



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

Usikkerheder i grundvandsmodel- beregninger

Pilotprojekt Fyn
Sårbare grundvandsdannende områder

Grundvand og drikke-
vand nr. 24

November 2024

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Bianca Pedersen (MST)

ISBN: 978-87-7038-679-1

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Indledning	4
1.1	Baggrund og formål	4
1.2	Forløb	4
1.3	Workshoppens overordnede konklusioner	4
2.	Undersøgelser og resultater	6
2.1	DMI data implementering	6
2.2	Indvinding	7
2.3	Befæstelsesgrad	8
2.4	Betydning af vertikal opdeling på partikelbaner og anisotropi faktor	9
2.5	Nettonedbørsberegninger	9
2.6	HIP/DK modellen og genanvendelse af opsætninger	10
2.6.1	Følsomhedsanalyse på UZ parametre og tilhørende GIS input	11
2.6.2	Dræn opsætning	11
2.6.3	Jordartskort	11
3.	Opsummering/anbefalinger	14
3.1	Mange parametre og opsætninger har betydning	14
3.2	Klimadata –data og implementering	14
3.3	DK-model	15
4.	Referencer	16

1. Indledning

1.1 Baggrund og formål

Grundvandskortlægningens (GKO) hydrologiske modeller har til formål at kunne beregne indvindingsoplande til almene vandværker. Ved opstillingen af en grundvandsmodel tages der en del valg i forhold til parametre og modelopsætning, og disse valg er til dels afhængig af grundvandsmodellens formål. I pilotprojektet er fokus ændret fra indvindingsoplande til grundvandsdannelse, og det er i den sammenhæng oplagt at se på den nuværende praksis for opstillingen af grundvandsmodeller i grundvandskortlægningen. Dette gøres for at prøve at forstå hvilke **valg af parametre og modelopsætning i den nuværende praksis**, der potentielt kan have betydning for grundvandsdannelsen, især når grundvandsdannelse ikke har været hovedformålet i forhold til modelopsætning og tilpasning.

1.2 Forløb

Til dette formål blev der afholdt en workshop for at identificere de punkter, som i den nuværende praksis potentielt har betydning for grundvandsdannelse og om muligt vælge en strategi for at undersøge deres betydning.

Til workshoppen var inviteret en bred gruppe af erfarne modellører, som har udarbejdet flere grundvandsmodeller for Miljøstyrelsen (MST) samt hydrologer fra GEUS. Workshoppen blev afholdt d. 8 oktober 2023 ved MST i Odense.

Før workshoppen var det fastlagt, at der i andre delprojekter under pilotprojektet skulle udføres test, hvor der blev testet alternativ geologisk input, samt test af betydningen af model parametervalg igennem en følsomhedsanalyse og kørsel af Fyn modellen med forskellige parametersæt. Disse emner blev derfor ikke diskuteret i workshoppen og resultaterne af disse test er kun nævnt i denne afrapportering, hvor det er direkte relevant.

Efter workshoppen blev der udarbejdet en opsummering af workshoppens arbejde og konklusioner, se afsnit 2.3. For de emner, hvor det blev vurderet relevant at følge op, er der igangsat opfølgende undersøgelser. Resultaterne af de udførte undersøgelser kan ses i afsnit 3. Det har desværre ikke været muligt, på grund af den korte tidsfrist, at komme i dybden med mange af emnerne, hvorfor undersøgelserne i stort omfang har ledt til belysning af emner der bør undersøges yderligere. I afsnit 4 fremgår konklusioner og opsummering af de vigtigste pointer fra nærværende forløb samt anbefalinger til opfølgingspunkter.

1.3 Workshoppens overordnede konklusioner

På workshoppen blev der først arbejdet med at generere en liste over alle emner, som deltagerne mente kan have betydning i modelarbejdet for grundvandsdannelse. Herefter var ideen oprindeligt, at rangere emnerne efter vigtighed/betydning for sikkerheden i beregningen af grundvandsdannelse. Men det blev hurtigt klart i diskussionerne, at emnet omkring betydningen af parametre og opsætning er meget svært i lyset af de mange datakilder, og de valg der tages i modelarbejdet. Det blev konkluderet, at det er svært at sige noget konkret, om et emne påvirker sikkerheden i beregningen, og hvordan emnerne rangerer i forhold til hinanden. Men igennem den samlede diskussion blev det klart, at der alligevel var nogle overordnede emner, som der var enighed om at følge op på for at forstå betydningen af disse bedre. Der var generel enighed om, at det vigtigste emne, der forventes at bidrage til usikkerhed i grundvandsdannelsen til magasinerne, handler om **vandinputtet i modellen**, samt alle de parametre og beregninger der styrer, hvor meget vand, der når den mættede zone. Derudover blev nødvendigheden af **modelkalibrering** og betydningen af de hydrauliske parameter i den mættede zone diskuteret samt f.eks. typiske antagelser som anisotropi (K_h/K_z) forhold på 10 og betydning af at bruge jordartskort til at definere den terrænnære geologi.

Om **indvinding** har betydning for grundvanddannelsen blev også diskuteret, hvor det var deltagernes umiddelbare vurdering, at det med stor sandsynlighed afhænger af både geologi og vandinput.

Et sidste emne der blev diskuteret, som muligvis kunne testes, var betydningen af den **vertikale diskretisering på partikelbaneberegningerne** i tykke modellag. Erfaringerne var, at tykke dæklag kan give en vertikal strømningskomponent, der formentlig er for stor.

Andre emner der blev snakket om, som ikke vurderes testbart eller relevant at følge op på i dette regi, var betydningen af **topografi** og den **umættede zone**.

I forhold til topografi er der ved blandt andet brug af MODFLOW6 ret nemt at bruge finere diskretisering i model arbejdet end 100*100m. Men dette leder nogle gange til udfordringer, da geologien tolkes i 100*100 m, så der komme nogle uhensigtsmæssige konflikter i områder med stejlt terræn mellem tolket geologi og terræn.

Betydningen af den umættede zone, som ikke inkluderes i grundvandsmodellernes partikelbaneberegninger, blev også drøftet. Her var der generelt enighed om, at der ikke er meget, der kan gøres ved den umættede zone i grundvandsmodellerne. Men det vurderes, at usikkerheden i vandets vej fra terræn til mættede zone ofte er mindre end skalaen i vores modeller på 100*100 m. Altså at den eventuelle horisontale strømning der sker i den umættede zone formentlig ikke vil kunne lede til påvirkning mere end måske 1 modelcelle væk. Der er enighed om, at størrelsen af den horisontale strømning i den umættede zone er afhængig af geologien og dybden fra terræn til toppen af vandspejlet. En usikkerhed relateret til den umættede zone er muligheden for at grundvanddannelsen overestimeres i områder, hvor den umættede zone består af et tykt lerlag som i modellen er tørt over vandmættede sand. Her bliver nettonedbøren modelteknisk ført direkte ned til det vandmættede sandlag, hvilket formentlig betyder, at grundvanddannelsen overestimeres i et eller andet omfang i sådanne områder.

2. Undersøgelser og resultater

I dette afsnit gives der en kort beskrivelse af de undersøgelser og test igangsat efter workshopen. Emner er blevet uddelegeret og prioriteret i forhold til tilgængelige ressourcer. Flere emner er undersøgt af rådgivere. I nærværende afsnit gives en kortbeskrivelse af resultaterne af disse undersøgelser. Rådgivers afrapportering er vedlagt som Bilag 2 og Bilag 3.

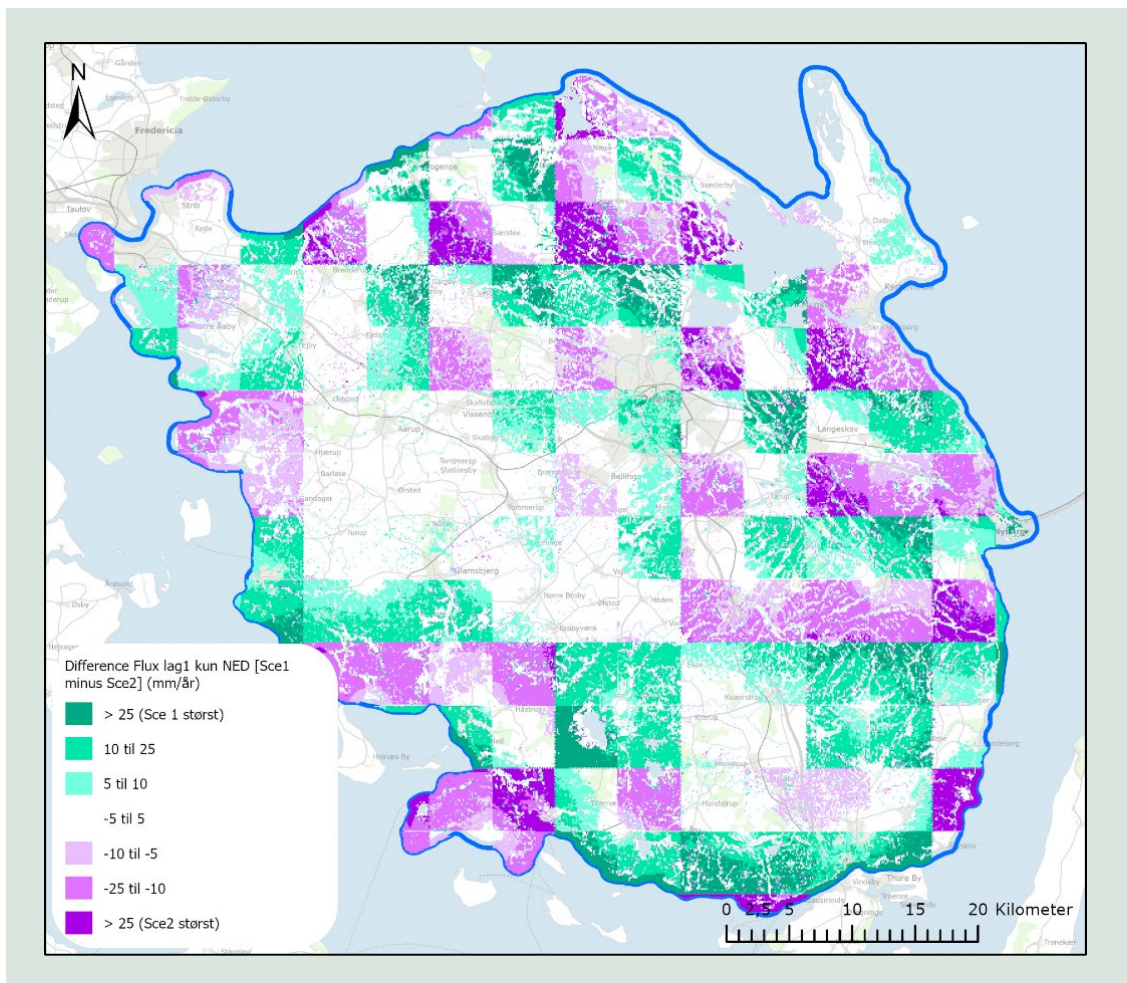
Emner der belyses nærmere i forhold til grundvandsdannelse:

- DMI data
- Indvinding
- Befæstelsesgrad
- Betydning af vertikal opdeling af partikelbaner
- Nettonedbørsberegninger og herunder dybden til grundvandsspejlet
- HIP/DK modellen og genanvendelse af opsætninger

2.1 DMI data implementering

Der blev stillet spørgsmålet: "Har det betydning om DMIs klima data implementeres i modellen som dfs0 eller dfs2?" Ved dfs0 bruges DMIs klima grid data direkte som leveret i celle størrelser på 10*10 km eller 20*20 km afhængig af datasættet. Ved dfs2 bruges en interpoleret version af DMIs klimagrid, hvilke er en fil, der hurtigere processeres i MIKESHE PreProcessing, og som er lettere at arbejde med i store modeller, hvilke formentlig er grunden til at GEUS bruger dette format i DK-model arbejdet. Se forskellen i grafisk i figur 2.1 i Bilag 2

Rambøll har udført test (se Bilag 2) hvor Fyn modellen er kørt med klima input i begge dataformater og middel af den nedadrettet flux fra lag 1 og vandbalancerne er sammenlignet, se FIGUR 1 og TABEL 1.



FIGUR 1. Difference i middelnedadrettet flux lag 1, Scenarie1 minus Scenarie 2. Scenarie 1 har nedbør som dfs0 filer. Scenarie 2 har nedbør som dfs2 filer.

TABEL 1. Middelnedadrettet flux til toppen af Top3m, Sand 1, Sand 2, Sand 3 og kalken

	Middelnedadrettet flux (mm/år)					Beskrivelse (Indvinding, nedbør input, periode)
	Top3m lag 1	Sand 1 Lag 3	Sand 2 Lag 5	Sand 3 Lag 7	Kalk Lag 9	
Scenarie 1	232,1	202,6	159,3	164,8	24,0	Tilladelse, dfs0, 2000-2009
Scenarie 2	232,1	201,2	159,3	164,9	24,2	Tilladelse, dfs2, 2000-2009

Af FIGUR 1 ses, at der lokalt kan være stor forskel på grundvandsdannelsen i områder som følge af input formater af det sammen data. På TABEL 1 ses dog, at på det overordnet niveau for modelområdet, så ser input formatet ud til at have mindre betydning, da der næsten er identisk flux ned igennem modellens lag.

Denne test indikerer at inputformatet har betydning for grundvandsdannelsen på celle niveau, men ikke på modelniveau.

2.2 Indvinding

Der blev stillet spørgsmålet: "Hvad betyder indvinding for grundvandsdannelsen og vurdering af følsomme områder?". For at give svar på dette har Rambøll udtrykket vandudvekslingen

mellem modellag for Fyn modellen for tre scenarier med indvinding svarende til hhv. tilladel- sen, aktuel indvinding og uden indvinding for klima perioden 2000-2009, se Bilag 2 for fuld be- skrivelse.

Resultaterne af disse kørsler indikerer, at grundvandsdannelsen til indvindingsmagasinerne øges ved øget indvinding, se TABEL 2.

TABEL 2. Middelnedadrettet flux til toppen af Top3m, Sand 1, Sand 2, Sand 3 og kalken.

	Middelnedadrettet flux (mm/år)					Beskrivelse (Indvinding, nedbør input, periode)
	Top3m lag 1	Sand 1 Lag 3	Sand 2 Lag 5	Sand 3 Lag 7	Kalk Lag 9	
Sce 1	232,1	202,6	159,3	164,8	24,0	Tilladelse, dfs0, 2000-2009
Sce 3	232,2	202,0	157,5	162,1	22,9	Aktuel, dfs0, 2000-2009
Sce 5	232,3	201,0	155,9	160,4	21,7	Nul indvinding, dfs0, 2000-2009

Ved geografisk plot af forskellen mellem middelnedadrettet flux til lag 1 mellem scenarie 1 og 5 ses at forskellene er meget spredt, dog med tendens til at ligge nær vandløb i figur 3.3 i Bi- lag 2. I den detaljerede vandbalance som ses i tabel 3.5 i Bilag 2 ses også at hele modellens vandbalance påvirkes og jo mindre vand, der trækkes ned i magasinerne jo større er udstrøm- ningen til vandløb.

Denne test indikerer, at selv på Fyn, hvor GEUS ressourceopgørelse /1/ ikke indikerer gene- relt overforbrug af grundvand, så er de beregnede værdier for grundvandsdannelse til et ma- gasin afhængig af indvindingsmængden. Dette ses på det overordnede modelniveau, og må forventes at være en effekt, som i høj grad ses i områder med indvinding. Der er ikke lavet kort, der viser forskellen i grundvandsdannelsen på magasin niveau, men det forventes at så- danne forskelle i større grad vil ses i områder med aktiv indvinding, hvorfor placering af borin- ger og oppumpet mængder fra et magasin, begge er parametre, der må forventes at påvirke grundvandsdannelsen på celle niveau.

2.3 Befæstelsesgrad

Der blev stillet spørgsmålet: "Hvordan indgår befæstelsesgraden i beregningen?". Ønsket er at forstå betydningen af befæstelsesgraden bedre og forstå, hvilken betydning den har for grund- vandsdannelsen. Dette spørgsmål har GEO undersøgt nærmere, se Bilag 3.

I MIKESHE (2017 og senere ændringer) indgår befæstelsen som en form for overfladisk dræ- ning i modellens "Overland (OL) flow" beregninger. Tidligere blev befæstelsesgraden imple- menteret direkte på nedbøren.

