



TEKNOLOGISK
INSTITUT

E-ALTAN

E-inspektion af altaner





TEKNOLOGISK
INSTITUT

Projektet kort

Projektet er støttet af Grundejernes Investeringsfond (GI) og gennemført i et samarbejde mellem

- Teknologisk Institut (projektleder)
- EasyInspect A/S
- Rambøll A/S



TEKNOLOGISK
INSTITUT



E-inspektion af altaner TL;DR

- Formålet med projektet er at udvikle en procedure for et e-inspektionsværktøj, som vil optimere og derved billiggøre drift og vedligehold. Dette sker ved, at skader opdages tidligere og samtidigt øges sikkerheden for såvel oprindelige som eftermonterede altaner på boliger. Skadesregistreringen kan bruges som grundlag for en egentlig tilstandsundersøgelse og/eller løbende monitorering.
- Systemet baseres på droneinspektion, hvor der traditionelt anvendes lift, kombineret med ekspertise fra erfarne tilstandsfolk til at levere markant billigere, periodiske og ensartede skadesregistreringer. Projektet initierer anvendelse af kunstig intelligens (artificial intelligence / AI) til analyse af indsamlede data fra altaner, og demonstrere, hvordan AI yderligere kan optimere og effektivisere inspektion med droner.
- I projektet skabes 3D-modeller af facade og altaner. I disse modeller registreres, markeres og kategoriseres synlige skader ved hjælp af AI - et AI assisteret system til skadesregistrering/eftersyn. Dermed underbygger projektet den digitale udvikling inden for byggeriet generelt.
- Projektet henvender sig til bla. professionelle rådgivere og droneinspektionsfirmaer. Inspektion med droner vil på den måde komplementere traditionelle skadesregistreringer og tilstandsundersøgelser.
- Projektet vil således a) reducere omkostningerne ved eftersyn, b) øge kvaliteten af drone-specialisters inspektion af bygningsdele og c) optimere dataudnyttelse til fordel for bygningsejere, brugere og inspektionsfirmaer og entreprenører.
- Projektet aktualiseres dels af nye teknologiske muligheder inden for droneinspektion og digital behandling af data med kunstig intelligens (AI) og dels fordi tilstand og kvalitet af ældre altaner er varierende og stort set ingen bliver systematisk efterset. Ligeledes er der et stærkt stigende antal eftermonterede altaner uden vedligeholdelsesplan.



E-inspektion af altaner

- Formålet med projektet er at udvikle en procedure for et e-inspektionsværktøj
- Systemet baseres på droneinspektion og anvendelse af kunstig intelligens (artificial intelligence / AI)
- I projektet skabes 3D-modeller af facade / altaner og skadesregistrering foretages med assistance af kunstig intelligens
- Inspektion med droner vil på den måde komplementere traditionelle skadesregistreringer, med det overordnede formål at billiggøre drift og vedligehold, og derved udbrede og systematisere eftersyn af altaner



Oversigt over delelementer:

- Procedure for droneinspektion:
 - Regler for professionel flyvning
 - Sikkerhed og lovgivning
 - Advisering af beboere
 - Overvejelser før en dronelflyvning
 - Planlægning af flyvning
- Altaner og skader:
 - Dronelflyvning og arbejdsgang
 - Typiske observationer/skader på altaner
 - Hvad kan vi se?
 - Skadesklasser – Altantyper og skadeskarakterer
- Case study 1 og 2:
 - E-inspektion – Altaninspektion i praksis
 - Skadesregistrering
 - Falske positive
 - Resultater
- Hovedbidrag fra E-altan projektet
- Erfaringer fra E-altan projektet



Regler for professionel flyvning

Droner må flyves af både professionelle og private, men det er kun droneførere med et dronebevis, som kan få tilladelse til at flyve inden for bymæssigt område. Dronebevis giver mulighed for:

- flyvning i bymæssigt område
- flyvning helt ind til 2 km til lufthavne
- overflyvning af mennesker

Anvendelsen af droner i erhvervsmæssigt øjemed er underlagt en række regler og krav. For yderligere information henvises til:

<https://droneregler.dk/Professionel-droneflyvning>





Sikkerhed og lovgivning

- Lovgivningsmæssige begrænsninger - må der overhovedet flyves det pågældende sted?
- Kan flyvningen foretages inden for gældende regler omkring sikkerhed – kan dronens sikkerhedszone for eksempel overholdes?
- Kan flyvningen foretages inden for gældende regler omkring persondata og overvågning?

Udover de lovpligtige forberedelser der er et led i enhver erhvervsflyvning i bymæssig bebyggelse, såsom advisering af myndigheder og indhentning af tilladelse fra bygningsejer, bør der tages særligt hensyn til beboere.





Advisering af beboere



Det er vigtigt, at der foretages en varsling af de berørte beboere, inden en dronflyvning foretages. Varslingen bør foretages skriftligt, i god tid og ad flere omgange, gerne 3 uger inden og igen hhv. en uge og en dag inden flyvningen foretages. Varslingen bør omfatte følgende information:

- Hvornår inspektionen foretages. Opgiv gerne flere dage da flyvninger kan blive aflyst pga. vejret.
- At formålet med flyvningen er fotografering af betonen.
- At flyvningen varetages af certificeret dronepilot.
- At politiet er underrettet om flyvningen.
- At de berørte altaner skal været ryddet.
- Hvilke tiltag beboerne selv kan gøre såfremt de ikke er trygge ved at der foretages droneinspektion af altanen.
- At der kan forekomme afspærringer på området og at disse respekteres.
- Kontakt oplysninger til henvendelser og spørgsmål angående flyvningen, persondata og overvågning.



Overvejelser før en droneflyvning

Ved anvendelsen af droner til inspektion af altaner er det særligt vigtigt at droneoperatør og bygningsejer forholder sig til.

- Det rette værktøj - kan pågældende opgave løses bedre og/eller billigere uden brug af drone? I den forbindelse er det ex. afgørende at fastlægge altantypen.
- Undersøg potentialet ved at anvende droner: Droner kan bruges til at tage enkelte fotos af detaljer, men også til at indhente omfattende datasæt til 3D modellering.
- Hvad kræver det at realisere de potentielle fordele.

Altantype	Velegnet	Egnet	Mindre egnet
Udkraget, traditionelt armeret		X	
Udkraget, med udliggerjern			X
Understøttet	X		

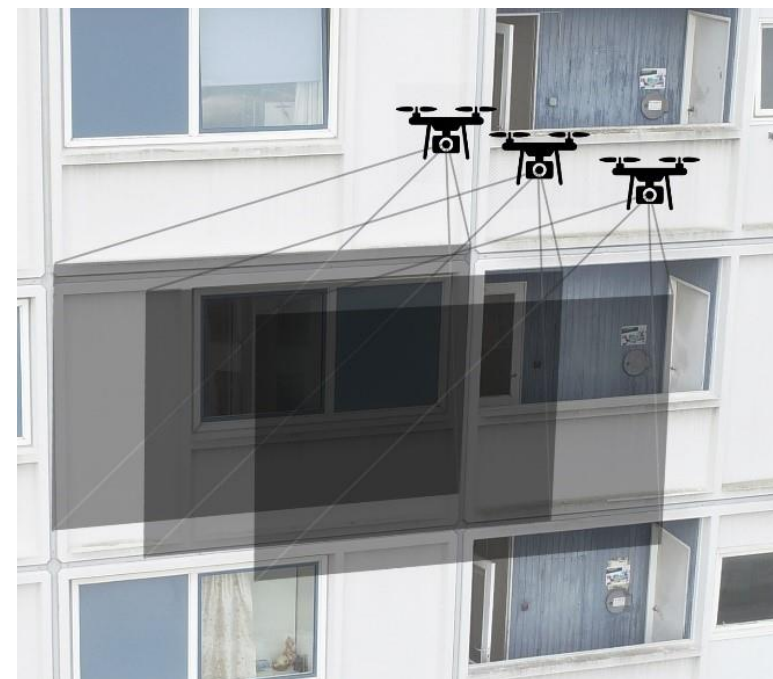
Generelle betragtninger om hvor egnet de tre mest normale betonaltantyper er til skadesregistrering med drone:



