



Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) utført ved Institutt for matematiske realfag og teknologi ved Fakultet for miljøvitenskap og teknologi.

Min forkjærlighet for godt beslutningsgrunnlag har sammen med ønsket om å tilegne meg kunnskap innen vedlikeholdsarbeid og droner motivert meg til å skrive oppgaven.

Oppgaven er utført for Statnett SF og jeg ønsker å takke alle i Statnett som har kommet med innspill og vært til hjelp med svar på spørsmål. Takk til Lars Sletten fra Hålogaland Kraft og Eirik Leknesund fra Hafslund som har tatt seg tid til å gi gode svar om deres vedlikeholdsprosedyrer. Jeg ønsker også å takke alle i dronemiljøet som har tatt seg tiden til mine spørsmål og med deres engasjement har jeg tro på, og er spent til å følge utviklingen og videre kommersialisering av dronetjenester.

Spesiell takk til veileder Sonja Monica Berlijn som har kommet med gode råd, åpent dører og gitt god veiledning gjennom hele oppgaven.

Ås, 15.05.2015

Hans Olav Drømtorp Kristiansen

Abstract

Power distribution is an important part of society's critical infrastructure, where the main grid has the role as highways linking the power grid. The main grid in Norway consists of over 10 000 km overhead transmission lines from the Russian border in the north to Kristiansand in the south. Adequate and secure supply of electric power is essential for a functioning society and with an aging network this requires maintenance. The main grid is often placed away from other infrastructure which makes inspection to identify maintenance needs both resource intensive and challenging in respect of safety. In recent years, some regional distribution companies have adopted drones in its inspection work. Based on this the author has been given the assignment to:

Recommend methods for the use of drones in maintenance inspections of towers and overhead transmission lines in the main grid. In order to improve safety, quality and efficiency of inspection work. By identifying potential drones and services for inspection the author has found several capacities that can solve various tasks in inspection work. The author then proposes four concepts and assesses these against each other and current inspection procedures. Based on this assessment the author does not recommend the use of drones as a replacement of current procedures. Drone and drone services have great potential to perform parts of the inspections but does not show sufficient increase in safety, quality and efficiency compared with the current inspections. The author recommends using small commercial drones as a tools in current inspections to improve their quality rather than a new form of inspection.

Sammendrag

Kraftdistribusjon er en viktig del av samfunnets kritiske infrastruktur, der sentralnettet har rollen som motorveiene som knytter nettet sammen. Sentralnettet i Norge består av over 10 000 km ledning fra russergrensen i nord til Kristiansand i sør. Tilstrekkelig og sikker kraftforsyning er en forutsetning for et velfungerende samfunn og med et aldrende nett kreves det vedlikehold. Sentralnettet er ofte utenom annen infrastruktur, som gjør inspeksjon for å kartlegge vedlikeholdsbehovet både ressurskrevende og utfordrende sikkerhetsmessig.

De siste årene har flere regionale distribusjonsselskaper tatt i bruk droner i sitt inspeksjonsarbeid, og på bakgrunn av dette har forfatteren fått i oppdrag å:

Anbefale metoder for bruk av droner i vedlikeholdsinspeksjoner av master og ledninger i sentralnettet. I den hensikt å bedre sikkerhet, kvalitet og effektivitet i inspeksjonsarbeidet.

Ved kartlegging av droner og dronetjenester til inspeksjon av kraftdistribusjonsnettet har forfatteren funnet flere ulike kapasiteter som kan løse ulike oppgaver innenfor inspeksjonsarbeidet. Forfatteren foreslår fire konsepter for anvendelse av droner. Ved å vurderes disse opp mot hverandre og dagens inspeksjonsprosedyrer anbefaler ikke forfatteren bruk av droner som en erstatning av dagens prosedyrer slik teknologien er i dag. Teknologien har et stort potensiale til å utføre deler av inspeksjonene man kan ikke vise til en økning i sikkerhet, kvalitet og effektivitet sammenliknet med dagens prosedyrer for behovet til Statnett. Forfatteren anbefaler å se på drone som et verktøy i eksisterende befaringer på linje med kamera og kikkert der dronen medbringes og nyttes ved behov, for å bedre kvaliteten på dagens inspeksjon.

1 Innhold

Forord.....	i
Abstract	ii
Sammendrag	iii
2 Forkortelser og definisjoner	3
3 Innledning.....	5
4 Mål og metode	7
5 Teori.....	9
5.1 Sentralnettet i Norge.....	9
5.2 Pålitelighetsfokusert vedlikehold	11
5.3 Metoder for inspeksjon av ledningsnett	15
5.4 Forskning innen automatiserte inspeksjoner.....	19
5.5 Forskrifter ved bruk av UAS.....	21
5.6 Sensorer.....	22
5.7 Tilgjengelige UAS kapasiteter	23
6 Konseptutvikling	27
6.1 Systemdefinisjon	27
6.2 Krav til konseptvalg	28
6.3 Beskrivelse av konsepter med initiale ytelsesvurderinger	29
7 Konseptvurdering	31
7.1 SWOT-analyse.....	31
7.2 Strategianalyse	34
7.3 Usikkerhetsanalyse.....	37
7.4 Sikkerhetsvurdering.....	40
7.5 Vurdering av kapasiteter mot dagens prosedyre	42
7.6 Kostnadsvurdering.....	43
7.7 Fremdriftsanalyse	45
7.8 Oppsummering av resultater	47
8 Diskusjon	49
8.1 Konsept 1.....	50
8.2 Konsept 2.....	50
8.3 Konsept 3a.....	51
8.4 Konsept 3b:.....	51
8.5 0-Konseptet	51

9 Konklusjon 53
10 Referanser 54

2 Forkortelser og definisjoner

Forkortelse	Engelsk	Norsk
BLOS	Beyond-line-of-sight	Flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord utenfor synsrekkevidde for pilot, fartøysjef eller observatør.
EVLOS	Extended Visual Line Of Sight	Flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord utenfor pilot eller fartøysjefs synsrekkevidde, der visuell kontroll opprettholdes ved bruk av observatør.
VLOS	Visual Line Of Sight	Flyging med luftfartøy som ikke har fører om bord som kan gjennomføres slik at luftfartøyet hele tiden kan observeres uten hjelpemidler som kikkert, kamera, eller andre hjelpemidler, unntatt vanlige briller.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems	Fjernstyrt luftfartøy
RO		RPAS-operatør
RCM	Reliability centered maintenance	Pålitelighetsfokuseret vedlikehold
KILE		Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi
IR	Infrared	Infrarødt
UAS	Unmanned aerial system	Ubemannet flysystem, innebefatter flygende enhet og kontrollsystem
UAV	Unmanned aerial vehicle	Ubemannet flygende fartøy (drone)

Helikopter		Fellesbetegnelse for flygende enheter hvor en eller flere rotor gir løftekapasitet
Multikopter		Helikopter med flere rotor som gir løft
Fastvinge		Flygende enhet som er avhengig av framdrift for å generere oppdrift.

3 Innledning

Kraftnettet er en av de viktigste infrastrukturenhetene i samfunnet. Tilstrekkelig og sikker kraftforsyning er en forutsetning for et velfungerende samfunn, der det forventes stabil strømforsyning, hver time hele året. Som systemoperatør med ansvar for drift og vedlikehold av sentralnettet har Statnett over 10 000 km med ledninger og over 30 000 master fra Kristiansand i sør til russergrensen i nord. Den geografiske utstrekningen og plassering utenom annen infrastruktur gjør inspeksjon av ledningsnettet både tidkrevende og utfordrende sikkerhetsmessig.

Automasjon av slike inspeksjoner har lenge vært en drøm for kraftdistribusjonsselskaper men ikke gjennomførbart teknisk [1]. Med utviklingen av ubemannede fartøyer (populært kalt droner) har noen kraftdistribusjonsselskaper i senere tid tatt i bruk slike fartøyer under inspeksjoner av master og ledninger. Med bakgrunn i SINTESF «Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi» [2] utarbeidet for Norges vassdrags- og energidirektorat, Jernbaneverket og Statens vegvesen har forfatteren kartlagt tilgjengelige kapasiteter for inspeksjon av ledningsnett ved bruk av ubemannede fartøy. På bakgrunn av dette foreslår forfatteren 4 ulike konsepter for bruk av tilgjengelig teknologi og vurderer disse opp mot hverandre og dagens inspeksjonsprosedyrer.

4 Mål og metode

Målet med oppgaven er å anbefale metoder for bruk av droner i vedlikeholdsinspeksjoner av master og ledninger i sentralnettet. I den hensikt å bedre sikkerhet, kvalitet og effektivitet i inspeksjonsarbeidet.

For å være i stand til å anbefale metoder for utførelse av vedlikeholdsinspeksjoner har forfatteren kartlagt hvordan Statnett planlegger og utfører vedlikehold. Forfatteren har igjennom studier av interne prosedyrebeskrivelser, internasjonale standarder for asset management, samtaler med ansatte i drift og vedlikeholdsavdelingen og planlegger kartlagt hvordan vedlikeholdsprosedyrer er utarbeidet.

Forfatteren har kartlagt prosedyrer for vedlikeholdsinspeksjoner igjennom studier av interne prosedyrebeskrivelser hos Statnett, Hafslund (REN-standard) og samtaler med ledningsmestere fra ulike ledningsområder i den hensikt å sammenlikne med regionale kraftdistributører og kartlegge hvordan vedlikeholdsinspeksjonene utføres i praksis i ledningsområdene.

Forfatteren har kartlagt forskning og kommersielle kapasiteter innen drone- og sensorteknologi først som en oversikt ved søk i google, google scholar og IEEE. Så kartlagt kapasiteter spesifikt mot behovet til Statnett ved møter, telefonsamtaler og epost korrespondanse med aktuelle leverandører av UAS tjenester og mulige samarbeidspartnere.

Forfatteren har gjennomført konseptutvikling i den hensikt å identifisering krav til konsepter for bruk av droner. Fra systemkravene og kapasitetene som defineres i konseptutviklingen har forfatteren foreslått 4 ulike konsepter for bruk av droner til vedlikeholdsinspeksjoner.

For hver av konseptene er det identifisert styrker, svakheter og strategivurderinger med usikkerhetsanalyser for å tydeliggjøre konseptenes potensiale og utfordringer. Sikkerhet-, kvalitet-, kostnader- og fremdriftsvurderinger er så gjennomført for å danne grunnlaget for diskusjonen og anbefalingen gjort i konklusjonen.

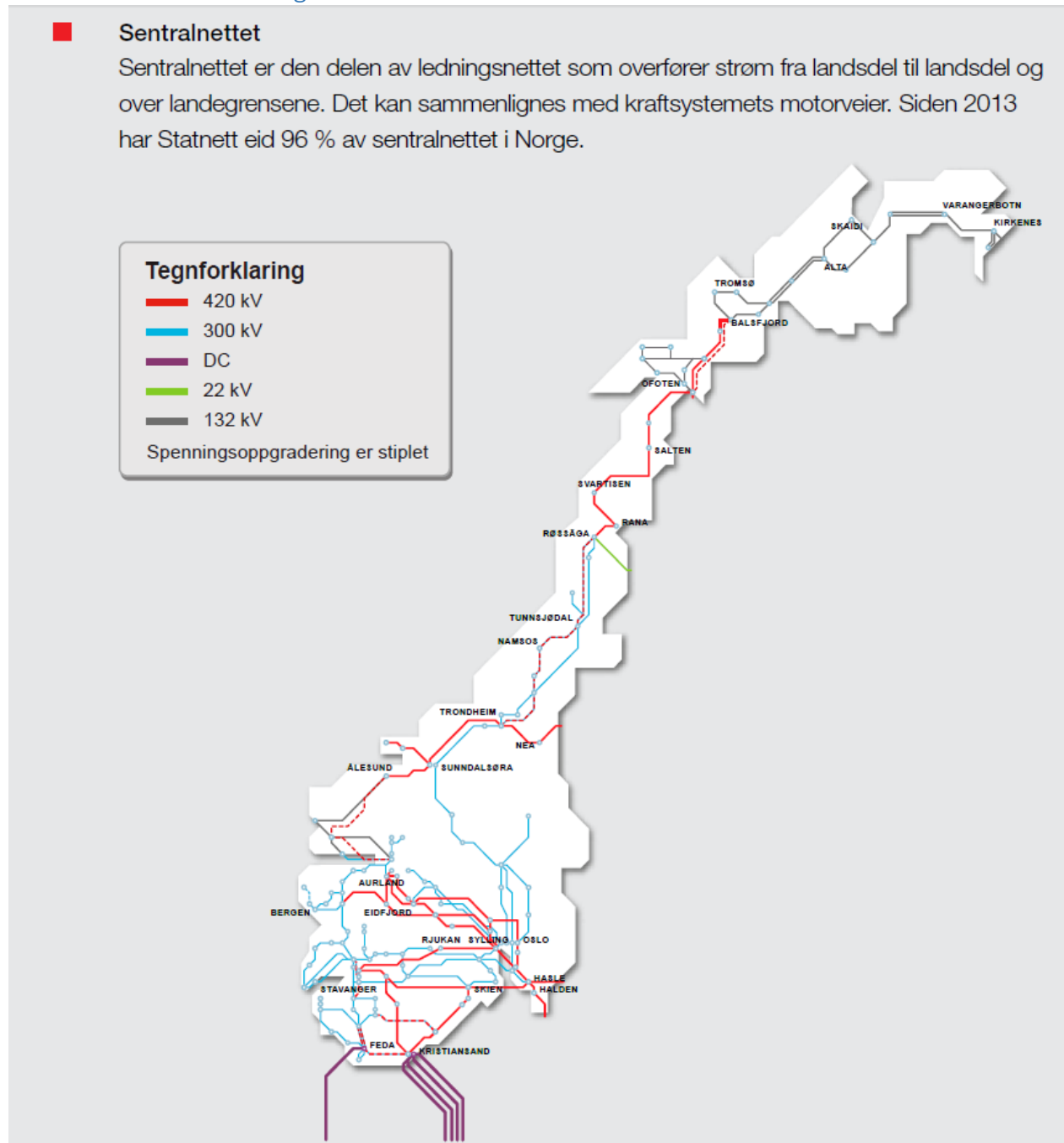
Vurderingene av konseptene er gjort på grunnlag av subjektivistiske vurderinger og forfatteren har benytte ressurspersoner, da tilstrekkelig statistisk data ikke er tilgjengelig.

Fremgangsmåten for de subjektivistiske vurderingene er gjort i tre deler. Først ved å analysere problemet og kartlegge hva ekspertvurderingene skal anvendes til. Så gjennomføre utspørringer av ekspertene og dernest generert estimater på bakgrunn av ekspertenes uttalelser.

I konseptutviklingen er ekspertvurderingene i hovedsak hentet fra ansatte i Statnett, Hålogaland kraft og Hafslund. I vurderingen av konseptene er ekspertvurderingene i hovedsak hentet fra «brukere» av vedlikehold prosedyrene i form av ledningsmestere og planlegger.

