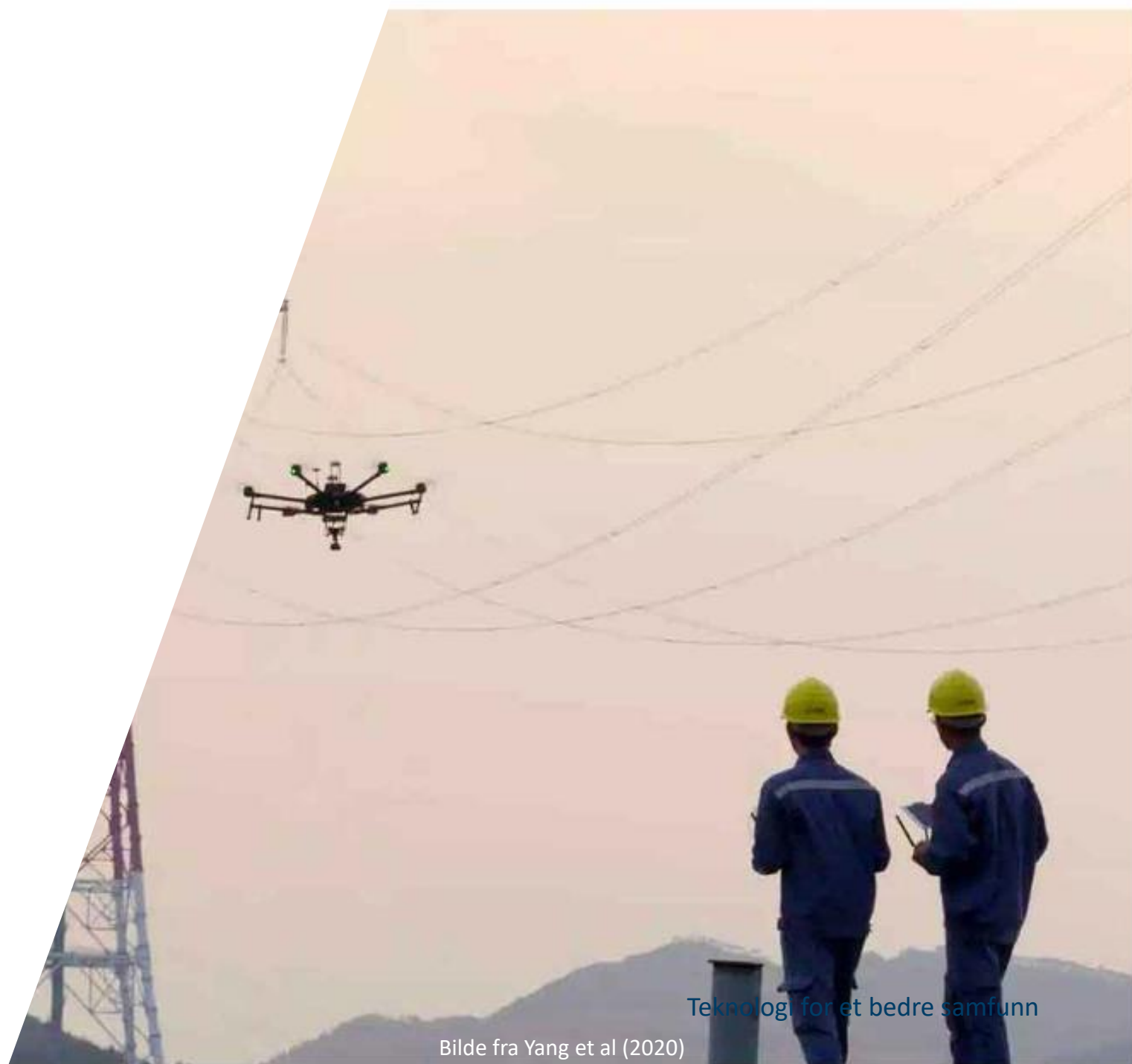




SINTEF

Resultat fra intervju om tilstandskartlegging og feilsøking med droner

CINELDI-webinar 19/12 2023
Arbeidspakke 1, Task 1.3



Teknologi for et bedre samfunn

Bilde fra Yang et al (2020)



SINTEF

Innledning



SINTEF

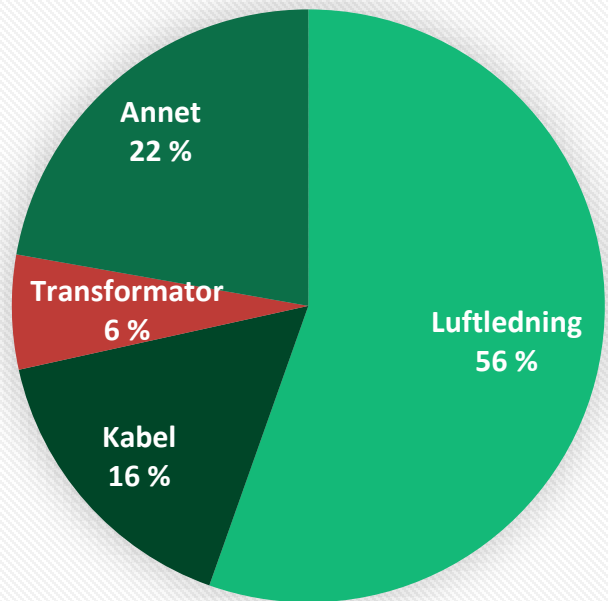
Egenskaper ved luftledning

- Geografisk spredt og potensielt vanskelig tilkomst
- Et stort antall komponenter som kan forårsake avbrudd
- Nettselskapet kan ikke bruke store ressurser på datainnsamling og analyse av de enkelte komponentene
- Vegetasjonskontroll er viktig



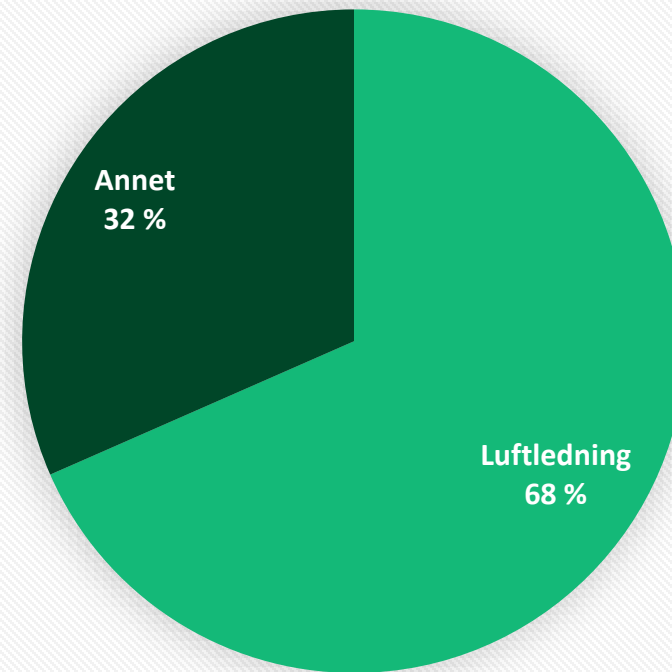
Luftledninger står for over halvparten av ikke leverte energi som følge av feil i Norge

ILE pga. feil (1-22 kV, 2009-2018)



■ Luftledning ■ Kabel ■ Transformator ■ Annet

ILE pga. feil (33-420 kV, 2009-2018)





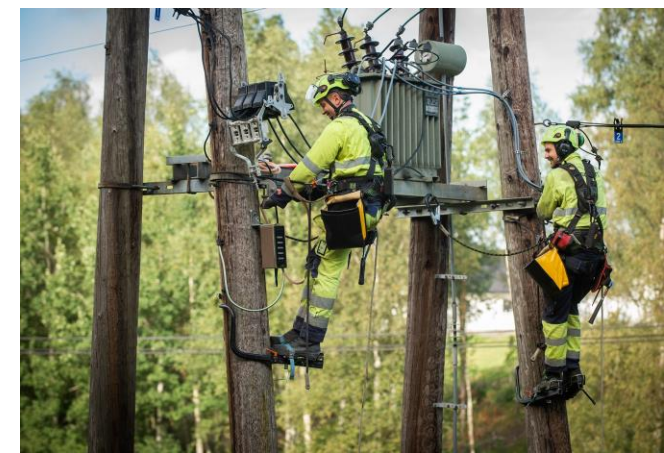
Typiske inspeksjonsrutiner for luftledning

Typisk inspeksjonsintervall:

- Hvert år: Overflygning med helikopter eller drone
- Hvert 5. år: Grundigere inspeksjon fra bakken
- Hvert 10. år: Inspeksjon av mastetopp

Typisk visuell inspeksjon på stedet eller fra bilder:

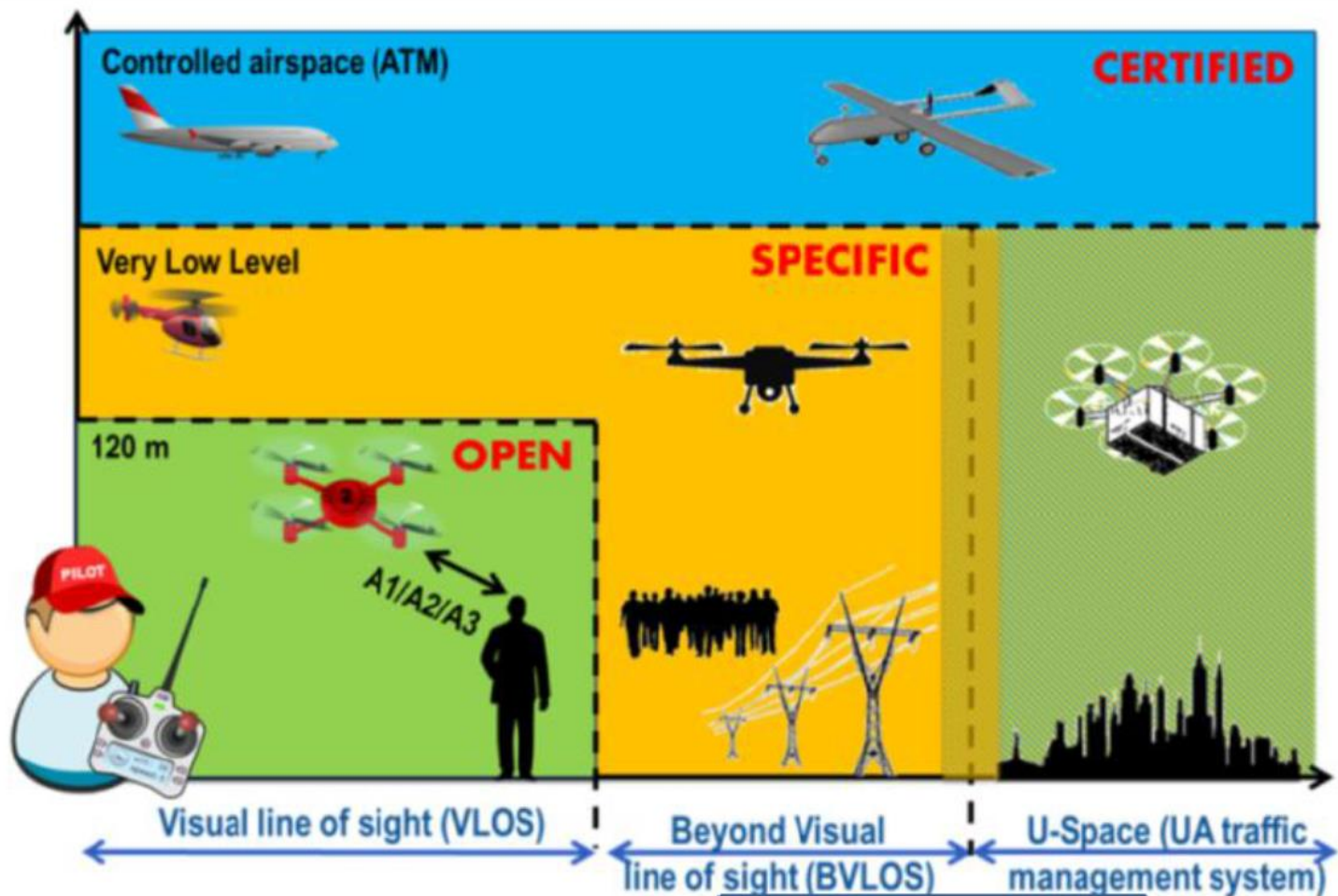
- Komponentene klassifiseres ofte som "ok" / "ikke ok" basert på inspektørens vurdering
- Noen nettselskaper brukte betingelsestilstander fra 1 (god som ny) til 5 (ikke ok).





