

National Vandressource Model

Sjælland, Lolland, Falster og Møn - Opdatering januar 2008

Anker L. Højberg, Lars Trolborg, Per Nyegaard, Maria Ondracek,
Simon Stisen, Britt S. B. Christensen & Anette Nørgaard



National Vandressource Model

Sjælland, Lolland, Falster og Møn - Opdatering januar 2008

Anker L. Højberg, Lars Trolborg, Per Nyegaard, Maria Ondracek,
Simon Stisen, Britt S. B. Christensen & Anette Nørgaard

Indhold

1.	Resumé	5
2.	Introduktion	10
2.1	Formål med modelarbejdet.....	10
2.2	Modelbenyttelse	11
2.3	Beskrivelse af modelområdet	13
2.3.1	Grundvandsmagasiner	14
3.	Hydrogeologisk tolkningsmodel	18
3.1	Hydrostratigrafisk model (antagelser om reservoirforhold)	18
3.2	Hydrologiske afgrænsninger (randbetingelser).....	24
3.2.1	Modeloverflade, dræn og vandløb	25
3.2.2	Vandudveksling mellem grundvand og vandløb (indre randbetingelser)	25
3.2.3	Ydre modelrande	26
3.3	Hydrauliske størrelser.....	26
3.4	Vandbalanceforhold.....	28
3.5	Indvindingsforhold	30
3.6	Samlede vandbalance	32
4.	Modelsystem	34
4.1	Overfladisk afstrømning.....	34
4.2	Grundvandsstrømning	35
4.3	MIKE 11.....	37
4.4	Beregning af nettonedbør	38
5.	Modelopstilling	41
5.1	Diskretisering.....	41
5.2	Nettonedbør og fordeling til grundvand/overfladevand	42
5.3	Vandløb og Søer	48
5.4	Indvindinger	56
5.5	Numeriske parametre	62
6.	Kalibreringsstrategi og data	63
6.1	Kalibreringsprocedure	63
6.2	Valg og bearbejdning af potentialer og afstrømningsdata	64
6.2.1	Databehandling - potentialer	64
6.2.2	Databehandling - afstrømningsdata.....	66
6.2.3	Performance kriterier - potentialer	68
6.2.4	Performance kriterier - afstrømningsdata	71
6.2.5	Samlet kalibreringsmål	72
6.3	Valg af kalibreringsparametre.....	75

7.	Kalibrerings- og valideringsresultat	78
7.1	Kalibreringsresultat	78
7.1.1	Kvantitativ vurdering af kalibreringsresultat.....	80
7.1.2	Kvalitativ vurdering af kalibreringsresultat.....	83
7.2	Valideringsresultat.....	92
7.2.1	Validering af model for Sjælland	92
7.2.2	Proxy-basin test af model for Lolland, Falster og Møn	97
8.	Simuleringer	107
9.	Referencer	111
9.1	Internetsider	112

Bilag

1. Resumé

DK-modellen	<p>Det overordnede formål med den nationale vandressource model (DK-model) er at udvikle en landsdækkende vandressource model, der kan danne grundlag for en vurdering af Danmarks samlede tilgængelige drikkevandsressource, herunder dennes tidsmæssige variation og regionale fordeling.</p> <p>Den første version af DK-modellen blev afrapporteret i 2003 med Ferskvandets Kredsløb (Henriksen & Sonnenborg, 2003). I perioden 2005 – 2009 undergår DK-modellen en omfattende opdatering, der sker i et samarbejde mellem GEUS og de syv statslige miljøcentre. Den nationale Vandressource Model er opdelt i syv delmodeller og denne rapport beskriver den opdaterede model for Sjælland samt den opdaterede model for Lolland, Falster og Møn.</p>
Model system	<p>Modellen er opstillet i modelsystemet MIKE SHE / MIKE 11, der udgør et deterministisk fuldt distribueret og fysisk baseret modelkompleks til simulering af de væsentligste strømnings-processer af det hydrologiske kredsløb på landfasen. Nettonedbøren er ikke beregnet integreret i MIKE SHE, men derimod beregnet ved et simpelt rodzone modul.</p>
Hydrostratigrafisk model	<p>Et væsentligt led i opdateringen har været en detaljering af den hydrostratigrafiske tolkning. Under denne opdatering er det søgt tilstræbt, at indbygge såvel eksisterende lokalmodeller samt øvrig geologisk viden, der blev oparbejdet i danske amter inden deres nedlukning med strukturreformen i 2007. Opdateringen af den hydrostratigrafiske model er foretaget af GEUS mens miljøcentret har forestået en kvalitetssikring af, hvorvidt de ønskede lokalmodeller er indbygget tilfredsstillende i den opdaterede model. Opdateringen er kun foretaget i de områder, hvor der eksisterede en lokalmodel før amternes nedlukning. Der er således ikke foretaget en gentolkning for hele modelområdet.</p> <p>Den hydrostratigrafiske model beskriver udbredelsen samt tykkelserne af hhv. høj- og lavpermeable hydrostratigrafiske enheder. Modellen består af fire gennemgående lag (fra topografi og ned): Toplag (bestående af sand, opsprækket ler samt tørv/andet). Ler med indslag af sandlegemer i fire niveauer. Paleocæn og Eocæn ler/mergel samt Senon, Danien og Paleocæn kalk i bunden. Grundvandsmagasinerne udgøres af kalk samt sandlegemerne. Kalken findes i hele området, men er saltholdigt i de dybereliggende dele. Udbredelsen af de Kvar-tære sand- og gruslag varierer, hvor den største horisontale udbredelse findes for de dybereliggende sandlegemer.</p>
Diskretisering	<p>Under modelopstillingen er det udnyttet, at MIKE SHE giver mulighed</p>

for at anvende forskellige opløsninger af den geologiske og den numeriske model. For at udnytte opløsningen i de tidligere amts modeller optimalt, er der anvendt en horisontal diskretisering i den geologiske model på 100x100 m. Denne opløsning er det dog ikke praktisk muligt at anvende for den numeriske model, hvorfor der her er anvendt en horisontal diskretisering på 500x500 m, mod de 1x1 km der blev anvendt i den første version af DK-modellen.

Overfladevands-systemet	Modellen er en integreret grundvands-/overfladevandsmodel, med en direkte kobling mellem de to systemer. Under opdateringen er overfladevandssystemet konverteret til modelkoden MIKE11, og der er i denne forbindelse indhentet eksisterende MIKE11 opsætninger samt vandløbsopmålinger for beskrivelse af vandløbenes fysiske udformning. Mens der således opnås en detaljeret beskrivelse af vandløbene, er der anvendt en simpel beskrivelse for søer, der er indlagt som brede vandløbstværsnit. Denne løsning er begrundet i modeltekniske årsager, hvor en detaljeret beskrivelse af søerne vil medføre signifikant længere simuleringstider. Den simple løsning for søerne medfører, at der ikke tages hensyn til søernes reservoir virkning, ligesom den regulering, der finder sted ved udløbene fra mange af søerne, ikke beskrives. Modellen vil derfor ikke være egnet til en detaljeret beskrivelse af dynamikken i og tæt ved søerne samt udvekslingen mellem søer og grundvand.
Overfladisk Afstrømning	På grund af den anvendte skala for den numeriske model, vil der ske en udjævning af den topografiske variation. Denne udjævning vil medføre en mindre overfladisk/overfladenær afstrømning. Tilsvarende vil områder med befæstede arealer påvirke andelen af nedbør som infiltrere. Der er derfor anvendt en såkaldt UZ-dummy, der angiver hvor stor en fraktion af nettonedbøren, der siver direkte ned til den mættede zone og hvor stor en fraktion der er tilrådighed for overfladisk afstrømning. Denne UZ-dummy er beregnet på gridniveau på basis af den topografiske variation og andelen af befæstet areal indenfor det numeriske grid.
Udledninger	Data om udledninger fra renseanlæg og afværgeforanstaltninger er indhentet fra amterne. Samtlige udledninger er indlagt som MIKE11 randbetingelse i modellen.
Nettonedbør	Som input til rodzone modulet er der anvendt døgnværdier for nedbør, potentiel fordampning samt temperatur baseret på DMIs klimagrid. Frem til 1998 er der anvendt 40x40 km klimagrid fra DMI, mens der fra 1999 og frem er anvendt en opløsning på 10x10 km for nedbør, samt 20x20 km for temperatur og fordampning. Som anbefalet i Plaugborg (2002) er nedbørsdata korrigeret på månedsniveau, mens fordampningen er beregnet på basis af Makkink. Der er genereret fire nettonedbørsserier repræsenterende nettonedbør for sand, ler, skov og vådområder.

Indvindinger	<p>Indvindinger indlagt i modellen er trukket ud fra JUPITER, hvor de er lagret på anlægsniveau. Samtlige anlæg er medtaget i modellen, hvor indvindingen er fordelt ud på indtagsniveau. For anlæg med mere end ét indtag er det antaget, at indvindingen er ligelig fordelt mellem anlæggets aktive indtag. Alle indvindinger er indlagt med årlige værdier.</p>
Hydrauliske Parametre	<p>Under modelopstillingen er det tilstræbt at anvende så få parametre som muligt. Dette er dels begrundet i et ønske om at holde modellen så gennemskuelig som muligt, samt for at undgå en overparameterisering. Det er derfor antaget, at de hydrauliske parametre for sammenlignelige kvartære aflejringer er ens. Det betyder, at der er anvendt én hydraulisk ledningsevne for samtlige kvartære sandendheder, og én hydraulisk ledningsevne for lerendhederne. Undtagelse herfra er de øverste tre meter, hvor leret er antaget at have en højere hydraulisk ledningsevne end det øvrige ler, pga. tilstedeværelsen af sprækker. Variation i transmissiviteten indenfor de kvartære aflejringer er således alene distribueret jf. variationen i tykkelserne for de enkelte hydrostratigrafiske enheder.</p> <p>Den hydrauliske ledningsevne for kalken er i stor grad styret af densiteten af sprækker og varierer markant. Det er derfor valgt at anvende en distribueret hydraulisk ledningsevne, hvor den rumlige fordeling er estimeret på basis af prøvepumpningsdata og specifik ydelsesdata fra JUPITER databasen.</p>
Kalibrering	<p>Modellen for Sjælland er kalibreret ved en kombination af invers og trial-and-error kalibrering. De hydrauliske ledningsevner er kalibreret inverst ved anvendelse af en stationær version af modellen, mens de dynamiske parametre er kalibreret ved trial-and-error på basis af dynamiske kørsler. Som kalibreringsmål er der anvendt et middel grundvandspotentialer for 1990 - 2005 samt daglig afstrømningsdata for udvalgte vandløbsstationer for den treårige periode 2000 - 2002. Som kalibreringskriterier er der anvendt RMS for potentialer samt vandbalancefejl og Nash-Sutcliffe (R^2) for vandløbsafstrømningen. Modellen er en storskala model med det primære formål at vurdere vandbalancen og grundvandsdannelse på storskala. Under modelkalibreringen er der derfor lagt større vægt på at opnå en tilfredsstillende vandbalance end på simuleringen af sommervandføringerne.</p> <p>For modellen for Lolland, Falster og Møn er der anvendt en proxy-basin test. Dvs. de optimerede parameterværdier fra modellen for Sjælland blev overført uden yderligere justeringer til modellen for Lolland, Falster og Møn.</p>
Validering/test	<p>Modellen for Sjælland er valideret ved en split-sampling test, hvor data for perioden 2003 – 2005, der ikke blev anvendt under kalibreringen,</p>

er benyttet til at teste modellens prædiktive evne.

I proxy-basin testen for Lolland, Falster og Møn er der anvendt observationsdata for hele perioden 2000 – 2005.

Vurdering af modellen

Begge modeller er i stand til at reproducere vandløbsafstrømning og potentialer indenfor de kriterier, der blev opstillet forud for kalibreringen. Modellerne vurderes således at være egnede til en beskrivelse af den overordnede vandbalance på stor skala.

Som led i modelopbygningen er der sket en omfattende opdatering af den hydrostratigrafiske model samt vandløbsbeskrivelsen. Modellen vurderes derfor, at være det p.t. bedste bud på en samlet hydrogeologisk tolkningsmodel på den givne skala for de to modelområder, og er således et unikt udgangspunkt for nye modelopstillinger. Det anvendte princip om færrest mulige kalibreringsparametre betyder imidlertid, at modellen ikke vil være tilpasset lokalspecifikke forhold. Ved anvendelse af modellen til lokale problemstillinger, anbefales det derfor, at der foretages en indledende vurdering af modellens evne til at reproducere de relevante variable (f.eks. minimum/maksimum afstrømning) for fokusområdet, eventuelt efterfulgt af en rekalkibrering for en bedre tilpasning af de lokale forhold.

Vandbalance problemer

Den første version af DK-modellen indikerede, at der var væsentlige problemer mht. at få vandbalancen til at gå op. På basis af modelsimuleringer blev det fundet, at det var nødvendigt at korrigere den beregnede nettonedbør. På trods af en overgang til Makkink fordampning samt anbefalingerne i Plauborg (2002) har det med den opdaterede model ikke været muligt at lukke vandbalancen. Det har således stadig været nødvendigt med en korrektion af nettonedbøren, dog er den nye korrektion væsentlig mindre end for den tidligere model.

Videreudvikling

Under modelkalibrering og -validering blev det konstateret, at modellen for flere vandløb har problemer med simulering af de lave sommervandføringer samt dynamikken i den tørre del af året. Dette er ikke specielt kritisk for en vurdering af den overordnede vandbalance, men kan være problematisk ved en vurdering af eksempelvis indvindings påvirkning vandløbsafstrømningen, hvor det ofte er de lave sommervandføringer der er i fokus. For at opnå en bedre beskrivelse af vandløbsdynamikken vurderes det nødvendigt at revurdere det anvendte modelkompleks, specielt beskrivelsen af den umættede zone, den overfladenære afstrømning samt inddragelse af sommervandføringer direkte som kalibreringsmål. Endvidere vurderes det, at en optimal vandløbsbeskrivelse kun kan opnås ved i højere grad at tage højde for lokalspecifikke forhold med fokus på beskrivelse af ånære områder, hvorved det forventes nødvendigt at foretage en distribuering af nogle af de anvendte hydrauliske parametre.

2. Introduktion

I NOVANA programmet 2004 – 2009 er der indskrevet, at der skal etableres en hydrologisk modellering af vandbalancen og grundvandsdannelsen på overordnet oplandsniveau (vandområdedistrikt) og på national skala, som opdateres årligt med nye klimadata og vandindvindingsdata. Til løsning af denne opgave, blev der i 2005 etableret et samarbejde mellem GEUS og de danske amter, hvor den eksisterende DK-model opdateres. Efter strukturreformen i 2005 har de syv miljøcentre overtaget amternes rolle, og den efterfølgende opdatering er således sket i et samarbejde mellem GEUS og de syv miljøcentre.

I forbindelse med amternes nedlæggelse ved strukturreformens ikrafttrædelse har der været meget fokus på, hvordan informationerne om det hydrologiske system, som er oparbejdet i de enkelte amter, kan sikres i den nye struktur. Dette gælder såvel en central lagring af hårde data, men i særdeleshed også overførelsen af viden, der ikke umiddelbart lader sig lagre digitalt. I denne forbindelse har opdateringen af DK-modellen spillet en central rolle, bl.a. gennem opdateringen af den geologiske model, der er baseret på den opdaterede viden om de geologiske forhold, som amterne har opnået igennem de senere års intensive kortlægning. Et centralt emne i den nuværende opdatering af DK-modellen har således været at indsamle denne geologiske viden. Dette er sket gennem en seminarrække mellem GEUS og de enkelte amter, hvor amternes geologiske og hydrogeologiske modeller er blevet gennemgået, og det er diskuteret hvordan amternes geologiske forståelse bedst repræsenteres i den opdaterede model.

Et af formålene med DK-modellen er, at den skal være en national hydrologisk reference-ramme, der bl.a. vil kunne anvendes som afsæt ved opstillingen af detailmodeller. Det har derfor været tilstræbt at amternes geologiske forståelse i videst muligt omfang er repræsenteret i den opdaterede model. Pga. skalaforholdene har det dog ikke altid været muligt at medtage lokale detaljerede geologiske beskrivelser. For at kunne danne grundlag for en videre detaljering af den geologiske model, har der endvidere været fokus på, at den geologiske model skulle være så gennemskuelig som muligt. Dette har betydet, at den geologiske opdatering er baseret på den geologiske forståelse, mens evt. hydrogeologiske zoneringer foretaget i forbindelse med tidligere modelopstillinger ikke er tilgodeset. Den manglende repræsentation af hydrogeologiske zoner er vurderet ikke at have signifikant betydning for simuleringen af den nationale/regionale vandbalance, men skal ikke tages som udtryk for at disse zoner er vurderet som irrelevante for en detailmodellering.

I nærværende rapport beskrives opstilling, kalibrering og validering af den opdaterede DK-model for delmodellerne dækkende hhv. Sjælland samt Lolland, Falster og Møn. Opdatering af den geologiske model bliver afrapporteret i en samlet rapport for hele landet.

2.1 Formål med modelarbejdet

Det overordnede formål er en opdatering af den eksisterende DK-model (Henriksen og Sonnenborg, 2003) så den opfylder kravene defineret i den tekniske anvisning "Teknisk

Formålene for modellen er således:

- At etablere en storskala vandressourcemodel til modellering af vandbalancen og grundvandsdannelsen på overordnet oplandsniveau.
- At belyse grundvandsressourcens størrelse og udnyttelsesgrad på grundvandsforekomstniveau under hensyn til klima, arealanvendelse, vandindvindingsstrategi, grundvandskvalitet og vandløbspåvirkning.
- At kunne udpege overordnede grundvandsoplande og hydrologiske rammebetingelser for indsatsområder.
- At kvalitetssikre data mod inkonsistens ved integration af data og feedback til konceptuelle modeller og inputdata til vandbalancen.
- At udgøre en hydrologisk referencemodel på nationalt niveau, hvorfra der kan udtrækkes randbetingelser samt en overordnet konceptuel model, der kan anvendes som udgangspunkt i forbindelse med modellering på mindre skala.

De specifikke formål for opdateringen er:

- *Opdatering af den geologiske model.* Siden udviklingen af den første version af DK-modellen er amternes geologiske viden blevet væsentligt opdateret i forbindelse med gebyrkortlægning og indsatsplanlægning. Geologien i den eksisterende DK-model opdateres derfor ved en sammentolkning med amternes geologiske modeller samt geologisk viden i øvrigt. For at kunne honorere opløsningen af de tidligere geologiske modeller, er den sammentolkede geologiske model opstillet i 100x100 m grid.
- *Detaljeret af beregningsmodel.* Den horisontale diskretisering reduceres fra 1x1 km² i den første version til 500x500 m² grid celler. Indvindinger indlægges på boplingsniveau, hvor den tidligere var repræsenteret på anlægsniveau. Endelig sker der en opdatering af vandløbssetup'et, hvor der sker en detaljering mht. medtagne vandløb og udledninger hertil, ligesom alle vandløb beskrives vha. Mike 11.
- *Sikre integritet på tværs af oplands- og administrative skel.* For at opnå en ensartet opgørelse af ressourcen på nationalt niveau, skal det sikres at der er integritet på tværs af delområderne mht. den geologiske tolkning, anvendte hydrologiske parametre og de tilgrundliggende input data.
- *Skabe konsensus om modellens gyldighed (anvendelsesområde) og troværdighed.* Anvendelsen som en hydrologisk referencemodel på nationalt niveau betinger at der opnås konsensus om, hvad modellen kan anvendes til, og på hvilken skala modellen kan anvendes. Denne konsensus skal opnås gennem et samarbejde mellem GEUS og amterne (nu Miljøcentre).

2.2 Modelbenyttelse

Målet for modellen er at opnå en simulering af det hydrologiske kredsløb på national/regional skala, med særlig vægt på grundvandssystemet. På baggrund af opdaterede data om indvindingsforhold samt klimaforhold skal modellen simulere vandbalancen og grundvandsdannelsen på overordnet oplandskala, der skal anvendes til vurdering af den

kvantitative status af grundvandsressourcen, som beskrevet i NOVANA programmet 2004 – 2009. For en opgørelse af den udnyttelige grundvandsressource, er det imidlertid ikke tilstrækkeligt at se på en simpel vandbalance for grundvandssystemet, idet der skal tages hensyn til flere faktorer. Disse faktorer inkluderer bl.a. indvindingerne påvirkning af det hydrologiske system, f.eks. påvirkning af vandløbsafstrømningen og grundvandssænkninger, samt begrænsninger i den udnyttelige vandressource som følge af områder med dårlig vandkvalitet og/eller dårlige indvindingsforhold.

Modellen skal derfor være i stand til at beskrive de væsentligste elementer af vandkredsløbet på landfasen og kunne kvantificere betydningen af ændringer i de fysiske forhold, såsom indvindingsstrategi og klima. Det er således vigtigt, at der ikke udelukkende fokuseres på grundvandssystemet, men at hele vandkredsløbet på landfasen betragtes samlet. Under konstruktionen af modellen er der derfor lagt vægt på at opnå en så fysisk korrekt beskrivelse af grundvandsmagasinsystemet (3D) og interaktionen mellem grundvand og overfladevand som muligt. Modellen skal på regionalt niveau kunne belyse relationer mellem konkrete grundvandsmagasiner og de arealer som bidrager til grundvandsdannelsen til disse. Det skal være muligt at belyse ændringer i vandføring samt potentialeforhold som følge af ændret oppumpning ved større kildepladser samt ændrede klimaforhold.

I den rapporterede version af modellen, er det valgt at beregne nettonedbøren med det rodzonemodul, der blev udviklet under den første version af DK-modellen. Rodzonemodulet viste sig velegnet til at beskrive fordeling af nettonedbøren mellem hurtig horisontal afstrømning og grundvandsdannelse på stor skala. Det blev derfor vurderet tilstrækkelig som grundlag for storskalaberegninger af grundvandsdannelse til de magasiner hvorfra betydelig vandindvinding finder sted. Modulet har dog sine begrænsninger. En væsentlig begrænsning er, at modulet ikke er koblet direkte til den øvrige modelkode, hvorved der ikke er en direkte kobling mellem den umættede og den mættede zone. Dette har specielt betydning, hvor grundvandsstanden er tæt på terræn, da den aktuelle fordampning vil være afhængig af de aktuelle vandindhold i de øvre jordlag. Da disse forhold ikke beskrives med rodzonemodulet, kan det ikke forventes, at modulet vil kunne beskrive den rumlige fordeling af nettonedbøren detaljeret. Mens dette vil have mindre betydning for bestemmelsen af grundvandsdannelsen til de dybereliggende magasiner, kan det have stor betydning for de terrænnære forhold, og derved også for beskrivelsen af udvekslingen mellem grundvand og overfladevand. Den manglende kobling mellem den umættede og mættede zone betyder i øvrigt, at et evt. feed back fra f.eks. afsenkning af grundvandspejlet som måtte påvirke fordampningen ikke kan håndteres umiddelbart. Ved detaljerede undersøgelser kan det således være nødvendigt at benytte en alternativ beskrivelse af den umættede zone, og under projektet med opdatering af DK-modellen testes sådanne alternative beskrivelser af den umættede zone løbende.

Modellen vil kunne anvendes i forvaltningsøjemed ved vurdering af de overordnede forhold, som screeningsværktøj samt som hydrologisk referenceramme for videre detailstudier. Modellen er en storskala model og er ikke opstillet eller testet med henblik på anvendelse til fx modelstudier i forbindelse med udarbejdelse af indsatsplaner for grundvandsbeskyttelse (typisk detailstudier af indvindings-oplande, infiltrationsområder og nitratudvaskning) eller til studier af forureningsspredning fra lossepladser og depoter. Modellen kan derfor ikke forventes at være velegnet til sådanne detailstudier på mindre skala. Under modelop-

bygningen er der dog lagt vægt på, at modellen skal kunne anvendes som udgangspunkt for detailstudier. Et gennemgående princip har derfor været, at opbygge modellen så gennemskuelig som muligt, hvilket bl.a. betyder, at der er anvendt færrest mulige modelparametre. Endvidere er det valgt at indbygge input data med størst mulig detaljering. Dette betyder, at input data i flere tilfælde vil være beskrevet mere detaljeret end nødvendigt for modellens formål, men dette giver større mulighed for at anvende dele af modellen i forbindelse med detaljerede modelstudier. Dette gør sig blandt andet gældende for den hydrostratigrafiske model, der ligger i en 100x100 m opløsning, mens den numeriske model har en horisontal opløsning på en 500x500 m. Ligeledes er der sket en detaljering mht. klimadata samt beskrivelse af vandløb og indvindinger.

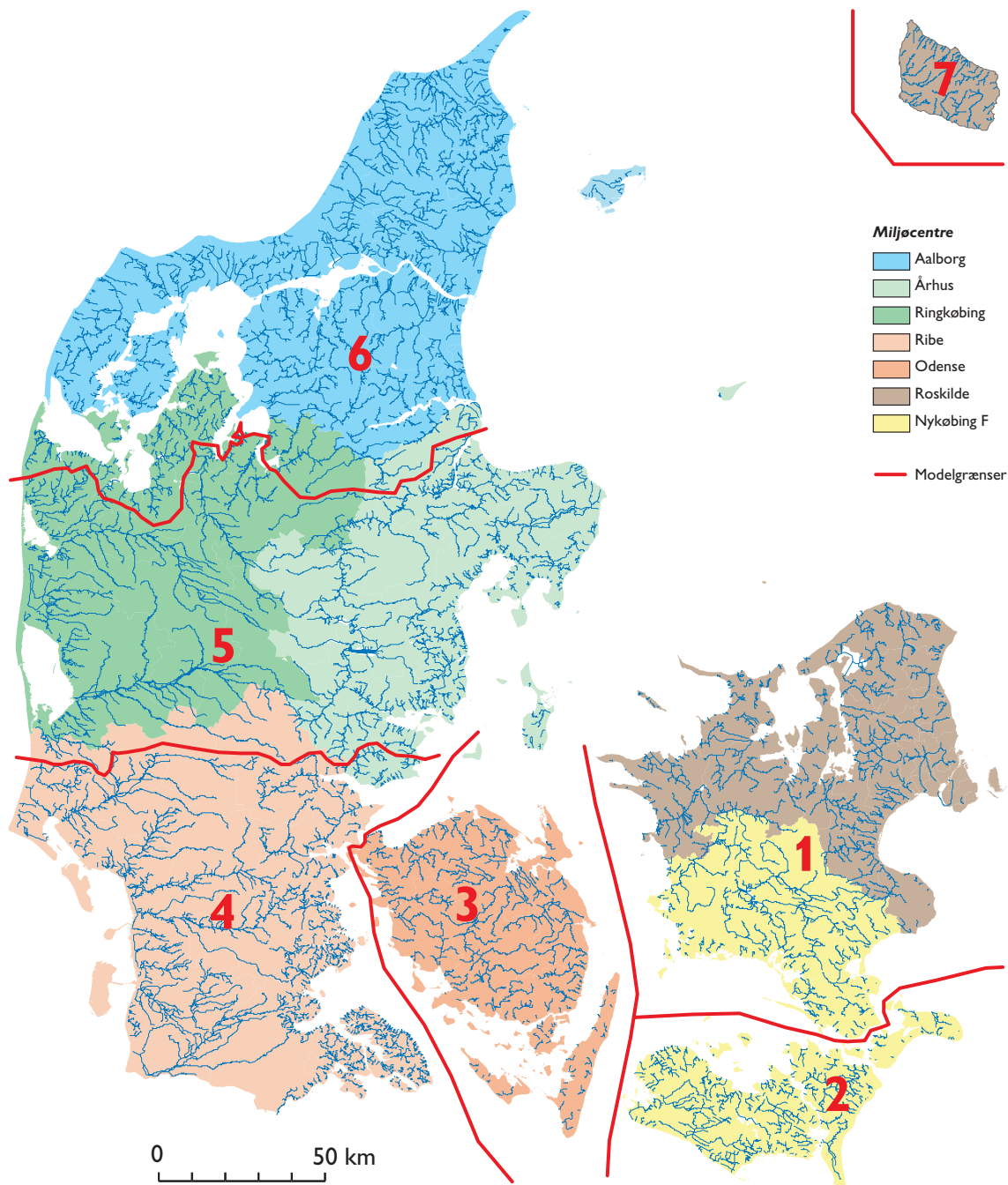
Som grundlag for opbygning af DK-modellen er MIKE SHE/ MIKE 11 systemet valgt (Refsgaard og Knudsen, 1996; Abbott et al. 1986a,b; Havnø et al., 1995). MIKE SHE/ MIKE 11 er et deterministisk og fysisk baseret fuldt distribueret modelkompleks, som beskriver de væsentligste strømningsprocesser i landfasen af det hydrologiske kredsløb. MIKE SHE kan beskrive afstrømning på jordoverfladen (2D), over og under grundvandspejlet (3D) samt drænvandsafstrømning (2D), mens MIKE 11 giver en 1D beskrivelse af vandløbsstrømningen.

Opdateringerne af hhv. modellen for Sjælland samt modellen for Lolland, Falster og Møn sker som led i en samlet opdatering af DK-modellen for hele landet. Den endelig opdaterede DK-model vil danne basis for vurdering af den samlede nationale ressource, der skal ske på basis af en vurdering af, hvor stor påvirkning af naturen der kan accepteres som konsekvens af grundvandsindvindingen. I forbindelse med Ferskvandets kredsløb blev der udarbejdet fire indikatorer og model scenarie kørsler til vurderingen af den udnyttelige ressource på nationalt niveau. Disse indikatorer vil blive videreudviklet og danne baggrund for vurdering af den udnyttelige ressource på baggrund af den opdaterede model. Udviklingen af indikatorer samt model scenarier vil blive rapporteret særskilt, og er således ikke medtaget i nærværende rapport.

2.3 Beskrivelse af modelområdet

Den opdaterede version af DK-modellen er opdelt i 7 delmodeller som illustreret på Figur 1. Modelområde 1 omfatter Sjælland samt Amager, mens model område 2 dækker Lolland, Falster og Møn. Område 1 dækker således hele Miljøcenter Roskilde, samt dele af Miljøcenter Nykøbing Falster, mens område 2 dækker den resterende del af Miljøcenter Nykøbing Falster. Nærværende rapport beskriver både modelområde 1 og 2.

Begge modelområder er afgrænset mod hav langs hele periferien, hvor der er defineret en rand i havet 2,5 km fra kysten. Modelområde 1 dækker et samlet land areal på 7163 km² inklusiv Amager, mens landarealet for modelområde 2 (Lolland, Falster og Møn) er på 2041,5 km².



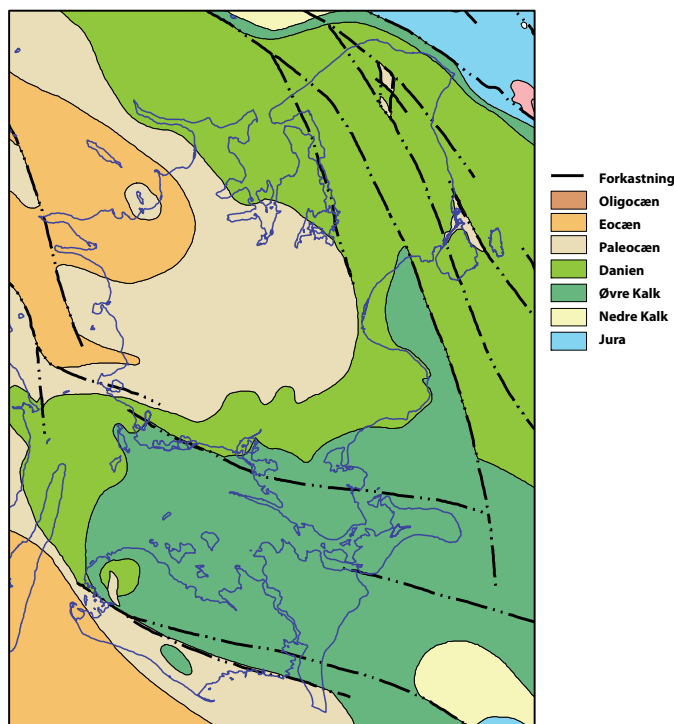
Figur 1. Afgrænsning af de syv delmodeller indeholdt i den opdaterede DK-model samt grænser for de syv miljøcentre.

2.3.1 Grundvandsmagasiner

De vigtigste prækvartære grundvandsmagasiner findes i skrivekridt fra Øvre Kridt samt af Danien kalk og Lellinge grønsand fra Paleocæn, Figur 2. Skrivekridtet kan nå mægtigheder på mellem 300 og 600 meter og Danien Kalken har en maksimal tykkelse på knapt 200 meter. Lellinge Grønsand er en kystnær facies af samme alder som den nederste del af Kerteminde Merglen, og består af kalksandede og merglede facies med varierende hærdnings-/cementeringsgrad. Tykkelsen af Lellinge Grønsand når op til 30 m på Roskilde–

Holbæk egnen. Kerteminde Mergel er typisk en blød siltet mergel, men inkluderer også kalkstens- og lerstenslignende facies. Kerteminde Mergel og Lellinge Grønsand kan veksle mellem hinanden. Aflejringen af Kerteminde Mergel er sket i et roligt miljø, hvor havdybden var større end under aflejringen af Lellinge Grønsand. Enheden er op til 160 meter tyk, men oftest er tykkelsen væsentlig mindre på grund af erosion. Kerteminde Mergel er ikke fundet på og syd for Ringkøbing-Fyn højderyggen.

I det vestlige Sjælland, hvor kalkformationer overlejres af Kerteminde Mergel, er kalken ofte saltholdig. I dette område er det derfor de kvartære sand- og grusaflejringer der udgør de primære grundvandsmagasiner. I den øvrige del af Sjælland, på Lolland, Falster og Møn har de kvartære sand- og grusaflejringer en mere underordnet betydning, om end de lokalt (Søndersødalen og Alnarp dalen) udgør betydningsfulde grundvandsmagasiner. De kvartære aflejringer udgøres hovedsagligt af smeltevandsand og moræneler, Figur 3, og varierer i tykkelse fra få meter til over 100 meter.



Figur 2. Kort over de prækvartære aflejringer på Sjælland, Lolland, Falster og Møn

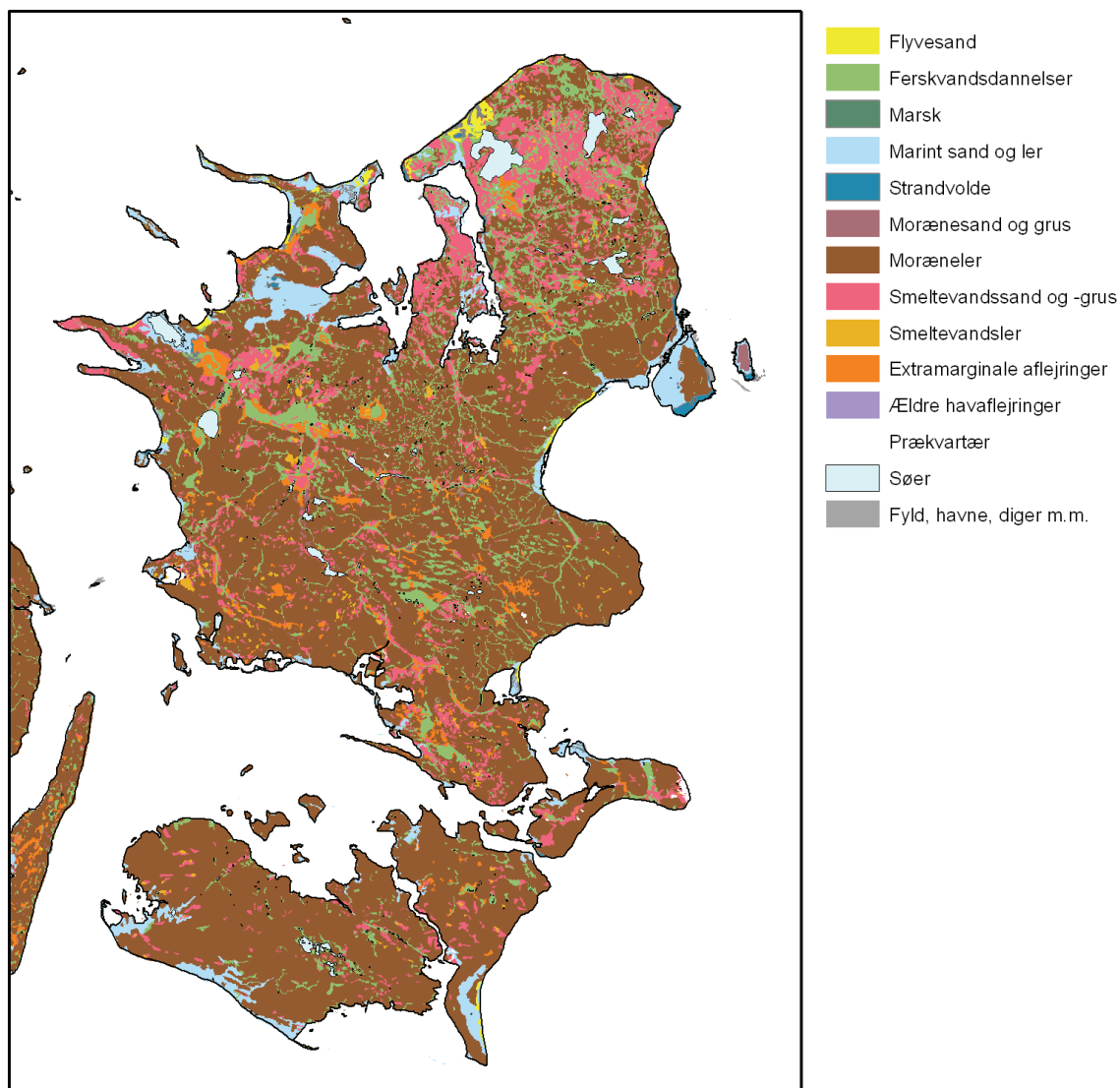
På Sjælland er kalkbjergarterne gennemsat af brudlinier og dalsystemer med tilhørende knusningszoner, hvoraf den mest kendte er Carlsberg forkastningen. Derudover har isens fremrykning i kvartærtiden hen over kalkbjergarterne haft den virkning, at de øverste 3–5 meter kan være stærkt opsprækket. Denne opsprækning af kalken medfører, at reservoierne mange steder er højtydende. De fleste prækvartære reservoier er dækket af moræneler og er oftest artesiske.

Skrivekridt er det primære grundvandsmagasin på det sydlige af Sjælland fra linien Næstved-Faxe og sydpå. Lokalt ved Skælskør og langs Køge Bugt udnyttes skrivekridt sammen med Danien kalk som grundvandsmagasin.

Kalkaflejringerne fra Danien er hovedreservoir på de dele af Sjælland, hvor de ligger direkte under de kvartære aflejringer. På den sydlige del af Sjælland udgøres Danienkalken ofte af bryozokalk og slamkalk, som kan følges ud på Stevns og op til syd for København. I de nordlige dele af Sjælland er kalken udviklet som kalksandskalk. Over den opsprækkede Danienkalk ligger ofte omlejret kalk ("knoldekalk"), som indgår i reservoirerne. I Nordsjælland forekommer store dalsystemer i kalken (Søndersødalen og Alnarpdalen), hvori der findes betydelige forekomster af smeltevandssand og -grus, der indgår i grundvandsmagasinerne.

Lellinge Grønsand er et vigtigt reservoir i den centrale del af Sjælland ved Ringsted-Haslev-Fuglebjerg samt lokalt i Odsherred, ved Havnsø, Korsør, Slagelse, Høng og Holbæk. Desuden er Lellinge Grønsand det primære og desuden kraftigt udnyttet reservoir syd for Roskilde til Regnemark. Lellinge Grønsand veksler ofte i lagserien med lag af grønsandkalk, grønsand og grønsandsler, og normalt vil alle lagtyper indgå i reservoirret, men med grønsandskalken som dominerende bjergart.

Reservoirer af glacialt smeltevandssand og -grus findes de fleste steder på Sjælland. Større artesiske magasiner findes syd for Odsherred og nord for en linie fra Kalundborg over Jyderup til Tølløse, hvor der er flere begravede hedesletter. Desuden er smeltevandsaflejringer ofte hovedreservoirer i området Åmosen – Tissø – Korsør - Sorø. På sydspidsen af Falster og midt på Lolland ligger kalken så dybt, at kun de kvartære sandmagasiner udnyttes. Mange af de nedre kvartære sandmagasiner på Sjælland, Lolland, Falster og Møn ligger direkte på kalken og de to magasiner er i hydraulisk kontakt. I Nordsjælland er der kvartære reservoirer i de ovennævnte større dalsystemer, som danner vigtige selvstændige reservoirer eller også er i hydraulisk kontakt med de prækvartære reservoirer.



Figur 3. Jordartskort over Sjælland, Lolland, Falster og Møn.

3. Hydrogeologisk tolkningsmodel

Opstilling af en hydrogeologisk tolkningsmodel er i princippet en vurdering af de væsentligste strømningskarakteristika for grundvandssystemet for den skala i hvilken modellen er opsat og skal anvendes på. En numerisk grundvandsmodel forudsætter en opdeling på beregningslag og -kasser, uanset at forholdene i visse områder er meget komplekse f.eks. i randmoræne områder. En hydrogeologisk tolkningsmodel skal belyse de antagelser og den viden der ligger til grund for fastlæggelsen af de strømningsmæssige forhold. Vigtige elementer i den hydrogeologiske tolkningsmodel er:

1. Den hydrostratigrafiske model, der beskriver den rumlige fordeling af hydrostratigrafiske enheder, karakteriseret ved deres hydrauliske egenskaber. Hydrostratigrafiske enheder repræsenterer således en eller adskillige geologiske enheder med samme hydrauliske karakteristika, der er slået sammen til en enhed med samme hydrauliske egenskaber
2. Udveksling med omgivelserne, der indbygges som randbetingelser i modellen, og kan være enten ydre randbetingelser, hvor udvekslingen over randen beskrives, eller indre randbetingelser, såsom udveksling med vandløb samt indvindingsforhold.

Opstillingen af den hydrogeologiske tolkningsmodel for Sjælland tager udgangspunkt i DK-modellen (Henriksen et al., 1998), der efterfølgende er blevet opdateret på basis af den nyeste viden om de geologiske forhold, som de tidligere sjællandske amter havde opnået igennem de senere års intensive geologiske kortlægning. Endvidere er der sket en detaljering af modellen, med en finere rumlig opløsning og repræsentation af indvindinger på borningsniveau frem for anlægsniveau samt en mere fysisk baseret beskrivelse af vandløbene.

For at kunne tilgodese detaljeringen af geologien i de eksisterende modeller fra amterne, har det været nødvendigt at anvende en finere horisontal opløsning end de 500x500 m, der er anvendt i den numeriske model. En forskellig opløsning af den geologiske og numeriske model er mulig i det anvendte modelkompleks (MIKE SHE), hvor der netop kan arbejdes med to uafhængige gridopløsninger for hhv. den geologiske og numeriske model. Baseret på en gennemgang af de tidligere amtsmodeller blev det fundet, at detaljeringen af disse generelt kunne tilgodeses ved en horisontal opløsning på 100x100 m, hvorfor denne opløsning blev valgt for den geologiske model.

3.1 Hydrostratigrafisk model (antagelser om reservoirforhold)

Sjælland, Lolland, Falster og Møn er dækket af kvartære aflejringer fra mindst fire istider med en total tykkelse varierende fra nogle få til godt 100 meters tykkelse. Størstedelen af den kvartære lagserie udgøres af moræneler med linser og lag af smeltevandssand og -grus i forskellige stratigrafiske niveauer. Reservoirerne er overvejende artesiske. De vandførende prækvartære aflejringer består hovedsageligt af marine kalkaflejringer fra Kridt, Danien og Paleocæn og udgør i mange områder det primære reservoir for vandindvindingen. I Vestsjælland findes marine grønsandsler/mergel aflejringer oven på kalkaflejringer.

ne. På Kalundborg egnen og den sydlige del af Lolland findes Eocæne aflejringer af fedt ler, og i disse områder foregår vandindvindingen kun fra de kvartære sandlag.

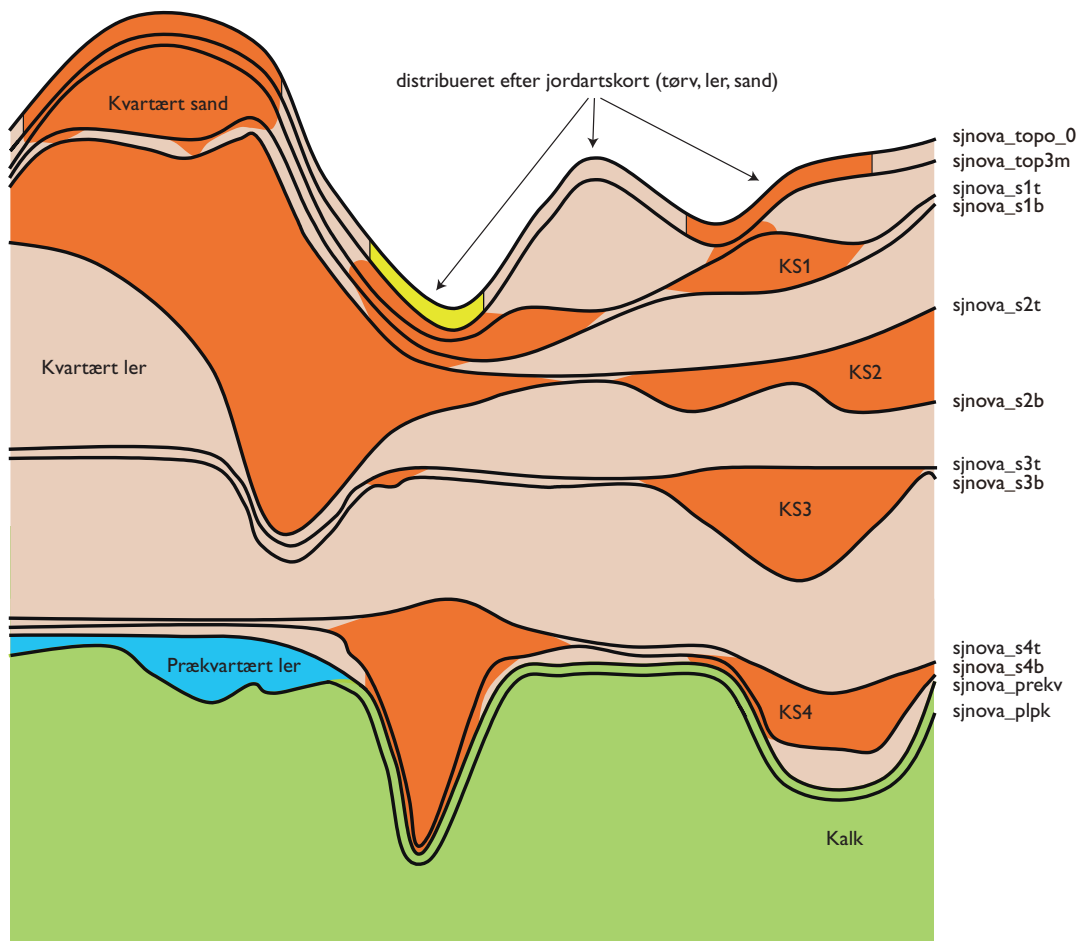
Den hydrostratigrafiske model for Sjælland og sydhavsøerne er opbygget som fire gennemgående hydrostratigrafiske lag, med indskud af sandlegemer i fire forskellige niveauer med varierende horisontal udbredelse. De fire gennemgående lag, regnet fra topografien og ned, er:

1. De øverste 3 meter i landområdet udgør den umættede zone samt den øverste del af den mættede zone. I dette niveau skelnes der mellem tre hydrostratigrafiske enheder: sand, ler og andet, hvor deres rumlige fordeling er baseret på jordartskortet (Figur 3). Laget regnes for opsprækket og de vandførende egenskaber af det øvre ler forventes derfor at afvige fra leret i de dybereliggende lerenheder. I havområder udgør modellens øverste lag havet og har derfor en tykkelse svarende til vanddybden.
2. Et forholdsvis lavpermeabelt lag bestående af ler aflejret under forskellige geologiske tider og under varierende dannelsesmiljøer. Laget er således sammensat af moræneler, sen og postglaciale lerede aflejringer, smeltevandssler og -silt. Laget strækker sig fra bunden af lag 1 og ned til de prækvartære aflejringer.
3. Et relativt lavpermeabelt lag bestående af Lillebæltssler, Røsnæssler og Kerteminde Mergel. Laget genfindes primært fra Midtsjælland og mod vest.
4. Vandførende prækvartære kalkaflejringer fra Danien og Kridt samt Senpaleocæne grønsandsaflejringer.

De fire hydrostratigrafiske niveauer med sandlegemer er karakteriseret ved (fra topografien og ned):

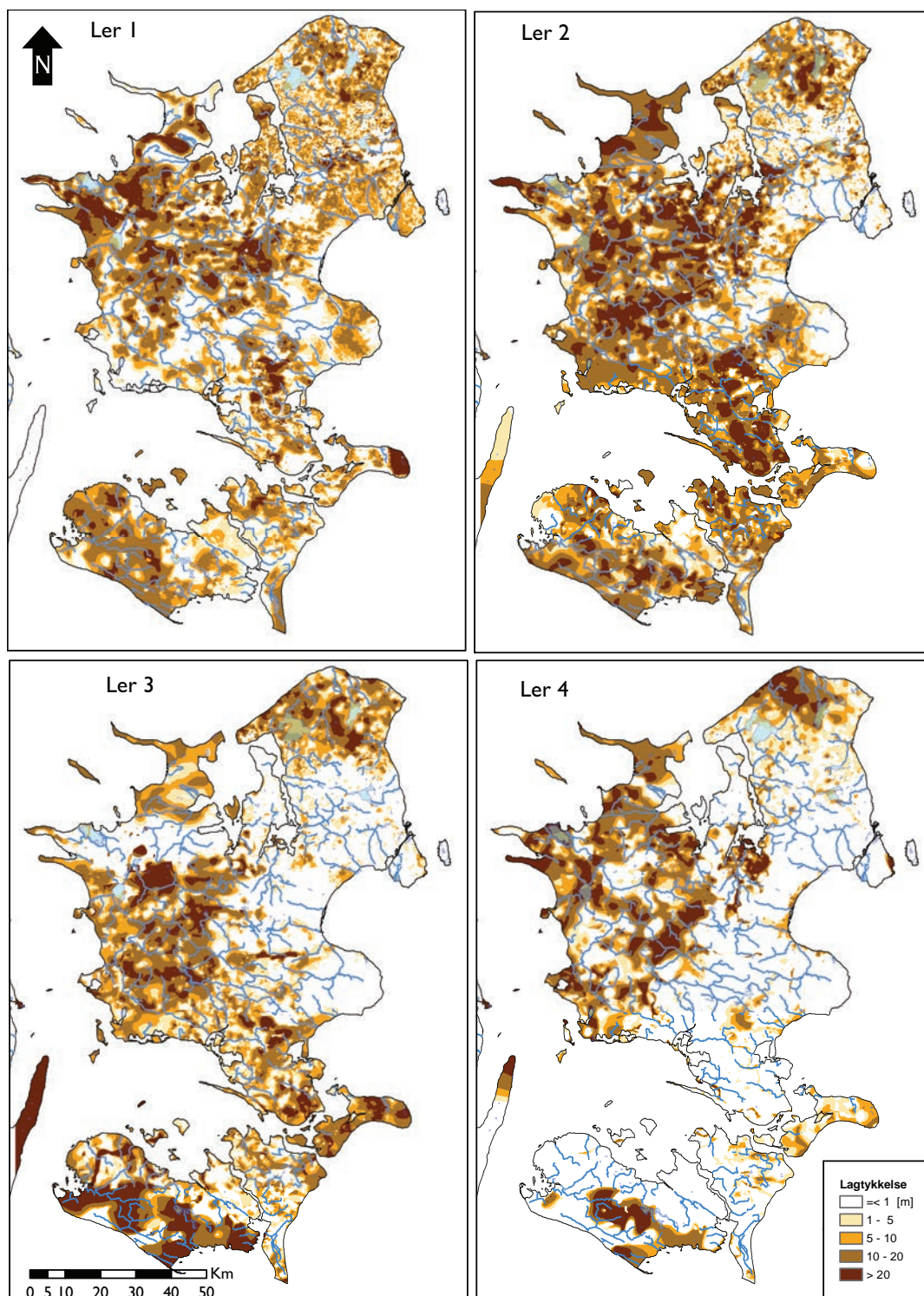
1. Legemer af smeltevandssand og -grus, som udgør sekundære lokale magasiner. Enhederne, som er det øverste niveau af sandforekomster, ligger omkring kote 30 til 50 meter og har begrænset udstrækning. Laget findes således kun udbredt i de højtliggende områder på Sjælland. Lagtykkelser over 2 meter findes især i Syd-, Midt- og i Nordsjælland.
2. Vandførende smeltevandssand og -grus enheder. Dette niveau indeholder de regionale øvre primære magasiner og har en relativ stor udstrækning med lagtykkelser over 10 meter i mange områder, især i Midt- og Nordsjælland. Laget findes ofte omkring kote -15 til 0 meter.
3. Vandførende smeltevandssand og -grus enheder, som udgør et regionalt nedre primært magasin. Magasinerne i dette niveau har relativ stor udstrækning med tykkelser på over 10 meter i mange områder, især i Nord- og Vestsjælland samt på Lolland. Enhederne mangler dog, hvor de prækvartære aflejringer ligger højt som på Østsjælland og på Møn. Enhederne findes ofte omkring kote -35 til -20 meter.
4. Vandførende smeltevandssand og -grus enheder, der udgør et dybtliggende nedre primært magasin, der især findes i dybe sænkninger i den prækvartære overflade som i Nordsjælland og på Lolland samt i mindre udstrækning i Vestsjælland. I nogle områder (Nordsjælland) er der hydraulisk kontakt med de overliggende sandlegemer. Enhederne findes ofte dybere end kote -45 meter.

En principskitse (Figur 4) viser de hydrostratigrafiske enheder samt hydrostratigrafiske lag, der er anvendt i strømningssmodellen for de to modeller for hhv. Sjælland og Lolland, Falster og Møn. De gennemgående lavpermeable lerlag består overvejende af moræneler. I visse områder indgår desuden interglacialt, senglacialt og postglacialt ferskvandsler, samt interglacialt marint ler i disse enheder. De paleocæne og eocæne lavpermeable enheder, Lillebæltssler, Røsnæsler og Kerteminde Mergel over de prækvartære kalkaflejringer definerer et selvstændigt lag på den vestlige del Sjælland.



Figur 4. Principskitse af de hydrostratigrafiske enheder og beregningslag for modellerne for Sjælland samt Lolland, Falster og Møn.

For lavpermeable enheder er den vertikale hydrauliske ledningsevne den vigtigste parameter, hvorimod den horisontale ledningsevne har mindre betydning. Den vertikale hydrauliske ledningsevne afhænger bl.a. af forekomsten af sprækker og sandvinduer. Da udbredelsen af sprækker og sandvinduer imidlertid ikke kendes i detaljer, er det i modellen antaget at leret har en ensartet horisontal og vertikal hydrauliske ledningsevne i hele området. Vandudvekslingens størrelse mellem en øvre og en dybere vandførende enhed antages således omvendt proportional med tykkelsen af det lavpermeable lag ved en given trykkniveauforskel. Der er ikke taget hensyn til, at smeltevandsler har en lavere hydraulisk ledningsevne end f.eks. moræneler eller at visse sekvenser af moræneler kan være mere lavpermeable end andre. Udbredelse og tykkelse af leret mellem de fire niveauer af sandlegemerne fremgår af Figur 5.



Figur 5. Udbredelse og tykkelse af ler mellem sandlegemerne.

Den øverste del af moræneleren kan inddeles i følgende 'sprækkezoner':

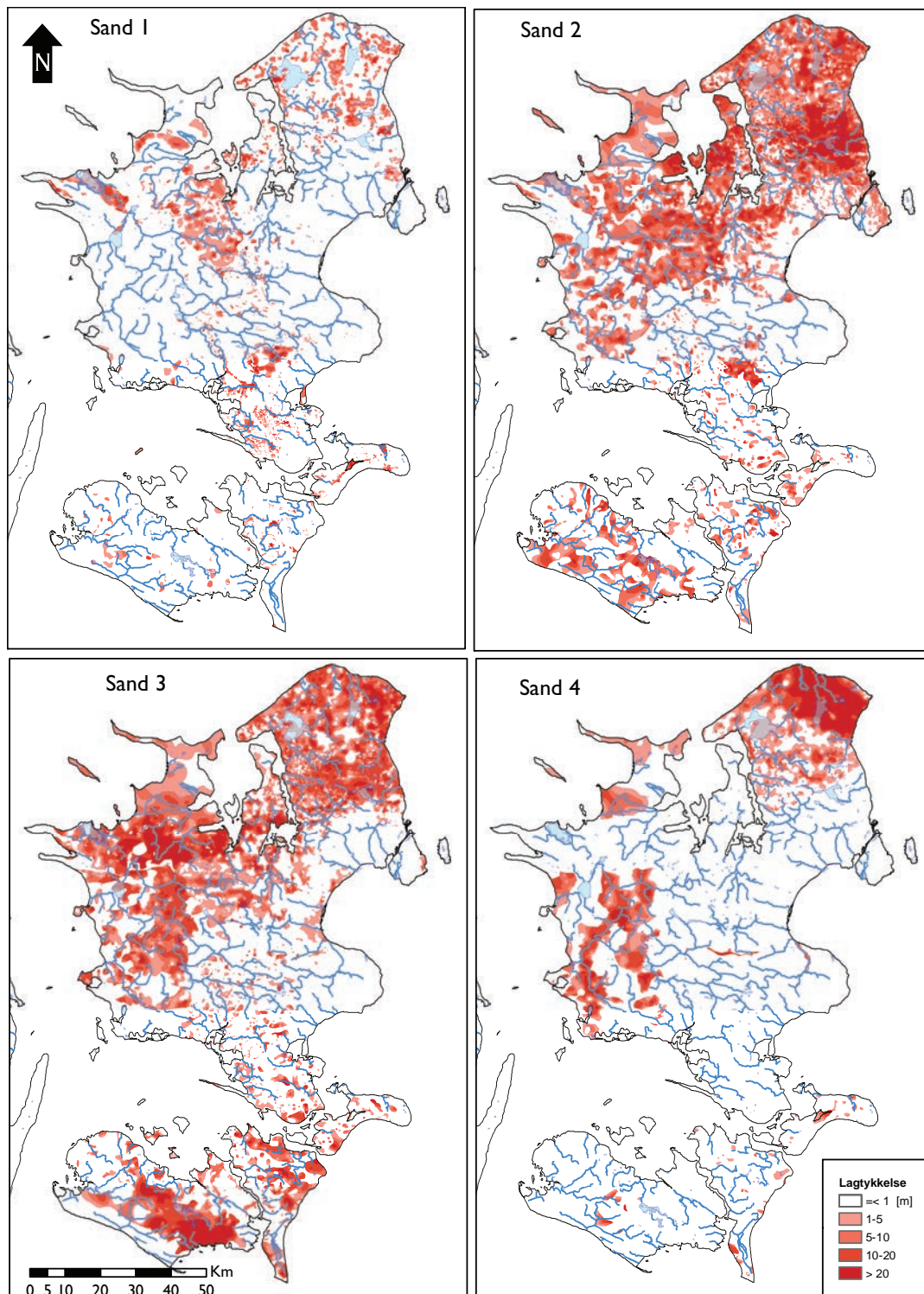
- de øverste 0-1.5 meter under terræn, hvor moræneleren er domineret af makroporer som følge af udtørring, ormehuller, gravegange, rodhuller etc.
- fra ca. 1.5 meter under terræn til grundvandsspejlet (eller evt. et sandlag, hvis dette ligger højere), hvor der som oftest vil optræde udtørringssprækker og i 'tryk belastet

moræneler' sandsynligvis tektoniske sprækker forårsaget af isens tryk på underlaget

- under grundvandsspejlet vil der ofte optræde tektoniske sprækker og i enkelte tilfælde fossile udtørningsprækker som følge af tidligere tørre klimaperioder (for bl.a. ca. 8500 år siden). De tektoniske sprækker kan gennemsætte moræneleret til større dybde
- i områder præget af neotektonik f.eks. saltdomer og forkastningszoner (f.eks. Carlsberg forkastningen i København) er moræneleren ofte gennemsat af sprækker

Kortlægning af sprækker forudsætter detaljerede undersøgelser og kan ikke vurderes alene ud fra boringsdata. Det er derfor i DK-modellen antaget, at de øverste 3 m har en relativ høj hydraulisk ledningsevne, mens de dybere lerlag har en lavere værdi.