5 Teori

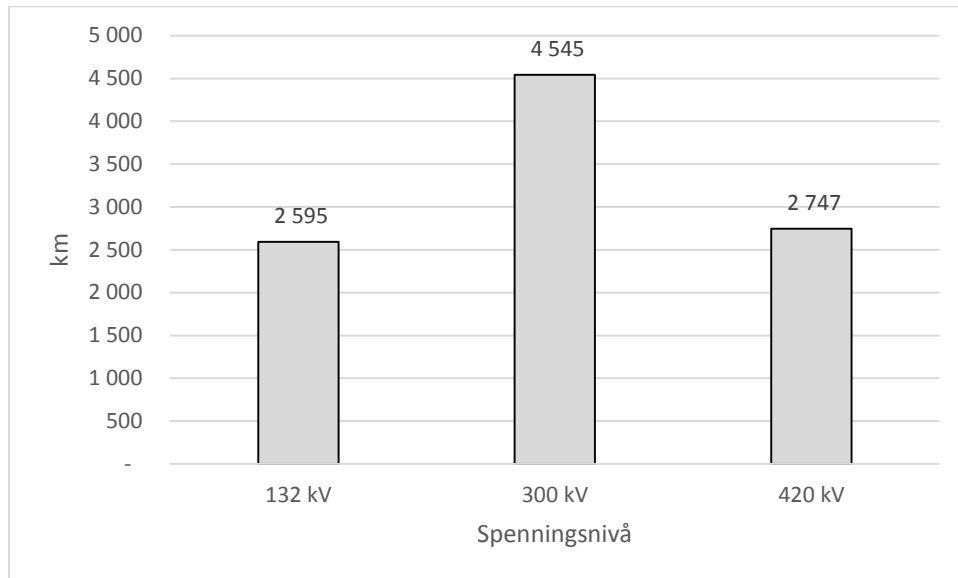
5.1 Sentralnettet i Norge



Figur 1: Sentralnettet i Norge. Figuren er hentet fra Høringsutkastet til Nettutviklingsplan 2015 [3].

Som vist i Figur 1 er sentralnettet eiet av Statnett spredt over hele landet. Totalt er det på ca. 10 000 km. Spenningsnivået sør for Dovre og nord for Dovre er henholdsvis sammensatt av 32% 420 kV, 60% 300 kV

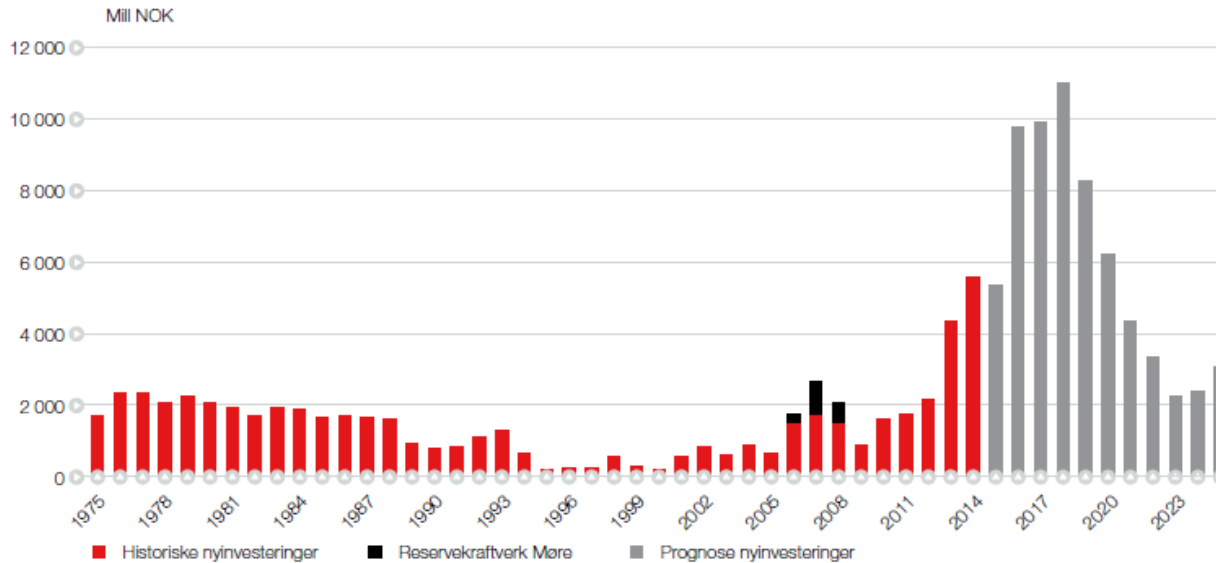
og 8% 132 kV og 22% 420 kV, 32% 300 kV og 48% 132 kV ledning [4]. Det er 4 ledningsområder i hver region med Alta, Bjerka, Bjerkvik og Sunndalsøra i nord og Hasle, Nesbyen, Rød og Sauda i sør.



Figur 2: Antall km ledning per spenningsnivå, andre spenningsnivå som ikke er vist her utgjør under 2% av ledningsnettets til Statnett.

Ledningsnettets som Statnett i dag eier er i hovedsak utbygget i perioden 1960-1990, med en stor andel på 1960 tallet. Ca. 12 % av ledningene er bygget før 1960, der de eldste ble satt i drift så tidlig som 1928. På 90 tallet var det en kraftig reduksjon i utbygningen, mye grunnet dereguleringen av kraftmarkedet i 1991[5]. Utbyggingen har tatt seg noe opp på 2000 tallet da i form av 420 kV linjer.

På grunn av det aldrende nettet og behovet for å koble ny fornybar kraftproduksjon til nettet innen utgangen av 2020, for å være berettiget i elkraftordningen, har utbyggingen tatt seg opp på 2000 tallet i form av 420 kV linjer og Statnett går inn i en periode med historisk høyt investeringsnivå som vist i Figur 3 [3, 4].



Figur 3: Viser historiske investeringer i nett og prognoser for nyinvesteringer [3].

Denne kraftige utbygningen og oppgraderingen fører til mange utkoblinger og er en utfordring for nettdrift, enhver kapasitet som fører til kutt i antall utkoblinger på andre områder vill lette på denne utfordringen [3].

5.2 Pålitelighetsfokuset vedlikehold

Statnett benytter seg av Reliability centered maintenance (RCM) (pålitelighetsfokuset vedlikehold) utarbeidet med grunnlag fra Publicly Available Specification 55 (PAS 55) [6, 7]. RCM har til hensikt å finne en optimalisert vedlikeholdsstrategi basert på komponenters eller systemers funksjon og konsekvens ved feil, vektet for sikkerhet, miljø, tilgjengelighet, økonomi. For å oppnå dette må RCM-analyse utføres tverrfaglig med erfarent personell fra ulike fagområdene med kompetanse innenfor alle systemer og komponenter som inngår i analysen.

Bruk av RCM metodikken i konseptvalg og design- og driftforberedelsesfasen beskrives ikke her, men kan og bør benyttes for å belyse levetidskostnader og pålitelighet i driftsfasen.

Under driftsfasen benyttes RCM for å optimalisere eksisterende vedlikeholdsplaner og identifisere behovet for utfasing av utstyr. Prosessen deles i 4 faser: funksjonsanalyse, utstyrsanalyse, risikoanalyse og vedlikeholdsanbefaling.

Funksjonsanalysen gjennomføres for å belyse hver enhet sin plass i systemet, og på den måten vise hvilken funksjon som faller ut hvis enheten svikter, funksjonen deles i hovedfunksjoner som utstyret i utgangspunktet er en del av og oppgaven den skal utføre. Eksempelvis har en isolatorkjede i en mast som hovedfunksjon og transmittere strøm, der delfunksjonen er å isolere. For hver funksjon skal det så

defineres feilfunksjon, som typisk er at enheten «Utfører ikke sin tiltenkte funksjon» eller «Utfører funksjonen feil».

I utstyrsanalysen angis årsak for funksjonsfeil, defineres som en kjemisk, fysisk eller annen prosess som fører til feiltypen. For feiltypene defineres også den mest effektive måten for opptagelse av feil, for ledningsanlegg er aktuelle oppdagelsesmetoder: Funksjonstest, termografering, IR-måling, observasjon, visuell inspeksjon, meldt av tredje person, kunde eller alarmfunksjon.

Risikoanalyse definerer effekten av feil, både som lokal effekt, effekten på selve utstyret som feiler og global effekt, effekten på anleggets hovedfunksjon. Risikomatriser benyttes for å gjennomføre risikoanalysen med konsekvensparametere i prioritert rekkefølge; sikkerhet (Tabell 1), miljø (Tabell 2), kostnader (Tabell 3) og tilgjengelighet (Tabell 4). I vurderingen av sikkerhet for personell er konsekvensen inndelt i lav (ingen fare for personsikkerhet), moderat (fare for personsikkerhet) og stor (fare for persondød)

Tabell 1: Risikomatrixe for sikkerhet for personell

		Konsekvens		
		L Ingen fare for personsikkerhet	M Fare for personsikkerhet	S Fare for persondød
Sannsynlighet	Sannsynlig hendelse	3	4	5
	Hendelsen har/ kan inntreffe	2	3	4
	Lite sannsynlig hendelse	1	2	3
	Usannsynlig hendelse	0	1	2

Fargekodene i risikomatrixene er definert slik at grønn er ukritiske hendelse der forebyggende vedlikehold ikke anbefales, gult er kritiske der forebyggende vedlikehold er anbefalt og rødt er svært kritisk der forebyggende vedlikehold eller designendring er anbefalt. Miljøkonsekvensene er todelt i miljøforurensning og arbeidsmiljø.

Tabell 2: Risikomatrix for miljøforurensning og arbeidsmiljø

		Konsekvens		
		L Ikke kritisk forurensning er begrenset til området rundt utslippskilden Medfører ikke arbeidsmiljøbelastninger	M Feilen har forbigående negativ effekt på miljøet. Forurensning av større område men den når ikke vassdrag eller drikkevannskilder Medfører arbeidsmiljøbelastninger.	S Feilen har omfattende eller langvarig negativ effekt på miljøet. Utslipp i vassdrag eller drikkevannskilder. Medfører varige helseskader
Sannsynlighet	Sannsynlig hendelse	3	4	5
	Hendelsen har/ kan inntreffe	2	3	4
	Lite sannsynlig hendelse	1	2	3
	Usannsynlig hendelse	0	1	2

Kostand refererer til vedlikeholdskostnader med forebyggende vedlikehold (FV) opp mot korrektivt vedlikehold (KV).

Tabell 3: Risikomatrix for kostnader

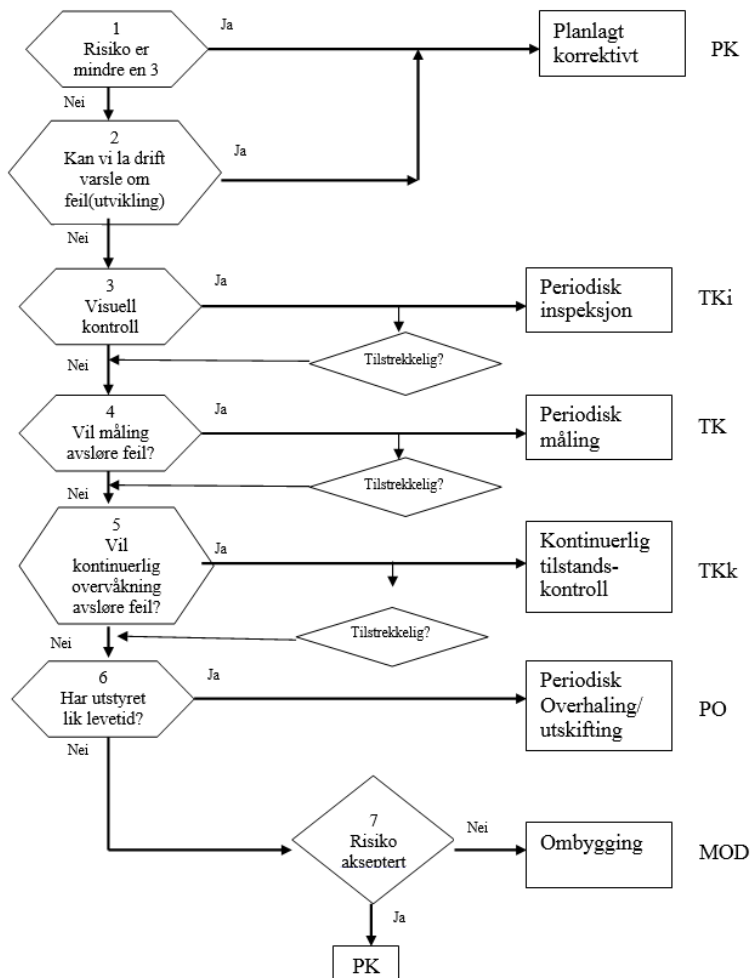
		Konsekvens		
		L KV rimeligere enn FV	M FV rimeligere enn KV	S FV er 5 x rimeligere enn KV
Sannsynlighet	Sannsynlig hendelse	3	4	5
	Hendelsen har/ kan inntreffe	2	3	4
	Lite sannsynlig hendelse	1	2	3
	Usannsynlig hendelse	0	1	2

Tilgjengelighet refererer til krav om leveringsikkerhet, samfunnsøkonomiske tap og eventuelle erstatningskrav. Det er beregnet kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi (KILE) kostnader for tilgjengelighet. Definert for hvert ledningsanlegg med KILE-sats på 35kr/kWh for forbrukstap og 80kr/MWh ved utfall som fører til produksjonsbortfall, spesialregulering eller redusert elspotkapasitet [8].

Tabell 4: Risikomatrise for tilgjengelighet

		Konsekvens		
		L Bestemmes KILE-kostnader	M Bestemmes KILE-kostnader	S Bestemmes KILE-kostnader
Sannsynlighet	Sannsynlig hendelse	3	4	5
	Hendelsen har/ kan inntreffe	2	3	4
	Lite sannsynlig hendelse	1	2	3
	Usannsynlig hendelse	0	1	2

Risiko defineres som produktet av sannsynlighet x konsekvens, der den høyeste risikoen er drivende for videre analyse. Når risiko er definert brukes beslutningstre som vist i Figur 4 for å avgjøre hva som er egnet vedlikeholdsaktivitet for enheten og det må for hver enhet vurderes hyppigheten av vedlikeholdsaktiviteten.



Figur 4: Beslutningstre som gir den mest effektive vedlikeholdsaktiviteten for hver enhet[6].

