvar med type luftfartøy og oppdrag, og ha instrumentrettighet og flytelefonisertifikat.

Det er viktig å merke seg at dette er utdrag fra et forslaget til ny forskrift. Forslaget har vært igjennom en høringsrunde, men ny forskrift er per tid ikke bestemt.

Kapittel 4

Typiske utfordringer

De fleste nettselskaper har til enhver tid et eller flere prosjekter gående. Prosjektene kan være oppgraderinger i deler av nettet for å øke overføringskapasiteten [73], nye utbygninger for å øke kapasitet og redundans til byer [72], eller det kan være nye systemendringer som å innføre AMS-målere [44]. I tillegg til disse prosjektene kommer også det nødvendige og lovpålagte vedlikeholds- og inspeksjonsarbeidet som inngår i den daglige driften.

Dette kapitlet presenterer typiske utfordringer hos nettselskaper hvor droner potensielt kan bidra. Først presenteres arbeid relatert til utredningsfasen av et prosjekt, deretter følger problemstillinger fra konstruksjonsfasen og til slutt en gjennomgang av utfordringer knyttet opp mot drift av eksisterende anlegg.

4.1 Utredningsfasen

Perioden fra et nettselskap ser et utbyggingsbehov til byggingen kan starte, er en lang periode hvor kritiske data samles inn og vurderes. Dataene og vurderinger legger grunnlaget for konsesjonssøknader, gir støtte for beslutninger som vedtas og er i mange tilfeller viktig for å opplyse allmennheten om hva som vil skje og hvordan prosjektet vil se ut. Det siste punktet kan være avgjørende for å unngå unødige klager, og generelt legge til rette for en mer positiv holdning blant berørte parter ovenfor utbygger. Utredningsfasen er viktig og bestemmer ofte skjebnen til et prosjekt.

4.1.1 Landmåling

En del av arbeidet i utredningsfasen består blant annet av landmålinger. Målet er å samle inn gode data som siden kan brukes i prosjektets faser. Forklaringen¹ av modellene i dette kapitlet er hentet fra personlig kontakt med aktuell leverandør [2].

Med utgangspunkt i gode landmålinger kan man ved bruk av geomatisk metode produsere følgende viktige verktøy som ofte brukes i en planleggingsfase:

Ortofotoper er en sømløs bildemosaikk som er ortogonalprojisert. Et ortofoto fremstår med de samme geometriske egenskapene som et kart, men gjenspeiler området med faktiske bilder. Datagrunnlaget for et ortofoto er hentet inn med fra luftbårne kameraer, som deretter sammenliknes med eksisterende terrengmodeller. Alternativt kan det plasseres posisjonsbestemte kontrollpunkter/passpunkter i bildene (på bakken). I etterbehandlingen kan også GNSS/INS-målingene fra luftfartøyet benyttes for å øke nøyaktigheten til kameraets egenposisjon.

Punktskyer fremstiller overflaten til målt område/objekt i form av tett kalkulerte/målte punkter. Punktskyene er vanligvis basert på data fra mange overlappende bilder eller laserskanning som er tatt fra både luften eller bakken. Bildene må igjennom en fotogrammetriprosess før man får en punktsky, mens laserskanning måler punktene direkte (uten farger). Trenden er at gode programvarer arbeider direkte i punktskyene og erstatter metoder som går veien om andre modeller først. Figur 4.1 er en punktsky fremstilt fra fotogrammetri med utgangspunkt i mange bilder fra det samme området.

Topografier/terrengmodeller baserer seg som regel på punktskyer fra fotogrammetri eller direkte fra laserskanning. Laserskannerens penetreringsevne i vegetasjon er en viktig egenskap som bidrar til bedre terrengmodeller. I programvaren som lager terrengmodellene er det vanlig å kunne navigere gjennom modellen i en tredimensjonal fremstilling. Figur 4.2 på neste side viser laserskannerens evne til å registrere både vegetasjon og bakken under. Innfelt i bildet er en ny laserskanner med landmålingsnøyaktighet, laget spesielt til bruk på droner.

¹Forklaringene er ment å gi en forståelse av opprinnelsen til rådata som brukes i modellene, ikke hvordan de faktisk lages.



Figur 4.1: Punktsky produsert fra RGB-bilder tatt med drone. Foto: Geomatikk Survey.



Figur 4.2: Terrengutsnitt av en terrengmodell. ©RiegI/Geomatikk Survey (med tillatelse).

3D-modeller av objekter kan produseres ved manuelle målinger i stereomodeller av overlappende flyfoto eller fra punkttskyer.

Masseberegninger gjøres ofte ved stikking² utført av en landmåler (manuelt). Om det finnes tilgjengelige data kan det gjøres beregninger med andre metoder via for eksempel terrengmodeller. Ute på anleggsplasser monteres det også GNSS-mottaker og andre landmålingsverktøy på anleggsmaskiner som flytter på masser, for å kunne gi kontinuerlig oppdatering på utført masseforflytning.



Figur 4.3: En landmåler med bærbar GNSS og en feltcomputer for registrering av målepunkter. Foto: Geomatikk Survey.

²Koordinatfeste et punkt ved hjelp av en håndholdt GNSS-mottaker.

4.2 Konstruksjonsfasen

Etter at byggetillatelse er gitt og entreprenørene har startet sitt arbeid, er målet å fullføre prosjektet som planlagt. Dette er lettest å oppnå ved bruk av forenklede og effektiviserte arbeidsprosesser. I dette underkapitlet beskrives sentrale deler av konstruksjonsarbeidet i kraftnettet.

4.2.1 Trekke pilotliner

En vesentlig del av konstruksjonsarbeidet i kraftnettet er å henge opp de strømførende linene etter at mastene er bygget. I dag utføres dette arbeidet med et helikopter som først trekker ut pilotliner. Denne linen er ikke strømførende, men den har høy bruddstyrke i forhold til vekten og utsetter mannskapet for lavere risiko enn om helikopteret hadde fløyet ut strømlinen direkte da den er mye tyngre. Ved å bruke pilotline unngås også unødig skade på strømlinen.

Fremgangsmåten for å montere liner er først å etablere en trommeplass og en vinsjeplass. Deretter flyr et helikopter ut en pilotline fra en trommel med brems. Pilotlinen trekkes fra trommeplassen til første mast, hvor helikopterpiloten plasserer linen i et midlertidig løpehjul/trinse som samtidig låser linen for å unngå avsporing. Denne innretningen kalles en blokk, se figur 4.4 på neste side. Helikopteret fullfører så strekket og legger pilotlinen i blokka på alle mastene innenfor det aktuelle strekket, som ender på vinsjeplassen. Her kobles pilotlinen til en vinsj i den ene enden og til strømlinen eller en tykkere pilotline på trommeplassen i den andre enden. Helikopteret kan returnere til trommeplassen og gjenta prosedyren for de resterende fasene. Et strekk er omtrent 12 km langt avhengig av muligheten for etablering av vinsje- og trommeplass. Avstanden mellom hver mast varierer etter forhold, men ligger i snitt på ca. 3 master per km [45].



Figur 4.4: Pilotline kjøres ut og legges i blokka på den ene ytterfasen. Foto: Statnett.

Et unntak i metoden beskrevet på forrige side er når helikopteret skal trekke midtfasen. Da må pilotlinen trekkes mellom mastebeina og under traversen og isolatorkjedene, på hver mast. Det innebærer at helikopterpiloten må gjøre en komplisert prosedyre hvor pilotlinen føres gjennom masten med en nål som er avbildet i figur 4.5 på neste side. I løpet av prosedyren må helikopteret henge fra seg nålen i masten og skifte grep to ganger per mast [23].

På bildet under trekker helikopteret "synålen" mot masten. Den må hektes fast på undersiden av traversen, nederst i bildet. Så kople helikopteret seg fra nålen, flyr over masten, hekter seg fast på tuppen av nålen og kjører videre. I situasjonen på bildet har helikopteret skiftet grep en gang og skal nå tre nålen forsiktig mellom innsiden av mastebein og isolatorkjede. På figur 4.4 kommer det frem hvor liten denne åpningen er.



Figur 4.5: Pilotline for midtfasen tres igjennom masten. Foto: Statnett.

Et annet viktig moment er når pilotliner skal trekkes i nærheten av et eksisterende nettanlegg, hvor helikoptret må krysse spenningsatte ledere for å utføre trekkingen. I dette tilfellet vil det aktuelle anlegget frakobles av sikkerhetsmessige årsaker.

4.2.2 Bygningskontroll

Underveis i en byggeprosess dokumenteres og evalueres resultater og status fortløpende. Prosjektleder er avhengig av gode tilbakemeldinger for å føre prosjektet på en god måte, i tillegg til at god dokumentasjon kan avgjøre om resultatene underveis i byggeprosessen er tilfredsstillende. Dette gir en bedre kvalitetssikring og forhindrer potensielle tilbakesteg i prosjektet.

4.3 Driftsfasen

Etter at det elektriske anlegget er bygget og klar til bruk, gjenstår det en driftsfase som varer ut anleggets levetid. I sentralnettet er det snakk levetid på over 60 år. For å gjøre driftsfasen så god som mulig gjennomføres det blant annet inspeksjon av anleggene og det opprettes beredskap som aksjonerer når noe går galt.

4.3.1 Tilstandsrapportering og inspeksjoner

For alle bedrifter med store investeringer i eiendeler er det viktig å forvalte disse på en god måte for å sikre sunn økonomi. For nettselskaper er det også knyttet potensielt store kostnader til hendelser hvor komponenter i nettet ikke lenger utfører sin funksjon, som igjen fører til at energi ikke blir levert (KILE-kostnader).

I tillegg til økonomiske grunner, følger det av Energilovforskriften [21] at konsesjonsinnehavere av elektriske anlegg "plikter til enhver tid å holde anlegget i tilfredsstillende driftssikker stand". Det skal også foreligge "dokumentasjon for planlagte og gjennomførte tiltak" slik at krav om et tilfredsstillende og driftssikkert anlegg oppfylles. Slik informasjon skal være tilgjengelig i konsesjonsperioden.

En viktig del av arbeidet for å imøtekomme ovenfornevnte punkter er å utføre inspeksjon av anlegget. Dette gjøres ved å gjennomføre forskjellig type befaringer³.

Bakkebefaring er en kontroll av hel trasé og luftlinje fra bakken. Visuell inspeksjon, som med hjelp av kikkert skal avdekke alle feil og mangler som er forventet å kunne avdekkes ved en slik type befaringsrapport. Feil skal og mangler skal dokumenteres med kamera og foreligge i en befaringsrapport. Forflytningsmetoder ved bakkebefaring er gange, terrengmotorsykkel eller snøscooter. Dersom forholdene tilsier det kan bandvogn eller helikopter benyttes. Ut ifra erfaring hos Statnett er tidsforbruket på bakkebefaring 75 min per km ved gange og terrengmotorsykkel pluss 10 min per mast (ca 3 master per km). Ved bruk av snøscooter faller tidsforbruket til 10 min per km pluss 10 min per mast. Det anbefales å gå to og to.

Mastekontroll likner bakkebefaring, men innebærer en grundig visuell inspeksjon av masten, og utførelse av enkle arbeidsoppgaver som stramming av barduner. Tidligere ble mastene også besteget, og avhengig av risikovurdering ble arbeidet utført med eller uten spenning. Dersom anlegget var spenningssett, var inspeksjon og annet arbeid begrenset av risikoavstander da anlegget skal være i drift under befaringsrapporten.

³Beskrivelse av de forskjellige type befaringsrapportene er hentet fra interne dokumenter hos Statnett, samtaler med ansatte og sammenliknet med REN-standarder[59][60]. I praksis kan utførelsen av befaringsrapportene variere, men felles for alle nettselskaper er at summen av befaringsrapporter oppfyller kravene i Energilovforskriften.

Helikopterbefaring er en kontroll av luftlinjer ved hjelp av helikopter for å avdekke alle feil og mangler i de anleggsdelene en helikopterbefaring omfatter. Erstatte bakkebefaring. To kontrollører inspiserer kontrollpunkter visuelt ved hjelp av gyrostabilisert videokamera. Alternativt tas det 12 detaljbilder av hver mast (6 fra hver side), som brukes til dokumentasjon. Forflytningshastigheten er omlag 120 km per time mellom mastene og 55 km per time ved mastene. Dersom laserskanning av traseen utføres fra helikopter er arbeidshastigheten omkring 100 km per time.

Ekstraordinær befaring. Ved driftsstans eller vind, ising og andre naturfenomener ansees risikoen som større for at det kan oppstå problemer i etterkant. Egnede befaringsmiddel (som regel helikopter) rykker ut på en ikke-periodisk befaring for å kontrollere berørte områder, slik at eventuelle nødvendige tiltak kan vurderes. Se også 4.3.2.