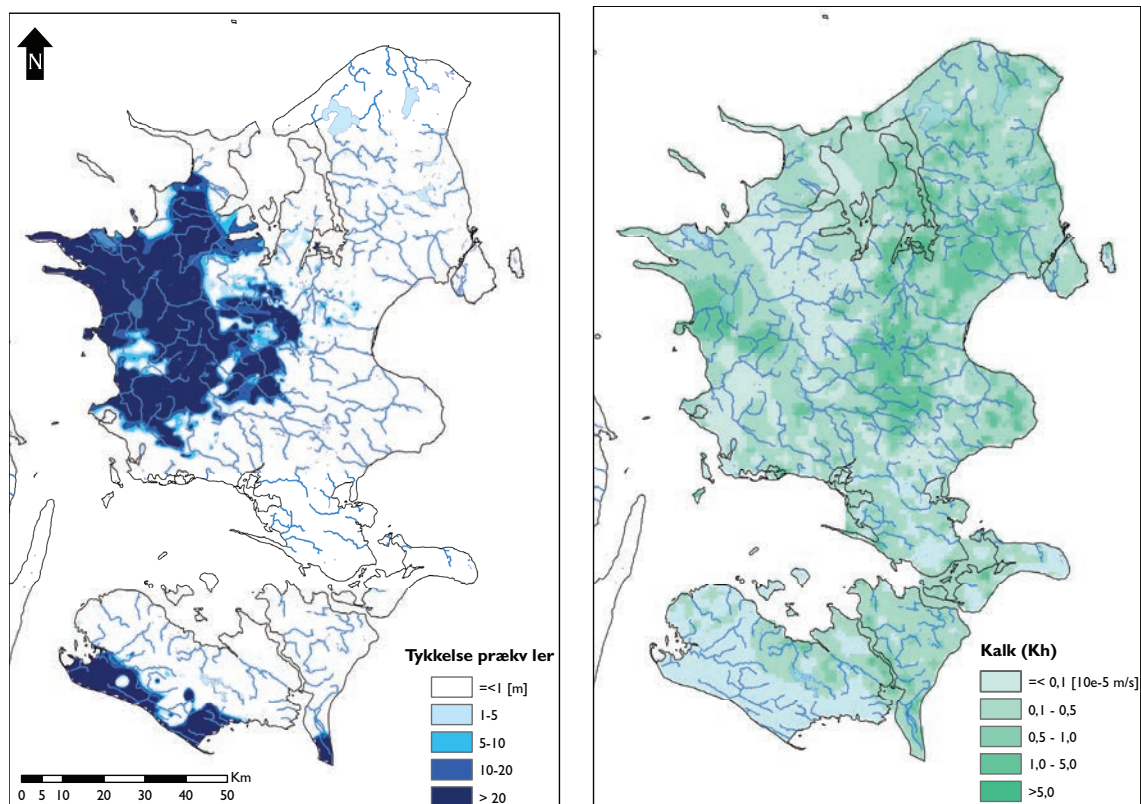
Modellernes sandenheder består overvejende af smeltevandssand og -grus. For sandehederne findes der relativt få pumpe-test data samt specifik ydelse. Datagrundlaget er ikke vurderet tilstrækkeligt til at foretage en interpolation af de hydrauliske ledningsevner indenfor de enkelte sandlegemer. I stedet antages den hydrauliske ledningsevne for enhederne at være konstant. Denne kraftige simplificering medfører, at variationen i transmissiviteten udelukkende afhænger af tykkelsen af den vandførende enhed. De vandførende enheder falder typisk sammen med grundvandsmagasiner kortlagt af amterne på Sjælland og kan i disse områder have en betydelig tykkelse på 15-30 meter. Udbredelsen af de vandførende enheder i de fire niveauer er vist i Figur 6.



Figur 6. Udbredelse og tykkelse af de vandførende enheder

De prækvartære kalkaflejringer udgør det primære magasin på størsteparten af Sjælland, der på den vestlige del af Sjælland samt det sydlige af Lolland og Falster er overlejret af Paleocænt ler, Figur 7. De vandførende egenskaber for kalken er meget afhængige af sprækkeintensiteten i såvel den horisontale som den vertikale retning, og der vil således være stor variation i hvor stort et område der er hydraulisk aktivt i kalken. Der foreligger ikke tilstrækkelig viden om den rumlige variation af sprækkerne i kalken. Derfor kan variati-

onen ikke indbygges direkte i den hydrostratigrafiske model, og der kan således heller ikke indbygges en variabel tykkelse af kalken, der beskriver tykkelsen af den hydrauliske aktive zone. En fornuftig distribuering af de hydrauliske egenskaber for kalken er imidlertid vigtig, da der indvindes store mængder vand herfra og fordi kalken pga. sprækkerne generelt vil være heterogen. Datamaterialet på prøvepumpninger og specifik ydelse for kalken er noget større end for sand, specielt i områder med intensiv indvinding. Det er derfor valgt at repræsentere kalkaflejringerne ved et gennemgående lag med en konstant tykkelse på 50 m, og beskrive variationen i de hydrauliske egenskaber ved interpolation (kriging) af transmissiviteter estimeret på baggrund af pumpe/specifik ydelsesdata fra Jupiter. Den estimerede hydrauliske ledningsevne for kalken er gengivet i Figur 7.



Figur 7. Udbredelse og tykkelse af Paleocæn og Eocæn ler, samt estimeret hydraulisk ledningsevne i kalken

3.2 Hydrologiske afgrænsninger (randbetingelser)

Et centralt element i opstillingen af en numerisk grundvandsmodel er definitionen af randbetingelserne. Da hovedformålet med modellerne for Sjælland er at styrke mulighederne for vandressourcebetragtninger er der ved modelopstillingen lagt særlig vægt på en god beskrivelse af de randbetingelser, der styrer nedsivningen til grundvandet.

3.2.1 Modeloverflade, dræn og vandløb

Randbetingelsen for modellernes øverste lag er defineret af grundvandsdannelse, som beregnes med et simpelt rodzonemodul på daglig basis ud fra nedbør og aktuell fordampning og regnskab med vandindholdet i rodzonen. Nedsivning fra rodzonen genereres fortrinsvis i situationer, hvor vandindholdet overstiger markkapaciteten, idet der ved et vandindhold mellem 70-100 % af markkapaciteten kun antages en mere begrænset nedsivning. Ved et vandindhold under 70% af markkapaciteten antages ingen nedsivning fra rodzonen. Der ses bort fra en evt. forsinkelse og magasinering i umættet zone.

Afhængigt af nedsivningens størrelse, potentialet i det øverste lag og de hydrauliske parametre for grundvandsmodellerne, kan der genereres overfladisk afstrømning (afstrømning på terræn mod vandløb) eller drænvandsafstrømning (afstrømning gennem de øverste jordlag til dræn eller vandløb). Overfladeafstrømningen vil følge den topografiske variation mod lavere beliggende områder. Hvor disse lavtliggende områder gennemskæres af vandløb vil den overfladiske afstrømning strømme til vandløb. Såfremt de lavtliggende områder ikke er gennemskåret af et vandløb, vil der, afhængigt af den hydrauliske ledningsevne i jordlagene og grundvandstand, ske en nedsivning til grundvandet eller evt. en temporær eller permanent opstuvning af vand på terræn ('afløbsløse dræn').

Et detaljeret kendskab til drænsystemer for større dele af Danmark findes ikke på let tilgængelig elektronisk form. Det er derfor nødvendigt at indføre betydelige simplificeringer i beskrivelsen af drænafstrømningen. Det er vurderet, at de afløbsløse dræn, som ifølge modeltopografien og det benyttede vandløbssystem er introduceret i modelopsætningen, enten i praksis afdrænes til vandløb (på grund af intensivt jordbrug) eller skal tilskrives usikkerheder på interpolationen af topografien. Drænafstrømningen er simplificeret således at det strømmer til nærmeste vandløb eller havet alt efter et forud bestemt drænkode kort, hvor topografiske oplande til vandløb har et kodesæt og topografiske oplande uden tilknyttet vandløb/sø har et andet kodesæt (Figur 17). Drænvandsafstrømning, som den er repræsenteret i modellerne, dækker således såvel kunstig som naturlig afdræning. Drænafstrømning beskrives i modellerne ved et niveau for drændybden og en tidskonstant for routingen af vand ud af elementet. Der er anvendt en drændybde på 0,5 meter under terræn i hele modelområdet for begge modeller. Den anvendte topografi er baseret på Top10DK (TOP10DK-specifikation, 2001). Dette datagrundlag er behæftet med nogen usikkerhed som følge af de anvendte interpolationsrutiner og selve datagrundlaget. For vandløbene er det søgt at medtage en relativ detaljeret beskrivelse, men pga. modellens opløselighed samt af hensyn til beregningstiden, er det ikke muligt at medtage samtlige vandløb. For nærmere beskrivelse af vandløbsopsætningen henvises til afsnit 5.3.

3.2.2 Vandudveksling mellem grundvand og vandløb (indre randbetingelser)

Vandudvekslingen mellem grundvand og vandløb kontrolleres af trykforskellen samt den hydrauliske modstand (lækage) mellem de to medier. I den tidligere DK-model-Sjælland blev der anvendt en distribueret vandløbslækagekoefficient baseret på en forventelig kontakt mellem et vandløb og det øverste magasin (Henriksen et al., 1998). Således blev der anvendt en lav vandløbslækagekoefficient i områder, hvor der i den geologiske model var

tolket et lerlag mellem vandløbsbunden og det øverste magasin. En distribuering af lækagekoefficienten vil imidlertid medføre mindst én ekstra kalibreringsparameter, og dermed en ekstra frihedsgrad i modellen. I nærværende modelopstilling, er det derfor som udgangspunkt valgt ikke at anvende en distribueret lækagekoefficient.

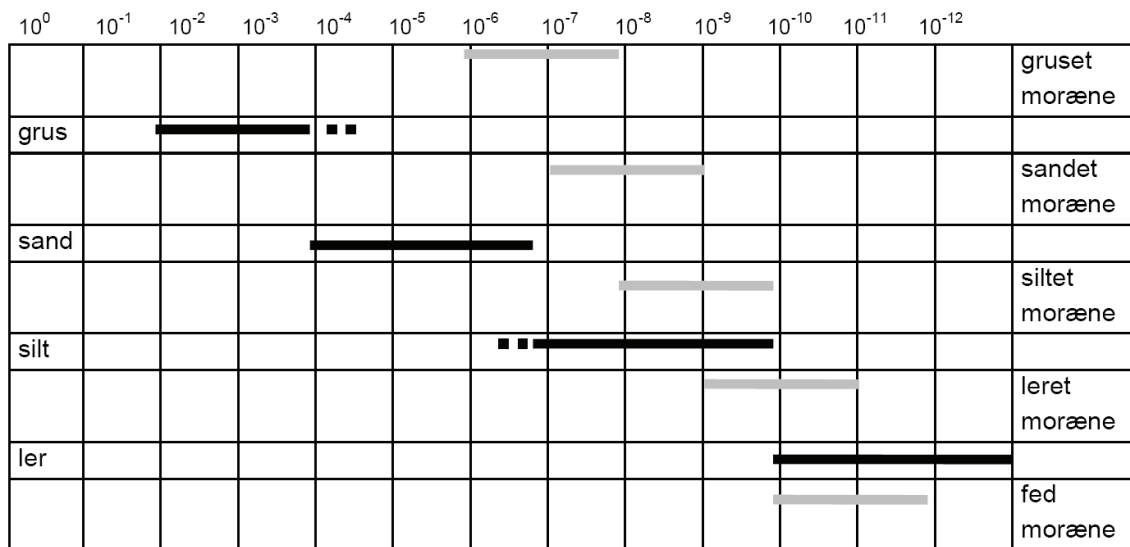
3.2.3 Ydre modelrande

Horisontalt er modellen afgrænset ved havet langs hele den ydre periferi. Her er der anvendt fastholdt tryk som randbetingelse for det øverste beregningslag, hvor celler beliggende i havet har et fastholdt tryk på 0 m. For de øvrige beregningslag er der anvendt no-flow som ydre randbetingelse. No-flow betingelsen betyder, at der ikke kan ske en ind-/udstrømning over den ydre rand for disse beregningslag, svarende til, at der 2,5 km ude fra kysten, hvor modelranden er placeret, ikke forekommer horisontale strømninger under havbunden. Alternativt kunne der anvendes et fastholdt tryk for samtlige beregningslag, hvorved en ind-/udstrømning over randen ville være muligt. Vandløbsafstrømningen er den parameter den samlede vandbalance kan vurderes ud fra, og for denne viste en følsomhedsanalyse af betydningen af den valgte randbetingelse, at den samlede vandløbsafstrømning var meget lidt følsom overfor den valgte randbetingelse. Der blev derfor valgt at bibeholde opsætningen med et fastholdt tryk for det øverste beregningslag og no-flow for de øvrige beregningslag.

Modelbunden, der er beliggende 50 meter under toppen af kalken, antages impermeabel.

3.3 Hydrauliske størrelser

Størrelsen af den hydrauliske ledningsevne (K) angives i enheden m/s og er et udtryk for mediets evne til at transportere vand. Størrelsen af den hydrauliske ledningsevne varierer meget for forskellige jordlag, som det fremgår af Figur 8, der viser typiske intervaller for jordarters hydrauliske ledningsevne. Sand- og grusaflejringer har høje K -værdier, hvorimod ler har lave K -værdier. Den hydrauliske ledningsevne varierer normalt en del inden for samme geologiske formation. Der kan tillige være tale om retningsbestemte variationer (anisotropi), som knytter sig til den orientering, hvori lagene i sin tid blev aflejret.



Figur 8. Den hydrauliske ledningsevnes størrelse og variation i m/s (efter Carlsson og Gustafson, 1984).

Den geologiske model er opbygget i et 100x100 m grid, og geologiske heterogeniteter på en mindre skala, f.eks. sprækker, mindre sandlommer samt smalle begravede dale kan ikke indbygges direkte i modellen. Den hydrauliske ledningsevne der anvendes i modellen for de enkelte hydrostratigrafiske enheder vil således være effektive værdier ("bulk-værdier"). Da tynde sandlag, vinduer, sprækker og lignende ikke er repræsenteret i lerlagene vil de effektive beregningsmæssige ledningsevner skulle være større end de angivne ledningsevner (Figur 8). Tilsvarende vil de effektive værdier for de vandførende lag typisk blive en gennemsnitsværdi for grus/sand.

På baggrund af feltundersøgelser ved Ringe (Nilsson et al., 1997) er det vurderet, at den hydrauliske ledningsevne i moræneleren i den opsprækkede zone (2-3 meter under terræn) typisk varierer mellem 10^{-5} til 10^{-4} m/s. For den dybereliggende sekvens af den terrænnære moræneler, i dybder større end 5-6 m, blev den hydrauliske ledningsevne for moræneleren vurderet til mellem 10^{-8} - 10^{-7} m/s. Feltundersøgelser ved Flakkebjerg på Vestsjælland gav en horisontal hydraulisk ledningsevne for de opsprækkede øverste 2½ m på 10^{-5} m/s, mens moræneleren i dybden 2½ - 4½ m havde en ledningsevne på 10^{-8} m/s (Harrar og Nilsson, 1998). I større dybde må ledningsevnen for moræneler antages endnu lavere.

I det øverste beregningslag (øverste 3 m under topografien) antages den hydrauliske ledningsevne for leret at være væsentligt større end de øvrige lerenheder, pga. tilstedeværelsen af sprækker og grovsandet morænelersaflejringer. En forventet variationsramme for den horisontale effektive ledningsevne er 10^{-6} til 10^{-4} m/s. Det vurderes, at der godt kan være en betydelig anisotropi på en faktor 10-100, således at den vertikale ledningsevne for moræneleren er i størrelsesordenen 10^{-7} til 10^{-5} m/s.

Samtlige sandenheder antages at have den samme hydrauliske ledningsevne. Variationerne i transmissiviteten er således alene bestemt ved sandenhederne varierende tykkelse. Den horisontale ledningsevne for sandet antages at skulle ligge i intervallet 10^{-5} til 10^{-3} m/s. Anisotropien mellem horisontal og vertikal ledningsevne for sand antages til en faktor 10.

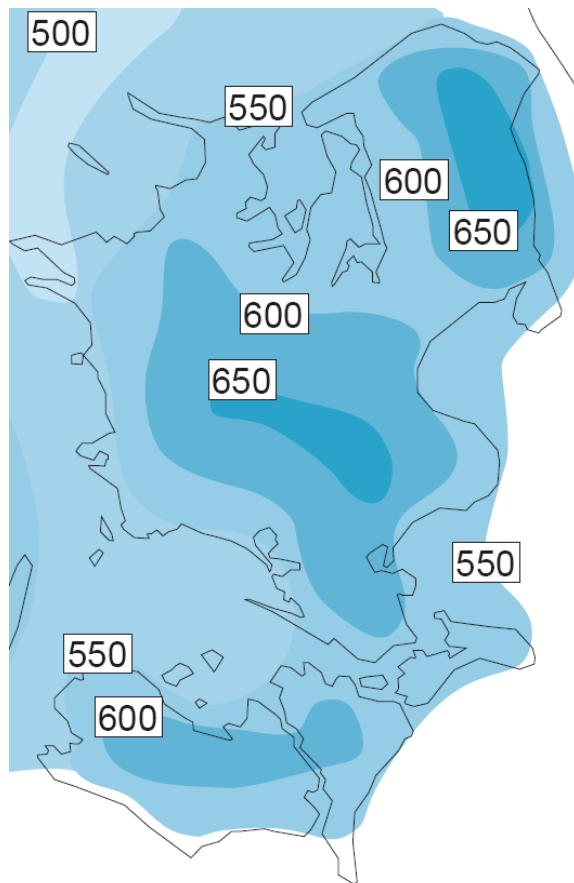
Lerneheder under beregningslag 1 antages (som for sandet) at kunne repræsenteres ved én hydrauliske ledningsevne, og en anisotropi faktor på 10. Det vurderes, at den effektive horisontale ledningsevne for disse lerneheder varierer indenfor intervallet: 10^{-8} - 10^{-6} m/s.

Den effektive hydrauliske ledningsevne for kalken vil være meget styret af sprækkeintensiteten i kalken. Ledningsevnen forventes derfor, at kunne variere betydeligt med horisontale værdier mellem 10^{-9} – 10^{-3} m/s, hvor de højeste værdier vil være forbundet med meget opsprækkede zoner, mens de laveste værdier vil findes i tætte ikke opsprækkede matricer. Med den store variationsbredde vurderes det nødvendigt at tilgodese en rumlig fordeling af ledningsevnen i kalken. Hertil er der konstrueret et semivariogram på basis af data for specifik kapacitet i borearkivet, der er benyttet til en logaritmisk interpolation af transmissiviteten. På trods af et relativt stort datamateriale om specifik kapacitet i kalken, foreligger oplysningerne omkring transmissiviteten i kalken i klumper spredt ud over Sjælland, men mest koncentreret omkring København. Oplysninger fra områder uden for disse klumper vil, som følge af den statistiske bearbejdning (krigging), få stor arealmæssig betydning. Således kan eksempelvis ændringer i transmissivitetsoplysninger i områder med lav koncentration af informationer medføre radikale forandringer i transmissivitetsbilledet.

Den specifikke ydelse (frie magasiner) antages at variere indenfor intervallet 0,15-0,25. For artesiske forhold antages det specifikke magasintal (pr. meter) at være i størrelsesordenen 0,0001.

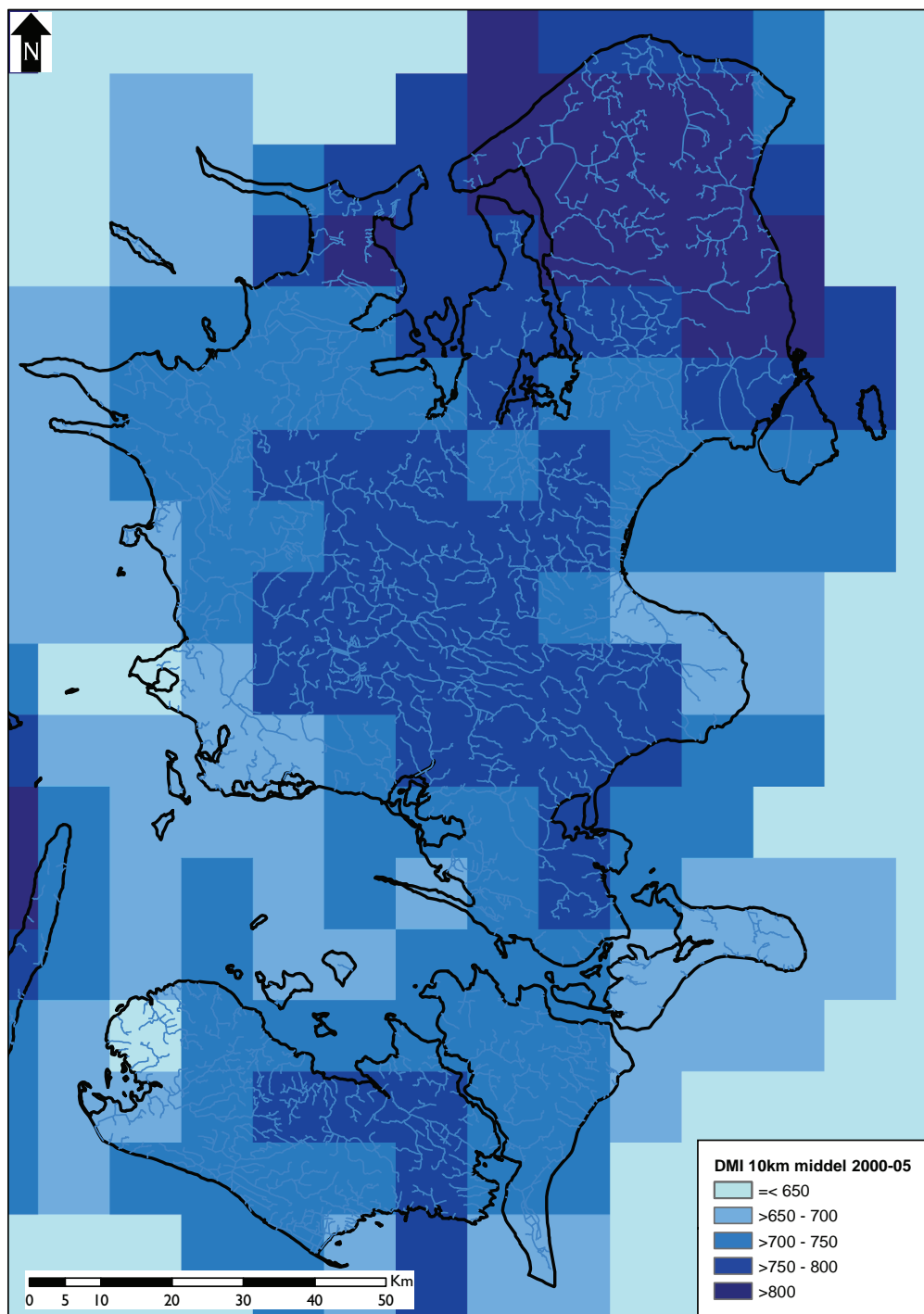
3.4 Vandbalanceforhold

Middel årlig nedbør for normal perioden 1961-90 er angivet på Figur 9. Den korrigerede normalnedbør for perioden 1961-90 varierer således mellem ca. 550 mm/år i kystområderne til over 650 mm/år for den centrale del af Sjælland (Frich et al., 1997). På Lolland og Falster varierer nedbøren mellem 550 mm/år ved kysterne til ca. 626 mm/år midt på øerne.



Figur 9. Middel af årlig korrigeret nedbør (mm/år) for perioden 1961-90 (Frich et al., 1997)

Baseret på DMI's 10x10 km klima grid er middel af den korrigerede nedbør for kalibrerings- og valideringsperioden (2000 – 2005) beregnet til 741 og 709 mm/år for hhv. Sjælland samt Lolland, Falster og Møn, med en rumlig fordeling som angivet i Figur 10.

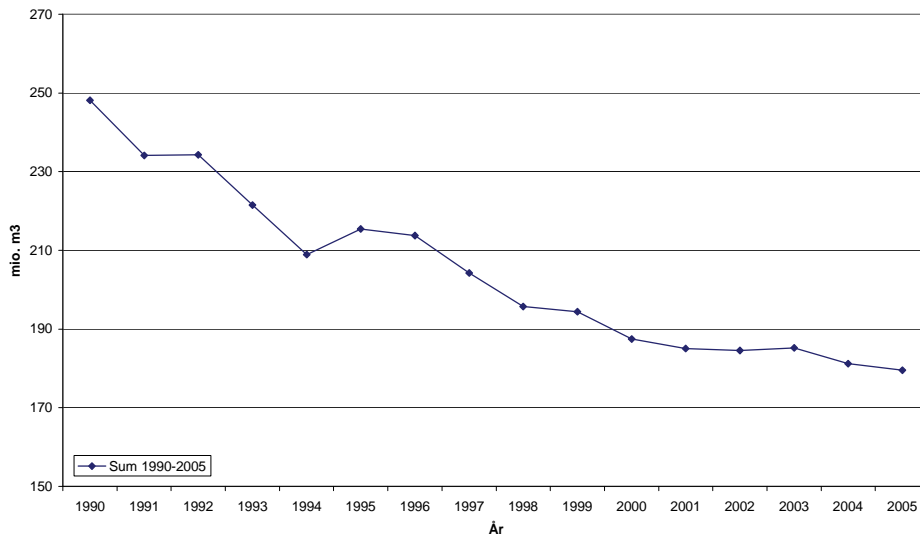


Figur 10. Middel korrigeret nedbør for perioden 2000 - 2005

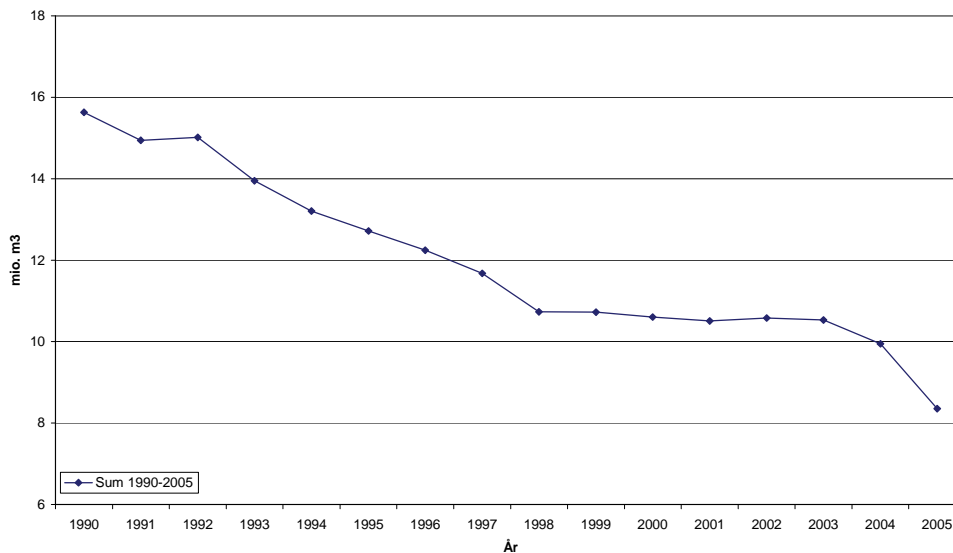
3.5 Indvindingsforhold

For begge modelområder er der sket et markant fald i indvindingerne fra 1990 og frem til 1999/2000, hvorefter niveauet har stabiliseret sig og været nærvæd konstant frem til 2005, Figur 11 og Figur 12. Graferne viser et fald i 2004 og 2005, der er specielt markant for Lol-

land, Falster og Møn. Det er uvist hvorvidt dette markante fald skyldes et egentligt fald i indvindingen, eller i højere grad reflekterer en manglende indberetning.



Figur 11. Udvikling i den samlede indvinding på Sjælland



Figur 12. Udvikling i den samlede indvinding på Lolland, Falster og Møn

Den rumlige fordeling af indvindingen er angivet på Figur 13, hvoraf det fremgår, at der er store lokale variationer i indvindingsforholdene, med de fleste og største indvindinger er placeret omkring København, Roskilde og Køge.



Figur 13. Middel indvinding i perioden 2000 – 2005 angivet på anlægsniveau

3.6 Samlede vandbalance

Seneste estimat af den samlede vandbalance for de to modelområder blev opgjort i forbindelse med Ferskvandets kredsløb, hvor vandbalancen blev opgjort for perioden 1991 - 2000. Som led i grundvandsovervågningsrapporteringen fra 2007 "Grundvand. Status og udvikling 1989-2006" www.grundvandsovervaagning.dk/, blev den tidligere DK-model anvendt til en opgørelse af vandbalancen frem til 2005 www.vandmodel.dk/. I denne forbindelse blev det valgt ikke at opdatere modellen med de aktuelle indberettede indvindingsmængder, men at anvende indvindingsdataene for 2001. Dette valg var begrundet i, at indvindingsmængden var næsten konstant frem til 2003, mens der var tvivl om hvorvidt

faldet i den indberettede mængde for 2004 og 2005 skyldtes et reelt fald eller manglende indberetning. Vandbalancen for 2000 – 2005 fra disse simuleringer er gengivet i Tabel 1 og Tabel 2 for hhv. Sjælland samt Lolland, Falster og Møn.

Tabel 1 Samlede vandbalance i mm/år for modelområde Sjælland, baseret på første version af DK-modellen

	Nettonedbør	Magasinering	Indvinding*	Vandføring	Rand
2000	236,1	3,3	20,4	196,0	17,3
2001	234,6	20,4	23,8	173,2	16,3
2002	333,7	21,6	23,8	267,1	20,8
2003	80,6	-64,2	23,6	110,4	13,2
2004	210,1	26,7	25,0	140,8	15,7
2005	168,2	-36,1	25,1	165,9	15,7
Middel	210,6	-4,7	23,6	175,6	16,5

*Konstant indvinding baseret på 2001 data. Den mindre variation i den simulerede indvinding skyldes, at i nogle af årene i simuleringsperioden er nedbøren lav, hvilket resulterede i "tørre celler".

Tabel 2. Samlede vandbalance i mm/år for modelområde Lolland, Falster og Møn, baseret på første version af DK-modellen

	Nettonedbør	Magasinering	Indvinding*	Vandføring	Rand
2000	197,0	-18,4	4,7	194,6	17,3
2001	190,5	41,5	5,9	127,0	14,3
2002	323,3	12,2	6,0	280,7	23,0
2003	32,0	-69,9	6,0	88,0	12,1
2004	175,9	34,8	6,0	118,7	15,3
2005	133,0	-30,0	6,0	143,3	15,0
Middel	175,3	-5,0	5,8	158,7	16,2

*Konstant indvinding baseret på 2001 data. Den mindre variation i den simulerede indvinding skyldes, at nogle af årene i simuleringsperioden er tørre, hvilket resulterede i "tørre celler".

Vandbalancen opgjort på basis af den første version af DK-modellen viser således, at perioden 2000-2005 har været en relativ dynamisk periode, hvor det tørre år 2003 har medført en stor negativ opmagasinering for begge modelområder. I middel for perioden er der foregået en indvinding svarende til ca. 11% af den beregnede nettonedbør for Sjælland, mens det tilsvarende tal for Lolland, Falster og Møn er ca. 3,3%.

4. Modellsystem

Som modelkoder er anvendt MIKE SHE og MIKE 11, der udgør et deterministisk fuldt distribueret og fysisk baseret modelkompleks til simulering af de væsentligste strømningsprocesser af det hydrologiske kredsløb på landfasen. Modellen blev oprindeligt opsat i MIKE ZERO version 2007, men er ved projektets afslutning konverteret til version 2008. Nettonedbøren er ikke beregnet integreret i MIKE SHE, men derimod beregnet ved en selvstændig boxmodel "rodzone modul", der blev udviklet i forbindelse med den tidligere version af DK-modellen (Henriksen & Sonnenborg, 2003).

I modelopsætningerne er følgende moduler anvendt:

- Overfladisk afstrømning (OL)
- Mættet grundvandsstrømning (SZ)
- Vandløbsbeskrivelse (MIKE 11)

Herunder gives en kort beskrivelse af de anvendte moduler. For detaljerede tekniske beskrivelser af MIKE ZERO modulerne henvises der til de relevante manualer (DHI, 2008a,b,c) samt beskrivelsen af rodzone modulet i (Plauborg, 2002).

4.1 Overfladisk afstrømning

Når nettonedbøren overstiger infiltrationskapaciteten af jorden opmagasineres overskudsvandet på jordoverfladen. Denne vandmængde er tilgængelig som input til overfladisk afstrømning. Den præcise strømningsretning og afstrømningsvolumen bestemmes af topografi og strømningsmodstand såvel som af tab som følge af infiltration langs strømningsvejen. Det vand der når vandløbssystemet som overfladisk afstrømning tilgår vandløbene og håndteres efterfølgende af MIKE 11.

Overland flow er inkluderet for hele modelområdet i begge modeller, hvor der er anvendt fuld kontakt mellem den overfladiske afstrømning og grundvandskomponenten. Den overfladiske afstrømning er styret af den topografiske hældning samt følgende parametre:

- *Manning tallet* der er et udtryk for den overfladiske strømningsmodstand, hvis størrelse afhænger af overfladens ruhed. En overflade med stor ruhed giver således en større modstand end områder med lille ruhed.
- *Detention storage* beskriver hvor meget vand der skal opmagasineres på overfladen før der sker en overfladisk afstrømning. Parameteren tager hensyn til, at der sker en opfyldning af små lavninger i overfladen, før vandet kan strømme af på overfladen.

Det er endvidere muligt at specificere en *initial water depth*, hvilket angiver en vanddybde på overfladen ved starttidspunktet for simuleringen og angiver således en startbetingelse for den overfladiske afstrømning. Normalt sættes denne størrelse til 0 mm, dvs. ingen vand på overfladen, ved simuleringens start.

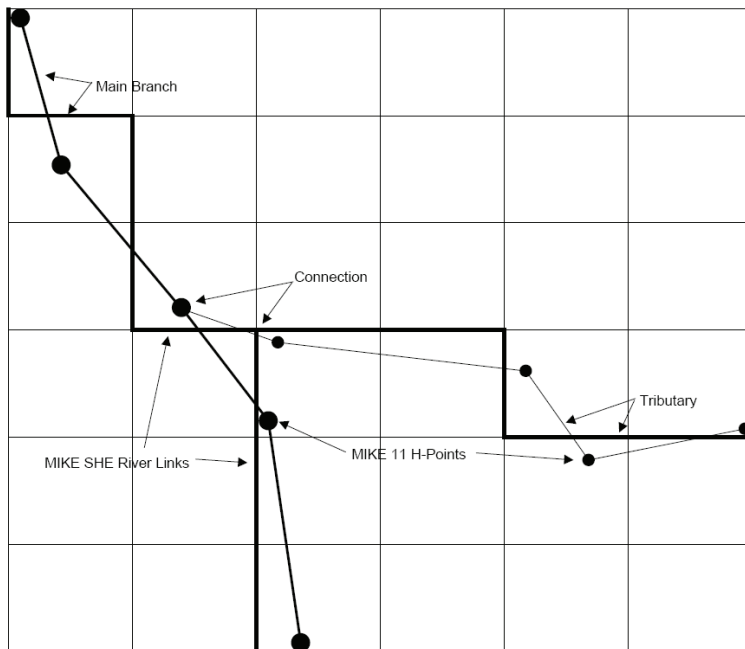
4.2 Grundvandsstrømning

MIKE SHE giver mulighed for løsning af grundvandsstrømningen enten ved en fuld 3D strømningbeskrivelse eller ved en simpel lineær reservoir løsning. I de to modelopsætninger beskrevet i nærværende rapport, er den fulde 3D løsning anvendt, der giver en tredimensional beskrivelse af et heterogent magasinsystem med varierende frie og artesiske forhold.

Grundvandsstrømningen løses ved at kombinere Darcy's ligning, der beskriver vandfluxen i et porøst vandmættet medium, og kontinuitetsligningen. For den samlede ligningsbeskrivelse henvises til DHI (2008b,c). Ligningssystemet inkluderer ikke en beskrivelse af grundvandsstrømning i diskrete sprækker. Dette betyder, at evt. sprækker ikke kan repræsenteres direkte, men det antages, at et opsprækket medium kan beskrives som et porøst medium med justerede hydrauliske egenskaber. Ligningssystemet approximeres ved en finite different diskretisering, dvs. grundvandssystemet opdeles i rektangulære kasser eller grids, hvor det i MIKE SHE kun er mulig at anvende grids, der er kvadratiske i det horisontale plan. Løsningen af ligningssystemet foregår iterativt, og der er mulighed for valg mellem forskellige løsningsalgoritmer. I dette tilfælde er der valgt en PCG2 løser (Preconditioned Conjugate Gradient solver).

De styrende størrelser for grundvandsstrømningen er de hydrauliske egenskaber for de forskellige geologiske enheder, dvs. deres hydrauliske ledningsevne, tykkelsen af enhederne, samt magasintallene for hhv. frie og spændte magasinforhold.

Ved løsning af grundvandsstrømningen inkluderes udvekslingen mellem grundvand og de øvrige komponenter i kredsløbet: overfladisk afstrømning, vandløb og søer, drænaforstrømningen samt grundvandsindvinding. Vandstrømning i vandløb samt udveksling med grundvandet er beskrevet under afsnittet om MIKE11. Koblingen mellem vandløbene (MIKE11) og grundvandssystemet (MIKE SHE) sker ved indplacering af vandløbene på randen mellem to grids i MIKE SHE, Figur 14, og der kan ske en udveksling mellem vandløbet og de to tilstødende grids i MIKE SHE. Detaljeringen i vandløbenes geografiske placering bestemmes således af det anvendte MIKE SHE grid. Det er kun muligt at indlægge ét vandløb på en grænse mellem to grids. For vandløb med en indbyrdes afstand mindre en grid størrelsen, vil det derfor være nødvendigt enten at justerer den geografiske placering af et af vandløbene, eller fravælge vandløbet i opsætningen.



Figur 14. Kobling mellem MIKE SHE og MIKE11 (fra DHI, 2008a)

Afstrømningen via dræn er baseret på en empirisk beskrivelse, hvor vandet bliver routet (dirigeret) fra en drængenerende celle til en recipient via en lineær reservoir løsning. Drænastrømning forekommer alene i de tilfælde, hvor niveauet for grundvandsspejlet i et givent grid overstiger dræn niveauet. Der initieres således kun en drænstrømning, når grundvandsspejlet ligger højere end dræne. De styrende størrelser for drænastrømningen er den anvendte drændybde samt dræntidskonstanten, hvor sidstnævnte kontrollerer hvor hurtigt et område afdrænes. Matematisk er dræntidskonstanten ækvivalent til en lækage koefficient, og kan distribueres for at opnå en beskrivelse af varierende intensitet og effektivitet af drænsystemer. Recipienten for drænastrømningen kan beskrives på flere måder i Mike She. I denne opsætning er valgt: *Dræning baseret på grid koder*. Her defineres områder indenfor hvilke dræningen forekommer efter en prioriteret rækkefølge:

1. Dræning til nærmeste vandløb hvis et sådant eksisterer i området.
2. Dræning til en ydre rand, hvis oplandet er forbundet til en sådan.
3. Dræning efter dræntopografien.

Indvinding håndteres som et "kilde/dræn" led i grundvandsligningen og kan indlægges i en vilkårlig gridcelle i modellen. Placeringen af indvindinger angives ved geografiske koordinater, dvs. en x og y koordinat, samt en kote for top og bund af indvindingsfiltreret. I tilfælde hvor et indvindingsfilter strækker sig over flere beregningslag, fordeler MIKE SHE indvindingen mellem de to lag proportionalt med de hydrauliske ledningsevner for beregningslagene. Strækker et filter sig således over to beregningslag karakteriseret ved hhv. sand og ler, vil der primært forekomme en indvinding fra sandlaget. Indvindingerne kan gøres tidsvarierende ved angivelse af en tidsserie for indvindingen. I tilfælde af, at en gridcelle indeholdende en indvinding "løber tør", dvs. grundvandspotentialet ligger under gridcellen, lukkes den pågældende indvinding. Stiger grundvandsstanden i senere tidsskridt så den igen ligger over gridcellens bund reaktiveres indvindingen.

4.3 MIKE 11

Overfladevandssystemet (vandløb og søer) håndteres af MIKE11, der er fuldt integreret med MIKE SHE. MIKE11 løser en endimensional vandstrømning og transport i vandløb, med mulighed for en detaljeret beskrivelse af vandløbsnetværket og vandløbstværsnittene, inklusiv beskrivelse af eventuelle bygværker i vandløbssystemet, samt oversvømmelsesområder i tilfælde af en høj vandstand.

Den fysiske udformning af vandløbssystemet beskrives i MIKE11 ved en digitalisering af vandløbenes geografiske placering, hvilket kan opnås ved import af et GIS vandløbstema i shape format, samt geometrisk beskrivelse ved vandløbstværsnit (kote beskrivelse af tværsnit). Ved beregningerne i MIKE11 er det kun den samlede vandløbslængde og tværsnitsgeometri der er betydende, mens den geografiske placering af vandløbene kun har betydning når MIKE11 og MIKE SHE kobles. Vandløbslængden beregnes automatisk ud fra digitaliseringen af vandløbene og der tildeles et "chainage" nummer for hvert beregningspunkt, der angiver den fortløbende længde af vandløbet. Den geometriske udformning af vandløbene (tværsnitsbeskrivelsen) kobles til vandløbene via et chainage nummer, så det kan specificeres hvor i vandløbet de enkelte tværsnit er placeret. Der kan imidlertid være nogen usikkerhed ved den automatiske beregning af vandløbslængden baseret på digitaliseringen, og der er derfor mulighed for at specificere nogle "user-defined" points, hvor chainage angives. Ved at angive chainages ved start og slut af vandløb sikres det, at vandløbet får den korrekte længde, endvidere giver "user-defined" points mulighed for at styre præcist hvor et tværsnit skal placeres i et vandløb, hvilket kan være nyttigt i forbindelse med placering af eksempelvis bygningsværker, eller til at placere et beregningspunkt, hvor der eksisterer observerede data.

MIKE11 tilbyder forskellige løsningsmetoder til beregning af vandstrømningen, varierende fra detaljerede metoder, der kan tage hensyn til eksempelvis tidevand og "backwater" effekter, til mere simple approksimationer, hvor vandet routes (dirigeres) nedstrøms i systemet. Til beskrivelse af vandløbsstrømningen i DK-modellen, er det valgt at anvende en forholdsvis simpel løsningsmetode "kinematic routing" (Muskingum-Cunge). Denne metode er vurderet at være tilstrækkelig i forbindelse med opgørelsen af den overordnede vandbalance, og har den fordel, at løsningen er betydelig hurtigere end de øvrige metoder. Endvidere er løsningsmetoden (numerisk) stabil, hvilket betyder, at der kan anvendes meget store tidskridt på op til 12-24 timer, hvor de mest detaljerede løsningsmetoder kræver tidskridt på minut basis.

I kinematic routing beregnes vandstrømningen i vandløbet successivt startende fra opstrøms ende af et vandløb. Vandmængden i et beregningspunkt beregnes ved en simpel addition af vandstrømningen i punktet umiddelbart opstrøms og den laterale indstrømning (fra grundvandsmagasinet) mellem de to punkter. Vandstanden i vandløbene beregnes efterfølgende, baseret på vandstrømningen samt en Q-H relation, hvor Q-H relationen enten kan specificeres direkte, eller beregnes i MIKE11 på basis af indlagt vandløbstværsnit.

Ved anvendelse af Muskingum-Cunge metoden kræves der kun en angivelse af vandløbsbundens ruhed, som kan distribueres såvel mellem vandløbene som indenfor et vandløb.

MIKE11 tilbyder flere metoder til beregning af vandløbsbundens modstand, hvoraf det er valgt at benytte Mannings modstandsformel, med et Manning (M) tal som input.

For hvert vandløbs endepunkt skal der specificeres randbetingelser, hvor de to mest almindelige er angivelse af fluks eller vandstand, der begge kan være konstante eller tidsvarierende. For alle beregningspunkter kan der ligeledes specificeres en ekstern randbetingelse, der eksempelvis kan benyttes til at indlægge spildevandsudledninger, så vandmængden herfra inkluderes i strømningsberegningerne for vandløbet.

Udvekslingen mellem grundvandsdelen (MIKE SHE) og vandløbene (MIKE11) styres af gradienten mellem vandstand (i vandløbet) og grundvandspotentialer samt en konduktans, der beskriver strømningsmodstanden mellem de to medier. Konduktansen kan beregnes på tre forskellige måder

1. *Kun akvifer.* Denne metode kan anvendes hvis vandløbet står i direkte kontakt med akviferen, dvs. det antages, at vandløbsbunden ikke udgør en lavpermeabel barriere.
2. *Kun vandløbsbund.* I nogle tilfælde vil sedimentet i vandløbsbunden udgøre en lavpermeabel zone, med en hydrauliske ledningsevne der er betydelig lavere end den omkringliggende akvifer. Tryktabet over den lavpermeable vandløbsbund kan derfor være dominerende, og det vil være tilstrækkeligt at tage hensyn til ledningsevnen i vandløbsbunden.
3. *Akvifer + vandløbsbund.* I dette tilfælde beregnes konduktansen ud fra en kombination af den hydrauliske ledningsevne i akviferen samt vandløbsbunden.

4.4 Beregning af nettonedbør

Nettonedbøren er beregnet ved rodzone modulet, der blev udviklet i forbindelse med den tidligere version af DK-modellen (Henriksen & Sonnenborg, 2003). Rodzone modulet opstiller en simpel vandbalance for rodzonen ud fra en empirisk relation mellem aktuel og potentiel fordampning som funktion af vandindholdet i rodzonen. Modulet fordeler nedbøren mellem nedsivning og aktuel fordampning. Den styrende parameter i beregningen udgøres af markkapaciteten som afhænger af vegetationstype samt jordart. I DK-modellen anvendes 3 forskellige værdier for markkapaciteten: 150 mm for skovarealer, 70 mm for sandjorde og 140 mm for lerjorde. Skovområder antages at have en større potentiel fordampning end landbrugsområder, og i vådområder antages aktuel fordampning identisk med potentiel fordampning året rundt uanset nedbør.

Afhængig af arealanvendelse og jordart opnås der således forskellige nettonedbørsserier. Der skelnes mellem skov, vådbundsområder og åbent land med enten sand- eller lerjord. Ved nedsivning fra overfladen til den mættede zone ses der bort fra forsinkelse og magasinering i den umættede zone. Beregninger af vandindhold i rodzonen, aktuel fordampning og nedsivning fra rodzonen foregår i form af daglige beregninger ud fra Makkink, fra 1999 og frem ved input i form af daglig nedbør fra DMI's landsdækkende 10x10 km grid og potentiel fordampning og temperatur ud fra DMI's landsdækkende 20x20 km grid (Scharling, 1999a, 1999b). For perioden før 1999 er data hentet fra DMI's landsdækkende 40x40 km

grid for daglig nedbør, potentiel fordampning og temperatur. Detaljeret beskrivelse af rodzone modulet findes i Ferskvandets kredsløb (Henriksen & Sonnenborg, 2003) eller (Plauborg, 2002).

I rodzonemodulet foretages desuden en korrektion af nedbøren på månedsbasis for at tage højde for systematiske målefejl som følge af befugtningstab og vindkorrektion. Der er anvendt en korrektion svarende til moderat lækategori, Tabel 3.

Tabel 3. Korrektionsfaktorer for vind- og befugtningstab (moderat lækategori). (Allerup et al., 1998)

Måned	Korrektionsfaktor	Måned	Korrektionsfaktor
Januar	1,41	Juli	1,10
Februar	1,42	August	1,10
Marts	1,35	September	1,11
April	1,24	Oktober	1,14
Maj	1,13	November	1,23
Juni	1,11	December	1,37

5. Modelopstilling

Modellen for Sjælland (område 1) dækker et areal på i alt 9393,5 km², mens modellen for Lolland, Falster og Møn (område 2) har et samlet areal på 3741,25 km².

Modellerne er opstillet i UTM zone 32 EUREF89, med koordinaterne:

Område 1:

UTM nord 6035000 – 6240000

UTM øst 615000 - 750000

Område 2:

UTM nord 6035000 – 6120000

UTM øst 615000 - 740000.

Model topografien er baseret på 25 m grid højdemodellen fra Top10DK, mens havbunden er fra AIS databasen [/www.dmu.dk/](http://www.dmu.dk/)

5.1 Diskretisering

Havet er benyttet som en ydre randbetingelse for modellen. For at minimere effekten af randen er denne placeret 2,5 km uden for kysten. Modellen er opstillet med horisontal diskretisering på 500 x 500 m. Antallet af horisontale gridceller for hver model er angivet i Tabel 4.

Tabel 4. Antal af horisontale grids i modellerne for Sjælland og Lolland, Falster og Møn

	<i>Land</i>	<i>Fjord/Hav</i>	<i>I alt</i>
Sjælland (område 1)	28652	8922	37574
Lolland, Falster, Møn (område 2)	8166	5719	13885

I det vertikale plan er den hydrostratigrafiske model repræsenteret i den numeriske grundvandsmodel ved anvendelse af gennemgående beregningslag for: toplaget (øverste 3 m), det Prækvartære ler samt kalken. I den kvartære lagpakke (under toplaget) er der defineret et beregningslag for hvert af de fire niveauer med sandlegemer. Disse lag er lagt ind ved at benytte top og bund af de tolkede sandlegemer. I områder hvor sandlegemerne eksisterer, er top og bund af beregningslaget således sammenfaldende med top og bund af sandlegemet. I områder uden sand er der ikke defineret nogen tykkelse af sandlegemerne i den hydrostratigrafiske model, dvs. top og bund er sammenfaldende, for disse områder er der anvendt en minimum tykkelse på 0,5 m for beregningslagene, der automatisk genereres af MIKE SHE under preprocesseringen. Mellem hvert sandlag er der defineret beregningslag til repræsentation af det kvartære ler. Den numeriske model består således af 12 beregningslag. Den vertikale opdeling af modellen er illustreret på en principskitse, Figur 4, og en beskrivelse af beregningslagene er angivet herunder:

1. Toplag: Dækker de øverste tre meter af modellen på landjorden og er således sammenfaldende med det øverste hydrostratigrafiske lag. I havet er toppen af beregningslaget defineret i hav niveau (kote 0m), mens bunden er sammenfaldende med havbunden
2. Ler1: Laget repræsenterer ler der strækker sig fra 3 m under terræn til toppen af de øverstliggende sandforekomster
3. Sand1: Beregningslag for de øverste sandforekomster, der udgør øvre sekundære magasiner. I områder med sand er lagets top og bund sammenfaldende med top og bund af sandlegemerne. I øvrige områder har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
4. Ler2: Ler mellem sand1 og sand2
5. Sand2: Beregningslag for sandforekomster der udgør de øvre regionale magasiner. I områder med sand er lagets top og bund sammenfaldende med top og bund af sandlegemerne. I øvrige områder har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
6. Ler3: Ler mellem sand2 og sand3
7. Sand3: Beregningslag for sandforekomster der udgør de nedre regionale magasiner. I områder med sand er lagets top og bund sammenfaldende med top og bund af sandlegemerne. I øvrige områder har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
8. Ler4: Ler mellem sand3 og sand4
9. Sand4: Beregningslag for sandforekomster der udgør de dybere sekundære magasiner. I områder med sand er lagets top og bund sammenfaldende med top og bund af sandlegemerne. I øvrige områder har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
10. Ler5: Ler mellem sand4 og Prækvartære ler
11. Prækvartær ler: Beregningslag bestående af de lavpermeable enheder: Lillebæltssler, Røsnæsler, paleocænt ler og Kertemindel Mergel. Laget genfindes kun fra Midtsjælland og mod vest. I de øvrige modelområde har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
12. Kalk: Dette beregningslag indeholder de prækvartære kalkholdige aflejringer der udgør det primære magasin for store dele af Sjælland. Dette beregningslag er defineret ved en konstant tykkelse på 50 m i hele modelområdet.

5.2 Nettonedbør og fordeling til grundvand/overfladevand

Den drivende variabel for grundvandsdannelsen er nettonedbøren der beregnes med rodzone modulet baseret på daglige værdier for nedbør, potentiel fordampning og temperatur. Som input til rodzone modulet er der anvendt DMI klimagrid i opløsningerne 10 x 10 km for nedbør samt 20 x 20 km for temperatur og fordampning, Figur 15 (Scharling, 1999a, 1999b).



Figur 15. Nummerering af 10x10 km nedbørsgrid og 20x20 km temperatur og fordampningsgrid

På baggrund af Corine-data [/www.dmu.dk/](http://www.dmu.dk/) for arealanvendelse er der ved hjælp af GIS-bearbejdning foretaget en opdeling af samtlige beregningsgrids i arealtyperne skov og åbent land. For de grid hvor mere end 50 % af arealet udgøres af skov er arealanvendel-

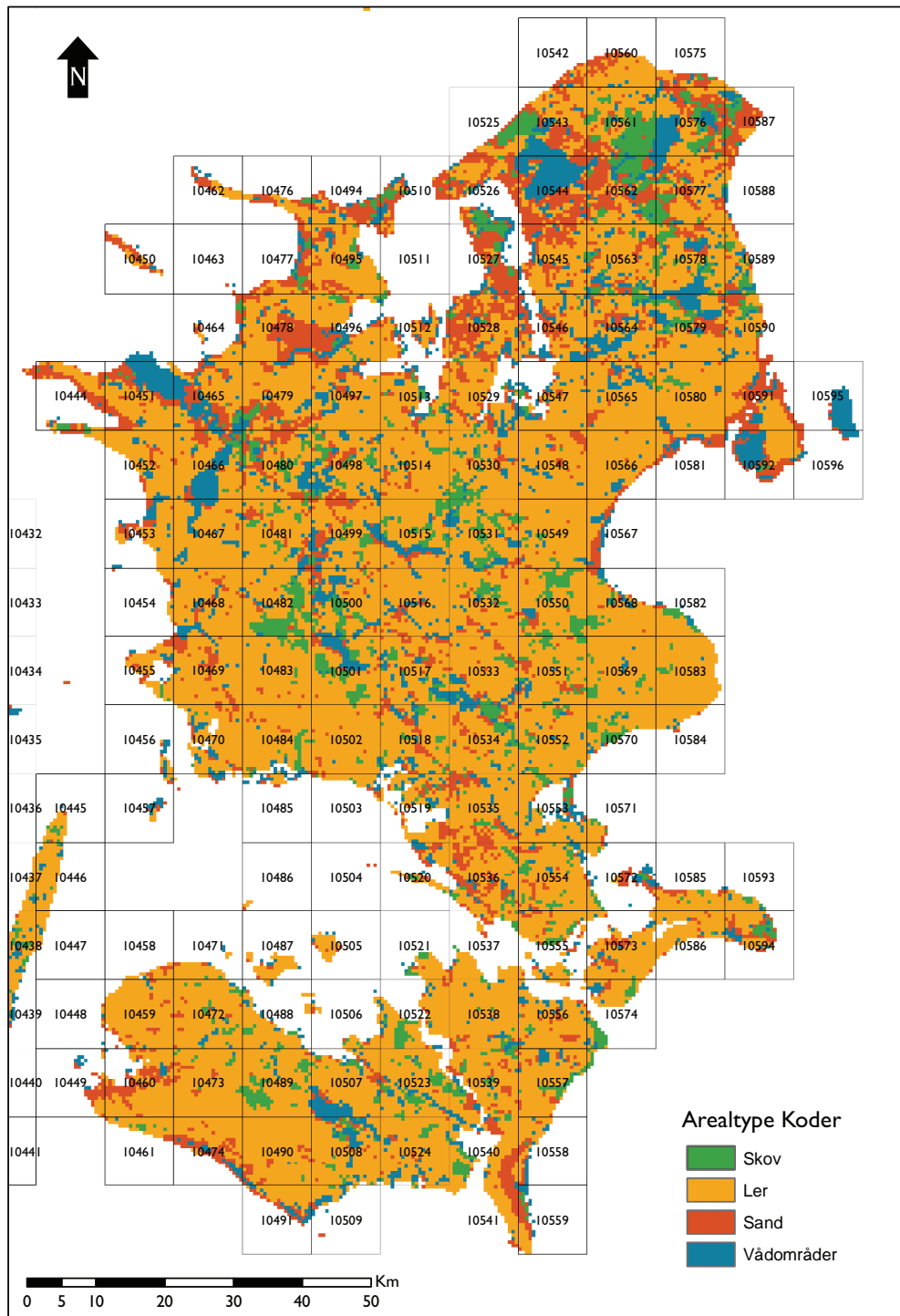
sen skov tillagt disse grid. For de resterende grid er arealanvendelsen åbent land antaget. Områder med vådbundsarealer er hentet fra AIS databasen /www.dmu.dk/. Grid hvor mere end 16% af arealet udgøres af vådbundsarealer er vådbund tillagt disse grid. Vådbundsarealet udgør med denne definition godt 10-15 % af det samlede landareal. Efter ovenstående fremgangsmåde er det samlede landareal for Sjælland opdelt i 4 arealtyper: ler, sand, skov og vådbund, de samlede arealer for disse arealtyper er angivet i Tabel 5.

Tabel 5. Fordeling af arealtyper

Arealtype	Åbent land, ler	Åbent land, sand	Skov	Vådbund*
Sjælland (område 1)				
Areal (km ²)	4656	1146	573	788
% andel	65	16	8	11
Lolland, Falster og Møn (område 2)				
Areal (km ²)	1556	206	131	149
% andel	76	10	6	7

*Vådbund angiver arealer hvor aktuel fordampning er lig den potentielle fordampning og inkluderer søer

Kombinationen af klimagrid samt arealtyper er samlet i en nettonedbørs fil i DHI's dfs2 format, hvor det er muligt at gemme i 2D/tidsenhed. Denne nettonedbørsfil rummer således nettonedbør beregnet ved rodzone modulet fordelt efter klima grid og arealtyper med en "nettonedbørs scene" pr. dag. Filen dækker Sjælland, Lolland, Falster og Møn. Den rumlige fordeling af arealtyper samt klimagrid fremgår af Figur 16.



Figur 16. Rumlig fordeling af arealtypekoder og 10x10 km grid.

I beregningen af nettonedbøren indgår korrektionsfaktorer jf. 4.4 til vurdering af korrigeret nedbør (vind- og befugtningstab). Tabel 6 viser værdierne af de parametre, der er anvendt til beregningen af aktuel fordampning og nedsivning fra rodzonen

Tabel 6. Parametre anvendt ved beregning af nettonedbør i rodzonemodul

Arealtype	Korrektionsfaktor for potentiel fordampning	Rodzonekapacitet
Åbent land, ler	1.0	140
Åbent land, sand	1.0	70
Skov	1.1	150
Vådbund	1.0	-

I MIKE SHE kan man ved hjælp af uz-dummy komponenten styre, at en brøkdel af nettonedbøren ikke infiltrere direkte til grundvandsmagasinet, men er tilgængelig for overfladisk afstrømning. Dette gøres ved at specificere en UZ-dummykoefficient, som definerer den brøkdel af nettonedbøren, der antages at nedsive til grundvandskomponenten/SZ, i forhold til den samlede nettonedbør. Begrundelse for at anvende en UZ-dummy er, at der med anvendelsen af rodzone modulet samt en døgnmidlet nedbør ikke tages hensyn til, at nedbørshændelser af stor intensitet vil medføre, at ikke alt nedbør kan nå at infiltrere, og derfor skaber en overfladisk afstrømning. Endvidere kan kraftige nedbørsforhold resultere i en temporær mætning af de øvre dele af den umættede zone, hvorved der kan genereres en overfladenær afstrømning, en dynamik der ikke er medtaget i det anvendte modelkompleks.

Overfladisk og overfladenær afstrømninger vil være mest dominerende, hvor den topografiske hældning er stor, mens disse komponenter vil være mindre betydende i områder, hvor topografien er næsten flad. Med anvendelsen af 500x500 m grids, vil der sker en betydelig udjævning af topografien, idet den topografiske variation indenfor et numerisk grid ikke kan repræsenteres i modellen. I DK-modellen er det derfor antaget, at størrelsen af dummykoefficient er styret af den topografiske variation indenfor et grid.

I MIKE SHE er det muligt at styre hvor stor en del af den overfladiske afstrømning, der skal ledes direkte væk fra overfladen via dræningssetupet for den mættede strømning. Denne option ("Paved area") er primært indlagt til at kunne route en del af den overfladiske afstrømning i bebyggede områder direkte til eksempelvis et MOUSE manhole eller til et vandløb. Paved area er relateret til den overfladiske afstrømning i et grid, og ikke den samlede nedbør eller nettonedbør for griddet. Koefficienten har således kun effekt når der er genereret en overfladisk afstrømning i modellen. For at sikre en overfladisk afstrømning i bebyggede områder, der efterfølgende ledes til vandløb via Paved area, er der i dummykoefficienten for DK-modellen medtaget et bidrag, der angiver hvor stor en fraktion af nettonedbøren, der er tilgængelig for overfladisk afstrømning i bebyggede områder.

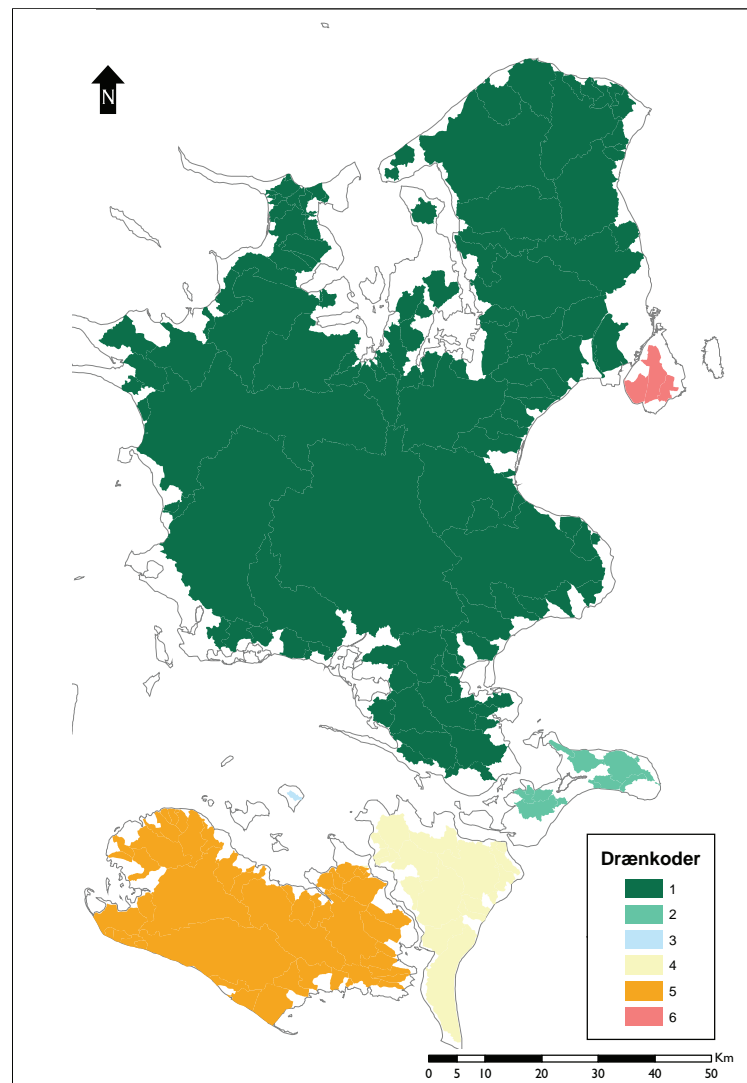
UZ-dummy koefficienten er beregnet på gridbasis (beregningskasse i,j):

$$UZ\text{-dummy koefficient}[i, j] = 1 - \beta[i, j] - \chi[i, j]$$

- Byfaktor β : Det antages, at 33% af nedbøren på befæstede arealer afleder direkte til overfladevandssystemet (i dette tilfælde nærmeste vandløb). Byfaktoren beregnes ved at multiplicere byprocent med 0,33, udregnet på grid niveau.
- Terrænhædningsfaktor χ : Topografisk variation bevirker at modelopstillingen vil undervurdere overfladisk/overfladenær afstrømning. Terrænhædningsfaktoren re-

lateres til den GIS beregnede topografiske spredning indenfor hvert modelgrid og kompenserer for undervurdering af overfladisk/overfladenær afstrømning. Terrænhædningsfaktoren er beregnet på baggrund af Top10DK højdemodellen (dvs. Top10DK 25 m grid variationen indenfor det i modellen anvendte 500 m grid).