5.3 Metoder for inspeksjon av ledningsnett

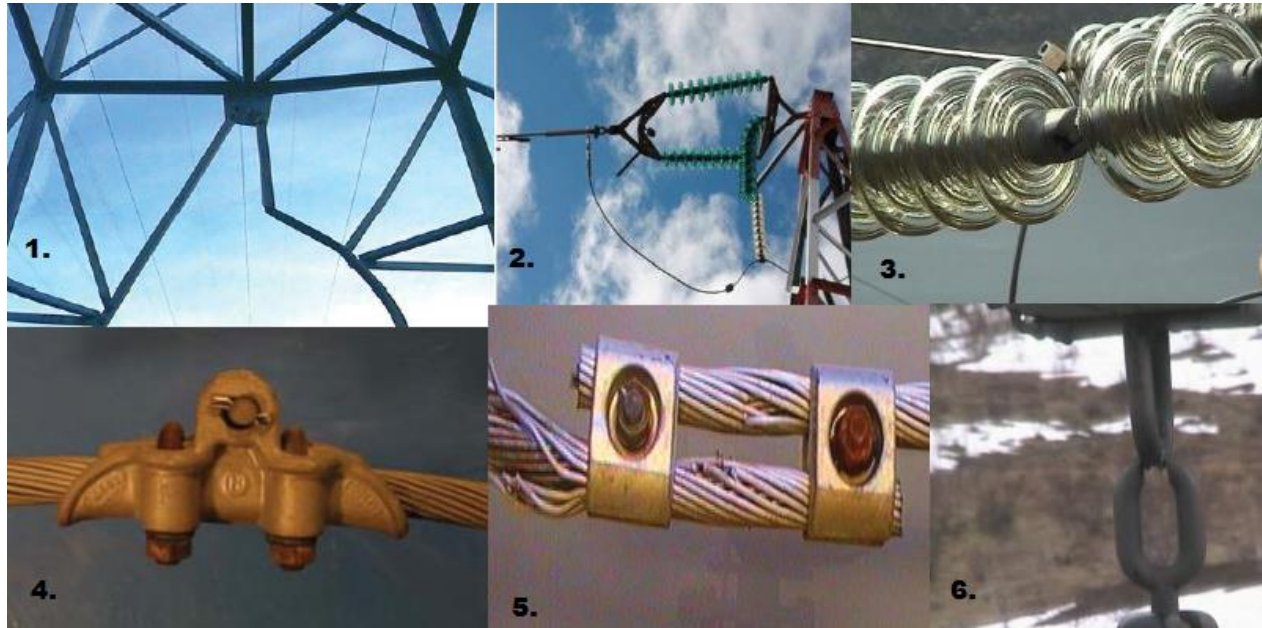
Inspeksjon av ledningsnettet er en utfordring for alle distribusjonsselskaper. Sentralnettet som krysser store områder med lite annen infrastruktur er spesielt krevende å inspisere både med tanke på sikkerhet og ressursbruk.

Nettselskapene er i pålagt i Energiloven at «Det foreligger systemer og rutiner for å fastslå anleggenes tilstand» og at «Det foreligger oppdatert dokumentasjon for planlagte og gjennomførte tiltak»[9].

Befaringene i Statnett varierer i metode og hyppighet utfra hensikt og vurdering gjort i vedlikeholds analyse som er beskrevet i avsnitt 5.2. Inspeksjoner planlegges med utgangspunkt i vedlikeholds analysen av egne planleggere i hvert av de 8 ledningsområdene. For hvert ledningsområde er det en ledningsmester og ca. 8 teknikere som utfører inspeksjonene. Befaringene i Statnett er delt i line- og armaturbefaring, bakkebefaring, mastekontroll, termografering, helikopterbefaring og fundamentkontroll. Av disse er alle utenom fundamentkontroll, som innebærer graving og fysisk prøvetakning, beskrevet. Line- og armaturbefaring, bakkebefaring, mastekontroll og helikopterbefaring er definert som periodisk inspeksjon (TKi), termografering er definert som periodisk måling (TK) i henhold til Figur 4. Figur 5 viser eksempler på 320 kV master og en 420 kV mast og Figur 6 viser eksempler på skader/brudd på master og ledninger.



Figur 5: Viser to 320 kV bæremaster med tre faseliner, I-kjede isolator, innvendig bardunering og toppliner til venstre og en 420 kV bæremast med avstandholdere på faselinene og V-kjede isolatorer (foto: Statnett).



Figur 6: Eksempler på skader: 1. Bøyd forgittring i mast. 2. Brudd i isolatoroppheng. 3. Knust glass i isolator. 4. Korrosjon i isolatorfeste. 5. Slitasje i hengeklemmer. 6. Slitasje i oppheng.

5.3.1 Helikopterbefaring

Helikopterbefaring gjennomføres med kontroll ved flygning langs kraftlinje med to observatører i tillegg til pilot(er)[10]. Ved mast kontrolleres toppline, dempelooop, klemmer faseliner, isolatorer og armatur. I spenn kontrolleres liner, avstandholdere, flymarkører samt at det avdekkes behov for skogrydding [11]. I tillegg til visuell kontroll tas det bilder fra begge sider av alle festepunkter for liner og toppliner i noen ledningsområder[12]. Helikopterbefaring tar fra 5 – 10 min per km. Kostnadene ved en helikopterbefaring er i tillegg til egne arbeidstimer på 10-15 000 kr per time i leie av helikopter og pilot [12]. Prisene variere fra ledningsområde til ledningsområde og kan i tilfeller være under 10 000 kr/t. Det er ikke registrert ulykker i forbindelse med helikopterbefaring siden 2002[12]. Tabell 5 viser kontrollpunkter for helikopterbefaring med metode for inspeksjon i henhold til RCM prosedyre.

Tabell 5: Kontrollpunkter for helikopterbefaring utført i henhold til RCM prosedyre .

	Anleggsdel	Hva som kontrolleres	Metode
Ved mast	Toppline	Korodellbrudd/skade	Visuelt
	Dempeloop	Kordellbrudd på line, Dempeloopklemmer på plass	Visuelt
	Klemme	Uregelmessigheter, Vernespiral, oppflising	Visuelt
	Faseliner	Kordellbrudd, skader	Visuelt
	Isolatorer	Brudd i glass	Visuelt
	Armaturoer	Uregelmessigheter	Visuelt
I Spenn	Liner	Kordellbrudd	Visuelt
	Avstandsholdere	Løse, forskjøvet	Visuelt
	Flymarkører	Løsnet, brent ned	Visuelt
	Skog	Avdekke områder som må kontrolleres	Visuelt

5.3.2 Line og armatur befaring

Linebefaring har til hensikt å avdekke feil og mangler på trase og luftlinjer ved visuell inspeksjon.

Befaringen utføres av 2 personer med enkle hjelpemidler som kamera, kikkert og egnet

fremkomstmiddel [13]. Kontrollen gjennomføres i henhold til kontrollpunktene i RCM prosedyren som er listet opp i Tabell 6 og innebærer kontroll av line, klemmer, isolatorer, splinter og armatur. Avhengig av terreng og årstid varierer forflyttingsmetodene.

Bil og gange der to personer veksler mellom å gå traseen og forflytte bil, aktuelt der traseen går i forbindelse med vei. Gjennomsnittstid for forflytning er da 75 min/km. På grunn av liten mulighet for å ha med seg utstyr kan kun mindre utbedringer som justeringer av bardunering utføres. Terrengkjøretøy (ATV) med skilter er det mest brukte sommerstid [12], dette gir også mulighet for å frakte med seg mere utstyr som muliggjør flere vedlikeholdstiltak under inspeksjon. Gjennomsnittstid for forflytning på 75 min/km ved bruk av ATV [13]. Snøskuter eller beltevogn, der snøskuter gir hurtig fremkommelighet ved gode snøforhold med en gjennomsnittstid på 10 min/km og beltevogn gir muligheten for å frakte med seg mye utstyr. Ved særs vanskelig terreng kan helikopter nyttes for å frakte personer som utfører bakkebefaring. Selve befaringen tar i gjennomsnitt 10 min per mast, med ca 3 master per km tar en befaring 1 time og 45 min per km til fots og 40 min per km ved bruk av snøskuter. Det er det siste året registrert 8 ulykker der 3 har resultert i fravær ved bruk av snøskuter og ATV [12, 14].

Tabell 6: Kontrollpunkter for line og armatur befaring utført i henhold til RCM prosedyre.

Annleggsdel	Hva som skal kontrolleres	Hvordan det skal utføres
Line.	Skade på line.	Visuelt m / kikkert.
	Avstandsholdere.	Visuelt m / kikkert.
	Flymarkør	Visuelt og lytte
	Toppline m / fester.	Visuelt
	Dempeloop-klemmer / line	Visuelt (svart oksydpulver)
Klemmer.	Løse skruer.	Visuelt m / kikkert.
	Brennmerker.	Visuelt m / kikkert.
Isolatorer.	Glass.	Visuelt.
	Porselen.	Visuelt.
Splinter	Mangler	Visuelt.
Armatur	Sjakler	Visuelt m / kikkert.
	Klemmestykker	Visuelt m / kikkert.
	Splinter	Visuelt m / kikkert.
	Muttere	Visuelt m / kikkert.
	Hengeklemmer	Visuelt m / kikkert.
	Gnisthorn	Visuelt m / kikkert.
	Spiralarmatur	Visuelt m / kikkert.

5.3.3 Termografering

Termografering utføres ved bruk av helikopter og IR-kamera for deteksjon av komponenter med temperaturforskjeller grunnet overgangsmotstand. Hele ledningsanlegget inspiseres for temperaturutslag herunder strømforbindelser, jordingsforbindelser, kontaktpunkter, skjøter, klemmer, avspenninger og isolatorer. Termografering tar fra 5-10 min per km, hyppigheten varierer og bestemmes av vurderinger i RCM analysen [11, 15].

For å få gode målinger ved termografering burde det være skyet, uten nedbør, snødekket og minimum 20% av linas tekniske grenselast.

5.3.4 Bakkebefaring skog

Tabell 7 viser kontrollpunkter for skogbefaring i henhold til RCM. Ved skogsbefaring er det ikke at krav til at hele traseen må følges så lenge man har visuell kontroll på traseen med mulighet til å registrere vegetasjon. I tilknytning til fjordspenn skal det være ryddede landingsplasser og tilføringsveier på begge sider av fjordspenne, under skogsbefaring tilhører også oppgaven å tilse at disse er i tilstrekkelig stand [11, 16].

Tabell 7: Kontrollpunkter for bakkebefaring skog utført i henhold til RCM prosedyre.

Anleggsdel	Hva som skal kontrolleres	Hvordan det skal utføres
Trase.	Skogvekst	Visuelt.
	Landingsplasser	Visuelt.
	Tilføringsveier	Visuelt.

5.3.5 Mastekontroll

Mastekontroll utføres i samme prosedyre som linekontroll, med unntak av at man ikke behøver gå hele traseene, behøver kun være innom mastene [11]. Mastekontrollen erstatter den gamle toppkontrollen som må gjøre hvert tiende år i henhold til forskrifter [12]. Det er ulikt hvordan mastekontroll utføres i de ledningsområdene, i hovedsak klatres det til toppen i master opp til 300 kV med spenning på. For 420 kV utføres inspeksjonen i hovedsak fra bakken eller ved bruk av helikopter, i noen tilfeller settes også ledningen ut av drift for å utføre mastekontroll [17]. Prosedyren i RCM beskriver inspeksjon fra bakken uten at det klatres i mast og er vist i Tabell 8.

Tabell 8: Kontrollpunkter for mastekontroll utført i henhold til RCM prosedyre.

Anleggsdel	Hva som skal kontrolleres	Hvordan det skal utføres
Mast.	Travers m / forgitring.	Visuelt m / kikkert.
	Vanger m / forgitring.	Visuelt m / kikkert.
	Fotplater.	Visuelt m / kikkert.
	Barduner.	Visuelt, evt. måle.
	Bolter.	Visuelt, evt. lytte.
	Rust.	Visuelt.
	Skilting	Visuelt.

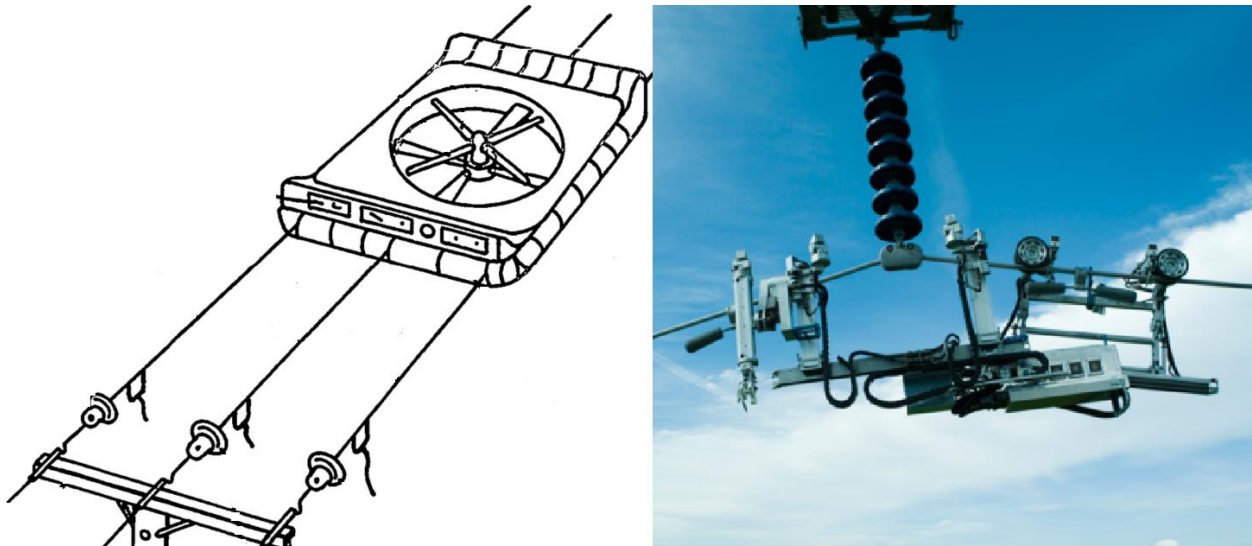
5.3.6 Ekstraordinær befarings

Ekstraordinær befarings innebærer alle befarings som utføres utenom de periodiske befaringsene beskrevet i RCM. Iverksettes ved utfall eller værforhold som fører til fare for ising, snøras, islast eller utfall. Befaringen kan utføres som bakkebefaring eller helikopterbefaring og skal avdekke alle ytre forhold som kan føre til havari eller skader på anlegg [18].

5.4 Forskning innen automatiserte inspeksjoner

Inspeksjon av kraftlinjer ved bruk av maskiner, skiller ved et tydelig konseptvalg, enten ved bruk av klatrende maskiner eller droner [19]. Klatrende maskiner er maskiner som beveger seg på linjen, og klatrer rund hindringer som avstandholdere, flymerking og master som vist Figur 7. Fordelen med klatrende maskiner er nærheten til det som skal inspiseres og stabiliteten i forhold til kvalitet på

billedtakning. Utfordringene er å lage en maskin som greier å klatre over ulike typer master og andre hindringer. Nærheten til det som skal inspiseres er heller ikke bare en fordel. Det oppstår utfordringer ved sterke elektriske og magnetiske felter i nærheten til faseliner som påvirker elektronikk til forflytning og sensorer.