I den nuværende version af MIKESHE 2023 indregnes først tab af vand relateret til befæstelse på den vandmængde, der er beregnet til at nå terrænoverfladen efter fordampning og evapotranspiration som følge af arealanvendelsen "landuse". Af det vand som når overfladen fjernes en mængde af vandet til befæstelsesdræn baseret på en kombination af dræntidskon- tanter og befæstelsesgraden, samt andre faktorer relateret til OL beregningen. I GEOs test blev selve befæstelsesgraden ikke testet, men resultaterne viser f.eks. at valg af beregnings- metodik har meget stor betydning for mængden af grundvandsdannelse, samt at parameteri- sering af arealanvendelsen og jordprofilen også spiller ind.

Samlet kan det konkluderes, at der er flere parametre og valg i opsætningen af modeller rela- teret til befæstelsen ud over selve befæstelsesgraden, som har betydning for mængden af nedbør, der ender som grundvandsdannelse. I modeller med væsentlige andel areal med be- fæstelse er det derfor vigtigt at se nærmere på, hvordan befæstelsen implementeres, og at der

er sammenhæng mellem de forskellige input for at sikre det bedste estimat af grundvandsdannelse.

2.4 Betydning af vertikal opdeling på partikelbaner og anisotropi faktor

Der blev stillet spørgsmålet: "Betyder den vertikale lag inddeling noget for resultaterne af partikel kørsler?". Ved geologiske lag af stor mægtighed som er repræsenteret i et enkelt model-lag, er der erfaringer for, at partiklen har en større vertikal strømningskomponent, end den ville have, hvis samme geologiske lag var opdelt i flere beregnings-/modellag.

Grundet ressourcebegrænsninger har det ikke været muligt at igangsætte test af en vertikal diskretiserings betydning for identifikation af områder med grundvandsdannelse på Fyn som planlagt.

2.5 Nettonedbørsberegninger

Der blev stillet spørgsmålet: "Er anvendelse af "Twolayer waterbalance" modulet i MIKESHE til beregning af nettonedbør det rigtige til vores modeller?" Overvejelsen går på, om det giver mening, at overgå til en mere kompleks beregningsmetode, for at minimere usikkerheden på beregningen. En metode til dette ville være en rodzone model, hvor nettonedbørsberegning afkobles fra beregning af grundvandsstrømningen i de dynamiske MIKESHE modeller, hvilket vil betyde, at selve grundvandsmodellen ikke bliver så tung. En sådan afkobling vurderes acceptabel i områder, hvor grundvandsstandens påvirkning på evapotranspirationen er ret stationær. Der forventes, at dette forhold er gældende i store dele af Danmark, men er ikke undersøgt nærmere.

Relateret til dette spørgsmål: "Hvad betyder dybden til grundvandsspejlet for beregningen af nettonedbøren i de integrerede modeller samt i f.eks. MSTs nettonedbørsmodel?"

Ovenstående spørgsmål er kun blevet undersøgt overfladisk. GEUS er blevet kontaktet for at høre om deres overvejelser om anvendelsen af 2 layer modulet til nettonedbørsberegning i DK-model arbejdet. Responsen fra GEUS (e-mail com. med Torben Sonnenborg 15. november 2024) er at GEUS skiftede fra en afkoblet rodzone model til Two layer modulet for bedre at kunne honorere effekten af grundvandsstanden i beregningerne. Her blev den mere komplekse løsning med Richards ligning også overvejet, men vurderet for tung og besværlig i forhold til udbyttet. GEUS skriver, at de vurderer, at brugen af Two layer modulet er god og behæftet med lille usikkerhed, hvor dybden til grundvandsspejlet er kort. Hvor kort/dyb er ikke undersøgt, men dette input stemmer godt overens med diskussioner fra workshop omkring betydningen af umættet zone. Her blev der snakket om at antagelsen om øjeblikkelig transport af vand fra terræn/rodzone til vandspejlet må forventes at grundvandsdannelsen i områder med stor umættet zone, potentielt overestimeres i forhold til områder med lille umættet zone.

I et studie udført af GEUS /2/, hvor forskellige faktorerers betydning for det hydrauliske system er undersøgt konkluderes det, at klima input er den parameter, som har størst betydning for, hvordan det hydrauliske system opfører sig, og parametre der beskriver arealanvendelsen med tilhørende vegetations parametre, samt markvanding har væsentlig mindre betydning. Dette indikerer, at parameter valg for de overfladenære processer der påvirker nettonedbørsberegningen er af mindre betydning end selve klima inputtet. I et andet GEUS studie /3/ er der undersøgt usikkerheder i valg af beregningsmetode i forhold til klimamodel og arealanvendelse. Her blev der konkluderet at klima inputtet var af større betydning end valg af beregningsmetode i forhold til påvirkningen på det hydrauliske system. Der var generelt mindre usikkerheder associeret med arealanvendelsen, men dette afhang også af beregningsmetoden.

Der har tidsmæssigt ikke været mulighed for at følge op med test på MSTs nettonedbørsmodellen /4/ eller lignende for at svare på de stillede spørgsmål. Men input fra korrespondancen

med GEUS, artikler samt beregninger udført af Rambøll (se afsnit 2.1 og 2.2, samt Bilag 2) bekræfter vigtigheden af klimainputtet som et væsentligt datasæt og indikere at fremtidsscenarier bør tænkes ind i opgaver der er målrettede områder med grundvandsdannelse for derved at sikre større robusthed.

Samlet, kan det konkluderes, at klimainputtet til beregningen er vigtig og nok vigtigere end valgt af beregningsmetode samt arealanvendelse med tilhørende parametre. Dette taler for at forsætte med at benytte Two layer modulet, der tillader den integrerede beregning af klima med grundvand uden at det bliver ekstremt beregningstung.

Nærværende gennemgang har ikke belyst betydningen af grundvandsstanden for infiltrations beregningen og dette bør være et emne, der undersøges nærmere i det omfang MST-Grundvandskortlægningen (GKO) forsætter med at bruge nettonedbørsmodellen, hvor grundvandsstanden kun indgår i en fast dybde. I flere af de senest opstillede GKO modeller er der anvendt nettonedbør beregnet fra HIP modellen /5/ eller opsætninger af Two layer modulet fra HIP. Dette betyder, at grundvandsstandens variation er inkluderet, men det betyder også, at MST-GKO lægger sig op af arbejdet fra GEUS, som er leverandør af HIP-modulet. Det vil derfor være hensigtsmæssigt, at der skabes et godt grundlag for forståelse af valg og baggrund for opsætningen, der indgår i Two Layer modulet i HIP modellen.

Herunder praksis med korrektion af fordampningsdata i Vestdanmark på 0,95, som startede i forbindelse med DK-Model 2009 /6/ og lader til at videreføres i det nyeste data. Spørgsmålet er om dette behov stadig består, da korrektionen lader til at være relateret til måler typen og at der siden 2010 er blevet skiftet måler type mange steder.

Ud over øget forståelse for parameterisering af Two Layer modulet, så er der den generelle problemstilling omkring klima datainput jf. diverse rapporter fra DMI mv blandt andet /9/, som belyser, at der efter ændring af målestationsnet samt måler type generelt estimeres at DMIs dynamisk korrigerede klima produkt underestimerer nedbøren i perioden fra 2010 og frem. Denne problemstilling er ikke diskuteret eller undersøgt nærmere i nærværende arbejde, men må uagtet anses som en væsentlig problemstilling givet datasættets vigtighed. En fælles løsning for håndtering af usikkerheden i klima datainput vil være hensigtsmæssig, så både GEUS og GKO bruger samme strategi.

2.6 HIP/DK modellen og genanvendelse af opsætninger

I workshoppen blev det identificeret at de overfladenære processer er mulige vigtige elementer i modelopsætninger som kan have betydning for grundvandsdannelsen. Der var derfor et ønske om at se på flere af disse elementer. I GKO-modelarbejdet er der historisk i høj grad taget udgangspunkt i DK-modellen ved opsætning af overfladeprocesser. Fokus i GKO's modeller har været på magasinerne og simulering af oplande til vandværker. Med det forøget fokus på grundvandsdannelsen giver det derfor god mening at se på det grundlag, der bruges for at beskrive disse processer i GKO's modeller samt datagrundlaget til disse og betydningen af disse.

Der har ikke været en fast procedure relateret til brugen af HIP/DK-modellen, som derfor også har varieret fra konsulent til konsulent. Generelt er HIP/DK-modellens input dog modificeret i varierende grad for at tilpasse GKO's modellernes formål samt sikre rimelige kørselstider og kalibreringsproces.

I workshoppen blev der identificeret nogle nedslagspunkter for ønsker til bedre forståelse af HIP/DK-modellen (Pt. HIP2020 /5/ og DK-model 2019 /8/) i forhold til den nuværende anvendelse, som der er forsøgt at følge op på i nærværende projekt. Det har desværre på grund af tids og ressource begrænsning ikke været muligt at dykke særligt langt ned i disse emner, hvorfor de til dels er emner der fortsat kunne være interesse i at få en bedre forståelse for.

2.6.1 Følsomhedsanalyse på UZ parametre og tilhørende GIS input

Der blev stillet spørgsmålet: "Hvad betyder ændringer i arealanvendelse og jordbundskort klassificering?" Arealanvendelsen er ikke stationær. I GKO's modeller antages det, at arealanvendelsen er ens i hele simuleringsperioden, herunder i fremtiden. Arealanvendelsen i kombination med jordarts- og jordtypekort definerer, hvilke egenskaber der tildeles i beregningen af tab af vand i den umættede zone som følge af arealanvendelsen og jordtypen.

Dermed er vandinput til den vandmættede zone i modellen bestemt af flere typer af data, som i varierende grad ændrer sig med tid samt nye produkter til at beskrive disse datainput.

Som eksempel udkom der i 2022 en ny version af et generelt arealanvendelseskort, BASEMAP04 /9/ baseret på 2021 data. I dette arbejde er der også lavet en ensretning af data i de tidligere versioner af BASEMAP, så disse kan sammenlignes og give et indblik i den tidlige udvikling i arealanvendelse. Heraf ses at der er sket ændringer, f.eks. er der kommet flere arealer med by, natur og ekstensivt landbrug, mens der er kommet mindre råstof områder og intensivt dyrkede landbrugsarealer. HIP/DK-modellen er opsat med BASEMAP01 som datagrundlag. BASEMAP01 er baseret på information om arealanvendelsen i 2011. Med det nye BASEMAP datasæt er det reelt muligt at variere arealanvendelsen over tid med en opløsning på 3-5 år. Spørgsmålet, er om den øgede kompleksitet reelt betyder noget for modellerne eller om ændringerne er så små at det ikke har betydning for resultaterne.

Til bestemmelse af parametre i den umættede zone bruges også kort over jordtyper og vegetations typer som yderligere bruges til underinddeling af de generelle arealanvendelsestyper fra BASEMAP. Vegetationsmønsteret er klart ikke stationært og der er i HIP/DK-modellen og GKO's modeller brugt et enkelt års fordeling baseret på markblok data til at underindele landbrugsarealer efter afgrøde type. Ligesom med ændringer i BASEMAP vil det være muligt at inddrage mere variabilitet i vegetationstyperne ved at bruge flere års markblok data, dette vil dog kræve en del ressourcer.

Der sker også opdateringer i produkter relateret til jordtype fra Landbrugsstyrelsen. Der er nye meget detaljeret digitale kort på vej, hvor der også kan forventes opdateret parameterisering til forhold i den umættede zone.

2.6.2 Dræn opsætning

Der blev stillet spørgsmålet: "Hvordan er HIP/DK-modellens drænopsætning? Og i hvor høj grad har der været fokus på kalibrering af dræntidskontant mm i HIP versionen af DK-modellen?". Der er indtryk af, at der er sket væsentlige ændringer i parameterisering af f.eks. dræn parametre i den seneste HIP model vs. den tidligere DK-model 2019. Der er derfor interesse i at forstå grundlaget for disse før anvendelse. I DK-model 2019 blev DK-modellens dræn opsætning forfinet med varierende drændybder mm.

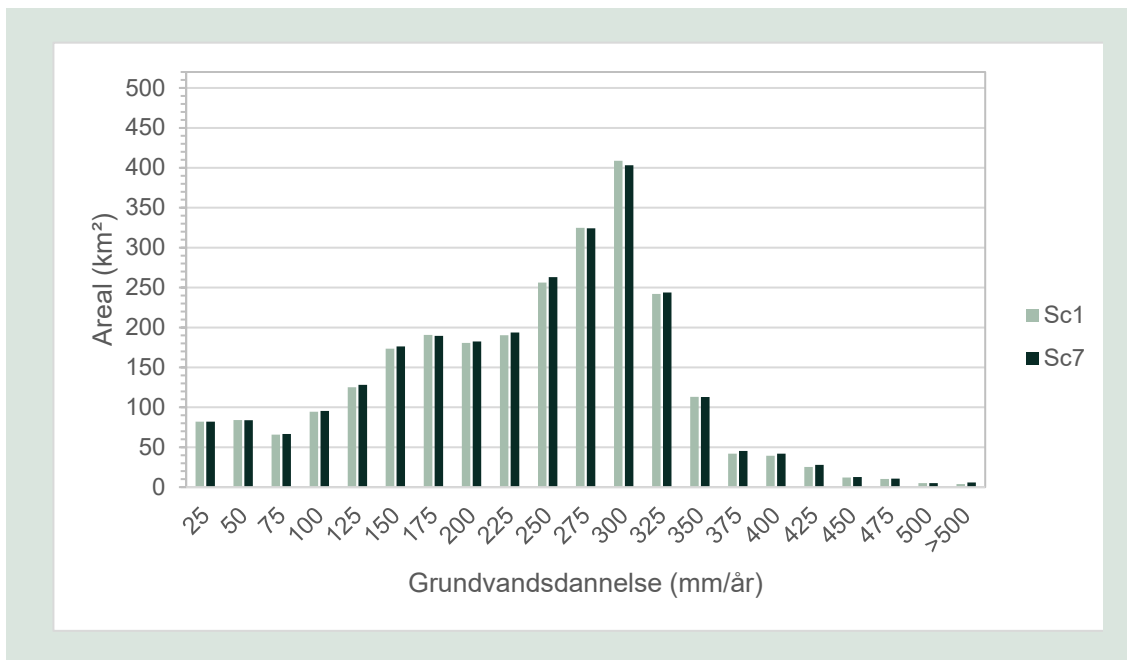
Ved gennemgang af afrapporteringen af HIP-model 2020 /5/ kan det konkluderes, at der er kalibreret på parametre relateret til dræn forhold, hvor det er nævnt som drænlækage parametre. Det antages, at dette er drænforhold i "overland flow"(OL) og ikke drænforhold relateret til den mættede strømning (SZ). Dette er dog ikke klart, hvorved der heller ikke helt gives svar på de stillede spørgsmål. Dette emne er oplagt at følge op med GEUS sammen med flere andre emner relateret til DK/HIP-modellens opsætninger i nærmeste fremtid.

2.6.3 Jordartskort

Der blev spurgt til følgende: "Hvilke jordarts kategorier anvendes i nuværende grundvandsmodeller? Hvilke parameterværdier er tilknyttet disse kategorier og skal der overvejes at bruge flere kategorier? Hvordan stemmer jordartskortet overens med terrænnær geologi fra geologen, som typisk overskrives i de øverste 2-3 meter (modellag 1)? Giver det mening af bruge jordartskortet i de øverste meter?"

I Fyn modellen /10/ er jordartskortet benyttet til beregning af den umættede zone, hvor forskellige jordtyper har forskellige egenskaber. Derudover er jordartskortet simplificeret til tre kategorier, sand, ler og tørv, der bruges til at definere ledningsevnen i modellens øverste 3 meter tykke beregningslag i SZ. Udbredelsen af disse fastlægges af jordartskortet og er i Fyn modellen indlagt som linser. De hydrauliske egenskaber af disse linser indgik i den indledende følsomhedsanalyse af hvilke parametre modellens tilpasning til trykniveauer og vandføringen er mest følsom overfor. Her blev det i Fyn modellen fastlagt, at modeltilpasningen havde væsentlig følsomhed overfor den vertikale hydrauliske ledningsevne af ler i jordartskortet, men ikke de andre parametre tilknyttet. Dette virker logisk, da mere end 80% af Fyns areal har ler i jordartskortet, og den vertikale ledningsevne i høj grad vil være afgørende for andelen af nedbøren, der når vandspejlet. Denne parameter indgik derfor aktivt i kalibreringen af Fyn modellen. I Fyn modellen er det øverste geologiske lag opsat med en "opsprækket ler" i de øverste 2 m. Ved fjernelse af jordartskortet linserne i Fyn modellen bliver parameteriseringen altså styret af egenskaberne tildelt "opsprækket ler" (2 m) som har en faktor 10 højere K_z end det underliggende "Ler 1". Da opsprækket ler har samme egenskaber som "jordartskort –ler", sker der ved fjernelse af jordartskortet kun en ændring i de områder, hvor der er "jordartskort –sand" og "–tørv". De steder, der er sand, vil ledningsevnen reduceres, hvis sandlinsen fjernes, og de steder, der er tørv, vil ledningsevnen stige, hvis tørvelinsen fjernes. "Jordartskort –sand" dækker 10,5 % og "jordartskort –tørv" 5,1% af Fyns areal. Resten af Fyn er tildelt "jordartskort –ler2. Dermed er det altså kun i knap 16 % af Fyns areal, hvor der ændres i egenskaberne af model-lag 1 ved at fjerne jordartskortet, og man vil som udgangspunkt derfor ikke forvente store forskelle i resultater med og uden jordartskortet for Fyn som helhed.