Der er indlagt dræn i hele modelområdet i en konstant dybde på 0,5 m under terræn. Dræningen sker til nærmeste vandløb ved definition af drænoplande. Da vandløbssystemet for de to modelområder har en høj intensitet, blev det vurderet, at det ikke var nødvendigt at foretage en underopdeling af modelområderne for en tilstrækkelig korrekt beskrivelse af drænstrømningen. Der er derfor defineret ét drænopland for hver af øerne: Sjælland, Lolland, Falster og Møn, samt et drænopland, hvor det er vurderet, at der sker en afdræning direkte til havet (modelranden). Drænkoderne er illustreret i Figur 17.



Figur 17. Drænkoder til bestemmelse af drænstrømningen. Indenfor hvert af de seks drænkode områder drænes der til nærmeste vandløb. Hvor der ikke er angivet en drænkode drænes der til havet.

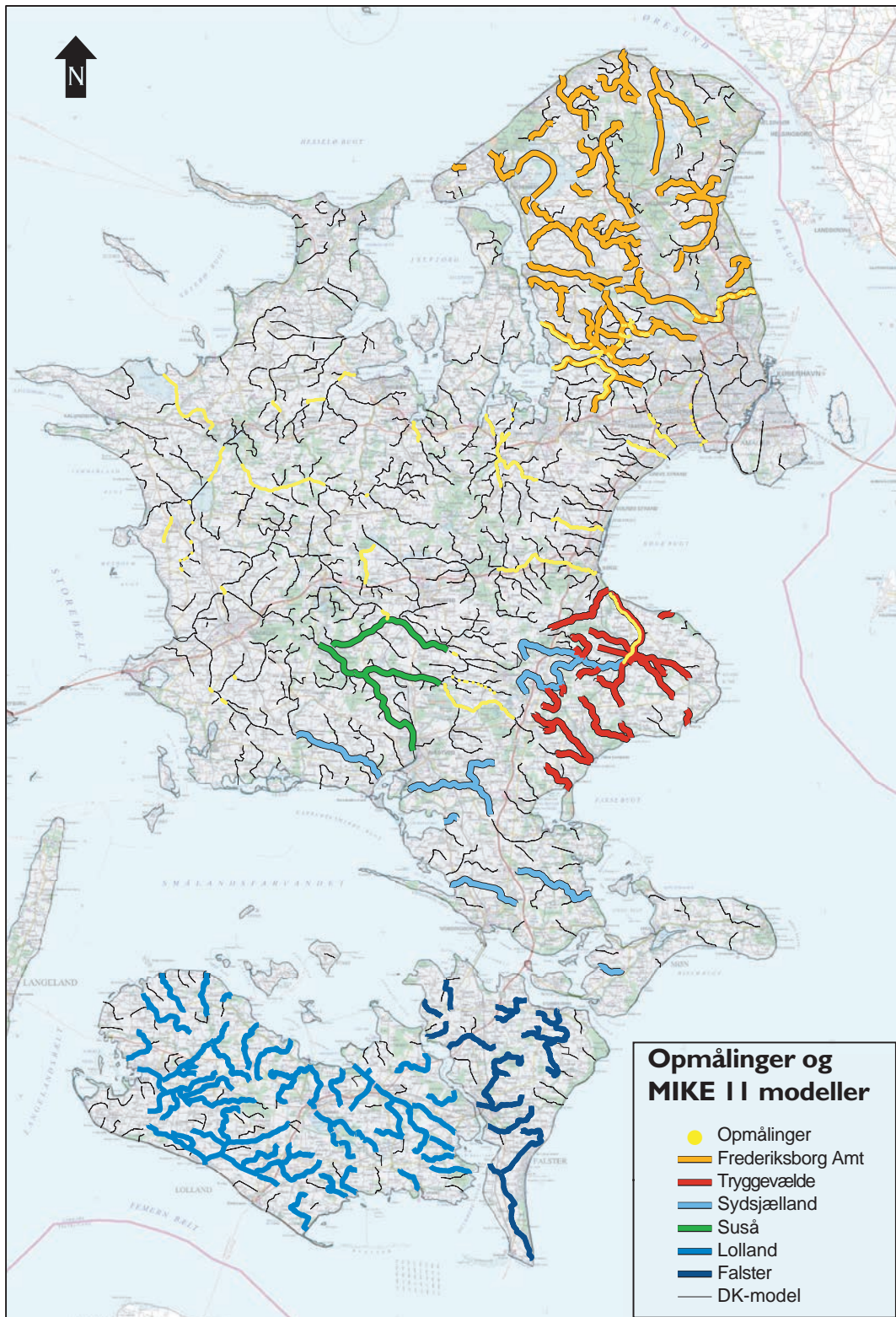
5.3 Vandløb og Søer

Beskrivelse af vandløb og søer er fortaget i MIKE11 baseret på eksisterende MIKE11 opsætninger fra tidligere amtsmodeller, nye vandløbsopmålinger modtaget fra amterne samt vandløbsbeskrivelsen i den første version af DK-modellen, der er konverteret til MIKE11. Vandløbssystemet er endvidere udbygget med nye vandløb/vandløbsgrene i det omfang de enkelte amter har vurderet, at disse har betydning for den overordnede vandbalance. De modtagne data er konverterede og samlet i MIKE11 filer (netværks-, tværsnits- og randbetingsfiler) dækkende såvel Sjælland samt sydhavsøerne. Derefter er relevant input til modellerne udvalgt. Der er i alt inkluderet 512 vandløb og 2011 tværsnit i modellen for Sjælland (område1) og 151 vandløb med 444 tværsnit for modellen for Lolland, Falster og Møn (område2).

Data til beskrivelse af vandløbssystemet blev indhentet hos amterne inden deres nedlukning med strukturreformen i 2006. I områder med eksisterende MIKE11 opsætninger blev disse modtaget som samlede opsætninger. Seneste tværsnitsopmålinger blev indsamlet for områder uden tidligere MIKE11 opsætninger samt for områder med tidligere MIKE11 opsætninger, i det omfang disse ikke var inkluderet i MIKE11 opsætningen. For inklusion af punktkilder i vandløbsopsætningen blev der endvidere indhentet data om spildevand udledt direkte til vandløbene samt afværgeforanstaltninger i det omfang disse var af betydende mængde. En oversigt over de indsamlede data er givet i Tabel 7 og illustreret grafisk i Figur 18 og Figur 20.

Table 7. Data collected from counties for setting up MIKE11

Amt	MIKE11 op-sætning	Tværsnits-opmåling	Spildevandsdata	Afværgedata
Frederiksborg	Komplet op-sætning for hele amtet	-	Årlige data 1998-2004 og estimerede tørvejsmængder, udledningskoordinater	Grundvandsafværgelanlæg årlig oppumpning
København	-	Stationeringer og 16 *.mik og mapinfo filer	Årlige data 1990-2005, mængder og udledningskoordinater	Årlige mængder og udledningskoordinater
Roskilde	-	Stationeringer og opmålinger 12 mapinfo og ascii filer	Årlige data 1990-2005, mængder og udledningskoordinater/recipient	Årlige data 1990-2005, mængder og udledningskoordinater/recipient
Storstrøm	Komplette MIKE11 opsætninger for Stevns/Fakse, Lolland, Falster, Suså og Sydsjælland	-	Årlige data 1990-2005, mængder og udledningskoordinater	Afværgelanlægs id og udledningskoordinater
Vestsjælland	-	Stationering i mapinfo og opmålinger i ascii, 19 filer	Årlige data 1990-2005, mængder og udledningskoordinater	-



Figur 18. Oversigt over vandløbsdata indhentet fra amterne. Strækninger angivet med farve stammer fra eksisterende amtsmodeller.

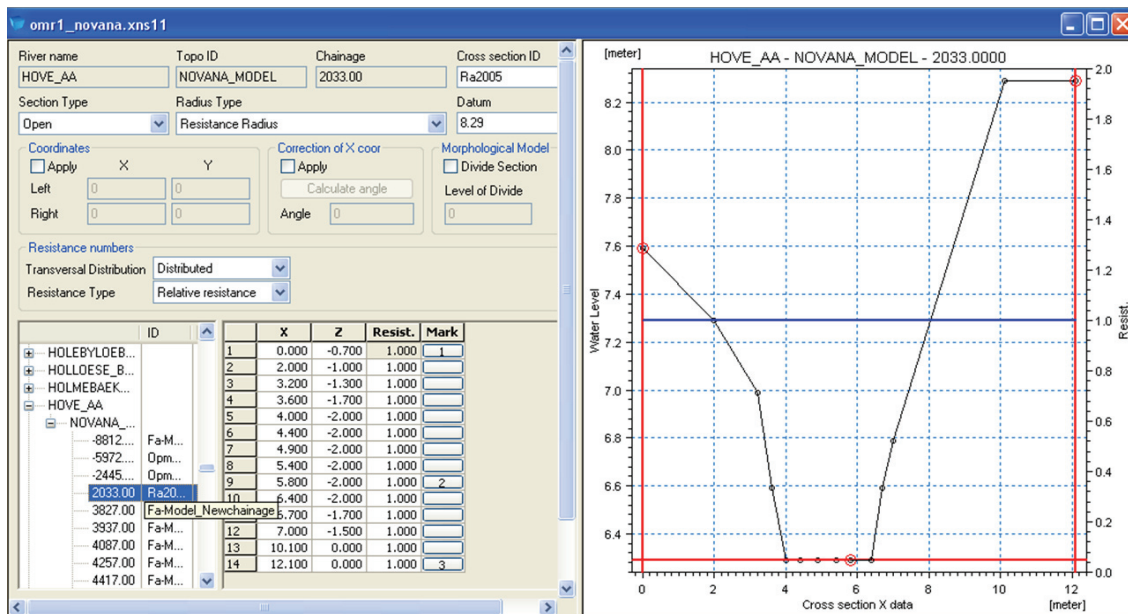
På basis af de indhentede MIKE11 opsætninger, vandløbstværsnitsopmålinger samt, afværg og spildevandsdata er der opstillet en samlet MIKE11 opsætning, der efterfølgende er bearbejdet til den færdige opsætning for Sjælland og sydhavsøerne.

Modeller der var opsat i tidligere geografiske projektioner (Falster-, Lolland-, Suså- og DK-modellerne) er konverteret til EUREF89 med KMS' transformations værktøj. Hvor der er modtaget flere MIKE 11 opsætninger fra et amt, der helt eller delvist dækker det samme område, er opsætningen med de nyeste data inkluderet i opdateringen. Der er ikke lave om på vandløbsnavnene i den eksisterende modelopstilling. Hvis et vandløb f.eks. hedder FKVL7 i den modtagne MIKE 11 opsætning, er det samme navn brugt i den samlede opsætning, medmindre flere vandløb fra forskellige opsætninger havde samme navngivning. Navnene er dog redigeret således at de danske specialkarakterer: æ, ø og å er udskiftet til æe, oe og aa. De modtagne modeller er gennemgået, og der er foretaget forskellige rettelser og korrektioner. Typiske rettelser omfatter blandt andet fjernelse af "løse" punkter, der ikke definerer et vandløb, korrektion af punkter der resulterer i vandløbsloops, kontrol af placeringen for kobling mellem vandløb og sidegrene. Ved samling af vandløb fra flere opsætninger er det endvidere sikret, at strømningsretningen er den samme for hele vandløbet. Generelt har vandløbene en positiv strømningsretning, der vil dog være enkelte undtagelser, hvor hele vandløb, med negative strømningsretninger, er medtaget fra tidligere opsætninger.

DK-modellens vandløb er inkluderet, hvor der ikke eksisterer en tidligere MIKE11 opsætning. Endvidere er der suppleret med vandløbsgrene, hvor amterne har vurderet dette nødvendigt, f.eks. hvor der udledes spildevand af betydende mængde. Den endelige MIKE11 netværksfil indeholder 512 og 151 vandløb for hhv. Sjælland samt Lolland, Falster og Møn.

Der er modtaget opmålinger og stationeringer fra amterne i forskellige formater, disse data er inkluderet i en samlet tværnsnitsfil. Foruden de indsamlede data indeholder filen tværnsnitsbeskrivelser fra den tidligere DK-model samt type-tværnsnit for de ekstra vandløbsgrene der er blevet indlagt, i det omfang der ikke eksisterer opmålinger for disse vandløb. Filen indeholder i alt 12956 tværnsnitsbeskrivelser, der efterfølgende er bearbejdet og reduceret i antal til den endelige MIKE11 opsætning for de to modelområder, som beskrevet herunder.

Indledningsvist er tværnsnitbeskrivende strukturer og bygværker sorteret fra, og stationeringen er konverteret til enheden meter for alle vandløb. I MIKE11 angives tværnsnittenes udformning ved en række x-z punkter, Figur 19, hvor z-koordinaten enten kan angive en absolut kote eller en relativ kote, hvor sidstnævnte kombineres med et datum for opnåelse af den absolutte kote for tværnsnittet. Anvendelsen af en relativ z-koordinat og datum har den fordel, at vandløbenes kote (datum) kan sammenholdes med en højdemodel. Samtlige tværnsnitsbeskrivelser blev følgelig justeret til at følge denne konvention.



Figur 19. Opsætning af vandløbstværsnit i MIKE11

Efter de indledende justeringer er der sket en udvælgelse af tværsnittene, prioriteret på følgende vis: 1) anvendelse af opmålte data i det omfang disse eksisterer, 2) tværsnitsbeskrivelser fra de modtagne MIKE11 opsætninger, 3) tværsnit konverteret fra den første version af DK-modellen, og 4) type-tværsnit. Denne prioritering har ført til, at tværsnittene i de indhentede MIKE11 opsætninger i nogle tilfælde kun er anvendt delvist. Eksempelvis er Hove Å opsætningen tilsendt fra Frederiksborg Amt inkluderet i MIKE11, men samtidigt er der modtaget opmålinger for Hove Å fra Roskilde Amt. Tværsnitsbeskrivelsen for Hove Å i Frederiksborg amts modellen blev vurderet ikke at være baseret på aktuelle opmålinger, hvorfor opmålingerne fra Roskilde Amt blev anvendt. Under konstruktionen af den samlede tværsnitsfil er det tilstræbt, at navngive tværsnitsbeskrivelser (Cross section-id) i overensstemmelse med dataenes oprindelse, så det er muligt at identificere hvor dataene stammer fra.

I tilfælde hvor der indenfor ét vandløb eksisterer opmålte data for en delstrækning, vil tværsnitsbeskrivelsen for vandløbet være en kombination af de opmålte tværsnit, samt beskrivelser fra tidligere modeller og/eller typetværsnit. Opmålte data er indlagt baseret på stationering samt geografiske koordinater for start og slut på opmålingen, og der er defineret et "user-defined" punkt for disse endepunkter. Ved anvendelse af "user-defined" punkter, sikres det, at den originale stationering fra opmålingen kan bibeholdes og at tværsnittene får deres korrekte geografiske placering. Op- og nedstrøms for de opmålte tværsnit (user-defined punkter) vil chainage nummer imidlertid blive justeret automatisk, hvorfor det har været nødvendigt at justere chainage nummer for de øvrige tværsnittene, så disse bibeholder deres placering i vandløbet.

Der har ikke været foretaget opmålinger eller opstillet MIKE11 for samtlige af de vandløb der var medtaget i den tidligere DK-model. For disse vandløb er tværsnitsbeskrivelse fra den tidligere DK-model konverteret til MIKE11. Konverteringen er foretaget med et program udviklet på GEUS (rdftv2m11), der kombinerer MSHE vandløbsopsætningen fra den tidlige-

re DK-model (*.rdf) med den nye netværksfil og genererer en txt fil med tværsnits data i "rå-data" format, der kan importeres til MIKE11.

Hvor der hverken eksisterer opmålinger, tidligere modelopsætninger eller vandløb i den tidligere DK-model er der konstrueret type-tværsnit. Udformningen af type-tværsnittene er bestemt ud fra medianminimumafstrømningen i de respektive vandløb. De nærliggende vandløbs tværsnit er kopieret, hvis de har den samme medianminimumsafstrømning og ellers er der lagt typetværsnit ind, som er udformet som simple trapezoider. Der er brugt et mindre tværsnit opstrøms og et lidt bredere nedstrøms, størrelsen (bredde og dybde) af typetværsnittene er bestemt ud fra vandløbets medianminimum, som angivet i Tabel 8. Datum for tværsnittet er hentet fra Top10DK højdemodel.

Tabel 8. Basis for konstruktion af typetværsnit

Tvær-profil	Medianminimums afstrømning [l/s]	Bund brede [m]	Bredde ved krone [m]	Dybde [m]
1	< 5	2.1	4.5	1.0
2	5 - 25	2.4	5.4	1.0
3	25 - 100	4.0	8.0	1.5
4	100 - 250	5.2	11.4	1.5
5	> 250	10.0	18.0	2.0

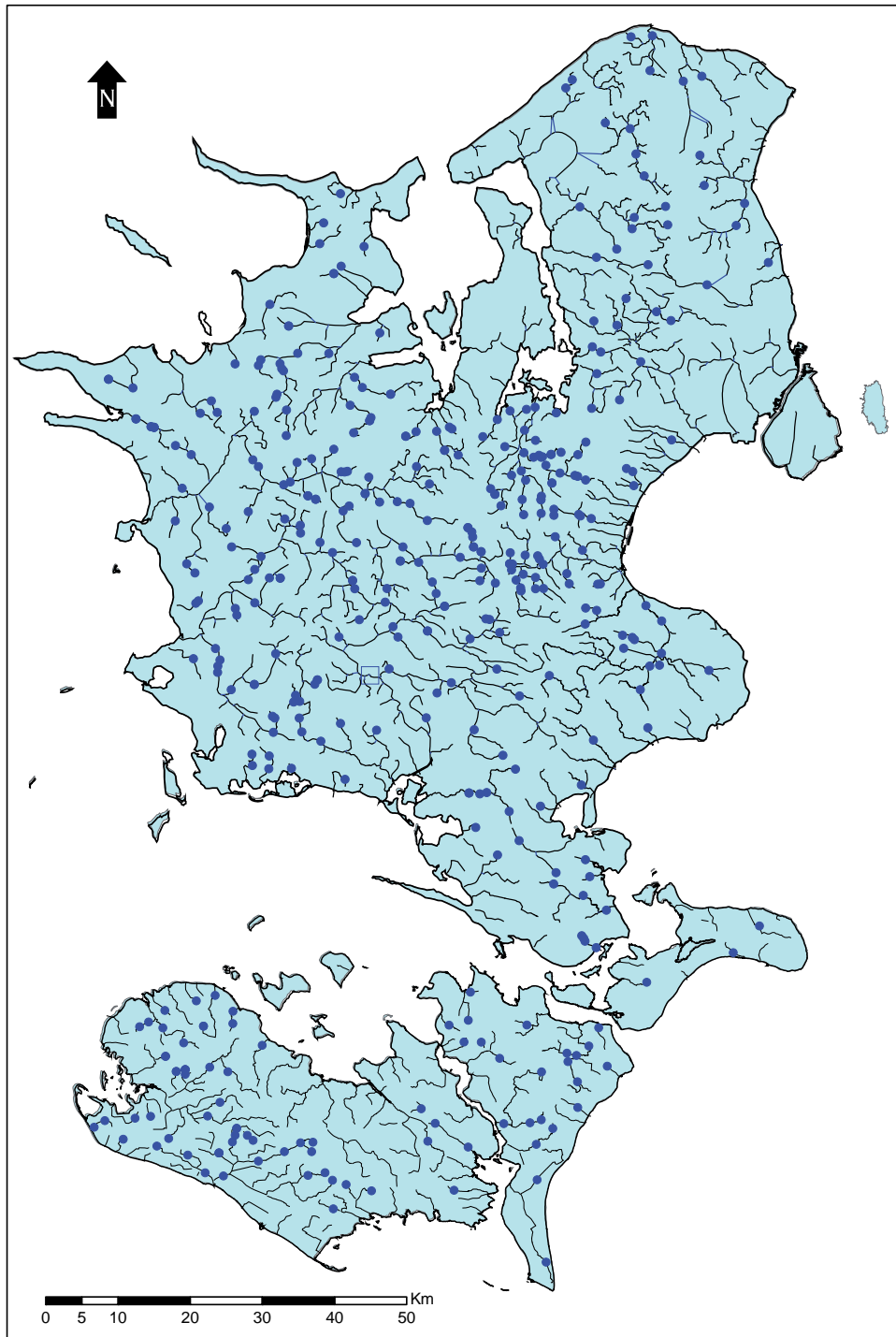
De modtagne data indeholder i flere tilfælde opmålinger med meget lille indbyrdes afstand, som ikke vil kunne opløses i en model med en grid størrelse på 500 m. Antallet af tværsnit er efterfølgende reduceret så der er max et tværsnit pr. 500 – 1000 m, dog sådan, at der er mindst et tværsnit for hvert 5 m fald i topografien. Den endelige MIKE 11 opsætning anvendt i modellerne for Sjælland samt Lolland, Falster og Møn indeholder hhv. 2011 og 444 tværsnit. Alle tværsnit, de modtagne opmålinger og delmodellers data, kan dog enkelt inkluderes ved at bruge den samlede tværsnitsfil, hvis vandets hastighed og volumen i vandløbene skal beregnes mere detaljeret f.eks. med St Venant løsningsmetode.

Til kontrol for tværsnittenes kote (datum) samt afstanden mellem tværsnittene i forhold til topografien, er der af GEUS udviklet et program. På basis af et "rå-data" format af tværsnit samt en højdemodel kontrollerer programmet, at der maksimalt er ét brugerdefineret fald i topografien mellem de anvendte tværsnit. I nærværende opsætning er der benyttet et maksimalt fald på 5 m. Med rutinen er det endvidere muligt, at overføre koten fra højdemodelen til datum for de enkelte tværsnit. Til dette formål er Top10DK højdemodelen anvendt med en gridopløsning på 25x25 m. For at tage hensyn til manglende præcision i højdemodelen samt geografiske koordinater, sammenlignes koten for Top10DK gridcellen indeholdende tværsnittet med de otte omkringliggende gridceller, og minimumskoten vælges som datum for vandløbet. På denne måde er koterne for typetværsnittene tilpasset højdemodelen. Det er efterfølgende kontrolleret manuelt, at tværsnittenes koteangivelse bliver mindre nedstrøms i vandløbene, og at det ser fornuftigt ud i overgangerne mellem de opmålte tværsnit og typetværsnittene.

Søer beskrives ved brede vandløbstværsnit og det er en ret simpel beskrivelse. Denne løsning er begrundet i modeltekniske årsager, hvor en detaljeret beskrivelse af søerne vil

medføre signifikant længere simuleringstider. Denne løsning for søerne medfører, at der ikke tages hensyn til søernes reservoir virkning, ligesom den regulering, der finder sted ved udløbene fra mange af søerne, ikke beskrives. Modellen vil derfor ikke være egnet til en detaljeret beskrivelse af dynamikken i og tæt ved søerne samt udvekslingen mellem søer og grundvand.

Spildevandsudledninger er inkluderet som punktkilder i de tilfælde hvor udledningen sker til et vandløb. Hvor der er angivet udløb midt i en mark (eller hvor det mangler et modelvandløb), er det vandløb der ligger tættest og indenfor samme opland udvalgt som recipient. Placeringen af de indlagte spildevandsudledninger fremgår af Figur 20. Randbetingelsen for spildevandsudledningen skal repræsenterer et tørvejrsestimat, dvs. udledningen af reelt spildevand uden den vandmængde, der siver ind i kloaksystemet. Baseret på tidligere undersøgelser i forbindelse med opsætningen af en grundvandsmodel for både Københavns og Frederiksborg Amter, blev det estimeret, at tørvejrskomponenten af spildevandet udgør ca. halvdelen af de målte mængder. Som randbetingelse er de indberettede spildevandsmængder derfor halveret.



Figur 20. Placering af udledninger til vandløb

Da modellen er opstillet til betragtning af den overordnede vandbalance, er det valgt at løse vandløbsstrømningen ved routing (Muskingum-Cunge), hvor vandet i vandløbene bliver routet (dirigeret) med en simpel routing metode. Af modeltekniske grunder er der specificeret en konstant vandføring opstrøms på 1 l/s, så vandløbene ikke løber tørre. Ved udløb til hav er der anvendt et fastholdt tryk på 0 m. Udvekslingen mellem vandløb og grundvandsdelen er styret ved en lækagekoefficient der er baseret alene på de hydrauliske egenska-

ber af vandløbsbunde ("River bed only" i MIKE11). Som udgangspunkt er der ikke foretaget en distribuering af vandløbslækagen.

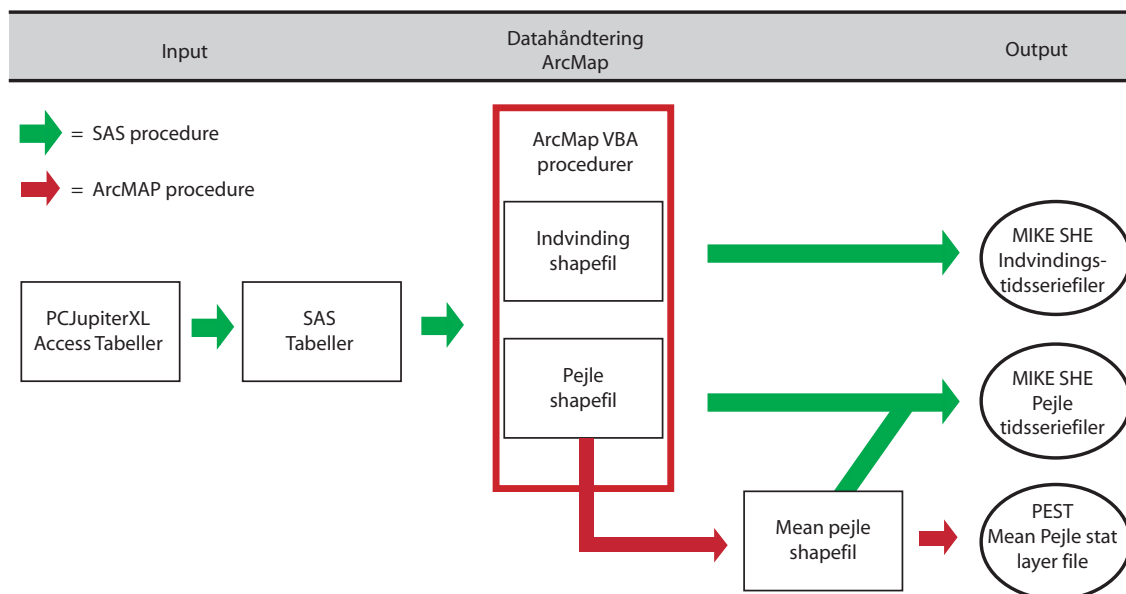
Vandløbene kobles til MIKE SHE på siderne af det numeriske grid, Figur 14. Da der kun kan medtages et vandløb mellem to MIKE SHE grids, er det ikke muligt at opløse detaljeringen i vandløbenes placering, hvor afstanden mellem vandløbene er mindre end det anvendte numeriske grid på 500 x 500 m. Ved koblingen mellem MIKE SHE og MIKE11 har det derfor i nogle tilfælde været nødvendigt at foretage mindre justeringer i vandløbsnetværksfilen. Dette har ingen betydning for vandløbsberegningerne i MIKE 11, da alle vandløb her er bibeholdt med deres korrekte længde. Ved kobling mellem MIKE 11 og MIKE SHE vil der dog mangle udvekslingspunkter, hvor vandløbene er mindre end størrelsen af det numeriske grid, ligesom nogle udvekslingspunkter vil være geografisk forskudt, hvor der er mindre end 500 m mellem vandløbene. For meget lokale forhold vil det kunne betyde en mindre ændring i udvekslingen mellem grundvand og vandløb, og vandløbsnetværket bør derfor revurderes, hvis det skal anvendes videre i detaljeret modellering.

5.4 Indvindinger

For at opnå en samlet oversigt over indvindingerne og deres fysiske placering, er det valgt at medtage samtlige indvindinger lagret i Jupiter, uden skelen til indvindingernes størrelse og betydning for vurdering af den overordnede vandbalance. Samtlige indvindinger er endvidere fordelt ud på de enkelte indtag indenfor et anlæg. Denne fremgangsmetode er begrundet i ønsket om, at opbygge modellen, så den i videst muligt omfang kan anvendes som udgangspunkt for detailmodeller.

Indvindingsdataene er processeret vha. GIS-rutiner, der er udviklet i forbindelse med opdateringen af DK-modellen. Det overordnede flow i dataprocesseringen er illustreret i Figur 21, og består af følgende trin:

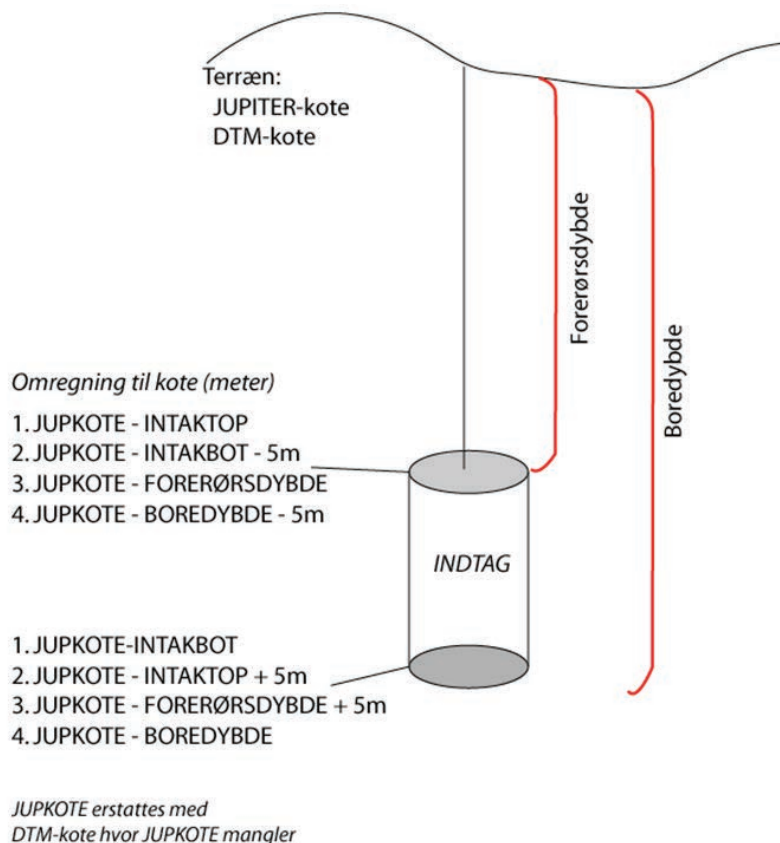
1. PC-Jupiter udtræk for modelområdet
2. Konvertering af access database til en ArcMap shape fil.
3. Dataprocessering vha. udviklede GIS-rutiner
4. Eksport af indvindingsfiler, der kan importeres direkte i MIKE SHE



Figur 21. Flow i processing af indvindings- og pejledata. ArcMap procedurerne foretages vha. udviklede visual basic (VBA) rutiner.

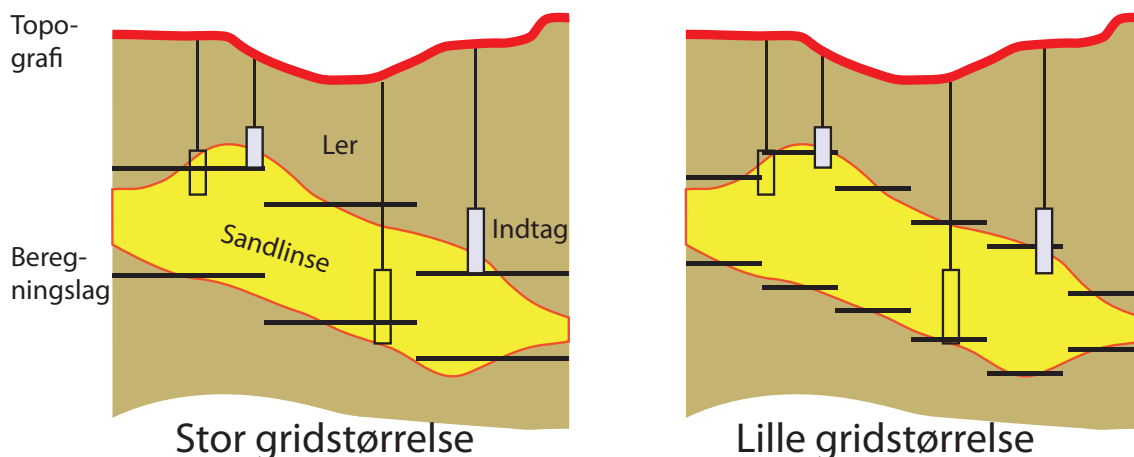
Dataprocesseringen i ArcMap består dels i en fejlscreening af data, hvor indtag med manglende informationer tildeles en fejlkode. Årsagerne til at en indvinding ikke kan placeres er enten manglende geografiske koordinater (x,y,z), eller manglende informationer mht. koblingen mellem anlæg og indtag. I de tilfælde der eksisterer supplerende boringsinformationer estimeres indtagenes top- og bundkoter på baggrund af disse. Bestemmelsen af top- og bundkoter foregår efter en prioriteret rækkefølge, som fremgår af Figur 22. Betydningen af benævnelserne anvendt i Figur 22 er:

JUPKOTE	Terrænkote ved boring angivet i Jupiter
DTM-kote	Terrænkote ved boring fra TOP10 højdemodellen
INTAKTOP	Nedstik fra terræn til top af indtag
INTAKBOT	Nedstik fra terræn til bund af indtag
FORERØRSDYBDE	Placering af forerør i meter under terræn
BOREDYBDE	Dybde af boring under terræn



Figur 22. Bestemmelse af top- og bundkoter for indtag. Nummereringen angiver den prioriterede rækkefølge.

Efter fejlscreening og bestemmelse af koter for indtagenes bund og top, skal indtagene indplaceres i de korrekte hydrostratigrafiske enheder. I nogle tilfælde vil en placering af indtagene efter kote resultere i, at indtagene vil blive indplaceret i en lereenhed frem for en magasinenhed som forventelig. En sådan umiddelbar uoverensstemmelse mellem filterplacering og hydrostratigrafiske enheder kan have flere årsager. Dels kan der være fejl i den hydrostratigrafiske model, enten ved forkert magasin afgrænsning eller manglende repræsentation af magasiner pga. den anvendte skala. Andre årsager kan være, at interpolationen i 500x500 m grids er for grov til at opløse mindre variationer, hvorved et indtag kommer til at falde udenfor magasinet, Figur 23. Endeligt kan der være fejl i de angivne koter i Jupiter databasen. I forbindelse med en vurdering af ressourcen, er det imidlertid vigtigt, at indvindingerne henføres til de korrekte magasiner, så der oppumpes de korrekte mængder fra de enkelte magasiner. Dette er specielt vigtigt for modellens anvendelighed i forbindelse med vandplanerne og rapporteringen til Vandramme direktivet, hvor indvindinger skal angives på grundvandsforekomst niveau. Linket mellem indtag og grundvandsforekomster er ikke indlagt i nærværende model, da der hertil kræves en 2D horisontal afgrænsning af grundvandsforekomsterne. Når en sådan horisontal afgrænsning foreligger, er det imidlertid en relativ simpel opgave, at associere de enkelte indtag til en grundvandsforekomst.



Figur 23. Indplacering af filtre i model ved forskellige horisontale opløsninger. Ved stor gridstørrelse vil de grå filtre blive placeret i lerenheder ved en indplacering efter koter.

Indtag der ved deres koteangivelse ikke falder indenfor en magasin enhed, er følgelig blevet henført til en sådan, i det omfang det har været muligt. Det skal understreges, at der ikke er sket en justering af filterkoterne i Jupiter, men udelukkende er tale om, at indtagene er blevet associeret til et bestemt modellag under opstillingen af den numeriske model. Den overordnede procedure for indplacering af indtag i modellen har været:

1. Indtag der er helt eller delvist placeret i et vandførende lag er associeret dette lag (beregningsslag 3,5,7,9 og 12). I de særlige tilfælde, hvor et indtag strækker sig over flere vandførende lag er indtaget angivet placeret i det dybeste lag.
2. Hvor indtaget ikke falder sammen med en vandførende enhed i modellen, angives den nærmeste vandførende enhed enten under eller over indtaget med prioritet i nedadgående retning, såfremt denne har en tykkelse på minimum 10 cm. I tilfælde hvor der ikke eksisterer en magasin enhed umiddelbart under eller over et indtag associeres indtaget til en magasin enhed beliggende mere end et lag under/over, hvis den mellemliggende ler enheder har en meget begrænset vertikal udbredelse (<10m).
3. For de resterende indtag er det antaget, at indtaget står i ler eller et mindre sandmagasin, der ikke er repræsenteret i den geologiske model. Disse indtag henføres derfor ikke til et andet beregningsslag, men bibeholdes i lerlaget (beregningsslag 2, 4, 6, 8, 10 og 11).

Databehandlingen af indvindingsdataene er beskrevet i nærmere detaljer i bilag 1, og dokumenteret på indtagsniveau i den GIS-tabel, der ligger til grund for databehandling. GIS-tabellen er fremsendt til miljøcentrene for KS.

Det endelige resultat af databehandlingen er gengivet i Tabel 9 og Tabel 10 for hhv. modellen for Sjælland samt modellen for Lolland, Falster og Møn, hvor den årlige middelindvinding er beregnet på basis af perioden 1990 – 2006.

Table 9. Overview of the distribution of discharges distributed on model layers for Sjælland

Beregningslag	Indtag i lag	Indtag henført til lag	Samlet antal indtag	Indvinding 1990 – 2006 (m ³ /år)	% af samlet indvinding
1	0	0		0	0
2			4	13.226	< 0,1
3 (Sand)	33	4	37	1.628.159	0,7
4			32	222.565	0,1
5 (Sand)	492	68	560	11.149.357	4,6
6			62	619.608	0,3
7 (Sand)	652	72	724	22.091.980	9,1
8			44	398.903	0,2
9 (Sand)	255	20	275	9.319.897	3,8
10			35	408.608	0,2
11			12	159.812	0,1
12 (Kalk)	3987	62	4049	165.255.936	68,1
I alt		226	5834	211.268.052	87,0
Samlet indvinding for Sjælland				242.700.543	100
Frasorteret ved fejlscreening			621	31.300.564	13,0

Tabel 10. Oversigt over fordelingen af indvindinger fordelt på modellag for Lolland, Falster og Møn

Beregningslag	Indtag i lag	Indtag henført til lag	Samlet antal indtag	Indvinding 1990 – 2006 (m ³ /år)	% af samlet indvinding
1				0	0
2			5	32.593	< 0,1
3 (Sand)	0	0	0	0	0,7
4			3	55.164	0,1
5 (Sand)	37	2	39	848.510	4,6
6			3	4.809	0,3
7 (Sand)	127	22	149	2.819.180	9,1
8			10	157.764	0,2
9 (Sand)	6	1	7	78.748	3,8
10	1		1	8.079	0,2
11	0		0	0	0,1
12 (Kalk)	652	1	653	8.520.379	68,1
I alt		26	870	12.525.225	87,0
Samlet indvinding for Lolland, Falster og Møn				13.063.856	100
Frasorteret ved Fejlscreening			22	508.116	3,9

Som det fremgår af tabellerne, er det ikke hele den samlede indvinding der har kunnet indplaceres i modellen. I langt størsteparten af tilfældene skyldes det manglende information om hvilke borerne indvindingen sker fra (kobling mellem anlæg og indtag), hvorfor der ikke er informationer om x,y, eller z-koordinaterne for indvindingen. Af tidsmæssige årsager var det ikke muligt for Miljøcentrene at foretage en kvalitetssikring af indvindingsdataene, og herunder supplere med manglende informationer, indenfor det tidsrum der var tilgængelig for kalibreringen. Indvindinger med manglende informationer i Jupiter databasen, er derfor ikke medtaget i model versionen dokumenteret i denne rapport. Dette er specielt kritisk for Sjælland, hvor 13% af den samlede indvinding er frasorteret under fejlscreeningen af indtagene.

5.5 Numeriske parametre

Ved de dynamiske simuleringer er anvendt følgende parametre for tidsskridt og iterationer:

Mættede zone

Løsningsalgoritme	PCG
Maks. tidsskridt	24 timer
Maks. nedbør pr. tidsskridt	10 mm

Iterationskontrol

Maks. H-ændring	0,01 m
Maks. residual fejl	5,0e-3 m/d
Maks. iterationer	100

Overland flow

Løsningsalgoritme	SOR
-------------------	-----

Iterationskontrol

Maks. H-ændring pr. iteration	1,0e-4 m
Maks. residual fejl	1,0e-4 m/d
Maks. iterationer	200

Simuleringsresultater for vandløb er gemt for hver 12 timer, mens øvrige data er gemt for hver 720 timer svarende til hver 30. dag.

6. Kalibreringsstrategi og data

De to modelområderne for hhv. Sjælland samt Lolland, Falster og Møn, er opsat sideløbende, hvor inputfilerne er dannet så de dækker begge områder. I forbindelse med kalibreringen, er det dog valgt at splitte de to modelområder op, for at opnå en hurtigere simuleringstid af modellen. De to områder er sammenlignelige mht. geologiske og hydrologiske forhold, og der er anvendt samme modelkoncept for begge områder, inklusiv opbygningen af den geologiske model. Det må således forventes, at de hydrauliske ledningsevner for de to områder vil være tilnærmelsesvis ens. Dette er testet ved en "proxy-basin" test, hvor modellen for Sjælland er kalibreret, og de kalibrerede værdier efterfølgende er overført til modellen for Lolland, Falster og Møn. Evalueringen af denne proxy-basin test er foretaget ved at analysere, om modellen for Lolland, Falster og Møn overholder de opstillede kalibreringsmål.

6.1 Kalibreringsprocedure

Modellen for Sjælland er kalibreret i en kombination af stationær og dynamisk kalibrering, hvor de hydrauliske ledningsevner er kalibreret inverst ved anvendelse af en stationær model, mens de dynamiske parametre er kalibreret ved trial-and-error metoden baseret på en dynamisk udgave af modellen. Den inverse kalibrering blev gennemført ved anvendelse af det modeluafhængige optimeringsprogram PEST ver. 11.3 (PEST). PEST er ikke inkluderet i MIKE SHEs brugerflade, hvorfor koblingen er sket "bagom" MIKES SHE brugerfladen. Kombinationen af den stationære og dynamiske kalibrering er valgt delvist pga. den hurtigere afviklingstid af de stationære simuleringer, men også pga. den forholdsvis dårlige dækning af pejletidsserier for den valgte periode.

Modellen er opstillet for perioden 1990 – 2005. De detaljerede klima grids (10x10 km for nedbør og 20x20 km for fordampning og temperatur) er imidlertid kun tilgængelig fra 1999. Under kalibreringen og den efterfølgende validering er det derfor valgt kun at anvende perioden 2000 – 2005, en eventuel effekt af skiftet fra de grove til de fine klima grids vil her ved ikke influere simuleringerne. Der er foretaget en split-sampling test til kalibrering og verificering (validering) af modellen, hvor de første tre år (2000 – 2002) er anvendt til kalibrering af modellen, mens de sidste tre år (2003 – 2005) er reserveret til en verificering af modellen.

Erfaringerne fra Ferskvandets kredsløb (Henriksen & Sonnenborg, 2003) viste, at der var problemer med vandbalancen på national skala, hvor det var nødvendigt at reducere den af rodzone modulet beregnede nettonedbør. Som følge heraf blev der nedsat en arbejdsgruppe, der udfærdigede konsensus notatet *Vandbalance på mark- og oplandsskala* (Plauborg et al., 2002), med anbefalinger om nedbørskorrekationer og fordampningsrutine. Disse anbefalinger blev anvendt under projektet *Optimering af DK-model for Københavns Energi* (Troldborg, 2006), hvor de tre delmodeller for Sjælland fra Ferskvandets Kredsløb blev sammensat til én samlet model. Det blev her fundet, at selv med anvendelse af anbefalingerne fra Plauborg et al. (2002) var der stadig problemer med at få vandbalancen til at gå op. Da rodzone modulet ligeledes er anvendt i nærværende modelopstilling forventes det

således ikke, at en korrektionsværdi af nettonedbøren, som anvendt i Ferskvandets kredsløb, kan undgås. Nettonedbørens størrelse er derfor inddraget som en kalibreringsparameter. En evt. vandbalancefejl er vurderet ud fra de dynamiske kørsler, hvor vandbalancen for modelområdet er beregnet ved sammenligning af den samlede observerede og simulerede vandløbsafstrømning på udvalgte stationer.

6.2 Valg og bearbejdning af potentialer og afstrømningsdata

Modellen er kalibreret mod potentialer og afstrømningsdata. Potentialerne er udtrukket fra Jupiter databasen, mens afstrømningsdata er indhentet fra DMU.

6.2.1 Databehandling - potentialer

For at opnå en tilstrækkelig rumlig dækning mht. potentialer er det valgt at medtage potentialer fra 1990. Til den stationære kalibrering er der anvendt et middel potentiale for to perioder. De indtag hvori der kun eksisterer observationer fra før 2000 er der midlet over perioden 1990 – 1999, mens der er midlet over perioden 2000 – 2005 i de øvrige indtag. Den sidste periode er således sammenfaldende med kalibrerings og valideringsperioden.

Ved en placering af indtag med pejleobservationer i modellen blev det fundet, at flere indtag helt eller delvist blev henført til beregningslag der repræsenterer ler, hvis koter for top og bund af filter, som angivet i Jupiter databasen, blev anvendt. Da langt hovedparten af pejlinger foretages i magasiner er der således en manglende overensstemmelse mellem filterets kote angivelse samt den hydrostratigrafiske model. Der er flere årsager til, at en sådan manglende overensstemmelse kan opstå, som beskrevet under afsnittet om indvindinger, afsnit 5.4. Under kalibreringen er det imidlertid vigtigt, at pejlningen henføres til den korrekte hydrostratigrafiske enhed, så potentialer simuleret i ler ikke sammenlignes med trykobservationer fra sand magasiner. Indtag placeret i ler er derfor efterfølgende blevet associeret til de sandmagasiner/beregningslag de er vurderet at repræsentere. Den overordnede procedure har været:

1. Indtag der er helt eller delvist placeret i et sandmagasin er associeret dette magasin (beregningsslag 3,5,7,9 og 12). I de særlige tilfælde, hvor et indtag sidder i to vandførende lag er indtaget angivet placeret i det dybeste lag.
2. Hvor indtaget ikke falder sammen med en vandførende enhed i modellen, angives den nærmeste vandførende enhed under indtaget, såfremt denne har en tykkelse på minimum 10 cm. Hvis den nærmeste vandførende enhed under indtaget ikke har tilstrækkelig tykkelse anvendes den nærmeste vandførende enhed over indtaget, såfremt denne opfylder kravet om 10 cm tykkelse. Et indtag flyttes maksimalt +/- ét beregningslag.
3. For de resterende indtag er det antaget, at indtaget står i ler eller mindre sandmagasin, der ikke er repræsenteret i den geologiske model. Disse indtag henføres derfor ikke til et andet beregningslag, men bibeholdes i et lerlag (beregningsslag 2, 4, 6, 8, 10 og 11), hvor indtaget sidder.

Antallet af indtag der på denne måde er associeret til et magasin lag fremgår af

Tabel 11 og Tabel 12 for hhv. område 1 og 2. Det skal bemærkes, at filtersætningen for de indtag der er henført til et magasinlag ikke er justeret i Jupiter, men blot er blevet associeret til et bestemt beregningslag til brug for kalibreringen.

Tabel 11. Placeringen af indtag med pejlinger i modellen for Sjælland. Pejlinger fra indtag filtersat i lerlag er ikke medtaget i kalibreringen og derfor angivet i parentes.

Beregningslag	Indtag i lag	Indtag henført til vandførende lag	Total	Frasorteret før kalibrering	I alt til kalibrering
1			51	2	(49)
2			230	14	(216)
3 (Sand)	183	0	183	31	152
4			552	16	(536)
5 (Sand)	1615	143	1758	371	1387
6			287	53	(234)
7 (Sand)	832	34	866	468	398
8			124	44	(80)
9 (Sand)	259	5	264	187	77
10			52	29	(23)
11			16	8	(8)
12 (Kalk)	3794	52	3846	1822	2024
I alt Magasiner	6683	234	6917	2879	4038
I alt Hele model			8229	3045	5184

Tabel 12. Oversigt over placeringen af indtag med pejlinger i modellen for Lolland, Falster og Møn

Beregningslag	Indtag i lag	Indtag henført til vandførende lag	Total	Pejlinger > 10 m fra nærmeste indvinding i samme lag
1			16	16
2			30	30
3 (Sand)	2	0	2	2
4			105	105
5 (Sand)	33	3	36	28
6			53	51
7 (Sand)	86	19	105	44
8			16	13
9 (Sand)	4	0	4	2
10			0	0
11			0	0
12 (Kalk)	298	1	299	42
Total	429	23	666	333

Der er efterfølgende sket en udvælgelse af pejlinger til den stationære kalibrering af modelområde 1. Denne udvælgelse er sket på basis af en analyse af indledende stationære kørsler. Her blev det fundet, at der var en klar bias for pejlinger placeret tæt på indvindingsboringer, hvor modellen simulerede et højere potentiale end observeret. Dette skyldes skalaen af beregningsgriddet, hvor en lokal sænkningstragt ikke kan repræsenteres i et 500x500 m grid. For at undgå denne bias under den inverse simulering er pejlinger beliggende tættere end 10 m til en indvinding i samme beregningslag sorteret fra. For pejlinger beliggende mellem 10 og 500 m (gridstørrelsen) blev der stadig fundet en svag bias mht. simulering af for højt potentiale. Denne bias var dog ikke så markant, hvorfor disse potentialer blev medtaget i den stationære kalibrering. Efterfølgende er pejlingerne gennemgået manuelt for at identificere eventuelle "out liers". Disse er identificeret som pejlinger med en observeret værdi, der afviger markant fra de omkringliggende pejlinger filtersat i samme beregningslag. Det samlede antal pejlinger til rådighed for den stationære inverse kalibrering af modelområde 1 samt antallet af frasorterede pejlinger er angivet i kolonnerne yderst til højre i Tabel 11. Det skal bemærkes, at af de 3045 indtag der er frasorteret før kalibreringen, er hovedparten (2861) frasorteret fordi de står tættere end 10 m fra en indvindingsboring i samme beregningslag. For en mere detaljeret beskrivelse af proceduren for udvælgelse af pejlinger til den inverse kalibrering henvises til bilag 2.

Under den inverse kalibrering er der kun medtaget pejlinger der er associeret til et sandmagasin (lag 3, 5, 7, 9 og 12). Denne fremgang er valgt, da det kun vil være få/ingen af de observerede pejlinger, der i virkeligheden repræsenterer potentialet i lerlagene. Ved at medtage simulerede pejlinger for lerlagene vil der således være en uoverensstemmelse mellem de observerede og simulerede størrelser.

Tidsserier af grundvandspotentialet er kun anvendt under trial-and-error kalibreringen af de dynamiske parametre (magasintallene). Miljøcenter Roskilde havde foretaget et udtræk af pejletidsserier fra Jupiter, hvor en tidsserie var defineret ved, at der var minimum 15 pejlinger i indtaget fra 1996 og frem, hvilket resulterede i 1662 tidsserier. Til brug for den dynamiske kalibrering blev det valgt at medtage tidsserier, hvor boringen var placeret minimum 250 m fra en indvinding i samme beregningslag, hvor den samlede indvindingsmængde for anlægget oversteg 25.000 m³ pr. år. Herved var der 262 pejletidsserier (150 i kalken) for kalibreringsperioden og 239 (141 i kalken) for valideringsperioden.

6.2.2 Databehandling - afstrømningsdata

Fra DMU er der modtaget tidsserier for 129 vandføringsstationer på Sjælland, Lolland, Falster og Møn, der helt eller delvist dækker kalibrerings- og valideringsperioden. Ud af disse er der udvalgt 37 stationer til kalibrering af modellen for Sjælland. Udvælgelsen af afstrømningsstationer er baseret på oplandsstørrelse, driftsperiode samt eventuel påvirkning af reguleringer i vandløbet. Da modellen er en storskala model vil det ikke være muligt at opnå en tilfredsstillende simulering af vandføringerne for de mindste oplande. Som udgangspunkt er det derfor valgt kun at medtage data fra stationer med et oplandsareal på mere end 50 km². I tilfælde hvor der ikke opnås en tilstrækkelig rumlig dækning med stationer > 50 km² er mindre stationer medtaget, med oplande ned til 27 km². Effekten af en eventuel regulering af et vandløb er vurderet på basis af en visuel inspektion af data, og vandløb

med markant regulering er udeladt fra kalibrering og validering, da disse aspekter ikke er medtaget i modelopsætningen. For at kunne foretage en sammenligning med DK-modellen afrapporteret i Ferskvandets Kredsløb (Henriksen & Sonnenborg, 2003), er stationerne indeholdt i Ferskvandets Kredsløb ligeledes medtaget i nærværende opsætning, i det omfang stationerne har været i drift i perioden 2000 – 2005. Karakteristika for de 37 stationer der medtaget under kalibrering og validering af modellen for Sjælland er angivet i Tabel 13, mens deres placering fremgår af Figur 32.

Tabel 13 Afstrømningsstationer anvendt til kalibrering og validering af modellen

DDHmåle stnr	DMU stnr	Sted	Opland (km)	Vand balance*
48.04	480007	Højbro å - v. Hanebjerggård	36,31	0
	480010	Søborg kanal - Parkvej	57,75	1
49.14	490058	Pøle å - nedstrøms Pibemølle	80,02	1
50.05	500056	Nive å - v. Jellebro	62,42	1
50.06	500057	Usserød å – Nive mølle	74,39	1
51.07	510024	Tuse å – Nybro	104,69	1
51.10	510026	Elverdamsåen - v. Kragebro	34,54	0
52.08	520029	Havelse å - Strø bro	102,17	0
52.14	520039	Værebro å - v. Veksø bro	110,52	1
52.21	520063	Hove å - s. F. Gundsøgård	67,89	1
52.20	520064	Hove å - Hove mølle	54,67	0
52.30	520068	Langvad å – Storemøllebro	175,48	1
	530011	St. Vejle å – Vejlebrovej	51,85	1
53.08	530028	Damhusåen – Landlystvej	63,85	1
55.06	550017	Åmose å - Ugerløse bro	112,31	0
55.01	550018	Åmose å – Bromølle	292,07	1
56.10	560001	Bjerge å – Fårdrup	53,66	1
56.09	560002	Seerdrup å – Johannesdal	68,34	1
56.15	560003	Tudeå – Skrætholm	59,49	0
56.11	560005	Tudeå – Valbygård	260,74	1
56.06	560007	Tudeå – Ørslev	147,97	0
57.53	570047	Ringsted å – Vrangstrup	245,97	0
57.01	570049	Saltø å – Grønbro	63,84	0
57.04	570050	Suså - Næsby bro	610,47	0
57.37	570053	Fladså – Rettestrup	67,92	1
57.49	570055	Saltø å - ns. Harrested å	150,94	1
57.46	570056	Suså – Tvedebro	119,86	0
57.21	570057	Suså - Veterslev bro	266,05	0
57.12	570058	Suså - s.f. Holløse bro	763,28	1
57.32	570068	Vigersdal å – Værkevad bro	72,08	0
58.08	580025	Slimminge å - Kulerup enghave	56,05	0

DDHmåle stnr	DMU stnr	Sted	Opland (km)	Vand balance*
58.07	580047	Køge å - v. Lellinge dambrug	134,32	1
59.01	590006	Tryggevælde å - v. Ll. Linde	129,22	1
59.09	590009	Tryggevælde å - Øster bro	56,84	0
60.04	600031	Mern å - Sageby bro	42,88	1
60.03	600036	Tubæk - Tubæk mølle	54,2	1
60.05	600037	Vivede mølleå – Ridebro	27,42	0
Samlet areal			4932,47	

* Vandbalance=1 er stationer der er blevet anvendt til verificering af den samlede vandbalance

Vandføringsstationer udvalgt til proxy-basin testen for Lolland, Falster og Møn er angivet i Tabel 22 mens deres geografiske placering er vist på Figur 41.

Afstrømningsdata er anvendt under såvel den stationære som den dynamiske kalibrering af modellen for Sjælland. Under den stationære kalibrering er der kalibreret mod en middel afstrømning for kalibreringsperioden, mens der er anvendt daglige værdier ved den dynamiske kalibrering.

Stationerne der er anvendt til en test af den samlede vandbalance for modelområdet, er angivet i yderste højre kolonne i Tabel 13. Stationerne er udvalgt på baggrund af tre kriterier:

1. stationerne må ikke være reguleret i nævneværdig grad
2. stationerne skal repræsentere et opland der ikke er væsentligt under 50km²
3. der medtages kun én station pr. opland, så oplande med flere stationer ikke overrepræsenteres

Ved modelkalibrering er det muligt at opstille nogle kvantitative kriterier, hvor modellens evne til at reproducere de anvendte observationsdata kan udtrykkes matematisk. Disse kriterier gennemgås nedenfor for hhv. potentiale data samt afstrømningsdata. Foruden disse kvantitative kriterier skal resultatet af kalibreringsprocessen vurderes på basis af nogle kvalitative kriterier. De kvalitative kriterier der er opstillet i forbindelse med nærværende kalibrering er:

- De estimerede parametre skal have realistiske værdier
- Residualerne skal være fordelt fornuftigt arealmæssigt.
- For vandløbene skal den rigtige dynamik afspejles. Dvs. en hændelse giver den rigtige respons både i tid og sted.

6.2.3 Performance kriterier - potentialer

Det er valgt at anvende en middelfejl (ME) samt en 'Root mean squared' (RMS) til at udtrykke modellens evne til at reproducere potentialet. Disse performance kriterier er givet ved

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{obs,i} - H_{sim,i})$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{obs,i} - H_{sim,i})^2}$$

hvor

- $H_{obs,i}$ er det observerede potentiale for observation i (m)
 $H_{sim,i}$ er det simulerede potentiale svarende til observation i (m)
 n : er det samlede antal observationer

Middelfejlen udtrykker modellens evne til at simulere det generelle trykniveau. En positiv ME angiver at modellen, i middel, simulerer et potentiale der er mindre end det observerede, mens en negativ ME angiver at modellen i middel simulerer et potentiale der er for højt. Den optimale værdi for middelfejlen er således 0 (nul). I "Håndbog for grundvandsmodellering" (HB) (Sonnenborg og Henriksen, 2005) er der givet et bud på en acceptabel størrelse for middelfejlen:

$$\frac{|ME|}{\Delta h_{max}} \leq \beta_1$$

hvor Δh_{max} er forskellen mellem maksimum og minimum hydraulisk trykniveau i området, og β_1 afhænger af nøjagtighedskriteriet for modellen. Da formålet med nærværende model er en vurdering af vandbalancen på overordnet niveau, stiles der mod et nøjagtighedskriterier der er defineret som "Konservativ Akvifer simulering" i HB, hvilket betyder, at β_1 antager værdien 0,025. Den maksimale variation i observeret trykniveau er 70 m [-10; 60] (55 m [-10,2; 44,9] for kalkmagasinet). En acceptabel middelfejl kan således beregnes til $\pm 1,75$ m for hele modellen ($\pm 1,4$ m for kalken).

Under den inverse kalibrering anvendes alene kvadratafvigelsessummen mellem (middel) observeret og simuleret potentiale som kalibreringsmål (objektiv funktion). Dvs., middelfejlen indgår ikke som kalibreringsmål, men beregnes på basis af den optimerede model og vurderes i forhold til kriteriet opsat for denne.