Figur 7: Konseptuell tegning av svevende fartøy tilknyttet linene og bilde av klatrende maskin.

Droner, eller Unmanned Aerial System (UAS) likner i hovedsak på dagens bruk av helikopter, fordelene med droner er at bruk av droner kan være hurtigere en fotpatrulje og kan gi tilsvarende eller bedre kvalitet på bilder en bruk av kostbare helikopterinspeksjoner [19]. Utfordringene ved bruk av droner er identifisert som stabilisering av kamera, automatisk sporing av kraftlinjer og deteksjon av feil. Innenfor flygende fartøyer er det to ulike tilnærminger. En i form av et fartøy med kapslet rotor som svever over kraftlinjen som henter kraft fra faselinene [1]. Fordelen med konseptet er at dronen kommer nære linjen, kapslet rotor minsker faren for skader på faselinene, lite behov for batterier eller annen drivstoff når dronen henter kraft fra linjen og dronene egner seg også bra for hovering og inspeksjoner i lav hastighet som gir mulighet for detaljert inspeksjon. Utfordringene er å designe et styringsystem som gjør at dronen posisjonerer seg riktig både vertikalt og horisontalt, at den kan fly over hindringer og utvikling av systemet som gjør det mulig for dronen å hente kraft fra kraftlinjer med høye spenninger. Til høyere i Figur 7 er det vist en konseptuell tegning av svevende drone.

Alternativet til en drone som svever på linene er en drone som flyr uten fysisk forbindelse med liner som dagens bruk av helikopter. Slike droner finnes i ulike størrelser og kapasiteter, fra små helikopter som Black Hornet på 18 g til store fastvinge-UAS som Global Hawk på over 14 tonn [20, 21]. Forskning på området fokuserer i hovedsak på utfordringen rundt automasjon i flygning og deteksjon av feil, ved bruk av ulike sensorer [19, 22-26]. Med de grunnleggende utfordringene som ikke er løst for både klatrende

maskiner og droner som henter kraft fra faseliner, fokuserer ikke denne oppgaven noe videre på disse konseptene men på droner uten fysisk forbindelse med ledningene.

5.5 Forskrifter ved bruk av UAS

I dag må det søkes om spesiell tillatelse for å utføre RPAS-opdrag (Remotely Piloted Aircraft Systems) hos luftfartstilsynet for flygning som ikke utelukkende er ment som rekreasjon, sport eller konkurranse [27]. Det gis tillatelser til enkelt operasjoner definert av søknaden. Januar 2015 kom et nytt forslag til forskrift som omhandler luftfartøy uten fører om bord med høringsfrist 21. april der målet er innføring i løpet av 2015 [28]. Forskrift beskriver generelle krav til RPAS-operatør (RO) og tre ulike kategoriseringer RO-1, RO-2 og RO-3 [29].

Generelt er det krav til at virksomheten som driver RPAS-operasjoner har ansvarlig leder, operativ leder og teknisk leder. Frakt av gods må søkes om spesielt, frakt av personell er ikke tillat. Pilot og fartøysjef må ha sikker informasjon om fartøyets høyde over bakken og fartøyet må kunne lande automatisk ved tap av kontroll.

5.5.1 RO-1

Fartøy med maks vekt på 2,5 kg, maks hastighet er 60 knop og alle operasjoner skal utføres slik at pilot har visuell forbindelse med fartøyet (VLOS-flygning).

Det er krav til ansvarlig, operativ og teknisk leder, en person kan inneha flere funksjoner. Det er krav til operasjonsmanual som beskriver virksomhetens oppbygging, operasjonstype, vedlikeholdsprosedyrer og oversikt over luftfartøy som inngår i virksomheten.

Krav til pilot er evnen til å kunne demonstrere sikker flygning i tråd med regelverk.

5.5.2 RO-2

Fartøy med maks vekt 25 kg, maks hastighet er 80 knop og operasjoner kan utføres der pilot eller observatør har visuell forbindelse med fartøyet (EVLOS-flygning). Det er krav til ansvarlig, operativ og teknisk leder, en person kan inneha flere funksjoner. Det er krav til operasjonsmanual som beskriver virksomhetens oppbygging, operasjonstype, prosedyrebeskrivelser med risikoanalyser, beskrivelse av krav til kompetanse for vedlikeholdspersonell, beskrivelse av krav til kompetanse og vedlikeholdstrening for fartøysjef, vedlikeholdsprogram og oversikt over luftfartøy som inngår i virksomheten.

Krav til pilot og fartøysjef er bestått teorieksamen for sertifikat i samsvar med type fartøy som skal opereres. Det må dokumenteres at luftfartøyet er luftdyktig, herunder konstruksjon, styresystem, øvrige systemer og praktisk vedlikehold.

5.5.3 RO-3

Fartøy med som går utover kravene til RO-2; vekt på 25 kg eller mer, maks hastighet over 60 knop drives av turbinmotor, skal opereres uten at visuell forbindelse opprettholdes eller skal operere over eller i nærheten av folkeansamlinger. Det er krav til ansvarlig, operativ og teknisk leder, en person kan inneha flere funksjoner. Det er krav til operasjonsmanual som beskriver virksomhetens oppbygging, operasjonstype, prosedyrebeskrivelser med risikoanalyser, beskrivelse av krav til kompetanse for vedlikeholdspersonell, beskrivelse av krav til kompetanse og vedlikeholdstrening for fartøysjef, vedlikeholdsprogram og oversikt over luftfartøy som inngår i virksomheten.

Krav til pilot og fartøysjef er bestått teorieksamen for sertifikat i samsvar med type fartøy som skal opereres. Det må dokumenteres at luftfartøyet er luftdyktig, herunder konstruksjon, styresystem, øvrige systemer og praktisk vedlikehold.

5.6 Sensorer

En drone kan i prinsippet utstyres med alle typer sensorer, kun begrenset av størrelse og vekt. Aktuelle sensorer som også i dag er i bruk i inspeksjonsøyemed er laserskanner, infrarødt og RGB (rød blå grønn) kamera [2]. Utover dette kommer sensorer som brukes til å bestemme posisjonen og automatisk unnvikelse av hindringer, som satellittnavigasjon og ultralydsensorer.

RGB kamera som er et vanlig digitalkamera med video, stillbilde eller begge funksjoner er den mest brukte sensoren, og kombinert med gyrooppheng kan gi gode bilder fra droner både i video og stillbilder. Bruksområde er visuell slitasjekontroll av for eksempel bolter, oppheng, muttere og isolatorer. Vekt varierer fra lette action kameraer som GoPro med vekt på under 100 g eller større speilreflekskameraer med ulike objektiver med vekt fra 1-15 kg.

Laserskanning kan brukes til nøyaktig distansemåling og brukes i dag til terrengmodellering og er nyttig til kartlegging av terreng og vegetasjon. Nøyaktigheten varierer med avstand til målepunkt og hastighet målingen utføres i [2].

Infrarød (IR) kamera brukes for å detektere varmestråling og på den måten kan feil som ikke er synlig for RGB kamera identifiseres. Temperaturforskjeller grunnet overgangsmotstand i strømforbindelser, jordingsforbindelser, kontaktpunkter, skjøter, klemmer, avspenninger og isolatorer kan identifiseres. Brukes i dag montert på helikopter, modeller med vekt ned i 70 g et tilgjengelige og kan monteres på UAS [2].

5.7 Tilgjengelige UAS kapasiteter

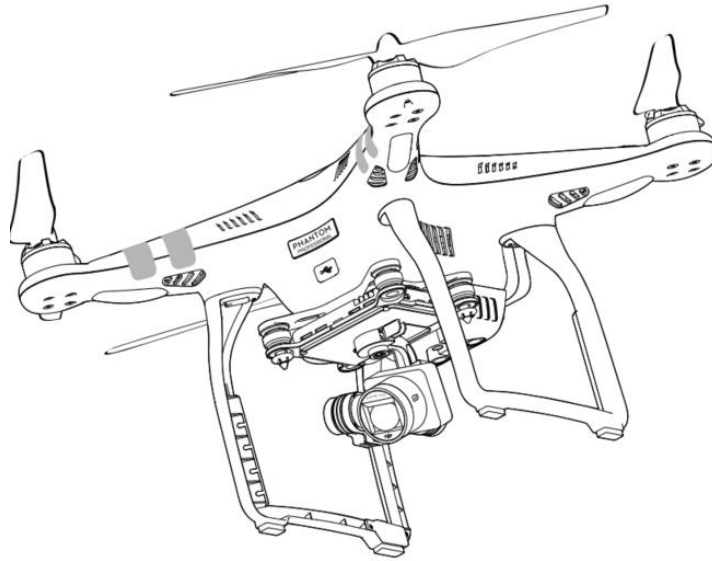
Da vedlikeholdsbefaringer varierer i omfang vill også behovet for UAS som kan løse de ulike oppgaven variere. I Tabell 9 er det listet opp et utvalg UAS, med ulike funksjoner og begrensninger. Fra mini-UAS som faller innunder kategorien RO-1 til større UAS av både fastvinge og helikopter type som faller under kategorien RO-3.

Tabell 9: Eksempler på ulike UAS modeller med karakteristikk.

Navn	Produsent	Vekt [kg]	Laste [kg]	Flytid [t]	Drivstoff	Sensor Video/Bilde/IR/L aser	Avstand [km]	Pris [kr]
SOLO	3DR	1,8	0	0,33	Batteri	GoPro 4/12MP/-/-	0,8	11000
Phantom 3 Pro	DJI	1,28	0	0,35	Batteri	Sony EXMOR/12MP/-/-	2	14000
RX-200	Robot Aviation	40	20	4	Bensin	Valgfri Alle	120	-
Vulcan X	VulcanUAV (HLK)	9,1	10	0,83	Batteri	Valgfri	1,5	50000
Vulcan SP2	VulcanUAV (HLK)	4,6	10,5	0,4	Batteri	Valgfri	5	25000
FX 450	Robot Aviation	80	100	> 30	Bensin	Valgfri	1900	-

5.7.1 Mini-UAS

Solo er et eksempel på en ferdig UAS, uten mulighet for tilpasning, dronen er utstyrt med GoPro 4 kamera, for video og billedtakning. UASen inneholder kontroller og kan styres BVLOS ved direkte overføring av bilde til skjerm på håndholdt kontroll. Solo letter og lande av seg selv ved et tastetrykk og kan hvis man minster kontrollen setter i pause modus slik at den sveve ved et fast punkt. Solo har en rekkevidde på under 800m og en flytid på 20 minutter [30]. Phantom 3 Pro har de samme egenskapene, bare utstyrt med et annet kamera, en lavere vekt og en operasjonsradius opp mot 2 km [31].



Figur 8: Phantom 3 pro fra DJI [31].

5.7.2 Hålogaland Kraft

Hålogaland Kraft har bygget fire ulike UAS for inspeksjon av kraftlinjer der de to som representerer ytterpunktene er Vulcan X og Vulcan SP2 [32].

Vulcan X HLK, er et octocopter med egenvekt på 9,1 kg, 10 kg lastekapasitet og 1,5 km operasjonsradius. Rammen er utstyrt med anti vibrasjonsoppheng og kan utstyres med sensorer med vekt opp til lastekapasitet. Dronen kan fly i vindhastigheter opp til 10 m/s og lett regn/ snø [32].

Vulcan SP2 HLK, er et quadcopter med egenvekt på 4,6 kg, 10,5 kg lastekapasitet og 5 km operasjonsradius. Rammen er utstyrt med anti vibrasjonsoppheng og kan utstyres med sensorer med vekt opp til lastekapasitet. Dronen kan fly i vindhastigheter opp til 15 m/s og lett regn/ snø [32].

Hålogaland Kraft benytter kompaktkamera som Sony NEX 7 til video og Nikon D5300 speilreflekskamera til stillbilder, samt GoPro 3 til enkle oppdrag. Hålogaland Kraft tester UAS med og termisk sensor [32].

UAS brukes i hovedsak ved inspeksjon i tilknytning til vei men også der forflytning mellom hver oppstilling skjer til fots. UAS brukes til 2 type befaringer toppbefaring og linebefaring. Ved toppbefaring tas det stillbilder fra fire vinkler med avstand på 5-10 m. En slik befaringsområde er godkjent som toppkontroll og tar 40 min/km ved befaringsområde i tilknytning til vei bruker. Ved linebefaring flyr UAV langs line og ser etter mer åpenbare feil, da med en progresjon på 6 min/km ved befaringsområde i tilknytning til vei [32].

5.7.3 Robot Aviation

Robot Aviation er en norsk selskap som har utviklet UAS til bruk i industri, derunder inspeksjon av kraftledninger siden 2008 [33]. RX-200 er et eksempel på større helikopter UAS med egenvekt på 40 kg og lastekapasitet på 20kg. Dronene er bensindrevet med en operasjonsradius opp mot 120 km beregnet

utfra operasjonstid og hastighet. RX-200 som er avbildet i Figur 9 kan utstyres med sensorer med vekt opp til lastekapasitet [33].

FX 450 er som vist i Figur 9 en fastvingedrone med egenvekt på 80 kg og en lastekapasitet på 100 kg. Dronen er bensindrevet med lang operasjonsradius, 1900 km, og muligheter for å utstyres med RGB, laser og termisk [33].

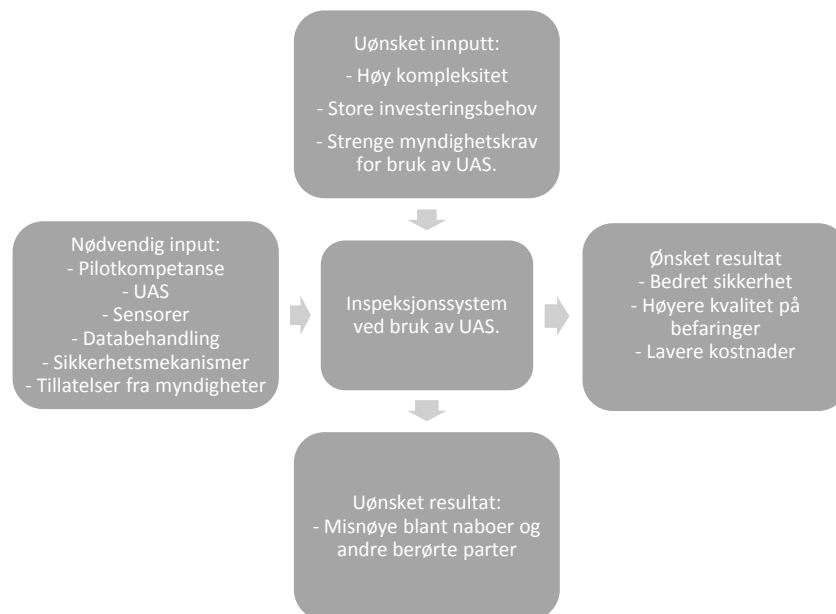


Figur 9: over RX-200, under FX-450 [33].