MST har kørt en simpel test hvor jordartskortets linser er fjernet, på samme vis som Rambølls modelarbejde beskrevet i Bilag 2. Histogram over fordelingen af arealer med en given middelnedadrettet flux til Top3m(lag 1) for Fyn modellen med og uden jordartskortet er vist i FIGUR 2. Heraf ses, at der som forventet er minimal forskel i grundvandsdannelsen mellem de to scenarier set på modelniveau. Værdierne på model celleniveau ændre sig næsten i alle celler, og ændringerne er for de fleste celler små. Der er spredte celler med store forskelle (figur ikke vist).



FIGUR 2. Histogram over fordeling af arealer med en given mængde middelnedadrettet flux til Top3m (z flux lag 1) i den oprindelige Fyn model (Sc1) og i Fyn modellen uden Jordartskort (Sc7) udtrukket for perioden 2000-2009.

I andre kortlægninger vil en tilsvarende ændring med fjernelse af jordartskortet, måske have et andet udtryk afhængig af graden af variabilitet i den tolket geologi vs i jordartskortet. Ligeledes har valget af at have en mere opsprækket ler med højere vertikal hydraulisk ledningsevne i lag 1 end i den underliggende moræneler også en betydning.

Der har tidligere været en strategi ved opstilling af hydrostratigrafiske modeller, hvor geologien ikke tolkes inden for de øverste meter under terræn i dele af landet pga. praksis med brug af jordartskortet. Dette gøres ikke længere, men det er værd at overveje i hvilken grad, der sikres overensstemmelse mellem tolkninger og jordartskort og om praksis med brug af jordartskortet i de øverste meter af den mættede zone fortsat er en strategi der ønskes anvendt. I HIP/DK-model 2019 bruges jordartskortet også til parameterisering af de øverste meter af SZ (mættet strømning). Her bruges dog en inddeling i 9 klasser, som ofte vurderes uhensigtsmæssigt i GKO-modeller pga. mængden af parametre der så følger til kalibreringsarbejdet.

Uagtet hvilken version af jordartskort der bruges fuldt/forsimplet, om jordartskortet bruges direkte i grundvandsmodellen eller bliver inddraget/indarbejdes i den hydrostratigrafiske model, så bør der nok fremadrettet være fokus på at bibeholde og inkludere så meget geologisk variabilitet som muligt i de terrænnære dele af modellerne. Dermed vil det give mening at tjekke sammenhæng mellem den hydrostratigrafiske model og den valgte version af jordartskortet, hvis dette ikke allerede er sket i det hydrostratigrafiske arbejde. Der bør nok også overvejes, om de mange klasser fra HIP modelarbejdet skal bibeholdes i større grad end hidtidigt, men det vil som altid være en afvejning af, hvad der er muligt og giver mening for den samlede opgave i grundvandskortlægningen.

3. Opsummering/anbefalinger

I det følgende afsnit er der forsøgt at opsummere på hovedpunkterne fra workshops og efterfølgende undersøgelser, samt give anbefalinger til opfølgningspunkter, der kunne være passende at have i GKO's arbejde med hydrologiske modeller fremadrettet, set i lyset af behovet for at levere produkter, hvor de terrænnære forhold i højere grad har betydning end tidligere.

3.1 Mange parametre og opsætninger har betydning

I nærværende opgave har usikkerheder relateret til den geologiske model og parameterisering af selve jordlagene (dæklag og magasiner) ikke indgået. Dette er et valg der blev taget ved igangsættelsen, da der på det tidspunkt var aftalt at der skulle udføres test med alternative geologiske modeller /11/ og variation af parametre i form af stokastiske kørsler /12/. Der har reelt ikke været nogen tvivl om, at de ovenstående emner er usikkerhedselementer i modelarbejdet og dermed resultaterne.

Formålet i nærværende opgave var derfor at fokusere på andre emner som vurderes potentielt at kunne bidrage til usikkerhed af grundvandsdannelse. Input som klimadata og definitioner/parameterisering af arealanvendelse, som oftest defineres med udgangspunkt i GEUS' arbejde, er her klare og vigtige emner, som beskrives videre i afsnit 3.2 og 3.3.

Derudover er der set på betydning af indvindingen, hvor det klart ser ud til at indvinding kan øge grundvandsdannelse. Dermed er vandmængden og placering af indvindingsboringerne noget, der har betydning for vurderinger af grundvandsdannelsen størrelse i et givet område.

Der er også set på implementering af befæstelsesgrad. Dette er et emne som eksemplificerer at forhold der må forventes at have lille og/eller kun meget lokal betydning i områder med spredt/mindre grad af befæstelse, men reelt kan have stor betydning i områder med store sammenhængende områder med befæstelse. Løsningen på hvordan befæstelsesgraden implementeres er ikke entydig, og der anbefales, at der i kommende modeller med væsentlig grad af befæstelse ses på, om der kan opstilles en strategi, som kan bruges i GKO's arbejde.

3.2 Klimadata –data og implementering

Rambølls test med klimadata i de to forskellige input formater (dfs0 vs. dfs2) viser, at på det overordnede niveau betyder input formatet meget lidt for modellens resultater, mens det kan antages, at inputformatet muligvis har betydning for konklusioner på det lokale niveau som et opland. Om det har betydning, afhænger af hvordan modellens resultater anvendes. DMI leverer data i et format, som bibeholdes når datalægges ind i dfs0-format og modificeres, når man bruger dfs2-formatet. Dermed er dfs0-formatet mere tro mod DMIs produkter, mens interpolationen ved brug af dfs2-formatet giver et mere naturligt udseende mht. parameter fordelinger. DMIs data leveres i henholdsvis 10*10 km og 20*20 km grid baseret på målinger lavet i et net af stationer. Skalaen af disse data er dermed ret grov i forhold til reelt vejr, så begge formater giver et generaliseret input af nedbøren.

Stationsnettet af målere har ændret sig over tid, og der er blevet større afstande mellem stationer i store dele af Danmark i de sidste 10-15 år. Ændringen i stationsnettet, samtidig med en ændring i typen af målere har ledt til, at DMIs produkt generelt forventes at underestimere nedbørsmængderne efter 2010. Graden af underestimering afhænger af lokaliteten, og der er lige nu ikke en entydig løsning for, hvordan man håndterer denne problematik i GKO. GKO har heller ikke kendskab til, at GEUS har fundet en løsning for DK-modellen. Det vil klart være relevant, at GKO følger op på, hvilke løsninger GEUS beslutter, og at der snakkes sammen om

håndtering af denne problemstilling for historiske klimadata, som er et primært datainput i grundvandsmodellerne.

I forhold til beregningen af nettonedbøren i/til grundvandsmodellerne, så er den nuværende anvendte metode med Two layer model nok stadig den bedst balance mellem detaljeret beregning og anvendelighed. Altså bedst mulig repræsentation af nettonedbøren til en rimelig beregningstid. Det kunne dog være interessant at udføre test på betydningen af beregningsmetoden; 1) set i lyset af de større PC-processorer, som måske kan give acceptable beregningstider i nær fremtid for visse opgaver, samt 2) for at teste betydningen af antagelsen om kort dybde til vandspejlet, som klart ikke er en passende antagelse alle steder i Danmark.

3.3 DK-model

DK-modellen et unikt grundlag til at opstille mindre regionale- og lokale modeller, hvor der har været bred fokus på parametrisering af elementer for hele den hydrologiske cyklus. Der er mange af de opsætninger og parametre, der genbruges fra GEUS arbejde med HIP/DK-modellerne, som forventes at have betydning for grundvandsdannelse og som historisk ikke har været et fokus i GKO's modelarbejde. Med det øget fokus på terrænnære forhold er der derfor øget behov for at forstå disse.

En udfordring i dette arbejde har været at afrapportering af GEUS' nationale modeller som løbene er opdateret desværre ikke nemme at gennemskue, når det handler om gældende opsætning og udgangspunkt for parametrisering af den gældende opsætning. Dette skyldes, at metodikken for afrapporteringen af hver ny modelversion fokuseret på en generel forståelse af nye tiltag for input/opsætning med tilhørende resultater. Dermed bygger afrapporteringerne oven på hinanden og beskriver ikke selvstændigt den gældende model. Det anbefales, at der følges op på opgaven med at få overblik over HIP/DK-modellens opsætningen. Ideelt leveres dette af GEUS eller udarbejdes i tæt samarbejde med GEUS. Herefter er det oplagt at vurdere, om der skal ses på ensretning af brug af HIP/DK-modellens opsætning/parametre/resultater i GKO's modelarbejde, samt vurdere om der er behov for at udføre test af betydningen af disse for GKO's beregninger.

Referencer

- /1/ Henriksen, HJ. et al. 2023. Vandressourceopgørelse- datarapport. GEUS rapport 2023/8
- /2/ Van Roosmalen, L. et al. 2009. Impact of climate and land use change on the hydrology of a large-scale agricultural catchment. *Water Resources Research*, Vol 45, W00A15
- /3/ Karlsson, IB et al. 2016. Combined effect of climate models, hydrological model structures and land use scenarios on hydrological impacts of climate change. *Journal of Hydrology* 535 (2016) 301-317
- /4/ Hansen, AK. 2018. Beregning af nettonedbør Nettonedbørsnotat. Notat udført for Miljøstyrelsen af Rambøll. https://mst.dk/media/mapbmhlq/genberegningnettonedboer2018_v6.pdf
- /5/ Henriksen, HJ. et al. 2020. Udvikling af landsdækkende modelberegninger af terrænnære hydrologiske forhold i 100 m grid ved anvendelse af DK- modellen: Dokumentationsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations- og Prognosesystem. GEUS.
- /6/ Refsgaard, JC. et al. 2012. Review of strategies for handling geological uncertainty in groundwater flow and transport modeling. *Advances in Water Resources* 36 (2012) 36-50
- /7/ Christensen., OB. et al. 2021. Sammenligning af nedbørsdata fra ERA5 reanalyse, med korrigeret og observeret Klimagrid Danmark. DMI-Rapport 21-37
- /8/ Stisen, S. et al. 2019. National Vandressource Model: Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. GEUS rapport 2019/31
- /9/ Levin, G. 2022. Basemap04. Documentation of the data and method for elaboration of a land use and land cover map for Denmark. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 77 pp. Technical Report No. 252. <http://dce2.au.dk/pub/TR252.pdf>
- /10/ Miljøstyrelsen, 2022. Hydrologisk model for Fyn, rapport udarbejdet af Rambøll for Miljøstyrelsen 2022.
- /11/ Miljøstyrelsen, 2024. Pilotprojekt spor 1: alternative geologiske modeller, udarbejdet af Niras for Miljøstyrelsen.
- /12/ Miljøstyrelsen, 2024. Pilotprojekt spor 1: Stokastiske beregninger, udarbejdet af Cowi og Geo for Miljøstyrelsen.

Bilag 1. Deltagerliste

Troels Norvin Vilhelmsen (Niras)
Dorte Seifert Teide (Niras)
Flemming Damgaard Christensen (GEO)
Michael Juul Lønborg (COWI)
Laila Bruun (ved Workshop Rambøll, nu Niras)
Tillie Marlene Madsen (MST)
Bianca Pedersen (MST)
Annette K. Hansen (Rambøll)

Bilag 2. **Notat: Modelusikkerheder - Fynprojekt**

Notat

Projektnavn **Modelusikkerheder – Fyn Pilotprojekt**
Projektnr. **1100045969-002**
Kunde **Miljøstyrelsen**
Version **3**
Til **Bianca Pedersen**
Fra **Annette K. Hansen**

Udarbejdet af **Annette K. Hansen**
Kontrolleret af **Britt S.B. Christensen**
Godkendt af **Annette K. Hansen**

Dato 08-04-2024

1 Indledning

Miljøstyrelsen (MST) har i mange år udført grundvandskortlægning med det formål at opstille grundvandsmodeller, der kan beregne indvindingsoplande og grundvandsdannende oplande.

I Fyn Pilotprojekt testes diverse elementer af bl.a. det modelarbejde, der normalt foretages ifm. MST's grundvandskortlægningsopgaver med henblik på at identificere forbedringsmuligheder i de traditionelt anvendte metoder. Som testområde for pilotprojektet er udvalgt Fyn. Dermed tages der i dette delprojekt udgangspunkt i den hydrologiske model opsat for Fyn på vegne af MST som en del af grundvandskortlægningen (Miljøstyrelsen, 2022).

Dette delprojekt under Fyn Pilotprojekt undersøger modelusikkerhederne i grundvandsmodeller ved ændringer af forskellige parametre. Især undersøges hvor meget vandudvekslingen ved terræn ændrer sig ved forskellige modelscenarier, blandt andet ved forskellige indvindings-scenarier og forskellige klimainput.

I afsnit 2 er beskrevet, hvilke modelkørsler der er udført. I afsnit 3 er resultaterne præsenteret. Til slut følger en konklusion i afsnit 4.

2 Modelkørsler

I Tabel 2.1 vist en oversigt over de udførte modelscenarier.

I MIKE SHE er der to måder at implementere klimadata i form af nedbør, potentiel fordampning og temperatur på. Enten kan man tilføje klimadata som tidsvarierende dfs0-filer (tidsserier), der hver er tilknyttet et 10 x 10 kilometer (eller 20 x 20 km) klimagrid. Alternativt kan man tilføje klimadata som tidsvarierende dfs2-filer. En dfs2-fil er en tidsvarierende 2D grid-fil, også på 10 x 10 km, som kan indeholde flere tidsskridt. MIKE SHE håndterer disse to filformater forskelligt i PreProcesseringen, se Figur 2.1.

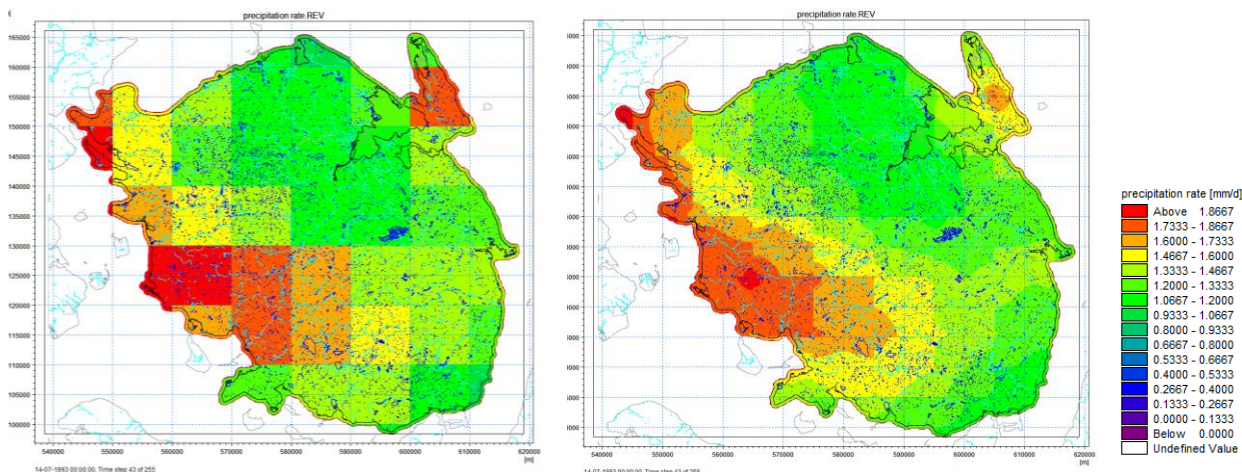
Rambøll
Hannemanns Allé 53
DK-2300 København S

T+45 5161 1000
<https://dk.ramboll.com>

Rambøll Danmark A/S
CVR NR. 35128417

Ved implementering som dfs0-filer forbliver nedbøren i det 10x10 km grid-format, som det indsættes i, og som er det format, som nedbørsdata modtages i fra DMI. Dette er den metode, der er benyttet i Fyn-modellen.

Ved implementering af nedbør som dfs2-filer betragter MIKE SHE centerpunkt af grid'et som cellens værdi og interpolerer herefter til værdier svarende til modellens opløsning, i tilfælde af Fyn 100 x 100 m. Dette er den metode, som GEUS benytter i DK-modellerne. De to nedbørsinput er vist på Figur 2.1. Scenarie 1 og 2 har til formål at undersøge, om det har nogen betydning for vandudvekslingen ved terræn, om der benyttes den ene eller anden type input-fil.