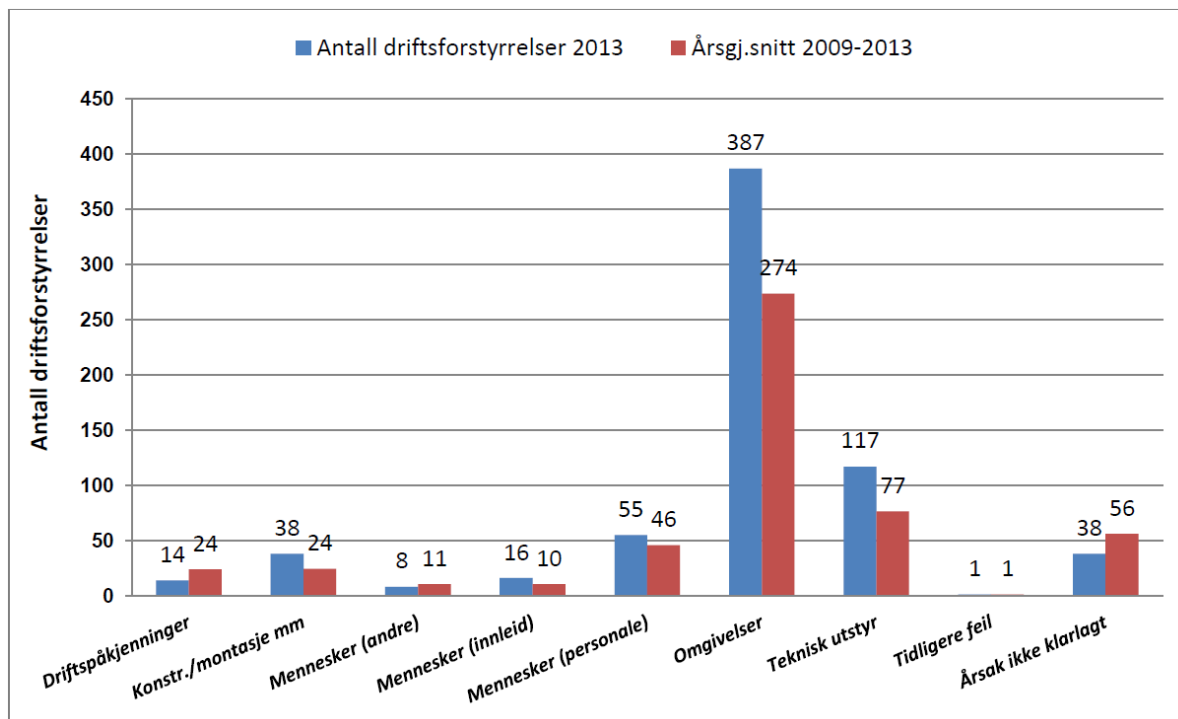
Termovisjon likner helikopterbefaring, men målet er å analysere varmegang i det strømførende anlegget. Varmegang kan være en indikasjon på dårlig kontakt. En slik befaring har diverse krav til parametere som påvirker overflatetemperaturen på anlegget for å sikre god kvalitet. Kravene er listet opp i tabellen under. Fra kravene fremkommer det at optimale operasjonelle forhold kan være vanskelig å oppnå, da de er bestemt av naturen. Se tabellen under.

Tabell 4.1: Krav til parametere som påvirker en termovisjonsbefaring.

Parameter	Krav	Merknad
Vind	Mindre enn 4 m/s eller mindre enn 8 m/s ved henholdsvis 20% og 45% av grenselast.	Vindforhold noteres.
Lysforhold	Overskyet og snødekke. Unngå sterk sol og klarvær, og nedbør.	Må vurderes.
Lastbetingelser (strømmengde)	Minst 20% av grenselast (i god tid før inspeksjon).	Så høy last som mulig.

4.3.2 Søke etter feil

Som nevnt i 4.3.1 er det både økonomiske og lovmessige grunner til at et nettselskap må ha god beredskap hvis det oppstår feil i nettet. Det innebærer at mannskap og utstyr er klare til å aksjonere dersom en feil oppstår. I transformatorstasjonene får man fra utløste vern en første indikasjon på hvor i nettet feilen er oppstått. Deretter må lokasjon og årsak til feilen kartlegges slik at nødvendige tiltak kan iverksettes. Det innebærer som regel visuell inspeksjon, med mindre annet kan tolkes i transformatorstasjonene.



Figur 4.6: Antall driftsforstyrrelser i nettet fordelt på utløsende årsak. Graf: Statnett.

Figuren over er hentet fra årsstatistikken for driftsforstyrrelser og feil hvor tallene fra 2013 sammenliknes med et 5-årig årsgjennomsnitt. Grafen viser at hovedårsaken til driftsforstyrrelser i nettet skyldes påvirkning fra omgivelsene. Videre viser statistikken at det er lyn, vind og vegetasjon som står for henholdsvis 43,6%, 20,8% og 13,7% av driftsforstyrrelsene. Selv om lynnedslag forårsaker flest driftsforstyrrelser er det allikevel vind og vegetasjon som fører til mest ikke levert energi (ILE) [82]. Videre når det gjelder lynnedslag samarbeider Statnett og SINTEF med posisjonsregistrering av alle lynnedslag, hvor gjennomsnittlig feilmargin ligger på 250 meter [43].

Kapittel 5

Marked og muligheter

Det har kommet mange forskjellige typer droner på markedet den siste tiden, og spesifikasjonene og bruksområdene varierer sterkt. Ved hjelp av vurderingsmetoden beskrevet i kapittel 2 er en rekke leverandører og produkter analysert, forkastet og kontaktet.

Dette kapitlet presenterer først et utvalg av produsenter av droner som fremstår som aktuelle for problemstillingen i denne oppgaven. I de påfølgende underseksjonene blir de forskjellige dronene lagt frem på en kategorisk måte. Deretter følger en presentasjon av nye sensorer som er utviklet spesielt for ubemannede plattformer. Avslutningsvis blir eksempler på tjenesteytende aktører innen forskjellige kategorier lagt frem. Hvordan funnene i dette kapitlet kan utnyttes i sammenheng med drift av nettselskaper diskuteres i kapittel 6.

5.1 Produsenter

Som nevnt innledningsvis i dette kapitlet er arbeidsmetoden beskrevet i kapittel 2 lagt til grunn for å finne relevante produsenter av droner. Produsentene i tabellen under har fremstått som seriøse leverandører, blant annet ved at de har relativt lang erfaring, at de leverer produkter som er tatt i bruk innen andre tjenester eller at de har spesielt interessante produkter. Tabellen viser hvilke type produkter som produseres hos hver enkelt produsent, og hvor produsenten kommer fra.

Tabell 5.1: Produsenter av komplette plattformer som fremstår som relevante for bruk innen det elektriske kraftsystemet.

Navn	Type drone	Land	Merknad
Microdrones	Multikopter	Tyskland	Tilbyr komplette systemer for flere applikasjoner, blant annet inspeksjon av høyspenningsanlegg [48].
Ascending Technologies	Multikopter	Tyskland	Produserer og utvikler droner og systemer for inspeksjon og forskning [5].
Robot Aviation	Fastvinge /helikopter /multikopter	Norge	Produserer fartøy og tilbyr inspeksjoner av blant annet strømnnett med deres utvalg av droner[8].
Schiebel	Helikopter	Sveits	Produserer et helikopter med en rekke applikasjoner, blant annet overvåkning [63].
UMS Aero Group	Fastvinge /helikopter	Sveits	Produserer fly og helikoptre med lang rekkevidde [81].
VulcanUAV	Multikopter	England	Skreddersyr systemer på bestilling [86].
dji	Multikopter	Kina	Populær produsent av rekreasjonsdroner,men tilbyr også profesjonelle, tilpassede plattformer [18].
Dronera	Multikopter	Norge	Monterer multikopter etter bestilling, hovedsaklig med kamerafester. Noen av dronene har stor løftekapasitet (> 100 kg) [19].
Trimble	Fastvinge	USA	Produsent av landmålerutstyr som tilbyr et ubemannet system for landmåling [80].
Camflight	Multikopter	Norge	Dedikert løsning for landmåling ved bruk av drone, og produksjon av ortografier og 3D-modeller [15].
Aibotix	Multikopter	Tyskland	Produserer inspeksjonsdroner, blant annet for høyspentmaster [1].
SenseFly	Fastvinge	Sveits	Produserer droneplattformer for luftfotograferinger for aktuelle landmålingsapplikasjoner [64].
Sky-Watch	Multikopter	Danmark	Søk- og redningsdrone med nattsyn [87].

5.1.1 Dronene

Fra produsentene i tabell 5.1 finnes det et stort utvalg av droner med forskjellige egenskaper. I de påfølgende seksjonene er droner delt inn i mindre grupper etter hvilke egenskaper de har. Alle dronene kommer fra produsentene i tabell 5.1. Generelt for alle typer droner er at de fleste spesifikasjonene vil være veiledende, da faktiske ytelser er avhengig av konfigurasjonen og miljøet dronen benyttes i. Lastekapasiteten vil alltid være en konflikt mellom drivstoff/batteri og påmontert last, derfor vil rekkevidde variere avhengig av operasjonstype.

5.1.1.1 Multikopterdroner

Når det gjelder operasjoner under vindfulle omstendigheter kan mange av multikopterdrone- ne håndtere relativt sterke vinder. Det er ikke uvanlig at dronene kan håndtere 15 m/s med vind. Problemet er derimot at sterkere vindstyrke vil påvirke energiforbruket og flytiden, i tillegg til at dronen som plattform for sensorer blir mer ustabil, noe som påvirker kvaliteten på datainnsamlingen. MD4-1000, i tabellen nedenfor har for eksempel på vindgrense på 6 m/s bildene som tas fra dronen blir påvirket.

Alle dronene som presenteres i tabellen under er laget for operasjoner ute i vær og vind, til en viss grad. Nøkkelspesifikasjoner er ført opp for å gi et sammenlikningsgrunnlag. Blant disse er flytiden, lastekapasitet og størrelsen på dronen.

Tabell 5.2: Profesjonelle multikopterdroner. Dimensjonene beskriver lengden (L) og bredden (B) på dronen.

Navn	Produsent	Flytid	Lastekapasitet	Dimensjoner	Annet
Falcon 8	Ascending Technologies	12-22 min	< 0,75 kg	L: 0,82 m B: 0,77 m	V-formatet oktokopter.
MD4-1000	Microdrones	< 88 min	< 1,2 kg	L: 1,73 m B: 1,14 m	IP43 beskyttet quadkopter.
Aibot X6	Aibotix	30 min	< 2 kg	L: 1,05 m B: 1,05 m	Hexakopter m. innebygget rotor.
Dronera X12U	Dronera	20-40 min (25 kg last)	100 kg	L: 2,40 m B: 2,40 m	Monteres på bestilling, klar til å fly.

5.1.1.2 Elektriske fastvingedroner

Elektriske fastvingedroner er på mange måter de dronene med lengst fartstid bak seg. På grunn populariteten innen modellflyging har disse på mange måter vært i bruk over lang tid.

Den store forskjellen fra tidligere modellflyging er at nye typer droner har adaptert egenskaper fra de mer moderne multikopterene. Det innebærer blant annet at styringssystemene er blitt automatisert, både ved avgang, underveis og landing. Slik har disse dronene også gjort seg gjeldende som gode plattformer for mindre kameraer og andre lette sensorer. I tabellen under presenteres spesifikasjoner på en slik drone som brukes til landmåling.

Tabell 5.3: Eksempel på en elektrisk fastvingedrone som brukes til landmåling. Dimensjonen på dronen måles i lengden på vingespennet (W).

Navn	Produsent	Rekkevidde	Last	Dimensjoner	Annet
eBee	Sensefly	< 40 min ved 90 km/h	Integrert RGB-kamera	W: 0,96 m	Landmålingsdrone som veier 0,73 kg.

5.1.1.3 Fastvingedroner med forbrenningsmotor

De mest utholdende dronene, i både tid og distanse er fastvingedroner med forbrenningsmotorer. Den høye energitettheten i fossilt drivstoff sammenliknet med energilagringkapasiteten i batterier, gjør disse overlegne i utholdenhet. I tabell 5.4 er fastvingedroner listet opp etter modell og tekniske data.

Tabell 5.4: Fastvingedroner med lang rekkevidde og deres nøkkelspesifikasjoner. Dimensjonene på dronen oppgis i vingespenn (W) og lengde på fartøyet (L). Maksimal hastighet (M) og normal hastighet ved flyging, eller *Cruise Speed* (C) er også listet opp.

Navn	Produsent	Flytid	Lastekapasitet	Dimensjoner	Hastighet
FX450	Robot Aviation	> 30 timer	100 kg	W: 7 m L: 4,2 m	M: - C: 130 km/h
F-330	UMS Aero Group	> 8 timer	10 kg	W: 3,3 m L: 2,3 m	M: 200 km/h C: 120 km/h

5.1.1.4 Helikopterdroner med forbrenningsmotor

Sammen med fastvingedronene som har forbrenningsmotor, er helikopterdronene på mange måter mindre modeller av bemannede fartøy. Flytid kan være noe mer begrenset, men det den største forskjellen er lastekapasiteten. Også helikopterdroner med forbrenningsmotor brukes i all hovedsak som plattformer for annet sensorutstyr.

I tabellen under presenteres to helikopterdroner som er av de større modellene. Ønskes større modeller er alternativet konvensjonelle helikoptre som er bygget om til ubemanne-

de plattformer. I tabellen er viktige nøkkeldata er rekkevidde, lastekapasitet, størrelse og hastighet.

Tabell 5.5: Helikopterdroner med forbrenningsmotor. Rotordiameter (D) og total lengde (L) beskriver dimensjonene på helikopteret, mens hastighetene er beskrevet av maksimal hastighet (M), normal "cruise" hastighet (C) og optimal hastighet for utholdenhet, eller "Loiter Speed" (Lt).