6 Konseptutvikling

6.1 Systemdefinisjon

For å legge grunnlaget for valg av konsept og synliggjøre overordnede kriteriene er det her listet opp ønsket og uønsket input, samt ønskede og uønskede resultater i Figur 10. Input og resultater er hentet fra forventninger og krav som stilles av de som utfører vedlikeholds inspeksjonene hos Statnett og aktører som utfører inspeksjoner med bruk av droner. Nødvendig input er et UAS, disse kan variere i form og dertil vil også kravet til pilotkompetanse variere. Sensor for å fly UAV, samt utførelse av inspeksjonene er også et nødvendig input. Ved innhenting av store mengder data fra UAS måling krever behandling av data for å trekke frem det essensielle og skape et oversiktlig system. UAS må ha sikkerhetsmekanismer som gjør at UAV ikke kan skade personer eller utstyr ved feil eller at piloten mister forbindelse med UAV. Statnett ønsker i utgangspunktet ikke å bygge opp en stor organisasjon og kompetanse innen UAS og er da avhengig av lav kompleksitet i UAS kapasiteten, eller en leverandør som tilbyr en mer komplett leveranse med både UAS og pilot. For at inspeksjonssystemet skal være aktuelt må det gi resultater i form av enten bedret sikkerhet ved lavere ulykkesrisiko, høyere kvalitet på befaringer, som kan gi økt driftssikkerhet og færre driftsbrudd på grunn av inspeksjoner, eller lavere kostnader. Disse resultatene er i prioritert rekkefølge som innebærer at inspeksjonssystem med lavere kostnader, men høyere sikkerhetsrisiko er sikkerhetsrisikoen styrende på samme måte som i RCM analysen i avsnitt 5.2. Et uønsket resultat er foruten det motsatte av det ønskede resultatene, økt negative påvirkninger av naboer og andre berørte parter som holder til i tilknytning til kraftledninger.



Figur 10: Mulige input/output parametere og ønskede og uønskede resultater av inspeksjon ved bruk av UAS

Ut fra identifisering av mulige parameter er aktørene som blir berørt identifisert. Aktørene med behov ved inspeksjonsprosedyrer ved bruk av UAS er identifisert med begrunnelse og krav rettet mot konseptvalget. For hver av aktørene er behovene i prioritert rekkefølge og vist i Tabell 10.

Tabell 10: Behovsdefinisjon for konseptutvikling

Behovsdefinisjon			
Perspektiv	Behov	Begrunnelse	Krav
Statnett	Øke sikkerheten	- Minske ulykkes forekomsten i forbindelse med inspeksjon av ledningsnettet.	- Minsker sikkerhetsrisiko.
	Økt kvalitet	- Øke kvaliteten og sporbarheten til inspektionsarbeidet.	- Kvaliteten på inspeksjonsarbeidet skal være tilsvarende eller bedre. - Dokumentasjonen og sporbarheten i inspektionsarbeidet.
	Effektivisering av drift	- Erstatte tid- og kostnadskrevende inspektionsformer	- Mer effektiv inspeksjon en dagens prosedyre
Luftfartsmyndigheter	Kommer ikke konflikt med flytrafikk	- Sikkerhet	- Følger retningslinjer gitt i forskrift
Naboer	Påvirkningen på befolkning som bor eller på annen måte oppholder seg i tilknytning til Statnetts ledningsanlegg ikke opplever økt forurensing i form av støy.	- Misnøye med støy kan skape negative reaksjoner og gjøre det vanskeligere for Statnett å utføre sitt samfunnsoppdrag.	- Støynivå under 80 dB

6.2 Krav til konseptvalg

For at inspeksjonene skal utfylle eller erstatte dagens inspeksjonsformer må funksjonene som dagens prosedyrer gir erstattes eller videreutvikles. Utover dette er det ønskede operasjonelle, sikkerhetsmessige og økonomiske krav som er definert for å vurdere ulike konsepter initialt. Kravene er listet opp i Tabell 11 og hver av konseptene som er presenter i avsnitt 6.3 er vurdert i Tabell 12. Tabell 12: initial vurdering av konsepter ut fra funksjonskrav, operasjonelle krav, sikkerhetskrav og økonomiske krav.

Tabell 11: Krav til konsepter I den initiale vurderingen.

Funksjonskrav	Operasjonelle krav	Sikkerhetskrav	Økonomiske krav
Detaljbilder	Enkel bruk	Innkapslede rotorere	Lav utviklingskostnad
Video	Kort utviklingsperspektiv (1-2 år)	Sikkerhetsmekanisme ved tap av styring	Lav driftskostnad
Oversiktsbilder	Lett transporterbart		
Termisk	Lang rekkevidde		
Laser	Liten påvirkning på omgivelser		

6.3 Beskrivelse av konsepter med initiale ytelsesvurderinger

For bruk av UAS til inspeksjon av ledninger og master er det med bakgrunn i dagens prosedyre for RCM og inspeksjonsprosedyrer beskrevet 4 konsepter innenfor systemdefinisjonen som oppfyller en eller flere av kravene til konsept. Noen av konseptene er direkte konkurrerende (2 og 3a) og utelukker hverandre, 1 og 3b har ulike kapasiteter med ulike bruksområder og utelukker ikke hverandre. Konseptene er vurdert initialt i Tabell 12 med en enkel poenggivning på skalaen -1 til 1 for å teste om konseptene totalt sett får en positivt utslag i forhold til kravene fra Tabell 11.

6.3.1 Konsept 1:

Bruk av liten UAV med vekt på under 2,5 kg (kategori RO-1 Operatør) som et supplement under bakkebefaringer, for å kunne utføre visuell kontroll fra flere vinkler, samt ta bedre bilder for dokumentasjon av feil. Kjøpe inn ferdigutviklet system med liten mulighet for modifikasjon og kun enkle sensorer i form av video og bilde. Eksempel SOLO eller Phantom 3 (Tabell 9).

6.3.2 Konsept 2:

Opparbeide intern kompetanse innen flygning og bygging av helikopter-UAV i størrelse opp mot 25 kg (kategori RO-2 Operatør) med mulighet for bruk av ulike type sensorer og tilpasninger til ulike behov og EVLOS-flygning. Kapasitet som effektiviserer bakkebefaring og delvis erstatter helikopterbefaring. Eksempel: systemer levert av VulcanUAS med tilpasninger og utvikling lik Hålogaland Kraft (5.7.2, Tabell 9)

6.3.3 Konsept 3a:

Utvikle helikopter-UAS med mulighet for BLOS-flygning (kategori RO-3 Operatør) og bruk av ulike typer sensorer i samarbeid med selskap som besitter kapasiteter innen utvikling og flygning av UAS der

Statnett leier tjenesten. Kapasitet som erstatter helikopterbefaringer og ekstraordinær befaring.

Eksempel: RX-200 fra Robot Aviation (5.7.3 og Tabell 9)

6.3.4 Konsept 3b:

Leie av UAS med lang operasjonsradius, BLOS-flygning og ekstern pilotkapasitet (kategori RO-3 Operatør) med mulighet for bruk av ulike sensorer. Kapasitet som erstatter skogbefaring og delvis erstatter helikopter og ekstraordinær befaring. Eksempel FX-450 fra Robot Aviation (5.7.3 og Tabell 9)

Tabell 12: initial vurdering av konsepter utfra funksjonskrav, operasjonelle krav, sikkerhetskrav og økonomiske krav.

	Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3a	Konsept 3b
Funksjonskrav				
Detaljbilder	0	1	1	0
Video	1	1	1	0
Oversiktsbilder	1	1	1	1
Termisk	-1	0	1	0
Laser	-1	0	1	1
Operasjonelle krav				
Enkel bruk	1	0	-1	-1
Kort utviklingsperspektiv (1-2 år)	1	0	1	1
Lett transporterbart	1	0	-1	-1
Lang rekkevidde	-1	0	0	1
Liten påvirkning på omgivelser	0	0	0	0
Sikkerhetskrav				
Innkapslede rotor	0	0	0	0
Sikkerhetsmekanisme ved tap av styring	1	1	1	1
Økonomiske krav				
Lav utviklingskostnad	1	-1	0	0
Lav driftskostnad	1	1	-1	-1
SUM	5	4	4	2

7 Konseptvurdering

7.1 SWOT-analyse

I SWOT-analysen er konseptenes styrker, svakheter, muligheter og trusler listet opp. Styrker og svakheter referer til konseptets interne forhold, mulighetene og trusselen refererer til konseptets eksterne forhold.

7.1.1 Konsept 1:

Med liten investering i ressurser og kompetanse er det få eksterne muligheter i konseptet og av trusler er usikkerheten rundt lovverket eneste faktor. Styrkene til konseptet ligger i enkelheten og at kapasiteten er noe som kan kjøpes ferdig. Svakheten går på det samme med enkelhet og liten mulighet for tilpasninger. Faktorene er listet opp i Tabell 13 for å klargjøre vurderingene og enklere sammenlikning av konseptene.

Tabell 13: SWOT-analyse for konsept 1

SWOT-analyse	Konsept 1	
	Styrke	Svakhet
	<ul style="list-style-type: none"> - Krever liten utvikling og opplæring - Kan brukes ved dagens prosedyrer - Enkel å medbringe selv til fots - Lav pris - Hovere 	<ul style="list-style-type: none"> - Lav rekkevidde - Kort flytid - Lav fleksibilitet
	Mulighet	Trussel
		- Lovverk og forskrifter er ikke ferdigstilt

7.1.2 Konsept 2:

Ved utvikling av egne droner i Statnett er faktorene i SWOT analysen vist i Tabell 14. Høyer fleksibilitet og muligheten til å bruke dronen innenfor andre behov for Statnett, og potensielt mot andre er de positive eksterne forholdene til konseptet. Trusselen er igjen usikkerheten i at forskrifter ikke er ferdigstilt. Hovedstyrken til konseptet er fleksibiliteten som oppnås ved å bygge dronen selv, det at Statnett allerede har noe kompetanse innen flygning og sensorteknologi kan gjøre at man drar synergieffekter inn i utviklingen av drone. Muligheten til å fly med bruk av observatør (EVLOS) gjør at rekkevidden øker og evnen til å hovere gjør at inspeksjonene kan stoppe opp og se nærmere på detaljer.

Tabell 14: SWOT-analyse for konsept 2

SWOT-analyse	Konsept 2	
	Styrke	Svakhet
	<ul style="list-style-type: none"> - Kan fly EVLOS - Kan ulike typer sensorer - Har allerede noe kompetanse internt. - Hovere - Kan fraktes på lette kjøretøy 	<ul style="list-style-type: none"> - Krever at det bygges opp kompetanse og organisasjon rundt - Lav rekkevidde - Kort flytid
	Mulighet	Trussel
	<ul style="list-style-type: none"> - Kan brukes innenfor andre virksomhetsområder i Statnett - Kan selge tjenester til eksterne. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lovverk og forskrifter er ikke ferdigstilt

7.1.3 Konsept 3a:

SWOT-analysen for bruk av en ekstern aktør til å utføre/utvikle UAS inspeksjoner er vist i Tabell 15. 3a kan på samme måte som konsept 2 brukes innenfor andre virksomhetsområder hos Statnett. Det å ikke utvikle konseptet selv gir begrenset kontroll over utviklingen. At det er få aktører i markedet som leverer tjenesten Statnett etterspør vil kunne føre til at det blir utfordrende å få gode konkurranse og priser. Styrken ved konseptet er stor fleksibilitet i sensorteknologi da aktørene som tilbyr slike tjenester leverer med et bredt spekter av sensorer. Ved å kjøpe tjenesten slipper Statnett bygge opp mye kompetanse og en stor organisasjon, sertifisering til å fly uten å kunne se UAV er et fornuftig krav å stille en leverandør og vi øke rekkevidden til UAVen. Som et helikopter har konseptet kapasiteten til hovere som gir mulighet for å stoppe opp og inspisere kritiske punkter. UAS som faller innunder kategorien RO-3 kan operere uten dagslys. Helikopter konstruksjonen medfører også lav rekkevidde, men noe større rekkevidde enn det som kan forventes av konsept 2.

Tabell 15: SWOT-analyse for konsept 3a

SWOT-analyse	Konsept 3a	
	Styrke	Svakhet
	- Kan ulike typer sensorer - Krever liten kompetanse og ingen organisasjonsoppbygging - Kan fly BLOS - Hovere - Kan fly om natten	- Lav rekkevidde - Kort flytid
	Mulighet	Trussel
	- Kan brukes innenfor andre virksomhetsområder i Statnett	- Få aktører i markedet - Begrenset kontroll over utvikling - Lovverk og forskrifter er ikke ferdigstilt

7.1.4 Konsept 3b:

Bruk av fastvinge-UAS kan ha en nytte innenfor ulike virksomhetsområder i Statnett, som kartlegging av terreng i forbindelse med utredninger. Trusselen for konseptet er at det finnes få aktører som kan påvirke prisene Statnett oppnår på grunn av lite konkurranse i markedet. Igjennom å kjøpe tjenesten har Statnett begrenset kontroll over fremtidig utvikling og som i de andre konseptene er det usikkerhet på grunn av uferdig lovverk.

Styrkene til konseptet er stor fleksibilitet i sensorteknologi da de fleste fastvinge-UAV har stor nyttelast. Evnen til å fly BLOS og designet gir betydelig lengere rekkevidde. Designet gir ikke muligheten til å hovere så muligheten til nærinspeksjon er begrenset. Faktorene for konseptet er fremstilt i SWOT-analysen i Tabell 16.

Tabell 16: SWOT-analyse for konsept 3b

SWOT-analyse	Konsept 3b	
	Styrke	Svakhet
	- Stor fleksibilitet - Krever liten kompetanse og ingen organisasjonsoppbygging - Kan fly BLOS - Lang rekkevidde	- Kan ikke hovere
	Mulighet	Trussel
	- Kan brukes innenfor andre virksomhetsområder i Statnett	- Få aktører i markedet - Begrenset kontroll over utvikling - Lovverk og forskrifter er ikke ferdigstilt

7.2 Strategianalyse

Strategianalysen brukes her for å fremheve prosjektstrategien, usikkerhetsfaktorene og hvordan disse påvirker realiseringen av strategien for de ulike konseptene.

7.2.1 Konsept 1:

Resultatmålet for konseptet er at konseptet tas i bruk som en del av inspeksjonsprosedyren, effekten er ønsket av konseptet er å gjøre inspeksjonene enklere, bedre og tryggere enn ved dagens situasjon.

