

INDHOLD

1	Formål	2
2	Baggrund	2
3	Grundvandspejlinger	2
4	Forudsætninger for modelberegningerne	3
4.1	Geologi	3
4.2	Modelområde	3
4.3	Modelberegninger	4
4.4	Terrænmodel	4
4.5	Nedbørsinput	5
4.6	Randbetingelser	6
4.7	Simuleringsperiode og tidsskridt	7
5	Resultater	7
5.1	Stationær model	7
5.2	Dynamisk model med varierende nedbørsinput	8
5.3	Dynamisk model med varierende randbetingelse	9
6	Konklusion	11
7	Referencer	12

PROJEKTNR.

A099856

DOKUMENTNR.

VERSION

0.2

UDGIVELSESDATO

21. februar 2019

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

MJLO

KONTROLLERET

ANRE

GODKENDT

1 Formål

Formålet med dette notat er at vurdere påvirkningen af Tvis Klosteruin fra det terrænnære grundvand, når vandstanden i Vandkraftsøen stiger op til kote 15,0 m DVR90. Desuden undersøges påvirkningen af klosteruinen ved de naturlige fluktuationer i grundvandet. Dette gøres ved at simulere en nedbørshændelse i september 2017, som sammenholdes med målte grundvandspejlinger. Tvis Klosteruin ligger ca. 4 km øst for Holstebro i den østlige ende af Vandkraftsøen, se Figur 1.



Figur 1 Tvis Klosteruin (markeret med rød cirkel).

2 Baggrund

Baggrunden for dette notat er VVM-redegørelsen i forbindelse med klimasikringen af Holstebro. I den forbindelse er det et krav fra Slots og Kulturstyrelsen at Tvis Klosteruin sikres bedst muligt mod indtrængende overflade- og grundvand hidrørende fra vandspejlsstigninger i Vandkraftsøen. Sikringen skal både være i forhold til selve bygningsruinen og munkegrave, som ligger i området i ukendt dybde.

3 Grundvandspejlinger

NIRAS /1/ har i 2017 foretaget fire geotekniske borer i ved Tvis Klosteruin, hvor geologien af de øverste 5 m er beskrevet. Desuden er grundvandsstanden pejlet tre gange i løbet af 2017, se Tabel 1.

Tabel 1 Terrænkoter og grundvandspejlinger (m DVR90) ved Tvis Klosteruin.

Boring	Terrænkote	GV-pejling, NIRAS 07.09.2017	GV-pejling, NIRAS 14.09.2017	GV-pejling, COWI 01.11.2017
B1	14,34	12,8	13,9	13,906
B2	14,45	13,6	13,9	13,821
B3	14,42	13,1	13,9	13,797
B4	14,12	13,2	13,8	13,822

Som det fremgår af Tabel 1 er grundvandspejlingen foretaget d. 7. september 2017 noget lavere end de næste pejlinger. Dette skyldes formentlig, at boringerne er pejlet umiddelbart efter de er udført, hvilket ikke giver et retvisende potentiale. Der ses derfor bort fra pejlingerne fra d. 7. september 2017 i det følgende.

4 Forudsætninger for modelberegningerne

4.1 Geologi

Ifølge NIRAS /1/ består de øverste ca. 2-3 m af muld, ler og fyld, som underlejres af sand til boringernes afslutning 5 m under terræn. Det antages i modelberegningerne at fyld og muld har de samme hydrauliske egenskaber som den underliggende sand. I Boring B1 er der desuden fundet tørvi i toppen af boringen.

Ifølge en nærliggende vandforsyningsboring til Tvis Dambrug (DGU nr. 64.784) er der ca. 20 m sand over et lerlag med en tykkelse på ca. 4 m. Det antages derfor, at geologien i området kan beskrives ved et enkelt lag bestående primært af sand.

4.2 Modelområde

Der er opstillet en MIKE SHE model med et enkelt beregningslag for den mættede zone (SZ). Der regnes ikke med umættet zone (UZ), overfladisk afstrømning (OL) eller fordampning (ET). Modelafgrænsningen samt pejlekoter fra d. 1. november 2017 fremgår af Figur 2. Modelområdet af et areal på ca. 49.000 m² (4,9 ha).



Figur 2 Modelafgrænsning og pejlekoter fra 1. november 2017 i m DVR90.

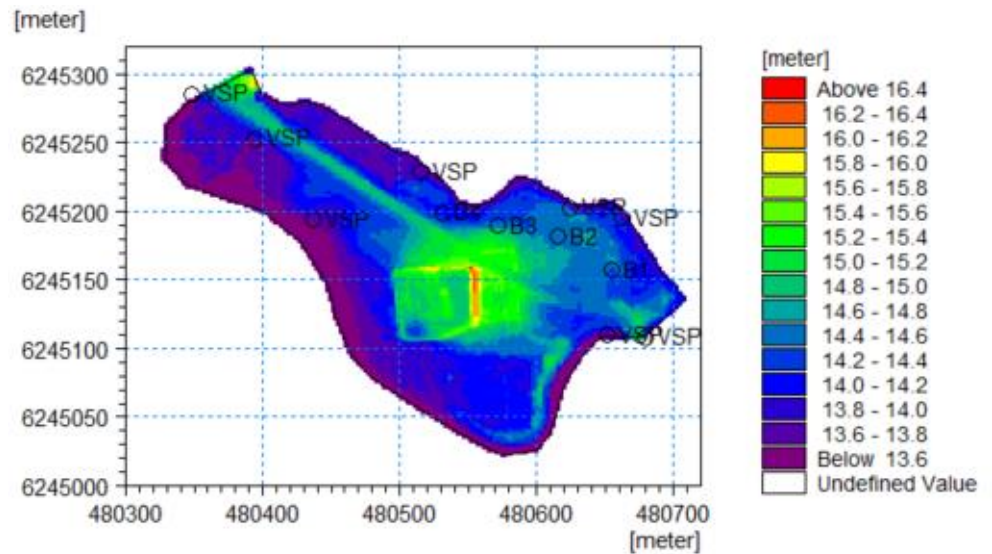
4.3 Modelberegninger

Modelberegningerne skal vurdere påvirkningen af det terrænnære grundvand fra hhv. en variation af nedbøren og en variation af vandstanden i Vandkraftsøen. Der er derfor foretaget tre forskellige modelberegninger:

- > Stationær model til kalibrering af de hydrauliske ledningsevner
- > Dynamisk model, hvor der tilføres et varierende nedbørsinput
- > Dynamisk model, hvor vandstanden i Vandkraftsøen varieres.

4.4 Terrænmodel

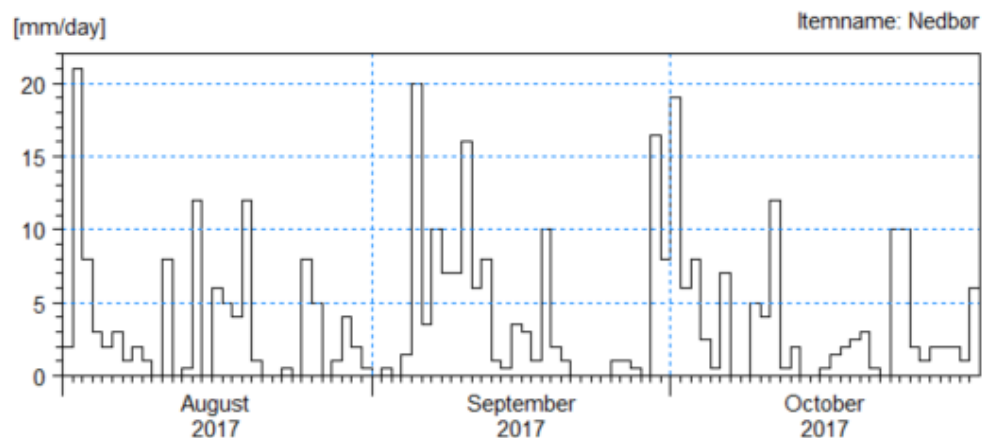
Terrænoverfladen er hentet fra Scalgo Live (2015 terrænmodel i 0,4 m grid), men er i MIKE SHE resamplet til et 2 x 2 m grid, der også er modellens diskretisering. Terrænet varierer fra kote 13,55 m DVR90 (vandstand i Vandkraftsøen) til kote 16,46 m DVR90 (mure/volde ved klosterruinen). Selve terrænet indenfor murene/voldene varierer fra ca. 14,7-15,6 m DVR90. Terrænmodellen for modellen fremgår af Figur 3.



Figur 3 Terrænmodel ved Tvis Klosteruin.