Navn	Produsent	Flytid	Lastekapasitet	Dimensjoner	Hastighet
Camcopter S-100	Schiebel	> 6 timer med 34 kg last og Lt-hastighet	50 kg	D: 3,4 m L: 3,1 m	M: 240 C: 185 km/h Lt: 102 km/h
RX200	Robot Aviation	Opptil 4 timer, eller 2 timer med 10 kg last.	35 kg	D: 3,2 m L: 2,8 m	0-120 km/h

5.1.1.5 Droner til dedikerte oppdrag

Motivasjonen for å starte produksjon av droner i dag virker å være todelt. For noen har det oppstått en ide om å utvikle et konsept som er så unikt at det er verdt å satse på, mens andre har tatt dronen inn som et ekstra produkt til et allerede eksisterende marked. Det sistnevnte fører til at det lages droner med mål om å tilfredsstille kun en kundegruppe, i motsetning til å produsere fleksible plattformer for flere bruksområder. De vanligste eksemplene på slike droner finnes hos leverandører av landmålingstjenester eller leverandører av utstyr til slike tjenester. Tabell 5.6 presenterer et utvalg av droner som er laget for en konkret oppdragstype. Flytid, rekkevidde og last kan sammenliknes dronene imellom, samt oppdragstypen dronene er ment for.

Tabell 5.6: Profesjonelle droner med spesifiserte arbeidsområder.

Navn	Type	Flytid	Rekkevidde	Last	Oppdragstype
UX5	Fastvinge	50 min	60 km	RGB-kamera	Landmåling
RiCopter	Multikopter	>30 min	-	RIEGL VUX-1	Laserskanning
HUGINN X1	Multikopter	>20 min	5 km	Quark 640 og RGB	Søk og redning
CamFlight X8	Multikopter	30 min	0,5 km ²	Gimbal for kamera	Landmåling

Droner som ikke er presentert i tabellen over, men som går under samme kategori, er droner til foto og videoopptak. Her finnes det veldig mange aktører på markedet da foto og video er et populært bruksområde for droner. De dronene som brukes til inspeksjon er på

mange måter like de som brukes til foto og video, men det er helt klart store forskjeller i omgivelsene disse plattformene brukes i.

5.2 Instrumentene

Luftbårne instrumenter og sensorer i dag er som regel tilpasset bruk på bemannede plattformen. Det innebærer at vekt og størrelse på utstyret i mindre grad trenger å ta hensyn til lastekapasitet og volumbegrensninger sammenliknet med utstyr til bruk på droner. Siden små droner nå har nådd det kommersielle forbrukermarkedet er det naturlig at sensorindustrien følger etter og utvikler produkter tilpasset droner.

I tabellen under er et utvalg av nye sensorer som er utviklet til droner slik at kvaliteten på måledata ivaretas på best mulige måte. Tabellen viser at det utvikles det sensorer for droner innen nesten alle kategorier. De konkrete modellene beskrives med bruksområde og egenvekt. Det er viktig å legge merke til at noen produsenter oppgir massen til bare sensoren, mens andre inkluderer massen til det monteringsklare systemet rundt sensoren (sensorhus, IMU, tilkoblinger osv.).

Tabell 5.7: Sensorer som er dedikert til bruk på droner og er tilgjengelige på markedet.

Produsent	Modell	Type sensor/bruksområde	Vekt
Riegl	VUX-1	LiDAR m. landmålerøyaktighet [61].	3,6 kg
HySpek	Mjølner	Hyperspektralt kamera [30].	<4 kg
Flir	Quark 640	IR-kamera [24].	28 g
Applanix	APX-15 UAV	IMU og GNSS-mottaker [3].	60 g
Ofil	DayCor ROMpact	Koronadeteksjon i dagslys [53].	1,5 kg
IMSAR	NanoSAR C	Objektdeteksjon under alle slags værforhold [31].	1,4 kg
Skybotix	VI-Sensor (visual-inertial) ¹	Romlig posisjonsbestemmelse ved hjelp av IMU og stereo RGB-kameraer [69].	130 g

Det finnes andre studier som gjennomgår tilgjengelige sensorer til bruk på droner [16], og det forventes at flere produsenter av aktuelt utstyr vil lansere nye produkter for mindre droner.

Når det gjelder RGB-kameraer har tradisjonelle modeller spesifikasjoner som gjør det mulig å bruke disse slik de fremstår i dag. For mange systemer er for eksempel GoPro et populært valg, mens profesjonelle plattformen bruker mer avanserte kameraer fra kjente leverandører. Dog må kameraene innlemmes i systemet som brukes på den aktuelle flyvende plattformen. Kvaliteten og oppløsningen på bildene må sammenfalle med formålet med å ta

disse bildene. For eksempel krever Inspeksjon høy detaljgrad og riktig fokus i bildene, mens landmåling krever høy oppløsning.

5.3 Tjenesteytende aktører

Det finnes aktører som har basert sine tjenester omkring droneteknologi eller benytter droner som et ekstra verktøy for å øke kvaliteten og mengden på tilbudene de leverer. I Norge er antall aktører som gjør dette økende, men blant de som fokuserer hele sin bedrift omkring droneaktivitet er det få som har mye erfaring å vise til når det gjelder tjenester innen det elektriske nettet. I Europa finnes det selskaper som i større grad har kommet lenger og har noe mer erfaring innen inspeksjon, også av elektriske anlegg.

I tabellen på neste side presenteres tjenesteytere som har relevante dronetjenester for nettselskaper. Disse aktørene har tjenester som tilsammen dekker flere av utfordringene nettselskaper arbeider med. Av tabellen fremkommer opprinnelsesland til tjenesteyteren og hva slags tjeneste de tilbyr.

Tabell 5.8: Leverandører av dronetjenester som er relaterte til drift av nettselskap.

Tjenesteyter	Tjeneste	Kommentar
Cyberhawk (UK)	Inspeksjon/ prosessering	Utfører inspeksjoner på høyspentanlegg og kan georeferere ² dokumentasjon i software. Har lengre erfaring i drone-sammenheng[17].
MøreUAS (NOR)	Inspeksjon	Satser blant annet på inspeksjonstjenester i kraftnettet. Baserer tjenestene på Microdrones' produkter. Opprettet i 2015[49].
Hålogaland Kraft	Inspeksjon	Har utviklet plattformer i samarbeid med VulcanUAS for å gjennomføre inspeksjon på eget anlegg. Ønsker å utvide til inspeksjonstjeneste hos andre nettselskap[70].
Visimind (SWE)	Inspeksjon	Erfaring med helikopterinspeksjoner av kraftnett og traseer, og har tatt i bruk droner som et verktøy hvor helikopter ikke er hensiktsmessig/lov å bruke[56].
eSmart Systems (NOR)	(Inspeksjon)/ prosessering	Prosesserer informasjon fra strømmettet og leverer resultatene direkte hos nettselskapets driftssentral[68].
Geomatikk-Survey (NOR)	Landmåling	Hovedfokus innen geomatikk, modellering og landmåling. Har tatt i bruk drone til oppmåling og datainnsamling for ortofoto, terrengmodeller, volumberegning og 3D-modeller[2].

Kapittel 6

Arbeidsmetoder

Til nå har denne oppgaven presentert aktuelle problemstillinger hvor droner kan bidra (kapittel 4) og lagt frem et utvalg av produsenter, tjenesteytere, instrumenter og droner som finnes på markedet i dag (i kapittel 5). I dette kapitlet legges presenterte produkter fra markedet som grunnlag for undersøkelse av løsningsmetoder på utfordringene presentert i kapittel 4.

Arbeidsoppgavene som dronene kan utføre presenteres to hovedgrupper: fjernmåling-soppgaver og kontaktarbeid. Prosesseringsarbeidet av datamengdene som oppstår ved fjernmåling, diskuteres i en egen seksjon. Til slutt følger en oppsummering av markedets modenhet med hensyn på typiske utfordringer nettselskaper står ovenfor.

6.1 Fjernmålinger

Droner med egnet sensorapparat kan utgjøre et godt verktøy til fjernmåling av aktuelle områder og installasjoner. Med fjernmåling menes innsamling av data uten at sensorapparatet er i fysisk kontakt med overflaten den analyserer.

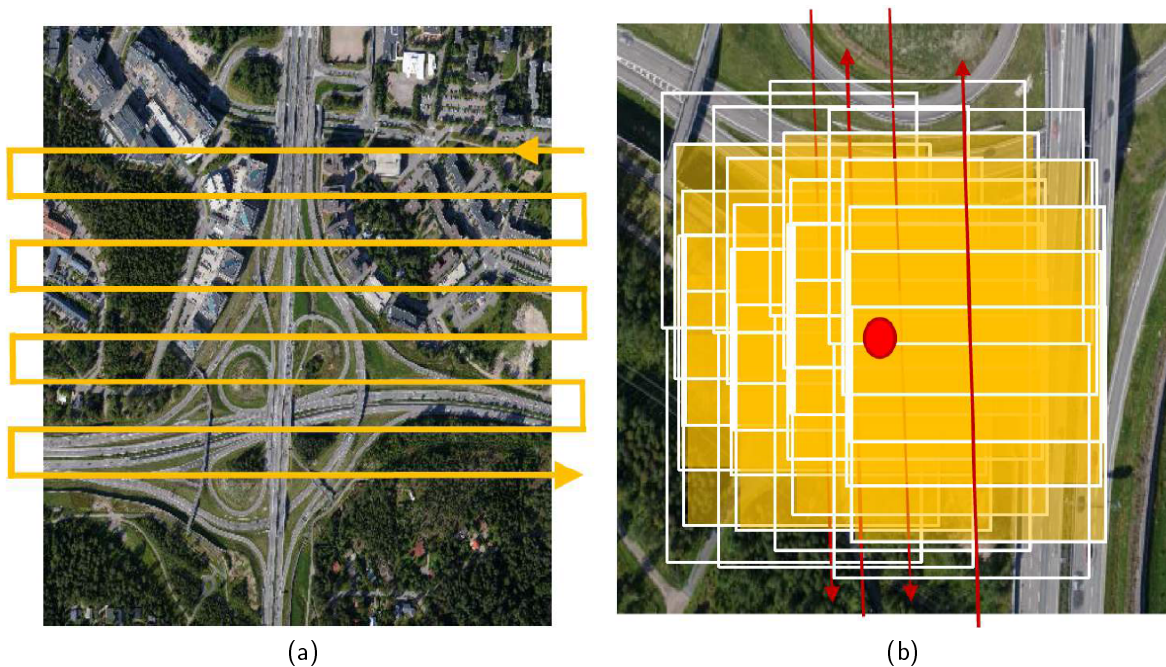
Den umiddelbare distinksjonen mellom droner som samler data sammenliknet med bakke-mannskap og helikopter, er at mennesket har mindre tilstedeværelse i innhentingprosessen, med de fordeler og ulemper det medfører. I tillegg får sensorene mulighet til å innta nærmest alle posisjoner.

6.1.1 Droner som kan bidra ved utredningsfasen

I seksjon 4.1 kommenteres verdien av gode målinger og hvordan datainnsamlingen praktiseres i dag (i 4.1.1). Landmålinger utgjør en del av datainnsamlingen, hvor konvensjonelle metoder innebærer noe manuelt arbeid på bakken, eller bruk av bemannede fly eller helikopter. Droner

har egenskaper som kan utføre de samme oppgavene som i dag gjøres manuelt. Selve dronen er kun en plattform for nødvendige sensorer som kan gjøre landmålinger. Fra tabellene i kapittel 5 fremkommer det at flere av produktene og tjenestene i dag kan utføre oppdrag som er verdifulle for arbeidet i utredningsfasen.

Metoden for å gjennomføre landmåling med droner vil i all hovedsak bestå i å forhåndsprogrammere en rute som dronen skal følge (se figur 6.1a), mens egnet sensorutstyr gjør de nødvendige datainnsamlingene. For hver utførte registrering/fotografering med sensorene, lagres også egenposisjon og retningen sensoren peker. Dette gjøres ved hjelp av registreringer fra GNSS-mottakeren og IMU, i tillegg til etterbehandling av INS-kalkulasjoner og kameraopphegets posisjon (GNSS, IMU, INS og "gimbal" er beskrevet i 3.2.3). Når disse dataene er tilstrekkelig gode, med for eksempel tilstrekkelig med overlapp på bildene (se figur 6.1b), benyttes egnet programvare som prosesserer dataene og lager de ønskede modellene.



Figur 6.1: Fremstilling av datainnsamling til fotogrammetri. Illustrasjoner: Bygg Controll

Fremgangsmåten for å anskaffe disse modellene, ut ifra funnene som er gjort i denne oppgaven, kan gjennomføres på to måter. Den ene muligheten er direkte kontakt med tjenesteleverandører innen landmåling, alternativt anskaffe egne plattformer og systemer som kan produsere de samme produktene.

I tabell 5.8 finnes det en landmåler-tjeneste som har tatt i bruk drone som verktøy for å forbedre tilbudet. En representant fra selskapet Geomatikk Survey [2] opplyser at landmåling av arealer i størrelsesorden 0,5 - 2 km² krever omlag en dag med en Camcopter 8-drone for datainnsamling, og normalt 3-4 dager til prosessering av disse dataene (med kyndige prosesseringsingeniører) før modellene er klare.

Med utgangspunkt i tabell 5.6 kan det anskaffes droner som utfører datainnsamling sammenliknbart med landmålingsfirmaer. Flere av leverandørene av landmålingsdroner leverer komplette plattformer sammen med programvare som tillater både planlegging av autonome flyruter, og etterprosessering av innsamlede data.