Figur 2.1 Nedbør efter PreProcessering, når nedbør er indsat som hhv. dfs0-filer (venstre) og dfs2-filer (højre).

Scenarie 3 og 4 skal belyse, hvor stor betydning klimaperioden har for vandudvekslingen ved terræn. Normalt, når vandudvekslingen udtrækkes fra grundvandsmodeller, beregnes middelværdien over en bestemt periode. I scenarie 3 benyttes klimaperioden fra 2000 til 2009, (11-10-1999 til 18-09-2009) hvilket er den samme periode, der er benyttet i de andre opgaver i Fyn Pilotprojekt. I scenarie 4 benyttes perioden 2010 til 2018. For begge scenarier benyttes den tidvarierende aktuelle indvinding, der er benyttet i kalibreringskørslen, dvs. en årlig variation af indvindingen. I disse scenarier er ikke taget hånd om evt. underskud af nedbør i DMI nedbørsdata fra 2010 og frem grundet stationsudtyndingen i 2010.

I scenarie 5 benyttes et nul indvindingsscenarie og samme klimainput og tidsperiode som for scenarie 1.

Tabel 2.1 Oversigt over modelkørsler, variation i de enkelte scenarier er markeret med rødt.

Sce nr.	Filnavn	Sim periode	Indvinding	Klima [Nedbør 10 km, potential fordampning og temperatur, 20 km]	Data udtræk
1	Sce1_TIL_klimadfs0_time2000_2009	1990-2010	Tilladelse, konstant indvinding	Tidsvarierende dfs0 knyttet til 10 og 20 km grid (Rambøll metode)	Midlet 2000 til 2009
2	Sce2_TIL_klimadfs2_time2000_2009	1990-2010	Tilladelse, konstant indvinding	Tidsvarierende dfs2 (GEUS metode i DK-model)	Midlet 2000 til 2009
3	Sce3_AKT_klimadfs0_time2000_2009	1990-2018	Aktuel indvinding, årlig tidsvarierende fra kalibreringskørslen	Tidsvarierende dfs0 fordelt på 10 og 20 km grid (Rambøll metode)	Midlet 2000 til 2009
4	Sce4_AKT_klimadfs0_time2010_2018	1990-2018	Aktuel indvinding, årlig tidsvarierende fra kalibreringskørslen	Tidsvarierende dfs0 fordelt på 10 og 20 km grid (Rambøll metode)	Midlet 2010 til 2018
5	Sce5_NULIndv_klimadfs0_time2000_2009	1990-2010	Nul indvinding	Tidsvarierende dfs0 fordelt på 10 og 20 km grid (Rambøll metode)	Midlet 2000 til 2009

3 Resultater

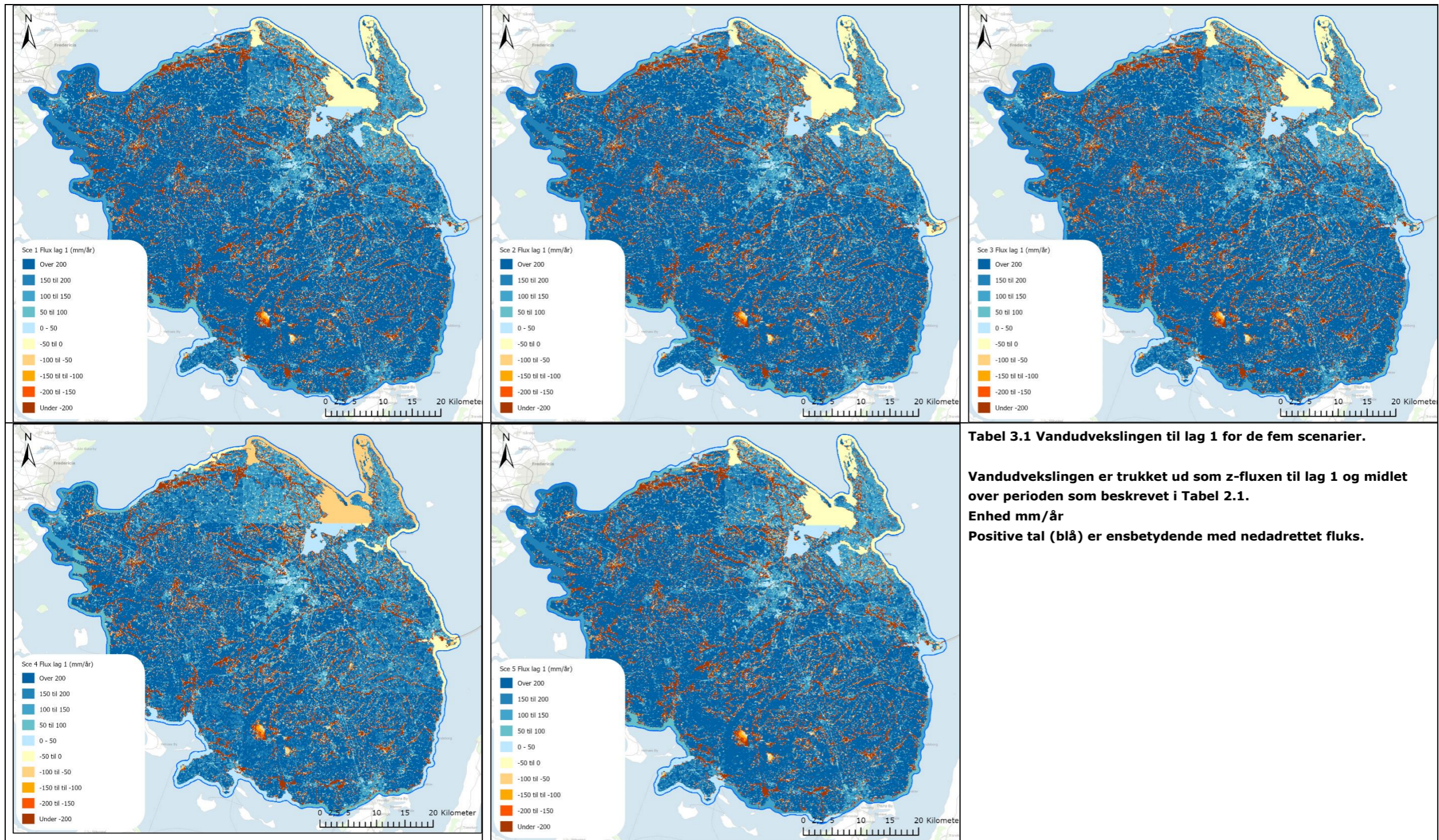
For alle fem scenarier er der beregnet følgende resultater:

1. Vandudveksling til terræn (lag 1)
 - a. Kun vandudveksling til terræn er vist på kort
 - b. Vandveksling til Sand 1 (lag 3), 2 (lag 5), 3 (lag 7) og kalken (lag 9) indgår i den elektroniske aflevering
2. Differencekort af vandudveksling til terræn (lag 1)
 - a. Dif Sce 1 -Sce 2
 - b. Dif Sce 3 -Sce 4
 - c. Dif Sce 1 -Sce 5
3. Middelnedadrettet grundvandsdannelse til terræn og magasiner i tabelform og histogrammer
4. Fordeling af areal i forhold til intervaller af vandudveksling, tabel og histogrammer
5. Vandbalancer, totale og fordelt på lag

De fem resultattyper er beskrevet herunder i afsnit 3.1 til 3.5.

3.1 Vandudveksling til terræn

Vandudvekslingen er trukket ud som z-fluxen til lag 1. På Tabel 3.1 er vist vandudvekslingen til terræn, lag 1 for de fem scenarier. Visuelt er det svært at se forskel på de fem plot. Scenarie 4 skiller sig en smule ud, og der ses en lidt mindre flux i den nordlige del af Fyn. Pga. den lille visuelle forskel blev differenskortene i afsnit 3.2 beregnet.

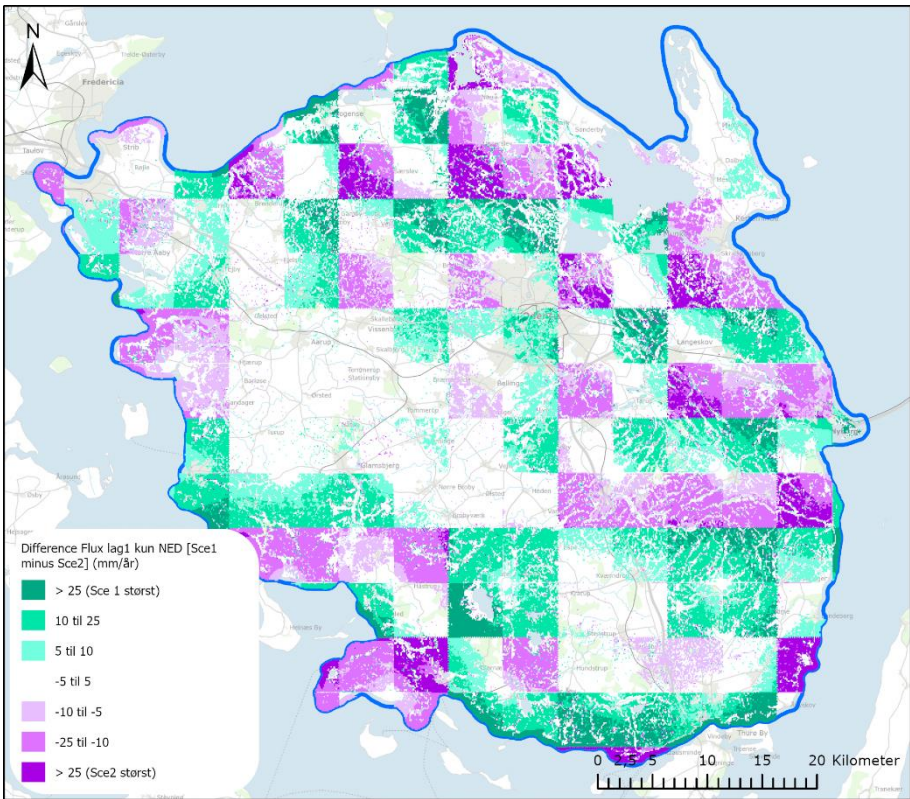


3.2 Differencekort af vandudveksling til terræn

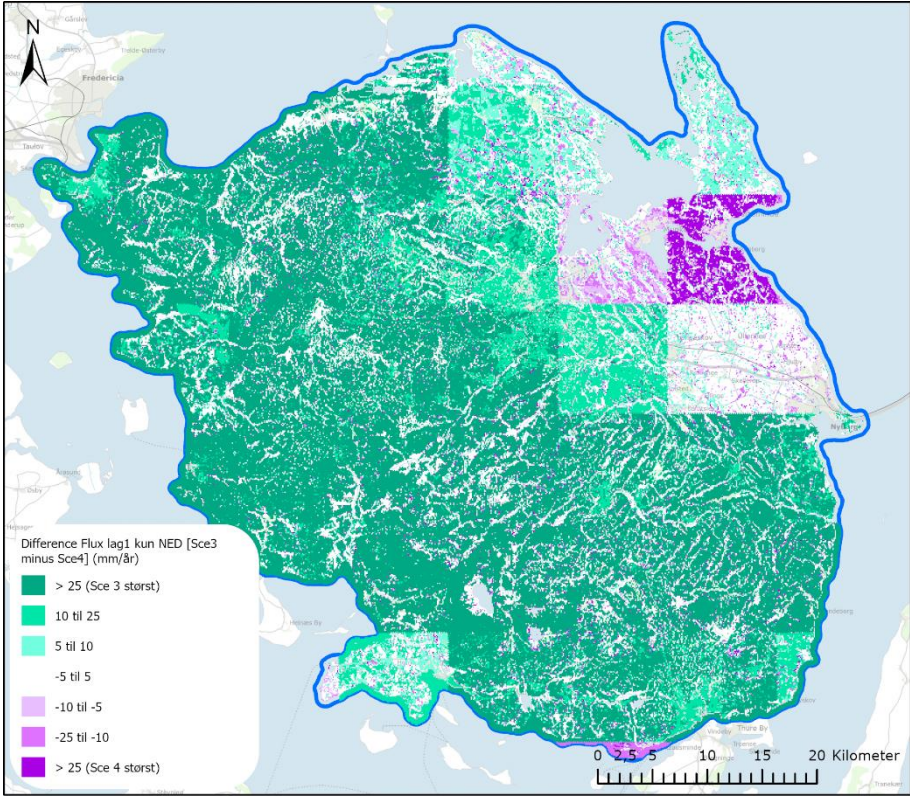
I Figur 3.1 er vist forskellen i den nedadrettede vandudveksling til terræn mellem scenarie 1 og 2 (Sce 1 minus Sce 2). Dvs. hvis værdien er positiv, har Sce 1 størst flux (grønne farver), og hvis værdien er negativ, har Sce 2 størst flux. Der ses nu tydelige, samt lokale, forskelle mellem de to scenarier på op til 25 mm/år, der er aftegnet som skaktern. Overordnet ses, at der er rimelig ligelig fordeling i områder, hvor Sce 1 er størst og områder, hvor Sce 2 er størst.

I Figur 3.2 er vist forskellen i den nedadrettede vandudveksling til terræn mellem scenarie 3 og 4 (Sce 3 minus Sce 4). Dvs. hvis værdien er positiv, har Sce 3 størst flux (grønne farver), og hvis værdien er negativ, har Sce 4 størst flux. Sce 4 har på næsten hele Fyn over 25 mm/år mere flux end Sce 3, dvs. den anderledes klimaperiode i Sce 4 har stor betydning for vandudvekslingen.

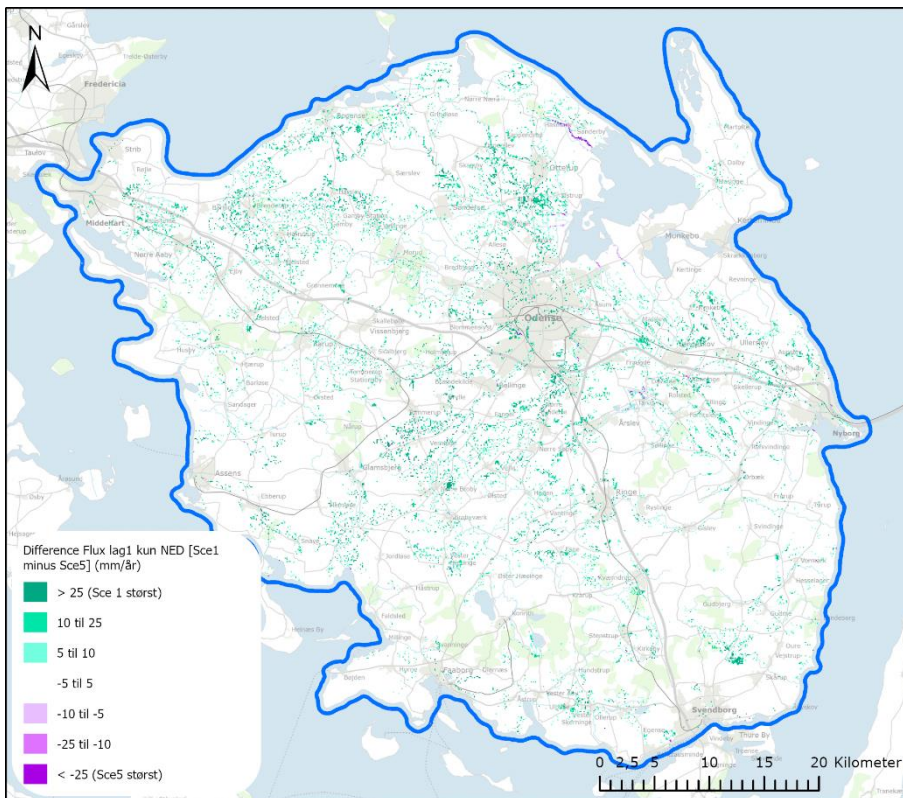
I Figur 3.3 er vist det sidste differencekort, hvor der ses på forskellen mellem at have indvinding (Sce 1) og ingen indvinding (Sce 5) i modellen. Der ses en lille forskel, primært grønne farver på kortet, der betyder, at Sce 1 har en større vandudveksling til lag 1, end hvis der ikke indvindes. Forskellene ses især, men ikke kun, omkring vandløb samt steder, hvor topografien er lavere end omgivelser. Dette ses tydeligere på Figur 3.4, hvor forskellen er vist med topografien og vandløb som baggrund. Der er især forskel i den centrale del af Fyn, hvor topografien er lav, og vandløbssystemet til Odense Å strømmer nordpå. De steder, hvor der er topografiske højdepunkter, fx i den sydøstlige del nord for Svendborg, er differencen meget lille. Differencekortet er også sammenlignet med jordartskortet, for at se om områderne var sammenfaldende med f.eks. områder med sand. Dette ser ikke ud til at være tilfældet. Det betyder, at når der indvindes fra et område, i dette tilfælde hele Fyn, som jo er et afgrænset område, og hvor hele randen er noflow, sker der en større flux ned igennem magasinerne, som også er tydelig i det øverste lag.



