

Højvandsbeskyttelse ved østlige Kulhuse

Understrømning - Hydrogeologisk modelnotat

Frederikssund Kommune - Teknik, Miljø og Erhverv

Dato: 3. maj 2022

Indhold

1	Indledning.....	2
2	Opsætning af grundvandsmodel.....	2
2.1	Modelområde.....	2
2.2	Topografi.....	2
2.3	Geologisk model.....	2
2.4	Diskretisering.....	2
2.5	Potentialeforhold.....	4
2.6	Infiltration.....	4
2.7	Randbetingelser.....	4
2.8	Vandindvinding.....	4
2.9	Hydrogeologiske parametre.....	4
2.10	Kalibrering/tilretning af model.....	5
3	Modellens validitet.....	5
4	Modelberegninger.....	5
4.1	Referencescenario (stationært).....	5
4.2	Scenarieberegning, (dynamisk).....	5
5	Sammenfatning.....	8
<hr style="border: 2px solid black;"/>		
	Bilag 1.....	9
	Bilag 2.....	11

1 Indledning

I forbindelse med opførelsen af et dige ved Kulhuse er der opstillet en simpel konceptuel grundvandsmodel i området omkring diget baseret på en række antagelser.

Med modellen er der foretaget overslagsberegninger til vurdering af grundvandsindstrømningen under diget i tilfælde af en højvandssituation, hvor vandstanden i havet stiger med 2 meter.

I nærværende notat, der er en teknisk dokumentation af modellen, beskrives de forudsætninger og antagelser, der er gjort i forbindelse med opsætning og tilretning af modellen.

Desuden præsenteres de udførte beregninger.

Modellen er opstillet i Visual Modflow Premium, ver. 4.6 Classic.

2 Opsætning af grundvandsmodel

Modellen er en 2D strømningsmodel, der med udgangspunkt i en forsimplet hydrogeologisk model, beskriver strømningsforholdene under diget

Modellen køres dynamisk for at give et bud på den tidlige udvikling i vandspejlsstigningen bag ved diget ved en havniveau-stigning. Dog er en stationær model kørt for hver dynamisk model som input til startpotentialet, som indikerer vandspejlet i ro-tilstand.

Der er ikke foretaget en kalibrering af modellen.

2.1 Modelområde

Modelområdet dækker et område på 2000x1500 m og fremgår af figur 1 nedenfor. Længden på 2000 m er valgt således at den svarer længden af diget på cirka 2 km. Bredden på 1500 m er valgt for at tillægge havområdet i modellen en bredde på 500 m, samt sikre en vis afstand til randen på 1000 m.

2.2 Topografi

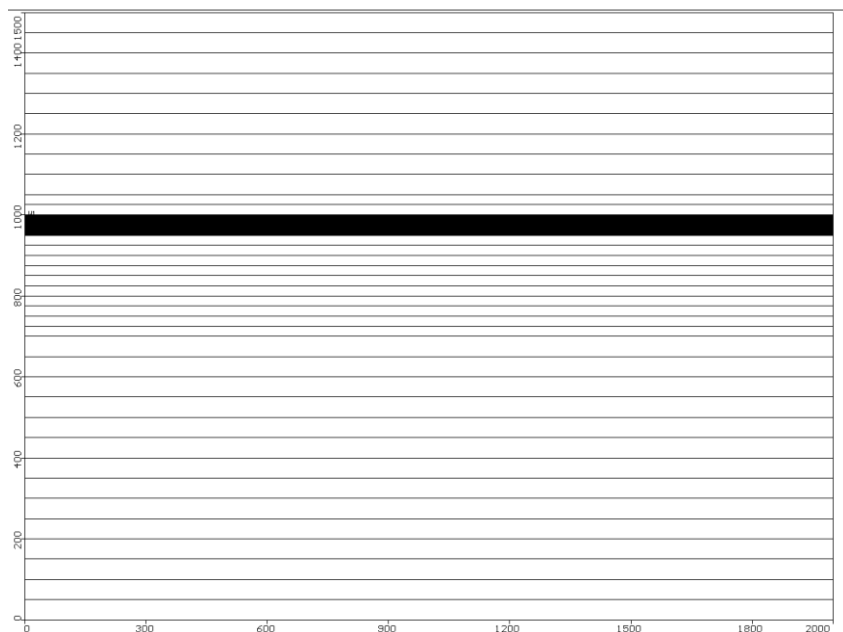
En konstant terrænkote på kote 2,2 m er sat, hvilket svarer til koten for toppen af diget. Da randbetingelserne styrer potentialet igennem hele modellen er variationen i terræn ligegyldig for modelberegningerne.

