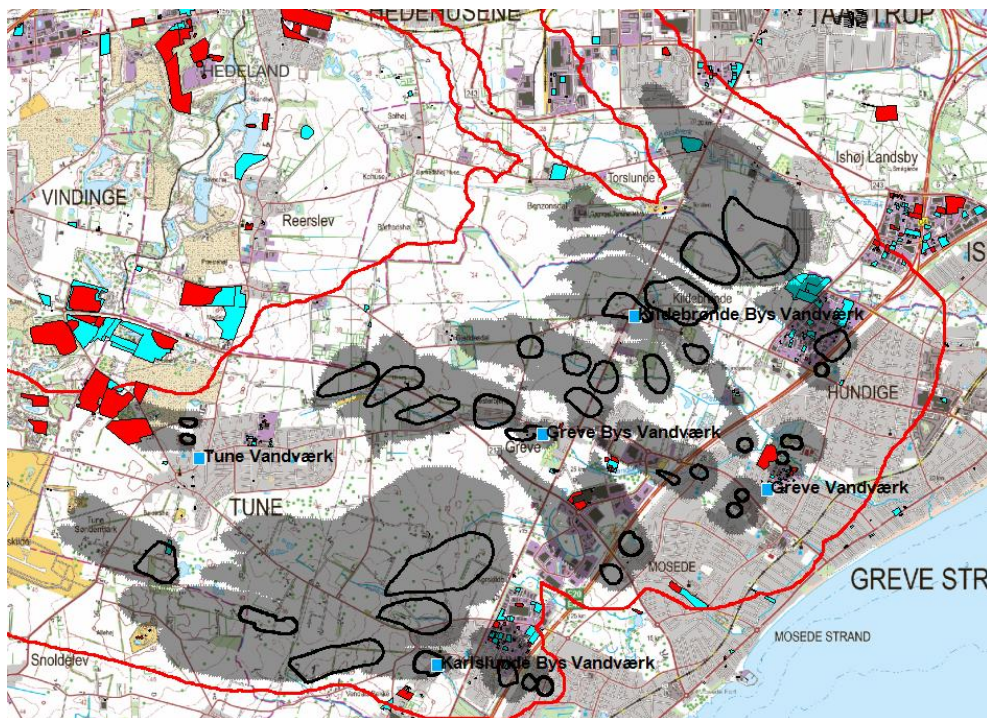


GREVE KOMMUNE

Greve Indsatsplan

Notat vedrørende opdatering af den hydrologiske model

2015-03-09



ALECTIA A/S

Teknikerbyen 34
2830 Virum
Danmark

Tlf.: +45 88 19 10 00
Fax: +45 88 19 10 01

CVR nr. 22 27 89 16

www.alectia.com

jnku@alectia.com

Udarb.: JNKU/MAON Godkendt: Greve Kommune

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
2	Modelområde	4
3	Hydrostratigrafisk model	7
4	Nedbør og Potentialfordampning.....	10
5	Vegetationstyper.....	10
6	Umættet zone	12
7	Indvinding	13
8	Pejlinger.....	16
9	Zonering af modellen	16
10	Modelkalibrering	18
10.1	Følsomhedsanalyse.....	19
11	Modelvalidering	19
11.1	Grundvand	20
11.2	Vandløbsafstrømning	23
11.3	Vandbalance	25
12	Porøsiteter og simulerede grundvandsaldre	26
13	Resultater	26
13.1	Optimering 1	27
13.2	Optimering 2	27
14	Konklusion	30
15	Referencer	31

Bilagsliste

Bilag 1 Modelforløb
Bilag 2 Indvinding
Bilag 3 Synkronpejlekort
Bilag 4 Arealanvendelse

1 Indledning

Dette notat beskriver den hydrologiske model der benyttes i forbindelse med udarbejdelse af indsatsplan for Greve Indsatsområde. Greve Kommune har en stationær model udviklet af Niras /1/. Modellen er blevet opdateret til en dynamisk model. I forbindelse med opdateringen er der implementeret en ny geologisk/hydrostratigrafisk model. Desuden er modellen baseret på baggrund af Sjællandsmodellen der blev udviklet tilbage i 2009 /2/. I Sjællandsmodellen her der været brugbare temaer der kunne arbejdes videre med i dette projekt, bl.a. et vandløbstema i MIKE 11.

Det har været målet, at modellen skal kunne simulere de væsentligste elementer af det hydrologiske kredsløb på landfasen med vægt på grundvandssystemet og interaktioner mellem grundvand og overfladevand. Der er lagt vægt på at beskrive grundvandsmagasinerne og de overfladenære processer så fysisk korrekt som muligt. Greve modellen er derfor opbygget med fuld integrering af rodzonen, umættet og mættet zone og hvor grundvandsdannelsen beregnes samtidig med, og under indflydelse af grundvandsspejlets beliggenhed. Derudover er der lagt vægt på, at modellen afspejler den eksisterende viden om artesiske tryk i området, altså bekræfter eksisterende viden om områder hvor grundvandsspejlet ligger over terræn. På baggrund af informationer om beliggenhed af kildevæld afspejler modellen disse områder tilfredsstillende.

Input til simuleringerne udgøres af:

- Nedbør på døgnværdi (10 km klimagrid)
- Potentiel fordampning på døgnniveau (20 km klimagrid)
- Temperatur på døgnniveau (20 km klimagrid)
- Arealanvendelse med vegetationstyper
- Vandindvindingsdata (ugentlige, månedlige eller årlige oppumpninger)
- Udledninger til vandløb fra rensningsanlæg og afværgelanlæg

Modellen er opstillet for perioden 1990-2014.

Output fra simuleringerne udgøres bl.a. af grundvandspotentialer og forskellige vandbalancedata. Væsentlige eksempler på output er:

- Vandindhold i rodzonen
- Aktuell fordampning
- Overfladisk afstrømning
- Drænafstrømning
- Afstrømning fra befæstede arealer
- Infiltration fra rodzone til umættet zone
- Strømning i umættet zone
- Tykkelse af umættet zone

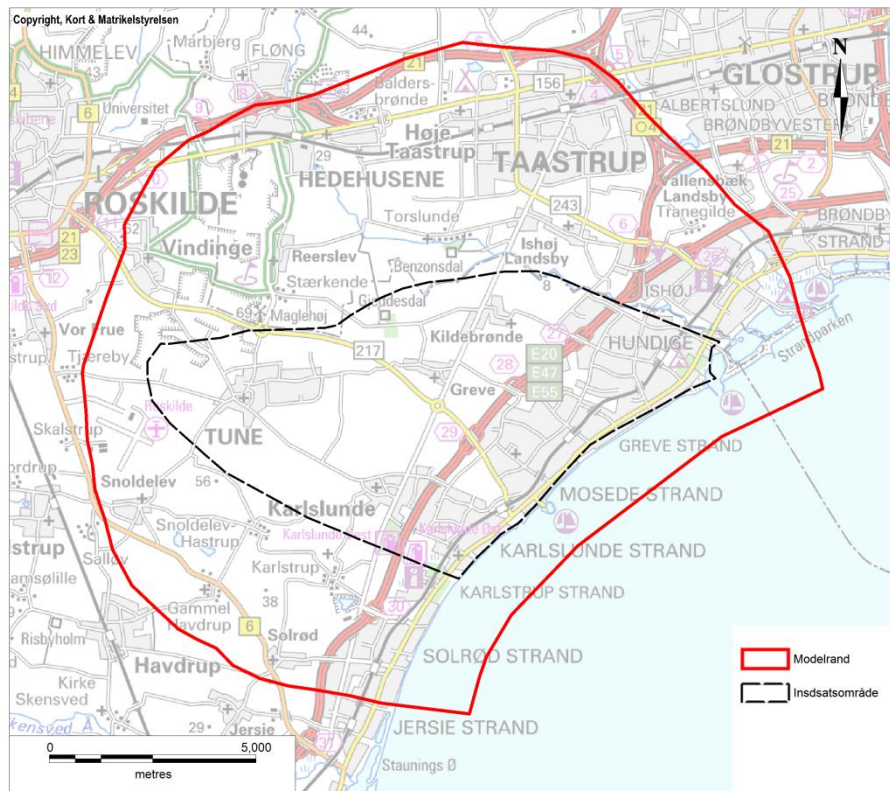
- Vandudveksling mellem mættet og umættet zone
- Grundvandspotentialer
- Grundvandsdannelse til geologiske/hydrostratigrafiske lag

Modelsystemet er MIKE SHE der kan beskrive hele det hydrologiske kredsløb.

Der er gjort brug af følgende moduler i MIKE SHE:

- OC modul: Som beregner den overfladiske afstrømning (OL) og afstrømningen i vandløb (MIKE 11)
- ET modul: Som beregner fordampningen ud fra oplysninger om potentiel fordampning, vegetation og vandindhold i umættet zone
- UZ modul: UZ-modulet beskriver vandtransporten gennem den umættede zone
- SZ modul: SZ-modulet beskriver vandstrømningen i den mættede zone.
- Snesmeltningsmodul: Snesmeltingen er beskrevet ved daggradsmodellen. I daggradsmodellen sammenholdes en smeltning-frysekoeficient med daglige værdier for temperaturen.

2 Modelområde



Figur 1 Modelområde og indsatsområde.

Modelområdet er vist på Figur 1. Arealet af model området er ca. 190 km².

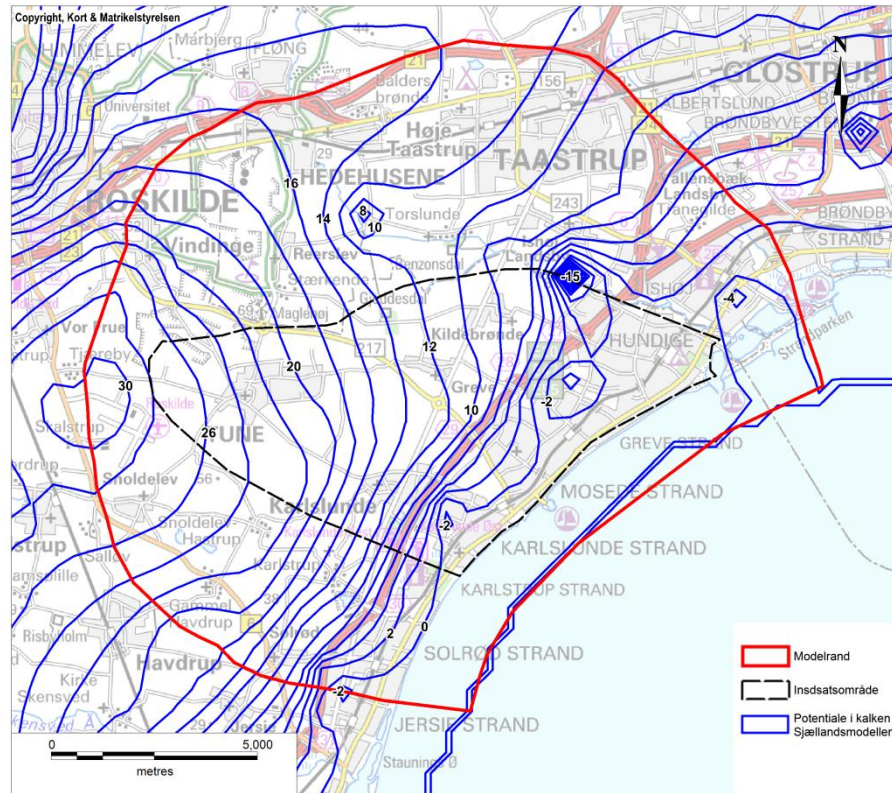
Der er i forbindelse med udviklingen af modellen foretaget flere iterationer mellem gridstørrelse, udvidelse af modelrand og udvidelse af modelområdet. En nærmere beskrivelse fremgår af bilag 1. Modellen blev indledningsvist opstillet i et 200 m grid til autokalibrering og sensitivitetsanalyse og derefter nedskaleret til et 100 m grid. Baggrunden for at opstille den indledningsvist i et 200 meter grid, var på grund af beregningstider, da der i forbindelse med autocal skal foretages et stort antal kørsler. Et 100 meter grid ville medføre forholdsmæssig store beregningstider i forbindelse med AUTOCAL.

Den endelige modelrand er fastlagt på baggrund af simuleret potentiale i kalken i Sjællandsmodellen /2/ samt regionalt synkronpejlekort fra oktober 2012 /4/ , jævnfør figur 2 og figur 3. Det simulerede potentiale i den regionale model tager højde for den regionale indvinding i området og er derfor vurderet at give et troværdigt beliggenhed af primære grundvandsskel i området.

Modelranden er overalt lagt vinkelret på strømningslinjerne karakteristisk for en no-flow rand.

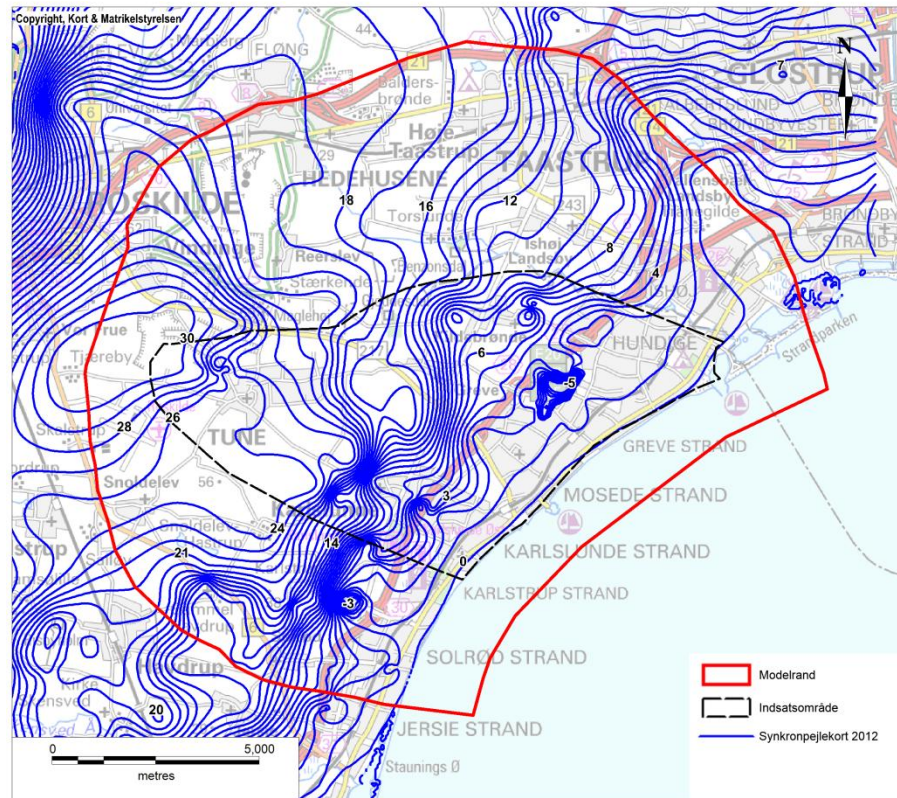
Variationer i indvindingen især fra Solhøj Kildeplads i den nordlige del af modelområdet vurderes dog at kunne påvirke randbetingelserne og forårsage forskydninger i beliggenheden af det regionale grundvandsskel. Det optimale ville være at indlægge en dynamisk modelrand langs den nordlige modelrand. Dette ville dog kræve en opdateret regional model for området der strækker sig helt frem til 2014 – og dette har ikke været til rådighed. Derfor er der valgt en løsning med et fastholdt potentiale i stedet langs den nordlige rand i det primære grundvandsmagasin – kalken. Det fastholdte potentiale er implementeret fra Sjællandsmodellen som en gennemsnitlig værdi for perioden 2000-2005.

Langs den øvrige modelrand er der indlagt en no-flow rand.



Figur 2 Det simulerede gennemsnitlige potentiale i kalken fra Sjællandsmodellen for perioden 2000-2005. /2/

I havet er modelranden lagt knap 2 km fra kysten.



Figur 3 Regionalt synkronpejlekort okt. 2012 /4/. Lokalt synkronpejlekortet er vist i bilag 3 inklusiv pejleboringer /8/

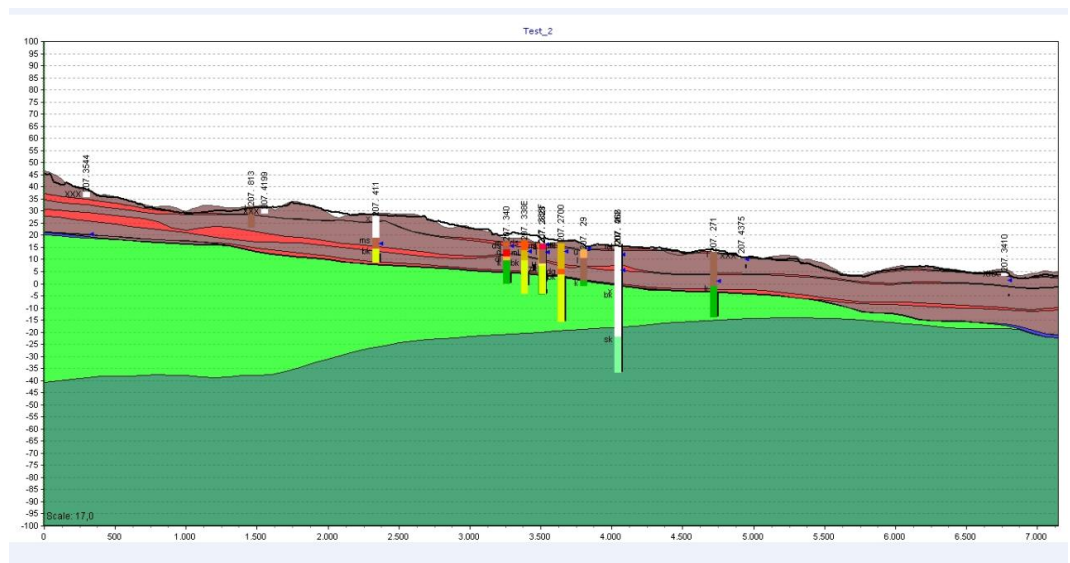
3 Hydrostratigrafisk model

En hydrostratigrafisk enhed repræsenterer en eller flere geologiske enheder slået sammen til et lag med samme hydrauliske egenskaber eller en underopdeling af et hydrogeologisk lag i flere enheder. I forbindelse med opdateringen af den geologiske model er der udarbejdet en ny hydrostratigrafisk model der er implementeret i den hydrologiske model.

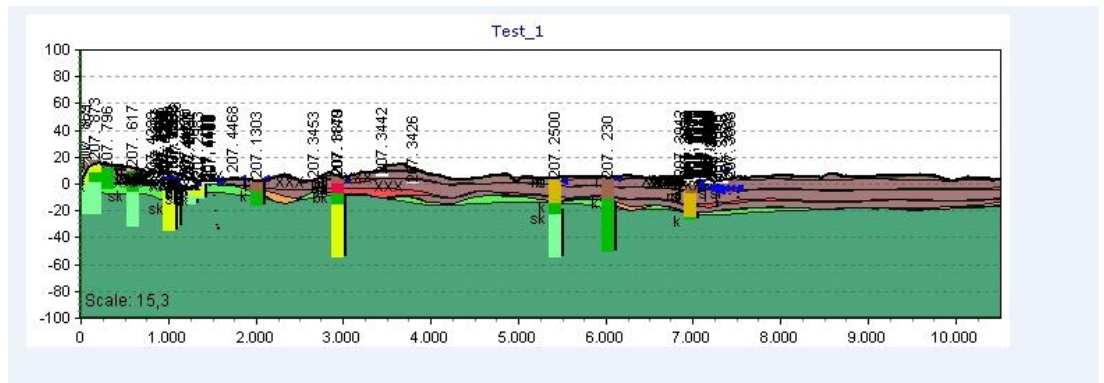
Den numeriske grundvandsmodel består af følgende hydrostratigrafiske enheder (fra topografien og ned):

- Lag 1: Et lag der udgør den umættede zone og den øverste del af den mættede zone. Den rumlige distribution af jordtyper er baseret på jordartskortet. Moræneleret er vurderet at være opsprækket.
- Lag 2: Et forholdsvis lavpermeabelt lag (kaldet "Ler 1").
- Lag 3: Et vandførende lag af smeltevandssand- og grus. Disse lag udgøres af sekundære lokale magasiner og findes især udbredt i den nordvestlige del af området
- Lag 4: Et forholdsvis lavpermeabelt lag (kaldet "Ler 2").
- Lag 5: Et vandførende lag af smeltevandssand- og grus. Laget udgør det primære sandlag i området, og findes især i Hedelandsområdet

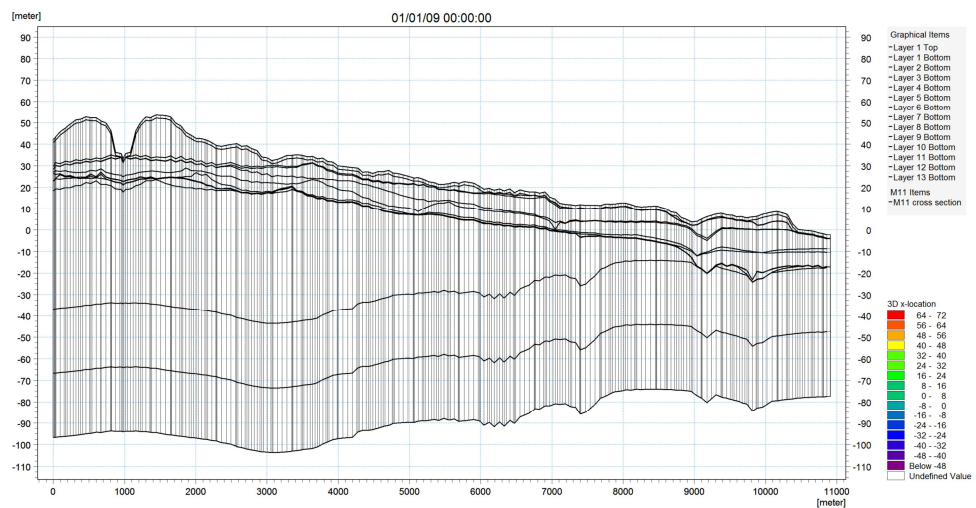
- Lag 6: Et forholdsvist lavpermeabelt lag (kaldet "Ler 3").
- Lag 7: Et vandførende lag af smeltevandssand og -grus, der udgør det dybeste sandmagasin (kaldet "Sand 3").
- Lag 8: Et forholdsvist lavpermeabelt lerlag (kaldet "Ler 4").
- Lag 9: kertemindemergel. Et forholdsvis lavpermeabelt lag der er tilstede i den vestlige del af området.
- Lag 10: Grønsandskalk, der er tilstede i den vestlige del af området
- Lag 11: Danienkalk. Tykkelsen af danienkalken varierer fra nul ude ved kysten til op mod 75 meter omkring Tune.
- Lag 12: Skrivekridt, 30 meter tykt i hele modelområdet
- Lag 13: Nederste modellag. 30 meter tykt lavpermeabel "skrivekridt" med impermeabel bund. Hvor Danienkalk ligger øverst har skrivekridtet samme hydrauliske ledningsevne i lag 13 og lag 12 da der ikke formodes at være væsentlig forskel i opsprækkethed i dette område.



Figur 4 Nordvest – sydøst geologisk snit jævnfør beliggenhed figur 6

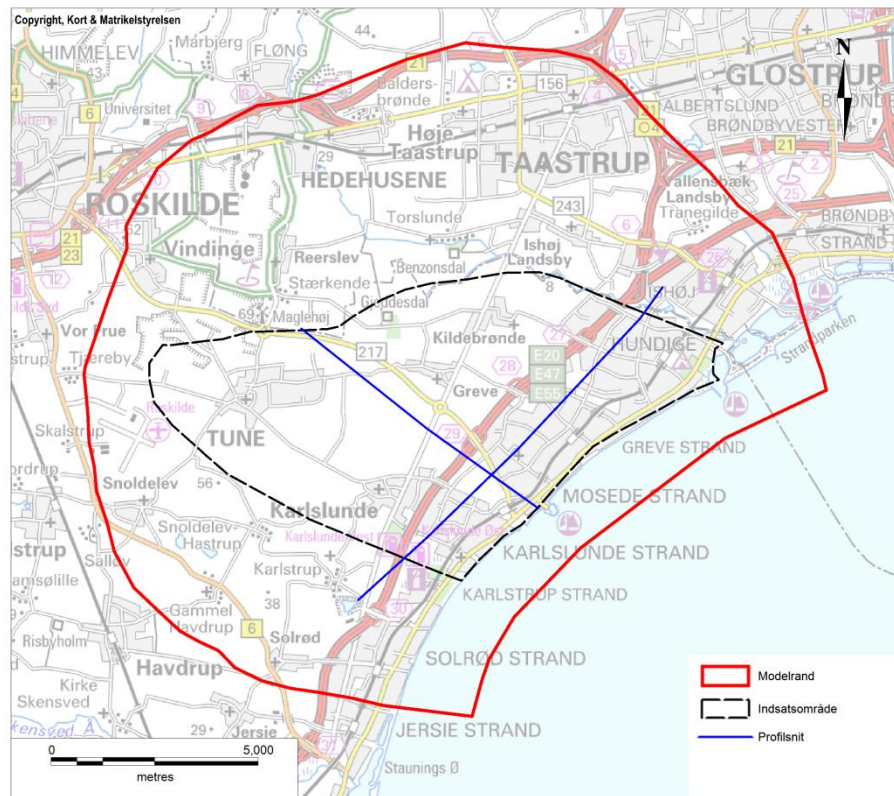


Figur 5 Nordøst-sydvest geologisk snit, jævnfør beliggenhed figur 6



Figur 6 Snit gennem hydrostratigrafiske model

På figurerne 5 og 6 er vist henholdsvis et øst-vest og nord-syd snit gennem området af den geologiske model. Placeringen af tværsnittene fremgår af figur 7. Den geologiske model er identisk med den hydrostratigrafiske model på nær at skrivekridtet er opdelt i 2 lag som beskrevet under bullet 12 og 13 ovenfor og illustreret på figur 7.



Figur 7 Beliggenhed af profilsnit.

4 Nedbør og Potentialfordampning

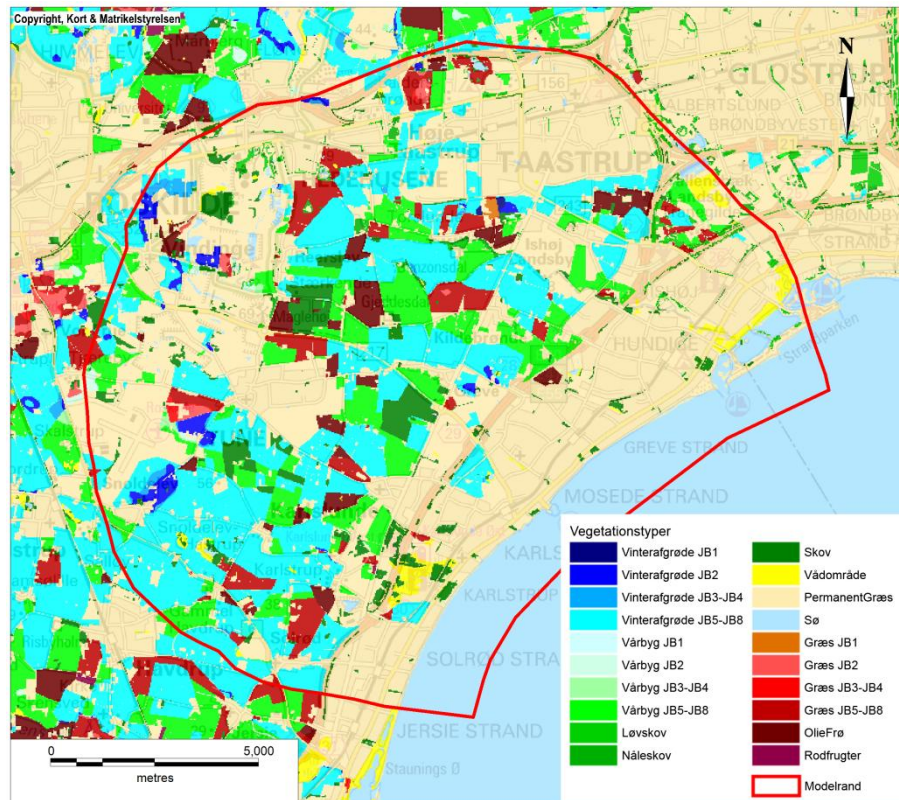
Data for nedbør, potentiel fordampning og temperatur er implementeret på daglig basis. Der er anvendt klimagrid fra DMI i form af 10 km grid for nedbør samt 20 km grid for potentiel fordampning og temperatur.

5 Vegetationstyper

Der er implementeret 11 vegetationstyper i den hydrologiske model, hvilke er følgende:

- Vinterafgrøder
- Vårbyg
- Løvskov
- Nåleskov
- Skov (undefineret)
- Vådområder
- Permanent græs
- Vand (Sø)
- Græs
- Oliefrø
- Rodfrugter

Udbredelsen af vegetationstyper fremgår af 8.

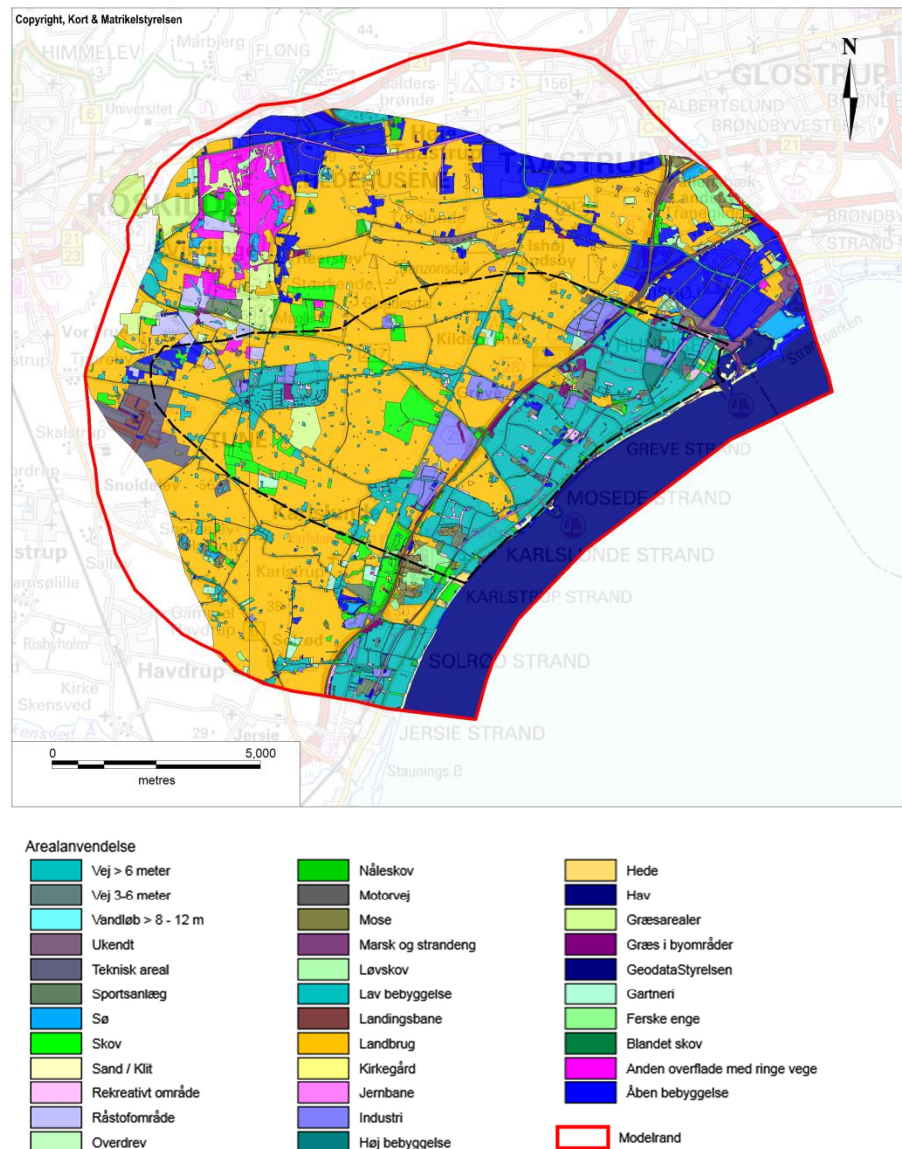


Figur 8 Vegetationstyper i modellen.

Vegetationstyperne er placeret på baggrund af arealanvendelsen (figur 4) der igen er baseret på AIS data (Data fra Danmarks areal info system) samt temaer fra Plan-DK. Landbrugsafgrøderne er baseret på data fra Sjællandsmodellen der igen er baseret på data fra landbrugsregistre. Temaet er ca. 5 år gammelt og er ikke blevet opdateret med nye landbrugsdata.

Landbrugsafgrøderne er endvidere blevet distribueret på baggrund af jordtyperne idet bl.a. roddybden er afhængig af jordtypen.

Der er anvendt to arealanvendelseskort som grundlag for den hydrologiske model. Det ældste er blevet brugt for perioden 1990-2009. Det nutidige er blevet brugt for perioden 2009-2014 og er vist på figur 7. I det nutidige er der i forhold til det gamle især sket en udbygning af industriområder langs Køge Bugt motorvejen samt etablering af golfbane og skovområder vest for Køge Bugt motorvejen. Derudover er der sket en mindre vækst i forekomsten af grusgravssøer i Hedelandsområdet i den nordvestlige del af området.



Figur 6 Arealanvendelse – nutid. Arealanvendelsen er også vist i bilag 4.

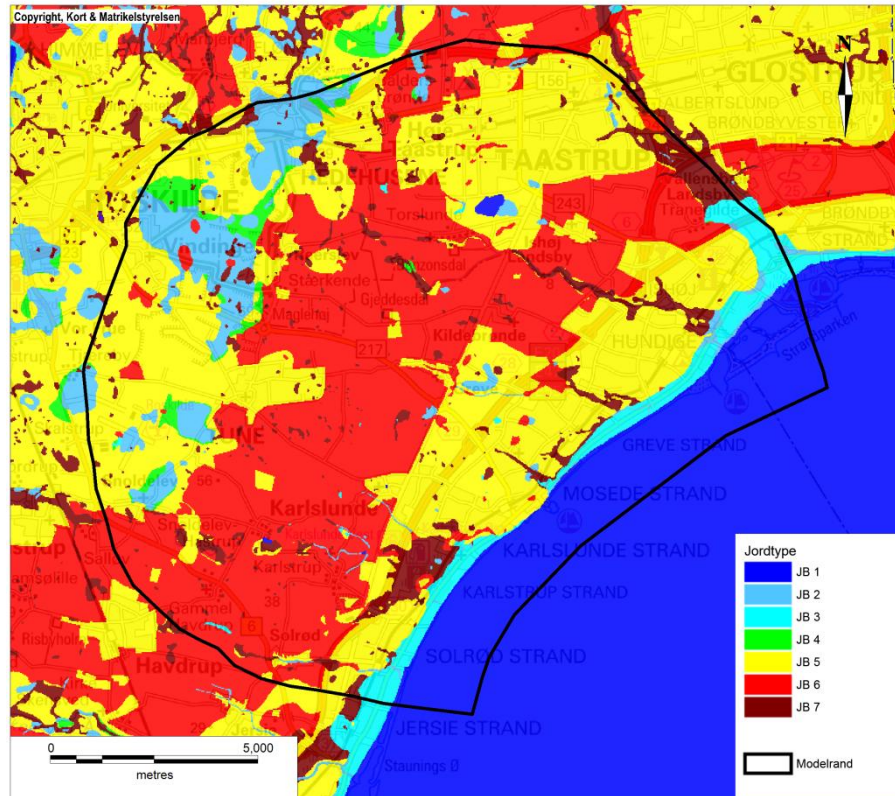
6 Umættet zone

Afgrænsningen af jordtyperne i den umættede zone er foretaget på baggrund af GEUS jordartskort. Jordtyperne er beskrevet ved JB jordtyperne (figur 9) ved følgende fordelingsnøgle:

- JB 1 Grus
- JB 2 Grovsandede jorde
- JB 3 Sand, fint sand
- JB 5 Moræneler, sandet
- JB 6 Moræneler, leret
- JB 7 Organiske aflejringer

De dominerende jordtyper i området er JB 5 og JB 6, afgrænset ved moræneler på jordartskortet. Sandede jordtyper i den umættede zone er primært tilstede i den nord-

vestlig del af området (Hedelandsområdet), hvor der er større udbredelser af jordtyperne JB 2 og JB 3.



Figur 7 Udbredelse af JB jorde til beskrivelse af den umættede zone.

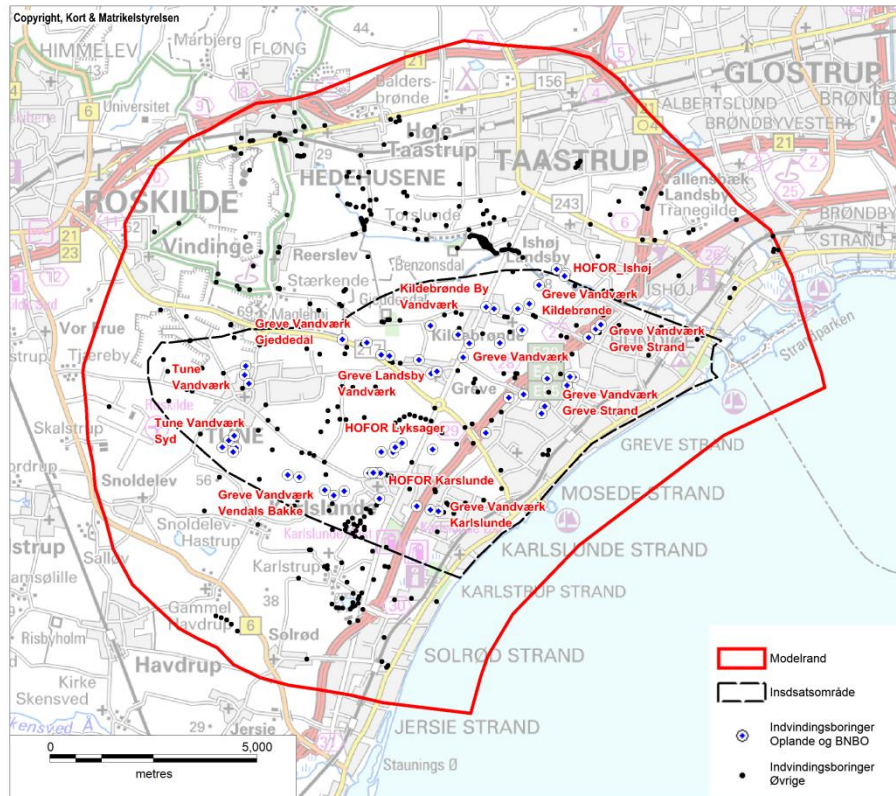
7 Indvinding

Indvindingen er implementeret i modellen på tre forskellige niveauer, hvilket fremgår af tabel 1. Placeringen af indvindingsboringerne fremgår af Figur 8.

Tabel 1 Tidslig opløsning af indvinding

Vandværk	Tidslig opløsning
Greve Vandværk	Månedlige værdier (fra 2002)
HOFOR	Ugentlige værdier
Øvrige	årsbasis

For HOFOR er der modtaget regneark med indvindingen på ugebasis. Ligeledes er der modtaget regneark fra Greve Vandværk med indvindingen på månedsbasis. For de øvrige vandværker er indvindingen implementeret fra JUPITER.



Figur 8 Placering af indvindingsboringer i modelområdet

Tabel 2 Aktuell indvinding for de vandværker der beregnes opland og BNBO.

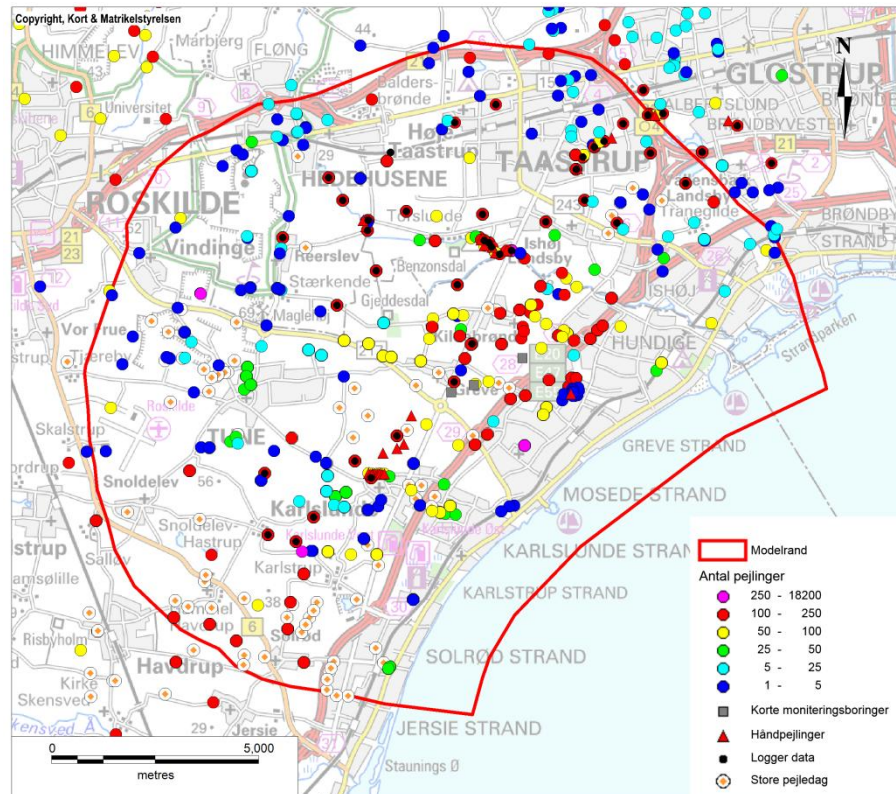
Anlæg / DGU nr.	Aktuel indvinding [m ³ /år]
Greve Landsby Vandværk	34606
104370 207.2246 1	17303
104370 207.297 1	17303
Greve Vandværk - Gjeddedal	478035
105139 207.3582 1	98677
105139 207.3583 1	104765
105139 207.3709 1	127453
105139 207.3710 1	72751
105139 207.3711 1	74389
Greve Vandværk - Greve	355083
104364 207.3024 1	52143
104364 207.3025 1	83516
104364 207.3027 1	69418
104364 207.3044 1	67979
104364 207.3045 1	82027
Greve Vandværk - Greve Strand	488447
104362 207.2387 1	27189
104362 207.2388 1	64183
104362 207.2390 1	9386
104362 207.2499 1	100143
104362 207.2582 1	28496
104362 207.2583 1	25729
104362 207.2719 1	24986

104362_207.2720_1	37681
104362_207.2732_1	29370
104362_207.2733_1	37056
104362_207.2734_1	22885
104362_207.852_1	36254
207_4727	45088
Greve Vandværk - Karlslunde	106617
104357_207.1141_1	30043
104357_207.1142_1	22516
104357_207.1262_1	54058
Greve Vandværk - Kildebrønde	398393
104363_207.2757_1	29224
104363_207.2818_1	172665
104363_207.2821_1	150255
104363_207.3775_1	46249
Greve Vandværk - Vendals Bakke	350000
105169_207.3797_1	103910
105169_207.3862_1	112416
207_4117	133674
VendalsB_1	0
VendalsB_2	0
HOFOR Lyksager	691800
119830_207.3579_1	138360
119830_207.3970_1	69180
119830_207.3971_1	311310
207_4057	172950
HOFOR Ishøj	470520
207_3585	94104
207_4004	164682
207_4005	117630
207_4006	94104
HOFOR Karlslunde	205560
33062_207.2724_1	51390
33062_207.2725_1	30834
33062_207.2727_1	61668
33062_207.3476_1	61668
Karlslunde By Vandværk	43224
104371_207.2961_1	10374
104371_207.429_1	32850
Kildebrønde By Vandværk	19191
104369_207.228_1	9595
104369_207.2756_1	9595
Tune vv	70000
104360_207.2598_1	35000
104360_207.2599_1	35000
Tune vv syd	170000
104360_206.1059_1	34000
104360_206.934_1	34000
206_1814	34000
206_1824	34000
207_4317	34000
Grand Total	3.881.475

8 Pejlinger

Pejlegrundlaget har været meget fyldestgørende for en dynamisk model. Datagrundlaget har både bestået af filtre med enkeltpejlinger, håndpejlede borer, loggerdata samt data fra store pejledag i 2012. Pejlegrundlaget et vist på 11.

Foruden data fra PCJupiter er data modtaget fra HOFOR, Greve Vandsamarbejde og Greve Kommune.



Figur 9 Pejlegrundlaget i Greve.

9 Zonering af modellen

Zoneringen af modellen har taget udgangspunkt i den eksisterende grundvandsmodel /1/. Zoneringen er dog ikke identisk da kalken i forbindelse med opdateringen af den geologiske model er blevet opsplittet i henholdsvis grønsandskalk, danienskalk og skrivekridt. Kertemindmergelen ligger som et selvstændigt lag over grønsandskalken. Som støtteværktøj til zoneringen er endvidere blevet benyttet udtræk fra PCJupiter til beregning af transmissivitet på baggrund af specifik kapacitet.

Transmissivitskortet figur 12 viser, at der er betydelig lavere transmissivitet i skrivekridtet i forhold til danienskalken og grønsandskalken. Derudover viser transmissivitskortet, at der generelt er en stor variation i transmissiviteten med de højeste transmissiviteter i den nordlige del af modelområdet.

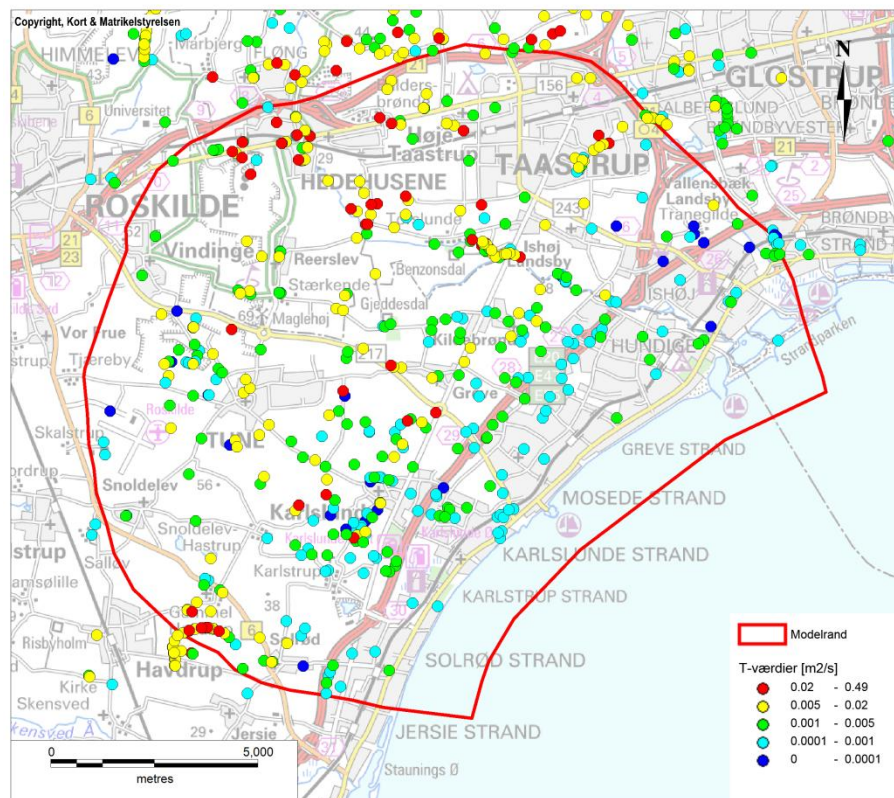
Figur 13 viser den endelige zonering af danienskalken. Ud mod kysten forsvinder danienskalken og her repræsenterer zoneringen den øvre del af skrivekridtet. Grænsen mellem Danienskalken og skrivekridtet er indlagt på baggrund af den opdaterede geologiske model /5/.

Zoneringen afspejler de heterogene geologiske forhold der især er karakteriseret ved varierende opsprækning af kalken samt forkastningssystemer. Der blev indledningsvist opstillet en model med et færre antal zoner i danienkalken, men det viste sig at være nødvendigt at inkludere flere zoner for at beskrive strømmingen lokalt. Den endelige zonering i kalken som helhed består af 11 hydrauliske zoner i danienkalken, 4 hydrauliske zoner i skrivekridtet inklusiv dybtliggende ikke-opsprækket skrivekridts samt 1 zone i grøndsandskalken. Zoneringen af danienkalken er karakteriseret ved høje hydrauliske ledningsevner omkring Solhøj Kildeplads, omkring Thorsbro Kildeplads samt omkring Tune og syd for Tune. Der er en zone med lav hydrauliske ledningsevne umiddelbart vest for Tune. Det centrale område er karakteriseret ved forholdsvis varierende hydrauliske forhold, og det har været nødvendigt at indlægge en forholdsvis lav hydraulisk ledningsevne i dele af det centrale område i forbindelse med tilpasningen af modellen. Det er en mulighed at forkastninger eller forkastningszoner påvirker billedet i dette område.

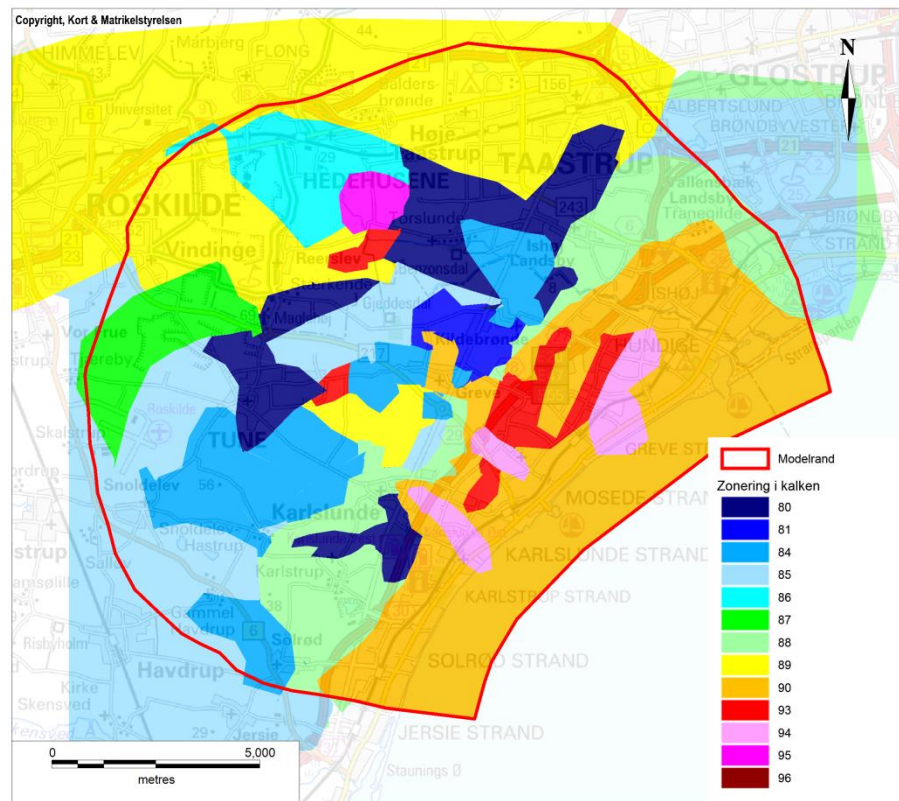
Overordnet er der i skrivekridtsområdet ved kysten indlagt en lidt lavere transmissivitet i modellen end vurderet på baggrund af de specifikke kapaciteter. Magasinet er dobbeltporøst, hvor naturlige sprækker optræder irregulært og kan enten være forbundne eller isolerede. For korte tider vil sprækkerne dominere strømningsbilledet /7/, mens ved længerevarende pumpning og over større volumen vil magasinet optræde analogt til et homogent magasin med en samlet transmissivitet svarende til både sprækker og matrix. Endelig kan den hydrauliske ledningsevne formindskes som følge af ændringer i trykket i spændte grundvandsmagasiner (trykafhængig transmissivitet). Årsagen til at modellen performer bedst med en lav transmissivitet kan evt. være en kombination af de ovennævnte muligheder.

Den vertikale hydrauliske ledningsevne er sat en faktor 10 lavere end den horisontale hydrauliske ledningsevne.

De kalibrerede parametre fremgår af bilag 1 og tabel 3.



Figur 10 Transmissiviteten beregnet på baggrund af specifik kapacitet.



Figur 11 Zonering i Danienkalken.

Tabel 3 Kalibrerede hydrauliske ledningsevner i danienkalk/skrivekridt

Geologisk lag	zone nr.	kx (m/s)	kz (m/s)
DanienKalk	80	0.0002	0.00002
Danienkalk	81	1e-5	1e-6
Danienkalk	82	0.0007	7,00E-05
Danienkalk	83	3,00E-05	3,00E-06
Danienkalk	84	0.0004	4,00E-05
Danienkalk	85	3,00E-05	3,00E-06
Danienkalk	86	0.001	0.0001
Danienkalk	87	1.2e-6	1.2e-7
Danienkalk	89	0.0001	1,00E-05
Danienkalk	88	2,00E-05	2,00E-06
Skrivekridt	90	2,00E-06	2,00E-07
Skrivekridt	93	5,00E-06	5,00E-07
Danienkalk	95	0.001	0.0001
Skrivekridt	94	0.0002	2,00E-05
Dybtliggende Skrivekridt	100	6.2e-7	6.2e-8

10 Modelkalibrering

Modellen er opstillet for perioden 1990-2014. Modelkalibreringen har foregået i følgende trin:

1. Indledende følsomhedsanalyse i AUTOCAL
2. Indledende manuel kalibrering
3. Automatisk kalibrering med AUTOCAL
4. Manuel kalibrering og validering

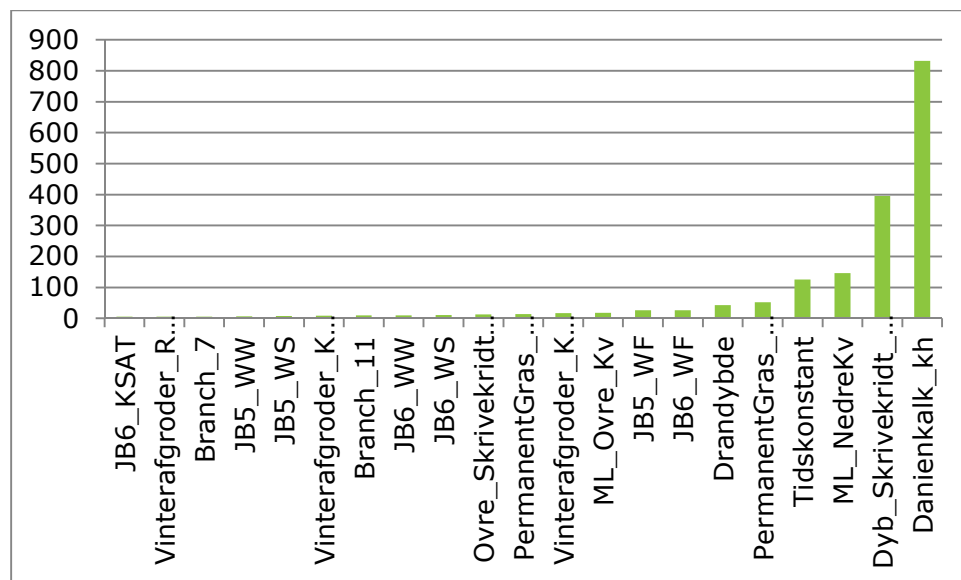
Den afsluttende manuelle tilpasning var nødvendig fordi området er komplekst og yderligere strukturel tilpasning nødvendig.

I forbindelse med den automatiske kalibrering blev der optimeret mod perioden 2000-2009 efter 10 års opvarmning. Modellen er valideret mod pejlinger fra oktober 2012, hvor der er udført en synkronpejlerunde. Desuden er der lagt vægt på at modellen kan simulere vandspejlsstigningen i de kystnære områder i takt med at indvindingen er flyttet ind i landet.

10.1 Følsomhedsanalyse

Der blev indledende foretaget en følsomhedsanalyse der inkluderede både mættede hydrauliske ledningsevner, parametre for den umættede zone, vegetationsparametre, drænparametre og vandløbsparametre.

De mest følsomme parametre for grundvandet af Figur 12.



Figur 12

Figur 12 Følsomhedsanalyse- grundvand

De mest følsomme parametre med hensyn til grundvand udgøres af følgende parametre:

1. Den horisontale ledningsevne i Danienkalken
2. Den horisontale ledningsevne i den dybe skrivekridt
3. Den vertikale hydrauliske ledningsevne i moræneleret
4. Tidskonstanten for drænafstrømningen
5. Drændybden

Derefter kommer en række parametre for den umættede zone og vegetationsparametre. Til gengæld er magasinkoefficienter ikke blandt de mest sensitive.

11 Modelvalidering

Der er undervejs i forbindelse med modelkalibreringen og modelvalideringen foretaget flere strukturelle tilpasninger af modellen samt udbygning af modelområdet. Kalibreringen og valideringen af modellen, har foregået som en split-sample test, hvor data har været opdelt i to tidsperioder, jævnfør nedenstående:

Modellen er kørt for perioden 1990-2008 med 2000-2008 som kalibreringsperiode. Slutpotentialet er udtrykt som startpotentiale for valideringsmodellen (2009-2014) Modellen er kørt for perioden 2009-2014 og valideret mod synkronpejlerunden oktober 2012. Det primære fokus har været på at få modellen til at performe tilfredsstillende i valideringsperioden.

I de følgende afsnit vises resultater fra kalibreringen og valideringen af modellen, både for grundvand og vandløb. Der vises dels modelstatistik, residualplot, sammenligning af simuleret potentialekort med synkronpejlekort samt eksempler på simuleret og observerede pejletidsserier.

11.1 Grundvand

De kvantitative kriterier består af statistiske størrelser beregnet ud fra forskellen mellem simuleret og observerede værdier. Til vurdering af trykniveauet er benyttet midelfejlen, ME, og kvadratafgivelsesummen, RMS. ME og RMS holdes op i mod den maksimale forskel i grundvandspotentialet i modelområdet, ΔH_{\max} , bestemt ud fra observationerne, samt kravværdierne β , for enten en screenings-, overslags- eller detailmodel, tabel 4. Det er tilsytræbt at modellen skal opfylde kravet til en detailmodel. ME og RMS skal være så tæt på nul som muligt, men da ME kan antage både positive og negative størrelser, går kriteriet på den numeriske værdi af ME.

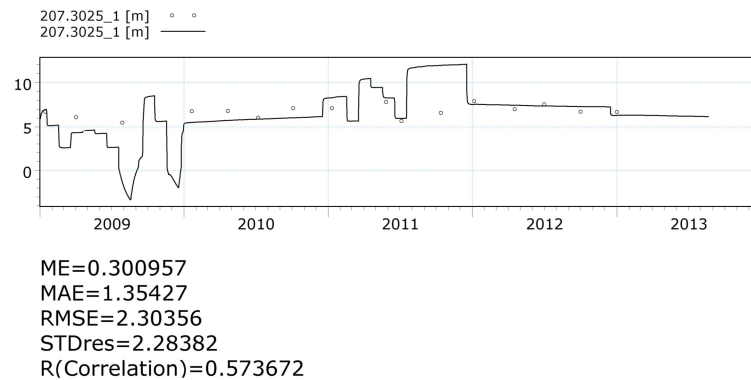
Tabel 4 Kravværdier til β /2/

Krav	Screening	Overslagsberegning	Detailmodellering
$ ME /\Delta H_{\max}$	0.05	0.025	0.01
RMS/S_{obs}	2.6	2	1.65

ΔH_{\max} er den maksimale variation i de observerede potentialer og udgør ca. 45 meter.

Vurderingen af usikkerheden på observationsdata er vist i tabel 3. Hvis fejlkilderne antages at være uafhængige, kan de enkelte bidrags varians (kvadratet på de tabulerede standardafvigelser) summeres, og den samlede standardafvigelse på observationsdata, S_{obs} kan beregnes som kvadratroden af denne sum.

Området ved Greve er karakteriseret ved en stor geologisk heterogenitet og kompleksitet. Derfor er den geologiske heterogenitet, vurderet at udgøre den største kilde til usikkerhed. Dernæst kommer bidraget fra "andre kilder". Mange af pejleboringerne udgøres af indvindingsboringer hvor den eksakte indvinding i den pågældende tidsperiode ikke er kendt. Dette introducerer også en usikkerhedskilde jævnfør eksemplet på figur 15, hvor modellen både simulerer for højt potentiale og for lavet potentiale i løbet af perioden 2009-2014. Den samlede vurderede usikkerhed fremgår af tabel 5. Metoden til at kvantificere de forskellige bidrag er beskrevet i /2/. Der er altid en del subjektivitet i vurderingen af usikkerhedskilderne, derfor er de vurderet i den lave ende.



Figur 13 Observeret og simuleret potentiale i boring 207.3025

Tabel 5 Samlet usikkerhed og beregning af S_{obs} .

Pejlefejl		Skalafejl			Andre effekter	Samlet usikkerhed $S_{obs}=\sqrt{\sum s^2}$
Målefejl	Kote	Interpol	heterogenitet	Ikke Stationaritet		
0.01	0.1	0.1	1	0	0.5	1.24

Tabel 6 Modelstatistik kalibreringsperiode 2000-2009

	Modelstatistik 2000-2009	Krav til detailmodellering
ME/dHmax β_1	-0.07 m	+ - 0.4 m
RMS/Sobs β_2	1.92 m	1.65

I tabel 5 er vist kalibreringsstatistik for kalibreringsperioden, i alt er indgået 222 pejlinger eller pejletidsserier.

Statistik for valideringsperioden oktober 2012 hvor der er udført synkronpejlinger (store pejledag) er vist i tabel 7. I alt indgår 167 borer i statistikken. For perioden er der udtrykt følgende statistik:

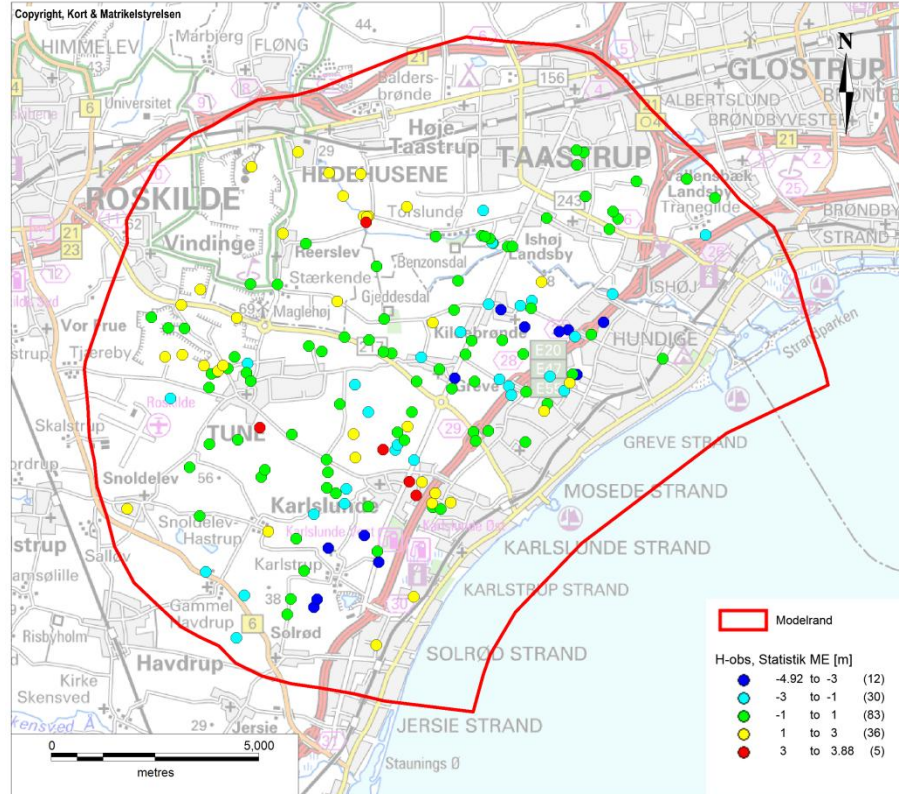
Tabel 7 Modelstatistik valideringsperioden Oktober 2012

	Modelstatistik okt. 2012	Krav til detailmodellering
ME/dHmax β_1	-0.17 m	+ - 0.4 m
RMS/Sobs β_2	1.37 m	1.65
RMS/ dHmax β_3	0.04	0.025

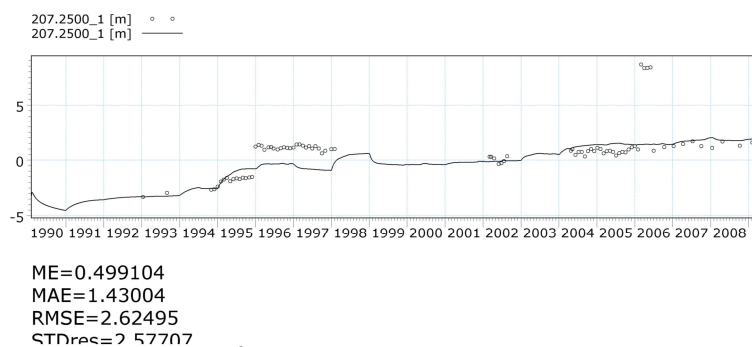
Den globale RMS fejl ligger på 1.70 i valideringsperioden. Modellen opfylder kravet til detailmodellering på baggrund af β_1 og β_2 i valideringsperioden. Modelstatistikken er bedre for valideringsperioden end for kalibreringsperioden, hvilket vurderes især at skyldes bedre kvalitet af pejlingerne (større Sobs i princippet for kalibreringsperioden). Modellen opfylder altså kravet til detailmodellering i valideringsperioden, vurderet på baggrund af den geologiske heterogenitet i området. Modellen opfylder ikke kravet for detailmodellering for β_3 . Dette krav er erfaringsmæssigt svært at opfylde i geologisk heterogene områder med stor vandindvinding, derfor er modellens performance vurderet i forhold til β_2 .

Den geografiske variation af ME for perioden okt. 2012 fremgår af Figur 16.

Som tidligere nævnt er der i forbindelse med tilpasningen af modellen, også lagt vægt på at modellen kunne simulere de ændringer der er sket i potentialet ved kysten, i takt med at indvindingen er reduceret i de kystnære egne, jævnfør eksempel figur 17.



Figur 14 Spredning af residualer

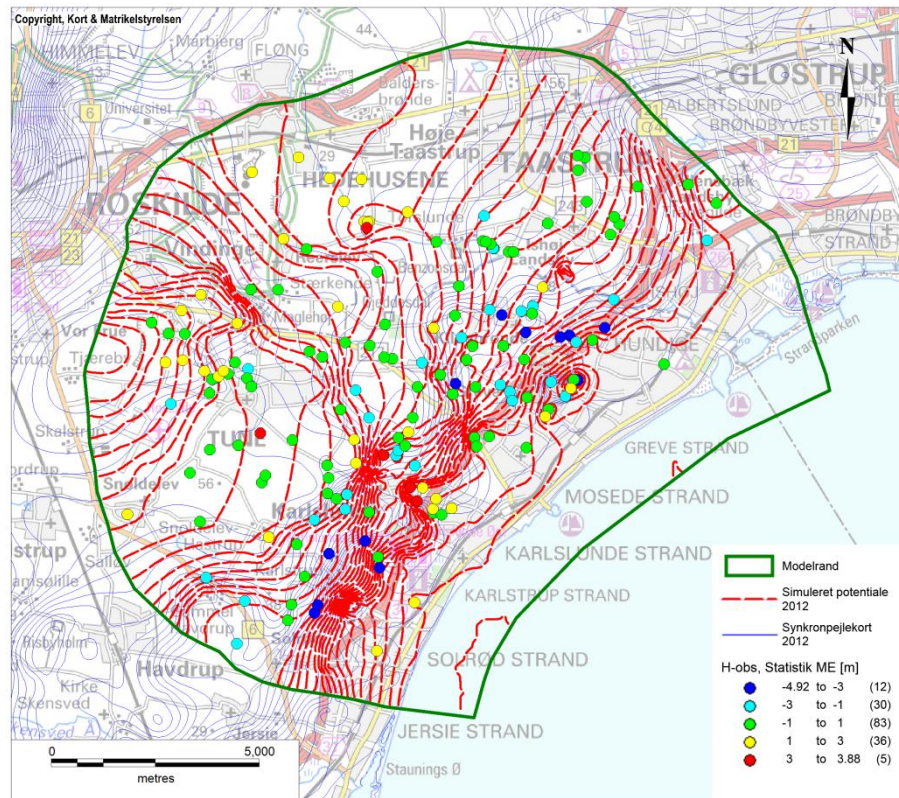


Figur 15 Eksempler på udvikling i potentiale i kystnære borer. Prikker udgør observeret potentiale, fuld optrukket linje det simulerede potentiale.

På Figur 18 er vist en sammenligning mellem observeret og simuleret potentiale for oktober 2012. Det overordnede mønster passer fint. Modellen simulerer det højereliggende område fint samt de observerede sænkninger af potentialet ved kysten. Der er også et fint overensstemmelse mellem "tætheden" af potentialelinierne.

Der er nogle lokale afvigelser i forløbet af potentialelinierne, f.eks. centralt i modelområdet. Men som det fremgår af figur 15, simulerer modellen potentialet tilfredsstillende baseret på pejlepunkterne i det centrale område. Det tolkede potentialekort er trods alt et øjebliksbillede, og man kan ikke forvente et helt identisk forløb. Det er dog en mulighed at forkastninger eller forkastningszoner påvirker billedet i dette område.

I den nordvestligste del af modelområdet simulerer modellen 1-2 meter for lavt potentiale. Der er usikkerhed omkring randbetingelserne mod nord der er meget præget af variationer i indvinding fra de større regionale kildepladser. Potentialeforskellen er dog ikke større end at modellen vurderes, at kunne give en troværdig afgrænsning mellem indvindingsoplandet til Solhøj Kildeplads og indvindingsoplandene til vandværkerne i Greve.

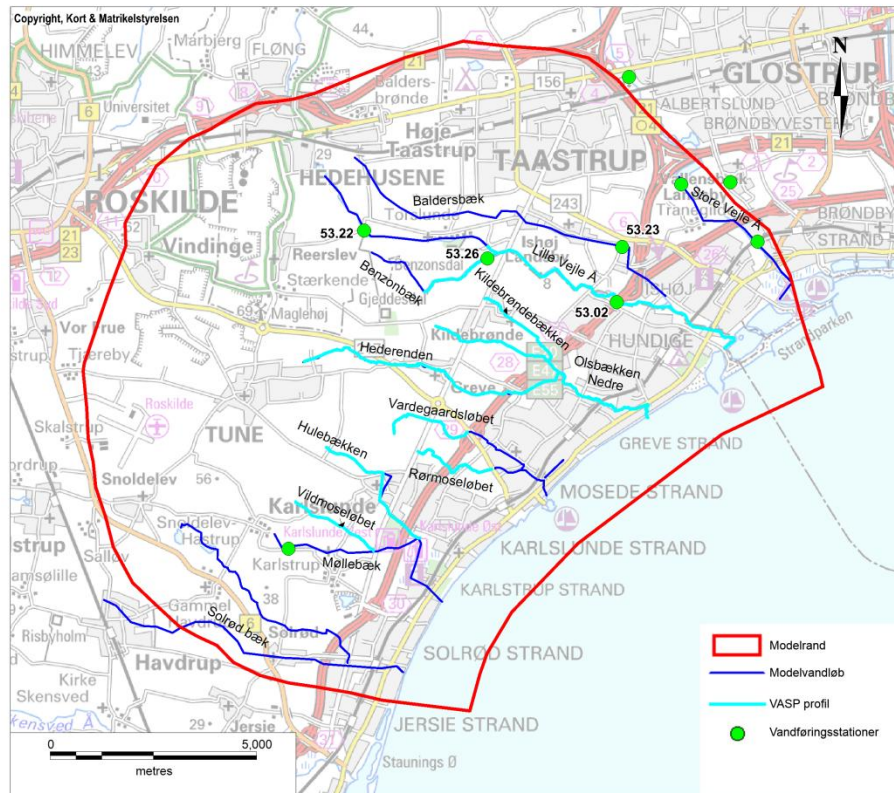


Figur 16 Sammenligning mellem simuleret potentiale i kalken og synkronpejlekort

Som en ekstra validering af modellen, foruden de rent statistiske værdier, afspejler modellen områder med artesiske vand godt.

11.2 Vandløbsafstrømning

Vandløbene i området er indlagt i MIKE11. Vandløbene er lagt ind på baggrund af data fra Greve Kommunes VASP. For de vandløbsstrækninger der ikke er dækket af Greve Kommunes VASP er benyttet det oprindelige MIKE 11 setup fra Sjællandsmodellen. De indlagte vandløb fremgår af Figur 17.



Figur 17 Vandløb i modellen

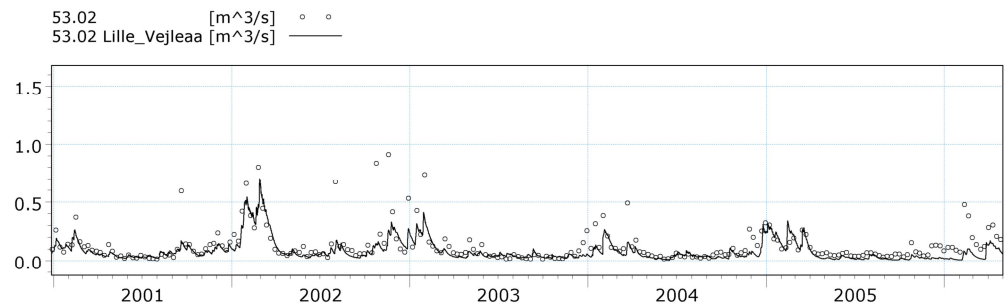
Der er valgt at vise vandløbsstatistik for perioden 1990-2009, da der i dette tidsinterval findes de bedste tidsserier, jævnfør tabel 8. Vandløbsstatistikken fremgår af tabel 9.

Station	Periode	Kilde
Lille Vejle Å 53.02	1990-	Naturstyrelsen
Lille vejle Å 53.22	2002-2006	Orbicon
Baldersbæk 53.23	2002-2004	Orbicon
Benzonbæk 53.26	2002-2006	Orbicon

Tabel 9 Vandløbsstatistik

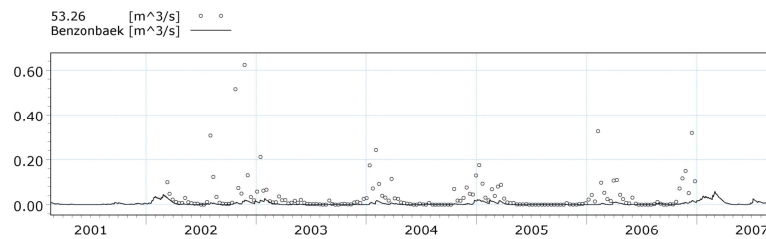
	Gennemsnitlig vandføring l/s	Vandbalancefejl l/s	Vandbalancefejl (%)	R2
Lille Vejle Å 53.02	125	1	1	0.66
Lille Vejle Å 53.22	35	12	35	<0.2
Baldersbæk 53.23	60	10	17	0.61
Benzonbæk 53.26	40	35	90	<0.2

Vandløbsstatistikken er god for de vandføringsstationer der repræsenterer større oplande, dvs. station 53.02 og station 53.23 jævnfør figur 18, hvilket indikerer, at modellen simulerer den overordnede vandbalance tilfredsstillende. Vandløbsstatistikken er dårligere for de vandføringsstationer der repræsenterer mindre deloplande. For benzonbækken (fig. 19) er det de høje vandføringer i vinterhalvåret som modellen ikke kan simulere. Modellen simulerer til gengæld sommervandføringen godt i benzonbækken inklusiv de perioder hvor vandløbet ikke er vandførende.



ME=0.0332122
MAE=0.0603982
RMSE=0.129952
STDres=0.125636

Figur 18 Simuleret mod observeret vandføring for station 53.02 Lille vejle Å

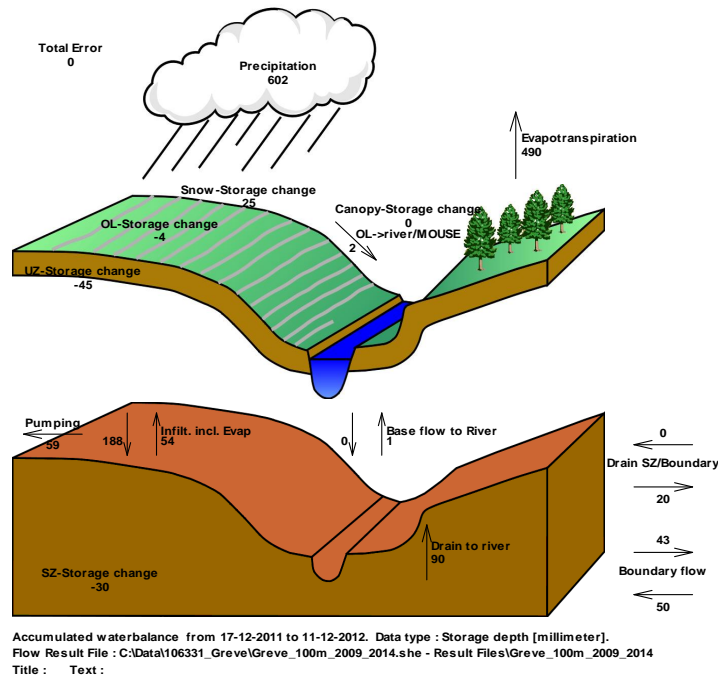


ME=0.0357136
MAE=0.035931
RMSE=0.0867411
STDres=0.0790478

Figur 19 Simuleret mod observeret vandføring for station 53.23 Benzøbæk

Simuleringen af vandløbene vurderes på dette grundlag at være tilfredsstillende, da modellen både simulerer dynamikken og vandbalancen godt i de større vandløb, samt simulerer sommervandføringen tilfredsstillende i de mindre vandløb.

11.3 Vandbalance



Figur 20 Vandbalance 2012 for hele modelområdet

Der er udtrukket en vandbalance for året 2012 for hele modelområdet (figur 21). Vandbalancen viser, at der indvindes ca. 1/3 af grundvandsdannelsen i området. Dette kan sammenlignes med, at der ifølge vandplanerne maksimalt må indvindes 35 % af grundvandsdannelsen i en grundvandsforekomst, for at indvindingen kan betragtes som værende bæredygtig.

12 Porøsiteter og simulerede grundvandsaldre

Til yderligere validering af modellen er udført en sammenligning af modelsimulerede transporttider mod målte aldre ved Greve vandværk – Greve Kildeplads. Valideringen er udført ved at indlægge partikler i modellen ved grundvandsspejlet og følge disse frem til indvindingsboringerne. Der blev som udgangspunkt taget udgangspunkt i anbefalede porøsiteter fra grundvandskortlægningen /6/. Disse porøsiteter fremgår af tabel 8. De indlagte porøsiteter medførte dog at modellen initialt simulerede for høje grundvandsaldre. Aldersdateringer fra området, primært fra CFC dateringer, indikerer at grundvandet omkring Greve Vandværks kildepladser generelt har en alder på 40-70 år. Derfor blev der efterfølgende foretaget en reduktion af porøsiteten i kalken og le-ret, jævnfør tabel 10.

Tabel 10 Implementerede porøsiteter

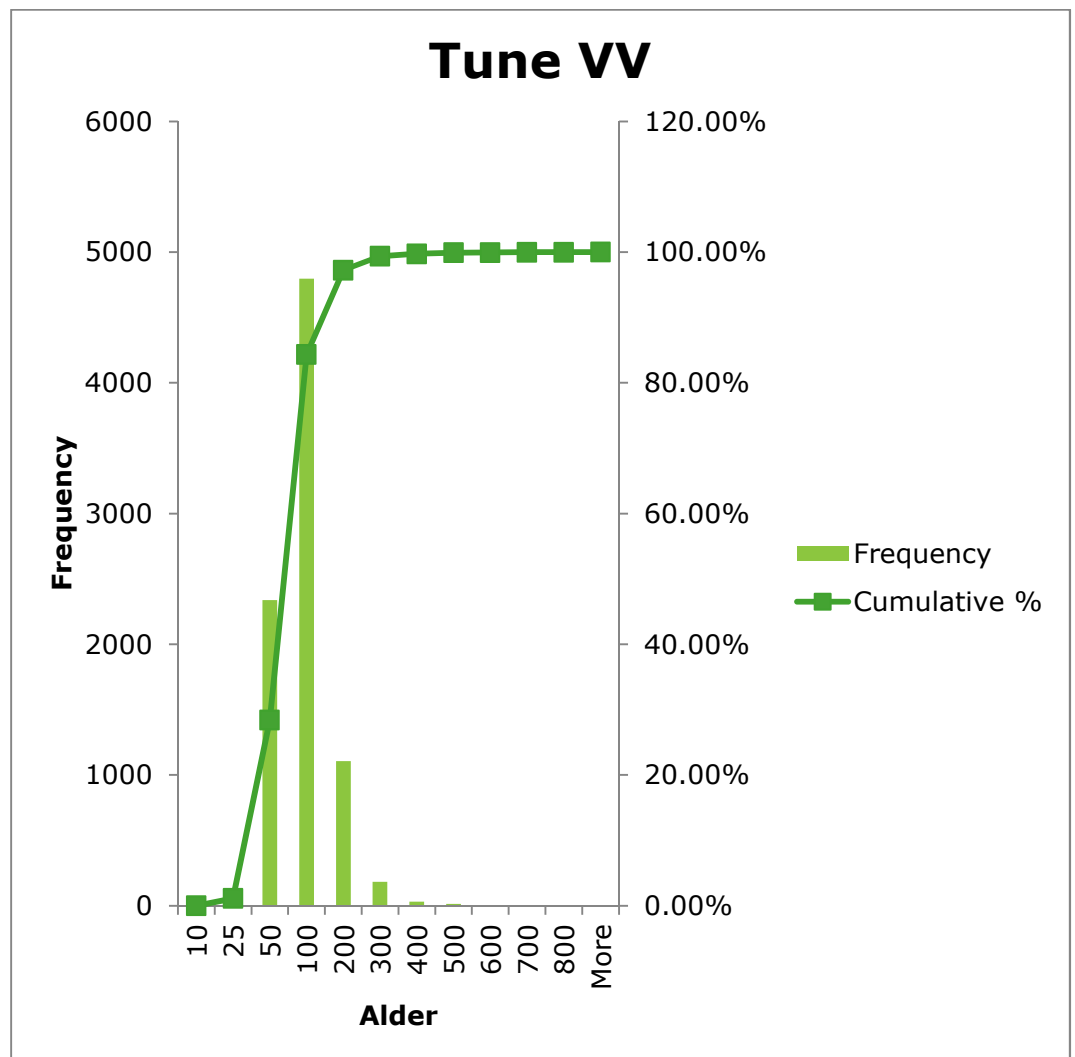
Porøsitet	Udgangspunkt /6/	1. optimering	2. optimering
Sand	0.3	0.3	0.3
Ler	0.4	0.4	0.15
Kalk	0.1	0.05	0.05

13 Resultater

I det følgende præsenteres nogle resultater vedrørende sammenligning af modelsimulerede aldre med CFC aldre og vandtype aldre. Resultaterne præsenteres i form af histogrammer og på tabelform.

13.1 Optimering 1

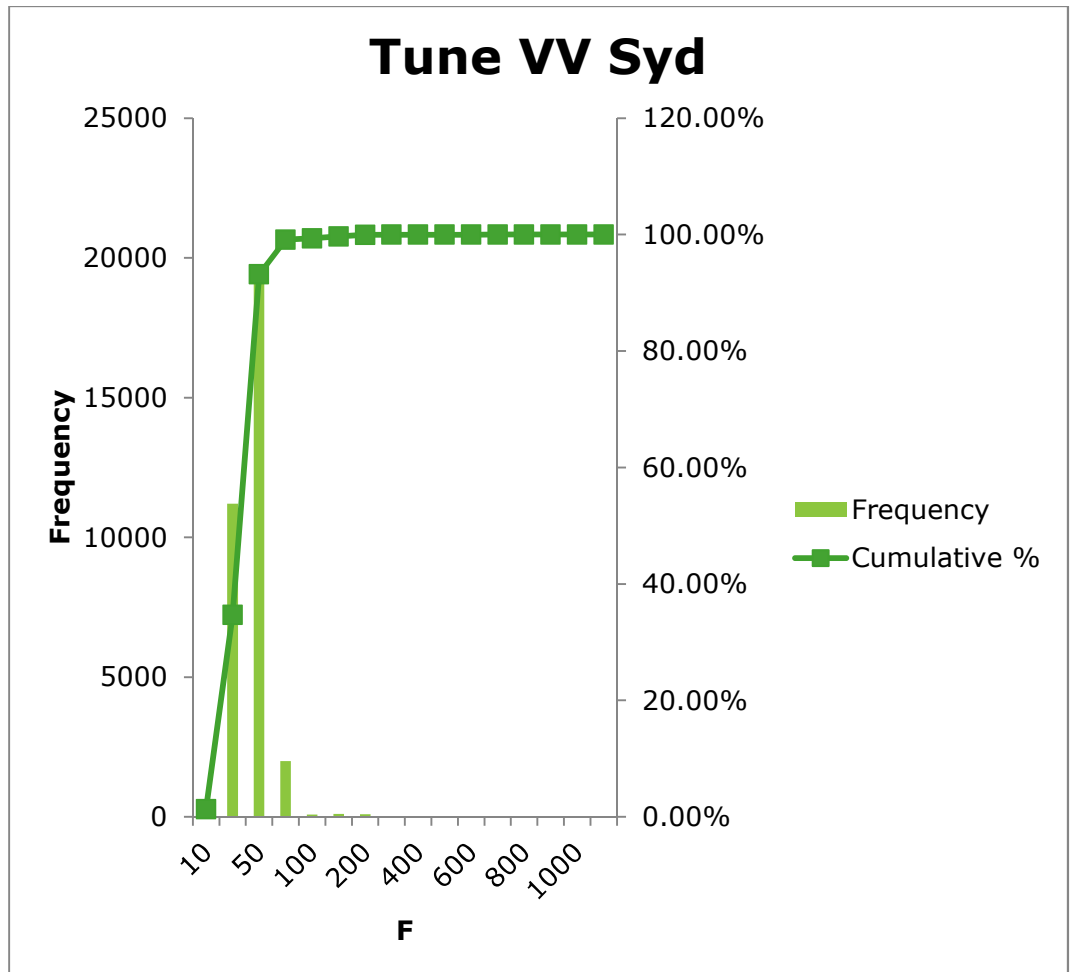
Både udgangspunktet og 1. optimering simulerede generelt for gammelt vand. Som eksempel er vist den simulerede alder for Tune Vandværk på histogram figur 23. Vandværket har vandtyperne A og B der er karakteristisk for yngre vand, mens modellen simulerer en gennemsnitlig alder på 73 år, hvilket er for gammelt i forhold til vandtypen.



Figur 21 Tune Vandværk. Gennemsnitlig simuleret alder 73 år. 1. optimering.

13.2 Optimering 2

Ved den 2. optimering blev porøsiteten i leret sænket væsentligt. Det nye histogram for Tune Vandværk sydlige kildeplads er vist på figur 24. Den gennemsnitligt simulerede alder ligger nu på under 50 år, hvilket er en mere realistisk alder for disse vandtyper.



Figur 22 Tune Vandværk. Gennemsnitlig simuleret alder for den sydlige kildeplads. 2. optimering

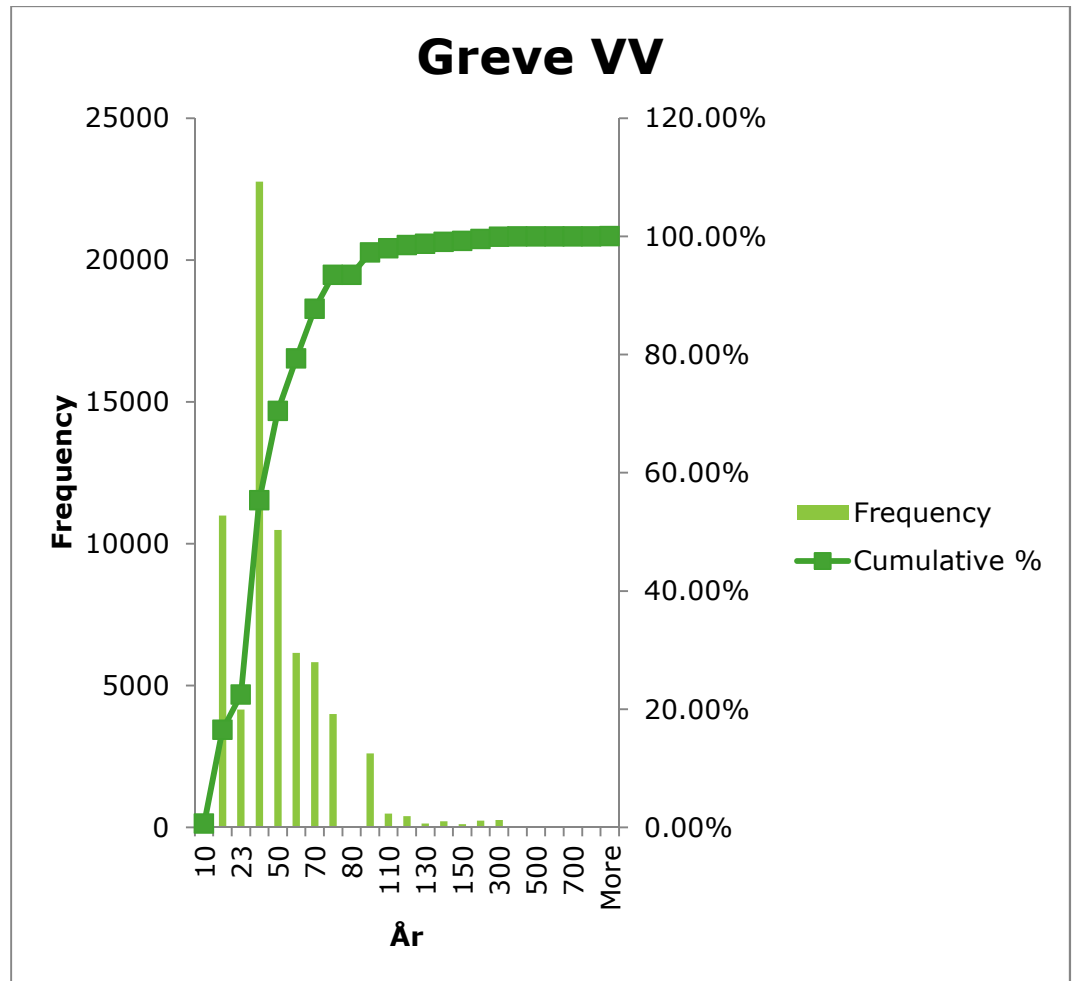
Der foreligger flere CFC dateringer fra boreriger i området, jævnfør 11.

Tabel 11 Eksempler på boreriger med CFC-aldre

DGU.NR	CFC alder (år)
207. 3004	50
207. 3027	45
207. 3044	50
207. 3045	60
207. 3582	40
207. 3583	40
207.3709	40

Boring 207.3027 er en boring der tilhører Greve Vandværk- Greve Kildeplads. På figur 25 er vist det simulerede aldershistogram for kildepladsen. Den simulerede alder er et gennemsnit af alle (5) boreriger til kildepladsen, men den vurderes at give en god validering af modellens evne til at simulere aldre da CFC dateringerne viser nogenlunde ens aldre (spænd 40-60 år).

Den gennemsnitlig simulerede transporttid i den mættede zone for kildepladsen ligger på godt 40 år. Da der også skal lægges en opholdstid i den umættede zone til den reelle alder, vurderes modellens simulerede transporttid at være tilfredsstillende.



Figur 23 Histogram for Greve Vandværk – Greve Kildeplads.

På baggrund af de simulerede transportaldre, vurderes modellen generelt at kunne beregne troværdige transportaldre.

14 Konklusion

Med opdateringen af grundvandsmodellen til en fuld integreret dynamisk hydrologisk model kan der foretages påvirkningsberegninger af hele det hydrologiske vandkredsløb herunder påvirkningen af sommervandføringen og betydningen af klimæændringer.

Modellen performer tilfredsstillende med hensyn til grundvandsstrømning og simulering af grundvandsaldre. Med hensyn til vandløbsafstrømningen performer modellen tilfredsstillende for både vandbalance og dynamik i de større vandløb. I de mindre vandløb performer modellen mindre tilfredsstillende, til gengæld beskriver den sommervandføringen godt også i de mindre vandløb der er den mest vigtige faktor i forhold til beskrivelse af vandløbspåvirkning.

15 Referencer

- /1/ NIRAS 2012: Finkalibrering af model for Greve Kommune
- /2/ GEO-Vejledning 7, GEUS, 2010. God praksis i hydrologisk modellering.
- /3/ Miljøministeriet og NIRAS, 2009: Sjællandsmodellen – et integreret modelværktøj for det hydrologiske vandkredsløb. Dokumentationsrapport.
- /4/ Region Sjælland, 2012: Regionalt potentialekort for Køge Bugt området oktober 2012.
- /5/ ALECTIA 2015: Notat vedr. opdatering af geologisk model i forbindelse med revision af indsatsplan.
- /6/ GEUS 2006: Saltvandsgrænsen i nordøstsjælland, delrapport 6, detail undersøgelser i Karlslunde Værkstedsområde
- /7/ KAN miljø,2005: Prøvepumpning af boringer i opsprækkede grundvandsmagasiner
- /8/ Niras 2012: Synkronpejlekort for Greve området