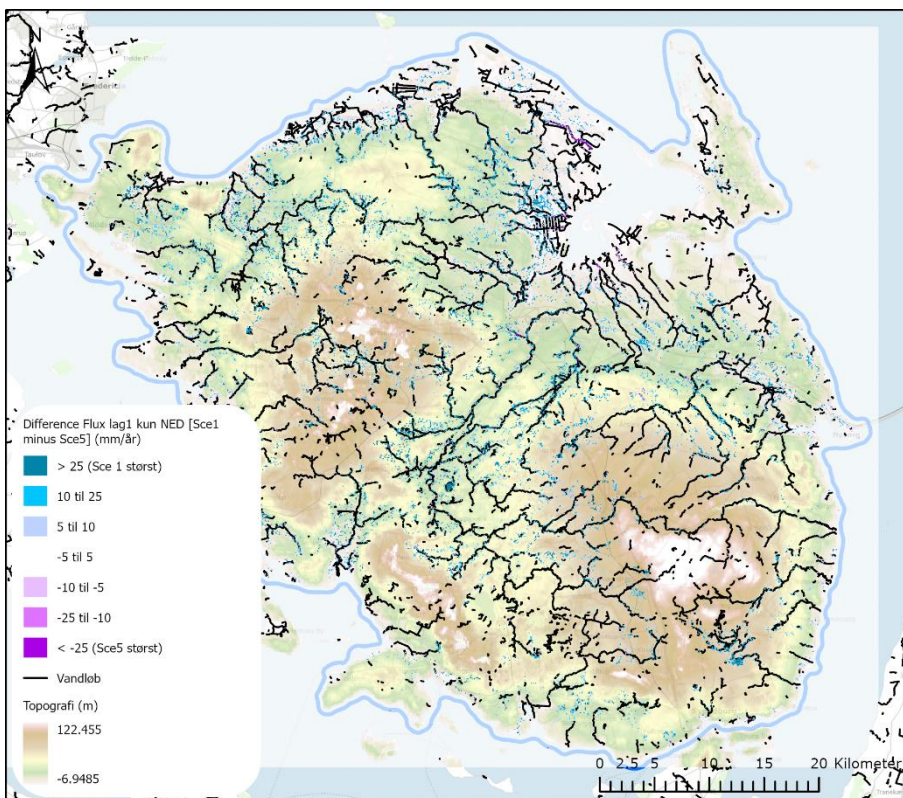
Figur 3.1 Difference i flux lag 1, Sce 1 minus Sce 2. Sce 1 har nedbør som dfs0 filer. Sce 2 har nedbør som dfs2 filer.



Figur 3.2 Difference i flux lag 1, Sce 3 minus Sce 4. Sce 3 betragter perioden 2000 til 2009 og Sce 4 betragter perioden 2010 til 2018. Begge har aktuell årlig varierende indvinding.



Figur 3.3 Difference i flux i lag 1, Sce 1 minus Sce 5. Begge scenarier betragter perioden 2000 til 2009. Sce 1 benytter tilladelse. Sce 5 har nul indvinding.



Figur 3.4 Som Figur 3.3 men med som baggrund er vist topografien og vandløb (med sort).

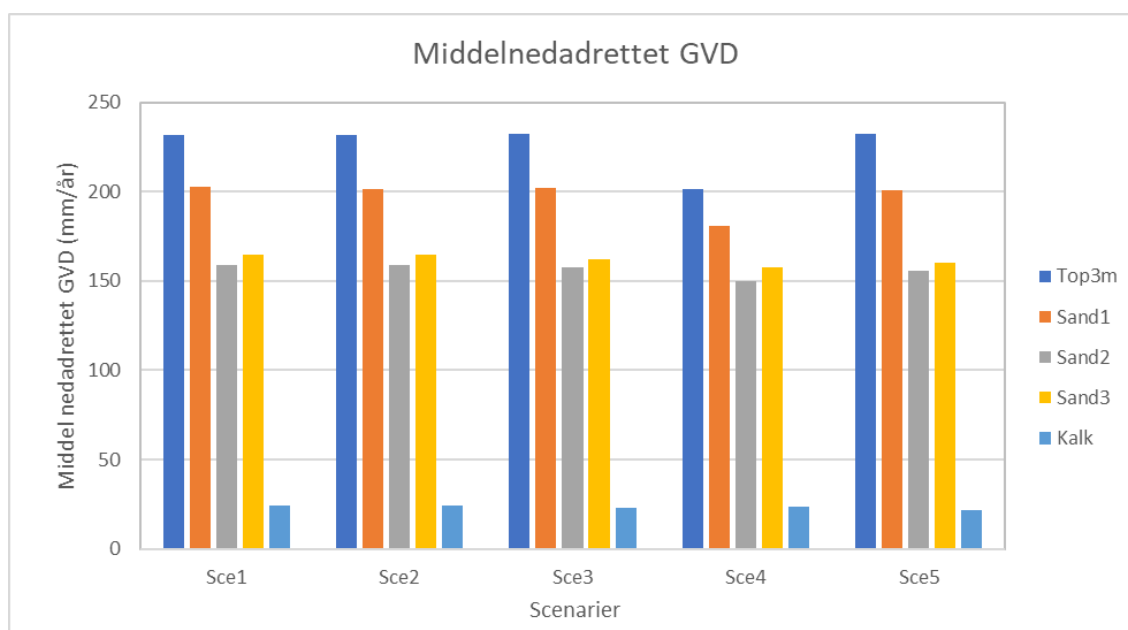
3.3 Middelnedadrettet vandudveksling i tabelform og histogrammer

I Tabel 3.2 er vist middelværdien af de celler, der har nedadrettet vandudveksling for hvert scenarie og for hvert magasin. De samme værdier er vist i Figur 3.5 som histogram sorteret efter scenarier, og i Figur 3.6 sorteret efter magasin. De forskellige scenarier er meget ens. Som forventet falder vandudvekslingen jo dybere magasin. Vandudvekslingen til Sand 3 er dog en smule større end til Sand 2, hvilket skyldes den forskellige arealmæssige udbredelse af de to magasiner. På histogrammet, hvor udvekslingen er sorteret efter magasin, ses, at udvekslingen ved Top3m er helt ens for Sce 1, 2, 3 og 5, og kun Sce 4, med en anden klimaperiode, skiller sig ud ved at have en lavere udveksling. Forskellen er størst i de øverste lag og mindre i de nederste lag.

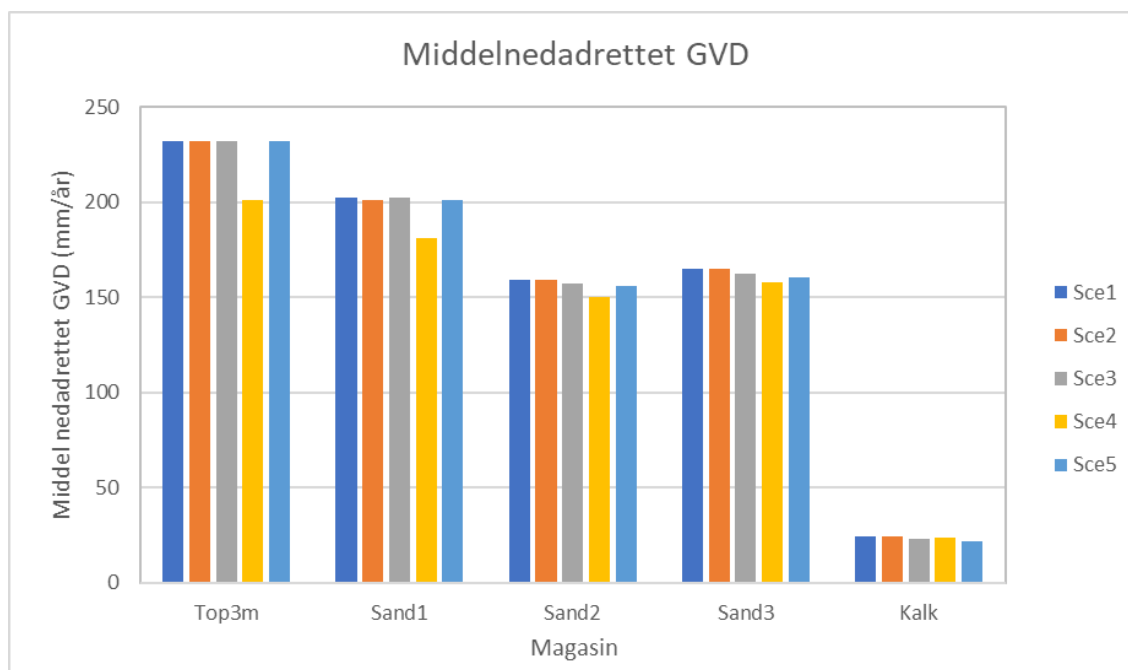
Det vil sige, at den forskel der kunne ses i differencekortet som skaktern mellem Sce 1 og 2 i forhold til om der benyttedes dfs0- eller dfs2-filer som klimainput, Figur 3.1, betyder samlet set ingenting for modellen. Men hvis modellen betragtes på lokal skala, vil det give en lille forskel.

Tabel 3.2 Middelnedadrettet flux til toppen af Top3m, Sand 1, Sand 2, Sand 3 og kalken for de fem scenarier.

	Middelnedadrettet flux (mm/år)					Beskrivelse (Indvinding, nedbør input, periode)
	Top3m lag 1	Sand 1 Lag 3	Sand 2 Lag 5	Sand 3 Lag 7	Kalk Lag 9	
Sce 1	232,1	202,6	159,3	164,8	24,0	Tilladelse, dfs0, 2000-2009
Sce 2	232,1	201,2	159,3	164,9	24,2	Tilladelse, dfs2, 2000-2009
Sce 3	232,2	202,0	157,5	162,1	22,9	Aktuel, dfs0, 2000-2009
Sce 4	201,2	180,8	150,1	157,9	23,7	Aktuel, dfs0, 2010-2018
Sce 5	232,3	201,0	155,9	160,4	21,7	Nul indvinding, dfs0, 2000-2009



Figur 3.5 Middel nedadrettet vandudveksling/grundvandsdannelse (mm/år) for hvert scenarier til hvert magasin, her sorteret efter scenarie.



Figur 3.6 Middel nedadrettet grundvandsdannelse (mm/år) for hvert scenarier til hvert magasin, her sorteret efter magasin.

3.4 Fordeling af areal i forhold til intervaller af vandudveksling, tabel og histogrammer
 For vandudvekslingen til lag 1 er udregnet, med hvor store arealer forskellige intervaller af vandudveksling dækker over. I Tabel 3.3 er denne arealfordelingen vist, og i Figur 3.7 og Figur 3.8 er data vist som histogrammer sorteret efter scenarie og efter interval.

Det ses fx, at der for Sce 1 er 80,7 km², der har mellem 0 og 25 mm vandudveksling/flux per år. Arealer med "<0" er areal, hvor der er opadrettet flux. Nederst i tabellen er summeret, hvor stort et areal, der har nedadrettet flux.

Det er lidt overraskende, at der er mindre forskelle mellem Sce 1, 2, 3 og 5, idet den middelnedadrettede flux er helt ens ved terræn, jvf. Tabel 3.2. På den anden side er det den arealforskel, der træder igennem på differencekortene i afsnit 3.2. Det er også overraskende, at Sce 4, der skiller sig ud i de andre resultater, her er meget lig de andre scenarier i forhold til samlede areal med nedadrettet flux. Der er dog forskel mellem de enkelte intervaller, som på Figur 3.8 ses tydeligt ved, at Sce 4 har væsentlig større areal med 100 til 200 mm/år end de andre scenarier, men tilsvarende lavere i intervallet 200 til 500 mm/år.

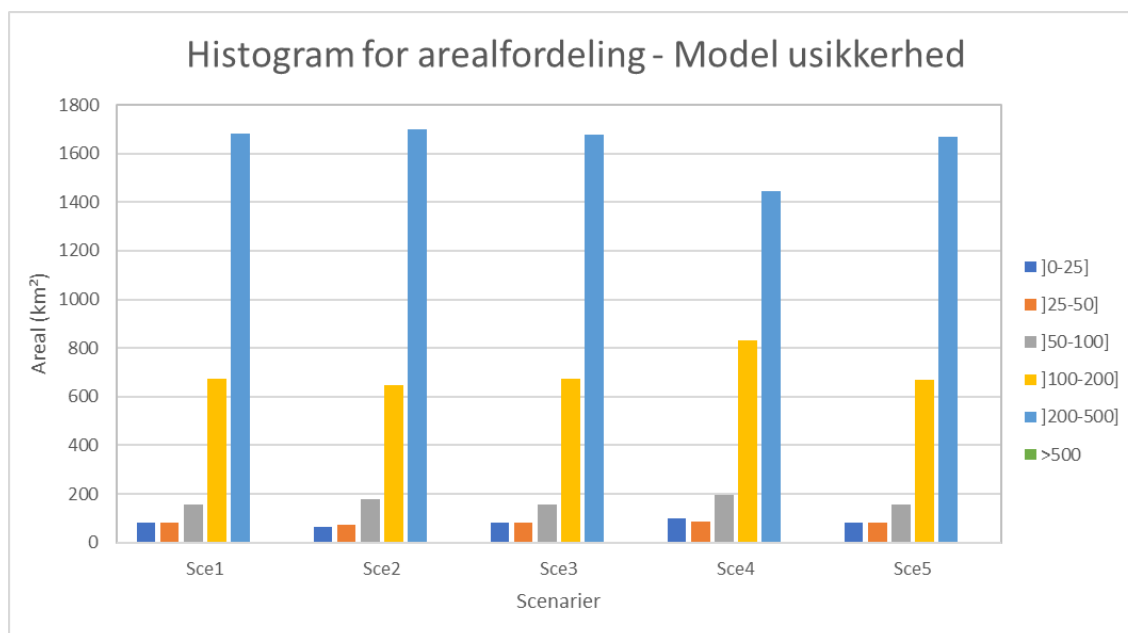
Selv om scenariernes samlede areal med nedadrettet flux kun varierer mellem 2660 og 2681 km², dvs. kun 21 km² forskel mellem det scenarie med hhv. størst og mindst flux, er der noget større variation ved de enkelte intervaller. For intervallet]50-100] er der f.eks. 40 km² forskel på det scenarie med hhv. mindst (157 km², sce 5) og størst flux (197 km², sce 4).

Dette gør sig også gældende, hvis intervalstørrelsen mindskes, som vist på Figur 3.9. Her er Sce 4 større for 200 til 275 mm/år, men så mindre igen ved 300 til 325 mm/år sammenlignet med de andre scenarier.

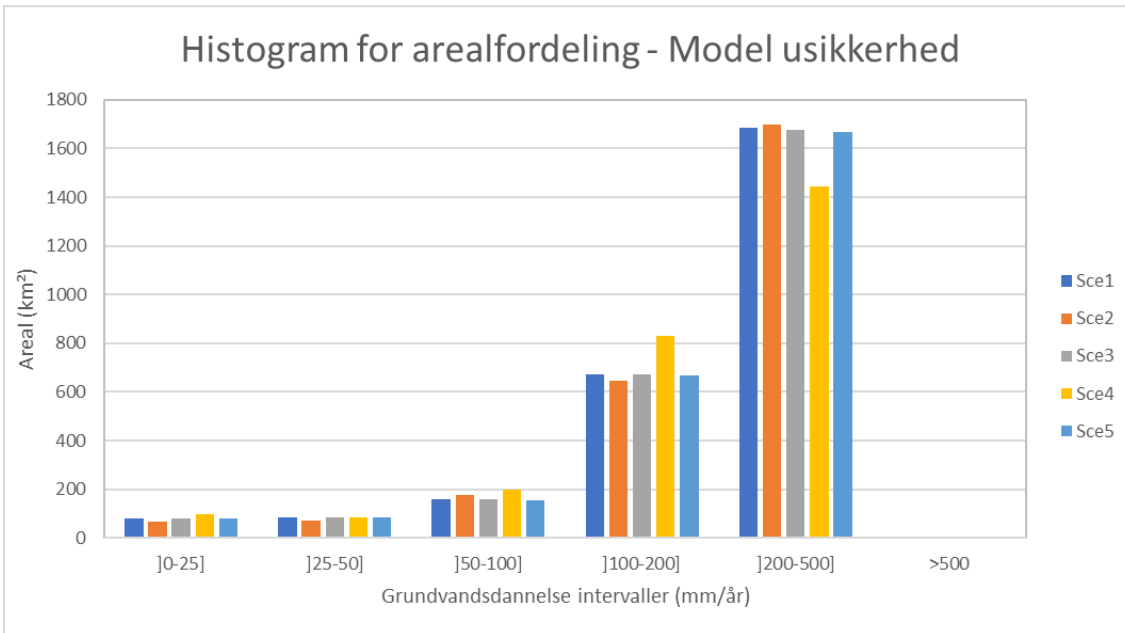
Hvis der bruges en anden klimaperiode til scenarier, bliver arealfordelingen således anderledes, mens det samlede areal med nedadrettet vandudveksling er rimelig konstant.

