

12. NOVEMBER 2015

# Vandspejlsberegninger for Holmen

SAGS NR. 326-2015-18918

AGROHYDROLOGEN  
(SPECTROFLY APS)  
Markstien 2  
DK-4640 Faxe

<b>Udarbejdet for:</b>	Sagsansvarlig Stina Kaufmann Kalundborg Kommune Plan, Byg & Miljø Holbækvej 141 B 4400 Kalundborg Tlf: 59535299 E-mail: <a href="mailto:Stina.kaufmann@kalundborg.dk">Stina.kaufmann@kalundborg.dk</a> Web: <a href="http://www.kalundborg.dk">www.kalundborg.dk</a>
<b>Udarbejdet af:</b>	Jacob Gudbjerg og Robert Nøddebo Poulsen Agrohydrologen (Spectrofly Aps) CVR nr. 35027246 Markstien 2 4640 Faxe Tlf: 26130555 E-mail: <a href="mailto:info@agrohydrologen.dk">info@agrohydrologen.dk</a> Web: <a href="http://www.agrohydrologen.dk">www.agrohydrologen.dk</a>
<b>Status:</b>	Fortrolig
<b>Version</b>	1.0

# 1 INDHOLDSFORTEGNELSE

---

1	Indholdsfortegnelse .....	2
2	Baggrund .....	3
3	Modelopstilling .....	4
3.1	Georeferering.....	4
3.2	Tværsnit .....	6
3.3	Rørunderføringer .....	7
3.4	Oplande.....	7
3.5	Vandføring.....	8
3.6	Manningtal .....	9
4	Kalibrering/validering .....	10
5	Sensitivitetsanalyse.....	11
5.1	Vandføring.....	11
5.2	Manning-tal.....	12
5.3	Havvandstand .....	13
5.4	Worst-case .....	14
6	Scenarier .....	16
6.1	Ingen tiltag, fritløbende udløb .....	16
6.2	Ingen tiltag, udløbsrør halvt fyldt med sand.....	17
6.3	Hævning af rør til regulativmæssig bundkote, fritløbende udløb .....	18
6.4	Hævning af rør til regulativmæssig bundkote, udløbsrør halvt fyldt med sand.....	18
6.5	Afgravning af vandløbsbund til bund af rør, fritløbende udløb.....	19
6.6	Afgravning af vandløbsbund til bund af rør, udløbsrør halvt fyldt med sand .....	19
6.7	Effekt af havledning .....	20
6.8	Effekt af pumpeløsning .....	20
6.9	Effekt af høfdeløsning.....	21
7	Referencer.....	22

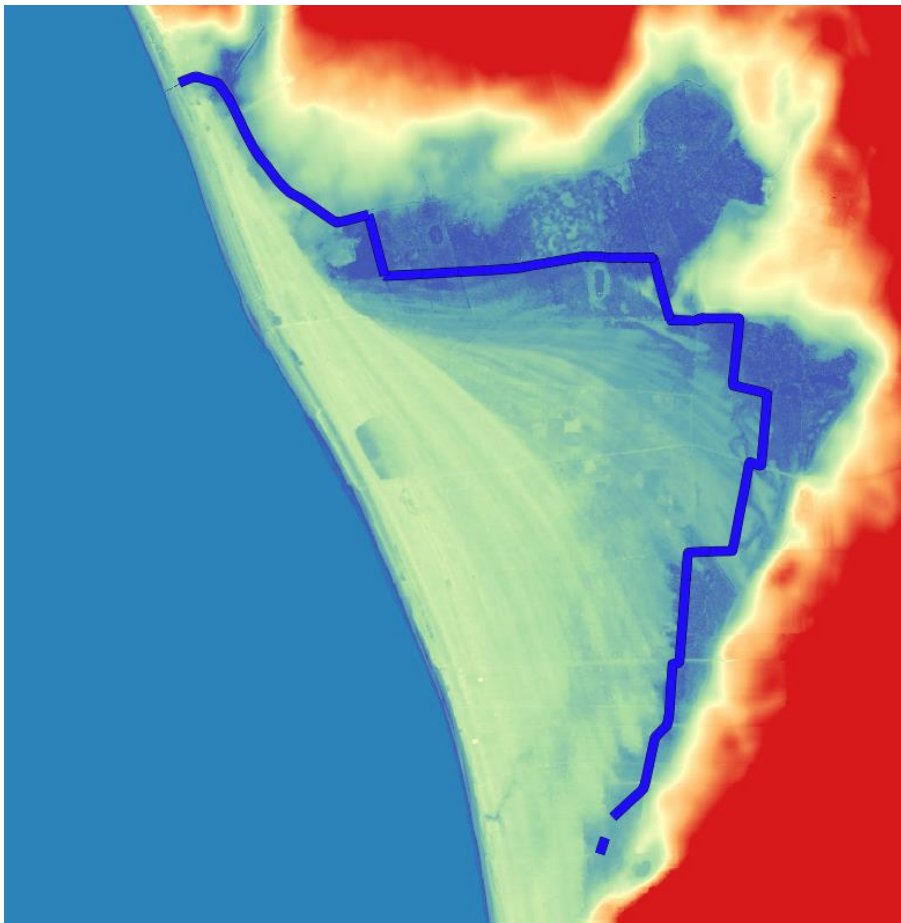
## 2 BAGGRUND

Kalundborg Kommune (v. Stina Kaufmann) har ønsket at få foretaget en vandstandsbergring ved forskellige scenarier for Holmen. Opgaven består i at vurdere betydningen af de tilstedeværende rørunderførings samt betydningen af forskellige typer udløb til havet. Opgaven består ikke i at foreslå løsninger på eventuelle problemer eller vurdere risiko for oversvømmelser.

Alle højder (vandstande og terræn) er i nærværende rapport angivet i DNN, som er benyttet i regulativet og ikke DVR90, som ellers er standard nu.

### 2.1 HOLMEN

Holmen er et lille vandløb på ca. 4 km der afvander et areal på ca. 6 km<sup>2</sup>. Vandløbet er stort set uden fald, da terrænet er meget fladt, se Figur 1. Det løber i en lavning med terrænkoter omkring 1 m. Mod kysten er der et sommerhusområde, hvor terrænet er omkring 2 – 3 m. Mod havet er der et højvandslukke, der forhindrer indtrængende havvand.



Figur 1. Terræn omkring Holmen. Blå er under 2 m, grøn er 3 m og rød er over 10m.

## 3 MODELOPSTILLING

---

Modellen er opstillet på basis af regulativet for Holmen kombineret med vandløbsdata og terræn-data fra Geodatastyrelsen. Som numerisk model blev anvendt vandløbsmodellen HECRAS. HECRAS er en amerikansk vandløbsmodel, som svarer til den danske Mike11.

### 3.1 GEOREFERERING

I regulativet er angivet vandløbets bundbredde, anlæg og dybde ved stationering løbende fra vandløbets udspring til udløbet i Storebælt. For at kunne relatere punkterne i regulativet til fysiske placeringer skal koordinaterne for punkter findes. Fra datasættet "INSPIRE\_HY Watercourse", der er et landsdækkende for vandløb, har vi manuelt udvalgt de vandløbslinjer, der dækker Holmens hovedforløb. Derefter har vi beregnet stationeringen ud fra vandløbslinjernes længde og afsat punkterne på kortet. Vi har manuelt foretaget mindre forskydninger, så punkterne kom at passe med de overkørsler, der er synlige fra orto-foto (Se Figur 3). De georefererede punkter er vist på Figur 2, sammen med alle vandløbsgrene fra datasættet. Bemærk at vandløbsmodellen kun indeholder hovedløbet markeret ved de røde punkter i regulativet.



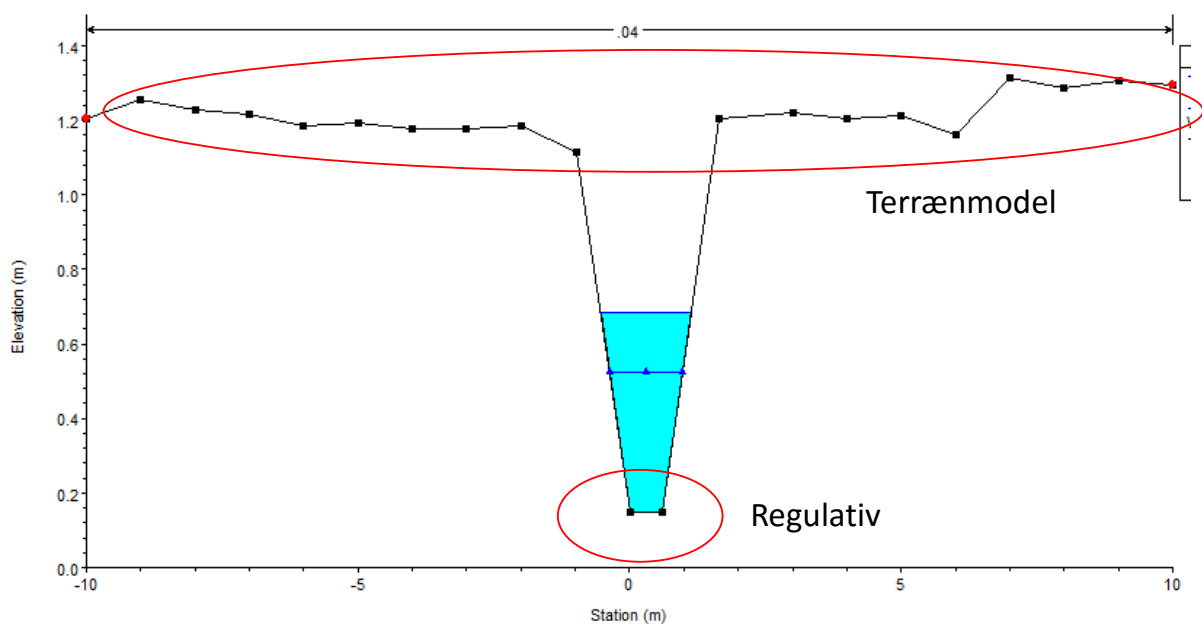
Figur 2 Georeferering af punkterne i regulativet.



Figur 3 To punkter i regulativet, der er blevet justeret manuelt ved en rørunderføring.

### 3.2 TVÆRSNIT

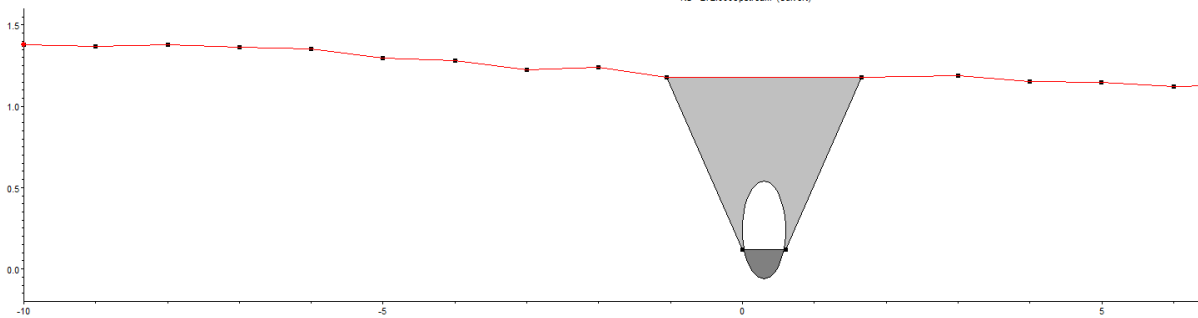
For hver 100 m af vandløbet, samt umiddelbart opstrøms og nedstrøms alle rørunderføringer, har vi genereret et tværsnit. Fra den nyeste terrænmodel med en diskretisering på 0.4m har vi udtrukket 20 punkter i en linje vinkelret på vandløbet. I midten af den linje har vi indlagt regulativet med vandløbsbredden, anlægget og en interpoleret vandløbsdybde. Et eksempel på et tværsnit er vist på Figur 4.



Figur 4 Eksempel på tværsnit opbygget ud fra regulativet og terrænmodellen.

### 3.3 RØRUNDERFØRINGER

Rørunderføringer er indlagt som betonrør med de dimensioner der er angivet i regulativet. Derudover er indlagt at de kan være halvt jordfyldte til et niveau ligeledes angivet i regulativet. Selve røret er givet et Manningtal på 20. Modellen kræver en indløbstabskoefficient og en udløbstabskoefficient. De er sat til henholdsvis 0.5 og 1, som er de foreslåede standardværdier i manualen til Hecras. Som for de øvrige tværsnit er der udtrukket værdier fra højdemodellen og tværsnitsarealet over røret er "fyldt op".

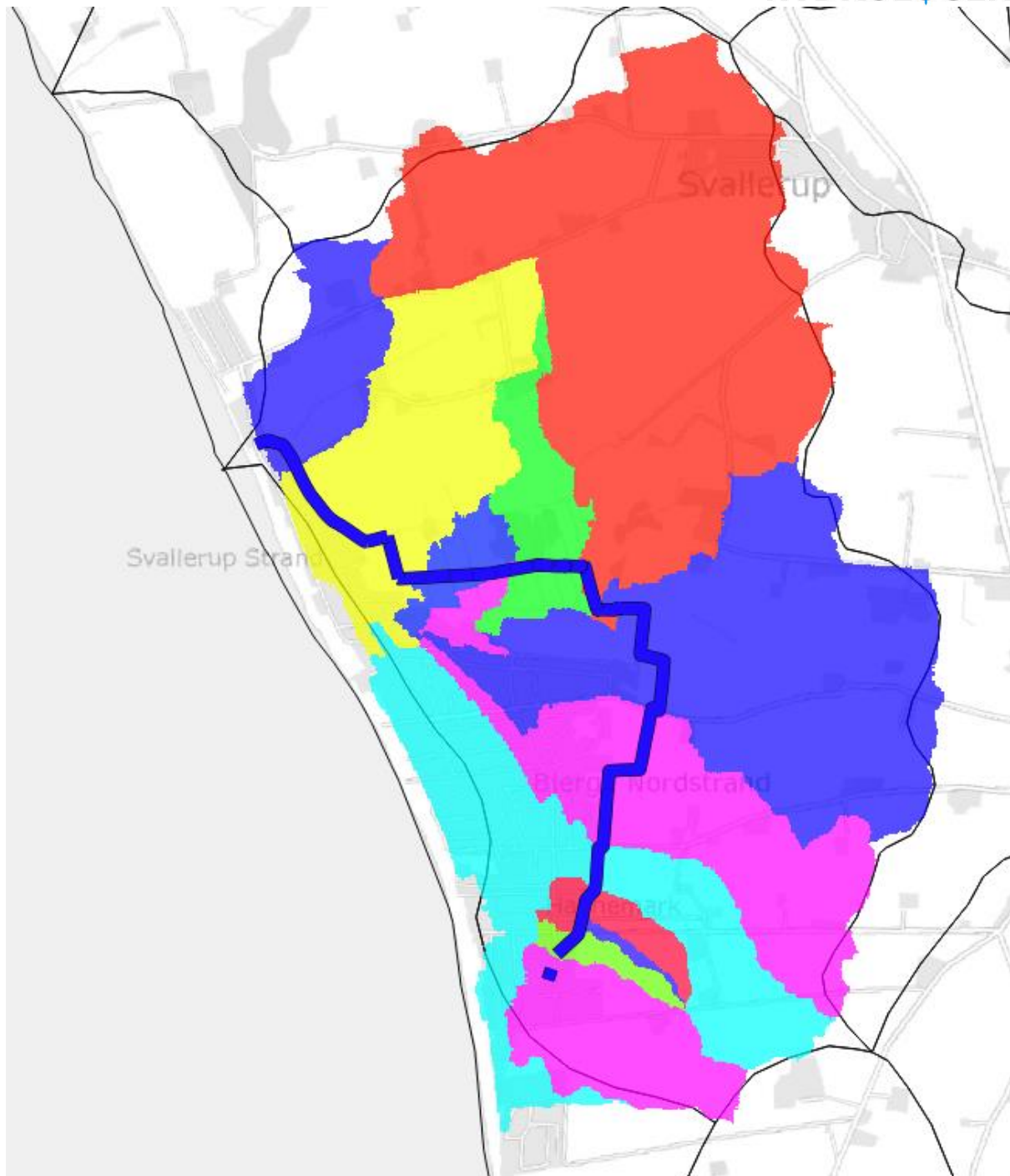


Figur 5 Eksempel på rørunderføring i modellen.

### 3.4 OPLANDE

For at bestemme, hvor afstrømningen tilledes vandløbet har vi bestemt nogle deloplande. Det er gjort på basis af den hydraulisk tilpassede terrænmodel med en diskretisering på 1.6 m (DHym/Rain fra Geodatastyrelsen). Inden oplandene er beregnet er hovedvandløbet lagt ind i terrænmodellen med en bundkote der sikrer at vandet vil strømme fra udspringet mod udløbet. Ved hjælp af programmet TAUDEM har vi beregnet ca. 20 deloplande, som er vist på Figur 6. På basis af arealerne for deloplandene og en arealspecifik afstrømning kan vi for hver enkelt tværsnit i vandløbet angive en vandføring.





Figur 6. Deloplande.

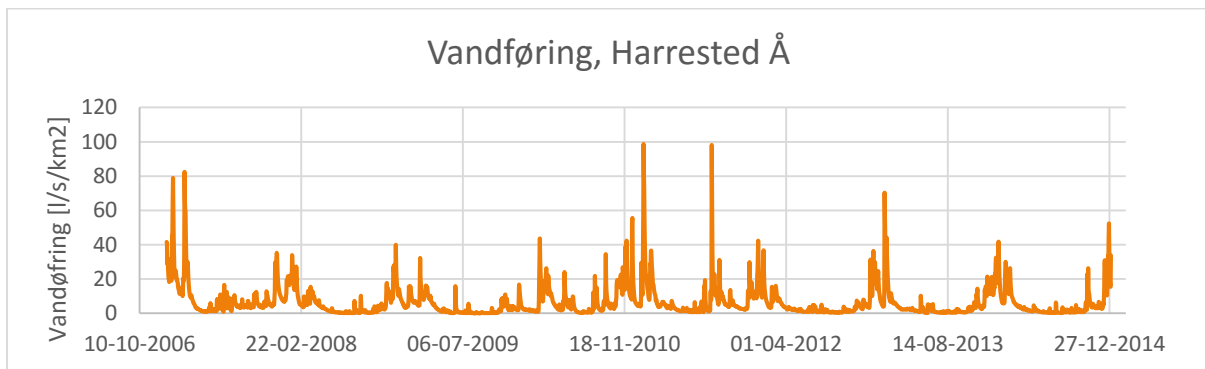
### 3.5 VANDFØRING

Der foreligger ikke vandføringsmålinger for Holmen Å, og det er derfor nødvendigt at basere vandføringen på nærliggende opmålte oplande. I regulativet er der angivet en række karakteristiske afstrømninger, som er baseret på en historisk tidsserie fra den nærliggende Bøstrup Å. Værdierne ses i nedenstående tabel.

Vinter	10 års maksimum	42 l/s·km <sup>2</sup>
	5 års maksimum	35 l/s·km <sup>2</sup>
	Medianmaksimum	28 l/s·km <sup>2</sup>
	Middel	6.5 l/s·km <sup>2</sup>
Sommer (1. maj – 31. oktober)	10 års maksimum	22 l/s·km <sup>2</sup>
	5 års maksimum	16 l/s·km <sup>2</sup>
	Medianmaksimum	7 l/s·km <sup>2</sup>
	Middel	1.5 l/s·km <sup>2</sup>

Usikkerheden på disse værdier er ikke kendt, men den kan sagtens være +/- 30%.

Vandføringsmålinger foretages generelt i større vandløb, og det derfor vanskeligt at finde noget, der er repræsentativt for Holmen. På Miljøportalen har vi hentet vandføringen for Harrested Å, som ligger ca. 25 km syd for Holmen. Oplandet er 16 km<sup>2</sup> og således noget større end Holmens 6 km<sup>2</sup>. Vandføringen for perioden fra 2007 til 2014 er vist på Figur 7. Bemærk at vandføringen er givet arealspecifikt således at værdier for oplande med forskellige arealer er direkte sammenlignelige. Det ses, at maksimal-værdierne er noget større, end dem der er angivet i regulativet for Holmen, men om den tidsserie ville være mere repræsentativ for Holmen, kan vi ikke vurdere.



Figur 7. Vandføring i Harrested Å. Data hentet fra Miljøportalen.

### 3.6 MANNINGTAL

Manningtallet er et udtryk for ruheden eller strømningsmodstanden i vandløbet. Som med vandføringen er der ikke deciderede målinger tilgængelige og værdien på estimeres ud fra lignende vandløb. I en rapport fra 2015 udarbejdet af "DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi" angives følgende forslag til karakteristiske Manning-tal:

Tæt grødevækst	4 – 8
Spredt grødevækst	8 – 12
Nyskåret strømrørende på 50 % af bredden	8 – 15
Uden grødevækst	12 – 18

I regulativet er der benyttet et Manning-tal på 25 gældende for vinterperioden.

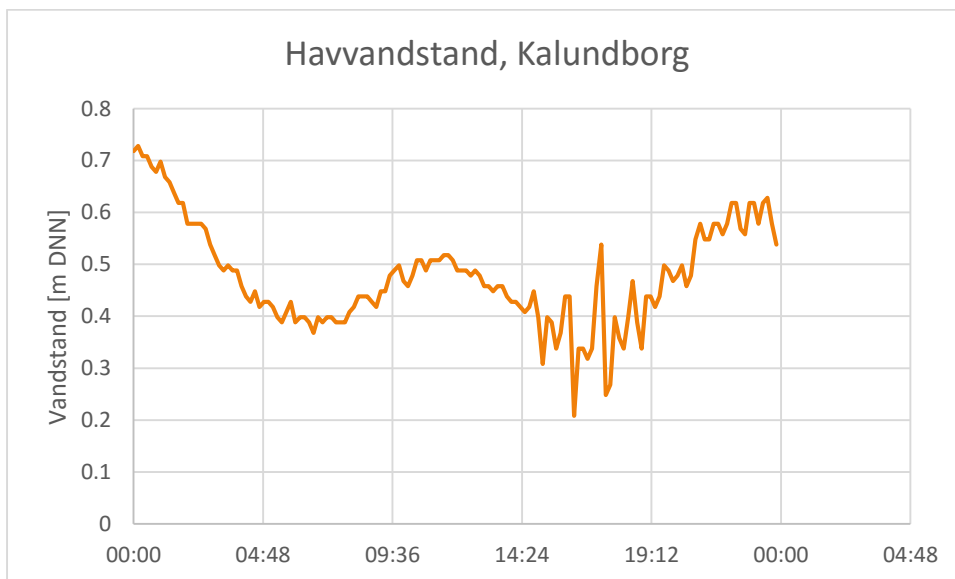
## 4 KALIBRERING/VALIDERING

Kalibrering og validering af en model er normalt vigtige elementer, der sikrer, at den opstillede model passer med virkeligheden. I det aktuelle tilfælde forefindes dog ikke deciderede måledata at kalibrere og validere modellen med. Det eneste vi har er et billede udleveret af Holmen Ålav. Billedet er taget med en Ipad, som sammen med billedet gemmer både koordinater og tidspunkt. Det ses, at vandløbet er fuldtløbende, og at der også er vand på terræn. Det pågældende sted er omkring station 2035.



Figur 8 Billede taget 5. november 2013 kl 15:09.

Fra DMIs hjemmeside har vi hentet havvandstanden ved Kalundborg for den 5. november 2013, se Figur 9.

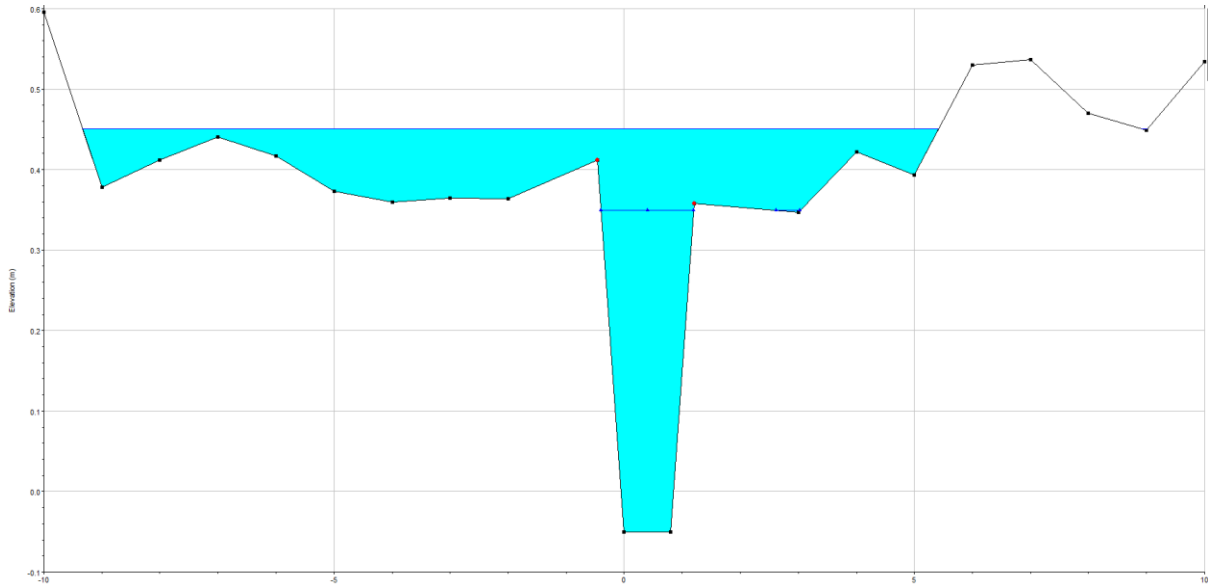


Figur 9 Havvandstand ved Kalundborg 5. november 2013.

I en stationær model, skal der benyttes en konstant værdi for vandstanden ved vandløbets udløb. Baseret på Figur 9 har vi sat den til 0.4 m. Udløbet regnes som frit for sand.

Den arealspecifikke afstrømning for 5. november har vi hentet fra tidsserien fra Harrested Å, hvor den var  $5.4 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ . Vandføringen er altså ikke speciel høj på det tidspunkt, og ligger faktisk under den forventede middel-vandføring for vinterperioden. Manningtallet sættes til 12 ud fra en antagelse om, at grøden er begrænset i november måned.

Den simulerede vandstand for tværsnittet i station 2035 er for disse betingelser vist på Figur 10. Det ses, at vandløbet er fyldt, og at der er vand på det å-nære terræn, hvilket passer med observationen. Vandstanden er 0.45 m og således kun lidt over vandstanden i havet på 0.4 m. For at vise betydningen af vandstanden i havet, har vi gennemført den samme beregning, hvor den er sat til 0. Derved fås en vandstand på 0.39 m. Vandstanden er således ikke kun bestemt af havvandstanden.



Figur 10 Modelleret vandstand i tværsnit ved station 2035 for 5. november 2013.

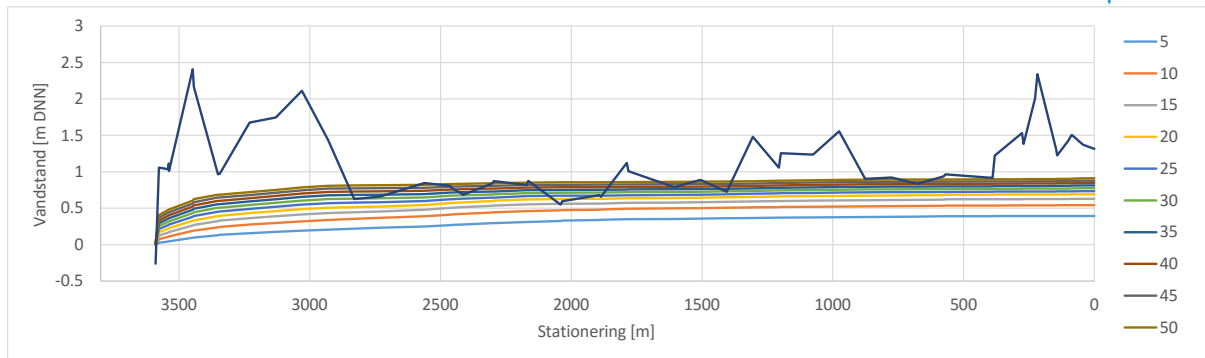
Ovenstående øvelse kan ikke ses som en egentlig kalibrering eller validering, men forhåbentlig kan det hjælpe til at øge tilliden til at modellen kan repræsentere de faktiske forhold.

## 5 SENSITIVITETSANALYSE

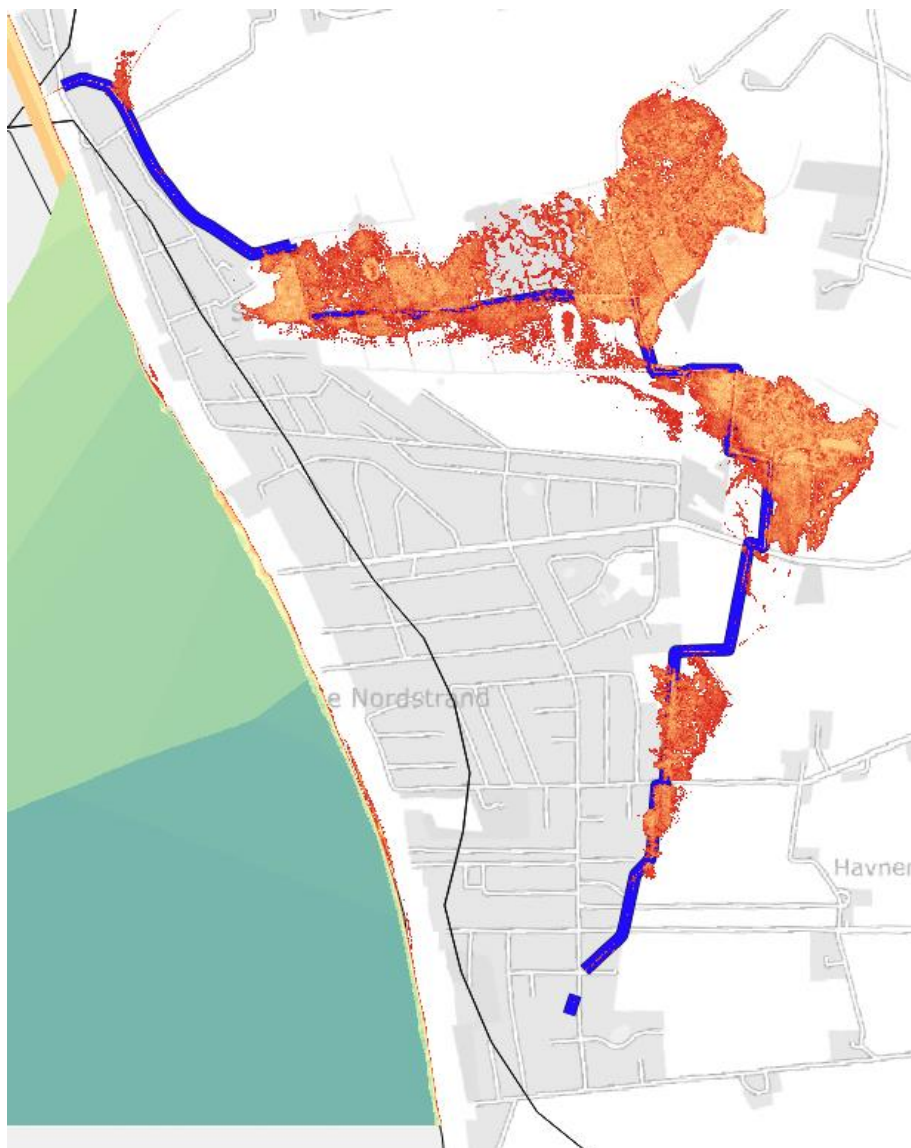
---

### 5.1 VANDFØRING

Vi har foretaget en beregning af vandstanden for 10 forskellige vandføringer fra 5 til  $50 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ . Manning-tallet er sat til 15 og havvandstanden er sat til 0.



Figur 11. Simuleret vandstand ved 10 forskellige vandføringer fra 5-50 l/s-km<sup>2</sup>.



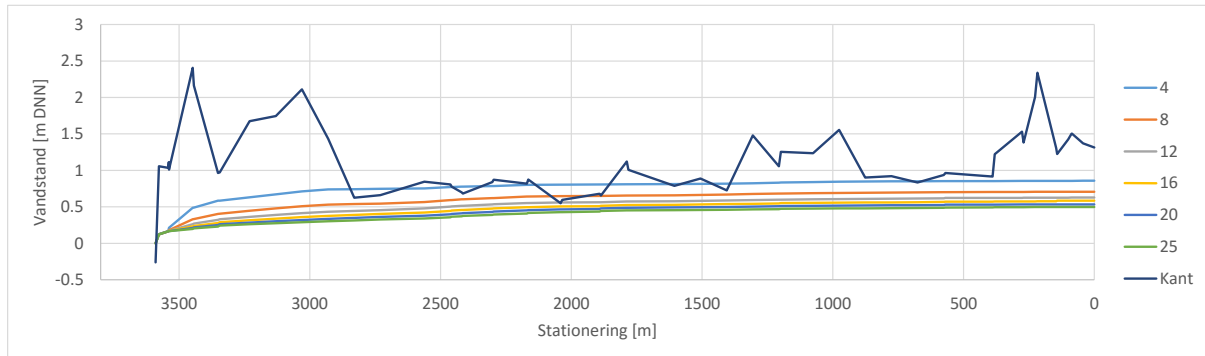
Figur 12. Oversvømmede områder ved en vandføring op 50 l/s-km<sup>2</sup>

## 5.2 MANNING-TAL

For at vurdere sensitiviteten over for Manning-tallet har vi varieret det mellem 4 og 25. Det lavest Manning-tal kan kun optræde om sommeren, hvor grøden er i fuld vækst. Vandføringen er sat til 15



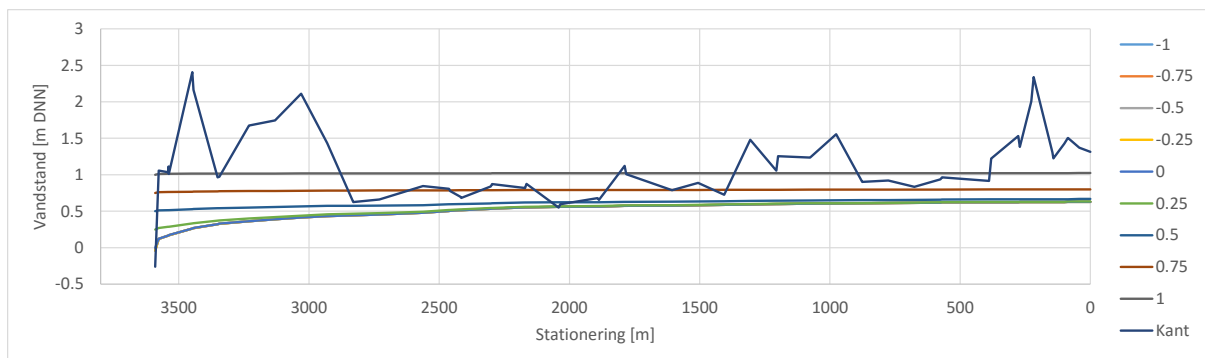
l/s·km<sup>2</sup> og havvandstanden er sat til 0 m. Resultatet er vist som længdeprofiler på Figur 13. Som forventet stiger vandstanden jo lavere Manning-tallet er. Ved det laveste Manning-tal vil der være områder der er oversvømmet. Vandføringen på 15 l/s·km<sup>2</sup> er ikke urealistisk om sommeren, hvis der er en længerevarende periode med meget regn. I det tilfælde vil grøden altså have betydning for hvor stor en eventuel oversvømmelse vil være.



Figur 13 Længdeprofil ved forskellige Manning-tal

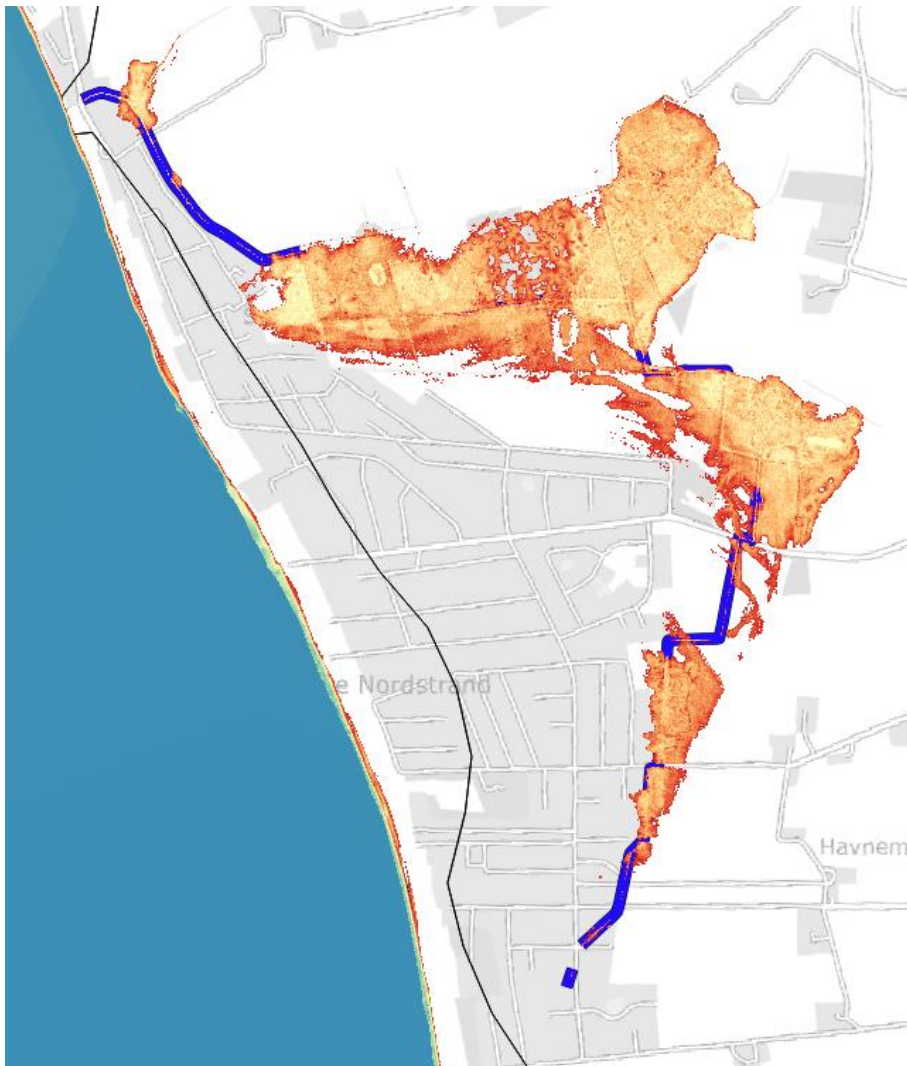
### 5.3 HAVVANDSTAND

For at vurdere sensitiviteten over for havvandstanden har vi varieret denne mellem -1 og +1 m. Vandføringen er sat til 15 l/s·km<sup>2</sup> og Manning-tallet er sat til 15. På Figur 14 er vist længdeprofilerne for de forskellige simuleringer. Det bemærkes, at for havvandstande under -0.25 er resultaterne ens, fordi udløbet på røret ligger i kote -0.3, og det har derfor ikke nogen betydning, om havvandstanden er lavere. En anden ting der er værd at bemærke er, at profilet for en havvandstand på 1m er så godt som vandret. Det hænger sammen med, at gennemstrømningsarealet under alle omstændigheder bliver stort, og det er derfor ikke nødvendigt med opstuvning.



Figur 14 Længdeprofil ved forskellige havvandstande.

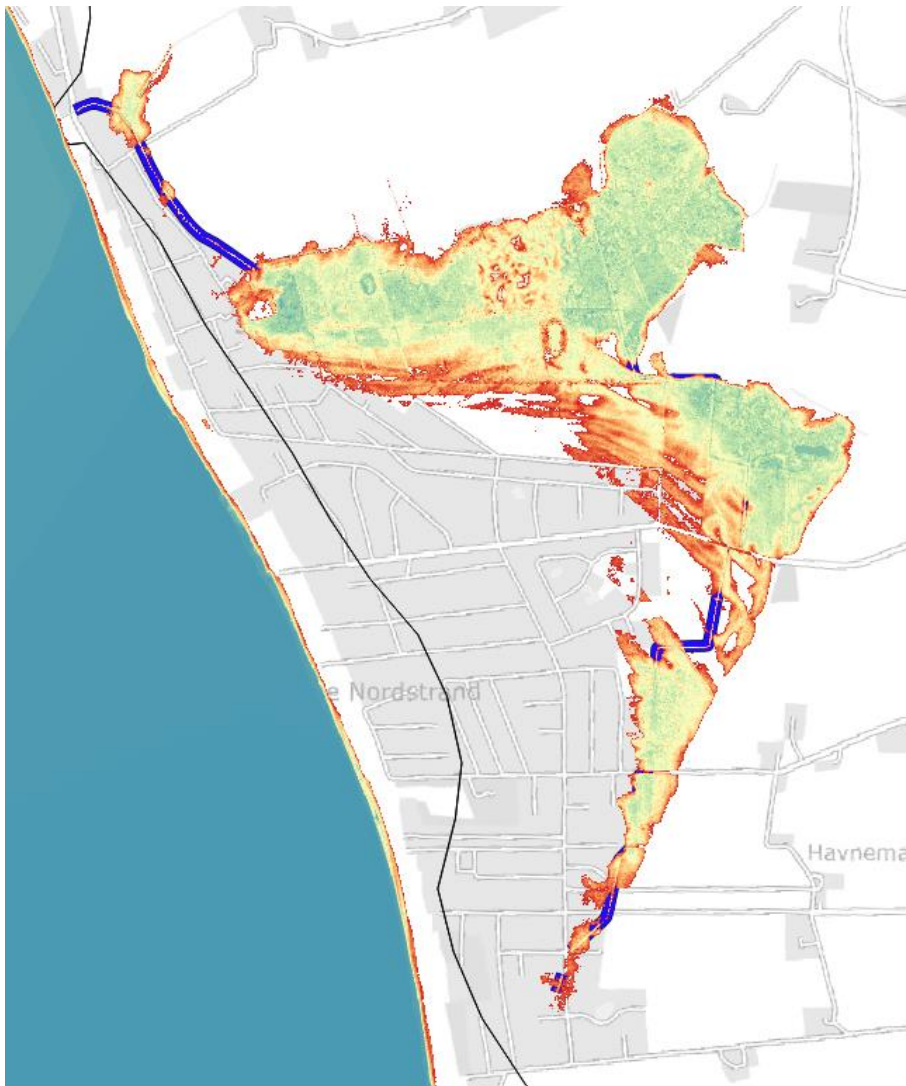
På Figur 15 har vi vist det oversvømmede område ved en havvandstand på 1 m.



Figur 15 Oversvømmede områder ved en havvandstand på 1m.

#### 5.4 WORST-CASE

Den absolutte worst-case vil være høj vandstand i havet, høj vandføring og et lavt Manning-tal. Ud fra data kan vi ikke sige noget om sandsynligheden for at denne situation vil optræde. Vi har lavet et simulering med en havvandstand på 1m, en vandføring på 50 l/s·km<sup>2</sup> og et Manning-tal på 4. Det resulterende oversvømmede område er vist på Figur 16. Selvom oversvømmelsen i worst-case scenariet er stor er det kun meget lidt af det bebyggede område der vil opleve deciderede oversvømmelser fra vandløbet. Der vil dog stadig kunne optræde lokale oversvømmelser i forbindelse med skybrud, hvis vandet ikke kan dræne væk.



Figur 16 Oversvømmet område ved worst-case.



## 6 SCENARIER

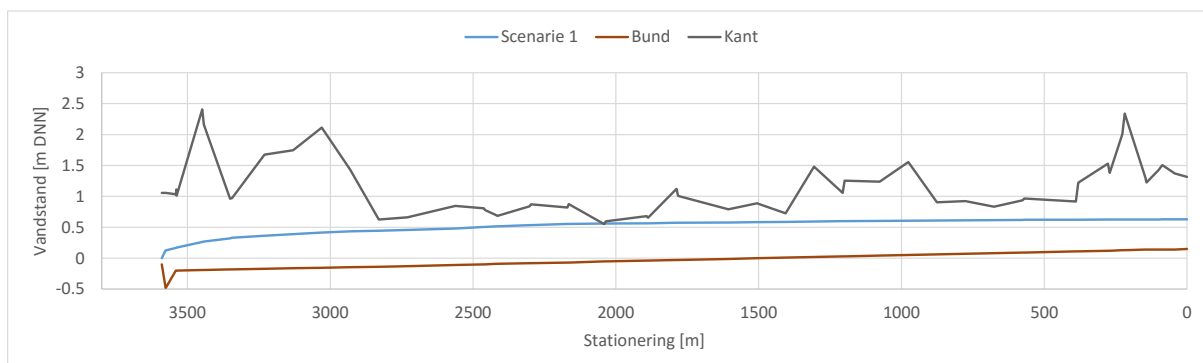
I det foregående afsnit er varieret på betydende parametre inden for et realistiske spænd. Det er blandt andet gjort med henblik på at finde et repræsentativt parameter-sæt, som kan benyttes til at sammenligne de forskellige scenarier. På den baggrund har vi valgt en afstrømning på  $15 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ , hvilket er en høj afstrømning, som dog ikke vil give komplet oversvømmelse.

Manning-tallet sættes til 15 svarende til en vintersituation eller en sommersituation med nyskåret grøde.

Havvandstanden sættes til 0 m. Der benyttes en gennemsnitlig havvandstand, fordi den er mest repræsentativ for oversvømmelser af længere varighed. I forbindelse med oversvømmelse af huse er en oversvømmelse problematisk ligegyldigt, hvor kortvarig den er, hvorimod det for marker og naturarealer mere er den generelle dræningstilstand der er afgørende og følsomheden af afgrøden/vegetationen.

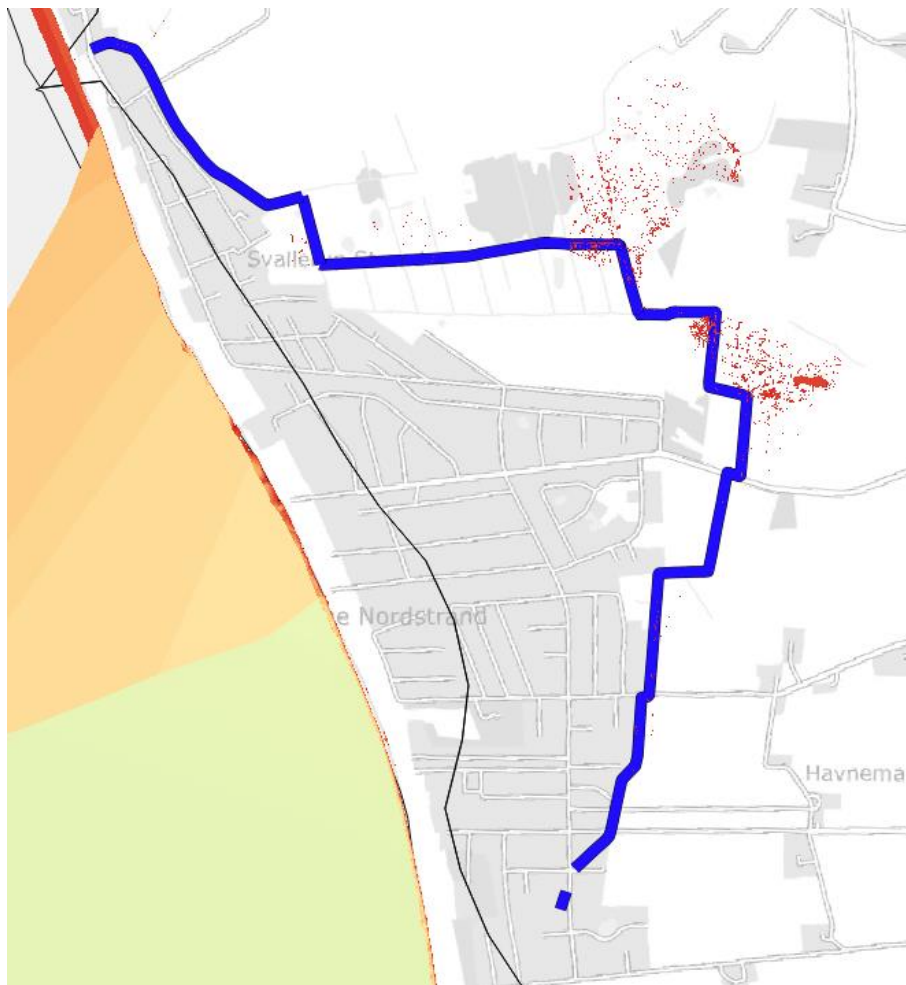
### 6.1 INGEN TILTAG, FRITLØBENDE UDLØB

Dette scenarie svarer til den aktuelle situation, hvor udløbsrøret lige er blevet rensat. Figur 17 viser den beregnede vandstand i et tværprofil sammen med vandløbets bund og kant. Kanten er blot fundet som det højeste punkt i det 20 m brede tværsnit, og er derfor ikke nødvendigvis repræsentativ. Det ses dog tydeligt, at det er området fra station 1500 til omkring station 2700, der vil være mest kritisk.



Figur 17. Længdeprofil for den aktuelle situation, scenarie 1.

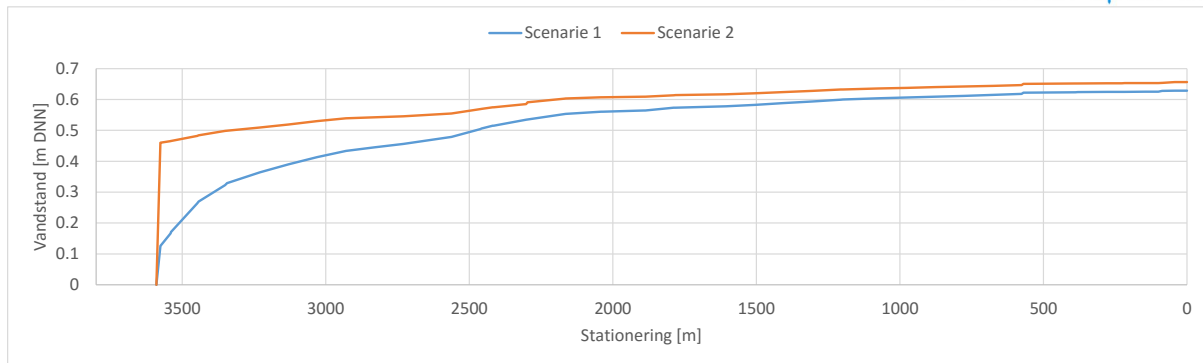
På Figur 18 har vi ud fra vandstanden i vandløbet og højdemodellen fundet eventuelle oversvømmede områder. Det ses, at der er enkelte områder med vand på terræn.



Figur 18. Oversvømmede arealer ved scenarie 1.

## 6.2 INGEN TILTAG, UDLØBSRØR HALVT FYLDT MED SAND

Udløbsrøret er placeret så det ofte sander til. For at modellere det blev den nederste halvdel af røret har blokeret. Blokeringen gælder i hele rørets længde og svarer altså til, at røret er sandet til helt op til stenkisten ved højvandslukket. Figur 19 viser betydningen af tilsandingen og det ses at vandstanden stiger med ca. 45 cm umiddelbart foran højvandslukket. Den forhøjede vandstand udjævnes længere op i vandløbet, men den har faktisk betydning helt op til udspringet. Det skal bemærkes at vandstandsstigningen på 45 cm er afhængig af vandføringen. Ved lavere vandføringer vil der således opleves en mindre vandstandsstigning.

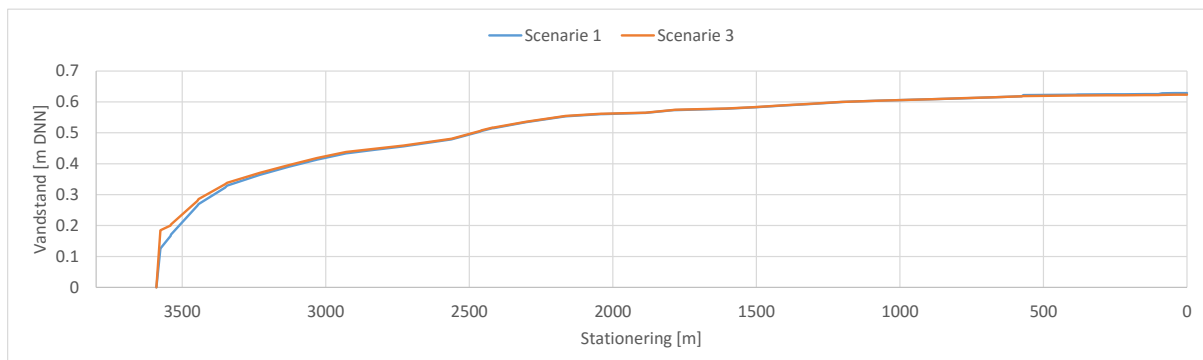


Figur 19. Sammenligning af længdeprofil for scenarie 1 og scenarie 2.

### 6.3 HÆVNING AF RØR TIL REGULATIVMÆSSIG BUNDKOTE, FRITLØBENDE UDLØB

En del af rørunderføringerne ligger under den regulativmæssige bund, hvilket vil sige at en del af røret er fyldt op med sand. Det er illustreret på Figur 5, hvor den nederste del af røret er lukket af. I dette scenarie hæves rørunderføringerne op til den regulativmæssige bund, således at hele tværsnitsarealet bliver tilgængeligt.

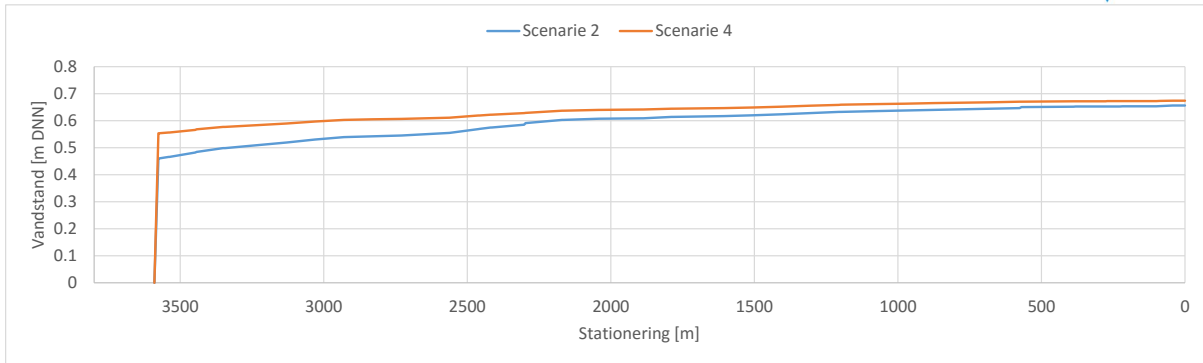
Scenariet er sammenlignet med Scenarie 1 på Figur 20. Der ses kun en meget begrænset forskel nederst i profilet. Beregningen viser, at rørunderføringerne kun yder en begrænset modstand mod strømningen. Det hænger sammen med, at deres udstrækning trods alt er meget begrænset sammenlignet med hele vandløbets længde.



Figur 20 Længdeprofil ved scenarie 1 og scenarie 2.

### 6.4 HÆVNING AF RØR TIL REGULATIVMÆSSIG BUNDKOTE, UDLØBSRØR HALVT FYLDT MED SAND

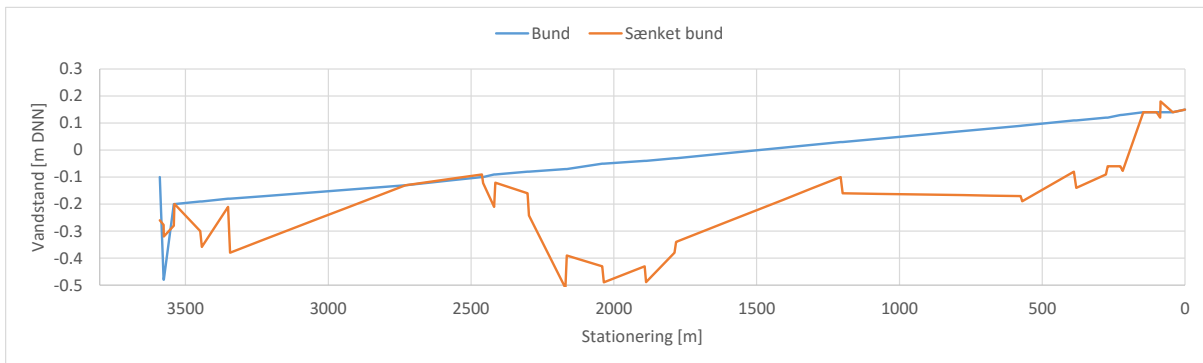
Dette scenarie er en kombination af scenarie 2 og scenarie 3. I nedenstående figur er scenarierne sammenlignet. Grunden til, at der opstår en forskel er, at udløbsrøret også er blevet hævet. Hvis ikke det var tilfældet ville der som i scenarie 3 ikke kunne ses nogen effekt. Vi kan derfor med forholdsvis stor sikkerhed konkludere, at det ikke vil have noget effekt at hæve rørunderføringerne.



Figur 21 Længdeprofil ved scenarie 2 og scenarie 4.

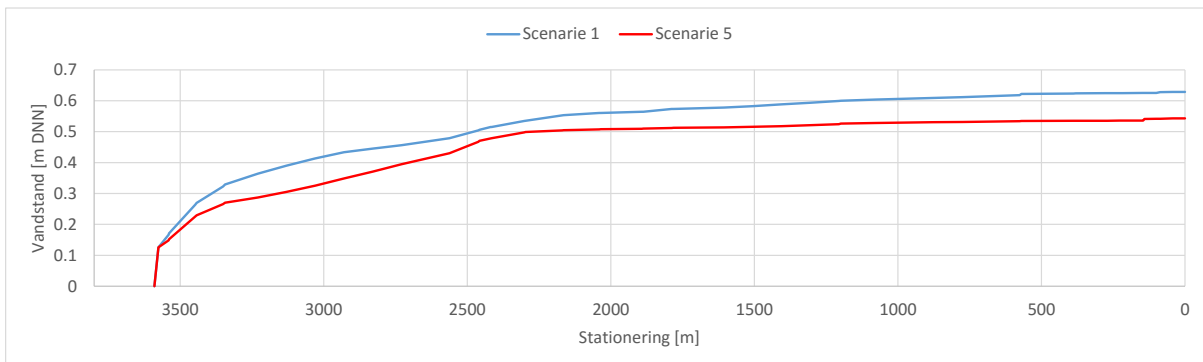
## 6.5 AFGRAVNING AF VANDLØBSBUND TIL BUND AF RØR, FRITLØBENDE UDLØB

I dette scenarie sænkes vandløbsbunden mellem rørunderføringerne ved at interpolere, så den passer med bunden af rørene. Ændringen i bundkote er vist på Figur 22. Det ses, at det ikke giver nogen jævn bund, og i et mere realistisk scenarie ville man nok foretage en mere jævn afgravning.



Figur 22 Regulativmæssig bund og bund ved afgravning til bund af rør

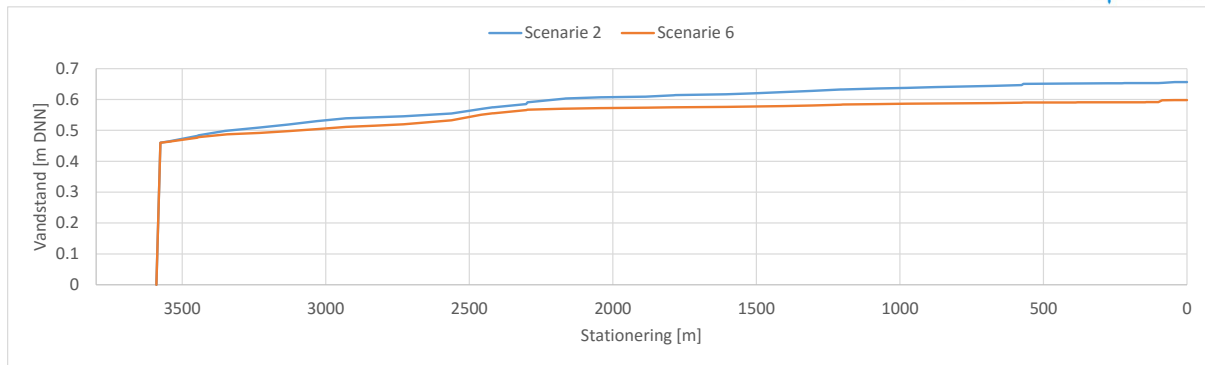
Sænkning af bunden fører til, at vandspejlet falder i hele profilet længde.



Figur 23 Længdeprofil ved scenarie 1 og scenarie 5.

## 6.6 AFGRAVNING AF VANDLØBSBUND TIL BUND AF RØR, UDLØBSRØR HALVT FYLDT MED SAND

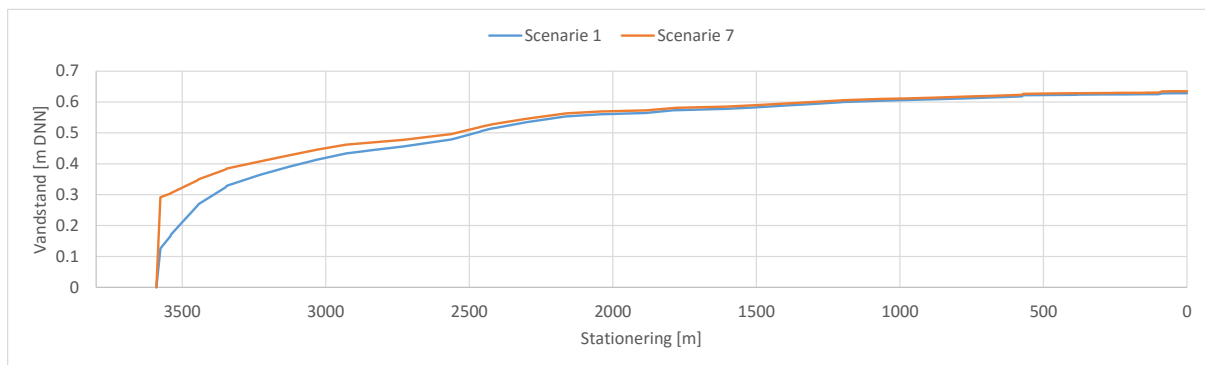
Dette scenarie er en kombination af scenarie 5 og scenarie 2. Vandløbet uddybes med udløbsrøret er halvt fyldt med sand. På Figur 24 er længdeprofilet sammenlignet med scenarie 2. Nederst i vandløbet ses ikke længere nogen stor effekt, fordi vandstanden under alle omstændigheder vil blive presset op af modstanden i udløbsrøret. Helt opstrøms ses stadig en effekt.



Figur 24 Længdeprofil ved scenarie 2 og scenarie 6.

## 6.7 EFFEKT AF HAVLEDNING

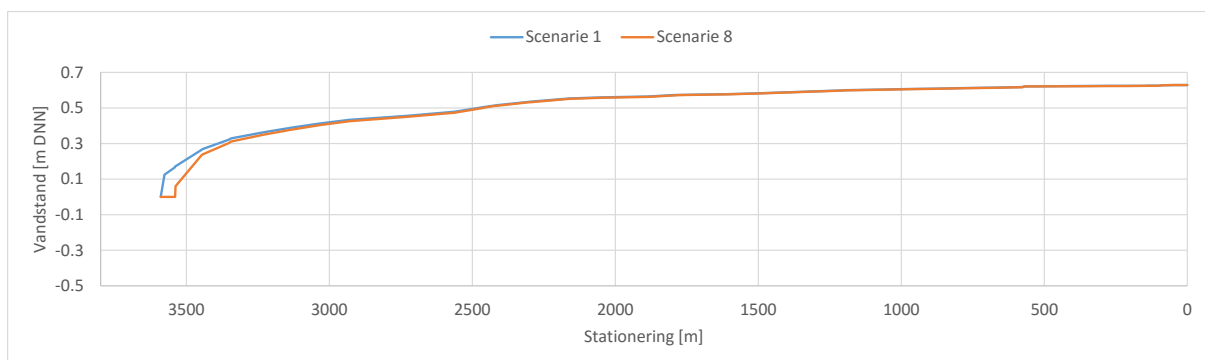
Ved en havledning forlænges udløbsrøret så langt ud, at der ikke længere er risiko for tilsanding. For at belyse effekten af en sådan løsning har vi i modellen forlænget udløbsrøret med 100 m. Dimensionen for udløbsrøret er sat til 70 cm. Manning-tallet for røret er sat til 25.



Figur 25 Længdeprofil ved scenarie 1 og scenarie 7.

## 6.8 EFFEKT AF PUMPELØSNING

Ved en pumpeløsning etableres der en pumpe i stedet for højvandslukket. På den måde bliver vandstanden i vandløbet uafhængigt af havvandstanden og uafhængigt af eventuel tilsanding af udløbsrør. Pumpen vil kunne placeres på østsiden af Svallerup Strandvej, inden vandløbet løber ind i rørunderføringen. Under forudsætning af, at pumpen er stor nok til hele tiden at kunne klare den tilstrømmende vandmængde, kan en pumpe modelleres ved at fastholde vandstanden i 0 m. På Figur 26 har vi sammenlignet med scenarie 1, og der ses en lille effekt i og med at der ikke længere er modstand ud mod havet.



Figur 26 Længdeprofil ved scenarie 1 og scenarie 8.

Skal man vurdere om en pumpe er en god ide skal man dog ikke holde det op mod scenarie 1, men mere se på situationer med høj vandstand i havet eller høj modstand i udløbsrøret.

## 6.9 EFFEKT AF HØFDELØSNING

En høfdeløsning vil ikke som sådan påvirke vandstanden i vandløbet, bortset fra at udløbsrøret vil holdes frit for sand. Beregningsmæssigt vil dette scenarie derfor svare til scenarie 1.

## 7 REFERENCER

---

Regulativ for Holmen. Gørlev kommune vandløb nr. 2 Gørlev kommune. Hentet fra Kalundborg Kommunes hjemmeside.

DCE 2015. AFPRØVNING AF FORSLAG TIL METODE TIL KONSEKVENSVURDERING AF ÆNDRET VANDLØBSVEDLIGEHOLDELSE. Teknisk rapport fra DCE – Nationalt center for Miljø og Energi.

HECRAS. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>