Planlægning af flyvning

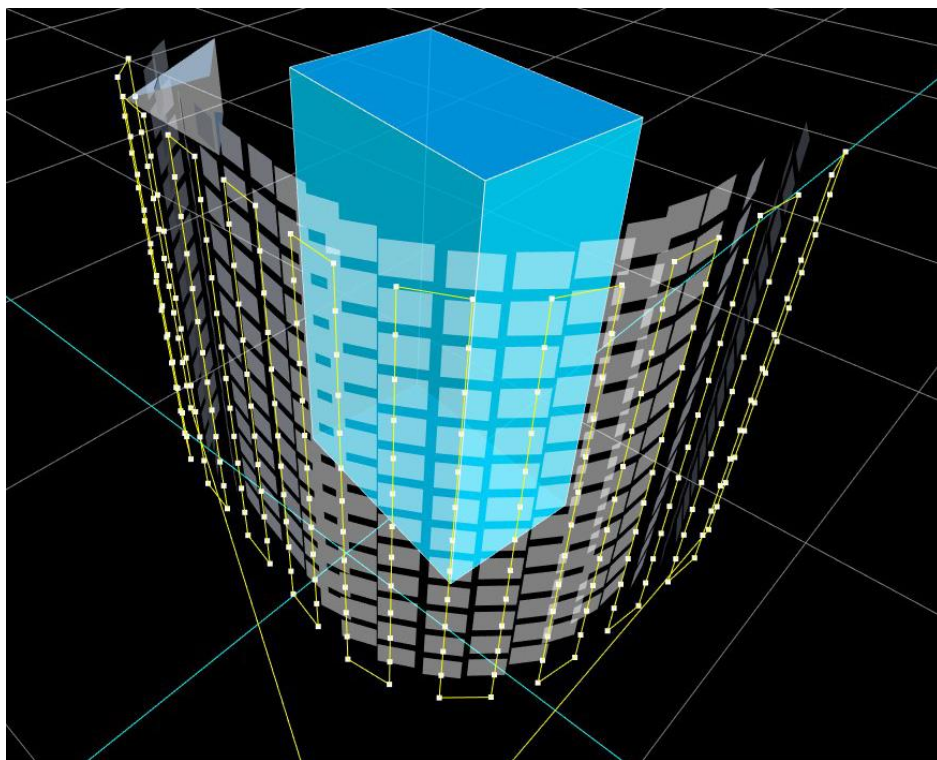
Nedenstående er målrettet fotografering til 3D modellering og skadesregistrering.

- **Ground Sampling Distance (GSD)** fortæller hvor stor en afstand som hver pixel i et billede er.
 - Har du en GSD på 2 cm/px og måler 2 pixel i billedet, har du en afstand på 4 cm ($2 \text{ cm/px} \times 2 \text{ px} = 4 \text{ cm}$)
 - Kvaliteten af billedematerialet opgøres i GSD.
 - Eksempel: Flyves der med en P4P V2 og ønskes en kvalitet på 0,30 cm/px er maks flyveafstand 10 meter fra strukturen (Overbliksbilleder er OK).
- **Overlap** fortæller hvor stort et overlap der er mellem to billeder – Altså hvor meget af det samme på billede som går igen på næste billede.
 - Der skal flyves med et overlap på 60-80%. Derved sikres der, at hvis ét billede er uskarpt, vil de to øvrige billeder dække hele området.
 - Hvis der anvendes termisk kamera, skal overlap være på mindst 80% og helst 90%.





Planlægning af flyvning



- **Vinkler**

- Der må maksimalt være 15 graders vinkelforskel mellem billederne. Skal du flyve rundt om et 90 graders hjørne, skal du derfor tage minimum 6 billedrækker ($90 \text{ grader} / 15 \text{ grader} = 6$)
- Det samme gælder når du skifter en horisontal vinkel. F.eks. fra en brystning og til undersiden af en altan.

- **Overgange**

- GSD må maksimalt fordobles, og helst holdes på 1,5x.
- Flyver du i 15 meters afstand og skal ud at tage overbliksbilleder i f.eks. 30 meter, bør du derfor lave en stribe ved 22,5 meter ($15,5 \text{ meter} \times 1,5 = 22,5$) og herefter kan du gå ud i 30 meter (eller $22,5 \text{ meter} \times 1,5 = 33,75 \text{ meter}$).

- **Overbliksbilleder**

- Der må ikke alene tages "close-up" billeder, da 3D-softwaren har brug for overbliksbilleder for at se hvordan alt hænger sammen.
- Det anbefales at tage overbliksbilleder som kan have hele strukturen i fokus (Mindre kan også gøre det).
- Hav gerne så meget jord med som muligt, men undgå himmel og hav.
- Ud over den tekniske nødvendighed af overbliksbilleder, så giver det også kunden mulighed for at få fotos af bygningen i sin helhed.



Typiske observationer/skader på altaner

- Afskallet maling.
- Mos og algebegroening.
- Dæklagsafskalninger på undersiden.
- Opfugtet beton.
- Frost springere.
- Langsgående revner i forkant.
- Revner i orienteret parallelt med facadeplanet.
- Udfældninger og revner med udfældninger.
- Revner og rust omkring stål scepter/brystningsfæster.
- Tværgående revner orienteret vinkelret på facadeplanet.
- ... and more!

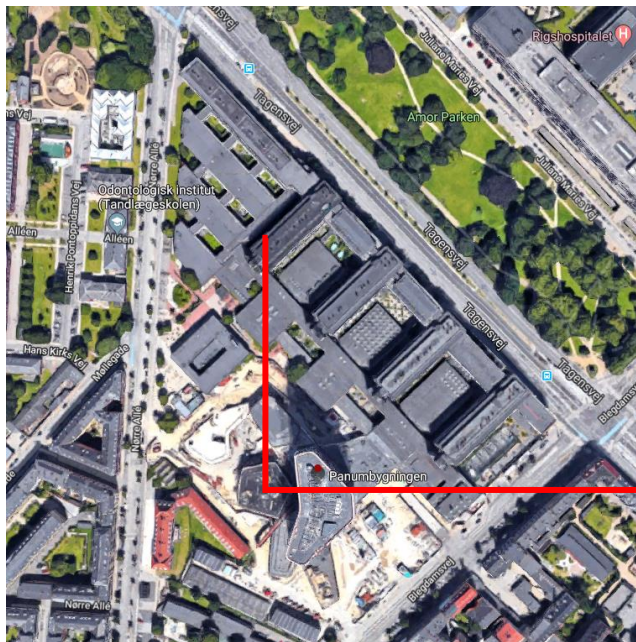
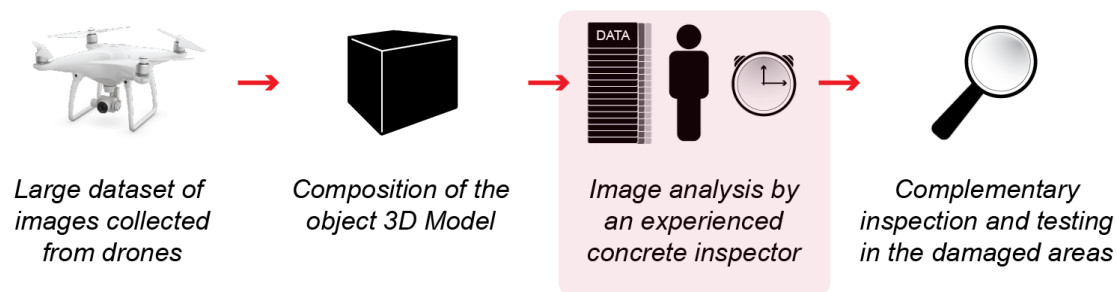