Tabel 3.3 Fordelingen af areal (km²) indenfor intervaller af vandudveksling (mm/år).

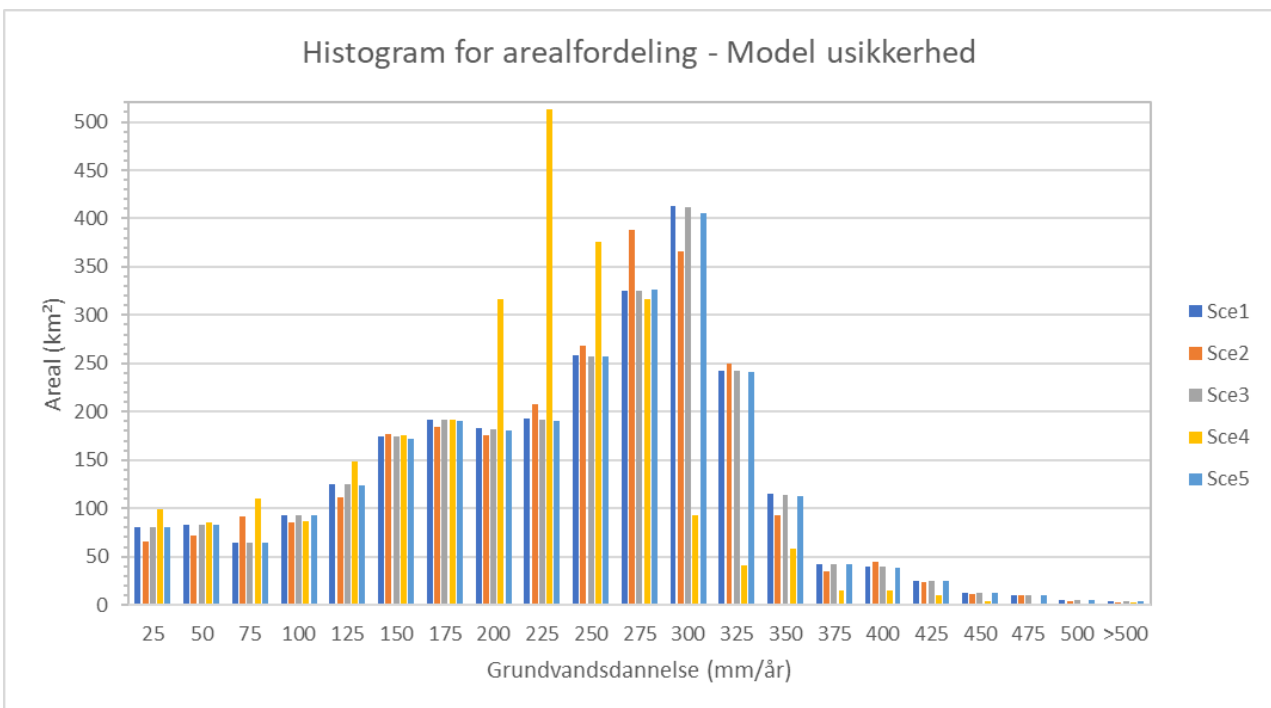
Vandudveksling intervaller (mm/år)	Areal (km ²)				
	Sce 1 (dfs0)	Sce 2 (dfs2)	Sce 3 (Akt)	Sce 4 (Akt peri.)	Sce 5 (Nul ind)
<0	572,3	587,7	579,8	593,5	593,6
]0-25]	80,7	65,7	80,0	99,2	80,7
]25-50]	82,5	71,7	83,0	85,9	82,7
]50-100]	157,7	177,4	157,1	197,4	156,6
]100-200]	673,3	648,0	672,2	831,4	667,3
]200-500]	1683,0	1699,9	1677,4	1443,7	1668,8
>500	3,7	2,9	3,8	2,1	3,7
Samlet areal	3253,3	3253,3	3253,3	3253,1	3253,3
Areal nedadrettet	2681,0	2665,6	2673,5	2659,7	2659,8



Figur 3.7 Histogram der viser fordelingen af areal (km²) indenfor intervaller af vandudveksling (mm/år), sorteret efter scenarier.



Figur 3.8 Histogram der viser fordelingen af areal (km²) indenfor intervaller af vandudveksling (mm/år), sorteret efter intervaller.



Figur 3.9 Histogram der viser fordelingen af areal (km²) indenfor mindre intervaller af vandudveksling (mm/år).

3.5 Vandbalancer, totale og fordelt på lag

Der er udtrukket total vandbalance for de fem scenarier. Disse er vist på tabelform i Tabel 3.4, og for Sce 2, 3, 4 og 5 er udregnet procentvis afvigelse fra Sce 1. For hvert scenarie er med orange markeret de vandbalanceelementer, der har størst afvigelse fra Sce 1.

For Sce 2 er der minimal forskel i vandbalance. Den største ændring sker ved ændret drænaflow til vandløb og rand, der reduceres med ca. 1 %. For Sce 3, der jo ændrer i oppumpningen fra tilladelse til aktuel indvinding, derfor sker den største ændring naturligvis her. Reduktionen i indvinding medfører også en øget nettoafstrømning til vandløb på 2 %.

I Sce 4, hvor der også benyttes den aktuelle indvinding, men i perioden 2010 til 2018, ses en yderligere reduktion i indvindingen i forhold til Sce 3. Dertil er klimaperioden anderledes med en mindre nedbør og større fordampning, hvilket resulterer i en nettonedbør, der er næsten 16 % mindre end i Sce 1.

I Sce 5, hvor der er nul indvinding, medfører dette, at nettoafstrømningen til vandløb øges med 6 %, hvilket er mindre end den ændring, der sker ved anden klimaperiode.

Dvs. fra de fem scenarier kan konkluderes, at det der har størst indflydelse på vandbalancen, er klimaperioden.

Der er også udtrukket vandbalance fordelt på de enkelte modellag for de fem scenarier. Tre udvalgte elementer fra vandbalancen er vist i Tabel 3.5, og i Tabel 3.6 er beregnet difference fra Sce 1. For hvert enkelt lag er vist oppumpningen, lagudvekslingen og tilstrømning til vandløb.

Der er minimal forskel mellem Sce 1 og 2. Ved Sce 5 ses, at der i magasinerne er mindre oppumpning grundet nulindvindingsscenarioet. Dette giver yderligere den effekt, at der kommer en reduktion i den nedadrettede vandudveksling på 15 mm/år i de fem øverste lag og en smule mere vand i vandløbene.

Tabel 3.4 Tabel over total vandbalance for de 5 scenarier.

Vandbalance	Sce 1: TIL dfs0 (2000-2009)			Sce 2: TIL dfs2 (2000-2009)		Sce 3: AKT (2000-2009)		Sce 4: AKT (2010-2018)		Sce 5: NUL indv (2000-2009)	
	mm/år	mm/år	% af Sce 1	mm/år	% af Sce 1	mm/år	% af Sce 1	mm/år	% af Sce 1	mm/år	% af Sce 1
Nedbør	795.7	794.4	0.2	795.7	0.0	795.7	0.0	758.6	4.7	795.7	0.0
Fordampning	-531.9	-532.3	-0.1	-532.0	0.0	-532.0	0.0	-536.7	-0.9	-532.2	0.0
I) Nettonedbør	263.7	262.0	0.6	263.6	0.0	263.6	0.0	221.8	15.9	263.5	0.1
Overfladiske afstrømning til vandløb	-49.7	-49.5	0.5	-50.0	-0.5	-50.0	-0.5	-47.1	5.3	-50.5	-1.6
Drænafstrømning til vandløb	-118.5	-117.4	0.9	-121.8	-2.8	-121.8	-2.8	-105.3	11.1	-128.8	-8.7
Drænafstrømning til rand	-7.6	-7.5	1.1	-7.6	-0.3	-7.6	-0.3	-7.5	1.4	-7.8	-2.2
Overfladisk afstrømning til rand	-3.9	-3.9	0.5	-3.9	0.0	-3.9	0.0	-3.9	1.3	-3.9	-0.2
Baseflow	-61.5	-61.5	0.1	-62.9	-2.3	-62.9	-2.3	-58.4	5.0	-66.2	-7.7
II) Nettoafstrømning vandløb	-241.2	-239.7	0.6	-246.2	-2.0	-246.2	-2.0	-222.2	7.9	-257.3	-6.6
Oppumpning	-17.9	-17.9	0.0	-12.1	32.6	-12.1	32.6	-11.0	38.6	0.0	100.0
Indstrømning over rand	51.9	52.1	-0.4	51.8	0.0	51.8	0.0	53.6	-3.3	51.9	0.0
Udstrømning over rand	-61.1	-61.3	-0.3	-61.3	-0.3	-61.3	-0.3	-59.6	2.5	-62.2	-1.8
III) Netto udstrømning grundvand	-27.2	-27.1	0.3	-21.6	20.6	-21.6	20.6	-17.0	37.4	-10.3	61.9
Magasinering (I+II+III)	-4.7	-4.7	-1.4	-4.1	12.4	-4.1	12.4	-17.4	-272.1	-4.1	11.3

Tabel 3.5 Vandbalance fordelt på lag for de fem scenarier. Kun udvalgte vandbalanceelementer er vist.

Vandbalance		Sce 1: TIL dfs0 (2000-2009)			Sce 2: TIL dfs2 (2000-2009)			Sce 3: AKT (2000-2009)			Sce 4: AKT (2010-2018)			Sce 5: NUL indv (2000-2009)		
Lag	Alle tal i mm/år	Oppumpning (mm/år)	Lagudveksling (positiv = NED)	Vandløb (positiv = vand TIL vandløb)	Oppumpning (mm/år)	Lagudveksling (positiv = NED)	Vandløb (positiv = vand TIL vandløb)	Oppumpning (mm/år)	Lagudveksling (positiv = NED)	Vandløb (positiv = vand TIL vandløb)	Oppumpning (mm/år)	Lagudveksling (positiv = NED)	Vandløb (positiv = vand TIL vandløb)	Oppumpning (mm/år)	Lagudveksling (positiv = NED)	Vandløb (positiv = vand TIL vandløb)
		1	Top3m	0.0	210.2	41.4	0.0	208.9	41.3	0.0	209.9	42.3	0.0	178.6	38.9	0.0
2	Ler1	0.0	34.9	2.0	0.0	34.7	2.0	0.0	30.1	2.0	0.0	24.2	1.9	0.0	19.8	2.2
3	Sand1	1.4	33.8	11.2	1.4	33.7	11.2	1.1	28.9	11.5	0.9	24.7	10.7	0.0	18.3	12.2
4	Ler2	0.0	22.5	1.2	0.0	22.5	1.2	0.0	17.5	1.2	0.0	15.1	1.2	0.0	7.1	1.4
5	Sand2	7.4	21.8	5.6	7.4	21.8	5.6	5.4	16.5	5.7	4.9	15.1	5.6	0.0	6.1	6.3
6	Ler3	0.1	9.0	0.1	0.1	9.0	0.1	0.0	5.6	0.1	0.0	4.9	0.1	0.0	0.0	0.1
7	Sand3	6.8	8.9	0.0	6.8	8.9	0.0	4.0	5.5	0.0	3.7	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0
8	PL	0.2	2.2	0.0	0.2	2.2	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
9	OevreKalk	1.8	2.0	0.0	1.8	2.0	0.0	1.4	1.5	0.0	1.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
10	NedreKalk	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabel 3.6 Difference af vandbalancerne for de fem scenarier. Kun udvalgte vandbalanceelementer er vist.

Vandbalance differencer		Difference Sce 1 - Sce 2			Difference Sce 3 - Sce 4			Difference Sce 1 - Sce 5			Difference Sce 1 - Sce 4		
Lag	Alle tal i mm/år	Oppumpning	Lagudveksling	Vandløb	Oppumpning	Lagudveksling	Vandløb	Oppumpning	Lagudveksling	Vandløb	Oppumpning	Lagudveksling	Vandløb
1		Top3m	0.0	1.4	0.0	0.0	31.3	3.4	0.0	1.1	-2.7	0.0	31.6
2	Ler1	0.0	0.1	0.0	0.0	5.9	0.1	0.0	15.1	-0.2	0.0	10.7	0.1
3	Sand1	0.0	0.1	0.0	0.1	4.2	0.9	1.4	15.6	-1.0	0.5	9.1	0.5
4	Ler2	0.0	0.1	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	15.4	-0.1	0.0	7.5	0.0
5	Sand2	0.0	0.0	0.0	0.5	1.3	0.0	7.4	15.7	-0.7	2.5	6.7	0.0
6	Ler3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.1	9.0	0.0	0.1	4.2	0.0
7	Sand3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.0	6.8	9.0	0.0	3.1	4.0	0.0
8	PL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	2.2	0.0	0.2	1.0	0.0
9	OevreKalk	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.8	2.0	0.0	0.6	0.7	0.0
10	NedreKalk	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0

4 Konklusion

For at belyse betydningen af forskellige input i de hydrologiske modeller er kørt fem modelscenarier, der varierer på klimainput i form af dfs0-/dfs2-filer, oppumpningen i form af tilladelse/aktuel/nul indvinding og den klimaperiode resultaterne betragtes over.

Betydningen af om der benyttes dfs0- eller dfs2-filer som nedbørsinput er lille. På overordnet plan tilføres samme mængde nedbør til modellen, men på lokal skala kan det have en betydning, da MIKE SHE interpolerer forskelligt ved de to inputtyper (Figur 3.1).

Det der giver den største variation i resultaterne er, hvilken klimaperiode der anvendes. Variationen i nedbør og fordampning mellem forskellige klimaperioder er meget større, end om der fx benyttes dfs0- eller dfs2-filer, eller om der oppumpes med tilladelse eller aktuel indvinding. Forskellen forplantes igennem hele det hydrologiske system, således at en klimaperiode med mindre nedbør som her i Sce 4, giver mindre afstrømning til vandløb og mindre nedadrettet vandudveksling til magasinerne. En påvirkning, der forplanter sig ned igennem alle magasinerne. Det er dog lidt overraskende, at det **samlede** areal med nedadrettet grundvandsdannelse i Sce 4, ikke ændrer sig væsentligt i forhold til de andre scenarier, selv om der er forskelligt i de enkelte vandudvekslingsintervaller (Tabel 3.3).

På samme måde som klimainputtet har en betydning for vandkredsløbet, har indvindingen også en betydning for det samlede vandkredsløb. Ved reduktion eller helt stop i indvinding fra modellen, sker der en reduktion i den nedadrettede flux til alle lag ned igennem modellen, og der sker en øget tilstrømning til vandløb. Eller omvendt, når der indvindes, "trækkes" der vand ned igennem magasinerne, og vandløbsafstrømningen reduceres. Påvirkningen ses at ligge i nærheden af vandløb og områder med lavtliggende topografi. På trods af disse ændringer er det samlede areal med nedadrettet grundvandsdannelse stadig næsten ens mellem scenariet med og uden indvinding (Sce 1 og 5).

I forbindelse med fremadrettet grundvandsbeskyttelse indikerer disse resultater, at modellerne er rimelig robuste over for et afgrænsningskriterium af, om der er grundvandsdannelse eller ej (nedadrettet eller opadrettet vandudveksling) i et område. Et afgrænsningskriterium, der er baseret på en værdi, fx vandudveksling over/under 50 mm/år, vil være mere følsomt, idet disse områder i større grad ændrer sig afhængig af anvendt klimaperiode eller nogle af de andre typer input.

**Bilag 3. Notat:
Implementering af
befæstelsesgrader i
MikeShe**

Notat | Implementering af befæstelsesgrader i MIKE SHE

Til: Miljøstyrelsen

Dato: 2024-04-08

Fra: Flemming Damgaard Christensen **Kopi til:**

1 Befæstelsesgrad

Der har været historiske forskelligheder i implementering af afstrømning via befæstelsesgrader i MIKE SHE, som også er beskrevet i MIKE SHE dokumentation for de forskellige versioner.