Den største distinksjonen mellom de to landmålingsmetodene som er nevnt ovenfor, er den menneskelige kompetansen og forståelsen av landmåling som følger ved å benytte landmålere som bruker droner. Alternativet er å stole på egne ferdigheter og de systemer som medfølger landmålingsdronen. En landmålingsdrone kan ikke utnyttes til det fulle uten en kyndig operatør som forstår seg på geomatikken¹.

6.1.2 Beredskapsdroner som søker etter årsak til driftsstans

Når det gjelder droner som brukes i beredskap eksisterer det tilsynelatende ingen totaltjeneste for nettselskaper som kan tilby dette som et produkt på nåværende tidspunkt. Derimot leverer flere produsenter av droner produkter som potensielt kan brukes til dette formålet.

Det er klart at utstyret som skal brukes med formål om å lokalisere uforutsette feil som oppstår i nettet, vil ha krav til å tåle påkjenninger fra omgivelsene. I avsnitt 4.3.2 kommer det frem at hovedårsaken til driftsstans i nettet skyldes omgivelsene, med andre ord været, hvor lynnedslag og vind er de viktigste årsakene. Som nevnt i innledningen til dette kapitlet er den store fordelingen med droner at man kan tillate seg å ta større risiko med utstyret, uten at det går utover HMS-aspektet, sammenliknet med bemannede luftfartøy i samme situasjon.

Droner som skal søke etter feil i nettet starter ikke letingen med helt blanke ark. Informasjon fra transformatorstasjoner indikerer til en viss grad hvor i nettet feilen kan ligge, mens det ved lyn og torden eksisterer et nettverk som kan angi relativt gode posisjoner på lynnedslag.

Under presenteres to forslag på hvordan droneteknologien kan utnyttes for å få oversikt ved uforutsette feil.

¹Det finnes mange forhold som påvirker fotogrammetri: bildeoverlapp, flyhøyde, antall passpunkter, type kamera, solaktivitet (påvirker GNSS) mm.

6.1.2.1 Fastvinge- og helikopterdrone med forbrenningsmotor

Ved å velge en fastvingedrone med forbrenningsmotor oppnås den lengste aksjonsradiusen og størst stabilitet da disse tenderer til å være større.

Avhengig av mengde drivstoff og ønsket last, kan det for eksempel være aktuelt å anta at FX450 fra tabell 5.4 uten problemer kan oppnå aksjonsradius på over 100 mil med utgangspunkt i en base. Interessant er det om det opprettes operasjonsbaser jevnt fordelt utover landet. Med tre slike baser, fordelt fra sør til nord, ville hele Norge i teorien være et dekket aksjonsområde.

Dersom det ubemannede flyet er utstyrt med egnet IR- og RGB-kamera som har direkteoverføring til bakkestasjon, vil det ubemannede flyet kunne gi oversikt over store områder. Det gjør det potensielt mulig å oppdage stedet hvor en eventuell feil har inntruffet. Dersom det også installeres en SAR-radar på fartøyet muliggjøres observasjoner under forhold som regn, snø og tåke.



Figur 6.2: FX450. Bilde er hentet fra tilsendt datablad og formidlet med tillatelse fra Robot Aviation

Begrensninger knyttet til bruk fastvingedroner til beredskap er primært responstid. Selv om aksjonsradius stor kan tiden det tar å finne feilen bli lang. For å øke responstiden, samtidig som aksjonsområde opprettholdes vil utstasjonering av flere Camcopter S-100 fra tabell 5.5 være et alternativ. Med høy topphastighet kan den oppsøke uforutsette feil på kort tid. Som alle kopterdroner, har den muligheten til å hovre over et bestemt punkt. Slik kan utviklingen av en hendelse overvåkes kontinuerlig.

Begge dronene presentert ovenfor er nye verktøy i kommersiell sammenheng. Mangelen på erfaring fører til usikkerhet, spesielt knyttet til aksjoner i dårlig vær. Begge scenarioene ovenfor krever testing og tilpasninger før et driftssikkert system kan opprettes.

6.1.2.2 Utstasjonering av multikopterdroner

MøreUAS fra tabell 5.8 viser på sin hjemmeside at de under tjenester tilbyr produktet *Birdnest* som er avbildet i figuren under. Med et slikt system er det mulig å utplassere droner på områder som antas å være spesielt utsatt eller er så avsidesliggende at det er hensiktsmessig. Også bemannede stasjoner vil i mindre grad ha behov for bemanning med et system som *Birdnest*. Dronene kan da sendes ut på oppdrag dersom det oppstår en situasjon som må kartlegges. Denne type system vil mest sannsynlig ha den korteste responstiden, men aksjonsradius er liten. Systemet ble testet i samarbeid med det norske forsvaret i 2010, og Statens Vegvesen har meldt interesse i sammenheng med overvåkning/kartlegging av ras[13].



Figur 6.3: “Birdnest”, eller ScamCam, en fjernstyrt hangar. Foto: Scandicraft, med tillatelse fra MøreUAS.

Relevante droner for slike oppdrag kan for eksempel være Huginn X1 fra tabell 5.6. Da har man mulighet til å kartlegge område av interesse med et RGB-kamera, samtidig som IR-kameraet gjør det mulig å gjennomføre oppdrag i mørket. Et alternativ til innkjøp av en kjent modell, er å utvikle en egen plattform som er optimalisert for å takle aktuelle påkjenninger. Utviklingen kan enten være å inngå samarbeid med aktører som for eksempel VulcanUAS fra tabell 5.1, eller utvikle egne droner ved å kjøpe forbruker-komponenter fra kjente produsenter som Dji. Sistnevnte krever stor kompetanse og forståelse av oppbygning og programmering av droner. Uansett er det helt klart at oppdragene vil være begrenset av egenskapene til den aktuelle dronen, og evnen den har til å takle vær og vind. Kommersielt er det få eksempler på droner som tåler røffe påkjenninger.

6.1.3 Inspeksjons- og befaringsdroner

I utvalget av droner og tjenesteytere som er presentert i kapittel 5, så kommer det klart frem at de leverandørene og tjenesteyterne som har produkter for nett-bransjen sikter seg inn på inspeksjons- og befaringsarbeidet. I Norge er det ikke mange praktiske eksempler på inspeksjon av det elektriske nettet med bruk av droner, men det er noen.

Hålogaland Kraft har selv skaffet til veie plattformer² som de bruker til inspeksjon av eget nett. Også det svenske selskapet Visimind (begge fra tabell 5.8) utfører inspeksjoner med droner på Hafslund Nett sine stolper, som ellers ville blitt klatret med stolpesko. Erfaringene tilsier at kvaliteten på innsamlet data er meget tilfredsstillende. Hålogaland Kraft vil bytte ut all helikopterinspeksjon med droner, med unntak av nødbefaring. Hafslund Nett vil fortsette med helikopter hvor det er mulig, av økonomiske hensyn, men bruke droner dersom det erstatter stolpeklatringer [14].

6.1.3.1 Multikopterdroner som utfører inspeksjoner

I likhet med dronetjenester som utfører landmåling, finnes det også tjenester som utfører inspeksjon av elektrisk nett ved hjelp av droner. Tilbudet er derimot mindre.

Det skotske selskapet Cyberhawk fra tabell 5.8 er et dedikert inspeksjonsfirma som baserer seg på droner, de fleste av typen Falcon 8 fra tabell 5.2. Sensorapparat er et videokamera som også kan ta høyoppløselige stillbilder. Prosessen for å hente inn bilder er mest sannsynlig lik fremgangsmåten både Visimind og Hålogaland Kraft bruker. Hålogaland Kraft har et aksjonsområde som begrenses av flytid på rundt en halvtime og at dronen må være nærmere enn 1,2 km fra operatøren. Dronen styres med videolink og flys dermed i FPV og til dels BLOS. Visimind bruker to operatører som flyr dronen VLOS. Aksjonsområde er begrenset av at deres plattform må bytte batteri hvert 5.-10. minutt.

²Har utviklet spesialdesignede droner i samarbeid med VulcanUAV fra tabell 5.1.

Dersom et nettselskap vil anskaffe egne droner til inspeksjon, vil det på grunn av flytiden være mest aktuelt å bruke multikopterdroner som et ekstra verktøy eller som *det* verktøyet som brukes av de som vanligvis utfører inspeksjon. Det vil typiske være to operatører som gjennomfører inspeksjonen, en til dronen og en til kameraet. Slik får man god fremkommelighet og god dokumentasjon av mastene. En stor fordel ved bruk av droner til inspeksjon vil være at inspektørene ikke må være helt innpå mastene. Dermed kan det spares mye tid siden man kan unngå forsering av det vanskeligste terrenget. Aktuelle sensortyper for inspeksjon er RGB-, IR- og koronakameraet.

Inspeksjoner beskrevet i denne seksjonen kan bidra til at bakkebefaring og mastekontroll får forbedret kvalitet og dokumentasjon. Behovet for eventuell bestigning av mastene blir mest sannsynlig redusert. Videre kan de samme dronene anvendes til bygningskontroll av anlegg som er i konstruksjonsfasen.

6.1.3.2 Inspeksjonsdroner med forbrenningsmotor

Tjenesteytende aktører har per tid liten erfaring, men teknologien og plattformene som potensielt kan utføre inspeksjon, tilsvarende bemannet helikopterbefaring, er tilstede. Aktuelle droner tilsvarer helikopterdronen som kan brukes til beredskap, som beskrevet i 6.1.2.1, men systemene vil i mindre grad være avhengig av å tåle dårlige forhold, siden inspeksjoner kan utføres når forholdene tillater det. Dronene må derimot optimeres for rutineinspeksjoner og automatisert datainnsamling for å oppnå høyest mulig kvalitet med minst mulig ressursbruk.

Med større lastekapasitet kan de store helikopter- og fastvingedronene bære sensorer som kan dekke flere behov. Med LiDAR og et RGB-kamera kan disse dronene innhente rådata som inneholder tilstrekkelig informasjon til å avdekke gjenstander i traseen som er for nære linene eller ikke skulle vært der i utgangspunktet. Dersom RGB-kameraet byttes ut med et multi- eller hyperspektralt kamera, kan det være mulig å automatisk detektere for eksempel rust, trær (som vokser) og is på linene ved hjelp av bildebehandlingsprogrammer. Datamengden fra slike kameraer er mye større sammenliknet med RGB-kameraet.

6.1.4 Termografering

Som det kommer frem av tabell 4.1 er termografering med IR-kamera avhengig av variable parametere i omgivelsene. Bedre kvalitet og sømløs gjennomføring av termograferinger kan oppnås dersom inspeksjonen kan forhåndsprogrammeres og initieres når alle forhold ligger til rette. Med autonom inspeksjon kan det også være aktuelt å gjennomføre befaringen i mørket etter solnedgang. Dette vil i seg selv være en stor fordel siden sollys påvirker måleresultatene til IR-kamera. Dersom vegetasjon og terreng tillater det vil det være mulig for mindre droner å termograferer installasjonene fra vinkler som ikke er praktisk gjennomførbart med helikopter.

Aktuell sensor er IR-kamera med tilstrekkelig kvalitet. Helikopterdroner er best egnet dersom inspeksjonen skal gjennomføres autonomt, på grunn av flytid. Inspeksjonen kan også gjennomføres av inspektører som bruker multikopterdroner med mindre IR-kamera.

6.2 Prosessering av målinger

Ved å bruke ubemannede fartøy som plattform for sensorer er det (i første omgang) umulig å unngå store mengder rådata. Disse rådataene må behandles på en eller annen måte slik at nytteverdien av datainnsamlingen blir størst mulig. Dersom denne delen av prosessen feiler, gir bruken av droner liten nytteverdi. Igjen er det få tjenester på markedet som behandler rådata som er innhentet med droner.

Når Cyberhawk gjør inspeksjoner prosesserer de bildene *tilbake på kontoret*, hvor de kategoriseres og oppsummeres i en matrise som blant annet belyser de delene i anlegget som krever tiltak. Bildene blir også georeferert og lagt ut på en interaktiv karttjeneste (GIS) som drives gjennom en sky-tjeneste. Her kan kundene logge inn å hente opp bildene når de skal ut å gjennomfører tiltak. I Norge vil eSmart Systems i fremtiden tilby en liknende sky-tjeneste som er dedikert for nettselskaper som anvender droner. I dag utfører de prosessering av rådata fra AMS-målere i sanntid for å rapportere tilstand og dokumentere status på nettet. Alt skjer gjennom skyen.

Kart og landmålingstjenester har lang erfaring med å benytte fly som en plattform (for RGB-kamera og LiDAR) for å skaffe data til deres produkter. I dag samles dataene inn og prosesseres bulkvis i programvare som produserer ønskede modeller, forklart i 4.1.1. Behandlingen av rådata fra droner som skal brukes til produksjon av geomatiske modeller, kan adaptere fremgangsmåter som eksisterer hos aktører med geomatikkfaglig bakgrunn. Når det gjelder rådata som er hentet inn i sammenheng med inspeksjon kan andre løsninger være mer hensiktsmessige.

Et overordnet mål for alle rådata er at prosesseringer av disse må skje så sømløst som mulig, samtidig som det opptar så få ressurser som mulig. Det er også viktig at det fokuseres på å hente ut mest mulig anvendbar informasjon fra rådataene. Fotogrammetri er et godt eksempel på at bilder ikke bare bilder. God rådatabelandling øker dronens nytteverdi.

6.3 Kontaktarbeid

Droner som gjennomfører arbeidsoppgaver som innebærer kontakt og forflytning av andre objekter, vil oppleve andre fysiske påvirkninger sammenliknet med droner som utfører fjernmålinger. Dette innebærer at den autonome oppførselen til en dronen vil være annerledes sammenliknet med droner som brukes til fjernmåling.

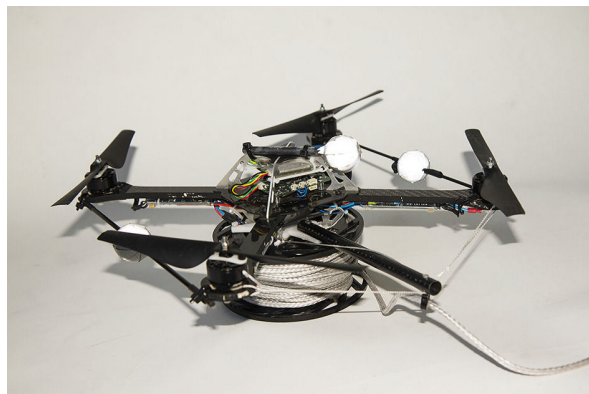
Begge forskningsarenaene som er nevnt avslutningsvis i seksjon 2.2 studerer muligheten ved å bruke droner til intervensjon. Det innebærer blant annet studier der droner gjerne samarbeider om å løfte, forflytte og overlevere objekter og bygge forskjellige konstruksjoner. Det er nærliggende å tro at disse forskningsresultatene vil gjøre seg gjeldende for egenskapene og prestasjonene til fremtidige droner. Det som er felles for disse prosjektene er at det brukes kopterdroner, som har den viktige egenskapen at de kan holde seg i ro i luften.

6.3.1 Trekke pilotline

Sett opp mot det å fly ut pilotline, beskrevet i 4.2.1, så er det verken operatører eller drone-teknologi på markedet i dag som adresserer denne problemstillingen med et kommersielt tilbud. Dette er en krevende operasjon, og det gjenstår noe utvikling før teknologien tilsier at markedet skal kunne tilby en sikker og effektiv måte å fly ut en pilotline på.

Først og fremst er arbeidet som gjøres på Flying Machine Arena interessant. En av rapportene beskriver hvordan droner kan lage konstruksjoner ved å forankre tau som deretter kjøres ut fra en snelle montert på en drone [7], se figuren under. Snella på dronen gir ut tau dersom trekkraften på tauet blir tilstrekkelig stort, slik som snellene man finner på ordinære fiskestenger. Denne manøveren er vist gjennom forsøk, med tilfredsstillende resultater. I prinsippet har denne dronen potensialet til å fly ut en pilotline.

Tauet i rapporten er laget av Dyneema med en diameter på 4 mm og masse på 7 g per meter og en bruddstyrke på hele 1300 kg. Det tilsier at dersom dronen kan bære 5 kg med tau, vil dette tauet være over 700 meter langt. Tatt i betraktning at det er omlag 300 meter mellom hver mast, er 5 kg tau nok til å strekke to master.



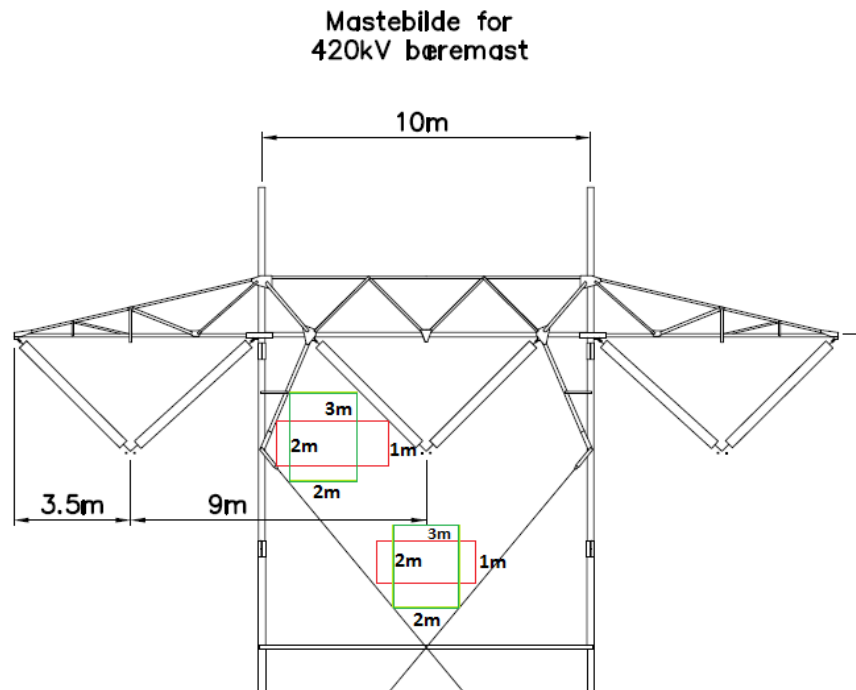
Figur 6.4: Dronen med påmontert tausnelle. Foto er hentet fra [7] etter tillatelse fra ETH Zürich.

Av natur er disse forsøkene sammenliknbare med hvordan en drone kan trekke ut en pilotline. Det er derimot andre faktorer som skiller forsøkene fra virkeligheten, og det er omgivelsene. Miljøet til dronen i forskningsprosjektet er et innendørs oppsett hvor posisjonen til dronen oppdateres opp mot 200 ganger per sekund via eksterne sensorer, som sammen med datakraft beregner dronens fremtidige posisjon. For at en drone skal kunne trekke pilotline, er den også avhengig av å vite nøyaktig sin relative posisjon i forhold til masten, samtidig som den håndterer påvirkningene fra omgivelsene.

Ved hjelp av for eksempel GNSS-mottakeren i tabell 5.7 og bruk av RTK-posisjonering er det mulig å forbedre presisjonen på egenposisjon i sanntid. Deretter må dronens INS programmeres slik at målinger fra både IMU og eksterne sensorer brukes til å kalkulere dronens adferd for å unngå kollisjon med masten, ved for eksempel vindkast. Aktuelle eksterne sensorer i denne sammenheng kan være kortdistanse-LiDAR eller sonarer som måler avstand til nærliggende omgivelser, tilsvarende ryggeassistanse på moderne biler. Alternativt er det også mulig å se for seg at dronen navigerer ut ifra en 3D-modell hvor mastene er tegnet inn. Dermed kan differensiert GNSS antyde dronens posisjon i denne modellen, mens for eksempel VI-sensoren fra tabell 5.7 kan bestemme dronens posisjon når den "ser" masten i virkeligheten. ToF-kameraer kan også brukes for å fremstille nær omgivelse tredimensjonalt, men kameraet vil i større grad påvirkes av sollys og er mest aktuelt for innendørs-/nattbruk.

Ut over at dronen må kontrollere sin egen posisjon for å unngå kollisjon, vil den også ha klare begrensninger på hvilke dimensjoner den kan ha. Figuren på neste side er en skisse hvor veiledende dimensjoner på potensielle "flyvinduer" er tegnet inn. Ved trekking av pilotline er blokkene montert på isolatorkjedene, og er ikke med på denne skissen (se figur 4.4). Skal en drone trekke en pilotline må den ha en bredde mindre enn 2-3 m og høyde lavere enn 2-1 m for å unngå kollisjon³.

³Historisk sett har høyspentmastenes design utviklet seg med jevne mellomrom, for eksempel etter innføring av høyere spenninger. Det må derfor være rimelig å anta at dagens master en dag byttes ut av nye, med nytt design.



Figur 6.5: Planskisse av en standard 420 kv bæremast som brukes i sentralnettet. Skisse: Statnett.

Optimal fasong på dronen, sett bakfra i et vertikalt snitt, er en opp-ned liknende trekant. Dronera X12U fra tabell 5.2 er en drone som har bra nok løftekapasitet til at den i teorien kunne kjørt ut strekk med Dyneema-tau, tilsvarende det et helikopter gjør i dag. Flytid og kollisjonsunngåelse med mastene er imidlertid to sentrale utfordringer som må løses før gode pilotline-droner kan realiseres.

6.3.2 Frakt av utstyr

Jo flere behov en og samme drone dekker og jo flere muligheter den åpner for, desto større merverdi vil dronen gi.

Antatt at et nettselskap anskaffer multikopterdroner som de utfører for eksempel inspeksjoner med, så er det ikke noe i veien for at disse kan brukes til å frakte utstyr med vekt opp mot noen kilo, når de ikke brukes til inspeksjon. Frakt over fjorder, opp i master eller over andre ugjestmilde områder kan være fine eksempler på at dronen kan gi positive bidrag til "hverdagen" hos nettselskaper.

6.4 Oppsummering

Det stilles er tvil til at det har ankommet store mengder ny teknologi relatert til ubemannet luftfart. Det gjelder både luftfartøy og systemer til disse fartøyene. Det er stor grunn til å tro at noe av denne teknologien kan bidra til økende grad av effektivitet i driften av det elektriske kraftnettet. Enkelte produsenter har også tatt hensyn til at deres utstyr kan brukes i nærheten av høyspenningsanlegg⁴. Samtidig bærer det tjenesteytende markedet preg av å være ungt. Det innebærer manglende erfaring og modenhet for bruk av tjenestene innenfor de omgivelser nettselskaper arbeider under.

Tabell 6.1: En oppsummering av hvilke utfordringer innen nettbransjen som adresseres av eksisterende dronetjenester. 0 betyr "ingen grad", en + antyder "muligens/middels grad" og ++ betyr "i moden grad".

	Landmåling	Pilotline	Bygningskontroll	Bakkebefaring	Mastebefaring	Søke etter feil
Eksisterende tjenester	++	0	+(+)	0	+(+)	(+)
Kommende tjenester	++	0	+	+	++	+
Teknologien finnes	++	+	++	++	++	+
Krever utvikling	0	++	+	+	+	++

Som det kommer frem av tabellen over, er droner som brukes til landmålingstjenester godt representert på markedet, og sensorleverandørene satser på videre utvikling av tilpasset ubemannede plattformer. Når det gjelder landmålingstjenester fremstår det ikke som nødvendig for nettselskaper å engasjere seg i utviklingsprosjekter innen landmåling av nettanlegg.

Pilotline-problemstillingen er derimot en lite kjent utfordring blant drone-tjenesteytere. Derfor må det forventes at nettselskapene selv må stå for utviklingen, eller starte tette samarbeid med aktuelle produsenter.

Innen inspeksjon finnes det flere aktuelle aktører, men graden av erfaring er foreløpig liten, med Cyberhawk som et tilsynelatende unntak. Aktørene som har inspeksjonstjenester retter seg mot produkter som i større grad tilfredsstillende mastebefaring og bygningskontroll. Da bakkebefaring innebærer at kyndige inspektører også kan utføre mindre arbeidsoppgaver (som å stramme barduner), tilbys det ingen tjenester for dette. Skjønt det sikkert er mulig å utføre denne type befarings hvor kyndig ansatt går inspeksjon i samarbeid med en tjenesteleverandør, men som sagt finnes det ingen slike samarbeidstjenester.

⁴ Dronen MD4-1000 fra Microdrones er blitt testet 3 meter ifra en 380 kV overføringsline i testlaboratoriet til TU Dresden. Det påstås at hverken de elektriske eller magnetiske

Når det gjelder å søke etter feil i nettet er det i utgangspunktet ingen som adresserer denne problemstillingen. Det er derimot massiv interesse av å tilby tjenester i form av søk og redning og det er innen rimelighetens grenser å påstå at disse områdene er tett relaterbare. Siden aktører har spesifisert at de vil levere tjenester myntet på det elektriske nettet, kan det være at disse også vil komme med beredskapstjenester, men de eksisterer ikke i dag. Nettselskaper trenger i liten grad å utvikle teknologien på dette området, men markedet trenger gode metoder for hvordan slike oppdrag skal gjennomføres. Her er det naturlig at nettselskapene kan bidra med kunnskap og behov fra egen bransje.

Generelt fremstår få tjenester som tilpasset for anvendelse innen nettvirksomhet og den faglige kunnskapen om nettdrift kan til tider virke lav blant aktørene. Dette gjelder spesielt på sentralnettet hvor størrelsesorden på utstrekning og spenningsnivå er ukjent for de fleste.

Kapittel 7

Forslag til videre arbeid

I dette kapitlet presenterer undertegnede sine forslag til videre arbeid. Forslagene er sammenliknet med konklusjoner og andre forslag fra tidligere rapporter med liknende problemstillinger [9, 16].

Først presenteres generelle forslag som gjelder ved anskaffelse av droner til nettdrift. Deretter presenteres konkrete prosjektforslag som i stor grad springer ut av vurderingene og diskusjonene gjort i forrige kapittel.

7.1 Generelle forslag

Slik markedet fremstår per nå er det ingen tvil om at droner har et potensial til å være gode verktøy i den daglige driften hos nettselskaper. I første omgang er nytteverdien størst ved oppdrag hvor dronen fungerer som en plattform for sensorapparater. Siden det kommersielle tilbudet av droner ikke har eksistert lenge og på grunn av en rask teknologisk utvikling, kan en forvente ytterligere investering i videre utvikling.

