

Notat

Slagelse Kommune
**Hydrogeologisk grundvandsmodel,
 Korsør Brandskole**
 Opsætning og kalibrering af model

Projekt nr.: 10411449
 Version 2
 Udarbejdet af AKo
 Kontrolleret af JWL
 Godkendt af SDG

Indhold

1	Indledning	2
2	Opsætning af grundvandsmodel	2
2.1	Modelområde	2
2.2	Topografi	3
2.3	Geologisk model	4
2.4	Diskretisering	6
2.5	Potentiale- og magasinforhold	7
2.6	Vandspejlsmålinger	7
2.7	Infiltration	7
2.8	Randbetingelser	7
2.9	Hydrogeologiske parametre	8
2.10	Kalibrering	9
2.11	Mulige forbedringer af modellen	12
2.12	Modellens numeriske stabilitet	12
3	Opsummering af modelopstillingen	12
4	Modelberegninger	12
4.1	Scenario 1	13

1 Indledning

I forbindelse med vurdering af udstrømning af terrænnært grundvand til Korsør Nor er der opstillet en grundvandsmodel for området. Modellen skal dels give et overblik over de hydrogeologiske forhold dels bruges til at estimere og forudsige effektivitet af etablering af forskellige afværgetiltag overfor udstrømning af forurenede grundvand til Korsør Nor.

Modellen er baseret på tilgængelige data (boreprofiler, vandspejlsmålinger og oplysninger om grøfter og dræntraceér).

I version 1 af dette notat (9. maj.2022) er forudsætninger og antagelser, der er gjort i forbindelse med den indledende opsætning og kalibrering af grundvandsmodellen beskrevet.

I nærværende version 2 af notatet er der indarbejdet supplerende oplysninger vedrørende drænggrøfter og dræn indhentet i løbet af sommeren 2022. Der er således foretaget en tilretning af modellen og foretaget en begrænset rekalkibrering.

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

2 Opsætning af grundvandsmodel

Modellen er en 3D strømningssmodel, der med udgangspunkt i en forsimplet geologisk model, beskriver de helt terrænnære forhold i grundvandet.

Den geologiske model er bygget op om en række boringer i området.

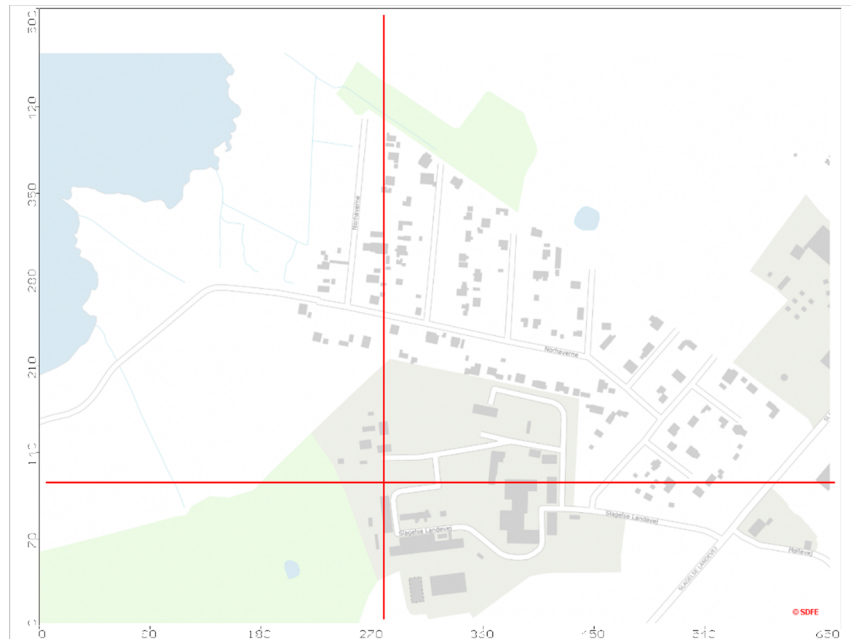
Modellen er opbygget og kalibreret stationært, men kan nemt opdateres til også at kunne udføre dynamiske beregninger, hvis det skulle vise sig relevant. En egentlig dynamisk kalibrering vurderes der imidlertid ikke på nuværende tidspunkt at være datagrundlag til.

Da beregningerne af grundvandsstrømningerne er udført stationært, vil resultaterne være gennemsnitsbetragtninger.

2.1 Modelområde

Modelområdet dækker 650x500 m og fremgår af figur 1.

Modelområdet er valgt således, at det dækker projektområdet og således, at der er tilstrækkelig afstand til randen for at undgå numeriske problemer.

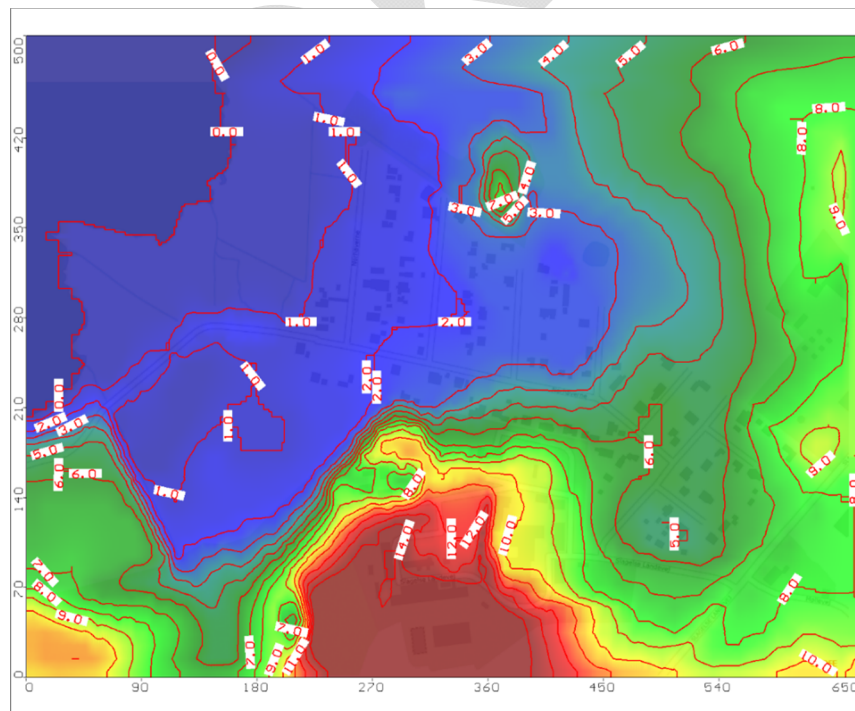


Figur 1 Modelområde og placering af konceptuelle snit.

2.2 Topografi

Generelt er terrænet i området varierende, som følge af isens påvirkning på landskabet. Figur 2 nedenfor viser topografien indenfor modelområdet.

Brandskolen ligger generelt højt i terrænet, mens strandeng området og den østlige del af kolonihaverne ligger betydeligt lavere.



Figur 2 Topografi indenfor modelområdet.

2.3 Geologisk model

Som grundlag for den geologiske model er alle tilgængelige boreprofiler i og omkring området indsamlet. Der er stort set ikke boringer inden for modelområdet udover dem, der er udført i forbindelse med dette projekt. Med udgangspunkt i disse er der opstillet en konceptuel geologisk model.

Det skal siges, at de fleste boringer er korte, og der er derfor kun meget begrænset kendskab til de geologiske forhold under kote 0 m.

Den geologiske model er derfor fokuseret på de helt terrænnære aflejringer, der i de lavtliggende områder består af marine aflejringer og fyld. I de højtliggende områder træffes øverst primært glaciale aflejringer. Herunder træffes moræneaflejringer, der generelt består af ler.

Af de få dybere boringer, der findes i området fremgår det, at den dybere del af de kvartære aflejringer består af vekslende lag af sand og moræneler.

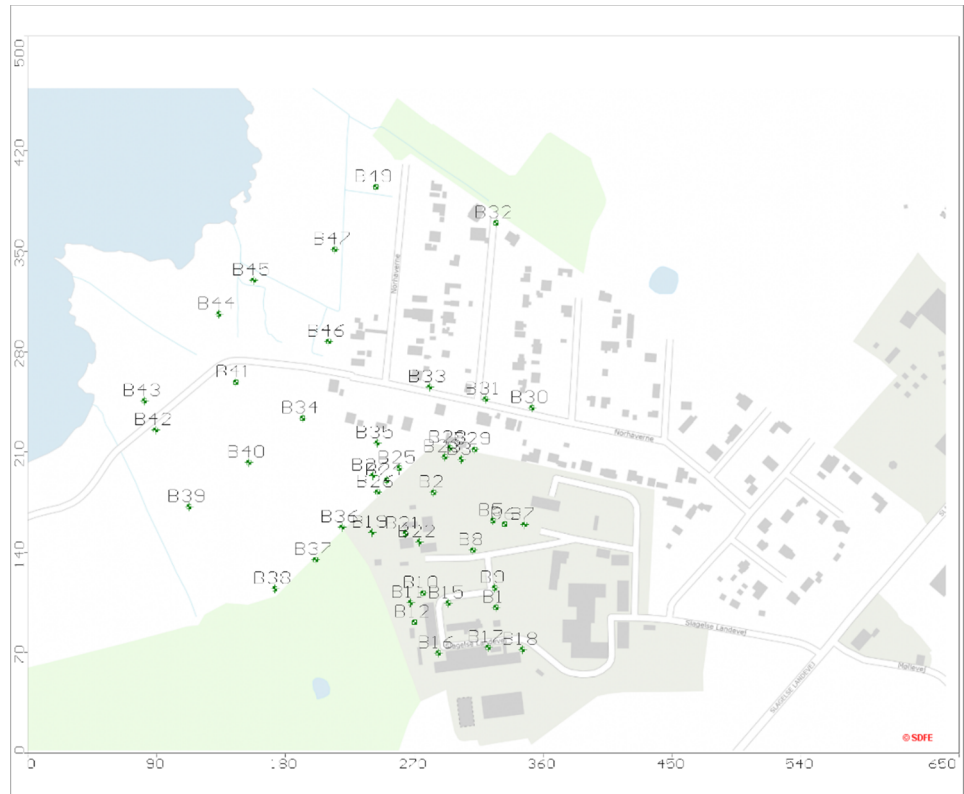
Kalken i området forventes at træffes omkring kote -35 m, hvilket svarer til ca. 40 m under terræn.

Projektet og datagrundlaget taget i betragtning er det valgt at fokusere modellen på den øverste del af lagserien, der består af sand (både smeltevands-sand og marint sand, hvor de begge findes og er delvist hydraulisk forbundet). Det er valgt i modellen at se bort fra dybtliggende sandlag og kalken. Disse indgår derfor ikke i grundvandsmodellen.

I det lavtliggende engareal og den vestlige del af kolonihavearealet er der etableret omkring 20 korte boringer. I stort set alle disse boringer er der under et muld/sandlag fundet ler omkring $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$ m under terræn.

I de højtliggende områder, dvs. under selve brandskolen, er lokaliseringen af et gennemgående lerlag ikke helt så entydig.

Figur 3 viser placeringen af de boringer indenfor modelområdet, der har ligget til grund for opstilling af den geologiske og dermed hydrogeologiske model.



Figur 3 Boringer der ligger til grund for den geologiske model.

Den geologiske model er implementeret i grundvandsmodellen med 5 geologiske lag:

1. Fyld
2. Sand
3. Ler
4. Sand
5. Ler

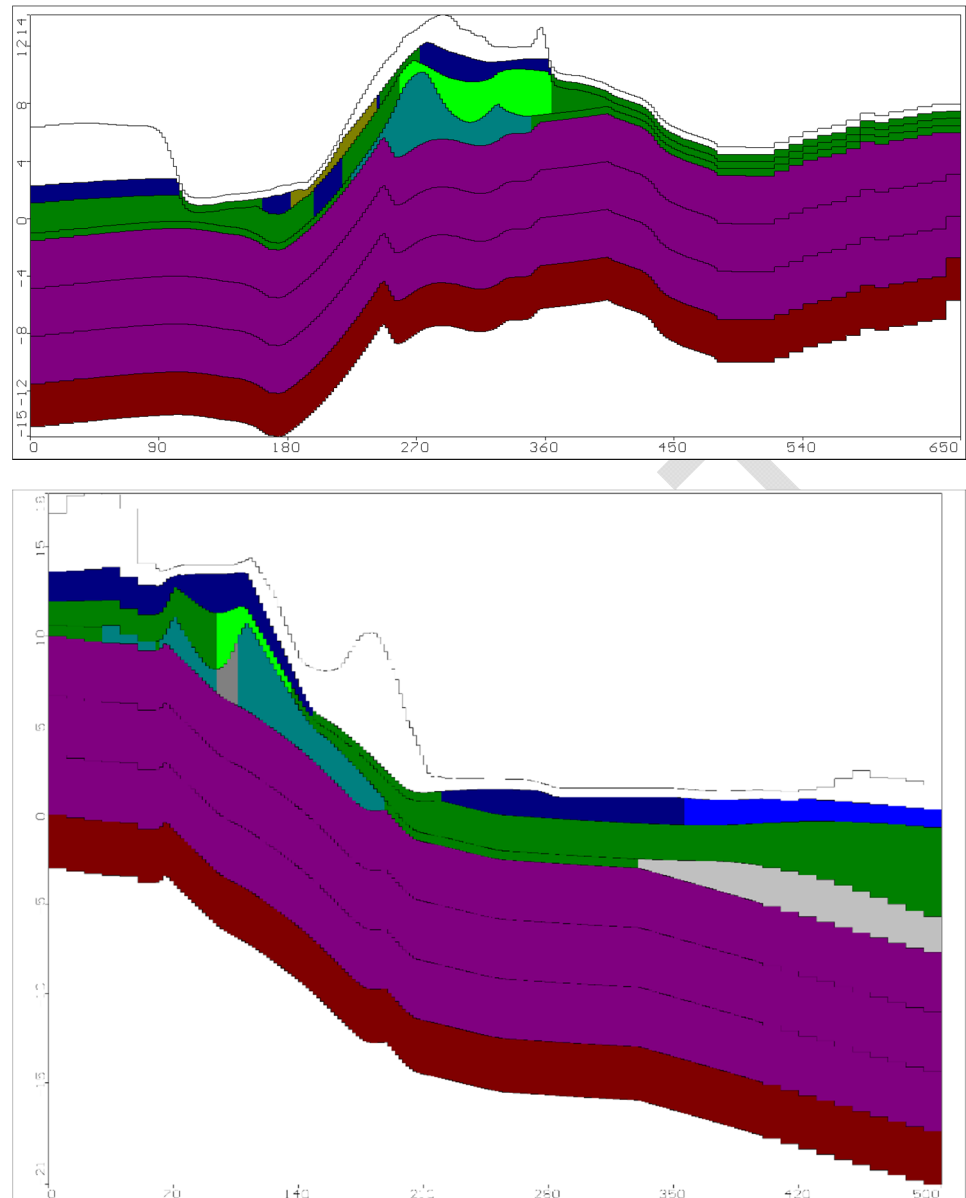
Hvor lag 2-4 ikke er gennemgående.

Der er i nogle af de områder, hvor der ikke er boringer eller geologiske oplysninger, indsat fiktive oplysninger om de geologiske laggrænsers beliggenhed for at styre interpolationen.

Ved interpolationen anvendes af numeriske årsager en minimumslagtykkelse på $\frac{1}{2}$ m. Det betyder, at alle lag er minimum $\frac{1}{2}$ m tykt i hele modellen, selvom laget faktisk ikke optræder i området. Der er derfor efterfølgende foretaget en tilretning af modellens hydrauliske ledningsevner i de områder, hvor et lag er $\frac{1}{2}$ m tykt og ikke vurderes at være til stede.

Figur 4 nedenfor viser øverst et vest-øst snit i grundvandsmodellen og nederst et syd-nord snit (for placering se figur 1). Hvid farve er det øverste fyld-/muldlag, blå og turkis farve er sand, grønne og lilla aflejringer er ler.

Det brune lag i bunden af modellen er et fiktivt sandlag, der benyttes som randbetingelse.



Figur 4 Snit i grundvandsmode, øverst vest-øst snit, nederst et syd-nord snit, for placering af snit se figur 1 ovenfor.

For de enkelte lags hydrogeologiske egenskaber henvises til afsnit 2.9 nedenfor.

2.4 Diskretisering

Horisontalt er cellestørrelsen generelt valgt til 10x10 meter, lokalt omkring kilde- og udstrømningsområdet er cellestørrelsen reduceret til 2x2 m.

Vertikalt er modellen inddelt i 5 beregningslag, der afspejler den geologiske model. Det nederste ler lag er numerisk inddelt i 4 beregningslag, hvoraf de nederste benyttes som randbetingelse (se figur 4).

2.5 Potentiale- og magasinforhold

Det primære grundvandsmagasin i området vurderes at udgøres af kalken. Der er umiddelbart ingen målinger af potentialet i kalken. Det vurderes dog, at vandspejlet ligger omkring kote nul som følge af beliggenheden i forhold til havet. Dette magasin behandles ikke yderligere i denne sammenhæng, og det er ikke vurderet, om der er en mulig strømning fra det terrænnære grundvandsmagasin til kalken.

I de terrænnære lag (modellen) vurderes det, at der foregår en overordnet strømning fra øst mod vest ud mod Korsør Nor.

De terrænnære sandlag vurderes at udgøre afgrænsede lokale grundvandsmagasin, hvor en vis indbyrdes hydraulisk kontakt må forventes. Overordnet set falder vandspejlet i sandformationerne mod nord og vest med et lokalt toppunkt på brandskolen.

På det flade engareal falder vandspejlet i det terrænnære sandmagasin også mod vest, men der synes også at være en vis påvirkning fra de etablerede drængrøfte på arealet, der leder vandet til havet.

2.6 Vandspejlsmålinger

Der er i januar 2022 foretaget en synkronpejlerunde til ca. 55 boringer/pejlere i området. Hertil kommer, at pejlerunden også omfattede pejling af vandspejlet 5 steder i drængrøfterne.

Pejledata er lagt ind i modellen i de respektive geologiske formationer med henblik på kalibrering.

2.7 Infiltration

Nettonedbøren og den modeltekniske evapotranspiration er i modellen sat til 150 mm/år. Den gennemsnitlige netto grundvandsdannelse indenfor "landdelen" af modelområdet er beregnet til ca. 75 mm/år.

2.8 Randbetingelser

Langs den østlige modelrand fastholdes trykniveauet i modellens nederste lag i kote +1 m. Under den del af Korsør Nor, der ligger indenfor modelområdet, fastholdes trykniveauet i nederste modellag i kote 0 m. Dette sikrer et faldende vandspejl mod vest i de dybere kvartære lag.

I lag 1, hvor der er frit vandspejl (Korsør Nor), fastholdes trykket i lag 1 i kote 0 m svarende til det gennemsnitlige vandspejlsniveau i Korsør Nor.

Hvor der ikke er specificeret egentlige randbetingelser langs modelranden er der no-flow rand.

I det flade engområde er der etableret en række drængrøfter, der umiddelbart vurderes at dræne til Korsør Nor. Disse drængrøfter er indledningsvist implementeret i modellen som dræn med en generel drænkote i kote +0,25 m. Drændybder er justeret i enkelte af grøfter for at tilpasse de faktiske målinger.

Der er i forbindelse med de udførte felt målinger (sommer 2022) fortaget supplerende indmåling af bundkoter og vandspejl i engarealets grøfter samt af udløbstærsklen i de enkelte grøfter. Dette har medført en justering af modellens randbetingelser (dræn) i engområdet. Drændybder er justeret på baggrund af udløbstærskler og den vestligste del af det nordligste udløb/dræn er helt fjernet, da drænet er tørt og ”udløbstærsklen” ligger markant højere end i de øvrige udløb.

Hvis drænene har direkte kontakt til havet, må det forventes, at der i højvandsituationer vil ske en strømning af havvand ind i grøfterne og ud i det terrænære grundvandsmagasin. Dette er en dynamisk proces, der ikke umiddelbart er mulig at medtage i modellen. Der er heller ikke tilstrækkeligt data til en egentlig dynamisk modelkalibrering. Der er derfor valgt en pragmatisk gennemsnitsbetragtning for drænene på engarealet i modellen.

Under bebyggelsen er der etableret et drænsystem der dræner kolonihaveområdet. Af-dræning sker via en hovedledning der går fra øst mod vest. Der er som en del af feltarbejdet foretaget en indmåling af bundkote i brønde på denne ledning. I hvilket omfang der er etableret stikledninger på hoveddrænet vides ikke, og der er derfor heller ikke implementeret stikledninger i modellen.

Manglende randbetingelser

Det modtagne tegningsmateriale synes at vise en ”fællesledning” der går fra den nordlige del af brandskolen til et sted midt på engarealet, hvor der ikke synes at være forbindelse til anden afledning. Denne ledning er ikke lagt ind i modellen, da der ikke foreligger oplysninger om ledningen.

Vandspejlsniveauer i grøfterne er indledningsvist fastsat på baggrund de målinger af vandspejl og udløbstærskler, der er. Der er ikke klarhed over hvordan naturlige årstidsvariationer påvirker tærskler og vandspejlskoter i grøfterne. I hvilket omfang en større forståelse af disse forhold vil forbedre modellen og resultaterne er usikker.

2.9 Hydrogeologiske parametre

De hydrauliske ledningsevner i modellen er indledningsvist skønnet ud fra erfaringstal. Disse er efterfølgende justeret i forbindelse med kalibreringen beskrevet nedenfor.

Parametrene i færdigkalibrerede model er sammenfattet i tabel 1 nedenfor.

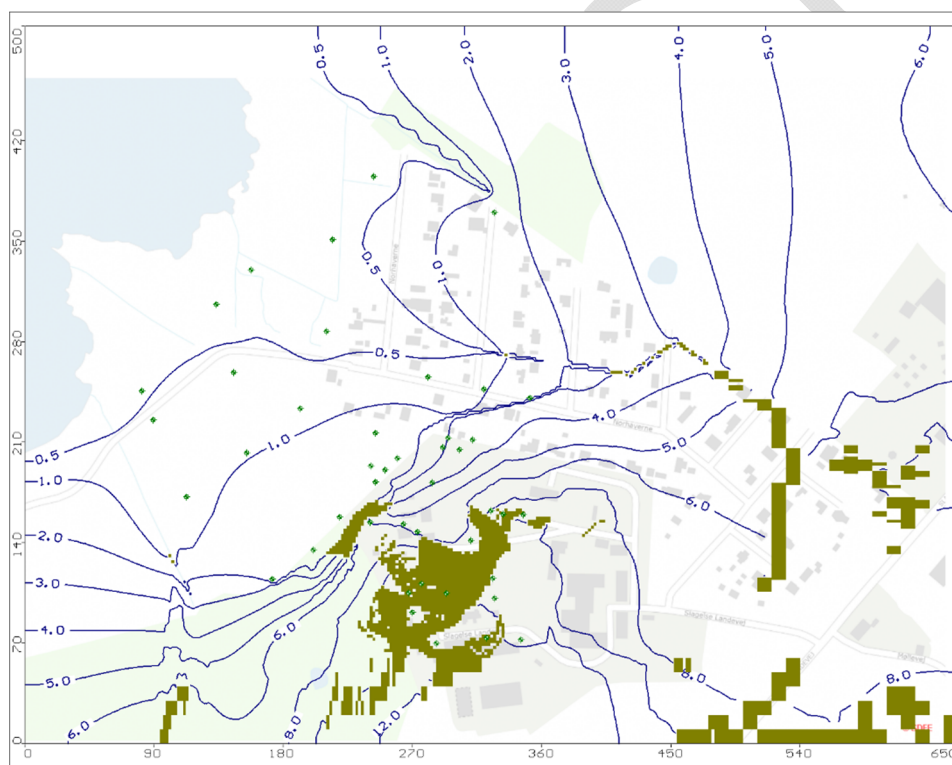
Formation	farve på figur 4	$K_{x,y}$ m/s	K_z m/s
Fyld	Hvid, m fl.	$1 \times 10^{-5} - 10 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5} - 10 \times 10^{-5}$
Sand	Blå, turkis, grå	$0.2 \times 10^{-5} - 10 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6} - 10 \times 10^{-5}$
Ler	Grøn, lilla	1×10^{-8}	$2 \times 10^{-9} - 5 \times 10^{-9}$
Randbetingelse	Rødbrun	-	-

Tabel 1 Hydrogeologiske parametre anvendt i grundvandsmodellen.

2.10 Kalibrering

Med udgangspunkt i den opstillede model er der foretaget en tilretning af modellens hydrauliske parametre med henblik på at opnå en tilfredsstillende overensstemmelse mellem målte vandspejl i borer og det modelsimulerede vandspejl ved borerne.

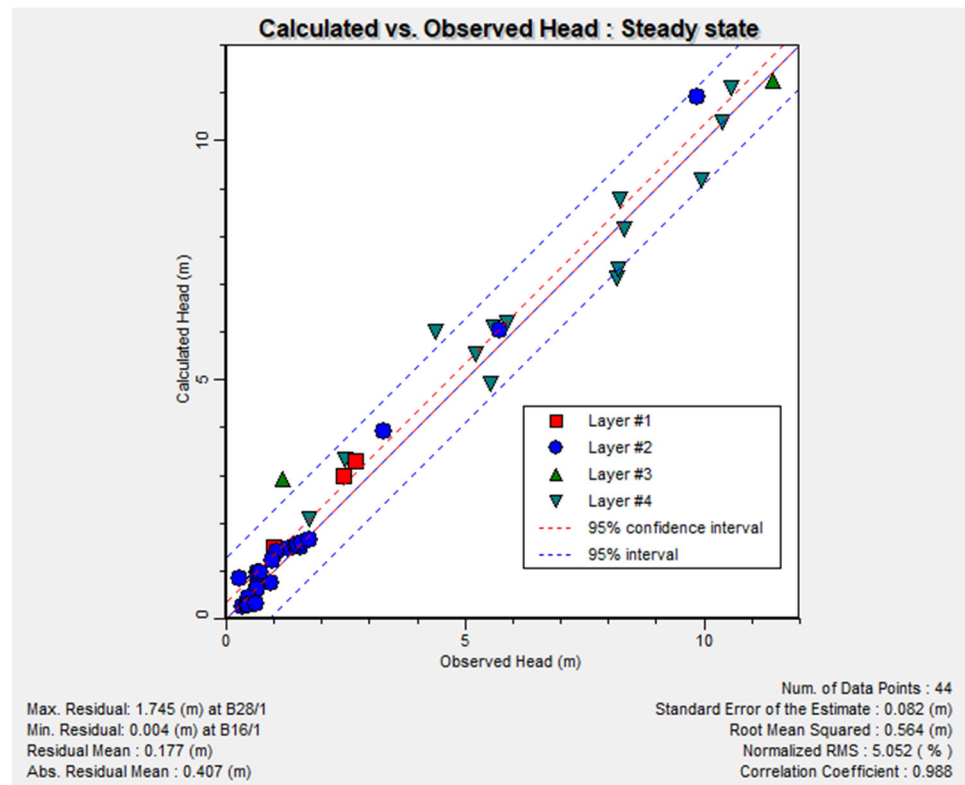
Figur 5 viser det simulerede vandspejl i det øverste sandlag (modellag 2).



Figur 5 Simuleret vandspejl i øverste sandlag (beregningsslag 2).

Strømningsbilledet ligner det forventede billede, med strømning fra det højtliggende område omkring brandskolen mod nord og nordvest. I dele af især den østlige del af kolonihave området simulerer modellen vandspejl over terræn. Dette er ikke i overensstemmelse med virkeligheden, idet der formentlig er foretaget lokal dræning, der ikke er indberettet og dermed ikke er medtaget i modellen. Da der imidlertid heller ikke er vandspejlsmålinger i disse områder, er valgt ikke at gøre yderligere.

Figur 6 viser et scatterplot, hvor simulerede og observerede vandspejlsniveauer for de enkelte borerer er plottet mod hinanden.

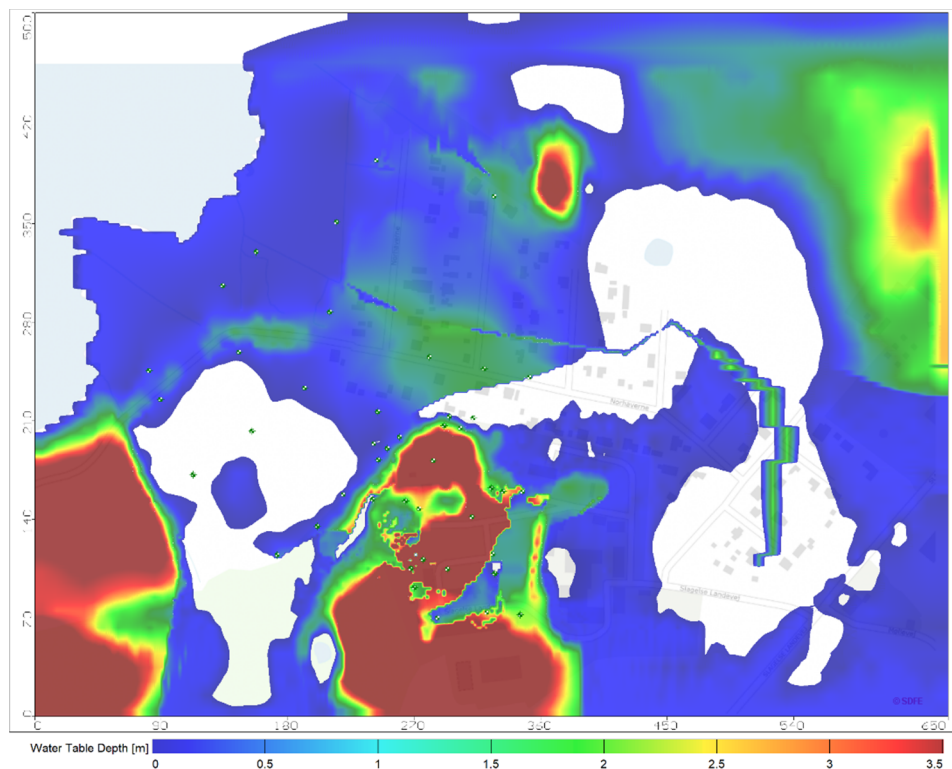


Figur 6 Scatter plot for kalibreret model..

Jo tættere punkterne ligger på en ret linje med hældning én, jo bedre overensstemmelse er der mellem model og de målte vandspejlsniveauer.

Der ses en rimelig overensstemmelse med fornuftig korrelation og generelt relativt små forskelle mellem observeret og simuleret vandspejlsniveau. Det vurderes at de større afvigelser, på over én meter, der ses i enkelte borerer skyldes helt lokale forhold (se afsnit 2.8) der ikke kan beskrives med modellen uden kendskab til årsagen.

Figur 7 viser den simulerede dybde til vandspejlet i meter under terræn.



Figur 7 Simuleret dybde til vandspejl i meter under terræn.

De hvide områder på figur 7 fremgår ikke af legenden, men betyder at det simulerede vandspejl ligger over terræn (ikke nødvendigvis meget, men over). Det ses, at det dræn under området, der er implementeret i modellen efter sommerens indmåling, har medført en lokal sænkning af vandspejlet tæt omkring drænet. Effekten når ikke langt væk fra drænet og vandspejlet i modellen vil derfor fortsat stå over terræn i et ikke ubetydeligt område hvilket, som nævnt, ikke er tilfældet i virkeligheden. Dette kan skyldes en for lav terrænnær hydraulisk ledningsevne i modellen, men er mere sandsynlig betinget af at lokale stikdræn ikke er medtaget i modellen. Modellen mangler denne del af drænsystemet for at kunne simulere det korrekte vandspejl i dette område. Kortlægning af lokale stikdræn findes formentlig ikke. Hvor vandspejlet rent faktisk står vides ikke, da der ikke er pejleboringer i disse områder, kun viden om at der ikke står blankt vand på terræn.

Der må forventes en vis påvirkning på vandspejlet i og omkring drængrofterne på engarealet som følge af variationer i havvandsniveauet i Korsør Nor. Da modellen er stationær, er det ikke umiddelbart muligt at indarbejde disse variationer i modellen, og der må derfor, til tider, forventes nogen afvigelse mellem målt og simuleret vandspejl på engarealet, især i borerer tæt på grøfterne.

Overordnet set synes der med modellen opnået en rimelig beskrivelse af de terrænnære strømningsforhold i området.

Modellen vil, som den er nu, kunne anvendes til overslagsberegninger af fx effekten af etablering af dræn ved den østlige grænse af engarealet og give et foreløbigt bud på vandmængderne.

2.11 Mulige forbedringer af modellen

Supplerende pejlerunder vil kunne give vigtig viden om variationen i vand-spejlsniveauerne.

Det vil desuden øge vidensgrundlaget for vurdering af de hydrogeologiske forhold og dermed spredningsmulighederne for forurening (PFAS) med et kendskab til eventuel tilstedeværelse af dybereliggende vandførende horisonter under engarealet.

Dette kendskab vil kunne opnås ved etablering af en eller flere dybere boringer (5-10 m).

Etablering og tolkning af dataloggere placeret i boringer, render og hav på og under engarealet, vil kunne bidrage til forståelsen af de dynamiske strømningforhold mellem Korsør Nor, drængrøfter og grundvand.

2.12 Modellens numeriske stabilitet

Modellen leverer et godt resultat. Der er imidlertid nogle numeriske udfordringer med at finde den endelige løsning (konvergens). Dette er forårsaget af, at der er nogle store lokale variationer i strømningforholdene, herunder bl.a. store terrænforskelle, der giver anledning til nogle numerisk ustabile områder/beregningsceller.

Det betyder igen, at modellen skal hjælpes lidt på vej, når den køres, og at der ved nogle simuleringer skal foretages en mindre justering af de numeriske parametre for at få modellen til at konvergere.

Dette er ikke et ukendt fænomen i forbindelse med grundvandsmodellering, og er sjældent et problem for resultatet, så længe der er vandbalance i modellen.

3 Opsummering af modelopstillingen

Den opstillede model synes at simulere de målte vandspejlsniveauer i det terrænnære sand rimeligt tilfredsstillende, og det vurderes at modellen, som den er nu, vil kunne danne et godt grundlag for en vurdering af fx effekten af etablering af dræn ved den østlige grænse af engarealet og give et foreløbigt bud på den vandmængde, der kan forventes at strømme til drænet.

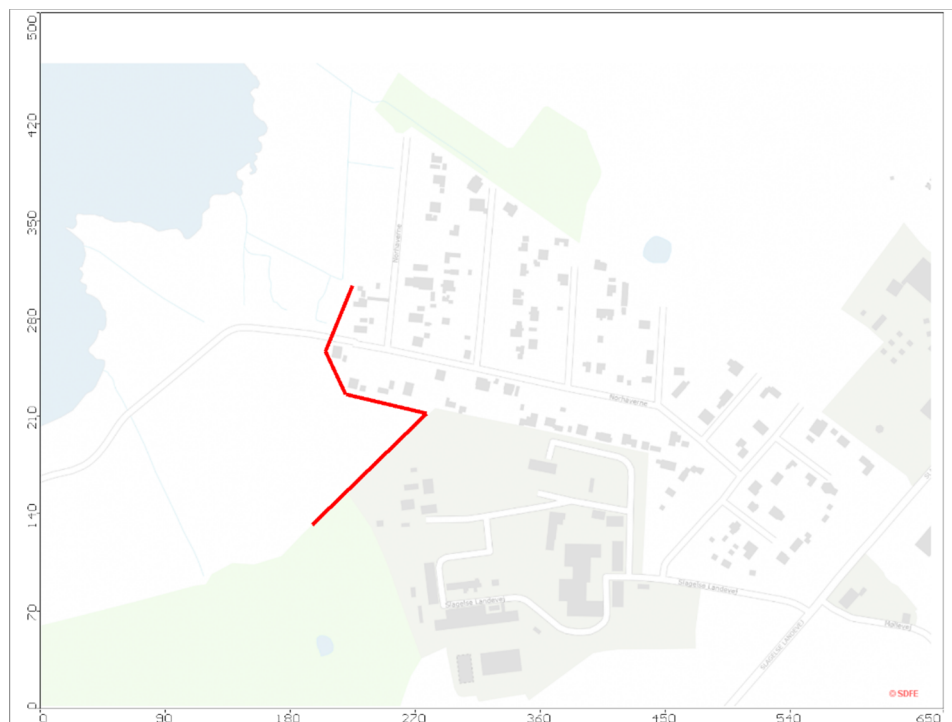
4 Modelberegninger

Nedenstående modelberegninger udføres med ovenstående model som grundlag. Det vil sige, at hvis ikke andet beskrives, vil beregningen blive udført med en kopi af den kalibrerede model (referencemodellen) med et start-potentiale svarende til det, der beregnes med modellen.

Ændringer i scenarierne beskrives for hvert scenario.

4.1 Scenario 1

I dette scenario etableres et dræn i en drænrende i engarealet langs vestsiden af brandskolen og kolonihave foreningen (se figur 8). Drænet placeres i kote +0.5m hvilket svarer til lag 2 og 3. Drænet føres i denne beregning ikke helt mod nord.



Figur 8 Placering af dræn i scenario 1

Beregningen viser, at der i den stationære situation kan forventes, at der strømmer omkring $8 \text{ m}^3/\text{d}$ til drænet direkte fra den omkringliggende jord. Fra drænet under kolonihave arealet simuleres en tilstrømning på omkring $15 \text{ m}^3/\text{d}$.

Til sammenligning dræner de øvrige drængrøfter på engarealet ca. $20 \text{ m}^3/\text{d}$.

I dag, hvor det afskærende dræn ikke er etableret er afstrømningen fra drænet under kolonihaverne og engarealet noget større.

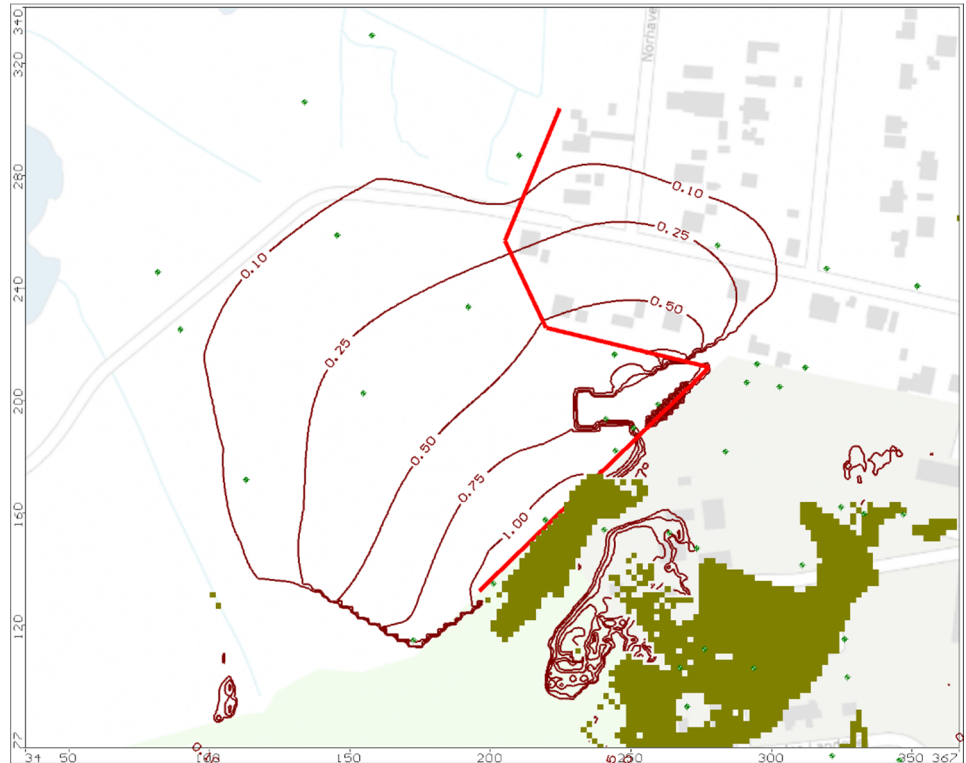
Alle tre dræn opsamler en blanding af tilstrømmende terrænnært grundvand/regnvand.

Det er her vigtigt at huske på at beregningerne er lavet for en stationær situation og afspejler "gennemsnitlige" vandmængder. I den virkelige verden må der forventes varierende mængder afhængigt af nedbør, årstid, og ikke mindst vandspejlsniveauet i Korsør Nor.

Det skal desuden nævnes at drænet under kolonihavearealet formentlig er underestimeret, da der ikke er indregnet vand fra ”stikdræn” der, som nævnt, ikke er implementeret i modellen.

Der er heller ikke redegjort for eventuelt vand, der ledes til engarealet via ”fællesledningen”.

Den beregnede sænkning af det terrænnære vandspejl er vist på figur 9. De olivengrønne celler indikerer, at beregningslaget er tørt, hvilket vil sige, at vandspejlet står lavere end bunden af beregningscellen.



Figur 9 Simuleret sænkning i meter i terrænnært sand, scenario 1

Af figuren fremgår det, at dræningen kan forventes at give anledning til nogen sænkning i sandlaget på engarealet. At sænkningen er lille omkring den nordligste del af drænet skyldes de drængrøfter, der er lagt ind i modellen, der allerede har sænket vandspejlet.

<https://niras.sharepoint.com/sites/10411449/Shared Documents/Working area/grundvandsmodel/Notat-grundvandsmodel.docx>