Indførelse af befæstelsesgrader i MIKE SHE som en form for overfladisk dræning (OL-dræningen) blev introduceret i 2017 udgaven. Tidligere fjernelse af vandet grundet befæstede områder blev udført ved at reducere nedbøren i nedbørsfilen og i nogle tilfælde også reducere den potentielle fordampning, se eksempelvis (Rambøll, 2006). Herefter blev den udtrukne vandbalance fra MIKE SHE justeret i forhold til den reducerede vandmængde fra nedbøren.

Konceptuelt svarer OL-dræningen til SZ-dræningen, idet et dræningsnetværk beregnes ud fra en nedadgående strømningsvej fra hver beregningscelle indtil der afvandes til et vandløb, modelgrænse eller en lokal lavning i terrænet. Det er således ikke hældningen på terrænet, der bestemmer OL-dræningen.

2 Implementeringen i MIKE SHE

I forbindelse med implementeringen er der en række valgmuligheder, som medtager forskellige processer, som kan have betydning for detaljegraden af beregningerne. Disse muligheder gennemgås ligeledes, selvom de ofte ikke medtages i GKO modelopsætninger – særligt hvis de befæstede arealer udgør et mindre bidrag set i forhold til den totale vandbalance.

I forbindelse med implementering af befæstede arealer i MIKE SHE bør man ligeledes overveje om arealanvendelse (Land Use), jordprofilen og/eller reduktion af vandudveksling mellem overfladisk vand og infiltration skal medtages i modellen.



Figur 2.1 Illustration af problematikken med håndtering af de befæstede arealer i MIKE SHE. (DHI, 2023).

Befæstede arealer (veje, tage, stier og P-pladser mv) kan særlig i byområder have en betydelig indvirkning på infiltration og afstrømning. De befæstede arealer kan implementeres som dræn af befæstet arealer (Ponded Drainage/Overfladisk dræning), som alternativ til en detaljeret beskrivelse af overfladiskafstrømning på lille skala og afstrømning til et detaljeret net af vandafledningsledninger.

Der er mulighed for at medtage overfladisk afdræning på befæstede arealer (f.eks. veje, pladser og tage) ud over den traditionelle overfladiske afstrømning styret af hældning af vandstanden (topografien) i modellen. Den overfladiske afdræning på befæstede arealer (f.eks. veje, pladser og tage) ledes typisk via regnvandsledning, kloaker og grøfter videre til recipienter.

2.1 Surface-Subsurface Leakage Coefficient

Denne indstilling giver mulighed for yderligere at angive et befæstet område, der yderligere reducerer infiltrationen i cellen. Det vil sige, at den effektive lækagekoefficient reduceres med befæstelsesprocent.

$$EffLeakCoef = (1 - PAreaFrac) \times SurfSubSurfLeakCoef$$

Overland Flow

Separated overland flow areas

Surface-subsurface exchange

Reduced vertical exchange in specified areas

In specified areas, reduce exchange only for ponded areas

Reduce vertical exchange by paved area fraction

Include ponded drainage

Overview of Standard Parameters

Parameter path	Parameter name	Spatial Distribution	File Type	Time varying	Fixed value	File and item
1	Manning Number (M)	Uniform			5	
2	Detention Storage	Uniform			15	
3	Initial Water Depth	Uniform			0	
4	Surface - Subsurface Leakage Coefficient	Uniform			1	
5	Paved Area Fraction	Distributed		<input type="checkbox"/>	0.2	C:\Users\...1205101\Paved Area Fraction. Paved Area Fraction

Figur 2.2 Implementering af reduceret vandudveksling mellem vand på terræn og mættet/umættet zone.

3 Opsætning af simpel model

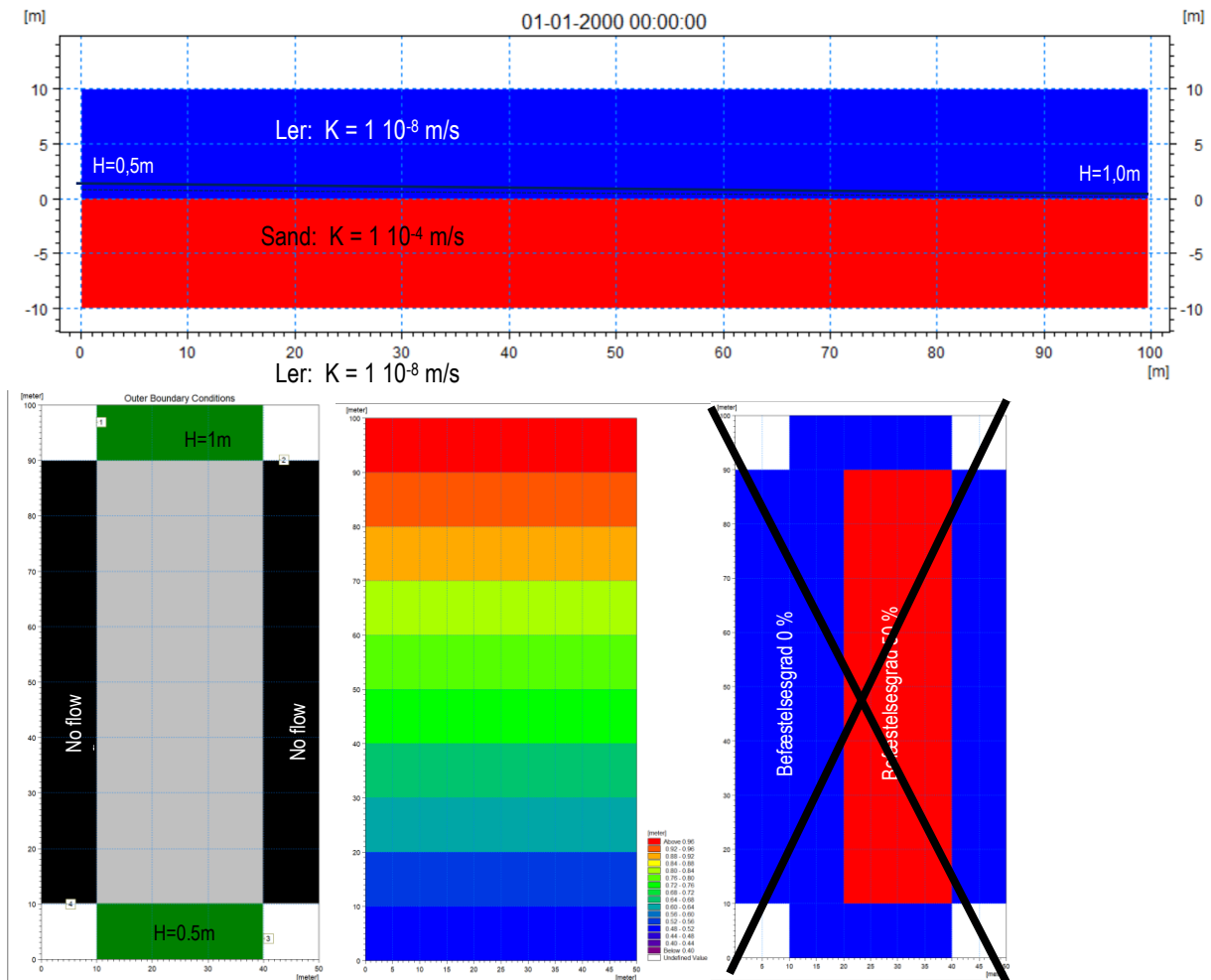
Der har været anvendt flere simple modelopsætninger med forskellige fordeling af befæstelsesgrader, vegetationstype mv., men selv ved disse simple modeller har resultaterne været svære at efterregne i hånden. Bl.a. har opsætning med forskellige befæstelsesgrader på hhv. 0 % i en halvdel og 50 % i en anden halvdel resulteret i overfladisk afstrømning mellem områderne grundet forskellige vandstande af vand på terræn. Dette er vanskeligt at beregne i hånden.

Derfor er den simple basismodel blevet meget simpel. Modellen består af et horisontal grid i 10 meter med 5 celler i x-retning og 10 celler i y-retning og to lag (Ler og sand). Opsætningen fremgår af figur 3.1, hvor bl.a. randbetingelse for magasinlaget er vist. De ydre randbetingelse for lerlagene er impermeable rande.

Der er en konstant nedbør på 2 mm/dag og en reference fordampning på 1 mm/dag og i hele modellen er konstante vegetationsparametre anvendt, se Figur 3.3.

I beskrivelsen af de forskellige elementer (nedbør, fordampning, overfladisk afstrømning umættet flow etc.) er der lavet taleksempler baseret på basismodellen, som sammenholdes med værdierne fundet under resultatafsnittet.

Modellen er så simpel, at det ikke er nødvendigt med licens fra DHI og modellen kan således køres i demo versionen af MIKE SHE.



Figur 3.1 Simpel modelopsætning til analyse. Øverste figur er den geologiske model, hvor beregningslagene følger geologien. Nederst figur til venstre er randbetingelserne i sandlaget, initial vandstand i modellen (fra en stationær simulering) og yderst til venstre er befæstelsesgraden, som dog er ændret til 50 % i hele modellen.

3.1 Umættet zone, vegetation, og jordprofil

Der anvendes *2-Layer Water Balance Method* (2-lags-vandbalance model), som er et alternativ til de mere komplekse modeller for umættet strømning koblet til Kristensen and Jensen model for evapotranspiration. Valget på *2-Layer Water Balance Method*, skyldes, at det er metoden som anvendes for grundvandsmodeller udført under grundvandskortlægningsområderne (GKO) under Miljøstyrelsen (MST). Modellen er specielt egnet i områder, hvor den aktuelle fordamning er tæt på reference fordampningen (E_{ref}), f.eks. hvor grundspejlet er tæt på terræn. Der er således ikke arbejdet med andre modeller for umættet zone, som eksempelvis Richards ligning eller "Gravity Flow".

Der er i modelopsætningen anvendt jordparametre som vist på Figur 3.2, og der er ikke anvendt makro infiltration via sprækker, rødder, ormehuller mv. Vandindholdet ved fuldt mættet, markkapacitet og visnegrænse indgår i beregningen af transpirationen fra planter, mens den mættede hydrauliske ledningsevne er den maksimale infiltration til umættet zone. I 2-lags-vandbalance model indgår vandindholdet ikke i bestemmelse af den aktuelle infiltration.

Profile ID:

Water content at saturation

Water content at field capacity

Water content at wilting point

Saturated hydraulic conductivity [m/s]

Soil Suction at wetting front [m]

Bypass constants

Maximum bypass fraction

Water content for reduced bypass flow

Limit on water content for bypass flow

Figur 3.2 Jordparametre med vandindhold ved mættede forhold (svarende til porøsitet), ved markkapacitet og ved visnegrænsen. Den hydrauliske ledningsevne (K) er lig med infiltrationskapaciteten og varierer ved kørslerne. $K = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s} = 0,864 \text{ mm/døgn}$.

Evapotranspiration parameters

General ET parameters

Canopy interception [mm]

2-Layer Water Balance ET parameters

Reduce ET from roots when UZ deficit fraction is below

(0 = full ET until wilting point; 1 = reduced ET below field capacity)

Gravity Flow and Richards ET parameters (Kristensen and Jensen)

C1 C2 C3 [mm/d]

Aroot [m]

OK Cancel

Vegetationsparametre for simpel model

	End day	LAI [-]	Root [millimeter]	Kc [-]
1	0	1.5	1030	1.1
2	135	1.5	1030	1.1
3	145	1.5	1030	1.1
4	185	1.5	1030	1.1
5	245	1.5	1030	1.1
6	275	1.5	1030	1.1
7	365	1.5	1030	1.1
8	366	1.5	1030	1.1

Figur 3.3 Venstre del er generelle parametre for med $C_{int}=0.05 \text{ mm}$ og reduktionsfaktor af transpiration fra planterne i forhold til vandindhold. Faktoren $C_{int} \cdot LAI$ giver mængde af vand, som indfanges.

3.2 Evapotranspiration/fordampning

Den potentielle evapotranspiration beregnes på baggrund af reference fordampningen gange Kc faktoren:

$$ET_{pot,rate} = ET_{afgrøde,rate} = ET_{ref} \cdot Kc$$

som giver følgende $ET_{ref} \cdot Kc = 1,0 \text{ mm/døgn} \cdot 1,1 = 1,1 \text{ mm/døgn}$. Den potentielle evapotranspiration er den maksimale fordampning, og den aktuelle fordampning, som er altid mindre eller lig med den potentielle evapotranspiration, regnes efter følgende rækkefølge:

1. Fordampning fra sne (ikke aktuelt i disse modelkørsler)
2. Fordampning fra blade, stængler mv.
3. Fordampning fra vand på terræn
4. Transpiration fra umættet zone – fra det øverste lag i 2-lags-vandbalance model
5. Transpiration fra mættet zone, hvis der er mættede forhold i rodzonen (øverste lag) i 2-lags-vandbalance model

Den del af nedbøren, som falder på blade mv. i løbet af et f.eks. et UZ-tidsskridt (her $\Delta t = 2$ timer) beregnes som

$$S_{int} = \min(P \cdot \Delta t, c_{int} \cdot LAI) = \min(2 \text{ mm/døgn} / (24 \text{ t/døgn}) \cdot 2t, 0,05 \text{ mm} \cdot 1,5) = 0,075 \text{ mm}.$$

Den direkte fordampning fra vand på blade mv. bliver således per døgn:

$$ET_{blade} = \min(c_{int} \cdot LAI; ET_{ref} \cdot K_c \cdot \Delta t) \cdot 24t / \text{døgn} / \Delta t = \min(0,075 \text{ mm}; 0,091667) \cdot 24t / \text{døgn} / 2t = \mathbf{0,9 \text{ mm/døgn}}$$

Dvs. sige at vandet på bladene fjernes af fordampningen og derved fjernes der **2 mm/døgn-0,9 mm/døgn = 1,1 mm/døgn**, som tilføres til vand på terræn.

3.3 Traditionel overfladisk afstrømning

For den traditionelle overfladiske afstrømning er der anvendt et Manningtal på $M = 1 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, en tilbageholdelse (detention storage) på kun 0,15 mm samt en startvandybde på 0 på terræn. En detention storage på 0,15 mm betyder, at der skal stå 0,15 mm vand på overfladen i en gridcelle, før der beregnes for overfladisk afstrømning fra den pågældende celle. Denne værdi er ca. en faktor 100 lavere end for normale modelopsætninger for GKO modeller, men det skyldes den simple modelopsætning og den relative korte simuleringsperiode til at opbygge vand på terræn.

Der er ingen hældning på terrænet i modellen og den traditionelle overfladisk afstrømning styres således af vandstanden på terræn.

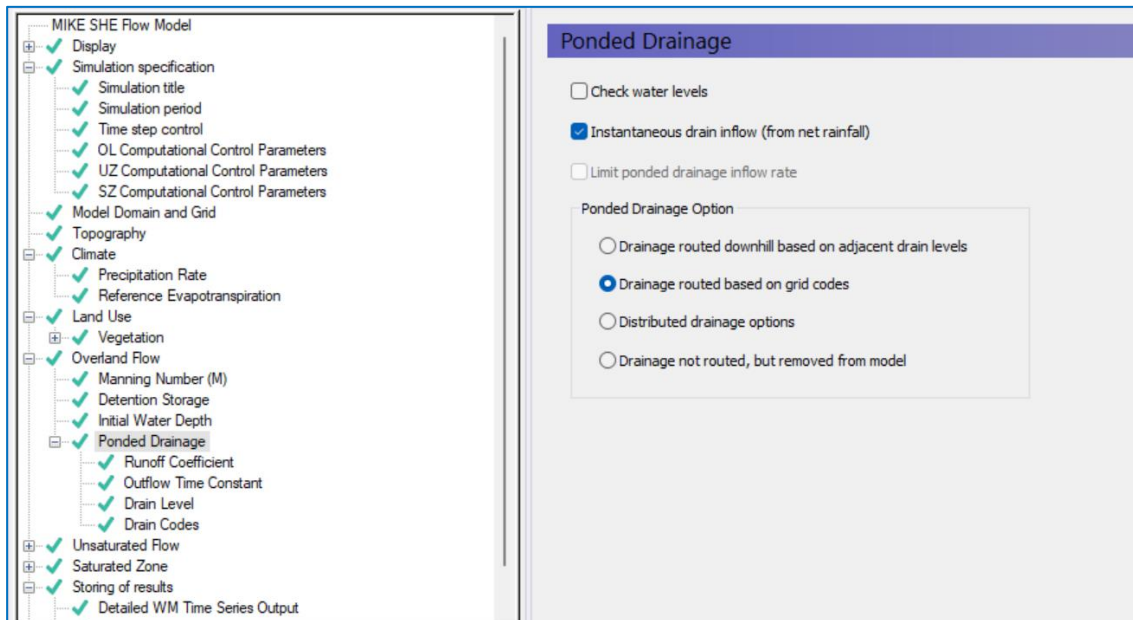
3.4 Overfladisk drænafstrømning

Overfladisk drænafstrømning virker på vandet på terræn, som er tilført før evt. fordampning eller infiltration beregnes. Derfor virker overfladisk drænafstrømning indirekte på nedbøren, bortset fra den del, som fanges af bladene mv. Ifølge manualen, så virker overfladisk drænafstrømning også først, når vandybden på terræn er over detention storage (her 0,15 mm), men test-simuleringerne viser, at dette ikke korrekt for den anvendte MIKE SHE version. Her virker overfladisk drænafstrømning også for vandybder under detention storage (0,15 mm).

