



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# Anvendelse af drone til termisk kortlægning af forureningsudstrømning

MST-792-00136

11-2016

Redaktion: Miljøstyrelsen

Tekst & Fotos, Rapport & Bilag 1:  
Drone Systems: Henrik Grosen, Sune Nielsen

Tekst & Fotos, Bilag 2:  
Drone Systems: Henrik Grosen, Sune Nielsen  
DTU: Christian Köppl, Filippo Bandini, Sheng  
Wang, Monica García, Peter Bauer-Gottwein

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

# Indhold

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Introduktion</b>                         | <b>4</b>  |
| 1.1       | Resume                                      | 4         |
| 1.2       | Formål                                      | 4         |
| 1.3       | Problemstilling                             | 4         |
| 1.4       | Hovedkonklusioner                           | 4         |
| 1.5       | Lokaliteterne                               | 5         |
| 1.5.1     | Gasværksgrunden, Horsens Havn               | 5         |
| 1.5.2     | Grindsted Å                                 | 5         |
| 1.6       | Drone Systems                               | 6         |
| <b>2.</b> | <b>Teori</b>                                | <b>7</b>  |
| 2.1       | Termografi                                  | 7         |
| 2.2       | Opblanding og densitetsforskel              | 7         |
| 2.3       | Vejrforhold                                 | 7         |
| 2.4       | Brug af drone                               | 8         |
| <b>3.</b> | <b>Udstyr &amp; teknik</b>                  | <b>9</b>  |
| 3.1       | Droneplatform                               | 9         |
| 3.2       | Payload                                     | 9         |
| 3.2.1     | Termisk Sensor                              | 9         |
| 3.2.2     | OBA   | 9         |
| 3.3       | Ground control                              | 9         |
| 3.4       | Dataanalyse                                 | 9         |
| <b>4.</b> | <b>Metode</b>                               | <b>10</b> |
| 4.1       | Forundersøgelse                             | 10        |
| 4.2       | Flyveplanlægning                            | 10        |
| 4.3       | Udførsel af flyvning                        | 10        |
| 4.4       | Analyse af termisk data                     | 11        |
| <b>5.</b> | <b>Eksterne bemærkninger</b>                | <b>12</b> |
| 5.1       | Helle Blæsbjerg - Region Midtjylland, Miljø | 12        |
| 5.2       | Henrik Bjørn - VIA                          | 12        |
| <b>6.</b> | <b>Konklusioner</b>                         | <b>13</b> |
| 6.1       | Horsens Havn                                | 13        |
| 6.2       | Grindsted Å                                 | 13        |
| 6.3       | Tværgående perspektiver                     | 13        |
| 6.4       | Metodens anvendelighed                      | 14        |

# 1. Introduktion

## 1.1 Resume

Der er gennemført fem flyvninger både ved Horsens Havn og Grindsted Å. Flyvningerne er udført under forskellige vejrforhold og med forskellige flyvehøjder. Drone, kamera og dataopsamling har fungeret som forventet. Ved Horsens Havn er der identificeret to indsivningszoner ved påvisning af faner af opvarmet vand i overfladen. Efterfølgende indhentning af oplysninger fra Horsens Vand viser, at der på de to identificerede steder udledes regnvand. Sandsynligvis skyldes temperaturforskellene udløb af regnvand. Det er uafklaret om indsivning af forurenede grundvand sker sammen med regnvandsudledningerne. Ved Grindsted Å er der ikke identificeret indsivningszoner.

Denne rapport sammenfatter projektet på et overordnet plan.

Bilag 1 beskriver Horsens Havn.

Bilag 2 beskriver Grindsted Å, hvor de udførte undersøgelser er udvidet med deltagelse af DTU. Detaljeret beskrivelser, resultater og konklusioner herfra er indeholdt i Bilag 2.

## 1.2 Formål

Projektets overordnede formål er at afprøve og dokumentere, om termisk kortlægning fra drone kan anvendes som en tidsbesparende og omkostningsreducerende platform til detektion af grundvandsindsivning til havnebassin og vandløb. De specifikke formål ved de to feltlokaliteter var følgende:

- at lokalisere indsivningszoner ved spunsvæg til havnebassin, samt at identificere punkter med størst gennemsvivning ved Horsens Havn
- at teste metoden mod allerede kortlagte indsivningszoner i Grindsted Å

## 1.3 Problemstilling

Ændringen af jordforureningsloven i 2013 indebærer, at regionerne nu har indsats mod jordforureninger, der truer overfladevand. Derfor vil der fremadrettet være behov for at identificere indsivningszoner af forurenede grundvand. Denne identifikation vil medføre, at undersøgelser samt afværgeforanstaltninger kan målrettes og dermed øge effekten af indsatsen samt reducere udgifterne.

Det er dog tidskrævende og ressourcetungt at udføre det manuelle feltarbejde, der kræves for at indsamle nødvendig data til identifikation. Det vil derfor være en betydelig lettelse, hvis der kan udvikles en sikker, men mindre resursekrævende, metode til identifikation af indsivningszoner.

## 1.4 Hovedkonklusioner

Termograferingen med tilhørende dataopsamling er gennemført som planlagt. Ved Horsens Havn er der lokaliseret indsivningszoner. Det er uafklaret om forureningsindsivningen sker ved de identificerede zoner. Ved Grindsted Å er der ikke lokaliseret indsivningszoner. Der er observeret temperaturforskelle både på lokal og større skala, men observationerne er ikke tilstrækkelig konsistent og tydelig til at disse kan betragtes som bekræftede indsivningszoner.

Projektets resultater viser, at termografering fra drone generelt er en anvendelig metode til identifikation af indsivningszoner i havvand/havnebassiner. Grænseværdier for hvornår metoden er anvendelig skal identificeres. Når grænseværdierne er opfyldt er termografering fra drone en tidsbesparende og omkostningsreducerende platform.

## 1.5 Lokalteterne

### 1.5.1 Gasværksgrunden, Horsens Havn



Horsens Havn

Den 20.000 m<sup>2</sup> store gasværksgrund ved Horsens Havn er kraftigt forurennet. Der siver forurennet grundvand fra gasværksgrunden ud i havnebassinet langs Nordre Kaj. Der er anslået et flow på 20m<sup>3</sup>/døgn igennem spunsvæggen. Vandet indeholder PAH-forbindelser (polyaromatiske hydrocarboner), BTEX'er (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene), naphthalen og phenoler. Primært område for overflyvning er markeret med den røde ellipse. Sekundært område for overflyvning er markeret med den blå ellipse. Områderne er udvalgt og prioriteret af Miljø, Region Midtjylland.

### 1.5.2 Grindsted Å



Grindsted Å

I Grindsted Å har DTU Miljø gennem flere år dokumenteret forurening fra omkringliggende punktkilder, primært Grindstedværket. I modsætning til Gasværksgrunden i Horsens, er indsivningerne i Grindsted Å nøje kortlagt, hvilket giver mulighed for at verificere metoden til iden-

tifikation af indsivningszoner i vandløb. DTU Miljø har defineret det primære fokusområde, som er markeret med blå ramme. Sekundært ønskes at hele strækning af åen i kortudsnittet overflyves. De røde markeringer er allerede identificerede indsivningszoner.

## **1.6 Drone Systems**

Virksomheden Drone Systems udfører de termiske droneinspektioner.

Hertil anvender Drone Systems eget udviklet termisk system til drone, som gemmer indsamlet termisk data digitalt korreleret med geografisk information. Systemet er velafprøvet og verificeret til termografisk kortlægning og inspektion inden for fjernvarmesektoren.

## 2. Teori

### 2.1 Termografi

Termografi kan anvendes til at identificere temperaturforskelle i overfladevand.

Alle legemer udsender varmestråling. Ved almindelige temperaturer er der tale om stråling med bølgelængder i området 0,9 – 14  $\mu\text{m}$ . Strålingens intensitet afhænger af legemets temperatur og beskaffenheden af legemets overflade. Nogle materialer, som f.eks. vand eller anodiseret aluminium, er gode varmestrålere. De har høj emissivitet forstået på den måde, at de ved en given temperatur afgiver over 90% af den teoretisk mulige varmestråling, mens blanke metaller ved samme temperatur kun afgiver 2 – 5%. En del af varmestrålingen absorberes ved passage gennem af atmosfærens luft, primært i området 5 – 7,5  $\mu\text{m}$ .

Varmestrålingen opfører sig i øvrigt som synligt lys og kan derfor fokuseres med en linse og opsamles af en detektor i et kamera. I et termografisk kamera måles strålingens intensitet hen over billedfeltet, der er opdelt i pixels. På baggrund af den registrerede intensitet udregnes en "temperatur" for hver pixel.

Omregningen fra registreret strålingsintensitet til temperatur er kompliceret og de temperaturer, der angives i et termografisk billede, er ikke pålidelige absolutte temperaturer. Men når der måles på overflader med samme emissivitet (f.eks. vand) er de registrerede temperaturdifferencer i hvert enkelt billede overordentligt pålidelige.

### 2.2 Opblanding og densitetsforskel

Ved indstrømmende grundvand i stillestående vand, som f.eks. Horsens Havn: Om vinteren opstår temperaturkontrasterne, fordi det indstrømmende grundvand har en ret konstant temperatur på 8 – 9 °C, og dermed er varmere end det modtagende vand, der om vinteren har en temperatur på 0 – 4 °C. Temperaturforskellen giver en forskel i densitet. Det varmere, og derfor lettere grundvand stiger op og giver en registrerbar termisk kontrast i overfladen, da der kun i begrænset omfang finder en opblanding sted. Ved indstrømning af grundvand med lavt saltindhold i havvand, vil forskellene i saltindhold ligeledes give en forskel i densitet, der forstærker den termisk betingede densitetsforskel.

Ved indstrømmende grundvand i vand med høj aktivitet som f.eks. Grindsted Å: Det forventes ikke at densitetsforskel er en betydelig faktor når der er høj aktivitet i vandet. Høj aktivitet medfører en hurtig vertikal opblanding (over dybden) og en langsommere opblanding på tværs af åen. Dermed forventes en indsvivning at kunne identificeres som en temperaturforskel på tværs af åen, hvis indsvivningen er stor nok i forhold til åens vandføring (Aisopou, A., 2014).

### 2.3 Vejrforhold

Isdannelse i havvand begynder når vandtemperaturen er ca. -2 °C. Termografering bør prioriteres udført når vandtemperaturen i havnebassinet er imellem -2 °C og +4 °C.

Herved opnås en optimal densitetsforskel imellem havvand og indsvivende grundvand samt størst mulig temperaturkontrast i vandoverfladen.

Termografering kan ikke udføres med pålidelige resultater når der er direkte sollys. Endvidere bør termografering ikke udføres imens overfladetemperaturer har en forhøjet temperatur grundet opvarmning fra sollys. Af den årsag bør termografering først foretages flere timer efter solnedgang. Dette sikrer at ophobet varme er diffunderet.

Øget vindhastighed giver øget aktivitet i vandet, og derigennem øget opblanding. For at opnå bedst mulige temperaturkontraster ønskes så lav opblanding som muligt. Derfor tilstræbes flyvning ved lav vindhastighed.

Ved Grindsted Å udføres to af de fem flyvninger i sommerhalvåret, når vandtemperaturen i åen er så høj som mulig. Dette giver et potentielt negativt bidrag af densitetsopdrift, men, givet den hurtige opblanding ved Grindsted Å vurderes densitetsopdrift at udgøre en ubetydelig faktor.

## **2.4 Brug af drone**

Ved at anvende en drone som platform kan større områder effektivt afsøges. Desuden muliggør en drone platform dækning af områder der normalt er svært tilgængelige.



# 3. Udstyr & teknik

## 3.1 Droneplatform

Dronen (DJI S1000+) er en professionel og alsidig octocopter med stor løftekapacitet og driftssikkerhed. Den giver en høj grad af sikkerhed, idet den har indbygget redundans, således at den kan flyve med op til 2 motorer ude af drift. Dronen muliggør en bred palette af payloads i kraft af dens løftekapacitet og montagesystem.

Detaljer og specifikationer:

<http://www.dji.com/product/spreading-wings-s1000-plus>

## 3.2 Payload

Payload systemet er udviklet af Drone Systems. Det er bygget op omkring en 2-akslet gimbal, der er har monteret en termisk sensor samt processerings- og lagringsenhed, kaldet OBA.

### 3.2.1 Termisk Sensor

Den termiske sensor er en FLIR Tau 2 336 LWIR (opløsning: 336 × 256 pixels).

FLIR Systems er verdens største leverandør af termografiske sensorer og systemer. Tau 2 er en serie af termiske sensorer der er designet til integration på bl.a. droner.

Detaljer og specifikationer:

<http://www.flir.com/cores/display/?id=54717>

### 3.2.2 OBA

OBA er et embedded computersystem som interfacer til den termiske sensor samt dronens flightcontroller. Systemet producerer og gemmer et termisk billede 9 gange i sekundet. Til hvert billede gemmes data fra flightcontrolleren, bl.a. GPS position, højde og kompasretning.

## 3.3 Ground control

Ground control består af to enheder.

Primær kontrol af dronen foretages via et setup bestående af Taranis X9D samt 2 stk. Black Pearl 7" HD Diversity Screens. Piloten kan herfra kontrollere OBA samt observere livefeeds fra den termiske sensor og et fremadrettet kamera.

Detaljer og specifikationer:

[http://www.frsky-rc.com/product/pro.php?pro\\_id=113](http://www.frsky-rc.com/product/pro.php?pro_id=113)

iPad Ground Station anvendes som sekundær kontrolenhed. Herfra kan assistenten aktivere forud planlagte flyveruter, og monitorere deres afvikling. Enheden fungerer også som backup for den primære kontrolenhed, således at kontrol af dronen kan overtages hvis nødvendigt.

Detaljer og specifikationer:

<http://www.dji.com/product/ipad-ground-station>

## 3.4 Dataanalyse

Til at analysere de indsamlede termiske data anvendes FLIR Tools.

Detaljer og specifikationer:

<http://www.flir.com/instruments/display/?id=54865>

# 4. Metode

## 4.1 Forundersøgelse

Inden der foretages droneflyvning udføres en forundersøgelse af området. Denne består til dels af en visuel on-site inspektion, hvor området evalueres for elementer, der kan udgøre en sikkerhedsrisiko for flyvning, f.eks. master, skorstene og elledninger. Desuden foretages en desktop undersøgelse, hvor det undersøges, om der er myndighedsinstanser, der skal underrettes og at krævede minimumsafstande overholdes til lufthavne, naturfredede områder, militæranlæg, radarinstallationer, jernbane, tæt bebyggelse og hovedveje.

## 4.2 Flyveplanlægning

Det verificeres om vejrforhold tillader flyvning. Hvis det er hensigtsmæssigt planlægges flyvning ved lavvande. Hvis der skal afvikles foruddefineret flyveruter, skal disse udarbejdes. Sensorens opløsning samt field-of-view er relevant, når flyvehøjde skal bestemmes, idet hver pixel dækker et areal der afhænger af højden. Umiddelbart inden flyvning skal det verificeres, at der ikke er publiceret NOTAMS (Notice to Airmen), der forhindrer flyvning i området.

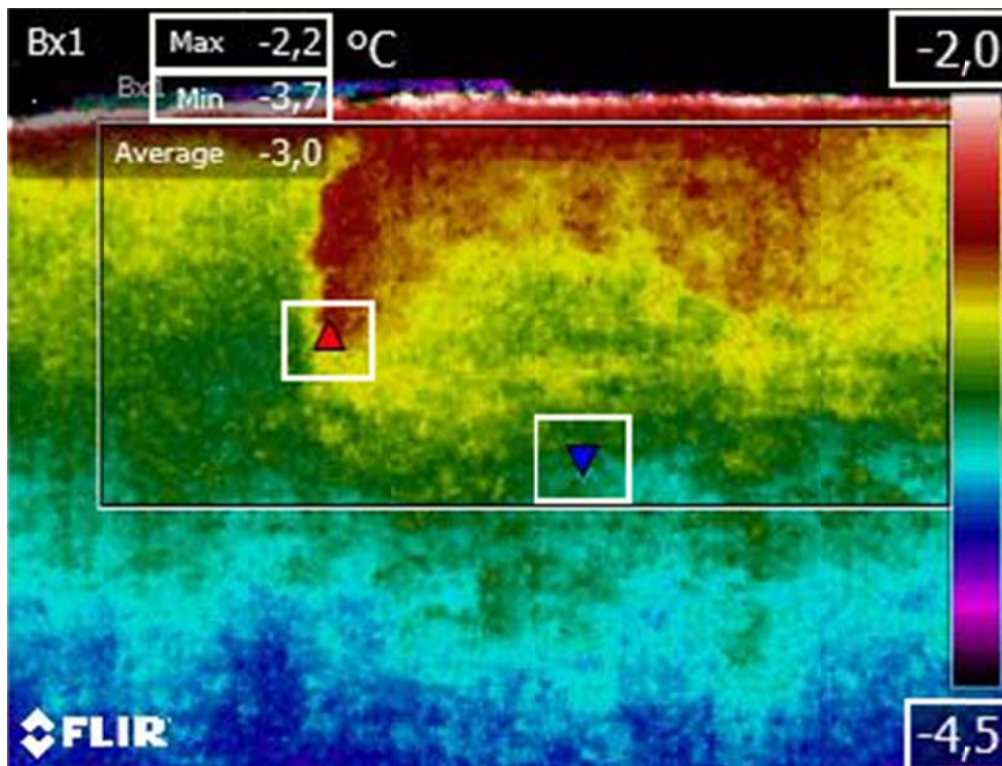
## 4.3 Udførsel af flyvning

En flyvning vil normalt gennemgå følgende trin:

- Først udføres et preflight check, hvor dronen gennemses for løse dele, skruer og forbindelser. Mekaniske dele skal bevæge sig uhindret. Alle propeller skal være uden deformationer/skader
- Landingszone etableres med kegler på en jævn fast overflade hvor der ikke er forhindringer
- Flyvning initieres og flyverute startes hvis planlagt. Under flyvning bibeholdes visuel line-of-sight til dronen. Dataindsamling aktiveres og deaktiveres efter behov.
- Når den planlagte flyvning er færdig, bringes dronen til landing manuelt i den etablerede landingszone
- Efter flyvning udføres et postflight check af samme karakter som preflight check

#### 4.4 Analyse af termisk data

De indsamlede termiske data efterbehandles i Flir Tools. Den visuelle præsentation af de termiske billeder er afhængig af hvilken palette der vælges under bearbejdningen. Som palette anvendes Rainbow HC. Den høje kontrast er valgt, fordi den giver en klar og skarp visualisering af temperaturforholdene i det valgte billede. En høj kontrast palette kan være misvisende, hvis ikke man er opmærksom på temperaturdifferencerne i billedet. Derfor er ROI (region of interest) tilføjet som supplement til de høje kontraster. I ROI angives det varmeste og koldeste punkt ved hhv. en rød og en blå trekant. Den relative temperatur gældende for punkterne vises i øverste venstre hjørne af billedet.



Eksempel på termisk billede med ROI. Den laveste relative temperatur indenfor ROI ses i øverste venstre hjørne og er angivet til  $-3,7^{\circ}\text{C}$ . Den højeste er angivet til  $-2,2^{\circ}\text{C}$ .

Under databehandling i FLIR Tools er der angivet følgende parameterværdier:

- Emissivitet er sat til 0,98 for vand.  
<http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>
- Afstand til objekt er sat lig flyvehøjden. Denne parameter kompenserer for absorption af varmestråling i atmosfæren mellem objektet/overfladen og den termiske sensor.
- Den relative luftfugtighed er sat til 50% på alle billeder (uanset den faktiske). Denne standardværdi anbefales af FLIR ved termografering under korte afstande.

# 5. Eksterne bemærkninger

## 5.1 Helle Blæsbjerg - Region Midtjylland, Miljø

- Temperaturkontrasten fra etablerede udløb er tydelig (muligvis så markant at den skjuler andre små kontraster)
- Termograferingen giver indikationer af opblandingszonens udbredelse
- Opblandingszonen varierer formentligt med tidevandspåvirkning og andre strømninger
- Der kan ikke konstateres en markant udstrømning fra spunsen i form af fx et konkret hul
- Udstrømningen kan muligvis antages at være så dybtliggende eller så diffus (jævnt fordelt) over spunsen og/eller med en så langsom strømning så den ikke kan detekteres.
- Test med konstrueret udstrømning kan anvendes til at kvalificere målbarhed i forhold til dybder, mængder og temperaturkontraster

## 5.2 Henrik Bjørn - VIA

For mig at se har du (Drone Systems) bl.a. påvist at dronebåret termografering kan anvendes til påvisning af tilstrømning/indstrømning af vand i bassiner, såfremt der er en temperaturkontrast mellem det indstrømmende vand og vandet i bassinet. Det er påvist, at kontrasten ikke behøver at være større, end den der opstår mellem et vinterafkølet havnebassin (ca. 2-3 grader C?) og terrænnært grundvand/ledningsført vand (ca. 8 grader C).

Der er klare indikationer på, at opblandingen mellem det varme og kolde vand kan følges i bassinet i en vis afstand fra udstrømningspunktet. Disse informationer kan sandsynligvis overføres til opblandingsmønstret for komponenter opløst i det tilstrømmende vand.

Der er ikke fundet tydelige lækager i den eksisterende spuns, hvilket kan skyldes at der faktisk ikke er nogen huller. Det kan også være fordi, at hullerne er meget små, og derfor hver især ikke medfører tilstrækkelig udstrømning/påvirkning. Endelig kan der være tale om, at de lokaliserede regnvandsudløb er ført gennem spunsen på en måde, som ikke giver en fuldstændig tætning mellem spunsvæg og yderside af rør. De lokaliserede regnvandsledninger kan tænkes at fungere som dræn for det område de løber igennem. Det vil medføre, at forureningsfanen fra gasværksgrunden til en vis grad styres af ledningernes forløb og løber ud i havnebassinet samme sted som regnvandsudløbet. Denne sidste teori underbygges af, at der har kunnet observeres kontinuert dannet (olie?)film på vandet på samme sted som udløbet af en Ø 1200 mm regnvandsledning angiveligt skulle være lokaliseret.

Forslag til yderlige undersøgelser:

Hvor stor en tilstrømning er nødvendig for at kunne foretage en lokalisering?

Hvor lille en temperaturkontrast er tilstrækkelig for at kunne foretage en lokalisering?

Det må umiddelbart forventes (ved sommerflyvning), at udstrømning af relativt koldt grundvand i et varmt havnebassin er vanskeligere at lokalisere på grund af densitetsforskellene, der vil tvinge det kolde vand ned under overfladen. Men det bør undersøges, om det rent faktisk også er tilfældet.

# 6. Konklusioner

## 6.1 Horsens Havn

Ved Horsens Havn er der fundet i alt fire interesseområder. De er nærmere beskrevet i Bilag 1.

Interesseområde 1 og 2 konkluderes at være tydelige indsvinningszoner. De giver kraftige udslag på data fra adskillige flyvninger. Efter identifikation af zonerne er der indhentet ledningsregistrering fra Horsens Vand for at sammenholde med eventuelle ukendte ledningsføringer. Der viste sig at være ledningsgennemføringer præcist ved de to identificerede zoner, som ikke var projektgruppen bekendt. Den endelige konklusion for disse zoner er derfor, at den observerede indstrømning er regnvand fra eksisterende ledningsføring. Det er dog sandsynligt, at indstrømningen af grundvand sker ved de identificerede zoner, enten igennem ledningsføringen, eller langs med den.

Interesseområde 3 er identificeret som potentiel indsvinningszone. I området ses et hotspot på billeder fra to separate TUP flyvninger. Udslagene vurderes ikke tydelige nok til at en indsvinning kan konkluderes. Eftersom der er observeret hotspots og billederne udviser mindre indikationer på en indsvinning anbefales det at undersøge denne zone nærmere. Der er god sandsynlighed for at de observerede udslag stammer fra kilden i interesseområde 1.

Ved interesseområde 4 er der identificeret opvarmede områder med forskellige karakteristika over flere flyvninger. Selvom udslagene generelt er små, er der en tendens henover interesseområdet. Det vurderes, at der er høj sandsynlighed for de observerede udslag stammer fra kilden i interesseområde 2. Interesseområde 4 har derfor lavere prioritet for opfølgende undersøgelse end interesseområde 3.

## 6.2 Grindsted Å

Ved Grindsted Å er der ikke identificeret indsvinningsområder der kan karakteriseres som bekræftede. Der er observeret temperaturforskelle både på lokal og større skala, men observationerne er ikke tilstrækkelig konsistent og tydelig til at disse kan betragtes som bekræftede indsvinningszoner. Bilag 2 indeholder en detaljeret beskrivelse af forhold, flyvning, databehandling og resultater.

## 6.3 Tværgående perspektiver

Indsvinningszoner er identificeret i Horsens Havn, men ikke i Grindsted Å selvom der findes kendte zoner.

De primære årsager vurderes at være:

- Størrelsen af indsvinning ved zonerne i Horsens Havn er markant større og koncentreret i forhold til indsvinningszonerne i Grindsted Å.
- Ved Horsens Havn var vandet stillestående, imens der er høj aktivitet i vandet i Grindsted Å. Dermed er stor forskel opblandingsgraden for de to lokaliteter.

Sekundære faktorer vurderes at være:

- Ved Horsens Havn er termisk opdrift samt densitetsforskellen imellem salt- og ferskvand en medvirkende faktor til at faciliterer detektion i vandoverfladen. Denne faktor vurderes at være minimal ved Grindsted Å givet hastig opblanding grundet stor aktivitet i vandet.
- Ved Horsens Havn er vandet skarpt afgrænset af kajen. Ved Grindsted Å er afgrænsningen en flodbredde som er mere diffus.

Ved Horsens Havn er der udelukkende udført flyvninger om vinteren. Ved Grindsted Å er der både udført flyvninger om vinteren og sommeren. På baggrund af det indsamlet data og tilhørende observationer, vurderes vinterflyvningerne at udgøre et bedre grundlag for dataindsamling end sommerflyvninger. En væsentlig årsag hertil kan tilskrives en større temperaturforskel (imellem vandet i åen og det indsvivende grundvand). Ved vinterflyvningerne var der en temperaturforskel i størrelsesordenen 5 – 8 °C, imod 3 - 6 °C ved sommerflyvningerne.

## 6.4 Metodens anvendelighed

Termografering fra drone har en høj anvendelighed til identifikation af indsvivningszoner i havvand/havnebassiner hvis indsvivningen har en størrelse der er detekterbar med termografi. Ved vandløb vil der ofte være en større opblandingsgrad hvilket komplicere identifikation af små temperaturforskelle. Metodens anvendelighed vurderes derfor at være mindre ved vandløb. Projektets resultater har ikke muliggjort en mere konkret vurdering af metodens anvendelighed for vandløb.

Projektet har vist at indsvivende vand i havnebassinet ved Horsens havn kan detekteres med termografi. Metodens anvendelighed afhænger af faktorer som størrelsen (flow) og dybde af indsvivningskilden, temperaturforskel, og vandforhold/aktivitet. Det anbefales at nærmere fastlægge grænseværdier for disse faktorer for at endeligt kunne konkludere på metodens anvendelighed i større skala. Anvendeligheden er størst i årets koldeste måneder idet forholdene her giver det bedste udgangspunkt for at identificere små temperaturforskelle. Det er uafklaret om metoden kan anvendes i årets varmeste måneder. I store dele af året hvor vandtemperaturen er relativ tæt på grundvandstemperaturen er metoden ikke anvendelig.

Anvendelse af drone til termografering gør det muligt at afdække et meget større område end ved håndholdt termografering, inden for samme tidsramme. En drone gør det desuden nemt at indsamle billeder fra svært tilgængelige områder og samtidig tages billederne lodret fra oven, hvilket giver et bedre overblik i billedet. Anvendelse af drone konkluderes derfor som værende en tidsbesparende og omkostningsreducerende platform.

Det er tydeligt, at metoden har et interessant og relevant udviklingspotentiale.

## Referencer

Aisopou, A., 2014. Dilution and volatilization of groundwater contaminant discharges in streams. *Journal of Contaminant Hydrology* 172 (2015) 71–83.



Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)