RMS (root mean squared error eller middelværdien af kvadratafvigelsessummen) er det kriterium, der oftest anvendes til at måle den opnåede overensstemmelse mellem data og model. Denne norm er et mål for spredningen på residualerne, dvs. forskellen mellem observerede og simulerede værdier. RMS skal sammenholdes med standardafvigelsen af observationerne, der er en kombination af usikkerheden på observationen samt modellens evne til at reproducere observationerne, hvor sidstnævnte afhænger af den naturlige variabilitet i området og diskretiseringen af modellen. I HB er følgende kriterium foreslået:

$$\frac{RMS}{s_{obs}} \leq \beta_2$$

hvor s_{obs} er standardafvigelsen på observationerne og β_2 antager værdien 2 for konservative akvifer simuleringer. Standard afvigelsen på observationerne udgøres af forskellige bidrag:

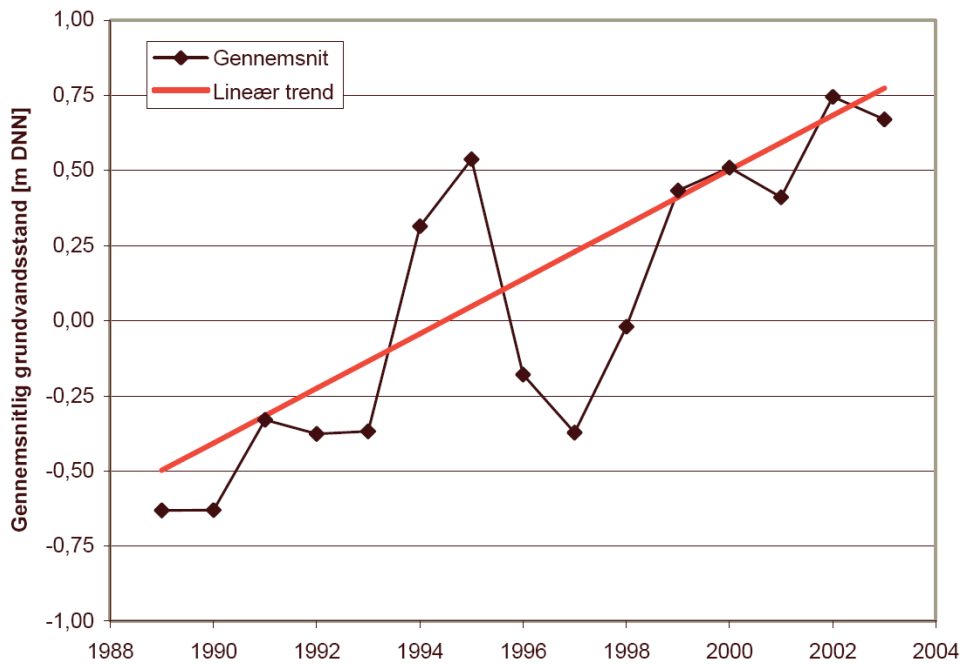
- *Målefejl* der er fejl ved aflæsning af potentialet
- *Kote* er fejl ved bestemmelse af målepunktskoten. Da der i den senere tid er gjort et stort stykke arbejde at bestemme denne kote, antages denne fejl at være lille
- *Interpolation* er et udtryk for hvor godt variationen i potentialet kan repræsenteres i modellen og afhænger således af gridstørrelsen og den hydrauliske gradient. Denne værdi blev i Ferskvandets kredsløb bestemt til 1,5 m, da gridstørrelsen i nærværende model er det halve, bliver denne værdi ligeledes halveret.
- *Heterogenitet* er et udtryk for den forventede variation i potentialet pga. heterogeniteten i den hydrauliske ledningsevne. Denne værdi blev i Ferskvandets kredsløb beregnet til 2,1 m, der ligeledes anvendes her.
- *Ikke stationaritet* er relateret til, at der anvendes en stationær model, hvor variationen i potentialet ikke medtages. Denne størrelse er vurderet ud fra den generelle ændring over perioden 1990-2003, som i Vandplan Sjælland samarbejdet (Vandplan Sjælland, 2005) blev fundet til ca. 1,3 m, Figur 24. Hertil kommer sæson variationen der er vurderet til 1 m. Denne størrelse bliver således sammenlagt $2,3m/2 = 1,15m$
- *Andre effekter* udgøres bl.a. af vertikale skalfejl samt variationer i topografien. I Ferskvandets kredsløb blev der anvendt en værdi på 0,5 m, idet der i nærværende model anvendes et finere grid, vurderes denne at være 0,25m

Hvis fejlene antages at være uafhængige kan de enkelte bidrags varians (kvadratet på de tabulerede standardafvigelser) summeres, og den samlede standardafvigelse på observationsdata kan beregnes som kvadratroden af denne sum. Den samlede usikkerhed kan således beregnes til 2,52 m, og for at opfylde kriteriet $RMS/s_{obs} \leq 2$ er kriteriet for modellen at $RMS \leq 5,05$ m.

Tabel 14 Estimeret standard afvigelsen på potentialer

	Pejlefejl		Skalafejl		Ikke-stationaritet	Andre effekter	Samlet usikkerhed
	Målefejl	Kote	Interpol.	Heterogen.			
Generelt*	0,05–0,3	0 – 2	0,5 Δx J	$C^{1/2} \lambda \ln K$ J	$\Delta h t / 2$	0 – 1	$\sqrt{\sum s^2}$
Sjælland	0,05	0,1	0,75	2,1	1,15	0,25	2,52

værdier fra Sonnenborg & Henriksen (2005)



Figur 24. Udvikling i potentiale for Sjælland (Fra vandplan Sjælland)

6.2.4 Performance kriterier - afstrømningsdata

Til kvantificering af modellens evne til at reproducere den målte afstrømning i vandløbene er det valgt at fokusere på R^2 og vandbalancefejlen F_{bal} for de enkelte oplande samt en vægtet vandbalancefejl for modelområdet som helhed. Disse to størrelser er givet ved

$$R^2 = \frac{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 - \sum (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

$$F_{bal} = 100 \frac{\bar{Q}_o - \bar{Q}_s}{\bar{Q}_o}$$

R^2 -værdien (Nash and Sutcliffe, 1970) udtrykker modellens forklaringsgrad eller evne til at simulere dynamikken i afstrømningen. Da værdien vurderer kvadratafgivelsen har den en tendens til at favorisere høje afstrømningsværdier, så der kan opnås en rimelig R^2 -værdi på trods af en dårlig overensstemmelse mellem observerede og simulerede afstrømninger i low-flow situationer. Generelt vil R^2 -værdier under 0,6 imidlertid typisk svare til store afvigelser mellem simulerede og målte daglige vandføringer ved en visuel bedømmelse. R^2 -værdier mellem 0,7 og 0,9 vil normalt være udtryk for en god overensstemmelse, mens R^2 -værdier over 0,9 er sjældne og udtryk for en meget fin overensstemmelse. Størrelsen af målestationens opland sammenholdt med den anvendte gridstørrelse vil have en markant indflydelse på, hvilke R^2 -værdier det vil være muligt at opnå. Haves et opland på under 10-20 grids må det forventes, at det vil være svært at opnå høje R^2 -værdier, mens oplande på over 100 grids typisk vil give gode muligheder for at opnå høje R^2 -værdier.

Ud fra retningslinjerne opstillet i HB er et rimeligt nøjagtighedskriterium at $R^2 \geq 0.6$, for konservativ akvifer simulering. Modellen er opstillet på stor skala og ud fra princippet om at anvende så få frie parametre som muligt, dvs. uden underopdeling af de hydrauliske ledningsevner indenfor sand hhv. ler. Dette betyder, at der vil være områder, hvor modellen ikke beskriver den geologiske heterogenitet fyldestgørende, ligesom der vil være områder hvor det er erkendt, at der ikke haves tilstrækkelig viden om den geologiske opbygning. Den manglende repræsentation af de lokale forhold kan have stor betydning for interaktionen mellem grundvandet og overfladevandssystemet, og det forventes derfor ikke at et kriterium på $R^2 \geq 0.6$ kan overholdes for samtlige afstrømninger.

I den tidligere version af DK-modellen for Sjælland blev der opstillet et nøjagtighedskriterium for 28 udvalgte stationer, hvor kriteriet var, at middel R^2 skulle være minimum 0,65 og max 75% af stationerne måtte have en R^2 værdi mindre end 0,6 (Henriksen et al., 1998). Baseret herpå og resultaterne fra Ferskvandets kredsløb samt en forventningen om en mindre forbedring af R^2 værdien pga. den finere opløsning af topografien, er følgende nøjagtighedskriterier opstillet for nærværende model:

- Middel $R^2 \geq 0,65$ for stationerne i Tabel 13
- Maks. 25% af stationerne må have en $R^2 < 0,60$

Modellens evne til at simulere den samlede vandbalance er central, idet modellen skal benyttes til national og regional vurdering af vandbalance og den udnyttelige grundvandsresource. I HB er det vurderet, at den numeriske størrelse af vandbalancefejlen mellem de observerede og simulerede daglige vandføringer skal være mindre end 20% for konservative akvifer simuleringer, mens en fejl på 10% er anbefalet for High Fidelity akvifer simuleringer. Erfaringerne fra Troldborg (2006) med anvendelse af rodzone modulet i kombination med anbefalingerne i Plauborg (2002) viste, at en justering af nettonedbøren ikke kan undgås. Det forventes derfor ligeledes at være nødvendigt med en "kalibrering" af nettonedbøren i nærværende projekt, baseret på en sammenligning mellem den samlede observerede og simulerede vandføring. Det giver derfor ikke megen mening at opstille et nøjagtighedskrav for den samlede vandbalance for området. Det eneste nøjagtighedskrav der følgelig opstilles er, at vandbalancefejlen for den samlede vandføring i begge perioder (2000 – 2002 samt 2003 – 2005) maksimalt er 10%.

Selvom der opnås en acceptabel global vandbalance for området, vil der kunne være store variationer mellem de enkelte vandløb. For vandbalancen opstilles derfor et yderligere krav gældende for samtlige stationer:

- Middel Fbal < 10%
- Maks 25% af stationerne må have en Fbal > 20%

6.2.5 Samlet kalibreringsmål

Den inverse kalibrering blev gennemført i PEST ver. 11.3 (PEST). Formålet med optimeringen er at minimere forskellene (eller residualerne) mellem de observerede og simulerede variable. Dette udføres ved at opstille en funktion (objektiv funktion), der angiver et mål for

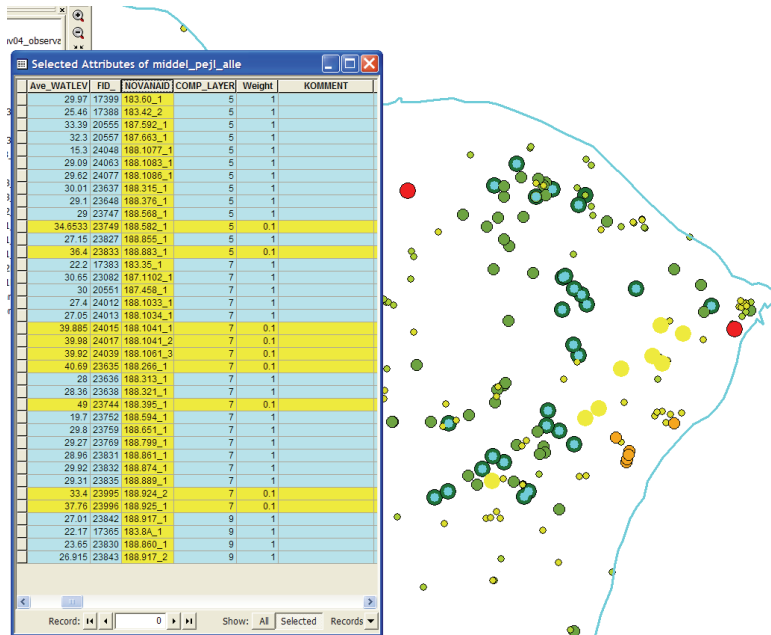
residualerne som funktion af de anvendte modelparametre, og derefter søge at minimere denne funktion vha. en matematisk algoritme. I PEST er objektivfunktionen, G , givet ved

$$G(\underline{b}) = \sum_{i=1}^n w_i r_i^2$$

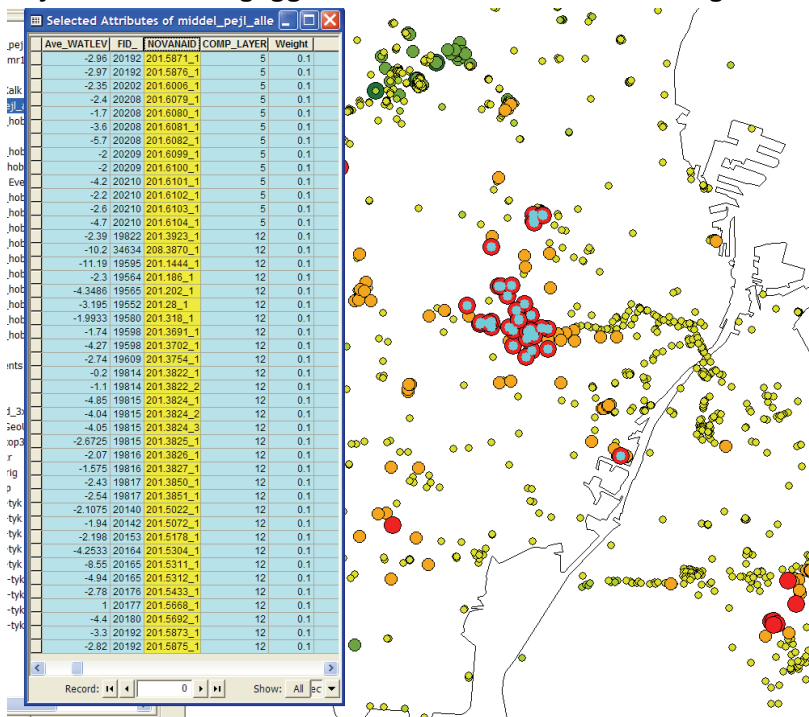
hvor \underline{b} er en vektor med kalibreringsparametrene, r_i er residualen for den i 'te observation og dennes simulerede værdi og w_i er vægten af den i 'te residual. Objektivfunktionen er således en vægtet kvadratsum af residualerne, på engelsk benævnes denne *weighted summed squared residuals* (SSR_w). I tilfældet hvor residualerne ikke vægtes benævnes objektivfunktion blot *summed squared residuals* (SSR). Vægtningen af de enkelte residualer gør det muligt at lade de enkelte residualer have forskellig betydning under optimeringen, dvs. hvor meget vægt PEST skal tillægge de enkelte residualer i dens forsøg på at opnå en optimal løsning. Ideelt skal vægtningen af de enkelte residualer reflektere den forventede usikkerhed på observationerne, så observationer med stor usikkerhed tæller mindre i optimeringen end observationer med lille usikkerhed, hvilket kan gøres ved at vægte de enkelte observationer med den reciprokke værdi af standard afvigelsen på observationen ($1/s_{obs}$). En detaljeret vurdering af usikkerheden for samtlige 4038 potentielle observationer er imidlertid ikke praktisk mulig. Under selve optimeringen er det ikke den faktiske værdi af vægtningen men derimod den relative vægt mellem de enkelte observationer der er vigtig. I nærværende optimering er det derfor valgt at anvende en simpel vægtning:

- Observationer i øverste magasin niveau (beregningsslag 3) er vægtet med 1/3
- Øvrige observationer er vægtet med 1

Den mindre vægt for det øverste magasin er begrundet i, at de terrænnære observationer i høj grad er styret af den topografiske variation, der pga. grid størrelsen på 500x500 m ikke opløses detaljeret i modellen, hvorfor modellen i mindre grad kan forventes at simulere variationen i potentialet i de øverste lag. Under analysen af potentielle observationerne blev der identificeret to områder, hvor observationerne var meget afvigende fra de initiale kørsler. Det ene område er omkring Helsingør, hvor ni borer blev fundet at have en observeret værdi der var op til 10 m højere end de omkringliggende borer, Figur 25. Da der var tale om flere borer med sammenlignelige potentialer blev de ikke frasorteret til kalibreringen, men for at disse ikke skulle vægte for meget under kalibreringen blev de vægtet lavt med en værdi på 0,1. Det andet område er omkring København, Figur 26, hvor en række borer har en observeret værdi, der er væsentligt lavere end de omkringliggende. Under opdateringen af den geologiske model for DK-modellen er der ikke sket en væsentlig forbedring omkring København, da der ikke var opsat detailmodeller for dette område. De komplekse forhold omkring København, specielt i kalken, er derfor ikke velbeskrevet i modellen. Ligeledes er der usikkerhed mht. hvorvidt observationerne i dette område evt. reflekterer en grundvandssænkning i forbindelse med konstruktionsarbejde. Disse borer er derfor ligeledes vægtet lavt under kalibreringen med 0,1.



Figur 25. Pejlinger ved Helsingør (angivet med gult) hvor observationerne er væsentlig højere end omkringliggende observationer i samme magasin lag



Figur 26. Pejlinger ved København(angivet med lys blå) hvor det observerede potentiale er meget lavt.

For de observerede afstrømninger er det antaget, at usikkerheden er proportional med den målte afstrømning. Samtlige vandføringsdata er således vægtet med den reciprokke værdi af middelaflstrømningen for perioden 2000 – 2002.

6.3 Valg af kalibreringsparametre

Modellen er opstillet ud fra et koncept om anvendelse af færrest mulige "frie" parametre. Dette er valgt, idet modellen er opstillet på stor skala og det primære formål med modellen er en vurdering af vandbalancen på national/regional skala. Samtidigt har der kun i begrænset omfang været tilstrækkelig information tilgængelig, som har kunnet underbygge en differentiering af de hydrauliske egenskaber indenfor et magasin. I nogle tilfælde har de tidligere amtsmodeller, der danner baggrund for den hydrostratigrafiske opdatering af DK-modellen, indeholdt en zonerings af de hydrauliske egenskaber for sandmagasinerne. Ofte har det dog ikke været muligt at vurdere, hvorvidt disse zoner er indført som et resultat af en model kalibrering, eller om de repræsenterer faktiske hydrogeologiske betingede variationer. Endvidere er et vigtigt formål med modellen, at den efterfølgende kan anvendes som udgangspunkt for opstilling af lokale modeller. I denne forbindelse er det vigtigt, at der i videst muligt omfang kun medtages variationer, der kan tilskrives en geologisk/hydrogeologisk variabilitet.

Det er således valgt, at der kun anvendes én hydraulisk ledningsevne for hhv. sand og ler, uden en underopdeling i hydrauliske zoner indenfor sandmagasinerne, men dog med en opdeling af leret i "opsprækket ler" (øvre 3m) samt øvrigt ler. For kalken blev det antaget, at den relative distribuering af den hydrauliske ledningsevne, baseret på interpolation af specifik ydelses data, gav en tilfredsstillende beskrivelse af den relative variation, mens de estimerede absolutte værdier var for usikre. Den relative fordeling af K-værdierne blev således fastholdt, mens der blev kalibreret på en multiplikationsfaktor.

For nettonedbøren er det ligeledes antaget, at det vil være nødvendigt at justere den faktiske størrelse, mens den relative distribuering som beregnet ved rodzone modulet er tilstrækkelig præcis for den anvendte skala.

Med det anvendte modelkoncept er der således følgende mulige kalibreringsparametre

- Hydrauliske ledningsevner (horisontale og vertikale) samt frie og spændte magasin tal for
 - opsprækket ler (øvre 3m)
 - tørv/andet (øvre 3m)
 - sand
 - ler
 - Prækvartær ler
 - kalk (multiplikationsfaktor (mult_kalk))
- Dræn
 - tidskonstant
 - dybde placering
- Overfladisk afstrømning
 - overflade ruhed (Manning tal)
 - overflade magasinering (detention storage)
 - sz-dummy
- Vandløb
 - Manning tal
 - lækage koefficient

- Størrelsen af nettonedbør beregnet med rodzone modulet

Baseret på tidligere erfaringer samt en indledende simpel følsomhedsanalyse, hvor de enkelte parametre blev varieret enkeltvis for successive modelkørsler, er der foretaget følgende reduktion af de frie parametre:

- Det er antaget, at der er en anisotropi faktor på 10 mellem den horisontale og vertikale ledningsevne ($K_x/K_z=10$) for alle hydrostratigrafiske enheder, på nær det opsprækkede ler i de øvre 3 m, hvor der er anvendt en anisotropi faktor på 100.
- Vandløbsdynamikken blev fundet følsom overfor såvel dræn tidskonstanten samt hvilken dybde drænende blev placeret i. Disse to parametre blev ved en manuel følsomheds analyse fundet at være delvist korrelerede, så en ændring i simuleret afstrømning pga. en justering af dybden delvist kunne opvejes af en ændring i tidskonstanten. Da topografien udjævnes ved anvendelse af store gridceller, vil den optimale placering af drænende til opnåelse af en korrekt drænaforstrømning, ikke nødvendigvis være lig deres fysiske placering. Endvidere beskriver drænende i det anvendte model koncept ikke kun kunstige dræn men også naturlig drænsystemer, der ikke er beskrevet eksplicit i modellen, såsom grøfter og mindre vandløb. En optimal drændybde til beskrivelse af disse systemer er ligeledes skalaafhængig, og bestemmelse af den optimale drændybde vil kræve nogle detaljerede numeriske og feltstudier. I nærværende model er det derfor valgt at anvende en drændybde på 0,5 m, som også blev anvendt i Ferskvandets kredsløb, og der kalibreres således kun på tidskonstanten.
- Parametrene for overfladisk afstrømning blev fundet at have lille betydning for simuleringerne som helhed, hvilket formegentligt skyldes den anvendte skala. Pga. den ubetydelige følsomhed blev værdierne for OL fastholdt på startværdierne.
- For vandløbene blev der kun fundet en lille følsomhed overfor manningstallet som følgelig blev fastholdt på startværdien.

Som startværdier for kalibreringen er anvendt de optimerede værdier fra den tidligere Sjællandsmodel Ferskvandets kredsløb, med undtagelse af den hydrostratigrafiske enhed Tørv/andet samt Prækvartært ler, der ikke indgik i den tidligere model. Startværdierne er listet i Tabel 15, hvor felterne markeret med gråt er parametre der er fastholdt under optimeringen.

Tabel 15 Start værdier for de hydrauliske parametre

Parameter	Værdi			
Hydrostratigrafiske enheder	K-horisontal (m/s)	K-vertikal (m/s)	Specifik ydelse (-)	Specifikt magasintal (m ⁻¹)
Opsprækket ler	1.45e-5	1.45e-7	0.06	-
Tørv/andet	1e-5	1e-6	0.20	-
Sand	1.35e-4	1.35e-5	0.26	1e-4
Ler	1.9e-8	1.9e-9	0.06	1e-4
Prækvartær ler	1e-8	1e-9	0.20	1e-5
Kalk*	Distribueret x3	Distribueret x3	0.15	1e-5
Dræn	Tidskonstant (s ⁻¹)	Dybde (m)		
Ikke distribueret	7e-8	0.5		
Overflade	Ruhed (m ^{1/3} /s)	Magasinering (mm)		
Ikke distribueret	3	20		
Vandløb	Manningtal (m ^{1/3} /s)	Lækage (s ⁻¹)		
Ikke distribueret	25	1e-7		
sz-dummy** Korrektion af nettonedbør***	1 - 0,33 * (byprocent + sprednings_norm)			
	0.81			

* "distribueret x3" angiver at den distribuerede K-værdi for kalken, baseret på specifik ydelses data, er multipliceret med 3

** sz-dummy er sammensat af bebyggelsesgraden samt variationen i topografien, se afsnit 5

*** korrektionsværdien af nettonedbøren er baseret på Troldborg (2006), hvor anbefalingerne fra Plauborg (2002) ligeledes blev anvendt

7. Kalibrerings- og valideringsresultat

Resultatet af kalibreringen og validering af modellen er opsummeret herunder med udvalgte plots til illustration. Ekstra plots er vedlagt i bilag 3 – 7.

7.1 Kalibreringsresultat

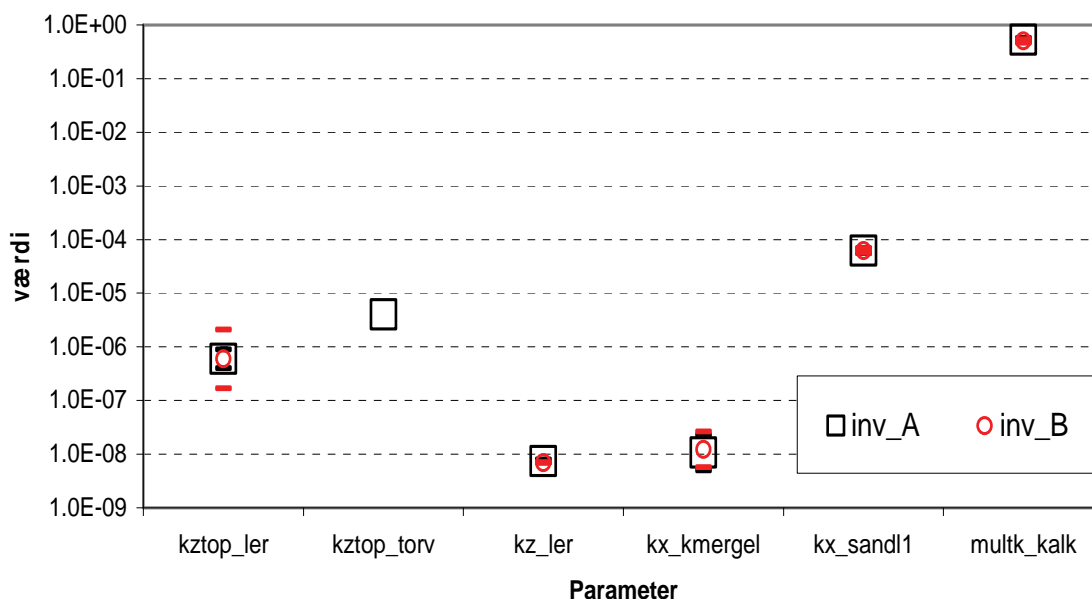
De hydrauliske ledningsevner samt multiplikationsfaktoren for kalken (mult_kalk) blev kalibreret ved invers optimering af en stationær version af modellen. For toplaget, bestående af opsprækket ler, sand og tørv/andet, blev sandet antaget at have samme hydrauliske ledningsevne som det øvrige sand. Tørv/andet udviste en relativ lille følsomhed overfor de anvendte observationsdata, men blev indledningsvist medtaget i den inverse kalibrering (inv_A). Dette resulterede dog i en dårligt bestemt parameter, udtrykt ved et meget stort 95% konfidensinterval. I en efterfølgende optimering (inv_B) blev den hydrauliske ledningsevne for tørv/andet derfor bundet til den hydrauliske ledningsevne for det opsprækkede ler så den horisontale hydrauliske ledningsevne for de to enheder blev holdt ens, mens den vertikale hydrauliske ledningsevne for tørv/andet blev fastholdt på 1/10 af den horisontale. Resultatet af de to optimeringer er givet i Tabel 16 og illustreret i Figur 27, hvor de estimerede 95% konfidensintervaller for de optimerede parametre er angivet ved horisontale barer, dog er det store konfidensinterval for tørv/andet ikke angivet på figuren.

Med undtagelse af tørv/andet førte de to optimeringer til næsten identiske parameterverdier, som alle har et snævert 95% konfidensinterval, hvilket er tegn på en god bestemmelse af disse parametre. I inv_B er det estimerede konfidensinterval for top_ler lidt større end i inv_A, hvilket er et resultat af, at tørv/andet er bundet til top_ler. Men da de to optimeringer resulterede i et næsten identiske fit til observationsdataene udtrykt ved objektiv funktionens størrelse ($SSR_{inv_A} = 49551$; $SSR_{inv_B} = 49686$), blev det valgt at anvende optimeringen fra inv_B.

Tabel 16. Optimerede parametre ved invers kalibrering

Parameter	inv_A			inv_B		
	Estimeret	95% konfidensinterval		Estimeret	95% konfidensinterval	
		Nedre	Øvre		Nedre	Øvre
Kztop_ler	6,00E-07	4,02E-07	8,95E-07	5,95E-07	1,68E-07	2,11E-06
Kztop_torv	4,01E-06	5,25E-15	3,07E+03			
kz_ler	7,38E-09	6,91E-09	7,89E-09	6,98E-09	6,96E-09	7,01E-09
kx_kmergel	1,06E-08	4,97E-09	2,28E-08	1,22E-08	5,64E-09	2,66E-08
kx_sandl1	6,17E-05	5,58E-05	6,83E-05	6,19E-05	5,61E-05	6,84E-05
multk_kalk*	0,53	0,49	0,56	0,51	0,47	0,54

* mult_kalk blev multipliceret på K-fordelingen estimeret i Henriksen & Sonnenborg (2003)



Figur 27. Optimerede parametre ved invers kalibrering, vandrette barer angiver 95% konfidensintervaller. Mult_kalk er en faktor (-), der multipliceres på K-fordelingen. Øvrige parametre er hydrauliske ledningsevner (m/s).

En samlet oversigt over de optimerede værdier for samtlige parametre er angivet i Tabel 17.

Tabel 17. Optimerede parameterværdier for Sjællandsmodellen

Parameter	Værdi			
Hydrostratigrafiske enheder	K-horizental (m/s)	K-vertikal (m/s)	Specifik ydelse (-)	Specifikt magasintal (m ⁻¹)
Opsprækket ler	5,95e-5	5,95e-7	0,05	-
Tørv/andet	5,95e-6	5,95e-7	0,20	-
Sand	6,19e-5	6,19e-6	0,20	1e-4
Ler	6,98e-8	6,98e-9	0,05	1e-4
Prækvarter ler	1,22e-8	1,22e-9	0,10	1e-5
Kalk*	Distribueret x1,53	Distribueret x1,53	0,15	1e-5
Dræn	Tidskonstant (s ⁻¹)	Dybde (m)		
Ikke distribueret	1e-7	0,5		
Overflade	Ruhed (m ^{1/3} /s)	Magasinering (mm)		
Ikke distribueret	3	20		
Vandløb	Manningtal (m ^{1/3} /s)	Lækage (s ⁻¹)		
Ikke distribueret	25	1e-7		
sz-dummy**	1 - 0,33 * (byprocent + sprednings_norm)			
Korrektion af nettonedbør	0,82			

* "distribueret x1,53" angiver at den distribuerede K-værdi for kalken, baseret på specifik ydelses data, er multipliceret med 1,53

** sz-dummy er sammensat af bebyggelsesgraden samt variationen i topografien, se afsnit 5

7.1.1 Kvantitativ vurdering af kalibreringsresultat

Den optimerede models evne til at reproducere potentialerne, udtrykt ved RMS og ME, er givet i Tabel 18. Kun observationer fra sandmagasinerne er indgået i kalibreringen men for fuldstændighedens skyld er ME og RMS beregnet for samtlige lag, samt som et vægtet gennemsnit for hhv. lag indeholdende sandmagasiner og hele modellen. tabellens tre yderste kolonner til højre angiver fittet, hvis der udelades pejlinger, der er vurderet at være placeret i et område med dårlig beskrevet geologi. Antallet af indtag angivet for de enkelte lag i Tabel 18 er lidt mindre end antallene i Tabel 11, hvilket skyldes, at nogle af observationerne er placeret i beregningsgrid der løber "tør" under simuleringen. Af Tabel 18 fremgår det, at det opstillede kriterium for RMS er opfyldt for modellen som helhed samt for de enkelte lag, med undtagelse af det lavpermeable lag 11, hvor der kun findes 8 observationer. Som beskrevet i afsnit 6.2.3 er middelfejlen ikke medtaget under kalibreringen, men beregnet efterfølgende for den kalibrerede model. Det opstillede kriterium for ME er opfyldt for modellen som helhed samt for de fleste lag. Undtagelser hertil er de lavpermeable lag 6, 8 og 11 samt lag 12 der repræsenterer kalken.

Tabel 18. Kalibreringsresultat for potentialer i modellen for Sjælland

Lagnummer	(1) Alle indtag (n=5184)			(2) Alle indtag eksklusiv Geologi? (n=5114)		
	ME	RMS	N	ME	RMS	N
1	-0,31	3,15	49	-0,56	2,71	48
2	1,04	4,61	216	0,43	3,58	206
3	-1,06	3,12	151	-1,60	3,12	151
4	-1,28	3,22	510	-1,23	3,08	508
5	-0,26	3,72	1387	-0,23	3,46	1369
6	-2,03	4,05	234	-2,03	4,05	234
7	-0,88	3,63	398	-0,88	3,63	398
8	-2,78	4,30	80	-2,78	4,30	80
9	-1,26	3,74	77	-1,26	3,74	77
10	-1,93	3,25	23	-1,93	3,25	23
11	-4,91	8,21	8	-4,91	8,21	8
12	-2,27	4,06	2024	-2,09	3,71	1985
Magasiner	-1,40	3,86	4037	-1,29	3,59	3980
Hele model	-1,33	3,84	5157	-1,28	3,57	5087

Beregnes middelfejlen i potentialer kun på basis af (medtagede) pejletidsserier (for perioden 2000 – 2002) opnås en ME på -1,23 for hele modellen, og ME for kalken (lag 12) er -1,46 m (150 indtag). Pejletidsserierne giver således en væsentlig mindre middelfejl for kalken. Forskellen i ME baseret på middelvejl og tidsserier kan skyldes de forskellige afstandskrav til indvindingsboringer, der blev sat op for udvælgelsen. Med et større afstandskrav for tidsserierne er det forventeligt, at en evt. bias mht. overestimering af pejlingerne tæt ved indvindingsboringer er mindre udpræget. Endvidere er den grundlæggende antagelse i en stationær simulering, at der ikke sker en opmagasinerings, hvilket aldrig vil være tilfældet i naturlige systemer. Da middelvejl for potentialerne dækker over en periode med væsentlige klimatiske variationer, vurderes den manglende opfyldelse af stationaritet, at være den væsentligste årsag til forskellen. Pejletidsserierne vil reflektere variationerne i de klimatiske forhold, og ME beregnet på baggrund af disse vurderes derfor mere retvisende end beregnet ud fra middelvejl.

Fittet til den daglige vandføring for de 37 stationer der indgik i kalibreringen er summeret i Tabel 19. Med en middel R^2 på 0,69 og kun 4 ud af 37 stationer med en $R^2 \leq 0,6$ ($4/37 \cdot 100 = 11\%$) er begge de kvantitative kriterier for vandføring opfyldt (middel $R^2 \geq 0,65$; maks 25% med $R^2 \leq 0,6$). Der er dog nogle stationer, for hvilke der er opnået en meget dårlig R^2 , hvilket specielt gælder stationsnr. 49.14. En visuel inspektion af denne station (bilag 5) viser, at den dårlige overensstemmelse mellem de observerede og simulerede værdier skyldes, at der generelt simuleres næsten dobbelt så meget vand over hele året, hvilket også antydes af den dårlige vandbalance for denne station.

De opstillede kriterier for Fbal var: 1) Middel Fbal < 10% og 2) Maks 25% af stationerne må have en Fbal > 20%. Begge de opsatte kriterier er opfyldt, da middel vandbalancefejlen for alle stationer er -0,13%, mens 5 stationer ($5/37 \cdot 100 = 14\%$) har en Fbal > 20%.

Tabel 19. Kalibreringsresultat for vandføringer

DDHmåle stnr	DMU stnr	Sted	R ²	Fbal (%)
48.04	480007	Højbro å – v. Hanebjerggård	0,78	-7
	480010	Søborg kanal – Parkvej	0,76	17
49.14	490058	Pøle å - nedstrøms Pibemølle	-1,69	-97
50.05	500056	Nive å - v. Jellebro	0,61	-3
50.06	500057	Usserød å - Nive mølle	0,55	21
51.07	510024	Tuse å – Nybro	0,80	28
51.10	510026	Elverdamsåen - v. Kragebro	0,62	-13
52.08	520029	Havelse å - Strø bro	0,70	16
52.14	520039	Værebroså å - v. Veksø bro	0,66	-13
52.21	520063	Hove å - s. F. Gundsøgård	0,78	0
52.20	520064	Hove å - Hove mølle	0,85	10
52.30	520068	Langvad å – Storemøllebro	0,85	4
	530011	St. Vejle å – Vejlebrovej	0,68	24
53.08	530028	Damhusåen – Landlystvej	0,34	3
55.06	550017	Åmose å - Ugerløse bro	0,67	-18
55.01	550018	Åmose å – Bromølle	0,89	8
56.10	560001	Bjerge å – Fårdrup	0,77	14
56.09	560002	Seerdrup å – Johannesdal	0,84	13
56.15	560003	Tudeå – Skrætholm	0,83	2
56.11	560005	Tudeå – Valbygård	0,85	13
56.06	560007	Tudeå – Ørslev	0,89	10
57.53	570047	Ringsted å – Vrangstrup	0,86	8
57.01	570049	Saltø å – Grønbro	0,76	19
57.04	570050	Suså - Næsby bro	0,88	2
57.37	570053	Fladså – Rettestrup	0,91	0
57.49	570055	Saltø å - ns. Harrested å	0,80	16
57.46	570056	Suså – Tvedebro	0,84	0
57.21	570057	Suså - Vettørslev bro	0,86	-2
57.12	570058	Suså – s.f. Holløse bro	0,81	1
57.32	570068	Vigersdal å – Værkevad bro	0,76	-13
58.08	580025	Slimminge å - Kulerup enghave	0,77	-7
58.07	580047	Køge å - v. Lellinge dambrug	0,85	-20
59.01	590006	Tryggevelde å - v. Ll. Linde	0,74	18
59.09	590009	Tryggevelde å - Øster bro	0,70	3

DDHmåle stnr	DMU stnr	Sted	R ²	Fbal (%)
60.04	600031	Mern å - Sageby bro	0,79	-14
60.03	600036	Tubæk - Tubæk mølle	0,78	15
60.05	600037	Vivede mølleå – Ridebro	0,21	-65
		Middel	0,69	-0,13

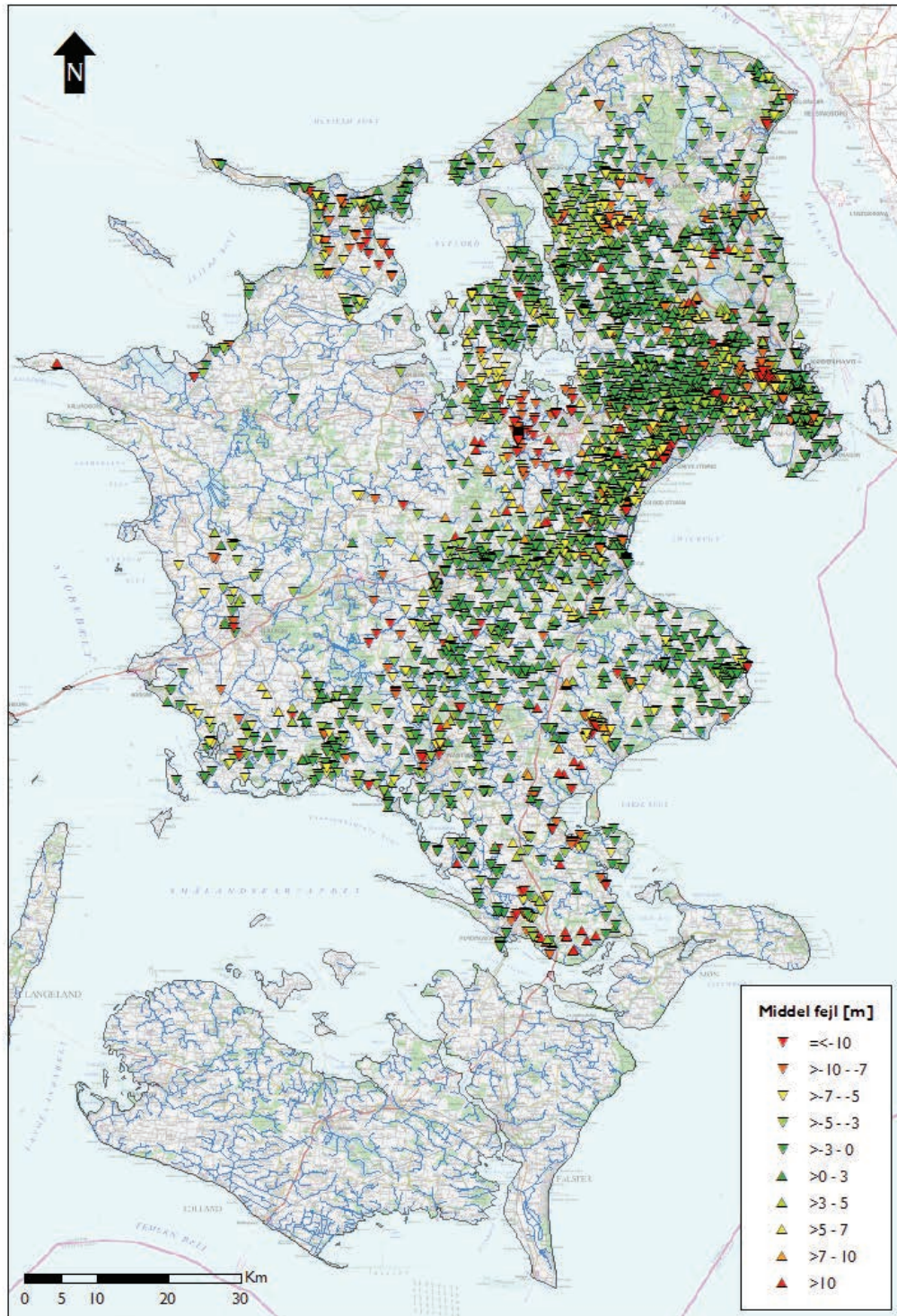
7.1.2 Kvalitativ vurdering af kalibreringsresultat

Foruden de kvantitative kriterier skal modellen opfylde de kvalitative kriterier opsat i afsnit 6:

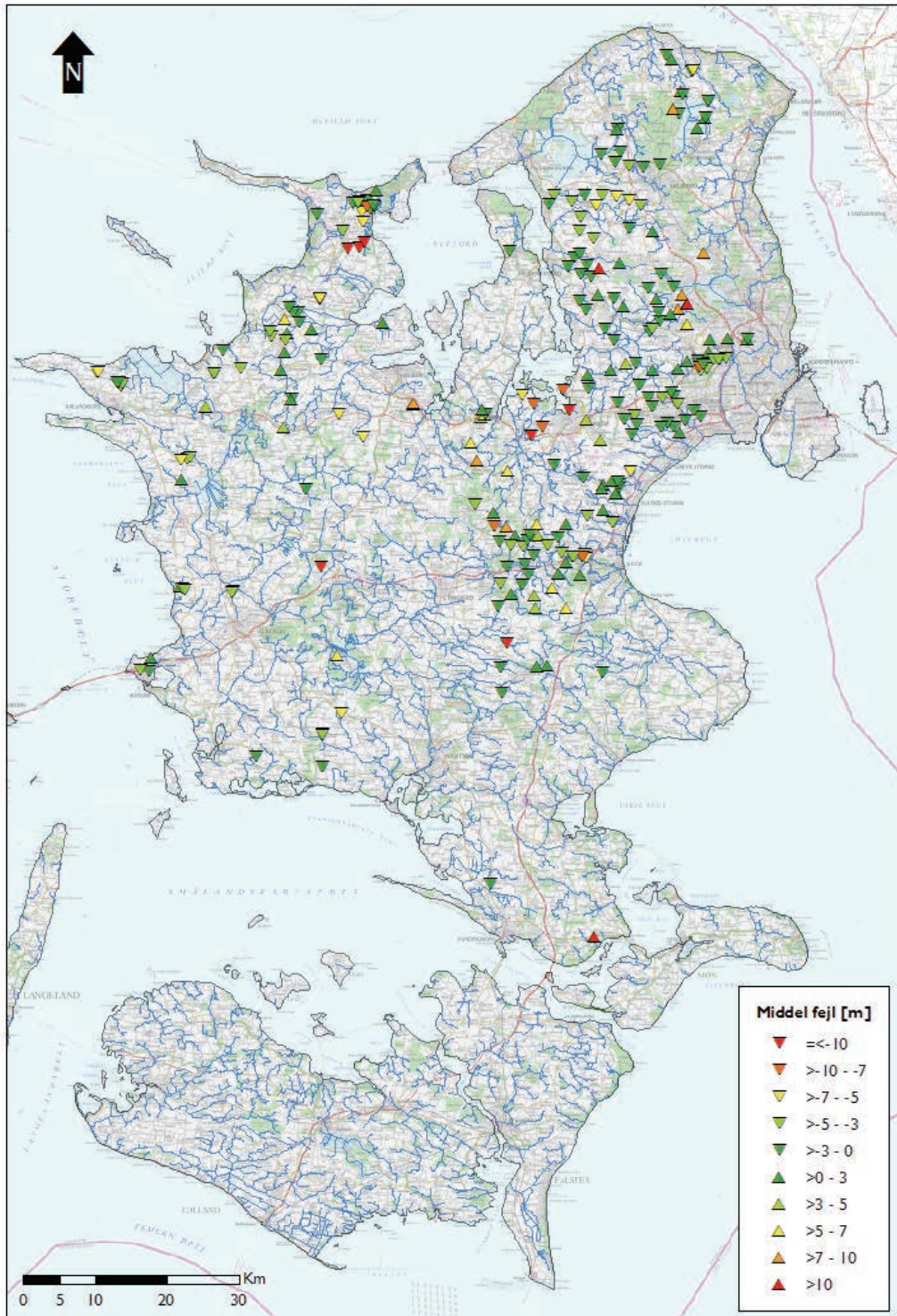
- De estimerede parametre skal have realistiske værdier
- Residualerne skal være fordelt fornuftigt arealmæssigt.
- For vandløbene skal den rigtige dynamik afspejles. Dvs. en hændelse giver den rigtige respons både i tid og sted.

De estimerede hydrauliske ledningsevner er i god overensstemmelse med de opsatte intervaller i Figur 8. I forhold til initialværdierne, Tabel 15, ses det, at de optimerede værdier generelt er i god overensstemmelse med værdierne optimeret i Ferskvandets kredsløb.

Den rumlige fordeling af middelfejlen for potentialerne er vist i bilag 4 for samtlige magasinlag, for kalken er den endvidere vist i Figur 28. Af figuren fremgår det, at der overordnet set er en fornuftig rumlig fordeling af ME. Dog kan der identificeres nogle problemområder omkring Roskilde, ved Lammefjordsbuerne, omkring København samt ved Slangerup/Strø kildepladser i Nordsjælland, hvor der i alle tilfælde simuleres for højt potentiale. Problemer med genskabelse af det observerede potentiale omkring Roskilde er kendt fra tidligere modelopstillinger.



Figur 28. Rumlig fordeling og størrelse af middelfejl for potentialer i kalken for stationær model



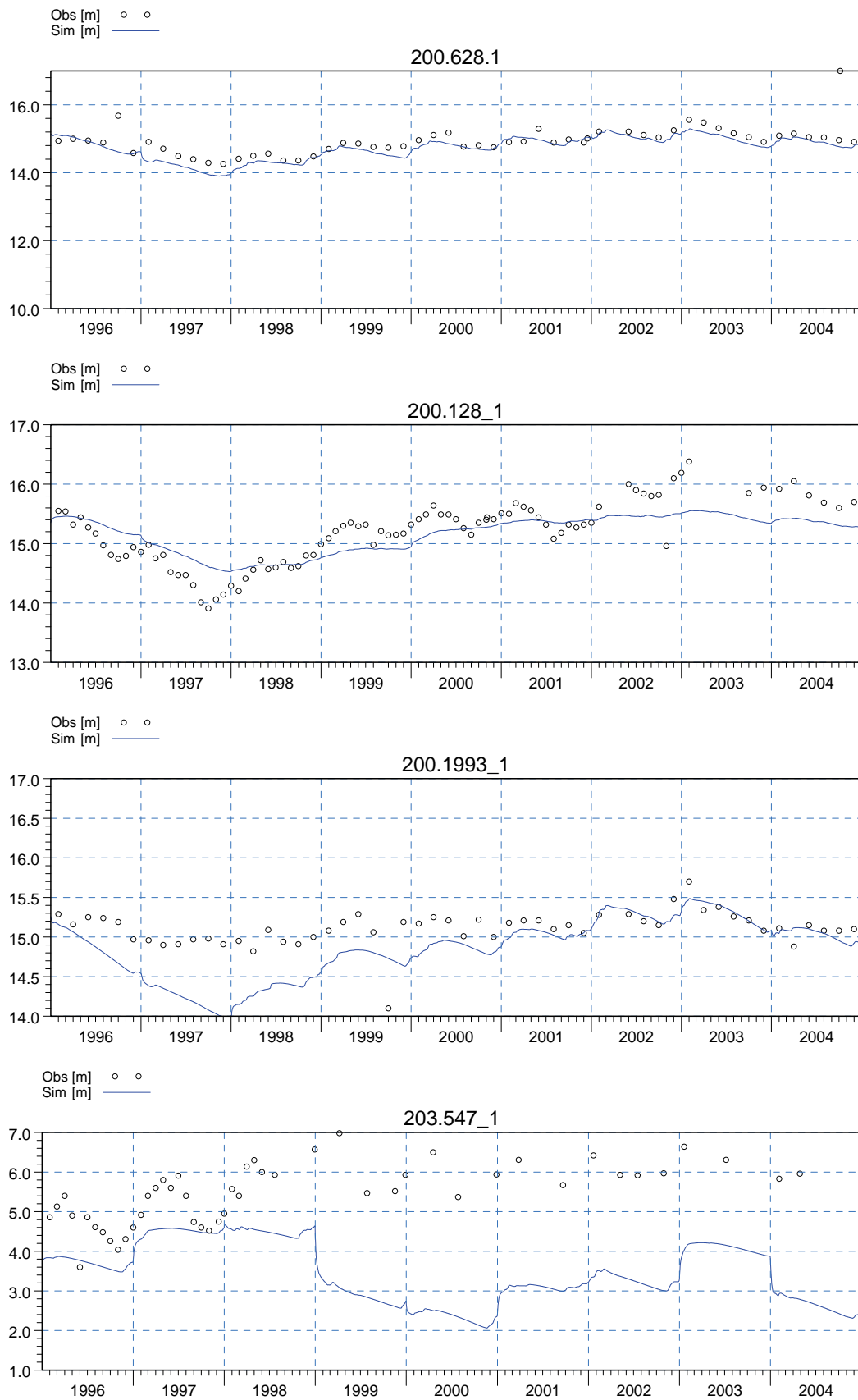
Figur 29. Rumlig fordeling og middelfejl for pejletidsserier

Middelfejlen på residualerne blev ikke medtaget i kalibreringen som et kalibreringsmål, men er efterfølgende beregnet på baggrund af de optimerede hydrauliske ledningsevner. For modellen som helhed opnås en ME på -1,40 m, hvilket er indenfor det kriterium der blev fundet acceptabelt i afsnit 6.2.3. Dog ses det, at ME værdien for kalken er højere end for sandmagasinerne. Med negative ME-værdier er der således en generel overestimering af potentialerne i modellen, hvilket er specielt udtalt for kalken. Som diskuteret i forrige afsnit,

er middelfejlen dog noget mindre når den beregnes på baggrund af tidsserierne, hvilket indikerer, at antagelsen om stationaritet ikke er opfyldt.

En bedre ME ville kunne opnås, hvis denne størrelse medtages som kalibreringsmål. Ved en evt. fremtidig finkalibrering af modellen bør der foretages en grundig gennemgang af potentialerne mhp. en vurdering af disses repræsentativitet samt en detaljeret vægtning af pejleobservationerne i kalibreringen, så pejlinger i områder med en erkendt mangelfuld beskrivelse af de geologiske forhold vægtes mindre. En sådan gennemgang kræver et detaljeret lokalkendskab til de enkelte områder, udover det kendskab der er opnået gennem opdateringen af DK-modellen. Ligeledes bør det tidslige aspekt inddrages ved vægtningen af potentialerne så potentialer midlet for perioder, der klimatisk er væsentligt forskelligt for kalibreringsperioden tildeles en mindre vægt.

Modellens evner til at reproducere de dynamiske variationer i grundvandspotentialet er vurderet på basis af udvalgte tidsserier som beskrevet i afsnit 6.2.1. Fordelingen af middelfejlen for disse tidsserier er vist på Figur 29. Fittet mellem observeret og simuleret potentiale for tidsserierne medtaget i modellen er vist i Bilag 4. Overordnet set blev der opnået en god overensstemmelse mellem den observerede og simulerede dynamik i vandstandsvariationerne, dog med nogen variation heri. I områder hvor simuleringen ikke fange den observerede dynamik er der en generel tendens til, at modellen underestimerer dynamikken. Modellens evne til at fange dynamikken i pejletidsserierne er illustreret i Figur 30, for udvalgte stationer, der viser de generelle tendenser mellem observerede og simulerede potentialer.

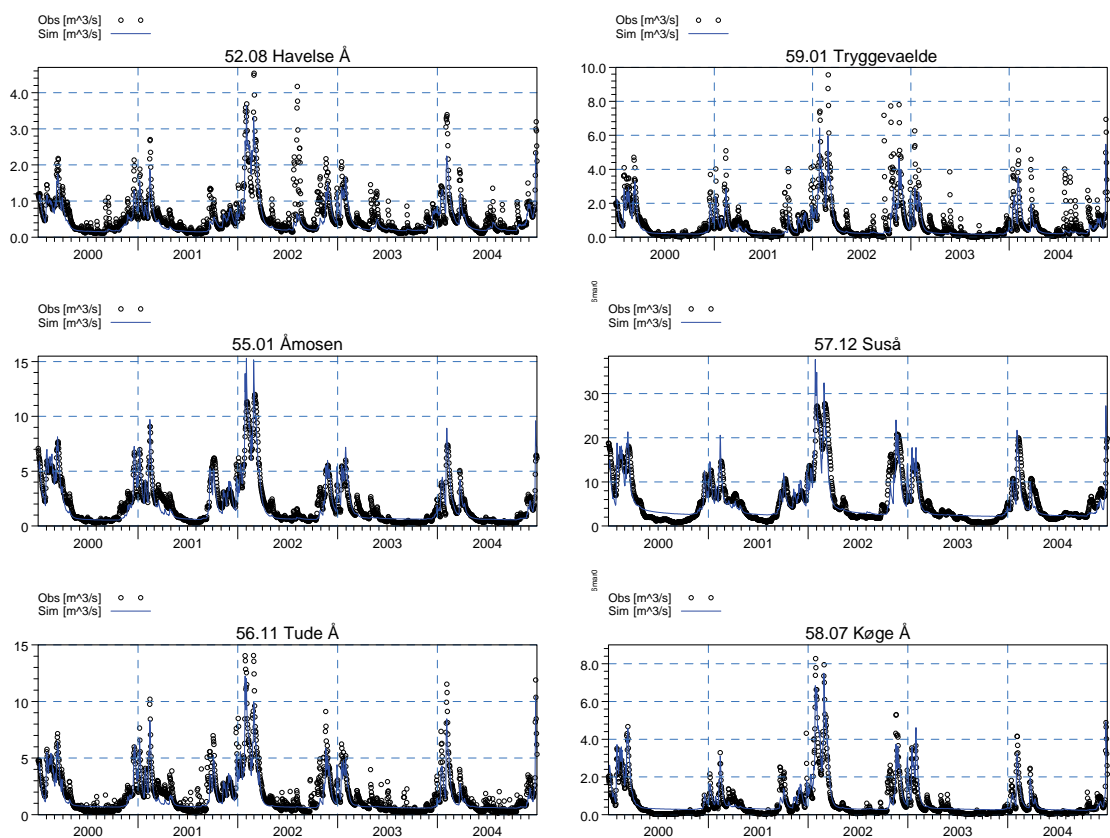


Figur 30. Simuleret og observeret potentiale for udvalgte boringer

Dynamikken i den simulerede vandføring blev generelt simuleret tilfredsstillende, som indikeret ved de opnåede F_{bal} og R^2 for de medtagne vandløb, og som illustreret i Figur 31. Mens peaks i den våde del af året generelt fanges tilfredsstillende, er der en tendens til, at modellen har svært ved at fange de observerede peaks i den tørreste del af året, dvs. sen forår, sommer og tidlig efterår. I den våde periode af året, vil grundvandsstanden ligge over eller tæt ved dræn niveauet, og en regnvandshændelse giver derfor anledning til en hurtig respons i vandløbene, via drænastrømning. I den tørre periode af året vil grundvandsstanden generelt ligge lavere, hvorved en mindre regnvandshændelse ikke giver anledning til drænastrømning. Den manglende dynamik for de tørre perioder indikerer, at nogle processer, der genererer en hurtig tilstrømning til vandløbene under en generelt tør periode, ikke fanges fuldt ud med det anvendte modelkoncept. Udover vandløbsdynamikken i tørre perioder, fanges niveauet for sommervandføringen ikke tilfredsstillende i alle vandløb, hvor den generelle tendens er overestimering af sommervandføringen.

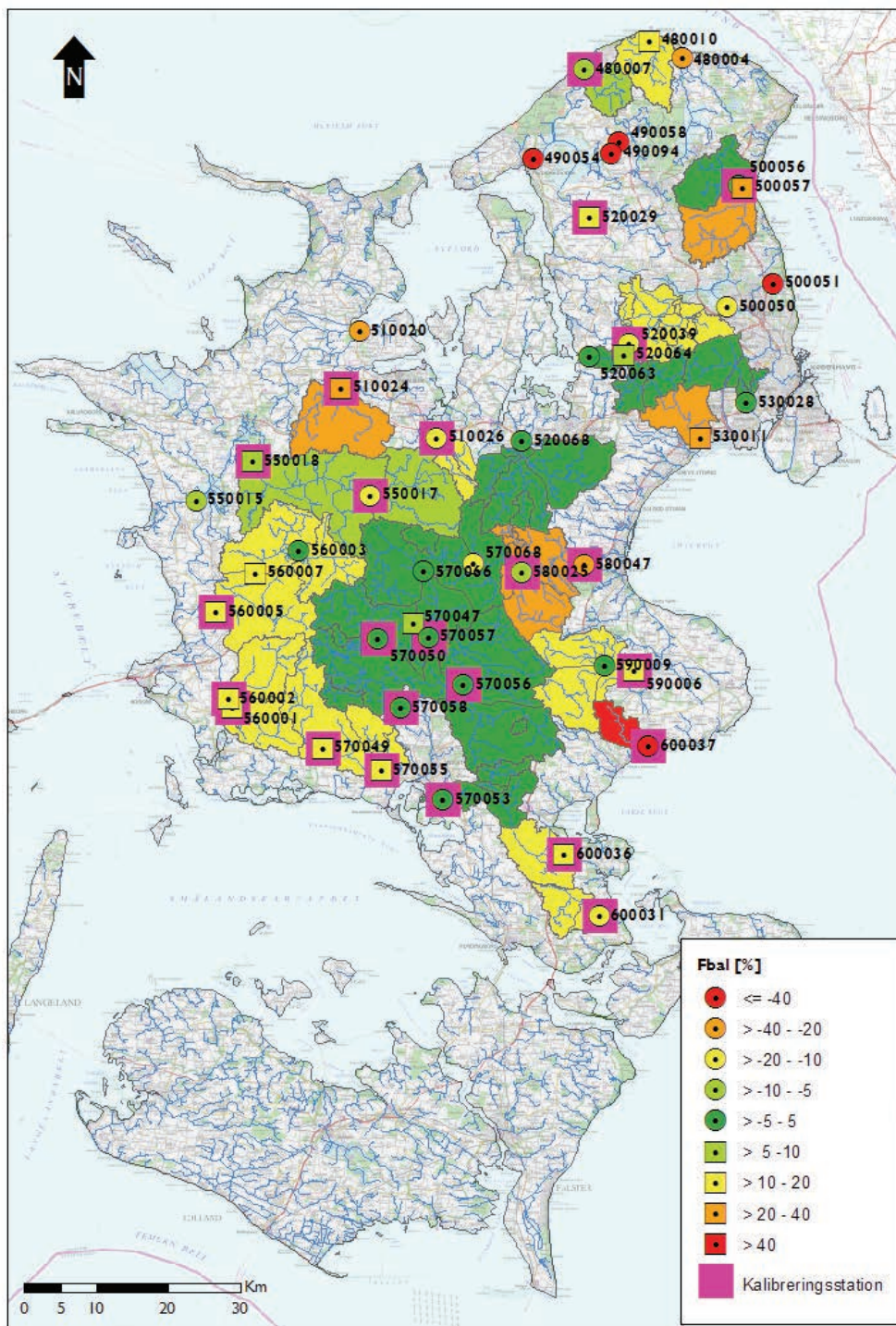
En følsomhedsanalyse af parametrene for de medtagne processer, sandsynliggjorde, at et generelt bedre fit ikke vil kunne opnås alene ved kalibrering af parametrene. Det er derfor vurderet, at et bedre fit med det anvendte modelkoncept kun vil kunne opnås ved anvendelse af ekstra kalibreringsparametre, ved distribuering af udvalgte parametre eller introduktion af nye parametre, der kan reproducere effekten af fysiske processer, som enten ikke beskrives eksplicit i modellen, eller som kræver speciel håndtering i forbindelse med den anvendte skala. Introduktion af ekstra kalibreringsparametre er imidlertid problematisk, da der er stor risiko for en over-parameterisering af modellen, hvorved der kan opnås et bedre fit for kalibreringsperioden, men hvor dette ofte sker på bekostning af en dårligere prædiktiv evne for modellen. Endvidere vil ekstra parametre være relateret til det anvendte modelkoncept og skala, og således ikke have relevans for andre modelopsætninger. Indførelse af ekstra parametre vil således medføre en mindre gennemskuelig model, og gøre det vanskeligt at anvende modellen som afsæt for nye modelopstillinger. Den optimale videreudvikling af modellen vil derfor være en revurdering af modelkonceptet. Specielt forventes der at være behov for en mere detaljeret beskrivelse af strømninger og fordampning i ånære områder, samt en mere korrekt beskrivelse af den umættede zone i øvrigt, med en direkte kobling med den mættede zone.

Det er vurderet, at modellen i tilstrækkelig grad er i stand til at simulere den samlede vandføring, samt den overordnede dynamik til opfyldelse af modellens primære formål om at opnå et overblik over den nationale/regionale ressource. Det er derfor valgt ikke at introducere ekstra kalibreringsparametre. Denne beslutning er endvidere begrundet i, at der fremover sker en videreudvikling af modelkonceptet med inddragelse af en mere korrekt beskrivelse af den umættede zone. En sådan udvikling sker i såvel miljøcenter Roskilde samt i GEUS, og erfaringerne herfra vil blive udnyttet til en senere udbygning af modelkonceptet.