Beskrivelsen af overfladisk drænafstrømning er sammenligneligt med drænafstrømning i mættet zone, men ved overfladisk drænafstrømningen er der også beregnet en magasinering på celleniveau. Denne magasinering afhænger af forskellen mellem inflow tidskonstanten og outflow tidkonstanten. Forskellen for disse tidskonstanter giver muligheden at styre dræning af nedbøren til "drænet", mens outflow tidkonstanten styrer afstrømningen til recipienten (vandløb, modelrand, lavninger i terræn). Tidskonstanten ligger typisk omkring $0,001 \text{ s}^{-1}$ og $5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Hvis outflow tidkonstanten er større end inflow tidskonstanten, vil der ikke ske en magasinering af vand på celleniveau for drænene.

I basis opsætningen er der anvendt parametre som vist på Figur 3.4, og der er "*Instantaneous drain inflow*" er aktiveret. Dette betyder, at dræning af nedbøren sker momentant til overfladisk drænafstrømning og evt. magasinering for drænene. Derved skal der ikke anvendes en tidskonstant for inflow. Såfremt der i stedet ikke var valgt "*Instantaneous drain inflow*" vil noget af vandet tilbageholdes på terræn og være tilgængeligt til fordampning og infiltration.

Der er i basisopsætningen desuden anvendt en outflow tidkonstant på $5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, dræning via gridkoder til modelranden, og en befæstelsesgrad på 0,5, som angiver den del af vand på terræn, som potentielt kan afdrænes via overfladisk drænafstrømningen over et tidsskridt.



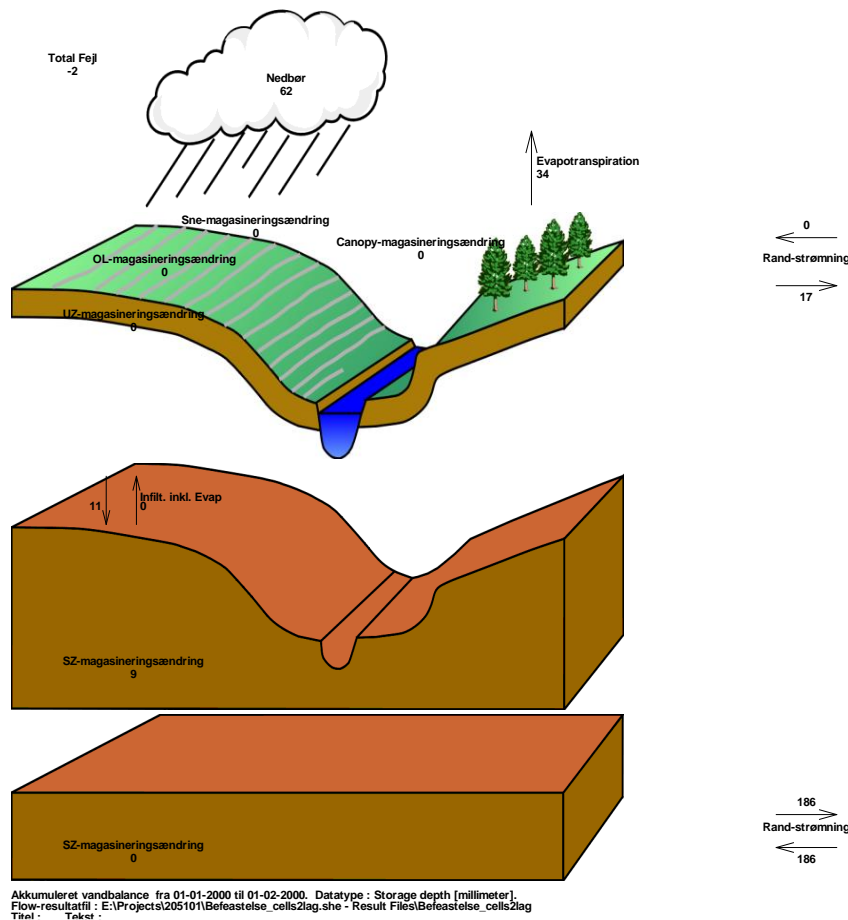
Figur 3.4 Parametre for basisopsætningen, hvor desuden er anvendt outflow tidkonstanten på $5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, dræning via gridkoder til modelranden, og en befæstelsesgrad på 0,5.

4 Scenarier

4.1 Basisscenari

Modellen er kørt i 31 dage, hvor der er opstået stationære forhold, og magasineringen i de overfladiske dræn er konstant efter 2 dage. Værdierne udtrykket af vandbalance værktøjet i MIKE SHE svarer til niveauer, som kan beregnes i hånden.

Proces	Værdi	Bemærkning
Nedbør	~ 2,0 mm/døgn	
Fordampning fra bladarealet	~ 0,9 mm/døgn	
Reduceret nedbør passeret bladarealet	~ 1,1 mm/døgn	
Til overfladisk drænstrømning	~ 0,55 mm/døgn	Svarende til 50% af reduceret nedbør
Magasinerings i "dræn"	~ 0.12 mm	Konstant efter få dage
Vand på terræn	~ 0 mm	Alt vandet infiltrerer
Vand til UZ	~ 0,55 mm/døgn	Svarende til 50% af reduceret nedbør
Transpiration fra UZ rodzone	~ 0,2 mm/døgn	Svarende til Epot - ETplante
Grundvandsdannelse	~ 0,35 mm/døgn	0,55-0,2 mm/døgn

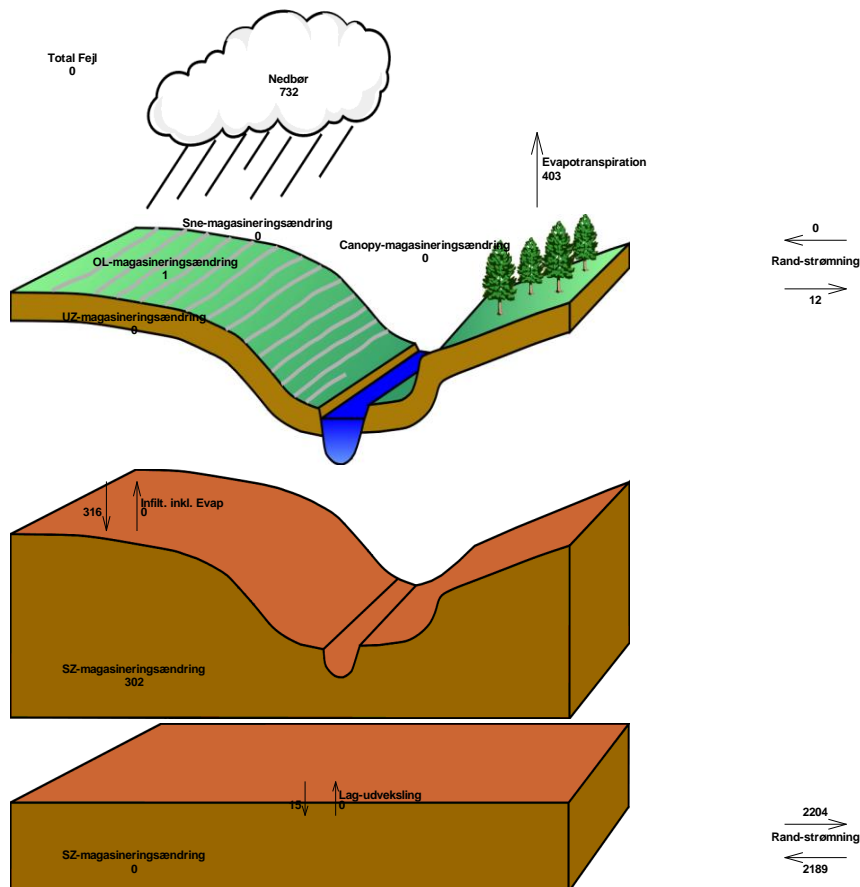


4.2 Sceneri 2 – Lav inflow tidskonstanten

I stedet for "Instantaneous drain inflow" sættes en meget lav en inflow tidkonstant på $1 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$, som vil resultere i vand på terræn. Modellen er kørt i 12 mdr.

Drænafstrømning er meget lav, da inflow tidkonstanten er sat meget lav. Vandet bliver på terræn, og udsættes for fordampning (0,2 mm/døgn) og infiltration svarende til den maksimale infiltration til umættet zone.

Proces	Værdi	Bemærkning
Nedbør	~ 2,0 mm/døgn	Konstant
Fordampning fra bladarealet	~ 0,9 mm/døgn	Konstant
Reduceret nedbør passeret bladarealet	~ 1,1 mm/døgn	Konstant
Fordampning fra vand på terræn	~ 0,2 mm	
Traditionel afstrømning	~ $3,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm/døgn}$	
Overfladisk drænstrømning	~ $4,18 \cdot 10^{-4} \text{ mm/døgn}$	
Magasinerings i "dræn"	~ 0.0 mm	Meget lidt
Vand på terræn	~ < 0,15 mm	Overfladisk afstrømning, når vand på terræn er mere end 0,15 mm
Vand til UZ	~ 0,864 mm/døgn	Maks infiltration
Transpiration fra UZ rodzone	~ 0 mm/døgn	Hele Epot er brugt
Grundvandsdannelse	~ 0,864 mm/døgn	UZ mindskes da vandstanden stiger i lag 1



Akkumuleret vandbalance fra 01-01-2000 til 01-01-2001. Datatype : Storage depth [millimeter].
 Flow-resultatfil : E:\Projects\2051011Befæstelse_cells2lag_WB2.she - Result Files\Befæstelse_cells2lag_WB2
 Titel : Tekst

4.3 Sceneri 3 – høj inflow tidskonstant

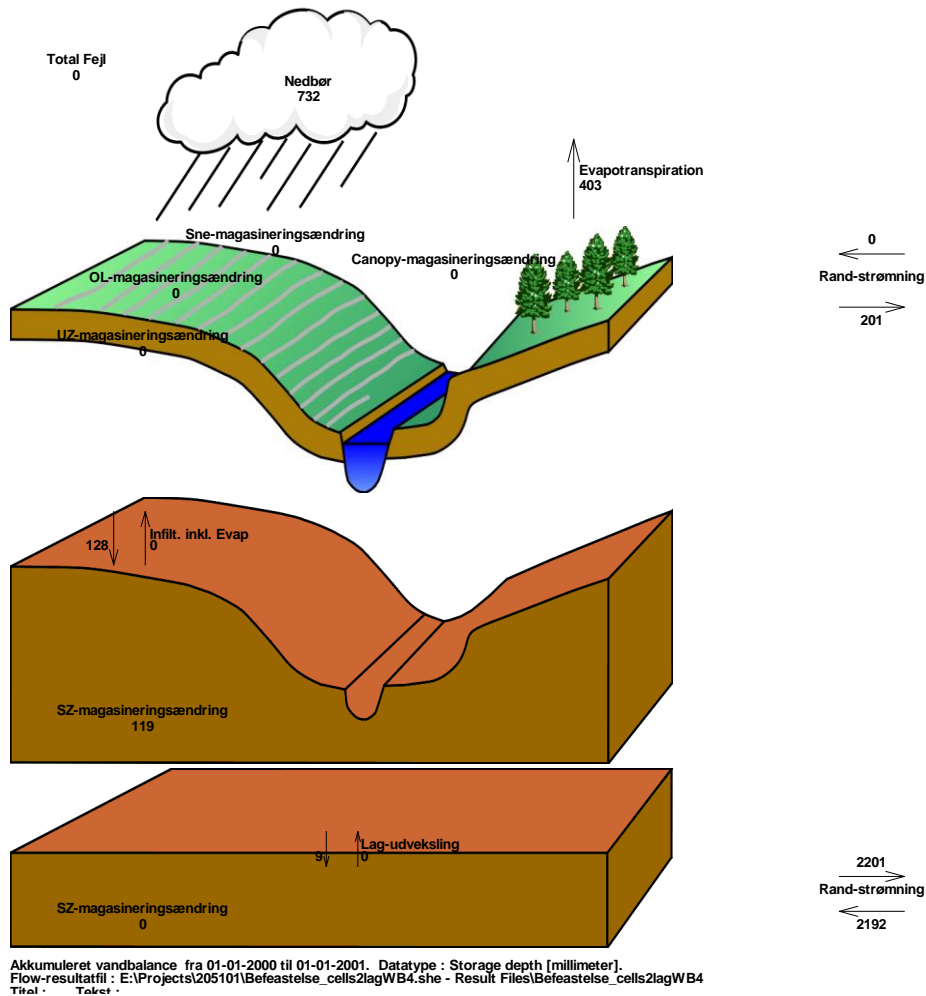
Svarende til scenarie 2, men nu sættes inflow tidkonstanten til $1 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, og der sker et skift, så overfladisk afstrømning igen er størst, mens den traditionelle afstrømning er nul. Der fordampes dog forsat 0,2 mm/døgn vand på terræn. I slutningen af et tidskridt er alt vandet på terræn væk.

Proces	Værdi	Bemærkning
Nedbør	~ 2,0 mm/døgn	Konstant
Fordampning fra bladarealet	~ 0,9 mm/døgn	Konstant
Reduceret nedbør passeret bladarealet	~ 1,1 mm/døgn	Konstant
Fordampning fra vand på terræn	~ 0,2 mm/døgn	
Traditionel afstrømning	~ 0 mm/døgn	
Overfladisk drænstrømning	~ $3,6 \cdot 10^{-2}$ mm/døgn	
Magasineret i "dræn"	~ 0,0 mm	Meget lidt
Vand på terræn	~ 0 mm	
Vand til UZ	~ 0,864 mm/døgn	Maks infiltration
Transpiration fra UZ rodzone	~ 0 mm/døgn	Hele Epot er brugt
Grundvandsdannelse	~ 0,864 mm/døgn	UZ mindskes da vandstanden stiger i lag 1

4.4 Sceneri 4 – Lav hydraulisk ledningsevne

For jordprofilen reduceres den mættede hydrauliske ledningsevne fra $1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ til $5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ (~0,432 mm/døgn) og andre parametre er som basisscenariet. Dette reducerer infiltrationen.

Proces	Værdi	Bemærkning
Nedbør	~ 2,0 mm/døgn	Konstant
Fordampning fra bladarealet	~ 0,9 mm/døgn	Konstant
Reduceret nedbør passeret bladarealet	~ 1,1 mm/døgn	Konstant
Fordampning fra vand på terræn	~ 0,118 mm/døgn	Alt vand på terræn er fjernet
Traditionel afstrømning	~ 0 mm/døgn	
Overfladisk drænstrømning	~ 0,55 mm/døgn	
Magasineret i "dræn"	~ 0,127 mm	Konstant efter få dage
Vand på terræn	~ 0 mm	
Vand til UZ	~ 0,432 mm/døgn	Maks infiltration
Transpiration fra UZ rodzone	~ 0,082 mm/døgn	
Grundvandsdannelse	~ 0,35 mm/døgn	UZ mindskes da vandstanden stiger i lag 1



5 Opsummering

Rækkefølgen af beregningen af processerne har stor betydning for forståelse af resultaterne. Men en vigtig observation er, at fordamning fra bladarealet fortsat er aktiv i områder med befæstede arealer og man kan overveje at reducere C_{int} til en lavere værdi i områder med høj befæstelsesgrad. Evt. sætte værdien til 0 mm.

Ligeledes kan det være hensigtsmæssigt at reducere infiltrationskapacitet i områder med høj befæstelsesgrad enten via jordprofillet eller endnu bedre ved at anvende "Surface-Subsurface Leakage Coefficient" til at reducere infiltrationen i områder med høj befæstelsesgrad.

6 References

DHI. (2023). *MIKE SHE User Guide and Reference Manual*. DHI.

Rambøll. (2006). *Hydrogeologisk model for København og Frederiksberg. Opstilling og anvendelse af en integreret hydrogeologisk model*. København og Frederiksberg: Rambøll.

Usikkerheder i grundvandsmodelberegninger

Som en del af Fyn pilotprojekt er der afholdt workshop og opfølgende undersøgelser for at afdække emner der kan have betydning for sikkerheden af modelberegninger i forhold til 3D grundvandsdannelse



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk