Horsens Kommune

Ringvej Syd

Flowmodellering af indre Horsens Fjord ved udløbet af Bygholm Å

Horsens Kommune

Ringvej Syd

Flowmodellering af indre Horsens Fjord ved udløbet af Bygholm Å

Kunde	Horsens Kommune
Rådgiver	Orbicon | WSP Jens Juuls Vej 16 8260 Viby J
Projektnummer	1321800262-08
Dokument ID	1321800262-08
Projektleder	Anders Jensen
Kvalitetssikret af	Morten Engholm Larsen
Godkendt af	Rasmus Bang
Udgivet	03-07-2020
Version	6. version

Indholdsfortegnelse

1. Baggrund og formål 4

2. Konklusioner 4

3. Modelværktøj og modelopsætning 5

3.1 Modelværktøj 5

3.2 Modelopsætning 5

3.3 Modelscenarier 6

4. Resultater 11

4.1 Strømningsforhold omkring åbninger og sluser 11

4.2 Fortynding af perkolat 15

5. Referencer 21

1. Baggrund og formål

Orbicon | WSP bistår Horsens Kommune med teknisk rådgivning og ydelser i forbindelse med løsning af opgaver inden for teknik- og miljøområdet for planlægning af Ringvej Syd etape 2 og 3, hvor forbindelsen over Bygholm Å / Horsens Fjord er en vejdæmning med højvandsporte, som skal beskytte Horsens midtby mod vandstandsstigninger fra fjorden.

Dæmningen forsynes med åbninger med højvandsporte som forbinder Bygholm Å med fjorden. Dæmningen vil uundgåeligt medføre en reduktion af vandudskiftningen mellem fjorden og åen, og da den yderste del af åen passere forbi en tidligere losseplads tilføres vandet en ukendt mængde perkolat, som vil indeholde forurenende stoffer. Formålet med denne undersøgelse er at belyse fortyndings forholdene før og efter etablering af dæmningen, samt bestemme strømhastigheder, som vil optræde i åbningerne under ekstremvandføring i åen.

Opgaven udføres i henhold til aftale på møde mellem Horsens Kommune, Atkins og Orbicon | WSP den 25-5-2020 og ATR nr. 10 af 25-05-2020.

Omfanget af opgaven er beskrevet i note vedr. grundlag og forudsætninger for flowmodellering af indre Horsens Fjord ved udløbet af Bygholm Å fra den 2. juni 2020 som er udsendt til kommunen og til Atkins, som er den tekniske rådgiver på anlægget.

Omfanget og antal af model scenarier er blevet modificeret i henhold til modtagne kommentarer fra kommunen og Atkins, som beskrevet i kapitel 3.

Efter at det endelige design og placering af sluse og sluserør er udarbejdet er det endelige design blevet testet i den numeriske model. Den endelige model er blevet udvidet lidt mod vest og beregningsnettet er blevet forfinet i området tæt på dæmningen for at forfine opløsningen af strømmønstre og fortynding omkring dæmningen. Ændringerne ændre ikke ved de konklusioner som den mindre og grovere model, der blev anvendt til at screene forskellige layouts med, resulterede i.

2. Konklusioner

- Strømhastighederne i slusekammer og sluserør ved normal vinter og sommervandføring er meget små og aflejring af finkornet- samt organisk materiale må påregnes.
- Skiftevis lukning af sluseporte kan muligvis skylle sluserne fri for aflejringer, ellers må de renses manuelt.
- Høj vandføring giver strømhastigheder i slusen og sluserør på 1 m/s hvilket er nok til at erodere havbunden omkring indløbene, derfor må der anlægges en erosionsbeskyttelse af havbunden nær indløbene.
- Slusearrangement bestående af 1 x 10 m gennemsejlingssluse + 4 x 2,5 m brede sluserør med loft i samme kote som lukke koten (+0,6 m DVR90) er tilstrækkeligt til at sikre at vandspejlet inden for dæmningen holdes under lukke koten selv under en ekstrem og langvarig vandføring på 30 m^3/s i Bygholm Å
- Fortynding af perkolat bliver noget mindre inden for dæmningen når den er på plads, til gengæld sker der en bedre fortynding uden for dæmningen det udsivende perkolat ikke længere følger fjordens sydkyst.

- Høje vandføringer i Bygholm Å betyder væsentligt bedre fortynding af perkolat og er den helt dominerende faktor som bestemmer fortyndingsforholdene.

3. Modelværktøj og modelopsætning

3.1 Modelværktøj

Grundlaget for vurderingen af fortyndingsforholdene samt strøm igennem åbningerne, er den hydrodynamiske model MIKE 21 FM. Modellen er en numerisk todimensional strømningsmodel baseret på løsningen af de Reynoldsmidlede Navier-Stokes ligninger. Beregningsformuleringer kan findes i /1/.

På trods af, at der i området til tider kan forekomme lagdelt strømninger, grundet forskellen i salinitet mellem åen og fjorden, er vurderingen at den manglende tredimensionelle modelbeskrivelse, som lagdelt strøm vil kræve, ikke er af signifikant betydning for denne strøm- og fortyndingsvurdering. Vanddybderne i modelområdet er 2 m eller derunder, så selv mindre lokale vindgenerede bølger vil opblande vandsøjlen og det er kun relative forskelle i fortyndinger med og uden dæmning som undersøges.

Selve fortyndingen modelleres samtidig med hydrodynamikken vha. AD modulet (Advektion-Dispersion) /2/. Modulet beregner den advektive og dispersive transport af et vilkårligt opløst stof. Der er som udgangspunkt benyttet standardværdier for modelparametrene eksempelvis til beregning af dispersionskoefficienter.

Modellen er ikke kalibreret, da der ikke er målinger tilgængeligt inden for modelområdet, som muliggør en kalibrering. Derfor er resultaterne kun indikative, men de relative forskelle i strømhastigheder og fortyndingsforhold er sikre og dermed er konklusionerne også sikre.

MIKE 21 FM modellen har igennem flere årtier vist sig at være meget pålidelig i forhold til retvisende resultater og må betragtes som et state-of-the-art værktøj til netop disse typer opgaver.

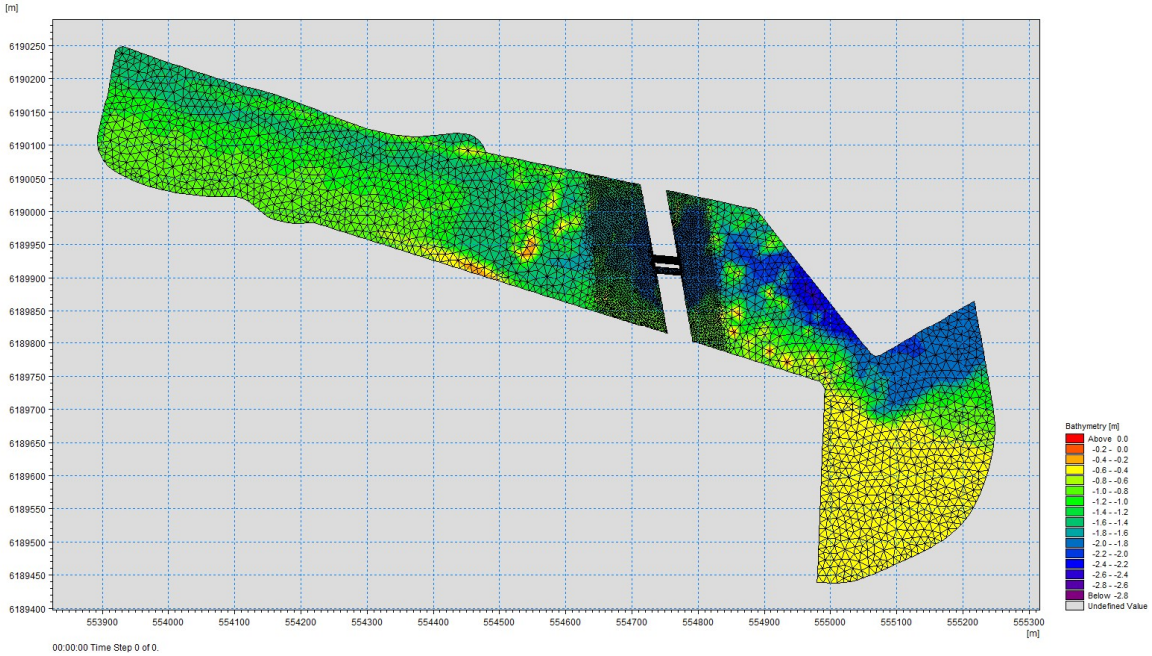
3.2 Modelopsætning

FM modellen adskiller sig fra den ”traditionelle” MIKE 21 model ved at anvende et Flexible Mesh, altså et fleksibelt beregningsnet (både trekanter og rektangler), der lettere kan tilpasse sig den aktuelle bathymetri af modelområdet samt muliggør en finere beregningsopløsning på udvalgte steder, f.eks. i åbninger i dæmningen Modellen består af ca. 7.500 beregningselementer med den højeste opløsning omkring dæmningen og i de mest lavvandede områder.

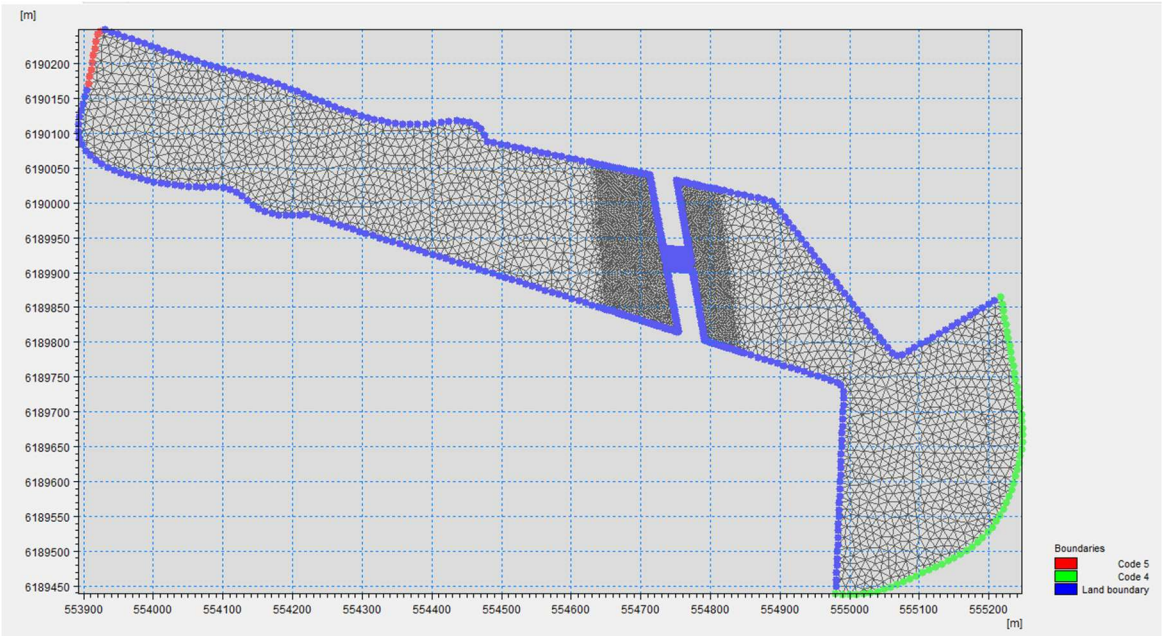
Bathymetrien (dybdeforholdene) for området er opbygget ud fra DTK/25 fra Kortforsyningen (Kort og Matrikelstyrelsen), bathymetrisk opmåling foretaget i forbindelse med udarbejdelse af /3/ (opmåling foretaget i forbindelse med marin biologisk kortlægning), samt opmåling af dæmningstracéet udført af Atkins i 2020. Dybdeforhold på modelranden ud mod fjorden er fundet på søkort.

Modellen er etableret, så randen ind mod Bygholm Å, er lagt så langt ind mod åen som bathymetri data fra /3/ tillader, og randen ud mod fjorden er lagt et stykke ude i fjorden i forhold til den

kommende dæmning. Modelområde, mesh (beregningsnet) og bathymetrier er vist på Figur 1, modelrande er vist på Figur 2. Figurerne viser den udvidede og forfinede model.



Figur 1 Model mesh og bathymetri med åbninger og højvandssluser.



Figur 2 Model mesh med angivelse af model rande. Rød er randen til Bygholm Å og grøn er randen til Horsens Fjord

3.3 Modelscenarier

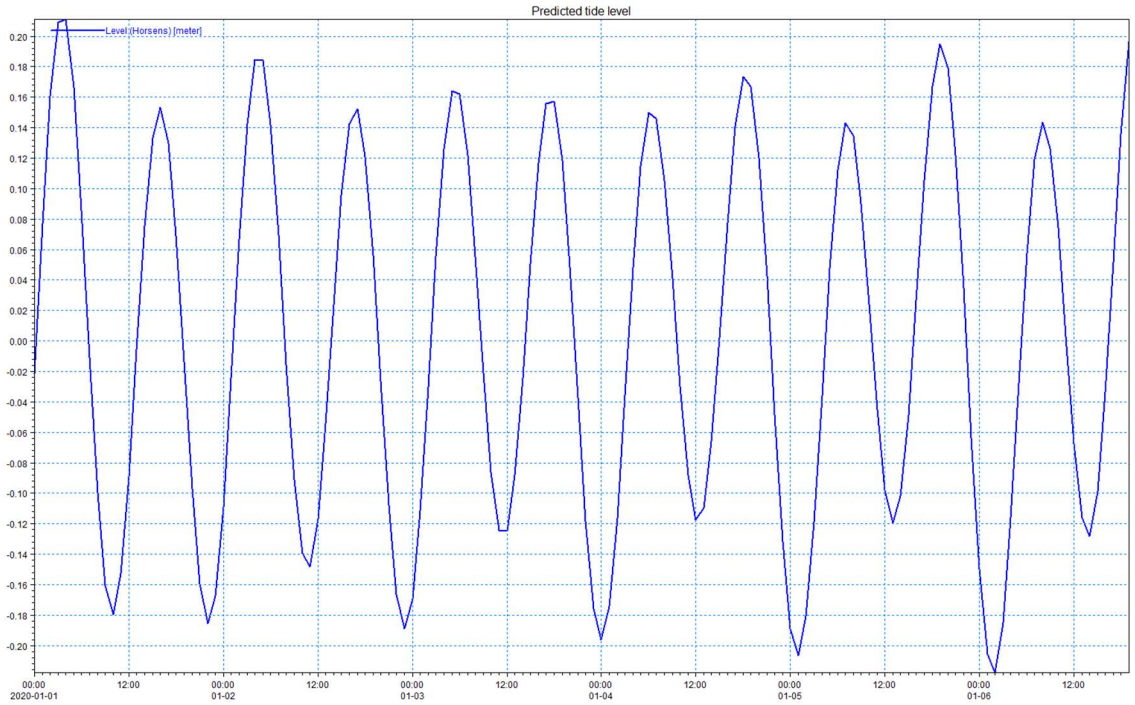
Randbetingelser i randen til Bygholm Å er givet som vandføringer jf. Tabel 1.

Tabel 1 Modelscenarier

Vandføring Bygholm Å	Vandstand Horsens Fjord	Bathymetri	Bathymetri	Bemærkninger
Sommer minimum: 0,46 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Uden dæmning	Dæmning med 1 x 10 m sluse + 4 x 2,5 m sluserør	Værste scenarie med hensyn til fortynding. Endelig verification af dette layout er udført med den forfinede model.
Vinter middel: 2,8 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Uden dæmning	+ dæmning 3 x 10m åbning	Normalt vinter scenarie
Vinter høj: 25 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Uden dæmning	+ dæmning 3 x 10m åbning	Høj fortynding
Ekstrem: 30 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Med dæmning	+ dæmning 3 x 10m åbning	Strømforhold i sluserne under ekstremvandføring
Ekstrem: 30 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Med dæmning	+ dæmning 1 x 10m åbning	Strømforhold i sluserne under ekstremvandføring
Ekstrem: 30 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Med dæmning	+ dæmning 2 x 10m åbning	Strømforhold i sluserne under ekstremvandføring
Ekstrem: 30 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Med dæmning	+ dæmning 1 x 10m + 4 x 2,5m åbning	Strømforhold i sluserne under ekstremvandføring
Ekstrem: 30 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Med dæmning	Pumpning	Kun afløb gennem pumper

Randbetingelsen er givet som de i Tabel 1 angivne volumener jævnt fordelt over hele den røde rands bredde, se Figur 2.

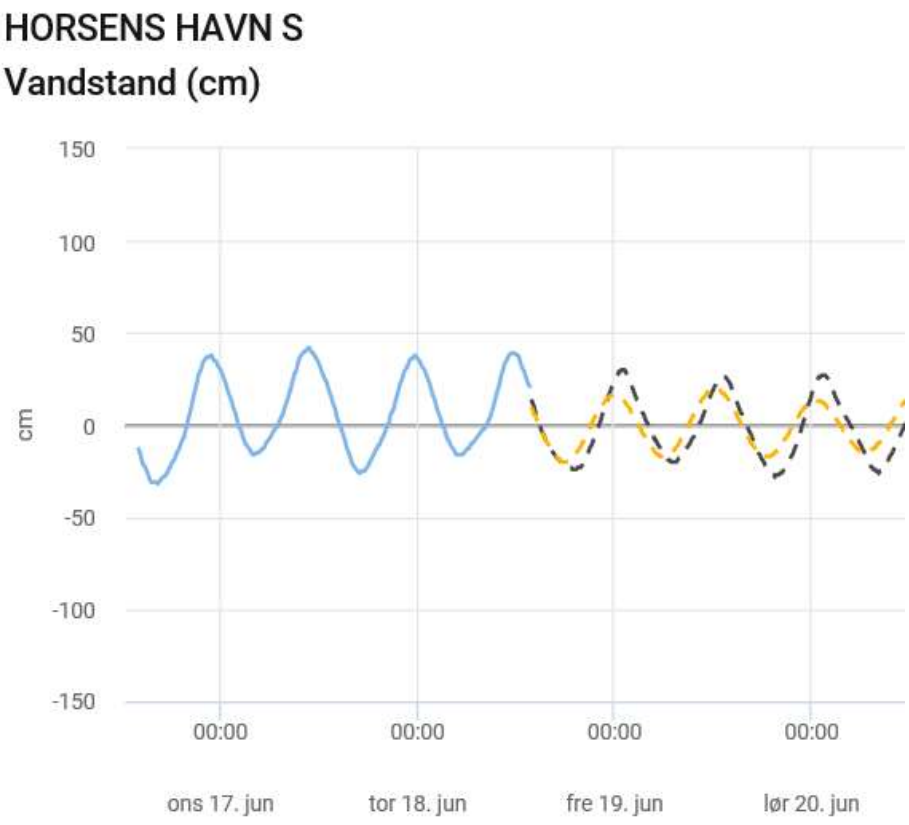
Randbetingelsen ud til Horsens fjord er givet som tidevandsvariation, se Figur 3.



Figur 3 Beregnet tidevandsvariation i Horsens Havn. Tidevandets størrelse er beregnet ud fra tidevandets konstituenter (månens og solens tiltrækning)

Det beregnede tidevand er en god efterligning af de målte data under normale vejrforhold, se Figur 4.

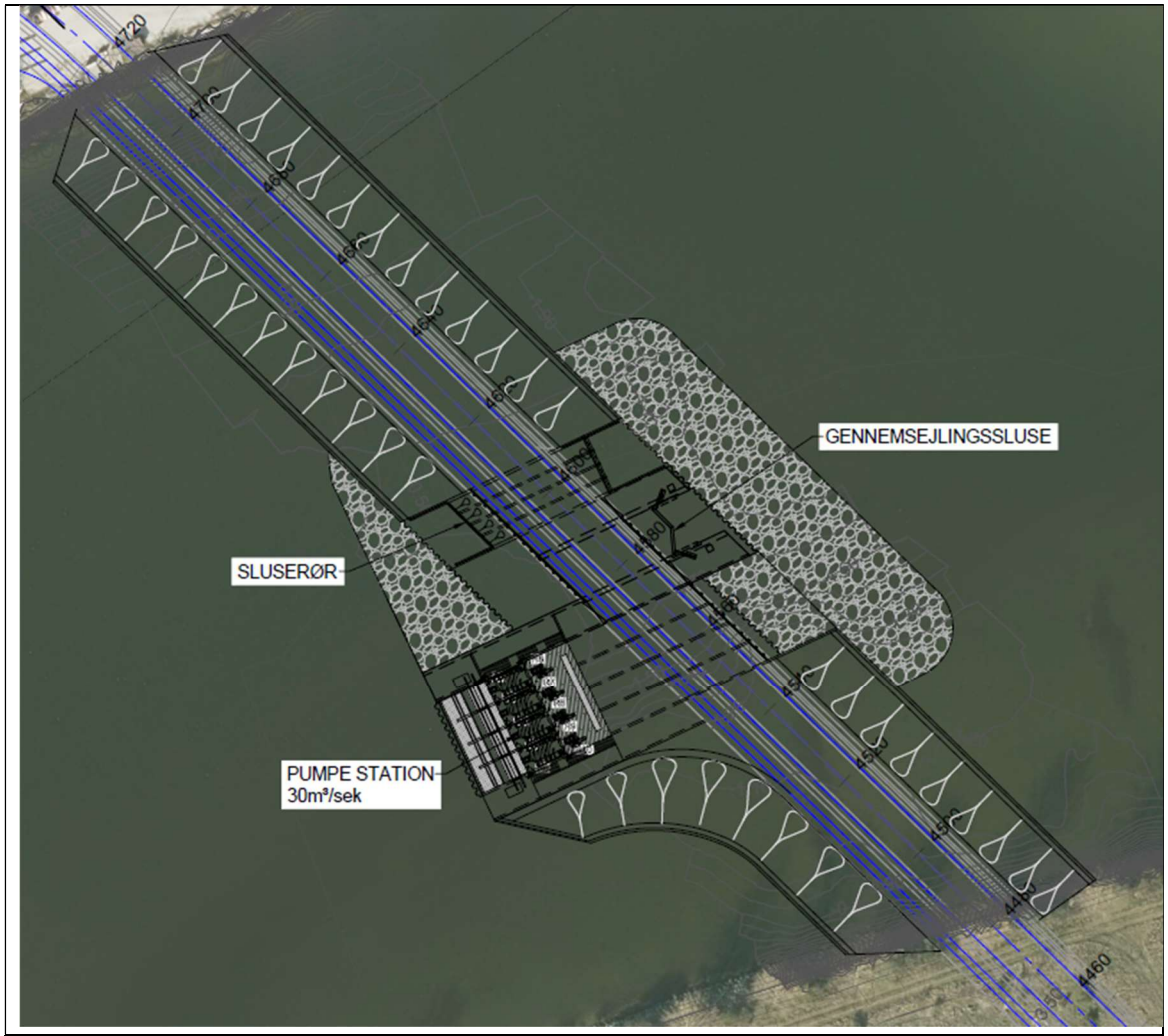
De reelle randbetingelser vil naturligvis afvige fra de her anvendte, men til beregning af fortyndingsforhold og strømmønstre omkring dæmning og åbninger giver de valgte randbetingelser et rimeligt billede af virkeligheden.



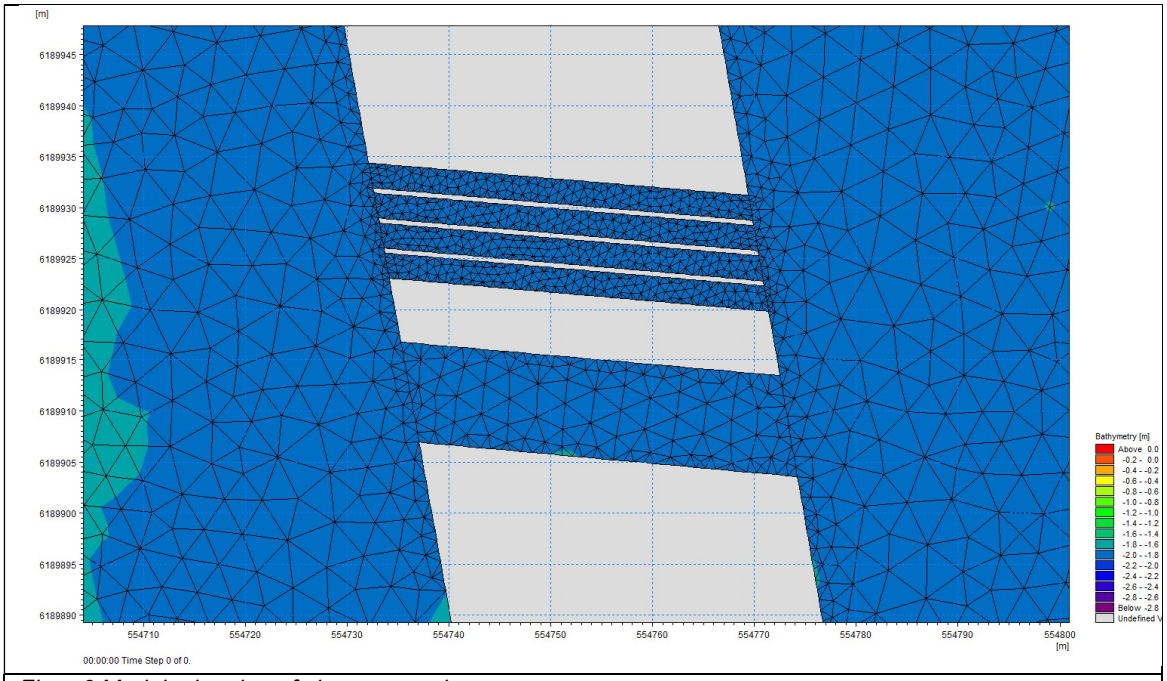
Figur 4 Målt (blå) og beregnet(brun) tidevand i Horsens Havn. Den sorte kurve angiver den samlede effekt af det astronomiske tidevand og vejrets indflydelse.

Dæmningen er forsynet med åbninger (slusekamre), som har en bundkote i -2 m DVR90 og en gennemsejlingshøjde på 2 m ved normal vandstand. Optimeringen vil foregå ved at beregne hvor stort et gennemstrømnings areal, som er nødvendigt for, at de maksimale 30 m^3/s kan passere gennem sluserør uden der opstår enkelttab hvilket medføre stor modstand. Når gennemstrømningsarealet er fundet, anvendes det i fortyndingsscenarie beregningerne som angivet i tabel 1.

Overgang mellem sluserør og dæmning afrundes for at undgå numerisk ustabilitet i modellen som kan opstå, hvis der optræder enkelt tab inde i modellen. Afrundingen er ikke til design men er indikativ. Sluserør placeres som vist på Figur 5.



Figur 5 Placering af sluserør og porte i dæmningen, billede til højre gengiver placeringen i modellen med lukkede højvandssluser. Slusen er 10 m bred og har en vanddybde på -2 m ved DVR 90 = 0 m og de 4 sluserør har en bredde på 2,5m og ligeledes en vanddybde på -2 m ved DVR 90 = 0 m. Højden af sluserør er forudsat at svare til højvandslukke niveauet da alle beregningerne forudsætter en fri vandoverflade.



Figur 6 Modelopløsning af sluserør og sluse.

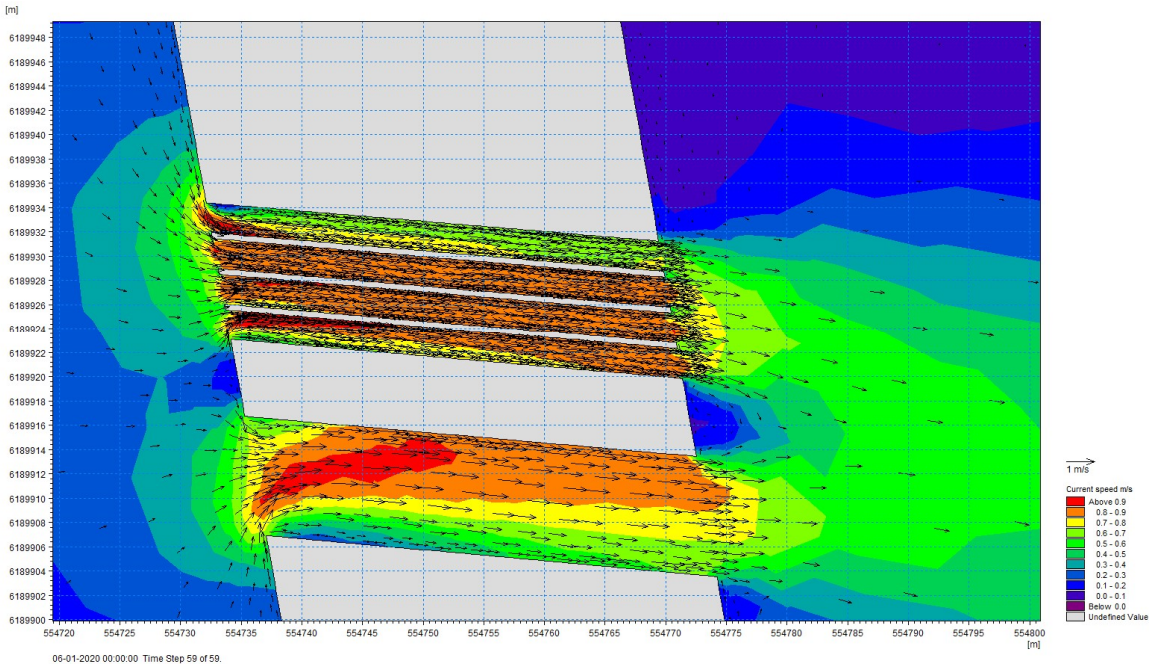
Modellens tidsskridt (tidsinterval for beregning af vandets bevægelse i hvert beregningspunkt) variere mellem 0,1 sekund og 30 sekunder. Modellen finder selv det højest mulige tidsskridt som kan opnås uden, at der opstår numerisk ustabilitet (vandet må ikke springe beregningspunkter over, så jo finere model grid kombineret med højere vandhastighed, jo mindre tids skridt o.a).

Der er ikke indregnet forhøjet vandstand i fjorden, da det i modellen alene vil medføre, at den generelle vandstand inden for dæmningen stiger tilsvarende.

4. Resultater

4.1 Strømningsforhold omkring åbninger og sluser

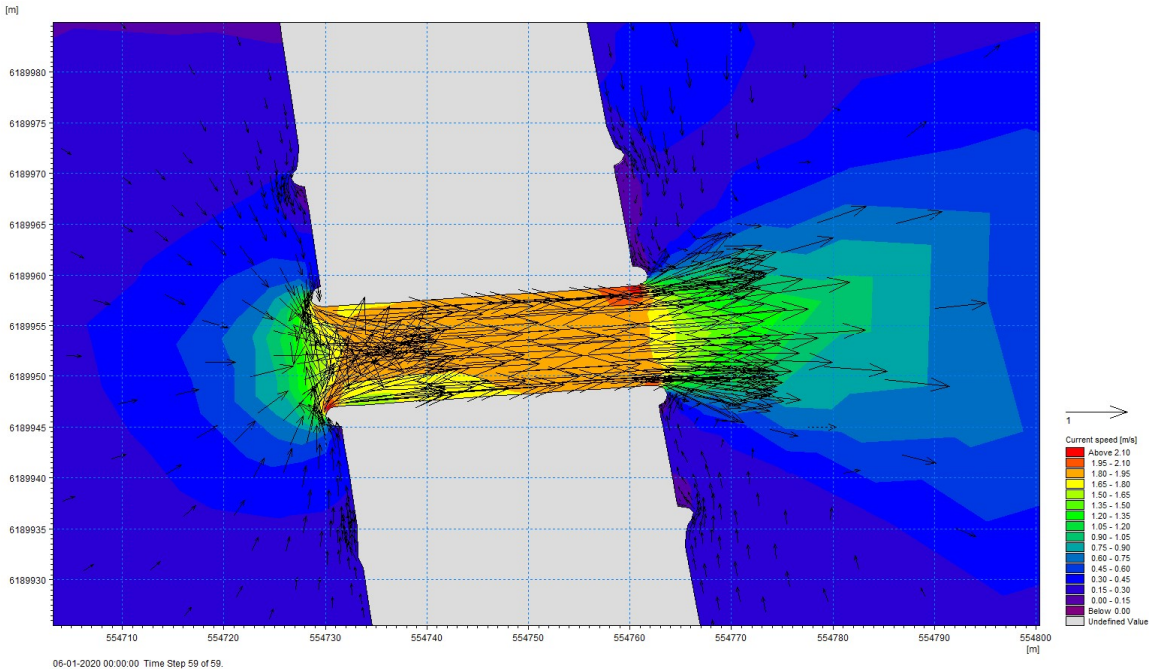
Bemærk af strømhastighedsskalaerne angivet som farver, variere fra figur til figur! Det er valgt for at få maksimal information ud af de strømningsmønstre, som optræder under de forskellige scenarier.



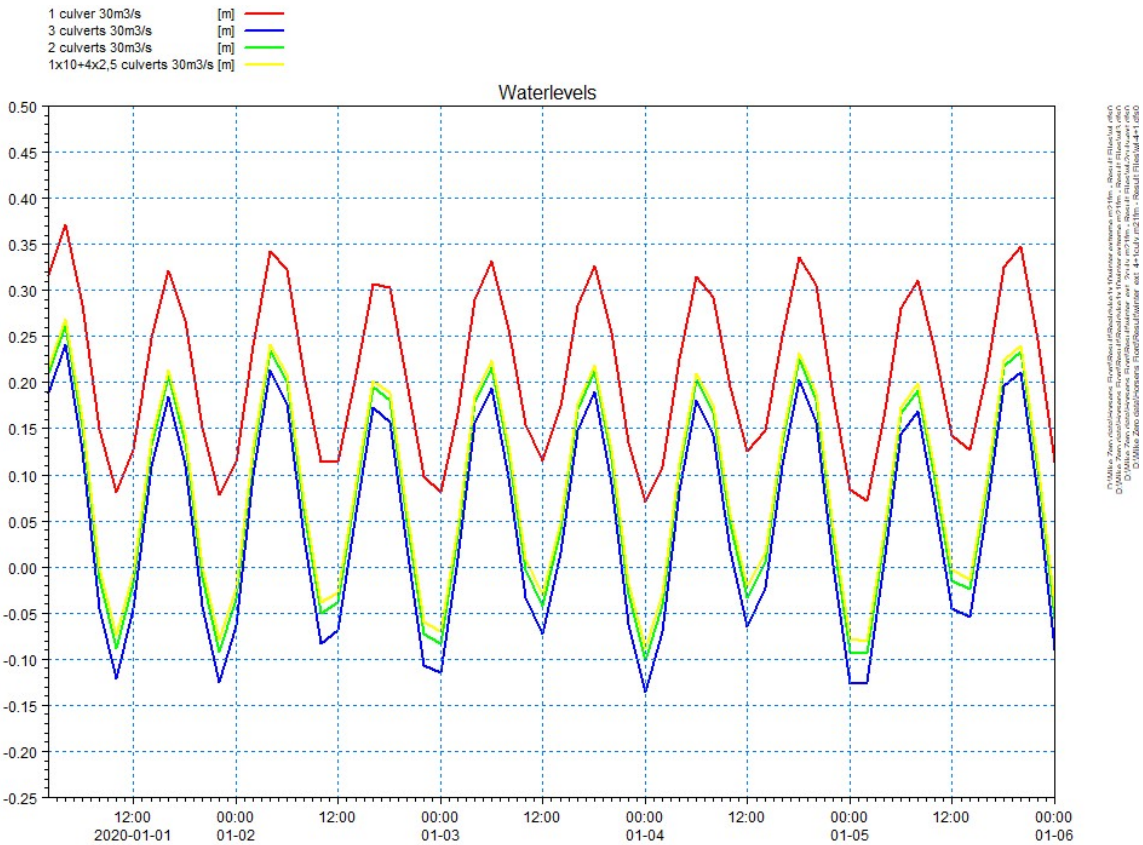
Figur 7 Strømforhold i sluserør og sluse ved ekstrem vandføring i åen 30 m^3/s

Figur 7viser strømforholdene i slusen og sluserør under ekstrem vintervandføring (30 m^3/s) i åen og normalt tidevand. Strømhastigheden når flere steder op på nær 1 m/s, hvilket er tilstrækkeligt til at flytte sand og fjerne evt. aflejring af finkornet sediment og organisk materiale. Strømhastighederne nær åbningerne er også høje nok til at forårsage erosion i bunden, hvorfor det må anbefales, at der lægges et erosionsbeskyttende lag ud for sluse åbningerne. Bedømt ud fra modelresultatet skal laget være mindst 2 m bredt, og strække sig horisontalt væk fra sluseåbningerne og også rundt om hjørnerne til dæmningen. Laget bør bestå af sten eller lignende ikke eroderbart materiale. Toppen af erosionslaget skal flugte med bundniveauet inde i sluserne, for at mindske aflejring inde i sluserne.

Figur 8 viser strømhastighed, hvis gennemstrømningsbredden reduceres til 10 m, dvs. uden sluserør. Meget høje strømhastigheder på over 2 m/s vil optræde langs slusekammerets vægge og ud for indløb og udløb. Større og kraftigere erosionsbeskyttelse vil blive nødvendigt.



Figur 8 Strømhastighed gennem ét sluse kammer på 10 m´s bredde under ekstremvandføring (30 m^3/s)



Figur 9 Modelberegnet vandstand under ekstrem vandføring. Den røde linje viser vandstandsvariation inden for dæmningen med en 10 m åbning, den grønne linje viser vandstandsvariationen med 2 x 10 åbninger og den blå linje viser variationen med 3 x 10 m åbning.

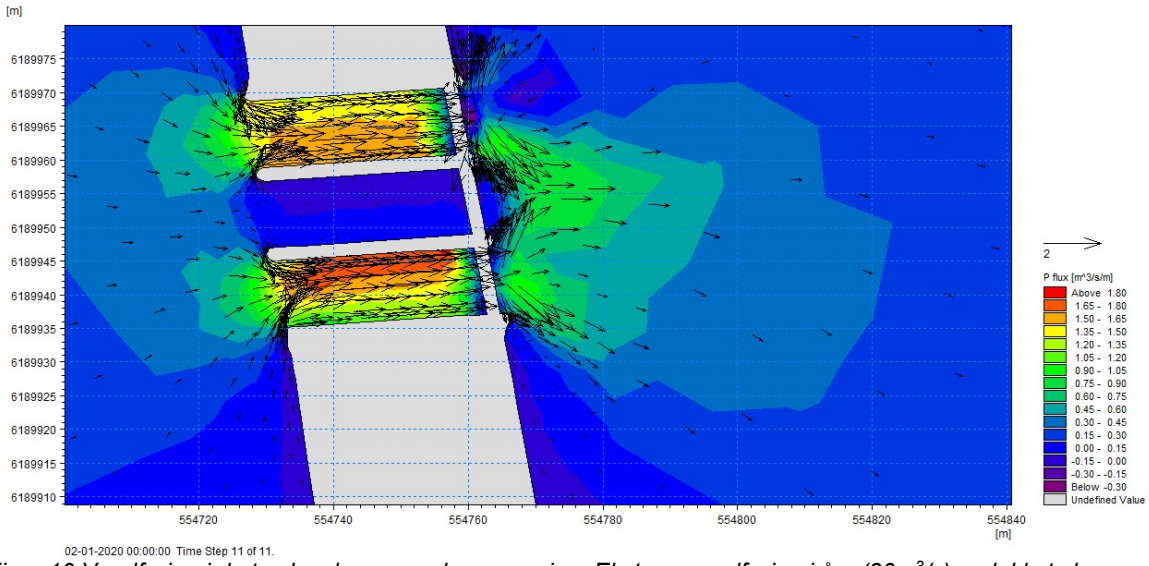
Figur 9 viser, at én 10 m bred åbning ikke er tilstrækkelig til at bibeholde vandstanden inde i området bag dæmningen. Vandstanden er højere sammenlignet med 1 x 10 m + 4 x 2,5 m, 2 x 10 m og 3 x 10 m løsningerne, hvilket viser, at 1 x 10 m er kapacitetsmæssigt i underkanten og at modstanden i anlægget er høj, hvilket vil give problemer, når slusen er lukket og pumperne tager over.

Det er tydeligt at 1 x 10 m sluse er for lidt, medens 1 x 10 m + 4 x 2,5 m, 2 x 10 m og 3 x 10 m giver tilstrækkelig kapacitet til at klare en ekstrem vandføring på 30 m^3/s, også ved en langvarig ekstremsituation. De viste variationer er over 6 døgn.

Figur 10 viser vandføring under pumpning fra 2 af slusekamrene. Pumpeindtag er fordelt jævnt langs den 10 m brede sluse, fordi det på grund af de små netmasker i modellen, ikke er muligt at fjerne mere end godt 2 m^3/s fra hvert beregningspunkt i modellen uden, at der opstår numerisk ustabilitet.

Størst vandføring og strømhastighed findes langs de midterste afgrænsninger af slusekamrene. Det skyldes, at vandet suges ned langs dæmningen og drejes ind mod pumperne i slusekamrene. Inertien i vandet gør, at det presses ind mod midten af sluseanlægget.

Udløb fra pumperne er ikke retningsbestemt, så modellen gengiver ikke en eventuel jet som måtte opstå ved et retningsbestemt udløb.

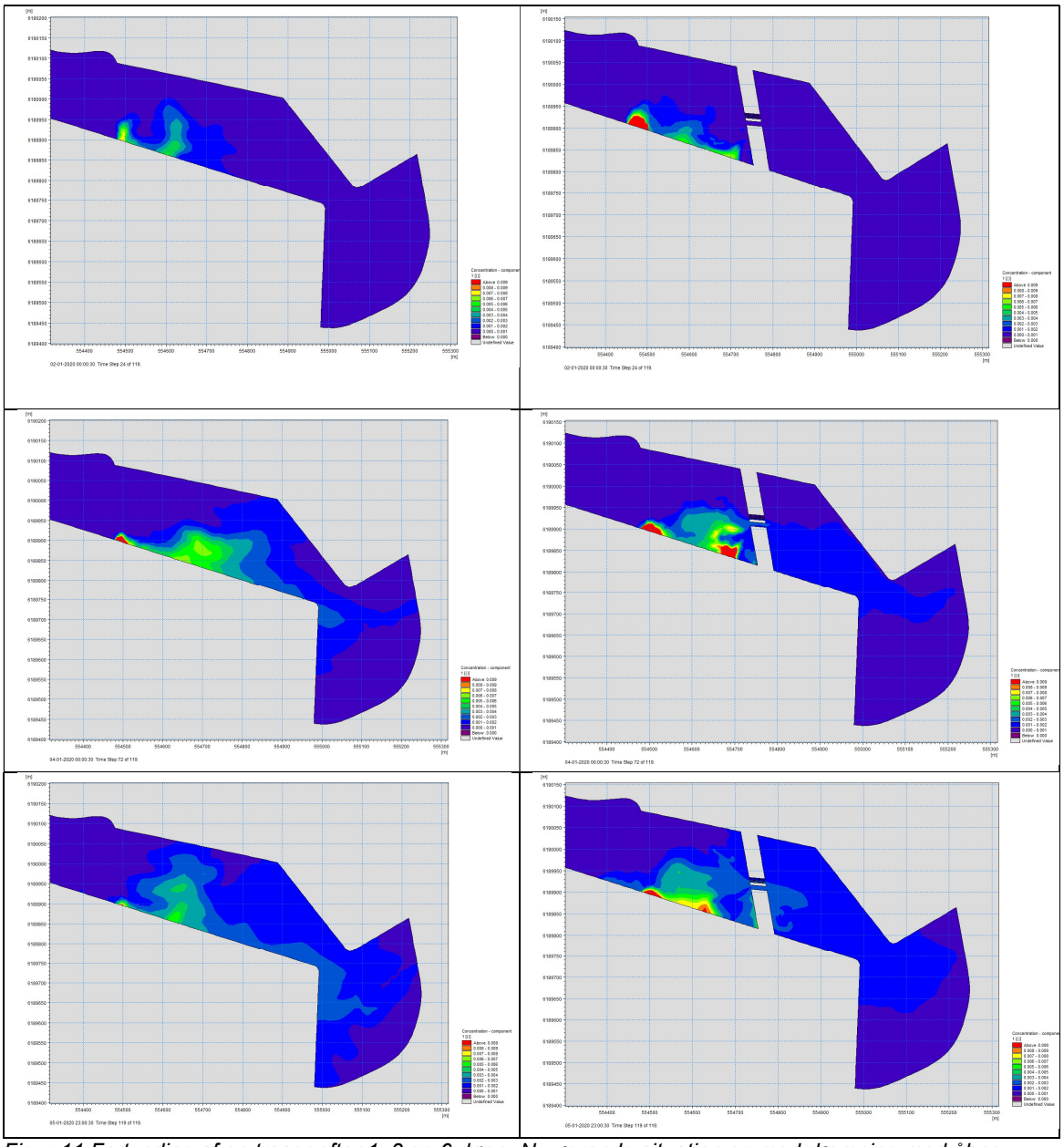


Figur 10 Vandføring i de to slusekamre under pumpning. Ekstrem vandføring i åen(30m^3/s) og lukket sluser.

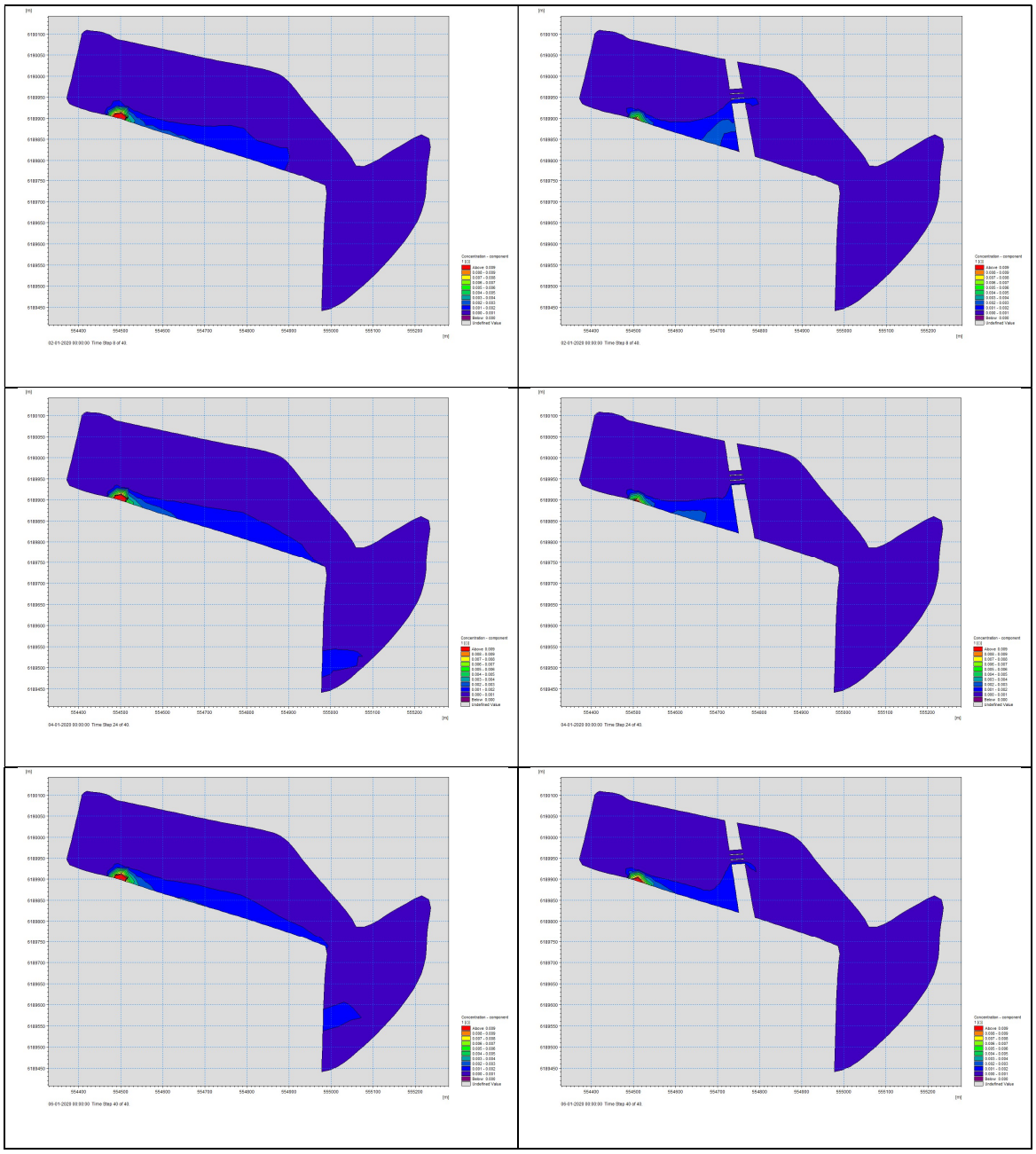
4.2 Fortynding af perkolat

Fortyndingsforholdene med og uden dæmning er belyst ved at tilsætte en tracer til modellen i et punkt langs den sydlige kyst inden for dæmningen. Kildestyrken er sat til 1 l/s med en koncentration på 1.

Figur 11 viser udvikling i fortyndingen med og uden dæmning med sluser under en sommer situation med minimum vandføring i åen som er den værste situation hvad angår fortynding af perkolat. Fortyndingsberegningen for denne situation er udført med det endelige layout med en 1 x 10 m sluse og 4x 2,5 m sluserør med højvandslukke.

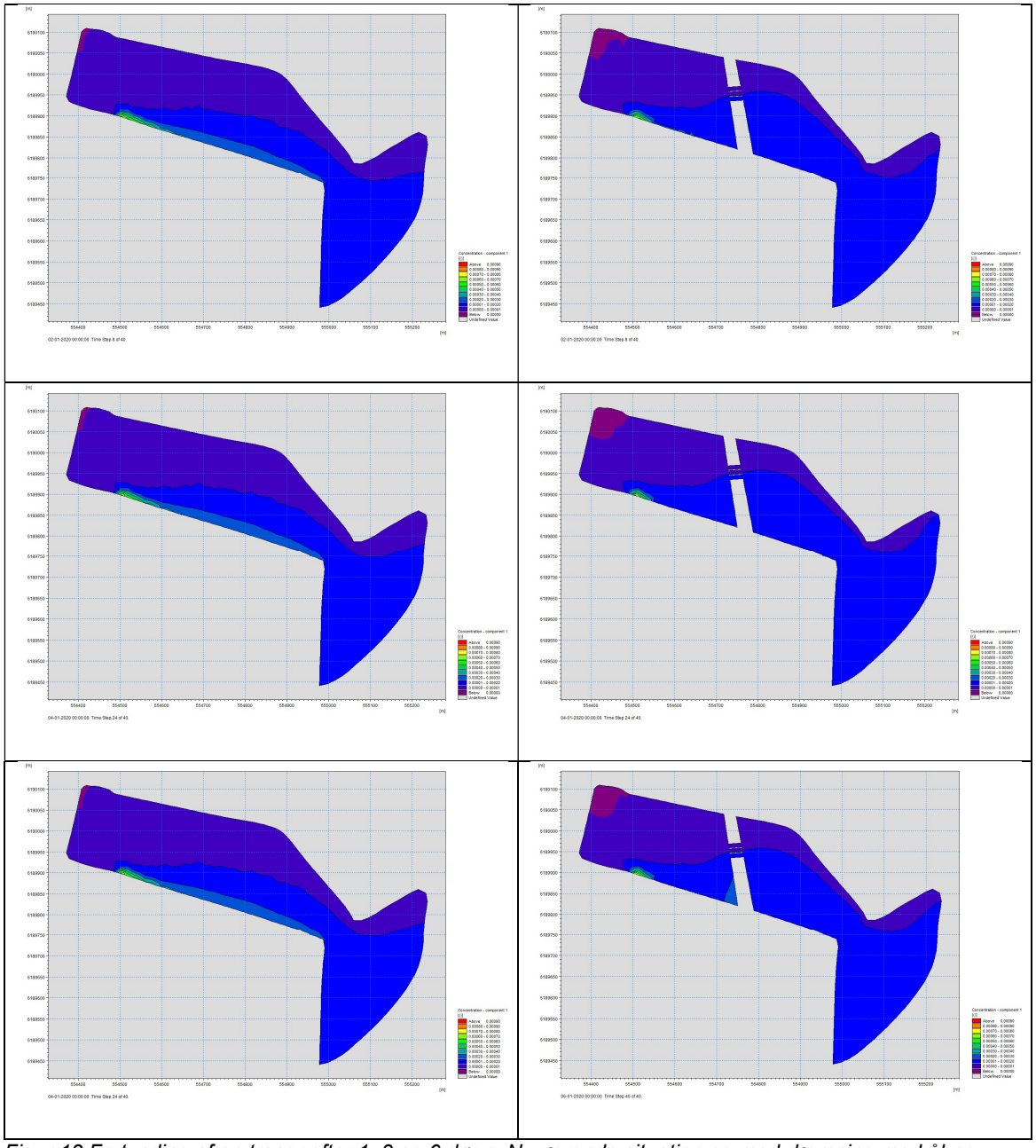


Figur 11 Fortynding af en tracer efter 1, 3 og 6 døgn. Nuværende situation og med dæmning med åbne sluser. Min sommervandføring (0,46 m³/s) og tidevand. Endeligt layout af sluse og sluserør.



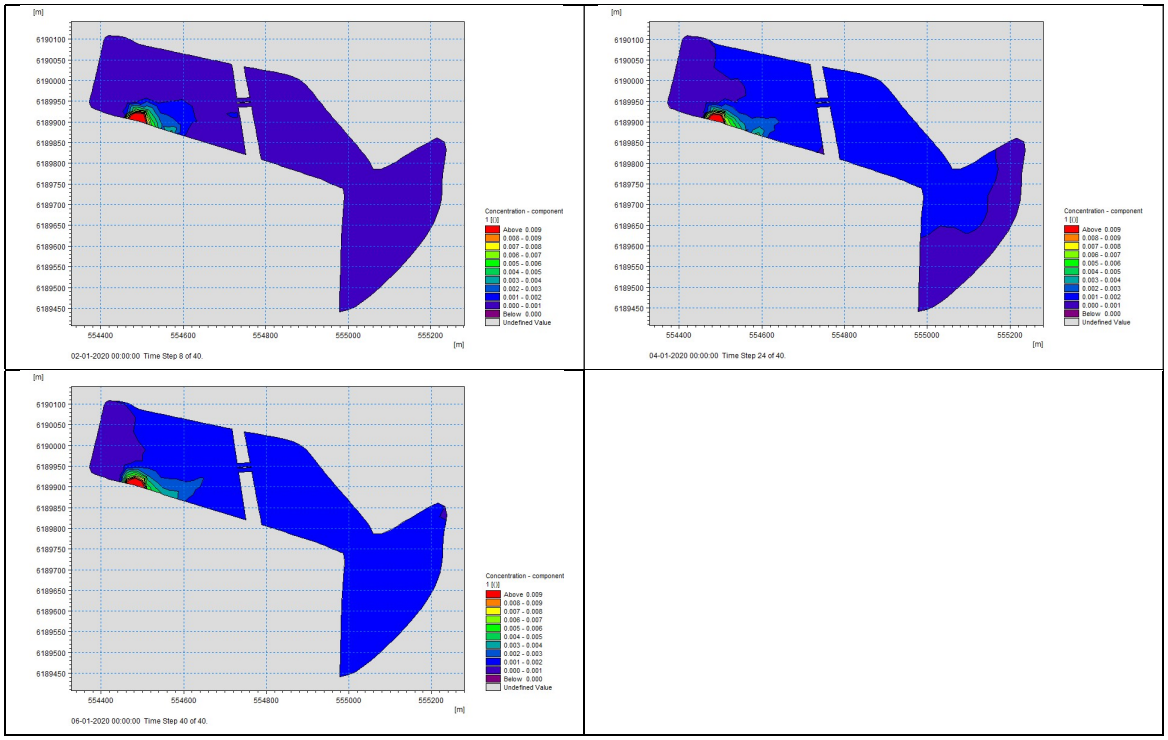
Figur 12Fortynding af en tracer efter 1, 3 og 6 døgn. Nuværende situation og med dæmning med åbne sluser. Middel vintervandføring (2,8 m^3/s) og tidevand.

Fortyndingen er naturligvis meget større om vinteren, se Figur 12 og Figur 13 med den højere vandføring i åen. Disse scenarier er vist med et layout med 3 x 10 m sluser. Forskellen til det endelige layout har ikke betydning ved de høje vandføringer for forskellene i fortynding med og uden dæmning Fortyndingsmønsteret med større spredning med dæmningen er det samme. Bemærk at farveskalaen, som viser koncentration af traceren, er formindsket med en faktor 10 i Figur 13 for at kunne se den lave koncentration.



Figur 13 Fortynding af en tracer efter 1, 3 og 6 døgn. Nuværende situation og med dæmning med åbne sluser. Høj vintervandføring (25 m^3/s) og tidevand. OBS ! bemærk at koncentrationsskalaen er formindsket med en faktor 10 på grund af den større fortynding.

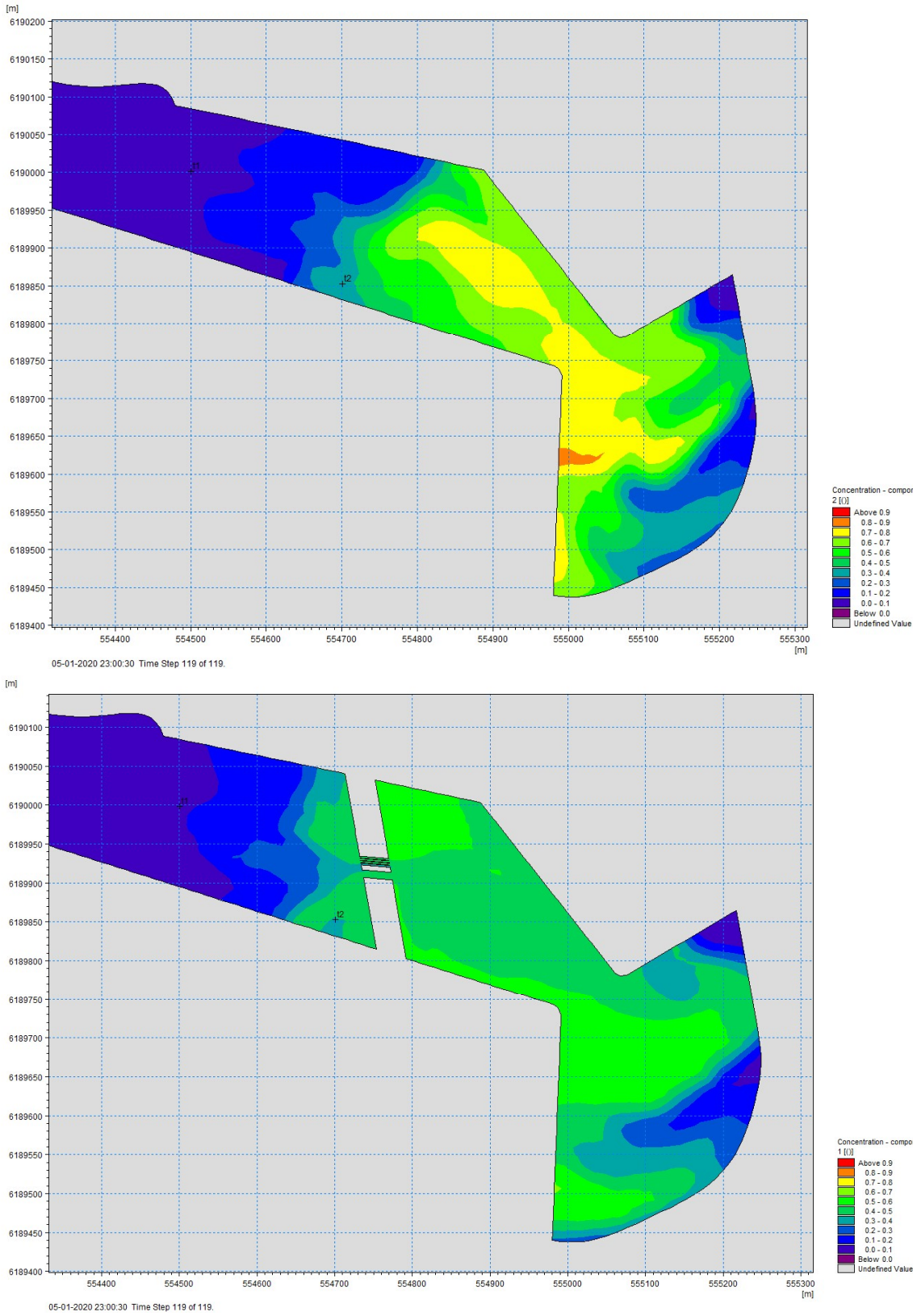
Fortyndingsberegningerne viser, at der ved lave vandføringer i åen og layout med én sluse og 4 sluserør sker en forøgelse af det område inden for dæmningen som påvirkes af traceren (perkolat) samt at koncentrationen af perkolat bliver højere på sydsiden af fjorden end i situationen uden dæmning.



Figur 14 Fortynding af en tracer efter 1, 3 og 6 døgn. Dæmning med 2 åbne sluser. Min sommervandføring (0,46 m^3/s) og tidevand.

Figur 14 Fortynding af en tracer efter 1, 3 og 6 døgn. Dæmning med 2 åbne sluser. Min sommervandføring (0,46 m^3/s) og tidevand. Fortynding af perkolat bliver mindre når der kun er to sluser i forhold til situationen med 3 x 10 m sluser, men forskellen til situationen med de tre sluser er lille.

Halvveringstid for en imaginær tracer med en initial koncentration 1 i modelområdet inden for dæmningen er beregnet i to punkter som vist på Figur 15.
For situationen uden dæmning er t½ i punktet t1 3 døgn, mens den er 3,5 døgn i situationen med dæmningen. I punktet t2 som ligger uden for hovedstrømmen i Bygholm Å er halveringstiden uden dæmning er t1/2 5 døgn medens den er godt 6,5 døgn med dæmningen. Fig 15 viser at traceren fortyndes bedre uden for dæmningen fordi udløbet fra åen flyttes væk fra kysterne og ud hvor vanddybden er større.



Figur 15 Fortynding af en tracer med initial koncentration 1 i området vest for dæmningen. Uden dæmning øverst og med dæmning nederst. Punkterne t1 og t2 angiver hvor halveringstiden er beregnet.

5. Referencer

/1/ DHI 2019: MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM
https://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/product-documentation/short%20descriptions/mike213_fm_hd_short_description.pdf

/2/ DHI 2019: MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, transport module
https://www.mikepoweredbydhi.com/-/media/shared%20content/mike%20by%20dhi/flyers%20and%20pdf/product-documentation/short%20descriptions/mike213_fm_tr_short_description.pdf

/3/ Orbicon | WSP 2020: Miljøkonsekvensrapport Ringvej Syd, etape 2 og 3. Rapport til Horsens Kommune udarbejdet af Flemming Berg m.fl. dateret 5-03-2020.

/4/ Orbicon 2019 C2C CC – C14 Sikring af Horsens By imod oversvømmelse, Notat til Horsens Kommune udarbejdet af Morten E. Larsen Orbicon dateret 24-1-2019

Note vedr. grundlag og forudsætninger for flowmodellering af indre Horsens Fjord ved udløbet af Bygholm Å

Projektnavn	VVM arbejder vedr. Ringvej Syd etape 2 og 3
Projektnummer	1321900262
Kunde	Horsens Kommune
Projektleder	Signe Gammeltoft-Pedersen
Udarbejdet af	Anders Jensen
Kvalitetssikret af	Morten Larsen
Version	01
Versionsdato	02-06-2020

Orbicon | WSP bistår Horsens Kommune med teknisk rådgivning og ydelser i forbindelse med løsning af opgaver inden for teknik- og miljøområdet for planlægning af Ringvej Syd etape 2 og 3.

I henhold til aftale på møde mellem Horsens Kommune, Atkins og Orbicon | WSP den 25-5-2020 og ATR nr. 10 af 25-05-2020, har Orbicon udarbejdet nærværende note som beskriver de model scenarier som skal testes.

Modellen som anvendes, er MIKE 21 som er en 2 dimensional hydrodynamisk model. På grund af den ringe vanddybde er det ikke relevant at bruge en tredimensional model. Modellen sættes op i et fleksibelt net med små maskestørrelser nær hjørner og åbninger og større maske størrelser ude i bassinet og i fjorden.

Der gennemføres 4 scenarier med og uden dæmning, dvs. i alt 8 modelscenarier som vist i tabel 1. Hvert scenarie vil repræsentere 3 døgn. Grundlag for scenarierne er Notat C2C CC – C14 Sikring af Horsens By imod oversvømmelse (24-01-2019).

Tabel 1 Model scenarier

Vandføring Bygholm Å	Vandstand Horsens Fjord	Bathymetri	Bathymetri	Bemærkninger
Sommer minimum: 0,46 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Uden dæmning	+ dæmning	Værste scenarie med hensyn til fortynding
Vinter middel: 2,8 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Uden dæmning	+ dæmning	Normalt vinter scenarie
Vinter høj: 25 m^3/s	Tidevand ± 0,2 m	Uden dæmning	+ dæmning	Høj fortynding
Ekstrem: 30 m^3/s	+1m	Uden dæmning	Pumpning + dæmning	Kun afløb gennem pumpe

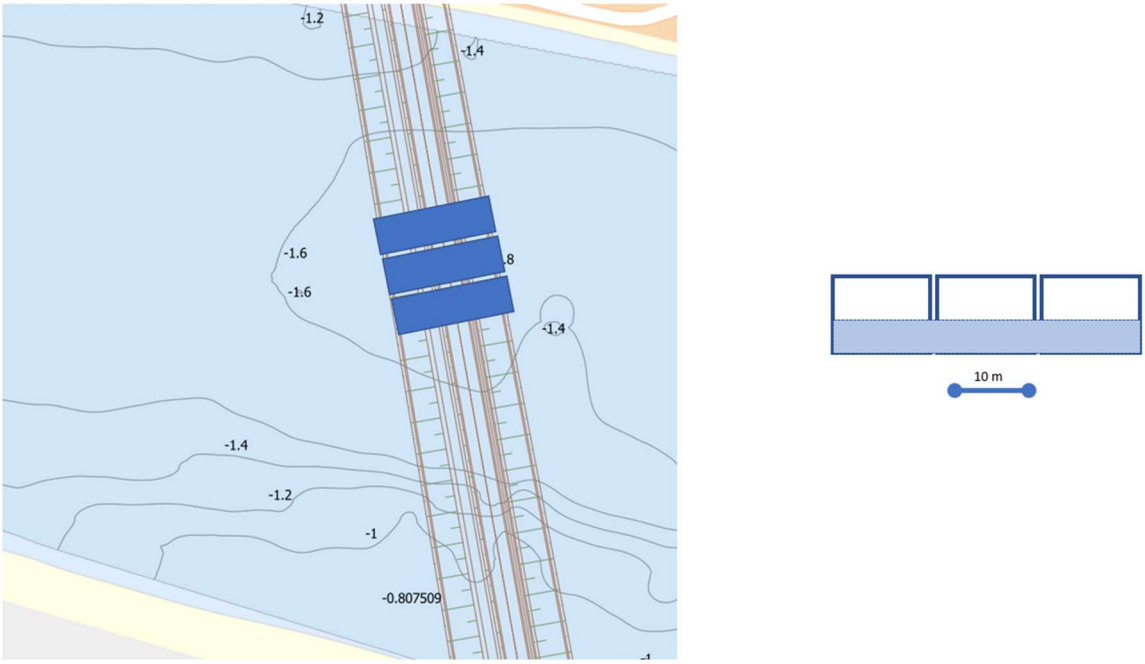
Signe Gammeltoft-Pedersen
+4561361719
sipe@orbicon.dk

Orbicon A/S
Jens Juuls Vej 16
8260 Viby J
Tlf. +45 87 38 61 66

CVR. nr: 21 26 55 43
Handelsbanken:
7643-0002350106

Dæmningen er forsynet med åbning(er) (culverts), som har en budkote på -1,8 m og en gennemsejlingshøjde på 2 m ved normal vandstand. Optimering gennemstrømningsarealet vil blive udført som en del af modelarbejdet. Optimeringen vil foregå ved at beregne hvor stort et gennemstrømnings areal som er nødvendigt for at de maksimale 30 m^3/s kan passere gennem culverts uden der opstår enkelttab. Når gennemstrømningsarealet er fundet anvendes det i scenarie beregningerne som angivet i tabel 1.

Overgang mellem culverts og dæmning afrundes for at undgå numerisk ustabilitet i modellen som kan opstå, hvis der optræder enkelt tab inde i modellen. Afrundingen er ikke til design. Culverts placeres som vist på nedenstående figur. Det angivne antal og mål på bredden af culverts er kun illustrativ.



Figur 1 placering af åbninger (culverts) i dæmningen. Den angivne bredde og antal af culverts er kun illustrativ!

Pumpesump placeres ved den midterste åbning. Der foretages ikke nogen optimering af pumpesumpen. I modellen bliver der et dræn på 30 m^3/s.

Fortynding af eventuelt perkolat beregnes ved at tilføre vandmassen på indersiden (vest for) af den påtænkte dæmning med et fiktivt konservativt sporstof og derefter vise koncentrationsfordelingen efter 1, 2,3 døgn. Modelscenarierne køres med konstant vandføring, men med tidevandsvariation.
Flow mønster i bassinet med og uden dæmning samt ved pumpning vises som strømkort hvor den dybdemidlede strøm vises som pile og vandstanden inde i modellen som farvede konturer.