

Bruinspeksjon med drone

Muligheter og begrensninger.
Erfaringer fra Region øst (2015-2018)

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 224



Tittel

Muligheter og begrensninger ved bruk av droner til bruinspeksjon

Undertittel

Erfaringer fra Region øst (2015-2018)

Forfatter

Karl Henning Barmen, Dr. Ing. A . Aas-Jakobsen AS

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel, geologi og betong

Prosjektnummer

604875

Rapportnummer

Nr. 224

Prosjektleder

Hedda Vikan

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Drone, bruinspeksjon

Sammendrag

Rapporten tar for seg erfaringen fra bruk av drone i inspekjonsskontrakten mellom Statens vegvesen Region øst og Dr. Ing. A . Aas-Jakobsen AS fra 2015 til 2018. Rapporten beskriver noen av de forutsetningene droner har sammenlignet med andre inspekjonsmetoder. Rapporten foreslår også krav som kan stilles til fremtidig bruk av droner ved bruinspeksjoner.

Title

Use of drones for bridge inspection. Possibilities and limitations.

Subtitle

Knowledge gained by Region øst (2015-2018)

Author

Karl Henning Barmen, Dr. Ing. A . Aas-Jakobsen AS

Department

Roads Department

Section

Tunnels, Geology and Concrete

Project number

604875

Report number

No. 224

Project manager

Hedda Vikan

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Drone, bridge inspection

Summary

This report summarizes the experiences The Norwegian Public Roads Administration and Dr. Ing. A. Aas-Jakobsen AS has gained using drones to inspect bridges in 2015 to 2018. Premises using drones compared to other inspection methods are described. An assessment of requirements that can be made for use of bridge inspections is also presented.

Forord

Av Hedda Vikan

Programleder for Bedre bruvedlikehold (2017–2021)

Denne rapporten er utarbeidet av FoU-programmet Bedre bruvedlikehold (2017–2021). Bedre bruvedlikehold skal gjennom ny kunnskap bidra til at Statens vegvesen kan optimalisere ressursbruken knyttet til inspeksjon, vedlikehold og forvaltning av bruer.

FoU-programmet består av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Forvaltningsverktøy for bruer
- Prosjekt 2: Armeringskorrosjon i betong
- Prosjekt 3: Alkalireaksjoner i betong
- Prosjekt 4: Vedlikehold av stålbruer

Bruer har tradisjonelt blitt inspisert visuelt fra bakkenivå, ved bruk av stige, ulike typer brulifter, stillas, båt eller ved hjelp av taubasert utstyr. I de senere år har interessen for bruk av drone til bruinspeksjon økt. Region Øst har per skrivende stund mest erfaring med bruk av drone til bruinspeksjon i Norge. Denne rapporten sammenstiller Region Østs erfaringer og beskriver forutsetninger for å oppnå gode resultater.

Teknologien som denne rapporten beskriver er under utvikling. Nye dronetyper kommer til og batteritiden øker. I fremtiden vil det kanskje være vanlig med flere typer tilkoblet utstyr i tillegg til foto og video.

Metodikken for å behandle inspeksjonsdata er også under utvikling og byr på nye muligheter. Et eksempel på dette er at dataene kan geotagges med GPS-posisjoner og danne grunnlag for eller knyttes til 3D-modeller. Presis posisjonering av skader vil gjøre det enklere å følge skadeutviklingen over tid. Store datamengder gjør imidlertid at manuell analyse er ressurskrevende. Derfor pågår det nå arbeid både nasjonalt og internasjonalt med å utvikle programvare som skal gjenkjenne skader på konstruksjonen.



Statens vegvesen

Erfaringsrapport

**Bruk av droner til bruinspeksjon i Region Øst.
Muligheter og begrensninger.**



0	26.6.2019	Oversendelse	KHB KHB	TAØ TAØ	TAØ TAØ
Rev	Dato/Date	Beskrivelse/Reason for issue	Utført/ Made by	Kontroll./ Checked	Godkjent/ Approved
11680-2-1 Dok.nr /Doc. no.	Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019. Tittel /Title				



AAS-JAKOBSEN

Lilleakerveien 4A, 0283 OSLO, Tel +47 22 51 30 00, www.aaj.no

Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by Side/Page i

INNHOLDSFORTEGNELSE

INNHOLDSFORTEGNELSE	I
SAMMENDRAG	II
1 INNLEDNING.....	1
2 INSPEKSJONSTYPE OG PREMISSER FOR Å VELGE BRUINSPEKSJON MED DRONE	3
2.1 TRADISJONELL NATTINSPEKSJON UTFØRT PÅ DAGTID	4
2.2 OVERSIKTSBILDER	5
2.3 BRUER BEST EGNET FOR DRONEINSPEKSJON	6
3 UTSTYR	11
3.1 DRONEN	11
3.2 BATTERIKAPASITET	12
3.3 SENSORER/ TEKNISKE PROBLEMER.....	12
3.3.1 <i>Krav i konkurransegrunnlaget til dronen.</i>	13
3.4 KAMERA/ OPTISK UTSTYR	14
3.4.1 <i>Krav i konkurransegrunnlaget på optisk utstyr</i>	15
3.4.2 <i>Krav til tilfredsstillende bildekvalitet.....</i>	16
3.4.3 <i>Andre typer kamera</i>	17
3.5 ANNEN UTSTYR.	17
4 UTFORDRINGER FOR DRONEOPERATØR- YTRE BEGRENSEnde FAKTORER.....	18
4.1 REGNVÆR	18
4.2 LYSFORHOLD	19
4.3 VIND/ TURBULENS.....	22
4.4 VEGETASJON.....	22
4.5 BRUDESIGNET	23
5 FORDELER OG ULEMPER	25
6 REGISTRERING, ETTERBEHANDLING OG TOLKING AV INSPEKSJONSDATA.....	28
7 HVA KAN MAN REGISTRERE AV TILSTAND DVS. SKADETYPER, SKADEGRAD OG SKADEKONSEKvens.....	31
8 REGELVERK FOR BRUK AV DRONE TIL INSPEKSJON AV TRAFIKKERTE BRUER.....	37
9 SIKKERHET VED BRUK AV DRONE TIL INSPEKSJON AV BRUER MED TRAFIKK: RISIKOVURDERING OG ARBEIDSVARSLING	40
10 ANBEFALT ARBEIDSFLYT FOR DRONEINSPEKSJONER	44
11 REFERANSER.....	46



AAS-JAKOBSEN

Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway
Tel. +47 22 51 30 00

Pr.nr./Pr.no

11680-2

Dok.nr./Doc.no

11680-2-1

Rev.

0

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

Side/Page

ii

SAMMENDRAG

Rapporten tar for seg erfaringen fra bruk av drone i inspeksjonskontrakten mellom Statens vegvesen Region øst og Dr. Ing. A. Aas-Jakobsen AS fra 2015 til juni 2019.

Dronen har den fordelen at den kan forflytte seg raskt og få suverene oversiktsbilder på kort tid, noe andre hjelpemidler ikke kan få utført.

Den største forskjellen ved bruk av drone sammenlignet med bruk av det andre tilkomstutstyret vi benytter ved bruinspeksjon er at vi ikke er der fysisk selv. Det er kameraet på dronen som er våre øyne. Det betyr at vi ikke fysisk kan ta på elementene. Dette krever at kameraets video eller bilde er av slik god kvalitet at vi visuelt kan bedømme tilstanden på bruva allikevel.

Det er ikke mulig (enda) å benytte kniv eller hammer for å kontrollere overflater, som man ellers kunne ha benyttet ved klatring eller bruliftsinspeksjon.

Å ta i bruk en ny teknologi innebærer ikke bare å ta i bruk et nytt verktøy, men også en ny metode. Dette betyr at det ikke alltid er mulig (og kanskje ikke heller hensiktsmessig) å presse en ny metode inn i et tidligere eksisterende mønster eller en arbeidsflyt. Bruk av drone krever at tradisjonelle inspeksjonsmetoder også tilføres nye innfallsvinkler og arbeidsprosesser.

I dag utfører vi droneinspeksjonene ved å kartlegge bruva med mange bilder, som vi senere ser igjennom. Vi inspirerer bruva samtidig fra bakkenivå og ser på dronebildene etter at dronepiloten har fulgt et kjent flymønster. Dette er noe vi har vurdert som optimalt for oss, men fremtiden vil vise om metoden vil endre seg. I motsetning til tidligere, blir det flere bilder å gå gjennom. Tiden som brukes på rapportering er noe lengre enn tidligere, men når bruene blir kartlagt med drone, vil det også bli lagret mye nyttig informasjon som vil være tilgjengelig for oppdragsgiver til senere bruk.

Selve dronen, inkludert utstyr vi har benyttet, er såpass liten at vi ikke er synlige eller til sjenanse for bilistene. Det betyr at behov for arbeidsvarsling ved inspeksjonene i stor grad kan bortfalle og inspeksjonene kan utføres mer effektivt.

Ulike hindringer som vær og vegetasjon må i større grad vurderes sammenlignet med tradisjonell inspeksjon ved bruk av underbrulift og tau.

Teknologien, kameraene og dronens fremtid er vanskelig å spå, men rapporten er ment å belyse noen av de forutsetningene droner har sammenlignet med andre inspeksjonsmetoder. Det er også vurdert hvilke krav det må settes til fremtidig bruk av droner ved fremtidige bruinspeksjoner.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 1	

1 INNLEDNING

Statens vegvesen Region Øst utlyste konkurranse på hovedinspeksjon for riks- og fylkesvegsbruer i Østfold, Akershus og Oslo våren 2015. Kontrakten hadde varighet på 1 år med opsjon på 4 år og omfattet inspeksjon av totalt 1700 stk. bruer. 70 stk. av disse bruene var det planlagt å inspisere ved bruk av drone.

Høsten 2015 ble inspeksjonskontrakten tildelt Dr. Ing. A. Aas-Jakobsen.

Aas-Jakobsen valgte å benytte firmaet Orbiton AS som underleverandør på dronetjenester.

En god inspeksjonsrapport inneholder foto som viser omfanget av det som er registrert. Formålet må da være å formidle tilstanden til objektet som er inspisert til andre på best mulig vis gjennom å ta de riktige fotoene.

Å utføre en hovedinspeksjon av ei bru for Statens vegvesen betyr det samme som å kartlegge tilstanden til hele bruhaugen. Rapportering av inspeksjonen i forvaltningsprogrammet til Statens vegvesen, Brutus, er allikevel ikke helt det samme som å rapportere tilstanden generelt.

I Brutus er det kun skadene eller sårbarheten av betydning på bruhaugen som skal rapporteres. Tilstanden på det som er bra eller av mindre skadeomfang, blir ikke nevnt og blir følgelig ikke vurdert av andre.



Foto 1. Drone som er benyttet til bruinspeksjon i 2015-2018.

Drone er mest benyttet i vår daglige tale, men blir i de fleste sammenhenger omtalt som UAV (Unmanned Aerial Vehicle). RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) er den mest formelle og

**AAS-JAKOBSEN**Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway
Tel. +47 22 51 30 00

Pr.nr./Pr.no

11680-2

Dok.nr./Doc.no

11680-2-1

Rev.

0

Prosjekt/Project

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Tittel / Title

Utført/Prep.By

Rev. av/Rev by

Side/Page

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.**KHB****2**

internasjonale fellesbetegnelsen for droner. UAS (Unmanned Aircraft System) blir av enkelte amerikanske og britiske organisasjoner også benyttet.

Hovedsakelig er S'en i System medtatt når det snakkes om mer enn bare selve kjøretøyet (dronen), også hvor kjøretøyet opereres fra og kontrollen som benyttes for å styre kjøretøyet.

Vi snakker ofte om VLOS (Vision Line of Sight), EVLOS/E-VLOS (Extended Visual Line of Sight) og BLOS (Beyond Line of Sight).

VLOS er flyging med ubemannet luftfartøy som kan gjennomføres slik at luftfartøyet hele tiden kan observeres med det blotte øye uten hjelpeemidler som kikkert, kamera, eller andre hjelpeemidler, unntatt vanlige briller. Luftfartøyet skal samtidig kunne kontrolleres manuelt slik at sammenstøt med andre luftfartøy, personer, fartøyer, kjøretøyer og konstruksjoner på bakken forhindres. I Norge er maksimal VLOS operasjonshøyde 400ft AGL (above ground level =over bakken).

EVLOS er VLOS operasjoner over 400ft AGL og/eller der ordning for opprettholdelse av visuell kontroll med luftfartøyet utenfor pilotens synsrekkevidde er godkjent av Luftfartstilsynet.

BLOS er flyging med ubemannet luftfartøy utenfor synsrekkevidde for pilot og/eller observatør. Det er ikke flydd BLOS ved inspeksjon av bruer i denne kontrakten.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

Side/Page

3**2**

INSPEKSJONSTYPE OG PREMISSER FOR Å VELGE BRUINSPEKSJON MED DRONE

Bruenes beliggenhet varierer veldig og kan være over vann, elv, foss, sjø, bilveg, gang- og sykkelveg, juv, jorder, steinur, jernbane, hus, vegetasjon, nær sagt alt mulig. Rundt bruene er det som regel mer infrastruktur eller vegetasjon. Bruene er av ulik størrelse, utforming og byggemateriale. Videre er trafikkmengden og hastigheten på bruva av ulik karakter.

Inspeksjon av bruer ved hjelp av drone er relativt nytt og derfor er det viktig å få kartlagt risikoaspektet og økonomisk kostnad/ gevinst ved denne metoden for inspeksjon.

Det vil ikke være fornuftig å inspisere en kulvert eller en kort bru med drone, taubasert utstyr eller underbrulift hvis man ser godt nok fra bakkenivå. Oversiktsbilder fra dronen kan allikevel ha verdi ved planlegging av vegtrase, sårbarhet mot flom, sammenligning fra år til år osv.



Foto 2. Inspeksjon med bruk av underbrulift i skumringen på kveldstid.

I inspeksjonskontrakten 2015-2020 ble antallet bruer planlagt med droner knyttet opp til antall bruer som tradisjonelt tidligere er blitt inspisert med bruk av underbrulift. Kontrakten hadde åpning for at leverandør ved behov kunne gjennomføre ekstra inspeksjon med brulift eller ved bruk av taubasert tilkomstteknikk. Dvs. inspeksjon etter at det hadde blitt gjennomført droneflyvinger og kartlegging av skader som måtte vurderes ytterligere. Kostnadene til dette skulle dekkes i sin helhet av Statens vegvesen.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 4	

2.1 Tradisjonell nattinspeksjon utført på dagtid

I starten av prosjektperioden i denne kontrakten ble droneinspeksjon først og fremst valgt for de største bruene. I dag kartlegger vi nærliggende motorveibruer med en totallengde fra 100 meter og lengre siden disse bruene må stenges når andre hjelpemidler enn droner skal benyttes for inspeksjon. Flere vegstrekninger og bruer er kun tillatt delvis stengt nattestid.

Foto 2 og 3 viser inspeksjon ved bruk av underbrulift utført på kveldstid/ nattestid med begrenset lys tilgjengelig. Fullstendig hovedinspeksjon på nattestid gir dårlig oversikt over bruhaugen og foto som skal belyse situasjonen blir ofte dårlig. Utsetting av arbeidsvarsling er både tidkrevende, relativt dyrt og risikofyldt for flere aktører.



Foto 3. Hovedinspeksjon av Minnesundbrua utført i 2007 med bruk av underbrulift.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

5

Foto 3 viser Minnesundbrua inspisert tilbake i 2007 med underbrulift. Den gang var brua bare ei 2-felts vegbru, mens den i dag er utbygd til ei 4-felts vegbru. På en tilsvarende vegbru i dag må det trolig benyttes støtputebil, følgebil/ ledobil og kanskje politieskorte for å føre trafikken forbi inspeksjonsstedet til underbruliften på en tilfredsstillende måte for å ivareta sikkerheten på best mulig måte. Enkelte bilister overholder ikke reglene. Tilbake i 2007 var det flere bilister som kjørte forbi ledebilen. Dette kunne skape en farlig situasjon og er ikke uten risiko.

2.2 Oversiktsbilder



Foto 4. Et meget godt grunnlag for å planlegge videre inspeksjon av Langset og Minnesund bru.

Dronen har helt klart fordeler som ikke en underbrulift eller inspeksjon utført ved taubasert utstyr gir deg. Drønene kan relativt raskt gi gode oversiktsbilder over brua, som kan også være nyttig til bruk ved senere anledninger. Oversiktsbilder kan for eksempel gi deg en god kartlegging av utført kvalitet på ny overflatebehandling på stålbruene samt til senere kartlegging av tilsvarende skader med omfang. Det kan også være fordelaktig ved senere henvendelser fra publikum. Det vil alltid være gunstig med gode oversiktsbilder av brua og av området inn mot brua, og dette gjelder generelt alle typer bruer av alle størrelser.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

Side/Page

6

Foto 5. Hele fagverket på Eidsvoll Sundbru i et bilde. Nyttig å ha når man senere skal orientere seg i andre detaljfotoer.



Foto 6. Skjelsbusund



Foto 7. Puttesund



Foto 8. Grønnetkilen



Foto 9. Kjøkøysund

2.3 Bruer best egnet for droneinspeksjon

Høytliggende bruer over sjø uten hindringer vil være godt egnet for droneinspeksjon. Hvaler- bruene er eksempler på dette. Se fotoene over.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

7

Høytliggende store bruer på trafikkerte veier er trolig mest gunstig å inspisere med drone når det også kreves nattinspeksjon ved bruk av underbrulift. Tradisjonelle store platebru er og store kassebruer med enkle oversiktlige overflater gir trolig best økonomi å inspisere med drone. Minnesundbrua er ei slik bru.



Foto 10. Minnesundbrua er godt egnet for droneinspeksjon. Lite hindringer.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

Side/Page

8

Foto 11. Bjørnsvikbruene i Sandvika ligger relativt høyt, men det er også tett med vegetasjon rundt bruene. Her valgte vi i tillegg inspeksjon med billift for å kartlegge delaminert betong underkant fuger. Bruene er av Norges mest trafikkerte.

Brua vist i foto 12 under viser bru på E18. Den er høytrafikkert, men ikke spesielt høy og det kan være utfordrende å inspirere undersiden med drone. Når bruene ligger lavt, vil det trolig være tilstrekkelig med inspeksjon fra bakkenivå uten behov for andre hjelpemidler når også bruspennet og tilgjengeligheten under bru er god. Kommer man ikke til på lagrene, kan disse kartlegges med drone.



Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

9

Foto 12. Nydammen bru ble flydd med drone på siden det var mye trafikk og en potensiell risiko med brulift.
Fotoene er av meget god kvalitet og oppløsning. Se også opp for kabel som henger mellom lysmastene ved droneflyvning.

Vormsund bru ligger lavt over vann. Denne er inspisert med drone og vi har fått god bildekvalitet og fått kartlagt nær sagt alle flater på bruа.



Foto 13. Vormsund bru over Vorma. Brua er lav, men har få hindringer for dronen ellers og det er derfor mulig å få kartlagt stort sett hele bruа.



Foto 14. Lagerdetaljer på Vormsund bru viser ytterste bjelker på motsatt side av hvor dronen står plassert.
Kvaliteten på bildegrunnlaget er bra. Tilsvarende bilder er å finne på alle de andre lagrene også.



Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway
Tel. +47 22 51 30 00

Pr.nr./Pr.no
11680-2

Dok.nr./Doc.no
11680-2-1

Rev.
0

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

Side/Page
10

I eksisterende bruhåndbok V441, /3/, er enkel visuell inspeksjon beskrevet som en visuell kontroll uten bruk av tilkomstutstyr. Dvs. at på større bruer må de fleste elementene inspiseres på avstand. Det bør imidlertid brukes kikkert der det er nødvendig å se nærmere på detaljer.

Nå kan man benytte droner til å se nærmere på disse detaljene. Dette må i så fall innarbeides ytterligere i inspeksjonsrutinene i Brutus slik at man får kartlagt de spesifikke områdene på bru. Flymønsteret vil da variere fra bru til bru. Oversiktsbilder fra dronen bør også tas ved enkelinspeksjon, men dronepiloten bør ikke forflytte seg mye hvis det skal forsvarer å benytte drone til enkelinspeksjoner.

En enkelinspeksjon skal kontrollere om de enkelte elementer har alvorlige skader, mangler og feil. Garantibefaring av større bruer kan absolutt være gunstig å benytte drone til, siden man ikke kommer til å brua på gunstig måte etter at stillas er fjernet uten å ha lift eller klatreutstyr tilgjengelig og dronen gir suverene oversiktssbilder. Det er en kjensgjerning at plassering av stillaset på stålbruer som får fornyet overflatebehandling er utfordrende. Oftest må resterende områder hvor stillaset har vært plassert, gås over med flikkbehandling etter at stillaset er fjernet. Mangelfulle områder kan lett kartlegges med drone.

Spesialinspeksjon kan også være aktuell med drone, men når det kanskje allikevel er behov for annet tilkomstutstyr, må man vurdere om det er økonomisk fordelaktig.

Etter hvert som bruha blir eldre, lærer man svakhetene til bruha, og da kan det være behov for spesifikk inspeksjon på enkelte elementer. Eldre bruer med alkalireaksjoner, kan sammenlignes fra år til år eller fra inspeksjon til inspeksjon.

Artificial Intelligens (AI) eller automatisk bildegenkjenning er pågående prosjekter også ved bruinspeksjon og vil helt sikkert bli benyttet i større grad i fremtiden. Ved AI skal dronen læres opp til å gjenkjenne typiske skader på bruene, som f.eks. registrering av riss og korrosjonspunkter.

Orbiton gjennomfører for tiden – i samarbeid med Norsk Regnesentral og støttet av Forskningsrådet - et prosjekt som ser på disse mulighetene. I løpet av sesongen i 2019-20, vil AI bli benyttet til å se etter rust på metall og sprekker i betong, og funn vil markeres i datagrunnlaget. Både Aas-Jakobsen, Vegvesenet og Vegdirektoratet er invitert inn for å vurdere, og komme med innspill til, dette prosjektet. Både Aas-Jakobsen og Vegdirektoratet har også bidratt med data for å trenne algoritmene. De foreløpige resultatene er meget lovende, og man ser på muligheten til å inkludere flere skadetyper i prosjektet.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

11

3 UTSTYR

Utstyret som er plassert på dronen er selvsagt av avgjørende betydning for å kunne løse oppdraget på best mulig måte. Dronen består i hovedsak av flykroppen med rotorblader, vinger og armer, samt kamera, batteri og ulike tekniske installasjoner eller sensorer som overvåker systemet og miljøet rundt. Kamera og batteri blir kontinuerlig byttet avhengig av behov, ønske og flytid. Sensorer må fungere for at dronen skal opptre pålitelig.

Dronen vi har benyttet flys av en pilot, mens fotoene tas av en teknisk operatør. Det var krav om dette teamet i tillegg til bruinspektører. Piloten må ta hensyn til flere ytre faktorer både før og underveis i flyvingen, mens teknisk operatør må ta hensyn til hvor man kan få det beste fotoet, og derfor er fototeknisk kunnskap av avgjørende betydning.

3.1 Dronen

Mer utstyr på dronen fører til tyngre drone. Dette medfører behov for en kraftigere drone eller at batteritiden og flytiden blir kortere. Større drone er mer synlig for bilistene og behov for arbeidsvarsling vil trolig ikke lengre bortfalle. Det blir andre regler.

Se foto nr. 1 i innledningskapittelet, der det er avbildet dronen som vi har benyttet til bruinspeksjon.

I konkurransegrunnlaget var det krav om en rekkevidde på minimum 400 m på dronen og at inspeksjon skal kunne foregå ved vindhastigheter på 10m/s. Dvs. tilsvarende krav som stilles til underbrulifter og klatreutstyr.

Man kan tenke seg at det er behov for å fly enda nærmere konstruksjonene for enda skarpere detaljer. For dette formålet eller ved spesielle vanskelige tilkomster, kan det være behov for å utstyre dronen med et beskyttelsesgitter rundt hele dronen. Dette gitteret skal kunne tåle at dronen krasjer borti konstruksjoner. Disse dronene har vi ikke testet under bruinspeksjon enda da disse er relativt nye i sitt slag, men på større tanker, rør og tunneler er disse dronene vært i bruk ved tilsvarende inspeksjoner. Dronene blir ofte kalt for droneball eller krasjbestandig drone.

Underkant av brudekke ved høyere bjelker som på Julsrudbrua (omtalt tidligere) kunne kanskje vært et alternativ til denne dronen. Inspeksjon av utvendige tårnriss på store bruer er et annet eksempel. Det er uansett noen ytre faktorer som piloten må ta hensyn til ved flyvingen. Ved begge disse to nevnte tilfellene vil det være store forskjeller på vinden og sugeffekten rett under bjelkene på Julsrudbrua sammenlignet med innunder bjelkene. Samme effekt er det ved store tårnsøyler.

For autonome inspeksjoner, dvs. flyvinger, som foretas fra kontoret, vil det muligens være behov for andre dronetyper hvis avstanden blir lang. Vi er ikke der i dag, da vi ikke flyr BLOS.

Det hører nok også med til historien at i overskuelig fremtid vil BLOS-inspeksjoner i første rekke brukes til langtrekkende operasjoner, som linjebefaring o.l., ikke til nærinspeksjon som bruinspeksjoner er i dag. Da må man nok vente til dronene er 100% autonome. Det handler ikke bare om teknologi, men i stor grad om lovverk og tillatelser. Per nå er autonome operasjoner ikke tillatt i norsk luftrom.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

12**Foto 15. Eksempel på drone som kan fly helt inntil konstruksjonene.**

3.2 Batterikapasitet

Pr. i dag tilsvarer batterikapasiteten ca. 20-22 minutters flytid i luften. Hvert batteribytte tar 3-4 minutter. Flytiden vil også virke inn på sikkerheten, da det krever full konsentrasjon når dronen opereres i luften og vi tror ikke at det er nødvendig å presse mer sammenhengende flytid i lufta når nedetiden allikevel er så kort. Erfaringen fra halvparten av flytiden, tilsvarende 10 minutters flytid, medførte noe unødvendig oppstykking av flyplanen og vi brukte noe mer tid på inspeksjonene. Det er en kontinuerlig forskning på å gjøre batteriene enda lettere samtidig som effekten blir bedre.

3.3 Sensorer/ tekniske problemer.

Dronen har vel 30 ulike sensorer påmontert som overvåker systemet og miljøet rundt. Når det foretas en systemsjekk, kan det hende at vi får en alarm på en eller flere av disse. Da må vi gå gjennom alarmen og kvittere iht. en prosedyre som kan ta noen minutter. På Langset bru fikk vi alarm på en sensor og valgte å bytte drone for å spare tid. På Askerbrua, der det var tett bebyggelse, mange radiosignaler og mye folk, ble ingen teknisk advarsel utløst. Fordelen med å ha et så detaljert varslingssystem på dronen er at vi har god oversikt over flyforholdene rundt oss. Ulempen er at det kan forlenge oppstartsprosedyren. Vårt syn er at det er bedre med en varsellampe for mye enn en for lite. Dette er relativt nytt, så noen tekniske problemer kan fortsatt dukke opp, spesielt ved bruk av nye uerfarne droneaktører.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 13	

3.3.1 Krav i konkurransegrunnlaget til dronen.

I konkurransegrunnlaget ble det stilt følgende krav til dronen:

3.3.1.1 Skjermet mot EMI (Elektromagnetisk interferens).

Enhver forstyrrelse som potensielt kan overstyre pilotens evne til å styre dronen blir omtalt som EMI.

I de fleste tilfeller består frittstående infrastruktur av konstruksjoner av betong og/ eller metall. Mange av disse er i tillegg utstyrt med kommunikasjons- og elektriske komponenter. Pga dette, kan alle være utsatt for forskjellig grad av ferromagnetisme. Dette er en magnetisk egenskap som kjennetegner bestemte materialer og kan forårsake EMI. Strømbærende komponenter kan produsere sterkt EMI. EMI kan føre til forstyrrelser i form av støy i UAV-systemet. Sensorene i UAV-systemet kan bli sterkt påvirket, især enhetens magnetometere (kompassene), noe som kan føre til meget dårlig GPS styring og, i verste fall, havari.

3.3.1.2 Redundans i kommunikasjonen med piloten.

Her refereres det til kommunikasjonen mellom pilotens fjernstyringsenhet på bakken og fartøyets mottaker. Dette kalles «command & control»- lenken, også kjent som C2. De fleste mikro-UAV'er styres ved bruk av et 2.4 Ghz radiosignal. Dette er et ganske effektivt, men alminnelig radiosignal. Derfor kan tilfeller av frekvensforstyrrelse forekomme, forårsaket av annet utstyr som opererer på samme radiosignal. Eksempler kan være automatiske bomstasjoner, WiFi-sendere og «baby calls». Signalforstyrrelse kan påvirke styringen av fartøyet og kan medføre havari. For å operere trygt, har Orbiton flydd med to separate «command & control»-lenker. Hvis den ene forstyrres, skifter det automatisk over til den andre, som opererer i en annen kanal i 2.4 Ghz-spekteret. Det er dette som menes med «redundans i kommunikasjonen». I tillegg er Orbitons C2- lenker kryptert for å unngå «hacking» av enheten.

3.3.1.3 RTH (return to home) -funksjon.

Ved tap av C2-lenke (se over), er alle Orbitons UAV'er programmert slik at autopiloten automatisk kobles inn og flyr maskinen uten behov for kommunikasjon med piloten og styringsenheten på bakken. UAV'en er da programmert til automatisk å komme tilbake til startpunktet på bakken. Det er dette som kalles «return to home». Orbitons UAV kan også programmeres for å lande der den er eller å holde posisjonen ved tap av styringssignalet.

3.3.1.4 Motorredundans, dronen skal kunne fly med minst en motor ute av funksjon.

Motorredundans, dronen skal kunne fly med minst en motor ute av funksjon.

Det stilles krav til at en UAV skal kunne fly med minst en motor ute av funksjon. UAV'ene Orbiton benytter til bruinspeksjon er såkalte «oktokoptere», dvs. at de har 8 propeller. De kan ha flere motorer ute av drift og allikevel fly sikkert.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 14	

3.3.1.5 Registrering av flyparametre i egen «black box».

En «black box» montert på en UAV har samme funksjon som i bemannede luftfartøy. Den registrerer alle relevante og systemkritiske parametere. For en UAV gjøres dette på et SD kort. «Black boxen» som benyttes av Orbiton, er et lukket og kryptert system som ikke kan modifiseres. Ved en hendelse må dataen sendes til UAV-fabrikanten for analyse. Dvs. at for å bevare dataens integritet har selv ikke Orbiton tilgang til innholdet.

3.3.1.6 Dronen skal kunne flys automatisk, semi-automatisk og i full manuell modus, dvs. GPS-assistert og barometrisk assistert for henholdsvis automatisk- og semiautomatisk flygning.

Det refereres her til 3 forskjellige flymoduser.

Automatisk betyr at piloten flyr ved hjelp av GPS styring. Dvs. at piloten får hjelp av GPS'en til å korrigere fartøyets posisjon. I mange tilfeller kan fartøyet komme i GPS-blindsoner, såkalt «GPS shadowing», noe som vil si at GPS-signalet fra satellittene blir blokkert og ikke når GPS-mottakeren i UAV-systemet. Det kan også forekomme tilfeller av refleksjon av GPS-signalet, slik at hastigheten den når mottageren med blir forlenget, med medhørende mulighet for feil. Dette kalles for «signal multipath», og kan i verste fall medføre at GPS blir et problem, ikke et hjelpemiddel. Derfor må GPS-styringen kunne slås av og UAV'en flys enten semi-automatisk (også kjent som «height mode») eller i full manuell modus. Ved semi-automatisk modus flyr piloten uten GPS, men med barometrisk assistanse. Dvs. at piloten får hjelp av systemet til å holde høyden, mens all annen manøvrering foretas manuelt. Ved full manuell flyving er all styringsassistanse slått av og UAV'en styres kun etter manuell input fra piloten. Full manuell flyving krever mye ekspertise. Orbiton har teknologi og kompetanse til å fly iht. alle disse kategoriene.

Alle disse kravene gjør at dronen må ha mange sensorer som overvåker miljøet.

3.4 Kamera/ optisk utstyr

På enkelte av bruene har vi inspirert med ulike typer kameraer for å sammenligne og optimalisere hva som til enhver tid egner seg best. Kameraene har ulike kvaliteter.

Generelt så gis det mye informasjon i å ta video, men dette krever også at bilder fra videoen blir av god nok kvalitet, noe som er vanskelig å vurdere før det er overført på en skjerm etter flygingen. Video krever også vesentlig mer etterarbeid for inspektøren og vil i så måte være mindre effektivt. Det tar også lengre tid å fly med videotaking.

Når lysforholdene er dårlige (som inspeksjon på undersiden av bruer når sola er i ferd med å forsvinne eller det er tett med vegetasjon som hindrer lystilgang), kan video være et bedre alternativ da bildene krever mer lys for å få fram god nok kvalitet.

Vår droneoperatør har benyttet et Sony Alpha 6000 kamera med 24 megapixler oppløsning, 1080p videoopptaksoppløsning og optisk bildestabilisator, som har gitt meget god kvalitet.