Hovedmålet er et totalt sett bedre nettdriften. Forutsetningene som refererer til ressurser er det finnes en UAS med ønskede kapasiteter i markedet. For at resultatmålet skal oppnås må UAS være mulig å operere med minimal kursing, teknikerne som bruker de må se nytten av UAS som verktøy og ledningsområdene ser nytten og tar i bruk konseptet. For å oppnå ønsket effekt må konseptet føre til hurtigere, økt kvalitet og/eller bedret sikkerhet i inspeksjonsarbeidet. Hovedmålet er bedret nettdriften hvor usikkerheten er om konseptet fører til færre driftsbrudd. Hvilke forutsetningene og usikkerhetsmomenter som referer til ressursene og de ulike målene er vist i Tabell 17.

Tabell 17: Strategianalyse for konsept 1

Prosjektet		Prosjektets hensikt	
Ressurser	Resultatmål	Effekt mål	Hovedmål
UAS med lav vekt som fungerer som et supplement under inspeksjon av kraftledninger og master.	UAS tas i bruk i inspeksjonsarbeidet.	Gjør at inspeksjonene blir enklere, bedre og tryggere.	Bedre nettdriften.
Forutsetninger	Usikkerhet	Usikkerhet	Usikkerhet
1. UAS med ønskede kapasiteter finnes i markedet.	2. Prosjektet vurderes som nyttig av Nettdrift. 3. Ledningsområdene tar UAS i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 4. UAS kan opereres av teknikere som går inspeksjoner med kun minimal kursing. 5. Teknikere ser nytten av UAS som verktøy.	6. Fører til at inspeksjonen går fortere. 7. Fører til at kvaliteten på rapportering blir bedre. 8. Bedrer sikkerheten	9. Færre driftsbrudd grunnet feil. 10. Færre driftsbrudd grunnet inspeksjon.

7.2.2 Konsept 2:

Resultatmålet for konseptet er en UAS blir utviklet og tatt i bruk, effekten som ønskes av konseptet er å erstatte bruk av dyre og mer risikofylte inspeksjonsformer og hovedmålet er å bedre nettdriften.

Forutsetningene som refererer til ressurser er at det utvikles og bygges en UAS med ønskede kapasiteter. Usikkerhetene knyttet til resultatene av konseptet er at ledningsområdene ser nytten og tar konseptet i bruk. Usikkerheten referert til effekten er knyttet til om kvaliteten, sikkerheten og/eller økonomien er bedret ved bruk av konseptet. For at hovedmålet skal oppnås må konseptet føre til færre driftsbrudd. Hvilke forutsetningene og usikkerhetsmomenter som referer til ressursene og de ulike målene er vist i Tabell 18.

Tabell 18: Strategianalyse for konsept 2

Prosjektet		Prosjektets hensikt	
Ressurser	Resultatmål	Effekt mål	Hovedmål
UAS med kapasitet til å bruke ulike sensorer utviklet og driftet internt i Statnett.	UAS blir utviklet og tas i bruk i inspeksjonsarbeidet.	Erstatter bruk av dyre og risikofylte inspeksjonsformer.	Bedre nettdriften.
Forutsetninger	Usikkerhet	Usikkerhet	Usikkerhet
1. UAS utvikles og bygges med ønskede kapasiteter.	2. Ledningsområdene tar UAS i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 3. Prosjektet vurderes som nyttig av Nettdrift.	5. Leverer en kvalitet lik eller bedre enn dagens inspeksjoner. 6. Gir besparelser i form av tid og/eller kostnader. 7. Lavere sikkerhetsrisiko.	8. Færre driftsbrudd grunnet feil.

7.2.3 Konsept 3a:

Resultatmålet for konseptet er at UAS tas i bruk i inspeksjonsarbeidet med effekt mål å erstatte bruk av dyre og risikofylte inspeksjonsformer. Hovedmålet er å bedre nettdriften. Forutsetningen for ressursen er at det finnes aktører med ønskede kapasiteter for Statnett sin bruk. Usikkerheten knyttet til resultatmålet er ledningsområdene vurderer tjenesten som nyttig og tar den i bruk som en del av sitt inspeksjonsarbeid. Usikkerheten opp mot effekt målet er om tjenesten som leveres er av en god nokk kvalitet, om den gir kostnadsbesparelser og om sikkerhetsrisikoen minsker. At tjenesten fører til færre driftsbrudd er usikkerhetsmomentet som refererer til hovedmålet om å bedre nettdriften. Hvilke forutsetningene og usikkerhetsmomenter som referer til ressursene og de ulike målene er vist i Tabell 19.

Tabell 19: Strategianalyse for konsept 3a.

Prosjektet		Prosjektets hensikt	
Ressurser	Resultatmål	Effekt mål	Hovedmål
Helikopter-UAS-tjenester kjøpt inn av ekstern aktør for bruk i inspeksjonsarbeid.	UAS tas i bruk i inspeksjonsarbeidet.	Erstatter bruk av dyre og risikofylte inspeksjonsformer.	Bedre nettdriften.
Forutsetninger	Usikkerhet	Usikkerhet	Usikkerhet
1. Aktører med ønskede kapasiteter finnes.	2. Ledningsområdene tar UAS-tjenestene i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 3. Prosjektet vurderes som nyttig av ledningsområdene.	4. Leverer en kvalitet lik eller bedre enn dagens inspeksjoner. 5. Gir kostnadsbesparelser. 6. Lavere sikkerhetsrisiko.	7. Færre driftsbrudd grunnet feil.

7.2.4 Konsept 3b:

Resultatmålet for konseptet er at fastvinge tjenester tas i bruk i inspeksjonsarbeidet med effekt mål å erstatte bruk av dyre og risikofylte inspeksjonsformer. Hovedmålet er å bedre nettdriften.

Forutsetningen for ressursen er at det finnes aktører med ønskede kapasiteter for Statnett sin bruk.

Usikkerheten knyttet til resultatmålet er ledningsområdene vurderer tjenesten som nyttig og tar den i bruk som en del av sitt inspeksjonsarbeid. Usikkerheten opp mot effekt målet er om tjenesten som leveres er av en god nokk kvalitet, om den gir kostnadsbesparelser og om sikkerhetsrisikoen minsker. At tjenesten fører til færre driftsbrudd er usikkerhetsmomentet som refererer til hovedmålet om å bedre nettdriften. Hvilke forutsetningene og usikkerhetsmomenter som referer til ressursene og de ulike målene er vist i Tabell 20 for konsept 3b.

Tabell 20: Strategianalyse for konsept 3b.

Prosjektet		Prosjektets hensikt	
Ressurser	Resultatmål	Effekt mål	Hovedmål
Fastvinge-UAS-tjenester kjøpt inn av ekstern aktør for bruk i inspeksjonsarbeid	UAS tas i bruk i inspeksjonsarbeidet.	Erstatter bruk av dyre og risikofylte inspeksjonsformer.	Bedre nettdriften.
Forutsetninger	Usikkerhet	Usikkerhet	Usikkerhet
1. Aktører med ønskede kapasiteter finnes.	2. Ledningsområdene tar UAS-tjenestene i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 3. Prosjektet vurderes som nyttig av ledningsområdene.	4. Leverer en kvalitet lik eller bedre enn dagens inspeksjoner. 5. Gir kostnadsbesparelser. 6. Lavere sikkerhetsrisiko.	7. Færre driftsbrudd grunnet feil.

7.3 Usikkerhetsanalyse

Usikkerhetsanalysen er for å identifisere eventuelle fatale risikomomenter, eller vesentlig muligheter ved forutsetningen og usikkerhetene som kom frem av strategianalysen. Ved å vurdere konsekvens og sannsynlighet av virkningen. Vurderingene av usikkerheten er basert på erfaringer fra brukere av UAV, fagpersoner hos Statnett og vurderinger fra forfatteren.

7.3.1 Konsept 1:

For konseptet ved bruk av UAV som et supplement er usikkerhetsanalysen vist i Tabell 21, det er ingen reell eller fatale risiko da konseptet medfører en liten endring og investeringen er antatt lav. Det er stor sannsynlighet for at prosjektet tas i bruk da behovet for å komme nærmere og inspisere under bakkebefaringer er tilstede i de tilfellene hvor det ikke klatres opp mot spenningspåsatte liner. Gjennomføringen av konseptet har en vesentlig mulighet i at inspeksjonene blir bedre slik at kvaliteten på rapporteringen bedres.

Tabell 21: Usikkerhetsanalyse for konsept 1

Usikkerhetsvurdering				
Konsekvens	Vesentlig virkning	Vesentlige muligheter	Reell risiko	Fatal Risiko
		6. Fører til at kvaliteten på rapportering blir bedre.		
	Liten virkning	Liten Risiko	Liten Risiko	Liten risiko
		1. Prosjektet vurderes som nyttig av ledningsområdene. 2. Ledningsområdene tar UAS i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 4. Teknikere ser nytten av UAS som verktøy. 5. Fører til at inspeksjonen går fortere. 10. Færre driftsbrudd grunnet inspeksjon.	3. UAS kan opereres av teknikere som går inspeksjoner med kun minimal kursing.	7. Minsker ulykkes forekomsten 8. Færre driftsbrudd grunnet feil.
	Stor	Middels	Lav	
Sannsynlighet				

7.3.2 Konsept 2:

For konsept 2 er usikkerhetsanalysen vist i Tabell 22. Konseptet som i større grad enn de andre innebærer investeringer i både kompetanse og system er virkningen vurdert til høyere ved at bruken ikke realiseres. Da det fortsatt er områder i bruk av UAS som er uprøvd er det en reell risiko for at UAS ikke utvikles til ønskede kapasiteter. Følgen av det blir at konseptet ikke vurderes som nyttig eller tas i bruk.

Tabell 22: Usikkerhetsanalyse for konsept 2

Usikkerhetsvurdering				
Konsekvens	Vesentlig virkning	Vesentlige muligheter 6. Gir besparelser i form av tid og/eller kostnader.	Reell risiko 1. UAS utvikles og bygges med ønskede kapasiteter. 2. Ledningsområdene tar UAS i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 3. Prosjektet vurderes som nyttig av ledningsområdene.	Fatal Risiko
	Liten virkning	Liten Risiko	Liten Risiko 7. Lavere sikkerhetsrisiko. 5. Leverer en kvalitet lik eller bedre enn dagens inspeksjoner.	Liten risiko 8. Færre driftsbrudd grunnet feil.
		Stor	Middels	Lav
Sannsynlighet				

7.3.3 Konsept 3a:

For konsept 3a er usikkerhetsanalysen vist i Tabell 23. Det ligger en vesentlig mulighet i bruk av UAV for å spare kostnader sammenliknet med dagens prosedyrer. Ved kjøp av tjenester er investeringsbehovet vesentlig mindre og hvis tjenesten ikke vurderes som nyttig eller tas i bruk er virkningen lav.

Tabell 23: Usikkerhetsanalyse for konsept 3a

Usikkerhetsvurdering				
Konsekvens	Vesentlig virkning	Vesentlige muligheter 1. Aktører med ønskede kapasiteter finnes. 5. Gir kostnadsbesparelser.	Reell risiko	Fatal Risiko
	Liten virkning	Liten Risiko	Liten Risiko 2. Nettdrift tar UAS-tjenestene i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 3. Prosjektet vurderes som nyttig av Nettdrift. 6. Lavere sikkerhetsrisiko. 4. Leverer en kvalitet lik eller bedre enn dagens inspeksjoner.	Liten risiko 7. Færre driftsbrudd grunnet feil.
		Stor	Middels	Lav
Sannsynlighet				

7.3.4 Konsept 3b:

Mulighetene i bruk av fastvinge-UAV ligger i tid- og kostnadsbesparelser da det er muligheter for å dekke store avstander på kort tid og operasjonsradien til fastvinge-UAV er mye større en helikopter-UAV.

Risikoen i konseptet ligger i at det er usikkert om det finnes aktører med muligheten for å gi den detaljgraden som er ønsket ved ulike inspeksjoner. På samme måte som konsept 3a er det lite risiko forbundet med selve gjennomføringen da det ikke investeres mye i system eller kompetanse ved innkjøp av tjenester.

Tabell 24: Usikkerhetsanalyse for konsept 3b

Usikkerhetsvurdering				
Konsekvens	Vesentlig virkning	Vesentlige muligheter 5. Gir kostnadsbesparelser.	Reell risiko 1. Aktører med ønskede kapasiteter finnes.	Fatal Risiko
	Liten virkning	Liten Risiko 2. Nettdrift tar UAS-tjenestene i bruk som en kapasitet i sitt inspeksjonsarbeid. 3. Prosjektet vurderes som nyttig av Nettdrift. 6. Lavere sikkerhetsrisiko.	Liten Risiko 4. Leverer en kvalitet lik eller bedre enn dagens inspeksjoner.	Liten risiko 7. Færre driftsbrudd grunnet feil.
		Stor	Middels	Lav
Sannsynlighet				

7.4 Sikkerhetsvurdering

Hendelser som kan inntreffe spesielt for konseptet er listet opp, og sannsynlighet er vurdert med en poengskala fra 0-3 (0 - Usannsynlig hendelse, 1 - Lite sannsynlig hendelse, 2 - Hendelsen har/ kan inntreffe og 3 – Sannsynlig hendelse) og konsekvens fra 1-3 (1 – lav fare for skade, 2 – fare for skade og 3 – fare for brudd/død) som gir en risiko på skalaen 0-9.

7.4.1 Konsept 1:

Sannsynligheten for sammenstøt mellom UAV og tredjepart er vurdert som en usannsynlig hendelse da det er mulig å opprettholde god sikkerhetsavstand ved flygning. Sannsynligheten for sammenstøt med operatør er vurdert til lav, og konsekvensen er vurdert til lav på grunn av vekten på dronen.

Sannsynligheten for sammenstøt med mast og ledning er noe høyere da nærhet til disse kan være nødvendig for å få tilstrekkelig billedkvalitet. Konsekvens ved sammenstøt med mast og ledning er vurdert til lav grunnet liten vekt på UAV.

Tabell 25: Sikkerhetsvurdering for konsept 1

Konsept 1	Sikkerhetsvurdering			
	Hendelse	Sannsynlighet	Konsekvens	Risiko
	Sammenstøt mellom UAV og operatør	1	1	1
	Sammenstøt med UAV og mast	2	1	2
	Sammenstøt med UAV og ledning	2	1	2
	Sammenstøt med UAV og tredjepart	0	2	0

7.4.2 Konsept 2:

Sannsynligheten for sammenstøt mellom UAV med operatør eller tredjepart er vurdert som usannsynlig, det er mulig å opprettholde god sikkerhetsavstand til begge parter ved flygning og operatørene er bedre trent enn ved konsept 1. Sannsynligheten for sammenstøt med mast og ledning er også lav, det er ikke nødvendig å komme like nærme mast med en UAV på denne størrelsen da det kan monteres betydelig bedre kamera enn ved konsept 1. Størrelsen på UAV gjør at konsekvensen ved sammenstøt mellom UAV og ledning er vurdert til å være fare for skade.

Tabell 26: Sikkerhetsvurdering for konsept 2

Konsept 2	Sikkerhetsvurdering			
	Hendelse	Sannsynlighet	Konsekvens	Risiko
	Sammenstøt mellom UAV og personer	0	2	2
	Sammenstøt med UAV og mast	1	1	1
	Sammenstøt med UAV og ledning	1	2	2
	Sammenstøt med UAV og tredjepart	0	2	0

7.4.3 Konsept 3a:

Sannsynligheten for sammenstøt mellom UAV med operatør eller tredjepart er vurdert som usannsynlig, det er mulig å opprettholde god sikkerhetsavstand til begge parter ved flygning. Sannsynligheten for sammenstøt med mast og ledning er også lav, det er ikke nødvendig å komme nærme mast med kamerakapasiteten som kan monteres på UAS med denne løftekapasiteten. Størrelsen på UAV gjør at konsekvensen ved sammenstøt mellom UAV og ledning er vurdert til å være fare for brudd.

Tabell 27: Sikkerhetsvurdering for konsept 3a

Konsept 3a	Sikkerhetsvurdering			
	Hendelse	Sannsynlighet	Konsekvens	Risiko
	Sammenstøt mellom UAV og personer	0	3	0
	Sammenstøt med UAV og mast	1	2	2
	Sammenstøt med UAV og ledning	1	3	3
	Sammenstøt med UAV og tredjepart	0	3	0

7.4.4 Konsept 3b:

Ved bruk av fastvinge-UAV er sannsynligheten for ulykker i forbindelse med flygninger vurdert til usannsynlig grunnet avstand til andre og installasjoner.

Tabell 28: Sikkerhetsvurdering for konsept 3b

Konsept 3b	Sikkerhetsvurdering			
	Hendelse	Sannsynlighet	Konsekvens	Risiko
	Sammenstøt mellom UAV og personer	0	3	0
	Sammenstøt med UAV og mast	0	2	0
	Sammenstøt med UAV og ledning	0	3	0
	Sammenstøt med UAV og tredjepart	0	3	0

7.5 Vurdering av kapasiteter mot dagens prosedyre

Bruksområdet til hver av konseptene er sammenliknet med dagens prosedyrer og vurdert etter i hvor stor grad de kan ta over eller utfylle dagens prosedyrer. Skalaen består av (-) som er uegnet, (+) supplement til dagens prosedyre, (++) erstatter delvis dagens prosedyre og (+++) erstatter dagens prosedyre. Det er kun vurdert om konseptene er teknisk kapable til å erstatte dagens prosedyre, ikke om det er tryggere, bedre eller billigere. Vurderingene er presentert i Tabell 29.

Konsept 1 er kun et verktøy som er supplementær til dagens prosedyrer i form av at den gir patruljen som går befaringer anledning til å komme nærmere det som befares og se/ta bilder fra andre vinkler. Konsept 2 og 3a har kapasiteter til å erstatte termografering, skogsbefaringer og helikopterbefaringer samt å være et supplement til dagens line- og armaturbefaring og mastekontroll.

3b kan brukes til skogsbefaring eller som et verktøy ved ekstraordinære befaringer.

Tabell 29: Kapasitetsvurdering

	Line- og armaturbefaring	Termografering	Skogsbefaring	Mastekontroll	Helikopter-befaring	Ekstraordinær befarig
Konsept 1	+	-	+	+	-	-
Konsept 2	++	+++	+++	++	+++	-
Konsept 3a	++	+++	+++	++	+++	++
Konsept 3b	-	-	+++	-	-	+

7.6 Kostnadsvurdering

Kostnadsvurderingen ved hvert konsept er gjort utfra en vurdering av lavt, sannsynlig og høyt kostnadsanslag med avskrivningstid for hver delaktivitet er satt. Delaktivitetene for hver av konseptene er satt til investering, intern kompetansebygging og brukeropplæring. Med intern kompetansebygging menes kursing og opparbeiding av kompetanse innen bygging og driften av UAS. Kostnadene med kursing i og kompetansebygging i forbindelse med utarbeiding av operasjonsmanualer og grunnleggende kompetanse om flygning og regelverk er ikke med i denne vurderingen da det vil gjelde alle konseptene og arbeidet allerede er i gang hos Statnett. Konsept 1 og 2 forutsetter at man utdanner dagens teknikere til piloter men der det er ulike behov for antall i konseptene. Kostnadene per år er basert på anslått avskrivningstid. Forbruk er sett bort i fra da drivstoff i form av strøm er anslått til å være minimalt, forbruket i form av reservedeler inngår i avskrivningstiden.

7.6.1 Konsept 1:

Konsept 1 er basert på enkelhet og innkjøp av kommersielle droner og kostnadsanslagene er presentert i Tabell 30. Det finnes ulike UAS i prisområdet, så usikkerheten i pris ligger i hovedsak i valg av leverandør. Til brukeropplæring er det antatt at intern kompetanse nyttes og en pris per time for brukere på 500 kr. Behovet er anslått til 32 enheter da det er en per inspeksjonslag med opplæring til alle teknikere som utfører inspeksjoner. I brukeropplæringen er det usikkerhet da noe avhenger i forskriftene som enda ikke er ferdigstilt og enkelheten i bruk ikke er testet av teknikere. Avskrivningstiden er anslått til 2 år for dronene og 5 år for brukeropplæring.

Tabell 30: Kostnadsanslag for konsept 1.

Delaktivitet Priser i 1000 NOK	Per enhet			Behov	Total			Avskrivnings tid	Kostnad per år		
	Lav	Sans	Høy		Lav	Sans	Høy		Lav	Sans	Høy
Innkjøp	8	12	20	32	256	384	640	2	128	192	320
Intern kompetansebygging					-	-	-	10	-	-	-
Brukeropplæring	1,5	2	5	64	96	128	320	5	19	26	64
Totalt	10	14	25		352	512	960		147	218	384

7.6.2 Konsept 2:

Kostnadsanslaget til Konsept 2 er vist i Tabell 31. Konseptet har stor usikkerhet i kostnader da mye avhenger av valg av sensorer og utvikling. Laveste anslag for innkjøp er basert på delepriser ved UAS av typen brukt av Hålogaland Kraft. Høyeste anslag er ved valg av flere sensorkapasiteter som IR og laser der det er anslått et behov for en sensor per ledningsområde. Behovet er i førsteomgang anslått til to UAS per ledningsområde og avskrivningstiden er vurdert til 5 år for UAS og 10 år for kompetanse.

Tabell 31: Kostnadsanslag for konsept 2.

Delaktivitet Priser i 1000 NOK	Per enhet			Behov	Total			Avskrivnings tid	Kostnad per år		
	Lav	Sans	Høy		Lav	Sans	Høy		Lav	Sans	Høy
Innkjøp	30	100	500	16	480	1600	8000	5	96	320	1600
Intern kompetansebygging					500	800	1500	10	50	80	150
Brukeropplæring	50	100	500	16	800	1600	8000	10	80	160	800
Totalt	80	200	1000		1780	4000	17500		226	560	2550

7.6.3 Konsept 3a:

Ved konsept 3a er det ingen innkjøp, intern kompetansebygging eller brukeropplæring da tjenesten vil kjøpes av eksterne. Pris på leie av UAS av denne størrelsen er forespeilet i området 5000-10 000 kr/t avhengig av oppdragsform[33].

7.6.4 Konsept 3b:

Ved konsept 3b er det ingen innkjøp, intern kompetansebygging eller brukeropplæring da tjenesten vil kjøpes av eksterne. Pris på leie av UAS av denne størrelsen er usikkert men er blitt forespeilet i øvre sjiktet av hva det koster for konsept 3a, men at det varierer utfra oppdragsform[33].

7.7 Fremdriftsanalyse

I fremdriftsanalysen er konseptene delt opp i delaktiviteter og anslag er gjort for hver av delaktivitetene prosjektering, testing/utvikling, anskaffelse/bygging og kursing/innfasing med lavt, sannsynlig og høyt tidsanslag i måneder. For konseptene 3a og 3b er det tatt med fasene anskaffelse/bygging og kursing/innfasing, dette er faser som ikke gjøres av Statnett, men må gjøres av leverandøren. På den måten påvirker det likefult tiden det tar og realiser konseptet.

7.7.1 Konsept 1:

I konsept 1 går prosjekteringen ut på å kartlegge behov og velge en eller flere leverandører. Teste i bruk ved ulike forhold for å verifisere om kapasiteten og brukervennligheten er tilstrekkelig. Deretter anskaffe UAS og kurse personell som skal bruke UAS. Anslagene for tidsbruk er fremstilt i Tabell 32.

Tabell 32: Anslag på fremdrift for konsept 1.

	Anslag på varighet (måneder)		
	Lavt	Sannsynlig	Høyt
Prosjektering	0,5	1	2
Testing/utvikling	0,5	1	4
Anskaffelse/bygging	0,5	2	4
Kursing/innfasing	1	2	4
Total	2,5	6	14

7.7.2 Konsept 2:

Konsept 2 er vurdert å inneholde stor usikkerhet med anslagene presentert i Tabell 33. Usikkerheten er stor på grunn av kompleksiteten, spesielt i utviklingen. Kursing/innfasing er også vurdert til å være langvarig da det stilles strenge krav til piloter, det sannsynlige anslaget her er hentet fra Hålogaland Kraft der kursingen gjøres parallelt med andre arbeidsoppgaver som også er nødvendig skal teknikere som utføres inspeksjoner utdannes til UAS-piloter i Statnett [34].

Tabell 33: Anslag på fremdrift for konsept 2.

	Anslag på varighet (måneder)		
	Lavt	Sannsynlig	Høyt
Prosjektering	1	1	3
Testing/utvikling	3	4	12
Anskaffelse/bygging	3	4	8
Kursing/innfasing	4	6	8
Total	11	15	31

7.7.3 Konsept 3a:

I konsept 3a er testing og utvikling for at kapasitet skal fungere spesifikt for behovene og inn i systemene til Statnett anslått til å ta mesteparten av tiden. Behovet for anskaffelse/bygging og kursing/innfasing er vurdert til lavere da kapasitetene som finnes ikke er veldig ulike behovet til Statnett, og ombyggingsbehovet burde være minimalt. Anslagene er vist i Tabell 34.

Tabell 34: Anslag på fremdrift for konsept 3b.

	Anslag på varighet (måneder)		
	Lavt	Sannsynlig	Høyt
Prosjektering	0,5	1	2
Testing/utvikling	0,5	4	6
Anskaffelse/bygging	0	2	4
Kursing/innfasing	0	1	2
Total	1	8	14

7.7.4 Konsept 3b:

For konsept 3b er anslagene vist i Tabell 35 som er i hovedsak likt konsept 3a. Unntaket er stor usikkerhet ved testing og utvikling da kvaliteten på billedtakning med bruk av fly direkte mot inspeksjon av ledningsnett er et uprøvd område.

Tabell 35: Anslag på fremdrift for konsept 3b.

	Anslag på varighet (måneder)		
	Lavt	Sannsynlig	Høyt
Prosjektering	1	1	3
Testing/utvikling	3	4	10
Anskaffelse/bygging	0	2	4
Kursing/innfasing	0	1	2
Total	4	8	19

7.8 Oppsummering av resultater

For å lettere kunne sammenlikne resultatene fra konseptvurderingen er hovedpunktene for å fremheve ulikhetene fremstilt i Tabell 36.

Tabell 36: Oppsummering av hovedpunkter fra konseptvurdering

	Konsept 1			Konsept 2			Konsept 3			Konsept 3		
Kategori	RO-1			RO-2			RO-3			RO-3		
Rekkevidde	0,8-2 km			1,5-5 km			120 km			1900 km		
Styrker/ Muligheter	<ul style="list-style-type: none"> - Krever liten utvikling og opplæring - Kan brukes ved dagens prosedyrer - Enkel å medbringe selv til fots - Lav pris 			<ul style="list-style-type: none"> - Kan fly EVLOS - Høy fleksibilitet - Kan fraktes på lette kjøretøy - Kan brukes innenfor andre virksomhetsområder i Statnett 			<ul style="list-style-type: none"> - Stor fleksibilitet - Kan fly BLOS - Kan fly om natten 			<ul style="list-style-type: none"> - Stor fleksibilitet - Kan fly BLOS - Lang rekkevidde 		
Svakheter/ Trusler	<ul style="list-style-type: none"> - Lav fleksibilitet - Kort rekkevidde 			<ul style="list-style-type: none"> - Krever at det bygges opp kompetanse og organisasjon. 			<ul style="list-style-type: none"> - Få aktører i markedet - Begrenset kontroll over utvikling 			<ul style="list-style-type: none"> - Kan ikke hovere - Få aktører i markedet - Begrenset kontroll over utvikling 		
Vesentlige muligheter	<ul style="list-style-type: none"> - Fører til at kvaliteten på rapportering blir bedre. 			<ul style="list-style-type: none"> - Gir besparelser i form av tid og/eller kostnader. 			<ul style="list-style-type: none"> - Aktører med ønskede kapasiteter finnes. - Gir kostnadsbesparelser. 			<ul style="list-style-type: none"> - Gir kostnadsbesparelser. 		
Reell Risiko				<ul style="list-style-type: none"> - UAS utvikles og bygges med ønskede kapasiteter. - Prosjektet vurderes som nyttig av Nettdrift og tar konseptet i bruk 						<ul style="list-style-type: none"> - Aktører med ønskede kapasiteter finnes. 		
Høyeste sikkerhetsrisiko	2			2			3			0		
	Årlig			Årlig			Timepris			Timepris		
	Lavt	Sans	Høyt	Lavt	Sans	Høyt	Lavt	Sans	Høyt	Lavt	Sans	Høyt
Kostand (l 1000 kr)	147	218	384	226	560	2550	5-10			-		
Tid til implementert (Måneder)	2,5	6	14	11	15	31	1	8	14	4	8	19

8 Diskusjon

I det innledende studiet er det tydelig at markedet for UAS og UAS-tjenester er et marked i vekst og utvikling. Det finnes publisert forskning som spesialiserer på bruk av UAS i forbindelse med inspeksjon av ledningsnett. Av det som forfatteren har funnet er det ingen som er publisert etter 2011 og med utviklingen på det kommersielle markedet innenfor både automasjon, batterikapasitet og redundans virker det som publisert forskning nå henger etter teknologien forøvrig. Det er av den grunn ikke lagt mye vekt på resultatene fra publisert forskning utover at problemstillingene som er kommet frem i forskningsprosjekter har fungert godt som kontrollspørsmål til leverandører av UAS og UAS-tjenester.

Leverandørene av UAS tjenester i Norge bærer i mitt syn preg av å være modellflyentusiaster som ønsker å gjøre hobbyen over til en jobb. Dette har flere sider, en utfordring er at engasjementet gjør at fokus ligger på flygning og akrobatikk, i større grad en presis registrering ved bruk av ulike sensorer med systematisk og monoton flygning. Hålogaland Kraft (HLK) og Robot Aviation (RA) som er beskrevet i teorien er i mitt syn de aktørene med den mest profesjonelle tilnærmingen til inspeksjoner. Andre selskaper som er vurdert er utelatt på grunnlag av at tjenesten de tilbyr er dekket av RA eller HLK eller at utviklingen har kommet for kort til å være aktuell [35-37].

Av leverandører av UAS tjenester i Europa finnes det flere med kapasiteter opp mot det som utføres av dagens helikopter [38]. Grunnet logistikk utfordringer ved å få denne kapasiteten til Norge og ut over det langstrakte sentralnettet, kun for å utføre noen inspeksjoner i året har forfatteren vanskelig for å se at det kan lønne seg økonomisk. Kapasiteten vil ikke være bedre enn helikopter da alt av sensorer du kan sette på en UAS kan du også sette på et helikopter. Nyten ved en slik kapasitet ville vært å kunne fly ut i vær hvor man ikke er villig til å sende ut mennesker av sikkerhetshensyn. Dette kan være nyttig som en beredskapskapasitet ved brudd. Forfatteren ser dette som uaktuelt med mindre en slik kapasitet kan finansieres som et samarbeid med andre aktører med liknende behov, som redningstjeneste, kystvakt, grensevakt eller andre distribusjonsselskaper.

Forfatteren gikk inn i denne oppgaven med en ambisjon om å kartlegge kostnadene ved inspeksjoner av mast og ledningsanlegg. I den hensikt å finne det økonomiske potensialet for besparelser ved bruk av UAS. Dette viste seg å være en oppgave som strakte seg langt utover det forfatteren har hatt kapasitet og evner til på en såpass kort periode. Registreringer av arbeider ved befaringer er av veldig varierende kvalitet både av tidsbruk og spesielt annet forbruk. Dette gjør det umulig å knytte kostnader til spesifikke

aktiviteter. En metode som ble forsøkt var å benytte RCM planene til å beregne kostnadene fra tidsbruken som er planlagt. Ulempen med den tilnærmingen er at praksis innenfor hvert ledningsområde er ulik. Der trenden er at ledningsområdene i nord i mindre grad enn ledningsområdene i sør benytter seg av prosedyrene utarbeidet fra RCM-analysen.

Dette gjør at planverktøyet er uegnet for å vurdere kostnader og samtidig belyser det poenget at det må skapes aksept i alle deler av organisasjonen for å implementere nye prosedyre som er en nyttig erfaring å ta med seg ved en eventuell innføring av droneinspeksjoner.

8.1 Konsept 1

Konseptet er det med lavest kompleksitet og derav enklest og vurderer slik at usikkerheten i estimatene er mindre for dette enn de andre konseptene. Konseptet er også det som blir best mottatt av ledningsmestrene forfatteren har vært i forbindelse med [17, 39, 40]. Grunnen til dette kan være at det ikke oppfattes som en stor endring eller noe som erstatter dagens prosedyre, heller et verktøy og hjelpemiddel. Det at konseptet tas imot som et potensielt nyttig verktøy er kanskje konseptets sterkeste side da man ikke bare er avhengig av et konsept som fungerer, men også at det brukes. Gitt at kvaliteten på dronene i denne klassen er slik som fremstilt vil konseptet gi en økning i kvalitet på befaringer der man vanligvis bare ville tatt bilder fra bakken. Forutsetningen som er gjort her er at systemet er så brukervennlig og enkelt som leverandørene hevder. Dette er noe som burde testes og da gjerne på teknikerne fra et av ledningsområdene for å vurdere og eventuelt velge den best egnede leverandøren. Flere av ledningsmestrene har estimert en kapasitet på minimum 1-1,5 km for å få mest utbytte av konseptet. For at UAS også kan nyttes til utilgjengelige master og inspeksjon av fjordspenn. Da tøyegrensen for hva som kan defineres innenfor klasse RO-1, men er fortsatt innenfor kapasiteten til for eksempel Phantom 3 med en operasjonsradius opp mot 2 km. Ved å ta i bruk dette konseptet kan man også høste nyttige erfaringer for en eventuell fremtidig satsning og videreutvikling av bruken av droner.

8.2 Konsept 2

Konseptet er det med høyest kompleksitet og derav også høyest usikkerhet i estimatene. Estimaten er basert på erfaringer fra Hålogaland Kraft (HLK). HLK har hatt stor nytte av personer internt med pilot-, modellflyerfaring og en genuin interesse for UAS. At Statnett skal greie å frembringe noen med samme engasjement og at systemet er skalerbart til det behovet Statnett har er veldig usikkert. At Statnett skal utvikle noe med betydelig lengere rekkevidde og flytid en Hålogaland Kraft er forfatteren tvilende til. Bruksområdet blir da begrenset ved at det er avhengig av tilgjengelighet til annen infrastruktur for å oppnå store tidsbesparelser. Konseptet vil ikke kunne erstatte helikopterbefaring som dekker større

områder på mye kortere tid, kan medbringe både termisk, video, høyoppløselig kamera og det kanskje aller viktigste, personell med spesialkompetanse innen inspeksjon av ledningsnett.

8.3 Konsept 3a

Innen dette konseptet er det et knyttet en del usikkerhet rundt de faktiske kapasitetene til selskapene som driver UAS flygning da de i hovedsak er i oppstartsfasen. Av de som har kapasiteter innenfor større UAV med lengere flytid og rekkevidde enn det som oppnås av HLK, er det ingen som har drevet inspeksjon av ledningsnett. På samme måte som forfatteren er tvilende til at konseptet 2 kan erstatte helikopterbefaring gjelder de samme momentene her. Når man ser på RCM planene med inspeksjoner som tilsynelatende skjer uavhengig ser det ut som det er mye å spare ved å utstyre en UAS av denne typen med termisk kamera og fly over de mastene som er prioritert. Når det i praksis gjennomføres termiske inspeksjoner som en del av årlige helikopterbefaringer og på den måten utfører flere inspeksjoner på en gang er potensialet for besparelser mindre. Det største potensialet til dette konseptet ligger i bruken som en kapasitet for å gjennomføre ekstraordinære befaringer mens det fortsatt er ufremkommelig av sikkerhetsårsaker på grunn av vær for helikopter. Men på grunn av den geografiske utstrekningen til ledningsnett og den begrensede operasjonsradien til UASene i denne kategorien må det et stort antall til for å kunne dekke hele nettet. Alternativt er at kapasiteten kan utplasseres i spesielt utsatte områder for vær hvor KILE kostnadene er høye, eller som en del av et samarbeid med andre etater eller bedrifter.

8.4 Konsept 3b:

Konseptet var i utgangspunktet tenkt som en kapasitet som kunne inspisere kraftgater for vegetasjon og angi behovet for hogst. Da Statnett nå går bort ifra skogsbefaring som metode, og heller driver hogst med faste intervaller avhengig av vegetasjonstype faller dette behovet bort. Alternativt kan kapasiteten brukes til å inspisere kraftgater for inngrep av utbyggere som er et økende problem, spesielt på sentrale Østlandet[12]. Igjen er behovet lite da dette i stor grad dekkes opp av andre inspeksjonsformer. Fastvinge-UAS er motsetningen til helikopter-UAS ved at det har god rekkevidde men mangler detaljgraden som man kan oppnå ved å hovere.

8.5 0-Konseptet

0-Konseptet er å ikke ta i bruk UAS som verktøy under vedlikeholdsinspeksjoner. Dette utelukker på ingen måte at Statnett kan ta i bruk UAS på et senere tidspunkt. Fordelen med å vente er nettopp at det er en voldsom utvikling på området og kapasiteten UAS gir ikke er et akutt behov. En annen faktor som

taler imot er usikkerheten til kvaliteten det vil gi. Tar man i bruk noe som i praksis ikke gir den gevinsten man håpet kan skepsisen mot bruk av UAS i avdelingene som utfører inspeksjonene forsterkes. Noe som kan ytterligere vanskeliggjøre innføring når teknologien er kommet lengere og gevinsten ved bruk er tilstede.

Ulempen ved å ikke ta i bruk UAS er at men er helt uten påvirkning av hvilken retning utviklingen for UAS og UAS-tjenester skal gå. I Norge har Statnett nå mulighet til å forme retningen på utviklingen til mange bedrifter som er i oppstartsfasen inn mot kraftdistribusjonsbransjen.

9 Konklusjon

Dagens inspeksjonsprosedyrer kan ikke erstattes ved bruk av droner slik teknologien er i dag.

Teknologien har et stort potensiale til å utføre deler av inspeksjonene men det kan ikke vises til en økning i sikkerhet, kvalitet og effektivitet sammenliknet med dagens prosedyrer.

Forfatterens anbefaling er å se på droner som et verktøy i eksisterende befaringer på linje med kamera og kikkert der en drone medbringes og nyttes ved behov. På den måten kan bruken av drone gi økt kvalitet i dagens befaringsene. Forfatteren anbefaler å benytte seg av små droner med enkelt brukergrensesnitt som faller under kategorien RO-1 og kan opereres uten krav til flysertifikat. Å ta i bruk droner på denne måten kan gi gode erfaringer hvis Statnett på et senere tidspunkt, når droneteknologien er mer moden, ønsker å utvide bruken.

10 Referanser

1. Jones, D. *Power line inspection - a UAV concept*. in *Autonomous Systems, 2005. The IEE Forum on (Ref. No. 2005/11271)*. 2005.
2. E. I. Grøtli, A.A.T., A. Gylland, P. Risholm, I Bergh, *Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi*. 2014, SINTEF.
3. Statnett, *Nettutviklingsplan 2015*.
4. Statnett, LEA, in *Langtidsplan for reinvestering av større vedlikeholds- og beredskapstiltak for Statnetts eksisterende stasjons-, lednings- og kabelanlegg for perioden 2014-2020*. 2013.
5. Bye, T. and E. Hope, *Deregulering av elektrisitetsmarkedet : norske erfaringer*. 2007.
6. Statnett, *RCM-analyse av stasjons-, lednings- og kabelanlegg*. 2008.
7. Management, I.o.A., *Publicly Available Specification 55*. 2008.
8. Statnett, *Konsekvens ved utfall*, Nettstyring, Editor. 2014.
9. *Lov om produksjon omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m.*, in *LOV 1990-06-29 nr.50*. 1990.
10. Statnett, *Tjenestespesifikasjon for vedlikehold av ledningsanlegg*, in *Helikopterbefaring*. 2008.
11. Statnett, *RCM prosedyre L0713 Holen Rød 420 kV*. 2015: ISF
12. Stang, R., *RCM prosedyrer* H.O.D. Kristiansen, Editor. 2015.
13. Statnett, *Tjenestespesifikasjon for vedlikehold av ledningsanlegg*, in *Bakkebefaring*. 2008.
14. Statnett, *BEDRE avviksregister*. 2015, Statnett: <http://erpwebparts.statnett.no/>.
15. Statnett, *Tjenestespesifikasjon for vedlikehold av ledningsanlegg*, in *Termovisjonskontroll av ledningsanlegg*. 2013.
16. Statnett, *Tjenestespesifikasjon for vedlikehold av ledningsanlegg*, in *Skogbefaring*. 2008.
17. Haugen, G., *Potensiale for bruk av UAS i ledningsområde Rød*, H.O.D. Kristiansen, Editor. 2015.
18. Statnett, *Tjenestespesifikasjon for vedlikehold av ledningsanlegg*. Ekstraordinærbehandling ledning, 2008.
19. Katrasnik, J., F. Pernus, and B. Likar, *A Survey of Mobile Robots for Distribution Power Line Inspection*. *Power Delivery, IEEE Transactions on*, 2010. **25**(1): p. 485-493.
20. Northrop Grumman Corporation. *RQ-4 Global Hawk - High-Altitude, Long-Endurance Unmanned Aerial Reconnaissance System*. [PDF] 2015 [cited 2015 23.04]; Available from: http://www.northropgrumman.com/Capabilities/RQ4Block10GlobalHawk/Documents/HALE_Factsheet.pdf.
21. Proxdynamics. *PD-100 BLACK HORNET PRS*. [Nettside] 2015; Available from: <http://www.proxdynamics.com/products/pd-100-black-hornet-prs>.
22. Binhai, W., et al. *Power line inspection with a flying robot*. in *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*. 2010.
23. Hrabar, S., T. Merz, and D. Frousheger. *Development of an autonomous helicopter for aerial powerline inspections*. in *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*. 2010.
24. Katrasnik, J., F. Pernus, and B. Likar. *New Robot for Power Line Inspection*. in *Robotics, Automation and Mechatronics, 2008 IEEE Conference on*. 2008.
25. Montambault, S. and N. Pouliot. *About the future of power line robotics*. in *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*. 2010.
26. Wang, B., et al. *Power line inspection with a flying robot*. in *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*. 2010. IEEE.
27. Luftfartstilsynet, *Bruk av ubemannede luftfartøy i Norge*, in *AIC-N 14/13.*, Luftfartstilsynet, Editor. 2013.
28. Luftfartstilsynet, *Høring - utkast til forskrift om luftfartøy uten fører om bord mv*. 2015.

29. Luftfartstilsynet, *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.* 2015.
30. 3D Robotics. *3DR Introduces Solo, the World's First Smart Drone.* [Website] 2015 13. April [cited 2015 11.05.2015]; Available from: <http://3drobotics.com/2015/04/3dr-introduces-solo-worlds-first-smart-drone/>.
31. DJI. *Phantom 3 Professional User Manual (EN) v1.0.* 2015; Available from: http://download.dji-innovations.com/downloads/phantom_3/en/Phantom_3_Professional_User_Manual_v1.0_en.pdf.
32. Sletten, L., *"Droner som verktøy i kraftbransjen" - Masteroppgave Statnett*, H.O.D. Kristiansen, Editor. 2015.
33. Homleid, O.V., *Robotaviation - Kapasiteter opp mot Statnett*, H.O.D. Kristiansen, Editor. 2015.
34. Roth, R.I., *Hålogaland kraft.* 2015.
35. Boman, J.W., *Info om Møre UAS*, O.A. Vandsemb, Editor. 2015.
36. Førriisdal, S., *CUBE presentasjon.* 2015.
37. Skagen, T.M., *eSmart Systems og Connected Drone*, H.O.D. Kristiansen, Editor. 2015.
38. Schiebel. *System - Schiebel.* [Nettside] 2015; Available from: <https://www.schiebel.net/Products/Unmanned-Air-Systems/CAMCOPTER-S-100/System.aspx>.
39. Hansen, D., *Potensiale for bruk av UAS i ledningsområde Bjerka*, H.O.D. Kristiansen, Editor. 2015.
40. Sletnes, J.A., *Potensiale for bruk av UAS i ledningsområde Sunndalsøra.* 2015.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

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