SINTEF

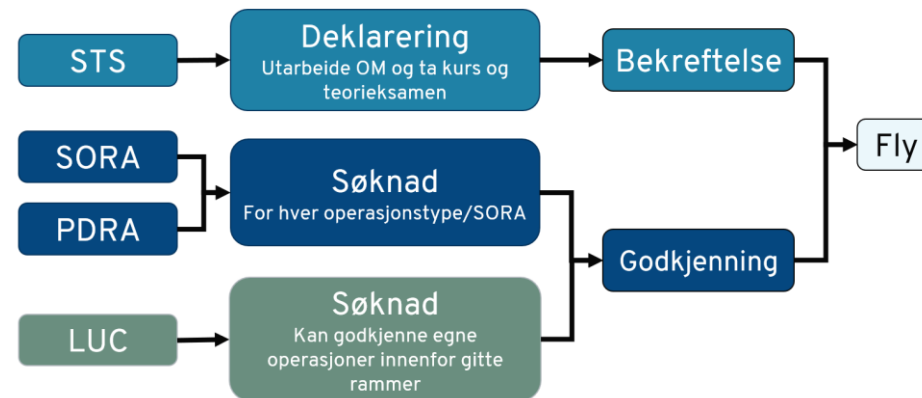
Risikobasert regelverk for droner medfører ulike type operasjoner



- Nytt EU regelverk for UAS fra 31 Dec 2020 basert på operasjoner innenfor 3 kategorier:
 - OPEN (lav risiko)
 - SPECIFIC (medium risiko)
 - CERTIFIED (høy risiko)
- U-Space representerer en ny type luftrom hvor det tilbys ubemannet luftromsstyring; Unmanned Traffic Management (UTM).
- *U-space regulatory package* ble publisert April 22, 2021.
- Full implementasjon av U-space innen 2030 etter planen.
- I Norge er Avinor utpekt av regjeringen som ansvarlig tjenesteyter av felles informasjonstjenester for U-Space.



Spesifikk Kategori



Kan blant annet dekke flyvninger over 120m og BVLOS. Flere muligheter for å få godkjent operasjonen:

1. Søke om tillatelse basert på SORA/PDRA ved å sende inn følgende:

- Skjema [NF-1145](#) (utfylt)
- En risikoanalyse basert på Specific Operation Risk Assessment (SORA) eller Predefined Risk Assessment (PDRA). Ingen CE-klasse merking for dronen er nødvendig. En SORA kreves per type operasjon. Bruk av annen drone eller annet luftrom krever ny SORA.
- Operasjonsmanual, liste over droneplattformer og forsikringsbevis

2. Deklarere Standardscenario (STS) for enklere søknadsprosess (fra Januar 2024)

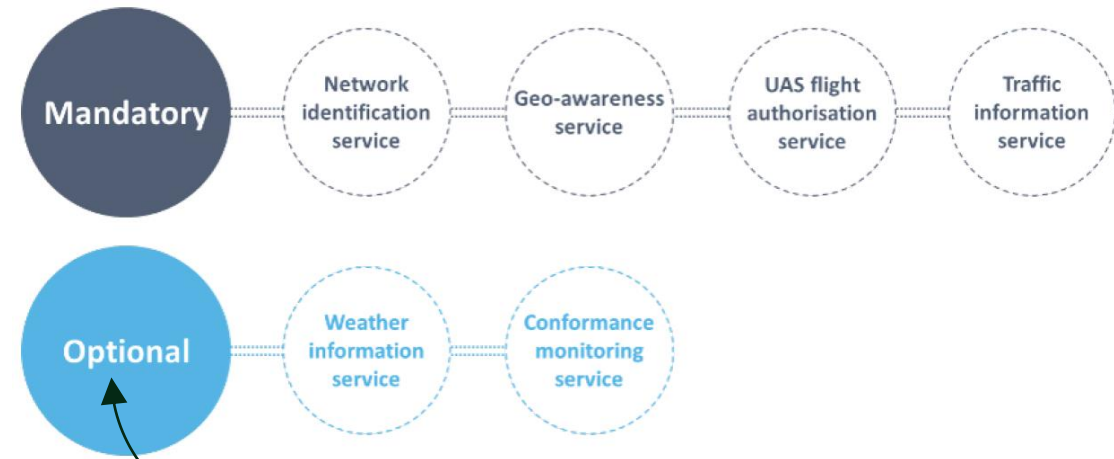
- Ett sett med vanlige type droneoperasjoner som faller utenfor åpen kategori (beskrevet i Annex to EU 2019/947)
- Standardscenarioer inkluderer en beskrivelse av operasjon og Risikoanalyse. Dronen må være merket med CE-klasse C5 eller C6.
- Når man deklarerer et standardscenario må man vente på en kvittering at deklareringen er mottatt og fullstendig

3. Godkjenne egne operasjoner med Light UAS Operator Certificate (LUC)

- Store, erfarne operatører kan bli autorisert (av Luftfartstilsynet) til å godkjenne egne operasjoner (SORA, PDRA and STS)
- Skjema NF-1144 (utfylt), LUC manual, including a Safety Management System
- Operations Manual, SORA(s), List of RPAS platforms and Proof of Insurance

U-Space

- U-Space representerer en løsning (basert på et sett regler og prosedyrer) for å etablere dedikerte luftrom for droner.
- I U-space luftrom skal det være et minimum sett med påbudte tjenester tilgjengelig for å sikre trygg og effektiv tilgang til luftrommet for et stort antall droner og avhenger av stor grad av digitalisering og autonomi.
 1. Network Identification Service: provides the identity of UAS operators and the location and trajectory of drones during operations.
 2. Geo-Awareness Service: provides information on operational conditions, airspace limitations or existing time restrictions.
 3. Flight Clearance Service: ensures free-of-conflict operations with other UAS operating in the same volume of airspace.
 4. Traffic Information Service: alerts operators of air traffic that may be found near the aircraft.
- U-Space muliggjør å:
 - 1) Kunne reservere luftrom til dronebruk for å åpne opp for mer komplekse operasjoner over lengre distanser og som gjerne involverer økt grad av autonomi.
 - 2) Trygt kunne integrere droner med bemannet luftfart.



MERK: Kan bli påkrevd i noen typer U-Space luftrom

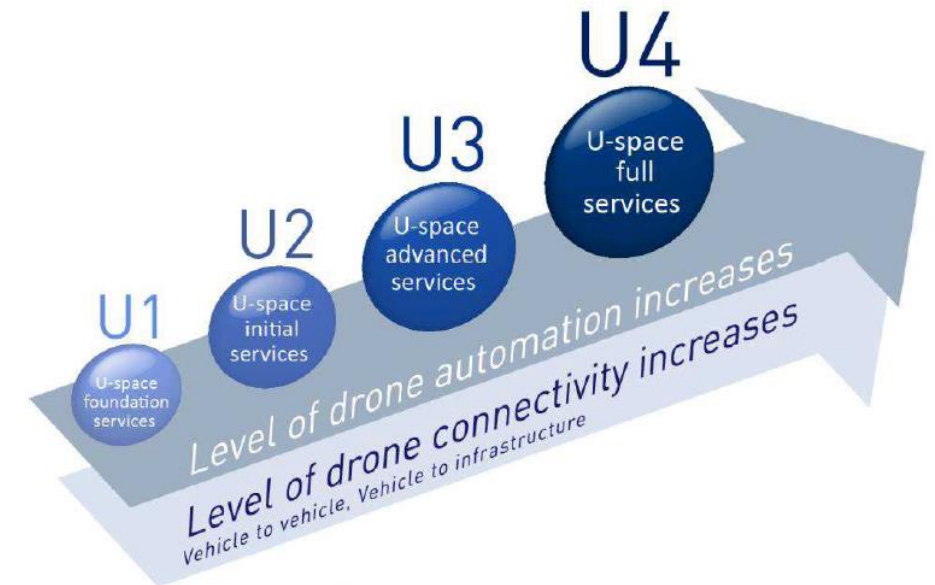
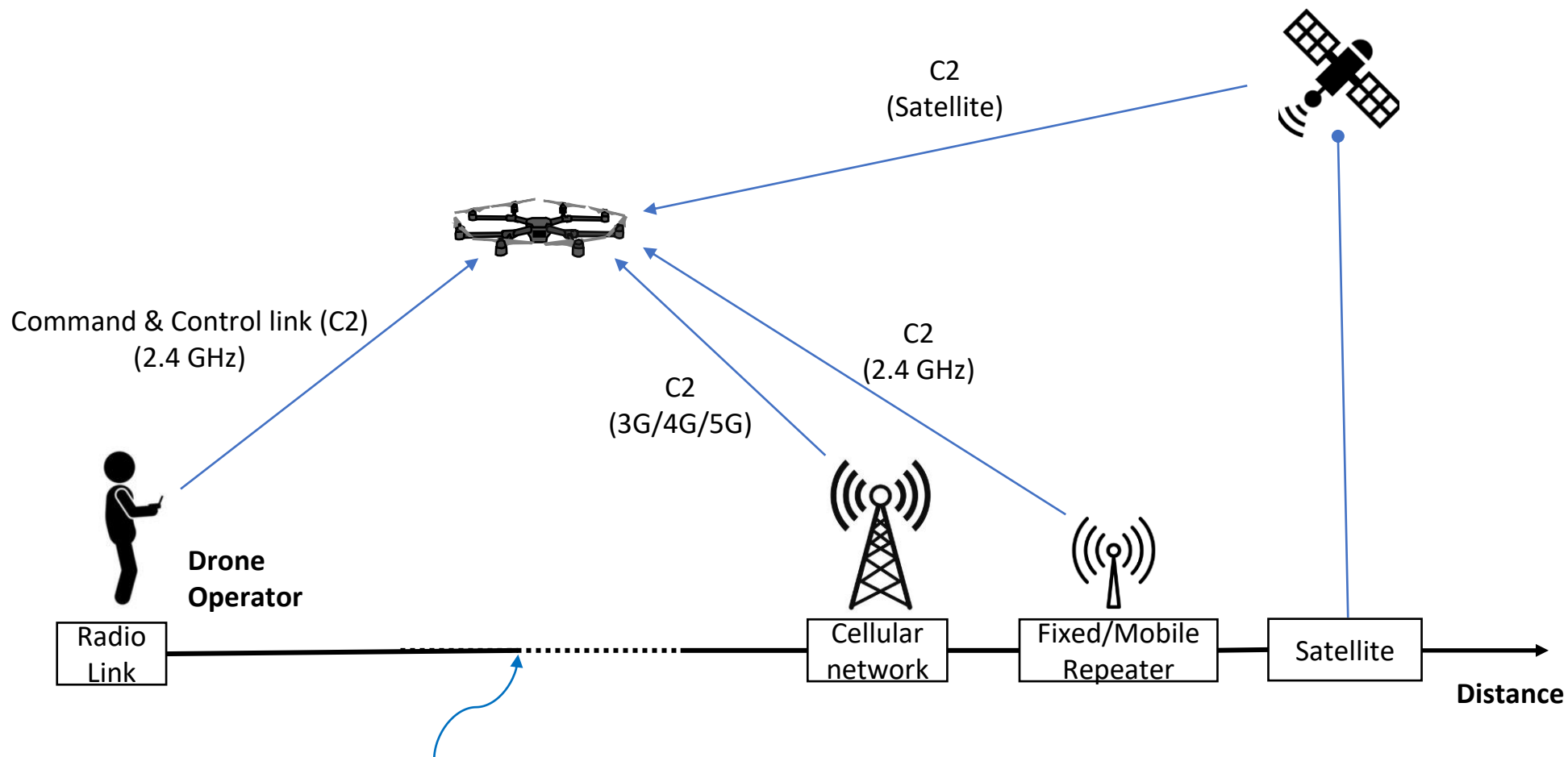


Figure 1 U-space levels, from the U-space Blueprint

Kommunikasjonslink



Rekkevidde kan være opp til flere km, avhengig av signalstyrke, mottager og hindringer som blokkerer (deler av) signalet.



SINTEF

Oversikt over dronetyper og ytelse

Multirotor



- + Veldig manøvrerbare, kan "hovere"
- + Ingen bakkeinfrastruktur kreves for å ta av og lande
- Kort operasjonstid på batteri (< 30 min) som reduseres ytterligere med større/tyngre payload

VTOL



Fixed-Wing

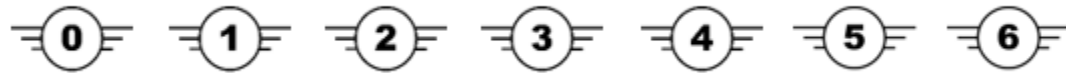


Photo Credit: Maritime Robotics

- + Effektiv plattform for lange distanser
- + Mulig med større/tyngre payload
- Krever infrastruktur for å ta av og lande
- Må opprettholde hastighet høyere enn "Stall speed"

CE-merkede droner

- Standardscenarier (STS) kan benyttes fra 2024 gitt bruk av påkrevd CE-merket drone
- Drone class identification levels:



| | C0 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| A maximum weight below 250 g | X | | | | | | |
| A maximum weight below 900 g | | X | | | | | |
| A maximum weight below 4 kg | | | X | | | | |
| A maximum weight below 25 kg | | | | X | X | X | X |
| A low speed mode (< 3 m/s), excepted for fixed-wing | | | X | | | | |
| A low speed mode (< 5 m/s), unless tethered | | | | | | X | |
| An indication of the noise emission | | X | X | X | | X | X |
| A direct remote identification function | | X | X | X | | X | X |
| A geo-awareness function | | X | X | X | | | |
| A low-battery warning | | X | X | X | | X | X |
| A flight termination system, unless tethered | | | | | | X | X |
| A geo-caging function | | | | | | | X |
| Information of drone position, speed and altitude | | | | | | X | X |

| Class | Designed By | Type Category | Model | Commercial Name | Low Speed Mode | Noise Level (db) |
|-------|-----------------|---------------|---|---|----------------|------------------|
| C0 | DJI | Multi-rotor | MT25D, MT25DCE | DJI Mini 2 SE | N/A | N/A |
| C0 | DJI | Multi-rotor | MT3DCE, MT3PD | DJI Mini 3 | N/A | N/A |
| C0 | DJI | Multi-rotor | MT3M3VDB | DJI Mini 3 Pro | N/A | N/A |
| C1 | DJI | Multi-rotor | L2AA, L2PA, L2C | DJI MAVIC 3 V2.0, Cine, Classic | N/A | 83 |
| C2 | AgEagle | Fixed-wing | SENSEFLY EBEE X, GEO, AG, TAC PUBLIC SAFETY | SENSEFLY eBee | No | N/A |
| C2 | DJI | Multi-rotor | M30 RTK EU, M30T RTK EU | M30 EY, M30T EU | Yes | 90 |
| C2 | DJI | Multi-rotor | M3E-EU, M3T-EU, M3M-EU | DJI MAVIC 3E EU, 3T EU, 3M EU | Yes | 82 |
| C3 | Quantum-Systems | Fixed-wing | R10 | Trinity F90+ | N/A | N/A |
| C3 | DJI | Multi-rotor | M350 RTK | Matrice 350 RTK | N/A | 97 |
| C6 | Delair | Fixed-wing | UX11-AG-C6, IR-C6, RGB-C6, AG-LE, IR-LE, RGB-LE | Delair UX 11 Camera AG, IR, RGB; Longue Elongation Camera AG, IR, RGB | N/A | N/A |



SINTEF

Resultat fra intervju



SINTEF

Nåsituasjon for bruk av droner i nettselskapene

- Totalt 6 nettselskap intervjuet.
- De fleste intervjuede nettselskap har betydelig antall utdannede piloter (>20), og alle har planer om å øke bruken av droner.
- Flere selskaper opplever stor interesse blant egne montører for bruken av drone som et nyttig verktøy for et bredt spekter av oppgaver.
 - «Hanskeromsdroner» er begrep som beskriver dette.
- Eksempel på bruksområder utover feilsøk er:
 - Lokalisering av avvik i mastetopp.
 - Kartlegging av tilkomstvei.
 - Inspeksjon av tak på bygg.
 - Kartlegging før, under og etter prosjekt (f.eks. dokumentering av kjøreskader i terreng).
- Flere av nettselskapene har fått, eller jobber med å få, godkjenning som operatør i spesifikk kategori.



Sensortyper som benyttes i dag

| Sensortype | Kommentar |
|-------------------------------------|--|
| Bilde / RGB kamera | Alle benytter dette. Da droner kan fly nærmere komponenter i mastetopp kan man få bedre bilder enn med helikopter. |
| Termisk kamera | Blandet erfaring med termisk. Enkelte melder at termografering er veldig nyttig for avdekking avvik mens andre som har benyttet termografering i det planlagte tilstandskartleggings-programmet meldte at veldig få avvik ble avdekket. |
| LiDAR | De fleste leier inn LiDAR skanning fra tjenesteleverandører (stort sett helikopter). Dette blant annet på grunn av programvaren og kompetanse som trenges for håndtering av innsamlet data. Benyttes til innmåling av mastepunkt, barduner og faseline, kartlegging av vegetasjon, og oppfølging/dokumentasjon ifm. byggeprosjekt. Gode LiDAR-skanninger blir av flere trukket frem som en viktig forutsetning for automatisert flyging. |
| UV-kamera for detektering av korona | Ingen som benytter dette som del av planlagte inspeksjonsprogram i dag. Flere ytrer ønske om å skaffe seg sensor for deteksjon av korona fra drone, men to nettselskap har liten tro på nytten av dette basert på tidligere erfaring fra måling av korona med UV-kamera fra helikopter. |
| Multispektralt kamera | Få har tatt dette i bruk men enkelte nettselskap har gode erfaringer. Ble da utført fra helikopter blant annet for å identifisere syke trær og tresort langs linjetrase. |



SINTEF

Leverandører

- Nettselskapene benytter hovedsakelig hylleware droner fra DJI (f.eks. Mavic 2, 3, eller Air)
- De fleste benytter innleide tjenesteleverandører for gjennomføring av planlagt inspeksjon og befaring
 - Noen bruker kun droner mens andre bruker en blanding av drone og helikopter.
 - Spesialiserte leverandører kan gjøre inspeksjoner mer effektiv pga. andre droner, godkjenninger og erfaring.
 - Noen bruker egne montører til deler av befaringen for at disse skal få mengdetrening som dronepiloter.
- Enkelte gjør gjennomgangen av innsamlede data internt, mens andre har satt ut også dette.
- Flere selskap har vært i kontakt med leverandører som tilbyr automatisert analyse av innsamlet data
 - Flere som lover mye men har lite konkret å vise til
 - Stort sett tester og pilotprosjekt som har blitt gjennomført så langt



DJI Mavic 3 Enterprise (<https://djoslo.no/>)



SINTEF

Automatisering av data-innsamling og -analyse

- Enkelte selskap har leverandører som i dag benytter automatisert flyging for inspeksjon/befaring av luftledning.
 - Dette er blant annet automatisk billedtaking fra bestemte vinkler av hvert mastepunkt.
 - Det er fortsatt utfordrende å få dronene til å ta bilde av komponenter fra samme vinkel og avstand hver gang
- Automatisering av data-analyse
 - Enkelte av selskapene har testet løsninger for automatisk detektering av avvik på bilder tatt med drone.
 - Tilstandsvurdering gjøres imidlertid hovedsakelig av mennesker, enten underveis i overflygning eller ved gjennomgang av bilder i etterkant.
 - Automatisert analyse av linjetrase (vegetasjon og avstand til bygg) ser ut til å ha kommet lengre.
 - Flertallet av selskapene lagrer bilder med tanke om å benytte disse som treningsgrunnlag for bildegjenkjenningsmodeller en gang i fremtiden.



SINTEF

Fordeler og ulemper med bruk av drone

- Fordeler
 - Raskere lokalisering av feil ved avbrudd blir av flere trukket frem som den viktigste motivasjonen for innføring av drone. Men enkelte nettselskap erfarer at helikopter ofte er raskere enn drone.
 - Forbedret HMS gjennom reduksjon av ferdsel i ulent terreng og klatring i mast blir av flere trukket frem som en stor fordel med droner.
 - Muligheten til å fly nærme komponentene i mastetoppen gjør at feil og avvik kan oppdages tidligere ved toppbefaring (sammenlignet med inspeksjon fra bakkenivå og helikopter). Flere trekker frem at dronene muliggjør bilder av komponenter av høyere kvalitet og fra "bedre" vinkler enn de har hatt tilgang på før.
 - Droneinspeksjon gir redusert støynivå sammenlignet med helikopter.
 - Droner kan benyttes når det er mørkt (flere har tatt i bruk dronen med lyskaster) og vanskeligere værforhold (vind, snø og redusert sikt) hvor helikopter må stå.
- Ulemper
 - Begrensninger i flygetid, vekt på sensor, og avstand fra pilot.
 - Det tar lenger tid å gjennomføre befaringer over lange avstander sammenlignet med helikopter (tid til forflytting av pilot).
 - Det vil ta mye lenger tid å fullføre inspeksjonsprogrammet med drone enn med helikopter med mindre man benytter flere droner samtidig.
 - Høyere kostnad (pga tidsbruk).
 - Inspeksjon med drone vil i de aller fleste tilfeller medføre tidkrevende analyse av bildemateriale i ettertid. Noen selskap "slipper" dette dersom de benytter en erfaren montør ombord i helikopteret som bare rapporterer avvik.



SINTEF

Trusler og muligheter med bruk av drone

- Trusler
 - Relevant regelverk kan bli endret og medføre at enkelte løsninger eller plattformer ikke lenger er mulig å benytte.
 - For få leverandører av kvalifiserte dronetjenester på markedet.
 - Lite bekymring rundt kontroll på data relatert til kritisk infrastruktur (e.g., til Kina via DJI drone-plattform).
- Muligheter
 - Autonom eller automatisk flyvning som reduserer kostnaden ved datainnsamling og muliggjør "lik" datainnsamling fra et år til et annet og dermed bedre forutsetninger for bruk av automatiserte løsninger for deteksjon av avvik (f.eks. sig på stolpe, utvikling på råteskade).
 - Innføring av U-Space kan muliggjøre Drone-in-a-box operasjoner.
 - Økt rekkevidde på droner (via nye batteri/energi løsninger) kan bidra til mer effektive droneoperasjoner pga. færre forflytninger.
 - Utvikle komponenter med tanke på drone-inspeksjon. F.eks. isolator som får en liten varmgang ved degradering og dermed kan detekteres med termisk kamera.



SINTEF

Utvikling fremover

- Et ønskescenario trukket frem av flere er autonome droner for datainnsamling som så analyseres med automatiske løsninger, f.eks. bildegjenkjennings-programvare.
 - Potensiale for en betydelig kostnadsreduksjon hvis en slik løsning kan oppfylle krav om linjebefaring i Forskrift om elektriske forsyningsanlegg (FÉF) §6-8.
- Deteksjon av risikotrær
- Regulatoriske endringer rundt avstand til pilot og autonom flyging (U-SPACE)
- Hyllevare «Drone-in-a-box»
 - Samarbeid om distribuerte autonome droner med andre etater (vei, jernbane, brann og redning)?
- Kombinasjoner av ulike datakilder for automatisert prioritering av inspeksjon/tiltak
 - Bruk av kartdata, NIS, værdata, og satellittbilder for grovsortering og prioritering for ytterlige inspeksjon.
 - F.eks. bruk av satellittbilde for å avdekke økt risiko for trepåfall etter hogst i nærheten av linjetrase
- Sammenstilling av innsamlede data fra flere år for automatisert detektering av avvik
 - Vegetasjonskontroll samt fange opp sig på stolpe eller slakke i bardun.
- Droner som kan løfte og holde objekt
 - F.eks. DJI drone med 30 kg løftekapasitet¹ eller drone som kan kviste trær og løfte ut stammen².

1: <https://uavcoach.com/dji-flycart-30/>

2: <https://www.airforestry.com/en/>



SINTEF

Diskusjon



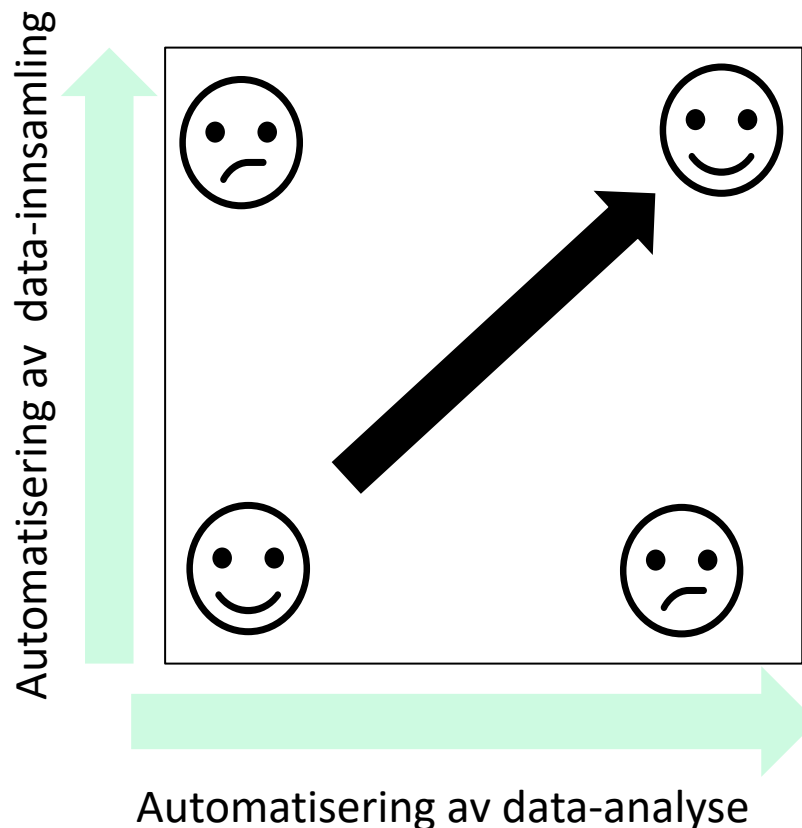
SINTEF

Sammenheng mellom automatisering av datainnsamling og dataanalyse

Automatisering av datainnsamling:

Billigere data -> mer data kan samles inn, men datastrømmen blir for stor til å kunne gjennomgå manuelt.

Automatisert datainnsamling vil gjøre data bedre egnet for automatisert analyse da dette muliggjør at f.eks. bilder av en bestemt komponent tas fra samme vinkel og avstand hver inspeksjon, og at hyppigere inspeksjoner muliggjør måling av degradertrend.



Automatisering av dataanalyse:

For å kunne benytte automatiserte løsninger for dataanalyse er nettselskapene avhengige av god tilgang på data for trening av modeller, samt at data-settene er konsistente.

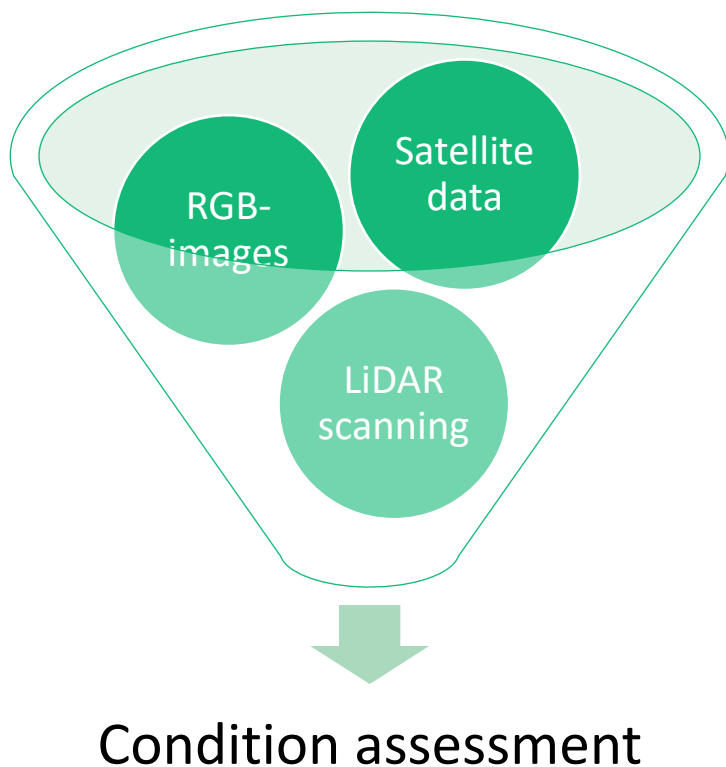
Dette er kostbart og utfordrende å få til med manuell datainnsamling.

På grunn av sammenhengene mellom automatisering av data-innsamling og -analyse bør nettselskapene automatisere begge deler.



SINTEF

Automatisering muliggjør å kombinere data fra ulike sensorer og kilder



- På grunn av det store antallet komponenter spredt over et stort område i strømnettet er det utfordrende for enkeltpersoner å skaffe oversikt over totalbildet basert på en enkelt måleserie fra en datakilde.
- Automatisering av datanalyse muliggjør automatiserte prosesser for å kombinere ulike data-kilder.
 - Dette kan for eksempel være bruk av satellitt- og vær-data for å identifisere hvilke linjesegment som bør prioriteres for nærmere inspeksjon.
 - Eller kombinasjon av RGB, termisk og korona målinger for å identifisere f.eks. en degradert isolator.

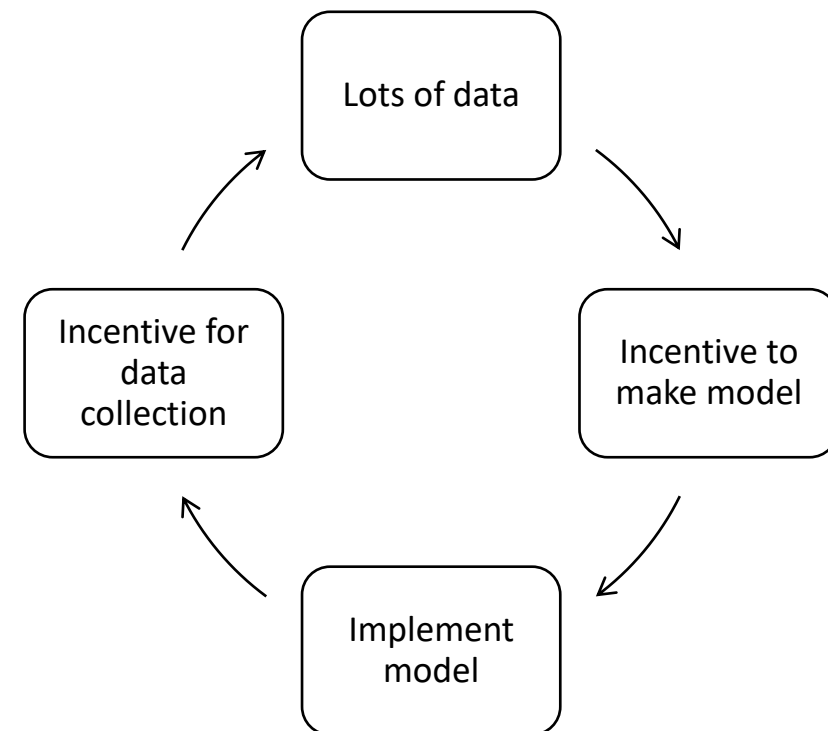


SINTEF

En god sirkel av datainnsamling og modellutvikling

- I dag blir vedlikeholds-beslutninger stort sett tatt basert på skjønn av flere ulike personer. Dette har noen utfordringer:
 - Mentale modeller er personavhengig. Personer slutter og nye kommer inn.
 - Bare personens tilstandsvurdering og vurdering om behov for tiltak er registrert. (rå-data er ikke lagret for ettertiden, i.e., det personen har sett, hørt og følt).
 - Med større strøm av data blir det utforende for enkeltpersoner å ha oversikten og se sammenhenger
- Tilgang til mer data legger til rette for økt bruk av kvantitative vedlikeholdsmodeller (e.g., nå tilstand og prediksjoner fremover i tid)
 - Eksplisitt definering av hva som legges til grunn for de vedlikeholdstiltak som utføres gir bedre mulighet for å verifisere modellene som benyttes.
 - Innsamlet data om tilstand er tilgjengelig i etterkant. Ved uønskede hendelser kan man gå tilbake og se om avvik kunne blitt oppdaget tidligere.
 - Legger bedre til rette for en kontinuerlig forbedring av datainnsamling og analyse

Virtuous circle





SINTEF

Potensielle områder for utvikling og samarbeid

1. Standardisering av data-innsamling og/eller deling av data for å oppnå store nok treningssett av god kvalitet som kan gjøres tilgjengelig for "alle".
2. Standardisering av inspeksjonsprosedyrer med mål om å sikre god kommunikasjon samt høy kvalitet på leveranser fra leverandører (e.g., drone tjenesteleverandører).
3. Felles satsing på uttesting av høyere grad av autonomi knyttet til droneoperasjoner.
 - Drone-in-a-box nettverk?
 - Hvordan kan man oppnå operasjonell godkjenning av disse operasjonene?
4. Forbedret ytelse ved å teste og ta i bruk nye typer teknologi spesifikt for denne anvendelsen?
 - Hydrogendrone eller VTOL/Fixed-Wing drone?
5. Optimerede løsninger for å planlegge logistikk knyttet til data-innsamlingskampanjer e.g., lage en optimalisert, fleksibel (enkel oppdaterbar) befaringsplan gitt:
 - Et definert vindu for datainnsamling
 - Definerte ressurser med tilhørende operasjonsvindu
 - Kartdata med terreng, infrastruktur og adkomstveier





SINTEF

Teknologi for et bedre samfunn