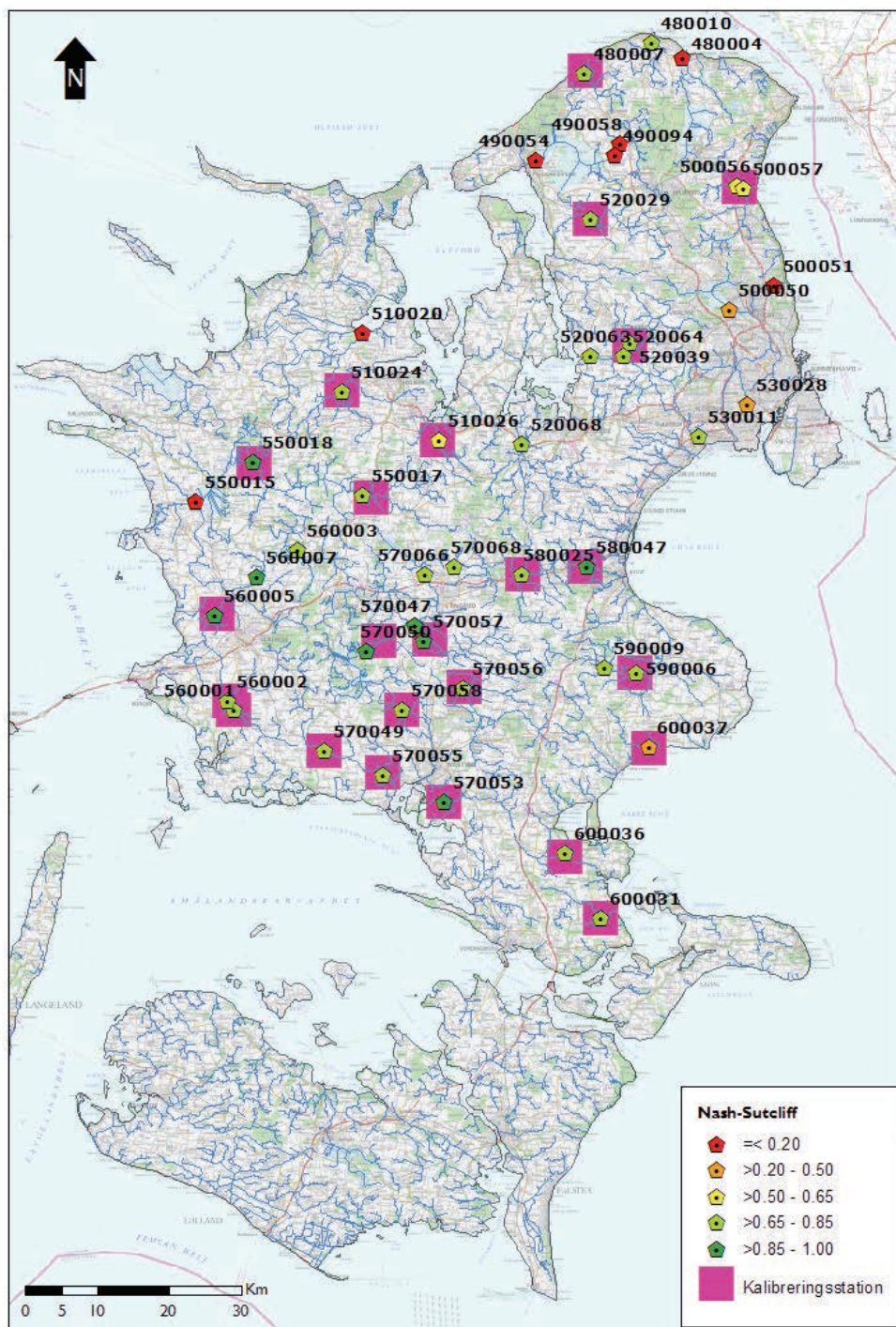


Figur 31. Eksempler af observeret og simuleret vandføring

Den rumlige fordeling af vandbalancen (Fbal) for vandløbene medtaget i kalibreringen er angivet på Figur 32, hvor farveskalaen angiver Fbal på hhv. stationsniveau (punkter) samt oplandsniveau (polygon), hvor sidstnævnte størrelse kun er angivet for ikke regulerede vandløb. Af figuren fremgår det, at den dårligste overensstemmelse mellem de observerede og simulerede vandføringer på stationsniveau forekommer, hvor vandløbene er skønnet reguleret på basis af afstrømningshydrografen.



Figur 32. Rumlig fordeling af Fbal med angivelse af hvilke vandløb der er medtaget i kalibreringen.



Figur 33. Rumlig fordeling af R^2 med angivelse af hvilke vandløb der er medtaget i kalibreringen.

Den rumlige fordeling af R^2 er illustreret på Figur 33, hvoraf det som forventeligt fremgår, at den dårligste R^2 opnås for stationer beliggende i vandløb der er skønt reguleret.

Under kalibreringen kunne der ikke optimeres en velbestemt værdi for tørrv/andet pga. af manglende følsomhed overfor de anvendte observationer i den stationære model. Erfaringer viser imidlertid, at de øvre lag i modellen kan have en væsentlig indflydelse på den simulerede dynamik i vandløbene. Der blev derfor foretaget en efterfølgende følsomheds-

analyse, hvor den horisontale og vertikale hydrauliske ledningsevne for tørv/andet blev ændret til hhv. $1.0E-4$ og $1.0E-5$ m/s. Denne ændring resulterede i minimale forskelle for de anvendte kalibreringsmål, R^2 og Fbal. For R^2 gav det en absolut ændring på maksimalt 0,03, med undtagelse af station 49.14, hvor ændringen var 0,18, men denne station er generelt dårligt simuleret. Den absolutte ændring i Fbal var maksimalt 0,03%. Kalibreringsresultatet samt den udførte følsomhedsanalyse viser således, at den hydrauliske ledningsevne for tørv er dårligt bestemt, men at dette har mindre betydning for den anvendte model skala samt de anvendte kalibreringstargets.

7.2 Valideringsresultat

Til test af modellen er der benyttet to valideringstests:

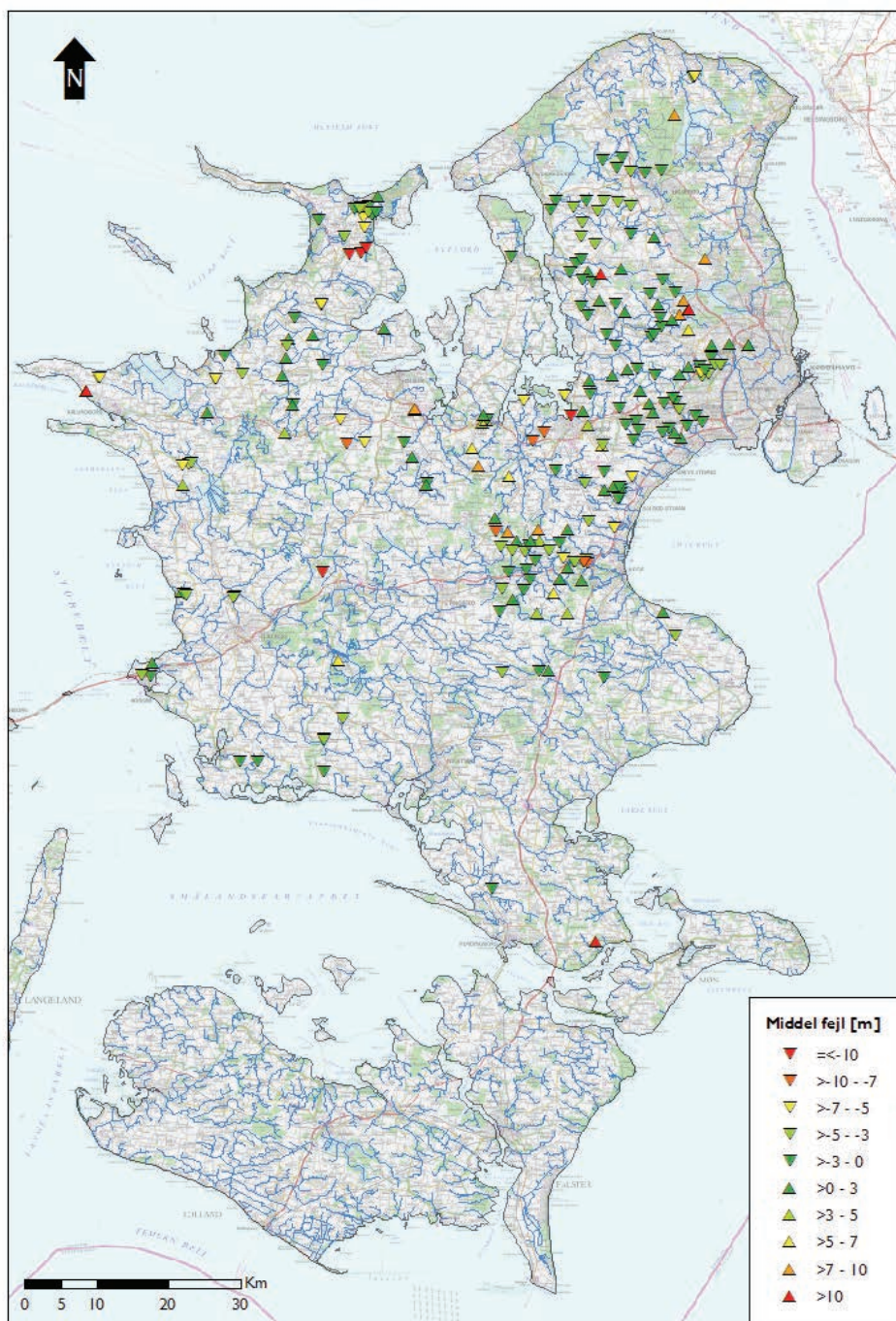
1. split-sampling test for Sjælland, hvor modellens evne til at reproducere observationsdata, der ikke er anvendt til kalibreringen testes. I kalibreringsperioden er der anvendt data for perioden 2000 – 2002, mens data fra 2003 – 2005 er anvendt til validering. Dog har afstrømningsdata kun været tilgængelig frem til 2004.
2. proxy basin test, hvor de optimerede parametre for modellen for Sjælland overføres uden ekstra kalibrering til modellen for Lolland, Falster og Møn.

7.2.1 Validering af model for Sjælland

For at opnå den bedst mulig rumlige fordeling af de observerede potentialer, blev modellen kalibreret stationært mod potentialer, der er midlet over hele perioden 1990 – 2005. Der kan således ikke laves en egentlig split-sampling test for et middel potentiale. En vurdering af modellens evne til at simulere potentialet i valideringsperioden, kan imidlertid opnås på basis af tidsserierne, dog er der ikke data for begge perioder i alle tidsserier. Middelfejlen for pejletidsserierne i valideringsperioden er:

Valideringsperiode, 2003 – 2005: ME = -0,98 (239 tidsserier)

Baseret på middelfejlen for de to perioder, samt en visuel inspektion af de observerede og simulerede pejletidsserier (Figur 30 og bilag 3), fremgår det, at potentialerne i valideringsperioden reproduceres i mindst lige så tilfredsstillende grad som for kalibreringsperioden. Den rumlige fordeling af middelfejlen for pejletidsserierne i valideringsperioden er angivet i Figur 34.



Figur 34. Middelfejl for pejletidsserier i perioden 2003 - 2005

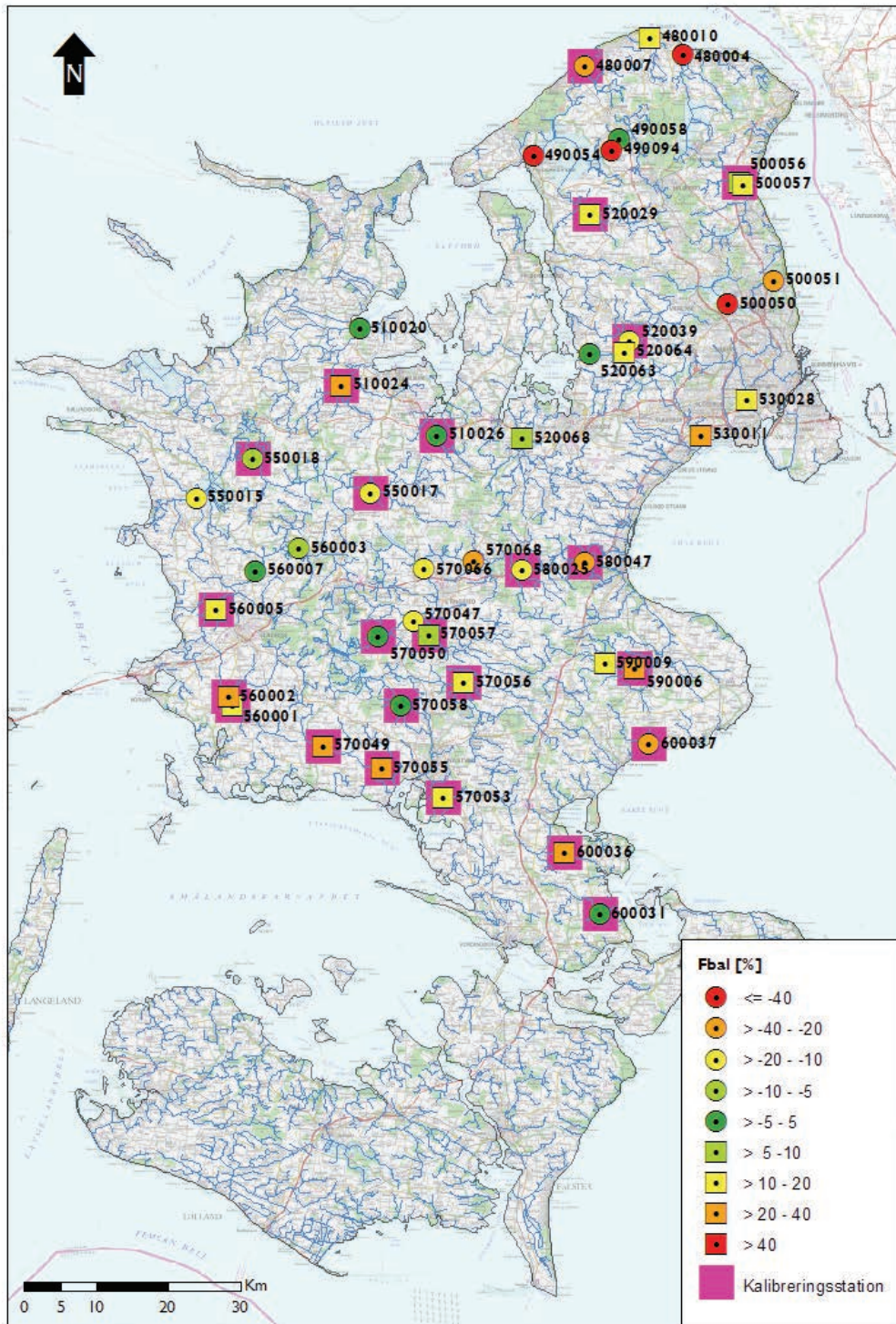
Modellen er valideret ved en split-sampling test for vandføringsdata, hvor data fra perioden 2000-2002 er anvendt til kalibrering, mens data fra perioden 2003-2005 var reserveret validering/test af modellen. Afstrømningsdata var imidlertid kun tilgængelig frem til og med 2004 på det tidspunkt hvor valideringen skulle foretages, hvorfor der kun er anvendt data for 2003 og 2004 i valideringen. Valideringsresultatet for vandføringerne er givet i Tabel 20, hvoraf det fremgår, at de opsatte kriterier mht. R^2 og F_{bal} er overholdt for modellen under et. Dog er de opnåede størrelser for R^2 samt F_{bal} , generelt dårligere end i kalibreringsperioden.

Tabel 20. Valideringsresultat (2003-2004) for vandføringsstationer

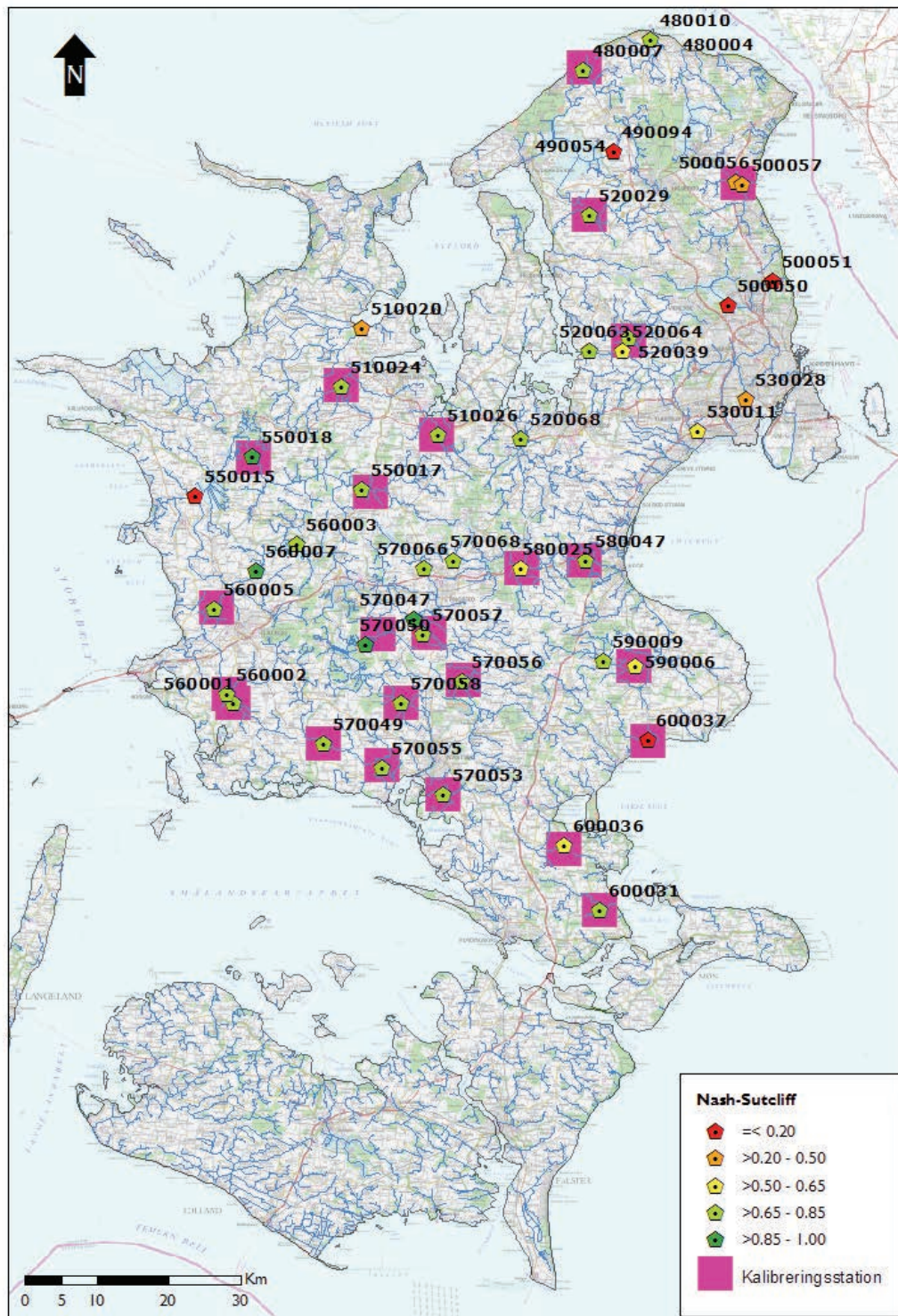
DDHmåle stnr	DMU stnr	Sted	R ²	Fbal (%)
48.04	480007	Højbro å - v. Hanebjerggård	0,66	-25
	480010	Søborg kanal - Parkvej	0,66	19
49.14	490058	Pøle å - nedstrøms Pibemølle	Ingen data	
50.05	500056	Nive å – v. Jellebro	0,49	6
50.06	500057	Usserød å - Nive mølle	0,34	15
51.07	510024	Tuse å – Nybro	0,74	24
51.10	510026	Elverdamsåen - v. Kragebro	0,67	-3
52.08	520029	Havelse å – Strø bro	0,73	12
52.14	520039	Værebroså - v. Veksø bro	0,70	-17
52.21	520063	Hove å – s. F. Gundsøgård	0,66	-3
52.20	520064	Hove å - Hove mølle	0,59	19
52.30	520068	Langvad å - Storemøllebro	0,83	5
	530011	St. Vejle å - Vejlebrovej	0,55	29
53.08	530028	Damhusåen - Landlystvej	0,33	11
55.06	550017	Åmose å - Ugerløse bro	0,73	-12
55.01	550018	Åmose å - Bromølle	0,85	-8
56.10	560001	Bjerge å - Fårdrup	0,68	11
56.09	560002	Seerdrup å - Johannesdal	0,77	21
56.15	560003	Tudeå - Skrætholm	0,79	-9
56.11	560005	Tudeå - Valbygård	0,85	11
56.06	560007	Tudeå – Ørslev	0,90	0
57.53	570047	Ringsted å - Vrangstrup	0,89	-17
57.01	570049	Saltø å - Grønbro	0,76	28
57.04	570050	Suså - Næsby bro	0,90	4
57.37	570053	Fladså - Rettestrup	0,77	17
57.49	570055	Saltø å - ns. Harrested å	0,73	24
57.46	570056	Suså – Tvedebro	0,77	17
57.21	570057	Suså - Vetterslev bro	0,78	7
57.12	570058	Suså - s.f. Holløse bro	0,74	2
57.32	570068	Vigersdal å - Værkevad bro	0,70	-26
58.08	580025	Slimminge å - Kulerup enghave	0,52	-19
58.07	580047	Køge å – v. Lellinge dambrug	0,81	-34
59.01	590006	Tryggevælde å - v. Ll. Linde	0,62	25
59.09	590009	Tryggevælde å - Øster bro	0,73	12
60.04	600031	Mern å – Sageby bro	0,82	0
60.03	600036	Tubæk – Tubæk mølle	0,62	29
60.05	600037	Vivede mølleå - Ridebro	-0,02	-38
		Middel	0,69	4

Den rumlige fordeling af R^2 og F_{bal} for valideringsperioden er gengivet i Figur 35 og Figur 36. Som for kalibreringsperioden opnås der dårligst overensstemmelse mellem de observerede og simulerede størrelser for vandløb der er skønnet reguleret. For de øvrige vandløb ses overordnet de samme tendenser som i kalibreringsperioden, mht. placering af vandløb, hvor der opnås et godt/dårligt fit til den observerede afstrømning.

Overordnet set viser valideringstesten, at modellens evne til at reproducere de observerede potentialer og vandføringer for de to perioder er sammenlignelig, og i begge tilfælde opfylder de opstillede kriterier, om end vandføringsfittet er lidt dårligere i valideringsperioden.



Figur 35. Rumlig fordeling af Fbal for valideringsperioden 2003 – 2004.



Figur 36. Rumlig fordeling af R^2 for valideringsperioden 2003 – 2004.

7.2.2 Proxy-basin test af model for Lolland, Falster og Møn

Modellen for Lolland, Falster og Møn er kun afviklet i en dynamisk version, med parameter-værdier som optimeret for modellen for Sjælland. Observationsdataene for Lolland, Falster og Møn er anvendt til en proxy-basin test. Der er relativt få pejletidsserier tilgængelig i JU-

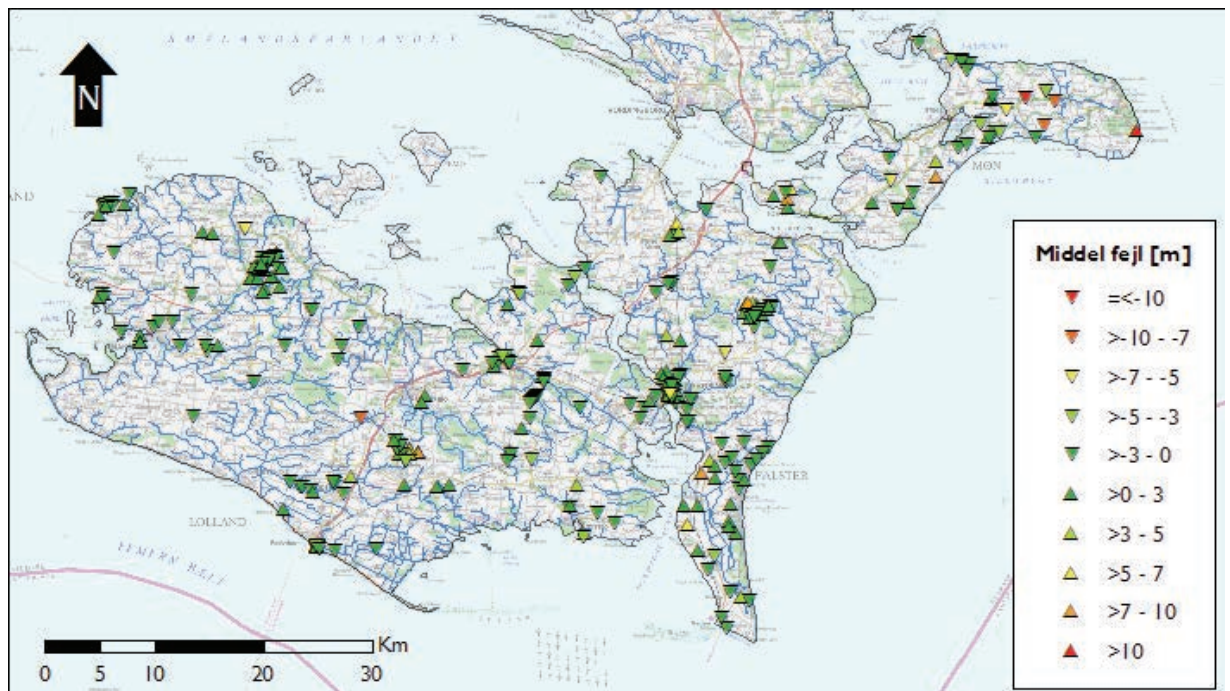
PITER for Lolland, Falster og Møn, og disse er endvidere meget grupperet, så en sammenligning af modellen med observerede tidsserier vil give en meget begrænset rumlig dækning. Det er derfor valgt at foretage en sammenligning baseret på et midlet potentiale, udover en sammenligning af tidsserierne. Det midlede observerede potentiale er baseret på perioden 1990 – 2005, som beskrevet i afsnit 6.2.1, der er sammenholdt med et simuleret potentiale midlet over perioden 2000 – 2005. For vandløbsafstrømningen er proxy-basin testen baseret på daglige observerede og simulerede værdier for perioden 2000 – 2004.

Resultaterne for sammenligningen af et middel potentiale er givet i Tabel 21, med angivelse af middelfejl og RMS for de enkelte modellag, samt middel for magasinlag og hele modellen under et.

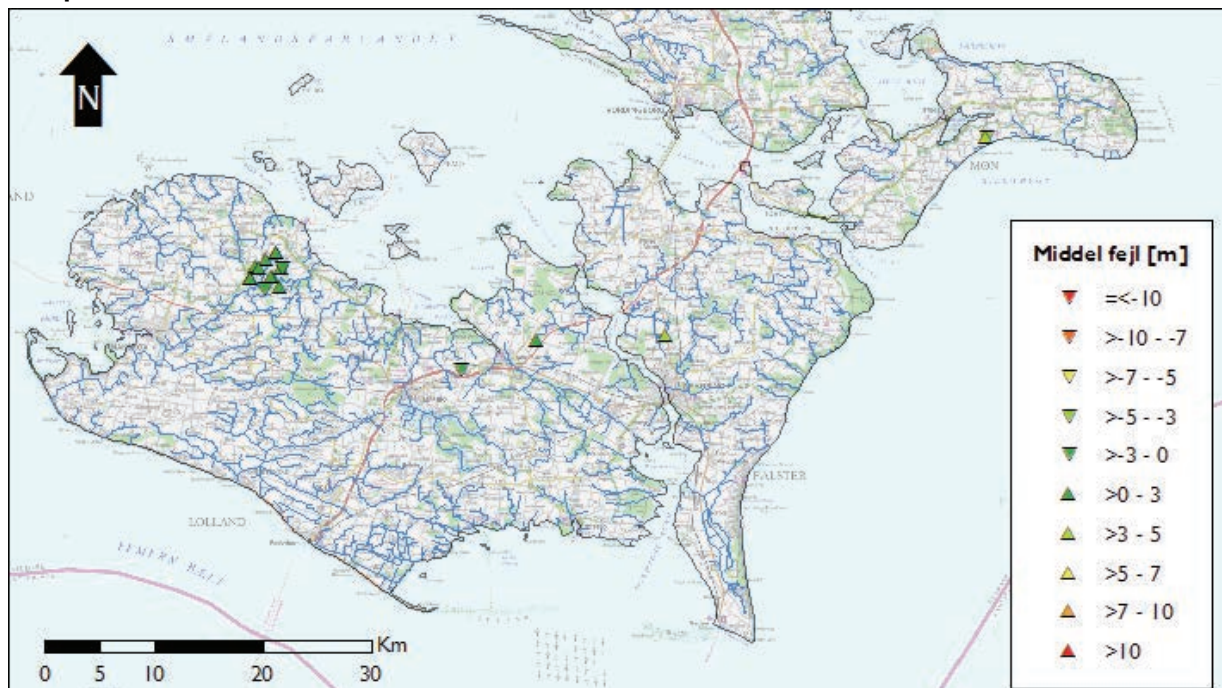
Tabel 21. Resultat af proxy-basin testen baseret på potentialer midlet for perioden 2000 – 2005 for modellen for Lolland, Falster og Møn

Lagnummer	ME	RMS	n
1	0,87	2,26	15
2	1,10	2,32	30
3	-1,16	1,60	2
4	-0,20	3,81	105
5	-0,30	3,44	28
6	-0,96	2,06	51
7	0,57	2,97	44
8	-1,93	2,83	13
9	-3,81	6,55	2
10			0
11			0
12	-1,27	3,18	42
Magasiner	-0,40	3,20	118
Hele model	-0,29	3,08	332

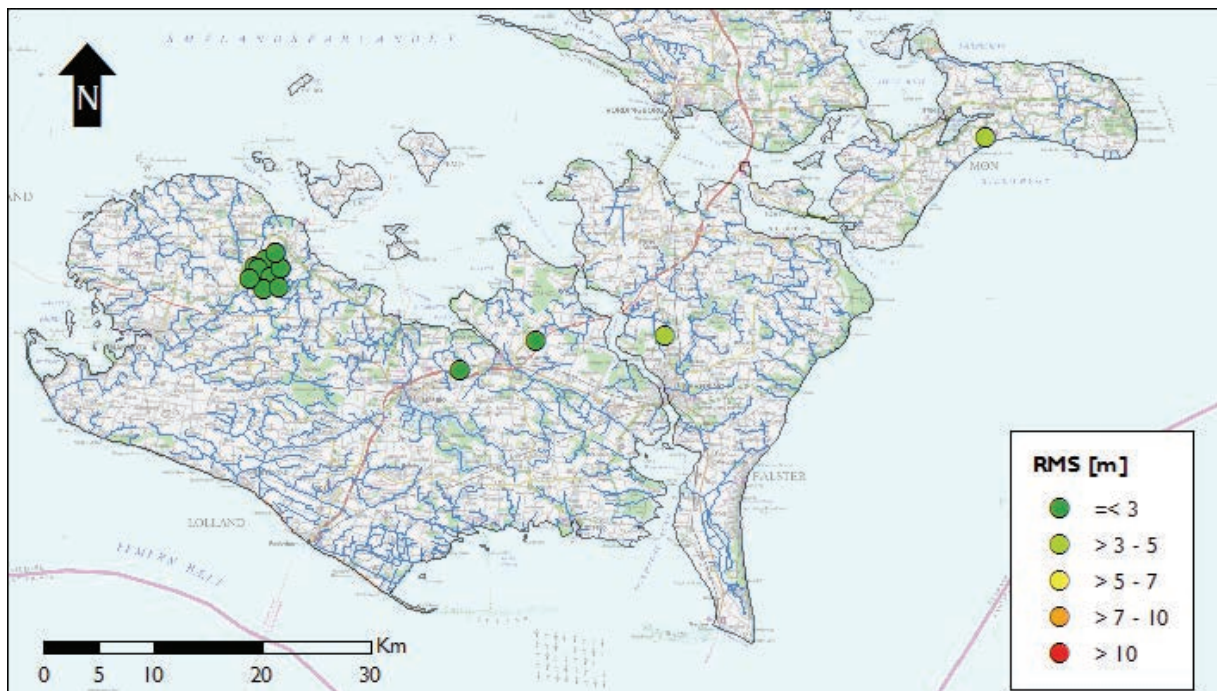
Som det fremgår af Tabel 21 er de opstillede kriterier opfyldte for de midlede potentialer for modellen for Lolland, Falster og Møn. Den rumlige fordeling af middelfejlen for det midlede potentiale er gengivet i Figur 37 for alle modellag samlet, mens den rumlige fordeling af middelfejlen og RMS baseret på pejletidsserierne er givet i Figur 38 og Figur 39. På figurerne ses, at det primært er på øst Møn, at modellen har vanskeligt ved at fange det rigtige niveau for potentialerne. Den geologiske opbygning på Møn er imidlertid også meget kompliceret med mange skråtstillede lag, og det var derfor forventeligt, at modellen ville have sværest ved at simulere grundvandssystemet her.



Figur 37. Rumlig fordeling af middelfejlen for potentialerne baseret på midlede potentialer i perioden 2000 - 2005

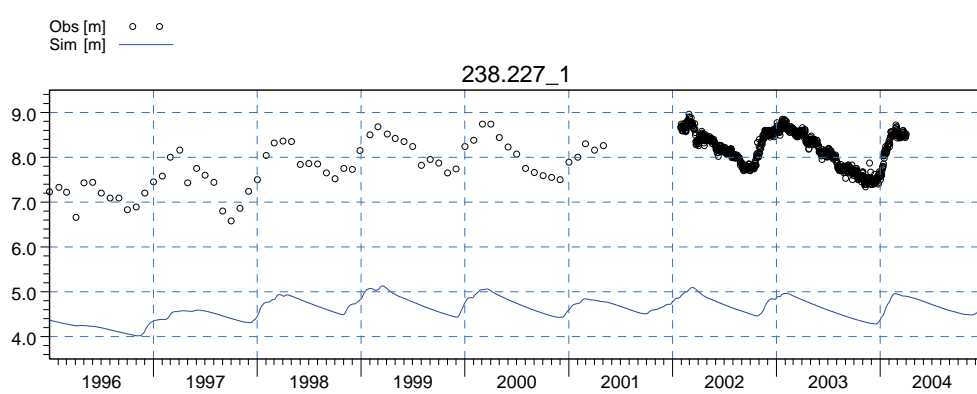
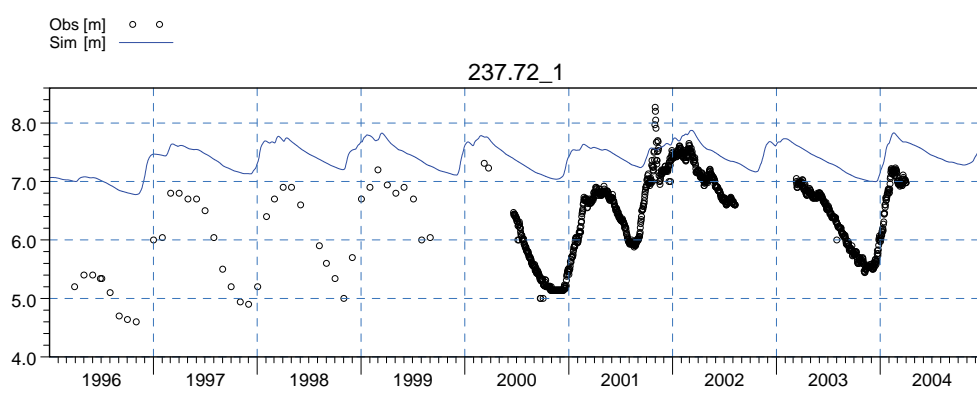
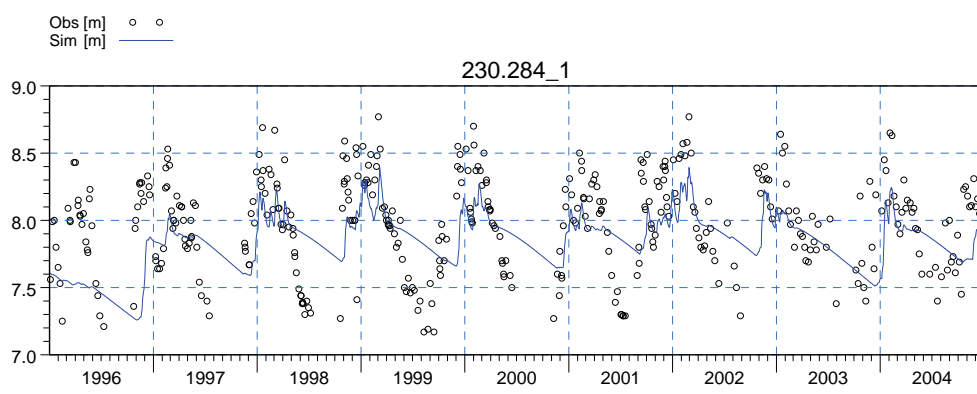
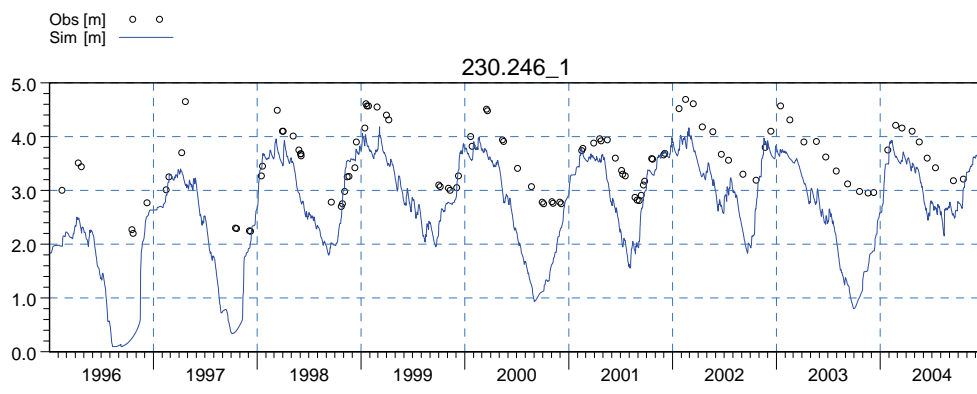


Figur 38. Rumlig fordeling af middelfejl baseret på potentiale tidsserier i perioden 2000 – 2005



Figur 39. Rumlig fordeling af RMS baseret på pejletidsserier for perioden 2000 – 2005

Simulering af dynamikken i grundvandspotentialet er vurderet visuelt ved sammenligning af observerede og simulerede potentialer. I bilag 6 er de observerede og simulerede potentialer for de tilgængelige tidsserier plottet, mens der er givet et par eksempler herpå i Figur 40. Som det fremgår af figuren er modellen generelt i stand til fange de små og hurtige variationer i vandstanden, mens den i nogen grad fejler i at beskrive sæsonvariationen. Modelens rimelige beskrivelse af de små udsving i potentialet indikerer, at en bedre simulering af sæsonvariationen næppe kan opnås alene ved anvendelse af mindre magasintal. For at opnå en bedre tilpasning af modellen kan det derfor være nødvendigt, at foretage en mere detaljeret gennemgang af den hydrologiske model. Det er dog ikke muligt at drage nogen ensidig konklusion på det foreliggende datamateriale, da antallet af tidsserier er yderst begrænset, og kun afspejler få områder af Lolland, Falster og Møn.



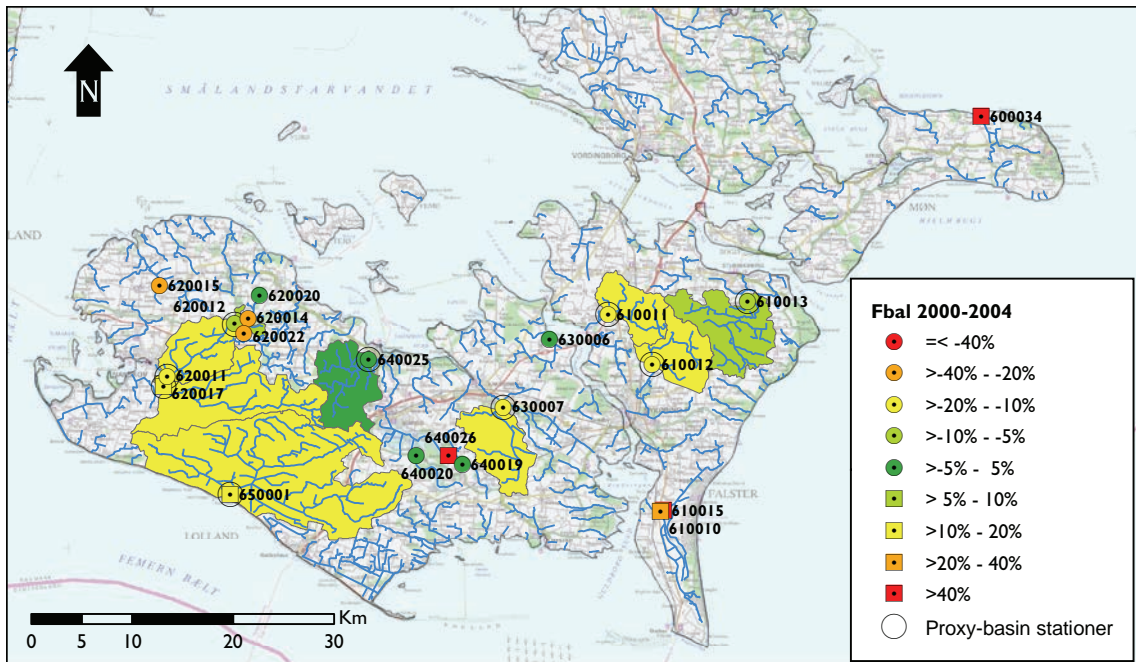
Figur 40. Observeret og simulerede potentiale for udvalgte pejletidsserier

Datamaterialet for afstrømningen for Lolland, Falster og Møn er forholdsvis begrænset. Skulle der anvendes samme udvælgelseskriterier som for Sjælland, med et oplandsareal på > 50 km², ville der kun være få stationer til rådighed for proxy-basin testen. Det er derfor valgt kun at fravælge stationer, der er vurderet at være tydeligt påvirket af reguleringer, uden hensyntagen til stationens størrelse i øvrigt. Proxy-basin resultaterne for afstrømningen er angivet i Tabel 22. Som det fremgår af tabellen opnås der en tilfredsstillende R²-værdi for alle vandløbene, med et middel for alle stationer på 0,79. Ligeledes er kriterierne for vandbalancen tilfredsstillende (middel Fbal<10% og Fbal>20% for maks. 25% af stationerne).

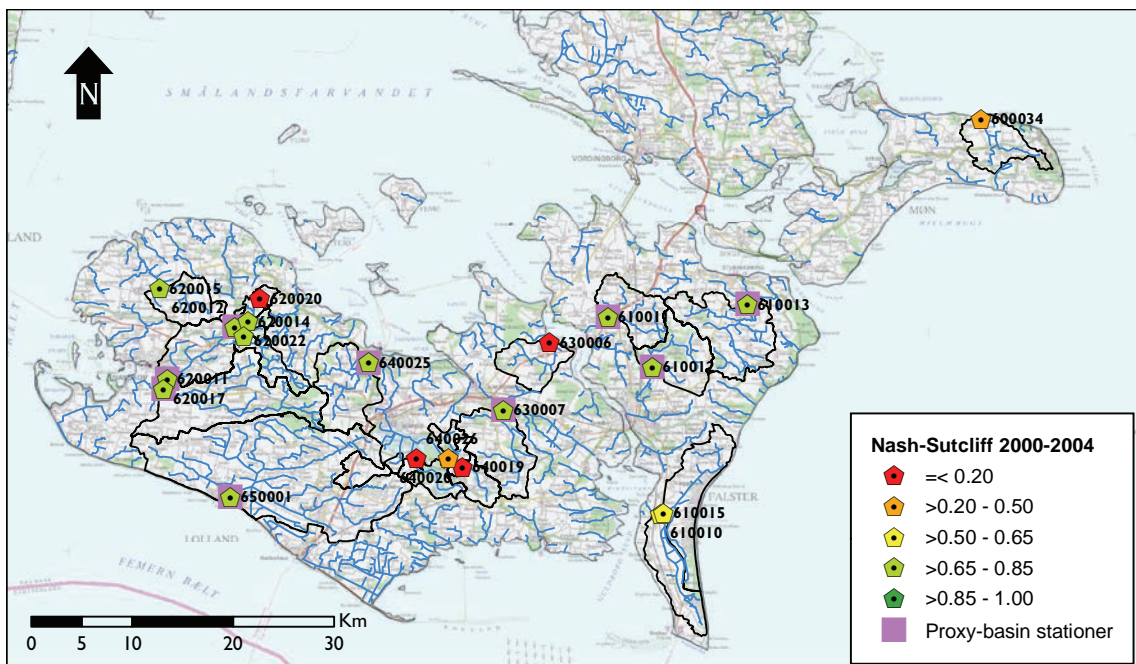
Tabel 22. Resultat af proxy-basin test for vandløb i modellen for Lolland, Falster og Møn (2000 - 2004)

DDH måle stnr	DMU stnr	Sted	Oplands areal (km ²)	R ²	Fbal (%)
61.04	610011	Sørup å- lundby bro	30.54	0.80	-20%
61.01	610012	Tingsted å- tingsted	35.97	0.84	-17%
61.03	610013	Fribrødre å- rodemark	55.3	0.78	-10%
62.06	620011	Halsted å- pumpestation indiv.	67.29	0.80	-10%
62.03	620012	Halsted å- borge bro	29.74	0.80	-7%
62.04	620017	Ryde å- pumpestation indiv.	79	0.79	11%
63.02	630007	Sakskøbing å- krenkerup	40.96	0.84	-12%
64.10	640025	Nældevads å- strædeskov	42.13	0.75	-4%
65.01	650001	Hovedkanal- 39- kramnitze pumpestation	207.4	0.74	19%
		Middel		0.79	-6%

Den rumlige fordeling af Fbal og R² for perioden er givet i hhv. Figur 41 og Figur 42



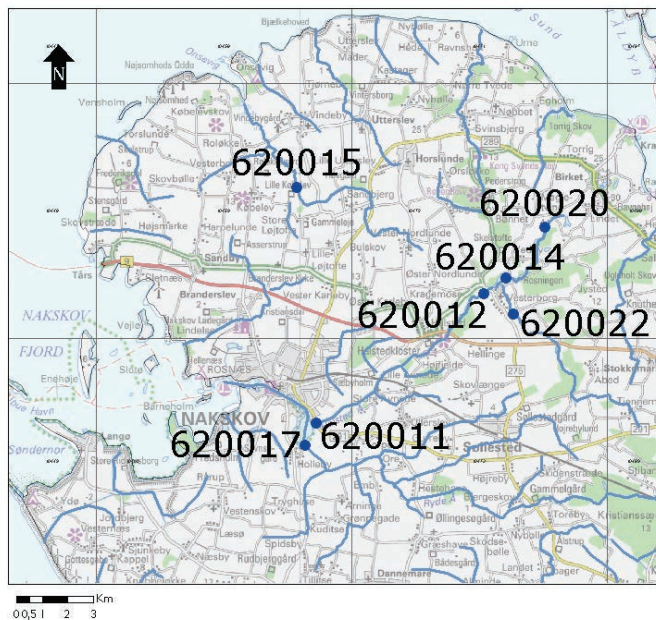
Figur 41. Rumlig fordeling af Fbal for perioden 2000 – 2004, med angivelse af stationer medtaget i proxy-basin testen.



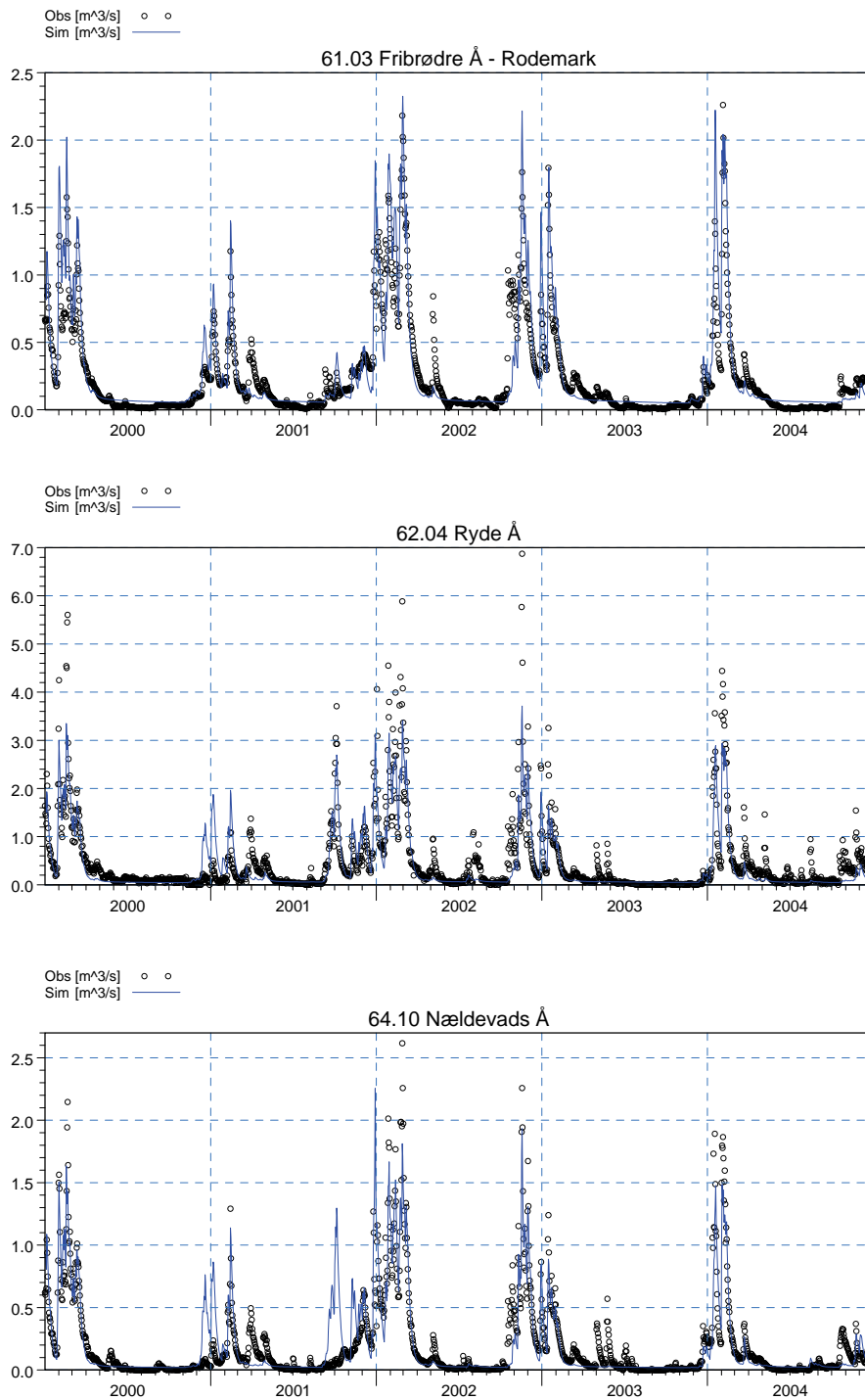
Figur 42. Rumlig fordeling af R^2 for perioden 2000 – 2004, med angivelse af stationer medtaget i proxy-basin testen.

En visuel sammenligning af observerede og simulerede vandføringer viser, at dynamikken i vandløbene generelt er simuleret tilfredsstillende. Sammenlignet med simuleringen af vandløbene for Sjælland er modellen generelt bedre til at fange niveauet i minimumsvandføringerne på Lolland og Falster. I perioden december 2000 – januar 2001 blev der simuleret en væsentlig peakafstrømning for de fleste vandløb på Lolland og Falster, hvilket betyder, at de anvendte klimadata indeholder et væsentligt nedbør for denne periode. Denne peakafstrømning genspejles imidlertid ikke for samtlige vandløb, hvor specielt stationerne

620011, 620012, 620014, 620015, 620017 og 620022 (bilag 7), udviser et lille eller slet intet peak. Årsagen til forskellen mellem den observerede og simulerede afstrømning kan skyldes flere årsager: 1) de listede stationer er tæt beliggende (ligger indenfor 3 10x10 km nedbørsgrid) og klimagriddet kan være fejlbehæftet eller påvirket af en artefakt ved interpolationen. Hvis dette er årsagen betyder det, at nedbøren i de pågældende klimagrid er væsentlig forskellig fra de øvrige klimagrid på Lolland og Falster, 2) vandløbene indeholdende de listede stationer kan være reguleret i den pågældende periode, og da stationerne er beliggende i forskellige vandløb og i forskellige grene indenfor disse vandløb, vil det betyde, at der er flere strækninger der er reguleret på samme måde i den pågældende periode, eller 3) der kan være fejl i observationsdataene for perioden, hvilket vil betyde, at der er sket den samme fejl ved observationen for samtlige 6 stationer. Der er imidlertid ingen af disse årsager, der forekommer som den mest indlysende. En bestemmelse af årsagen til forskellen mellem observeret og simuleret afstrømning for disse stationer vil derfor kræve en nærmere analyse, hvilket ikke er foretaget indenfor nærværende projekt.



Figur 43. Placeringen af stationer hvor der simuleres men ikke observeres peak i perioden december 2000 - januar 2001



Figur 44. Eksempler på observeret og simuleret vandføringer for Lolland, Falster og Møn modellen

Ved overførelsen af parameterverdierne fra modellen for Sjælland var det muligt at opfylde de opstillede kalibreringskriterier for modellen for Lolland, Falster og Møn, hvilket indikerer, at antagelse om sammenlignelige hydrogeologiske forhold for hhv. Sjælland og sydhavsøerne er rimelig. De største problemer blev observeret for Møn, hvor det dårligste fit til potentialerne blev opnået, ligesom der var problemer med at simulere afstrømning for den eneste vandføringsstation på Møn med observerede data (DMU st. nr. 600034; oplandsareal = 25 km²), som det fremgår af bilag 7. Det er imidlertid ikke overraskende, at der specielt er problemer på Møn, idet geologien her er meget kompleks og vanskelig såvel at tolke som at repræsentere i det anvendte modelkoncept. En finkalibrering af parameterverdierne for Møn vil muligvis kunne resultere i et bedre kalibreringsresultat, men ved en anvendelse af modellen for lokale problemstillinger vil det antageligt være nødvendigt med en revurdering af hydrogeologien og dennes repræsentation i modellen.

For Lolland og Falster blev der opnået et tilfredsstillende resultat, dog indikerede forskellen mellem de observerede og simulerede pejletidsserier, at det for en lokal anvendelse af modellen kan være nødvendigt med en mere detaljeret analyse af hydrogeologien. Ved udførelsen af proxy-basin testen er det alene testet at modellen performer tilfredsstillende ved overførelse af parameterverdierne for Sjælland. Det derfor ikke garanteret, at de anvendte parameterverdier er de optimale for Lolland og Falster, hvorfor en finkalibrering baseret på observationsdata fra de to øer givetvis vil resultere i en mindre justering af parameterverdierne.

8. Simuleringer

Den samlede simulerede vandbalance baseret på den opdaterede model er opgjort i Tabel 23 og Tabel 24 for hhv. modelområde 1 (Sjælland) og 2 (Lolland, Falster og Møn), og illustreret grafisk i Figur 45 og Figur 46. Sammenholdes vandbalancen med den tilsvarende baseret på den tidligere DK-model, (Tabel 1 og Tabel 2) ses at de to modeller giver et meget sammenligneligt resultat for de enkelte led i vandbalancen. Der er dog nogen forskel i vandbalancen for Lolland, Falster og Møn. For dette område er nettonedbøren konsekvent større i den opdaterede model, hvilket primært må tilskrives overgangen til de finere klimagrids (fra 40x40 km til 10x10 km og 20x20 km). Ændring i nettonedbøren resulterer i, at de øvrige led i vandbalancen for område 2 ligeledes øges for de øvrige led af vandbalancen.

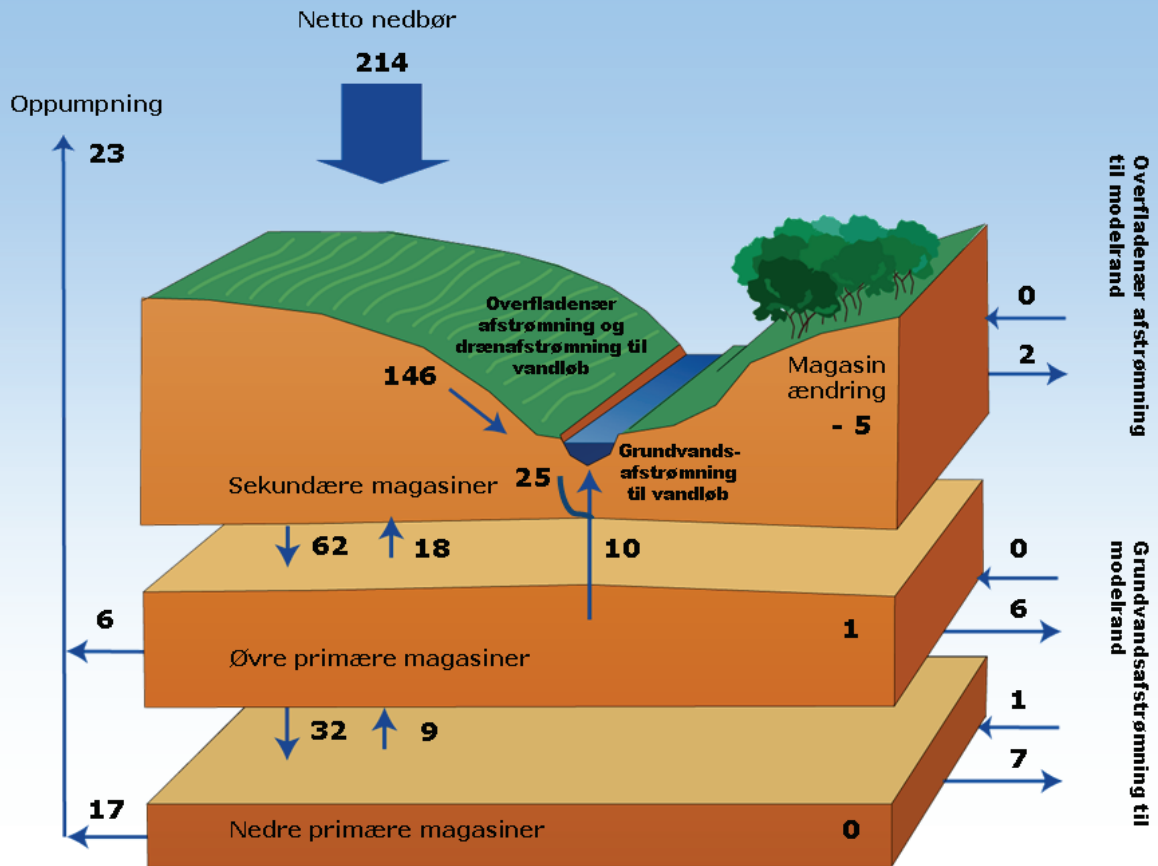
Tabel 23. Samlet vandbalance i mm/år for Sjælland

	Nettonedbør	Magasineringsring	Indvinding	Vandføring	Rand
2000	239,4	4,2	23,6	197,7	14,1
2001	240,5	28,4	23,4	174,6	14,0
2002	337,2	18,5	23,4	280,4	14,8
2003	86,1	-74,6	23,5	123,3	14,0
2004	214,4	38,0	23,0	139,3	13,8
2005	170,6	-40,6	23,1	174,5	13,9
Middel	214,7	-4,4	23,3	181,6	14,1

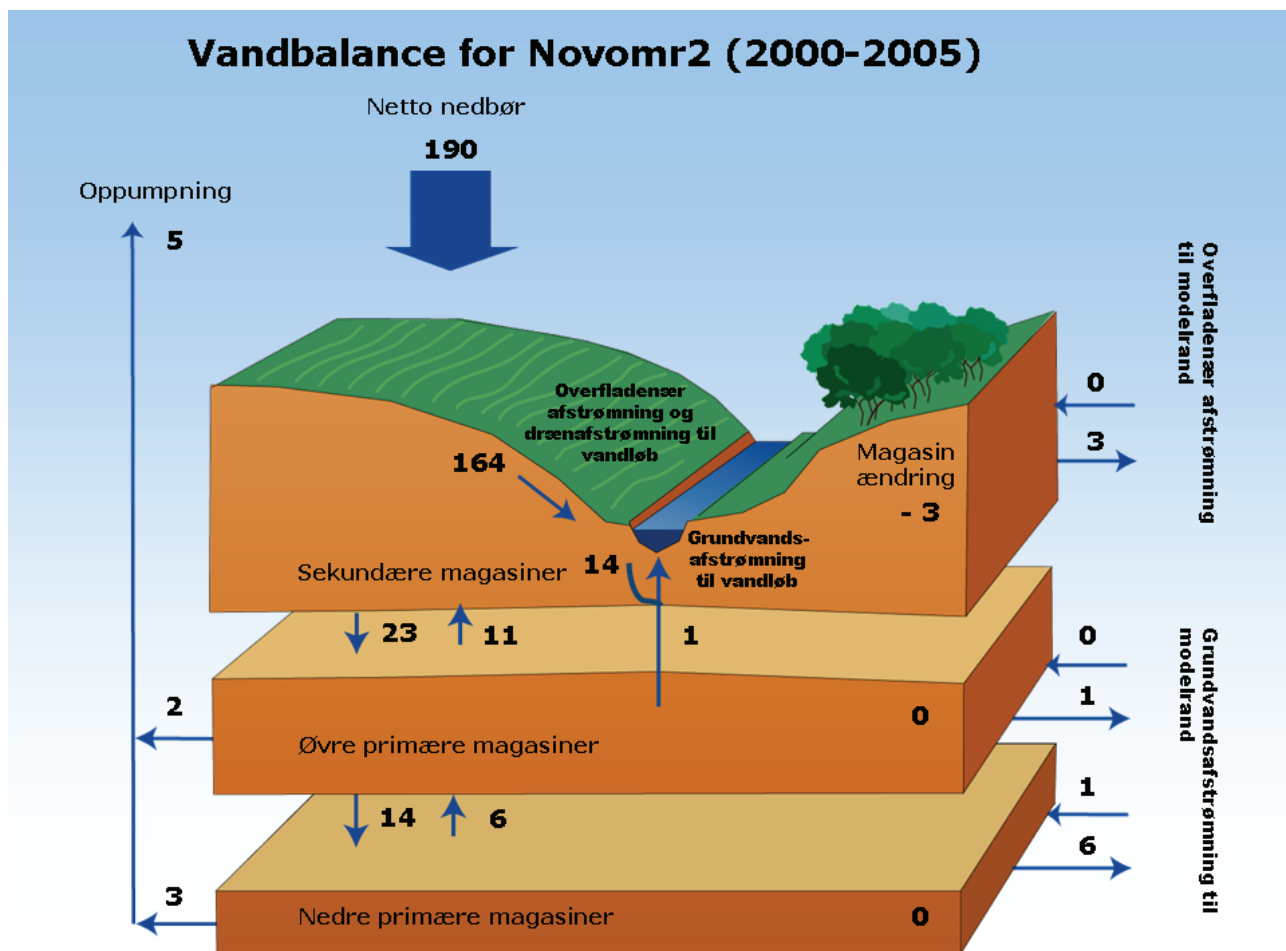
Tabel 24. Samlet vandbalance i mm/år for Lolland, Falster og Møn

	Nettonedbør	Magasineringsring	Indvinding	Vandføring	Rand
2000	216,2	-10,1	5,1	211,7	9,6
2001	198,1	31,3	5,1	152,6	9,0
2002	330,1	11,3	5,1	303,0	10,6
2003	62,1	-53,0	5,1	101,4	8,8
2004	182,2	21,0	4,8	146,8	9,5
2005	155,4	-17,3	3,9	159,5	9,3
Middel	190,7	-2,8	4,8	179,2	9,5

Vandbalance for Novomr1 (2000-2005)



Figur 45. Grafisk fremstilling af vandbalance for Sjælland



Figur 46. Grafisk fremstilling af vandbalance for Lolland, Falster og Møn

En underinddeling af vandbalancen for vandløbene, illustrerer imidlertid en noget mere markant forskel mellem den tidligere og den opdateret DK-model. De enkelte vandløbsbidrag er opgjort i Tabel 25, hvoraf det fremgår, at den største procentuelle forskel mellem de to model versioner er, at finde for det simulerede grundvandsbidrag og den overfladiske afstrømning. Den primære årsag til forskellen i de simulerede størrelser for grundvandsudvekslingen må tilskrives den opdaterede geologiske model. Dog vil ændringen i gridstørrelsen antageligvis også influere på de enkelte delkomponenter i vandbalancen. I den opdaterede model er der næsten ingen overfladisk afstrømning. Den overfladiske afstrømning i naturen, med afstrømning fra landarealer direkte til vandløb, er ikke et dominerende fænomen, hvorfor en begrænset overfladisk afstrømning i modellen er rimelig. Det anvendte modelkoncept inkluderer ikke en beskrivelse af overfladenær strømninger under kraftige nedbørshændelser. En metode til at kompensere herfor vil være at "booste" den overfladiske afstrømning i modellen, så denne proces inkluderer både overfladisk og overfladenære strømninger. Set i dette perspektiv, vurderes den simulerede overfladiske afstrømning i den opdaterede model, at være i underkanten. Til vurdering af den overordnede vandbalance er det ikke afgørende kritisk at størrelsen af den overfladiske og overfladenære strømning er korrekt, da dette blot betyder en lettere omfordeling af vandfluksene, hvor en stigning i den simulerede overfladiske afstrømning primært vil resultere i en mindre simuleret drænastrømning. For detailundersøgelser kan det være relevant at fokusere mere på størrelsen af simuleret overfladeafstrømning.