7.1.1 Tilpasning av arbeidsmetoder

Dersom det bestemmes at droner skal innføres i et nettselskap gjelder det å utnytte dro- nens fulle potensial. Da er det viktig med riktig holdning til hvordan droner skal brukes i praksis. På lang sikt kan det være uheldig med en innfallsvinkel hvor fokuset går på bytte ut dagens metoder med ny teknologi, siden man da kan overse hvilke muligheter de aktuelle plattformene fører med seg på andre områder. Forskjellige ubemannede plattformer har ulik grad av fleksibilitet, og det kan tenkes at enkelte plattformer med små modifikasjoner kan utføre arbeidsoppgaver på flere områder. Det er viktig å være åpen for at oppbygningen av fremtidig praksis vil forandre seg fra de som finnes i dag.

7.1.2 Operatør og eierskapsforhold

Hvem er operatør og hvem har eierskapet? Dette spørsmålet må vurderes ved innføring av droner. Ved innføringsfaser er det viktig å ta et gjennomtenkt standpunkt på om man vil leie inn tjenester. Dersom man tror at eierskap i eget utstyr vil være fordelaktig er det viktig å starte kompetansebygging på området. Det vil si kurse ansatte slik at de kan bli operatører, gjennomføre service og har kunnskap om gjeldende regelverk.

For rutinemessige oppdrag som går i syklus, kan det være fordelaktig at man på sikt inngår kontrakter med innleide tjenester. Ved ekstraordinære oppdrag anbefales det å eie egne droner som lett kan transporteres sammen med/kontrolleres av egne operatører med nødvendig bakgrunnskunnskap. Dersom det planlegges å operere dronene BVLOS, er det ekstremt viktig å ta stilling til hvilke ressurser og kompetanse det nye lovverket vil kreve av slik aktivitet. Det samme gjelder løsninger med store fastvinge- eller helikopterdroner som står i beredskap.

7.1.3 Likestilte institusjoner

Søk og redningsaksjoner innen politi, brannvesen og organisasjoner som Røde Kors vil mest sannsynlig få innslag av droneteknologi i fremtiden. Derfor er vil det være fordelaktig å holde seg oppdatert på hvilke valg disse instansene tar, eventuelt om det er mulighet for samarbeid. Dette kan for eksempel være aktuelt ved naturkatastrofer som flom, snøras og skogbrann som rammer felles interesser. Dersom noen går til anskaffelse av droner er det i alles interesse at kapasiteten utnyttes til det fulle.

7.1.4 Forskning

Å holde seg oppdatert på den nyeste forskningen anses som nødvendig dersom man skal starte egen utvikling i tilknytning til droneteknologi.

I Norge er aktuelle organisasjoner som ASUF (Arktisk senter for ubemannede fly) og NORUTs avdeling for satellitter, fjernmåling og ubemannede fly viktige for forskningen på dette området. I samarbeid med NORUT (Northern Research Institute) har også FFI vært med på å utvikle sensorer for (i utgangspunktet sivile) droner. Relevante forskningsarenaer er også introdusert tidligere i denne oppgaven [22][25]. Ved å se til forskningsmiljøer og deres resultater får en informasjon som er nyttig ved blant annet vurdering av veikart som skal legges (som i seg selv er et godt forslag).

7.1.5 Nettverksbygging

For å unngå feilskjær i innføringen av droneteknologi anbefales det å opprette kontakt med seriøse miljøer i Norge. Blant annet bransjeorganisasjonen UAS Norway kan være en fin arena for å komme i kontakt med rett leverandør.

For å være oppdatert på det internasjonale markedet, vil en gjennomgang av den årlige "RPAS Yearbook" utgitt av UVS International [84] gi et godt bilde av utviklingen. I publikasjonen uttrykker interessenter sine behov og tanker rundt ubemannet luftfart, og produsenter kan vise hva de tilbyr.

Ut over å ha god kontakt med dronebransjen, vil koordinering med andre selskaper trolig øke sannsynligheten for en fornuftig innfasing av droner i nettet.

7.1.6 Bevisstgjøring og informasjonsdeling med den sivile befolkning

Samfunnets oppfattelse av hva en drone er har i økende grad den siste tiden dreid vekk ifra å være et militært våpen, til å være et leketøy eller et profesjonelt verktøy. Fortsatt må det påpekes at åpenhet ovenfor publikum vil være ekstremt viktig for å unngå unødvendige, negative assosiasjoner ved bruk av droner. En anbefaling er derfor å redegjøre for alle berørte parter og gi disse tilstrekkelig med informasjon angående eventuelle oppdrag som innebærer droneaktivitet. For eksempel kan medier kontaktes i forkant slik at man får en lokal/regional dekning av planlagt aktivitet og at alle direkte berørte parter kontaktes personlig. Grad av samfunnskontakt må vurderes fortløpende, men det burde aldri kunne stilles tvil om at informasjon rundt oppdragene er offentlige. Det kan tenkes at dette arbeidet er spesielt viktig i en startfase, der viktigheten avtar med tiden på grunn av holdningsendringer i befolkningen.

7.2 Prosjektforlag

I de påfølgende underavsnittene presenteres prosjektforlag som bygger på resultatene i kapittel 5 og gjennomgangen av modenheten til tjenester i kapittel 6. Rekkefølgen på prosjektforslagene kan ansees som en rangert anbefaling, hvor prosjektene som presenteres først er viktigst, med anbefalingen i underavsnitt 7.2.5 som et viktig unntak fra denne rangeringen. Anbefalingene må uansett sees i forhold til eget ambisjonsnivå og eksisterende kapasiteter innad i nettselskapet.

7.2.1 Opprette testområde

Som det kommer frem gang på gang i kapittel 6, er det mangel på praktisk erfaring blant flere aktører som ønsker å tilby tjenester rettet mot nettselskaper. Som et ledd i å gi aktørene mulighet til å tilegne seg erfaring og bevise at deres tjenester fungerer i praksis (såkalt “proof of concept”), kan opprettelse av testområder vise seg nyttig.

En mulighet er å opprette to testområder. Et område som inneholder en del av et gammelt, intakt nett som ikke er i bruk. Det andre testområdet kan være deler av et operativt nett med det høyeste spenningsnivået. Da kan man forsikre seg om at testene som gjennomføres opplever relevante påvirkninger fra omgivelsene. Det vil også være mulig for nettselskapene å annonsere tester på anbud, slik at det blir mulig å sammenlikne de forskjellige aktørene under de samme forholdene. Flere av fordelene kan blant annet være:

- Sted for opplæring av/opprettholde operatørferdigheter av egne ansatte.
- Forsknings- og utviklingsarena.
- Benchmarking-muligheter.
- Seminar/møtested for ledende aktører innen ubemannet luftfart.

Arbeidet med å opprette eventuelle testområder bør startes omgående. Da kan selskapene som ønsker å levere til nettoperatører få gjort korrigerende tiltak tidligst mulig, dersom de ved en test ser at det finnes mangler. Et annet aspekt ved å starte arbeidet raskt, er at tillatelser fra Luftfartstilsynet og tilpasning til lovverket tar tid. Som det er nevnt tidligere i oppgaven vil lovverket gå gjennom fremtidige endringer. Å holde seg oppdatert på dagens og kommende reglement vil også være essensielt ved vurdering av forskjellige drone-konsepter. Opprettelse av et kompetansesenter for droner og gjeldende regelverk bør vurderes i tilknytning til ovenfornevnte testområder.

7.2.2 Forlag til bruk av elektriske multikopterdroner

De elektriske multikopterdronene fremstår i dag som det mest tilgjengelige produktet på markedet. Det ser også ut til at det på dette området vil fortsette å være en rivende utvikling, både på dronene og systemene, samt sensorer som tilpasses til bruk på disse. Under følger to prosjektplaner for bruk av multikopterdroner i nettselskaper.

7.2.2.1 Kartlegge/landmåle små områder

Landmåling og fremstilling av modeller fra disse målingene er kjent kunnskap hos flere aktører. En anbefaling kan være å gjennomføre en masteroppgave for å analysere potensialet i

ved bruk av geomatisk modell. I oppgaven samarbeider studenten på den ene siden med nettselskapet for å kartlegge hvilke modeller som er nyttige, og hvilke behov og minstekrav som stilles til de ferdige modellene. Deretter kan studenten samarbeide med et firma som gjennomfører målingene, tilsvarende Geomatikk Survey i tabell 5.8. Til slutt evalueres resultatene. Det er viktig at både nettselskapet og landmålerselskapet er med på veiledningen av studenten med en positiv innstilling på et godt samarbeid.

Geomatisk modell	Q3			Q4		
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<input type="checkbox"/> Multikopterlandmåling		[Gantt bar spanning Aug to Dec]				
Forberedelsesfase		[Green bar spanning Aug to Sep]				
Forsøksfase				[Green bar spanning Oct to Nov]		
Evalueringsfase					[Green bar spanning Nov to Dec]	
Standardisert bestillingsordre						◆
Hybridmuligheter						◆

Figur 7.1: Gantt fremstilling av en masteroppgave som evaluerer bruken av multikopterdroner til landmåling.

Under følger en beskrivelse av de forskjellige fasene fra tidsplanen til den foreslåtte i masteroppgaven i figuren over:

Forberedelsesfase: I samarbeid med nettselskapet skal studenten kartlegge minstekrav til nøyaktighet ved modellene og bestemme seg for hvilke modeller som er ønskelige. I denne fasen er det viktig å ta hensyn til mulige fremtidige bruksområder for modellene, og fokusere på å utnytte modellenes fulle potensial. Det er også en idé å gjøre disse vurderingene i samråd med det aktuelle selskapet som skal være med å utføre målingene. Til slutt legges en gjennomføringsplan hvor man vil teste forskjellige måter å samle inn målinger med droner.

Forsøksfase: Gjennomføre tester med forskjellig grad av nøyaktighet i samarbeid med landmålingsfirma, hvor viktige parametere som gjennomføringstid, antall operatører, sikkerhetsrutiner, vær og føreforhold osv dokumenteres.

Evalueringsfase: Vurdere forskjellene mellom ulike nøyaktighetsgrader. Hvor mye øker prisen på oppdraget med høyere presisjon; hvor mye lengre tid tar det å fremstille modellene; hva er forskjellen for datalagringen i etterkant? Evaluere hvilke modeller

som oppfyller gitte krav og vurdere i hvilke situasjoner det er hensiktsmessig å bruke droner for datainnsamlingen. Datalagringsstrukturen bør også evalueres i samråd med selskapets egen IKT-avdeling. Dersom nettselskapet også har egne geomatikere bør de involveres i vurderingsprosessen. Deretter brukes vurderingene til oppnå hovedmålene under.

Mål: Det er to hovedmål, hvorav det første er å lage forslag til en standardisert bestillingsordre av geomatisk modeller som nettselskaper kan benytte. Det andre hovedmålet er å beskrive hvilke målinger nettselskapet selv kan gjøre dersom de har egne droner og av hvilken kvalitet sensorene må ha.

7.2.2.2 Verktøy for inspeksjoner fra bakken

Multikopterdroner har for liten rekkevidde til at de kan utføre oppdrag tilsvarende helikopterbefaring. Derimot har de potensiale for å bli et godt verktøy for inspektører, som beskrevet i 6.1.3.1.

En anbefaling er å starte et utviklingsprosjekt i samarbeid med selskaper som tilbyr eller ønsker å tilby inspeksjon av høyspenningsanlegg. Aktuelt samarbeidsselskap(er) kan velges etter en anbudsrunde på testarenaene foreslått i 7.2.1.

Droner som inspeksjonsverktøy	Q3			Q4			Q1		
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
Vurdere samarbeidspartnere	█								
Kursing		█							
Forsøksfase				█					
Vurderingsfase							█		

Figur 7.2: Prosjektforslag for hvordan droner kan testes som et verktøy ved inspeksjon av strømmettet.

Underveis i et slikt samarbeid burde fokuset ligge på potensielle synergier mellom dagens inspektører og den nye teknologien. For å oppnå best mulig resultater er det viktig at “droner” blir noe positivt for de som skal bruke de som verktøy i arbeidshverdagen.

Når arbeidet skal vurderes er det viktig at alle instanser og avdelinger i eget selskap får innsyn i erfaringene og resultatene som oppnås underveis i prosjektet.

Prosjektet som er illustrert i figuren over foreslås å bestå av følgende faser:

Samarbeidspartner kan som sagt tidligere velges ut ifra resultatene på en annonsert test gjennomført på et testområde. Samarbeidspartneren må stille med eget utstyr, bidra med opplæring og være med på inspeksjoner i løpet av sesongen.

Kursing av et utvalg inspektører som skal være med på prosjektet. Kursingen må gjøre de ansatte kyndige ifølge gjeldene regler og derfor må disse undersøkes slik at kursingen iverksettes i tide. De utvalgte ansatte har med fordel erfaring fra modellflyging eller bemannet luftfart. Dersom en ansatt har rikelig med slik erfaring kan det åpnes for at vedkommende ikke er inspektør.

Forsøksfasen er den delen av prosjektet hvor de kursede ansatte utfører inspeksjoner med samarbeidspartner og deres utstyr. Inspeksjoner bør gjennomføres på alle tenkelige deler av det elektriske nettet for å utforske alle muligheter. Det er viktig at alle relevante resultater, erfaringer og meninger dokumenteres. Vurdering av dokumentasjonen kan gjennomgås med jevne mellomrom i løpet av forsøksfasen, slik at testingen kan korrigeres underveis.

Vurderingsfasen har som mål å komme frem til anbefalinger på hvordan multikopterdrone skal anvendes i nettselskapet. Igjen er det viktig å involvere alle berørte parter i nettselskapet, og spesielt IKT- og geomatikkavdelingen, slik at de kan kommentere utnyttelsen og lagringen av rådataene.

Prosjektet som er beskrevet ovenfor bør i ettetid brukes som grunnlag ved vurdering av eierskaps- og operatørspørsmålet beskrevet i 7.1.2

7.2.2.3 Utvikle en semi-autonom pilotline-drone

Dersom operatøren av sentralnettet ønsker en drone som kan trekke pilotliner gjennom master tilsvarende figur 6.5, må denne mest sannsynlig utvikles på eget initiativ. Det ser ikke ut som at dette er en problemstilling markedet tar sikte på å løse i nær fremtid, på grunn av gjenstående utviklingsarbeid.

For å utvikle en pilotline-drone er en mulighet å inngå forskningssamarbeid med relevante institusjoner og engasjere en doktorgradsoppgave. Tidligere i denne oppgaven er Flying Machine Arena og Aerial Robotics Cooperative Assembly trekt frem som relevante forskningsarenaer, men det oppfordres til å undersøke flere relevante forskningsprosjekter. Testområdet beskrevet i 7.2.1 vil være et naturlig sted å utføre deler av utviklingen og testflygingen på.

Eksempler på publikasjoner og publikasjonens mål kan være:

- Fysiske grensebetingelser for en drone som skal fly gjennom en høyspentmast.

- Beskrive egenskaper ved en pilotline-drone som er begrenset av temperatur, vind, last, dimensjoner, rekkevidde osv.
- Konstruksjon av en pilotline-drone.
 - Beskrive plattformen og dens systemer og sensorer som løser utfordringer ved å fly ut pilotline
- Testresultater og erfaringer ved å trekke pilotline med en pilotline-drone.
 - Belyse fordeler og ulemper ved den utviklede pilotline-dronen gjennom praktiske forsøk.
- System for automatisert trekking av pilotliner.
 - Beskrive programvare og teknisk system som muliggjør automatisering av pilotlinetrekking.

Et anslag på tidsbruk for en slik doktoravhandling kan være fra 2 til 4 år.

7.2.3 Helikopterdroner med forbrenningsmotor

Helikopterdroner med forbrenningsmotor fremstår som det beste alternativet for å oppnå en automatisert gjennomføring av nødvendige inspeksjoner av det elektriske nettet.

En mulig anbefaling er å starte et utviklingsprosjekt tilsvarende prosjektforslaget i 7.2.2.2, men i større grad fokusere på at dronen kan gjennomføre inspeksjonene autonomt. Siden markedet i mindre grad tilbyr helikopterdroner til inspeksjon av nettet, kan det forventes dagens systemer krever noe utvikling og tilpasning for å oppnå de ønskede resultater. Eksempler på aktuelle droner finnes i tabell 5.5.

7.2.4 Fastvingedroner med forbrenningsmotor

Ut ifra kapasitetsbegrensningene til mindre droner vil det være hensiktsmessig å undersøke bruken av fastvingedroner for å kartlegge/inspisere store områder. Dette er en tjeneste som, i likhet med helikopterdronene i avsnittet over, er lite representert på markedet i dag.

Et eventuelt utviklingsprosjekt som undersøker mulighetene ved bruk av fastvingedroner, bør spesielt fokusere på hvilke fordeler/ulemper denne droneteknologien har sammenliknet med bemannet luftfart. Erfaringsmessig er bemannede fly effektive på å kartlegge store områder med den nøyaktigheten som kreves. Aktuelle droner for et slikt prosjekt finnes i tabell 5.4

7.2.5 Informasjonsbehandling

Ved å starte et utviklingsprosjekt som gjennomgår dagens behandling av innsamlede rådata fra inspeksjoner, vil en raskt kartlegge muligheter og begrensninger med dagens systemer. Målet med et slikt gjennomgangsprosjekt burde være å lage strategier som beskriver hvordan større mengder rådata fra droner skal behandles og hvordan man legger til rette for en strømlinjeformet informasjonsflyt. Et godt system for lagring og prosessering av rådata burde ansees som en grunnpilar for å innføre dronebasert inspeksjon og datainnsamling. Vurdering av gevinsten av et mer omfattende system enn dagens innrapportering etter befaring, blir en naturlig side ved et slikt prosjekt som nevnt ovenfor.

Ytterligere motivasjon for å gjennomgå dagens systemer for informasjonsbehandling kan være at det vil styrke den lovpålagte plikten til å dokumentere at nettet er "i tilfredsstillende driftssikker stand". Man vil også i større grad kunne avdekke årsak dersom uforklarlige feil oppstår. Bedre informasjonsbehandling vil også kunne bedre arbeidet med å sikre kvaliteten på befaringer dersom "dronedokumentasjon" kan brukes til sammenlikningsgrunnlag ved hendelser hvor årsak til feil har vært utilfredsstillende inspeksjon eller reparasjon av anlegget.

Kapittel 8

Konklusjon

Denne oppgaven har studert det kommersielle markedet av droner sett opp mot aktuelle bruksområder hos operatører av det elektriske kraftnettet. Det er liten tvil om at dette er et voksende marked med til dels moden teknologi som byr på mange muligheter. Likevel er status per i dag at et fåtall tjenester kan benyttes slik de er, mens andre ikke er modne nok for anvendelser innenfor det elektriske nettet. Nettselskapene kan i større grad involvere seg i denne modningsprosessen og oppgaven presenterer derfor forslag til videre arbeid for å fremskynde en slik prosess.

Av dronetjenester som er gjennomgått i denne oppgaven fremstår landmålingstjenester for mindre områder ($< 2 \text{ km}^2$) som modne nok for aktuelle oppgaver innen kraftnettet. Videre har dronetjenester innen inspeksjon vist tilfredsstillende resultater, men inspeksjonsmetodene har behov for tilpasning for å bli et effektivt verktøy innen inspeksjon av sentralnettet.

Dersom droner tas i bruk på stor skala er det nødvendig med strømlinjeformede arbeidsprosesser, både innen den operative bruken av droner og prosessen ved å behandle/utnytte innsamlede rådata. På dette området presenterer markedet ingen løsninger på totaltjenester. Det innebærer at sikkerheten på konfidensiell informasjonsflyt og kapring av kontroll over droner ikke er undersøkt godt nok.

Noen av tjenestene i dag springer ut fra ildsjeler med stor kompetanse som har et stort ønske om gjøre hobbyen om til god forretning. Det kan være veldig gode forretningsideer, men det vil ta tid før en kommersiell tjeneste er operativ. I disse tilfellene burde nettselskapene investere tid i å presentere hvilke krav som stilles til dronetjenester som skal brukes i kraftnettet.

Fremtidig regulering av kommersiell droneaktivitet vil i stor grad påvirke omfanget av ressurser og kompetanse som kreves av forskjellige droneoperatører, slik forslaget på ny forskrift foreligger i dag.

Bibliografi

- [1] Aibotix. Inspection of power lines and power poles. URL(6. mai 2015): <https://www.aibotix.com/en/inspection-of-power-lines.html>. 5.1
- [2] H. Andresen. Personlig møte, og påfølgende mailkorrespondanse, April 2015. 4.1.1, 5.8, 6.1.1
- [3] Applanix. Apx-15 uav datablad. URL (3. mai 2015): http://www.applanix.com/media/downloads/products/specs/APX-15%20UAV_Data_Sheet.pdf, 2014. 5.7
- [4] Ardupilots. Apm forum. URL (1. mai 2015): <http://ardupilot.com/forum/>. 2.2
- [5] hjemmeside Ascending Technologies. URL (3. mai 2015): <http://www.asctec.de/en/>. 5.1
- [6] AscendingTechnologies. URL (24. april 2015): <http://www.asctec.de/en/ascending-technologies/company/>. 3.2.2
- [7] Federico Augugliaro. Building tensile structures with flying machines. Technical report, Flying Machine Arena, November 2013. 6.3.1, 6.4
- [8] Robot Aviation. Commercial services. URL (3. mai 2015): <http://www.robotaviation.com/index.php/services/commercial>. 5.1
- [9] Grøtli E. I. & Transeth A. A. & Gylland A. & Risholm P. & Soon I. & Bergh B. Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi, 30. november 2014. 3.3, 7
- [10] S Baker. Predator missile launch test totally successful. Force News Service, URL (24. april 2015): <http://www.dau.mil/pubscats/pubscats/PM/articles01/afns1m-a.pdf>, 27. februar 2001. 3.2.2

- [11] J Benedicto, S Dinwiddy, G Gatti, R Lucas, and M Lugert. Galileo: Satellite system design. *European Space Agency*, 2000. 3.3.1
- [12] Bloomberg. "we're investing in drone delivery: Deutsche ceo". URL (24. april 2015): <http://www.bloomberg.com/news/videos/b/9804fbc2-ebce-4cea-87ce-ae551db21a5f>, 12. mars 2012. 3.2.2
- [13] J. W. Boman. Personlig kommunikasjon, 9. april 2015. 6.1.2.2
- [14] B. B. Brønbo. Hålogaland kraft: Dronene tar over. *Sinusmagasinet online*, 14. februar 2015. 1, 6.1.3
- [15] Camflight. About us. URL (3. mai 2015): <http://camflight.no/en/aboutus>. 5.1
- [16] I Colomina and P Molina. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92:79–97, 2014. 5.2, 7
- [17] Cyberhawk. Live powerline inspection. URL (11. mai 2015): <http://www.thecyberhawk.com/inspections/utilities/>. 5.8
- [18] dji. Products - flying platforms. URL (3. mai 2015): <http://www.dji.com/products>. 5.1
- [19] Dronera. Multirotor systems. URL (3. mai 2015): <http://www.dronera.no/?categories=multirotor-2>. 5.1
- [20] econ. Incentivregulering av systemansvarlig nettselskap, econ-rapport nr. 42/02. ISSN: 0803-5113, ISBN 82-7645-529-8, URL (30. april 2015): <http://www.nve.no/no/Energi1/Kraftsystemet/Systemansvar/Okonomisk-regulering-av-systemansvarlig/>, 27. mai 2002. 3.1.5
- [21] Energilovforskriften. Forskrift om produksjon, omforming, overføring, fordeling og bruk av energi m.m, § 3-5 bokstav a. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1990-12-07-959>, 1991. 4.3.1
- [22] Raffaello D'Andrea et. al. Flying machine arena. URL (16. april 2015): <http://flyingmachinearena.org/research/>. 2.2, 7.1.4
- [23] Statnett/Aspect Film. Nervpirrende manøver - her trer piloten linen gjennom nåløyet. *Teknisk Ukeblad*, URL (23. april 2015): <http://www.tu.no/tutv/kraft/2014/11/11/nervepirrende-manover-her-trer-piloten-linen-gjennom-naloyet>, 11. november 2014. 4.2.1

- [24] Flir. Quark 2 uncooled cores. URL (3. mai 2015): <http://www.flir.com/cores/display/?id=51266&collectionid=549&col=51275>. 5.7
- [25] Center for Advanced Aerospace Technologies et. al. Aerial robotics cooperative assembly system. URL (1. mai 2015): <http://www.arcas-project.eu/publications>. 2.2, 7.1.4
- [26] A Goldman and RS Sigmond. Corona corrosion of aluminum in air. *Journal of The Electrochemical Society*, 132(12):2842–2853, 1985. 3.3.11
- [27] European RPAS Steering Group. Roadmap for the integration of civil remotely piloted aircraft systems into the european aviation system. URL (27. april 2015) http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/aerospace/files/rpas-roadmap_en.pdf, Juni 2013. 3.4
- [28] John Hannavy. *Encyclopedia of nineteenth-century photography*, chapter A - Aerial Photography, page 14. Routledge, 2013. 3.2.2
- [29] Jethro Hazelhurst. Advanced pixhawk quadcopter wiring chart. Ardupilot, URL (30. april 2015): <http://copter.ardupilot.com/wiki/advanced-pixhawk-quadcopter-wiring-chart>. ??
- [30] HySpex. Mailkorrespondanse (4. mai 2015) med Hallvard Skjerpeng og tilsendt datablad. 5.7
- [31] IMSAR. Nanosar c. URL (4. mai 2015): http://www.imsar.com/uploads/files/59_IMSAR_NanoDS_Jul2014.pdf, 2014. 5.7
- [32] David Jordan and Ben Wilkins. *Unmanned Aerial Vehicle Operations since the 1980s*, pages 26–47. Royal Air Force Directorate of Defence Studies, 2009. 3.2.2
- [33] Kartverket. Posisjonstjenester. URL (28. april 2015): <http://kartverket.no/posisjonstjenester/>. 3.3.1
- [34] Kartverket. Cpos brukerveiledning. URL (25. april 2015): <http://kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/CPOS-brukerveiledning/>, 28. april 2014. 3.3.1
- [35] Kartverket. Etpos. URL (25. april 2015): <http://www.kartverket.no/Posisjonstjenester/ETPOS/>, 20. oktober 2014. 3.3.1

- [36] Olga Kharif. As drones evolve from military to civilian uses, venture capitalists move in. Washington Post, URL (30 april 2015): http://www.washingtonpost.com/business/as-drones-evolve-from-military-to-civilian-uses-venture-capitalists-move-in/2013/10/31/592ca862-419e-11e3-8b74-d89d714ca4dd_story.html, 1. november 2013. 3.2.2
- [37] Nasjonal Kommunikasjonsmyndighet. Tillatelse til bruk av radiofrekvenser. URL (27. april 2015): <http://www.nkom.no/teknisk/frekvens/tillatelser/tillatelse-til-bruk-av-radiofrekvenser>, 24. april 2012. 3.4.1
- [38] A. Leick. *GPS Satellite Surveying*. Wiley, 3. utgave edition, 2004. 3.2.2
- [39] Luftfartstilstnet. Ubemannede luftfartøy - rpas (faq). URL (27. april 2015): <http://www.luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/RPAS-FAQ/>. 3.4
- [40] Luftfartstilstnet. Forenklet mal for rpas operasjonsmanual (om) til mindre fartøy. URL (26. april 2015): <http://luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/UAS/article14220.ece>, 4. november 2014. 3.4.1
- [41] Luftfartstilsynet. Bruk av ubemannede luftfartøy i norge (aic-n 14/13). URL (26. april 2015): <http://luftfartstilsynet.no/regelverk/aic-n/article10861.ece>, 20. juni 2014. 3.4.1
- [42] Luftfartstilsynet. Rpas-forskrift på høring. URL (26. april 2015): http://luftfartstilsynet.no/aktuelt/gjennomfoertehoeringer/RPAS-forskrift_p%C3%A5_h%C3%B8ring1, 6. februar 2015. 3.4.2
- [43] E. T. Lygre. Slik finner de ut hvor lynet slår ned. Teknisk Ukeblad, URL (6. mai 2015): <http://www.tu.no/it/2014/08/02/slik-finner-de-ut-hvor-lynet-slar-ned>, 28. februar 2015. 4.3.2
- [44] Hovland K. M. Målere utsatt til 2016. Teknisk Ukeblad, URL (28. april 2015): <http://www.tu.no/kraft/2009/10/14/malere-utsatt-til-2016>, 14. oktober 2009. 4
- [45] Stabell K. & Carlsen A. M. Introduksjon av pilotliner. personlig møte hos Statnett, mars 2015. 4.2.1
- [46] C. McCall. Experiences, possibilities and outlook: Rpas for industrial inspection and land surveying. Presentasjon på branseseminar innen droneteknologi for naturfarer og infrastruktur, 13. januar 2015. 3.2.2

- [47] Microdrones. URL (24. april 2015): <http://www.microdrones.com/en/company/timeline/>. 3.2.2
- [48] Microdrones. Products. URL (16. april 2015): <http://www.microdrones.com/en/products/microdrones/>. 5.1
- [49] MøreUAS. URL (11. mai 2015): http://www.moreuas.no/om_oss.php. 5.8
- [50] Laurence R Newcome. *Unmanned aviation: a brief history of unmanned aerial vehicles*. Aiaa, 2004. 3.2.2
- [51] E. B. Nice. Design of a four rotor hovering vehicle. Master's thesis, Cornell University, Mai 2004. 3.2.3
- [52] NVE. Energistatus. Printet av NVE og offentlig gjort på URL: <http://webby.nve.no/publikasjoner/diverse/2011/energistatus2011.pdf>, januar 2011. 3.2
- [53] Ofil. Daycor romcompact 300i - datablad. URL (3. mai 2015): <http://www.ofilsystems.com/products/romcompact.html>, 2014. 5.7
- [54] Steinar Svarte og Jan H. Sebergesen. Energiproduksjon og energidistribusjon. produksjon, nettsystemer og beregninger, 2002. 3.1
- [55] Klima og miljødepartementet. Lov om motorferdsel i utmark og vassdrag. ISBN 82-504-1278-8. URL (27. april 2015): <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1977-06-10-82>. 3.4.1
- [56] D. Öhman. Personlig kommunikasjon, 5. mai 2015. 5.8
- [57] Mats Jorgen Oyan, Svein-Erik Hamran, Leif Damsgard, Tor Berger, B De Pontieu, GD Kushner, DJ Akin, B Allard, T Berger, P Boerner, et al. Compact airborne c-band radar sounder. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(10):6326–6332, 2014. 3.3.9
- [58] Datatilsynet Personvernrapport. Tilstand og trender. ISBN 978-82-92447-57-4 (elektronisk utgave). URL (27. april 2015): http://datatilsynet.no/Global/04_veiledere/personvernrapport_tilstand_trender2013.pdf, 2013. 3.4.1
- [59] REN. Regional- og distribusjonsnett luft - vedlikehold - toppkontroll ved hjelp av helikopter/droner - spesifikasjon. Rasjonell elektrisk nettvirksomhet. NR8070 - VER 1.3, Desember 2012. 3

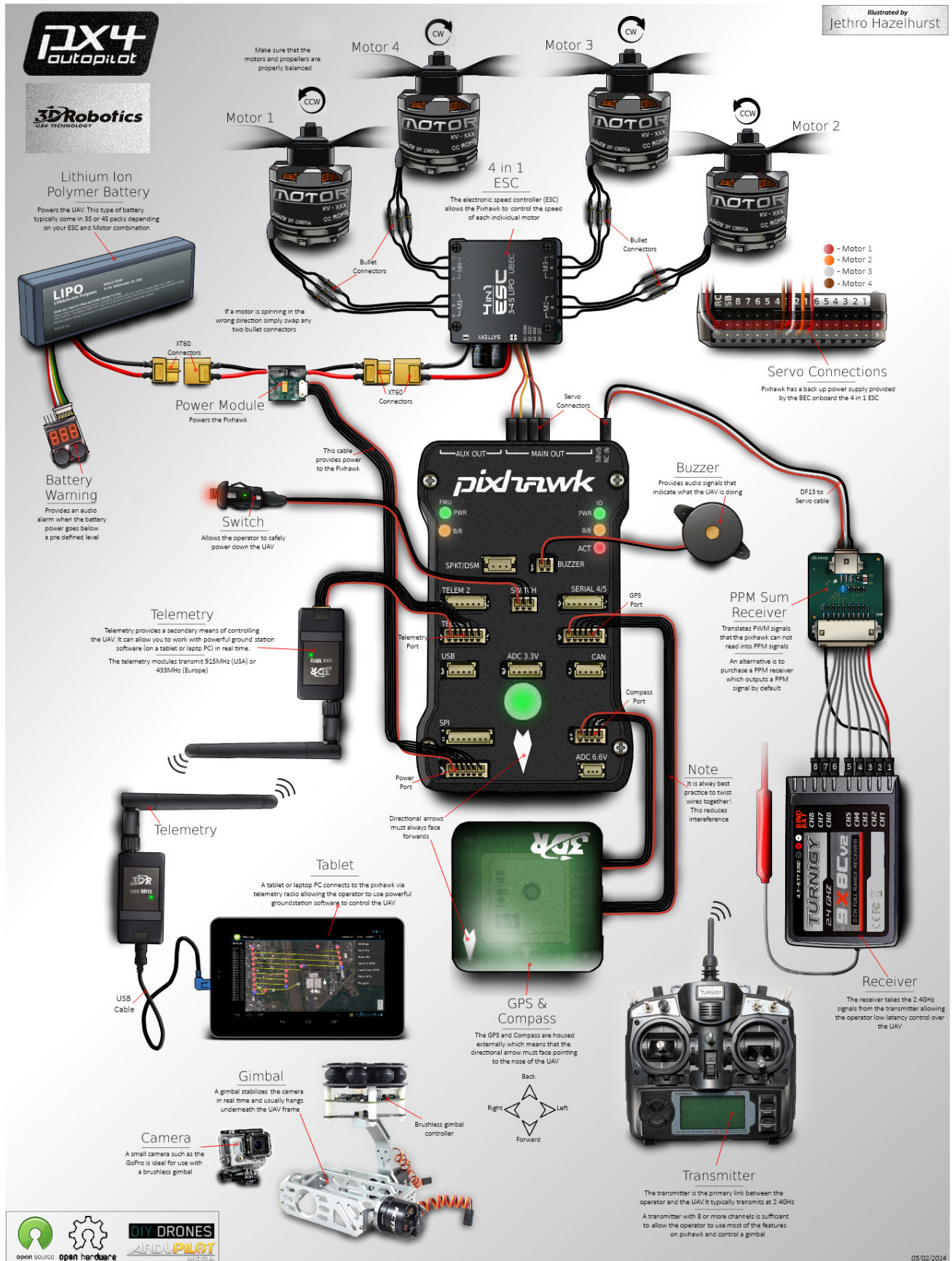
- [60] REN. Vedlikeholdsstandard - regionalnett - luft. Rasjonell elektrisk nettvirksomhet. NR 2047 Û VER 1.1, November 2013. 3
- [61] Riegl. Vux-1. Se datablad på URL (4. mai 2015): <http://www.riegl.com/products/uasuv-scanning/riegl-vux-1/>, 31. mai 2015. 5.7
- [62] Samferdselsdepartementet. Fribruksforskriften. URL (1. mai 2015): https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-01-19-77#KAPITTEL_9, 31. januar 2012. 3.4.1
- [63] Schiebel. Camcopter s 100. URL (3. mai 2015): <https://www.schiebel.net/Products/Unmanned-Air-Systems/CAMCOPTER-S-100/System.aspx>. 5.1
- [64] Sensefly. Inspection of power lines and power poles. URL (6. mai 2015): <https://www.sensefly.com/drones/ebee-rtk.html>. 5.1
- [65] Statistisk Sentralbyrå. Elektrisitet, årstall, 2013. URL (20. april): <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitetaar/aar/2015-03-25>, mars 2015. 3.1
- [66] Ian GR Shaw. The rise of the predator empire: Tracing the history of us drones. *Understanding Empire*, 2013. 3.2.2
- [67] Norsk Sikkerhetsmyndighet. Foto fra luften. URL (27. april 2015): <https://www.nsm.stat.no/tjenester/foto-fra-lufta/>. 3.4.1
- [68] T. Skagen. Personlig kommunikasjon, 20. april 2015. 5.8
- [69] Skybotix. Vi-sensor (visual-inertial sensor). URL (6. mai 2015): <http://www.skybotix.com>. 5.7
- [70] L Sletten. Erfaringer og framtidutsikter etter 1 års operasjonell dronebruk. Presentasjon på branseseminar innen droneteknologi for naturfarer og infrastruktur, 13. januar 2015. 5.8
- [71] Geodesidivisjonen Statens kartverk. Satellittbasert posisjonsbestemmelse. Elektronisk utgave, desember 2009. 3.3.1
- [72] Statnett. Sima -samnanger. URL (28. april 2015): <http://www.statnett.no/Nettutvikling/Sima-Samnanger/>, Oktober 2012. 4

- [73] Statnett. Nettutviklingsplan. URL (28. april 2015): <http://www.statnett.no/Nettutvikling/Nettutviklingsplan-2013/>, Oktober 2013. 4
- [74] R. Storvold. Nettnytte og droner - behov for endret regelverk - status. Presentasjon på konferansen Smart Energy 2015 i Halden, 30. januar 2015. 3.4.2
- [75] N. Sullivan. Fifty years of british sperry. FLIGHT International, URL (24. april 2015): <http://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1963/1963%20-%200456.html>, 28. mars 1963. 3.2.2
- [76] Bjørndal M. & Bjørndal E. & Jhonsen T. Justeringsparameteren i inntektsreguleringen: vurdering av behov for endringer. *SNF*, (rapport nr. 37/08), 2008. 3.1.5
- [77] N. Tesla. Method of and apparatus for controlling mechanism of moving vessels or vehicles, november 1898. US Patent 613,809. 3.2.2
- [78] Wildi Theodore et al. *Electrical machines, drives and power systems*, 6/E. 2007. 3.1, 3.3.11
- [79] Wildi Theodore et al. *Electrical machines, drives and power systems*, 6/E. 2007. 3.3.11
- [80] Trimble. Trimble uas. URL (3. mai 2015): <http://uas.trimble.com/trimble-uas>. 5.1
- [81] hjemmeside UMS Aero Group. URL (3. mai 2015): <http://umsgroup.aero/>. 5.1
- [82] Statnett v. seksjon Feilanalyse. Årsstatistikk 2013 - driftsforstyrrelser og feil i 33-420 kv nettet. URL (6. mai 2015): <http://www.statnett.no/Drift-og-marked/Nedlastingscenter/Feilstatistikk/>, Juli 2014. 4.3.2
- [83] Øyvind Lie v. Teknisk Ukeblad. Statnetts driftskostnader økte dramatisk. URL (21. april 2015): <http://www.tu.no/kraft/2013/03/14/statnetts-driftskostnader-okte-dramatisk>, 14. mars 2013. 3.1.5
- [84] P. van Blyenburgh. *RPAS Remotely Piloted Aircraft Systems - The Global Perspective 2014/2015*. UVS International, 2014. 7.1.5
- [85] M. Van Vreede. History preserved: The collection of the national model aviation museum. Model Aviation Online, URL (30. april 2015): <http://www.modelaircraft.org/mag/Jan2011/onthe-fly2.htm>, januar 2011. 3.2.2
- [86] hjemmeside VulcanUAV. URL (3. mai 2015): <http://www.vulcanuav.com/>. 5.1

- [87] Sky Watch. Huginn x1 brochure. URL (25. april 2015): <http://sky-watch.dk/what-we-do/products/huginn-x1/>, Februar 2015. 3.3.8, 5.1

Appendiks A

På neste side følger en figur som illustrerer sammenkoblingen av komponentene i en drone:



Skjematisk fremstilling av et multikopter (4 rotorer i dette tilfellet). Foto: Jethro Hazelhurst[29]



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no