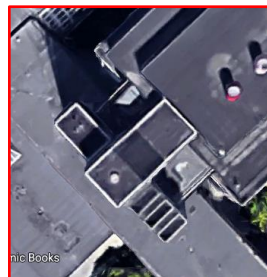
TEKNOLOGISK
INSTITUT

Droneflyvning og arbejdsgang

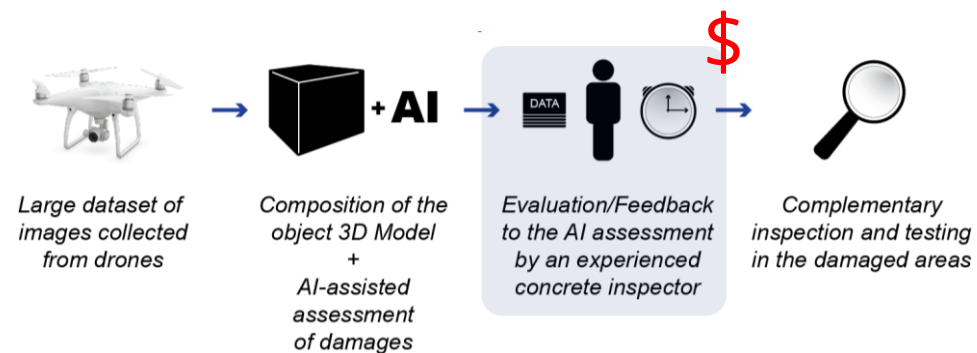
"Traditionel" procedure for skadesregistrering:



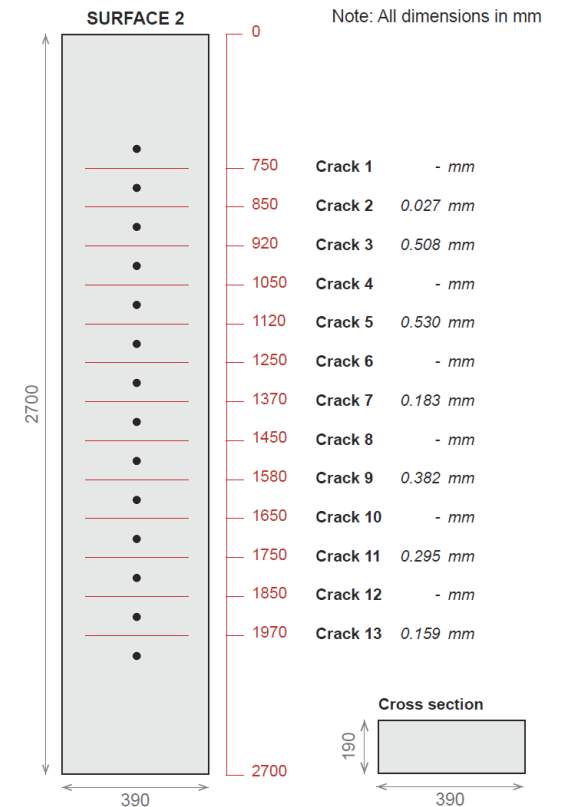
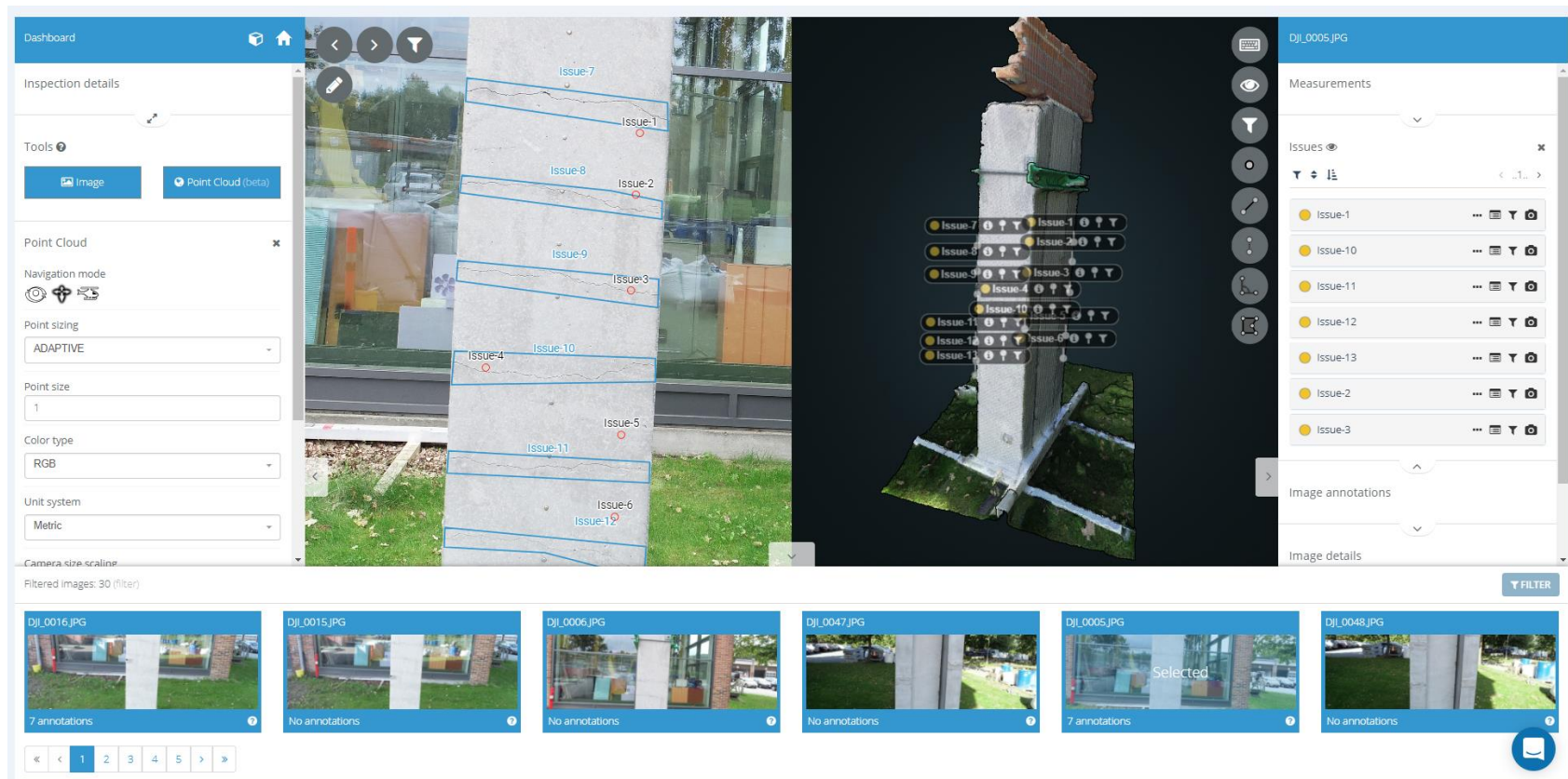
Mål for undersøgelse



AI-assisteret procedure for skadesregistrering:



Hvad kan vi se?