Tabel 25. Vandløbsbidrag i middel for perioden 2000 - 2005 for den tidligere og den opdaterede DK-model

		Grundvand	Dræn	Overfladisk afstrømning	Samlet Vandføring
Sjælland					
	Tidligere DK-model	16,6	127,0	31,9	175,6
	Opdateret DK-model	34,8	145,9	1,0	181,6
Lolland, Falster og Møn					
	Tidligere DK-model	2,2	137,7	18,8	158,7
	Opdateret DK-model	14,8	164,0	0,3	179,2

9. Referencer

- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986a): An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and Philosophy of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *J. Hydrol.* 87, 45-59.
- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E. and Rasmussen, J. (1986b): An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. *J. Hydrol.* 87, 61-77.
- Allerup P, Madsen H & Vejen F (1998) Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrekationer. Danish Meteorological Institute, Techn. Rep. No. 98-10, Copenhagen.
- DHI (2008a). MIKE 11 – A modelling system for rivers and channels, user guide, pp. 454
- DHI (2008b). MIKE SHE - An integrated hydrological modelling framework, volume 1: User guide, pp. 302
- DHI (2008c). MIKE SHE - An integrated hydrological modelling framework, volume 2: Reference manual, pp. 436
- Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H., Jensen, J.J. (1997) Observed Precipitation in Denmark, 1961-1990. Technical Report 97-8. Dansk Meteorologisk Institut.
- Havnø, K., Madsen, M.N., Dørge, J. (1995) MIKE 11—a generalized river modelling package. In: Singh, V.P., (Ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, pp. 733–782.
- Harrar, W. G. & Nilsson, B. (1998). Seasonal Variation in fracture flux through a glacial till. 1998 GSA Annual Meeting. ISSN 0016-7592
- Henriksen, H.J., Sonnenborg, A. (2003) Ferskvandets kredsløb, Nova2003 Temarapport, 228p, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- Henriksen, H.J., Trolborg, L., Knudby, C.J., Dahl, M., Nygaard, P., Jacobsen, P. R. & Rasmussen, P. (1998) National Vandressource Model – Sjælland, Lolland, Falster og Møn, GEUS rapport 1998/109, pp. 101. Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. (1970) Riverflow forecasting through conceptual models. Part 1: a discussion on principles. *Journal of Hydrology* 10, 282-290.
- Nilsson, B., Sidle, R.C., Klint, K.E., Bøggild, C.E. & Broholm, K. (2001). Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogeneous till-sand aquifer system. *Journal of Hydrology* 243, 162-179.
- PEST. Pest – Model-Independent Parameter Estimation User Manual: 5th Edition, pp. 336 & Addendum to the PEST manual, pp. 206. Watermark Numerical Computing. <http://www.sspa.com/Pest/pest11.shtml>
- Plauborg, F., Refsgaard, J.C., Henriksen H.J., Blicher-Mathiesen, G. & Kern-Hansen, C. (2002). Vandbalance på mark- og oplands skala. DJF-rapport 70, 45 pp.
- Refsgaard, J.C. & Knudsen, J. (1996): Operational Validation and Intercomparison of Different Types of Hydrological Models. *Water Resources Research.* 32(7), 2189-2202.
- Scharling, M. (1999a): Klimagrid - Danmark, Nedbør, lufttemperatur og potentiel fordampning, 20x20 og 40x40 km.. DMI Technical Report 99-12, Trafikministeriet, DMI.

- Scharling, M. (1999b): Klimagrid - Danmark, Nedbør 10x10 km (ver.2). DMI Technical Report 99-15, Trafikministeriet, DMI.
- Sonnenborg, T.O. & Henriksen H.J. (eds) (2005). Håndbog i grundvandsmodellering. GEUS rapport 2005/80. Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- TOP10DK-specifikation (2001) TOP10DK - Geometrisk registrering - Specifikation udgave 3.2.0, Kort & Matrikelstyrelsen
- Troldborg, L., Henriksen, H.J. (eds) (2006), Optimering af DK-model for Københavns Energi, GEUS rapport 8/2006, 174p, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København
- Vandplan Sjælland (2005). Statistisk analyse af pejletidsserier. Udgivet af Københavns kommune, Frederiksberg kommune, Københavns Amt, Vestsjællands Amt, Storstrøms Amt, Frederiksborg Amt og Roskilde Amt

9.1 Internetsider

[/www.vandmodel.dk/](http://www.vandmodel.dk/)

[/www.grundvandsovervaagningen.dk/](http://www.grundvandsovervaagningen.dk/)

Teknisk anvisning for hydrologisk modellering i NOVANA,

http://www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/ta_hydrologisk_modellering_marts2006.pdf

Grundvand. Status og udvikling 1989-2006

http://www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2006.htm

[/www.dmu.dk/](http://www.dmu.dk/)

AIS database

http://www.dmu.dk/Udgivelser/Kort_og_Geodata/AIS/

Corine database

http://www.dmu.dk/Udgivelser/Kort_og_Geodata/CLC2000/

BILAG

BILAG 1

Beskrivelse af procedure for placering af indvindinger i modellerne for Sjælland samt Lolland, Falster og Møn

Indvindingsdata Område 1 (Sjælland) og 2 (Lolland, Falster og Møn)

Introduktion

Fra JupiterXL databasen er 7670 indvindingsindtag for perioden 1990-2006 (fordelt på 3158 anlæg) for Sjælland, Lolland, Falster, Møn og Bornholm trukket ud i en Access database, som ved hjælp af specielt udviklede GIS værktøjer er konverteret til en tabel/shapefil, der indeholder de relevante udtræk (novomr12_indvind_ks.shp). I denne tabel laves dels en fejlsøgning for indtag der må ekskluderes fra modellen grundet fx manglende georeference eller manglende boringsoplysninger (tabel 2), og dels laves en fejlsøgning samt tilretning af indtag, der mangler intagskoter, men som har tilstrækkelige oplysninger til at disse kan beregnes (tabel 3). Endelig associeres indtagene med et modellag (tabel 4). Bemærk at indvindingsmængderne er baseret på gennemsnit for perioden 1990-2006 og kan altså ikke tages som udtryk for den reelle indvinding. Figur 1 og 2 viser den samlede mængde indvinding for henholdsvis Sjælland og øerne fordelt på år.

Tabel 1 Oversigt over antal indtag og mængder af indvinding fordelt på område.

Område	Antal indtag	Antal anlæg	Indvinding [m ³ /år]	Indvinding [%]
Sjælland, Lolland, Falster og Møn	7464	3054	255.895.123	96,6
Sjælland	6533	2764	242.700.543	91,6
Heraf mangler georeference	215		9.202.747	
Yderligere uden for modelrand (Sjælland)	34	15	137.762	0,1
Lolland, Falster og Møn	906	278	13.063.856	5,0
Heraf mangler georeference	2		194.628	
Yderligere uden for modelrand (Lolland, Falster og Møn)	25	13	374.822	0,1
Bornholm	172	89	8.982.260	3,0
Heraf mangler georeference	21		161.813	
Total	7670	3158	265.176.957	100

Herfra opereres kun for Sjælland, Lolland, Falster og Møn, dog ikke for boringer der ligger uden for randen af de to modeller.

Frasortering

For de 7464 indtag på Sjælland og øerne er indtag ekskluderet af forskellige årsager så som manglende georeference eller manglende boringsoplysninger (manglende NOVANAID), se tabel 2, hvorefter det totale antal indtag er 6760. Det skal bemærkes, at der i databasen er oplyst indvinding for alle indtag, dvs. ingen indtag har 0 m³ indvinding per år.

Tabel 2 Oversigt over antal indtag og mængder af indvinding, der ikke kan medtages i modellen grundet fejl.

Error Code	Årsagsbeskrivelse	Antal indtag	Antal anlæg	Heraf anlæg med indv. > 1 mio. m ³ /år	Heraf anlæg med indv. > 25.000 m ³ /år	I alt indv. [m ³ /år]	I alt indv. [%]****
EC1*	Manglende georeference	217	217	3	36	9.397.375	3,7
EC2	Manglende NOVANAID	601	601	9	93	31.712.627	12,4
EC4	Ikke frasortet med de ovenfor beskrevne koder, men hvor der stadig ikke er tilstrækkelige oplysninger til at frembringe intagsbund- og/eller topkoter* *	102	85	0	14	1.097.915	0,4
Total***	Frasorteres	704	687	9	107	32.812.842	12,8

* EC1 er med 1 undtagelse en delmængde af EC2

** hvor hverken indtagets bund- og topkote eller boreddybde eller casingbottom eller dybden til toppen af indtaget eller bunden af indtaget er kendt ("INTAKTOPK" =-999 AND "INTAKBOTK" =-999 and drill-depth=0 and casibot=0 and intaketop=-999 and intakebot=-999).

***Samme indtag kan være inkluderet i flere kategorier.

**** I forhold til 255.895.123 m³/år (samlede indvinding for Sjælland og øerne).

Fejl screening

Der er foretaget tilretning af INTAKTOPK og INTAKBOTK, hvor disse ikke er registreret (-999) og hvor andre oplysninger fra JupiterXL databasen kan anvendes til at beregne dem. Følgende kriterier er anvendt:

1. Indtag, hvor terrænkote mangler (JupKote = -999), og som har fået INTAKTOPK og INTAKBOTK beregnet ud fra DTMKote og henholdsvis INTAKTOP og INTAKBOT.
2. Indtag der står i kalk, og som har fået INTAKTOPK og/eller INTAKBOTK beregnet ud fra JUPKOTE eller DTMKOTE og henholdsvis forerørsdybde (casibot) og drill-depth.
3. Indtag der står i kalk, og som har fået INTAKTOPK og INTAKBOTK beregnet ud fra JUPKOTE eller DTMKOTE og henholdsvis drilldepth+5m og drilldepth.
4. Indtag der ikke står i kalk, og som har fået INTAKTOPK og INTAKBOTK beregnet ud fra JUPKOTE eller DTMKOTE og henholdsvis drilldepth+5 m og drilldepth.

Tabel 3 Oversigt over antallet af indtag og indvindingsmængder, hvor indtagets bund- og topkote er beregnet ud fra andre oplysninger.

Beskrivelse QC_TOPK/BOTK	Top/Bund Kote	Antal indtag	Indvinding [m ³ /år]	Indvinding [%]*
1	Top	94		
	Bund	95		
2	Top	74		
	Bund	71		
3	Top	402		
	Bund	211		
4	Top	378		
	Bund	293		
Total		956	33.843.488	13,2

* I forhold til 255.895.123 m³/år (samlede indvinding for Sjælland og øerne).

Placering af indtag i forhold til den Geologiske model i DK-Model NOVANA

Der skelnes mellem modellens geologiske lag og beregningslag. Der er 11 geologiske lag i modellen (1:11), hvorimod der er 12 beregningslag (1:12). Dette skyldes at det øverste geologiske lag er opdelt i to beregningslag, hvor det øverste af dem repræsenterer opsprækket ler og kaldes beregningslag 1. Kolonnerne LAYER, NEW_LAYER, LER_LAYER og LAYER_ALL refererer alle til de geologiske lag, hvorimod BERELAG refererer til beregningslag. Beregningslagene er brugt i det følgende til at få et overblik over indvindingsmængder i de enkelte beregningslag.

Indtagene placeres i lag i den geologiske model i DK-model NOVANA. Til opgaven er anvendt specielt udviklede GIS værktøjer, der, lag for lag, udtrækker de indtag der helt eller delvist falder sammen med et angivet lag:

1. For de indtag, hvor indtaget helt eller delvist falder sammen med et vandførende lag i DK-model NOVANA (beregningsslag 3, 5, 7, 9 og 12), associeres indtaget til det aktuelle lagnummer. I de tilfælde, hvor et indtag sidder i to eller flere vandførende lag er indtaget angivet placeret i det dybeste lag. (Kolonne OK_LAYER=1)
2. Hvor indtaget ikke falder sammen med et vandførende lag i DK-model NOVANA, angives et vandførende lag, der ligger enten over eller under indtaget med prioritet i nedadgående retning, såfremt dette har en nærmere specificeret tykkelse (10 cm er anvendt). Indtaget kan flyttes mere end 1 lag, hvor tykkelsen af de mellemliggende lerlag er lille. Indtag, der bliver flyttet får specificeret nye indtagsbund-, midt- og topkoter svarende til det vandførende lag de flyttes til. (Kolonne OK_LAYER =2)
3. For de resterende indtag er det antaget, at indtaget står i ler eller mindre sandmagasin, der ikke er repræsenteret i den geologiske model. For disse indtag angives det lerlag (beregningsslag 2, 4, 6, 8, 10 og 11), hvor indtaget sidder. (Kolonne OK_LAYER =3). En kommentar er yderligere knyttet til disse indtag (Kolonne OK_KOMMENT).

For de indtag der står i lerlag er det blevet testet om de er en del af et større anlæg, dvs. hvis det pågældende anlæg indvinder mere end 100.000 m³/år og har mere end 1 indtag. I disse tilfælde vil det være sædvanligt at anlæggets øvrige indtag står i vandførende lag (typisk kalken), men at netop dette indtag har fået associeret et forkert lagnummer enten pga. fejl i den geologiske model eller pga. fejl i indberetningerne af INTAKTOPK og/eller INTAKBOTK. Disse tilfælde er manuelt blevet registreret og frasorteret (25 stk på Sjælland, 8 stk på Lolland, Falster og Møn – OK3_LAYER= -1).

Indvinding fordelt på lag og år

Efter frasortering af indtag er det sikret at anlæggets samlede indvinding er bibeholdt og fordelt på anlæggets resterende indtag. Af tabel 4 fremgår antallet af indtag, der er associeret til de enkelte vandførende lag, og som ikke er frasorteret, samt den tilsvarende sumerede mængde indvinding knyttet til disse indtag. Figur 1 og 2 viser den årlige indvinding fra 1990 til 2005 for henholdsvis Sjælland og Lolland, Falster og Møn.

Konklusion

13,0 % (ca. 31,5 mio m³/år) af den samlede indvinding for Sjælland er ekskluderet fra modellen pga. frasortering. Tilsvarende er 3,9 % ekskluderet for Lolland, Falster og Møn.

Tabel 4 Oversigt over antallet af indtag i de enkelte lag i modellen samt de tilsvarende indvindingsmængder, for Sjælland (modelområde 1).

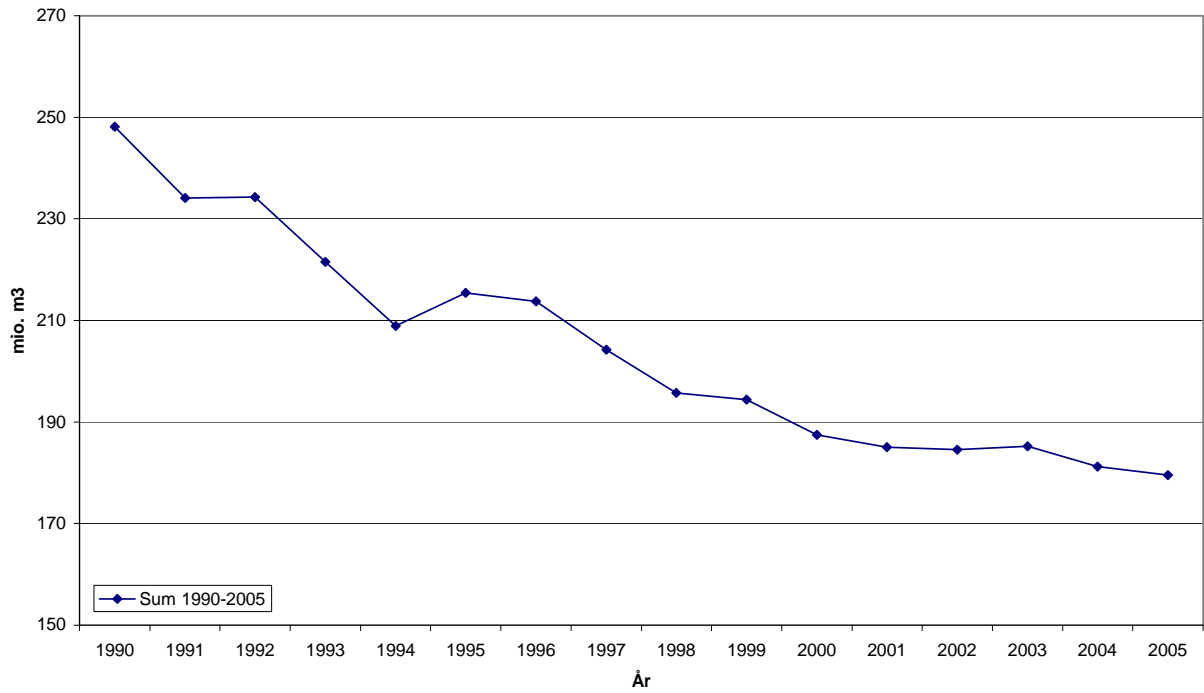
Lag	Indtag i vandførende lag	Indtag flyttet hertil	Indtag i lerlag	Total*	Indvinding [m3/år]	Indvinding % Af Sjællands totale indvinding
1	-	-	-	-	-	-
2			8	4	13.226	< 0,1
3 (Sand)	33	4		37	1.628.159	0,7
4			33	32	222.565	0,1
5 (Sand)	492	68		560	11.149.357	4,6
6			66	62	619.608	0,3
7 (Sand)	652	72		724	22.091.980	9,1
8			45	44	398.903	0,2
9 (Sand)	255	20		275	9.319.897	3,8
10			48	35	408.608	0,2
11			14	12	159.812	0,1
12 (Kalk)	3987	62		4049	165.255.936	68,1
Total	5419	226	214	5834	211.268.052	87,0
Total indvinding for Sjælland					242.700.543	100
Rest pga. fraserterede (EC_ALL=-1)				621	31.300.564	13,0

* i Total er angivet indtag der er indplaceret i modellen, dvs. indtag hvor indvindingen er omfordelt på andre indtag i samme anlæg er ikke talt med

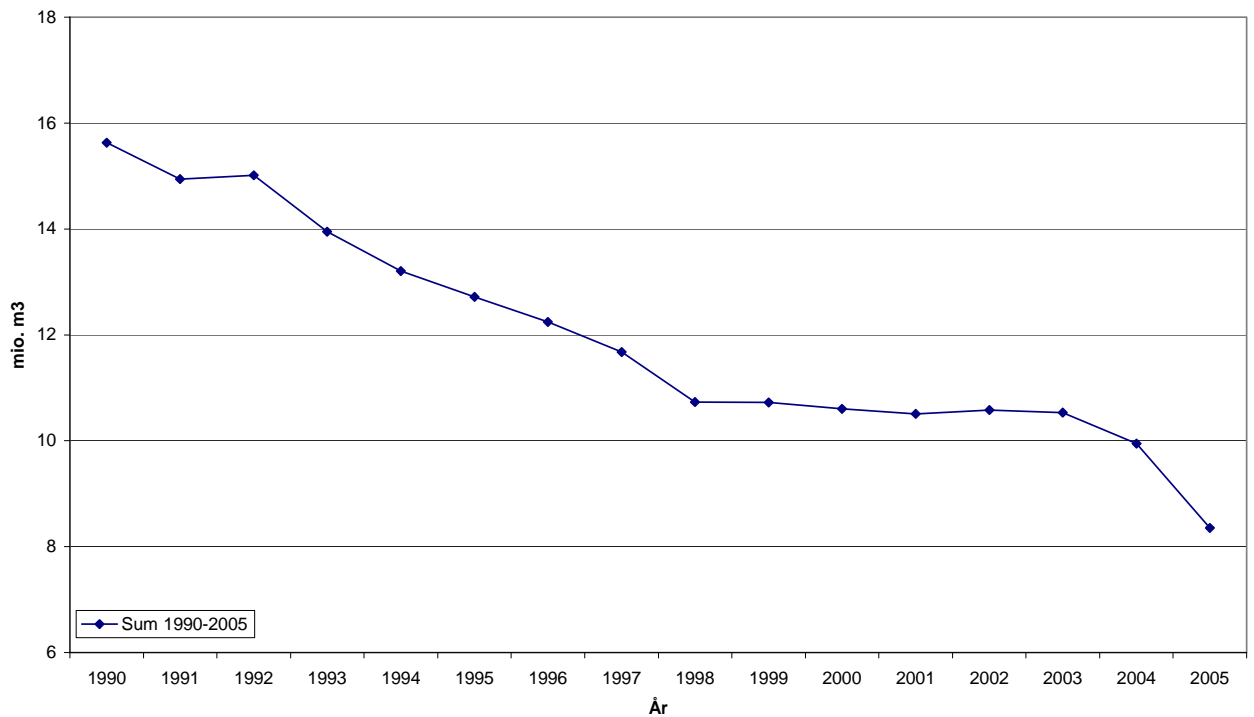
Tabel 5 Oversigt over antallet af indtag i de enkelte lag i modellen samt de tilsvarende indvindingsmængder, for Lolland, Falster og Møn (modelområde 2).

Lag	Indtag i vandførende lag	Indtag flyttet hertil	Indtag i lerlag	Total*	Indvinding [m3/år]	Indvinding % Af Lolland, Falster og Møns totale indvinding
1	-	-	-	-	-	-
2			5	5	32.593	0,3
3 (Sand)				0		
4			4	3	55.164	0,4
5 (Sand)	37	2		39	848.510	6,5
6			6	3	4.809	0,0
7 (Sand)	127	22		149	2.819.180	21,6
8			13	10	157.764	1,2
9 (Sand)	6	1		7	78.748	0,6
10			2	1	8.079	0,1
11				0		
12 (Kalk)	652	1		653	8.520.379	65,2
Total	822	26	30	870	12.525.225	95,9
Total indvinding Lolland, Falster og Møn					13.063.856	100
Rest pga. fraserterede				22	508.116	3,9

* i Total er angivet indtag der er indplaceret i modellen, dvs. indtag hvor indvindingen er omfordelt på andre indtag i samme anlæg er ikke talt med



Figur 1 Årlige indvindingsmængder for Sjælland 1990-2005.



Figur 2 Årlige indvindingsmængder for Lolland, Falster og Møn, 1990-2005. Dykket i 2005 skyldes formodentlig manglende indberetninger.

BILAG 2

Beskrivelse af procedure for udvælgelse af pejlinger til kalibrering af modellerne for Sjælland samt Lolland, Falster og Møn

Pejledata område 1 (Sjælland) og 2 (Lolland, Falster og Møn)

Introduktion/Resumé

Pejlingsdata er baseret på Jupiterudtræk i perioden 1990-2006. I alt 526.123 pejlinger for Sjælland, Lolland, Falster, Møn og Bornholm er trukket ud i en Access database, som ved hjælp af specielt udviklede GIS værktøjer er konverteret til en tabel/shapefil, der indeholder de relevante udtræk (novomr12_pejle_ks.shp). I denne tabel laves en første fejlsøgning for manglende data, så som georeference, indtagskoter og vandstandskote (tabel 1). Tabellen reduceres dernæst ved at tage et gennemsnit af alle individuelle pejlinger til hvert enkelt indtag. Således opnås en ny tabel/shapefil (novomr12_meanH.shp), der indeholder 12414 unikke indtag med dertilhørende gennemsnitspejl (tabel 2). Denne tabel anvendes i den videre behandling af indtagene, hvor disse tildeles modellag (tabel 3). Efter en første stationær kørsel af Sjællandsmodellen og efterfølgende sammenligning med observerede potentialer, er der foretaget en sekundær fejlsøgning, hvor især indtag, der ligger tæt på indvindinger i samme lag er sorteret fra, men også andre indtag er sorteret fra af forskellige grunde (tabel 4).

Første fejlsøgning af alle individuelle pejlinger

Til en første fejlsøgning er brugt tre kriterier, som er beskrevet i tabel 1.

Tabel 1 Første fejlsøgning af alle individuelle pejlinger fra Jupiter databasen (novomr12_pejle_ks.shp).

Error Code (EC)	Beskrivelse	Antal pejlinger	Fordelt på antal unikke Indtag
EC1 = -1	Mangler geografiske koordinater	488	252
EC2 = -1	Indtag uden gyldig intakmidk, intaktopk eller intakbotk	51.110	3096
EC3 = -1	Manglende vandstandskote (WATLEVMSL), og hvor denne ikke er beregnet vha. terrænkote og vandspejlet målt som meter under terræn (JUPKOTE-WATLEVGRSU)	28.518	792
InfEc3	Indtag hvor watlevmsl er beregnet vha. jupkote-watlevgrsu	(1460)	NA
Total*		70.837	3274
Ud af		526.123	12.414
Brugbare pejlinger/indtag i alt		455.286	9140

* Samme boring kan være inkluderet i flere kriterier.

Opsummering af individuelle pejlinger på indtag og periode

Alle pejlinger tilhører et indtag, som kan identificeres vha. NovanaID. Der er 12.414 unikke NovanaID'er, dvs. indtag (novomr1_meanH.shp). Tabel 2 viser antallet af unikke indtag fordelt på område og fejlkode. For hvert indtag er lavet et gennemsnit af alle tilhørende pejlinger. Hvis indtaget kun er aktivt før 2000 er der taget et gennemsnit for perioden 1990 til 1999, og hvis indtaget er aktivt fra 2000 og frem er der taget et gennemsnit for perioden 2000 til 2006.

Tabel 2 Oversigt over antallet af unikke borerer fordelt på områder og fejlkoder fra første fejlscreening (novomr12_meanH.shp).

Område	Antal indtag	Antal indtag behæftet med fejl (EC1, EC2 eller EC3)	Antal brugbare indtag
Sjælland	10927	2698	8229
Lolland, Falster, Møn	918	243	675
Bornholm	317	81	236
Uden georeference	252	252	0
Total	12414	3274	9140

Placering af indtag i forhold til den Geologiske model i DK-Model NOVANA

Der skelnes mellem modellens geologiske lag og beregningslag. Der er 11 geologiske lag i modellen (1:11), hvorimod der er 12 beregningslag (1:12). Dette skyldes at det øverste geologiske lag er opdelt i to beregningslag, hvor det øverste af dem repræsenterer opsprækket ler og kaldes beregningslag 1. Kolonnerne LAYER, NEW_LAYER, LER_LAYER og LAYER_ALL refererer alle til de geologiske lag, hvorimod BERELAG refererer til beregningslag. Beregningslagene er brugt i det følgende til at få et overblik over placeringen af indtag der benyttes til pejling i de enkelte beregningslag.

Indtagene placeres i lag i den geologiske model i DK-model NOVANA. Til opgaven er anvendt specielt udviklede GIS værktøjer, der, lag for lag, udtrækker de indtag der helt eller delvist falder sammen med et angivet lag:

1. For de borerer, hvor indtaget helt eller delvist falder sammen med et vandførende lag i DK-model NOVANA (lag 3, 5, 7, 9 og 12), associeres pejlingen til det aktuelle lagnummer. I de særlige tilfælde, hvor et indtag sidder i to vandførende lag er indtaget angivet placeret i det dybeste lag. (Kolonne OK_LAYER=1)
2. Hvor indtaget ikke falder sammen med et vandførende lag i DK-model NOVANA, angives det nærmeste vandførende lag under indtaget, såfremt dette har en nærmere specificeret tykkelse (10 cm er anvendt). Hvis det nærmeste vandførende lag under indtaget ikke har tilstrækkelig tykkelse anvendes det nærmeste vandførende lag over indtaget, såfremt dette opfylder kravet om 10 cm tykkelse. Indtaget flyttes maksimalt +/- ét vandførende lag. Disse indtag får specificeret nye indtagsbund-, midt- og topkoter svarende til det vandførende lag de flyttes til. (Kolonne OK_LAYER =2)
3. For de resterende indtag er det antaget, at indtaget står i ler eller mindre sandmagasin, der ikke er repræsenteret i den geologiske model. For disse indtag angives det lerlag (lag 2, 4, 6, 8, 10 og 11), hvor indtaget sidder. (Kolonne OK_LAYER =3)
4. Enkelte tilbageværende indtag er placeret i det øverste geologiske lag, idet indtagets topkote ligger højere end topografien. (Kolonne OK_LAYER =4)

5. Endelig udvælges de indtag, hvor både top- og bundkote ligger inden for 3 m fra topografien. For disse sikres, at de er placeret i modellens øverste beregningslag, lag 1.

Tabel 3 giver et overblik over antallet af indtag, der sidder i eller er flyttet til de forskellige lag.

Tabel 3 Oversigt over antallet af indtag i de enkelte lag i modellen, fordelt på Sjælland og Lolland, Falster og Møn efter første fejlsøgningsrunde.

Sjælland				
Lag	Indtag i vandførende lag	Indtag flyttet hertil	Indtag i lerlag	Total
1			51	51
2			230	230
3 (Sand)	183			183
4			552	552
5 (Sand)	1.615	143		1758
6			287	287
7 (Sand)	832	34		866
8			124	124
9 (Sand)	259	5		264
10			52	52
11			16	16
12 (Kalk)	3.794	52		3.846
Total	6683	234	1312	8229
Lolland, Falster og Møn				
Lag	Indtag i vandførende lag	Indtag flyttet hertil	Indtag i lerlag	Total
1			16	16
2			30	30
3 (Sand)	2			2
4			106	106
5 (Sand)	33	3		36
6			54	54
7 (Sand)	86	19		105
8			17	17
9 (Sand)	4			4
10				
11				
12 (Kalk)	304	1		305
Total	429	23	223	675

Sekundær fejlsøgning (delvis manuel) – kun Sjælland

Med et særligt udviklet statistik program kaldet Layer Statistics (LS) sammenlignes de modellerede potentialer med observerede, hvormed Mean Error (ME) og Root Mean Square (RMS) bliver beregnet.

Efter en første kørsel med LS er de indtag med størst ME blevet identificeret for modelområdet Sjælland. Herefter er foretaget en sekundær runde af fejlsøgning kun for Sjælland, hvor hovedsageligt afstand til nærmeste indvindingsboring frasorterer en stor mængde indtag. Fejlsøgningskriterierne er beskrevet i tabel 4. I alt sorteres 3045 indtag (37 %) fra på baggrund af den sekundære fejlsøgning. Tabel 5 giver en oversigt over fordelingen af indtag på lag efter den sekundære fejlsorteringsrunde.

Ud over kriterierne listet i tabel 4 er yderligere fundet en mængde indtag, hvor flere indtag har store ME i samme område. Her formodes det, at modellens geologi i særlig grad ikke stemmer overens med virkeligheden (kolonne KOMMENT='Geologi?') i alt 70 indtag.

Tabel 4 Beskrivelse af kriterier for den sekundære fejlsøgningsrunde. Kun Sjælland.

Error Code 4 (EC4), værdi	Beskrivelse	Antal Boringer
1	Afstand til nærmeste indvindingsboring er mindre end 10 m	2861
2	Afstand til nærmeste indvinding er mindre end 500m og ME er mindre end -10m	29
Manuel søgning i boringer med ME ² større end 100, to forskellige hovedårsager er fundet:		
3	Observeret middelvejling er markant forskellig fra de omkringliggende i samme lag	62
4	Der er flere vejlinger i samme boring og samme lag, hvoraf den ene tydeligvis afviger fra de omkringliggende (3 stk), eller boringen kunne være indvindingspåvirket (5 stk), eller boringen ligger tæt på modelranden (2 stk).	10
5	Indtaget er sandsynligvis tildelt forkert modeltag, da de omkringliggende har samme niveau i middelvejl, men ligger i et andet lag.	41
6	Boringen ligger uden for modelområdet	42
Total		3045

Tabel 5 Oversigt over antallet af indtag i de enkelte lag i modellen efter den sekundære fejlsøgningsrunde.

Sjælland				
Lag	Indtag i vandførende lag	Indtag flyttet hertil	Indtag i ler-lag	Total
1			49	49
2			216	216
3	152			152
4			536	536
5	1261	126		1387
6			234	234
7	371	27		398
8			80	80
9	73	4		77
10			23	23
11			8	8
12	2002	22		2024
Total	3859	179	1146	5184

Resultater – Layer statistics (Sjælland)

Tabel 6 ME og RMS for henholdsvis alle lag, hele modellen og for magasinerne for (1) alle indtag (exklusiv alle fejlbehæftede indtag: EC1, EC2, EC3 og EC4) og (2) for alle indtag hvor yderligere 70 indtag, hvor modellens geologi er tvivlsom, er ekskluderet.

Lagnummer	(1) Alle indtag (n=5184)			(2) Alle indtag eksklusiv Geologi? (n=5114)		
	ME	RMS	n	ME	RMS	n
1	-0,31	3,15	49	-0,56	2,71	48
2	1,04	4,61	216	0,43	3,58	206
3	-1,06	3,12	151	-1,60	3,12	151
4	-1,28	3,22	510	-1,23	3,08	508
5	-0,26	3,72	1387	-0,23	3,46	1369
6	-2,03	4,05	234	-2,03	4,05	234
7	-0,88	3,63	398	-0,88	3,63	398
8	-2,78	4,30	80	-2,78	4,30	80
9	-1,26	3,74	77	-1,26	3,74	77
10	-1,93	3,25	23	-1,93	3,25	23
11	-4,91	8,21	8	-4,91	8,21	8
12	-2,27	4,06	2024	-2,09	3,71	1985
Magasiner	-1,40	3,86	4037	-1,29	3,59	3980
Hele model	-1,33	3,84	5157*	-1,28	3,57	5087*

* NB ikke alle H observationer er medtaget i LS pga. "tørre" celler.

Tabel 7 ME og RMS for henholdsvis alle lag og, hele modellen og for magasinerne for (1) alle indtag (inklusive fejlbehæftede indtag fundet via den sekundære fejl-søgningsrunde (EC4) og (2) for alle indtag (inklusive fejlbehæftede indtag fundet via den sekundære fejl-søgningsrunde, men dog ikke hvor afstanden til nærmeste indvindingsboring er mindre end 10 m (EC4=1).

Lagnummer	(1) Alle indtag incl. EC4 (n=8229)			(2) Alle indtag incl. EC4, dog ikke EC4=1 (n=5368)		
	ME	RMS	n	ME	RMS	n
1	-0,30	3,21	91	-0,30	3,21	91
2	1,72	6,25	225	1,41	5,26	223
3	-1,63	4,60	178	-1,51	4,51	161
4	-1,28	3,92	526	-1,29	3,66	516
5	-0,26	5,73	1752	-0,13	4,66	1422
6	-2,71	6,52	284	-2,53	5,54	246
7	-1,95	6,45	863	-0,48	5,59	414
8	-3,85	6,14	111	-3,04	5,42	83
9	-2,41	5,97	263	-1,63	5,49	80
10	-3,88	6,00	51	-3,03	5,45	25
11	-4,40	7,95	16	-6,56	10,17	9
12	-2,98	15,98	3839	-2,44	5,01	2070
Magasiner	-2,10	11,50	6895	-1,40	4,94	5340
Hele model	-1,99	10,50	8199*	-1,35	4,85	4147*

* NB ikke alle H observationer er medtaget i LS pga. "tørre" celler.

Resultater – Layer statistics (Lolland, Falster og Møn)

Tabel 8 viser resultaterne af Layer Statistics for modelområde 2. For modelområde 2 er der 666 indtag der kan placeres i modellen, heraf er 333 indtag placeret mindre end 10 m fra nærmeste indvindingsboring)

Tabel 8 ME og RMS for henholdsvis alle lag, hele modellen og for magasinerne for (1) alle indtag (exklusiv alle fejlbehæftede indtag: EC1, EC2, EC3 og EC4) og (2) for alle indtag (inklusive indtag placeret tættere end 10m på en indvindingsboring i samme lag; EC4=1).

Lagnummer	(1) Alle indtag (n=333)			(2) Alle indtag inklusiv EC4=1 (n=666)		
	ME	RMS	n	ME	RMS	n
1	0,87	2,26	15	1.54	2.69	14
2	1,10	2,32	30	1.35	2.49	30
3	-1,16	1,60	2	-1.04	1.42	2
4	-0,20	3,81	105	-0.01	3.91	105
5	-0,30	3,44	28	-0.08	3.91	36
6	-0,96	2,06	51	-0.87	2.15	53
7	0,57	2,97	44	-1.14	3.29	105
8	-1,93	2,83	13	-1.40	2.52	16
9	-3,81	6,55	2	-2.18	4.61	4
10	-	-	0	-	-	0
11	-	-	0	-	-	0
12	-1,27	3,18	42	-2.09	4.01	299
Magasiner	-040	3.20	118	-1.70	3.83	446
Hele model	-029	3,08	332	-1.15	3.59	664*

* NB ikke alle H observationer er medtaget i LS pga. "tørre" celler.

BILAG 3

Observerede og simulerede pejletidsserier

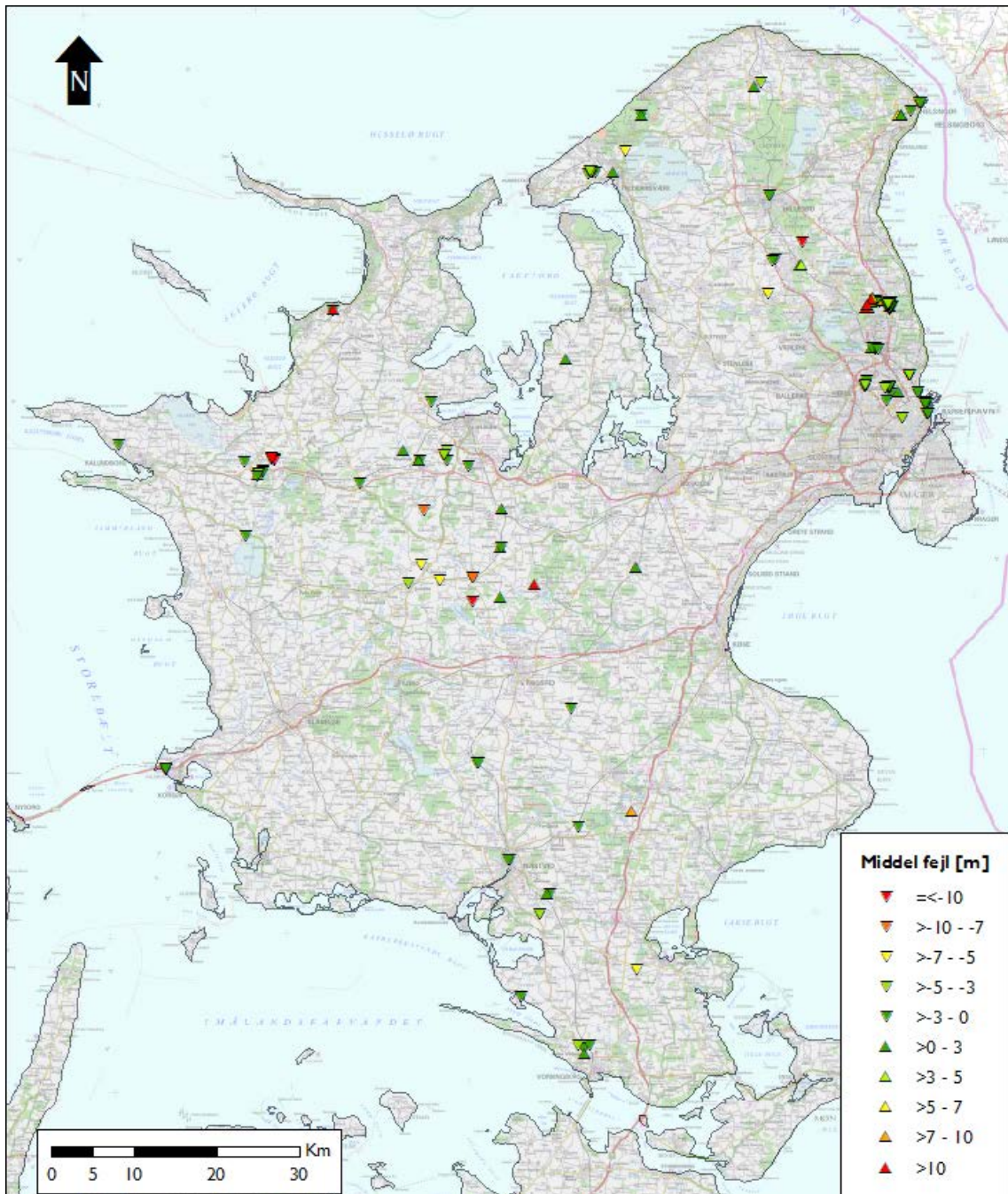
- Sjælland

Bilag 3 kan hentes fra hjemmesiden www.vandmodel.dk

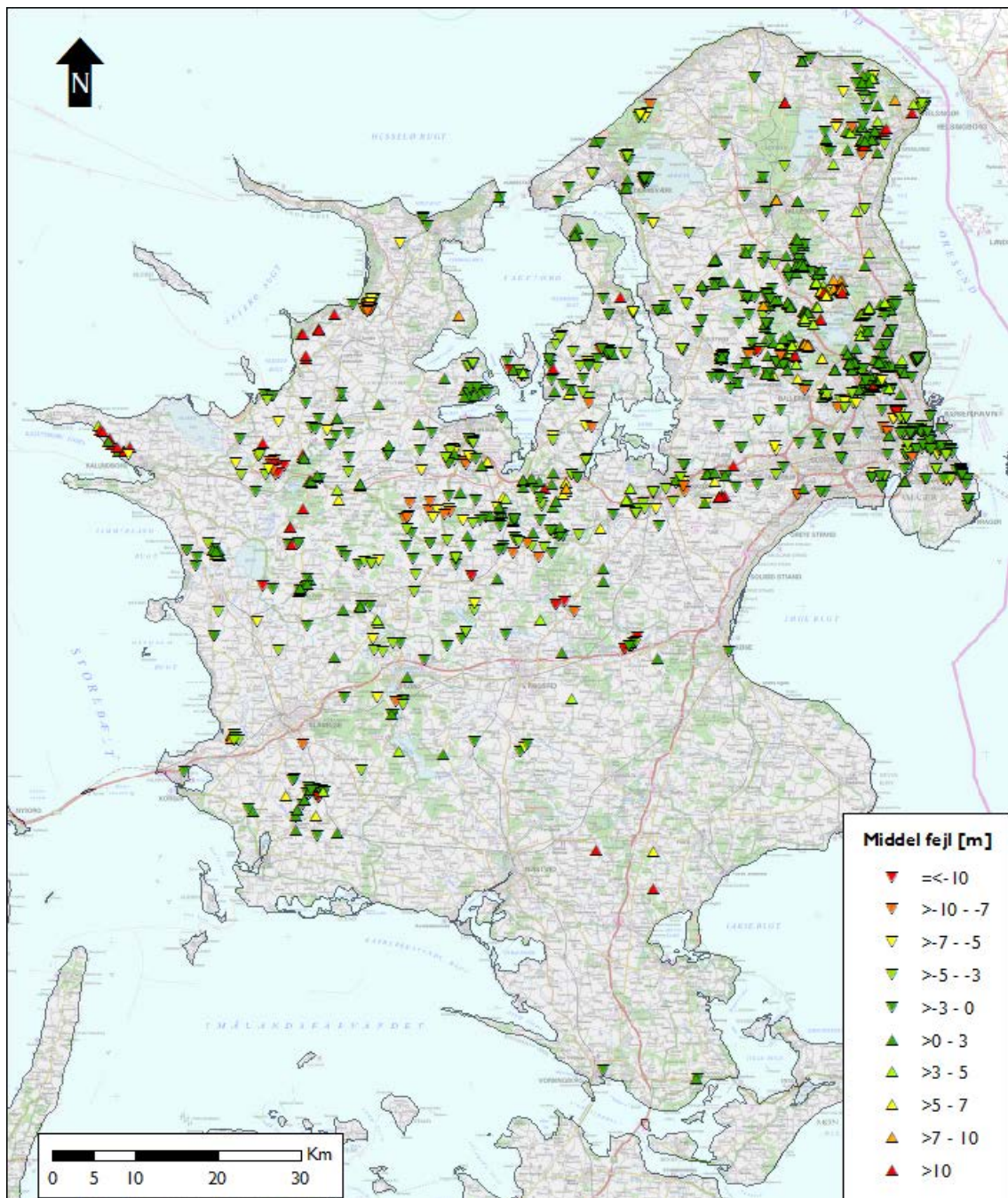
BILAG 4

Observerede og simulerede potentialer for stationær model

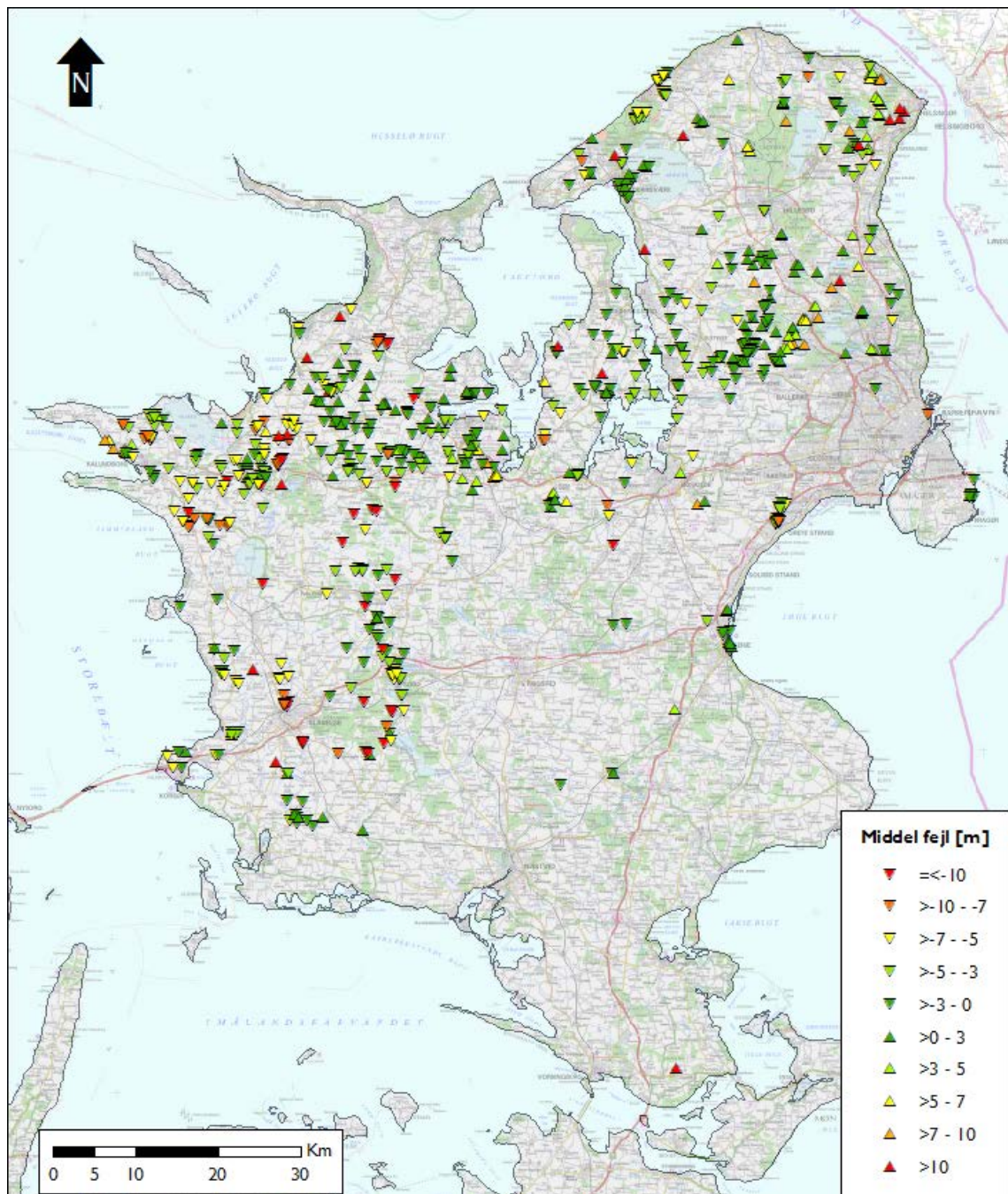
- Sjælland**



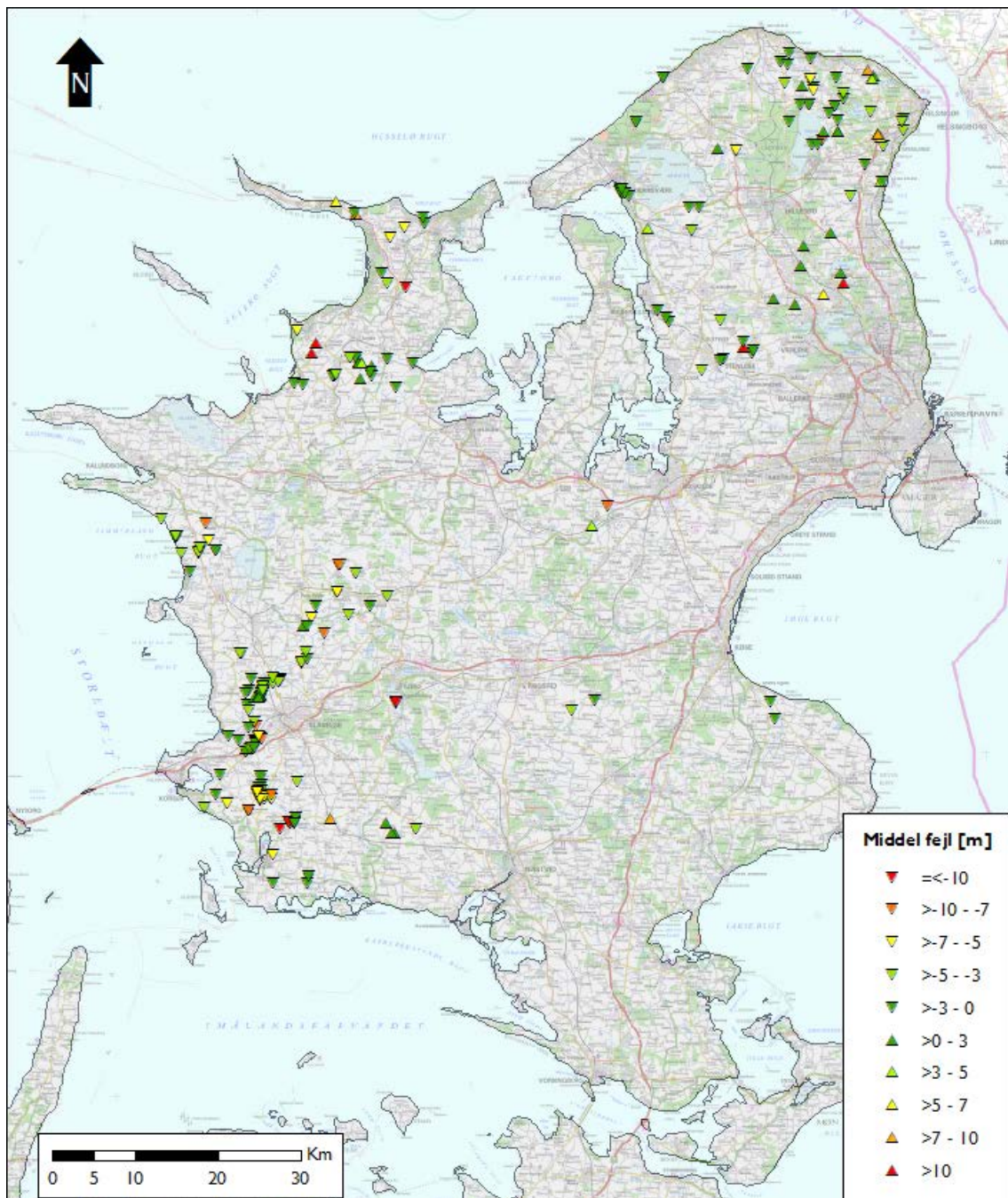
Figur B4.1 Middelfejl (ME) for lag 3 i stationær model for Sjælland.



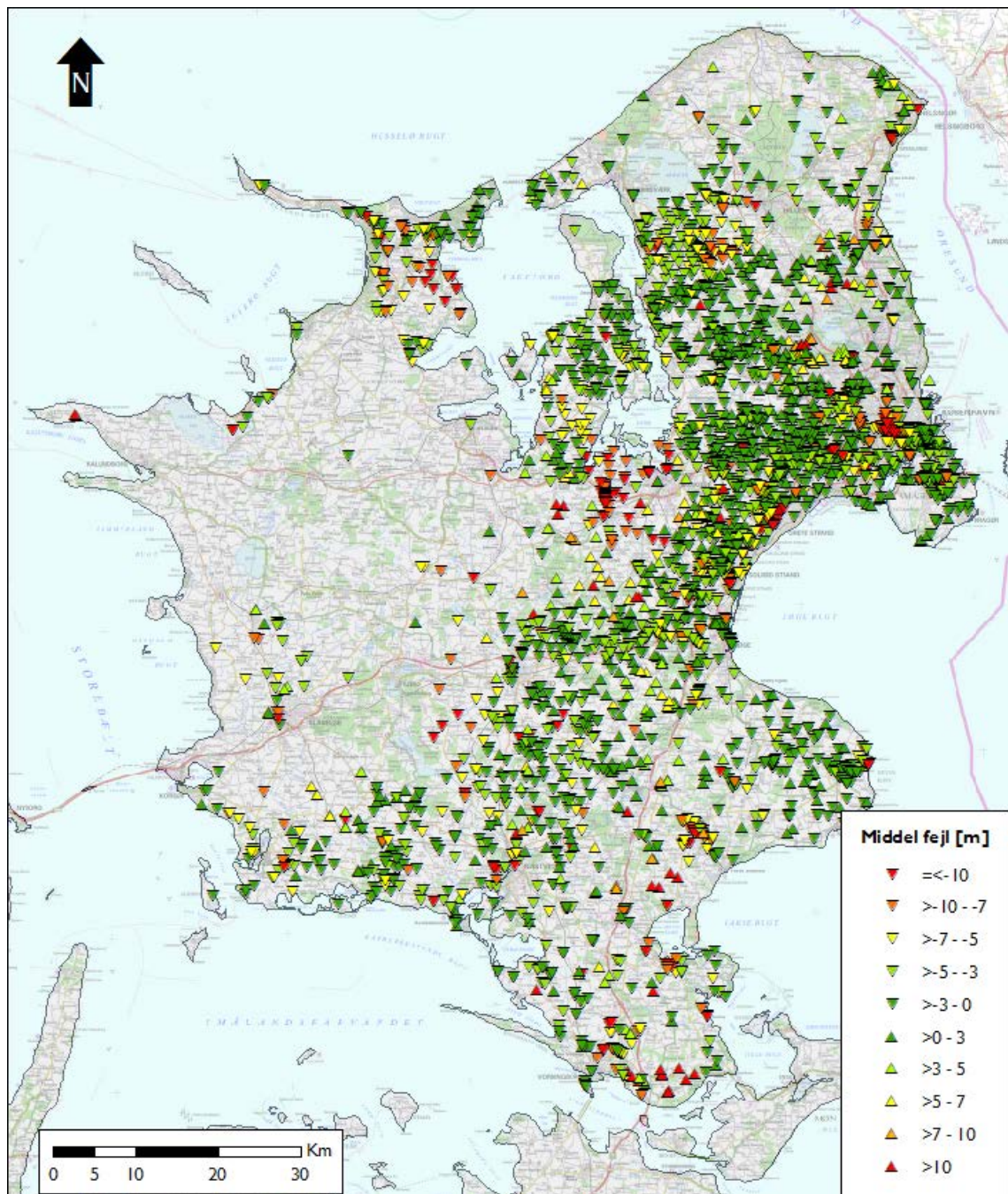
Figur B4.2 Middelfejl (ME) for lag 5 i stationær model for Sjælland.



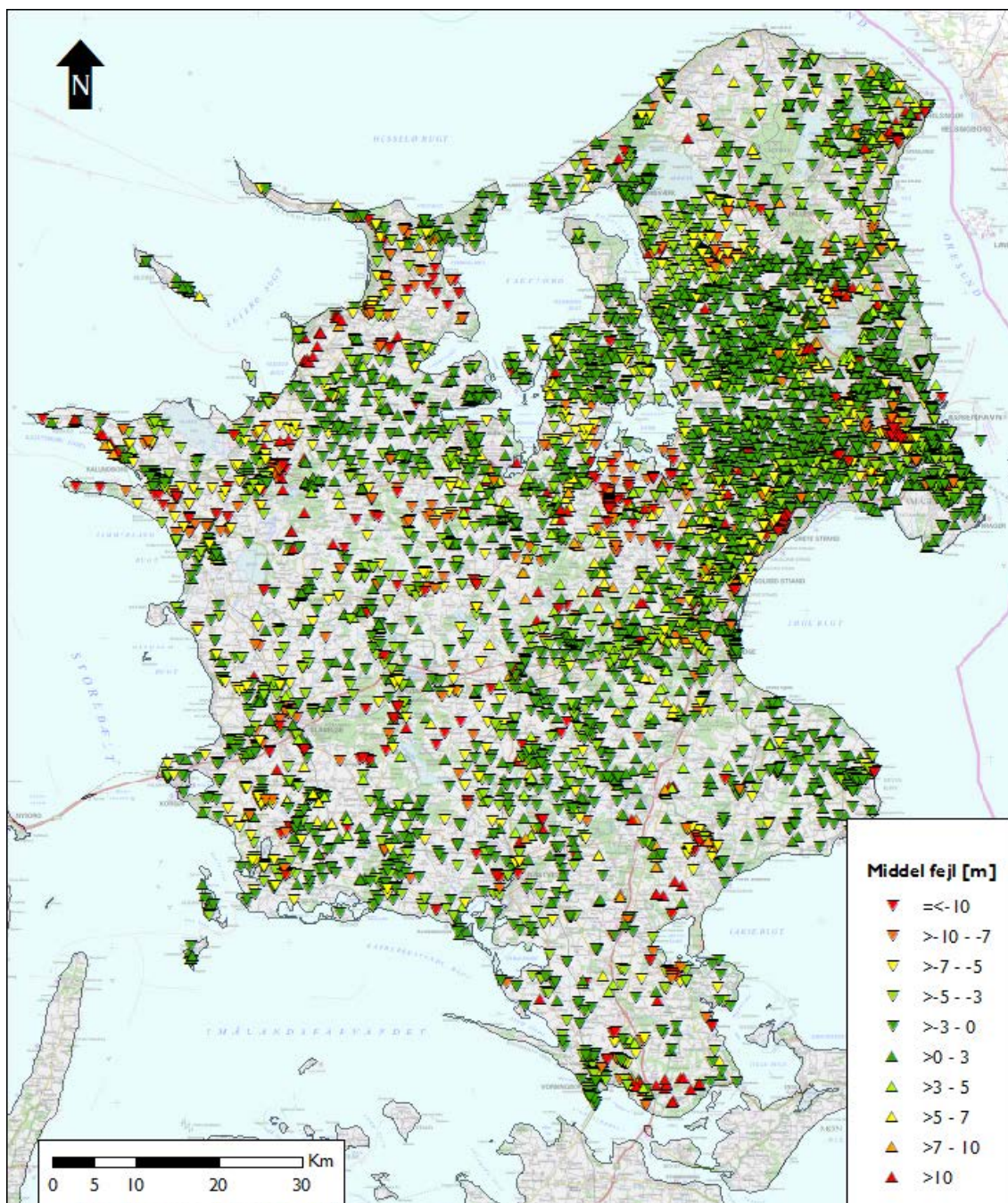
Figur B4.3 Middelfejl (ME) for lag 7 i stationær model for Sjælland.



Figur B4.4 Middelfejl (ME) for lag 9 i stationær model for Sjælland.



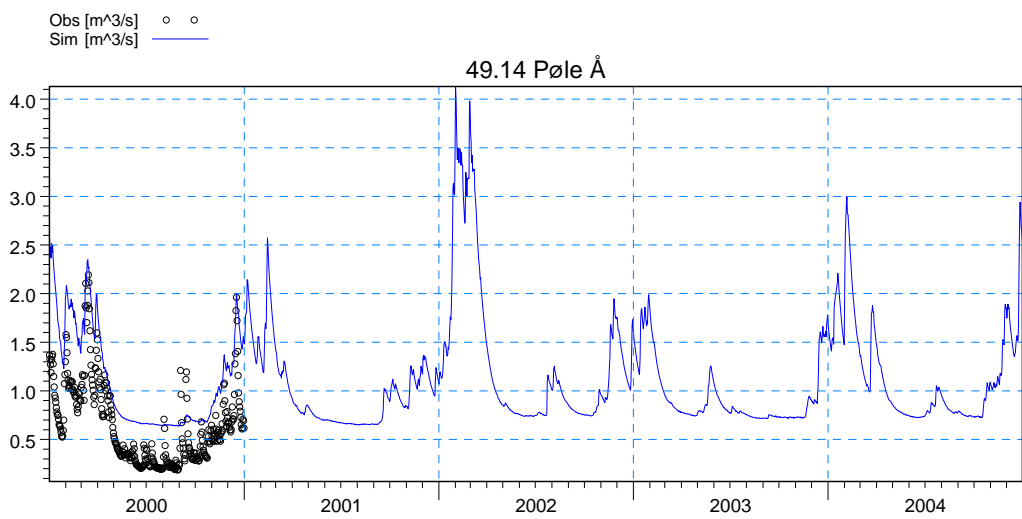
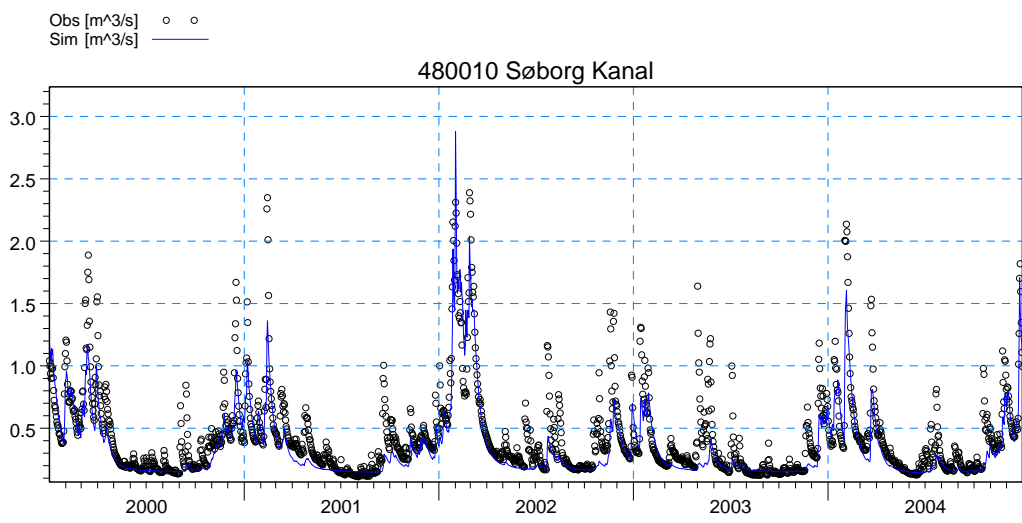
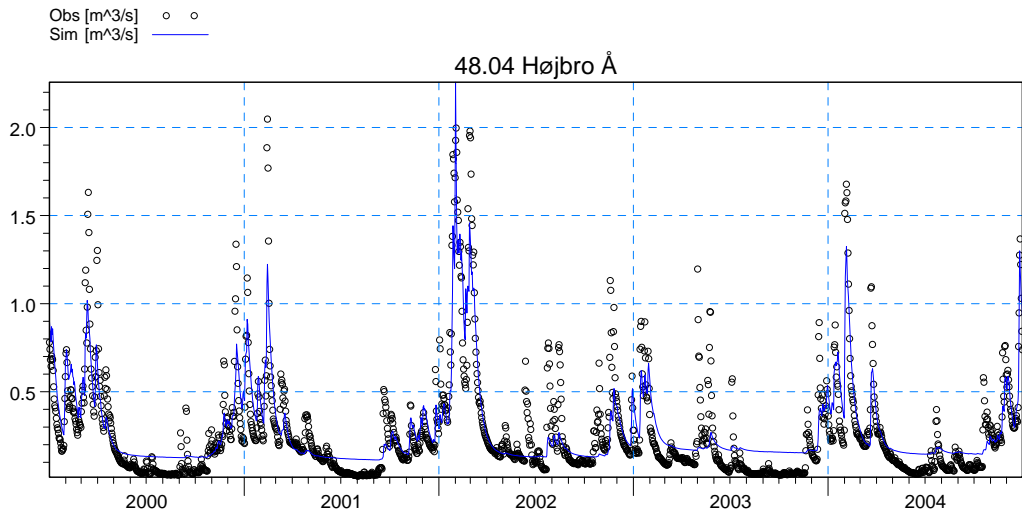
Figur B4.5 Middelfejl (ME) for lag 12 (kalken) i stationær model for Sjælland.



Figur B4.6 Middelfejl (ME) for alle lag i stationær model for Sjælland.

BILAG 5

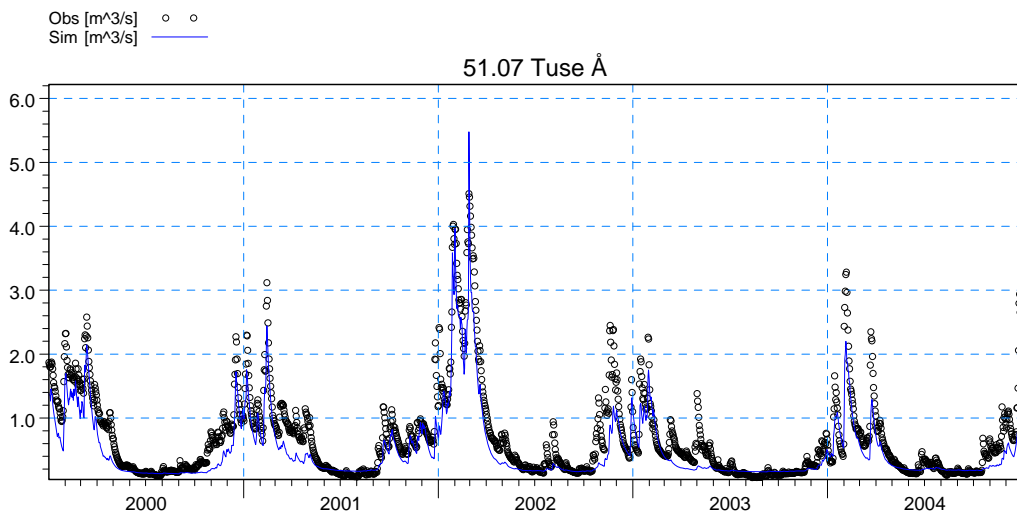
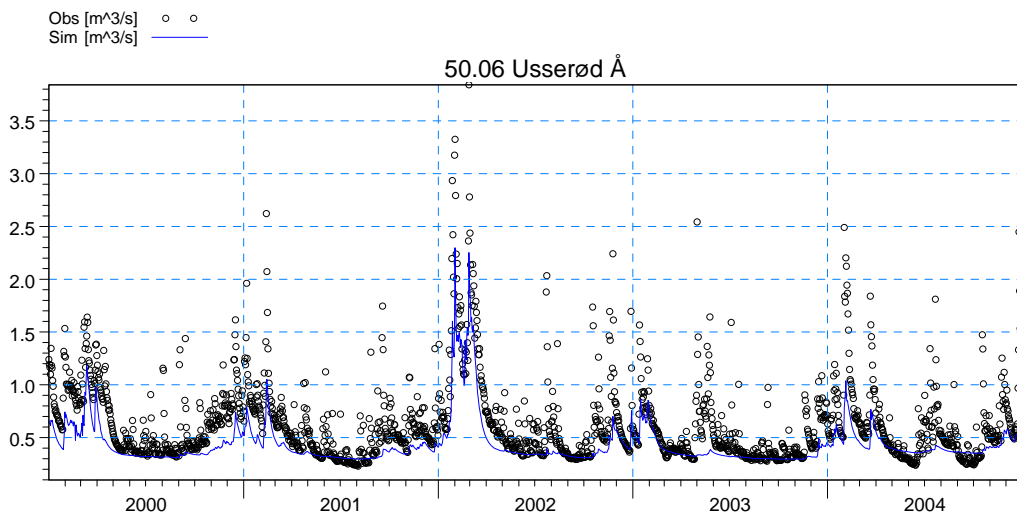
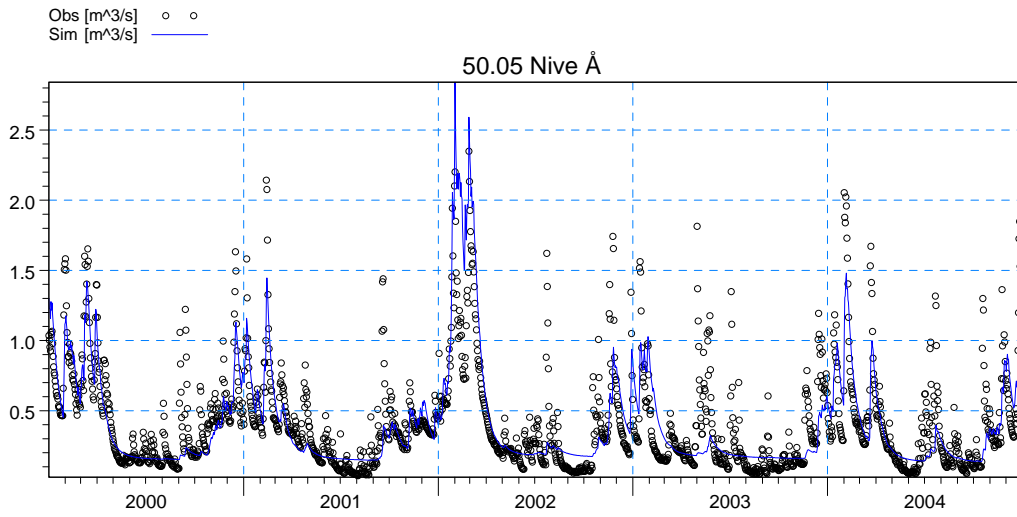
Observerede og simulerede afstrømninger for modellen for Sjælland



F:\DHI\Data\Novana\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_sj_all.dfs0
l_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

F:\DHI\Data\Novana\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_sj_all.dfs0
nr1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

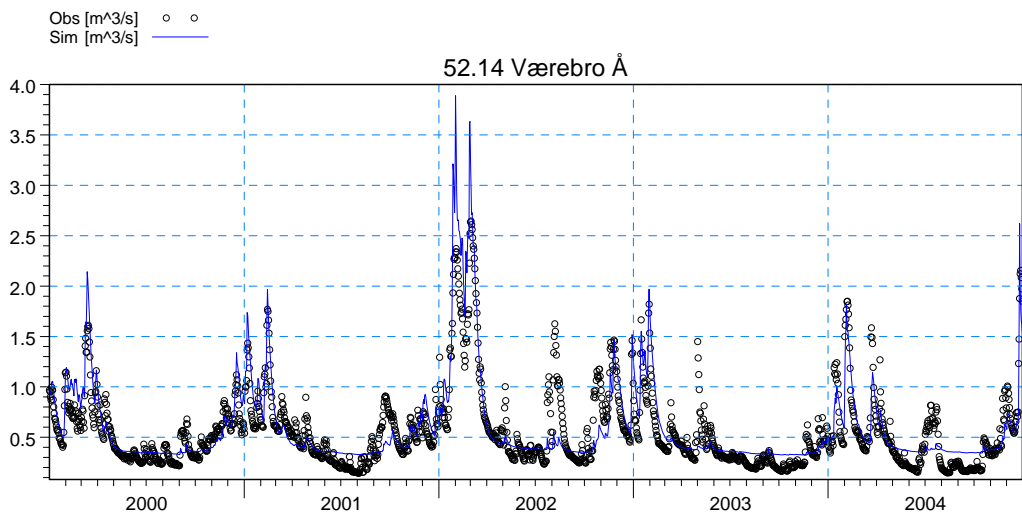
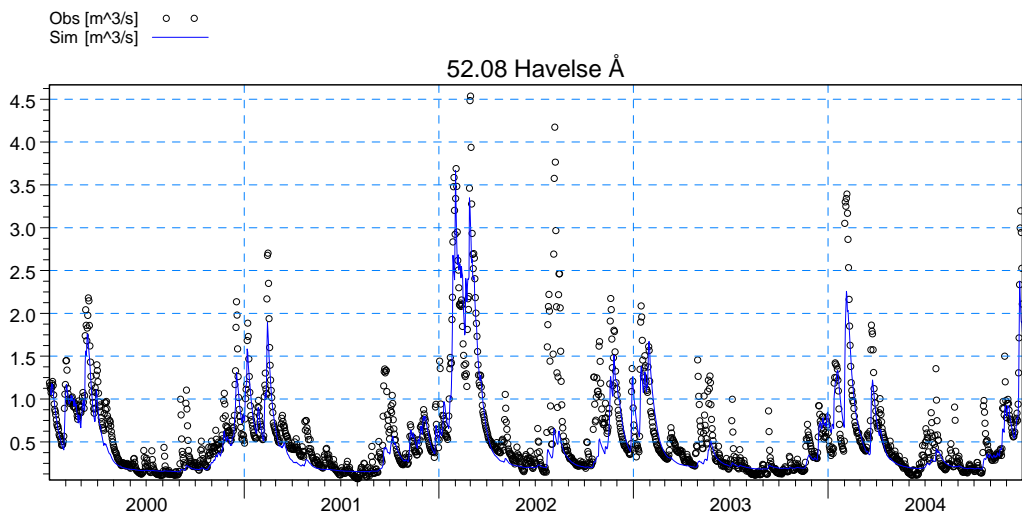
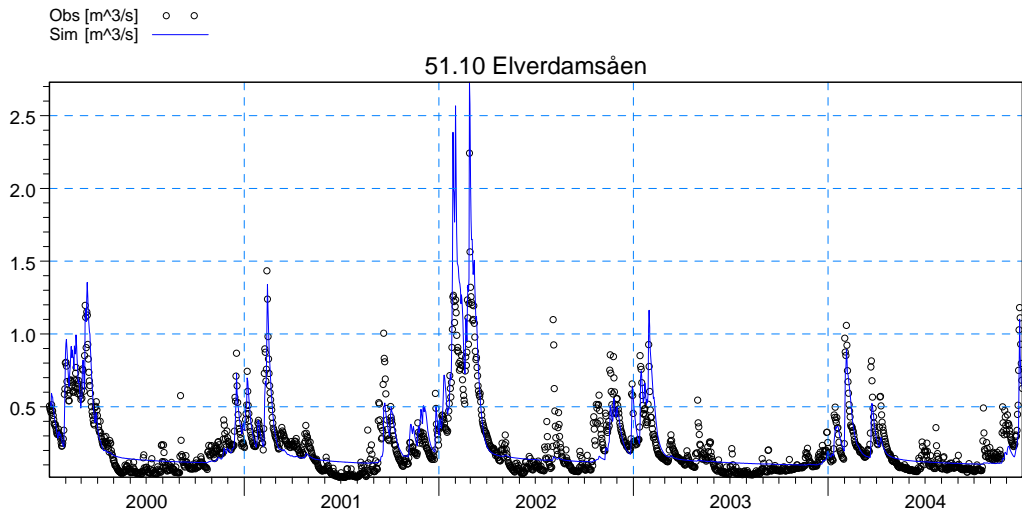
F:\DHI\Data\Novana\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_sj_all.dfs0
lar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0



F:\Data\Novem\Statistikk\Novemr1_26mar08\TuseO_obs_ej_all.dfo
1_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.sab - Result Files\Novemr1_26mar08\BalektTS_M11.dfo

F:\Data\Novem\Statistikk\Novemr1_26mar08\TuseO_obs_ej_all.dfo
r1_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.sab - Result Files\Novemr1_26mar08\BalektTS_M11.dfo

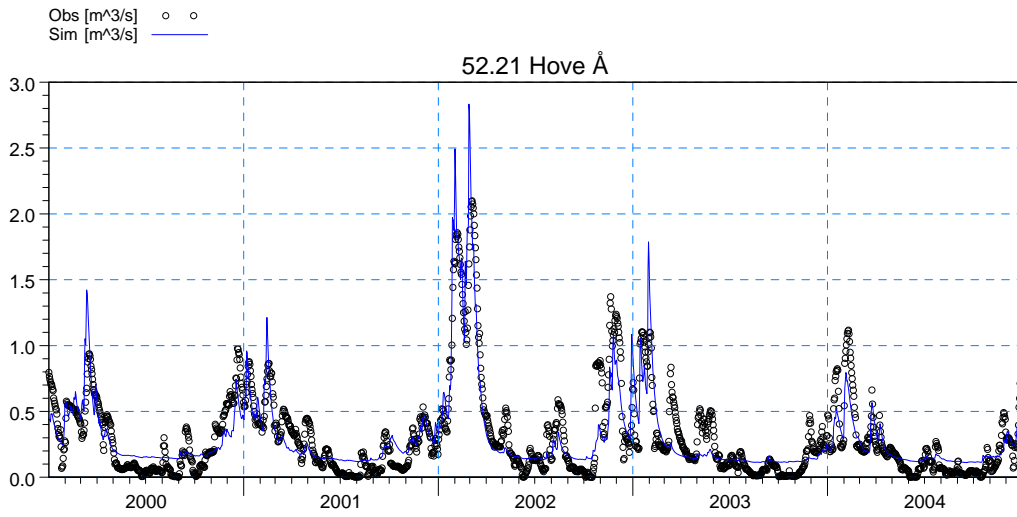
F:\Data\Novem\Statistikk\Novemr1_26mar08\TuseO_obs_ej_all.dfo
ar08\Result\Novemr1_26mar08.sab - Result Files\Novemr1_26mar08\BalektTS_M11.dfo



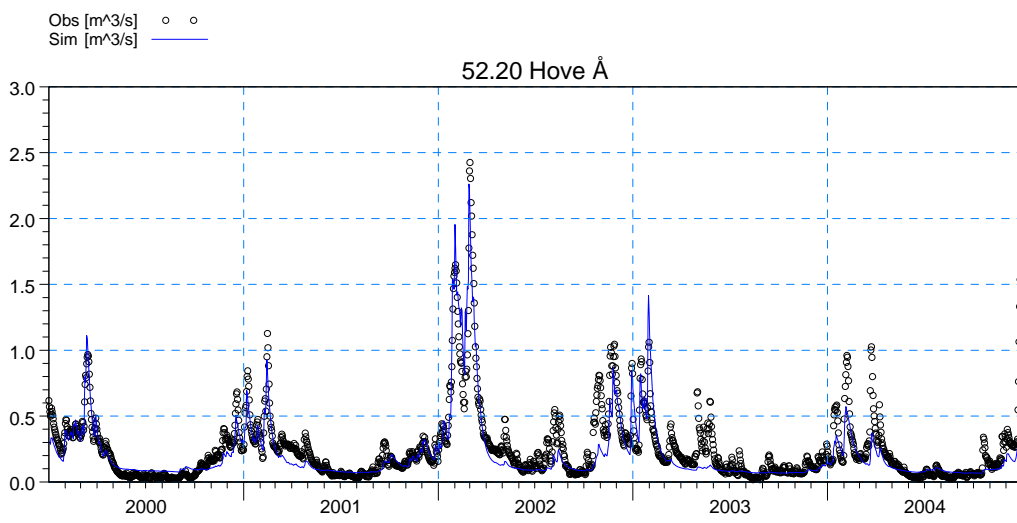
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
l_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
nr1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

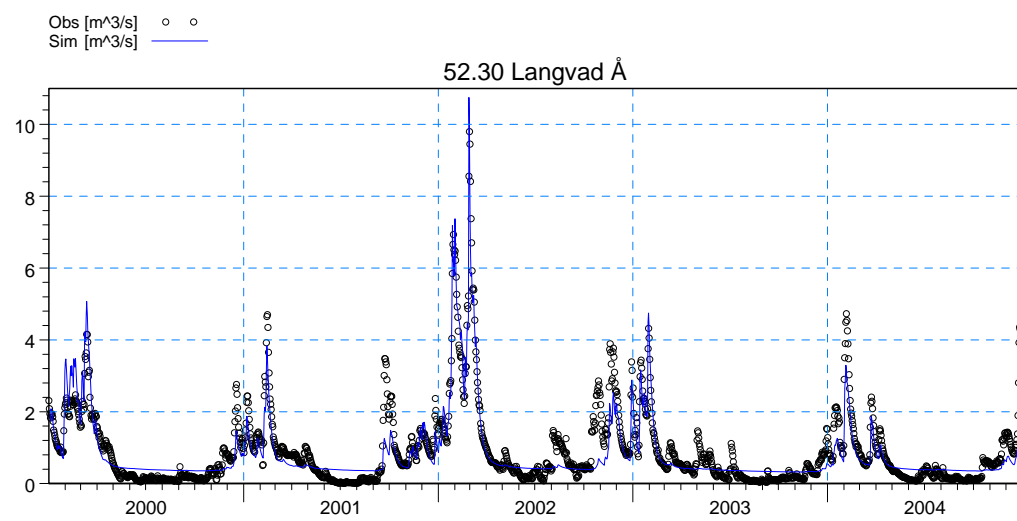
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
lar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0



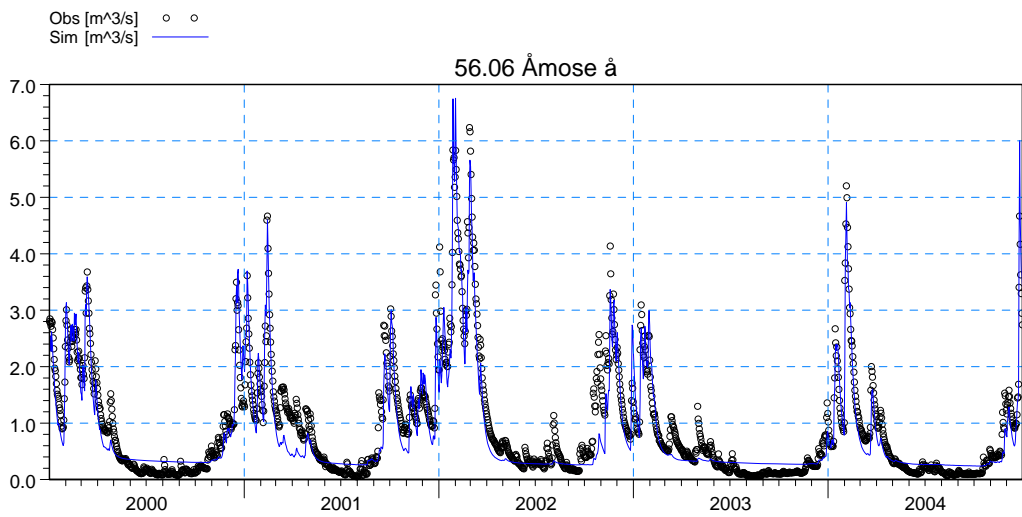
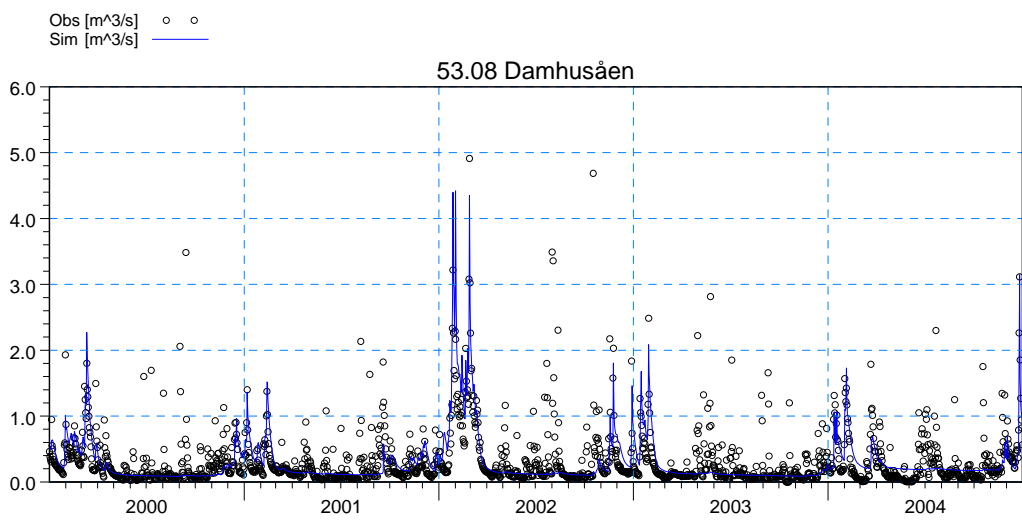
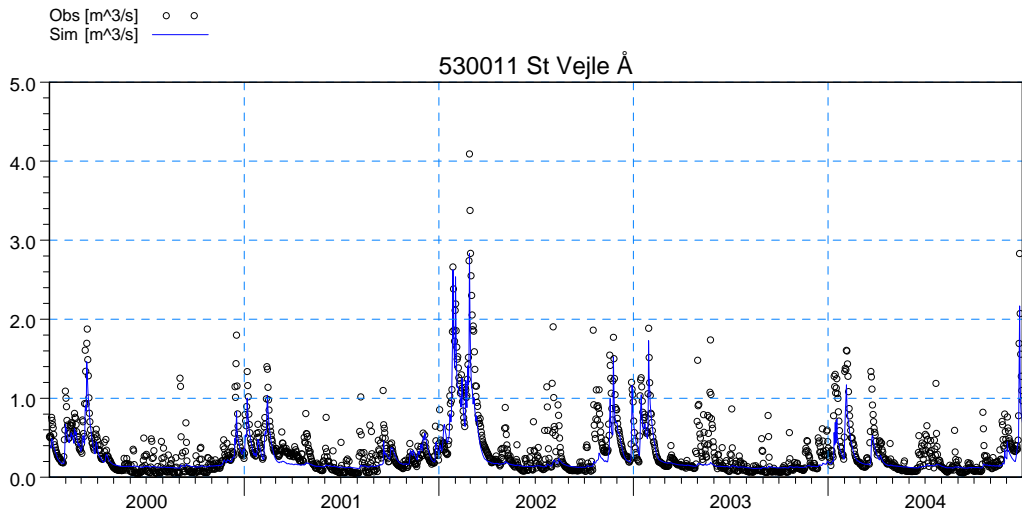
F:\D:\Data\Novem\SI\Shell\Novemr1_25m\08T\res\O_obs_ej_all.dfo
1_25m\08Result\Novemr1_25m\08.she - Result Files\Novemr1_25m\08Data\resTS_M11.dfo



F:\D:\Data\Novem\SI\Shell\Novemr1_25m\08T\res\O_obs_ej_all.dfo
r1_25m\08Result\Novemr1_25m\08.she - Result Files\Novemr1_25m\08Data\resTS_M11.dfo



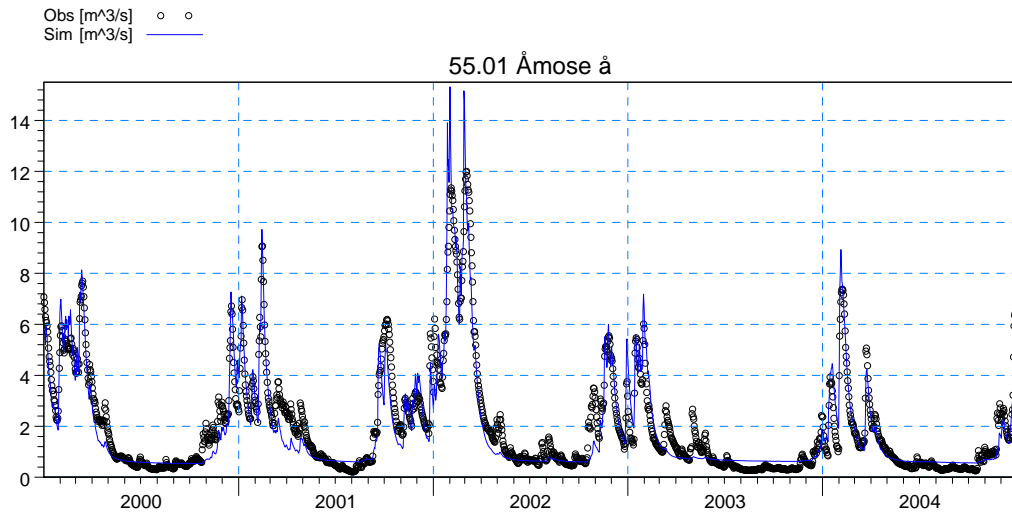
F:\D:\Data\Novem\SI\Shell\Novemr1_25m\08T\res\O_obs_ej_all.dfo
ar08Result\Novemr1_25m\08.she - Result Files\Novemr1_25m\08Data\resTS_M11.dfo



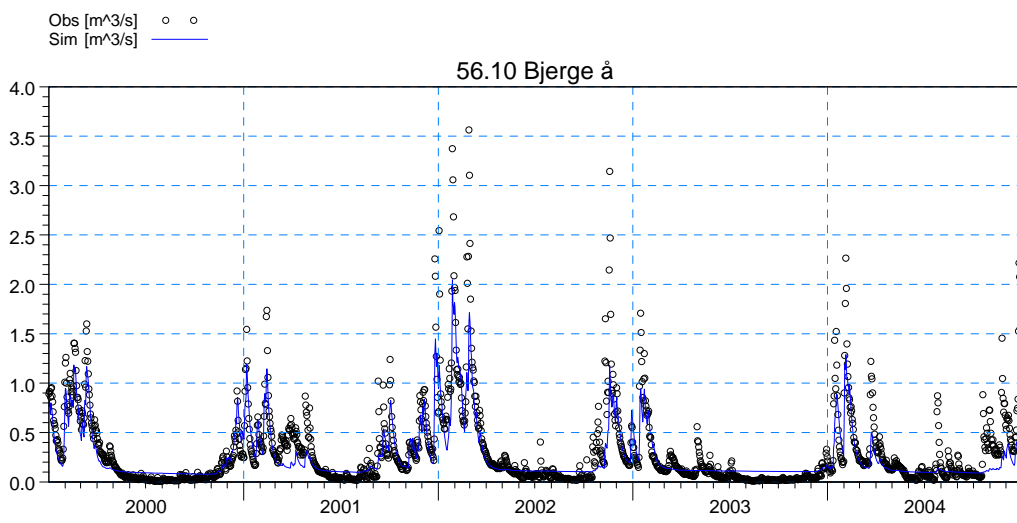
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
l_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
nr1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

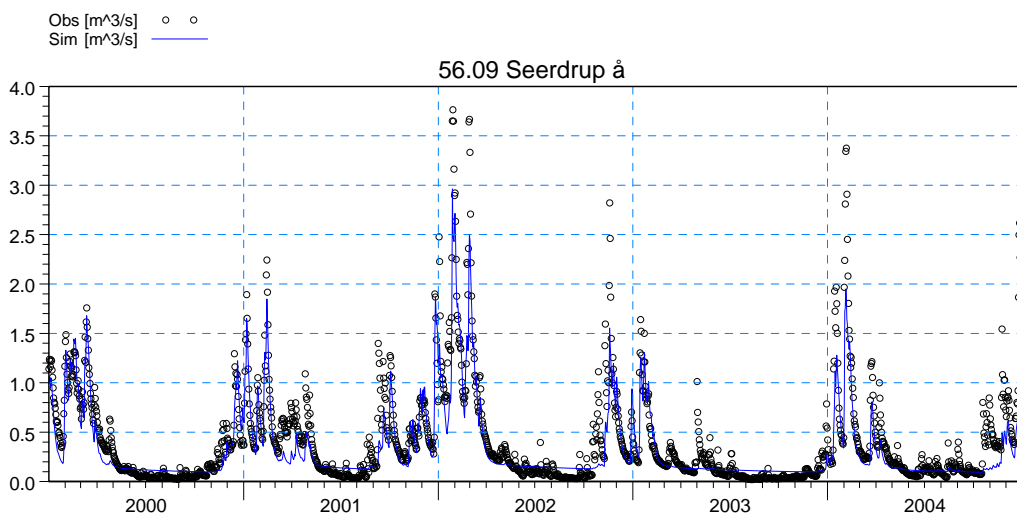
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
lar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0



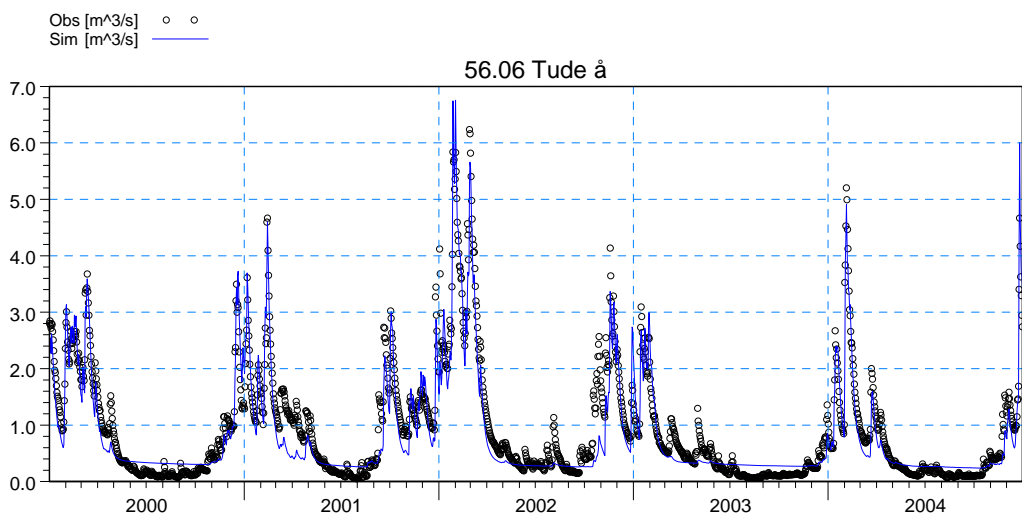
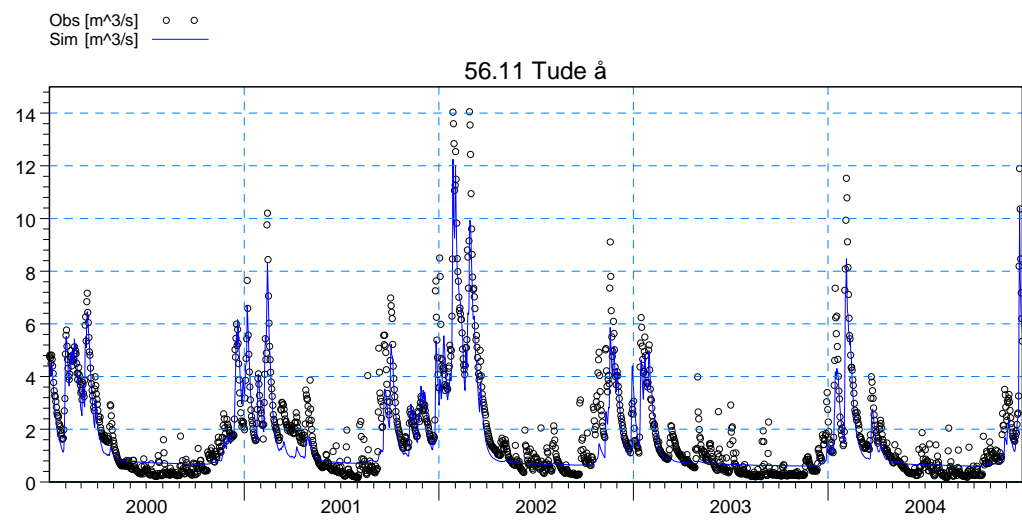
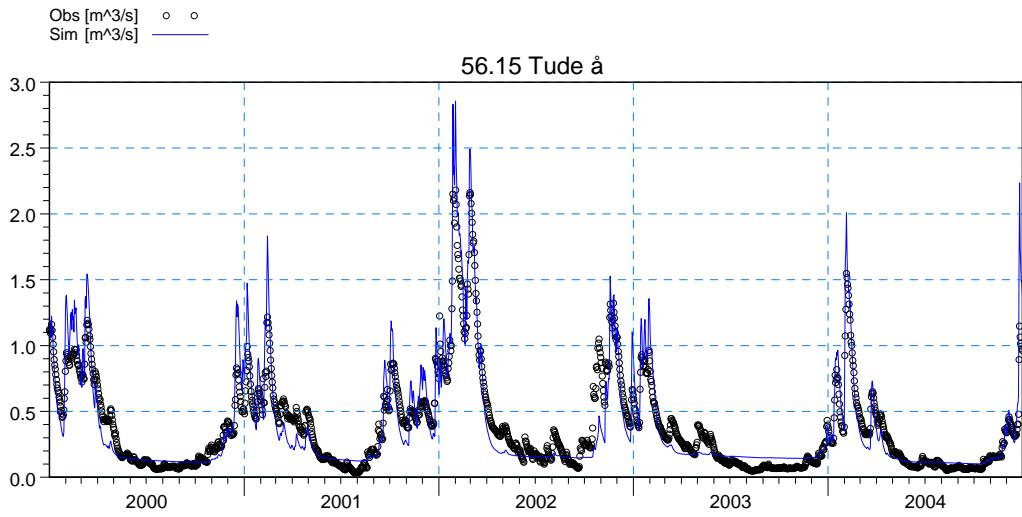
F:\Dit\Data\Nvcsa\Sjelland\Novemr1_26mar08\TipeIO_obs_41.dfo
1_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BalektTS_M11.dfo



F:\Dit\Data\Nvcsa\Sjelland\Novemr1_26mar08\TipeIO_obs_41.dfo
nrt_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BalektTS_M11.dfo



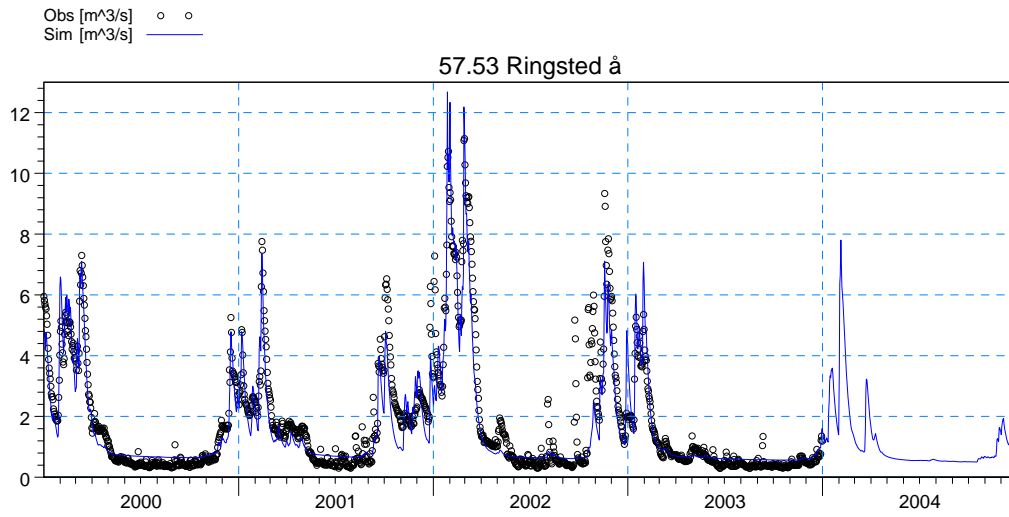
F:\Dit\Data\Nvcsa\Sjelland\Novemr1_26mar08\TipeIO_obs_41.dfo
ar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BalektTS_M11.dfo



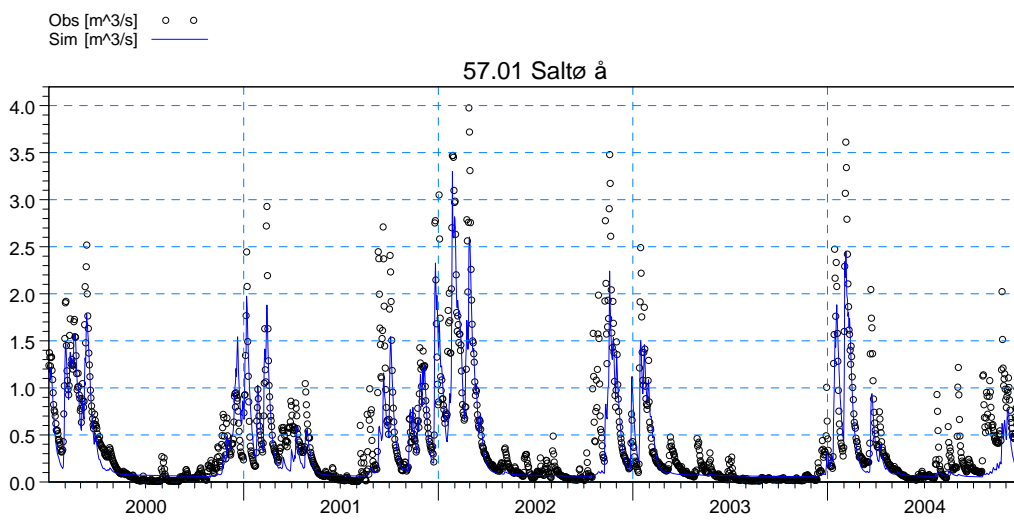
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
r1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailTS_M11.dfs0

F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
r1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailTS_M11.dfs0

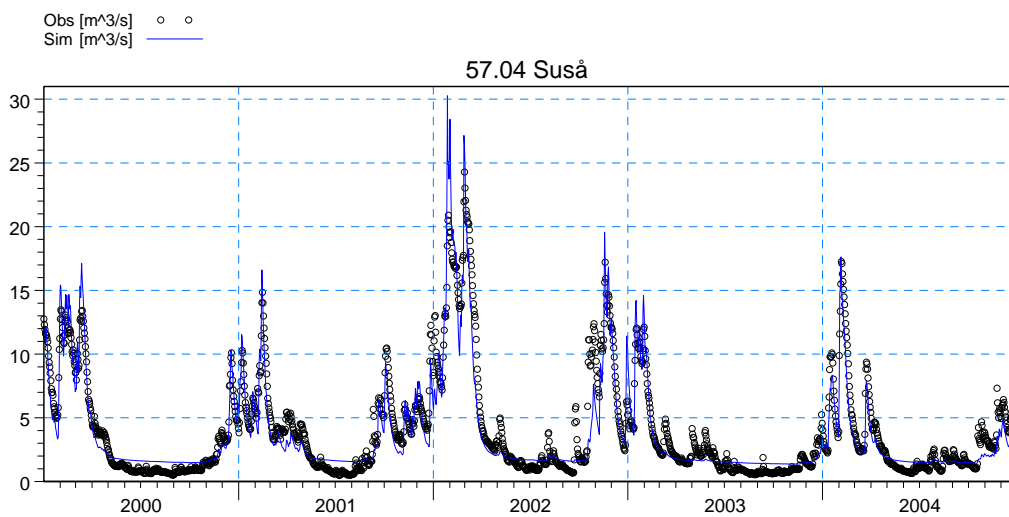
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
r1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailTS_M11.dfs0



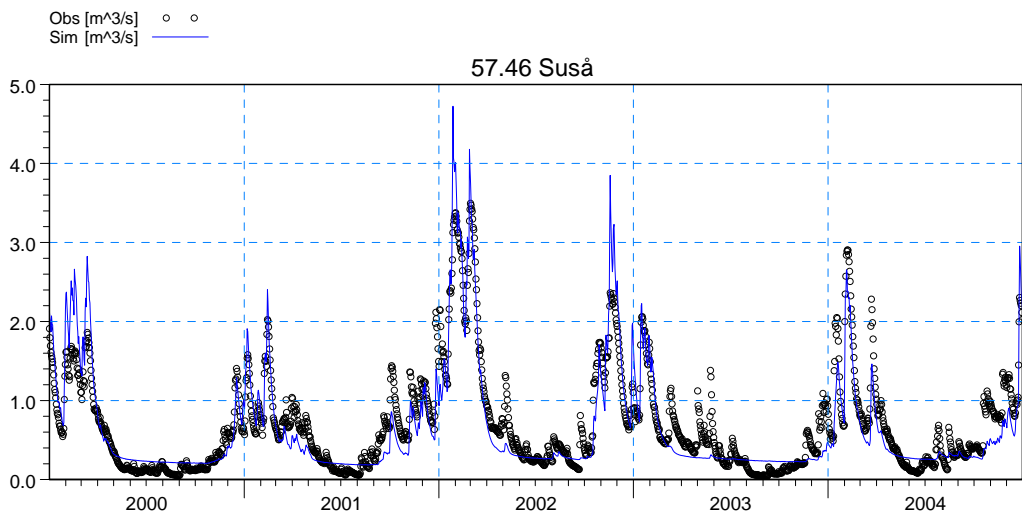
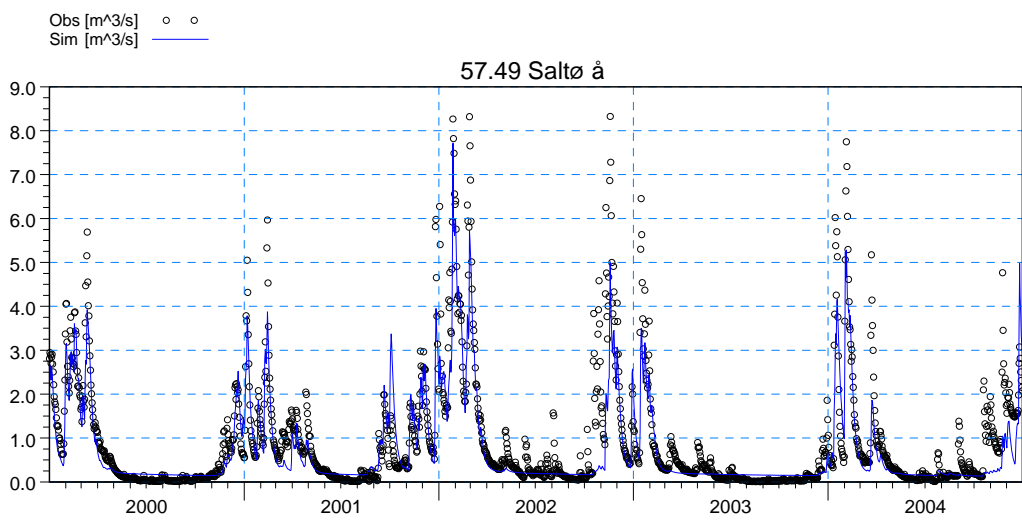
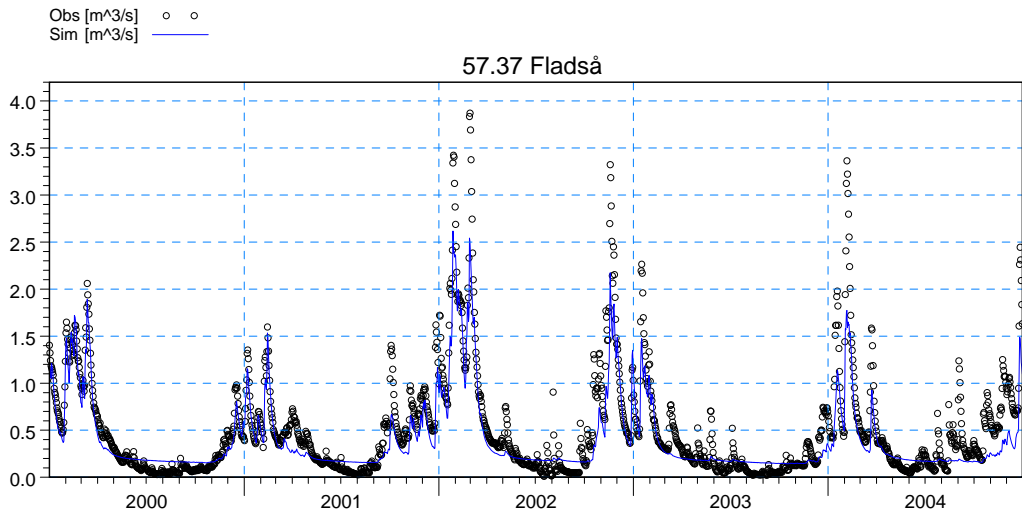
F:\Data\Novem15\Stat\Novem1_26m08\TimpO_obs_01.dfo
1_26m08\Result\Novem1_26m08.sas - Result Files\Novem1_26m08\DetailTS_M11.dfo



F:\Data\Novem15\Stat\Novem1_26m08\TimpO_obs_01.dfo
m1_26m08\Result\Novem1_26m08.sas - Result Files\Novem1_26m08\DetailTS_M11.dfo



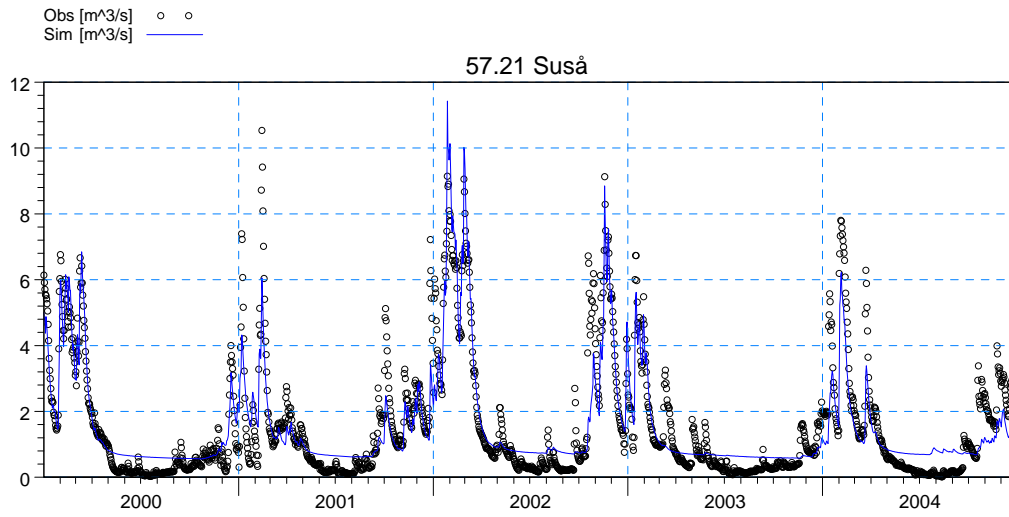
F:\Data\Novem15\Stat\Novem1_26m08\TimpO_obs_01.dfo
m08\Result\Novem1_26m08.sas - Result Files\Novem1_26m08\DetailTS_M11.dfo



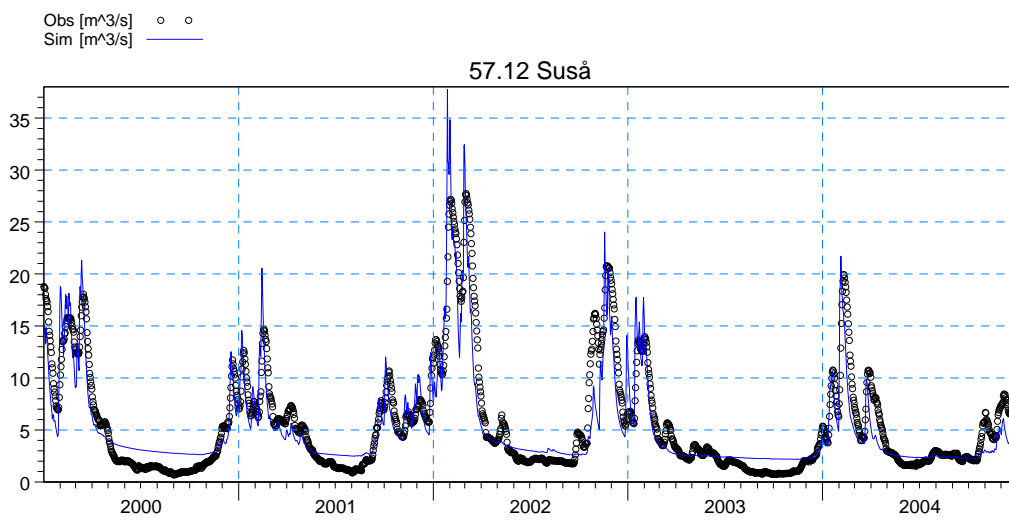
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
l_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailTS_M11.dfs0

F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
nr1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailTS_M11.dfs0

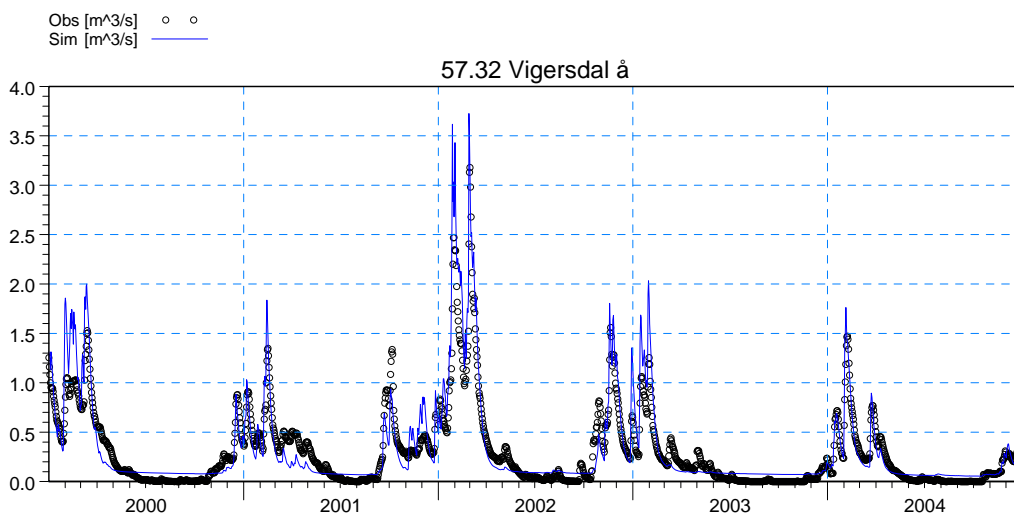
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
lar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailTS_M11.dfs0



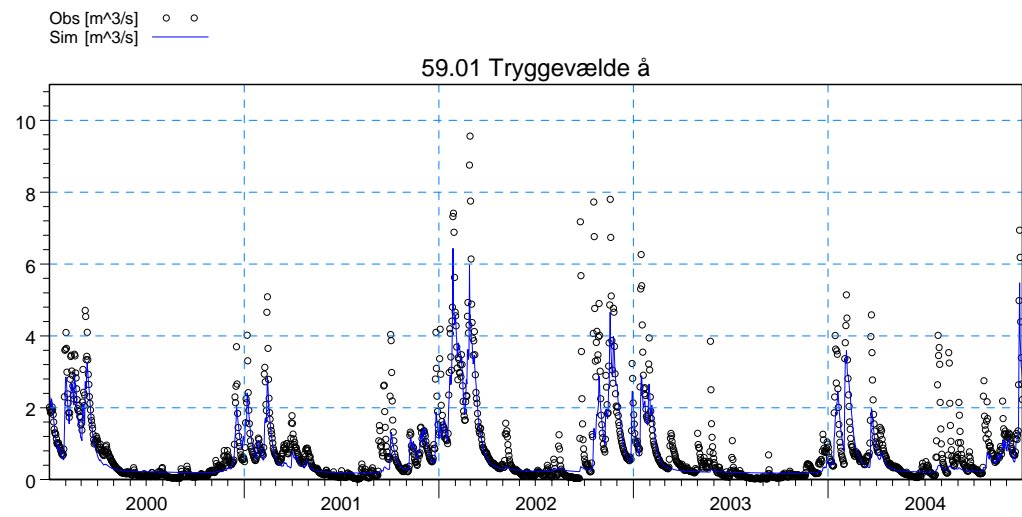
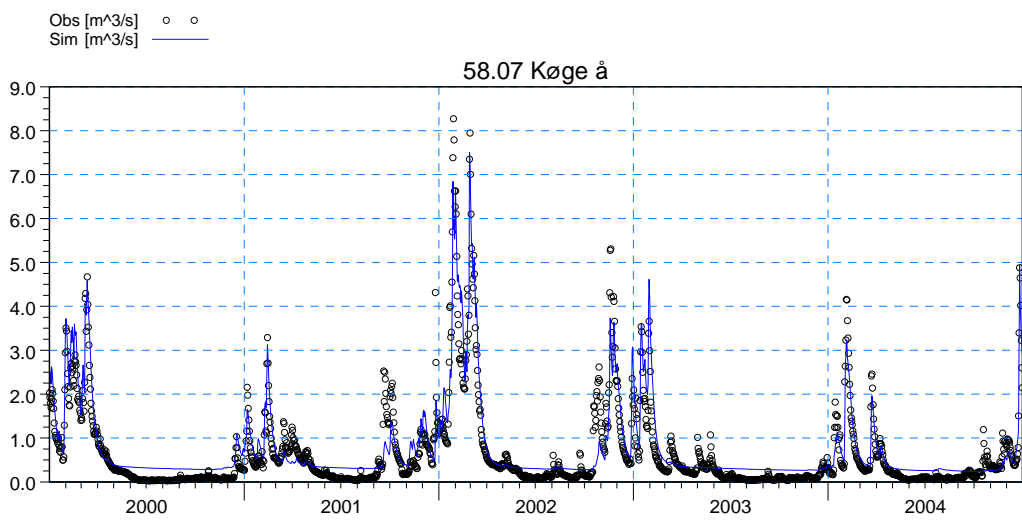
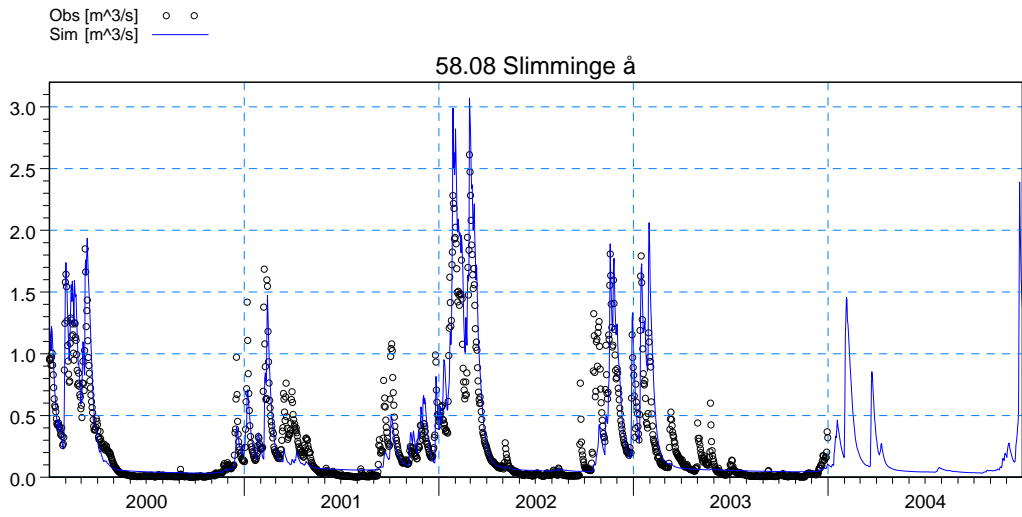
F:\D:\Data\Novem\SI\Stall\4\Novemr1_26m\08\T\m\O_obs_ej_all.dfo
1_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BaleletTS_M11.dfo



F:\D:\Data\Novem\SI\Stall\4\Novemr1_26m\08\T\m\O_obs_ej_all.dfo
m1_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BaleletTS_M11.dfo



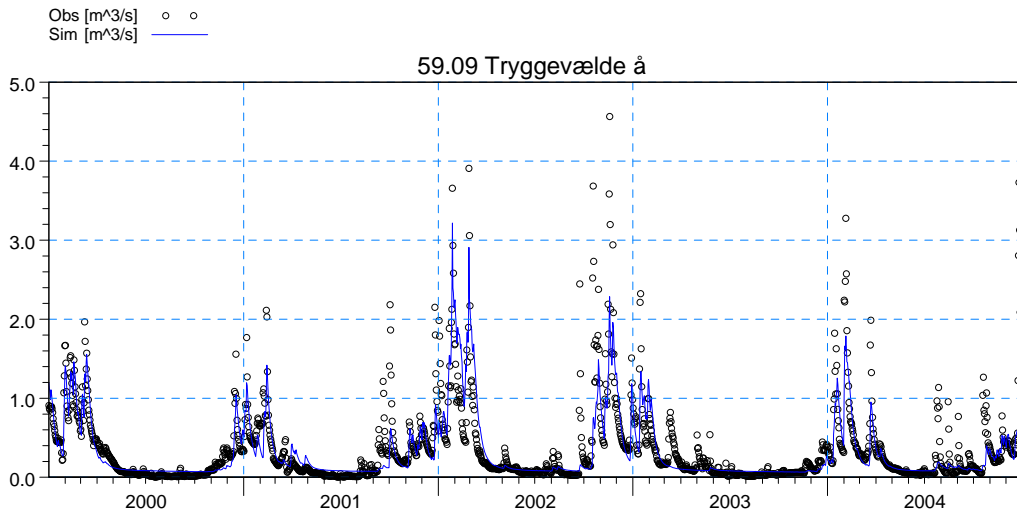
F:\D:\Data\Novem\SI\Stall\4\Novemr1_26m\08\T\m\O_obs_ej_all.dfo
ar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BaleletTS_M11.dfo



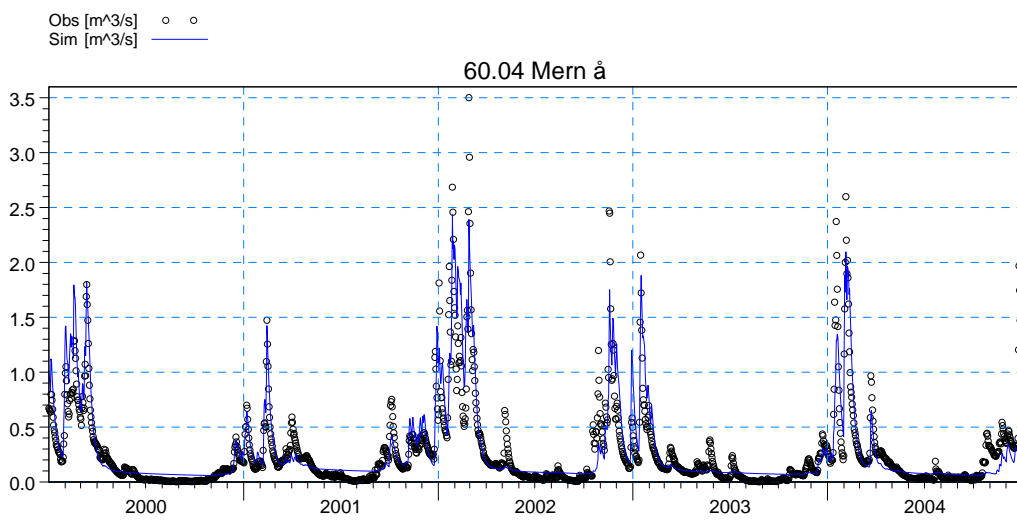
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
l_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
nr1_26mar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0

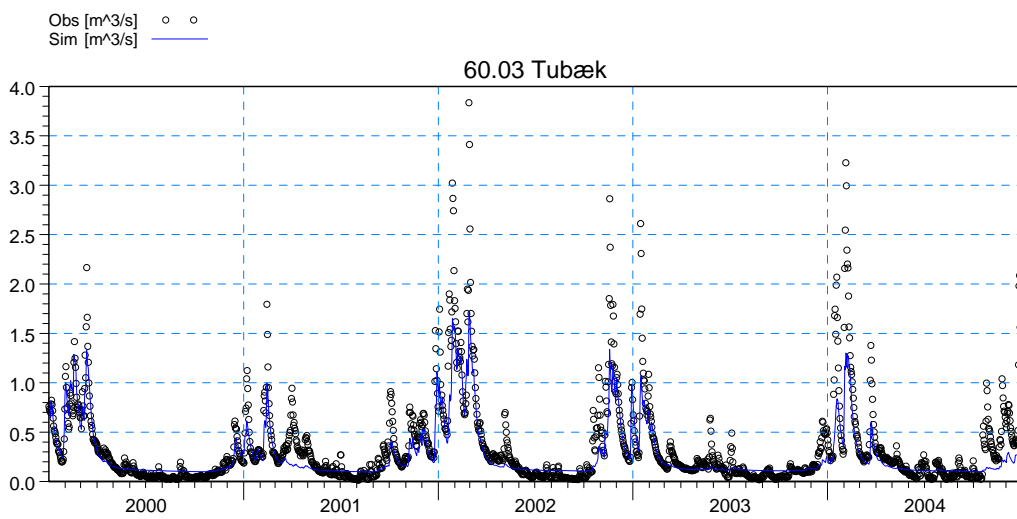
F:\DHI\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeQ_obs_si_all.dfs0
lar08\Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\DetailedTS_M11.dfs0



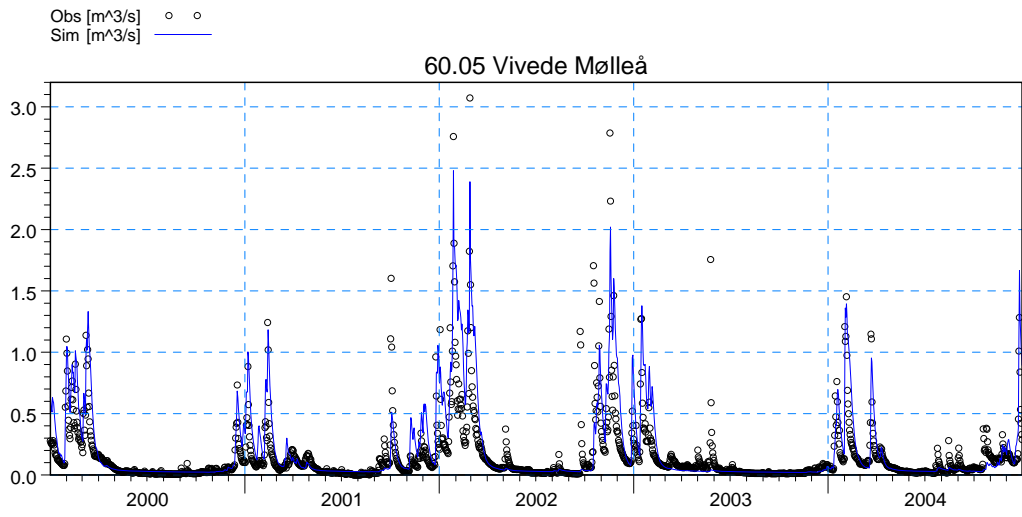
F:\Dit\Data\Novem\Stat\Stat\Novemr1_26mar08\TipeIO_obs_aj_all.dfo
1_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BaleletTS_M11.dfo



F:\Dit\Data\Novem\Stat\Stat\Novemr1_26mar08\TipeIO_obs_aj_all.dfo
m1_26mar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BaleletTS_M11.dfo



F:\Dit\Data\Novem\Stat\Stat\Novemr1_26mar08\TipeIO_obs_aj_all.dfo
ar08\Result\Novemr1_26mar08.she - Result Files\Novemr1_26mar08\BaleletTS_M11.dfo



I:\Geus155\work\DH1\Data\Novena\Sjælland\Novomr1_26mar08\TimeO_obs_si_all.dfs0
 #081Result\Novomr1_26mar08.she - Result Files\Novomr1_26mar08\beta\leqFTS_M11.dfs0

BILAG 6

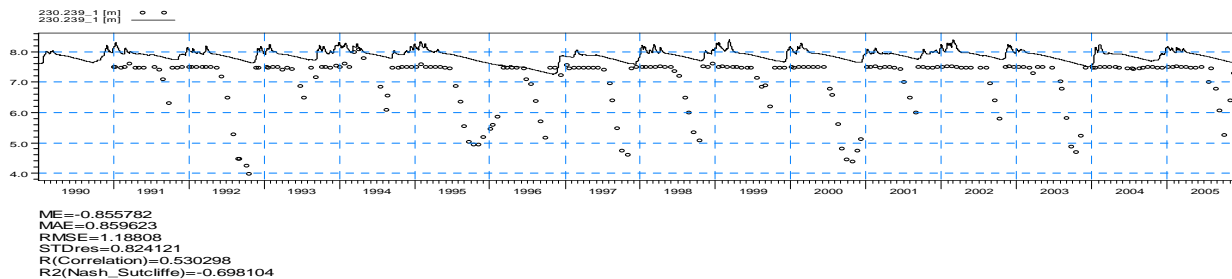
Observerede og simulerede pejletidsserier

– Lolland, Falster og Møn

Plot number 1

230.239_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 1

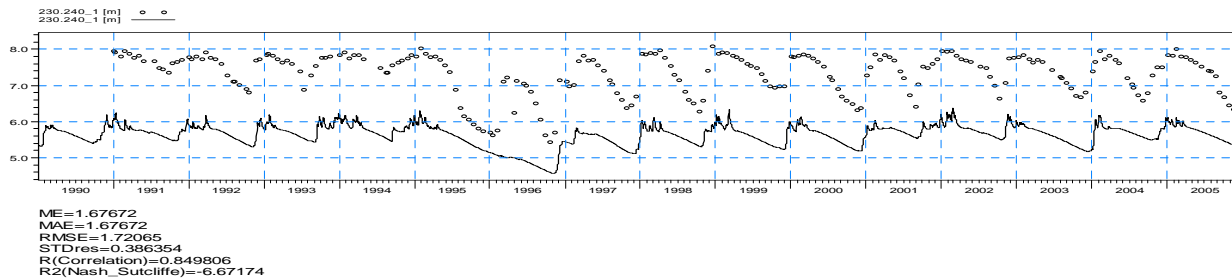


[< back](#)

Plot number 2

230.240_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 2

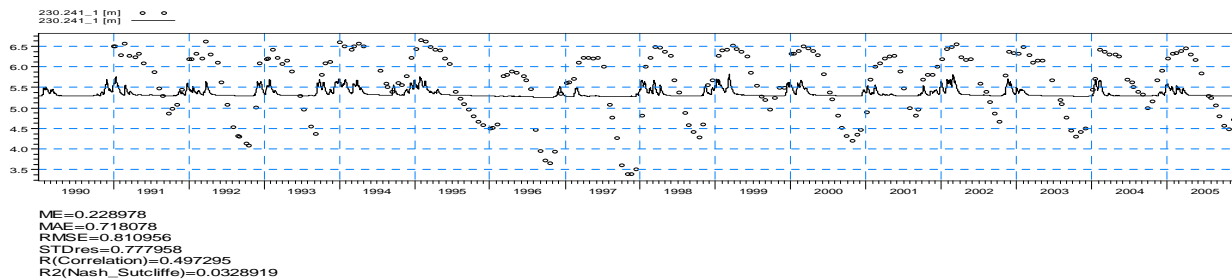


[< back](#)

Plot number 3

230.241_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 3

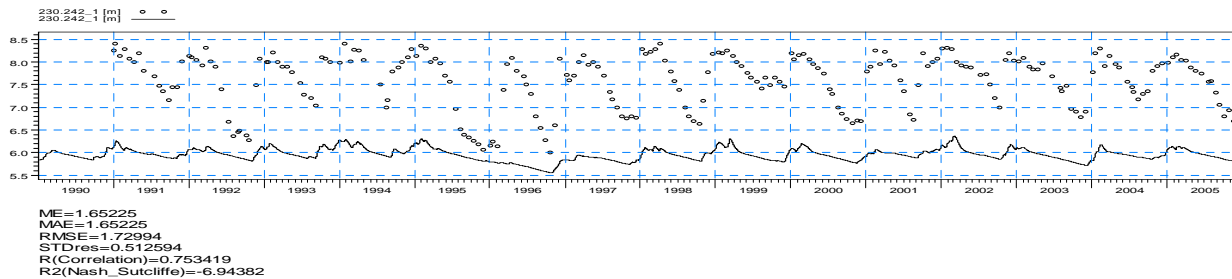


[< back](#)

Plot number 4

230.242_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 4

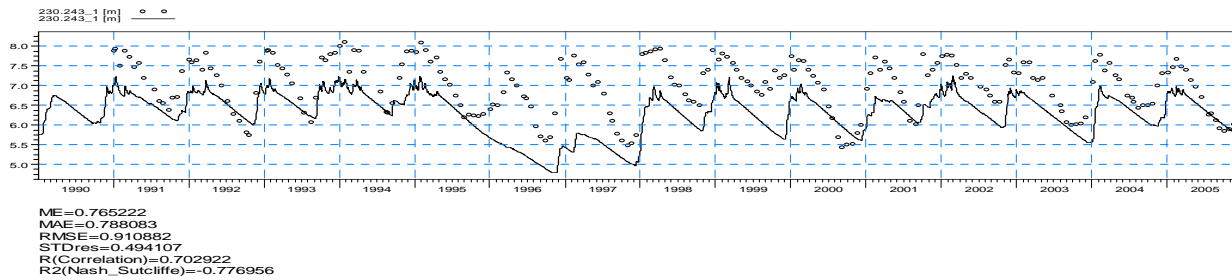


[< back](#)

Plot number 5

230.243_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 5

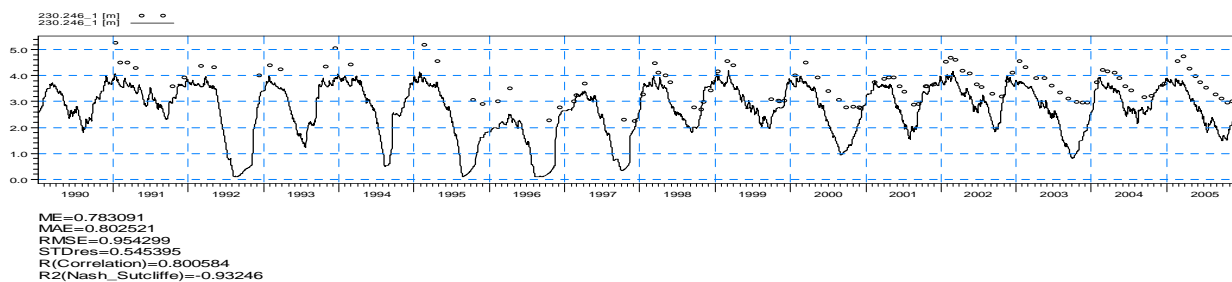


[< back](#)

Plot number 6

230.246_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 6

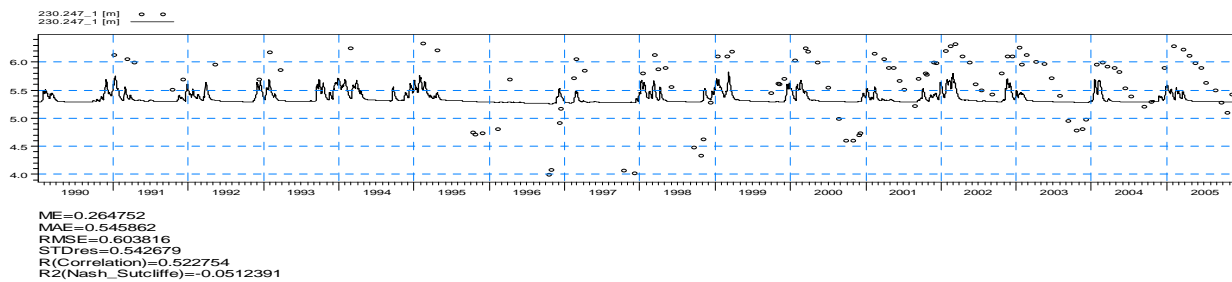


[< back](#)

Plot number 7

230.247_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 7

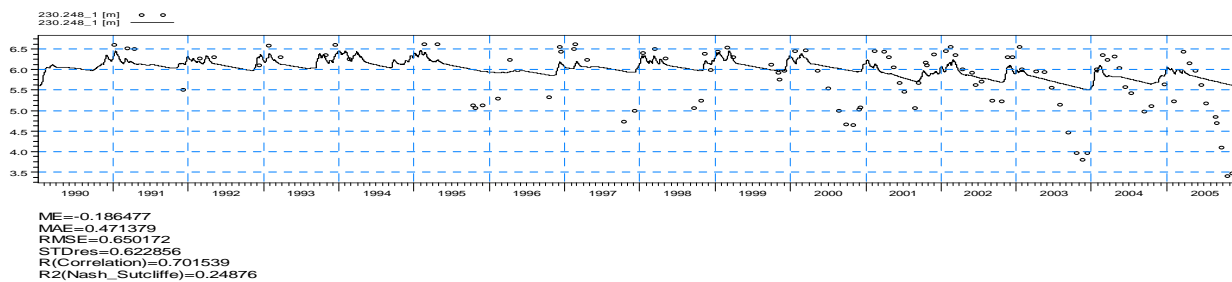


[< back](#)

Plot number 8

230.248_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 8

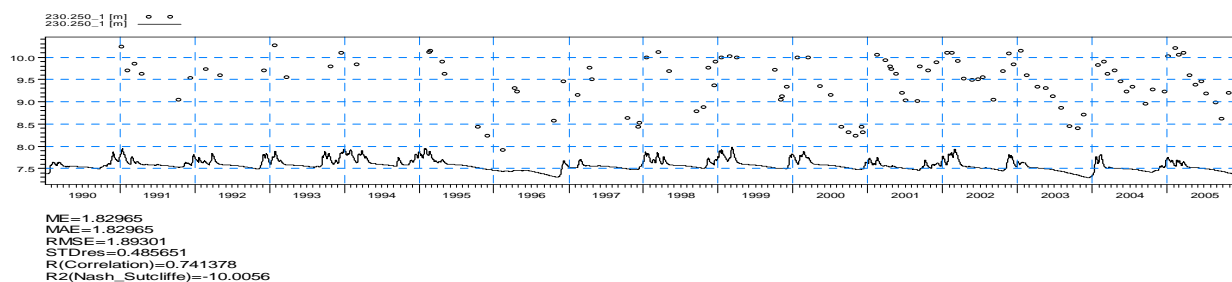


[< back](#)

Plot number 9

230.250_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 9

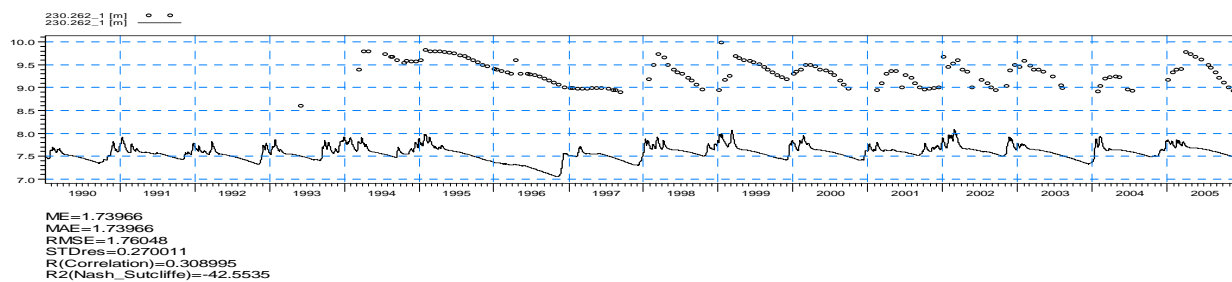


[< back](#)

Plot number 10

230.262_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 10

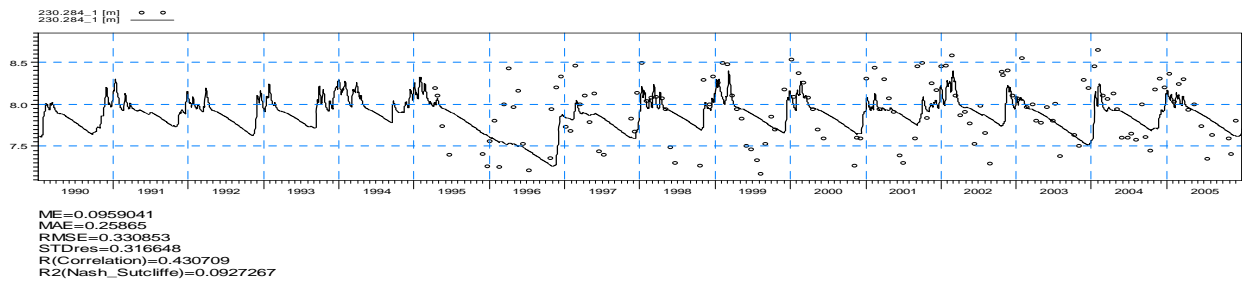


[< back](#)

Plot number 11

230.284_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2(Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 11

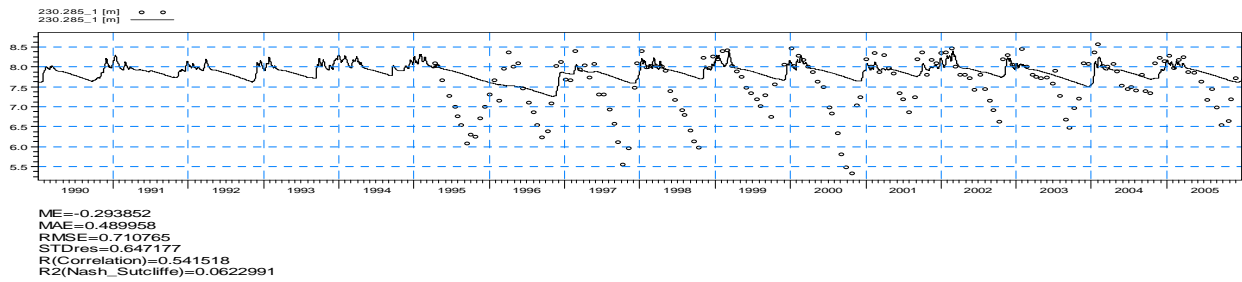


[< back](#)

Plot number 12

230.285_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2(Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 12

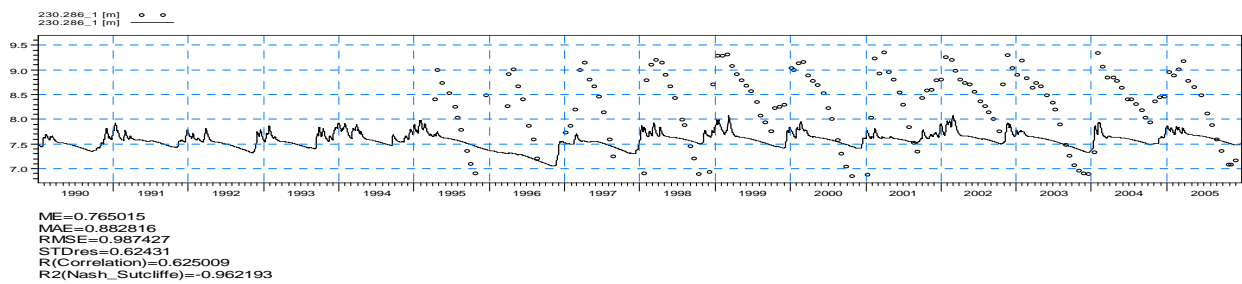


[< back](#)

Plot number 13

230.286_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2(Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 13

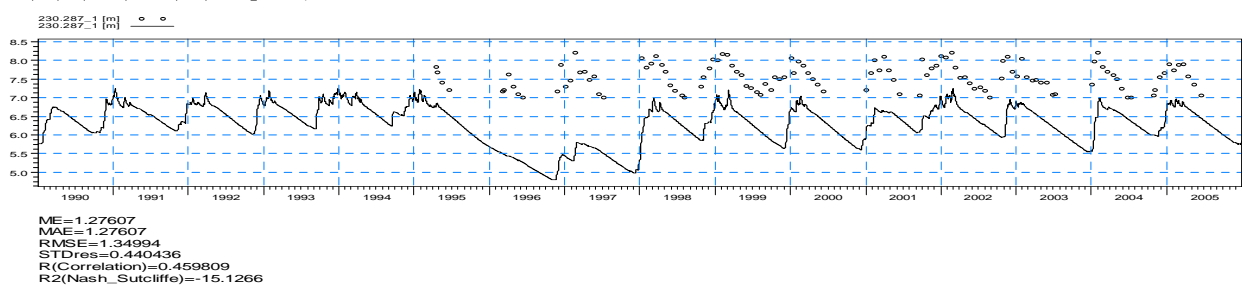


[< back](#)

Plot number 14

230.287_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2(Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 14

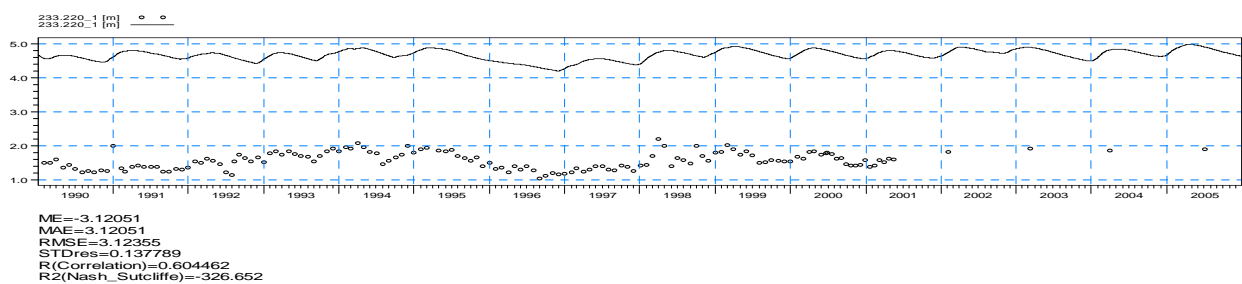


[< back](#)

Plot number 15

233.220_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2(Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 15

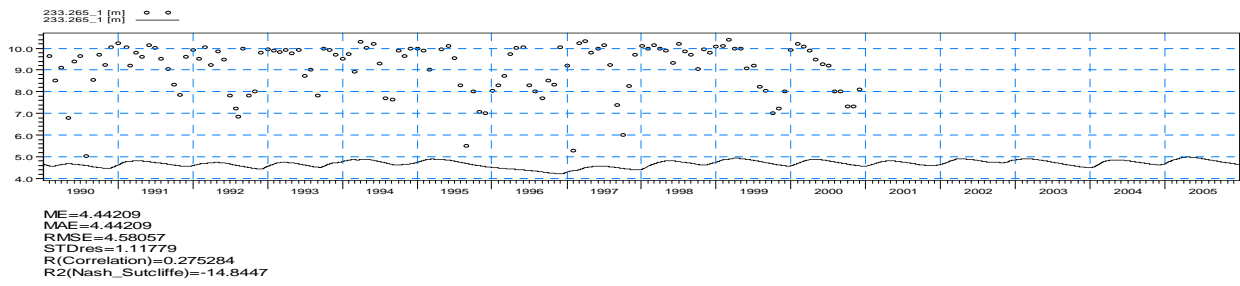


[< back](#)

Plot number 16

233.265_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 16

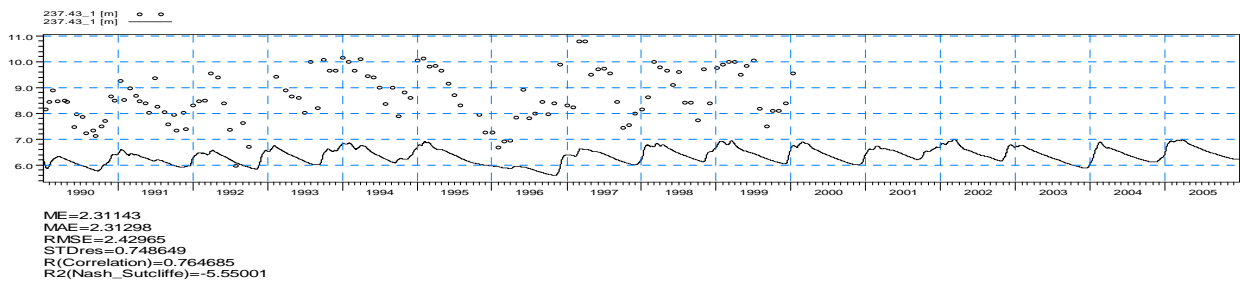


[< back](#)

Plot number 17

237.43_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 17

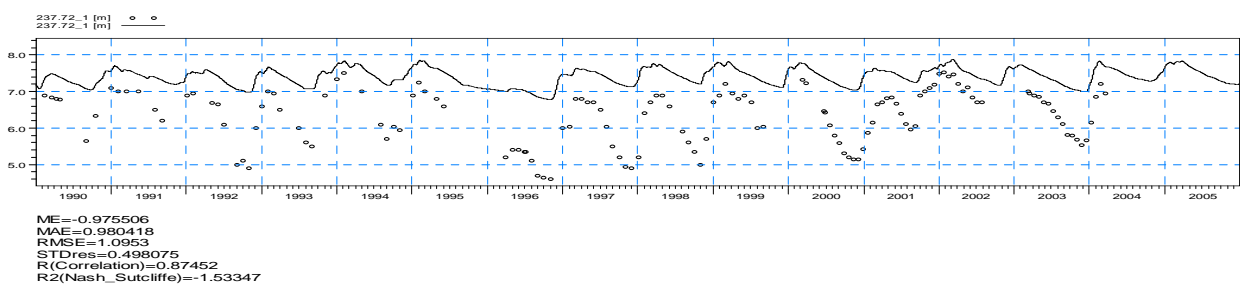


[< back](#)

Plot number 18

237.72_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 18

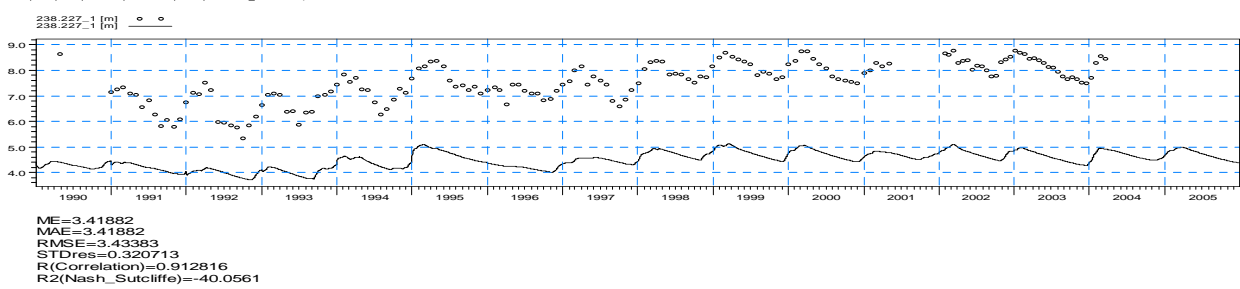


[< back](#)

Plot number 19

238.227_1, head elevation in saturated zone

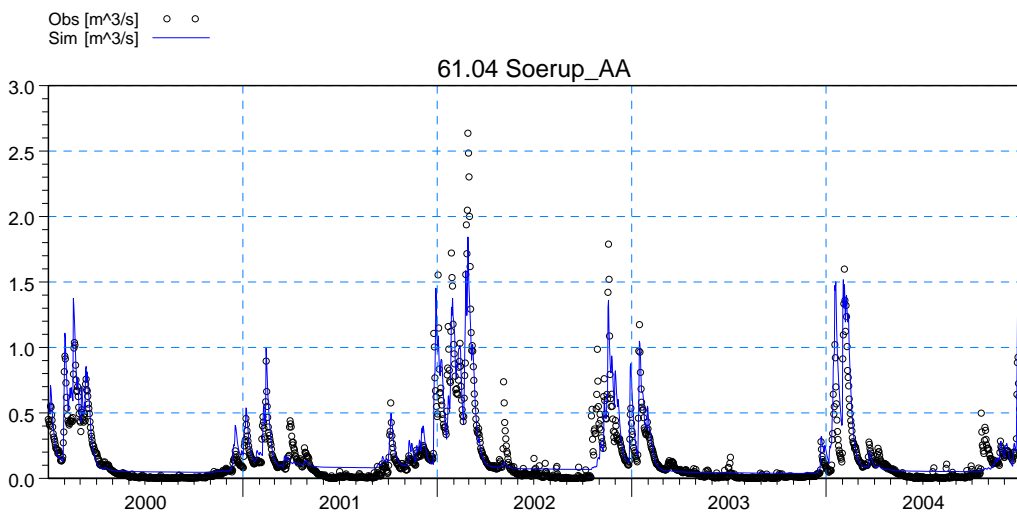
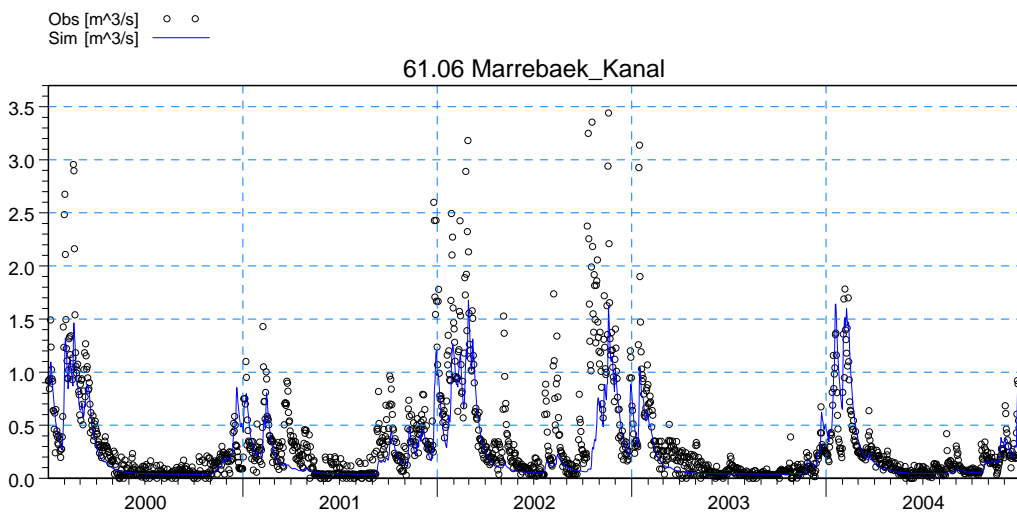
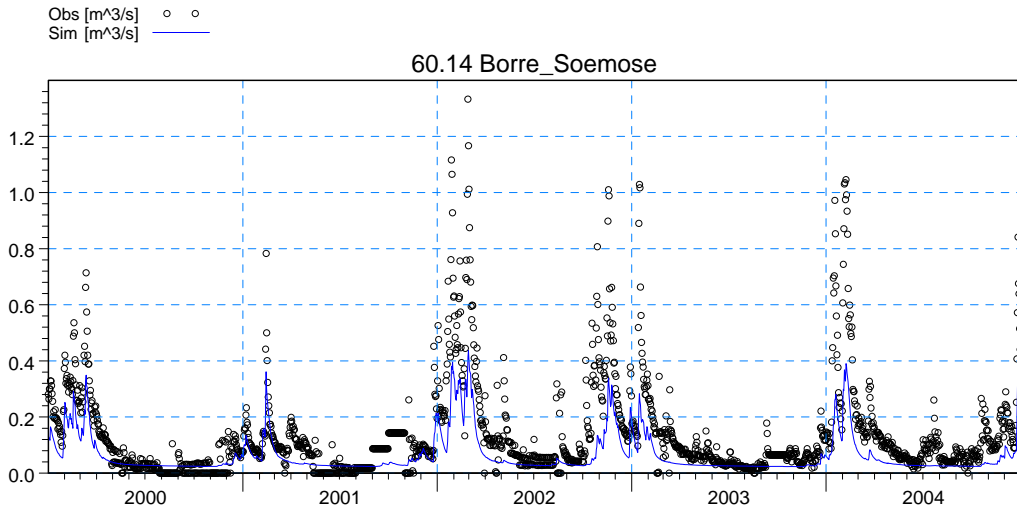
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr2\Time\novomr2_hobs.dfs0, item no. 19



[< back](#)

BILAG 7

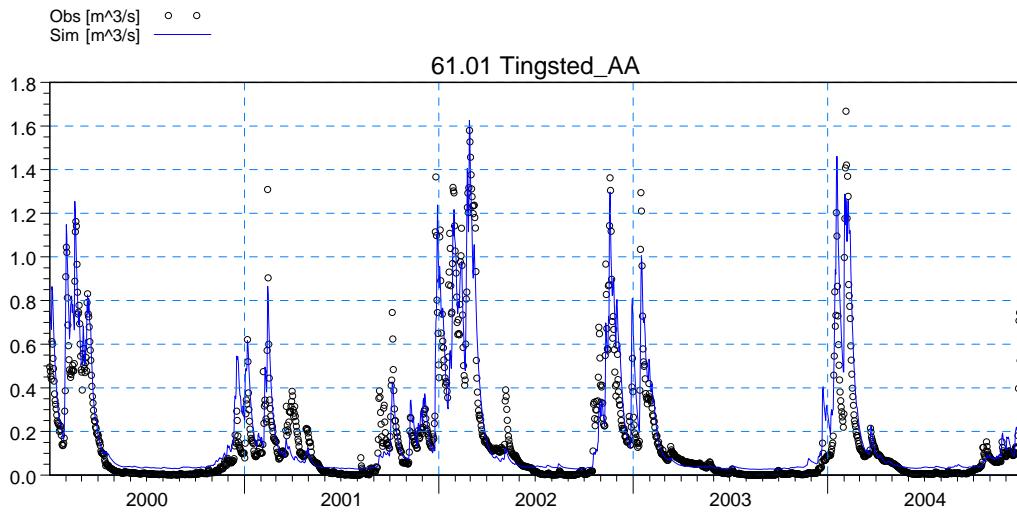
Observerede og simulerede afstrømninger for modellen for Lolland, Falster og Møn



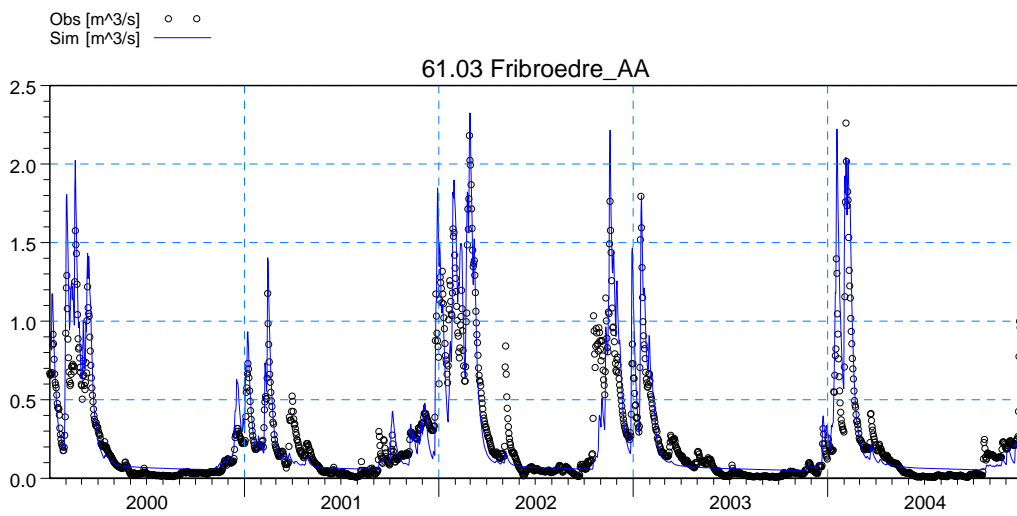
\\Geus1565rvps\DH1\Data\Novana\Novom2\Time\O_obs_si_all.dfs0
Novom2\Result\Novom2_02maj08.sre - Result Files\Novom2_02maj08DetailedTS_M11.dfs0

\\Geus1565rvps\DH1\Data\Novana\Novom2\Time\O_obs_si_all.dfs0
a\Novom2\Result\Novom2_02maj08.sre - Result Files\Novom2_02maj08DetailedTS_M11.dfs0

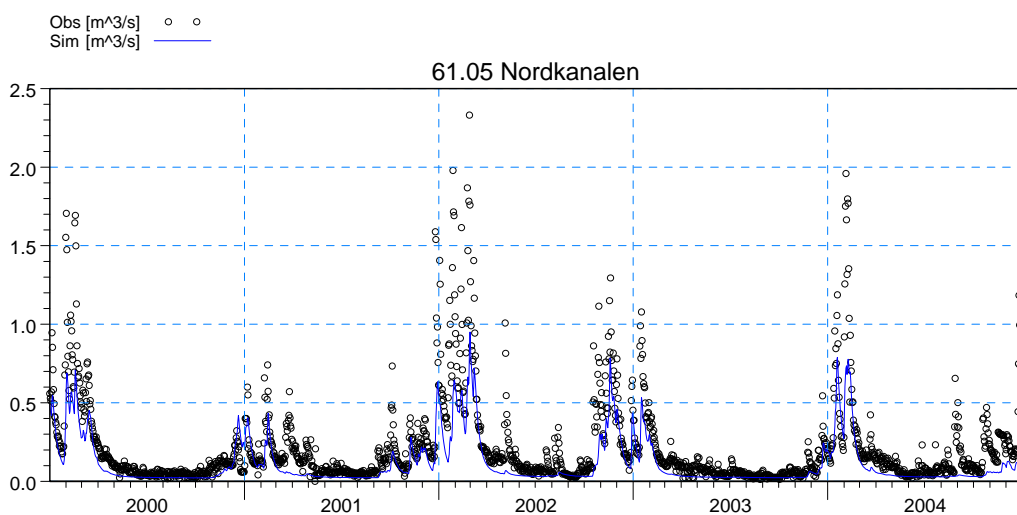
\\Geus1565rvps\DH1\Data\Novana\Novom2\Time\O_obs_si_all.dfs0
m2\Result\Novom2_02maj08.sre - Result Files\Novom2_02maj08DetailedTS_M11.dfs0



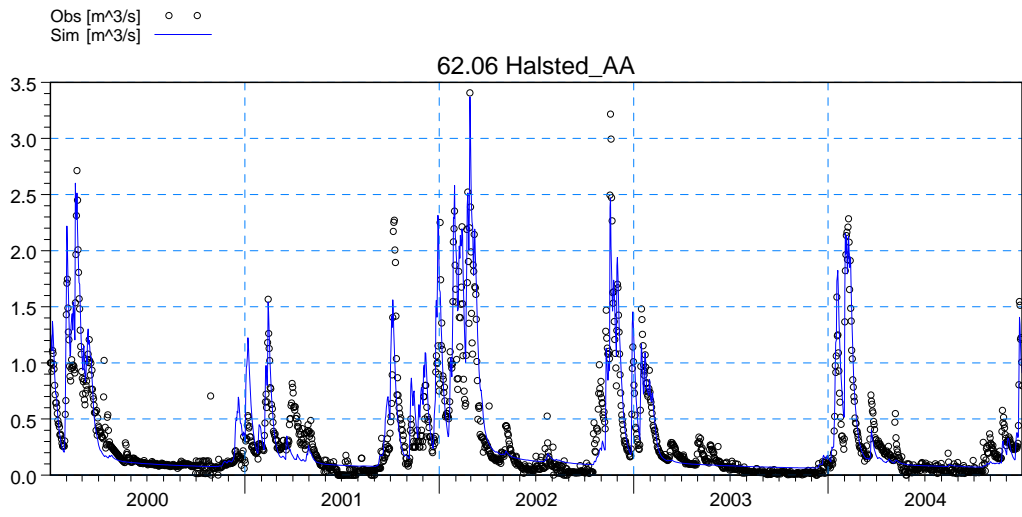
I:\Gust 15165\sws\sl\DH\H\sl\Novom2\TimeQ_obs_sl_11.d60
Novom2\Result\Novom2_2cm\p63.sre - Result\Fish\Novom2_2cm\p63.detailed\TS_1111.d60



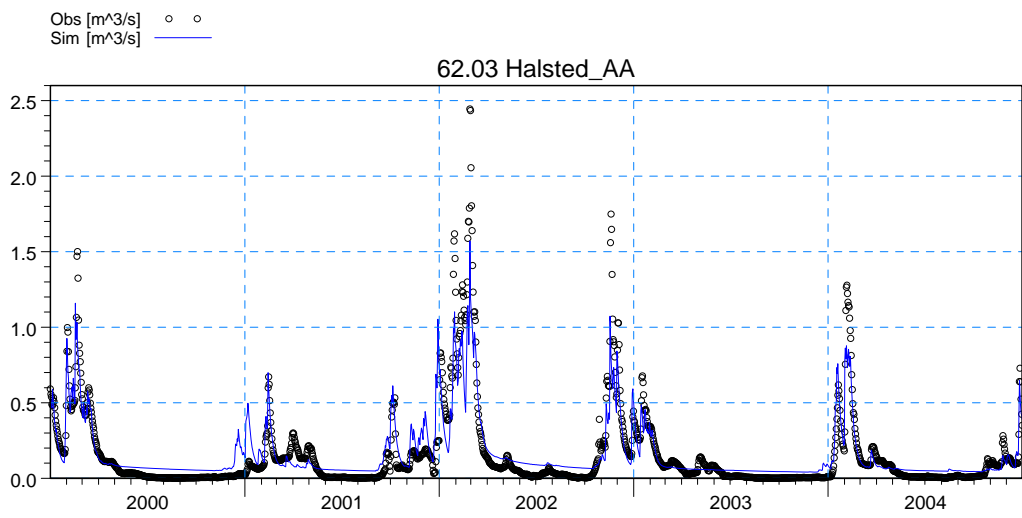
I:\Gust 15165\sws\sl\DH\H\sl\Novom2\TimeQ_obs_sl_11.d60
a\Novom2\Result\Novom2_2cm\p63.sre - Result\Fish\Novom2_2cm\p63.detailed\TS_1111.d60



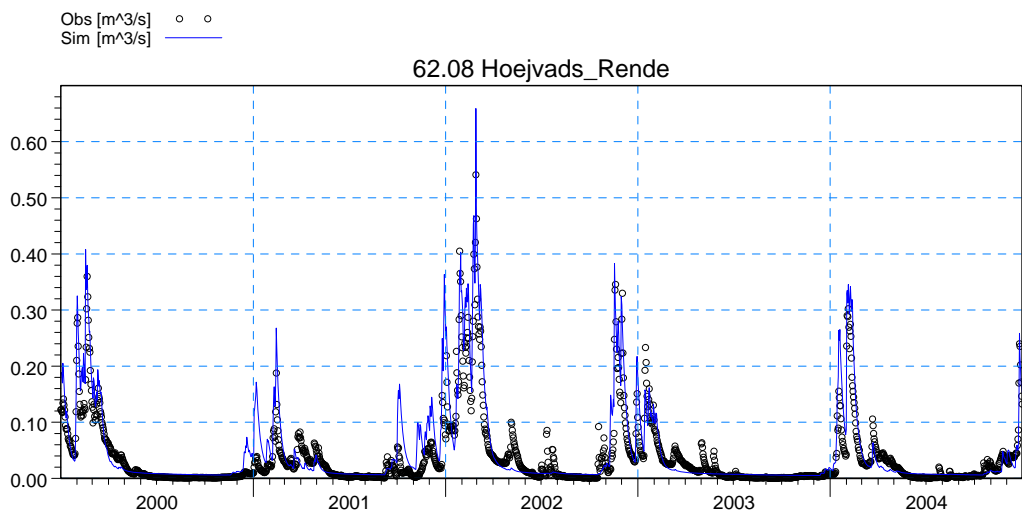
I:\Gust 15165\sws\sl\DH\H\sl\Novom2\TimeQ_obs_sl_11.d60
m2\Result\Novom2_2cm\p63.sre - Result\Fish\Novom2_2cm\p63.detailed\TS_1111.d60



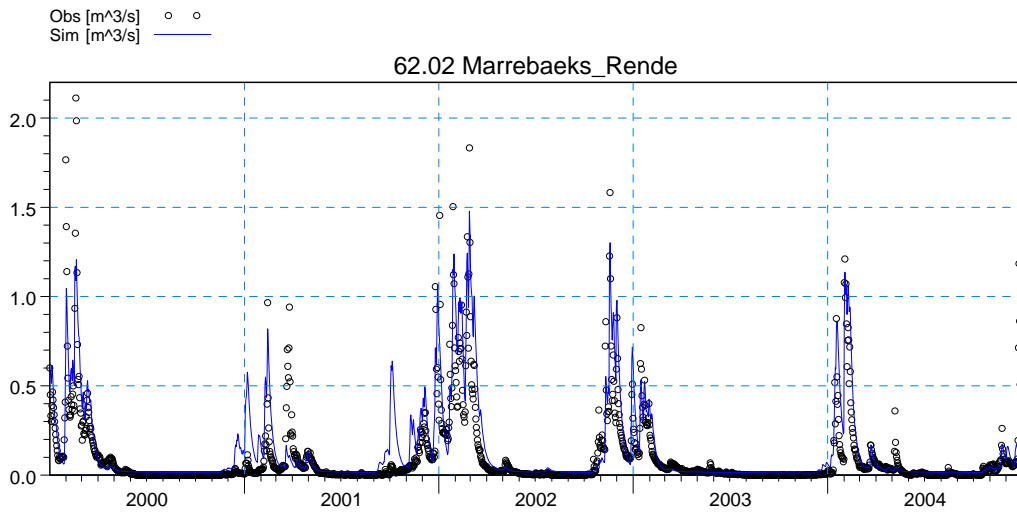
\\Geus1585\cv\sl\DH\IData\Novana\Novom2\Time\O_obs_sl_all.dfs0
Novom2\Result\Novom2_02ma\08_she - Result Files\Novom2_02ma\08DetailedTS_M11.dfs0



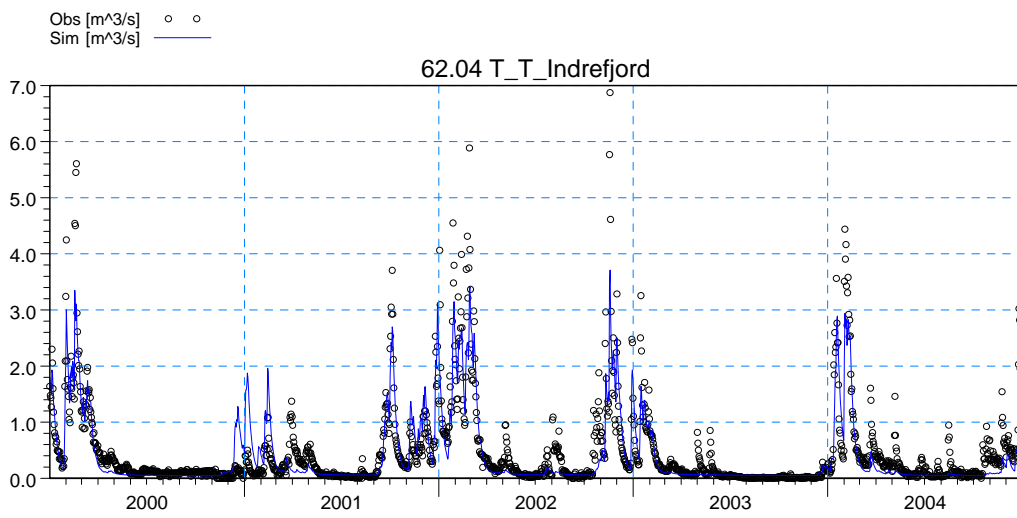
\\Geus1585\cv\sl\DH\IData\Novana\Novom2\Time\O_obs_sl_all.dfs0
a\Novom2\Result\Novom2_02ma\08_she - Result Files\Novom2_02ma\08DetailedTS_M11.dfs0



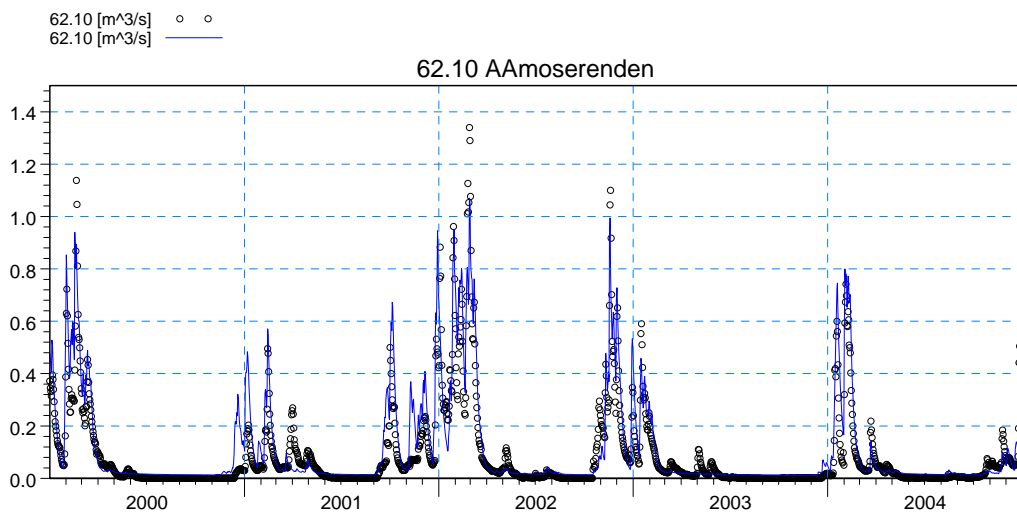
\\Geus1585\cv\sl\DH\IData\Novana\Novom2\Time\O_obs_sl_all.dfs0
m2\Result\Novom2_02ma\08_she - Result Files\Novom2_02ma\08DetailedTS_M11.dfs0



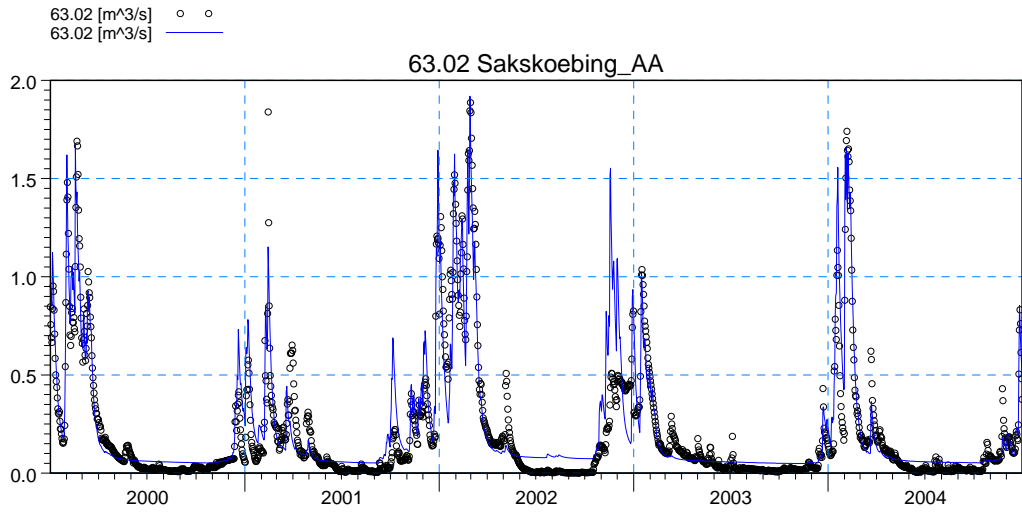
\\Gus1565wvsws\DH\ID\at\Novom2\TimeIQ_obs_si_all.d60
Novom2\Result\Novom2_2cmj08.ane - Result\Fish\Novom2_2cmj08\Detailed\TS_M11.d60



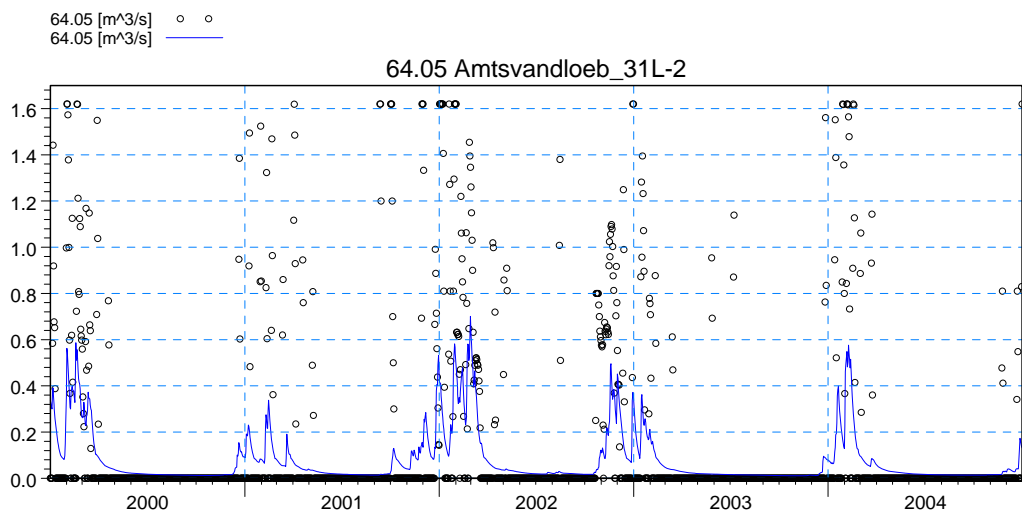
\\Gus1565wvsws\DH\ID\at\Novom2\TimeIQ_obs_si_all.d60
a\Novom2\Result\Novom2_2cmj08.ane - Result\Fish\Novom2_2cmj08\Detailed\TS_M11.d60



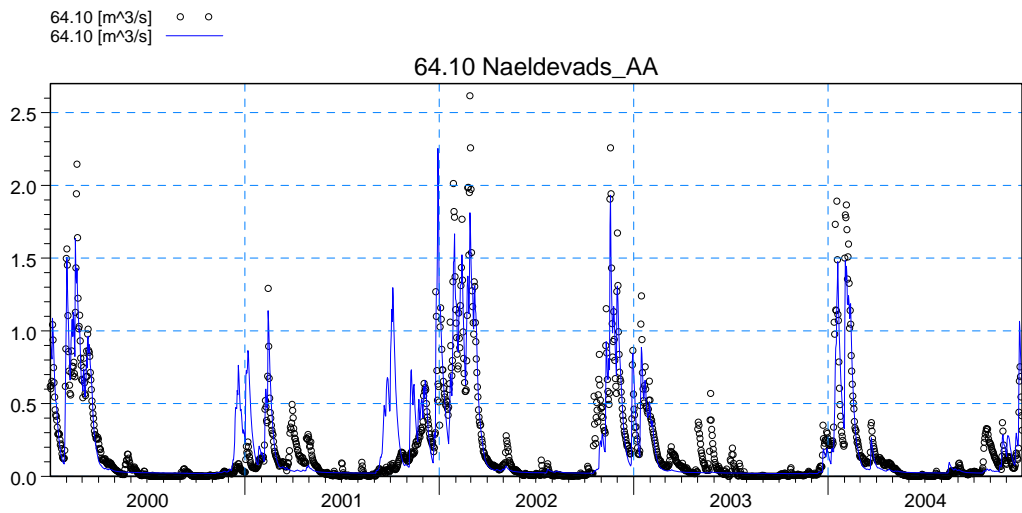
\\Gus1565wvsws\DH\ID\at\Novom2\TimeIQ_obs_si_all.d60
m2\Result\Novom2_2cmj08.ane - Result\Fish\Novom2_2cmj08\Detailed\TS_M11.d60



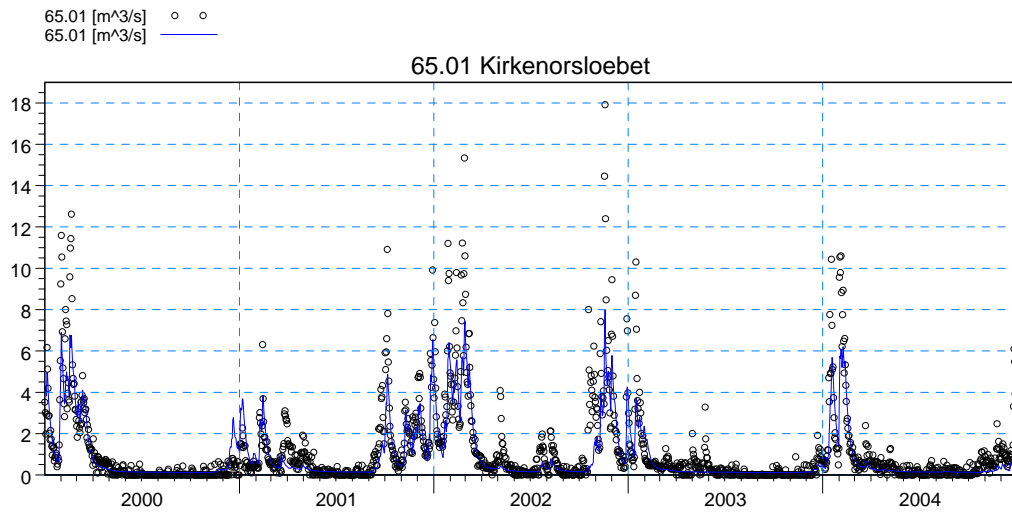
\\Geus1585\work\DH\IData\Novana\Novom2\Time\O_obs_si_all.dfs0
Novom2\Result\Novom2_02maj08.she - Result Files\Novom2_02maj08DetailedTS_M11.dfs0



\\Geus1585\work\DH\IData\Novana\Novom2\Time\O_obs_si_all.dfs0
a\Novom2\Result\Novom2_02maj08.she - Result Files\Novom2_02maj08DetailedTS_M11.dfs0



\\Geus1585\work\DH\IData\Novana\Novom2\Time\O_obs_si_all.dfs0
m2\Result\Novom2_02maj08.she - Result Files\Novom2_02maj08DetailedTS_M11.dfs0



I:\Crest 1505\wwswat\Dir\Dir\Novom2\Tiv\Q_obs_1j\all.dff9
 mm2\Result\Novom2_2c.mj\88_ate- Result\Flash\Novom2_2c.mj\88\table\Q_1M1\1a80