2.3 Geologisk model

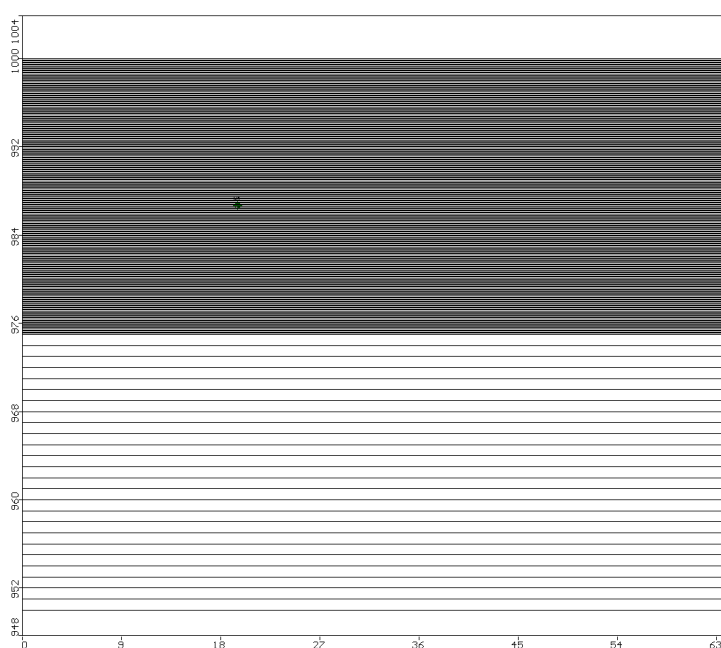
Der er antaget at være homogene forhold med sand igennem hele modellen, så der skelnes derfor ikke mellem forskellige geologiske lag.

2.4 Diskretisering

Modellen er 2-dimensional, så den kun består af én celle på langs. Dette er gjort for at simplificere modellen. På tværs er hver celle som udgangspunkt 50 m, dog gjort graduelt finere tættere på diget, se figur 1 og 2. I de første 25 m bag diget er hver celle horisontalt 10 cm på tværs, da dette er beregningsområdet, og fordi der vil være store potentialeforskelle omkring dette område i scenarierne.

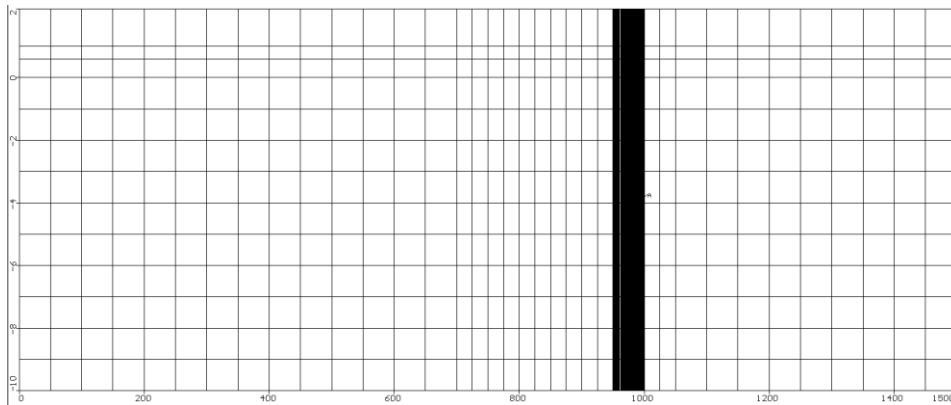


Figur 1 Horizontal diskretisering i modellen.



Figur 2 Horizontal diskretisering i modellen, zoomet ind til området bag diget. Diget ligger ved 1000 meter mærket.

Vertikalt er modellen opdelt i 13 lag, se figur 3. Hvert lag er 1 m tykt, på nær de 3 øverste. Pga. af en beregningsmæssig faktor er der indsat en laggrænse ved 0,6 m, se afsnit 4.2.



Figur 3 Vertikal diskretisering i modellen.

2.5 Potentialeforhold

Som udgangspunkt antages vandspejlet i hav i gennemsnit at ligge i kote +0 m.

Der er ikke anvendt egentlige målinger af vandspejl i forbindelse med opsætningen af denne model.

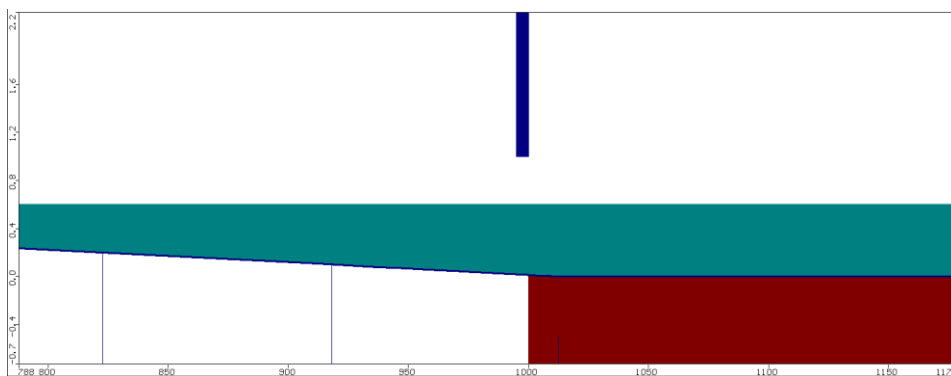
2.6 Infiltration

Der er ikke indregnet nedbør og fordampning i modellen da det ikke har nogen indflydelse på de ønskede beregninger.

2.7 Randbetingelser

For terræn er der fastholdt en trykværdi på +1 meter, mens der i havet er fastholdt en værdi på +0 meter. Derved varierer trykniveauet fra modelranden 1 km inde på land til kysten mellem +1 og +0 m.

Bund og sider af diget regnes impermeable, og er sat ind i modellen som et område med en konduktivitet på $1e-10$ m/s. Diget står i kote +1 til +2,2m i modellen som vist på figur 4. Tykkelsen af diget ændres i scenarieberegningerne.



Figur 4 Placering af diget. Vandspejlet er vist for den stationære model.

2.8 Vandindvinding

Der foregår ikke vandindvinding indenfor modelområdet.

2.9 Hydrogeologiske parametre

Der er ikke foretaget volumenpumpninger til bestemmelse af de hydrauliske ledningsevner i jordlagene. I scenarierne er forholdene derfor undersøgt for hele spændet af mulige sand-ledningsevner, og i de dynamiske modeller også med specifikke ydelsesværdier. Der er beregnet med ledningsevner på mellem $1e-4$ m/s (groft sand) til $1e-6$ m/s (fint sand) og en specifik ydelse på 0,15 og 0,25.

2.10 Kalibrering/tilretning af model

Der er ikke foretaget en egentlig kalibrering af modellen.

3 Modellens validitet

Som nævnt er modellen stillet op som en 2-D konceptuel model uden lokale variationer i modelparametre langs diget. Der må derfor forventes variationer i grundvandsstrømningen over de 2 km som diget strækker sig, som modellen ikke medtager.

Hertil kommer, at modellen ikke er kalibreret mod faktiske målinger men kun mod et overordnet forventet strømningsbillede.

Det betyder, at resultaterne skal betragtes som overslagsberegninger, og gennemsnitsberegninger for forholdene over hele dige-strækningen. Beregninger kan sammenlignes indbyrdes for at vurdere scenarier op mod hinanden, men der må forventes en vis usikkerhed på de beregnede påvirkninger og i forhold til de faktiske forhold.

4 Modelberegninger

Med den opstillede stationære model er der indledningsvist foretaget en beregning der beskriver grundlaget (startbetingelserne) for de efterfølgende beregning af hvorledes en ekstremssituation påvirker strømningsforholdene under og bad ved diget, primært vandspejlsforholdene.

Dette scenario kaldes referencescenariet.

Ved hvert gennemregnet scenario undersøges der for, hvor lang tid det tager for vandspejlet at nå terrænniveau ved 3 målepunkter; 1 m, 10 m og 50 m fra diget. Samtidig beregnes også volumen af vand, der vil nå over terrænniveau på 24 timer. Denne tid er valgt pba., at en højvandshændelse varer cirka et døgn.

Udførte scenarier beskrives, præsenteres og dokumenteres kort nedenfor.

4.1 Referencescenario (stationært)

I dette scenario anvendes den opstillede model som beskrevet ovenfor, dvs. en stationær model.

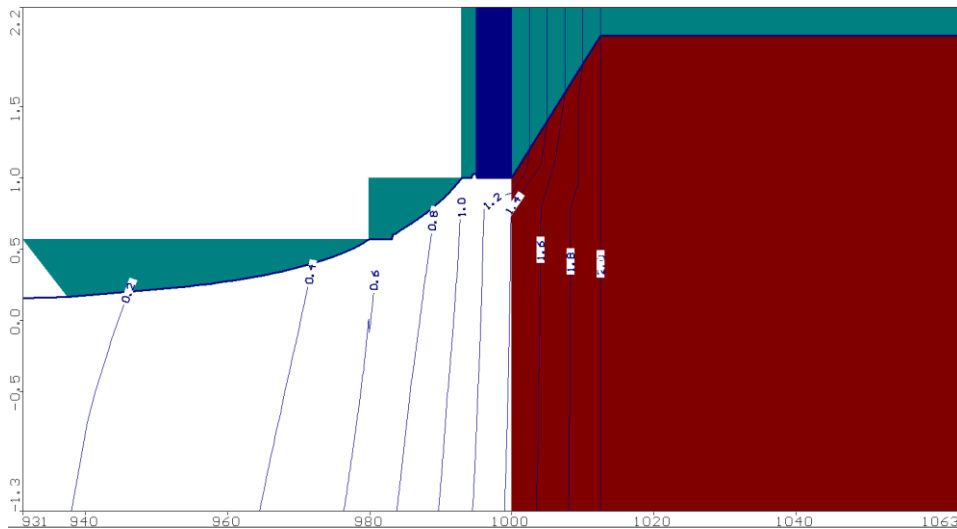
4.2 Scenarieberegning, (dynamisk)

Scenarieberegningen består af flere forskellige modelkørsler, hvor der er skruet op og ned på 4 forskellige parametre, som har indflydelse på vurderingen af påvirkningen af grundvandsstrømningen, nemlig de to hydrogeologiske parametre som beskrevet tidligere (K-værdi og specifik ydelse), samt digebredder og terrænniveauet bag diget. Sidstnævnte varierer langs med diget mellem +0,6 og +1 m, og vandstanden er derfor noteret for disse to koter. Dette er gjort ved at lave en separat flow zone for området bag diget ned til de to nævnte koter, hvilket er grunden til indsættelsen af den ekstra lagflade ved +0,6 m. Der er beregnet med digebredder på 5, 10 og 15 meter.

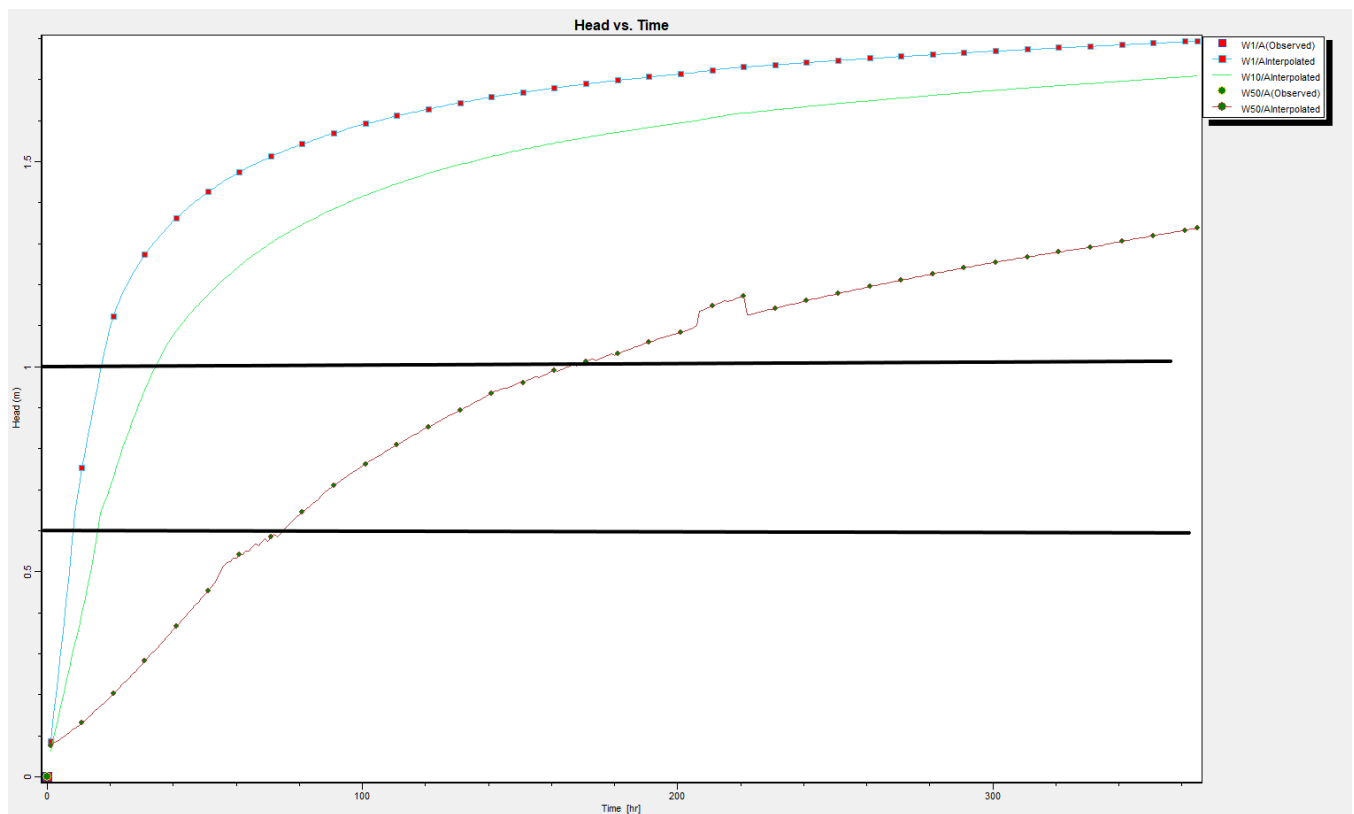
I den dynamiske model er vandstanden i havet sat til en konstant værdi på +2 m, hvilket er maksimalvandstanden i en ekstremhændelse. I virkeligheden står havniveauet kun på maksimalværdien i ca. ¼ af hændelsesperioden på 24 timer, hvilket bevirker at forskellen i trykniveauerne inde og uden for diget er mindre end hvad der er beregnet med her og derved bliver mængden af vandindstrømningen til tiden også formindsket. Derfor må beregningerne siges at være konservative.

Fra de første kørsler med en lavere ledningsevne viste det sig hurtigt, at vandspejlet ikke når at stige til 0,6 m indenfor et døgn, og derfor er der næsten kun beregnet med den høje ledningsevne på $1e-4$ m/s. I løbet af kørslerne viste det sig også, at kun i den mest ekstreme situation vil vandspejlet nå over +1 m indenfor et døgn, se figur 5 og 6. Her når

vandspejlet en kote på +0,6 m efter 8 timer én meter bag diget, og efter 16 timer 10 meter bag diget. Det når kote +1 m efter 17 timer én meter bag diget.

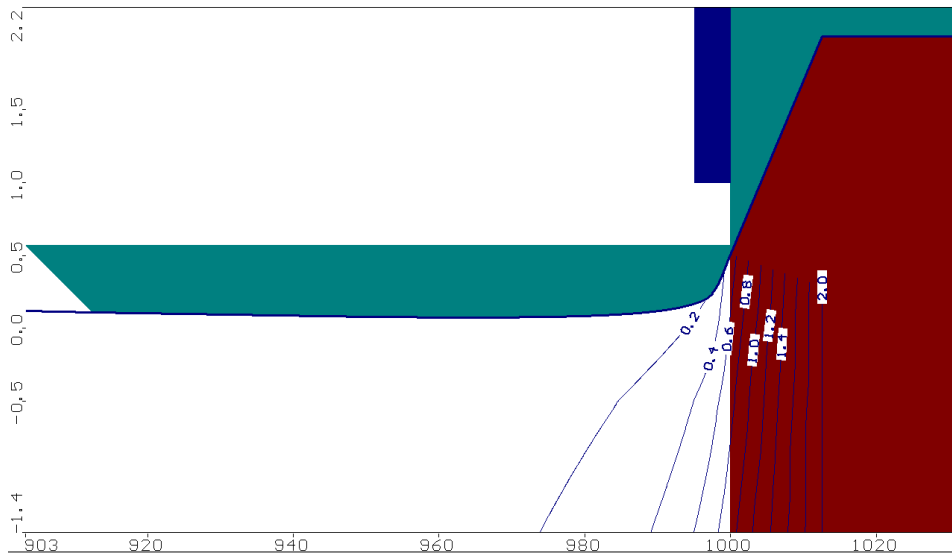


Figur 5 Vandspejl og potentialeforhold efter 20 timer med en 5 m digebredde (blåt rektangel) og $K = 1e-4$ m/s. Bag ved diget, hvilket er til højre for diget på figuren, er der sat en konstant trykværdi på +2 m ind i alle celler (i rødt), som skal indikere det forhøjede havniveau.

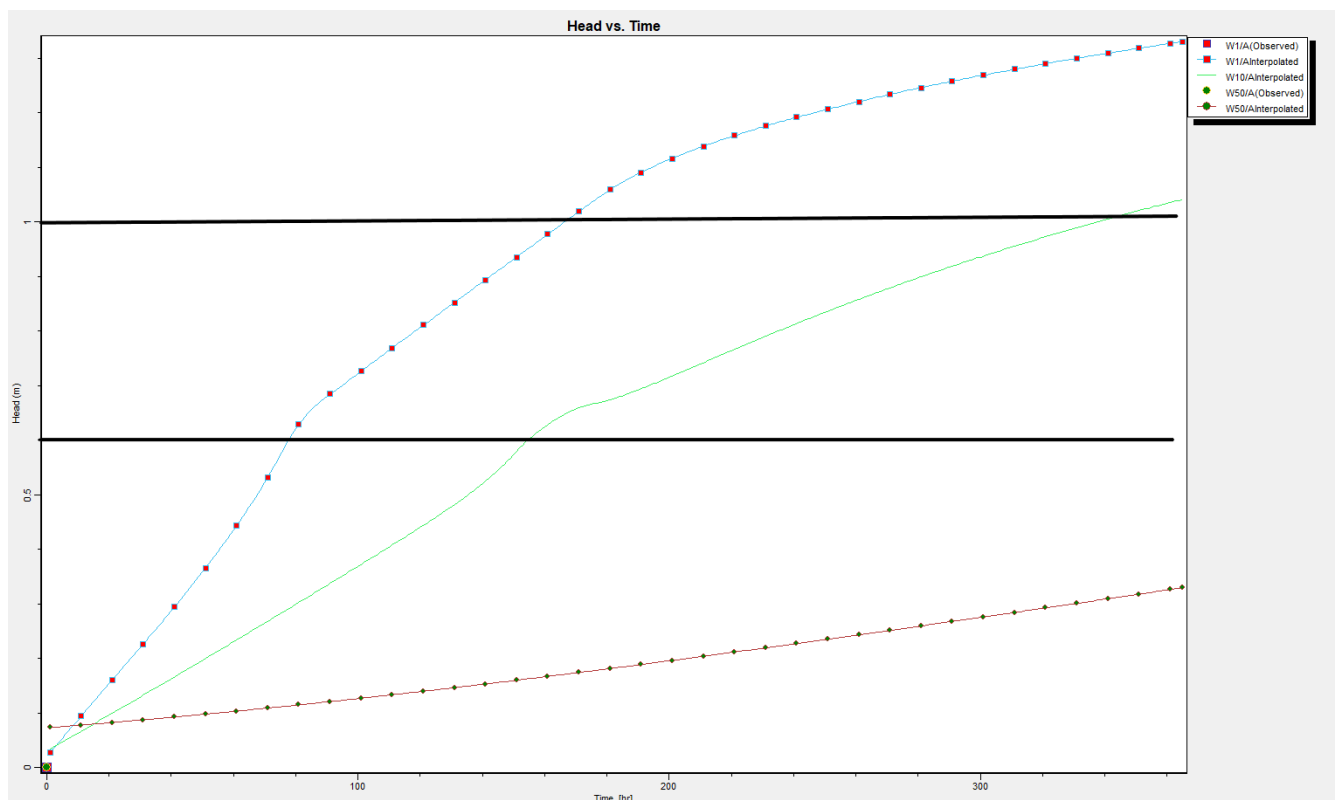


Figur 6 Vandspejl til tiden med parameterkombinationen $K = 1e-4$ m/s, digebredde = 5 m og specifik ydelse = 0.15. De tre kurver svarer til vandspejlet ved tre forskellige distancer fra diget: W1 = 1 m fra diget, W10 = 10 m fra diget, W50 = 50 m fra diget. Der er markeret, hvornår vandspejlet når kote +0,6 og +1 m.

Til kontrast vises på figur 7 og 8 et scenarie med samme parametre på nær ledningsevnen, som er sat ned til $1e-5$ m/s. Her når vandspejlet bag diget ikke kote 0,6 meter før efter ca. 75 timer.



Figur 7 Vandspejl og potentialeforhold efter 20 timer med en 5 m digebredde og $K = 1e-5$ m/s.



Figur 8 Vandspejl til tiden med samme parameterkombinationer som på figur 7. Der er markeret, hvornår vandspejlet når kote +0,6 og +1 m.

Den udarbejdede tabel med parameterkombinationer er givet i bilag 1. Tabellen inkluderer indstrømningen i m^3/t og l/s per 100 m, altså mængden af grundvand der overstiger terræn, til hvert scenarie. Kurver for vandspejlet til tiden for hver parameterkombination, som er medtaget i tabellen, er vist i bilag 2.

5 Sammenfatning

Scenarieregningen viser, at der i store træk ikke er risiko for oversvømmelse bag ved diget pga. understrømning, da det kun er i de mest ekstreme tilfælde angående parameterkombinationerne, at der kunne være en risiko indenfor 10 m bag diget. I det mest ekstreme tilfælde viser beregningen, at vandspejlet overstiger terræn op til 8 og 16 timer efter forhøjet vandstand i havet hhv. 1 m og 10 m bag ved diget. Beregningerne må generelt siges at være konservative, da der regnes med en maksimal forhøjet vandstandshøjde på 2 m igennem hele perioden. I en virkelig hændelse vil indstrømningen derfor være lavere end i modellen.

Bilag 1

Parameterkombinationer

	Hydraulisk ledningsevne (m/s)	Terrænkote (m)	Digebredde (m)	Magasintal	Vandspejl overstiger terræn, tid efter t=0 (timer) - meter fra diget			Indstrømning efter 24t (m ³ /t/100m)	Indstrømning efter 24t (l/s/100m)	Indstrømning efter 24t (l/s/m)
					1m	10m	50m			
Mellemkornet sand	1.00E-04	0.6	15	0.15	17	26	90	3.5	0.972222222	0.009722222
Mellemkornet sand	1.00E-04	0.6	15	0.25	29	43	150	0.7	0.194444444	0.001944444
Mellemkornet sand	1.00E-04	0.6	10	0.15	15	23	90	4.6	1.277777778	0.012777778
Mellemkornet sand	1.00E-04	0.6	10	0.25	24	39	150	0.9	0.256944444	0.002569444
Mellemkornet sand	1.00E-04	0.6	5	0.15	8	16	74	5.4	1.50375	0.0150375
Mellemkornet sand	1.00E-04	0.6	5	0.25	13	26	125	4.1	1.130555556	0.011305556
Mellemkornet sand	1.00E-04	1	5	0.15	17	35	168	5.4	1.50375	0.0150375
Fint sand	1.00E-05	0.6	5	0.15	77	154	-	0	0	0
								0.73866	0.854930556	0.008549306

Bilag 2

Kurver for vandspejlet til tiden for hver parameterkombination