TEKNOLOGISK
INSTITUT

Res.: 17.525 px/mm



Res.: 0.057 mm/px

Res.: 6.850 px/mm



Res.: 0.146 mm/px

Res.: 3.663 px/mm



Res.: 0.273 mm/px



Skadesklasser – Altantyper

Altantype



Konstruktionstype

A. Udkragede
altaner

1. Udkragede med armeret beton

2. Udkragede med stålprofiler

3. Med udkragede understøttelse



B. Understøttede
altaner

1. Indeliggende

2. Delvist indeliggende

3. Søjle/bjælke understøttet





Skadesklasser – Altantyper

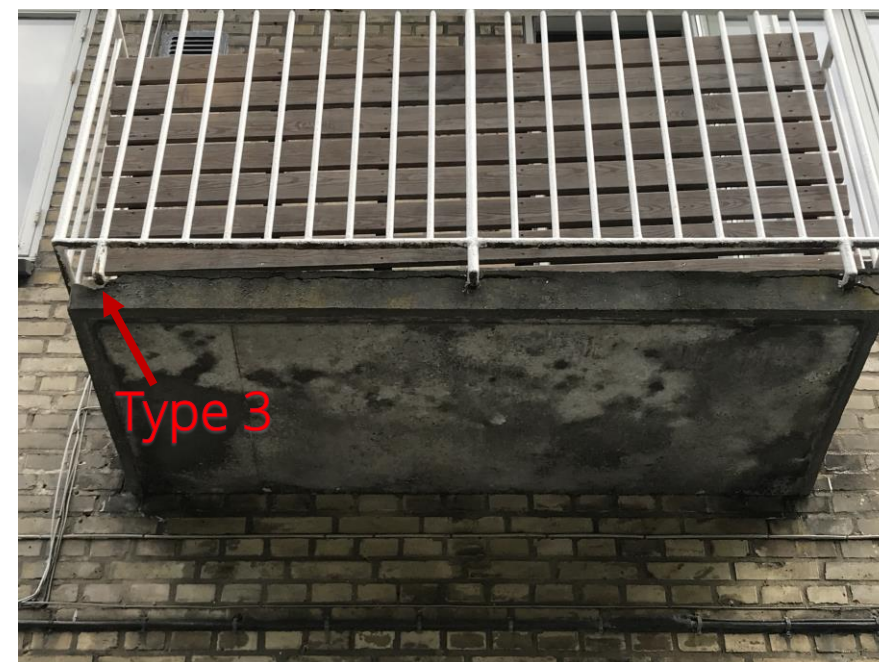
- Altantyper: Udkragede altaner

A. Udkragede altaner	Type	Info
	1. Udkragede med armeret beton	Udgøres typisk af en lokal udkragning af etageadskillelsen udført i armeret beton. Den bærende hovedarmering vil ofte være placeret i oversiden af pladen, vinkelret på facaden.
	2. Udkragede med stålprofiler	Udkragede betonaltaner hvor den primære bærende del udgøres af stålprofiler ført ind i og fastgjort til etageadskillelsen.
	3. Med udkragede understøttelse	Udkragede betonaltaner, understøttet af udkragede konsoller som typisk er fastgjort i tværskillevæg.



Skadesklasser– Karakterer

- **Type 0** = Typisk ubetydelige skader og forhold
- **Type 1** = Skader og forhold der potentiel kan påvirke betonens levetid og som bør holdes under observation. Årsag og omfang kan undersøges ved lejlighed.
- **Type 2** = Skader og forhold der ofte indikerer mere omfattende skader og iboende problematikker. Umiddelbar udbedring ikke nødvendig, men årsag og omfang bør snarest muligt undersøges.
- **Type 3** = Skader og forhold der erfaringsmæssigt har umiddelbar indflydelse på konstruktionens holdbarhed, levetid og sikkerhed. Indstilles til tilsandsundersøgelse.





Skadesklasser og karakterer

Karakter	1. Udkragede med armeret beton	Udkragede med stålprofiler*	Med udkragede understøttelse
0	- Afskallet maling. - Mos og algebegroning.	- Afskallet maling. - Mos og algebegroning.	Altanplade og understøtning: - Afskallet maling. - Mos og algebegroning.
1	- Dæklagsafskalninger på undersiden. - Opfugtet beton. - Netrevner.	- Opfugtet beton. - Netrevner.	Altanplade og understøtning: - Opfugtet beton. - Netrevner.
2	- Frost springere. - Tværgående revner orienteret vinkelret på facadeplanet. - Langsgående revner i forkant.	- Frost springere. - Langsgående revner i forkant.	Altanplade: - Frost springere. - Revner orienteret parallelt med facadeplanet. - Langsgående revner i forkant.
3	- Revner orienteret parallelt med facadeplanet. - Udfældninger og revner med udfældninger. - Revner og rust omkring stål scepter/brystningsfæster.	- Tværgående revner orienteret vinkelret på facadeplanet. - Revner i orienteret parallelt med facadeplanet. - Udfældninger og revner med udfældninger. - Dæklagsafskalninger på undersiden. - Revner i facaden. - Lodrette revner i hulkel - Revner og rust omkring stål scepter/brystningsfæster..	Altanplade: - Dæklagsafskalninger på undersiden. - Tværgående revner orienteret vinkelret på facadeplanet. - Udfældninger og revner med udfældninger. - Revner og rust omkring stål scepter/brystningsfæster.

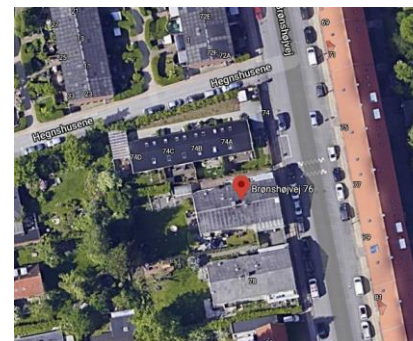
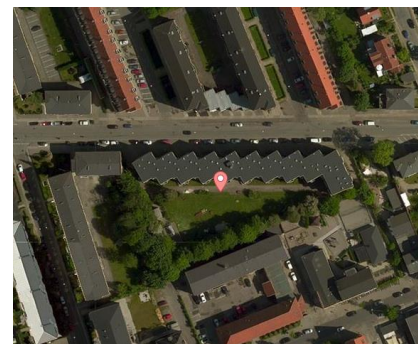
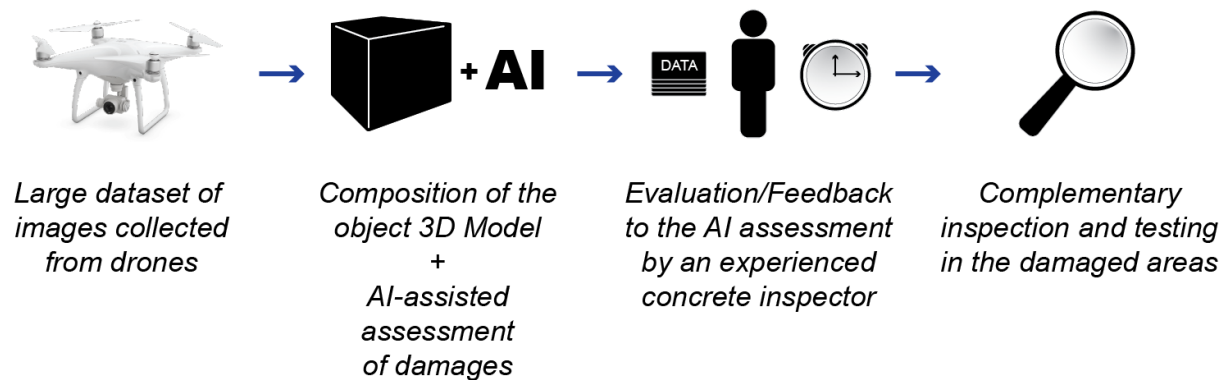
*Grundet den særlige risiko for kollaps af denne altantype, bør der udføres jævnlige, fysiske undersøgelser af tilstanden af de bærende profiler.



E-inspektion – Altaninspektion i praksis.

- Case Study 1 – Enkelt altaninspektion
- Case Study 2 – Etagebyggeri

Procedure for AI-assisteret inspektion





Case Study 1:

- Lokation: **Brønshøjvej** | Type: **A1** | Dato: **Juli 2020** | No. Images: **164 images** (DJI 4 Pro)

Balcony type

A. Udkragede altaner

1. Udkragede med armeret beton

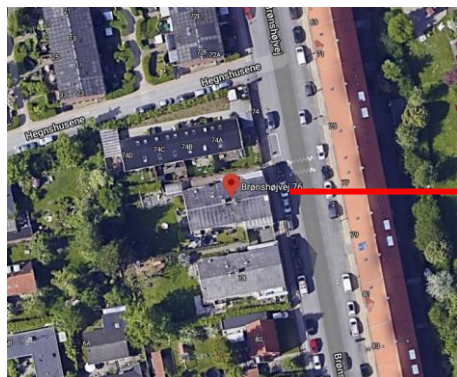


Photo 11/164



3D Model (Medium-resolution mesh)

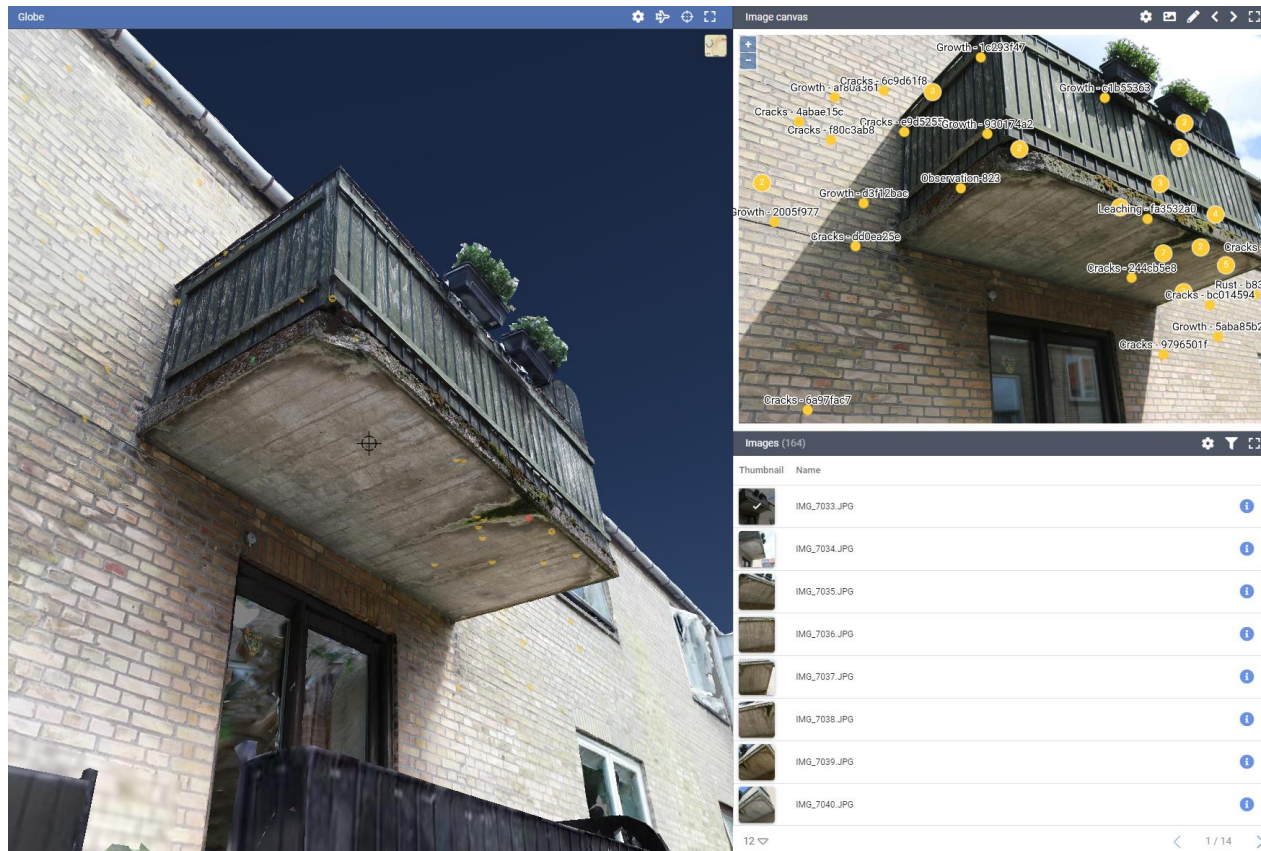


Video



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Case Study 1: Skadesregistrering



Crack / Spalling – Score = 1

Cracks - 71e9c128 - Overview

Name: Cracks - 71e9c128

Severity: Pending

Status: Pending Track Report

Tags: Cracks (This observation has no tags)

Note: Note

Image preview (2 of 2): IMG_7048.JPG, IMG_7035.JPG

Coordinates: Altitude: 67.5071956726434, Latitude: 55.695904518471174, Longitude: 12.498613906534848

Sizes: X: 0.01m, Y: 0.09m, Z: 0.1m, Volume: 0m³

Other info: ID: 268fede-79f5-491b-8ac8-5e672045a0f, Created: 11/2/2020, 2:47 pm, Last update: 11/2/2020, 2:47 pm



Spalling – Score = 3

Observation-27665 - Overview

Name: Observation-27665

Severity: Critical

Status: Pending Track Report

Tags: Alskaling (This observation has no tags)

Note: Note

Image preview (2 of 2): IMG_8086.JPG, IMG_7048.JPG

Coordinates: Altitude: 67.51517263579915, Latitude: 55.695902345916714, Longitude: 12.498598412401543

Sizes: X: 0.01m, Y: 0.09m, Z: 0.12m, Volume: 0m³

Other info: ID: 1de32e02-9ecb-4a7c-978c-5ee42e5edac, Created: 8/25/2020, 8:18 am, Last update: 1/26/2021, 7:25 am



Biological growth – Score = 0

Leaching - 3e745826 - Overview

Name: Leaching - 3e745826

Severity: Pending

Status: Pending Track Report

Tags: Leaching (This observation has no tags)

Note: Note

Image preview (2 of 2): IMG_7038.JPG, IMG_7030.JPG

Coordinates: Altitude: 67.54182301171622, Latitude: 55.69590787981444, Longitude: 12.49862426632552

Sizes: X: 0m, Y: 0.03m, Z: 0.29m, Volume: 0m³

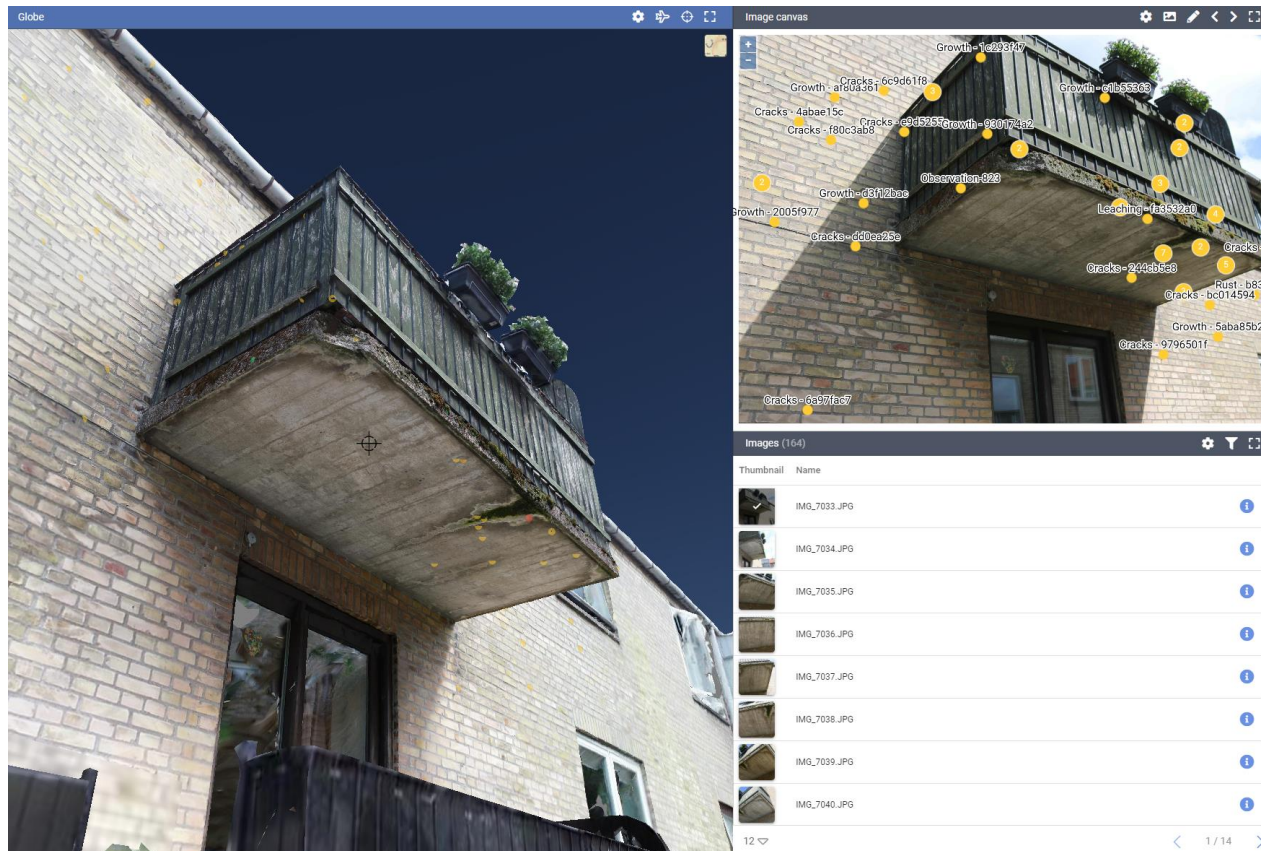
Other info: ID: 88824390-c202-4ca7-aaa1-65ab76492e84, Created: 11/2/2020, 2:47 pm, Last update: 11/2/2020, 2:47 pm



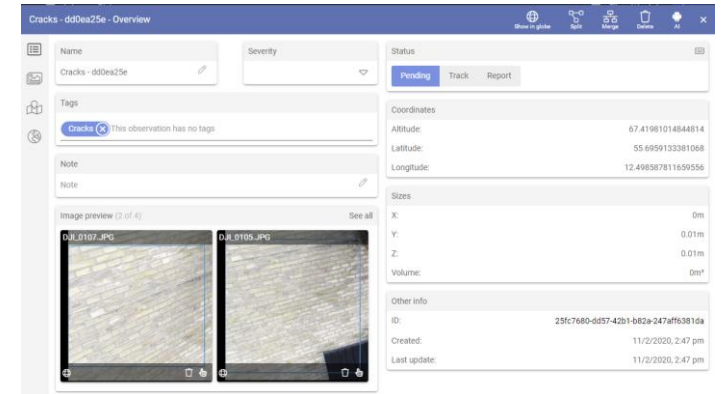


TEKNOLOGISK
INSTITUT

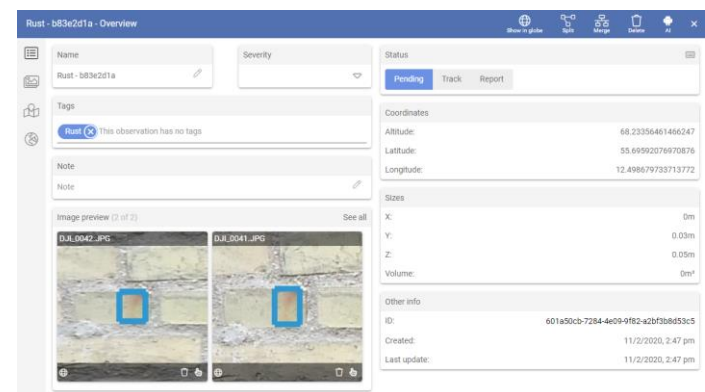
Case Study 1: Falske positiver



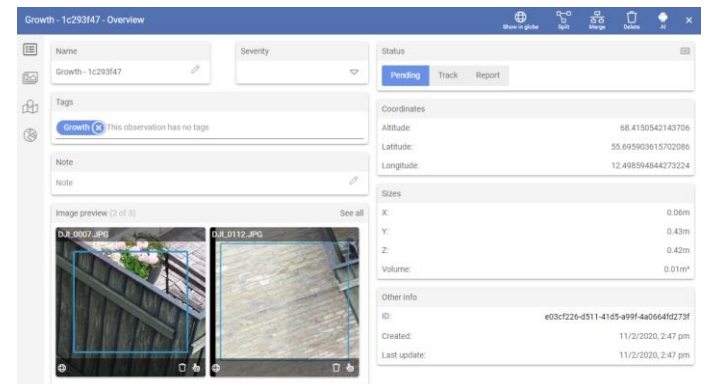
Crack?



Rust?



Biological growth?

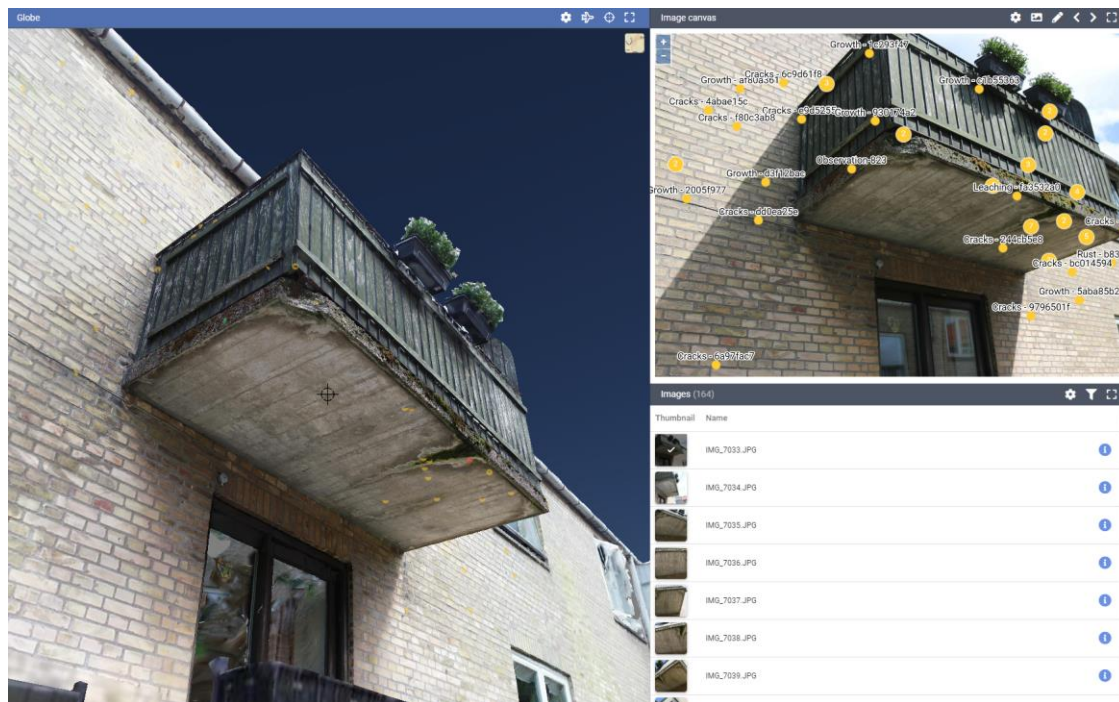




Case Study 1: Resultater af E-inspektionen

- Høj succesrate på genkendelse af skader i forkant og underside.
- Høj succesrate på skades identifikation (revner, afskalninger osv.)
- En del "falske positive", særligt på murværk og andre "ikke beton" dele.
- Markant hjælp til skadesmarkering og annotering af fagspecialist.

Note: Oplyst værende med udliggerjern, men undersøgelse med georadar viste at altanen var med armeret beton!





Case Study 2:

- Lokation: Hyltebjerg Alle | Type: A1 | Date: Nov. 2020 | No. Images: 1224 images (DJI 4 Pro)

Balcony type

A. Udkragede altaner

1. Udkragede med armeret beton

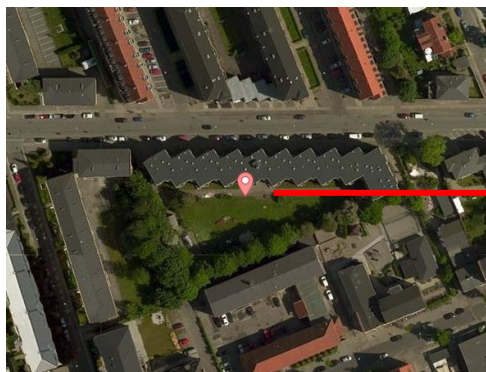


Photo 3/1224



3D Model (Medium-resolution mesh)

Video





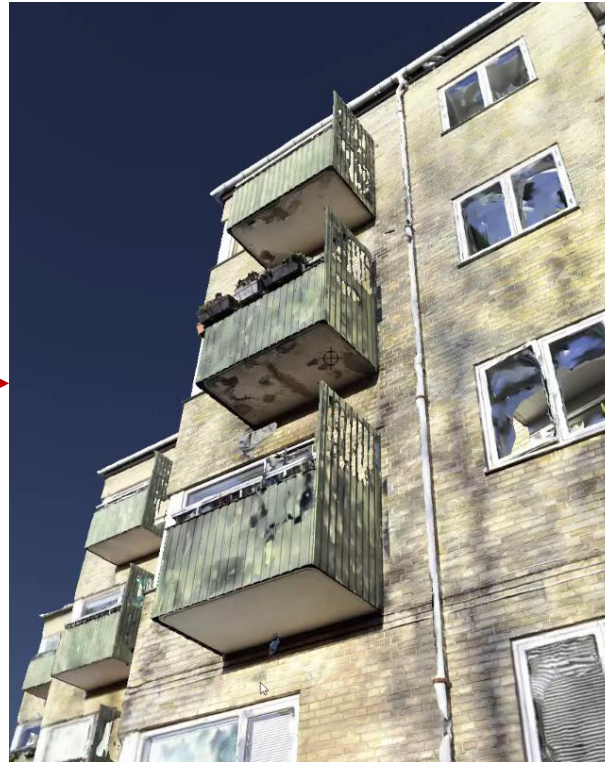
Case Study 2: Skadesregistrering

Selected balconies for discussion



3D Model (Medium-resolution mesh)

Video



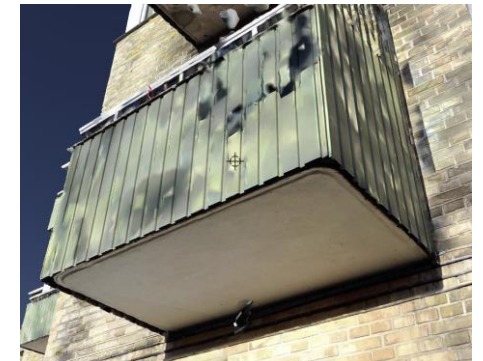
Nogle skader



En del skader



Ingen synlige skader





Case Study 2: Skadesregistrering



Spalling paint – Score 0

Spalling paint - Overview

Name: Spalling paint Severity: Low Status: Pending Track Report

Tags: This observation has no tags

Note: score 0

Image preview (1 of 1) See all

Coordinates: Altitude: -25.1883124788916 Latitude: 55.6825082114602 Longitude: 12.4867967784035

Sizes: X: 0.02m Y: 0.22m Z: 0.27m Volume: 0m³

Other info: ID: 32c16aaa-84ad-4fcc-8e7d-9fac3cd12ee Created: 12/10/2020, 8:57 am Last update: 12/10/2020, 8:57 am



Spalling paint – Score = 0

Spalling paint 1 - Overview

Name: Spalling paint 1 Severity: Low Status: Pending Track Report

Tags: This observation has no tags

Note: score 0

Image preview (1 of 1) See all

Coordinates: Altitude: -25.18959206681707 Latitude: 55.68250661199964 Longitude: 12.48680933204604

Sizes: X: 0.06m Y: 0.26m Z: 0.55m Volume: 0.01m³

Other info: ID: b4da3aa4-4b24-44c1-9856-9d265508773 Created: 12/10/2020, 9:03 am Last update: 12/10/2020, 9:06 am



Crack- Score =2

Crack 0 - Overview

Name: Crack 0 Severity: High Status: Pending Track Report

Tags: Review This observation has no tags

Note: score 2

Image preview (2 of 2) See all

Coordinates: Altitude: -25.20333459313759 Latitude: 55.682511378713936 Longitude: 12.486825151454768

Sizes: X: 0.01m Y: 0.2m Z: 0.25m Volume: 0m³

Other info: ID: 8ac3e955-afa1-4279-a47c-ea1542785ec Created: 12/10/2020, 9:08 am Last update: 12/10/2020, 9:11 am





Case Study 2: Skadesregistrering



Spalling paint – Score = 0

Spalling paint 5 - Overview

Name: Spalling paint 5

Severity: Low

Status: Pending Track Report

Tags: This observation has no tags

Note: score 0

Image preview (1 of 1):

Coordinates: Altitude: -28.14728889441115, Latitude: 55.68250403454282, Longitude: 12.486804705682513

Sizes: X: 0.01m, Y: 0.38m, Z: 0.48m, Volume: 0m³

Other info: ID: #f4c135e-1957-4934-a7f9-bd7059a11599, Created: 12/10/2020, 9:24 am, Last update: 12/10/2020, 9:42 am

Spalling – Score = 3

Observation 21218 - Overview

Name: Observation 21218

Severity: Critical

Status: Pending Track Report

Tags: Cracks This observation has no tags

Note: Score 3, parallel med facade

Image preview (1 of 1):

Coordinates: Altitude: -28.165776895484026, Latitude: 55.68250826468518, Longitude: 12.486810208666148

Sizes: X: 0m, Y: 0.11m, Z: 0.18m, Volume: 0m³

Other info: ID: 24b77f41-1258-4a65-ab67-588a99f5902, Created: 12/10/2020, 9:26 am, Last update: 2/1/2021, 9:08 am

Spalling – Score = 1

Observation 70390 - Overview

Name: Observation 70390

Severity: High

Status: Pending Track Report

Tags: Missing This observation has no tags

Note: Score 1

Image preview (1 of 1):

Coordinates: Altitude: -28.185421279625864, Latitude: 55.68251455566996, Longitude: 12.4868154843287

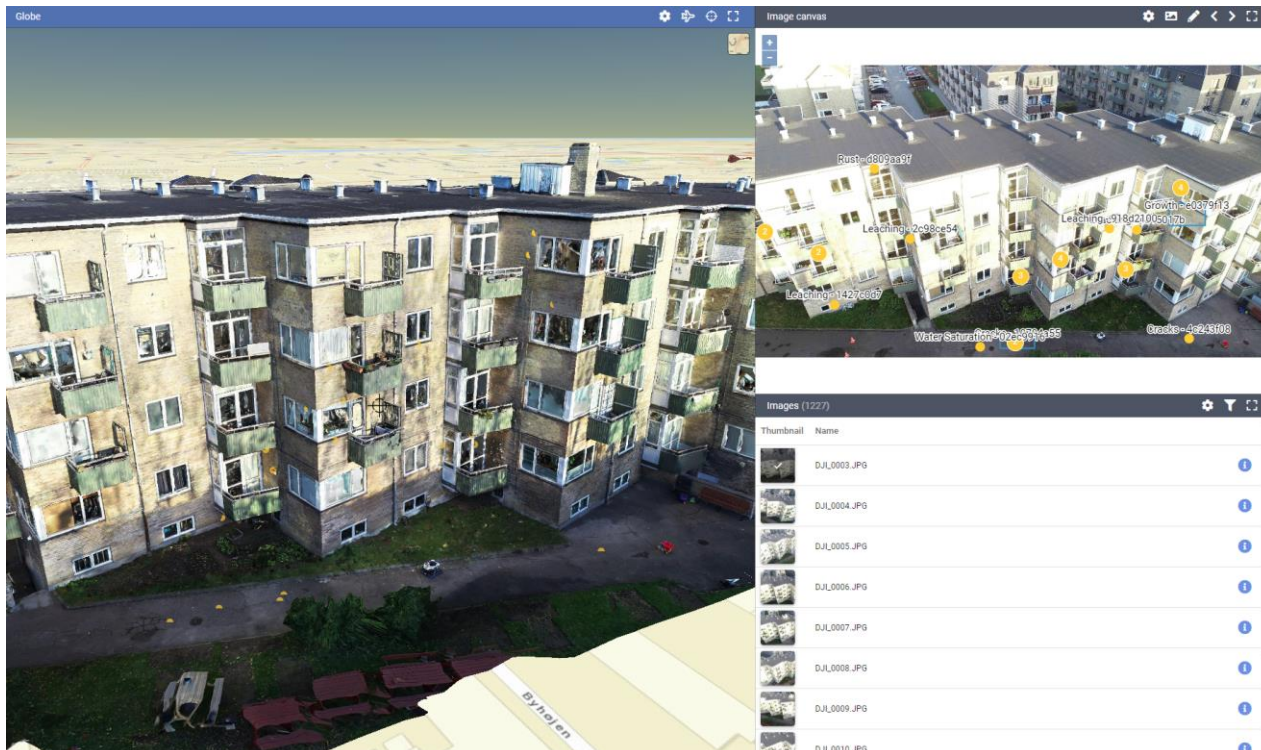
Sizes: X: 0.01m, Y: 0.11m, Z: 0.2m, Volume: 0m³

Other info: ID: 3d4f1886-69c5-47b5-baac-49730eeb98e5, Created: 12/10/2020, 9:33 am, Last update: 12/10/2020, 9:42 am

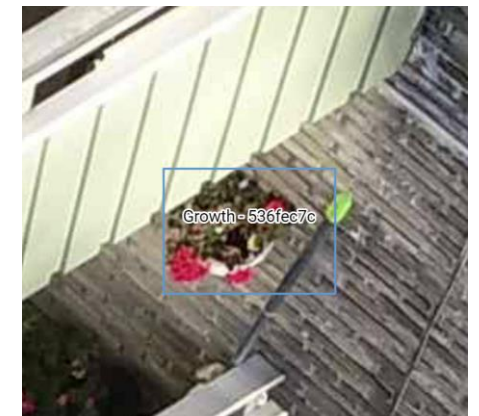
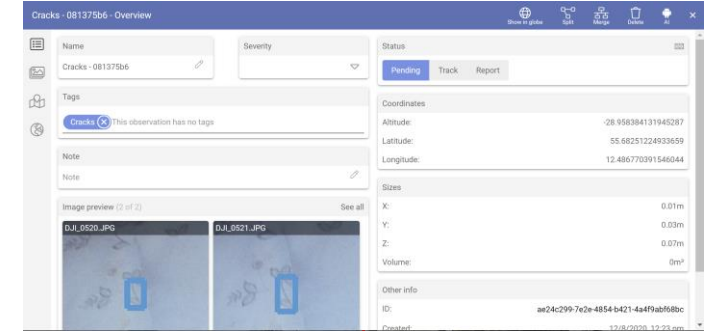


TEKNOLOGISK
INSTITUT

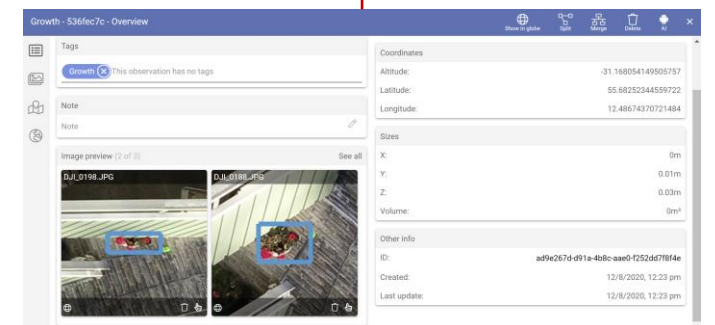
Case Study 2: False positives



Crack?



Biological growth?

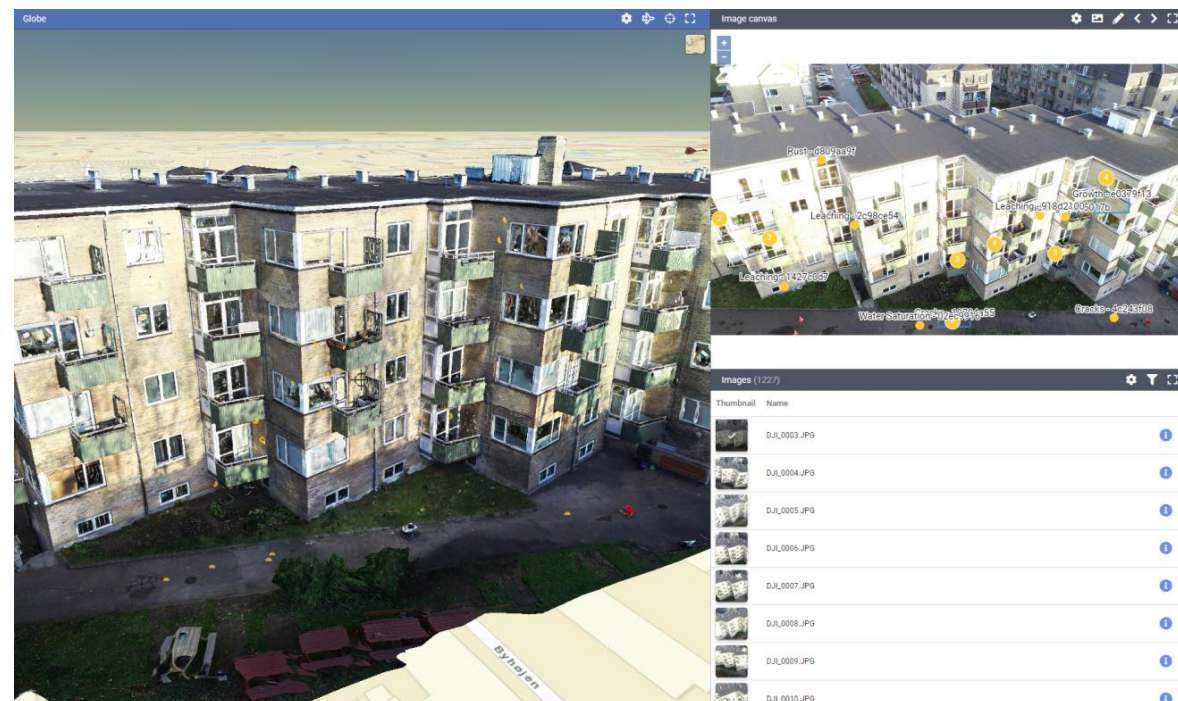




Case Study 2: Resultater af E-inspektionen

- Lav succesrate på genkendelse af skader på betondele.
- Moderat succesrate på skades identifikation...revner, afskalninger osv.
- En del "falske positive", særligt på murværk og andre "ikke beton" dele.
- Moderat hjælp til skadesmarkering og annotering af fagspecialist.

Note: De hvidmalede betonoverflader syntest svære at håndtere for AI'en. Case Study 2 viser problemet med at anvende en AI der kun i begrænset omfang er trænet til brug på altaner.





Hovedbidrag fra E-altan projektet

- **Drone inspektion:** Projektet fastlægger generelle retningslinjer for flyvning med henblik på altanundersøgelser, herunder indhentning af kvalitetsdata til 3D modellering, advisering af beboere, indhentning af nødvendig information mm.
- **Altantyper og skadesklasser:** Forslag til skadesklasser med afsæt i overordnede altantyper, målrettet skadesannotering i digitale værktøjer.
- **Case Studies:** Anvendelse af "state of the art" kunstig intelligens (AI) på data indhentet med drone til automatisk registrering af skader på altaner af varierende kompleksitet. Resultaterne er evalueret i forhold til fordele og ulemper.



Erfaringer fra E-altan projektet

- **Drone inspektion og 3D modellering:** Droneteknologi og 3D software er modent nok til bred anvendelse i forbindelse med skadesregistrering og løbende monitorering af altaner og etagebyggeri generelt.
- **AI-baseret skadesregistrering:** Ret pålideligt til at finde revner og skader på rå beton, men der skal yderligere træning til for at opnå samme succesrate på mere forskelligartet betonoverflader. Uanset effektiviteten af AI`en vil en evaluering af resultaterne af en fagspecialist være påkrævet.
- **Fremtiden:** Anvendelsen af AI, som assistent for fagspecialisten, er afgørende for udbredelsen af E-inspektion af den almene boligmasse.
Yderligere oplæring af de af de kunstige intelligenssystemer er nødvendig!



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Tak for opmærksomheden!

Morten Holten Petersen
7220 2973
mhop@teknologisk.dk