4.5 Nedbørsinput

Nedbørsinputtet i den stationære beregning er sat til 1 mm/dag, svarende til en nettonedbør på 365 mm/år. I den dynamiske beregning, hvor nedbørsinputtet varieres er der indsamlet daglige nedbørssummer for perioden august-oktober 2017 fra DMI for området Midt- og Vestjylland, se Figur 4.



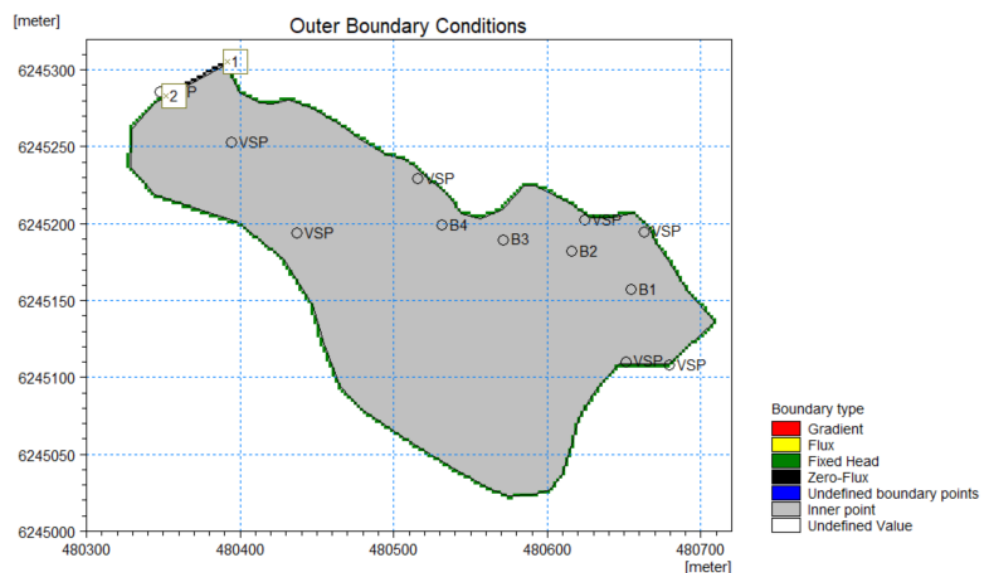
Figur 4 Tidsvarierende nedbørsinput til modellen. Kilde: DMI, region Midt- og Vestjylland.

Som det fremgår af Figur 4 faldt der en del nedbør i perioden august-oktober 2017 (hhv. 112, 121 og 112 mm), hvilket gør det interessant at beregne påvirkningen af grundvandet for perioden i september samt 1. november, hvor grundvandet er pejlet i de fire borer. August 2017 er inkluderet i modelberegningen som "opvarmning" af modellen.

Idet der ikke regnes på fordampning i modellen, er det tidsvarierende nedbørsinput korrigeret med en faktor 0,6 (Net Rainfall Fraction) for at kompensere for fordampningen. Denne faktor er bestemt ud fra kalibrering ift. de målte grundvandspejlinger.

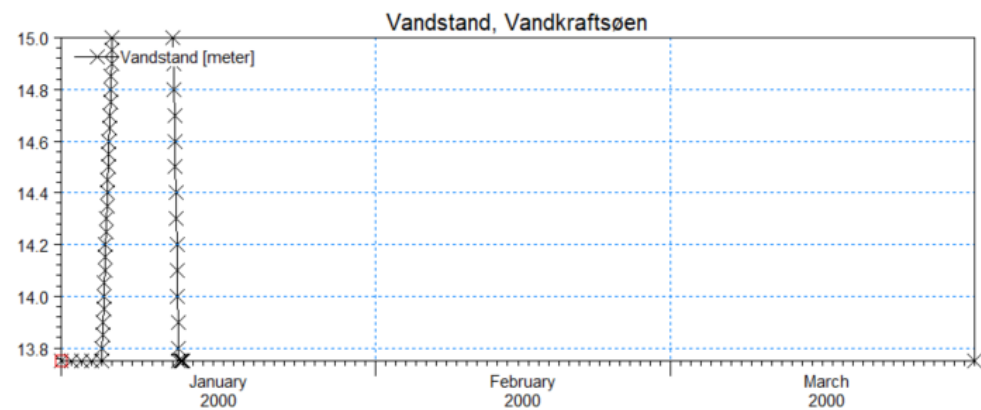
4.6 Randbetingelser

Randbetingelserne i den stationære model samt den dynamiske model, hvor nedbørsinputtet varieres, er en fastholdt trykrand i kote 13,75 m DVR90. Dog benyttes der en no-flow randbetingelse på en lille strækning i den nordvestlige ende af modelområdet, hvor området ikke er afgrænset af vand, se Figur 5. Det vurderes, at betydningen af no-flow randbetingelsen er minimal ift. at benytte en fastholdt trykrand langs hele modelranden.



Figur 5 Randbetingelse i den stationære og dynamiske model.

Randbetingelserne i den dynamiske model, hvor vandstanden i Vandkraftsøen varieres, er lavet ud fra en antagelse om at vandstanden stiger 5 cm i timen, dvs. i løbet af ca. 24 timer stiger vandstanden fra 13,75 m til 15,00 m DVR90. Antagelsen bygger på et nettoinflow ($Q_{ind} - Q_{ud}$) til Vandkraftsøen på $10 \text{ m}^3/\text{s}$ og et overfladeareal af søen på 70 ha. Der er tale om et forholdsvis højt skøn på inflowet, dvs. i praksis vil vandstanden stige langsommere. Efter vandstanden er steget til kote 15,0 m DVR90, holdes vandstanden i denne kote i 6 dage, for herefter at falde med 10 cm pr. time til normal vandstand (13,75 m DVR90). Inputtet til den dynamiske randbetingelse fremgår af Figur 6.



Figur 6 Tidsvaryerende randbetingelse for vandstanden i Vandkraftsøen.

4.7 Simuleringsperiode og tidsskridt

Simuleringsperioden for beregningen med det varierende nedbørsinput er på tre måneder (august-oktober 2017), mens beregningen med varierende vandspejl i Vandkraftsøen ligeledes er på tre måneder (fiktiv periode: januar-marts 2000).

Tidsskridtet i modellen er på 1 time for at kunne følge ændringerne i grundvandspejlet detaljeret. Vandstande gemmes ligeledes med en diskretisering på 1 time.

5 Resultater

5.1 Stationær model

Med den stationære model er den hydrauliske ledningsevne kalibreret til $KH=1e-5$ m/s (og $KV=1e-6$ m/s). Dette er under antagelse af, at nettonedbøren er 365 mm/år. Hvis nettonedbøren er højere, er den hydrauliske ledningsevne også højere og vice versa. Modellen er kalibreret efter grundvandspejlet, der blev observeret d. 1. november 2017, og kalibreringsresultatet fremgår af Tabel 2.

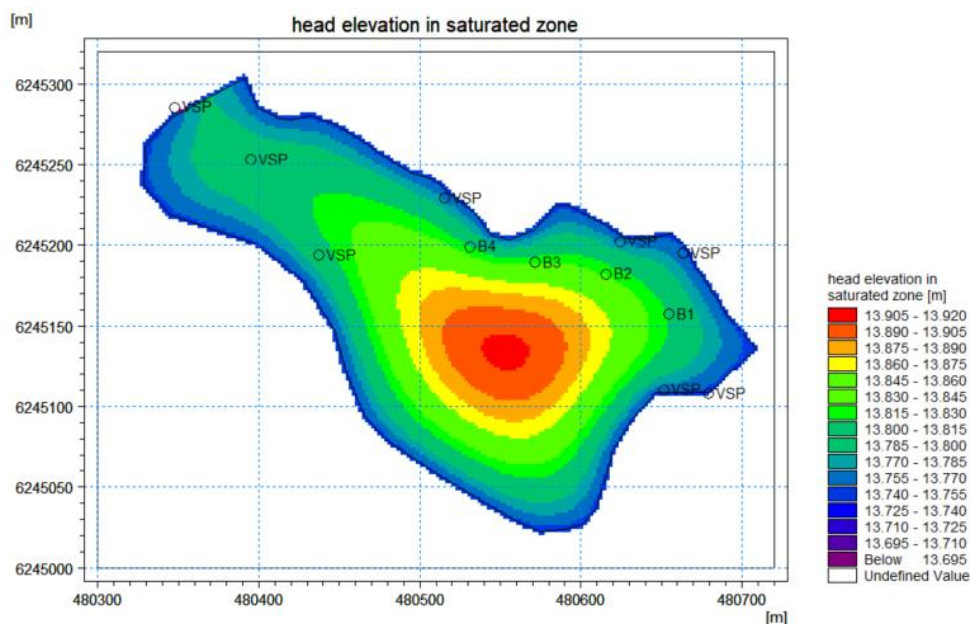
For at vurdere følsomheden på den hydrauliske ledningsevne, er denne varieret med hhv. en faktor 0,5 og 2, dvs. halveret og fordoblet. Resultatet af følsomhedsanalysen fremgår ligeledes af Tabel 2.

Tabel 2 Kalibrering af grundvandspejlet. Lav K: $KH=5e-6$ m/s. Høj K: $KH=2e-5$ m/s.

Boring	Observeret (m DVR90)	Simuleret (m DVR90)	Difference (cm)	Lav K (m DVR90)	Høj K (m DVR90)
B1	13,906	13,81	-9,6	13,87	13,78
B2	13,821	13,82	-0,1	13,90	13,79
B3	13,797	13,82	2,3	13,89	13,79
B4	13,822	13,81	-1,2	13,87	13,78
Middel	13,84	13,82	-2,1	13,88	13,79

Som det fremgår af Tabel 2, matcher det simulerede grundvandspejl det observerede i boring B2, B3 og B4, idet forskellen blot er 0-2 cm. I boring B1 er afvigelsen knap 10 cm, hvilket kan skyldes, at ledningsevnen ved denne boring er lavere. Dette kan evt. skyldes forekomsten af tørv i toppen af B1.

Det simulerede grundvandspejl med den stationære model fremgår af Figur 7.

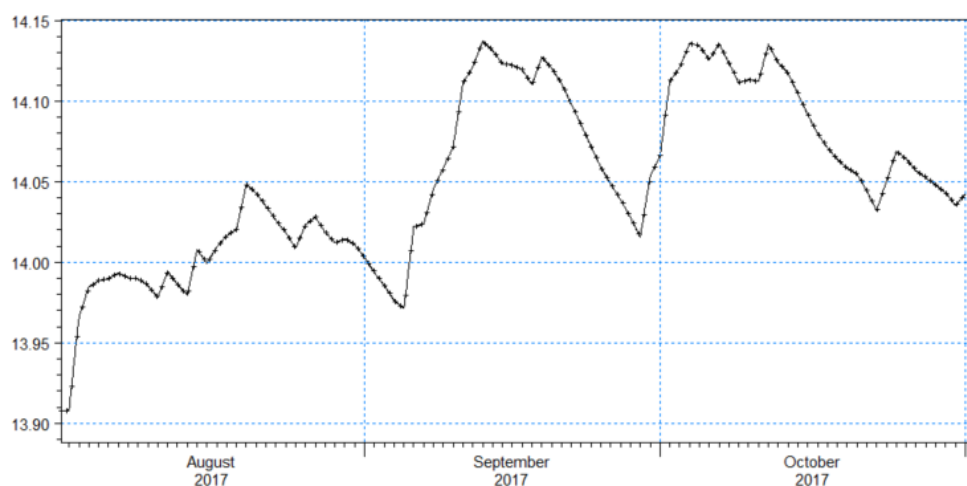


Figur 7 Simuleret grundvandsspejl d. 1. november 2017.

Som det fremgår af Figur 7 er det maksimale grundvandsspejl i kote 13,9 m DVR90 midt i modelområdet, hvor klosterruinen ligger. Idet de laveste terrænkoter ved klosterruinen er ca. 14,7 m DVR90 er der således mindst 80 cm til grundvandsspejlet ved pejlingen d. 1. november 2017.

5.2 Dynamisk model med varierende nedbørsinput

I den dynamiske model benyttes de samme hydrauliske ledningsevner som i den stationære model, dvs. $KH=1e-5$ m/s. Nedbørsinputtet varierer som vist på Figur 4, mens der anvendes en fastholdt trykrand i kote 13,75 m DVR90. Den dynamiske variation af grundvandsspejlet ved klosterruinen fremgår af Figur 8.



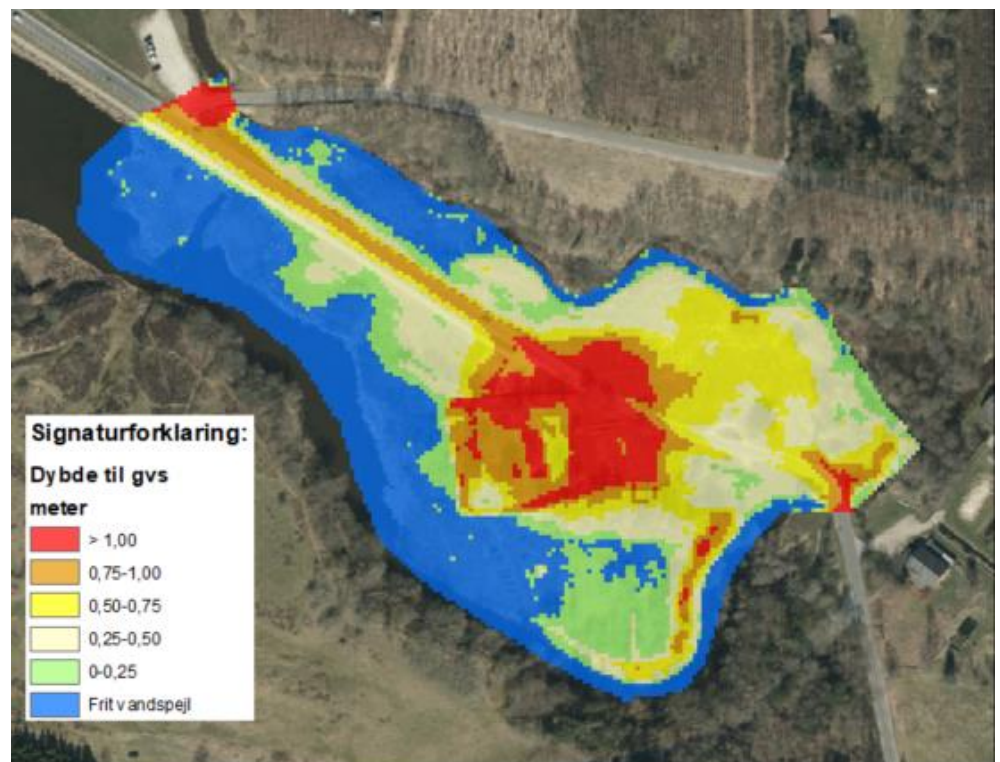
Figur 8 Simuleret grundvandsspejl ved slotsruinen med et tidsvarierende nedbørsinput.

Som det fremgår af Figur 8 stiger grundvandsspejlet med ca. 16 cm fra d. 5. til 13. september 2017, hvor der ifølge DMI faldt ca. 80 mm nedbør. Vandstanden

stiger til ca. kote 14,1 m DVR90, hvilket svarer til minimum 60 cm under terræn.

Hvis den simulerede vandstand i de fire boringer sammenlignes med de pejlede vandstande d. 14. september og 1. november, viser Boring B2 f.eks. en forskel på hhv. 6 cm og 7 cm. Modellen simulerer lidt for høje vandstande, men forskellene mellem de to pejlinger er næsten den samme for både simuleringen og pejlingerne. Dvs. modellen beskriver dynamikken og fluktuationerne på en troværdig måde ift. det dynamiske nedbørsinput og en net rainfall fraction på 0,6.

Den maksimale simulerede vandstand (dybde til grundvandsspejl) i løbet af simuleringsperioden august-september 2017 fremgår af Figur 9.

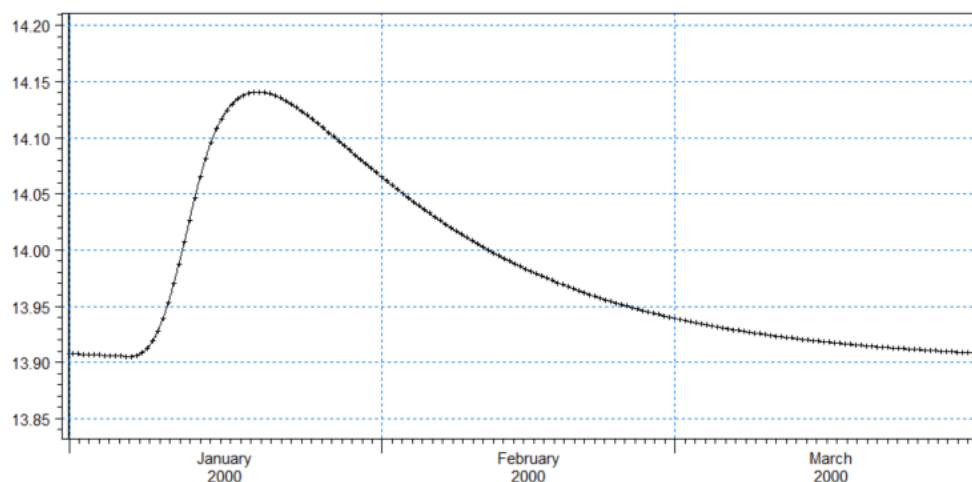


Figur 9 Maksimale simulerede vandstand med et tidsvarierende nedbørsinput.

Som det fremgår af Figur 9 er der frit vandspejl eller meget terrænnært grundvand langs randen, mens selve slotsruinen er nogenlunde sikret mod højtstående grundvand. Dybden til munkegravene er endnu ikke kendt, og kan derfor ikke vurderes.

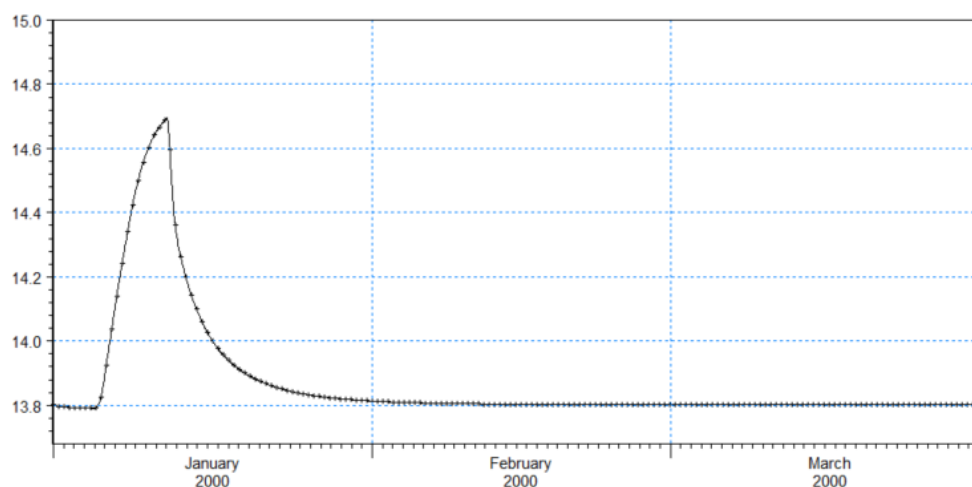
5.3 Dynamisk model med varierende randbetingelse

I denne dynamiske model benyttes ligeledes en hydraulisk ledningsevne på $KH=1e-5$ m/s. Randbetingelsen varierer som vist på Figur 6, mens nedbørsinputtet til gengæld er konstant (1 mm/dag). Den dynamiske variation af grundvandsspejlet ved slotsruinen fremgår af Figur 10.



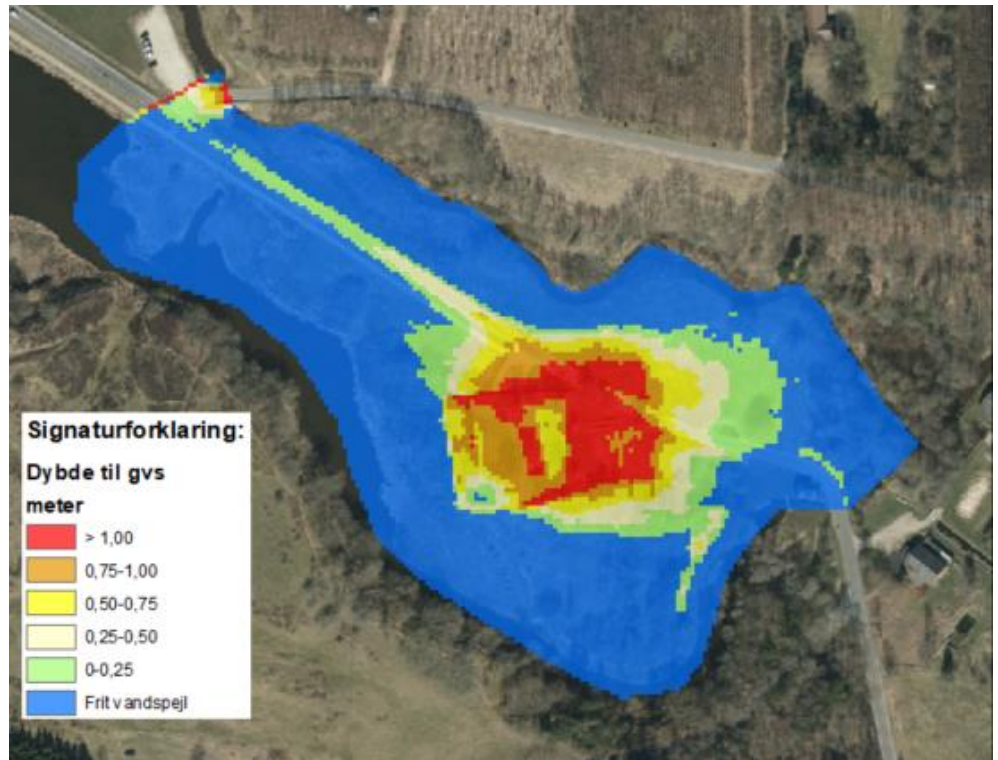
Figur 10 Simuleret grundvandsspejl ved slotsruinen med en tidsvarierende randbetingelse.

Som det fremgår af Figur 10 stiger grundvandsspejlet med ca. 24 cm ved slotsruinen som følge af en uges vandstand i Vandkraftsøen i kote 15,0 m DVR90. Den maksimale vandstand kommer ved slotsruinen op i ca. kote 14,15 m DVR90, hvilket svarer til minimum 55 cm under terræn. Tættere ved modelranden er påvirkningen fra Vandkraftsøen naturligvis mere tydelig, hvilket fremgår af Figur 11.



Figur 11 Simuleret grundvandsspejl i den nordvestlige ende af modelområdet.

Den maksimale simulerede vandstand (dybde til grundvandsspejl) i løbet af simuleringssperioden januar-marts 2000 fremgår af Figur 12.



Figur 12 Maksimale simulerede vandstand med en tidsvarierende vandstand i Vandkraftsøen.

Som det fremgår af Figur 12 er der frit vandspejl i store dele af modelområdet, bortset fra ved slotsruinen og det meste af vejen gennem området (Tvis Møllevej). Grundvandet står minimum 50-75 cm under terræn ved slotsruinen.

6 Konklusion

Der er udført stationære og dynamiske beregninger med en MIKE SHE grundvandsmodel. Modellen har et enkelt beregningslag til beskrivelse af et sandlag, der antages at være homogent og have en hydraulisk ledningsevne på $1e-5$ m/s. Modellen er kalibreret ud fra grundvandspejlinger, men under antagelse af stationære forhold og en nettonedbør for området på 365 mm/år.

Dynamiske beregninger med MIKE SHE modellen viser, at grundvandsspejlet under slotsruinen stiger med op til 16 cm som følge af 80 mm nedbør i løbet af ni dage. Det skal dog understreges, at den dynamiske simulering ikke er kalibreret op imod målte potentialer.

Desuden viser de dynamiske beregninger, at grundvandsspejlet under slotsruinen stiger op til 30 cm som følge af en stigning i Vandkraftsøens vandspejl på 1,25 m (fra kote 13,75 til 15,00 m DVR90) og en varighed på en uge for den forhøjede vandstand. Stigningen i grundvandsspejlet er således ca. 14 cm mere end en naturlig hændelse med kraftig nedbør i området.

På denne baggrund vurderes det, at selve slotsruinen ikke vil være påvirket nævneværdigt af opstigende grundvand af en større, naturlig regnhændelse. Tilsvarende vil påvirkningen fra opstigende grundvand fra en kortvarig forhøjet vandstand i Vandkraftsøen være begrænset. Kombination af kraftig nedbør og

forhøjet vandstand i vandkraftssøen vil føre til en stigning i grundvandsspejlet, som er mindre en summen af de to hændelser enkeltvis, dvs. ca. 40 cm maksimalt ved Tvis klosterruin, hvilket stadig er mindst 40 cm under terræn.

I forhold til vurderingen af grundvandsstand i forhold til munkegravene afventer dette prøvegravninger i området.

7 Referencer

/1/ Holstebro Kommune, 2017. Cykelsti Mejdal og Tvis Mølledam. Geologisk undersøgelse. Geoteknisk rapport udført af NIRAS, 2017.