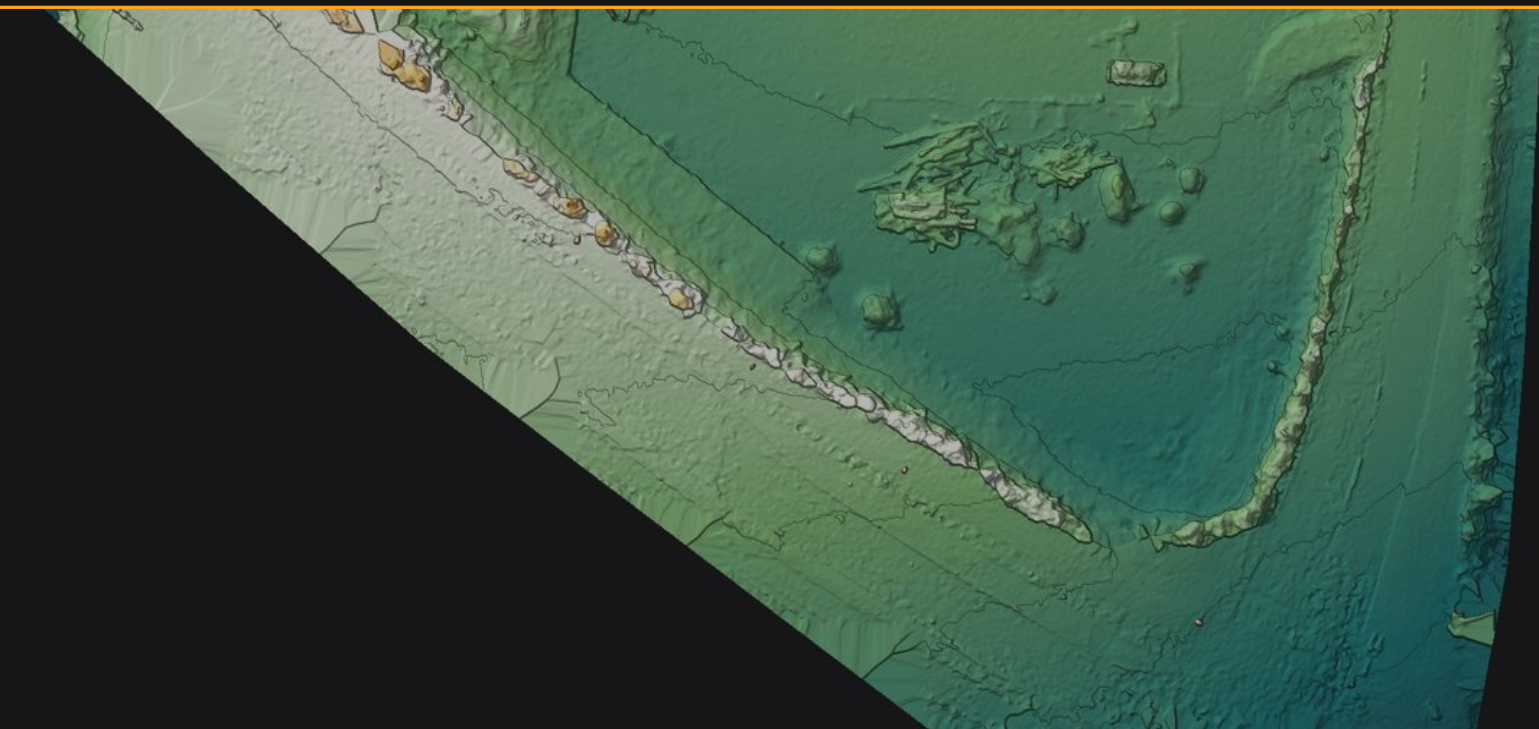




Droneopmåling og volumen- beregning

Tre flyvninger over den samme erhvervsgrund gennem godt to år. Sådan ser leverancen ud, når du bestiller kortlægning hos Danish Drone Dynamics — inklusive de forbehold du bør kende, før du bruger tallene til noget.

SAGENS HOVEDTAL

Lokalitet	Erhvervsgrund, Storkbh.	Kalibreret	100 %
Interesseområde	ca. 3,5 ha	Beregnet volumen	1.520 m ³ ± 2 %
Flyvninger i rapporten	3 over 27 måneder	Software	Pix4D Enterprise 4.5.6
Bedste opløsning	1,60 cm/px	Koordinatsystem	UTM 33N (se afsnit 01)
Billeder i alt	323	Rapportdato	25-07-2026

AFSNIT 01

Opgave og metode

Opgaven. Et interesseområde på cirka 3,5 hektar er kortlagt mellem marts 2023 og juli 2025, mens grunden gik fra aktiv erhvervsgrund med haller til ryddet areal med ny vejføring, rundkørsel og parkeringsanlæg. Formålet var at dokumentere tilstanden på hvert tidspunkt og kunne gøre op, hvor meget materiale der blev fjernet undervejs.

Optagelse. Alle flyvninger er udført som automatiske gitterflyvninger med nadir-kamera, altså med kameraet pegende lodret nedad. Det er den rigtige metode når formålet er terræn, arealer og volumener. Skal facader og lodrette flader med, suppleres der med skråbilleder.

Beregning. Billederne er behandlet i Pix4Dmapper 4.5.6 på egen workstation. Programmet finder fælles punkter mellem overlappende billeder, genskaber kameraets position for hvert billede og bygger derefter en tæt punktsky, en højdemodel og et ortofoto. Alle data forbliver i Danmark.

Koordinatsystem. Denne sag er beregnet i UTM zone 33N på WGS84 (EPSG:32633). Dansk standard er ETRS89 / UTM zone 32 (EPSG:25832), som dækker hele Sjælland, og det er det system nye opgaver leveres i. Modellerne i denne rapport kan omprojiceres uden tab.

Anvendt udstyr

Drone	Sensor	Opløsning	Anvendt til
DJI Mavic Air	6,07 × 4,55 mm · 4056×3040	1,60 – 1,77 cm/px	Epoke 1 og 2
DJI Mavic 3 Thermal	6,42 × 4,81 mm · 4000×3000	2,22 cm/px	Epoke 3
Workstation	Ryzen 9 5900X · RTX 4070 Ti	64 GB RAM	Beregning

Hvad GSD betyder

GSD – ground sampling distance – er hvor mange centimeter virkelighed der ligger i én pixel. Ved 1,60 cm/px svarer hver pixel til et kvadrat på 1,6 × 1,6 cm på jorden. Det er den vigtigste enkeltparameter for hvor små detaljer der kan aflæses og måles.

AFSNIT 02

Datagrundlag

Tre uafhængige beregninger af samme lokalitet. Alle billeder blev kalibreret i alle tre epoker, hvilket er forudsætningen for at modellerne kan sammenlignes.

Epoke	Dato	Drone	Højde	GSD	Dækket	Billeder
1	19-03-2023	Mavic Air	49,9 m	1,60 cm	3,38 ha	105
2	10-09-2023	Mavic Air	51,9 m	1,77 cm	3,63 ha	95
3	12-07-2025	Mavic 3T	65,3 m	2,22 cm	5,66 ha	123

Flyvehøjderne er aflæst i billedernes XMP-data. Det dækkede areal er målt på hvert ortofotos gyldige billedflade; metoden rammer Pix4D's egen arealangivelse på epoke 1 inden for 0,01 hektar. Interesseområdet er de samme cirka 3,5 hektar hele vejen igennem – de enkelte flyvninger dækker lidt forskelligt, fordi flyveområdet blev tilpasset fra gang til gang. Alle beregninger er lavet på det fælles overlap.

En fjerde flyvning fra december 2023 er udeladt af denne rapport. Den blev fløjet som en oblique-mission med en anden drone, dækkede 8,08 hektar, og dens højdereference lå 99 meter fra de øvrige. Den kan derfor ikke sammenlignes direkte med de tre her – se afsnit 06.

Beregningskvalitet, epoke 2

Parameter	Resultat	Vurdering
Kalibrerede billeder	95 af 95	Fuldt
Median nøglepunkter pr. billede	36.060	Meget højt
Median match pr. billede	18.843	Meget højt
Middel reprojektionsfejl	0,281 px	Grænse: 1 px
Tæthed i punktsky	599 punkter/m³	838 på epoke 1
3D-punkter i alt	5.434.492	—
Kameraoptimering, afvigelse	12,43 %	Bør være under 5 %

Alle nøgletal ligger pænt på nær ét: afvigelsen mellem kameraets startparametre og de optimerede parametre er 12,43 %, hvor Pix4D sætter grænsen ved 5 % og markerer intervallet 5–20 % som problematisk, men ikke kritisk. Det er typisk for kompaktdroner uden mekanisk lukker og betyder, at modellens indre geometri er god, men dens absolutte skala og orientering hviler alene på dronens GNSS. Konsekvensen er beskrevet i afsnit 06.

AFSNIT 03

Ortofoto

Et ortofoto er geometrisk korrigeret, så målestokken er den samme overalt i billedet. Derfor kan der måles direkte i det — modsat et almindeligt luftfoto.



Epoke 1 · marts 2023

105 billeder fra 49,9 meters højde sat sammen til ét sammenhængende kort med 1,60 cm pr. pixel. Hallerne, oplaget og hele adgangsvejen står skarpt nok til at aflæse enkelte paller og køretøjer.

Hvad kunden kan bruge det til

- Måle arealer og afstande direkte
- Dokumentere tilstand på en given dato
- Lægge som baggrund i projektmateriale
- Sammenligne med senere flyvninger
- Vise entreprenøren hvor der er ryddet

LEVERES SOM

GeoTIFF med verdensfil · JPEG · KML

Måling i praksis

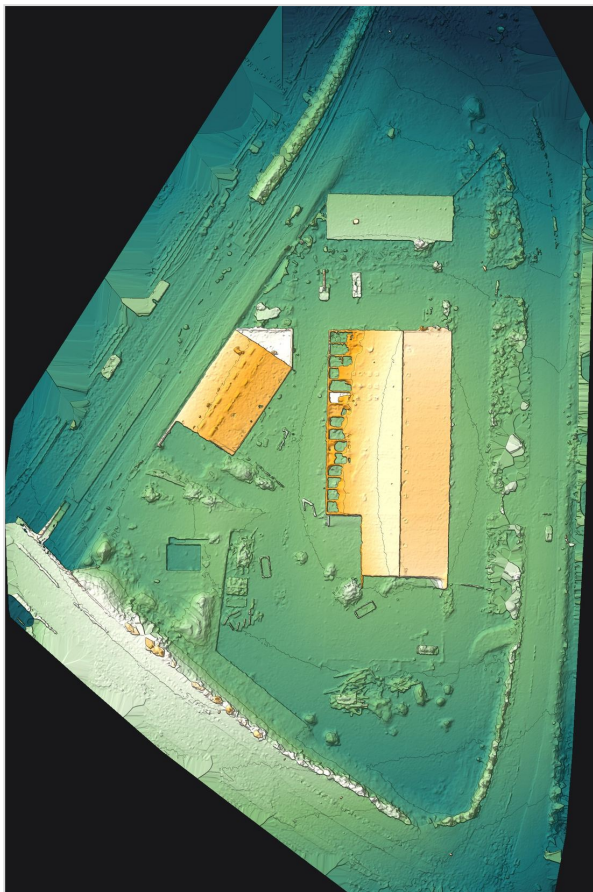


Her er en udestue fra en anden sag målt op direkte i ortofotoet: 14,3 m² grundflade, 5,12 m lang og 2,8 m bred. Målingerne er trukket i kortet, ikke på stedet. Til de fleste formål — arealopgørelser, materialebestilling, kontrol af tegninger — er det både hurtigere og billigere end at sende nogen ud med et målebånd. Skal tallet holde i en byggesag, skal det suppleres med fastpunkter, jf. afsnit 05.

AFSNIT 04

Højdemodel

Højdemodellen giver hver eneste pixel sin egen højde. Den er grundlaget for koter, fald, profiler og alt der har med volumen at gøre.



DSM med 1 m koter

Farverne går fra lavt (blågrønt) over terrænniveau (grønt) til højt (orange). Kurverne er lagt hvert hele meter. Hallerne træder tydeligt frem, og terrænfaldet ned mod banelegemet i venstre side er let at aflæse.

Nøgletal

Højdespænd	17,4 m
Kotelinjer	1,00 m
Cellestørrelse	1,6 cm
Dækning	3,38 ha

DSM eller DTM?

En DSM viser overfladen — tage, bunker, træer og alt hvad der står på grunden. En DTM viser terrænet, når bygninger og bevoksning er filtreret fra. Skal der regnes jordvolumen, er det DTM der skal bruges. Skal der dokumenteres tilstand, er DSM det rigtige. Begge kan leveres.

Leveres som

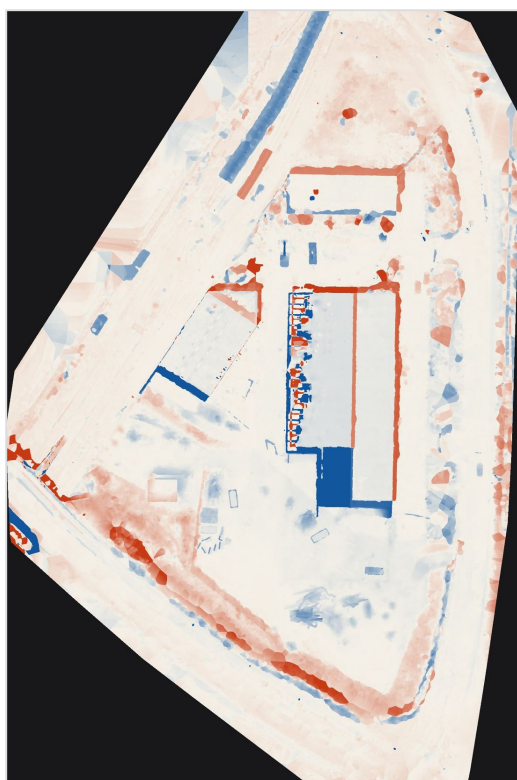
GeoTIFF i fuld opløsning · XYZ-punktfil · konturkort i DXF eller SHP med valgfrit koteinterval · PDF-plot i valgfri målestok · punktsky i LAS eller LAZ · tekstureret 3D-mesh i OBJ, FBX eller GLB.

AFSNIT 05

Volumenberegning

Volumen beregnes som forskellen mellem to højdemodeller. Metoden kræver, at de to modeller først bringes på fælles højdereference — se forbeholdene i afsnit 06.

303 m ²	1.520 m ³	5,0 m	6,2 m
NEDREVET GRUNDFLADE	FJERNET VOLUMEN ± 2 %	MIDDELHØJDE	MAKS. HØJDE



Forskelskort · marts til september 2023

Kortet viser højdeforskellen mellem epoke 1 og epoke 2. Blåt er fjernet materiale, rødt er tilført. De skarpt afgrænsede blå rektangler er nedrevne bygningsdele. De bløde røde bræmmer langs hegn og skel er løvspring mellem marts og september — en højdemodel ser jo også vegetationen.

- Fjernet materiale
- Uændret
- Tilført materiale

Sådan er tallet fremkommet

- 01** Begge højdemodeller resamples til fælles gitter
- 02** Systematisk højdeforskydning fjernes ved robust median
- 03** Kun sammenhængende ændringer over tærsklen regnes med
- 04** Volumen summeres celle for celle
- 05** Gentages på 4 gitterstørrelser og 3 tærskler

Robusthed. Beregningen er gentaget på gitterstørrelser fra 10 til 50 cm og med tre forskellige tærskler for hvad der tæller som ændring. Alle tolv resultater ligger mellem 1.501 og 1.534 m³ — en spredning på ±1,1 %. Tallet er altså ikke følsomt over for de valg der er truffet undervejs, og angives konservativt som 1.520 m³ ± 2 %. Det svarer til omkring 100 lastbillæs.

Hele grunden. Over det samlede areal blev der flyttet betydeligt mere materiale, men det tal opgives ikke her: en stor del af den tilsyneladende tilførsel er vegetation der er sprunget ud mellem marts og september. Skal jordvolumen opgøres for hele grunden, kræver det en terrænmodel hvor bevoksning er filtreret fra.

AFSNIT 06

Nøjagtighed og forbehold

Det her afsnit er det vigtigste i rapporten. Tallene ovenfor er kun brugbare, hvis man ved hvad de kan bære.

DENNE OPMÅLING ER UDFØRT UDEN FASTPUNKTER

Der er ikke lagt målepunkter ud på jorden og indmålt med GNSS-rover. Modellernes placering hviler derfor alene på dronens egen positionsbestemmelse, som måler til ellipsoiden og ikke til DVR90. Det har konkrete konsekvenser, beskrevet herunder.

Type nøjagtighed	Uden fastpunkter	Med fastpunkter
Relativ — afstand og areal (1–2× GSD)	2 – 3 cm	2 – 3 cm
Relativ — højdeforskel (2–3× GSD)	3 – 5 cm	3 – 5 cm
Absolut — vandret placering	1 – 3 m	2 – 4 cm
Absolut — højde	Flere meter forkert	3 – 5 cm
Sammenligning mellem epoker	Kræver korrektion	Direkte

Konstateret drift. Mellem epoke 1 og epoke 2 — samme grund, samme drone, seks måneders mellemrum — lå de to højdemodeller 2,59 meter forskudt lodret. Forskydningen er systematisk og er fjernet ved robust median inden volumenberegningen. Efter korrektion ligger 68 % af arealet stabilt inden for ± 30 cm, hvilket er udgangspunktet for at volumentallet overhovedet kan bruges.

Forskellige højdereferencer. Den udeladte december-flyvning blev fløjet med en anden drone, og dens højdemodel ligger 99 meter fra de øvrige. Efter korrektion lå kun 15 % af fladen stabilt, mod 68 % da de to Mavic Air-flyvninger blev sammenlignet indbyrdes. Ved gentagne opmålinger bør der flyves med samme drone hele forløbet igennem.

Fastpunkter og relativ nøjagtighed. Fastpunkter forbedrer ikke i sig selv den relative nøjagtighed — den afhænger af billedkvalitet og overlap. Deres værdi ligger i den absolutte placering, og i at fjerne den systematiske skåldeformation der ellers kan opstå hen over store flader.

Vegetation. En højdemodel registrerer overfladen som den er, inklusive græs, buske og træer. Ved sammenligning hen over en vækstsæson vil bevoksning fremstå som tilført materiale. Skal jordvolumen opgøres præcist, skal der beregnes en terrænmodel hvor bevoksning er filtreret fra.

Kort sagt

Tallene i denne rapport kan bruges til styring, opfølgning og projektering. Skal et volumen indgå i en afregning mellem to parter, anbefales fastpunkter — det koster 40 minutter ekstra på pladsen og flytter usikkerheden fra meter til centimeter.

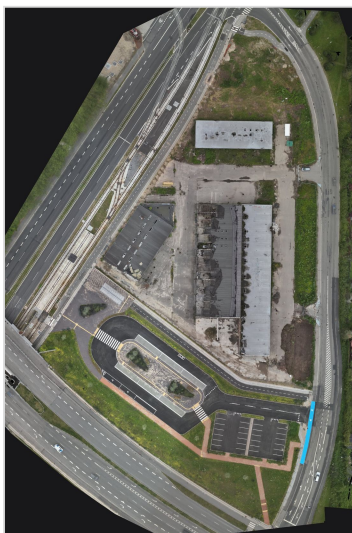
AFSNIT 07

Resultatet over to år

To uafhængige beregninger med 27 måneders mellemrum i samme koordinatsystem.



MARTS 2023



JULI 2025

Industrigrunden med haller, oplag og skrot er blevet til et ryddet areal med ny vejføring, rundkørsel, cykelsti og parkeringsanlæg. Fordi begge modeller ligger i samme koordinatsystem, kan de lægges direkte oven på hinanden og ændringerne måles. Den absolutte placering er meterpræcis uden fastpunkter – ændringerne er centimeterpræcise.

Leverancen i denne sag

Leverance	Format	Omfang
Ortofoto	GeoTIFF · JPEG · KML	3 epoker
Højdemodel (DSM)	GeoTIFF · XYZ	2 epoker
Tæt punktsky	LAS · LAZ	op til 838 pkt./m ³
Tekstureret 3D-model	OBJ · FBX · GLB	2 epoker
Forskelskort og volumenrapport	GeoTIFF · PDF · XLSX	1 par
Kvalitetsrapport fra Pix4D	PDF	Pr. epoke

Har du en grund der skal måles op, så send mig en adresse — så får du et fast tilbud samme dag.

Jakob Vejle Jensen

Danish Drone Dynamics · +45 60 81 18 19