Vi har også testet og benyttet et superzoom- Panasonic TZ61- kamera med 30x optisk zoom, men var stort sett mer fornøyd med kvaliteten på bildene som Sony- kameraet gav oss.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 15	

Vi har i all hovedsak benyttet Sony Alpha- kameraet ved inspeksjonene og ser at oppløsningen på dette kameraet har gitt oss meget god informasjon. Generelt har vi forsøkt å komme så nærmre konstruksjonen som mulig samtidig med at sikkerheten er ivaretatt.

3.4.1 Krav i konkurransegrunnlaget på optisk utstyr

I konkurransegrunnlaget ble det stilt følgende krav til optisk utstyr:

3.4.1.1 Kamera montert på en gyro-stabilisert plattform.

Dette betyr at sensorene (kameraer) er montert på en innretning som korrigerer for fartøyets bevegelser med det formål å stabilisere bildene. Det kalles også «gimbal». Utstyret holder horisonten vannrett og kompenserer for vibrasjoner. Orbitons sensorer er alle montert på hver sin gimbal, noe som betyr at vi kan bytte kameraer raskt og uten kalibrering. På de fleste UAV'er er det kun sensoren som byttes, mens gimbelen sitter fast. Dette betyr at gimbelen må kalibreres etter hvert kamerabytte, noe som øker tidsforbruket.

3.4.1.2 Kamera skulle minimum ha 16 megapixler sensor.

3.4.1.3 Videotaking skulle tas med (1080/50p) med 10x optisk zoom.

3.4.1.4 Mulighet for 90 graders vertikal tilting av kamera opp og ned.

Dette uttrykkes vanligvis som -90° og +90° POV («point of view») og er høyst nødvendig for industrielle applikasjoner. Det innebærer at sensoren kan orienteres langs en 180° vertikal bane. Dvs. at ved -90° peker sensoren rett ned og ved +90° peker den rett opp, noe som er nødvendig når man skal foreta inspeksjon posisjonert under f. eks. brudekke. Orbiton kan tilby en enda større synsvinkel enn påkrevd.

3.4.1.5 Kamera skulle kunne panoreres 360 graders horisontalt, dvs. roteres helt rundt.

3.4.1.6 Bilder skal kunne stedstaggges med GPS-informasjon fra dronen.

Her refereres det til «Geo-tagging», slik at GPS-data fra UAV'en skal kunne registreres i bildefilene. Det betyr at x, y og z koordinaten settes inn i hvert enkelt bilde for å kunne vite den nøyaktige posisjonen bildet ble tatt fra.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

16

3.4.2 Krav til tilfredsstillende bildekvalitet

Hvilke krav man skal stille for å oppnå tilfredsstillende bildekvalitet ved en fremtidig konkurranse på inspeksjon med droner, er ikke helt enkelt å svare entydig på.

Det hjelper ikke med godt utstyr hvis man ikke kan bruke det. Droneinspeksjon krever en høyere grad av forståelse av fototeknikk. Dette er ikke bare tilfellet for å kunne foreta effektiv datafangst, men enda viktigere iht. fotoanalyse. Data må først fanges, og deretter må den som sagt analyseres på samme måte som det gjøres med f. eks. et ultralydbilde, MR-skann, røntgen eller satellittbilde. Dvs. at bilderesultatene må tolkes. For denne arbeidsmetoden må man både fordele den totale inspeksjonstiden annerledes, samt forstå hvordan bilder «blir til» på hver sensor som brukes. I tillegg bør man ha kjennskap til software-verktøyene som kan brukes for å analysere foto/ video resultatene.

Bildekvaliteten er helt avhengig av ytre faktorer som sollys og vind, og droneoperatøren må derfor velge det utstyret som til enhver tid gir et tilfredsstillende nok resultat.

En praktisk rettet oppgave som skal løses av tilbyderne og droneoperatørene vil være en god måte å sikre seg at tilbyderne leverer kvalitet på arbeidet, men trolig også den mest kostnadskrevende. I en praktisk rettet oppgave kan det være behov for å kartlegge en hel bru, slik vi har utført inspeksjonene til nå. Fordelen med hele bruva er at lysforholdene vil variere fra time til time og man kan sammenligne kvaliteten på bildene mot hverandre ved ulik eksponering.

Ett kvalitetsbilde av en detalj er kanskje ikke tilstrekkelig. For å kunne bestemme flere detaljer på et rekksverkselement, vil det være behov for å ta tilnærmet samme bilde fra to eller flere ulike vinkler. Inspektør må ha kunnskaper om hva bildene gir av informasjon og hva det skarpe bildet mangler av informasjon.

Kvaliteten på bildet som behøves kan sammenlignes med nær visuell inspeksjon, dvs. våre øyne på en armlengdes avstand eller ikke mer enn 0,6 meter fra øye til objektet.

HOIS (Harwell Offshore Inspection Service) er et fellesprosjekt innen olje og gassvirksomheten med det mål for øyet å utvikle effektiviteten på inspeksjon innen olje og gass. De har laget anbefalinger for bildekvalitet ved droneinspeksjoner. Se rapport forsiden under.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by		Side/Page 17



HOIS Guidance on Image Quality for UAV/UAS based external remote visual inspection In the oil & gas industry



HOIS-G-005 Issue 1

S F Burch

May 2018



Foto 16. Prosjektrapport på anbefalinger for bildekvalitet ved droneinspeksjoner utarbeidet av ESR Technology.

3.4.3 Andre typer kamera

Bruk av andre typer kameraer er diskutert i prosjektet, men er ikke testet ut på bruene her ennå. Infrarødt varmesøkende kamera kan ha noen fordeler, hvis det gjøres riktig. Det baserer seg på å måle forskjellene i temperatur på konstruksjonen. Man håper ved metoden å ha mulighet til å oppdage delaminert betong, riss, vannlekkasjer og mangelfulle reparasjoner, men dette må forstås riktig.

Laserskanning, Geoskanning eller 3D-skanning fra drone blir utført, men har heller ikke vært testet ut i denne kontrakten.

Det planlegges noe testing av dette i løpet av 2019.

3.5 Annet utstyr.

Payload eller ekstra nyttelast vil påvirke vekt, flytid og manøvreringsevnen. I hovedsak er payload kameraet. Annet utstyr kan være lasermåler for å sjekke avstand til nærmeste konstruksjon under flyving. Alt annet enn software har en vekt som påvirker dronen.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 18	

4 UTFORDRINGER FOR DRONEOPERATØR- YTRE BEGRENSEnde FAKTORER

Det er flere ytre begrensende faktorer å være klar over, men dette gjelder jo generelt også ved en tradisjonell inspeksjon/ befaring. Inspeksjon med bruk av et kamera som er festet til dronen gjør at man er mer avhengig av et optimalt værbilde.

Å planlegge inspeksjonstidspunktet er viktig med tanke på værforhold og trafikkbildet. Hvis man ved bruk av droner kan få inspisert på dagtid istedenfor nattestid, vil dette også kunne medføre bedre lys under inspeksjonene.

Ulempen er at trafikken i området trolig er større, dvs. flere forhold å ta hensyn til.



Foto 17. Inspeksjon av Sandviksbruene i Akershus med mye trafikk også utenom rushtiden, men vi får mange flere detaljer på dagtid enn på natt.

4.1 Regnvær

Fukt på linsen gjør at bildet blir utydig og droneinspeksjon i duskregn vil derfor gi oss dårlige bilder uansett om teknisk operatør er en kyndig fotograf.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

19

4.2 Lysforhold

Overskyet vær gjør at lysforholdene blir generelt dårligere og kvaliteten på bildene blir da også dårligere. Lite lys gir lite refleksjon. Dvs. at vi kanskje må nærmere konstruksjonen for å kunne få like stor detaljgrad i bildet som ved bedre lysforhold. Sterkt sollys imot krever fototeknisk kompetanse for å kunne plassere dronen der det gis best bilder.

Lysforhold må også vurderes i forhold til årstid og tid på døgnet man er ute og inspiserer. En mørk asfalt gir dårlige lysforhold rett etter regn. Sol rett etter regn gir mye refleksjon og høy kontrast. Det er derfor gunstig å inspirere andre områder som ikke har blitt eksponert for regn rett etterpå hvis dette er mulig. Inspeksjon rett etter regnvær kan også være gunstig når det gjelder synlighet av sporslitasje, fuktlekkasjer, riss og mindre gode prosjekterte løsninger.



Foto 18. Inspeksjon av eksponert overflate etter nylig regnvær.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

20

På foto 19 ser man at toppstrøket på bjelkene er mørke, så det er viktig med gode lysforhold under inspeksjonen.



Foto 19. Minnesundbrua i noe dårlig lysforhold tatt med kamera fra bakkenivå.



Foto 20. Minnesundbrua i gode lysforhold tatt fra drone.

Undersiden av bruer er generelt ofte mørke. Inspeksjonstidspunktet og lysforholdene er avgjørende for bilder med god kvalitet.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

21

Foto 21. Inspeksjon av underside brudekke på Julsrudbrua i 2007 med bruk av underbrulift på nattestid.



Foto 22. Julsrudbrua kartlagt med kamera fra drone i 2018. Veldig god kvalitet på bildene siden det er gode lysforhold og ingen andre hindringer. Inspeksjon overkant kabler ved den andre hovedbjelke er ikke mulig pga. den første bjelkens høyde. Inspeksjon overkant underflens krever at droneball flies.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

22

Foto 23. Inspeksjon av underkant brudekke på Fetundbrua utført i dagslys med drone. Brua har en åpen fagverksløsning underkant brudekke. Det er mange detaljer på et slikt fagverk som krever mange ulike posisjoner for dronen, men løsningen er gunstig for å få gode bilder. Det er få mørke partier som er vanskelig å kartlegge med dronen.

Sterkt sollys er krevende for piloten å fly under, da man fort kan bli blendet av å stirre opp på solen i lang tid.

4.3 **Vind/ turbulens**

Vindforholdene spiller inn siden dronen vil bevege seg mer i sterkere vind. Det er behov for å ta mer sikkerhetsavstand fra konstruksjonen, noe som betyr at detaljeringsgraden påvirkes. Detaljer blir kanskje av dårligere kvalitet siden dronen vil være i konstant bevegelse når bildet blir tatt. Vinden oppfører seg ulikt langs bakken og over fjelltoppene. Men med så mye topografi som vi har i Norge, må du tenke at vinden stort sett følger terrenget. Det er behov for å ha kunnskaper om vindforholdene når man skal fly drone.

4.4 **Vegetasjon**

Vegetasjon under eller inn mot bruhaugen hindrer dronens posisjonering for å ta alle relevante bilder. Statens vegvesen bør derfor fjerne vegetasjonen inn mot bruene før bruene kartlegges med drone for å få det beste bildematerialet. Vegetasjon kan for øvrig hindre sikten til brukerne av bruhaugen. På Eidsvollbrua under ser man også skygger på veien etter vegetasjonen. Inspeksjonsesongen starter vanligvis i april da snøen er smeltet bort i lavlandet. I april og mai er det mindre vegetasjon, men kortere dager før det blir mørkt. I mellom juni- august er det mye frodig vegetasjon, men lysforholdene er bedre og vi kan holde på lange dager. September og oktober er ikke så frodige, men dagene blir kortere og lyset gradvis dårligere.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

23

4.5 Brudesignet

Likeledes vil designet av brua påvirke hvordan inspeksjonen kan utføres. Kurvaturen på brua påvirker antall forflytninger som dronepiloten må ta for hele tiden ha et øye på dronen (VLOS).



Foto 24. Eidsvollbrua ligger i kurvatur. På høyre side av brua kreves det mer forflytning av dronepiloten for å fly VLOS. Vegetasjonen hindrer dronens flymønster. Posisjoneringen til dronen er avgjørende for å få riktige bilder.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 24	

En liten oppsummering av utfordringer for droneoperatør under med henvisning til kapitler, der dette er mer omtalt.

- Flyteknisk:

Signalforstyrrelse EMI kan påvirke dronen og må tas hensyn til (kapittel. 3.3.1.1). Regnvær (kapittel 4.1), lysforhold (kapittel 4.2), vind/ turbulens (kapittel 4.3), vegetasjon (kapittel 4.4) og brudesignet (kapittel 4.5) er omtalt over. GPS blindsone må også tas hensyn til av piloten (kapittel 3.3.1.6).

- Fototeknisk:

Lysforhold og høy kontrast er utfordrende og omtalt under kapittel 4.

- HMS: arbeidsvarsling:

SJA, risikovurdering og sikkerhetsavstander er omtalt under kapittel 9.

- Posisjonering:

Nøkkelen til gjennomføring ligger i hvor man kan fly. Omtalt i flere kapitler.

- Personvern:

Innsamling & lagring av data. Er ikke omtalt i stor grad i denne rapporten, men droneoperatør må forholde seg til dette hvis det senere blir et problem ved bruinspeksjoner. Ved trafikkerte bruer kan det tidvis være mye mennesker. Se eksempel på Askerbrua under kapittel 9.

- Hardware:

Vekt, payload/ nyttelast og batteritid er omtalt under kapittel 3.

- Arbeidsflyt, inspeksjonsomfang og effektiv metode:

Droneoperatørers ulike beskjeder fra inspektørene vil influere på arbeidsflyten. Effektiv inspeksjon er omtalt under kapittel 10.

- Regelverk:

Dette er noe omtalt under kapittel 8.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

25

5 FORDELER OG ULEMPER

Når man skal utføre en hovedinspeksjon på ei bru, må man vurdere hvilket hjelphemiddel som behøves for å gjøre inspeksjonen best mulig, men også med tanke på det økonomisk og sikkerhetsmessig mest fordelaktige aspektet ved inspeksjonen. Drone er et hjelphemiddel, mens taubasert klatreutstyr, stillas og ulike brulifter er andre hjelphemidler. Dronen skiller seg ut fra de andre hjelphemidlene ved at vi ikke er der fysisk selv og at vi kan flytte oss langt unna for å få mye bedre oversikt.

Inspeksjonshåndboka (V441, for øvrig i skrivende stund under revisjon) oppgir at hovedinspeksjonens visuelle kontroll skal være så nært at inspektøren skal kunne ta på de enkelte elementene. I den sammenheng må man forsøke å tilstrebe best mulig bildekvalitet, slik at skadeomfang kan avgjøres ved hjelp av bildene som blir tatt.

Dronen vil i vesentlig større grad ha mulighet til å ta representative bilder for å belyse skade- og eller reparasjonsomfanget sammenlignet med andre hjelphemidler hvis det ikke er fysiske hindringer som ligger i veien for dronen.



Foto 25. De høytrafikkerte Nitsundbruene ligger tett ved siden av hverandre. Brulift mellom bruene er ikke mulig. Brulift kan bare benyttes på nattestid her. Dette ville gitt deg et mye dårligere bilde av detaljer og omfang.

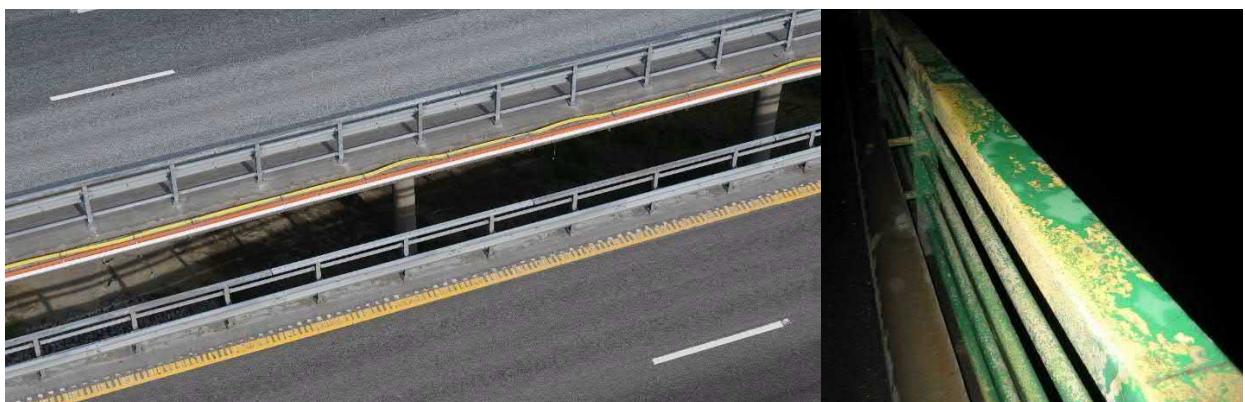


Foto 26. Mange detaljer på dronefoto (venstre side) sammenlignet med inspeksjon på nattestid (høyre side). Det kan være litt tilfeldig hva du egentlig ser på natt av detaljer.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

26

På bakgrunn av fotoene på dagstid, har vi vesentlig bedre grunnlag for å si noe om omfanget ved dronebildet sammenlignet med inspeksjon som utføres på nattestid med eller uten brulift.

Evt. feilrapportering i Brutus er også enklere å oppdage når man benytter dronen til å kartlegge bru.

Droner må vi alltid fly i dagslys. Vi trenger ikke omfattende arbeidsvarsling og følgelig får vi en sikrere inspeksjon, et bedre bildegrunnlag totalt sett og kanskje også en lavere pris, dvs. et økonomisk mer fordelaktig tilbud på alle måter, sammenlignet med våre tidligere tradisjonelle metoder å inspirere bruer på.



Foto 27. Dronefoto av Langset bru. Underbruliften hadde ikke kommet under stålbuens midt i bildet.

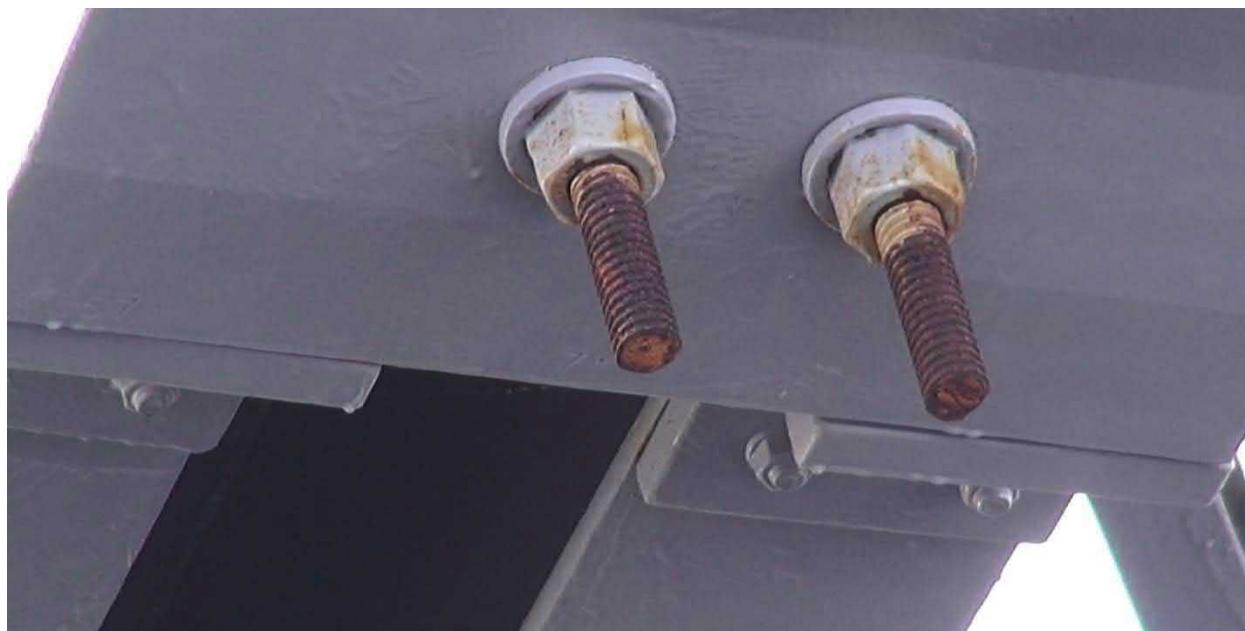


Foto 28. Detaljgraden etter video. Spalten i stålbuettverrsnittet gir ikke nok lys til at kameraet på dronen kan gi oss tilstrekkelig info om tilstanden inni buettverrsnittet. Bruliften når ikke ned hit. Ved bruk av taubasert inspeksjon kan vi komme til i dette området med en lommelykt og et kamera, men dette krever noe ekstra klatreutstyr siden brudekket krager utenfor buen.



Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

27

Å sammenligne drone som hjelpemiddel med underbrulift, gir store fordeler til dronen på de fleste bruer, men i noen tilfeller vil ikke drone alene være tilstrekkelig. Anbefaler å benytte drone som første hjelpemiddel for å skaffe god oversikt over omfang.

Ved spesiell kartlegging av bomområder underkant brudekke vil underbrulift være best egnet. Drone vil i stor grad kunne vurdere og gjenkjenne (AI) slike skader, men for å bestemme omfanget vil det være best egnet å utføre bomkontroll med hammer og underbrulift som hjelpemiddel for å nå over med hammeren på store flater.

Et annet aspekt ved drone er at teknologien går veldig fort fremover, mens regelverket har en tendens til å ligge på etterskudd. Dette kan medføre en del uklarheter i fremtiden, men slik det ligger an i dag og med tanke på at droner er et nasjonalt satsingsområde, vil trolig drone bli bare et bedre hjelpemiddel sammenlignet med andre typer hjelpemidler til inspeksjonsformål.

Personvern med innsamling og lagring av data må også ses på i denne sammenheng.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by		Side/Page 28

6 REGISTRERING, ETTERBEHANDLING OG TOLKING AV INSPEKSJONSDATA

Mindre bruer som ikke inspiseres med drone inspiseres i sanntid, der vi hele tiden vurderer det vi ser og registrerer dette med foto og tekst. Noen velger å rapportere skader direkte inn i forvaltningsprogrammet Brutus ved bruk av Pad eller annen PC, mens andre velger å legge inn skaderegistrering etter inspeksjonen er utført.

Bruene som vi inspiserer med droner kartlegger vi med kameraer som gir foto og evt. video med meget god oppløsning og kvalitet. Vi kan inspisere fra bakkenivå i forkant, samtidig eller i etterkant, men venter på at dronen har gitt oss fotoene før vi inspiserer bruhaugen ut fra bildedokumentasjonen. Inspeksjon og rapportering kan skje samtidig. Metoden kan sammenlignes med en radiolog som må granske radiografens foto.

For å få best mulig kvalitet på fotoene, medfører dette også at bildefilene som lages blir veldig store. Overføring av filene tok lang tid i starten, men etter at bildefilene ble komprimert, gikk dette raskere. Det kan også være aktuelt å begrense bildedokumentasjonen for å unngå for mange filer, men da blir kanskje kartleggingen eller registreringen utilstrekkelig. Vi har behov for både oversiktsbilder og nærbilder fra ulike vinkler.

Mange foto gjør også at det blir mye informasjon å gå gjennom i etterbehandlingsfasen, men mye av informasjonen får vi fra visuell inspeksjon fra bakkenivå samt ved å gå gjennom oversiktsbildene først. Det er også en klar fordel at man har et kjent flymønster som gjør det enklere å finne det relevante området/ bildet for å vise skaden.

Bilde- og filmmaterialet skal iht. kontrakten gjøres tilgjengelig for oppdragsgiver vederlagsfritt. Dette kravet gjelder i 10 år fra inspeksjonstidspunktet, men Statens vegvesen bør uansett laste ned de relevante bildene til sine servere også. Å sammenligne bildegrunnlaget for senere år, kan bli aktuelt og da er det en fordel at flere har bildedokumentasjonen.



Foto 29. Bru med kantrageravskallinger. Fotoet er tatt fra bakkenivå ved siden av bruhaugen. Bedre bilde kunne vært tatt med kamera på selfie-stang, men best med drone.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

29

Foto 30. Foto av samme skade tatt fra drone. Enklere å vurdere skaden rett forfra enn fra siden.

Skadene vist over bør ses fra ulike vinkler for å vurdere videre omfang under bruhaugen. Jernbanen går under denne bruhaugen, noe som gjør at verken tau eller underbrulift er egnet. Den relativt lave høyden i kombinasjon med vegetasjon gjør at det er vanskelig å fly og få bedre bilder. Inspeksjon med Sikkerhetsmann fra bakkenivå fra undersiden vil trolig være tilstrekkelig for å vurdere skadeomfanget. Skaden er alvorlig og tiltak umiddelbart må gjennomføres. Entreprenør må fjerne all løs betong og reparere skader med ny betongpåstøp.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

30

I kontrakten var det krav om at bildene skulle stedstagges med GPS- informasjon fra dronen. Denne informasjonen er lagt inn i et kart, som vist under. Dette er utført på alle bruene. Ved senere anledning, kan flymønster repeteres.



Foto 31. GPS- posisjonene til dronen inntegnet når bildene er tatt på Puttesund bru.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by		Side/Page 31

7 HVA KAN MAN REGISTRERE AV TILSTAND DVS. SKADETYPER, SKADEGRAD OG SKADEKONSEKvens

Bruinspeksjon med drone som hjelpemiddel er blitt utført ved at hele bruene er kartlagt, vel og merke alle områder hvor dronen kommer til uhindret av vegetasjon. Denne metoden er valgt siden det er for krevende med sanntidsinspeksjon. Metoden gir best grunnlag for å vurdere tilstanden. I stor grad er droneinspeksjon i kombinasjon med visuell inspeksjon fra bakkenivå tilstrekkelig for de bruene vi har valgt å fly på.

Det har vært viktig å teste ut hvilken kvalitet man kan få ved å utføre droneinspeksjoner. Ved å sammenligne bilder fra spesialinspeksjon ved bruk av lift med droneinspeksjonene, ser vi hvor stor detaljeringsgrad vi kan få og bør ha for at vi skal kunne bruke sammenligning i et visst tidsperspektiv. På neste side er det gjort sammenligning av riss fra 2008 tatt fra brulift på dagtid mot riss fra drone.



Foto 32. I utgangspunktet en relativt enkel bru å inspisere med drone med få detaljer og store ensartede overflater.



Foto 33. Nærbilde av samme bru viser flere detaljer.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

32

På foto under er det en sammenligning av riss fra 2008 tatt fra brulift og fra 2017 tatt fra drone. Vi ser at ved god bildekvalitet fra dronen kan avdekke riss i betongoverflaten. Studier av foto tatt med års mellomrom kan i beste fall avdekke eller avkrefte en markant rissutvikling, men små endringer i rissvidder vil ikke kunne fanges opp ved visuell vurdering. For en generell sammenligning er samme plassering på dronen med samme type vær og kamerakvalitet av betydning. For å kvantifisere rissvidder og rissutvikling over tid (eksempelvis for å estimere ekspansjonshastighet ved alkalireaksjoner) må man måle med risslinjal i faste punkter på konstruksjonen (f.eks. langs linjer som vist i foto 34, eksakt lokalisert med bolter). Dersom man skal kvantifisere riss basert på fotoanalyse kreves programvare som er utviklet spesielt for dette. Slik programvare er ikke tilgjengelig per i dag.



Foto 34. Sammenligning av riss fra brulift i 2008 (venstre side) og fra drone i 2017 (høyre side).

På Puttesund bru ble det først utført hovedinspeksjon med drone. Etter å ha sett en skade i et PE-rør, hadde vi behov for å gå ytterligere tilverks for å vurdere skadeomfanget på PE-røret. Dronen hadde kartlagt skaden, men å vurdere skadegraden og konsekvensen krevde en spesialinspeksjon, der vi valgte inspeksjon med tau. Det ble ikke registrert skader på skråkablene under PE-røret og således var ikke skadene av bæreevnebetydning umiddelbart.

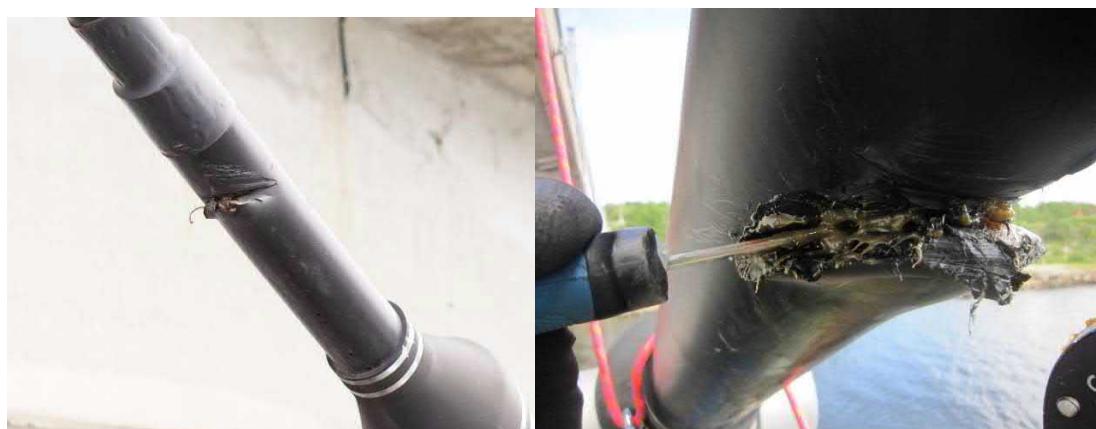


Foto 35. Hovedinspeksjon med drone til venstre og spesialinspeksjon av skade på PE-rør til høyre ved bruk av taubasert tilkomst med nedfiring fra brurekkverk.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

Side/Page

33

På ei annen bru mente vi at det var behov for å banke etter delaminert betong. Basert på antall tidligere reparasjoner og antydninger til mer løs betong vi hadde observert visuelt fra bakkenivå samt med bilder fra drone, valgte vi å få en entreprenør til å gå over hele bruas underside med hammer. Entreprenør reparerte områdene med delaminert betong samtidig som kartlegging av omfang ble utført. Det er nærlig umulig å vurdere omfanget av delaminert betong basert på et bilde, men man kan få varsler som viser at sannsynligheten er tilstede ved et trent øye.



Foto 36. Bru med mange betongreparasjoner, der vi ønsket å vurdere reparasjonene med hjelp av brulift utført av entreprenør.

På Langset bru, som tidligere omtalt, gir ikke spalten i stålbuettverrsnittet nok lys til at kameraet på dronen kan gi oss tilstrekkelig info om tilstanden inni buen.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 34	



Foto 37. Stålbuens med et nesten lukket tverrsnitt dronens kamera ikke kan se inn i. Alt vedlikehold inni dette tverrsnittet er vanskelig å få utført tilfredsstillende.

På Flyplasskrysset bru satt plater som utgjorde en midlertidig fastholding av glidelagrene igjen. Det var ikke behov for ytterligere inspeksjon da vi fikk nok info fra bildene. Det ble anbefalt å få disse fjernet av en entreprenør.



Foto 38. Midlertidig fastholding av glidelagrene ble ikke fjernet etter ferdigstillelsen.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

35

Foto 39. Løs midlertidig fastholding av glidelagrene ikke fjernet i byggefase.

På Isi bru over E16 ble det flydd med drone. Noe av utfordringen var å få kartlagt evt. oppsprekking av trebuen ved dybelinnfestninger av hengestengene.

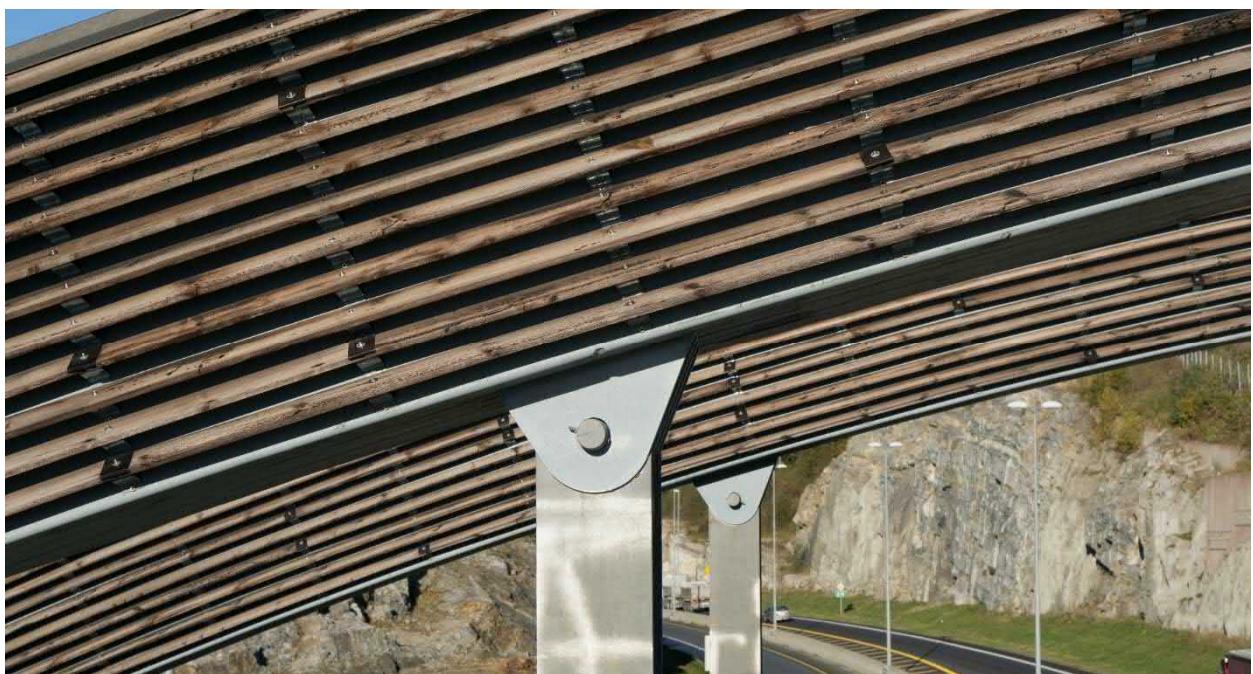


Foto 40. Inspeksjon av buebru i tre med sjalusi som konstruktiv beskyttelse av trebuen.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

36

Foto 41. Riktig vinkel på kamera gjør det mulig å se under sjalusibeskyttelsen og også evt. oppsprekking ved dybelinnfestning av hengestang.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

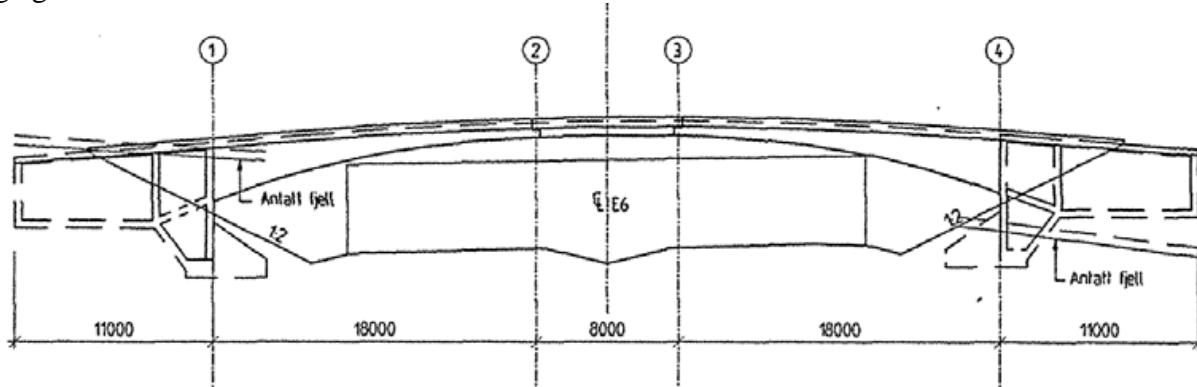
37

8 REGELVERK FOR BRUK AV DRONE TIL INSPEKSJON AV TRAFIKKERTE BRUER

Ifølge «droneforskriften», «Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.» /1/, er det bare operatører i klassen RO3, som etter nærmere godkjenning/ tillatelse fra Luftfartstilsynet, kan fly nærmere biler, bygninger og personer enn 50 meter (jf. §51 siste ledd). Operatører i RO1 og RO2 vil ikke ha lov til å fly nærmere enn 50 meter. RO3- operatører kan i praksis fly tett på hvis dette godtas av Luftfartstilsynet og ikke hindrer annen virksomhet. Operatøren skal dokumentere at luftfartøy, system og komponenter er tilstrekkelig sikre for bruk for den aktuelle operasjonstypen.

Iht. §18 er operatøren ansvarlig for at det foreligger forsikring som dekker erstatningsplikt ovenfor tredjeperson, jf. luftfartsloven § 11-2. /2/.

Iht. § 17 er operatøren uansett skyld ansvarlig for skade eller tap som oppstår utenfor luftfartøyet som følge av at fartøyet brukes til luftfart. Dette gjelder likevel ikke skade på annet luftfartøy, eller på person eller ting i slikt luftfartøy. Det er altså droneoperatøren som har ansvaret hvis noe skulle gå galt.



Figur 1. Innhengt spenn på Tømt bru over E6.

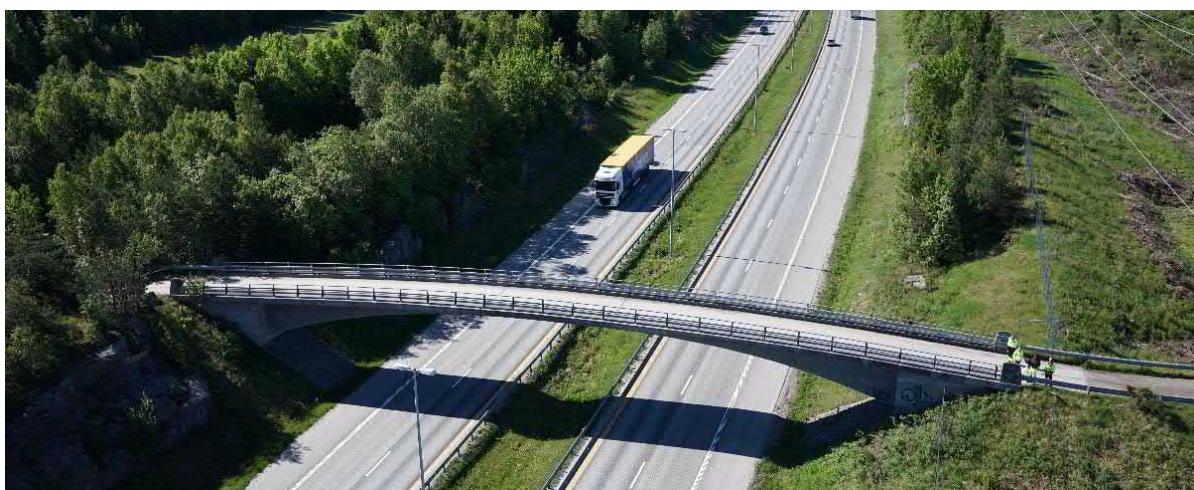


Foto 42. Inspeksjon av Tømt bru over E6. Siden bruha går over E6 ville alternativet vært nattinspeksjon.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 38	



Foto 43. Foto av lageret ved innhengt spenn utført på dagtid med trafikk på E6. Detaljeringsgraden er vesentlig bedre enn vist i dette bildet.

§54 i droneforskriften tar for seg områder hvor det ikke er tillatt å fly. I siste ledd står det at det ikke er tillatt å fly drone nærmere enn 5 km fra en lufthavn, hvis ikke flygingen er avklart med lokal flygekontrolltjeneste eller flygeinformasjonstjeneste.

Å få tillatelse til å fly drone over bruer som ligger innenfor et slikt område, krever ofte mer tid og planlegging enn normalt. Dette er viktig å være klar over.

Flyplasskrysset bru over E6 i Ullensaker kommune nær Gardermoen flyplass krevde mer behandlingstid for å få tillatelse til å fly på.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev dato/Date

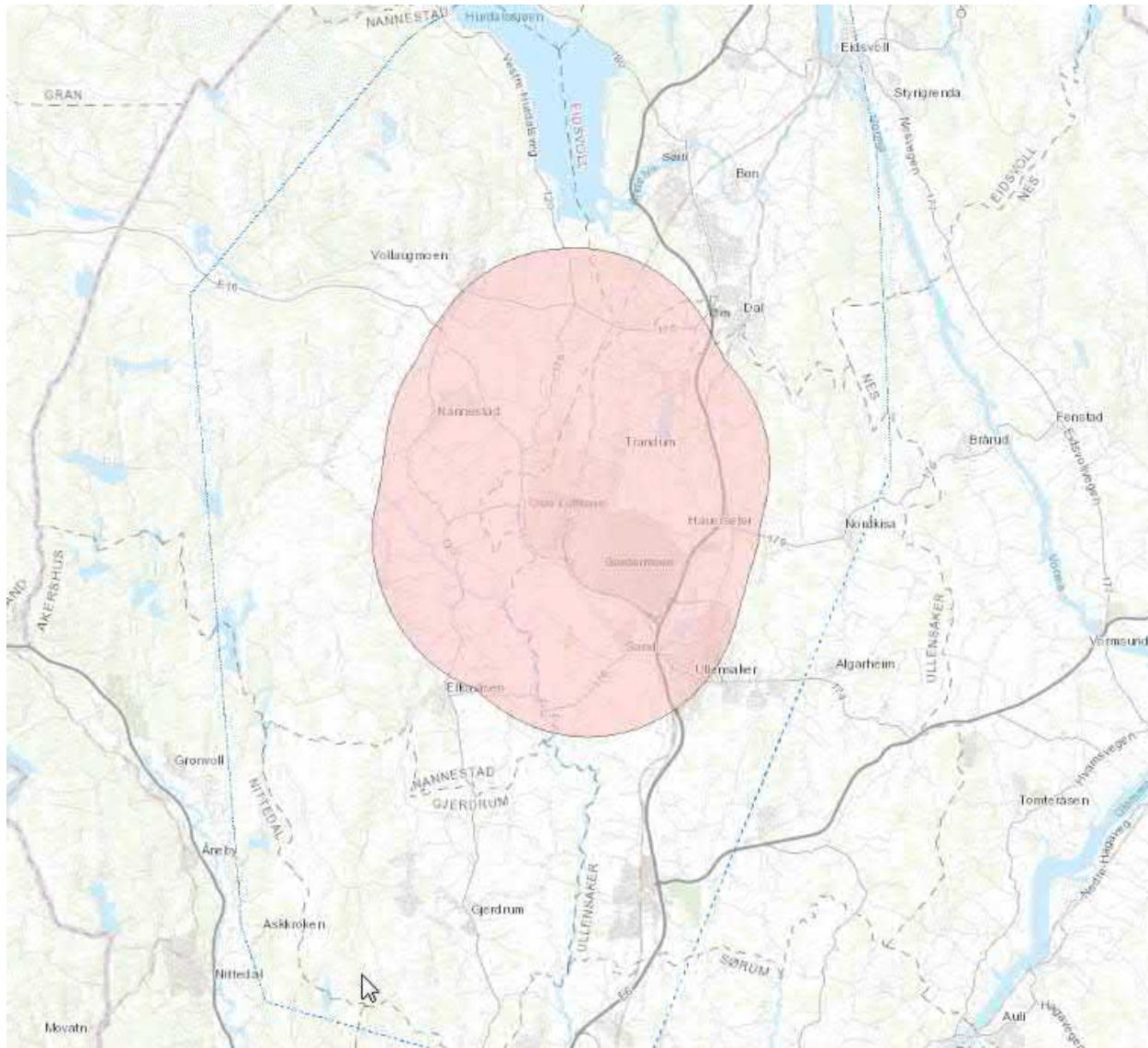
Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

39

Kartutsnitt 1. Område med 5 km utstrekning fra Oslo Lufthavn Gardermoen. Flyplasskrysset ligger innenfor det røde området på kartutsnittet.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

40**9**

SIKKERHET VED BRUK AV DRONE TIL INSPEKSJON AV BRUER MED TRAFIKK: RISIKOVURDERING OG ARBEIDSVARSLING

Inspeksjon med drone krever god forberedelse i forkant. Rundt bruene er det mange hindringer og potensielle farer som må avdekkes før flygning.

Arbeidsvarsling, risikovurdering og Sikker Jobb Analyse (SJA) av arbeidet ved inspeksjonen som skal utføres er sentralt for å ivareta sikkerheten til dronen og omgivelsene rundt.

Sikkert arbeid er nært knyttet til kompetanse hos de utførende droneoperatørene. For å kunne levere best mulig produkt til kunden, bør det settes krav om at droneoperatøren skal være sertifisert innen den høyeste operatørklassen, dvs. som nå er RO3- operatør.

Risikoanalyse og SJA og er ikke bare noe som er krevd av vegvesenet, men også pålagt droneoperatør av Luftfartstilsynet. Som del av dette arbeidet, bør det nevnes at droneflygning i et stort område i Oslo og Akershus krever forhåndsgodkjenning av tårnet på Gardermoen. Dvs. droneoperatøren bruker noe tid på å få godkjenninger på plass. Droneoperatøren må også kartlegge området på forhånd for å finne optimal plassering for dronen å operere ifra.

Etter å ha testet synbarheten til dronen på Langset bru i 2015, konkluderte arbeidsvarslingen i Region øst at vi ikke behøvde å varsle bilister. På Isi bru over E16 og på Askerbrua på E18, flydde vi i 2015 uten bruk av varslingsskilt. Dronen er såpass vanskelig å få øye på av bilister at den såkalte glanefaktor ikke vil virke inn.



Foto 44. Isi bru over E16, der vi var synlig i trafikkbildet uten skiltvarsling. Se nederst i høyre bildekant.

Erfaringene fra Isi bru var at bilistene la merke til inspeksjonspersonellet, men ikke dronen. Bilistene var trolig bekymret over fartskontroll. Inspeksjonene ble utført uten skilting, men det var lagd SJA av bruene i forkant.

Det som kan skape en oppmerksomhet er inspeksjon i tettbebygde urbane strøk, der gående vil høre dronelyden samt kunne få øye på dronen, operatører og inspektører. Dette løses ved å inngjerde et take-off- og landingsområde.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

41

Dronen opereres av piloter som er sertifiserte av Luftfartstilsynet. Pilotene vurderer til enhver tid hvor nærmeste objektet/ bru han vil og kan fly med dronen. Noen ganger er det fastsatte sikkerhetsavstander å forholde seg til, som avstand til jernbanelinjer, men piloten må også ta hensyn til flere andre faktorer. Avstanden til objektet er avgjørende for detaljgraden på inspeksjonen. Inspeksjon av Askerbrua og Lenken bru var utfordrende med mange hindringer og forberedelser på forhånd, men ved god planlegging gikk flygingen uten problemer. Nedenfor er Sikker Jobb Analyse som ble oversendt arbeidsvarsling i Region øst før flygning ble startet.

Selskap	Orbiton AS	Dato	Torsdag 22.10.15
Oppdrag	Sted	Sjekk og ta stilling til følgende:	
Bruinspeksjon	E18 Asker og Lenken bru	Kart og tegninger sjekket	
		Vær iht spesifikasjoner (OM)	
		NOTAMs	
		Publikum: behov for avsperring?	
		Publikum: stier og annen tilgang	
		Landingsplass + alternativ	
		Beholde 20 m fra publikum	
		Hindringer	
		Mulighet for signalforstyrrelse	
		Mulighet for å beholde VLOS	
		Pilotens evner iht oppdragets art	
		Grunneiere	
		Personvern	
		Lokale regler/forskrifter	
		Tog: pendlere	
		Tog: kryssende togtrafikk	
		Tog: kjøreledninger	
		Tog plattform: sikkerhetsmann	
		Behov for skilting (Aas-Jakobsen)	
		"Glanefaktor"	
		Trafikk: hovedveier	
		Trafikk: sekundærveier	
		Landingsplass: avsperring	
Pilot	KAM	Underskrift	
TO	TM	Underskrift	
Kommentarer- Kunde som observatør, ingen publikum ved landing/take-off område.			

Figur 2. SJA for droneinspeksjon av Asker og Lenken bruer.

I SJAen er det satt opp ulike scenarier å ta hensyn til. Ved å gå gjennom dette på forhånd, blir det lettere å tenke ut en eventuell alternativ flyplan. Det hjelper også operatørene med å gjennomføre en mer effektiv flygning.

Fotoet under viser hvor mange hindringer og farer som det var behov for å ta hensyn til.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

42

Foto 45. Askøybrua med kompleks infrastruktur rundt bruhaugen.

I de første årene fikk vi ikke lov av Statens vegvesen å fly over veien, noe som skapte ekstra tid pga. forflytning. Dette er nå gitt lov til i kontrakten.

Flyving over vei var ulovlig siden man var bekymret for om dronen kunne falle ned på trafikk. Sjansen for at dronen faller rett ned er ikke heller gitt.

Tilsvarende som for fly og helikopter, er sjansen for at noe går helt galt usannsynlig liten, og man kan lande dronen med bare 4 av 8 propeller intakt hvis noe feiler. I motsetning til de større bemannede kjøretøy, vil dronen her veie maks 2,5 kg og gi en vesentlig mindre skade. Flyving over vei er knyttet til små risikoer, siden det ofte ikke er hindringer her. Det er benyttet droner ved kartlegging av skred og da har man i stor grad flydd over vei.

I kompleks infrastruktur som vist over, er det vesentlige hindringer ved siden av bruhaugen. Størst risiko er under bruene og ved pilarer/ fundamentene siden det her blir turbulens.

Når dette er sagt er total flytid over veien pr. bru kanskje på totalt 1 minutt samtidig som bruk av drone må ses på som mindre risikofylt enn inspeksjon på nattestid med delstengt bru og kontinuerlig biltrafikk.

Flere av bruene vi har flydd på spenner også over Jernbanen. I de aller fleste tilfellene har vi hatt med Sikkerhetsmann under inspeksjonen, siden vi også har hatt behov for å komme til fots uten drone. Kravet fra Sikkerhetsmann på den første bruhaugen (Langset bru), var å overholde sikkerhetsavstand på min. 3 meter til strømførende kontaktledninger. Dette er en avstand som er under det droneoperatør bruker som sikkerhetsavstand til bruhaugen. Droneoperatør er uansett ansvarlig for å få flyvningene godkjent hos Luftfartstilsynet for å fly over kompleks infrastruktur.

**AAS-JAKOBSEN**Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway
Tel. +47 22 51 30 00

Pr.nr./Pr.no

11680-2

Dok.nr./Doc.no

11680-2-1

Rev.

0

Prosjekt/Project

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Tittel / Title

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

Side/Page

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.**43**

Arbeidsvarsling i Region øst har erfaring fra vår kontrakt, våre underleverandører og vårt opplegg. Endres noe, kan behovet for arbeidsvarsling også endres. Sikkert arbeid vil variere utfra mange ulike faktorer og det er derfor viktig å vurdere ny situasjon ved nytt utstyr og personell.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

44

10 ANBEFALT ARBEIDSFLYT FOR DRONEINSPEKSJONER

Følgende arbeidsflyt anbefales for å effektivisere bruk av drone som inspeksjonsform, samt for å kunne utnytte datafangst via elektro-optiske sensorer maksimalt:

Forarbeid:

Aktuelle dronebruene vurderes i samråd med Statens vegvesen. Droneoperatør får tilgang til bilder av bruene i Brutus og planlegger droneflyvning vha. elektroniske karttjenester. Det utarbeides SJA, som sendes arbeidsvarslingsavdelingen i de ulike distriktene hvor bruene befinner seg.

Droneoperatør varsler Luftfartstilsynet om aktuell droneaktivitet.

Bruinspektør utarbeider en generell skriftlig flyveplan før man begynner inspeksjonen av bru.

Denne listen utleveres droneoperatørene senest dagen før inspeksjonen, for å unngå å bruke tid på å formidle planen selv inspeksjonsdagen. Dvs. at det lages en liste over flyvningene som er ønsket og hvilke deler av bruene skal avbildes. Listen skal kun ta for seg flyvningen over den generelle delen av bruene, dvs. ikke detaljene. Flyvningene for å se detaljene planlegges på stedet sammen med bruinspektør.

Når klarsignal fra Luftfartstilsynet og oppdragsgiver er gitt, kan flyvningene starte opp.

På inspeksjonsdagen:

På inspeksjonsdagen begynner droneoperatørene flyvningene iht. den skriftlig flyveplanen.

Bruinspektør kan ankomme etter at flesteparten av disse flyvningene er foretatt.

Det første bruinspektøren gjør etter ankomst er å analysere resultatene fra de første flyvningene på pc-skjerm eller går over bruene fra bakkenivå for å skaffe seg oversikt samt inspirere områder dronen ikke kommer til på. Basert på disse resultatene, utarbeider bruinspektøren en flyveplan for videre flyvning (f. eks. detaljene).

Videre flyvning foretas med bruinspektør til stede og i hans regi.



Foto 46. Analyse av bilder inni bilen til droneoperatøren ute i felten.

Prosjekt/Project

Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020

Dato/Date

26.6.2019

Rev.dato/Date

Tittel / Title

Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.

Utført/Prep.By

KHB

Rev. av/Rev by

45Etterarbeid:

Bruinspektør foretar en analyse av hele datafangsten. Dette kan gjøres på stedet på pc-skjerm eller på bruinspektørs kontor. Store filer tar tid å laste opp i Brutus avhengig av netttilgang. Derfor er det gunstigst å gjøre dette fra kontoret for å unngå for mye venting. Alle filene gjøres tilgjengelig fra kontoret, der relevante skadebilder legges inn i Brutus og skadene registreres.

[Vis/skjul inspeksjonshistorikk](#)

Skaderegistrering

Vis reparerte/utgåtte skader

Filtrer:	<input type="checkbox"/> Ny skade 90 - ANNEN SKADE/MANGEL (1V) 81 - Manglende rengjøring (6V) 90 - ANNEN SKADE/MANGEL (1V) 75 - Avflaking (9T)	Inspeksjon																				
		Enkel inspeksjon 31.12.2019 (Planlagt) <input type="checkbox"/> Vis alle Skadetype: 81 - Manglende rengjøring <input type="checkbox"/> Skadegradskala: 1 2 3 4 Skadeårsak: 40 - MANGLENDE DRIFT/VEDLIKEHOLD <input type="checkbox"/> Skadekonsekvens: <table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> </table>	B	1	2	3	4	T	1	2	3	4	V	1	2	3	4	M	1	2	3	4
B	1	2	3	4																		
T	1	2	3	4																		
V	1	2	3	4																		
M	1	2	3	4																		
		Skadebeskrivelse: Sand, asfaltrester og soppel på gangbane VS. Fører til vennansamling.																				

Foto 47. Et skjermbilde av et eksempel på skaderegistrering i Brutus.

AAS-JAKOBSEN	Lilleakerveien 4A 0283 OSLO Norway Tel. +47 22 51 30 00	Pr.nr./Pr.no 11680-2	Dok.nr./Doc.no 11680-2-1	Rev. 0
Prosjekt/Project Hovedinspeksjon av bruer i Østfold, Akershus og Oslo 2015-2020	Dato/Date 26.6.2019	Rev.dato/Date		
Tittel / Title Erfaring ved bruk av droner til bruinspeksjon i Region øst 2015-2019.	Utført/Prep.By KHB	Rev. av/Rev by	Side/Page 46	

11 REFERANSER

- /1/ Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.
- /2/ Lov om luftfart (luftfartsloven).
- /3/ Statens vegvesens håndbok V441 Inspeksjonshåndbok for bruer.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 6706 Etterstad 0609 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen