

DK-model2009

Modelopstilling og kalibrering for Midtjylland

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



DK-model2009

Modelopstilling og kalibrering for Midtjylland

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

Indholdsfortegnelse

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	Geologiske forhold for Jylland.....	14
2.3.2	Grundvandsmagasiner.....	15
3.	Hydrogeologisk tolkningsmodel	20
3.1	Hydrostratigrafisk model (antagelser om reservoirforhold)	20
3.2	Hydrologiske afgrænsninger (randbetingelser)	31
3.2.1	Modeloverflade, dræn og vandløb	31
3.2.2	Vandudveksling mellem grundvand og vandløb (indre randbetingelser).....	32
3.2.3	Ydre modelrande.....	32
3.3	Hydrauliske størrelser.....	32
3.4	Vandbalanceforhold.....	34
3.5	Indvindingsforhold	38
4.	Modelsystem	41
4.1	Overfladisk afstrømning.....	41
4.2	Umættet strømning.....	42
4.3	Grundvandsstrømning	43
4.4	MIKE11.....	45
5.	Modelopstilling	47
5.1	Diskretisering.....	47
5.2	Nettonedbør og fordeling til grundvand/overfladevand	48
5.3	Vandløb og Søer	54
5.4	Indvindinger	59
5.4.1	Markvanding	63
5.5	Numeriske parametre	64
6.	Kalibreringsstrategi og data	65
6.1	Valg og bearbejdning af potentialer og afstrømningsdata.....	65
6.1.1	Databehandling - potentialer	65
6.1.2	Databehandling - afstrømningsdata	68
6.2	Opstilling af kalibreringsmål og -kriterier.....	70
6.2.1	Kalibreringsmål og performance kriterier - potentialer.....	70
6.2.2	Kalibreringsmål og performance kriterier - afstrømningsdata.....	74
6.2.3	Samlet kalibreringsmål.....	75
6.3	Valg af kalibreringsparametre.....	78

7.	Kalibrerings- og valideringsresultat	82
7.1	Kalibreringsresultat.....	82
7.1.1	Kvantitativ vurdering af kalibreringsresultat	86
7.1.2	Kvalitativ vurdering af kalibreringsresultat	90
7.2	Valideringsresultat.....	99
8.	Vurdering af model	103
9.	Referencer	106
9.1	Internetsider	107

Bilag 1 - Beskrivelse af procedure for placering af indvindinger

Bilag 2 - Beskrivelse af procedure for udvælgelse af pejlinger

Bilag 3 - Observerede og simulerede pejletidsserier

Bilag 4 - Middelfejl for potentialer

Bilag 5 - Observerede og simulerede afstrømninger

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 undergik DK-modellen en omfattende opdatering, 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 Midtjylland (modelområder 5).</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 ferskvandskredsløbet. Modellen inkluderer en beskrivelse af den overfladiske afstrømning (OL), den umættede zone (UZ), den mættede grundvandszone (SZ), herunder drænastrømning, samt vandstrømning i vandløbene (MIKE 11).</p>
Hydrostratigrafisk model	<p>Et væsentligt led i opdateringen har været en detaljering af den geologiske og 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. I den oprindelige DK-model fra 2003 var den geologiske model for Jylland opstillet som en pixelmodel. Denne pixeltolkning er udskiftet i de områder, hvor der er medtaget amtsmodeller i opdateringen og bibeholdt i de øvrige områder. Som supplement til den geologiske tolkning er der opstillet en hydrostratigrafisk model, der beskriver udbredelsen samt tykkelserne af hhv. høj- og lavpermeable hydrostratigrafiske enheder. Den hydrostratigrafisk model er opstillet samlet for hele Jylland og består af en kvartær og en prækvartær lagpakke, der begge indeholder sandenheder/magasiner i op til fire niveauer vertikalt adskilt af ler/lavpermeable enheder. I modellens øverste 3 m er moræneleret antaget at have en højere hydraulisk ledningsevne end den dybereliggende ler pga. sprækker. Kalken udgør den nederste hydrostratigrafiske enhed, kalken er dog kun tilstede i den nordlige del af den hydrostratigrafiske model</p> <p>Opdateringen af den hydrostratigrafiske model er foretaget af GEUS, mens miljøcentrene 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 eksiste-</p>

rede en lokalmodel før amternes nedlukning. Der er således ikke foretaget en gentolkning for hele modelområdet.

Diskretisering

Den numeriske hydrologiske model er opstillet med diskretisering på 500 x 500 m, mod de 1x1 km der blev anvendt i den første version af DK-modellen. MIKE SHE giver mulighed for at anvende forskellige opløsninger af den geologiske og den numeriske model. Det er således muligt, at anvende en opløsning af de hydrostratigrafiske lag der er finere end opløsningen af beregningslagene. De hydrostratigrafiske lag er interpoleret til et 100 x 100 m grid, men da det er prioriteret at have sammenhængende lag for hele Jylland, har det været tungt at håndtere en opløsning på 100 x 100 m. De hydrostratigrafiske lag er derfor ligeledes interpoleret til et 500 x 500 m grid, som er lagt ind i modellen hvor de danner baggrund for de numeriske beregningslag.

Detaljeret af de tidligere amtsmodeller er bibeholdt i det datamateriale, som danner grundlag for interpolation af de hydrostratigrafiske lag. Ved en re-interpolation af datamaterialet er det således generelt muligt at tilgodese den samme detaljeret som var indeholdt i amtsmodellerne. Ved henvendelse GEUS kan de hydrostratigrafiske lag i 100 m griddet rekvireres.

Overfladevands-systemet

Modellen er en integreret grundvands-/overfladevandsmodel med en direkte kobling mellem de to systemer. Under opdateringen af overfladevandssystemet er der taget udgangspunkt i MIKE11 opsætningen fra den tidligere DK-model, der er blevet opdateret på basis af MIKE11 opsætninger i amtsmodeller samt tilføjelser af enkelte vandløbsgrene på basis af en tilbagemelding fra amter om, hvor en finere opløsning af netværket blev vurderet nødvendigt. Mens der således opnås en detaljeret beskrivelse af vandløbenes fysiske udformning, er der anvendt en simpel beskrivelse af søerne, der er indlagt som brede vandløbstværsnit. Til beskrivelse af vandstrømningen i overfladevandssystemet, er det valgt at anvende en simpel løsning, hvor vandet routes (flyttes) gennem vandløbet. Denne løsning er begrundet i modeltekniske årsager, hvor en detaljeret beskrivelse vil medføre signifikant længere simuleringstider. Den simple løsning medfører bl.a., at der ikke tages hensyn til søernes reservoir virkning, ligesom den regulering, der finder sted ved udløbene fra mange af søerne, ikke beskrives. Beskrivelsen af søerne som brede vandløb betyder samtidigt, at der kun sker en lokal udveksling mellem søerne og grundvandsmagasinet selv i tilfælde, hvor søerne har en stor arealmæssig udbredelse. Modellen vil derfor ikke være egnet til en detaljeret beskrivelse af dynamikken i og tæt ved søerne samt udvekslingen mellem søer og grundvand.

Udledninger

Data om udledninger fra renseanlæg er indhentet fra By- og Landskabsstyrelsen mens udledningsdata fra afværgeforanstaltninger er indhentet fra amterne. Samtlige udledninger er indlagt som MIKE11

randbetingelse i modellen.

Klimainput	<p>Nettonedbøren beregnes med det umættede zone-modul "Two-Layer", der er en integreret del af løsningen i MIKE SHE. Som klimainput er der anvendt døgnværdier for nedbør, reference fordampning samt temperatur baseret på DMI's klimagrid. Datagrundlaget er klimadata indkøbt under overvågningsprogrammets fællesaftale om indkøb af klimadata, der er downloaded fra DMI's NOVANA klima-web site (NOVANA.dmi.dk). Der er anvendt de mest detaljerede data, der var uploadet til hjemmesiden på det tidspunkt modellen blev opstillet. For nedbørsdata er der anvendt 10x10 km klimagrid for hele beregningsperioden (1990-2007). For temperatur og potentiel fordampning er der frem til 1. januar 2000 anvendt 40x40 km klimagrid, mens der i den resterende periode er anvendt en opløsning på 20x20 km. Som anbefalet i Plauborg et al. (2002) er nedbørsdata korrigeret på månedsniveau, mens fordampningen er beregnet på basis af Makkink (Mikkelsen & Olesen, 1991).</p>
Indvindinger	<p>Indvindinger indlagt i modellen er trukket ud fra JUPITER, hvor de er lagret på anlægsniveau. Samtlige anlæg er medtaget i modellen, og 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> <p>Indvinding til markvanding er ligeledes inkluderet i modellen. Placeringen af markvandingsboringerne er trukket ud fra JUPITER, og vanding tillades i et fastsat areal omkring hver boring. Indvindingsmængden er behovsstyret, hvor den styrende parameter er vandindholdet i rodzonen.</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 aflejringer er ens. Det betyder, at der kun skelnes mellem følgende hydrauliske enheder: kvartært sand og ler samt prækvartært sand og ler. Dog er det for den øverste zone antaget, at leret har en højere hydraulisk ledningsevne end det øvrige ler pga. tilstedeværelsen af sprækker. Variation i transmissiviteten indenfor de enkelte enheder er således alene distribueret jf. variationen i deres tykkelse.</p>
Kalibrering	<p>Modellen er kalibreret inverst med software programmet PEST, hvor der er anvendt dynamiske modelkørsler. Som kalibreringsmål er der anvendt observerede grundvandspotentialer for perioden 2000 – 2003 suppleret med en middel grundvandsstand for perioden 1990 – 1999 for indtag, hvor der ikke eksisterer observationer efter 2000. For vandløbsafstrømning er der anvendt daglige afstrømningsdata for udvalgte</p>

vandløbsstationer for perioden 2000 - 2003. Som kalibreringskriterier er der anvendt RMS (kvadratafgivelsessummen) for potentialer. For vandløbsafstrømningen er der medtaget tre kriterier 1) samlede vandbalancefejl, 2) Nash-Sutcliff (R^2) for hele kalibreringsperioden og 3) vandbalancefejl for sommerperioden ved månederne juni, juli og august. Under kalibreringen er det tilstræbt at give en ligelig vægt til hhv. potentiale- og afstrømningsdataene.

Validering/test Modellen er valideret ved en split-sampling test, hvor data for perioden 2004 – 2007, der ikke blev anvendt under kalibreringen, er benyttet til at teste modellens prædiktive evne.

Vurdering af modellen Modellen vurderes egnet til at beskrive den overordnede vandbalance på stor skala. Modellen var imidlertid ikke i stand til at beskrive vandløbsdynamikken tilfredsstillende, hvilket bl.a. vurderes at være relateret til det anvendte klimainput. Tilsvarende konklusion blev opnået i et studie af detailmodel for Ringkøbing Fjord opstillet under forskningsprojektet HOBE (Stisen et al., 2010). Dette studie viste endvidere, at det ved anvendelse af alternative klimainput er muligt at kalibrere modellen så der opnås en acceptabel vandbalancefejl, men at de forskellige klimainput resultere i væsentlige forskelle i de simulerede interne variable, såsom drænastrømning og grundvand- overfladevandsinteraktion. Med et formodet bias i klimainputtet, vurderes nærværende model derfor ikke egnet til en detailvurdering af de enkelte flowkomponenter.

Modellen er opstillet som en storskala model, hvor der eksempelvis primært indgår vandløbsoplande på mere end 50 km², og der er ikke udført analyse af modellens anvendelighed på mindre skala. Modellens dokumenterede anvendelse, udtrykt ved de opnåede kalibrerings- og valideringsresultater, er således relateret til oplande over 50 km². Modellen er kalibreret og valideret over fire plus fire år, hvori der optræder naturlige klimatiske variationer, mens der ikke er gjort forsøg på at vurdere modellens evne til simulering af egentlige klimaforandringer.

I modelområdet vestlige del vurderes modellen i stand til at kunne simulere de overordnede strømningsforhold. Mod øst er der imidlertid problemer med at reproducere potentialet, hvilket i nogen grad vurderes at være relateret til den store topografiske variation mod øst i forhold til det vestlige område. Endvidere er det sandsynligt, at variationen i de hydrauliske egenskaber fra øst til vest er for stor til at principet om én hydraulisk ledningsevne for hhv. sand og ler kan anvendes.

Som led i modelopbygningen er der sket en omfattende opdatering af især den hydrostratigrafiske model og til dels vandløbsbeskrivelsen. Modellen vurderes derfor at være det p.t. bedste bud på en samlet hydrogeologisk tolkningsmodel på den givne skala og er således et

unik 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 recalibrering for en bedre tilpasning af de lokale forhold.

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 blev oparbejdet i de enkelte amter, kan sikres under 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 opnåede 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 zoner 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 Midtjylland. Opdatering af den geologiske model er afleveret samlet for hele landet (Nyegaard et al., 2010).

2.1 Formål med modelarbejdet

Det overordnede formål for opdatering af DK-modellen er:

- At tilvejebringe en hydrologisk model på nationalt niveau, hvis opbygning og detaljering er konsistent på tværs af tidligere modeller og administrative skel og som in-

kluderer de geologiske tolkninger indeholdt i de tidligere lokalmodeller udviklet af amterne.

- At gennemføre en detaljering af modelopstilling og inputdata.

Under opdateringen af DK-modellen har der været anvendt et ensartet koncept og detaljeringniveau for hele landet, med følgende specifikke krav til opdateringen

- *Geologisk og hydrostratigrafisk opdatering.* Indarbejdelse af geologiske tolkninger fra eksisterende lokalmodeller opstillet af amterne frem til deres nedlukning i 2006.
- *Detaljeret af beregningsmodel.* Reduktion af beregningsgriddet fra 1 x 1 km til 500 x 500 m gridceller. Opdatering og detaljering af vandløbsbeskrivelsen mht. medtagne vandløb og udledninger hertil. Udskiftning af modulet til beregning af netto-nedbøren fra stand-alone modulet "rodzonemodulet" til en koblet løsning i MIKE SHE.
- *Detaljeret af input data.* Specificere indvindinger på indtagsniveau i modsætning til den tidligere repræsentation på anlægsniveau. Forfinet klimagrid fra 40 x 40 km klimagrid til 10 x 10 km klimagrid for nedbør samt 20 x 20 km klimagrid for potentiel fordampning og temperatur. Udvidelse af pejledatagrundlaget for kalibrering.

Formålene for DK-model2009 er uændret i forhold til DK-model2003 og er således:

- At modellen skal kunne anvendes til vurdering af vandbalancen og grundvandsdannelse på overordnet oplandsniveau/grundvandsforekomst samt kunne belyse grundvandsressourcens størrelse og udnyttelsesgrad under hensyntagen til arealanvendelse, klimavariationer og indvindingsstrategi.
- Vigtige hensigter for DK-model2009 er, at den kan anvendes som referencemodel på stor skala, og vil kunne danne udgangspunkt for nye modelopstillinger gennem udtræk af eksempelvis geologiske og hydrologiske randbetingelser eller procesret model inputdata. Endvidere er det ønsket, at modellen kan udgøre en ramme, hvori det er muligt at indarbejde ny viden opnået gennem fremtidige kortlægnings- og detailmodel projekter. For at modellen i praksis vil kunne anvendes til disse formål, er der under opdateringsprojektet lagt stor vægt på, at modellen bliver opbygget så simpel og gennemskuelig som muligt. Endvidere har der været fokus på, at opnå konsensus mellem de involverede parter omkring det overordnede koncept for modelopstillingen, herunder den geologiske og hydrostratigrafiske tolkning, samt data anvendt under opdateringen. Ligeledes har der været fokus på at opnå konsensus om data anvendt som input for den hydrologiske model.

2.2 Modelbenyttelse

Målet for modellen er at opnå en kvantificering 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 oplandsskala, 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.

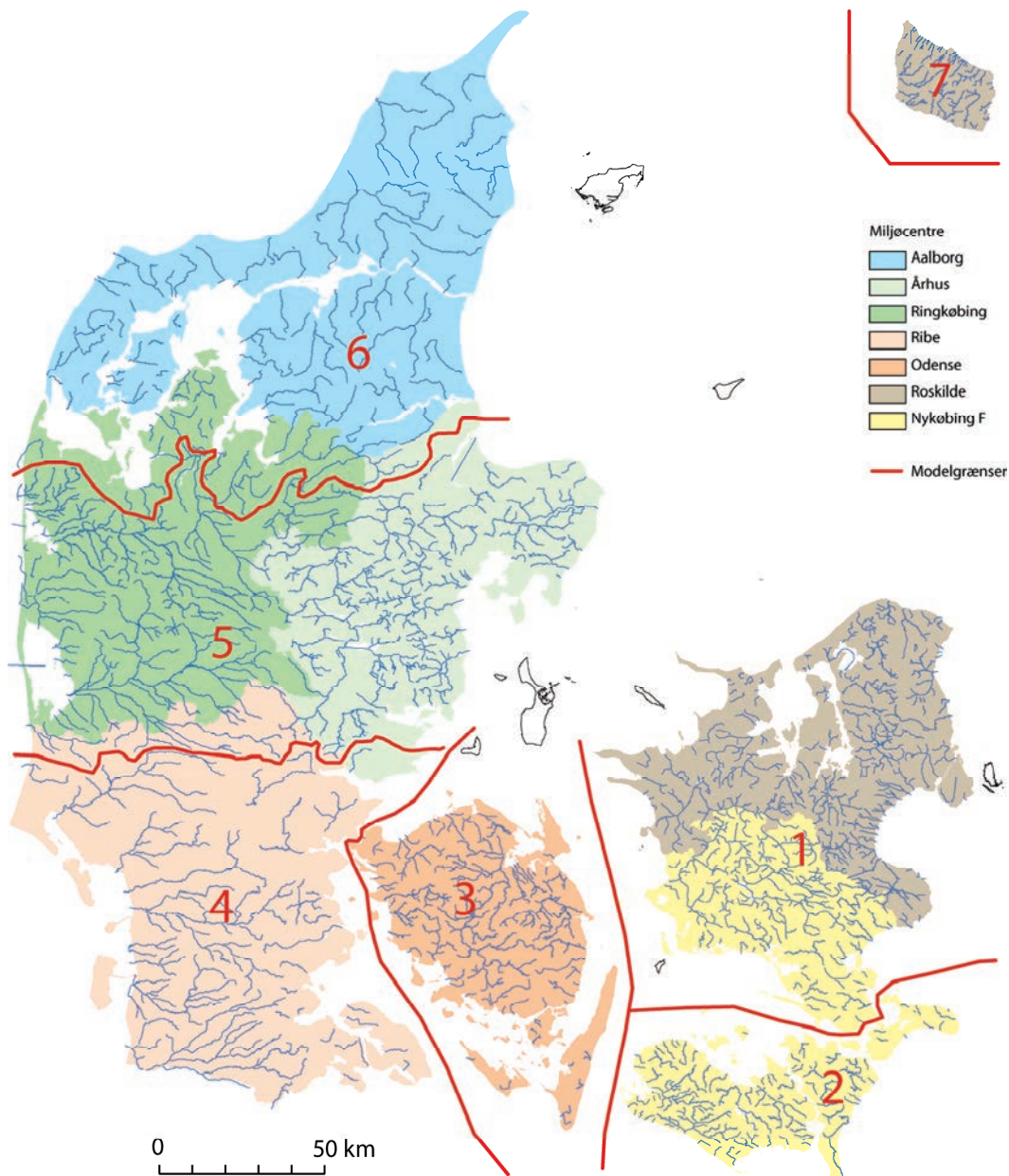
Modellen vil kunne anvendes i forvaltningsøjemed ved vurdering af de overordnede forhold, som screeningsværktøj samt som hydrologisk referenceramme for videre detailstudier. Modellen er en storskala model og er ikke opstillet eller testet med henblik på anvendelse til fx modelstudier i forbindelse med udarbejdelse af indsatsplaner for grundvandsbeskyttelse (typisk detailstudier af indvindingsoplande, 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 modelopbygningen 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, da dette giver større mulighed for at anvende dele af modellen i forbindelse med detaljerede modelstudier. 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), den umættede (1D) og mættede del af grundvandszonen (3D) samt drænvandsafstrømning (2D), mens MIKE 11 giver en 1D beskrivelse af vandløbsstrømningen.

Opdateringerne af modellen for Midtjylland er sket som led i en samlet opdatering af DK-modellen for hele landet.

2.3 Beskrivelse af modelområdet

Den opdaterede version af DK-modellen er opdelt i 7 delmodeller som illustreret på Figur 1. Modelområdet for Midtjylland er afgrænset ved hav mod øst og vest, hvor der er defineret en rand i havet ca. 1,5 km fra kysten. Mod syd er modelafgrænsningen sammenfaldende med den nordlige rand for modelområde 4 (Sønderjylland) og er defineret på baggrund af topografiske vandløbsoplande, hvor modellen indeholder oplandene for Skjern Å, Gudenå og Bygholm Å. Den nordlige rand er fælles med den sydlige rand for område 6 (Nordjylland) og er ligeledes defineret på baggrund af topografiske vandløbsopland, hvor de nordlige oplande består af bl.a. oplandene for Store Å, Karup Å og den nordlige del af Gudenå systemet. Området udgør et samlet landareal på 11578 km² og dækker hele Miljøcenter Ålborg, samt den nordlige del af Ringkøbing og Århus Miljøcentre.



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

De landskabsmæssige og geologiske karakteristika for Jylland varierer meget i både øst-vest og syd-nord gående retninger. Flere af modelområderne for Jylland indeholder flere af disse karakteristika, hvorfor det er valgt at give en samlet beskrivelse af de generelle forhold for Jylland frem for en opdeling på modelområderne.

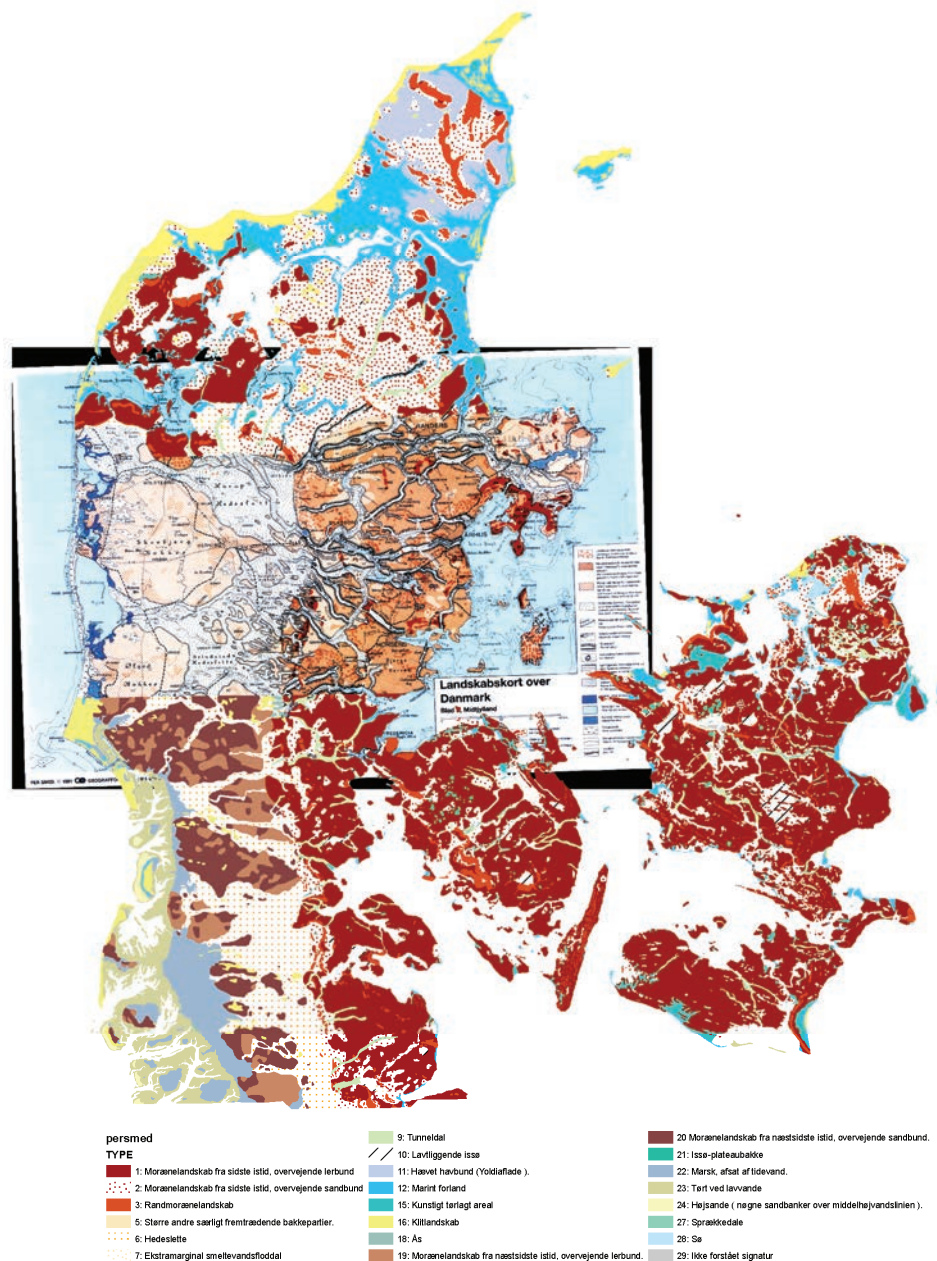
2.3.1 Geologiske forhold for Jylland

Jylland er dækket af kvartære og sen- og postglaciale aflejringer fra alle glacial- og interglaciale tider, der kendes fra Danmark. De 4 kendte istider har aflejringer med en total tykkelse varierende fra nogle få meter til over 200 meters tykkelse i de dybeste dalstrukturer langs den jyske Vestkyst samt i Nordjylland.

I den vestlige del af Jylland er landskabet præget af bakkeøer fra næstsidste istid - Saale. Disse bakkeøer er gennemskåret og omsluttet af hedesletter fra sidste istid – Weichsel, Figur 2. Bakkeøerne har været udsat for landskabsdannende processer gennem lang tid og fremtræder med et ringe relief, der er fattig på søer og småbakker. Størrelsen af bakkeøerne er meget varierende. Hedelandskabet er fladt, men dog med en svag hældning mod vest fra et toppunkt ved israndsbakkerne. Det flade landskab brydes af terrasser skabt i takt med, at afløbsforholdene blev ændret (Karup Hedeslette). Desuden findes der adskillige områder med indsander - flyvesand fra sidste istid. Desuden findes der marine aflejringer af ler og sand fra interglaciale tiderne Holstein og Eem. De marine aflejringer fra Holsteinhavet findes især langs Vestkysten samt i et bælte fra Esbjerg til Kolding. De marine kystnære aflejringer fra Eem-tiden findes især udbredt i Sønderjylland og langs Vestkysten, medens en dyb marin facies findes i Vendsyssel (Skærumhede formationen).

I Sønderjylland længst mod vest ses det helt flade marskområde. Israndsbakkerne der adskiller det Hovedopholdslinien drejer mod Vest. I denne del af Jylland er landskabet præget af moræneaflejringer fra sidste istid med inderlavninger, hvor isen har eroderet i underlaget, randmorænebakker, dødislandskab, tunneldale, smeltevandsdale og smeltevandsletter. Området er således meget mere varieret med det svagt bølgede morænelandskab gennemskåret af tunneldale og med opskudte randmorænelandskaber, som kan have et forland med en smeltevandslette.

Vendsyssel adskiller sig fra de sydlige dele af Jylland ved at have været dækket af havet i Senglacial tid, hvor der blev aflejret ler og sand. Disse aflejringer ses nu som terrasser i op til 60 meter over havets overflade. Efter en periode hvor landet har hævet sig – Fastlandstiden, blev store dele af Vendsyssel og egnene omkring Limfjorden igen overskyldet af Stenalderhavet. Disse aflejringer ses nu som en flad slette, som kan være hævet op til 13 meter over det nuværende havniveau i de nordligste dele pga. landhævningen efter istiden.

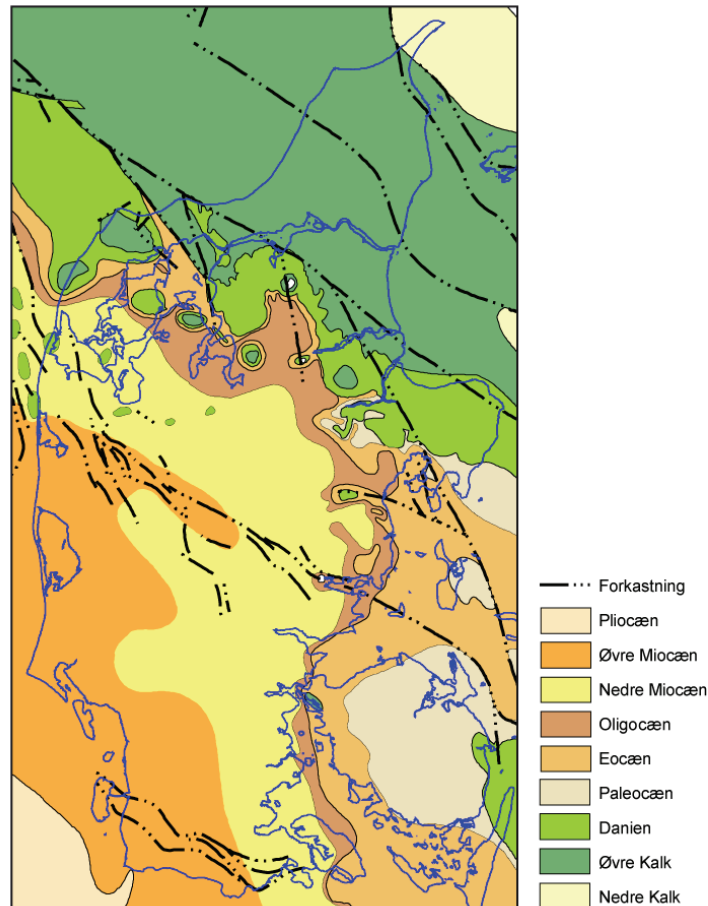


Figur 2. Landskabsformer i det sydlige Jylland, Efter Per Smed 1981.

2.3.2 Grundvandsmagasiner

De vigtigste prækvarter grundvandsmagasiner i kalk udgøres af skrivekridt fra Øvre Kridt og Danien kalken fra Tidlig Paleocæn, Figur 3. Disse magasiner findes især omkring Limfjorden, i Himmerland og på Djursland. Aflejringerne er relativt højtliggende mod sydvest og er blotlagt flere steder, mens koten til de prækvarter aflejringer falder mod nordøst mod Skagen, hvor kalkbjergarterne ikke har nogen anvendelse i vandforsyningen. Mod sydvest er kalkbjergarterne overlejret af yngre sedimenter af ler og sand, og kalken udnyttes kun til vandindvinding få steder, hvor salthorste har presset bjergarterne op som f.eks. i Mønsted. Kalkbjergarterne fra Danien og Øvre Kridt har en tykkelse fra under 500 meter til over 2 km.

Aflejringerne fra Sen Paleocæn, Eocæn og Oligocæn er overvejende lerede og kan ikke udnyttes til vandindvinding. Aflejringerne udgør prækvartæroverfladen i en zone fra den vestlige del af Limfjorden mod sydøst til Århus egnen og sydpå langs kysten til Als.



Figur 3. Kort over de prækvartære aflejringer (VARV-kortet).

Efter at landet var dækket af hav i Paleocæn, sker der et skift i havniveauet, hvor kystlinjen bevæger sig frem og tilbage over Danmark. Kystlinjen strækker sig generelt fra NV-SØ. Disse mere lerede formationer er igen overlejret af yngre Neogene ler og sandaflejringer fra Miocæn, som kan være op til 4 km tykke. Pliocæne aflejringer er ikke med sikkerhed fundet på dansk landområde. De aflejrte sedimente stammer fra det Fennoskandiske skjold og er transporteret med store floder mod SSV, hvor sedimenterne er aflejtet dels på flodsletterne og i deltaer og dels som brakvands- og havaflejringer. De interessante grundvandsmagasiner er knyttet til aflejringer af mellem- til grovkornet kvartssand, mens den mere fintil mellemkornet glimmersand sjældent udnyttes. Magasinerne er ofte beskyttet af glimmersilt og –ler lag.

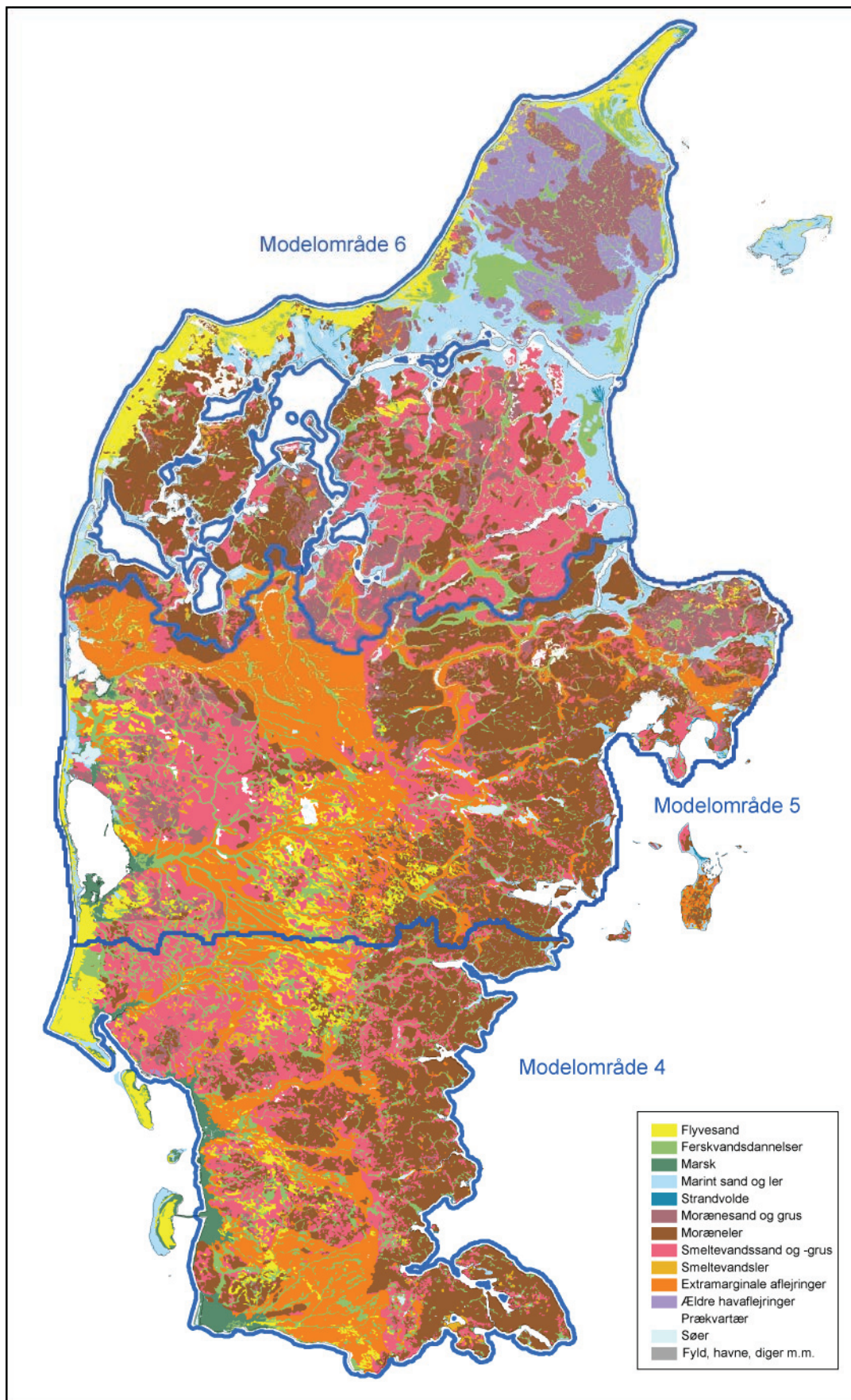
De ældste betydende grundvandsmagasiner findes i forbindelse med det Midtjyske Billund deltakompleks. De største mægtigheder er fundet i forbindelse med Brande Truget og ude i Nordsøen vest for Fjand i Vestjylland. Billund sandet ligger ofte dybt og er endnu ikke gennemboet ret mange steder. Billund sandet kan lokalt være op til 100 meter tykt, men tykkelsen kan variere kraftigt inden for kort afstand. Mod nordvest kan sandet have en mere lokal udbredelse på grund af, at aflejringsforholdene er fluviale kanaler.

Efter Billund sandet blev aflejret, bevægede kystlinjen sig mod sydvest og i den sydlige del af Jylland blev Ribe Formationen aflejret. Den består primært af sand, som i bunden antages at være marin, medens den op ad går over til at være aflejret i floder og et delta. Magasinet har været kendt længe og udnyttes til vandindvinding. Sandet er dybtliggende og godt beskyttet. Tykkelsen kan være op til 100 meter. Derpå kommer der igen en havstigning, og den lerede nedre Arnum Formation bliver aflejret. Igen falder havniveauet, og der bliver aflejret marint kystnært Bastrup Sand, som i toppen er præget af flodaflejringer. Bastrup sandet er nogle steder aflejret i dybe dale, som er kraftigt nederoderet i de underliggende sedimenter. Bastrup sandet kan være op til 50 meter tyk og findes i det meste af Syd- og Centraljylland. Efter endnu en havstigning blev Øvre Arnum Formation aflejret.

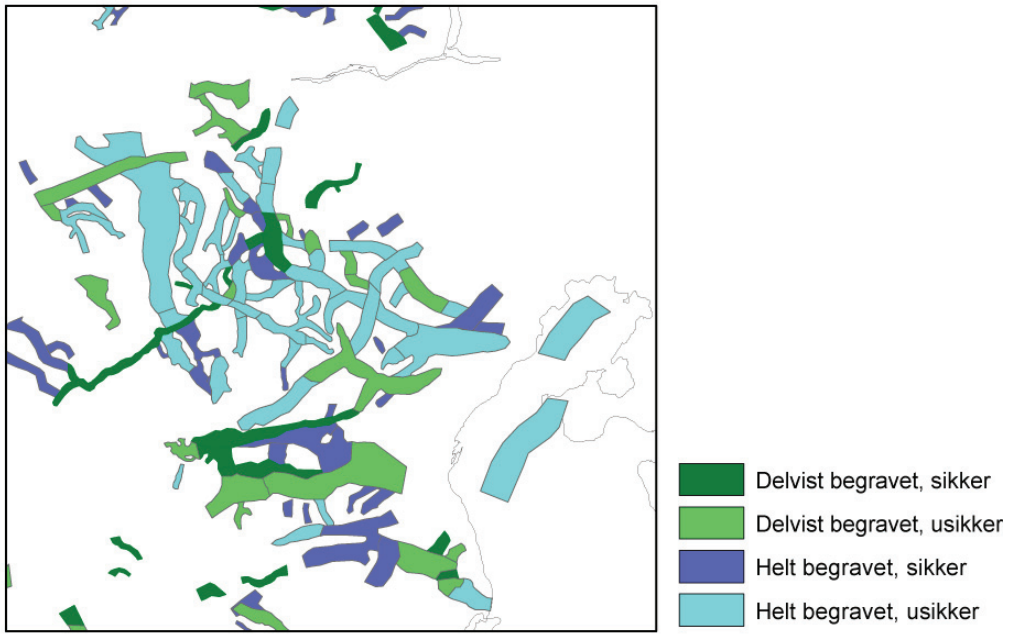
Den sidste markante miocæne udbygning af kystlinjen resulterede derpå i aflejringen af den sandede Odderup Formationen med bl.a. dannelse af brunkulaflejringer. Sedimenter fra Odderup Formationen findes i størstedelen af Jylland, hvor de miocæne aflejringer er bevaret. Formationen består hovedsagligt af fluviale sedimenter i det centrale og sydlige Jylland, medens sandet mod vest varierer mellem strandsedimenter og fluvio-deltaiske sedimenter. Formationen kan være op til 50 meter tyk. Hvor Odderup Formation er højtliggende i det centrale Jylland, kan magasinerne være dårligt beskyttede. Magasinerne er vigtige for vandindvindingen. Efter Odderup Formationen følger marine lerede aflejringer, som sandsynligvis de yngste prækvartære aflejringer.

De prækvartære aflejringer i Jylland er for det meste dækket af kvartærtidens glacielle bjergarter. Disse består mest af Weichsels tidens tykke ekstramarginale sand- og grusformationer vest for Hovedopholdslinien, som delvist overlejrer ældre glacielle aflejringer, Figur 4. Disse ses nu som morænesand og -ler på Bakkeøerne. Desuden er der i borer påtruffet interglacielle marine sand- og leraflejringer fra Holstein og Eem perioderne. De ekstramarginale aflejringer har ofte frie vandspejl og er dårligt beskyttet, medens de ældre dybereliggende kvartære magasiner kan være artesiske og bedre beskyttet. Store dele af det nordlige Jyllands glacielle aflejringer er dækket af Postglacielle marine Littorina-aflejringer, som på grund af dårlig vandkvalitet ikke udnyttes til vandindvinding. Underlejret Littorina havets aflejringer findes Glacial og Senglacial Yoldialer samt kystnært Saxicavasand. Aflejringerne ses nu som en hævet flade op til 60 meter over havoverfladen. Kun det nedre Saxicavasand har vandindvindingsinteresse. Der er konstateret mange begravede dybe dale dels ved hjælp af borer og dels ved hjælp af geofysiske undersøgelser, Figur 5. Dalene kan skære sig ned i de prækvartære aflejringer.

Øst og nord for Hovedopholdslinien er bjergarterne mere domineret af moræneler og -sand med lag af smeltevandssand og -grus i flere niveauer. Disse magasiner er bedre beskyttede, men kan have en begrænset udstrækning. De øverste magasiner er ofte dårligt beskyttet, men også i denne del af Jylland er der fundet mange begravede dybe dale, hvis afgrænsninger er undersøgt ved hjælp af geofysiske undersøgelser. Dalene kan skære sig ned i de prækvartære aflejringer. Sandaflejringerne i disse dale har fået stor betydning for indvindingen af rent drikkevand. Sen- og Postglacielle marine aflejringer er udbredte i det nordlige Jylland, hvor de vandførende sandaflejringer fra Stenalderhavet dog har en dårlig vandkvalitet.



Figur 4. Jordartskort i 1:100.000 over Jylland.



Figur 5. Eksempel på dybe dale i Århus-området (Jørgensen og Sandersen, 2009).

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 randmoræneområder. 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 flere 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.

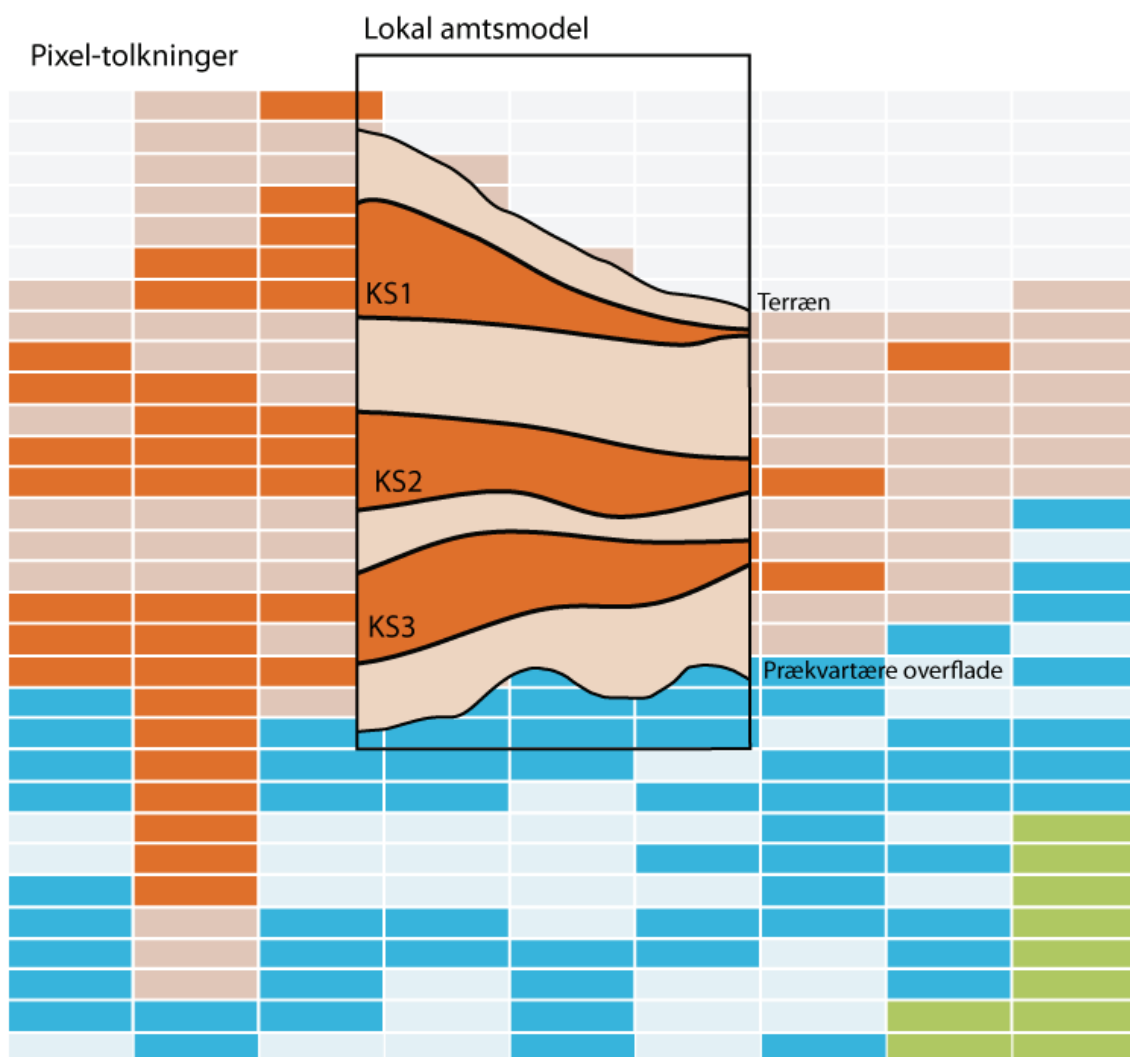
Opstillingen af den hydrogeologiske tolkningsmodel for område 5 (Midtjylland) tager udgangspunkt i DK-modellen (Henriksen og Sonnenborg, 2003), der efterfølgende er blevet opdateret på basis af den nyeste viden om de geologiske forhold, som de tidligere amter havde oparbejdet gennem de senere års intensive geologiske kortlægning. Endvidere er der sket en detaljering af modellen, med en finere rumlig opløsning og repræsentation af indvindinger på boringsniveau frem for anlægsniveau samt en udvidelse af vandløbsnetværket.

I den hydrologiske model anvendes en gridopløsning på 500 x 500 m, og lagfladerne for den hydrostratigrafiske model for Jylland er ligeledes interpoleret til et 500 x 500m grid. De tidligere lokalmodeller udarbejdet af amterne var imidlertid ofte opstillet med en mindre gridstørrelse og indeholder således en større detaljering. Denne detaljering er bibeholdt under opdateringen af DK-modellen. Hvor det var muligt at fremskaffe de oprindelige tolkningsdata fra amtsmodeller er disse medtaget i opdateringsprojektet. For de øvrige modeller er gridfladerne konverteret til punkter (ét punkt for hvert grid). Datagrundlaget for interpolation af de hydrostratigrafiske flader indeholder således samme detaljering som de tidligere lokalmodeller, og det er muligt at foretage en ny interpolation for Jylland, eller dele heraf, hvor der anvendes en mindre diskretisering. For en detaljeret beskrivelse af opdateringen af den geologiske og hydrostratigrafiske model for Jylland henvises til Nyegaard et al. (2010).

3.1 Hydrostratigrafisk model (antagelser om reservoirforhold)

Det vigtigste element i opstillingen af den hydrogeologiske tolkningsmodel er den geologiske og hydrostratigrafiske tolkning af undergrunden. På indledende workshops med de daværende jyske amter blev det konkluderet, at det ville være for omfattende at opstille en

samlet geologisk lag-tolkning for hele Jylland. Det blev derfor besluttet at opbygge den geologiske model som en hybrid bestående af en kombination af pixler fra den første version af DK-modellen og lag fra de tidligere amtsmodeller. En sådan løsning er teknisk mulig ved at anvende pixelerne som "baggrundsgeologi" for hele Jylland og overlægge disse med linser, der udgøres af lag fra de tidligere amtsmodeller, Figur 6. Med denne metode er det muligt at tilgodese den geologiske opbygning af de tidligere amtsmodeller og anvende pixeltolkningen fra DK-modellen i områder, hvor der ikke var opstillet amtsmodeller. For at opnå en "sømløs" model for hele Jylland, hvor det er muligt at skære et vilkårligt delområde ud, er der opstillet en samlet hydrostratigrafisk model for Jylland. Denne er baseret på lag-tolkningerne i de tidligere amtsmodeller suppleret med tolkninger af profiler primært orienteret i øst-vestgående retning med en indbyrdes afstand på 5 km, suppleret med enkelte tværgående profiler. Den tekniske fremgang samt oversigt over hvilke modeller der er medtaget under opdateringen er beskrevet i Nyegaard et al. (2010).



Figur 6. Principskitse illustrerende opbygningen af den hydrostratigrafiske model for Jylland med pixler som "baggrundsgeologi" overlægget af linser beskrivende lag fra tidligere amtsmodeller.

Den geologiske forståelsesmodel for Jylland, der danner baggrund for den hydrostratigrafiske model, er opbygget af fire gennemgående lag med indskud af sandlegemer med vari-

erende horisontal udbredelse. Sandlegemerne fordeler sig med tre niveauer i kvartæret og fire niveauer i prækvartæret. For at tilgodese lokale variationer har det været nødvendigt at underindele nogle af sandlegemerne i en øvre og nedre enhed. Da dette kun forekommer få steder og er af lokal udbredelse, er det valgt kun at navngive de omtalte syv niveauer med sandmagasiner og referere til en øvre og nedre del, hvor dette er aktuelt. De fire gennemgående lag regnet fra topografien og ned er:

1. De øverste 3 m 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 4.
2. Et forholdsvis lavpermeabelt lag bestående af ler af Kvartær alder men afsat under forskellige varierende dannelsesmiljøer. Laget er således sammensat af moræneler, interglacialt marint ler, sen og postglaciale lerede aflejringer, smeltevandssler og -silt. Laget strækker sig fra bunden af lag 1 og ned til den prækvartære overflade.
3. Et relativt lavpermeabelt lag hovedsagligt bestående af Miocæn glimmerler og glimmersilt, Oligocæn glimmerholdigt Branden Ler og Viborg Ler, Eocæn Søvind Mergel, Lillebælts Ler og Røsnæs Ler. Laget dækker det meste af Jylland med undtagelse af Djursland og det meste af Vendsyssel. Laget afgrænses nedadtil af prækvartære kalkaflejringer.
4. Vandførende prækvartære kalkaflejringer fra Senkridt og Danien.

De tre kvartære niveauer med sandlegemer er karakteriseret ved (fra topografien og ned):

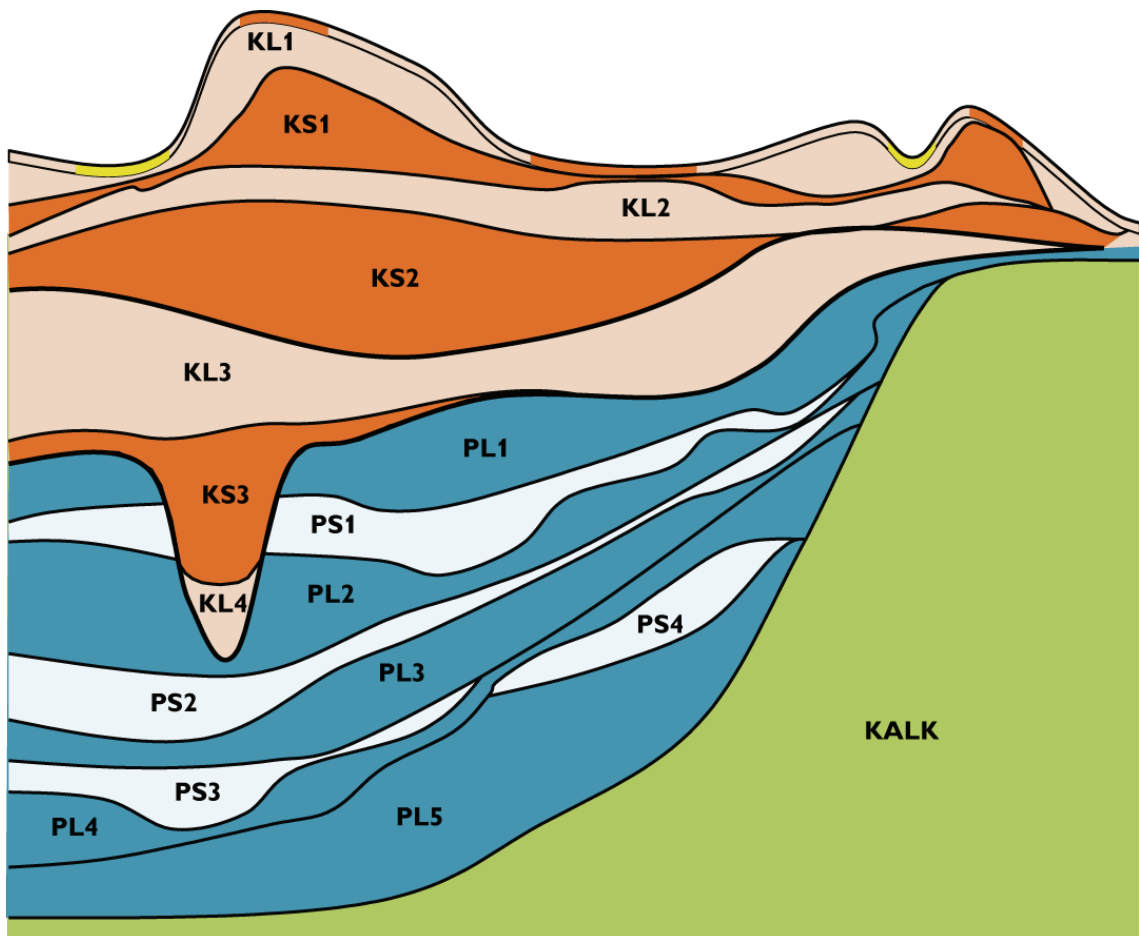
1. Legemer af smeltevandssand og -grus, som især udgør sekundære lokale magasiner. Enhederne, som er det øverste niveau af sandforekomster, ligger omkring kote 30 til 80 m. Laget findes således udbredt i de højereliggende områder. Lagtykkelser mellem 1 og 15 m dominerer.
2. Vandførende smeltevandssand og -grus enheder. Dette niveau indeholder de fleste regionale primære magasiner og har en relativ stor udstrækning med lagtykkelser mellem 5 og 25 m som de dominerende i mange områder. Laget kan dog være over 100 m tykt. Laget findes ofte omkring kote -50 til 50 m. Syd for Silkeborg, hvor de miocæne lag ligger tæt på overfladen, er laget under 1 m tykt. Laget er lokalt underinddelt i et øvre og nedre sandlag mellemljret af ler.
3. Vandførende smeltevandssand og -grus enheder, som udgør et nedre magasin. Magasinerne i dette niveau har begrænset udstrækning med tykkelser på over 5 m. Formen er ofte som begravede dale udfyldt med sand, hvor tykkelsen kan komme over 100 m. Enhederne mangler hvor de prækvartære aflejringer ligger højt, som i store dele af det centrale Jylland. Enhederne findes ofte omkring kote -70 til -20 m. Laget er lokalt underinddelt i et øvre og nedre sandlag mellemljret af ler.

De fire prækvartære niveauer med sandlegemer er karakteriseret ved (fra den prækvartære overflade og ned):

4. Legemer af vandførende glimmersand og kvartssand som ofte udgør primære dybe magasiner, som stratigrafisk kan knyttes sammen med Odderup Formationen, og er udbredt især i området vest for Hovedopholdslinien. Enhederne ligger hovedsagligt mellem kote -100 og 25 m. Tykkelsen er ofte mellem 5 og 25 m, men kan være op til 100 m.

5. Legemer af vandførende glimmersand og kvartssand som ofte udgør primære dybe magasiner, som stratigrafisk kan knyttes sammen med Bastrup Formationen, og er udbredt især i det centrale Jylland. Tykkelsen ligger mellem 5 og 70 m med enkelte områder med over 100 m tykkelse. Enhederne ligger hovedsagligt mellem kote -100 og 20 m. Laget er lokalt underinddelt i et øvre og nedre sandlag mellemløjret af ler.
6. Kwartssand er her den dominerende bjergart i de sandlegemer, der udgør disse dybtliggende primære magasiner. Enhederne er korreleret til Ribe Formationen og findes kun i den sydlige del af Jylland. Tykkelsen er fra 10 til 60 m, og de ligger fra kote -200 til -30 m.
7. De dybeste prækvartære sandmagasiner er stratigrafisk knyttet til Billund Formationen. Udbredelsen ligger i det centrale Jylland og ud under Nordsøen. Bjergarterne er kvartssand og glimmersand med en tykkelse mellem 10 og 30 m, men de kan blive op til 90 m tykke. Enhederne ligger mellem kote -200 til -40 m.

Den hydrostratigrafiske model for Jylland er opbygget med samme antal lag som den geologiske model. For at kunne opløse de lokale variationer med underinddeling af nogle af sandlagene, er der for disse sandlag defineret en lagflade for top og bund af såvel øvre og nedre del. Den hydrostratigrafiske model indeholder således i alt 25 flader. Figur 7 viser en principskitse for den hydrostratigrafiske model, mens Tabel 1 giver en beskrivelse af de enkelte lag.



Figur 7. Principskitse for den hydrostratigrafiske model for Jylland. Lagene KS2, KS3 og PS2 er lokalt underinddelt i en øvre og nedre del.

Tabel 1. Oversigt over de hydrostratigrafiske lag samt de afgrænsende flader for Jylland.

Nr.	Navn	Topflade	Bundflade	Primære bjergart	Bemærkning
1	LST	jyll-topo_0	jyll-top3m	Blandet	Øverste 3 m defineret på baggrund af jordartskort
2	KL1	jyll-top3m	jyll-ks1t	Ler	Fra 3 m under terræn til øverste sandenhed
3	KS1	jyll-ks1t	jyll-ks1b	Sand	Kvartært sand KS1, kan indeholde ler pixler
4	KL2	jyll-ks1b	jyll-ks2t	Ler	Kvartært ler adskiller KS1 og KS2, kan indeholde sand pixler
5	KS21	jyll-ks2t	jyll-lks2t	Sand	Øverste del af kvartært sand KS2, kan indeholde ler pixler
6	LKS2	jyll-lks2t	jyll-lks2b	Ler	Lokalt kvartært ler i KS2
7	KS22	jyll-lks2b	jyll-ks2b	Sand	Nederste del af kvartært sand KS2, kan indeholde ler pixler
8	KL3	jyll-ks2b	jyll-ks3t	Ler	Kvartært ler adskiller KS2 og KS3, kan indeholde sand pixler
9	KS31	jyll-ks3t	jyll-lks3t	Sand	Øverste del af kvartært sand KS3, kan indeholde ler pixler
10	LKS3	jyll-lks3t	jyll-lks3b	Ler	Lokalt kvartært ler i KS3
11	KS32	jyll-lks3b	jyll-ks3b	Sand	Nederste del af kvartært sand KS3, kan indeholde ler pixler
12	KL4	jyll-ks3b	jyll-ks4t	Ler	Kvartært ler adskiller typisk KS3 og Prækvartær overfladen, indeholder ofte både sand og ler pixler
13	KS4	jyll-ks4t	jyll-preq	Sand	Lokalt sand placeret direkte på prækvartæret KS4
14	PL1	jyll-preq	jyll-ps1t	Ler	Prækvartært ler adskiller prækvartær overfladen og PS1, indeholde ofte både sand og ler pixler
15	PS1	jyll-ps1t	jyll-ps1b	Sand	Prækvartært sand PS1, kan indeholde ler pixler
16	PL1	jyll-ps1b	jyll-ps2t	Ler	Prækvartært ler adskiller PS1 og PS2, kan indeholde sand pixler
17	PS21	jyll-ps2t	jyll-lps2t	Sand	Øvre del af prækvartært sand PS2, kan indeholde ler pixler
18	LP2	jyll-lps2t	jyll-lps2b	Ler	Prækvartært ler i PS2
19	PS22	jyll-lps2b	jyll-ps2b	Sand	Nedre del af prækvartært sand PS2, kan indeholde ler pixler
20	PL3	jyll-ps2b	jyll-ps3t	Ler	Prækvartært ler adskiller PS2 og PS3, kan indeholde sand pixler
21	PS3	jyll-ps3t	jyll-ps3b	Sand	Prækvartært sand PS3, kan indeholde ler pixler
22	PL4	jyll-ps3b	jyll-ps4t	Ler	Prækvartært ler adskiller PS3 og PS4, kan indeholde sand pixler
23	PS4	jyll-ps4t	jyll-ps4b	Sand	Prækvartært sand PS4, kan indeholde ler pixler
24	PL5	jyll-ps4b	jyll-kalk	Ler	Prækvartært ler adskiller PS4 og KAL, kan indeholde sand pixler,
25	KAL	jyll-kalk	jyll-bund	Kalk	Vandførende del af kalk, tykkelse sat til 50 meter overfladen er sammenfaldende med Prækvartær overfladen i Nordjylland

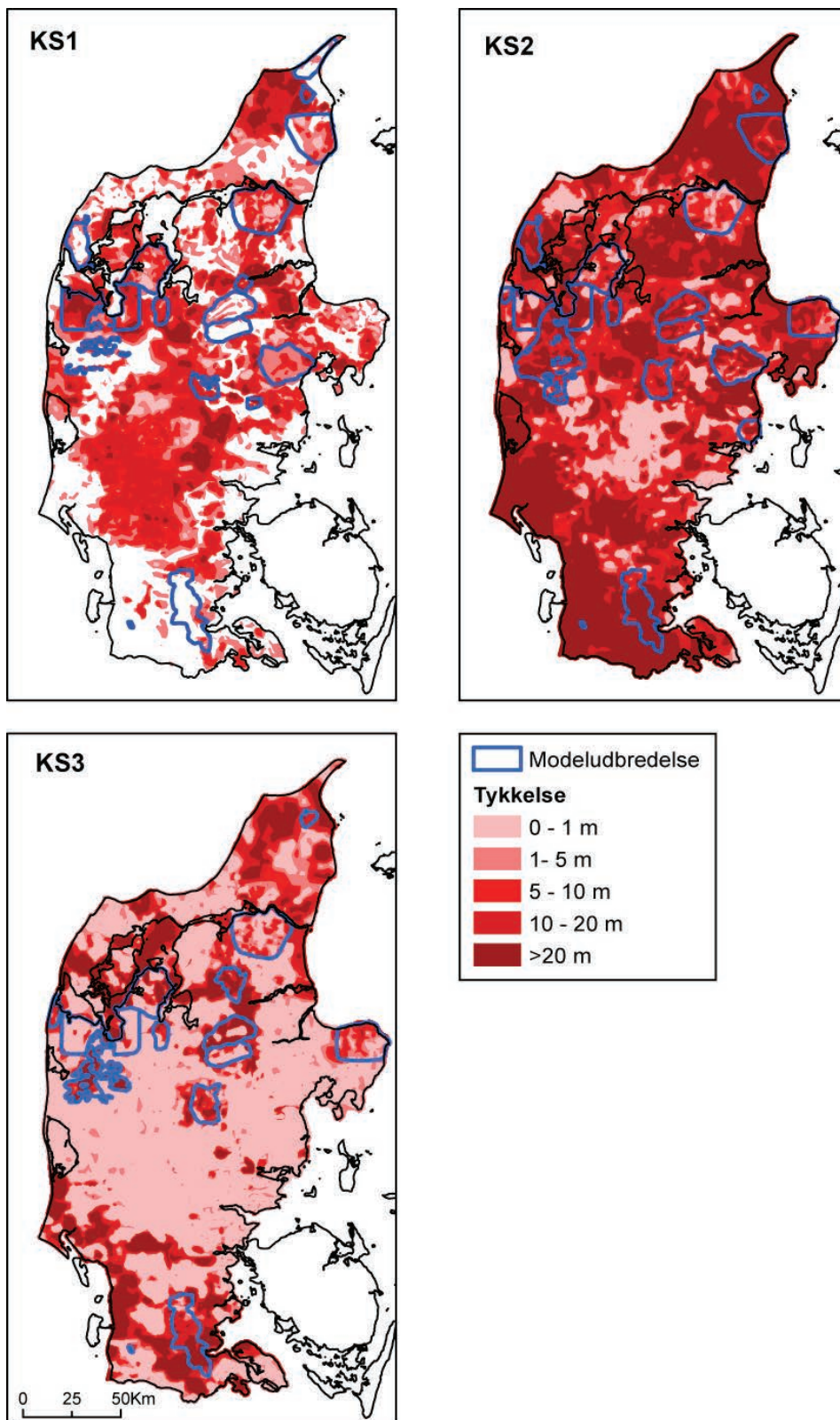
For lavpermeable enheder er den vertikale hydrauliske ledningsevne den vigtigste parameter, hvorimod den horisontale ledningsevne har mindre betydning. Den vertikale hydrauliske ledningsevne afhænger bl.a. af forekomsten af sprækker og sandvinduer. Da udbredelsen af sprækker og sandvinduer imidlertid ikke kendes i detaljer, er det i modellen antaget, at leret har en ensartet horisontal og vertikal hydraulisk 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 tryk niveauforskel. 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. Det er dog antaget, at leret i de øverste 3 m, hvor det geologiske lag er defineret på baggrund af jordartskortet, er opsprækket og har en højere hydraulisk ledningsevne end det øvrige ler.

For sandenhederne findes der relativt få data fra pumpe-test samt data om 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.

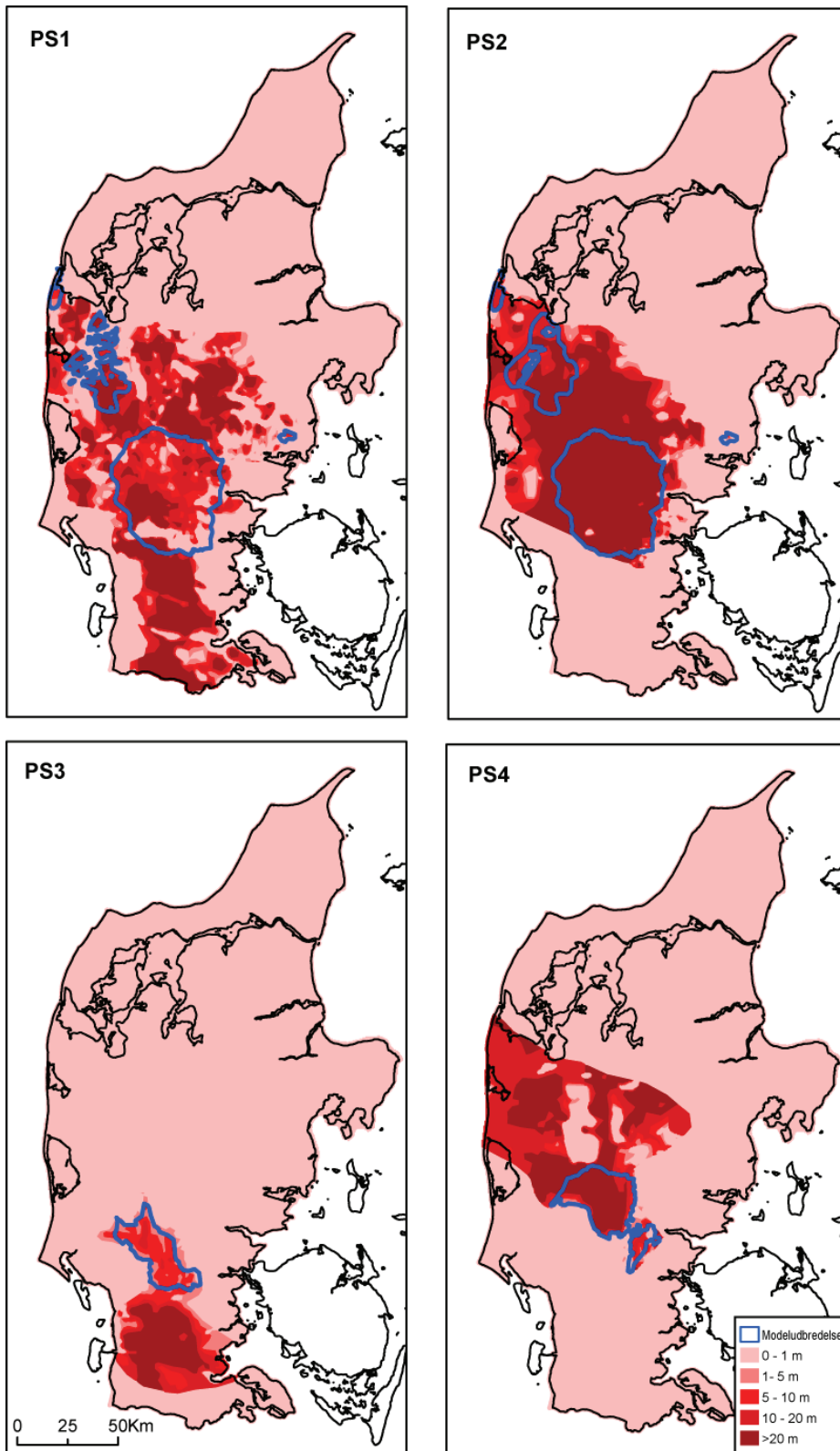
I Syd- og Midtjylland ligger de prækvartære kalkaflejringer for dybt til at have interesse for indvinding. I modelområde 5 er kalkmagasinet betydende mod nordvest afgrænset ved en linje strækkende sig fra det midterste af Djursland og op til Randers og Hobro, hvor de prækvartære afljeringer har en besgrænset udbredelse (Figur 9 og Figur 11).

Ikke alle hydrostratigrafiske lag er til stede over det hele. Hvor et lag ikke er eksisterende er top og bundflade for laget sammenfaldende, så laget har ingen tykkelse. Udbredelse og tykkelse af de hydrostratigrafiske magasinlag er vist på Figur 8 og Figur 9 for hhv. den kvartære og prækvartære lagpakke, mens de mellemliggende vandstandsede lag for de to perioder er vist på hhv. Figur 10 og Figur 11. Områder hvor de to prækvartære magasiner KS2 og KS3 samt det prækvartære magasin PS2 er underinddelt i en øvre og nedre del fremgår af Figur 12.

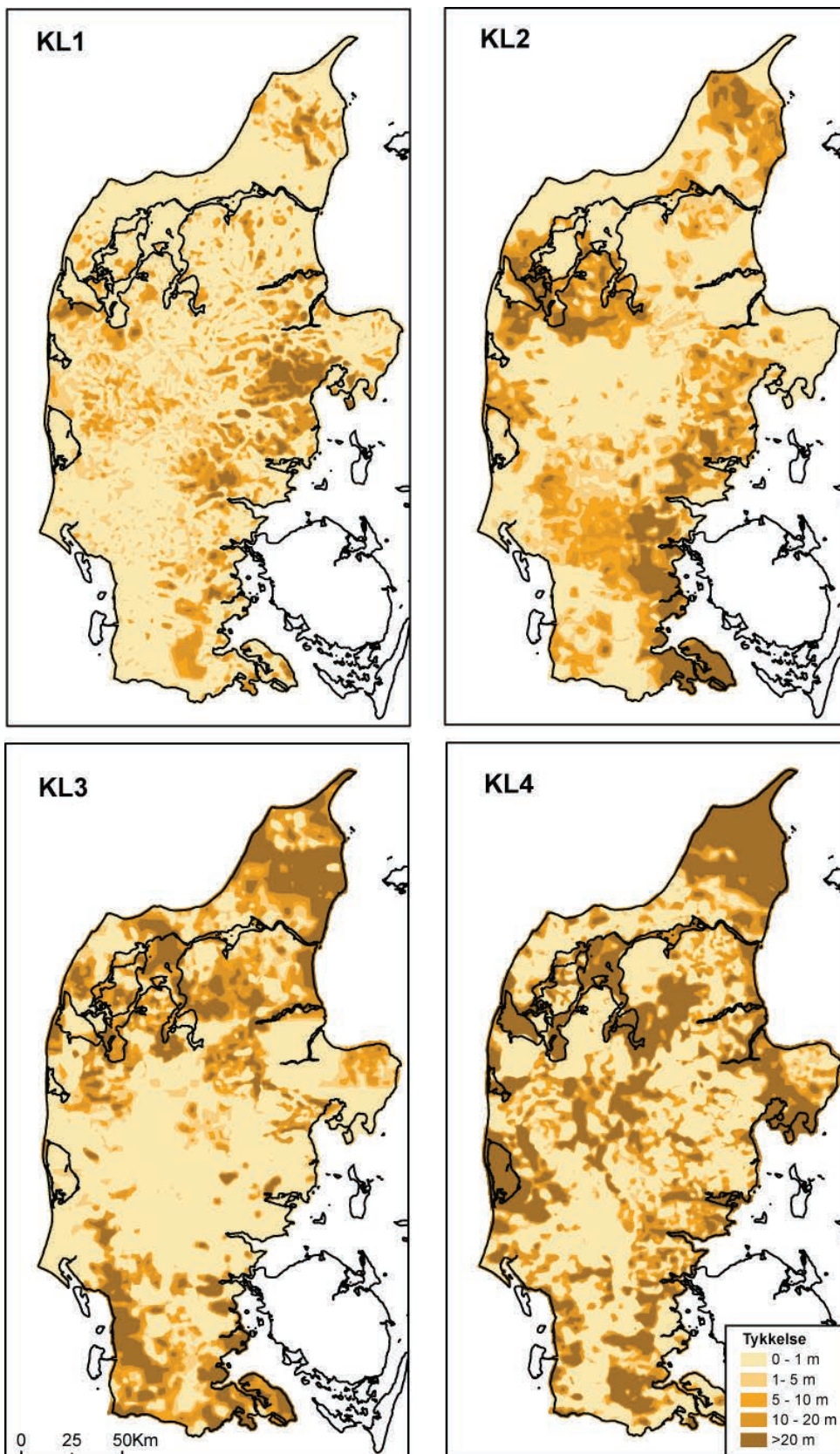
Datagrundlaget samt fremgangsmetoden for konstruktion af de hydrostratigrafiske lag for Jylland er nærmere beskrevet i Nyegaard et al. (2010).



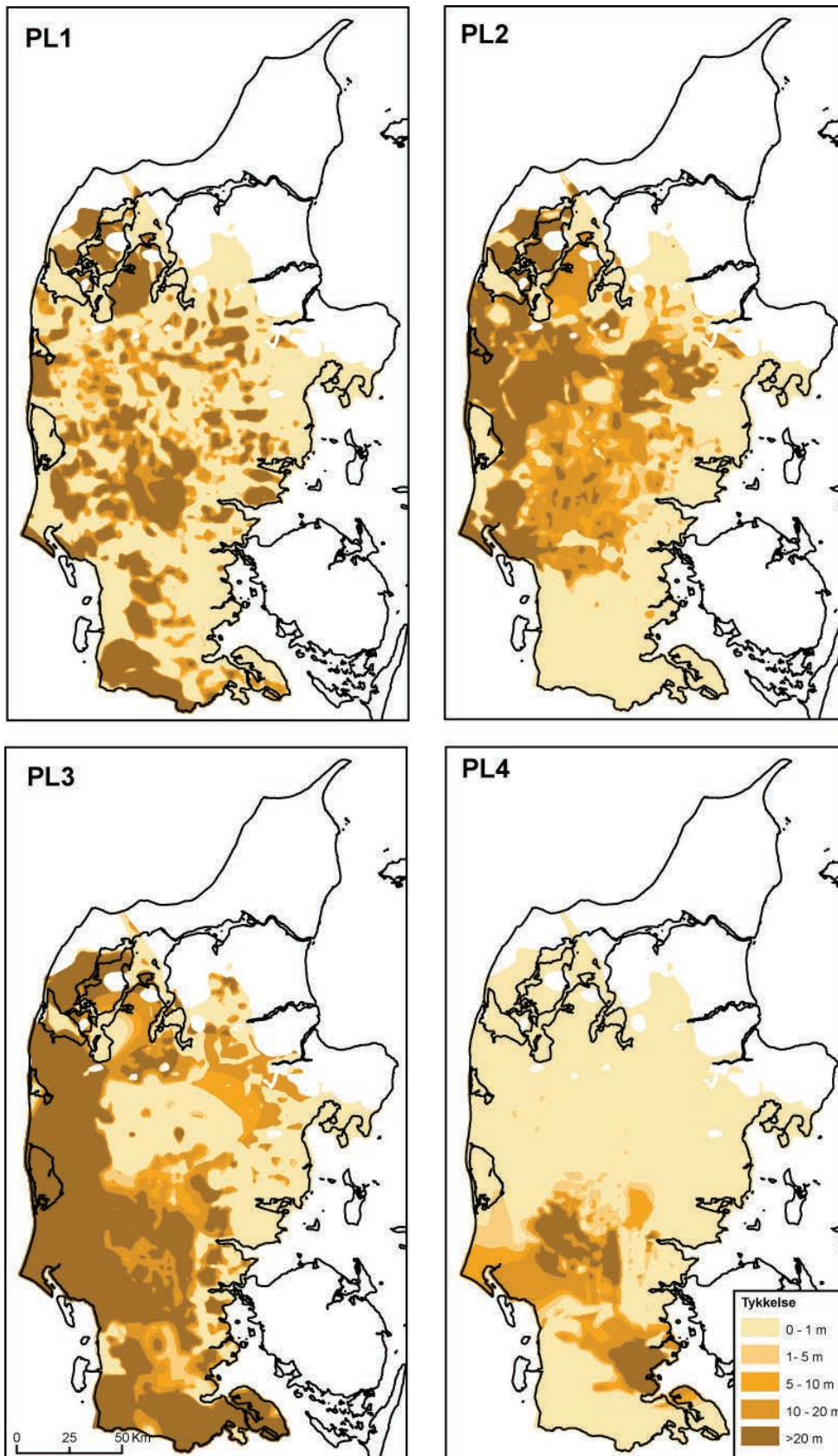
Figur 8. Udbredelse og tykkelse af kvartære sandmagasiner. De blå polygoner angiver udbredelsen af lokalmodellerne, der er medtaget under den geologiske opdatering.



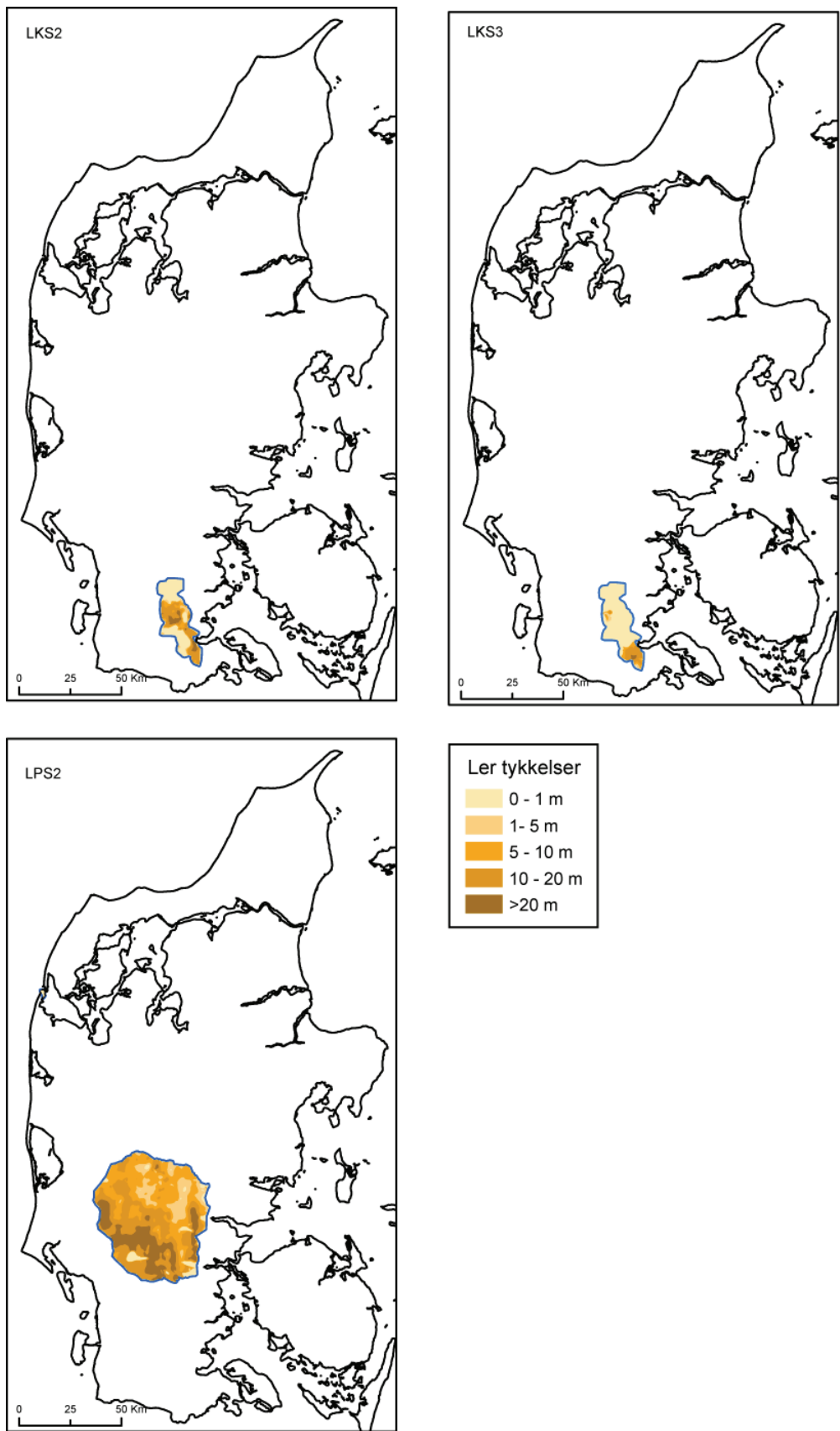
Figur 9. Udbredelse og tykkelse af prækvartære Miocæne sandmagasiner. De blå polygoner angiver udbredelsen af lokalmodellerne, der er medtaget under den geologiske opdatering.



Figur 10. Udbredelse og tykkelse af ler mellem kvartære sandlegemerne.



Figur 11. Udbredelse og tykkelse af ler mellem prækvartære sandlegemerne.



Figur 12. Udbredelse og tykkelse af ler der opdeler magasinerne KS2, KS3 og PS2 i en øvre og nedre del.

3.2 Hydrologiske afgrænsninger (randbetingelser)

Et centralt element i opstillingen af en numerisk grundvandsmodel er definitionen af randbetingelserne. De ydre randbetingelser beskriver, hvordan det betragtede hydrologiske system interagerer med det omkringliggende miljø, der ikke beskrives i modellen, dvs. atmosfæren, havet og tilstødende landområder. Herudover skal der specificeres indre randbetingelser, der beskriver interaktionen mellem de simulerede komponenter af vandkredsløbet, f.eks. udveksling mellem grundvandsmagasinet og vandløbene.

3.2.1 Modeloverflade, dræn og vandløb

Randbetingelsen for modellernes øverste lag er defineret af grundvandsdannelsens størrelse, der beregnes med MIKE SHE's "Two-Layer" modul på daglig basis ud fra nedbør og aktuell fordampning samt regnskab med vandindholdet i rodzonen. Den primære nedsivning til grundvandet sker, når vandindholdet i den umættede zone overstiger markkapaciteten. Der ses bort fra evt. forsinkelse og opmagasinering i den umættede 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 hav 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').

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

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 beskrevet, så der sker en afstrømning til nærmeste vandløb eller havet alt efter et forudbestemt drænkode kort (Figur 25). 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 routningen af vand ud af elementet. Der er anvendt en drændybde på 0,5 meter under terræn i hele modelområdet.

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. Afhængig af de faktiske aflejringer i vandløbsbundene vil vandløbslækage variere såvel mellem vandløb som indenfor ét vandløb. Der eksisterer imidlertid ikke nogen veldokumenteret og operationel metode til at foretage en distribuering af de hydrauliske forhold i vandløbsbunden på stor skala. Det er derfor valgt at anvende en uniform vandløbslækagekoefficient for alle vandløb i modelområdet. Den samlede modstand mellem vandløbet og magasinet kan imidlertid gøres afhængig af såvel lækagen i vandløbsbunden som den omkringliggende geologi (se afsnit 4.4). Denne metode er anvendt i modelopstillingen og der opnås herved en distribuering af modstanden mellem grundvandet og vandløbet, baseret på den vandløbsnære geologi

3.2.3 Ydre modelrande

Mod øst og vest er modellen afgrænset ved havet. 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 ca. 1,5 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 variabel 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. Det blev derfor valgt at bibeholde opsætningen med et fastholdt tryk for det øverste beregningslag og no-flow for de øvrige beregningslag.

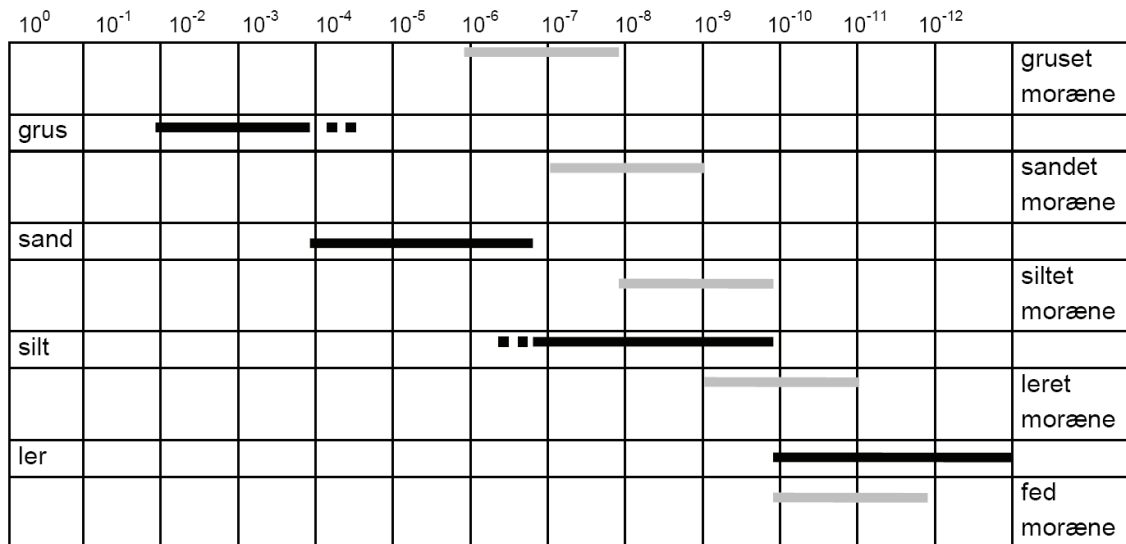
Modellens afgrænsning på landdelen er mod nord og syd defineret på baggrund af topografiske oplande og indlagt som no-flow rand. Dette vil give en troværdig randbetingelse for den overfladiske afstrømning samt de øverste modellag, hvor grundvandsstrømningen primært er styret af den topografiske variation. For de dybereliggende modellag kan der imidlertid ikke garanteres sammenfald mellem grundvandsskel og topografiske oplande. Erfaringerne fra den første version af DK-modellen viste for eksempel, at der for de dybereliggende lag i Jylland ikke er sammenfald mellem den Jyske højderyg og grundvandsskel. I DK-model2009 er det derfor valgt, at definere de landbaserede modelrande som øst - vestgående rande, der strækker sig hele vejen på tværs af Jylland. Som udgangspunkt antages disse rande at være no-flow rande.

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

3.3 Hydrauliske størrelser

Størrelsen af den hydrauliske ledningsevne (K) 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 13, 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 13. Den hydrauliske ledningsevnes størrelse og variation i m/s (efter Carlsson og Gustafson, 1984).

Den hydrostratigrafiske model er opbygget i et 500 x 500 m grid. 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 13). 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., 2001) 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 toplag (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.

Sandenhederne antages at have den samme hydrauliske ledningsevne i henholdsvis de kvartære og prækvartære lag. Indenfor hver af disse typer lag er variationerne i transmissiviteten således alene bestemt ved sandenhedernes 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.

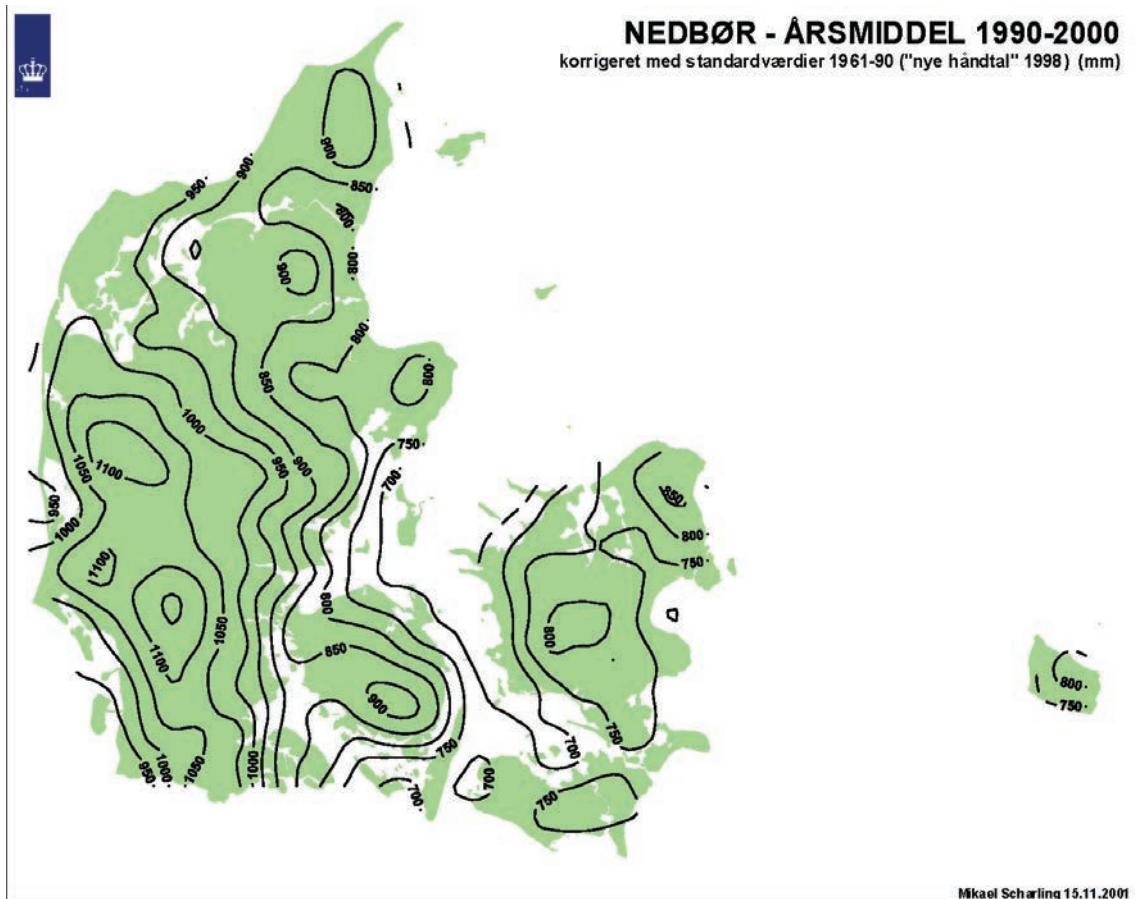
Lerenheder under toplaget antages (som for sandet) at kunne repræsenteres ved én hydrauliske ledningsevne i henholdsvis kvartære og prækvartære lag samt en anisotropi faktor på 10. Det vurderes, at den effektive horisontale ledningsevne for disse lerenheder varierer indenfor intervallet: 10^{-8} - 10^{-6} 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. Da indvindingerne samt pejleboringer primært vil være relateret til den mest porøse del af kalken, forventes den optimale hydrauliske ledningsevne for kalken at ligge i den øvre ende.

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.

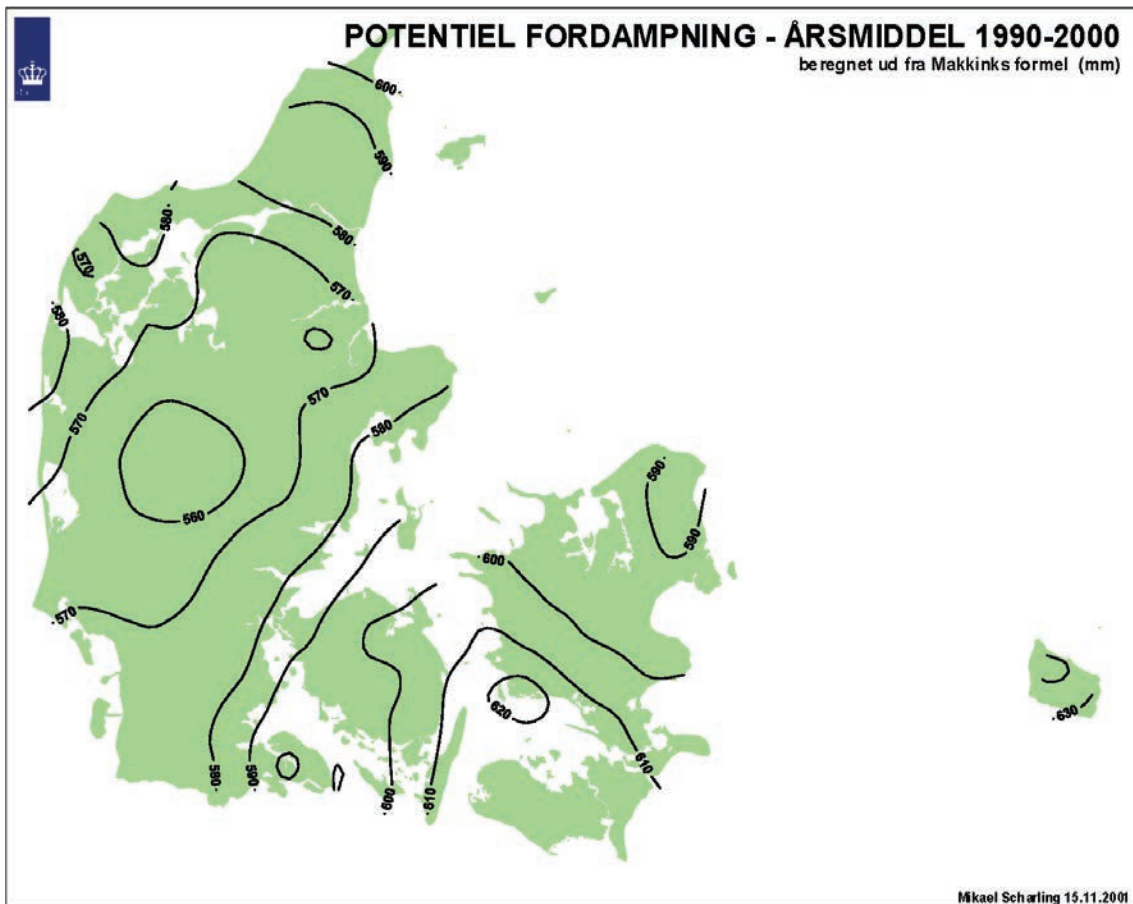
3.4 Vandbalanceforhold

Middel årlig nedbør for perioden 1990-2000 er angivet på Figur 14. Den korrigerede nedbør for perioden varierer således mellem ca. 800 mm/år i de østlige kystområder til over 1100 mm/år for den centrale del af Jylland (Scharling & Kern-Hansen, 2002).



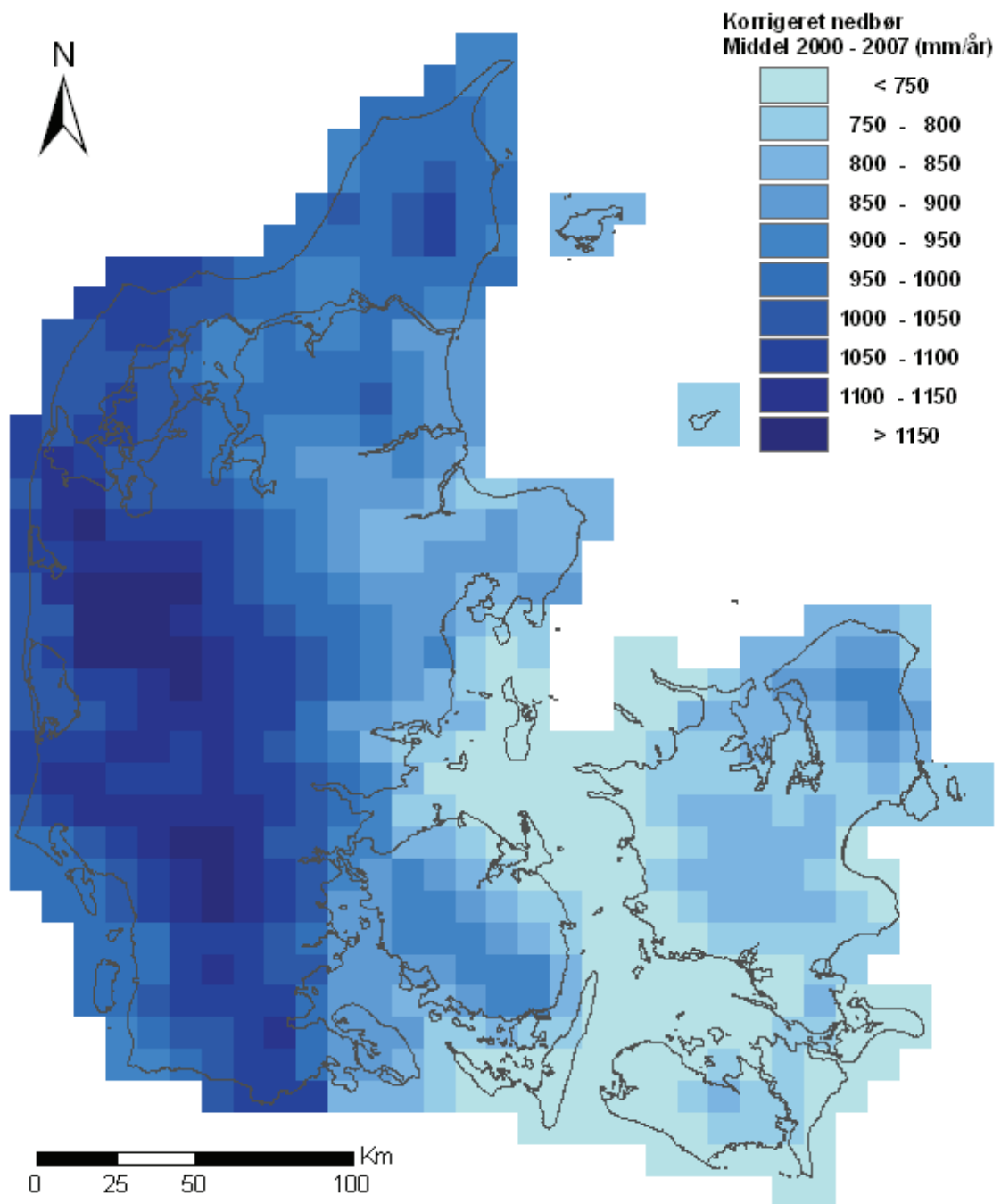
Figur 14. Middel af årlig korrigeret nedbør (mm/år) for perioden 1990-2000 (Scharling & Kern-Hansen, 2002)

Årsmiddel for reference fordampningen beregnet ved Makkink for perioden 1990 – 2000 er vist på Figur 15. Af figuren fremgår det, at den potentielle fordampning stiger fra mindre end 560 mm/år i de centrale dele til ca. godt 600 mm/år i de kystnære områder.

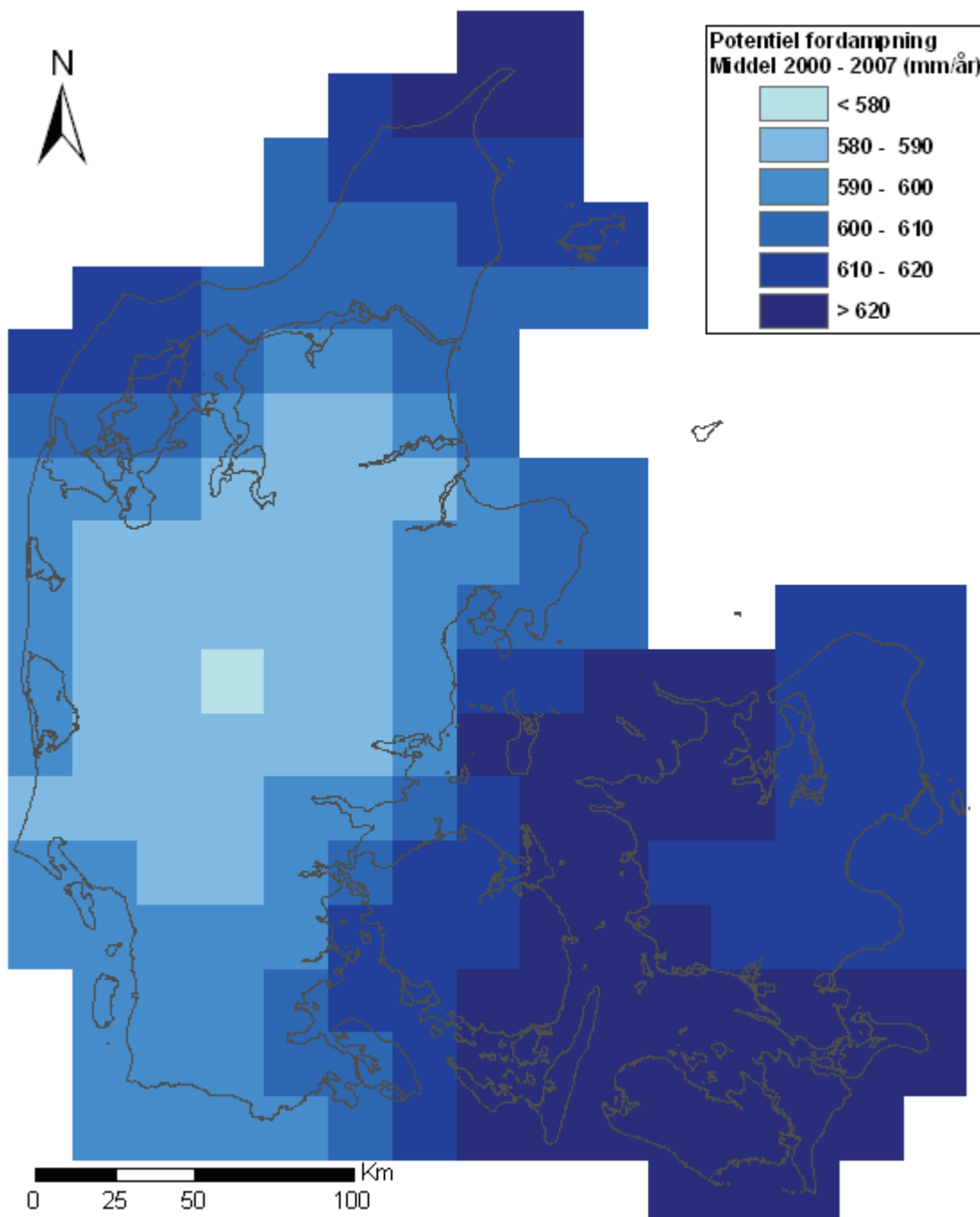


Figur 15. Middelværdi af årlig reference fordampning beregnet ved Makkinks formel for perioden 1990 – 2000 (Scharling & Kern-Hansen, 2002).

Baseret på DMI's 10x10 km klimagrid for nedbør og 20x20 km klimagrid for fordampning er middelværdi af den korrigerede nedbør samt den potentielle fordampning for den samlede kalibrerings- og valideringsperiode (2000 – 2007) beregnet til hhv. 1001 og 589 mm/år for modelområdet for Midtjylland samt 905 og 608 mm/år for hele landet, med en rumlig fordeling som angivet i Figur 16 og Figur 17.



Figur 16. Middel korrigeret nedbør for perioden 2000 – 2007

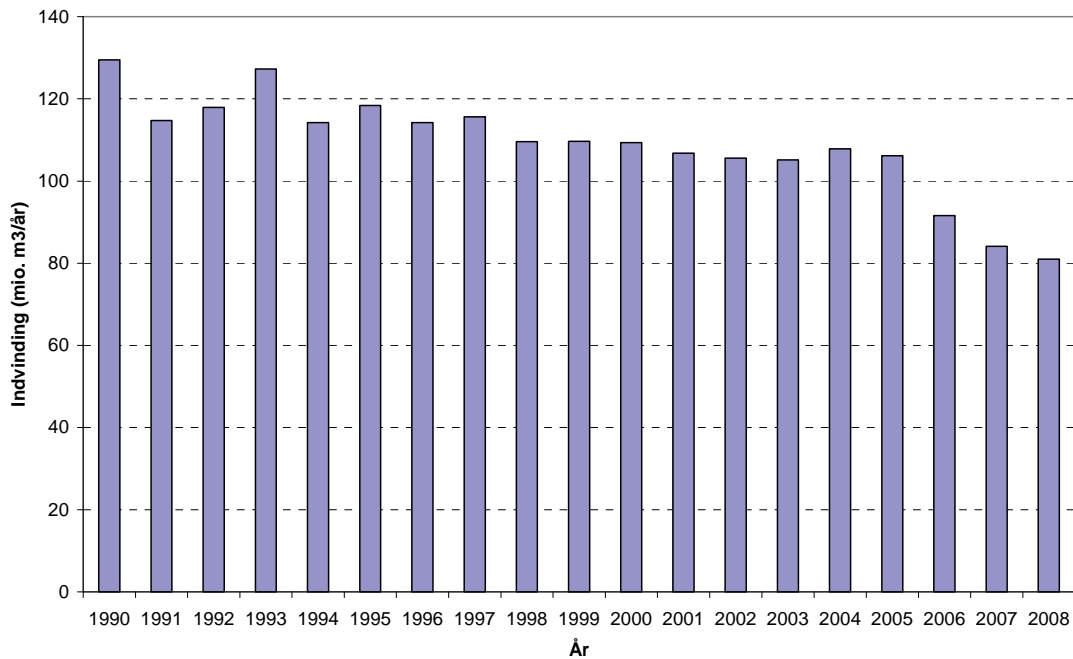


Figur 17. Middel potentiel fordampning for perioden 2000 – 2007

3.5 Indvindingsforhold

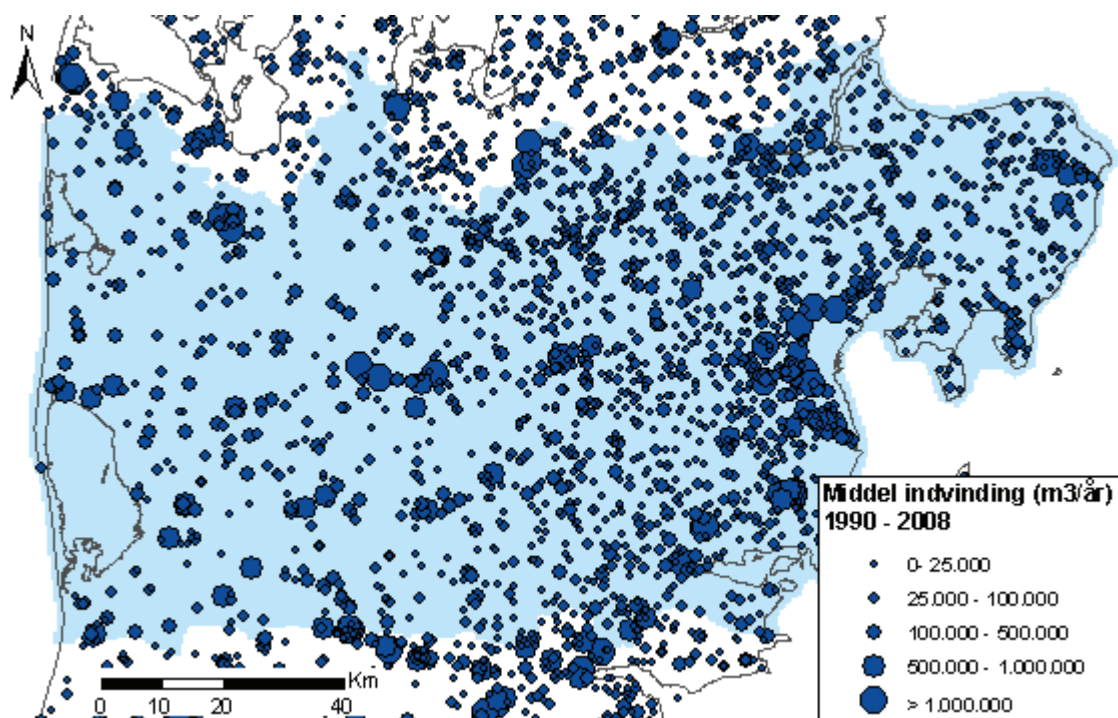
Udviklingen i den samlede indvinding for modelområdet, eksklusiv markvanding, er vist på Figur 18. Heraf fremgår det, at der er sket et mindre fald i indvindingen op gennem 90'erne, med et forholdsvist stabilt niveau fra 1998 – 2005. Fra 2006 ses et fald, der ligger 20 – 30 mio. m³/år under niveau for perioden 1998 – 2005. Da dette fald er sammenfaldende med ikrafttrædelsen af kommunalreformen, hvor der på landsplan generelt er konstateret pro-

blemer mht. manglende indberetning af indvindingsmængder, er det vurderet, at faldet i de tre sidste år ligeledes skyldes manglende data og ikke er udtryk for et reelt fald i indvindingen.

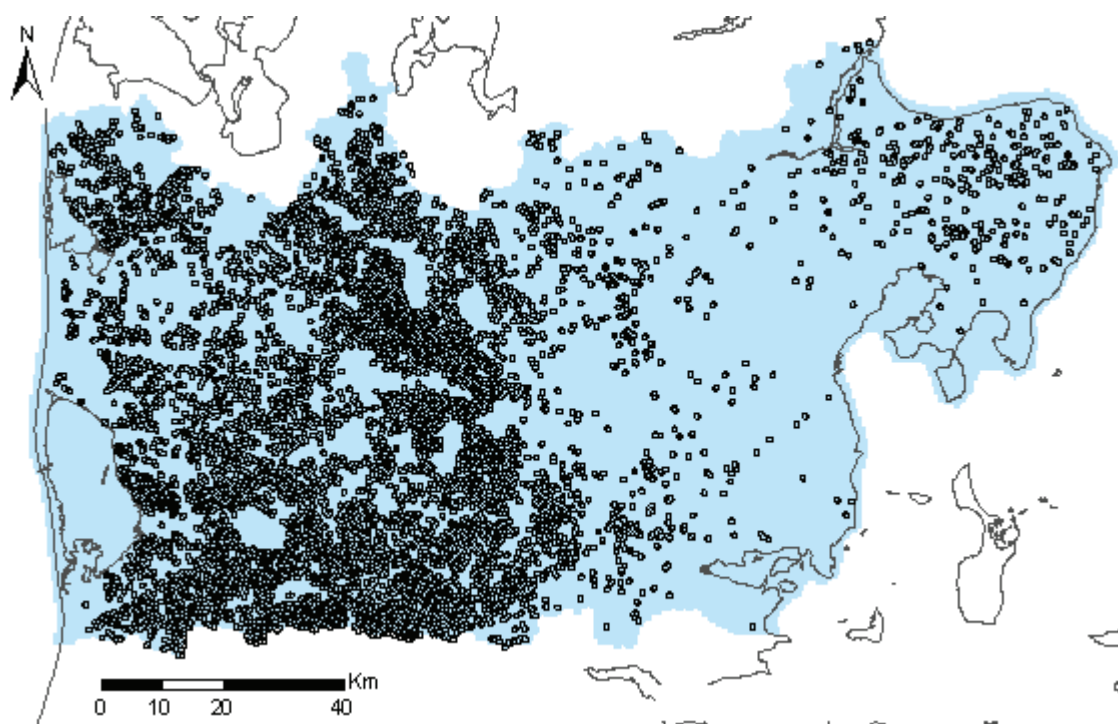


Figur 18. Udvikling i den samlede indvinding (ekskl. indvinding til markvanding) for område 5, Midtjylland

Den rumlige fordeling af indvindingen er angivet på Figur 19, hvoraf det fremgår, at der er store lokale variationer i indvindingsforholdene med de største indvindinger placeret nær de store byområder. På Figur 20 er placeringen af indvindinger til markvanding vist. Det ses, at den vestlige del af modellen med dens sandede topjorde har en meget høj koncentration af markvandingsboringer.



Figur 19. Middel indvinding i perioden 2000 – 2008 angivet på anlægsniveau



Figur 20. Placering af markvandingsboringer

4. Modelsystem

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 2008, men er ved projektets afslutning konverteret til version 2009.

I modelopsætningerne er følgende moduler anvendt:

- Overfladisk afstrømning (OL)
- Evapotranspiration (ET)
- Umættet grundvandsstrømning (UZ)
- 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).

4.1 Overfladisk afstrømning

Overfladisk afstrømning kan genereres ved to mekanismer: 1) når nettonedbøren overstiger infiltrationskapaciteten af jorden og overskydende vand opmagasineres på jordoverfladen, eller 2) når grundvandspotentialen i de øvre frie magasiner stiger over terrænoverfladen. 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, 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.
- *Initial water depth* der angiver en vanddybde på overfladen ved starttidspunktet for simuleringen og er således en startbetingelse for den overfladiske afstrømning. Normalt sættes denne størrelse til 0 mm, dvs. ingen vand på overfladen ved simuleringens start.

4.2 Umættet strømning

MIKE SHE indeholder flere løsningsmetoder til beregning af fordampning og strømning i den øvre umættede del af grundvandszonen (UZ). Metoderne varierer fra komplekse beskrivelser ved eksempelvis Richards ligning kombineret med fordampningsberegninger ved Kristensen og Jensen metoden til mere simple approksimationer baseret på massebalance betragtninger. De mest detaljerede formuleringer må forventes at give den mest korrekte beskrivelse af vandstrømningen. En forudsætning for at opnå en detaljeret beskrivelse af strømningen er imidlertid, at der kan opnås en tilstrækkelig fin distribuering af de jordfysiske parametre samt beskrivelse af det øvre grundvand. Anvendelse af de fysisk baserede løsninger er endvidere problematiske at løse numerisk pga. ikke-linearitet, og dermed forbundet med væsentlig længere beregningstider. Med den anvendte skala på 500 x 500 m gridceller er det vurderet, at den mere korrekte beskrivelse af strømningen i den umættede zone, der vil kunne opnås ved anvendelse af Richards ligning, ikke står mål med den ekstra beregningstid.

Det er valgt, at anvende "Two-Layer" metoden til beskrivelsen af den umættede zone. Metoden beskriver ikke selve strømningen i den umættede zone, men fokuserer på vandbalancen og beregner den aktuelle fordampning og volumen af vand, der infiltrerer den mættede zone. Da der ikke opnås en beskrivelse af vandstrømningen i den umættede zone, vil der ikke opnås en korrekt strømningsdynamik, specielt i områder hvor grundvandsspejlet ligger dybt under terræn. Metoden er derimod velegnet til beskrivelse af en øget fordampning som følge af et grundvandsspejl tæt på terræn, f.eks. i ådale og vådområder. Metoden giver således en forsimplet kobling mellem UZ og SZ, der tager højde for den varierende fordampning, der vil forekomme i tid og sted som resultat af varierende dybde til grundvandsspejlet.

Two-Layer metoden indbygget i MIKE SHE er baseret på formuleringen præsenteret af Yan and Smith (1994). Metoden inkluderer processerne interception, fordampning fra frie vandoverflader og evapotranspiration, mens vegetationen beskrives ved et blad areal indeks (LAI) og en rodzonedybde, der begge kan variere såvel rumligt som tidsligt. Den umættede zone opdeles i to lag. Fordampning og evaporation sker fra det øverste lag, der strækker sig fra terræn og ned til den dybde, hvorfra vandet er tilgængeligt for planterne, dvs. den samlede dybde af rodzonen og den kapillære zone (benævnt extinction depth). De fysiske egenskaber for laget antages at være homogene dvs. der regnes med en midlet vandmætning og ikke en varierende vandmætning. Det andet lag strækker sig fra bunden af det øverste lag og ned til grundvandsspejlet. Står grundvandsspejlet højere end extinction depth, vil kun det øverste lag eksistere. Står grundvandsspejlet i terræn, er der ingen umættet zone, og tykkelsen af det øverste lag er nul. Afhængig af grundvandsspejlets placering vil vandindholdet i den umættede zone variere. Det maksimale vandindhold i rodzonen aftager lineært med grundvandsspejlets placering fra fuldt mættede forhold (grundvandsspejlet står i terræn) til en vandmætning svarende til markkapaciteten, dvs. grundvandsspejlet står under extinction depth, og der sker en fri dræning. Det minimale vandindhold varierer ligeledes lineært ned til et vandindhold svarende til visnegrænsen, der optræder, når grundvandsspejlet ligger under extinction depth. Vandmængden til rådighed for fordampning er forskellen mellem det maksimale og minimale vandindhold. Med en midlet betragtning over dybden beskrives de hydrauliske egenskaber alene ved vandmætningen ved hhv. fuld

mætning, markkapacitet og visnegrænsen. Disse parametre kan distribueres horisontalt for beskrivelse af en horisontal variation i jordbundsforholdene.

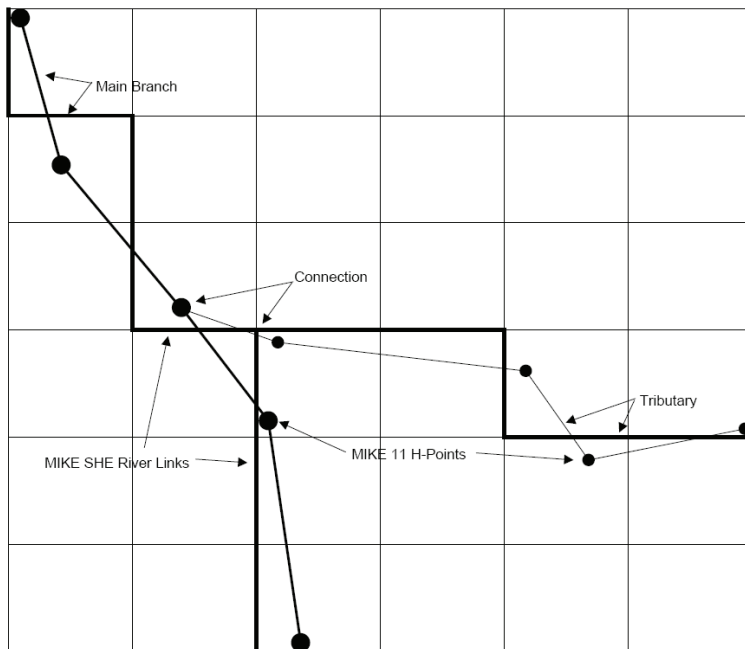
4.3 Grundvandsstrømning

MIKE SHE giver mulighed for løsning af grundvandsstrømningen enten ved en fuld 3D strømningssbeskrivelse eller ved en simpel lineær reservoir løsning. I modelopsætningen beskrevet i nærværende rapport, er den fulde 3D løsning anvendt, der giver en tredimensionel beskrivelse af et heterogent magasinssystem 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 approksimeres ved en finite difference diskretisering, dvs. grundvandssystemet opdeles i rektangulære kasser eller grids, hvor det i MIKE SHE kun er muligt 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 magasinintallene for hhv. frie og spændte magasinforhold.

Ved løsning af grundvandsstrømningen inkluderes udvekslingen mellem grundvand og de øvrige komponenter i kredsløbet: overfladisk afstrømning, rodzonen, vandløb og søer, drænastrømningen 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 21, 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 end en grid størrelsen, vil det derfor være nødvendigt enten at justere den geografiske placering af et af vandløbene, fravælge kobling mellem vandløbet og MIKE SHE eller helt fravælge vandløbet i opsætningen.



Figur 21. Kobling mellem MIKE SHE og MIKE11 (fra DHI, 2008a)

Afstrømningen via dræn er baseret på en empirisk beskrivelse, hvor vandet bliver routet (flyttet) fra en drægenererende celle til en recipient via en lineær reservoir løsning. Drænastrømning forekommer alene i de tilfælde, hvor niveauet for grundvandsspejlet i et givent grid overstiger drænniveauet. Der initieres således kun en drænastrømning, når grundvandsspejlet ligger højere end drænene. 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 indvindingsfilteret. 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 tidsserier 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.

For indtag anvendt til markvanding er det muligt at lade indvindingen være behovsstyret. I dette tilfælde angives den indvundne mængde ikke men beregnes af MIKE SHE, på basis af vandunderskuddet i rodzonen. For at kunne anvende MIKE SHE's markvandringsrutine skal UZ og ET modulerne være medtaget i modelopsætningen. I markvandringsopsætningen skal der angives 'Irrigation Command Areas' og et 'Irrigation demand'. Førstnævnte beskriver hvorfra vandet skal indvindes (f.eks. vandløb eller grundvand) og hvordan det påføres modellen, mens sidstnævnte angiver betingelserne for hvornår og hvor meget der skal vandes samt de områder der skal vandes. Der er mulighed for at vælge mellem forskellige kildetyper herunder vandløb eller enkelt boring. Med kildetypen "single wells" er det muligt at angive de enkelte indtag anvendt til markvanding og indplacere disse i modellen ved deres geografiske placering (x, y og z-koordinater). Vandet kan påføres marken på tre forskellige måder: Sprinkler (sprinkler), dryp (drip) eller flade (sheet) vanding. Ved sprinkler metoden påføres vandet som ekstra nedbør, mens det ved dryp vanding tilføres direkte til jordoverfladen som opstuvet vand. Ved flade vanding skal der specificeres et areal indenfor Command arealet, hvor vandet tilføres på overfladen som opstuvet vand og derfra via overfladisk afstrømning kan blive distribueret til tilstødende modelceller. Hvornår og hvor meget der skal vandes kan specificeres ved forskellige behovstyper, fx vandindholdet i rodzonen eller en "afgrøde-stress-faktor", der er et mål mellem den faktiske evapotranspiration og en afgrøde specifik evapotranspiration.

4.4 MIKE11

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" punkter, 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" punkter 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 (flyttes) nedstrøms i systemet. Til beskrivelse af vandløbsstrømningen i DK-modellen er det valgt at anvende en forholdsvis simpel løsningsmetode "kinematic routing". 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 indlagte vandløbstværsnit. Ved 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 Manningtal (M) 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 inkludere 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 grundvandspotentialet 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.

5. Modelopstilling

Modellen dækker et samlet areal på i alt 12498 km², hvoraf landdelen udgør 11578 km².

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

UTM nord 6175000 – 6280000

UTM øst 439000 – 624000

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 ca. 1,5 km uden for kysten. Modellen er opstillet med horisontal diskretisering på 500 x 500 m, og består af 49993 aktive celler pr. lag, eller i alt 563387 aktive celler. For det øverste beregningslag udgør landdelen 46074 gridceller, mens de øvrige gridceller definerer fjord og hav.

I det vertikale plan er den hydrostratigrafiske model repræsenteret i den numeriske grundvandsmodel ved anvendelse af gennemgående beregningslag. I beregningsmodellen er de tre øverste lag ned til bunden af det første sandlag (KS1) slået sammen, dvs. toplaget på 3 m, leret mellem toplaget og KS1 og endelige sandenhederne i KS1. KS2 samt leret mellem de øvre sandmagasiner (KL2) er repræsenteret ved individuelle beregningslag. Lerlaget KL3 samt den underste kvartære sandenhed (KS3) har kun en meget begrænset udbredelse indenfor modelområdet, og er derfor slået sammen til ét beregningslag. I den prækvartære lerpakke genfindes PS3 ikke indenfor modelområdet, hvorfor der kun er defineret selvstændige beregningslag for de øvrige tre niveauer af prækvartært sand. De kvartære og prækvartære sandlegemer er lagt ind i modellen ved at benytte deres tolkede top og bund. 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 1 m for beregningslagene, der automatisk genereres af MIKE SHE under preprocesseringen. Mellem hvert sandlag er der defineret beregningslag til repræsentation af leret mellem de forskellige niveauer af sandlegemer. I hovedparten af modelområdet genfindes der kun prækvartære lavpermeable enheder under sandet PS4, der er slået sammen i det underste beregningslag fra bund af PS4 til bund af model. På Djursland er kalken højtliggende, og de vekslende prækvartære sand og lerenheder genfindes ikke her. Det betyder, at de prækvartære beregningslag antager minimumstykkelsen på Djursland, og geologisk set består af kalk. Da bunden af modellen er defineret 50 m under kalkoverfladen, og denne er dybtliggende, er tykkelsen af det underste beregningslag meget stor. Den numeriske model består således af 11 beregningslag. Den vertikale opdeling af modellen er illustreret på principskitsen, Figur 7, mens en beskrivelse af beregningslagene er angivet i Tabel 2.

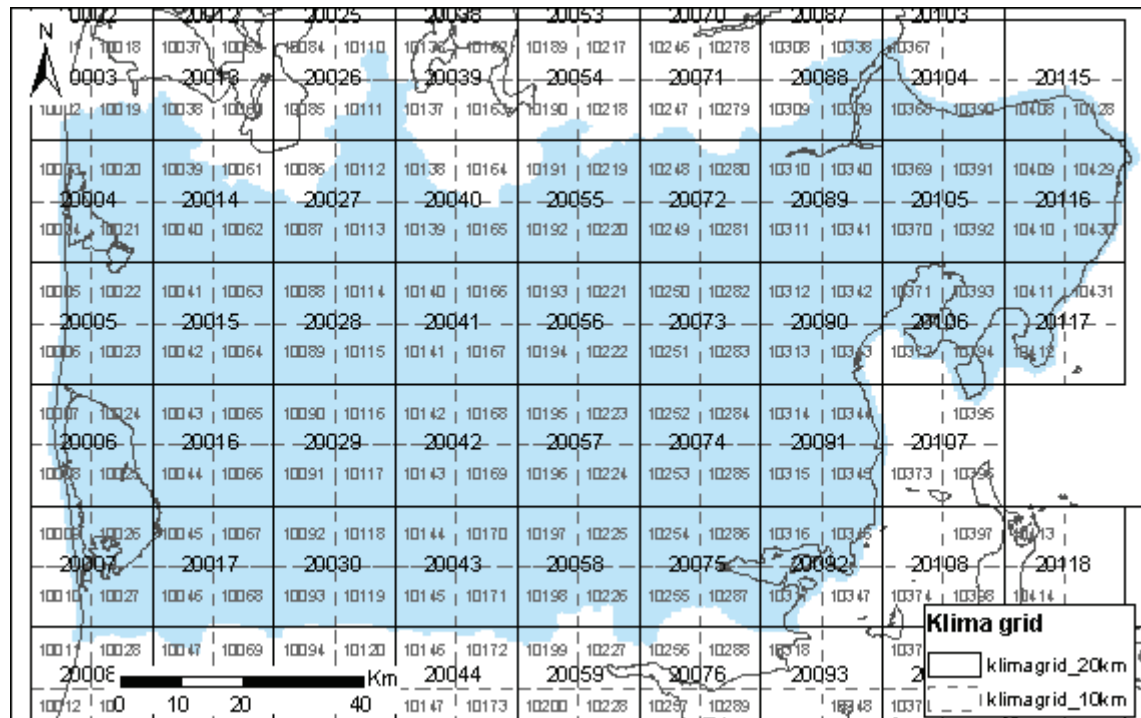
Tabel 2. Oversigt over beregningslagene for område 5, Midtjylland

Beregningslag		Flade for bund af beregningslag	Relation til geologisk og hydrostratigrafisk model
Nr	Navn		
1	blags1b	jyll-blags1b	Fra topografi til bund af KS1 dog minimum 3m under topografien. Geologisk består laget af opsprækket ler og sand/tørv ud fra jordartskortet, kvartært ler og sand i linse KS1
2	ks2t	jyll-ks2t	Fra blags1b til top af KS2. Består primært af kvartært ler (KL2)
3	ks2b	jyll-ks2b	Til bund af KS2. Indeholder primært kvartært sand (KS2). Hvor KS2 ikke er til stede har beregningslaget en minimumstykkelse på 1 m.
4	ks3b	jyll-ks3b	Til bund af KS3. Indeholder primært kvartært sand (KS3). Hvor KS3 ikke er til stede har beregningslaget en minimumstykkelse på 1 m.
5	ps1t	jyll-ps1t	Fra bund KS3 til top af PS1. Består primært af kvartært ler (KL4) og prækvartært ler (PL1)
6	ps1b	jyll-ps1b	Til bund af PS1. Indeholder primært prækvartært sand (PS1)(Kalk på Djursland). Hvor PS1 ikke er til stede har beregningslaget en minimumstykkelse på 1 m.
7	ps2t	jyll-ps2t	Fra bund PS1 til top af PS2. Består primært af prækvartært ler (PL2) (Kalk på Djursland)
8	ps2b	jyll-ps2b	Til bund af PS2. Indeholder primært prækvartært sand (PS2) samt lerlinse i PS2 (LPS2) (Kalk på Djursland). Hvor PS2 ikke er til stede har beregningslaget en minimumstykkelse på 1 m.
9	ps4t	jyll-ps4t	Fra bund PS2 til top af PS4. Består primært af prækvartært ler (PL4) (Kalk på Djursland)
10	ps4b	jyll-ps4b	Til bund af PS4. Indeholder primært prækvartært sand (PS4) (Kalk på Djursland). Hvor PS4 ikke er til stede har beregningslaget en minimumstykkelse på 1 m.
11	bund	jyll-bund	Fra bund af PS4 til bund af model (50 m under kalkoverfladen). Laget antager stor tykkelse og består primært af kvartæret ler underlejret af 50 m kalk. På Djursland består laget alene af kalk.

5.2 Nettonedbør og fordeling til grundvand/overfladevand

Den drivende variabel for grundvandsdannelsen er nettonedbøren, der beregnes med det integrerede Two-Layer UZ-modul baseret på daglige værdier for nedbør, potentiel fordampning og temperatur. Som input er der anvendt DMI klimagrid i opløsningerne 10 x 10 km for nedbør samt 20 x 20 km for temperatur og fordampning, Figur 22 (Scharling, 1999a,

1999b). På tidspunktet for modeopstillingen var 20 x 20 km klimagridene for temperatur og fordampning først tilgængelig fra 1999 og frem, mens de fra 1990 til 1998 lå i 40 x 40 km grids. I modellen er temperatur og fordampningsdata således indlagt i 40 x 40 km grid frem til 1998, hvorefter der er anvendt 20 x 20 km grid.



Figur 22. Numerering af 10x10 km nedbørsgrid og 20 x 20 km temperatur og fordampningsgrid

For at tage højde for systematiske målefejl som følge af befugtningstab og vindkorrektion er der foretaget en korrektion af nedbøren. Korrektionerne følger anbefalingerne i Plauborg et al. (2002) og er således foretaget på månedsbasis. 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

Nedbør der rammer modeloverfladen vil være tilgængelig for nedsivning til grundvandet. En stor del af den nedbør der falder på bebyggede arealer vil imidlertid bortledes direkte til vandløbene via kloakering og således ikke give tilskud til grundvandsdannelsen. Dette er medtaget i modellen ved anvendelse af MIKE SHE optionen "Paved Area", hvor det er mu-

ligt at angive et areal indenfor hvilket en specificeret andel af nedbøren ledes direkte til vandløbet eller til modelranden. Bortledningen af vand fra disse arealer følger dræningsætningen, se herunder. I modellen er de bebyggede områder, Figur 24, angivet som paved areas, og for disse områder bortledes 33% af vandet. For de øvrige områder vil den aktuelle nedsivning være styret af, hvorvidt vandet kan nå at infiltrere indenfor et tidsskridt, hvilket er styret af de hydrauliske egenskaber for overjorden. Den del af nedbøren der ikke kan nå at infiltrere vil være til rådighed for overfladisk afstrømning.

Fordampningen i den umættede zone er betinget af hhv. jordtypen i den umættede zone samt den aktuelle vegetation. I Two-Layer modulet indgår tre jordfysiske parametre til beregning af den mængde vand, der er tilgængelig for fordampning i den umættede zone: vandindhold ved hhv. mætning (θ_s), markkapacitet (θ_{fc}) og visnepunkt (θ_{wp}). Endvidere skal der specificeres en infiltrationskapacitet, der angives som en mættet hydraulisk ledningsevne for overjorden. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (DJF) ved Århus universitet har på basis af laboratorium studier over de jordfysiske parametre for den umættede zone opstillet pedotransferfunktioner, der korrelerer overjordens tekstur med jordfysiske parametre (Børgesen & Schaap, 2005). På basis heraf, og en interpolation af overjordens tekstur for hele landet, er der genereret et 250 x 250 m raster grid over de jordfysiske parametre for hele landet (Greve et al., 2007). I nærværende modelopstilling er dette raster grid aggregeret indenfor hver JB-type, dvs. der er beregnet et landsgennemsnit for hver af de tre jordfysiske parametre indenfor hver jordbunds type (JB-type). JB-typerne 6 – 10 udgør dog kun en meget beskednen andel af det samlede areal for Danmark, og JB-typerne 6 – 10 er derfor slået sammen.

Rodzonedybden afhænger af såvel vegetationstype samt jordbundens beskaffenhed. Rodzonedybden vil således være forskellig for eksempelvis skov og landbrugsarealer, ligesom der vil være forskel på arealer med en permanent afgrøde og arealer, der indgår i almindelig omdriftspraksis. Der vil ligeledes være forskel på rodzonedybden for forskellige landbrugsafgrøder. DJF har udviklet programmet EVACROP til beregning af den aktuelle fordampning og afstrømningen fra rodzonen (Olesen og Heidemann, 2002). I manualen til dette program er der opstillet standardværdier for maksimal effektiv rodzonedybde for forskellige kombinationer af afgrøder og jordbundsforhold. Heraf fremgår det, at den mest betydende faktor for udviklingen af rodzonedybden er jordbundsforholdene, mens den aktuelle landbrugsafgrøde har mindre betydning. Der er således estimeret samme rodzonedybde for 7 ud af 9 forskellige afgrødetyper, og kun græs til afgræsning samt kartofler afviger herfra. I nærværende modelopstilling er det derfor vurderet rimeligt, at rodzonedybden alene er bestemt af jordbundsforholdene, mens der anvendes en enkelt landbrugsafgrøde for alle landbrugsarealer. De maksimale effektive rodzonedybder for de respektive JB-typer er aflæst fra EVACROP manualen, hvor den dominerende rodzonedybde for hver JB-type er anvendt, dvs. rodzonedybderne for græs til afgræsning samt kartofler er udeladt. I EVACROP manualen er der ikke estimeret en rodzonedybde for JB11, der er kendetegnet ved et højt organisk indhold. Indholdet af organisk materiale indeholder imidlertid ingen information om jordbundens øvrige karakteristika, og således ikke om jorden er overvejende leret eller sandet. JB11 findes primært i mindre sammenhængende områder i lavbundsområder. Kun i Nordjylland findes der større sammenhængende områder med JB11, der i stor udstrækning anvendes til kartoffeldyrkning. For JB11 er det valgt at anvende en middel rodzonedybde, hvilket også er en standard rodzonedybde for kartofler på lerede arealer.

Den samlede parameterisering af vandindholdet samt estimerede maksimale effektive rod-zonedybder fremgår af Tabel 4.

Tabel 4. Anvendte kombinationer af jordbundstyper og effektive rodzonedybder

JB-type	Jordtype	Jordfysiske parametre				Vegetationsparameter – kun landbrug
		θ_s (-)	θ_{fc} (-)	θ_{wp} (-)	Ksat (m/s)	Maksimal effektiv rodzonedybde (mm)
1	Grovsandet jord	0.48	0.24	0.039	6.0e-6	500
2	Finsandet jord	0.47	0.28	0.046	6.0e-6	750
3	Grov lerblandet sandjord	0.46	0.27	0.058	6.0e-6	500
4	Fin lerblandet sandjord	0.45	0.30	0.067	6.0e-6	1000
5	Grov sandblandet lerjord	0.44	0.31	0.087	6.0e-7	1000
6	Fin sandblandet lerjord	0.44	0.32	0.091	6.0e-7	1000
7	Lerjord					
8	Svær lerjord					
9	Meget svær lerjord					
10	Siltjord					
11	Humus	0.48	0.34	0.091	6.0e-7	750

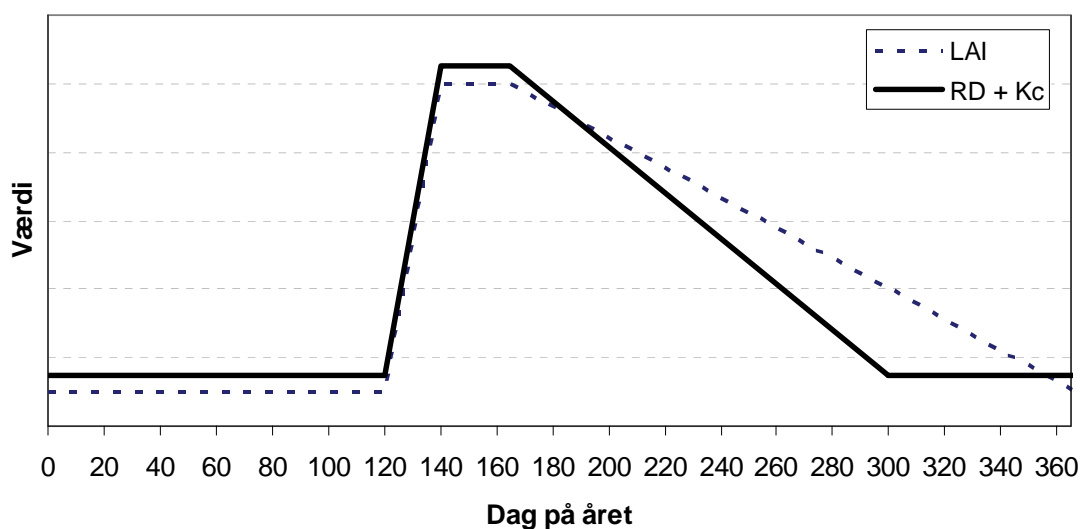
Arealanvendelsen er opdelt i fire "vegetationstyper": 1) Skov, 2) Søer, 3) By og 4) Landbrug. Vegetationstyperne "by" og "søer" er medtaget for at opnå en fordampning fra disse arealer. Jævnfør antagelsen om, at jordtypen er dominerende for rodzoneudviklingen og ikke den aktuelle afgrøde, er vegetationstypen "landbrug" opdelt i 7 grupper svarende til én for hver af JB-typerne 1- 5 samt JB11 og én for JB6 – JB10. For alle vegetationstyper er der specificeret værdier for bladareal indeks (LAI), rodzonedybde (RD) samt en afgrøde koefficient (Kc). Der er kun medtaget en beskrivelse af en årlig udvikling af de tre parametre (LAI, RD og Kc) for landbrugsarealerne, hvor der er anvendt en stepfunktion som illustreret i Figur 23. For alle landbrugsarealer anvendes samme udviklingscyklus for LAI, RD og Kc, Tabel 5, mens den maksimale rodzonedybde for de enkelte JB-typer er angivet i Tabel 4. For de øvrige vegetationstyper er der anvendt én værdi for hele året for samtlige parametre, Tabel 6.

Tabel 5. Udvikling af vegetationsafhængige parametre over året for landbrugsarealerne

Dag på året	LAI	RD	Kc
0	0.5	Afhængig af JB-type med maksimal udvikling som angivet i Tabel 4	1.1
120	0.5		1.1
140	5		1.15
165	5		1.15
300	2		1.1
366	0.5		1.1

Tabel 6. Årlige værdier af vegetationsafhængige parametre for områder der ikke er landbrugsarealer

"Vegetationstype"	LAI	RD	Kc
Skov	6	1000	1.2
Søer	0	1000	1.2
By	5	400	1.1



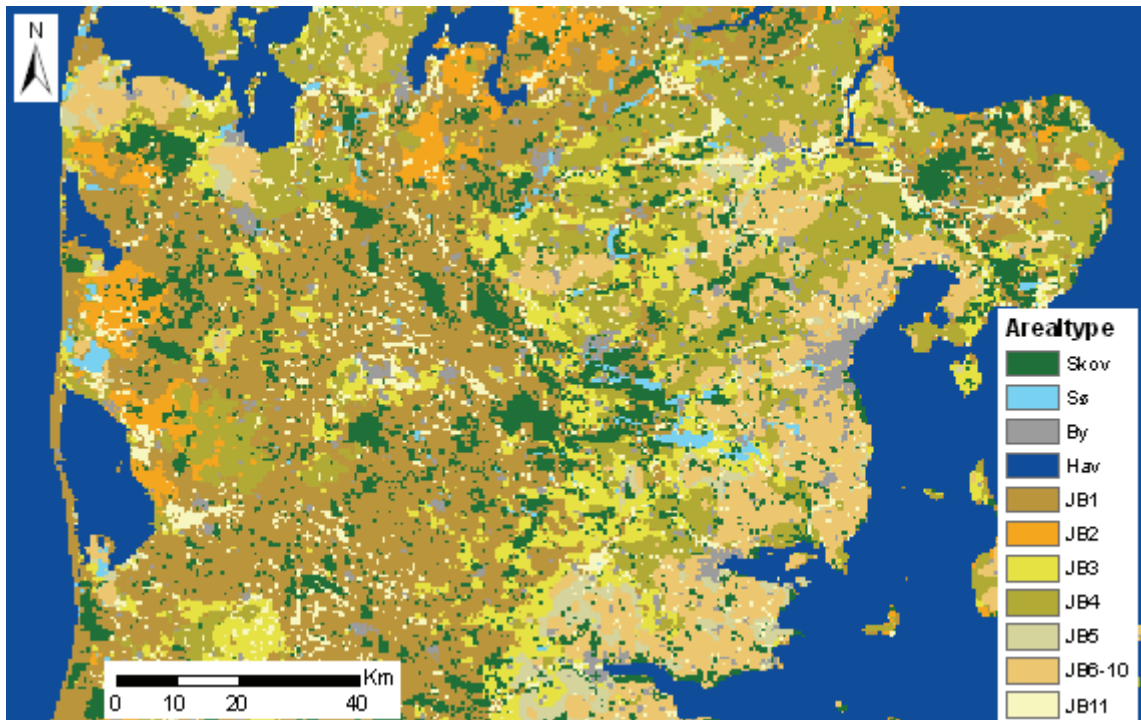
Figur 23. Stepfunktion anvendt til beskrivelse af den sæsonmæssige udvikling i landbrugsafgrøder

Afgrænsningen af de forskellige arealer og vegetationstyper er foretaget på basis af Corine-data [/www.dmu.dk/](http://www.dmu.dk/). Ved hjælp af GIS-bearbejdning er der foretaget en opdeling af samtlige beregningsgrids i areal typerne skov, landbrug, befæstede arealer og søer. Areal typen landbrug er efterfølgende underinddelt i de syv JB-klasser. Efter ovenstående fremgangsmåde er det samlede landareal opdelt i 11 kombinationer af arealanvendelse og vegetationstyper med en arealandel som angivet i Tabel 7 og på Figur 24.

Tabel 7. Fordeling af areal- og vegetationstyper

Areal type	Skov	Søer	By	Hav	JB1 Landbrug	JB2 Landbrug	JB3 Landbrug	JB4 Landbrug	JB5 Landbrug	JB6-10 Landbrug	JB11 Landbrug
Areal (km ²)	1512	135	421	944	3850	326	1176	1859	234	1308	733
Andel (%)	12	1	3	8	31	3	9	15	2	10	6

Der er genereret klimafilere dækkende hele landet for hhv. nedbør, potentiel fordampning samt temperatur. Filerne er gemt i MIKE ZERO's dfs2 format, hvor det er muligt at gemme i 2D/tidsenhed.

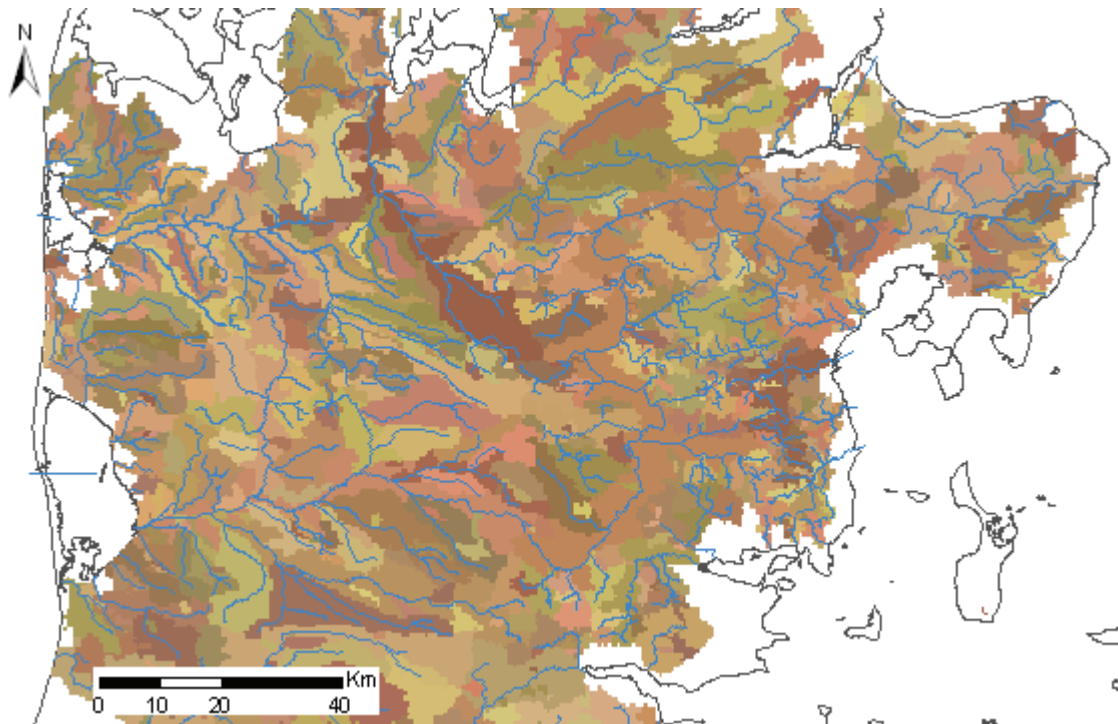


Figur 24. Rumlig fordeling af arealtypekoder

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. Oplandene er defineret på basis af DMU's GIS-polygontemaer over vandløbsoplande. Indledningsvist er temaerne for 1., 2. og 3. ordens vandløbsoplande kombineret. Det er således muligt at opnå en detaljering af drænoplandene svarende til detaljeringen i 3. ordens vandløbsoplande. Drænoplandene er efterfølgende genereret ved:

1. Områder uden vandløbsoplande (kystnære områder) er tildelt værdien -1, hvorved der sker en dræning til havet (modelranden)
2. Oplande indeholdende MIKE11 vandløb er tildelt en unik drænoplandskode.
3. Oplande uden MIKE11 vandløb er tildelt samme kode som nærmeste opland med MIKE11 vandløb indenfor samme vandløbsopland.
4. Drænoplandene med tilhørende drænkoder er konverteret til et 500 x 500 m grid og importeret til MIKE SHE. Efter præprocessering i MIKE SHE er drænoplandene gennemgået, og oplande med dræning til lokal depression er tildelt samme drænkode som nærmeste opland med MIKE11 vandløb indenfor samme vandløbsopland.

Det resulterende drænkodekort er illustreret i Figur 25.

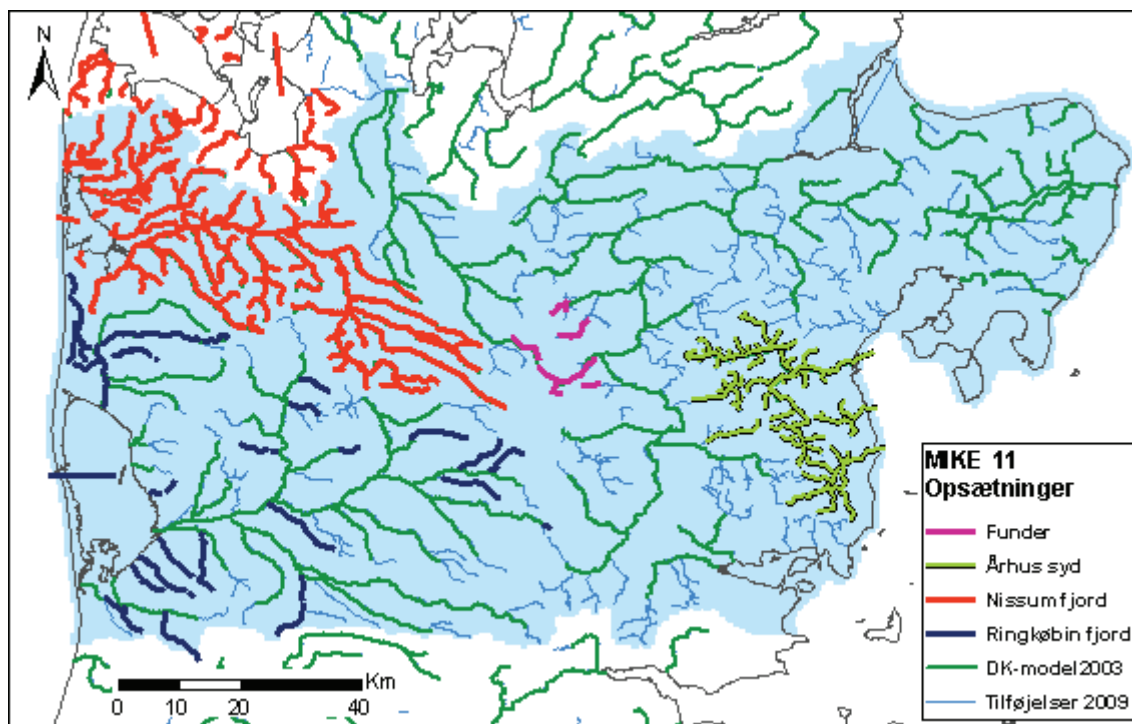


Figur 25. Drænkoder til bestemmelse af drænstrømningen. Indenfor hver drænkodes polygon drænes der til nærmeste vandløb. De hvide områder er 1. ordens vandløbsoplande uden MIKE11 vandløb eller kystnære områder hvor der ikke er defineret vandløbsoplande. Fra disse arealer drænes der direkte til havet.

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. 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 konverteret og samlet i MIKE11 filer (netværks-, tværsnits- og randbetingelsesfiler), hvorefter relevant input til modellen er udvalgt. Der er i alt inkluderet 471 vandløbsstrækninger (MIKE11 branches) og 2188 tværsnit i modellen. Af Figur 26 fremgår, hvilke vandløbsstrækninger der er tilføjet i den opdaterede DK-model.

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 er der indhentet data om spildevand fra databasen "WinSpv", der indeholder data fra alle renseanlæg i Danmark indsamlet under NOVANA og drives af fagdatacentret for punktkilder under By- og landskabsstyrelsen, mens oplysninger om betydende afværgeforanstaltninger er indhentet fra amterne.



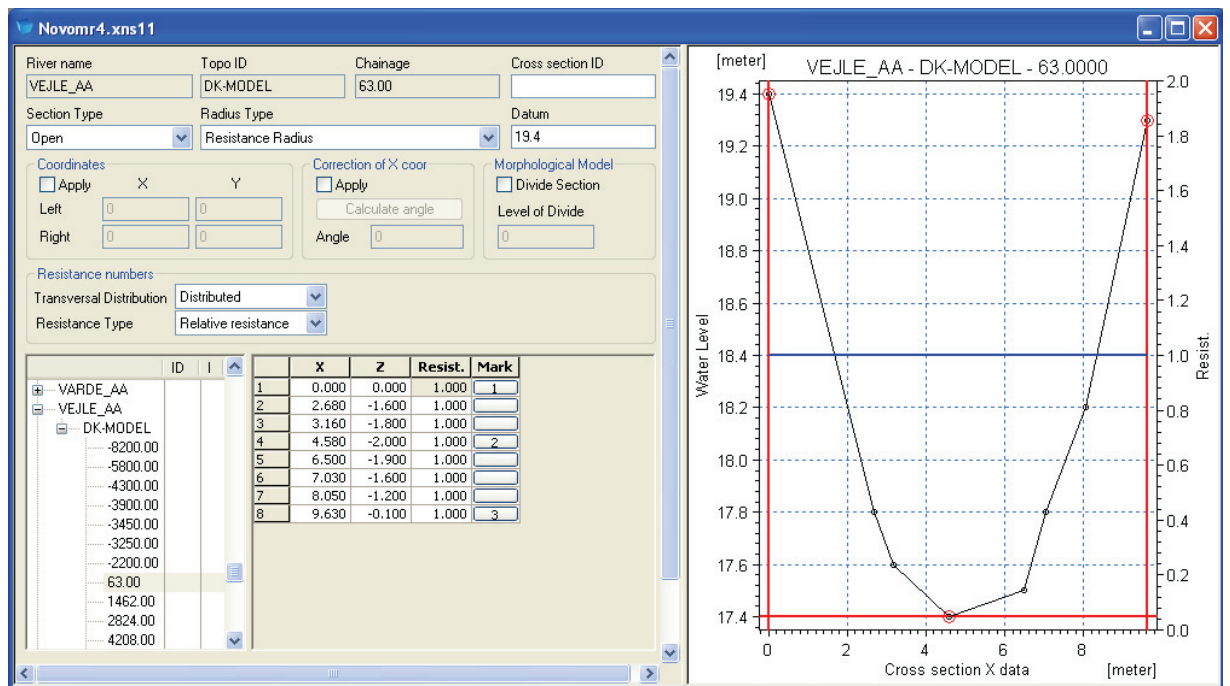
Figur 26. Oversigt over vandløbsstrækninger medtaget i MIKE 11. Strækninger angivet med grønt stammer fra DK-model2003, mens strækninger tilføjet ved opdateringen er angivet med lyseblåt.

Der er indledningsvist gennemført en homogenisering af de indhentede MIKE 11 modeller. Modeller der var opsat i tidligere geografiske projektioner er konverteret til EUREF89 med KMS' transformationsværktøj. 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 lavet om på vandløbsnavnene i den eksisterende modelopstilling, med mindre flere vandløb fra forskellige opsætninger havde samme navngivning. Navnene på vandløbene er dog redigeret således at de danske specialkarakterer: æ, ø og å er udskiftet til ae, 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 (dvs. i nedstrøms retning), der vil dog være enkelte undtagelser, hvor hele vandløb med negative strømningsretninger, er medtaget fra tidligere opsætninger. Tværsnit beskrivende strukturer og bygværker er sorteret fra, og stationeringen er konverteret til enheden meter for alle vandløb. I MIKE11 angives tværsnittenes udformning ved en række x-z punkter, Figur 27, 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 tværsnittet. Anvendelsen af en relativ z-koordinat og datum har den fordel, at vandløbenes kote (datum) kan sammenholdes med en højdemodel. Samtlige tværsnitsbeskrivelser er følgelig blevet justeret til at følge denne konvention.

Hvor der ikke eksisterede en MIKE11 opsætning fra en amtsmodel, er vandløbsopsætningen fra DK-model2003 benyttet. Endvidere er der suppleret med vandløbsgrene, hvor amterne har vurderet dette nødvendigt, f.eks. hvor der udledes spildevand af betydende mængde.

I tilfælde hvor der indenfor ét vandløb eksisterer opmålte data for en delstrækning men ikke hele vandløbet, vil tværnsnitsbeskrivelsen for vandløbet være en kombination af de opmålte tværnsnit samt beskrivelser fra tidligere modeller og/eller typetværnsnit. 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 tværnsnittene får deres korrekte geografiske placering. Op- og nedstrøms for de opmålte tværnsnit (user-defined punkter) vil chainage nummer imidlertid blive justeret automatisk, hvorfor det har været nødvendigt at justere chainage nummer for de øvrige tværnsnit, så disse bibeholder deres placering i vandløbet.

Hvor der hverken eksisterer opmålinger, tidligere modelopsætninger eller vandløb i den tidligere DK-model er der konstrueret type-tværnsnit, ligesom der er anvendt type tværnsnit for de ekstra vandløbsgrene indlagt i DK-model2009. Alle typetværnsnit i modellen er udformet som simple trapezoider, hvis størrelse vokser i nedstrøms retning. De faktiske størrelser er defineret på basis af opmålte tværnsnit fra nærliggende vandløb med sammenligneligt opland. Ved link mellem MIKE SHE og MIKE11 beregnes kun én vandstand for vandløbene pr. MIKE SHE grid. Med en diskretisering på 500 x 500 m opnås der ikke en mere detaljeret beskrivelse af udvekslingen ved anvendelse af flere tværnsnit indenfor et MIKE SHE grid, hvorfor MIKE11 opsætningen maksimalt indeholder 1 tværnsnit pr. 500 m vandløb. Vandløbsopsætningen er dog i overvejende grad overtaget fra DK-model2003, hvor gridcellestørrelsen var 1000 m og hvor der følgelig blev medtaget maksimalt ét tværnsnit pr. 1000 m. For hovedparten af vandløbene vil afstanden mellem de indlagte tværnsnit således være maks. 1000 m, dog har der været et supplerende kriterium, så der maksimalt var en topografisk variation på 5 m mellem tværnsnittene i MIKE11, hvorfor afstanden mellem tværnsnittene kan være mindre.



Figur 27. Opsætning af vandløbstværsnit i MIKE11

Til kontrol for tværsnittenes kote (datum) samt afstanden mellem tværsnittene i forhold til topografien, er der anvendt et program udviklet af GEUS. På basis af et "rå-data" format af tværsnit samt en højdemodel kontrollerer programmet, at der maksimalt er et 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 højdemodellen til datum for de enkelte tværsnit. Til dette formål er Top10DK højdemodellen anvendt med en gridopløsning på 25 x 25 m. For at tage hensyn til manglende præcision i højdemodellen samt geografiske koordinater sammenlignes koten fra Top10DK i den gridcelle, der indeholder tværsnittet med de otte omkringliggende gridceller, og minimumskoten vælges som datum for vandløbet. På denne måde er koterne for typetværsnittene tilpasset højdemodellen. Det er efterfølgende kontrolleret, at tværsnittenes koteangivelse bliver mindre nedstrøms i vandløbene, og at der ikke sker abrupte fald i tværsnittenes koter i overgangerne mellem de opmålte tværsnit og typetværsnittene, der ikke kan tilskrives den aktuelle topografiske variation. Programmet udfører endvidere et tjek på bundkoterne ved sammenløb af vandløb. Det antages, at et sidevandløb ikke kan ligge under et hovedvandløb. I tilfælde hvor denne situation optræder korrigeres tværsnittet for sidevandløbet, så bundkoterne er den samme for de to vandløb ved sammenløbet. Er der tale om opmålte tværsnit er det dog antaget, at koteangivelserne er korrekte, og der udføres ikke justering af tværsnittene.

Vandløbene kobles til MIKE SHE på siderne af det numeriske grid, Figur 21. Da der kun kan medtages ét 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 MIKE11, da alle vandløb her er bibeholdt med deres korrekte længde. Ved kobling mellem MIKE11 og MI-

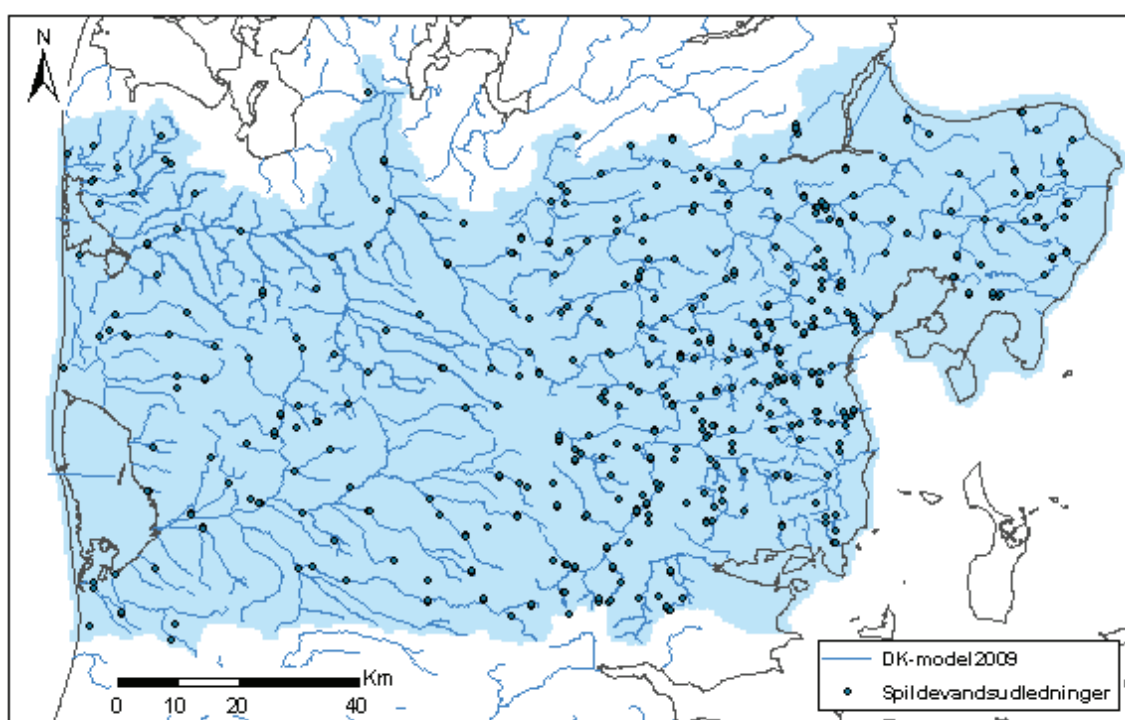
KE SHE vil der dog mangle udvekslingspunkter, hvor vandløbene er mindre end størrelsen af det numeriske grid, ligesom nogle udvekslingspunkter vil være geografisk forskudt, hvor der er mindre end 500 m mellem vandløbene. For meget lokale forhold vil det kunne betyde en ændring i udvekslingen mellem grundvand og vandløb, og vandløbsnetværket bør derfor revurderes, hvis det skal anvendes videre i detaljeret modellering.

Da modellen er opstillet til betragtning af den overordnede vandbalance, er det valgt at løse vandløbsstrømningen ved routing ("No discharge transformation"), hvor vandet i vandløbene bliver routet (flyttet) med en simpel routing metode. Af modeltekniske grunde er der specificeret en konstant vandføring opstrøms på 5 l/s, så vandløbene ikke løber tørre. Udvekslingen mellem vandløb og grundvandsdelen er styret ved en lækagekoefficient, der er baseret på de hydrauliske egenskaber af såvel vandløbsbunden som den omgivende akvifer ("Aquifer +Bed" i MIKE11). Der er ikke foretaget en distribuering af den hydrauliske ledningsevne for vandløbsbunden, og variationen i lækagekoefficienten er således alene bestemt af variationen i den omkringliggende geologi.

Der anvendes en simpel beskrivelse af søer, hvor disse indlægges i modellen som brede MIKE11 vandløbstværsnit. Den anvendte routing metode til beskrivelse af vandstrømningen i vandløbene inkluderer ikke en opmagasinering i vandløbssystemet og tager derfor ikke hensyn til, at søer har en given volumen, der først skal fyldes op, før der sker en udstrømning herfra. Søernes vandstand beregnes, som for resten af vandløbene, ved Mannings formel ud fra den beregnede vandstrømning. Denne metode til beregning af vandstanden vil generelt resultere i estimering af en meget lille vandstand i søerne, da den vandmængde der strømmer igennem en sø kun vil resultere i en meget lille vandstand i et bredt sø-tværsnit. For at opnå en mere korrekt beskrivelse af vandstanden i søerne, og dermed en mere korrekt estimering af udvekslingen mellem grundvandet og søerne, er der indlagt user-defined Q-H relationer i søerne. Disse Q-H relationer er indlagt på de MIKE 11 strækninger, der repræsenterer søer, dog med den begrænsning at der kun kan angives én strækning med 'user-defined' Q-H relation pr. MIKE11 branch. Q-H relationerne er defineret således, at søerne har en fastholdt vandstand, idet samme H angives for både meget små og meget store Q. Reelt betyder dette, at vandstanden ikke kan variere i søerne selv ved en ændring i vandføring. Til gengæld kan vandstanden fastsættes til et realistisk niveau, som sikrer en fornuftig udveksling med grundvandet, samtidig med at den simple og beregningsmæssigt hurtige routing metode anvendes. H niveauet er sat individuelt for hver sø svarende til koten over havniveau af den forventede middelvandstand. Denne middelvandstand er for de fleste søer fundet i beskrivelser af de enkelte søer (Wikipedia) ellers er den sat til 1 m over bundkoten af MIKE 11 udløbet fra søen.

Ved anvendelse af Q-H relationerne sikres en realistisk gradient mellem søernes vandstand og potentialet i grundvandsmagasinet, hvilket er styrende for udvekslingen mellem søer og grundvandet. Da vandløb placeres på randen mellem to gridceller i MIKE SHE, vil der kun ske en udveksling mellem vandløbet og disse celler selv i tilfælde, hvor bredden af vandløbene overstiger gridcellens dimension (500 m). Ved anvendelsen af brede vandløbstværsnit til beskrivelse af søerne sker der således kun en lokal udveksling mellem søerne og nabocellerne i MIKE SHE griddet. Dette betyder, at modellen ikke er 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 der mangler et modelvandløb), er det vandløb der ligger tættest og indenfor samme opland udvalgt som recipient. Placeringen af de indlagte spildevandsudledninger fremgår af Figur 28. Randbetingelsen for spildevandsudledningen skal repræsentere 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. Da data blev indhentet i 2006, er der kun modtaget udledninger frem til 2005. For at kunne eksekvere modellen frem til 2007 er data fra 2005 følgelig kopieret til årene 2006 og 2007.



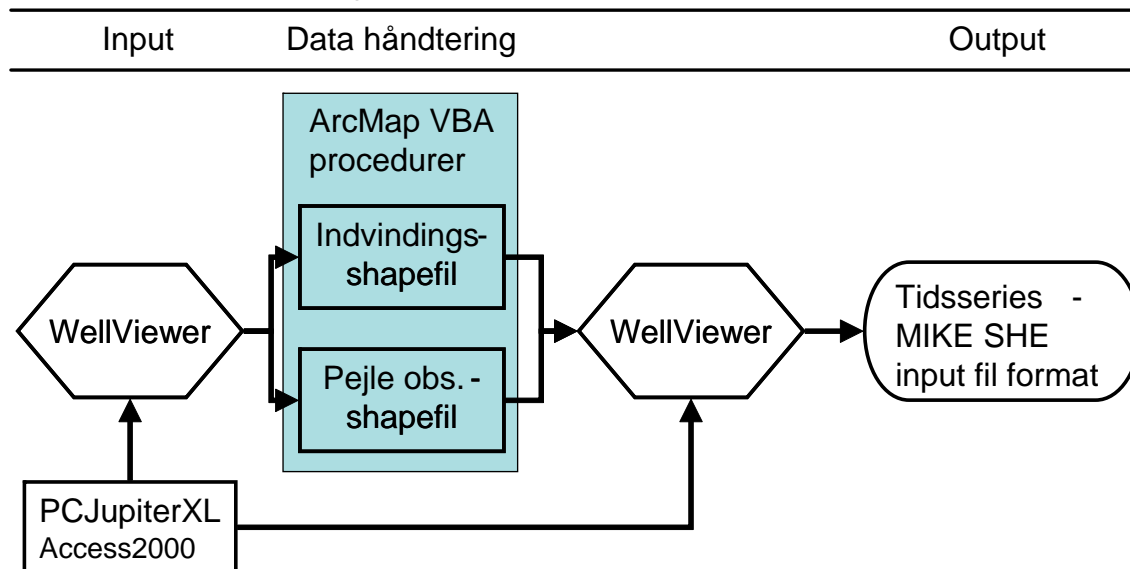
Figur 28. Placering af udledninger til vandløb

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. et softwareprogram "WellViewer" samt GIS-rutiner, der begge er udviklet i forbindelse med opdateringen af DK-modellen. Det overordnede flow i dataprocesseringen er illustreret i Figur 29 og består af følgende trin:

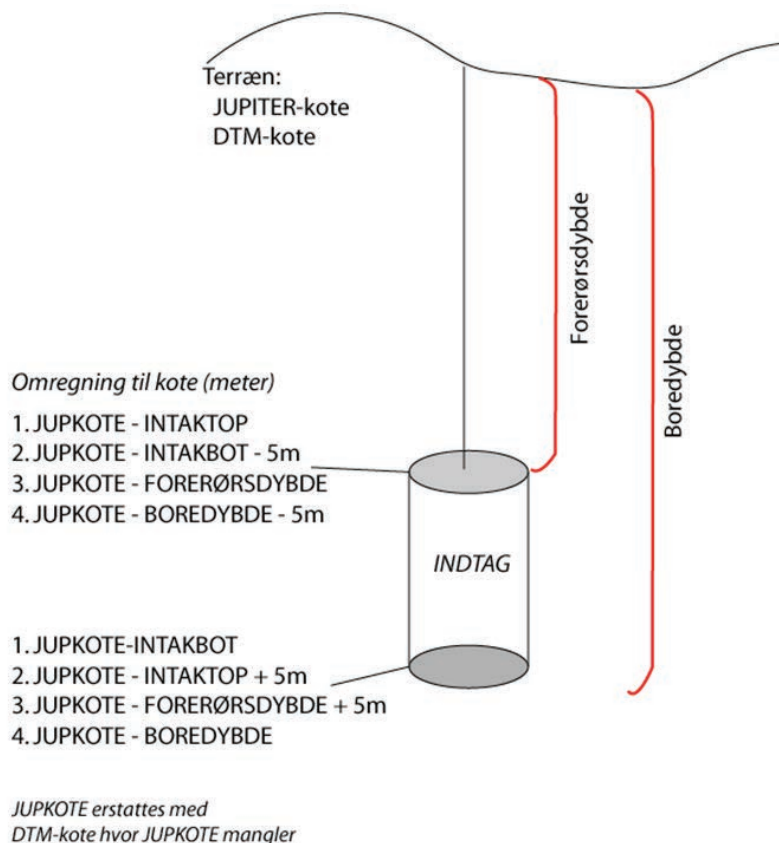
1. PC-JupiterXL udtræk for modelområdet
2. Konvertering af access database til en ArcMap shape fil vha. WellViewer.
3. Dataprocessering vha. udviklede GIS-rutiner
4. Eksport af indvindingsfiler via WellViewer, der kan importeres direkte i MIKE SHE



Figur 29. 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 informationer mht. koblingen mellem anlæg og indtag eller manglende informationer om de enkelte indtag, dvs. geografiske koordinater (x,y,z) eller nedstik/kote for indtagens vertikale placering. I tilfælde hvor der eksisterer supplerende boringsinformationer, estimeres indtagens top- og bundkoter på baggrund af disse. Bestemmelsen af top- og bundkoter foregår efter en prioriteret rækkefølge, som fremgår af Figur 30. Betydningen af benævnelserne anvendt i Figur 30 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 30. Bestemmelse af top- og bundkoter for indtag. Nummereringen angiver den prioriterede rækkefølge.

Den geologiske model for Jylland er som beskrevet en kombination af pixler og lagtolknin-
ger, der har dannet basis for opstilling af den hydrostratigrafiske model, hvori lag beståen-
de overvejende af hhv. ler og sand er adskilt. I områder hvor tidligere amtsmodeller er med-
taget i opdateringen vil der være et sammenfald mellem magasinafgrænsningerne og de
hydrostratigrafiske lag. I de øvrige områder, hvor geologien er tolket som pixler, vil der
imidlertid lokalt kunne optræde sand i et lag, der overvejende indeholder ler og vice versa.
Dette betyder, at det ikke er muligt at foretage en simpel kontrol af, hvorvidt indtagene er
placeret korrekt, dvs. i vandførende formationer. Det er derfor valgt at indplacere indvin-
dingsindtagene i modellen efter koteangivelsen i Jupiter og efterfølgende kontrollere, om
der er nogle af de større indvindinger, der løber tørre under modelafviklingen, hvilket vil
indikere, at indtaget fejlagtig er placeret i en lerenhed og bør flyttes i modellen.

Databehandlingen af indvindingsdataene er beskrevet i nærmere detaljer i bilag 1 og do-
kumenteret på indtagsniveau i den GIS-tabel, der ligger til grund for databehandling. GIS-
tabellen kan rekvireres ved henvendelse til GEUS.

Det endelige resultat af databehandlingen er gengivet i Tabel 8, hvor den årlige middelind-
vinding er beregnet på basis af perioden 1990 – 2006.

Tabel 8. Oversigt over fordelingen af indvindinger fordelt på modellag for område 5, Midtjylland

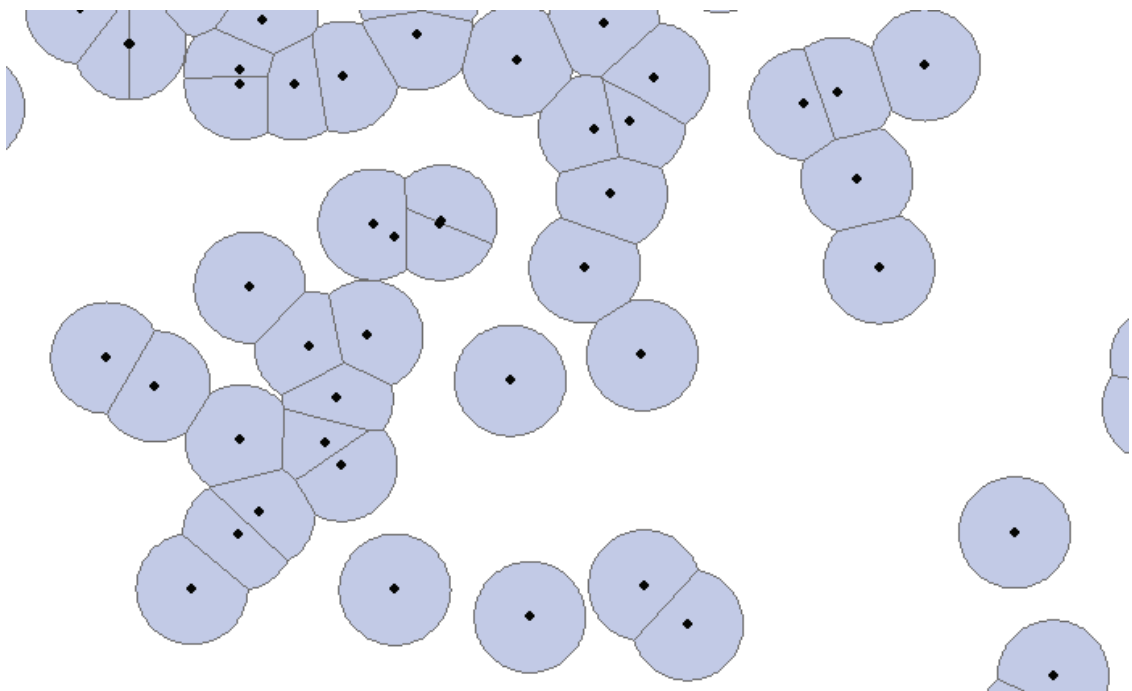
Beregningslag	Indtag i lag	indvinding (middel 1990 - 2006)	% af samlet indvinding
1 (mixed sand/ler)	1053	3.503.620	3
2	492	2.631.889	2
3 (sand)	2053	34.486.665	26
4 (mixed sand/ler)	501	8.689.278	7
5	1161	21.306.530	16
6 (sand)	457	10.806.408	8
7	270	6.962.894	5
8 (sand)	289	14.709.740	11
9	108	4.353.098	3
10 (sand)	10	543.371	0
11 (ler/kalk)	662	22.582.704	17
i alt		130.576.198	100

Som det fremgår af databehandlingen i Bilag 1, er der registreret en del indvinding i Jupiter, som det ikke har været muligt at indplacere i modellen for Midtjylland. Dette skyldes i nogen grad manglende informationer om indtagenes, x,y-koordinater samt angivelse af filterkoter. Den primære årsag til manglende indplacering af indvinding skyldes imidlertid manglende information om tilknytning mellem indtag og anlæg. Her er der specielt problem i forbindelse med registrering af registreret indvinding til dambrug, hvor der i Jupiter er registreret en middelindvinding på knap 80 mio. m³/år, hvortil der ikke er informationer om indtag og som derfor ikke kan indplaceres i modellen. I forbindelse med indhentning af data ved modeopstillingen, blev det forsøgt at indsamle informationer om indvindinger på dambrug via amterne. Disse data lå desværre ikke på et umiddelbart håndterbart format, og det blev oplyst, at dambrug ofte i stor udstrækning anvender overfladevand eller kildevæld, hvorfor deres samlede vandforbrug ikke alene udgøres af grundvand. Af de 80 mio. m³/år er der 10 lokaliteter med en indvinding på ≥ 3 mio./m³ hvoraf to har en indvinding på ≥ 18 mio m³/år. Foruden indvinding til dambrug, er der en del anlæg registreret til markvanding, hvor der ikke er tilknyttet indtag. På disse anlæg er der registreret en middelindvinding på 5 mio. m³/år, hvilket udgør ca. 4 % af den samlede middelindvinding registreret til markvanding.

I nærværende projekt har det ikke været muligt at foretage en mere grundig analyse af indvindingsforholdene, men der er tydeligt et behov for en nærmere analyse af indvindingerne registreret til dambrug, hvilket kræver lokale informationer. 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 modelopsætningen. Indvindinger med manglende informationer i Jupiter databasen, er derfor ikke medtaget i modelversionen dokumenteret i denne rapport.

5.4.1 Markvanding

Til beskrivelse af indvindinger til markvanding er samtlige boringer lagret i Jupiter som markvandingsboringer (virksomhedstype V40) medtaget. Som for indvindingerne beskrevet ovenfor er der sket en processering af boringsdata vha. GIS-rutiner. Markvandingsboringer i modellen er således beskrevet ved deres faktiske geografiske koordinater (x,y) og filter placeringer. Ved at basere beskrivelsen på Jupiter udtræk er det antaget, at al indvinding til markvanding er baseret på vand fra boringer, idet indvindinger fra fx vandløb ikke medtages. For hver markvandingsboring er der tilknyttet et areal (command area), der beskriver hvilket område, der forsynes af vand til markvanding fra de enkelte boringer. Dette areal er defineret ved en buffer omkring markvandingsboringerne. Arealerne er lavet i GIS ved at generere Thiessen polygoner omkring alle boringer, som dernæst 'klippes' med en cirkulær bufferzone omkring hver boring. Dette medfører, at det vandede areal per boring vil variere i størrelse alt efter, hvor tæt boringerne står, se Figur 31.



Figur 31. Lyseblå felter illustrerer arealet, der forsynes af de enkelte markvandingsboringer (sorte prikker).

Radius på den cirkulære bufferzone er estimeret til 450 m. Dette er baseret på en undersøgelse foretaget for delmodellen dækkende Midtjylland, hvor det vandede areal bestemt ved forskellig størrelse buffer radius er sammenlignet med data for det samlede vandede areal og middel arealet per markvandingsboringer fra de tidligere Ribe og Ringkøbing Amter. Det er nødvendigt at overdimensionere bufferzonen lidt, idet zonen beskriver de arealer, der kan vandes, men ikke nødvendigvis må vandes. Arealer der må vandes er bestemt som de på AIS-kortet beskrevne landbrugsarealer (kode 2112). Disse arealer beskrives ved et vandingsbehov (såkaldt Irrigation demand). Bufferzonen vil således indeholde noget areal, der ikke er landbrugsjord og derfor ikke vandes i modellen. Det er valgt at bruge vandindholdet i rodzonen til at styre vandingsbehovet. Vanding starter, når vandindholdet er mindre end 30 % af markkapaciteten (defineret under opsætning af UZ) og slutter, når markkapacitet er opnået. Vanding tillades fra midt april til og med juni.

Det store antal markvandingsboringer (ca. 10.000 i delmodellen for Midtjylland) kan ikke håndteres i MIKE SHE brugerfladen, hvorfor der er udviklet et program (MikeSheWrapper Irrigation), som indsætter alle data for Command areas i preprocesseringsfasen fra en GIS-fil, hvorefter markvandingsdataene slettes, således at modelopsætningen igen kan åbnes i brugerfladen.

5.5 Numeriske parametre

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

Overland flow

Løsningsalgoritme	SOR
Maks. tidsskridt	12 timer
<i>Iterationskontrol</i>	
Maks. H-ændring pr. iteration	1,0e-5 m
Maks. residual fejl	1,0e-4 m/d
Maks. iterationer	99

Umættet zone

Maks. tidsskridt	24 timer
<i>Iterationskontrol</i>	
Maks. profil vandbalancefejl	1,0e-3 m

Mættede zone

Løsningsalgoritme	PCG
Maks. tidsskridt	24 timer
<i>Iterationskontrol</i>	
Maks. H-ændring	0,01 m
Maks. residual fejl	0,05 m/d
Maks. iterationer	100

Nedbørsafhængig tidsskridt kontrol

Maks. nedbør pr. tidsskridt	100 mm
Maks infiltration pr. tidsskridt	100 mm
Nedbørs rate der kræver eget tidsskridt	4 mm/time

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

DK-modellen 2003 blev kalibreret ved anvendelse af en kombination af stationær og dynamisk kalibrering, hvor de hydrauliske ledningsevner er kalibreret på basis af en stationær udgave af modellen, mens der efterfølgende er anvendt en dynamisk version af modellen til kalibrering af de dynamiske parametre. Denne metode blev primært valgt for at opnå en hurtigere afviklingstid af modellen i forbindelse med kalibrering af de hydrauliske ledningsevner. Erfaringer har imidlertid vist, at de hydrauliske ledningsevner for specielt de øvre lag af modellen kan have stor indflydelse på dynamikken i den simulerede vandløbsafstrømning. Med den stadig stigende computerkraft er det samtidigt blevet muligt at afvikle de dynamiske simuleringer indenfor en acceptabel tid, og det er derfor valgt alene at anvende en dynamisk version af modellen til kalibreringen.

Modellen for Midtjylland er kalibreret inverst ved anvendelse af en dynamisk version af modellen. Den inverse kalibrering blev gennemført ved anvendelse af det modeluafhængige optimeringsprogram PEST ver. 11.8 (PEST). PEST er ikke inkluderet i MIKE SHE's brugerflade, hvorfor koblingen er sket "bagom" MIKE SHE brugerfladen. Modellen er opstillet for perioden 1990 – 2007. Erfaringer har vist, at der kan gå lang tid før effekten af en ændring i en parametre er slået fuldt igennem. Det er derfor valgt at anvende en 10-årig opvarmingsperiode for modellen. Der er anvendt en split-sampling test, hvor den 4-årige periode: 1. jan. 2000 – 31. dec. 2003 anvendes til kalibrering, mens den efterfølgende 4-årige periode: 1. jan. 2004 – 31. dec. 2007 reserveres til en test/validering af modellen.

6.1 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.

6.1.1 Databehandling - potentialer

Indtag med tilhørende pejlinger er trukket ud af JUPITER databasen som et JupiterXL udtræk. For at opnå så god rumlig dækning som muligt er der udtrukket data fra 1990 og frem. Indledningsvist er pejledata håndteret som beskrevet for indvindinger, dvs. data er formateret til en ArcGIS-tabel vha. programmet Well-viewer. I ArcMap der er sket en fejl-screening for manglende x,y-koordinater samt indtag, hvor top og bundkoter af indtaget ikke kunne bestemmes på baggrund af informationerne i Jupiter databasen. Til forskel for estimering af top/bund for indvindingsindtag er det imidlertid valgt ikke at anvende en aflæst DTM-kote, hvor målepunktskoten mangler. Årsagen til denne justerede strategi for pejlinger er, at fejlen på højdemodellen ofte kan antage flere meter. Dette har mindre betydning i forbindelse med indplacering af indtag i et modellag, men vil have stor effekt på koten for det observerede potentiale, da denne beregnes på basis af nedstik og kote for målepunkt. Det er derfor valgt at udelade pejlinger, hvor målepunktskoten mangler.

Da de enkelte lag i den hydrostratigrafiske model kan indeholde såvel sand og ler pixler i områder, hvor der ikke er sket en opdatering af modellen med tidligere amtsmodeller, er det ikke muligt at foretage en simpel kontrol af, hvorvidt pejlingerne er placeret i den korrekte hydrostratigrafiske enhed. Det er derfor, i lighed med indvindingerne, valgt at indplacere pejleboringernes indtag efter koten i Jupiter. Da der generelt ikke observeres store vertikale hydrauliske gradienter mellem et sandlag og et lerlag umiddelbart over/under dette sandlag, vurderes denne fremgangsmetode ikke at være problematisk i forbindelse med kalibreringen.

Det sidste led i databehandlingen af pejlinger har været en udvælgelse af, hvilke pejlinger der skal medtages i kalibreringen. Her er der anvendt forskellige kriterier for fravælgelse af indtag/pejletidsserier, der bl.a. omfatter vurdering af, hvorvidt pejlingerne er indvindingspåvirket, er fejlbehæftede eller placeret tæt på modellens rand. Endvidere er der foretaget en vurdering af, hvorvidt indtagene er placeret i områder med lokal heterogenitet, der ikke er repræsenteret i modellen, og som modellen derfor ikke kan forventes at reproducere. Da modellen er opstillet til at give en overordnet beskrivelse, er det vigtigt, at der sker en fransortering af pejlinger, der afspejler lokal heterogenitet, som ikke er beskrevet i modellen. For en detaljeret beskrivelse af datahåndteringen af pejlinger henvises til Bilag 2.

Pejletidsserier kan indlægges i MIKE SHE opsætningen som tidsserie filer (dfs0-filer) under "Detailed timeseries output". Når data indlægges på denne måde genererer MIKE SHE automatisk en simuleret tidsserie af potentialet for den gridcelle, hvori observationen er placeret, og der er mulighed for optegning af de observerede og simulerede tidsserier i MIKE SHE's brugerflade. Det er således formålstjenstligt at medtage dfs0-filer for at opnå en automatisk og hurtig optegning af de observerede og simulerede tidsserier. Pga. det store model setup med flere tusinder indtag der anvendes til pejling, er det imidlertid ikke hensigtsmæssigt at indlægge alle observationer som tidsserier. De øvrige pejlinger er derfor medtaget i kalibrering ved anvendelse af programmet "Layerstatistics", der er udviklet i forbindelse med den nuværende opdatering af DK-modellen. Med Layerstatistics er det muligt at medtage pejlinger ved angivelse af deres x, y, z-koordinater, tidspunkt for observationen samt den observerede værdi. Programmet udtrækker det simulerede potentiale for det tilsvarende tidspunkt på den samme lokalitet og beregner forskellen mellem den observerede og simulerede værdi. Da der ikke gemmes data for hvert tidskridt udtrækkes data for den nærmeste dato, hvor der er gemt data i MIKE SHE resultat-filen. Det simulerede potentiale beregnes ved en bi-lineær interpolation af potentialet i de fire omkringliggende gridceller. For en mere detaljeret beskrivelse og download af Layerstatistic henvises til internet siden <http://code.google.com/p/mikeshewrapper/downloads/list>.

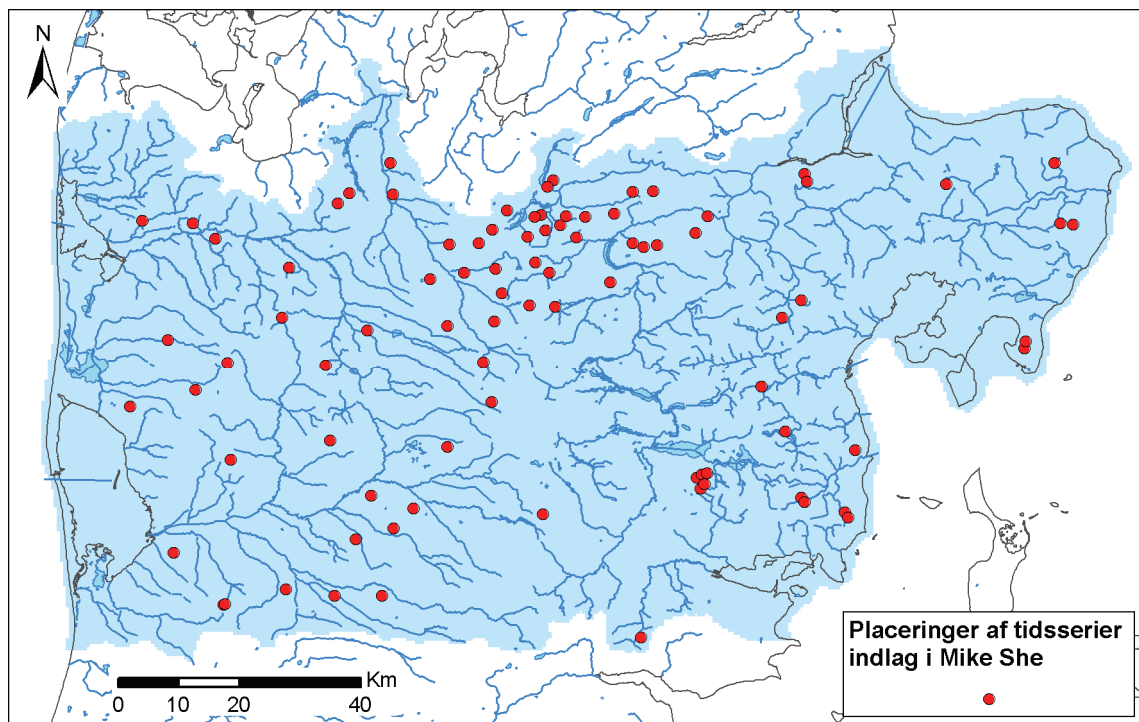
Pejlinger er medtaget i kalibreringen på forskellig vis, afhængig af hvorvidt tidspunktet for observationerne er sammenfaldende med kalibreringsperioden eller ej samt antallet af pejlinger foretaget i indtaget, som beskrevet under afsnittet 6.2.1. Under databehandlingen er der derfor lavet en opdeling af indtag mht. hvorvidt der eksisterer pejlinger fra indtag i kalibreringsperioden (2000 – 2003) og/eller i valideringsperioden (2004 – 2007) eller ej.

Efter den beskrevne databehandling fordeler de brugbare pejlinger sig som angivet i Tabel 9. Indtag der er medtaget som tidsserier i MIKE SHE er udvalgt på basis af antal pejlinger i tidsserien for en god tidslig repræsentation samt opnåelse af en god rumlig dækning. Pla-

eringen af indtagene hvorfra der er medtaget pejletidsserier i MIKE SHE opsætningen (92 stk.) er angivet på Figur 32.

Tabel 9. Fordeling af indtag pr. beregningslag fordelt på perioder

Beregningslag	Indtag med observationer		
	kun før 2000	2000 - 2003	2004 - 2007
1 (mixed sand/ler)	896	664	493
2	321	913	841
3 (sand)	924	210	220
4 (mixed sand/ler)	193	174	184
5	616	219	175
6 (sand)	325	173	122
7	100	81	55
8 (sand)	104	91	61
9	10	31	29
10 (sand)	4	15	10
11 (ler/kalk)	57	21	25
i alt	3550	2592	2215



Figur 32. Placering af indtag hvorfra der er medtaget pejletidsserier i MIKE SHE opsætningen.

6.1.2 Databehandling - afstrømningsdata

Fra DMU er der modtaget tidsserier for 128 vandføringsstationer indenfor modelområde 5, der helt eller delvist dækker kalibrerings- og valideringsperioden. Ud af disse er der udvalgt 66 stationer til kalibrering og validering af modellen. 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 22 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 – 2007.

Karakteristika for de 66 stationer er angivet i Tabel 10, mens deres placering fremgår af Figur 41. For enkelte stationer fremgik der ikke et oplandsareal i datamaterialet indhentet fra DMU, i disse tilfælde er arealet estimeret på baggrund af GIS-tema.

Tabel 10 Afstrømningsstationer anvendt til kalibrering og validering af modellen

DMU st nr	Sted	Opland
200021	KOHOLM Å- FLYNDERSØMØLLE	80,24
200024	KARUP Å- NØRKÆR BRO	626,5
200026	KARUP Å- HAGEBRO	522
200042	ÅRESVAD Å- VALLERBÆKVEJ	64,18
210062	SALTEN Å- SALTENBRO	119,81
210065	TÅNING Å- FULDBRO MØLLE	123,37
210067	HADSTEN LILLEÅ- GRUNDFØR MØLLE	69,63
210077	MATTRUP Å- LILLEBRO	80,4
210084	GUDENÅ- TVILUMBRO	1282,42
210085	GUDENÅ- ÅSTEDBRO	184,48
210086	GUDENÅ- RYE MØLLE	815,18
210089	GUDENÅ- 500 m os Vorvadsbro	376,57
210400	GJERN Å- SMINGEVAD BRO	114,04
210413	ALLING Å- NY RÆVEBRO- FLØJSTRUP	237,94
210446	BORRE Å- MØLLEBRO	65,96
210460*	GUDENÅ- VED RESENBRO	399
210461	GUDENÅ- ULSTRUP BRO	1790
210467	GUDENÅ- MOTORSVEJBRO A10	2602,95
210490*	NØRRE Å- FLADBRO KRO	1080,23
210502	TANGE Å- VINDELSBÆK BRO	100,82
210535	GRANSLEV Å- VED RØDE MØLLE	43
210548	HADSTEN LILLEÅ- Lige ns Løjstrup Dambrug	301
210665	KNUD Å- BENS. MØLLEVAD BRO	57,24

210712	HINGE Å- HINGE SØ- AFLØB V. HOLMGÅRD	53,79
210745	BRYRUP Å- AFLØB BRYRUP LANGSØ	48,22
210794	NØRRE Å- VEJRUMBRO	230,2
210795	NØRRE Å- RINDSHOLM	107,95
210797	SDR. MØLLE Å- BRUNSHÅB	47,89
211107	GUDENÅ- TØRRING KÆR	117
220044	FÅREMØLLE Å- KROGSHEDE BRO	60,1
220048	IDOM Å- IDUM	22,19
220050	RÅSTED LILLE Å- HVODAL	83
220053	SUNDS MØLLEBÆK- GAMMEL SUNDS	46,19
220059	STORÅ- OPSTR. HOLSTEBRO RENSEANLÆG	824,56
220062	STORÅ- SKÆRUM BRO	1097,05
230055	EGÅ- JERNBANEBRO	46,96
230087	HEVRING Å- VADBRO	78,61
240001	RYOM Å- RYOMGÅRD BRO	75,65
240002	ØRUM Å- SYDLIG BRO VED GAMMELMØLLE	45,24
240003	SKOD Å- RIDDERLUND	26,15
240004	SKÆRVAD Å- KIRIAL-A16	30,62
250018	SKJERN Å- TYKSKOV	81,96
250019	OMME Å- FARRE	112,01
250020	HOLTUM Å- HYGILD	117,26
250021	BRANDE Å- HESSELBJERGE	46,5
250075	HOVER Å- VEJBRO SYD FOR HEE	91,8
250078	OMME Å- SØNDERSKOV BRO	611,66
250082	SKJERN Å- ALERGÅRD	1054,58
250086	TIM Å- V. SØNDERBY	80,63
250087	VENNER Å- VENNERS BRO	61
250090	OMME Å- SKOVSENDE	268,49
250091	LYDUM Å- SDR. LYDUM	77,87
250092	ØSTER BÆK- V FOR GRIMLUNDGÅRD	63,67
250097	SKJERN Å- GJALDBÆK BRO	1550
250106	VORGOD Å- STOREBRO- NS RIMMERHUS BÆK	228,4
250147	GANER Å- KLOSTER (SKJERN)	80,9
260037	ÅRHUS Å- ALDRUP MØLLE	49,97
260080	ÅRHUS Å- MUSEUMSBRO	323,53
260082	ÅRHUS Å- VED SKIBBY	118,64
260096	LYNGBYGÅRDS Å- A 15	131,47
270002	ODDER Å- SANDERENGGÅRD	39,34
270004	LILLE-HANSTED Å- HANSTED- LILLE HANSTED BRO	74,96
270021	GIBER Å- FULDEN	46,95
270035	RÆVS Å- NØLEV ASSEDRUP BRO	85,93
270045	HANSTED Å- ST. HANSTED BRO	136,26
280001	BYGHOLM Å- KØRUP BRO	154,19

** Stationernes oplandsareal er estimeret på baggrund af GIS-tema.

6.2 Opstilling af kalibreringsmål og -kriterier

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 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.

6.2.1 Kalibreringsmål og performance kriterier - potentialer

Typisk udtrykkes en models evne til at reproducere potentialet ved en middelfejl (ME) og middelværdien af kvadratafgivelsessummen ('Root mean squared', RMS). 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).

RMS 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.

Den inverse optimering sker ved minimering af et kalibreringsmål (benævnt objektiv funktion). I PEST er denne objektivfunktion udformet som kvadratafgivelsessummen mellem de observerede og simulerede størrelser. Den inverse kalibrering er således baseret på kvadratafgivelsessummen, mens middelfejlen ikke indgår som kalibreringsmål, men beregnes på basis af den optimerede model og vurderes i forhold til kriteriet opsat for denne.

Objektivfunktionen kan enten bestå af en enkelt norm for residualerne for en enkelt type af observationer, f.eks. middelfejlen på simulerede potentialer. Alternativt kan objektivfunktionen sammensættes af forskellige bidrag og eksempelvis inkludere forskellige normer og/eller forskellige observationstyper. Det har længe været erkendt, at den mest robuste optimering opnås ved anvendelse af forskellige observationstyper såsom potentialer og vandføringsdata, da forskellige observationstyper indeholder forskellig informationsværdi omkring det fysiske system. Traditionelt opstilles der kun ét mål for hver observationstype. Det har imidlertid den svaghed, at modellen fokuseres på at reproducere én størrelse. Gennem kalibreringen opnås således en model, der er god til at beskrive denne størrelse, ligesom der opnås et mål for, hvor godt modellen kan beskrive den. Omvendt kan det ikke garanteres, at modellen er velegnet til simulering af andre størrelser, ligesom der gennem kalibreringen ikke opnås et bud på, hvor god/dårlig modellen er til at simulere disse andre variable. Som eksempel kan gives vandbalancen for observeret og simuleret vandføring. Hvis dette mål inddrages i kalibreringen, anvendes som oftest en middel vandbalancefejl for hele perioden. Det er imidlertid muligt at opnå en tilfredsstillende middelfejl, som skjuler væsentlige variationer såsom dårlige sommervandføringer. Anvendes alene en middel værdi for vandbalancefejlen som kalibreringsmål, er der således ikke nogen garanti for, at modellen kan reproducere sommervandføringer tilfredsstillende.

For at udnytte kalibreringsdataene bedst muligt er der i nærværende kalibrering opstillet forskellige kalibreringsmål, der er inkluderet i den samlede objektivfunktion. For potentialerne er der opstillet følgende fem kalibreringsmål:

1. *HTS_ME*: Udvalgte pejletidsserier er medtaget i MIKE SHE opsætningen som en tidsserie fil (dfs0-fil) under "Detailed timeseries output". Da der anvendes PEST til den inverse kalibrering, og denne ikke understøttes af GUI'en til MIKE SHE, har det været nødvendigt at udvikle et program "compHstat" til beregning af middelfejlen mellem de observerede og simulerede potentiale tidsserier under kalibreringen. Kun middelfejlen for pejletidsserien indenfor kalibreringsperioden medtages, og hver tidsserie indgår således kun som én værdi under kalibreringen.
2. *Hobs_dyn*: For alle indtag med observationer indenfor kalibreringsperioden (2000 – 2003) er der kun medtaget observationer, der ligger indenfor kalibreringsperioden. Observationerne er medtaget som enkelt observationer i Layerstatistics. I tilfælde hvor et indtag indeholder flere pejlinger til forskellige tidspunkter, beregnes både residualen for hver enkelt observation samt middelfejlen for samtlige observationer tilhørende indtaget. Under kalibrering medtages alene middelfejlen for indtaget, og indtaget indgår således som en enkelt observationsværdi uanset antallet af observationer i indtaget. Middelfejlen beregnes under optimering vha. programmet Layerstatistics.
3. *Hobs_mean*: Observationer i indtag hvorfra der kun eksisterer observationer fra før kalibreringsperioden medtages som supplement for at opnå en god rumlig dækning. Disse observationer medtages alene som middelobservationer, hvilket opnås ved en midling af alle observationer i indtaget (i perioden 1990 – 1999), der sammenholdes med det simulerede middelpotentiale beregnet for kalibreringsperioden (perioden 2000 – 2003). Da de observerede og simulerede potentialer midles over forskellige perioder, opnås der en sammenligning af potentialer for forskellige perioder. De midlede potentialer er derfor tildelt lavere vægt under kalibreringen, afsnit

6.2.3, så de primært har betydning i områder, hvor der ikke eksisterer potentialer indenfor kalibreringsperioden.

4. *Hobs_dyn_lay*: Er middelfejlen pr. lag for observationer, der ligger indenfor kalibreringsperioden.
5. *Hobs_mean_lay*: Er middelfejlen pr. lag for observationer, der ligger før kalibreringsperioden.

Pejlinger indgår kun i én af de øverste tre observationsgrupper, hvor der er sket en prioritering i samme rækkefølge som listet herover. For en mere detaljeret beskrivelse af håndteringen af pejlinger henvises til Bilag 2.

Observationsgrupperne 2 og 4 hhv. 3 og 5 er baseret på samme data. Parvis supplerer grupperne hinanden, idet grupperne 2 og 3 med alle observationer er med til at sikre, at der ikke sker en systematisk fejl indenfor et lag, eksempelvis at potentialet systematisk overestimeres i én del af modellen, men at dette opvejes ved en underestimering i en anden del af modellen. Da der anvendes kvadratafvigelse som kalibreringsmål vil enkeltobservationer med meget store residualer få en meget stor betydning under kalibreringen. Dette kan være u hensigtsmæssigt, da meget store residualer ofte skyldes enten fejl i observationen, eller at observationen reflekterer heterogenitet på en mindre skala, der ikke opløses i modellen. I disse tilfælde vil optimeringen således forsøge at ramme fejlagtige observationer eller småskala heterogenitet, som modellen ikke inkluderer, hvilket vil resultere i et dårligt overordnet fit. Ved at medtage en samlet middelfejl pr. lag kan dette i nogen grad modvirkes, idet enkeltobservationer med stort residual vil have en mindre signifikant betydning her.

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 nøjagtighedskriterium, der er defineret som "Konservativ Akvifer simulering" i HB, hvilket betyder, at β_1 antager værdien 0,025. Den maksimale variation i observeret trykniveau for observationsgruppen *Hobs_dyn* er 154,5m [-5,5; 149,0]. En acceptabel middelfejl kan således beregnes til $\pm 3,86$ m.

I Håndbog for grundvandsmodellering er der endvidere opstillet forskellige kriterier for vurdering af acceptabel størrelse for RMS. Ét af disse udtryk er givet ved

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

hvor s_{obs} er et udtryk for usikkerhederne på observationerne samt modellens forventelige evne til at simulere trykniveauet. Sidstnævnte bidrag afhænger af heterogeniteten i den hydrauliske ledningsevne for det betragtede område, den overordnede gradient af grundvandspotentialet og gridcelle størrelsen. For stationære modeller indgår endvidere et udtryk der tager højde for, at en stationær model kun beskriver en middel situation men ikke den sæsonmæssige variation. Med sigte på konservativ akvifer simulering antager β_2 værdien 2.

For at kunne estimere størrelsen s_{obs} er der behov for en vurdering af den rumlige heterogenitet i den hydrauliske ledningsevne. Datagrundlaget for estimering af denne heterogenitet er imidlertid ofte begrænset og utilstrækkelig. Et alternativt kriterium for RMS er relateret til den samlede variation i potentialet for modelområdet (Δh_{max}):

$$\frac{RMS}{\Delta h_{max}} \leq \beta_3$$

Fordelen ved dette udtryk er, at det er meget simpelt at beregne den maksimale forskel mellem observationsdataene anvendt i kalibreringen. Til gengæld er udtrykket meget følsomt mht. frasortering af "out-liers". Blot en enkelt out-lier, der er væsentligt forskelligt fra det generelle trykniveau, vil resultere i en meget stor Δh_{max} , mens betydningen ved udregning af RMS vil være relativt begrænset. Med out-liers i datasættet vil det derfor være forholdsvist let at overholde kriteriet, og det er således nødvendigt med en kritisk gennemgang af observationerne forud kalibreringen. Trods denne svaghed er det valgt at anvende udtrykket, da det er muligt at formulere samme kriterier for samtlige delmodeller indeholdt i DK-modellen.

Jævnfør Sonnenborg og Henriksen (2003) er et passende kriterium for konservativ akvifer simuleringer, at RMS er 10 % af den samlede variation i potentialet ($\beta_3 = 0,1$). Med en maksimal variation i potentialet på 154,5 m for Midtjylland ville kravet således være en RMS på 15,45 m. Dette er dog et forholdsvis løst kriterium og væsentlig dårligere end resultatet opnået med DK-model2003.

For Sjælland var der et rimeligt datagrundlag til at foretage en geostatistisk karakterisering af den hydrauliske ledningsevne i kalken ud fra prøvepumpningsdata og specifik ydelsesdata. Det var således muligt at estimere størrelsen af s_{obs} , og på basis af relationen RMS/s_{obs} blev der beregnet et nøjagtighedskriterium for RMS på 4,5 m. Miljøcenter Roskilde har parallelt med den nuværende DK-model opstilling, kalibreret en variant af DK-modellen benævnt "Sjællandsmodellen" (Kürstein et al., 2009), hvor der er anvendt samme geologiske model, men er foretaget en underopdeling af de hydrauliske ledningsevner vha. zoner. Endvidere er den umættede zone beskrevet ved Richards ligning frem for Two-layer. Kalibreringsresultatet for Sjællandsmodellen var en vægtet RMS for magasinerne på 5,26 m. Et nøjagtighedskriterium på $RMS \leq 4,5$ m for DK-modellen for Sjælland vurderes derfor at være et relativt strengt krav. Ved anvendelse af relationen $RMS/\Delta h_{max}$ blev kriteriet til RMS for Sjællandsmodellen 4,8 m, når der blev anvendt en β_3 på 0,05, svarende til Hi-fi kriteriet i Håndbogen. Dette kriterium er altså lidt større end de 4,5 m estimeret ved

anvendelse af relationen RMS/s_{obs} , men er dog stadig lavere end det der blev opnået i "Sjællandsmodellen"

Baseret på disse vurderinger, er det valgt at anvende kriteriet $RMS/\Delta h_{max}$, da dette har kunnet beregnes for alle delmodeller i DK-modellen, men der er anvendt et nøjagtighedskriterium svarende til "hi-fi" akvifer simulering ($\beta_3 = 0,05$). Med de angivne minimum og maksimum værdier for potentialet ovenfor, bliver nøjagtighedskriteriet for Midtjylland mht. RMS således 7,73 m.

6.2.2 Kalibreringsmål og 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 $Fbal$. De to størrelser er givet ved

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

$$Fbal = 100 \frac{\bar{Q}_{obs} - \bar{Q}_{sim}}{\bar{Q}_{obs}}$$

hvor Q_{obs} og Q_{sim} er hhv. den observerede og den simulerede vandføring.

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. Samlet set vil R^2 og $Fbal$ således favorisere et godt fit til de store vandføringer, mens low-flow situationerne vil blive tilgodeset i mindre grad. Da det imidlertid ofte er minimumsvandføringer, der er kritiske ved vurdering af vandløbenes økologiske tilstand, er det valgt at medtage tre observationsgrupper under kalibreringen, hvoraf den ene er specifikt rettet mod opnåelse af en god simulering af low-flow situationerne (sommervandføringen). Disse observationsgrupper er:

1. $qobs_R2$: Nash-sutcliffe R^2 -værdi beregnet på basis af samtlige observationer inden for kalibreringsperioden.
2. $qobs_Fbal$: Vandbalancefejl beregnet på basis af samtlige observationer inden for kalibreringsperioden.
3. $MFal_060708$: Vandbalancefejl beregnet på basis af observerede og simulerede vandføringer for sommermånederne juni, juli og august alene.

Generelt vil R^2 -værdier under 0,6 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

tes, at det vil være svært at opnå høje R^2 -værdier, mens oplønde 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.

Baseret 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 10
- 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 Hi-Fi akvifer simuleringer. Tidligere erfaringerne med DK-modellen for Sjælland, hvor nettonedbøren blev beregnet med rodzone modulet, har vist, at det var nødvendigt med en justering af nettonedbøren, selv med anvendelse af anbefalingerne i Plauborg (2002) (Troldborg & Henriksen 2006, Højberg et al., 2008). I nærværende modelopstilling er rodzone modulet udskiftet med Two-Layer modulet, og som udgangspunkt foretages der ikke en justering af nedbøren under kalibreringen.

For anvendelse af modellen til vurdering af den overordnede vandbalance anvendes Hi-Fi kriteriet for modellen som helhed. Selvom der opnås en acceptabel global vandbalance for området, vil der kunne være store variationer mellem de enkelte vandløb. For vandbalancen opstilles derfor de to følgende kriterier:

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

6.2.3 Samlet kalibreringsmål

Den inverse kalibrering blev gennemført i PEST ver. 11.8 (PEST). Formålet med en kalibrering er at minimere forskellene (eller residualerne) mellem de observerede og simulerede variable. Dette gennemføres 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 det 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 reciproke værdi af standard afvigelsen på observationen ($1/s_{obs}$). En detaljeret vurdering af usikkerheden for samtlige potentielle observationer er imidlertid ikke praktisk mulig. I forbindelse med optimeringen af modelparametrene er det imidlertid 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, sammensat af de variable som modellen efterfølgende ønskes anvendt til at simulere. Dette er opnået ved at opstille en objektiv funktion med bidrag fra hver af observationsgrupperne gennemgået ovenfor:

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

hvor j er antallet af bidrag til objektivfunktionen (dvs. observationsgrupper) og v_j er vægten af det j 'te bidrag. Med w_i kan residualerne således vægtes indenfor én observationsgruppe, mens det er muligt at foretage en vægtning mellem de enkelte observationsgrupper med v_j . I kalibreringen er det tilstræbt at opnå en balanceret vægtning mellem potentialer og vandløbsafstrømningen, dvs. sikre at de to observationstyper bidrag omtrentligt lige meget til den samlede objektivfunktion for den optimerede model. Dette kan kontrolleres ved justering af vægtningen mellem de forskellige observationsgrupper (v_j). Formålet med optimeringen er en reduktion af residualerne og under optimeringen vil disse ændres. Én iteration under optimeringen med PEST kan derfor resultere i, at residualen primært reduceres for den ene af de to observationstyper. Da observationernes bidrag til den samlede objektivfunktion er produktet af residualen og den anvendte vægtning, vil bidragene fra de enkelte observationsgrupper ændre sig løbende gennem optimeringen. En balanceret vægtning er derfor søgt tilgodeset ved at anvende "fornuftige" startgæt på parameterverdier (baseret på erfaringer fra de øvrige delmodeller), og beregne en vægtning mellem de enkelte observationsgrupper der sikrede en balanceret vægtning mellem potentialer og afstrømningsdata for dette startgæt.

Inden for de enkelte observationsgrupper er der foretaget en simpel vægtning. For pejlingerne er observationerne i det øverste lag vægtet med 1/3 af de øvrige observationer. Det-

te er begrundet i, at de terrænnære observationer i høj grad er styret af den topografiske variation, der pga. grid størrelsen på 500 x 500 m ikke opløses detaljeret i modellen, hvorfor modellen i mindre grad kan forventes at simulere variationen i potentialet i de øverste lag.

For vandføringen ønskes modellen at kunne reproducere alle stationer over 50 km² lige vel uanset den faktiske oplandsstørrelse. På landsplan samt indenfor de enkelte delmodeller i DK-modellen er der imidlertid en overrepræsentation af stationer med et oplandsareal på under 100 km². Anvendes der derfor en ligelige vægtning af alle stationer under kalibreringen, vil der samlet set ske en større vægtning af stationerne under 100 km², mens de større stationer vil vægte mindre. Mens dette ikke har betydning for kalibrering af modellens evne til at reproducere vandløbsdynamikken (R^2), vil det have en betydning i forhold til kalibreringen af vandbalance størrelsen (Fbal). Baseret på vandløbsstationernes oplandsstørrelser er der derfor foretaget en opdeling af vandløbsobservationerne i tre oplandsgrupper: *opland1*: < 100 km²; *opland2*: 100 - < 200 km² og *opland3*: > 200 km². Indenfor observationsgrupperne qobs_Fbal og MFbal_060708 er der således foretaget en intern vægtning, hvor samtlige observationer er vægtet med den reciprokke værdi af antallet af Q-stationer indenfor den pågældende *opland*-gruppe. Den samlede vægtning for de enkelte observationsgrupper er gengivet i Tabel 11.

Tabel 11. Vægtning indenfor og imellem observationsgrupperne

Obsgruppe	Forklaring	Vægtning mellem obs. - grupper	Intern vægtning i obs.-gruppe
qobs_R ²	R ² -værdi for hele kalibreringsperioden	4	ingen
qobs_Fbal	Vandbalance for hele kalibreringsperioden	4	1/n _{oplandsgruppe} *
MFal_060708	Vandbalance for juni, juli og august måned	4	1/n _{oplandsgruppe} *
HTS_ME	Middelfejl for potentialer medtaget som tidsserier	2	ingen
Hobs_dyn	Alle observationer i kalibreringsperioden	2	lag 1: 1/3
Hobs_mean	Middelobservation fra perioden 1990-1999	1	lag 1: 1/3
Hobs_dyn_lay	Middelfejl pr. lag på basis af observationer i kalibreringsperiode	2	lag 1: 1/3
Hobs_mean_lay	Middelfejl pr. lag på basis af observationer 1990 – 1999	1	lag 1: 1/3

* Der er anvendt tre oplandsgrupper 1) < 100 km², 2) 100 – 200 km², og 3) > 200 km²

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 hydrogeologisk 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 derfor valgt at anvende samme hydrauliske parametre for geologiske enheder med sammenlignelige hydrauliske egenskaber. Dette betyder, at der for den kvartære lagpakke kun differentieres mellem sand og ler, dog er der foretaget en opdeling af leret i "opsprækket ler" (øvre 3 m) samt øvrigt ler. For den prækvartære lagpakke skelnes mellem sand karakteriseret som hhv. kvartssand og glimmersand, mens der kun er anvendt én enhed repræsenterende prækvartært ler.

I den tidligere version af DK-modellen blev rodzone modulet anvendt til beregning af netto-nedbøren, der efterfølgende blev kalibreret på basis af den samlede vandbalancefejl for modelområdet. I den nuværende version beregnes nettonedbøren vha. Two-Layer modulet, der er en integreret løsning i MIKE SHE. Som udgangspunkt er det antaget, at der ikke er behov for en supplerende korrektion af størrelsen af nettonedbøren.

Med det anvendte modelkoncept er der således følgende mulige kalibreringsparametre:

- Umættet zone parametre – for hver af de 7 anvendte kombinationer af jordtyper og effektive rodzonedybder (Tabel 4).
 - Vandindhold ved mætning θ_s
 - Vandindhold ved markkapacitet θ_{fc}
 - Vandindhold ved visnepunkt θ_{wp}
 - Mættet hydraulisk ledningsevne
 - Effektiv rodzonedybde
- Hydrauliske ledningsevner (horisontale og vertikale) samt frie og spændte magasin tal for:
 - ler (øvre 3 m)
 - tørv/andet (øvre 3 m)
 - smeltevandssand (kvartært sand)
 - kvartært ler
 - kvartssand (prækvartært sand)
 - glimmersand (prækvartært sand)
 - glimmersilt/ler
- Dræn

- tidskonstant
 - dybde placering
- Overfladisk afstrømning
 - overflade ruhed (Manning tal)
 - overflade magasinering (detention storage)
- Vandløb
 - Manningtal
 - lækage koefficient

Baseret på erfaringer fra simple følsomhedsanalyser udført for de øvrige delmodeller, hvor de enkelte parametre blev varieret enkeltvis for successive modelkørsler, er der foretaget følgende reduktion af de frie parametre:

- *Jordfysiske parametre.* For de jordfysiske parametre er der kun en beskedent forskel på de anvendte værdier for vandmætningsgraderne mellem de forskellige JB-typer, hvorimod der er betydelig forskel på den maksimale rodzonedybde (afsnit 5.2). Vandmætningsgraderne og rodzonedybden indgår samlet ved beregning af den vandmængde, der er tilgængelig for fordampning og er således delvist korreleret. Det er derfor valgt at bibeholde de initiale værdier for vandmætningsgraderne, som angivet i Tabel 4. For rodzonedybderne er der kalibreret på en enkelt JB-type, mens den relative forskel på rodzonedybderne for de forskellige rodzonedybder er fastholdt på samme forhold som initialværdierne angivet i Tabel 4.
- *Toplag.* For det øvre toplag er det antaget at leret er opsprækket og derfor vil have en højere ledningsevne end det øvrige ler, hvorimod sandet i de øverste lag blev antaget at have samme hydrauliske egenskaber som det øvrige kvartære sand. Den sidste kategori i toplaget "Tørv/andet" har en begrænset udbredelse, og kalibreringsresultater fra Sjælland viste, at det ikke var muligt at estimere en fornuftig bestemt værdi for denne enhed. Tørv/andet i toplaget blev derfor sat til en mellemting mellem sand og ler, og under optimering bundet til parameter værdien for kvartært sand med en faktor 100 lavere.
- *Prækvartæret.* For Jylland er det forsøgt at differentiere mellem kvartære og prækvartære aflejringer ved anvendelse af forskellige hydrauliske ledningsevner for sand/ler aflejret under de to perioder. Baseret på erfaringer fra optimering af en delmodel for Ringkøbing Fjord, der er trukket ud af den nuværende DK-model og kalibreret under forskningsprojektet HOBE (Stisen et al., 2010), blev det valgt at binde de hydrauliske ledningsevner for de tre prækvartære aflejringer til hinanden, så deres relative forskel er fastholdt under kalibreringen. Den relative variation mellem de prækvartære aflejringer blev overført fra den optimerede model for Ringkøbing Fjord HOBE (Stisen et al., 2010).
- *Anisotropi.* 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.
- *Magasintal.* Følsomhedsanalyser fra tidligere delmodeller udviste en relativ stor følsomhed overfor de såvel de frie som de specifikke magasintal. Magasintallene er imidlertid ikke alene betydende overfor den simulerede sæsonvariation i pejlingerne, men har også stor betydning mht. simulering af dynamikken i vandløbene. Tidligere erfaringer med optimering af magasintallene viste, at kalibreringen af magasintallene primært blev kontrolleret af vandføringsobservationerne, hvilket resulterede i urealistiske estimater af magasintallene. Det er derfor valgt ikke at kalibrere

magasintallene under den inverse kalibrering, men derimod vurdere disse størrelser manuelt ved en visuel sammenligning af den observerede og simulerede dynamik i pejletidsserierne.

- *Dræn.* Vandløbsdynamikken blev fundet følsom overfor såvel dræntidskonstanten samt hvilken dybde drænene blev placeret i. Disse to parametre blev ved en manuel følsomhedsanalyse 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 drænene til opnåelse af en korrekt drænafstrømning ikke nødvendigvis være lig deres fysiske placering. Endvidere beskriver drænene 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.
- *Overfladisk afstrømning.* 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.
- *Ruhed af vandløbsbund.* For vandløbene blev der kun fundet en lille følsomhed overfor manningtallet som følgelig blev fastholdt på startværdien.

Startværdier for kalibreringen er baseret på optimerede værdier for de øvrige modelområder for Jylland og er angivet i Tabel 4 for den umættede zone, mens de øvrige værdier fremgår af Tabel 12, hvor felterne markeret med gråt er parametre, der er fastholdt under optimeringen.

Tabel 12. 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	2.44e-6	2.44e-7	0.05	5e-5
Tørv/andet	2.31e-6	2.31e-7	0.20	5e-5
Smeltevandssand	2.31e-4	2.31e-5	0.20	5e-5
Kvartært ler	3.39e-7	3.39e-8	0.05	5e-5
Kvartssand	1.00e-3	1.00e-4	0.20	5e-5
Glimmersand	1.00e-4	1.00e-5	0.20	5e-5
Glimmersilt/ler	1.00e-7	1.00e-8	0.05	5e-5
Dræn	Tidskonstant (s ⁻¹)	Dybde (m)		
Ikke distribueret	1.08e-8	0.5		
Overflade	Ruhed (m ^{1/3} /s)	Magasinering (mm)		
Ikke distribueret	5	10		
Vandløb	Manningtal (m ^{1/3} /s)	Lækage (s ⁻¹)		
Ikke distribueret	25	7.61e-5		

7. Kalibrerings- og valideringsresultat

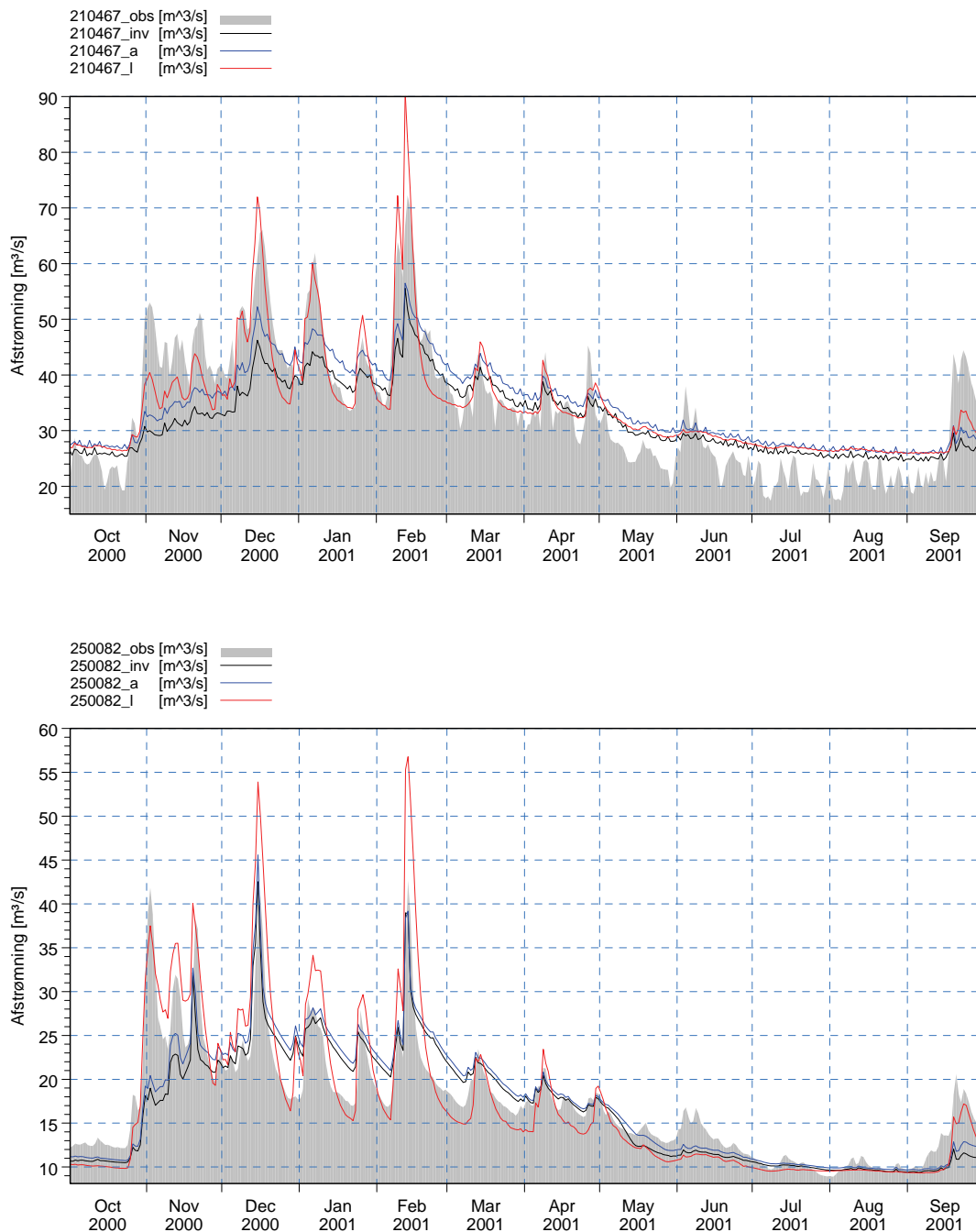
Resultatet af kalibreringen og validering af modellen er opsummeret herunder med udvalgte plots til illustration. Ekstra plots er vedlagt i Bilag 3 – 5.

7.1 Kalibreringsresultat

Modellen for område 5 er indledningsvist kalibreret inverst. Denne kalibrering resulterede i en model, der gav en rimeligt beskrivelse af såvel den overordnede vandbalance samt vandbalancen for sommermånederne, hvorimod modellen ikke var i stand til at fange vandløbsdynamikken. En visuel inspektion af observerede og simulerede vandføringer viste, at vandløbsdynamikken ikke blev simuleret tilfredsstillende, hverken mht. størrelsen af peaks samt dynamikken heraf. For at opnå en bedre forståelse af systemet er der gennemført en følsomhedsanalyse for de parametre, der erfaringsmæssigt er mest betydende for den simulerede vandløbsdynamik: Rodzonedybden, vandløbslækagen, hydraulisk ledningsevne af øvre opsprækket ler, dræntidskonstanten, drændybden og bypass funktionen.

Af parametrene medtaget i følsomhedsanalysen blev det fundet, at rodzonedybden (rd_jb4_som) og dræntidskonstanten var de mest styrende parametre. Effekten af disse parametre er illustreret på Figur 33, for et Østjysk (DMU st. nr. 210467, Guden Å - Motorvejsbro A10, oplandsareal: 2603 km²) og et Vestjysk (DMU st. nr. 250082, Skjern Å – Alergård, oplandsareal: 1055 km²) opland. Den primære effekt af en justering af rodzonedybden alene (model a: halvering af rodzonedybde i forhold til inverse model "inv") er, at det simulerede niveau i vandløbene hæves, mens der ikke opnås en væsentlig forbedring mht. at fange dynamikken. En justering af dræntidskonstanten alene (ikke vist på Figur 33) gav en væsentlig bedre dynamik, med undtagelse af de tidlige peaks om efteråret. Kombinationen af en reduceret rodzonedybde samt en øget tidskonstant for drænene (model f) blev fundet mere optimal mht. simulering af dynamikken også for de tidlige efterårspeaks. Som det fremgår af Figur 33 fanges den overordnede dynamik samt niveauet for vinter afstrømningen rimeligt for det østlige vandløb med simulering "i", mens sommervandføringen overestimeres betragteligt. Modsat forholder det sig for det vestlige vandløb, hvor vinterafstrømningen overestimeres, mens sommervandføringen er for lav. Dette blev fundet at være en generel tendens for hhv. de østlige og vestlige vandløb, som beskrevet videre i 7.1.2.

Baseret på en afvejning mellem at opnå en rimelig vandbalance og samtidigt at kunne beskrive vandløbsdynamikken blev model "i" valgt som den optimale model.



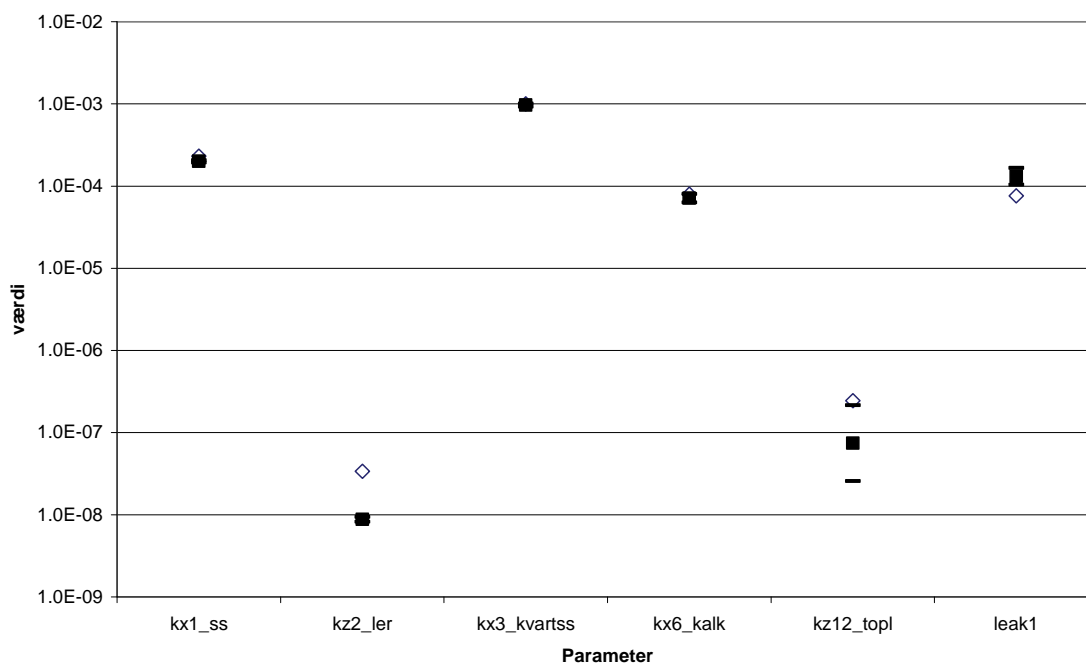
Figur 33. Illustration af effekten ved justering af rodzonedybde og drættidskonstanten eksemplificeret ved et Østjysk og Vestjysk vandløb. "Obs" er observerede værdier og "inv" er modellen med de inverst kalibrerede parameterværdier. Model "a" og "i" er beskrevet i teksten.

De optimerede parameterværdier er angivet i Tabel 13, og illustreret grafisk på Figur 34, hvor der kun er beregnet 95 % konfidensinterval for parametrene optimeret inverst. Det skal bemærkes, at pga. den simple vægtning af de indgående observationer (afsnit 6.2.3), kan de estimerede 95 % konfidensintervaller ikke tages som udtryk for parametrenes absolute usikkerhed. Konfidensintervallerne giver derimod information om den relative sikkerhed hvormed en parameter er bestemt, hvor små konfidensintervaller indikerer en godt bestemt parameter, mens vide intervaller indikerer en dårlig bestemt parameter. Det frem-

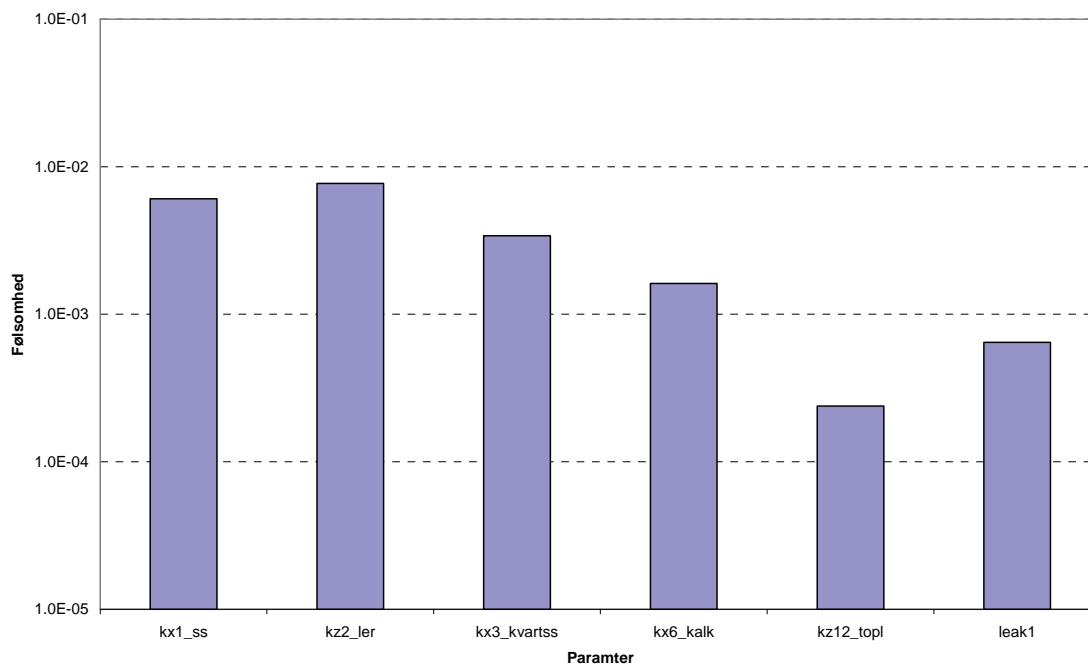
går af resultatet, at de fleste parametre er godt bestemt, med undtagelse af vandløbslækagen og i nogen grad den hydrauliske ledningsevne for det opsprækkede ler. De estimerede konfidensintervaller er i overensstemmelse med de estimerede parameterfølsomheder ved det optimale parametersæt, Figur 35, hvor lav følsomhed har resulteret i en dårlig bestemt parameter.

Tabel 13. Optimerede parametre ved invers kalibrering

Parameter	ID	Enhed	Estimeret værdi	95 % konfidensinterval	
				nedre	øvre
Kvartært sand	kx1_ss	m/s	2,00E-04	1,94E-04	2,07E-04
Kvartært ler	kz2_ler	m/s	8,80E-09	8,23E-09	9,42E-09
Prækvartært sand	kx3_kvartss	m/s	9,70E-04	9,28E-04	1,01E-03
Kalk	kx6_kalk	m/s	7,13E-05	6,35E-05	8,02E-05
Opsprækket ler	kz12_topl	m/s	7,44E-08	2,56E-08	2,16E-07
Dræn	drain	s ⁻¹	5,00E-07		
Vandløbs lækage	leak1	m/s	1,32E-04	1,04E-04	1,66E-04
Rodzonedybde sommer	rd_jb4_som	mm	1000		



Figur 34. Optimerede parametre ved invers kalibrering (udfyldte firkanter), vandrette barer angiver 95 % konfidensintervaller. Romber angiver initialværdierne.



Figur 35. Parameterfølsomheder af de optimerede parametre

For Two-layer parametrene er det kun de maksimale effektive rodzonedybder der er medtaget i kalibreringen. De optimale værdier fundet ved manuel kalibrering er angivet i Tabel 14. De øvrige parameterværdier er listet i Tabel 15.

Tabel 14. Optimale parametre for Two-layer modulet

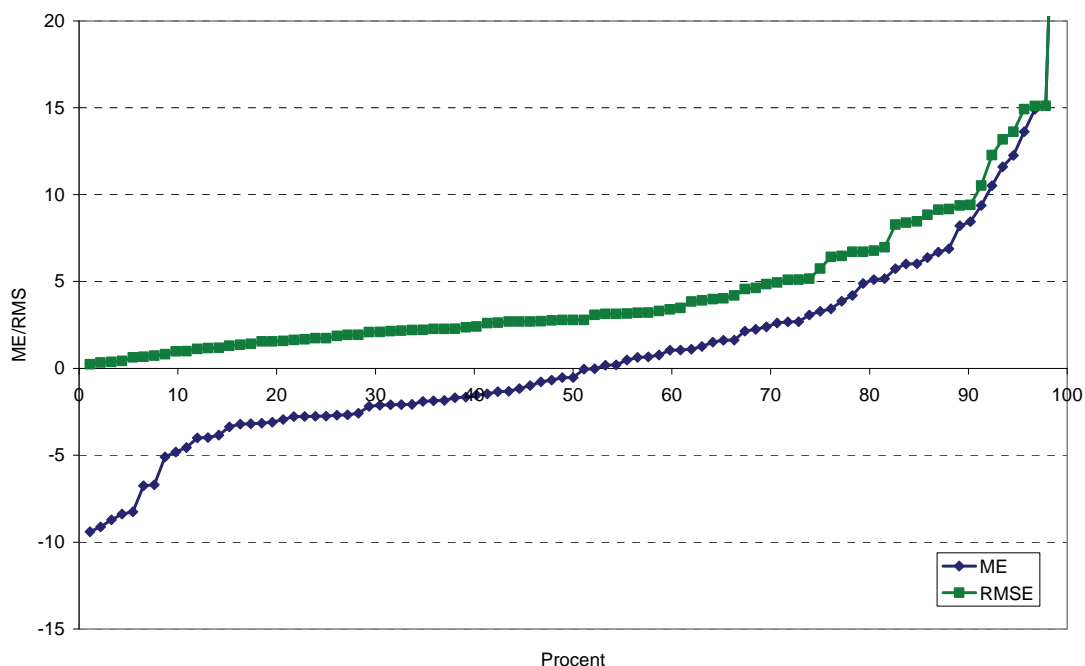
JB-type	Jordtype	Jordfysiske parametre				Vegetationsparameter – kun landbrug
		θ_s (-)	θ_{fc} (-)	θ_{wp} (-)	Ksat (m/s)	Maksimal effektiv rodzonedybde (m)
1	Grovsandet jord	0,48	0,24	0,039	6,0e-6	0,50
2	Finsandet jord	0,47	0,28	0,046	6,0e-6	0,75
3	Grov lerblandet sandjord	0,46	0,27	0,058	6,0e-6	0,50
4	Fin lerblandet sandjord	0,45	0,30	0,067	6,0e-6	1,00
5	Grov sandblandet lerjord	0,44	0,31	0,087	6,0e-7	1,00
6	Fin sandblandet lerjord	0,44	0,32	0,091	6,0e-7	1,00
7	Lerjord					
8	Svær lerjord					
9	Meget svær lerjord					
10	Siltjord	0,48	0,34	0,091	6,0e-7	0,75
11	Humus					

Tabel 15. Oversigt over optimale parameterværdier

Parameter		Værdi			
Hydrostratigrafiske enheder	soil code	K-horisontal (m/s)	K – vertikal (m/s)	Specifik ydelse (-)	Specifik magasintal (m ⁻¹)
Smeltevandssand	1	2,00E-04	2,00E-05	0,2	5,00E-05
Ler	2	8,80E-08	8,80E-09	0,05	5,00E-05
Kvartssand	3	9,70E-04	9,70E-05	0,2	5,00E-05
Glimmersand	4	9,70E-05	9,70E-06	0,2	5,00E-05
glimmersilt/ler	5	9,70E-08	9,70E-09	0,05	5,00E-05
Kalk	6	7,13E-05	7,13E-06	0,15	1,00E-05
salt	7	1,00E-10	1,00E-10	0,001	1,00E-05
Ler - Tidlig kridt	8	2,60E-08	2,60E-09	0,05	5,00E-05
luft	9	1,00E-03	1,00E-04	0,2	1,00E-05
bund	10	1,00E-10	1,00E-10	0,2	1,00E-05
Top3m - Sand	11	2,00E-04	2,00E-05	0,2	5,00E-05
Top3m - Ler	12	7,44E-07	7,44E-08	0,05	5,00E-05
Top3m - Toerv	13	2,00E-06	2,00E-07	0,2	5,00E-05
Kvartært sand	91	2,00E-04	2,00E-05	0,2	5,00E-05
Kvartært ler	92	8,80E-08	8,80E-09	0,05	5,00E-05
Prækvartært ler	95	9,70E-08	9,70E-09	0,05	5,00E-05
Kalk	96	7,13E-05	7,13E-06	0,15	1,00E-05
Dræn		Tidskonstant (s ⁻¹)		Dybde (m)	
Ikke distribueret		5,00E-07		0,5	
Overflade		Ruhed (m ^{1/3} /s)		Magasinering (mm)	
Ikke distribueret		5		10	
Vandløb		Manningtal (m ^{1/3} /s)		Lækage (m/s)	
Ikke distribueret		25		1,32E-04	

7.1.1 Kvantitativ vurdering af kalibreringsresultat

Fordelingskurven for middelfejl samt RMS for de 92 pejletidsserier medtaget i kalibreringen er plottet i Figur 36. Heraf fremgår det, at middelfejlen fordeler sig symmetrisk omkring 0, og der er således ikke er bias i tidsserierne samlet set, dvs. der er lige mange tidsserier hvor modellen simulerer hhv. for lav og for høj grundvandsstand. Den samlede middelfejl og RMS for pejletidsserierne er beregnet til hhv. 1,30 m og 4,86 m. Samlet set overholder de medtagne tidsserier således de opstillede kriterier ($ME \leq \pm 3,86$ m, $RMS \leq 7,73$ m).



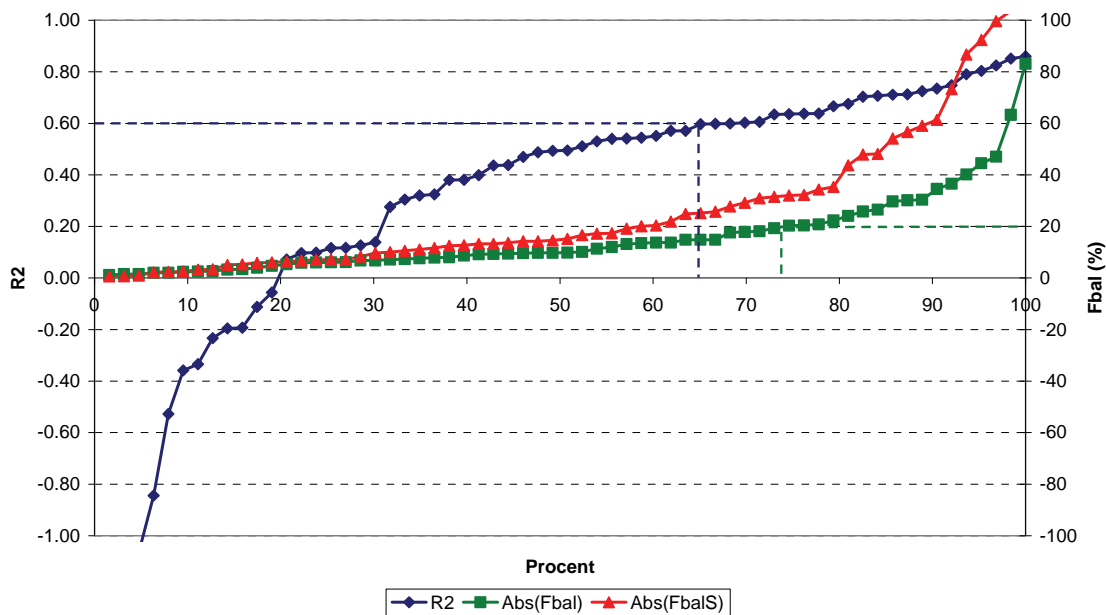
Figur 36. Fordelingskurve for middelfejl (ME) og RMS for pejletidsserierne.

Model fittet til potentialer medtaget under kalibreringen, men som ikke er indlagt i MIKE SHE's brugerflade, er angivet i Tabel 16. Fittet er beregnet for begge observationsgrupper Hobs_mean og Hobs_dyn (afsnit 6.1.1) både pr. modellag samt et vægtet middel for hele modellen. For disse observationer er der samlet en mindre bias med en negativ middelfejl, hvilket betyder en overestimering af de simulerede potentialer, middelfejlen er dog forskellig for de to observationsgrupper. Den kalibrerede model overholder kriterierne for både middelfejlen samt RMS for modellen som helhed samt for de enkelte modellag.

Tabel 16. Middelfejl og RMS i kalibreringsperiode for potentialer der ikke er indlagt som tidsserier i MIKE SHE

Lag	Hobs_mean			Hobs_dyn			Samlet		
	RMSE	ME	#indtag	RMSE	ME	#indtag	RMS	ME	#indtag
1	5,60	-1,18	880	2,77	-1,04	664	4,39	-1,12	1544
2	4,56	-1,34	310	4,93	-0,84	913	4,84	-0,97	1223
3	4,45	-1,47	924	3,53	-0,29	210	4,28	-1,25	1134
4	5,07	-0,17	193	6,14	1,82	174	5,58	0,77	367
5	5,06	-0,40	616	5,18	0,79	219	5,09	-0,09	835
6	5,02	-0,16	325	3,80	-0,21	173	4,59	-0,18	498
7	4,86	-0,37	100	6,57	2,88	81	5,62	1,08	181
8	4,82	-2,38	104	5,09	-0,98	91	4,94	-1,73	195
9	7,46	-3,84	10	8,16	-1,58	31	7,99	-2,13	41
10	3,12	-1,39	4	4,73	-3,75	15	4,39	-3,25	19
11	7,31	-3,30	57	12,41	-0,09	21	8,68	-2,44	78
Vægtet middel	5,02	-1,04		4,45	-0,40		4,77	-0,77	6115

Fittet til den daglige vandføring for de 63 stationer medtaget i kalibreringen er illustreret i Figur 37 og summeret i Tabel 17. Med en middel R^2 på 0,34 og en $R^2 < 0,60$ for 63 % (40/63*100= 63 %) af stationerne, er de opstillede krav for R^2 ikke opfyldt.



Figur 37. Fordelingskurve for nøjagtighedskriterierne for vandføringen i kalibreringsperioden (2000 – 2003). R^2 [-] på venstre y-akse og vandbalancefejl for hele kalibreringsperioden samt sommermånederne juni, juli og august [%] på højre y-akse.

Tabel 17. Kalibreringsresultat for vandføringer

Station	Areal (km ²)	R2 (-)	Fbal(%)	FbalS(%)
200021	80	-0,20	-14,81	-9,67
200024	627	0,32	-7,88	3,38
200026	522	-0,23	26,55	30,92
200042	64	0,30	7,64	14,62
210061	58	-0,84	18,10	20,09
210062	120	0,28	-13,75	-21,90
210067	70	0,38	9,74	-17,18
210077	80	0,07	20,78	7,16
210084	1282	0,71	-5,92	-15,20
210085	184	0,82	6,80	-2,22
210086	815	0,55	-7,33	-27,71
210089	377	0,85	3,38	-7,04
210400	114	0,60	2,36	-31,50
210413	238	0,49	6,13	14,20
210446	66	0,38	40,16	43,71
210461	1790	0,75	-7,17	-16,63
210467	2603	0,80	-2,56	-12,48
210490	399	0,44	-3,27	-6,77
210502	101	0,60	-2,65	-32,04
210548	301	0,51	9,81	-19,18
210665	57	0,57	-19,28	-92,32
210712	54	0,40	-29,73	-56,62

Station	Areal (km ²)	R2 (-)	Fbal(%)	FbalS(%)
210745	48	-1,07	63,28	59,03
210794	230	0,72	-1,18	-6,32
210795	108	0,63	-4,73	-5,24
210797	48	0,13	11,31	11,05
220044	60	-0,36	-47,01	-61,32
220048	22	0,32	14,78	32,20
220050	83	-0,11	14,84	25,69
220053	46	-2,11	-83,11	-54,09
220059	825	0,61	-12,01	-3,15
220062	1097	0,57	-9,33	0,94
230055	47	0,54	-20,30	-112,20
230087	79	0,12	-25,82	-13,66
240001	76	-0,53	-24,05	8,32
240002	45	0,12	13,51	11,62
240003	26	0,10	36,57	10,04
240004	31	0,10	-34,55	-86,68
250018	82	0,47	-1,49	7,13
250019	112	0,86	-9,72	-12,74
250020	117	0,73	-6,79	-0,62
250021	47	-1,67	-44,48	-14,27
250075	92	0,60	-13,73	-20,40
250078	612	-0,06	-13,18	13,20
250082	1055	0,67	-1,49	10,56
250086	81	-0,19	8,01	47,87
250087	61	-0,33	-17,84	25,14
250090	268	0,14	-3,99	34,34
250091	78	0,44	-22,34	-13,25
250092	64	0,79	-2,06	2,41
250097	1550	0,70	-9,44	-0,69
250106	228	0,64	-2,04	24,83
250147	81	0,49	-9,59	6,08
260037	50	0,54	17,64	-29,18
260080	324	0,71	-20,36	-73,23
260082	119	0,71	6,10	-17,37
260096	131	0,54	-30,13	-103,60
270002	39	0,64	9,14	-48,11
270004	75	0,50	6,00	2,52
270021	47	0,53	10,12	-5,87
270035	86	0,60	-30,36	-99,63
270045	136	0,64	8,67	5,08
280001	154	0,68	5,32	35,34
areal vægtet middel		0,55	-4,67	-7,01
Areal > 200 (18 stk)		0,52	-3,22	-2,95
Areal 100-200 (10 stk)		0,65	-3,59	-15,48
Areal <100 (35 stk)		0,07	-4,16	-12,70
Middel		0,30	-3,79	-10,20
*Middel østlige vandløb		0,40	0,66	-18,91
*Middel vestlige vandløb		0,12	-8,30	6,15

* Østlige og vestlige vandløb er vandløb hhv. øst og vest for den jyske højderyg

7.1.2 Kvalitativ vurdering af kalibreringsresultat

Foruden de kvantitative kriterier skal modellen opfylde de kvalitative kriterier opsat i afsnit 6.2:

- 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.

Det forventede interval for realistiske værdier for de hydrauliske ledningsevner, afsnit 2.3, spænder generelt 2-3 dekader. De estimerede hydrauliske ledningsevner ligger generelt indenfor de angivne intervaller. Den optimerede værdi for det øvre opsprækkede ler ligger dog i den lave ende af det forventelige, mens vandløbslækagekoefficient ($1,32E-04$ m/s) ligger i den øvre ende. Den gennemførte følsomhedsanalyse viste imidlertid, at disse parametre har begrænset effekt på simuleringen.

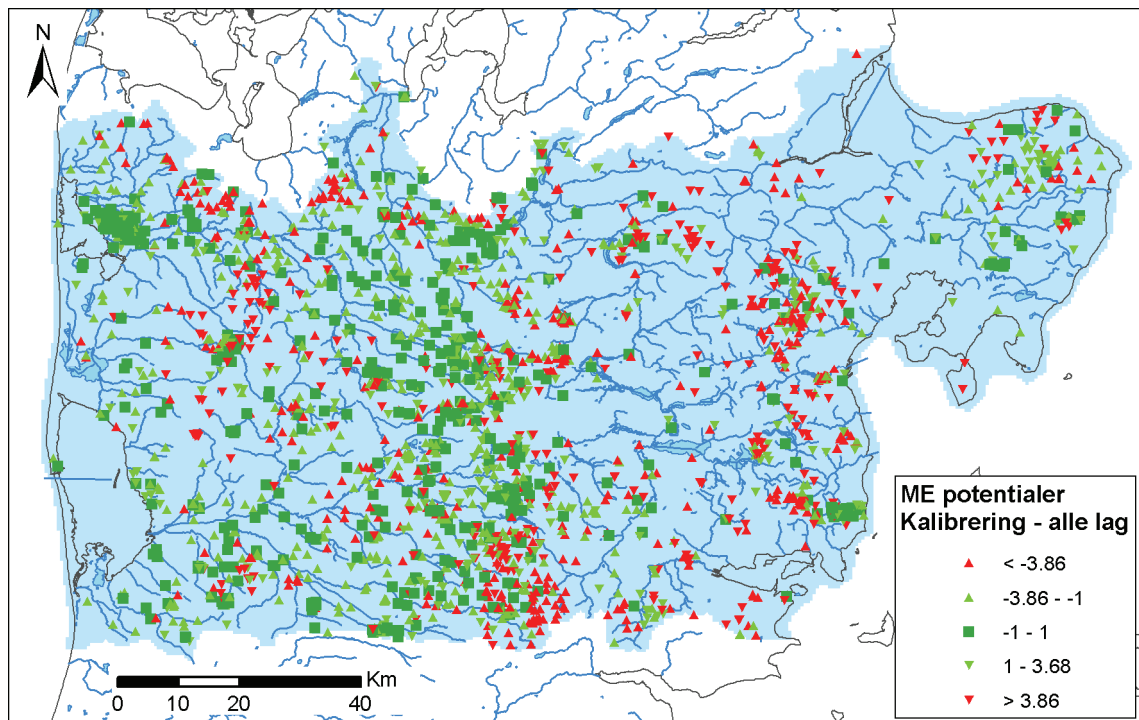
Middelfejlen på residualerne indgår ikke direkte i kalibreringen som et kalibreringsmål, men er efterfølgende beregnet på baggrund af de optimerede hydrauliske ledningsevner. For modellen som helhed overholdes det opstillede kriterium til ME ligesom kriteriet er overholdt for de enkelte lag. Den samlede negative middelfejl betyder en generel overestimering af potentialerne i modellen, hvilket er specielt udtalt for lag 6 og 8.

For potentialerne i observationsgruppen Hobs_dyn (observationer indenfor kalibreringsperioden) er den rumlige fordeling af middelfejlen vist i Figur 38, mens middelfejlen for samtlige beregningslag er optegnet i Bilag 4. Figur 38 giver det overordnede indtryk, at modellen generelt er lidt bedre til at ramme potentialerne i den vestlige del af modelområdet. En stor del af observationerne er beliggende i de øvre modellag (se Bilag 4). En mulig årsag til den generelt dårligere overensstemmelse mod øst er formentlig den større topografiske variation i dette område, der vil give større variation i grundvandsstanden specielt de øvre magasiner. Af Bilag 4 fremgår det dog, at der også er forholdsvis store residualer for potentialerne i de dybere lag. Der er dog ikke en entydig bias i det simulerede potentiale mod øst, idet der både simuleres for høje og for lave værdier. Herudover er der et område mod nordvest i Storeåens opland og et område ved den sydlige rand ca. midt i øst-vestlig retning, hvor der primært er residualer større end $\pm 3,86$ m, der er kravet til ME. Af bilag 4 fremgår det, at det primært skyldes de terrænnære observationer, dog er der i Storeåens opland en gruppe af observationer i lag 7, hvor potentialet konsekvent underestimeres.

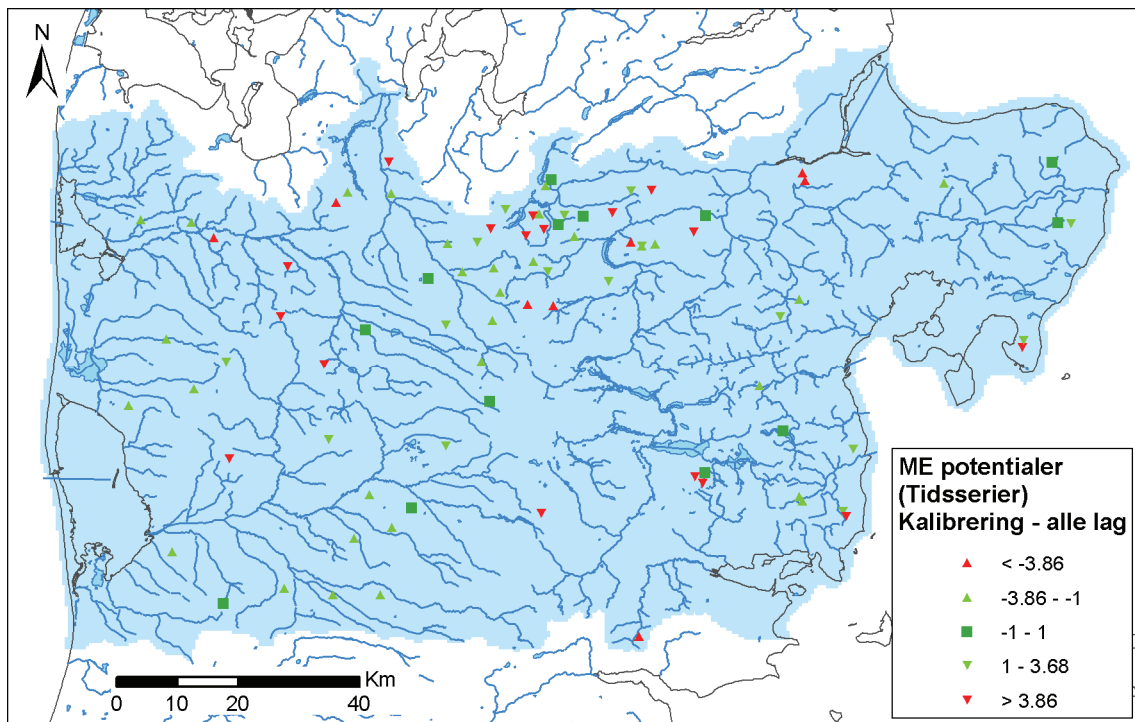
Ved sammenligning af de observerede og simulerede potentialer er det vigtigt, at de observationsdata der medtages afspejler forhold som modellen forventelig kan repræsentere. Eksempelvis bør der således ikke medtages data der er udtryk for småskala variationer, som ikke er medtaget i modellen, eller forhold som modellen ikke er i stand til at simulere. Det er i videst muligt omfang tilstræbt at tage højde for disse forhold under udvælgelsen af observationsdataene. Det store antal af observationer med store residualer i de øverste modellag tyder dog på, at der er medtaget observationer, der repræsenterer forhold der ikke beskrives af modellen, såsom hængende vandspejl. Ved en evt. fremtidig finkalibrering af modellen vurderes det derfor formålstjenstligt at foretage en grundig gennemgang af potentialerne mhp. en vurdering af disses repræsentativitet samt en detaljeret vægtning af

pejleobservationerne i kalibreringen. En sådan gennemgang kræver et detaljeret lokal-kendskab til de enkelte områder, udover det kendskab der er opnået gennem opdateringen af DK-modellen.

Det opnåede kalibreringsresultat indikerer dog, at der kan være nogle konceptuelle fejl i modellen, der resulterer i et dårligere fit for de tre identificerede områder, og hvor det kan være formålstjenstligt at revurdere den hydrostratigrafiske model ved opstilling af fremtidige detailmodeller. Modellen er dog i stand til at opfylde de opstillede krav til den nuværende kalibrering, hvorfor der ikke er gjort tiltag til en forbedring.

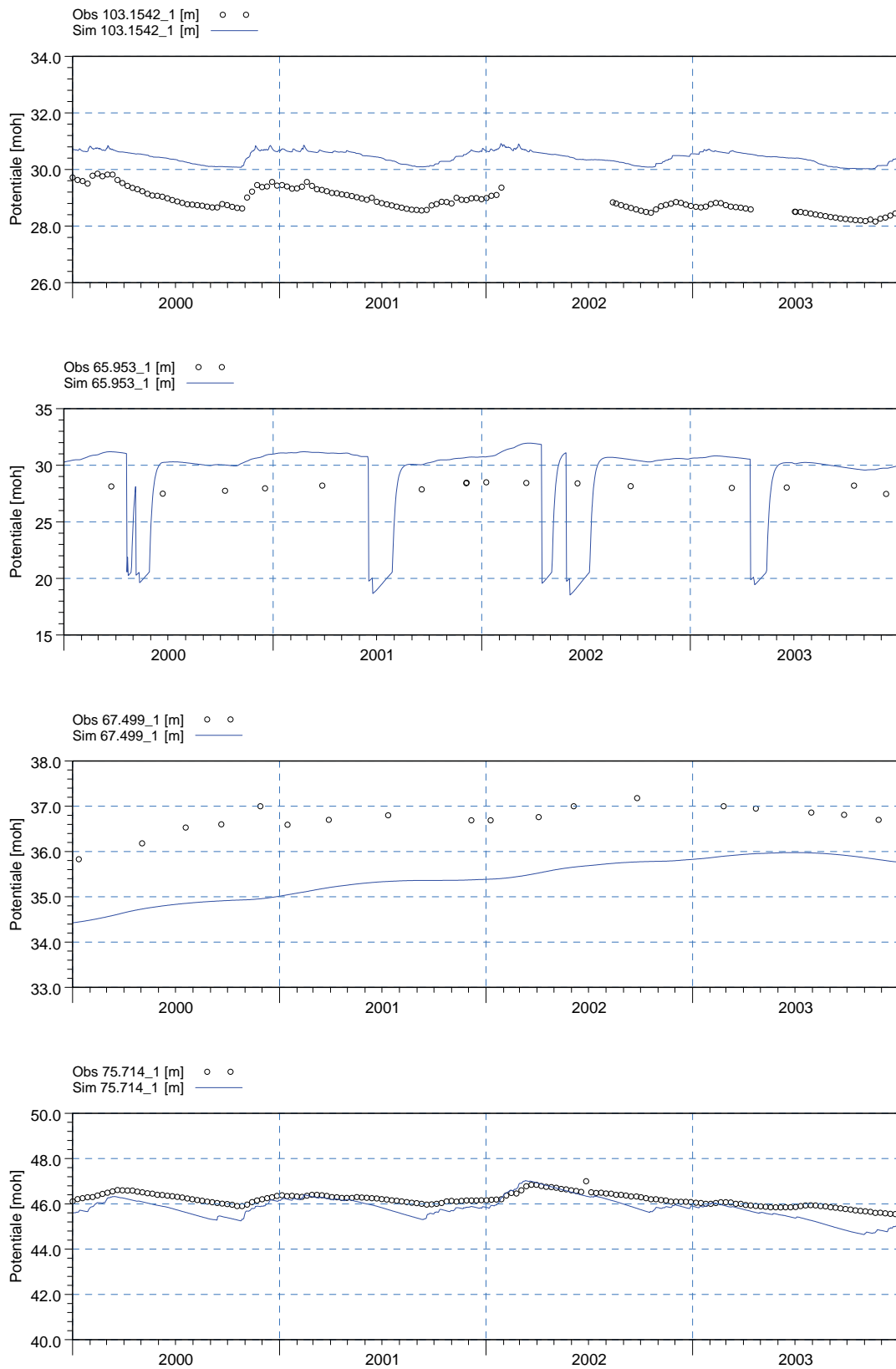


Figur 38. Rumlig fordeling og størrelse af middelfejl for potentialer i alle lag. Middelfejlen er beregnet for observationsgruppen Hobs_dyn, dvs. observationer indenfor kalibreringsperioden. Intervallerne er opsat på baggrund af det opstillede kriterium til ME ($\leq \pm 3,86\text{m}$).



Figur 39. Rumlig fordeling og middelfejl for pejletidsserier

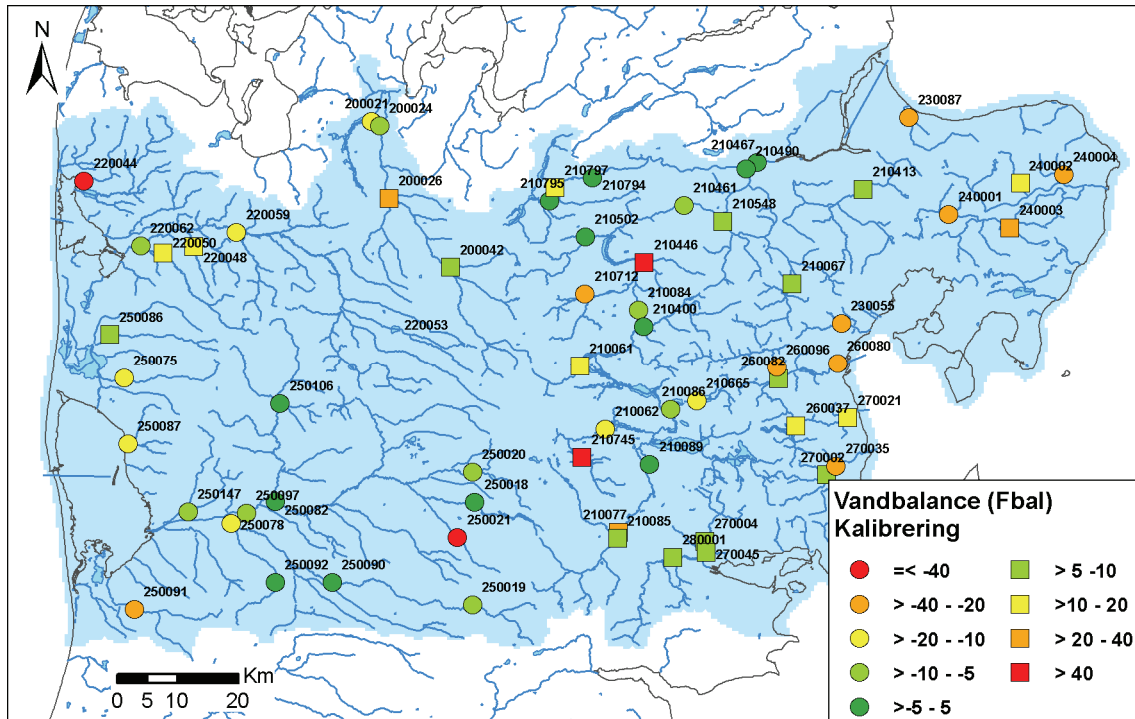
Modellens evner til at reproducere de dynamiske variationer i grundvandspotentialet er vurderet på basis af udvalgte tidsserier som beskrevet i afsnit 6.1.1. Fordelingen af middelfejlen for disse tidsserier er vist på Figur 39. Fittet mellem observeret og simuleret potentiale for tidsserierne medtaget i modellen er vist i Bilag 3. For hovedparten af de simulerede tidsserier observeres et periodisk markant fald i potentialet i månederne fra april til juni. Det vurderes at dette fald skyldes påvirkning fra tæt beliggende markvandingsboringer. De observerede potentialer i disse borer er manuelle pejlinger og indeholder ikke observationer i de omtalte måneder. Det er derfor ikke muligt at vurdere hvorvidt effekten af markvandingen estimeres korrekt i modellen. Modellens evne til at fange dynamikken i pejletidsserierne er illustreret i Figur 40, for udvalgte indtag, der viser de generelle tendenser mellem observerede og simulerede potentialer.



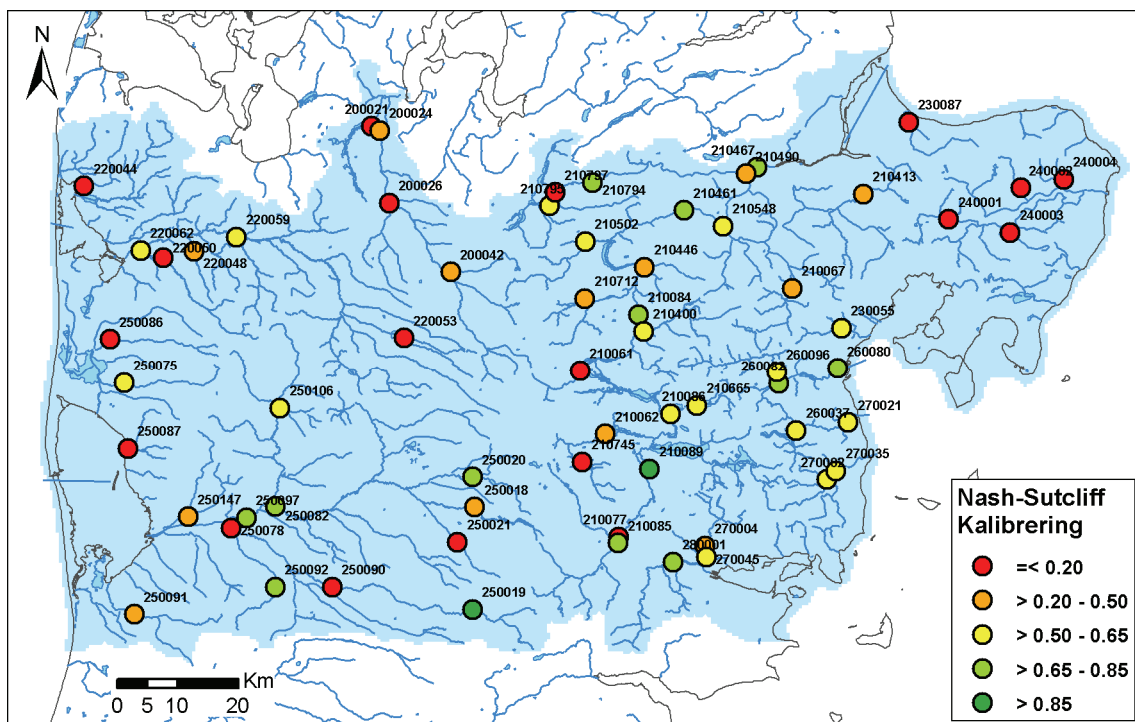
Figur 40. Simuleret og observeret potentiale for udvalgte borer.

Den rumlige fordeling af vandbalancen (Fbal) for vandløbene medtaget i kalibreringen er angivet på Figur 41, hvor farveskalaen angiver Fbal på stationsniveau. Den rumlige forde-

ling af R^2 er illustreret på Figur 42. Som det fremgår af figureerne, er der ikke nogen udpræget rumlig bias mht. de opnåede vandbalancer og R^2 , men som det også fremgår af Tabel 17, findes de største afvigelser for observeret og simulerede værdier for de mindste vandløbsoplande (< 100 km²) både mht. de simulerede vandbalancer og R^2 .

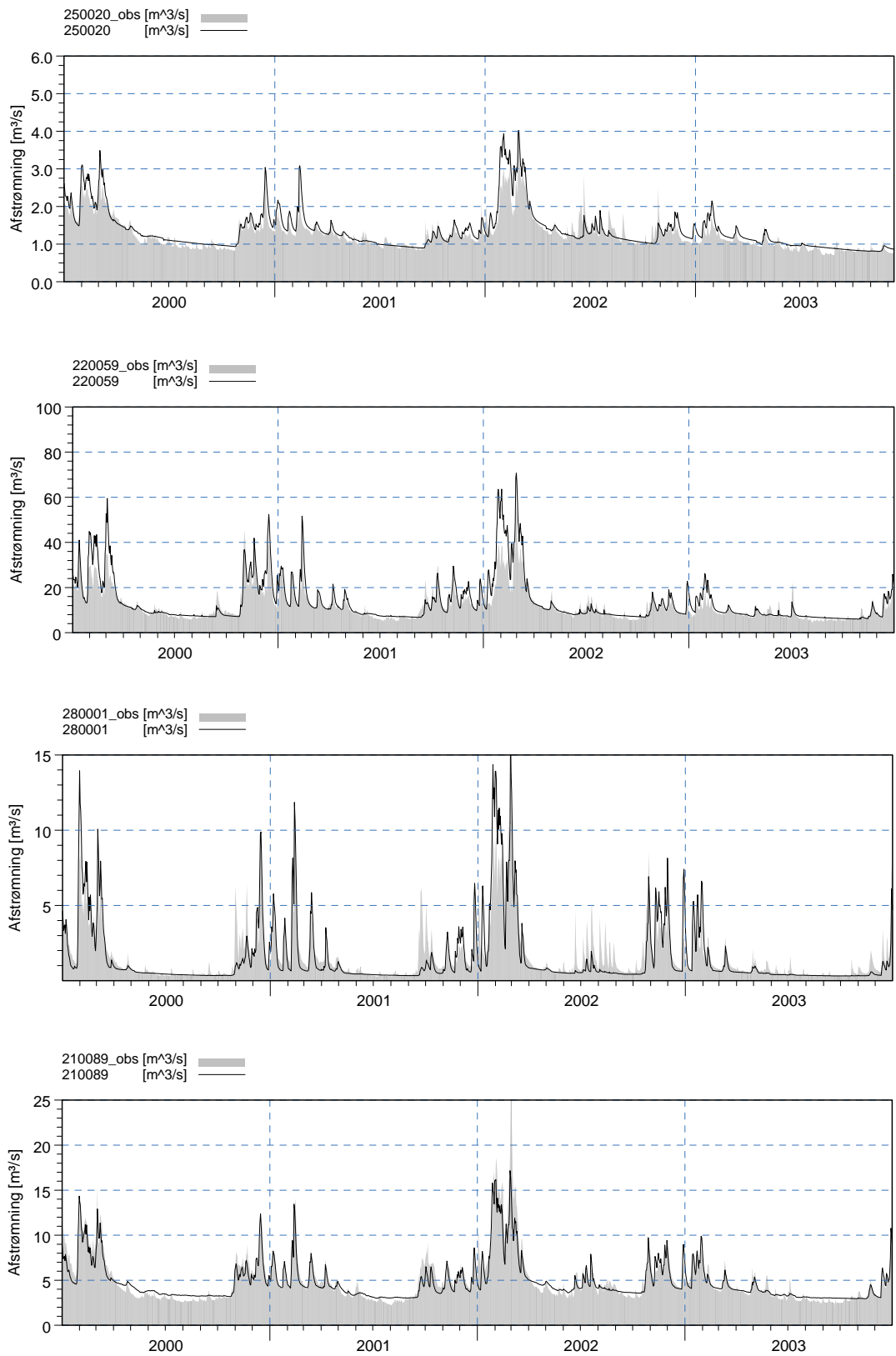


Figur 41. Rumlig fordeling af Fbal for vandløbsstationer medtaget i kalibreringen.



Figur 42. Rumlig fordeling af R^2 for vandløbsstationer medtaget i kalibreringen.

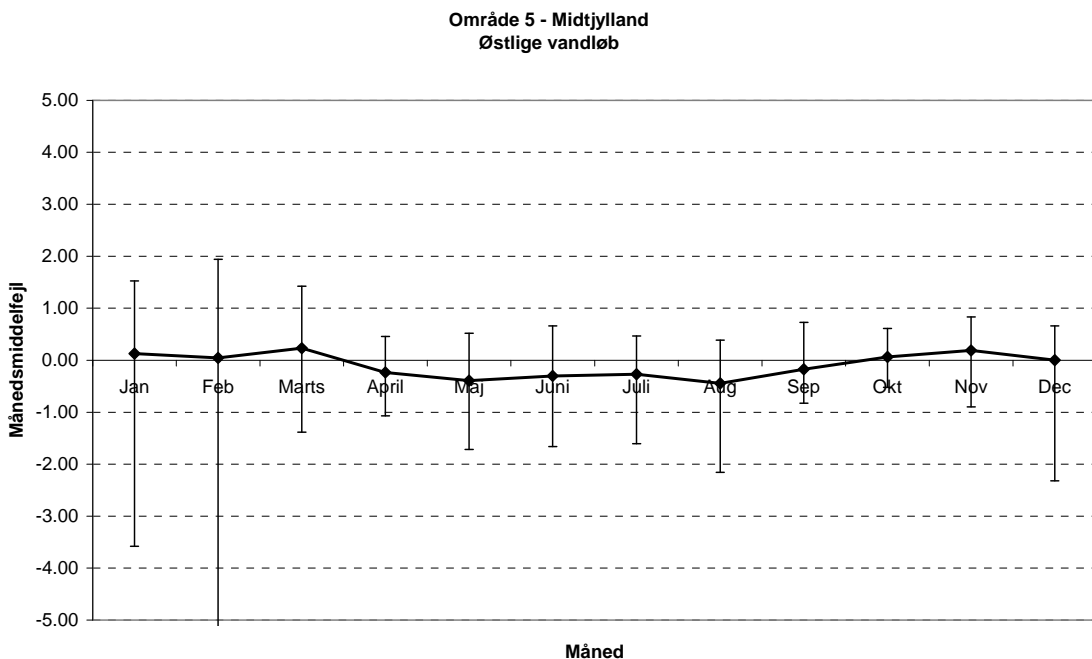
Figur 43 viser observeret og simuleret vandløbsafstrømning for udvalgte vandløb i modelområdet. Som beskrevet indledningsvist er der en tendens til, at de simulerede og observerede vandføringer afviger forskelligt for hhv. de østlige og vestlige vandløb, hvor den simulerede vinterafstrømning generelt er for stor i de vestlige vandløb, mens sommervandføringen simuleres for højt i de østlige oplande.



Figur 43. Eksempler på observeret og simuleret vandføring.

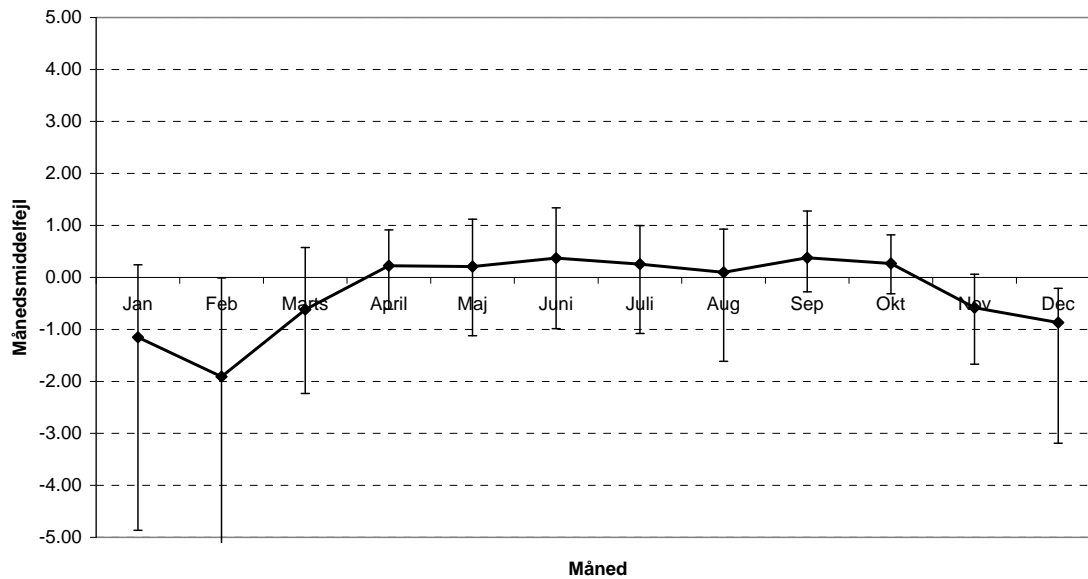
Den sæsonmæssige variation i afvigelsen mellem den observerede og simulerede vandføring er illustreret ved månedsmiddelfejlen på Figur 44 og Figur 45 for hhv. de østlige og vestlige vandløb (den jyske midtryk er anvendt til at definere hhv. østlige og vestlige vandløb). Figurerne bekræfter tendensen, med forskellige afvigelser mellem observeret og simuleret vandføring i de østlige hhv. vestlige oplande. For de østlige vandløb er der en minimal underestimering af den samlede simulerede vinterafstrømning, mens sommervandføringerne overestimeres. Modsat forholder det sig for de vestlige vandløb, hvor vinterafstrømningen overestimeres markant, mens sommervandføringen underestimeres.

Under kalibreringen var det således ikke muligt at finde et parametersæt, der kan tilgodese vandføringerne både sommer og vinter for såvel de østlige som de vestlige vandløb, hvilket kan skyldes en række faktorer. For Midtjylland hvor den geologiske opbygning varierer betydeligt fra øst mod vest, er det oplagt at undersøge hvorvidt en differentiering af de hydrauliske parametre på den østlige og vestlige side af den jyske højderyg vil kunne resultere i et parametersæt, der er optimalt for begge områder. En sådan opdeling vil givetvis kunne forbedre performance af modellen, men vurderes ikke at være tilstrækkelig, idet ingen af de gennemførte simuleringer indikerede, at det var muligt at tilgodese både sommer og vinterafstrømningen for enten den østlige eller vestlige del.



Figur 44. Månedsmiddelfejl for østlige stationer beregnet for kalibreringsperioden. Vertikale barer angiver 95 % konfidensintervaller for månedsmiddelfejlen.

Område 5 - Midtjylland
Vestlige vandløb

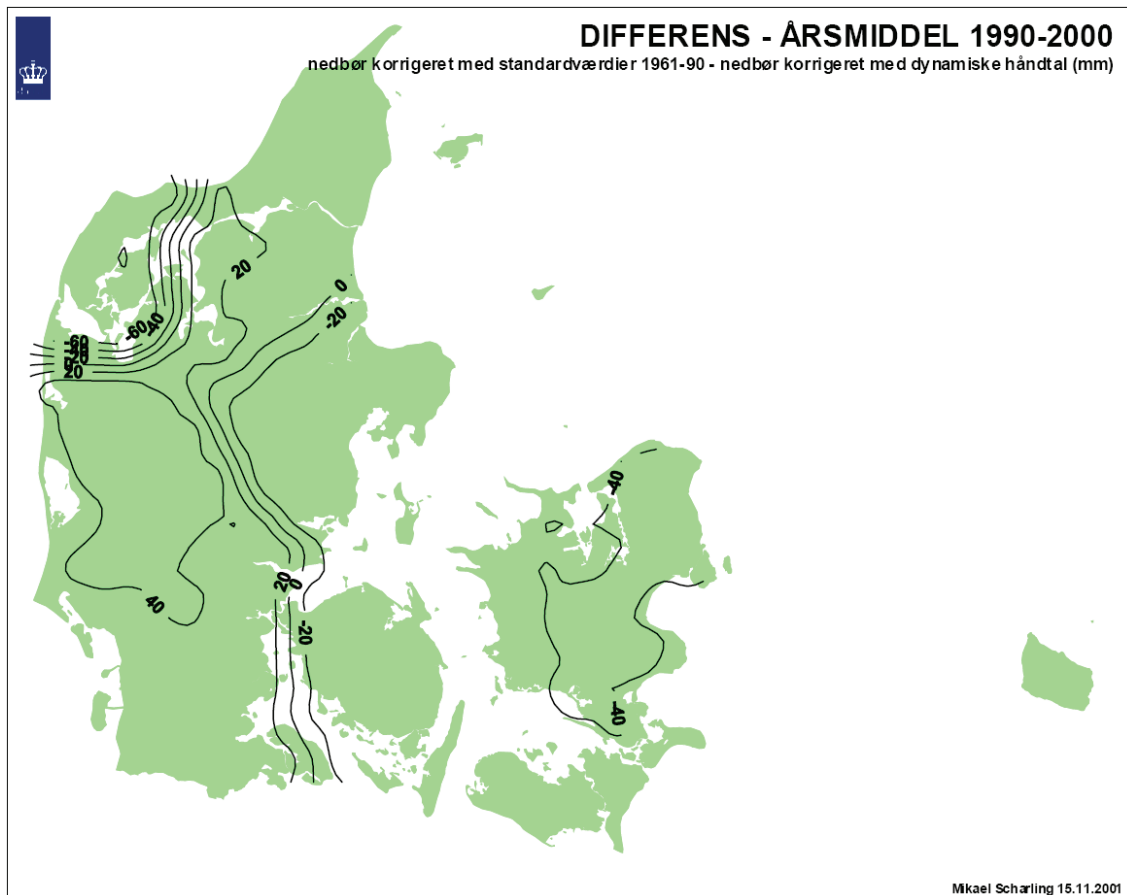


Figur 45. Månedsmiddelfejl for vestlige stationer beregnet for kalibreringsperioden. Vertikale barer angiver 95 % konfidensintervaller for månedsmiddelfejlen.

Under forskningsprojektet HOBE (www.hobecenter.dk) er der opstillet en delmodel for Ringkøbing Fjord/Skjern Å baseret på DK-model2009. Delmodellen er kalibreret med alternative klimainput, beregnet ved anvendelse af forskellige metoder til korrektion af den daglige nedbør og med alternative input for referencefordampning (Stisen et al., 2010). To af de alternative metoder til korrektion af nedbøren er anvendelsen af standard korrektion og dynamisk korrektion. Standard korrektionen er anvendt i DK-model2009, hvor nedbørsdata korrigeres med samme korrektionsværdi for de enkelte måneder for hele landet, eksempelvis korrigeres alle nedbørsgrid med samme værdi hver januar måned i hele perioden 1990 – 2008 og tilsvarende for de øvrige måneder. Der er således tale om en middel korrektionsværdi, der ikke tager hensyn til hverken tidslige eller rumlige variationer. Ved dynamisk korrektion korrigeres nedbøren derimod på dagsbasis baseret på lokale klimadata (temperatur og vindhastigheder). Anvendelsen af standard kontra dynamisk korrektion i HOBE projektet viste, at det for Skjern Å's opland er muligt at opnå en tilfredsstillende samlet vandbalance ved anvendelse af de alternative nedbørs- og fordampningsinput. Modsat var vandløbsdynamikken, udtrykt ved R^2 -værdien, markant forskellig, hvor det bedste resultat blev opnået med den dynamiske korrektion.

For de vestlige vandløb indikerer resultaterne fra HOBE således, at der vil kunne opnås en bedre beskrivelse af specielt vandløbsdynamikken ved anvendelse af et alternativt klimainput. For de østlige vandløb er problemstilling anderledes, med en mindre underestimering af den samlede vandbalance (Tabel 17) samt en overestimering af sommervandføringen. Forskellen ved anvendelse af hhv. standard korrektion og dynamisk korrektion af nedbøren er imidlertid ikke ens for hele landet, som beregnet af DMI og illustreret på Figur 46. Heraf fremgår det, at mens den dynamiske korrektion i middel vil reducere nedbøren i den vestlige del af Jylland, vil den modsat medføre en mindre øgning af nedbøren mod øst. På bag-

grund heraf, kan det ikke udelukkes, at en overgang til en dynamisk korrektion ligeledes vil have en positiv effekt på de simulerede vandføringer for de østlige vandløb.



Figur 46. Differens mellem nedbør korrigeret med hhv. standardværdier og dynamisk korrektion (fra Scharling & Kern-Hansen, 2002)

7.2 Valideringsresultat

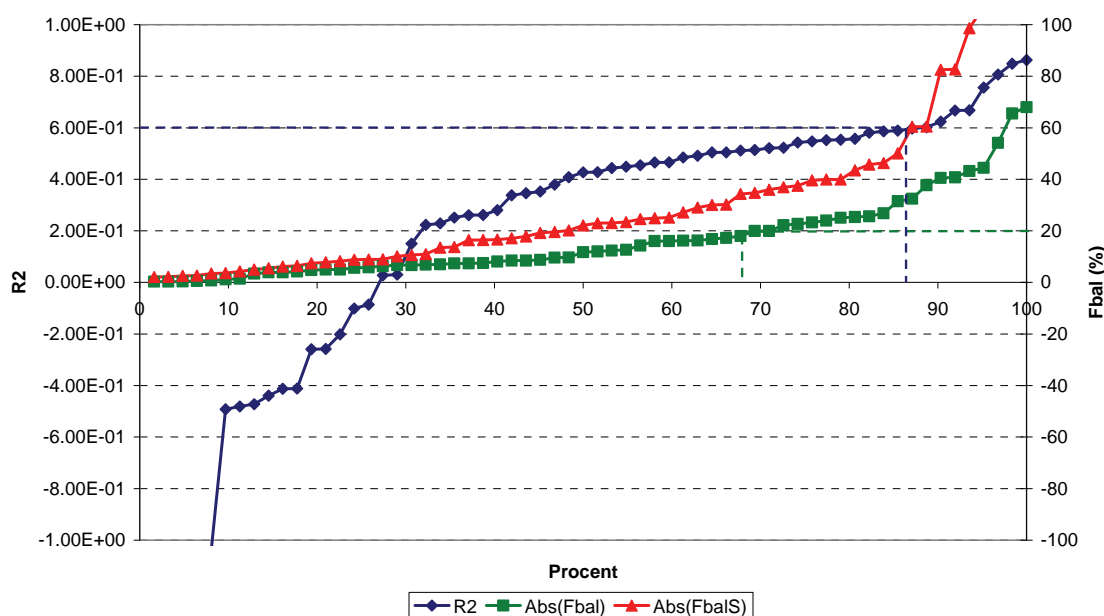
Der har ikke været muligt at kalibrere modellen så den kan tilfredsstille de opstillede kalibreringskriterier. På trods heraf, er det valgt at beregninger af de statistiske størrelser for residualerne for valideringsperioden, for at teste om afvigelserne mellem de observerede og simulerede størrelse for de to perioder er sammenlignelige. Testen er gennemført på basis af en simulering frem til 2008, hvor der er lavet samme statistiske udtræk for perioden 2004 – 2008 som der er anvendt under kalibrering for perioden 2000 – 2003.

Overensstemmelsen mellem observeret og simuleret potentiale i valideringsperioden er angivet i Tabel 18. Den største forskel mellem de to perioder skyldes fittet til observationerne i lag 5 og til dels observationerne i lag 2, hvor der i begge lag er opnået et markant dårligere fit i valideringsperioden. Den dårligere performance for valideringsperioden skyldes primært, en ændring i antal og placering af pejlinger for valideringsperioden. Der er således et øget antal pejlinger mod øst, hvor modellen generelt er dårligst til at simulere trykniveauet, mens der er et reduceret antal af pejlinger i det vestlige modelområde, hvor modellen performer bedst.

Tabel 18. Middelfejl og RMS i valideringsperioden for potentialer, der ikke er indlagt som tidsserier i MIKE SHE

Layer	Hobs_mean			Hobs_dyn			Samlet		
	RMSE	ME	#obs	RMSE	ME	#obs	RMS	ME	#obs
1	5,58	-1,03	880	5,60	-1,18	493	5,59	-1,08	1373
2	4,50	-1,26	310	4,56	-1,34	841	4,54	-1,32	1151
3	4,41	-1,33	924	4,45	-1,47	220	4,42	-1,36	1144
4	5,08	-0,03	193	5,07	-0,17	184	5,08	-0,10	377
5	5,07	-0,18	616	5,06	-0,40	175	5,07	-0,23	791
6	5,05	0,06	325	5,02	-0,16	122	5,04	0,00	447
7	4,97	-0,10	100	4,86	-0,37	55	4,93	-0,20	155
8	4,69	-2,13	104	4,82	-2,38	61	4,74	-2,22	165
9	7,37	-3,61	10	7,46	-3,84	29	7,44	-3,78	39
10	3,11	-1,07	4	3,12	-1,39	10	3,11	-1,30	14
11	7,12	-2,95	57	7,31	-3,30	25	7,18	-3,05	82
Vægtet middel	5,00	-0,87		4,97	-1,14		4,98	-0,98	5738

Figur 47 viser fordelingskurven for nøjagtighedskriterierne opstillet for vandføringen, mens værdierne for de enkelte stationer er listet i Tabel 19. For valideringsperioden opnås generelt en dårlige performance for alle de opstillede kriterier, og modellen kan således ikke opfylde de opstillede krav til simulering af vandløbsdynamikken. Kriteriet om en samlet vandbalancefejl på under 20 % er opfyldt, dog er der $18/62 * 100 \% = 29 \%$ af stationerne der har en $F_{bal} > 20 \%$ (måltal: maks. 25 % med $F_{bal} > 20 \%$).



Figur 47. Fordelingskurve for nøjagtighedskriterierne for vandføringen i valideringsperioden (2004 – 2007). R^2 [-] på venstre y-akse og vandbalancefejl for hele kalibreringsperioden samt sommermånederne juni, juli og august [%] på højre y-akse.

Tabel 19. Valideringsresultat for vandføringer

Station	Areal (km ²)	R2 (-)	Fbal(%)	FbalS(%)
200021	80	-0,41	-25,68	-29,04
200024	627	0,03	-12,64	-2,10
200026	522	0,22	23,23	27,18
200042	64	-1,04	6,69	16,63
210062	120	0,15	-14,29	-23,38
210065	123	0,47	0,37	-43,52
210067	70	0,25	9,59	-24,54
210077	80	-0,09	22,19	7,47
210084	1282	0,62	-6,97	-22,98
210085	184	0,86	6,69	-3,61
210086	815	0,44	-6,84	-19,25
210089	377	0,85	5,01	-6,16
210413	238	0,45	-1,45	2,68
210446	66	0,34	40,76	39,98
210460	1080,23	0,58	-7,35	-23,04
210461	1790	0,67	-8,13	-24,90
210467	2603	0,76	-3,88	-20,18
210490	399	0,55	-8,42	-7,78
210502	101	0,41	6,27	-37,49
210535	43	-0,10	-19,91	-34,73
210548	301	0,49	8,78	-30,19
210665	57	0,55	-16,81	-107,00
210712	54	0,48	-22,69	-60,50
210745	48	-1,04	68,02	60,38
210794	230	0,60	-5,64	-10,08
210797	48	0,03	11,72	5,48
211107	117	0,52	-1,16	-39,61
220044	60	0,60	-32,45	-120,20
220048	22	0,35	0,29	10,64
220050	83	0,23	7,37	19,56
220053	46	-1,37	-65,56	-82,52
220062	1097	0,43	-8,44	8,25
230055	47	0,47	-37,69	-129,50
230087	79	-0,20	-40,54	-45,77
240001	76	-1,16	-31,50	-17,82
240002	45	-0,49	16,23	17,12
240003	26	-0,26	43,20	34,34
240004	31	-0,47	-44,42	-82,69
250018	82	-0,41	-4,22	10,99
250019	112	0,81	-5,00	-8,79
250020	117	0,50	-5,85	2,55
250021	47	-2,86	-54,15	-16,37
250075	92	0,54	-16,02	-13,75
250078	612	-0,44	-17,99	13,54
250082	1055	0,28	-7,49	8,92
250086	81	-0,48	-0,75	39,98
250087	61	0,26	-16,03	22,10

Station	Areal (km ²)	R2 (-)	Fbal(%)	FbalS(%)
250090	268	-0,26	-3,42	35,97
250091	78	0,35	-12,39	-2,17
250092	64	0,67	17,30	16,51
250097	1550	0,43	-9,71	3,49
250147	81	0,38	-3,88	4,24
260037	50	0,26	26,81	-46,28
260080	324	0,59	-24,00	-98,65
260082	119	0,50	-0,29	-30,09
260096	131	0,51	-25,36	-127,20
270002	39	0,52	25,08	-8,93
270004	75	0,55	16,16	4,98
270021	47	0,45	19,91	-25,18
270035	86	0,56	-4,78	-50,04
270045	136	0,59	12,03	6,44
280001	154	0,51	-0,56	36,91
areal vægtet middel		0,43	-5,74	-12,04
Areal > 200 (16 stk)		0,40	-5,30	-9,18
Areal 100-200 (11 stk)		0,53	-2,47	-24,34
Areal <100 (35 stk)		-0,08	-3,58	-17,78
Middel		0,17	-3,88	-16,45
*Middel østlige vandløb		0,30	0,16	-25,26
*Middel vestlige vandløb		-0,05	-10,73	-1,50

Den dårlige R²-værdi for de vestlige vandløb skyldes et meget dårligt fit til tre stationer med en R² < -1,0. Fraregnes disse opnås en R² for de vestlige vandløb på 0,20. Herved er valideringsresultat sammenligneligt med kalibreringsresultatet. Vandbalancen for valideringsperioden viser samme tendens som kalibreringsperioden, hvor vandføringen overestimeres betragteligt i sommerperioden (negativ FbalS) for de østlige vand, mens vandbalancefejlen for hele perioden er tæt på 0. Modsat forholder det sig for de vestlige vandløb, hvor overestimeringen af vandføringen er størst for hele perioden i forhold til sommervandføringen, hvilket betyder, at det specielt er i vinterperioden at vandføringen overestimeres.

Samlet set opnås et forringet fit til de observerede værdier i valideringsperioden, hvilket ikke er overraskende, idet modellen er tilpasset forholdene under kalibreringsperioden. Formålet med valideringstesten har været at teste, om modellens performance er væsentlig bedre for kalibreringsperioden i forhold til valideringsperioden. Overordnet set er resultatet fra valideringsperioden sammenlignelig med kalibreringsperioden og de to perioder udviser samme tendens mht. manglende performance. Specielt konstateres der en forskel mht. hvorledes modellen er i stand til at simulere hhv. de vestlige og østlige vandløb for begge perioder.

8. Vurdering af model

Med kalibrering af modellen for Midtjylland har det generelt ikke været muligt at opnå de opstillede nøjagtighedskrav. Mens det var muligt at opnå en acceptabel vandbalancefejl, er specielt vandløbsdynamikken fanget dårligt. Under den inverse kalibrering blev der estimeret et parametersæt der var optimalt i forhold til den opstillede objektivfunktion. En visuel bedømmelse af kalibreringsresultatet viste imidlertid, at modellen ikke var i stand til at fange dynamikken, på trods af, at der var medtaget et mål for dynamikken (Nash-Sutcliffe; R^2) i objektivfunktionen. En følsomhedsanalyse for de terrænnære parametre viste, at det var muligt at opnå en vandløbsdynamik der i højere grad var i stand til at generere peak flow på de rigtige tidspunkter og således kvalitativt vurderet var i bedre overensstemmelse med observationerne. Dette medførte dog samtidigt en overestimering af vinterafstrømningen for de vestlige vandløb. Idet R^2 -værdien er mest følsom overfor de største vandføringer, betyder en overestimering af vinterafstrømningen, at den samlede R^2 -værdi for modellen som helhed blev forringet.

Hverken via den inverse optimering eller den efterfølgende manuelle kalibrering var det muligt at finde et parametersæt, der både kunne tilgodese størrelsen på vandføringerne samt dynamikken. Endvidere kan der konstateres en forskel på hvorledes de østlige hhv. vestlige vandløb simuleres, hvor der er en væsentlig overestimering af vinterafstrømningen samt en mindre underestimering af sommervandføringen i de vestlige vandløb, mens det modsatte forhold gør sig gældende for de østlige vandløb.

Analysen foretaget under den kvalitative vurdering af kalibreringsresultatet sammenholdt med resultaterne opnået for Ringkøbing Fjord modellen opstillet under HOBE indikerer, at en væsentlig årsag til modellens manglende performance kan skyldes en bias i det anvendte klimainput. Beregnet forskel mellem korrigeret nedbør ved anvendelse af hhv. standard- og dynamiske korrektionsværdier (Scharling og Kern-Hansen, 2002) indikerer endvidere, at en overgang til dynamisk korrektion vil have forskellig effekt i hhv. Vest- og Østjylland. Dette er i overensstemmelse med resultaterne opnået for nærværende model, hvor der blev observeret forskelle på hvorledes de østlige og vestlige vandløb blev simuleret. Det vurderes derfor sandsynligt, at en forbedring af modellen for Midtjylland kræver en revurdering af de anvendte procesbeskrivelser kombineret med en analyse af klimainputtet.

Foruden klimainputtet vurderes det relevant at inddrage andre forhold ved en fremtidig kalibrering af modellen. De opnåede resultater for de simulerede grundvandspotentialer viser, at modellen generelt er dårligere til at simulere den øvre grundvandsstand i mod øst. Dette kan bl.a. skyldes: 1) fejl i den geologiske/hydrostratigrafiske model, 2) at potentialerne er udtryk for lokale forhold der ikke repræsenteres i modellen, såsom lokale sandmagasiner eller hængende vandspejl, eller 3) at der er væsentlige forskelle i de hydrauliske ledningsevner for sand/ler i hhv. den østlige og vestlige del af modelområdet, hvorfor det anvendte princip med én hydraulisk ledningsevne for hhv. sand og ler ikke er tilstrækkelig. Herudover blev der identificeret et par mindre områder, hvor potentialet konsekvent blev under- eller overestimeret, hvilket tyder på, at der er lokale forhold, der ikke beskrives tilstrækkeligt i modellen. Ønsket om en bredere anvendelse af DK-modellen indenfor vandforvaltningen i fremtiden (Madsen et al., 2009), vil derfor kræve en bedre tilpasning af modellen til loka-

le/regionale forhold, og dermed behov for at kunne tilgodese heterogenitet i de hydrauliske egenskaber på mindre skala.

Muligheden for at dokumentere en models anvendelsesområde er afhængig af de observationer (typer og opløselighed) som er tilgængelig for en vurdering af modellens performance. Ved den udførte kalibrering og validering af modellen er denne således dokumenteret anvendelig til belysning af den samlede vandføring ved vandføringsstationer med oplande på 50 km² eller derover, med den præcision der blev opnået ved modelvalideringen af de enkelte delmodeller. Den samlede vandbalance for modelområdet blev simuleret indenfor en nøjagtighed på 6 % for såvel kalibrerings- som valideringsperioden, og vil således kunne anvendes til vurdering af overordnede vandbalancekomponenter på stor skala. For nogle vandløb er vandbalancen imidlertid relativ stor, hvorfor det er nødvendigt med en vurdering af de lokale forhold før modellen anvendes på mindre skala.

Afstrømningsdynamikken blev derimod ikke simuleret tilfredsstillende. Studiet fra Skjern Å viste, at det er muligt at kalibrere modellen til en acceptabel samlet vandbalance, men at kalibreringen af de alternative modeller resulterede i forskellige optimale modelparameterverdier. Effekten heraf var, at de forskellige interne strømningskomponenter varierede betragteligt mellem de alternative modeller. Med denne erfaring vurderes det tvivlsomt, om modellen kan anvendes til en detaljeret vurdering af størrelserne af de interne vandflukse, som for eksempel de forskellige bidrag til vandløbene (overfladisk, dræn, grundvand).

Skal modellen anvendes til belysning af enkeltkomponenter eller på lille skala, bør der indledningsvist foretages en analyse af modellen for vurdering af anvendeligheden til løsning af den konkrete problemstilling.

Tilsvarende er modellen dokumenteret egnet til at beskrive det hydrauliske trykniveau med den opnåede præcision. Den bedste overensstemmelse mellem observeret og simuleret potentiale blev opnået i den vestlige del af modellen, mens de største problemer blev observeret i de øvre lag mod øst. En del af den manglende performance af potentialer skyldes formegentligt, at modellen ikke er i stand til at reproducere lokale højtliggende grundvandsmagasiner. Foruden problemer med de højtliggende magasiner, blev der konstateret enkelte lokale områder med bias i residualerne, dvs. en generel under-/overestimering af potentialerne. Modellen vurderes at kunne beskrive de overordnede strømningsforhold specielt i den vestlige del af modelområdet. Ved anvendelse af modellen på mindre skala, hvor lokale variationer har stor betydning, vil det dog være nødvendigt med en rekalkibrering af modellen til de lokale forhold, evt. med en metode der tilgodeser den lokale heterogenitet.

Modellen er kalibreret og valideret over fire plus fire år, hvori der optræder naturlige klimatiske variationer, mens der ikke er gjort forsøg på at vurdere modellens evne til simulering af egentlige klimaforandringer. Ligeledes er modellen kun vurderet på en skala der generelt er over 50 km², og vil formentligt have mindre præcision ved anvendelse på mindre skala.

Til trods for den manglende performance udgør modellen, med den opdaterede geologi/hydrostratigrafi, vandløbsopsætning samt detaljering af input dataene, et unikt redskab ikke mindst som udgangspunkt for de detailmodeller der opstilles p.t. i forbindelse med grundvandskortlægningen. Det vil således være muligt at "klippe" et vilkårligt område ud af modellen, inklusiv de tilhørende datafiler, hvorefter der med en betydelig reduceret indsats kan opstilles en model for et mindre område for eventuel yderligere detaljering af den rumlige opløsning eller hydrostratigrafisk tolkning.

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 af 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 af 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.
- Børgesen C.D. & Schaap M.G. Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions for Danish soils. *Geoderma* 127 (1-2):154-167, 2005.
- Carlsson, L. & G. Gufstafson (1984): Provpumpning som geohydrologisk undersøkningsmetodik. Byggeforskningsradet, Chalmers Tekniske Högskola, Göteborg. R41:1984.
- 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
- Greve M.H., Greve M.B., Bocher P.K., Balstrom T., Breuning-Madsen H. & Krogh L. Generating a Danish raster-based topsoil property map combining choropleth maps and point information. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography* 107 (2):1-12, 2007.
- Harrar, W. G. & Nilsson, B. (1998). Seasonal Variation in fracture flux through a glacial till. 1998 GSA Annual Meeting. ISSN 0016-7592
- 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.
- Henriksen, H.J., Sonnenborg, A. (2003) Ferskvandets kredsløb, Nova2003 Temarapport, 228p, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- Højberg, A.L, Trolborg, L., Nyegaard, P., Ondracek, M., Stisen, S., Christensen, B.S.B. & Nørgaard, A. (2008). National Vandressource Model: Sjælland, Lolland, Falster og Møn - Opdatering januar 2008, GEUS rapport 2008/65, pp. 112. Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- Jørgensen, F. & Sandersen, P. 2009: Kortlægning af begravede dale i Danmark – opdatering 2007-2009- Særudgivelse, GEUS. pp 374. (www.begravede-dale.dk)
- Kürstein, J., Andersen, J.A. & Mahrt J. (2009) Sjællandsmodellen – et integreret modelværktøj for det hydrologiske vandkredsløb. Dokumentationsrapport. Miljøministeriet, Miljøcenter Roskilde og Niras.
- Madsen H.B., Pollas K., Sørensen S. M., Hansen K.S., Bendtsen S.Å., Bidstrup J., Thorsen M., Bruhn B., Jensen J.B. & Pedersen S.E. (2009) Implementering af modeller i vandforvaltningen, Strategi og handleplan, version 3, 7. maj 2009.

- Mikkelsen, H.E. & Olesen J.E (1991) Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning. Landbrugsministeriet, Statens Planteavlsvforsøg, Tidsskrift for Planteavls Specialserie, Beretning nr. S 2157.
- 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., Bøgild, C.E. & Broholm, K. (2001). Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogenous till-sand aquifer system. *Journal of Hydrology* 243, 162-179.
- Nyegaard, P., Trolborg, L. & Højberg, AL (2010) DK-model2009 – Geologisk og Hydrostratigrafisk opdatering, GEUS rapport 2010/80, København.
- Olesen, J.E. & Heidmann, T. (2002) EVACROP. Et program til beregning af aktuel fordamning og afstrømning fra rodzonen, Version 1.01,
- 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 oplandsskala. 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 fordamning, 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.
- Scharling, M. & Kern-Hansen C (2002): Klimagrid - Danmark, Nedbør og fordampning, Beregningsresultater til belysning af vandbalancen i Danmark. DMI Technical Report 02-03, Trafikministeriet, DMI.
- Sonnenborg, T.O. & Henriksen H.J. (eds) (2005). Håndbog i grundvandsmodellering. GEUS rapport 2005/80. Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- Stisen S., Sonnenborg T.O., Højberg A.L., Trolborg L. and Refsgaard J.C. Evaluation of climate input biases and water balance issues using a coupled surface-subsurface model.. Submitted to: *Vadose Zone Journal – Special Issue HOBE*.
- TOP10DK-specifikation (2001) TOP10DK - Geometrisk registrering - Specifikation udgave 3.2.0, Kort & Matrikelstyrelsen
- Trolborg, L., Henriksen, HJ. (eds) (2006), Optimering af DK-model for Københavns Energi, GEUS rapport 8/2006, 174p, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København
- Yan J.J. and K.R. Smith, 1994: Simulation of Integrated Surface Water and Ground Water Systems - Model Formulation. *Water Resources Bulletin*, Vol. 30, No. 5, pp 1-12

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 modellen for Midtjylland.

Indvindingsdata Område 5 (Midtjylland)

Datagrundlag

Indvindingen for Midtjylland er processeret på basis af et JupiterXL udtræk for hele Jylland foretaget d. 05. oktober 2009. Datum for udtrækket er euref89 og DVR90. Konvertering af JupiterXL udtrækket til ArcMap shape format er foretaget med WellViewer version 0.4.0.

Udtrækket er organiseret i to shapfiler, én indeholdende alle anlæg hvortil der er registreret ét eller flere indtag (7518 anlæg), og én shapefil med alle anlæg hvortil der ikke er registreret et indtag i Jupiter databasen (604 anlæg). Statistik for indvindingen på anlæg hvortil der er tilknyttet indtag er givet i Tabel 1, mens de tilsvarende størrelser for anlæg uden indtag er givet i Tabel 2.

Tabel 1. Oversigt over middel indvindingen (m³/år) i perioden 1990 – 2008 for anlæg med tilknyttede indtag

Virksomhedstype	Antal anlæg	Antal Indtag	Middel indvinding pr anlægstype	Middel indvinding pr anlæg	Minimum indvinding pr anlæg	Maximum indvinding pr anlæg
K90	1	6	27.499	27.499	27.499	27.499
V01	99	713	46.605.153	470.759	566	3.178.362
V02	849	2591	57.463.496	67.684	117	1.917.390
V03	95	115	288.218	3.034	29	17.033
V30	40	62	312.529	7.813	29	68.380
V40	5696	8589	114.902.586	20.173	0	479.115
V41	53	62	273.923	5.168	2	36.990
V50	151	190	938.592	6.216	26	58.291
V51	40	54	787.520	19.688	261	320.124
V52	12	15	67.332	5.611	255	14.953
V53	21	21	158.324	7.539	247	21.270
V60	71	129	12.596.777	177.419	100	889.080
V70	38	52	148.925	3.919	100	52.545
V80	53	96	1.912.200	36.079	100	316.575
V81	48	134	4.705.300	98.027	125	429.333
V82	3	5	106.083	35.361	2.200	85.494
V83	6	13	444.704	74.117	2.927	204.963
V84	43	53	1.935.390	45.009	267	134.643
V85	32	36	186.297	5.822	26	24.750
V90	58	91	308.852	5.325	8	51.451
V91	42	88	1.495.719	35.612	1.000	943.452
V92	10	12	203.530	20.353	368	159.138
V93	1	2	22.962	22.962	22.962	22.962

V94	4	6	24.324	6.081	224	14.019
V95	47	49	749.323	15.943	4	562.500
V98	1	1	11.804	11.804	11.804	11.804
V99	1	3	25.618	25.618	25.618	25.618
W01	3	5	2.032	677	8	1.260
Sum	7518	13.193	246.705.013			

Tabel 2. Oversigt over middel indvindingen (m³/år) i perioden 1990 – 2008 for anlæg uden tilknyttede indtag

Virksomhedstype	Antal anlæg	Middel indvinding pr anlægstype	Middel indvinding pr anlæg	Minimum indvinding pr anlæg	Maximum indvinding pr anlæg
V01	1	10.547	10.547	10.547	10.547
V02	13	285.909	21.993	1.334	178.059
V03	31	38.958	1.257	45	6.576
V30	5	82.409	16.482	1.336	42.046
V40	334	5.153.694	15.430	1	122.527
V41	6	76.501	12.750	630	45.960
V50	11	31.704	2.882	80	11.291
V51	2	21.393	10.697	1.136	20.258
V53	4	81.016	20.254	2.547	61.992
V60	32	79.269.107	2.477.160	1.865	18.200.000
V70	5	4.511	902	100	1.848
V80	8	909.638	113.705	1.460	797.619
V81	8	456.073	57.009	38	226.527
V82	2	3.029	1.515	1.061	1.968
V83	3	1.432.106	477.369	422.521	551.242
V84	22	1.488.668	67.667	1.969	325.729
V85	3	11.435	3.812	1.822	4.892
V90	68	229.957	3.382	1	164.571
V91	6	29.346	4.891	1.157	8.792
V92	5	21.244	4.249	772	9.503
V93	1	24.764	24.764	24.764	24.764
V94	1	9	9	9	9
V95	31	49.483	1.596	15	8.550
W01	2	8.865	4.433	3.965	4.900
Sum	604	89.720.367			

Datahåndtering

Fordelingen af indvindingen på de enkelte indtag er foretaget med GIS-rutinerne udviklet på GEUS, der indeholder en fejlscreening af indtagene mht. manglende informationer, samt en associering af indtagene til de korrekte geologiske/hydrostratigrafiske lag i modellen.

Fejlscreening

Under fejlscreeningen er der identificeret indtag med manglende x,y-kordinater samt indtag hvor top og bund ikke kan estimeres, Tabel 3. Indtag med manglende x,y koordinater er opgjort samlet for hele Jylland, da det ikke er muligt at bestemme den præcise lokalitet, og dermed det korrekte modelområde, på basis af øvrige oplysninger såsom kommune nummer.

Af de 411 indtag hvor top/bund ikke har kunnet estimeres er 276 tilknyttet et anlæg hvor alle indtag mangler angivelse af top/bund kote, hvorfor indvindingen fra disse anlæg ikke har kunnet indplaceres i modellen. De 276 indtag er tilknyttet 257 anlæg, heraf har de 186 anlæg en middelindvinding på 0 m³/år. De resterende 71 anlæg er listet i Tabel 4.

Tabel 3. Fejlscreening af indtag for område 5

EC-kode	Beskrivelse	Antal indtag fraserteret
1	Manglende georeference (Hele Jylland)	97
2	Top/bund af filter kan ikke beregnes	411

Tabel 4. Anlæg hvortil der er knyttet indtag, men ingen af indtagene kan placeres pga. manglende informationer om top og bundkoter.

PlantID	Plantname	Virksomhedstype	Mean indvinding (m ³ /år)	Indtag pr anlæg
98865	Damhusvej 61, Møborg, Bækmarksbro	V40	70	2
80491	Sillerupvæld Dambrug	V60	100	2
61414	A/S Jysk Leasing	V80	141	1
79741	Tulstrup Kro Vandværk NEDLAGT	V70	176	1
79803	Det Danske Hedeselskab	V50	231	1
55026	Jette Hoffmann Christensen	V40	257	1
80661	Spejderhytten Lisbjerg	V03	500	1
79555	Kare I Vandværk	V01	566	1
79659	Skovkroen Vandværk v/ Løvenholm Skovdistrikt	V70	642	1
79770	Følle Vig Vandværk v/Hejrevej	V02	785	1
79702	Bjedstrup Børnehus Vandværk NEDLAGT	V30	988	1
80126	Børge G. Christensen	V40	1025	1
72625	Vorslunde Vandværk	V03	1084	1
73489	Jette Bjerregård	V40	1097	1
62052	Hærvejens Cafeteria	V70	1161	1
64433	I/S Nøddelund Vandværk	V02	1286	1
61878	Ungstrup Østre Vandværk I/S	V03	1325	1
61820	Mausing-Pederstrup Vandværk	V03	1420	1
80410	Asklev Vandværk	V02	1590	1
79383	Fladbrovejens Vandværk	V03	1617	1
101447	Nørre Karstoft Dambrug	V60	1714	1
74052	Rasmus Buhl	V40	1840	1
99387	Ånumvej 145, 6900 Skjern	V40	1849	2
74003	Verner Bjørnskov Rasmussen	V53	1908	1

PlantID	Plantname	Virksomhedstype	Mean indvinding (m ³ /år)	Indtag pr anlæg
51811	Jan Petersen	V40	2044	2
80327	Auning Skoles Vandværk	V30	2048	1
63378	Hald Hovedgård Vandværk	V03	2130	1
96494	Blåkilde Ungdomsskole	V30	2132	1
79016	Meilgaard Gods Vandværk v/ Mads Olesen	V03	2175	1
74723	Tønning Station Vandværk	V02	2204	1
64435	Gudenåcentralens Vandværk	V03	2267	1
78072	Toustrup Mark Vandværk	V70	2315	1
78428	Gdr. Bent Prebensen	V40	2332	3
78784	Ringsø Vandværk	V02	2483	1
72622	Dørken Vandværk	V02	2487	1
79017	Johannes Erik Janerka	V03	2561	1
64400	Højbjerg Centralskoles Vandv.	V01	2608	1
80499	Vognmand Søren P. Mikkelsen	V80	2728	1
64415	I/S Elsborg Vestre Vandværk	V02	3537	1
79262	Peer Toft	V92	3656	1
74127	Ole Christensen	V40	4073	1
61666	Karup kommune - idrætsanlæg	V41	4759	1
78581	Vrangstrup Vandværk	V03	4849	1
96132	Tusbækvej 31a, Feldborg	V41	4884	1
73390	Rhododendrohaven	V52	4944	1
99509	Vestergårdvej 1, Borris	V40	5213	1
74055	Søren Broch	V40	5312	1
101533	Stavlundvej 15, Haderup	V40	6080	1
51945	Tommy Merrild	V40	6550	1
99436	Borrisvej 19, Astrup	V40	6857	1
51866	Preben Lassen	V40	7110	1
80339	Gdr. Niels Arne Jørgensen	V40	7477	1
74686	Bakkely I/S	V40	7533	1
61827	Duelund Østre Vandværk I/S	V02	7727	1
101530	Gudumkærvej 11A, Herning	V40	8540	1
74036	Bendt Hansen	V40	9158	1
96547	Ørbækvej 3, Hoven, Tarm	V40	11929	1
96337	Johannes Jessen	V40	12000	1
74256	Erling Nørgaard	V40	12078	1
96943	Nørremarksvej 16, Tarm	V40	12863	1
72486	Hans Peter Jensen	V40	13572	1
80353	Gdr. Hans Jørgen Hvid	V40	15596	1
98559	Edith Kirstine Hansen	V40	21000	1
96699	Tinghedevej 5, Lyne, Hemmet	V40	21640	1
80199	Gl. Hylke og Brørup Vandværk I/S	V02	26652	3
97682	Voulundgårdvej 3, Kølkær, Herning	V40	27488	1
101761	Hanne Gottorp Larsen	V40	28000	2
73507	Martin Arvad Nielsen	V40	29773	1
101538	Vester Feldborgvej 19A	V40	42033	2

PlantID	Plantname	Virksomhedstype	Mean indvinding (m ³ /år)	Indtag pr anlæg
97017	Bisgård Dambrug (boring)	V60	58573	1
79159	Nymølle Stenindustrier A/S	V84	89325	2

Frasortering af indtag

Indtag tilknyttet et anlæg anvendes ikke i alle tilfælde til indvinding, men kan også tjene som eksempelvis pejle eller monitoringsboringer. I Jupiter er der to felter der kan angive formålet for et indtag: "purpose" som er formålet for etablering af indtaget, samt "use" som er den faktiske anvendelse af indtaget. I nogle tilfælde kan et indtag eksempelvis etableres med indvinding som formål, men kan sidenhen overgå til eksempelvis pejling. Registreringen i Jupiter giver desværre ikke en fyldestgørende historik mht. hvornår et indtag evt. overgår fra én funktion til en anden. Endvidere er registreringen af anvendelsen i felterne "purpose" og "use" mangelfuld for en stor del af indtagene i Jupiter. Ved tidligere udtræk blev det konstateret, at der kunne ske en fejlagtig tildeling af indvindingen for vandværker, hvis der blev tildelt en indvinding til indtag registreret med et andet formål end indvinding i felterne "Use" eller "Purpose". Det er derfor valgt at frasortere indtag, hvor use er forskellig fra indvinding (registreret anvendelse der er forskellig fra indvinding), eller hvor purpose er forskellig fra indvinding og feltet use ikke angiver indvinding (indtag oprettet til andet formål, og er ikke overgået til indvinding). Endvidere er markvanding (virksomhedstype=40) ikke indlagt med faste indvindingsmængder (se hovedrapport) og derfor ligeledes frasorteret. Antallet af frasorterede indtag fremgår af Tabel 5.

Tabel 5. Frasortering af indtag ved fordeling af indvindingen for Midtjylland, samt anvendt "frasort kode" i GIS-tabel

Indtag	Beskrivelse	Frasort kode
31	Indtag med 'P' (pejling), 'M' (monitoring), 'A' (andet), 'G' (geoteknisk), 'I' (nedpumpningsboring), 'J' (Jordvarme), 'L' (forureningsboring), 'R' (råstofboring), 'U' (undersøgelsesoring) i feltet Use	-6
15	Indtag med 'P' (pejling), 'M' (monitoring), 'A' (andet), 'G' (geoteknisk), 'I' (nedpumpningsboring), 'J' (Jordvarme), 'L' (forureningsboring), 'R' (råstofboring), 'U' (undersøgelsesoring) i feltet Purpose OG hvor feltet use IKKE er en af følgende: 'C','V',	-7
10040	Markvanding	2

Anlæg uden indtag

Der i alt 604 anlæg, som mangler informationer om hvilke boringer/indtag der indvindes fra og hvor det derfor ikke er muligt at fordele den indvinding der er registreret i Jupiter, Tabel 2. Samlet er der knap 90 mio. m³/år, der ikke kan placeres pga. manglende tilknytning til indtag. Hovedparten af denne indvinding tilhører dog virksomhedstype V60 (Dambrug), hvor 10 dambrug har en registreret indvinding på ≥ 3 mio. m³/år (i alt 75.732.861 m³/år), hvoraf to har en registreret indvinding på ≥ 18 mio. m³/år. Så store mængder er næppe realistiske. Endvidere har indberetningen fra dambrug traditionelt været usikker, da det ofte drejer sig

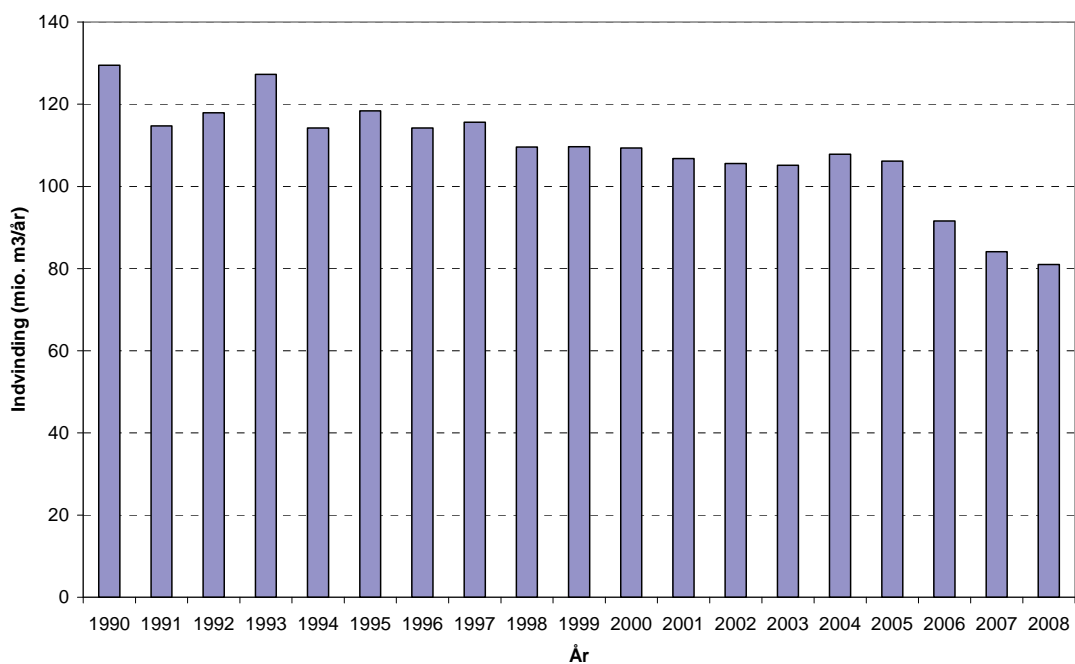
om anvendelse af én eller flere ressourcer såsom overfladevand, kilder og oppumpet grundvand. I nærværende projekt har det ikke været muligt at analysere hvorvidt de indberettede mængder er korrekte og hvilken ressource (overflade-/grundvand) der anvendes i de enkelte dambrug. Der bør dog foretages en nærmere analyse af denne problemstilling, da evt. manglende indvindinger samt udledning til vandløb i denne størrelsesorden kan have stor betydning ved en fremtidig ressourceopgørelse.

Samlet indvinding i modellen

Den samlede årlige indvinding for de indtag der har kunnet indplaceres i modellen er givet i Tabel 6, og fremstillet grafisk i Figur 1.

Tabel 6. Samlet årlig indvinding for Sjælland

År	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
m ³ /år (mio)	130	115	118	127	114	118	114	116	110	110
År	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
m ³ /år (mio)	109	107	106	105	108	106	92	84	81	



Figur 1. Samlet årlig indvinding for anlæg med tilknyttede indtag

Indvindingen fordeler sig på de respektive beregningslag som angivet i Tabel 7.

Tabel 7. Fordeling af indvinding i beregningslagene for modellen for område 5

Beregningslag	Indtag i lag	indvinding (mid-del 1990 - 2006)	% af samlet indvinding
1 (mixed sand/ler)	1053	3.503.620	3
2	492	2.631.889	2
3 (sand)	2053	34.486.665	26
4 (mixed sand/ler)	501	8.689.278	7
5	1161	21.306.530	16
6 (sand)	457	10.806.408	8
7	270	6.962.894	5
8 (sand)	289	14.709.740	11
9	108	4.353.098	3
10 (sand)	10	543.371	0
11 (ler/kalk)	662	22.582.704	17
i alt		130.576.198	100

Generering af model input filer

Generering af MIKE SHE input filer er foretaget med Wellviewer version 0.4.0. Der er genereret indvindingstidsserier for hele perioden 1990 – 2008.

BILAG 2

Beskrivelse af procedure for udvælgelse af pejlinger til kalibrering af modellen for Midtjylland

Pejledata område 5 (Midtjylland)

Datagrundlag

Pejlinger for område 5 er processeret på basis af et JupiterXL udtræk for hele Jylland foretaget d. 5. oktober 2009, der er udtrukket data tilbage til 1990. Datum for udtrækket er eu-ref89 og DVR90. Konvertering af JupiterXL udtrækket til ArcMap shape format er foretaget med WellViewer.

Datahåndtering

Processeringen af pejledata er foretaget i ArcMap vha. GIS-rutiner udviklet på GEUS. Første trin har været en fejlscreening af indtagene mht. manglende informationer. Herefter er indtagenes associeret til de korrekte geologiske/hydrostratigrafiske lag i modellen.

Fejlscreening

Under fejlscreeningen er der identificeret indtag med manglende x,y-koordinater samt indtag hvor top og bund ikke kan estimeres, Tabel 1. Indtag med manglende x,y koordinater er opgjort samlet for hele Jylland, da det ikke er muligt at bestemme den præcise lokalitet, og dermed korrekt modelområde, på basis af øvrige oplysninger såsom kommune nummer.

Tabel 1. Indtag frasorteret pga. manglende information – område 5

EC-kode	Beskrivelse	antal indtag frasorteret
1	Manglende georeference (for hele Jylland)	169
2	Top/bund af filter kan ikke beregnes (kun område 5)	2116

Antal indtag med pejlinger i perioderne anvendt under model kalibrering og validering, og som har kunnet indplaceres i modellen fordeler sig periodemæssigt som angivet i Tabel 2.

Tabel 2. Antal indtag med pejlinger indenfor modelområde 5.

	Heraf indtag med		
	i alt	1 pejling	< 5 pejlinger
Indtag kun med pejlinger før 1. januar 2000	3978	3117	3640
Indtag med pejlinger i perioden 1. jan. 2000 - 31. dec. 2003	4512	1305	3082
Indtag med pejlinger i perioden 1. jan. 2004 - 31. dec. 2007	3085	912	2064
Indtag i alt med pejlinger fra 1. jan. 1990 - 31. dec. 2007	9619	5334	7779

Placering af pejlinger i modellen

Den geologiske model for Jylland er opbygget som en hybrid bestående af pixler fra DK-model2003 samt lagtolkninger fra lokalmodeller medtaget under opdateringen. Den hydrostratigrafiske model er tolket så de hydrostratigrafiske lag i overvejende grad indeholder sand (magasinlag) eller ler (akvitard). Pixeltolkningen fordrer dog ikke en lagstruktur og vil ofte afspejle en mere heterogen geologisk opbygning, hvorfor de hydrostratigrafiske lag potentielt kan indeholde såvel sand som lerenheder. Dette betyder, at pejlinger indplaceret i et modellag, som fortrinsvist indeholder ler, godt kan være filtersat i en mindre sandforkomst indenfor det hydrostratigrafiske lag. Det er derfor ikke umiddelbart muligt at kontrollere hvorvidt indtag anvendt til pejlinger er indplaceret i sand i modellen, og der er derfor ikke gjort tiltag for at associere indtag til andre modellag.

Udvælgelse af pejlinger

Efter frasortering af indtag der ikke kan indplaceres i modellen er der foretaget en udvælgelse af de pejlinger der er medtaget i kalibreringen. Frasorteringskriterierne har været:

- *Tæt på rand.* Indtag der er placeret i en gridcelle med én eller flere naboceller der udgør modelrand er frasortet.
- *Indvindingsboring.* Alle boringer tættere end 10 m på en indvindingsboring er antaget at være en indvindingsboring og er frasortet.
- *Vurderet at være indvindingspåvirket.* Pejleobservationer kan være påvirket af nærtstående indvindinger. Hvorvidt dette er tilfældet er vurderet på basis af en initial kørsel med modellen, dvs. modellen er ikke kalibreret men performer overordnet rimeligt. For hvert indtag er der beregnet en middelfejl mellem de observerede og simulerede værdier. I tilfælde hvor pejleindtaget står indenfor en radius på 500 m af en indvindingsboring (én gridcelle størrelse) og middelfejlen er mindre end -10 m (den observerede er mere end 10 m lavere end den simulerede værdi) er det antaget, at observationen er påvirket af en indvindingstragt, der ikke kan repræsenteres i modellen.
- *Observeret potentiale forskellig fra omkringliggende.* Pejleindtag med en absolut middelfejl på mere end 10 m, er gennemgået manuelt, og indtag med en observeret værdi der afviger meget fra omkringliggende observationer er frasortet. Disse pejlinger findes hovedsageligt i højtliggende områder, og den store middelfejl kan f.eks. skyldes hængende vandspejl, manglende opløsning af lokal topografi eller fejl i observeret potentiale.
- *Meanpejl over terræn i øverste lag.* I nogle tilfælde er der registreret et potentiale der står over modeltopografien. For de øverste lag vil der primært optræde frie forhold, hvorved det ikke er muligt at simulere et potentiale over terræn for disse lag.
- *Mulig fejl i tidsserie.* I flere tilfælde er der registreret fejl i pejle tidsserierne lagret i Jupiter. Dette kan skyldes enkelte "outliers" og i nogle tilfælde er der registreret fortegnfejle i de indberettede data. De tidsserier der er medtaget i modellen som tidsserier i MikeShe opsætningen (se Udvælgelse af pejletidsserier) er manuelt gennemgået og evt. outliers er frasortet. De øvrige indtag med pejletidsserier (medtaget i kalibreringen som enkelt observationer i "layerstatistics") har det pga. antallet ikke været praktisk muligt at gennemgå manuelt. Der er derfor lavet en screening, hvor pejletidsserier der har en forskel på mere end 6 m mellem det maksimale og minimale pejl er frasortet.

Efter ovenstående frasortering fordeler de anvendte pejleobservationer sig som angivet i Tabel 3. I de tilfælde hvor et indtag strækker sig over flere beregningslag, er indtaget angivet placeret i det dybeste lag. Indtag hvis filter ligger højere end topografien er placeret i det øverste beregningslag.

Tabel 3. Fordeling af indtag pr. beregningslag fordelt på perioder, område 5

Beregningslag	Indtag med observationer		
	kun før 2000	2000 - 2003	2004 - 2007
1 (mixed sand/ler)	896	664	493
2	321	913	841
3 (sand)	924	210	220
4 (mixed sand/ler)	193	174	184
5	616	219	175
6 (sand)	325	173	122
7	100	81	55
8 (sand)	104	91	61
9	10	31	29
10 (sand)	4	15	10
11 (ler/kalk)	57	21	25
i alt	3550	2592	2215

Udvælgelse af pejletidsserier

Pejlinger medtages under kalibreringen på forskellige vis, som beskrevet i hovedrapporten. Udvalgte tidsserier medtages i Mike She opsætningen som "detailed timesseries", og giver hermed mulighed for optegning af observerede og simulerede tidsserier, ved anvendelse af de indbyggede funktionalitet i Mike She brugerflade. Der er i alt udvalgt 92 pejletidsserier ud fra krav om spredning, antallet af pejlinger i den enkelte tidserie og visuel bedømmelse om pejlet (indvindingspåvirket eller uregelmæssig udseende). Placeringen af tidsserierne medtaget i Mike She brugerfladen fremgår af hovedrapporten.

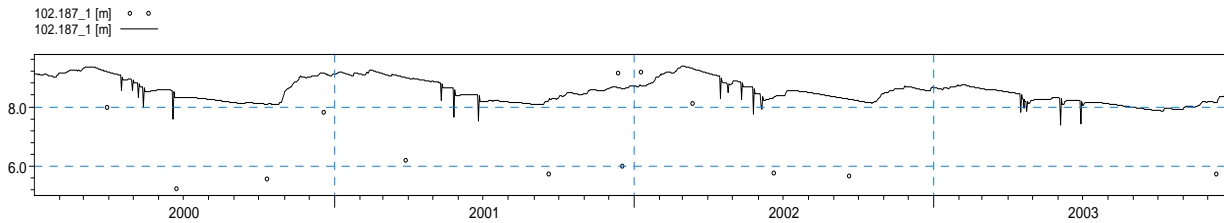
BILAG 3

Observerede og simulerede pejletidsserier

Novomr5 - Midtjylland

102.187_1, head elevation in saturated zone

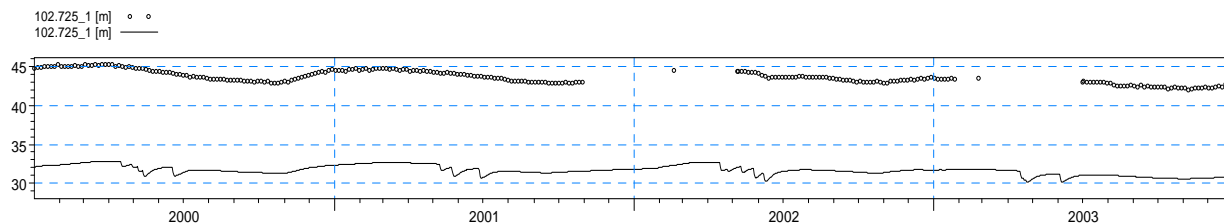
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\102.187_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.83247
 MAE=1.97536
 RMSE=2.15901
 STDres=1.14164
 R(Correlation)=0.677747
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1.45417

102.725_1, head elevation in saturated zone

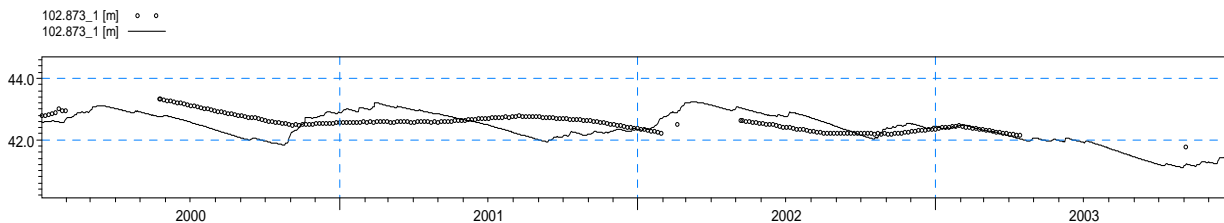
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\102.725_1.dfs0, item no. 1



ME=11.9957
 MAE=11.9957
 RMSE=12.0036
 STDres=0.435616
 R(Correlation)=0.864236
 R2(Nash_Sutcliffe)=-205.566

102.873_1, head elevation in saturated zone

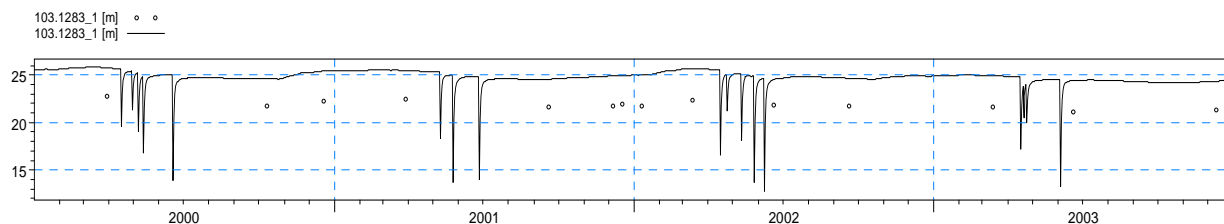
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\102.873_1.dfs0, item no. 1



ME=0.066706
 MAE=0.332633
 RMSE=0.397808
 STDres=0.392175
 R(Correlation)=0.0968877
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1.49129

103.1283_1, head elevation in saturated zone

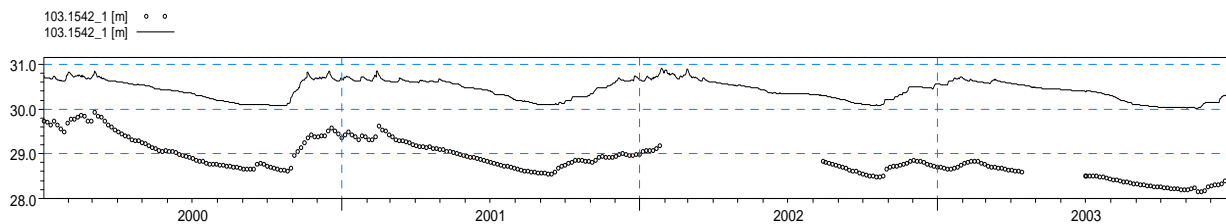
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\103.1283_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.06653
 MAE=3.06653
 RMSE=3.07276
 STDres=0.195603
 R(Correlation)=0.905658
 R2(Nash_Sutcliffe)=-48.2538

103.1542_1, head elevation in saturated zone

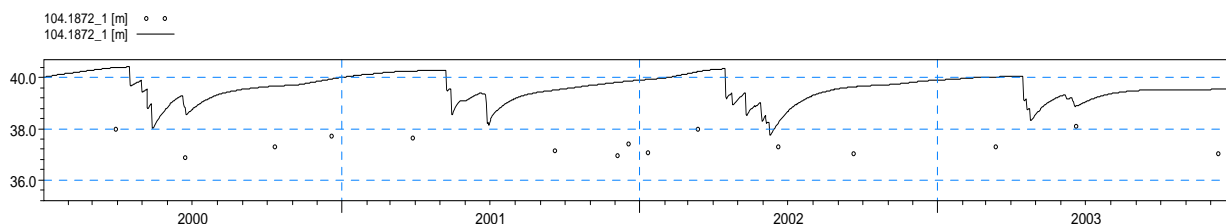
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\103.1542_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.52621
 MAE=1.52621
 RMSE=1.54786
 STDres=0.257959
 R(Correlation)=0.800432
 R2(Nash_Sutcliffe)=-13.6958

104.1872_1, head elevation in saturated zone

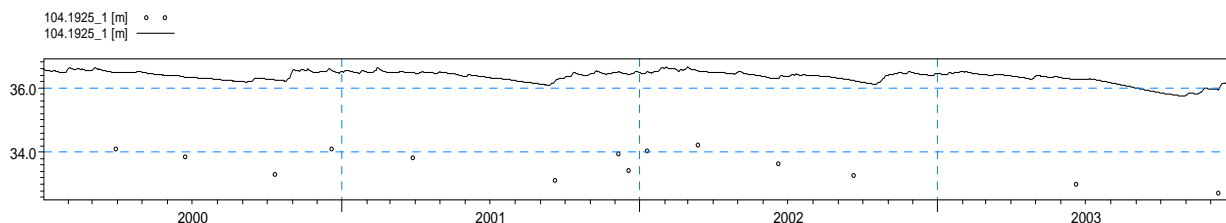
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\104.1872_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.24724
 MAE=2.24724
 RMSE=2.32665
 STDres=0.602675
 R(Correlation)=0.297268
 R2(Nash_Sutcliffe)=-34.071

104.1925_1, head elevation in saturated zone

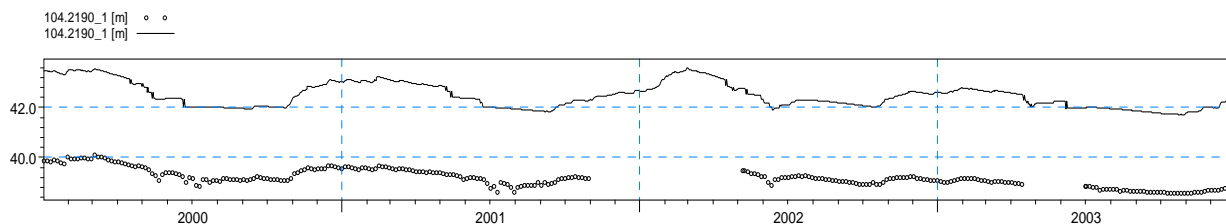
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\104.1925_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.74551
 MAE=2.74551
 RMSE=2.76324
 STDres=0.312558
 R(Correlation)=0.91154
 R2(Nash_Sutcliffe)=-35.761

104.2190_1, head elevation in saturated zone

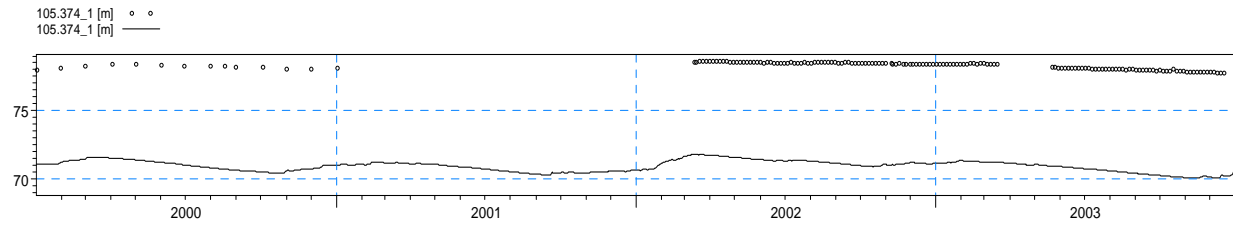
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\104.2190_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.24584
 MAE=3.24584
 RMSE=3.25431
 STDres=0.234634
 R(Correlation)=0.892218
 R2(Nash_Sutcliffe)=-82.7197

105.374_1, head elevation in saturated zone

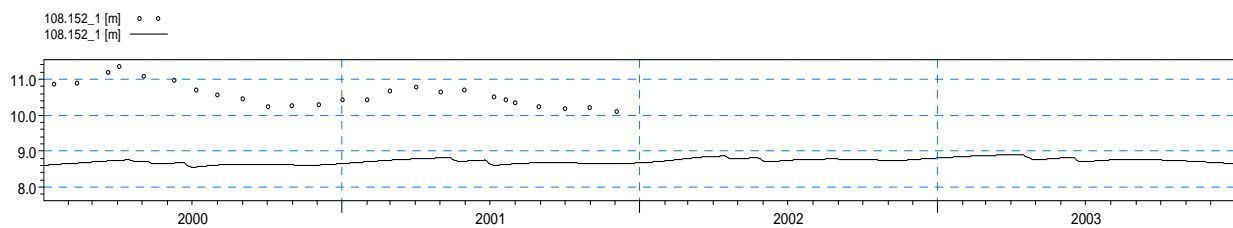
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\105.374_1.dfs0, item no. 1



ME=7.3343
MAE=7.3343
RMSE=7.33841
STDres=0.245636
R(Correlation)=0.947865
R2(Nash_Sutcliffe)=-785.296

108.152_1, head elevation in saturated zone

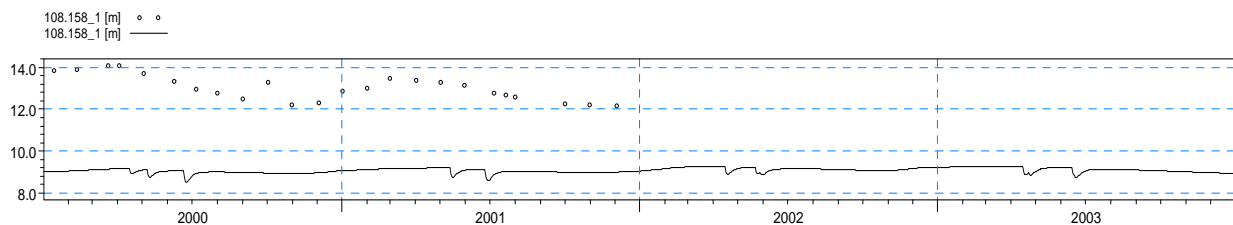
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\108.152_1.dfs0, item no. 1



ME=1.91125
MAE=1.91125
RMSE=1.93646
STDres=0.311458
R(Correlation)=0.415216
R2(Nash_Sutcliffe)=-33.1991

108.158_1, head elevation in saturated zone

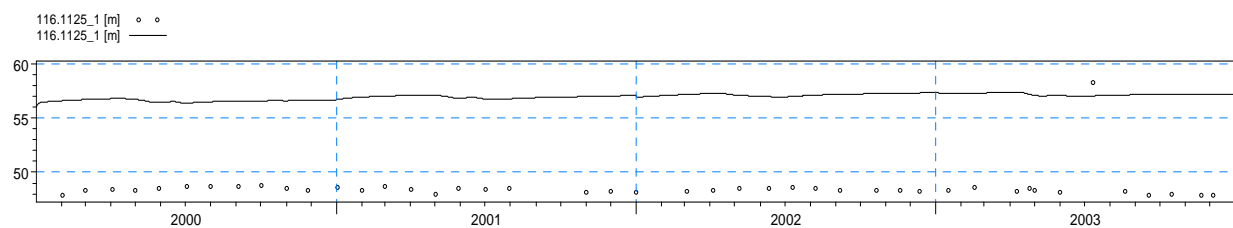
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\108.158_1.dfs0, item no. 1



ME=3.95712
MAE=3.95712
RMSE=3.99603
STDres=0.556287
R(Correlation)=0.611759
R2(Nash_Sutcliffe)=-42.6243

116.1125_1, head elevation in saturated zone

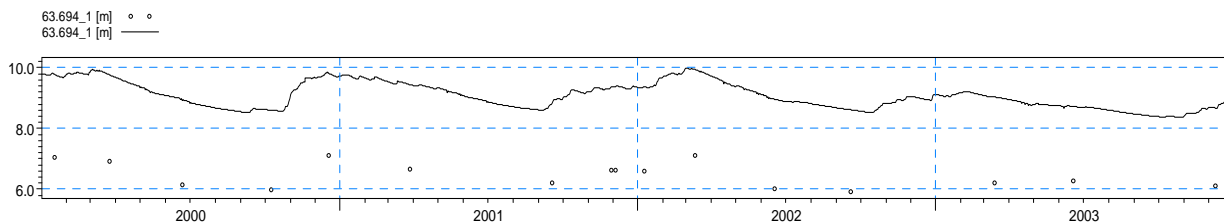
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\116.1125_1.dfs0, item no. 1



ME=-8.39065
MAE=8.44455
RMSE=8.5273
STDres=1.52045
R(Correlation)=-0.0234586
R2(Nash_Sutcliffe)=-31.6791

63.694_1, head elevation in saturated zone

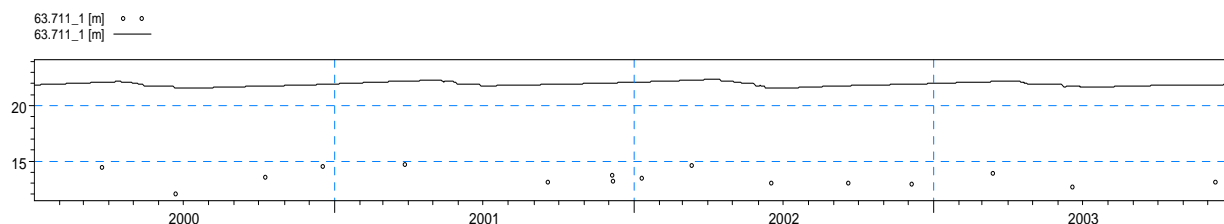
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\63.694_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.73564
 MAE=2.73564
 RMSE=2.73808
 STDres=0.115523
 R(Correlation)=0.968847
 R2(Nash_Sutcliffe)=-44.279

63.711_1, head elevation in saturated zone

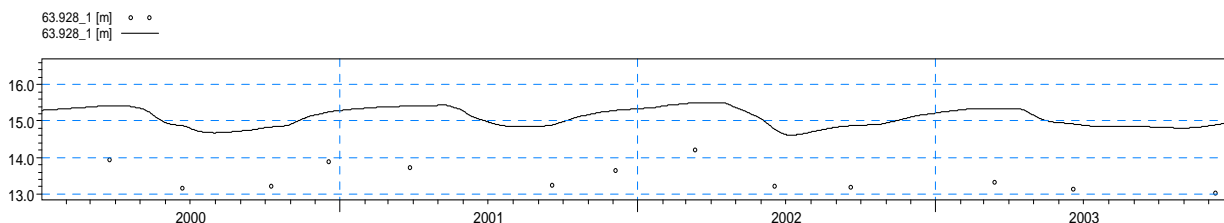
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\63.711_1.dfs0, item no. 1



ME=-8.46665
 MAE=8.46665
 RMSE=8.48716
 STDres=0.589692
 R(Correlation)=0.775028
 R2(Nash_Sutcliffe)=-131.66

63.928_1, head elevation in saturated zone

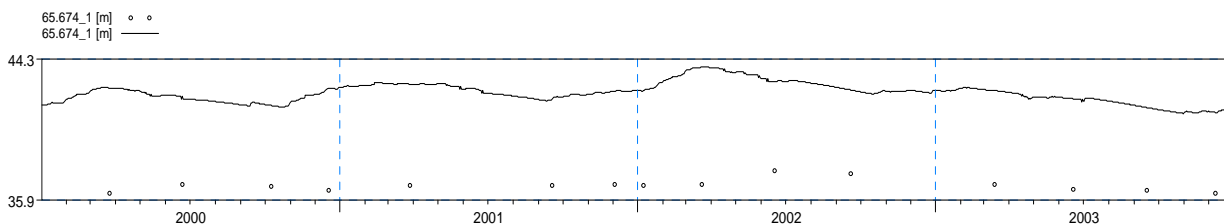
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\63.928_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.64885
 MAE=1.64885
 RMSE=1.65965
 STDres=0.189006
 R(Correlation)=0.868909
 R2(Nash_Sutcliffe)=-19.7906

65.674_1, head elevation in saturated zone

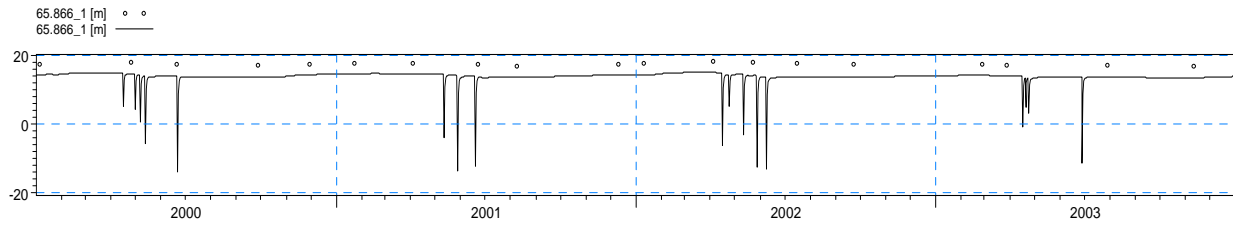
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\65.674_1.dfs0, item no. 1



ME=-5.55789
 MAE=5.55789
 RMSE=5.58798
 STDres=0.579183
 R(Correlation)=0.432193
 R2(Nash_Sutcliffe)=-241.2

65.866_1, head elevation in saturated zone

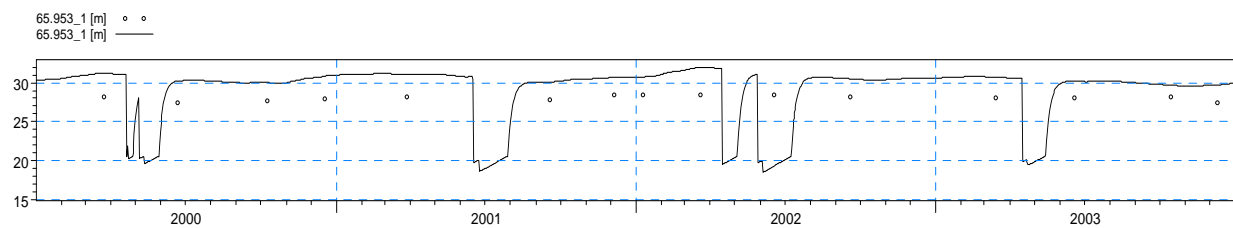
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\65.866_1.dfs0, item no. 1



ME=4.12931
 MAE=4.12931
 RMSE=5.19316
 STDres=3.14924
 R(Correlation)=0.107534
 R2(Nash_Sutcliffe)=-216.642

65.953_1, head elevation in saturated zone

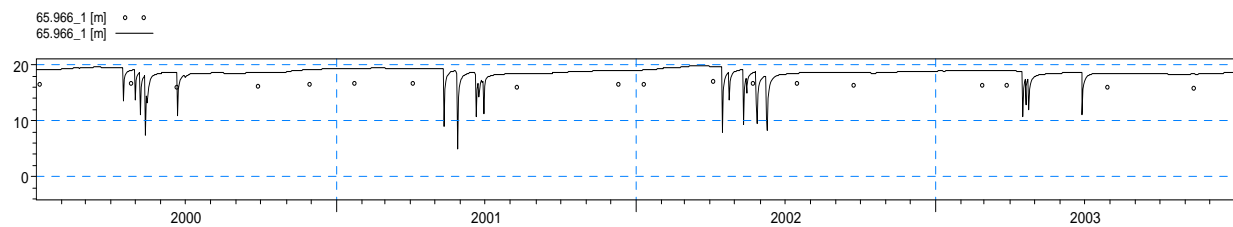
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\65.953_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.76385
 MAE=2.90666
 RMSE=3.35368
 STDres=2.85237
 R(Correlation)=-0.136743
 R2(Nash_Sutcliffe)=-111.384

65.966_1, head elevation in saturated zone

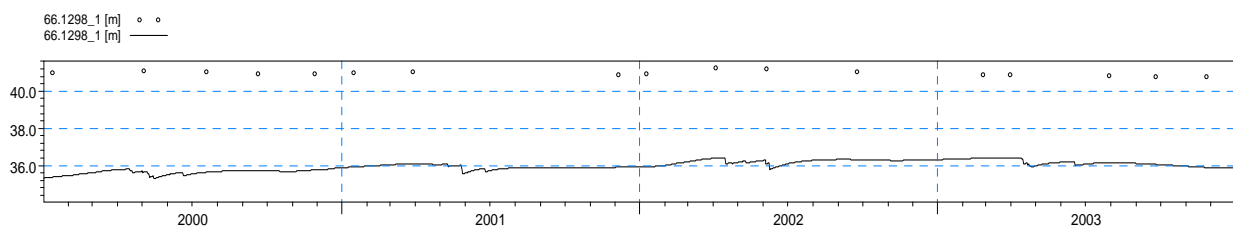
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\65.966_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.24496
 MAE=2.38085
 RMSE=2.41041
 STDres=0.877649
 R(Correlation)=0.535507
 R2(Nash_Sutcliffe)=-68.296

66.1298_1, head elevation in saturated zone

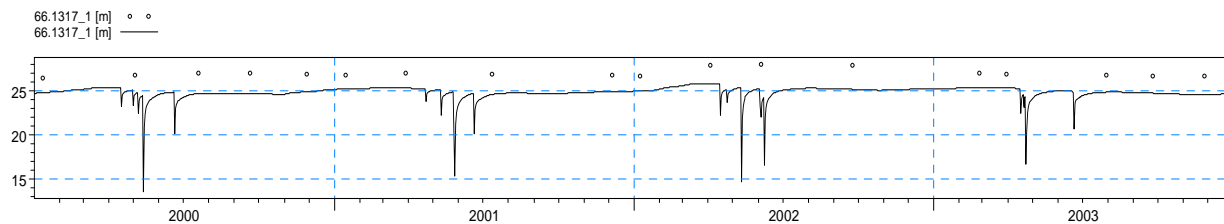
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1298_1.dfs0, item no. 1



ME=4.9977
 MAE=4.9977
 RMSE=5.00707
 STDres=0.306151
 R(Correlation)=0.0809279
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1538.49

66.1317_1, head elevation in saturated zone

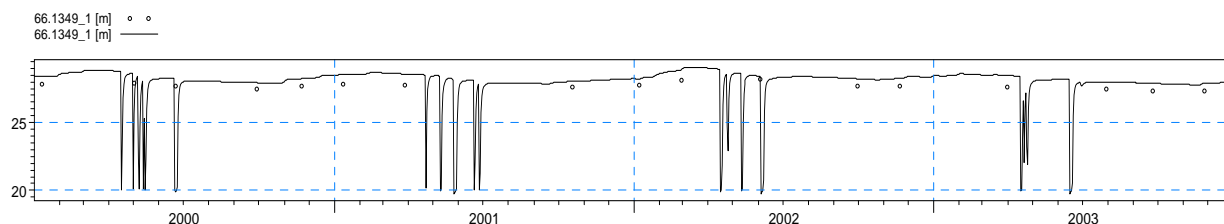
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1317_1.dfs0, item no. 1



ME=2.18737
 MAE=2.18737
 RMSE=2.32786
 STDres=0.796458
 R(Correlation)=-0.187614
 R2(Nash_Sutcliffe)=-27.995

66.1349_1, head elevation in saturated zone

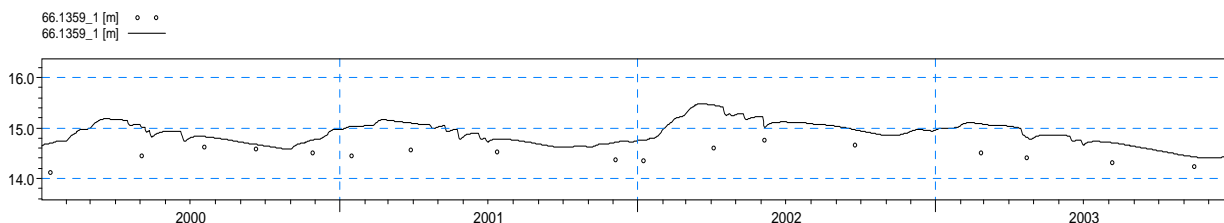
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1349_1.dfs0, item no. 1



ME=0.501614
 MAE=1.48726
 RMSE=2.51663
 STDres=2.46613
 R(Correlation)=-0.218922
 R2(Nash_Sutcliffe)=-121.486

66.1359_1, head elevation in saturated zone

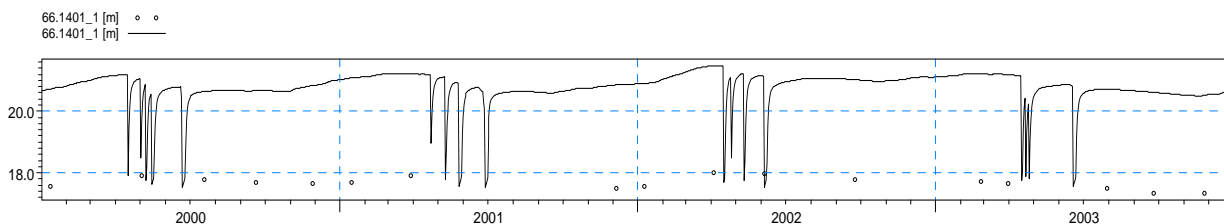
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1359_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.401777
 MAE=0.401777
 RMSE=0.443009
 STDres=0.186635
 R(Correlation)=0.578488
 R2(Nash_Sutcliffe)=-6.7465

66.1401_1, head elevation in saturated zone

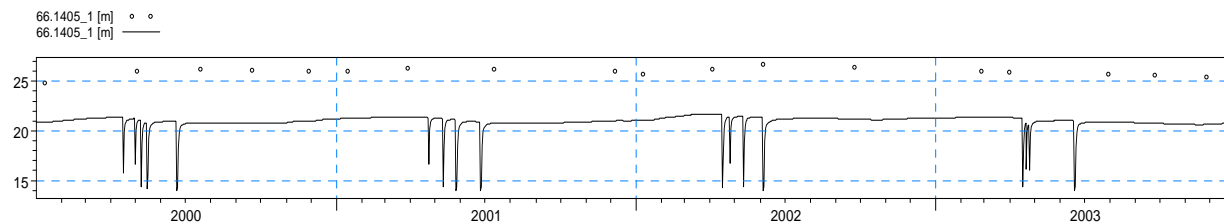
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1401_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.08019
 MAE=3.08019
 RMSE=3.13423
 STDres=0.5795
 R(Correlation)=-0.112198
 R2(Nash_Sutcliffe)=-250.493

66.1405_1, head elevation in saturated zone

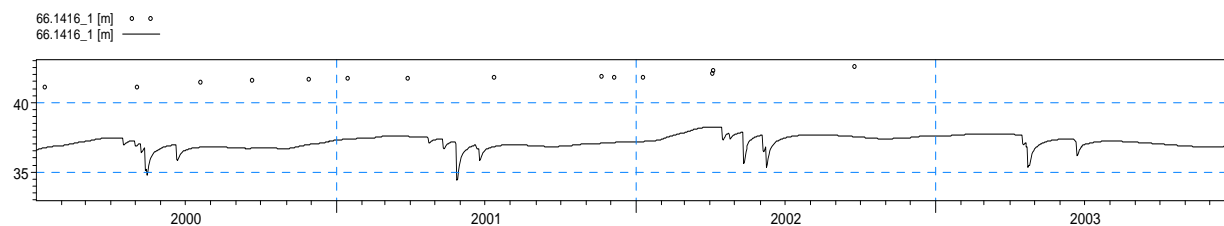
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1405_1.dfs0, item no. 1



ME=5.33978
 MAE=5.33978
 RMSE=5.63407
 STDres=1.79708
 R(Correlation)=-0.407407
 R2(Nash_Sutcliffe)=-195.169

66.1416_1, head elevation in saturated zone

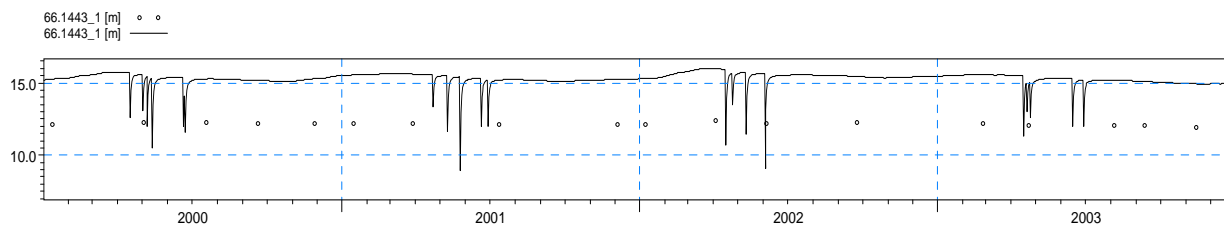
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1416_1.dfs0, item no. 1



ME=4.53966
 MAE=4.53966
 RMSE=4.55243
 STDres=0.340694
 R(Correlation)=0.720163
 R2(Nash_Sutcliffe)=-133.99

66.1443_1, head elevation in saturated zone

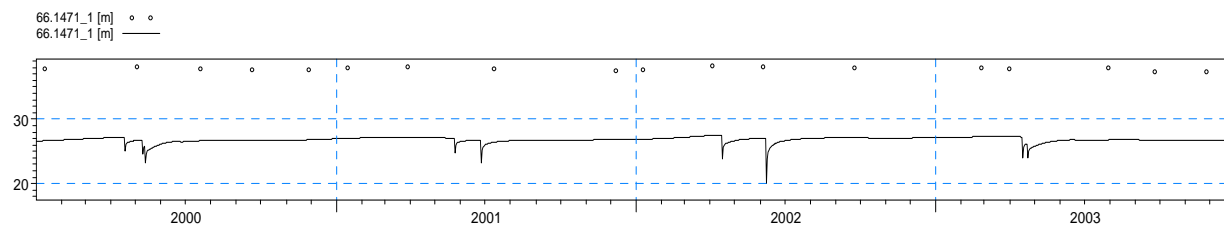
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1443_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.04275
 MAE=3.04275
 RMSE=3.07095
 STDres=0.415232
 R(Correlation)=0.324695
 R2(Nash_Sutcliffe)=-784.792

66.1471_1, head elevation in saturated zone

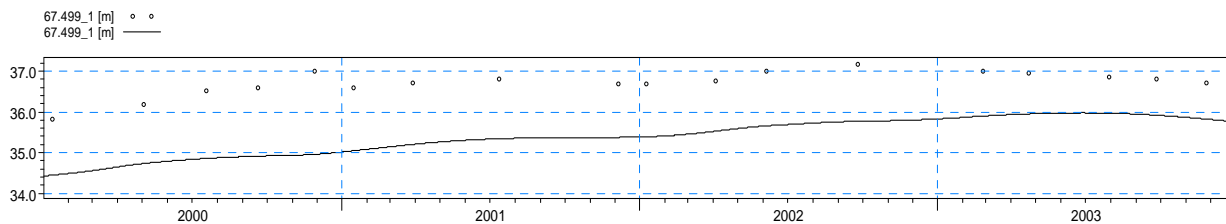
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\66.1471_1.dfs0, item no. 1



ME=10.9112
 MAE=10.9112
 RMSE=10.9136
 STDres=0.225546
 R(Correlation)=0.609473
 R2(Nash_Sutcliffe)=-2088.35

67.499_1, head elevation in saturated zone

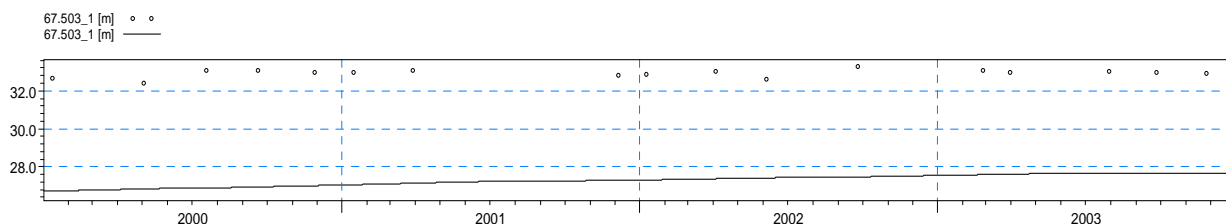
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\67.499_1.dfs0, item no. 1



ME=1.33956
 MAE=1.33956
 RMSE=1.37298
 STDres=0.301082
 R(Correlation)=0.760751
 R2(Nash_Sutcliffe)=-19.0938

67.503_1, head elevation in saturated zone

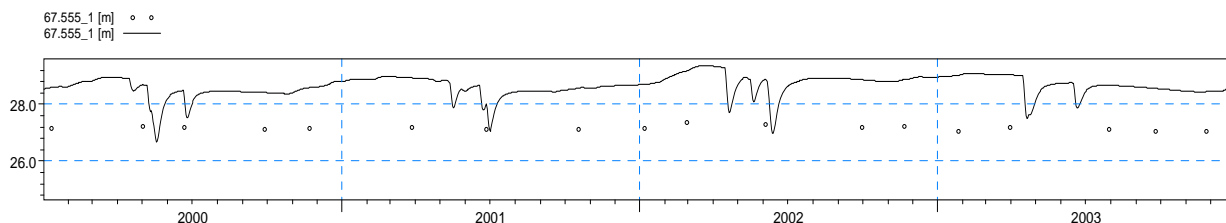
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\67.503_1.dfs0, item no. 1



ME=5.6611
 MAE=5.6611
 RMSE=5.66933
 STDres=0.305428
 R(Correlation)=0.332178
 R2(Nash_Sutcliffe)=-747.547

67.555_1, head elevation in saturated zone

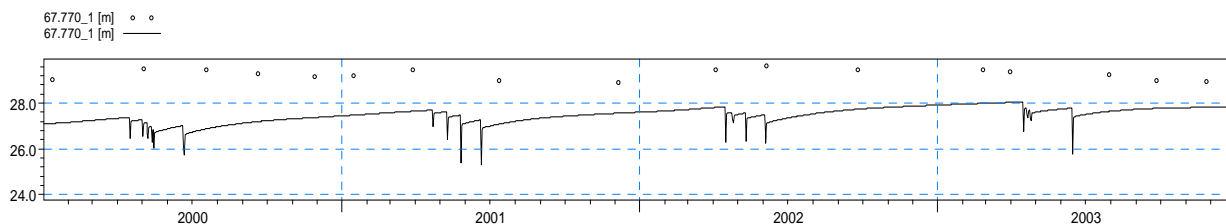
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\67.555_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.50079
 MAE=1.50079
 RMSE=1.52872
 STDres=0.290872
 R(Correlation)=0.412942
 R2(Nash_Sutcliffe)=-380.162

67.770_1, head elevation in saturated zone

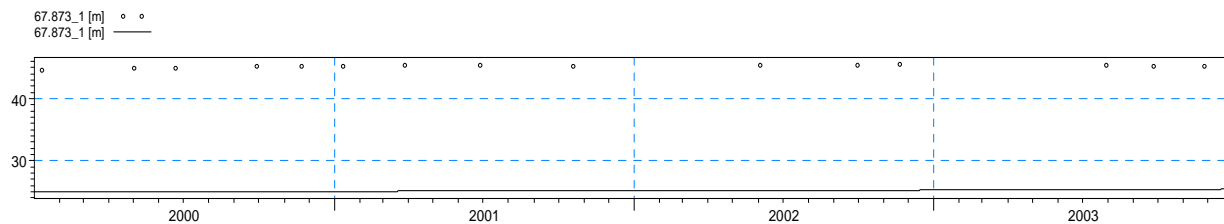
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\67.770_1.dfs0, item no. 1



ME=1.79862
 MAE=1.79862
 RMSE=1.85951
 STDres=0.471946
 R(Correlation)=-0.146303
 R2(Nash_Sutcliffe)=-67.8968

67.873_1, head elevation in saturated zone

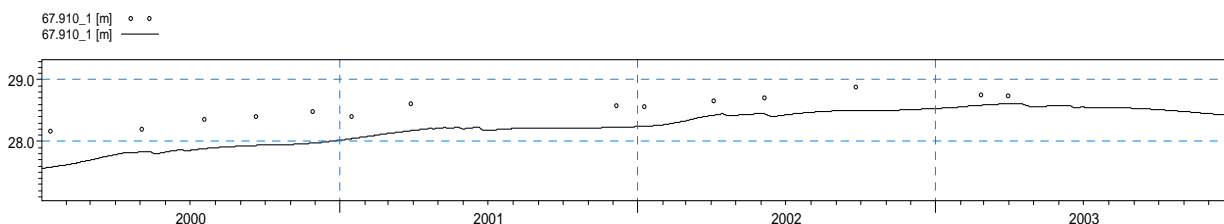
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\67.873_1.dfs0, item no. 1



ME=20.0579
 MAE=20.0579
 RMSE=20.0589
 STDres=0.193669
 R(Correlation)=0.569196
 R2(Nash_Sutcliffe)=-7251.56

67.910_1, head elevation in saturated zone

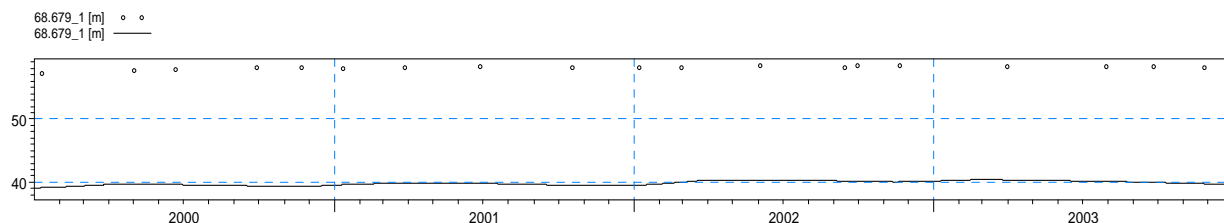
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\67.910_1.dfs0, item no. 1



ME=0.359519
 MAE=0.359519
 RMSE=0.380559
 STDres=0.124785
 R(Correlation)=0.951739
 R2(Nash_Sutcliffe)=-2.44271

68.679_1, head elevation in saturated zone

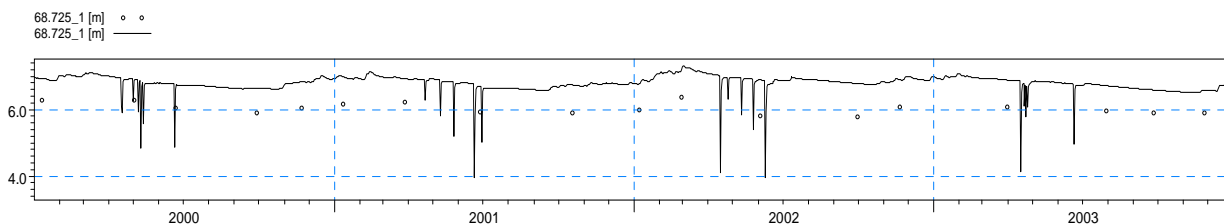
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\68.679_1.dfs0, item no. 1



ME=18.3011
 MAE=18.3011
 RMSE=18.3027
 STDres=0.241846
 R(Correlation)=0.704193
 R2(Nash_Sutcliffe)=-4105.15

68.725_1, head elevation in saturated zone

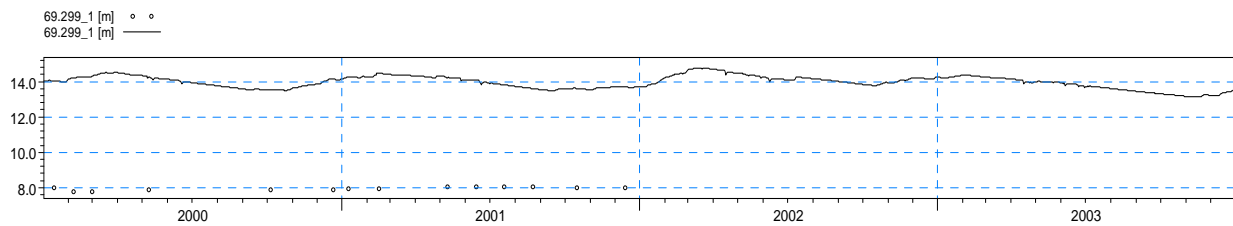
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\68.725_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.756301
 MAE=0.756301
 RMSE=0.772835
 STDres=0.159006
 R(Correlation)=0.535308
 R2(Nash_Sutcliffe)=-21.5846

69.299_1, head elevation in saturated zone

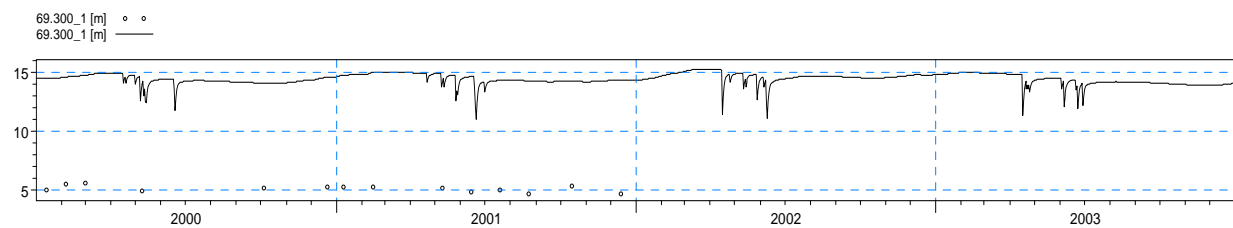
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\69.299_1.dfs0, item no. 1



ME=-6.06437
 MAE=6.06437
 RMSE=6.07381
 STDres=0.338614
 R(Correlation)=-0.339413
 R2(Nash_Sutcliffe)=-4073.07

69.300_1, head elevation in saturated zone

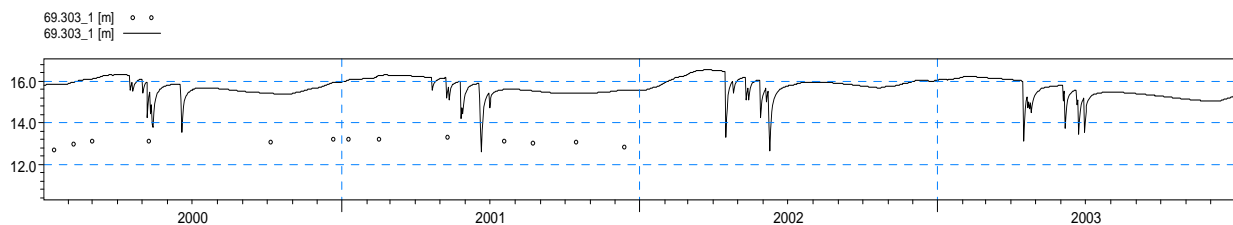
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\69.300_1.dfs0, item no. 1



ME=-9.2932
 MAE=9.2932
 RMSE=9.29927
 STDres=0.33579
 R(Correlation)=0.407436
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1190.27

69.303_1, head elevation in saturated zone

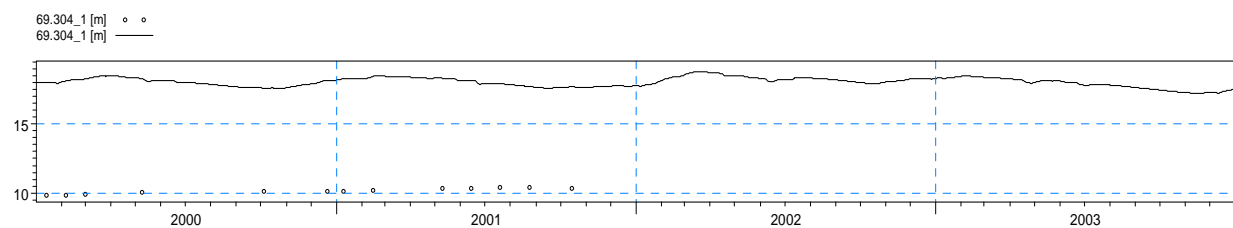
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\69.303_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.62622
 MAE=2.62622
 RMSE=2.65264
 STDres=0.373426
 R(Correlation)=0.0432958
 R2(Nash_Sutcliffe)=-280.114

69.304_1, head elevation in saturated zone

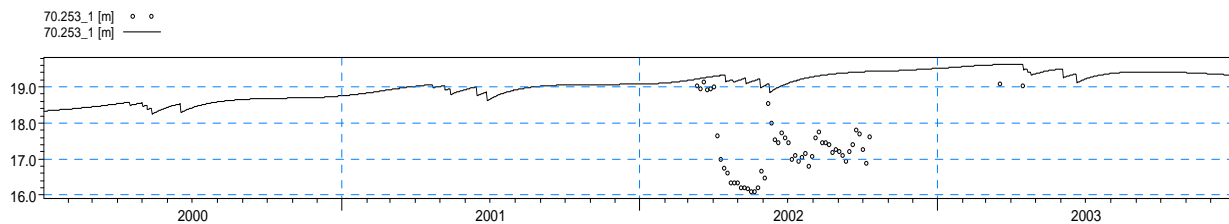
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\69.304_1.dfs0, item no. 1



ME=-7.92907
 MAE=7.92907
 RMSE=7.93759
 STDres=0.367692
 R(Correlation)=-0.284868
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1612.86

70.253_1, head elevation in saturated zone

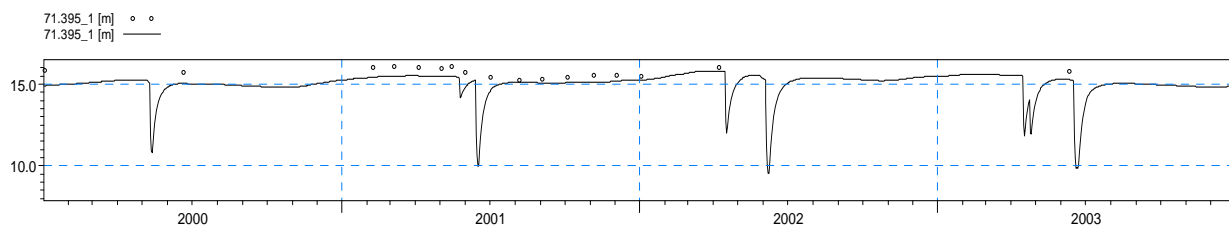
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\70.253_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.92088
 MAE=1.92088
 RMSE=2.08094
 STDres=0.800311
 R(Correlation)=0.189798
 R2(Nash_Sutcliffe)=-5.51968

71.395_1, head elevation in saturated zone

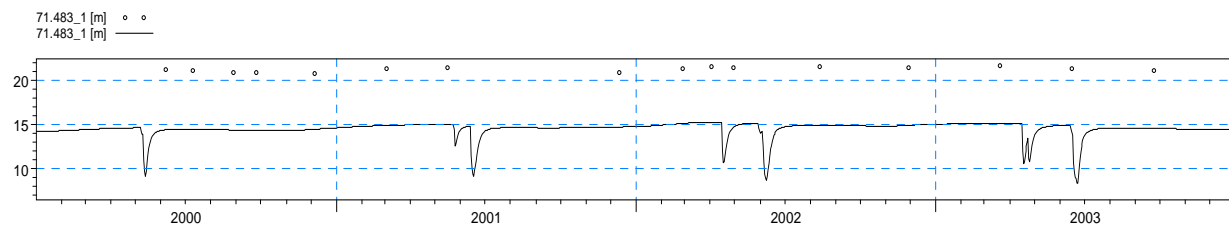
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\71.395_1.dfs0, item no. 1



ME=0.510774
 MAE=0.510774
 RMSE=0.560728
 STDres=0.231358
 R(Correlation)=0.649644
 R2(Nash_Sutcliffe)=-3.18958

71.483_1, head elevation in saturated zone

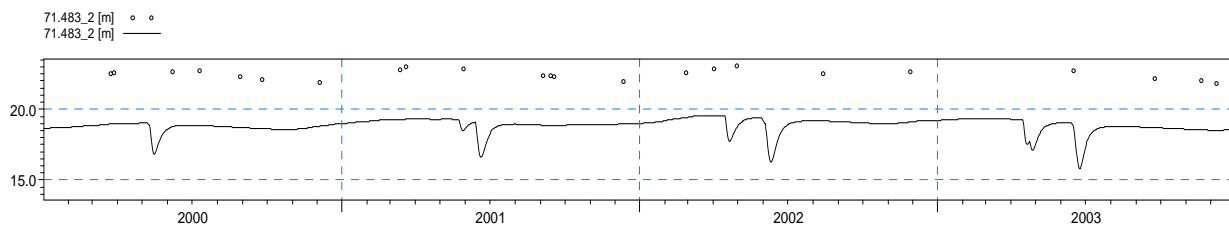
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\71.483_1.dfs0, item no. 1



ME=6.54689
 MAE=6.54689
 RMSE=6.55248
 STDres=0.270673
 R(Correlation)=0.629025
 R2(Nash_Sutcliffe)=-614.555

71.483_2, head elevation in saturated zone

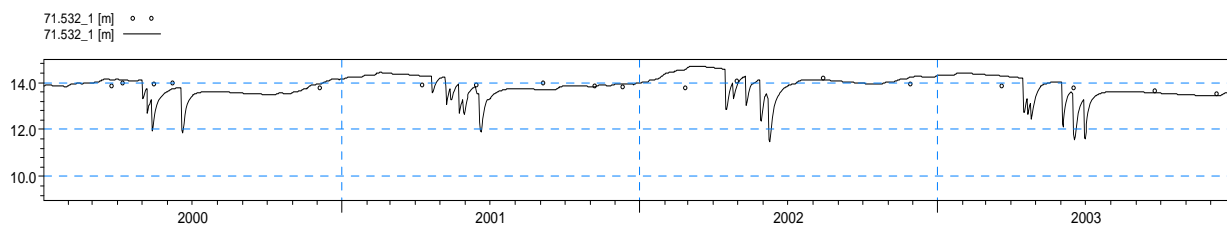
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\71.483_2.dfs0, item no. 1



ME=3.56396
 MAE=3.56396
 RMSE=3.57883
 STDres=0.325857
 R(Correlation)=0.464842
 R2(Nash_Sutcliffe)=-106.899

71.532_1, head elevation in saturated zone

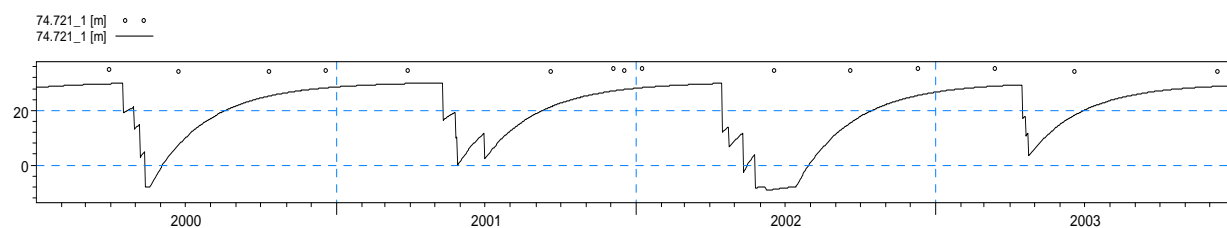
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\71.532_1.dfs0, item no. 1



ME=0.0754144
 MAE=0.367941
 RMSE=0.555594
 STDres=0.550452
 R(Correlation)=0.14774
 R2(Nash_Sutcliffe)=-13.3484

74.721_1, head elevation in saturated zone

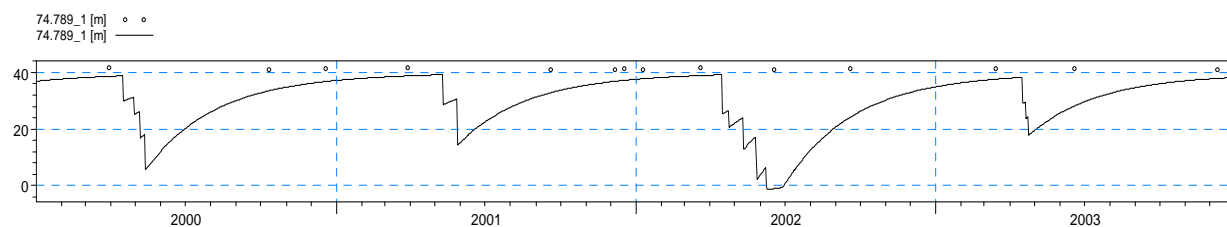
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\74.721_1.dfs0, item no. 1



ME=11.7047
 MAE=11.7047
 RMSE=15.0992
 STDres=9.53862
 R(Correlation)=0.317629
 R2(Nash_Sutcliffe)=-986.901

74.789_1, head elevation in saturated zone

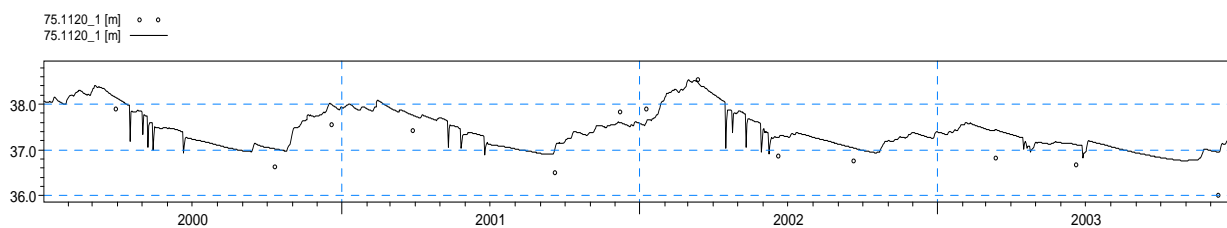
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\74.789_1.dfs0, item no. 1



ME=8.56914
 MAE=8.56914
 RMSE=13.3417
 STDres=10.226
 R(Correlation)=0.271904
 R2(Nash_Sutcliffe)=-2486.44

75.1120_1, head elevation in saturated zone

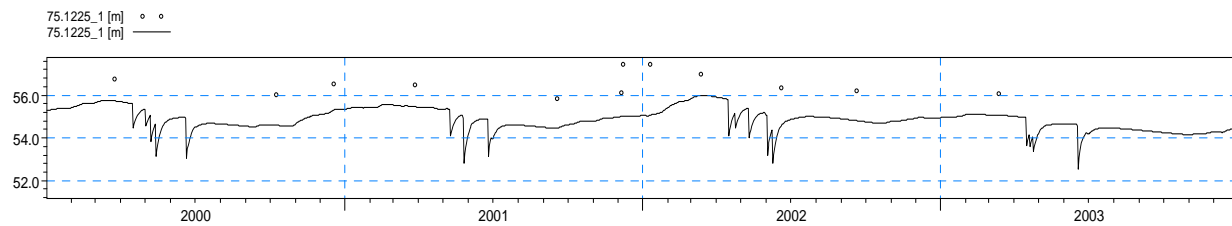
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\75.1120_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.316545
 MAE=0.400725
 RMSE=0.454603
 STDres=0.326287
 R(Correlation)=0.91546
 R2(Nash_Sutcliffe)=0.572063

75.1225_1, head elevation in saturated zone

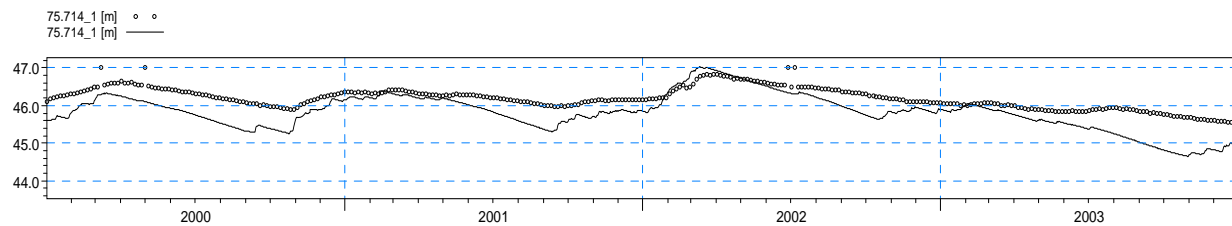
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\75.1225_1.dfs0, item no. 1



ME=1.43611
 MAE=1.43611
 RMSE=1.51645
 STDres=0.487041
 R(Correlation)=0.498062
 R2(Nash_Sutcliffe)=-7.65415

75.714_1, head elevation in saturated zone

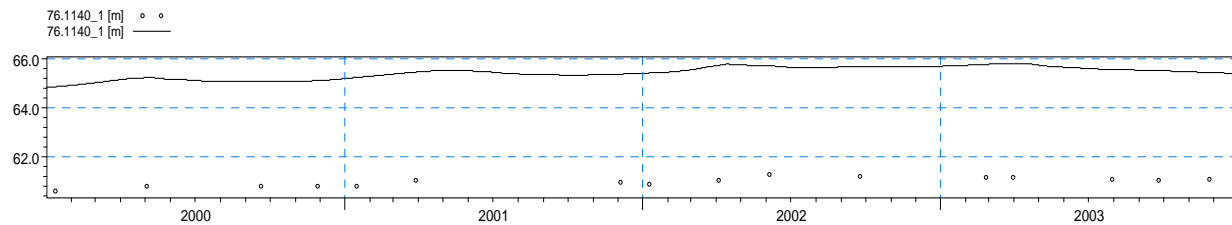
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\75.714_1.dfs0, item no. 1



ME=0.360873
 MAE=0.379249
 RMSE=0.450167
 STDres=0.269111
 R(Correlation)=0.900077
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1.52896

76.1140_1, head elevation in saturated zone

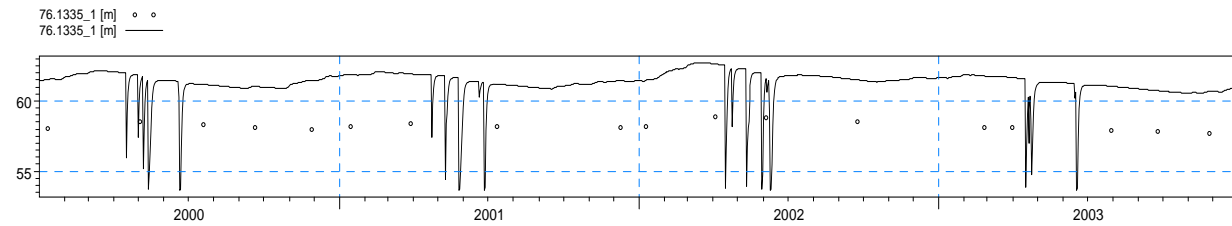
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1140_1.dfs0, item no. 1



ME=-4.47061
 MAE=4.47061
 RMSE=4.47221
 STDres=0.119625
 R(Correlation)=0.934686
 R2(Nash_Sutcliffe)=-589.018

76.1335_1, head elevation in saturated zone

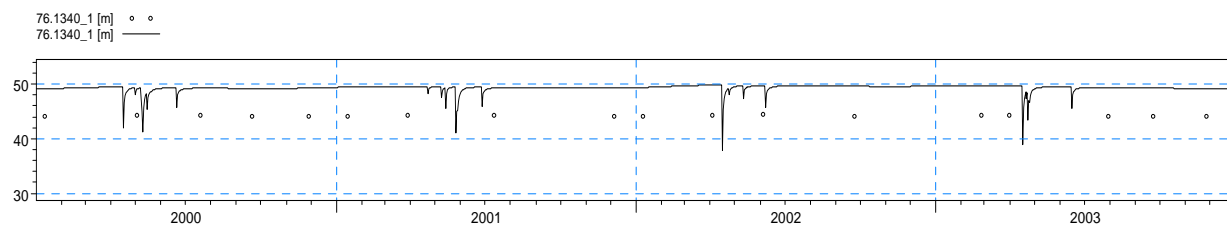
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1335_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.15745
 MAE=3.15745
 RMSE=3.19483
 STDres=0.487277
 R(Correlation)=0.380373
 R2(Nash_Sutcliffe)=-109.245

76.1340_1, head elevation in saturated zone

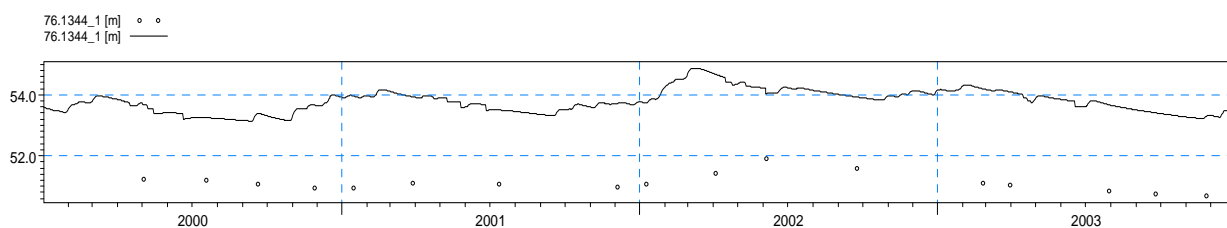
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1340_1.dfs0, item no. 1



ME=-5.19914
 MAE=5.19914
 RMSE=5.20225
 STDres=0.179628
 R(Correlation)=0.660612
 R2(Nash_Sutcliffe)=-3581.92

76.1344_1, head elevation in saturated zone

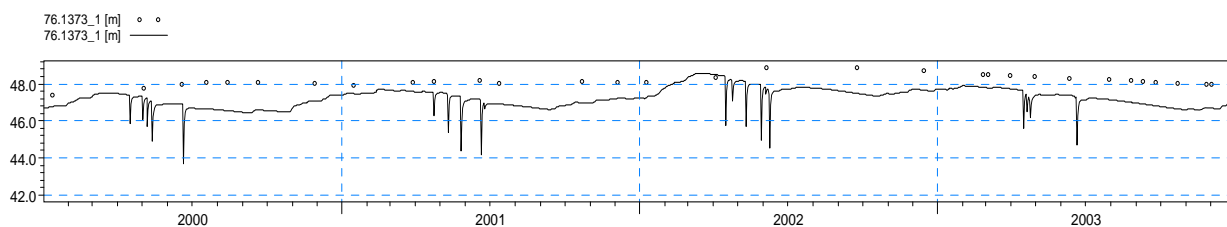
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1344_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.65798
 MAE=2.65798
 RMSE=2.67876
 STDres=0.333032
 R(Correlation)=0.484133
 R2(Nash_Sutcliffe)=-83.4335

76.1373_1, head elevation in saturated zone

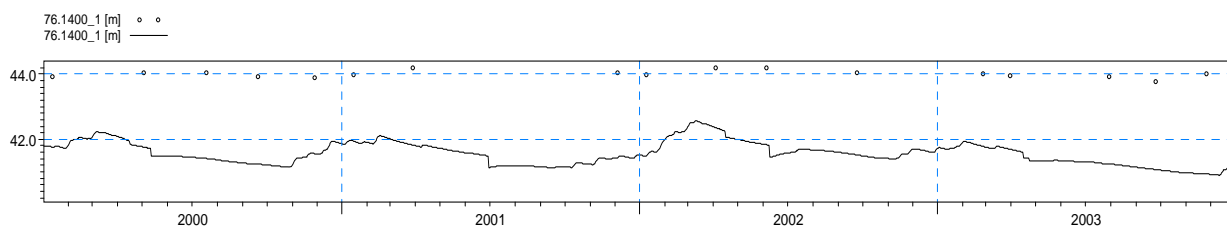
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1373_1.dfs0, item no. 1



ME=1.02047
 MAE=1.03089
 RMSE=1.0849
 STDres=0.368296
 R(Correlation)=0.573156
 R2(Nash_Sutcliffe)=-12.0625

76.1400_1, head elevation in saturated zone

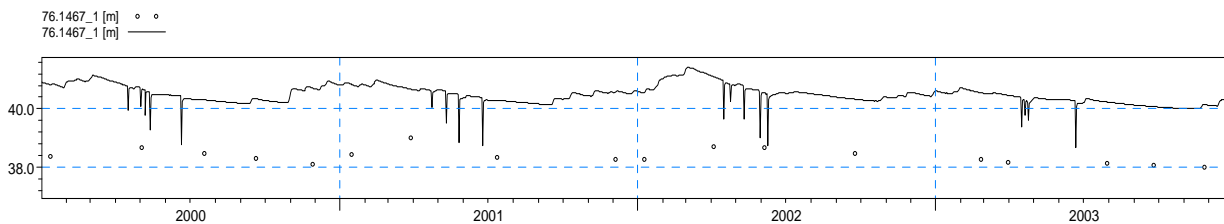
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1400_1.dfs0, item no. 1



ME=2.42336
 MAE=2.42336
 RMSE=2.44004
 STDres=0.284819
 R(Correlation)=0.596191
 R2(Nash_Sutcliffe)=-496.154

76.1467_1, head elevation in saturated zone

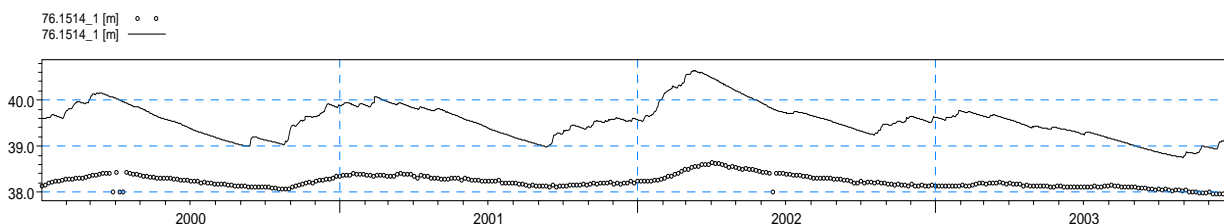
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1467_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.13662
 MAE=2.13662
 RMSE=2.15094
 STDres=0.247842
 R(Correlation)=0.532228
 R2(Nash_Sutcliffe)=-70.3822

76.1514_1, head elevation in saturated zone

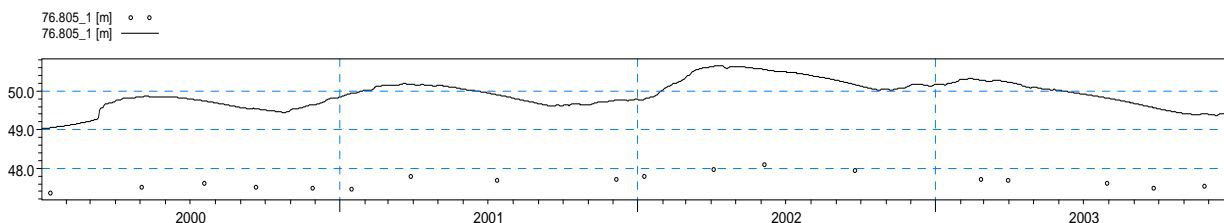
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.1514_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.32388
 MAE=1.32388
 RMSE=1.35336
 STDres=0.280948
 R(Correlation)=0.84995
 R2(Nash_Sutcliffe)=-96.4482

76.805_1, head elevation in saturated zone

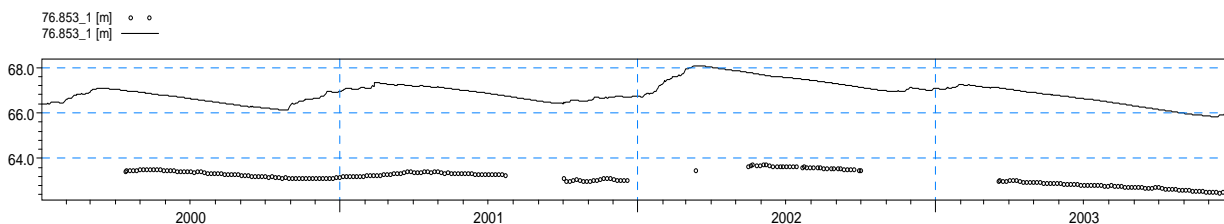
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.805_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.2226
 MAE=2.2226
 RMSE=2.23675
 STDres=0.251258
 R(Correlation)=0.833535
 R2(Nash_Sutcliffe)=-135.122

76.853_1, head elevation in saturated zone

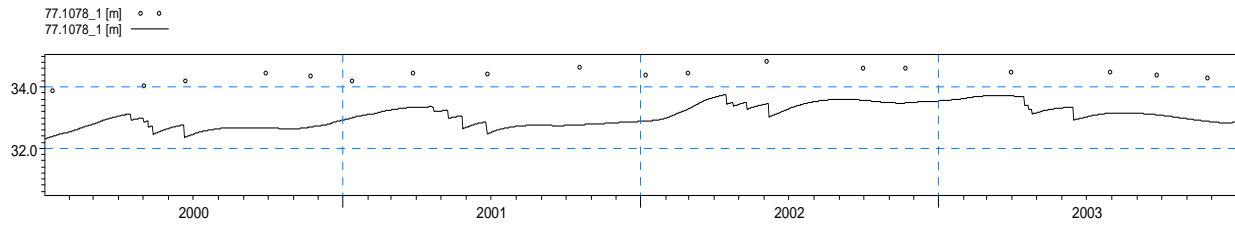
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\76.853_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.60129
 MAE=3.60129
 RMSE=3.61278
 STDres=0.287813
 R(Correlation)=0.755429
 R2(Nash_Sutcliffe)=-136.294

77.1078_1, head elevation in saturated zone

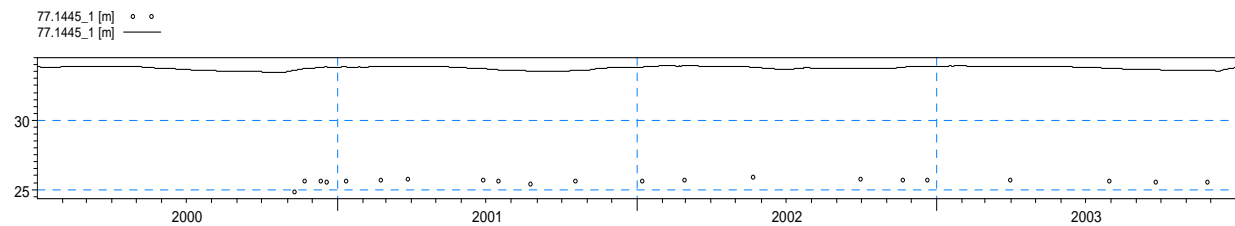
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\77.1078_1.dfs0, item no. 1



ME=1.39735
 MAE=1.39735
 RMSE=1.43147
 STDres=0.31067
 R(Correlation)=0.622215
 R2(Nash_Sutcliffe)=-41.518

77.1445_1, head elevation in saturated zone

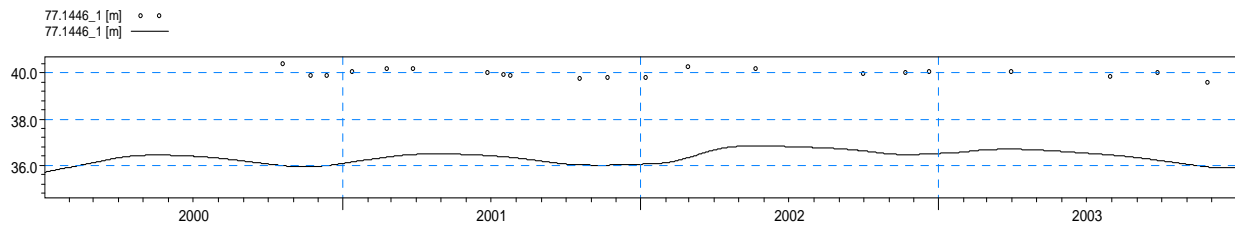
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\77.1445_1.dfs0, item no. 1



ME=-8.15852
 MAE=8.15852
 RMSE=8.16039
 STDres=0.174472
 R(Correlation)=0.507427
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1634.08

77.1446_1, head elevation in saturated zone

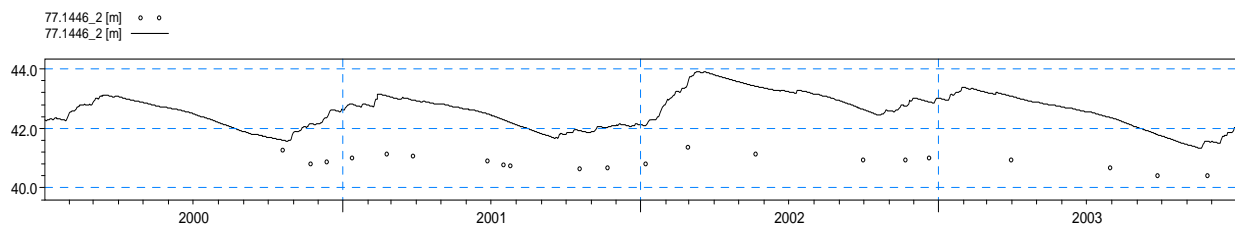
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\77.1446_1.dfs0, item no. 1



ME=3.68936
 MAE=3.68936
 RMSE=3.69803
 STDres=0.253212
 R(Correlation)=0.387302
 R2(Nash_Sutcliffe)=-405.762

77.1446_2, head elevation in saturated zone

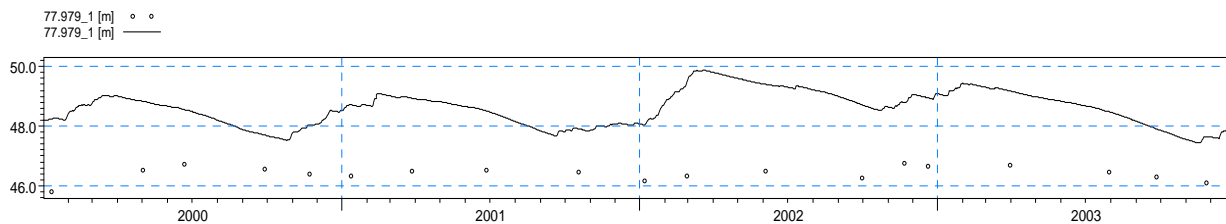
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\77.1446_2.dfs0, item no. 1



ME=-1.60238
 MAE=1.60238
 RMSE=1.65831
 STDres=0.427076
 R(Correlation)=0.684856
 R2(Nash_Sutcliffe)=-46.2201

77.979_1, head elevation in saturated zone

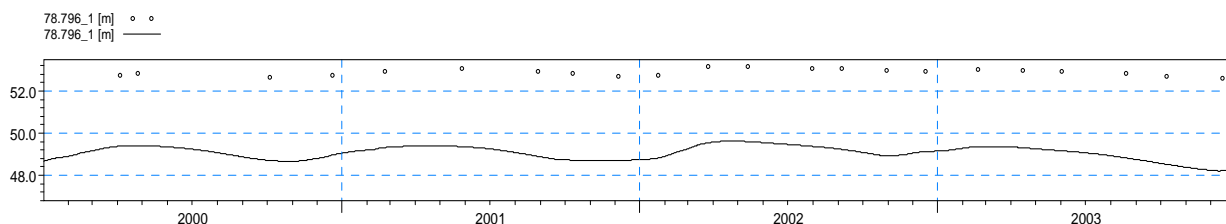
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\77.979_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.10799
 MAE=2.10799
 RMSE=2.16607
 STDres=0.498257
 R(Correlation)=0.377596
 R2(Nash_Sutcliffe)=-90.5165

78.796_1, head elevation in saturated zone

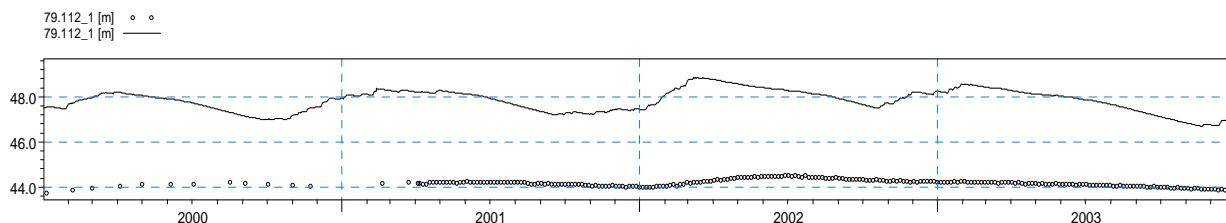
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\78.796_1.dfs0, item no. 1



ME=3.82373
 MAE=3.82373
 RMSE=3.8312
 STDres=0.239174
 R(Correlation)=0.812665
 R2(Nash_Sutcliffe)=-554.957

79.112_1, head elevation in saturated zone

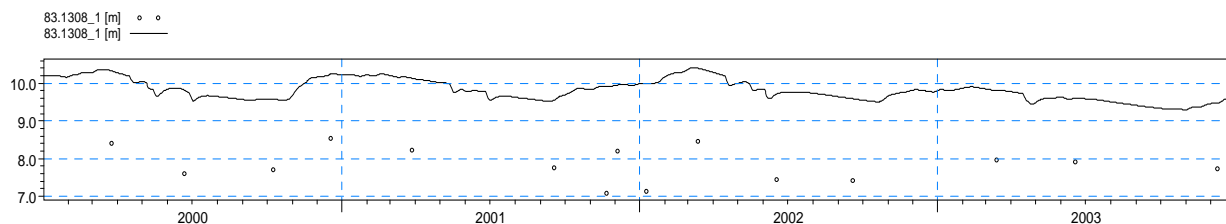
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\79.112_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.69091
 MAE=3.69091
 RMSE=3.71618
 STDres=0.432682
 R(Correlation)=0.682569
 R2(Nash_Sutcliffe)=-616.458

83.1308_1, head elevation in saturated zone

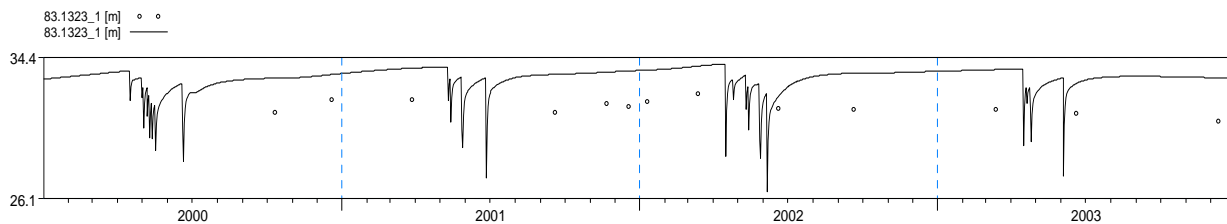
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\83.1308_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.03983
 MAE=2.03983
 RMSE=2.0723
 STDres=0.365431
 R(Correlation)=0.584108
 R2(Nash_Sutcliffe)=-20.2936

83.1323_1, head elevation in saturated zone

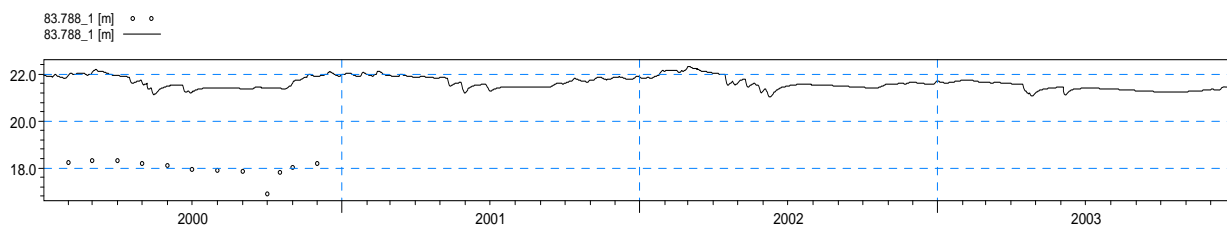
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\83.1323_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.86541
 MAE=1.86541
 RMSE=1.91721
 STDres=0.442657
 R(Correlation)=0.468601
 R2(Nash_Sutcliffe)=-21.401

83.788_1, head elevation in saturated zone

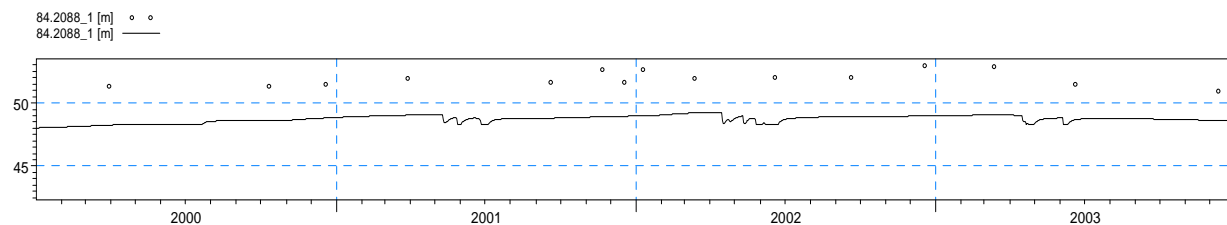
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\83.788_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.63683
 MAE=3.63683
 RMSE=3.64944
 STDres=0.303185
 R(Correlation)=0.599428
 R2(Nash_Sutcliffe)=-94.5168

84.2088_1, head elevation in saturated zone

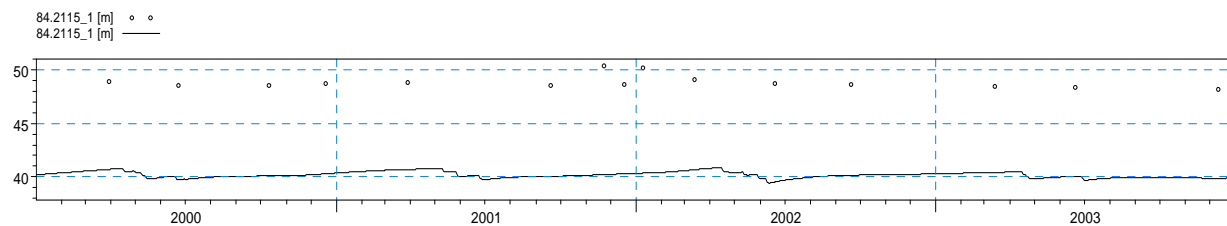
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\84.2088_1.dfs0, item no. 1



ME=3.22054
 MAE=3.22054
 RMSE=3.26569
 STDres=0.541144
 R(Correlation)=0.549892
 R2(Nash_Sutcliffe)=-25.3208

84.2115_1, head elevation in saturated zone

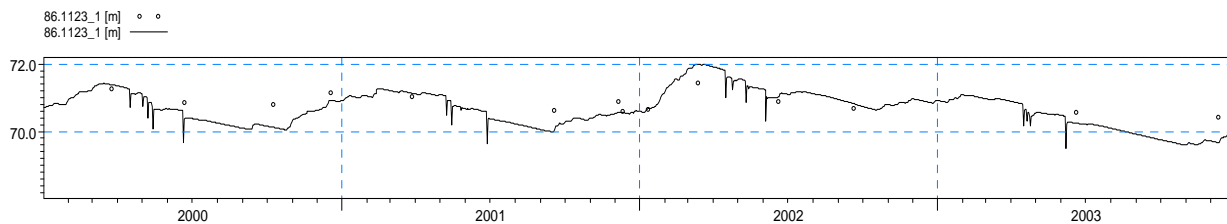
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\84.2115_1.dfs0, item no. 1



ME=8.65591
 MAE=8.65591
 RMSE=8.67762
 STDres=0.613545
 R(Correlation)=0.269196
 R2(Nash_Sutcliffe)=-199.344

86.1123_1, head elevation in saturated zone

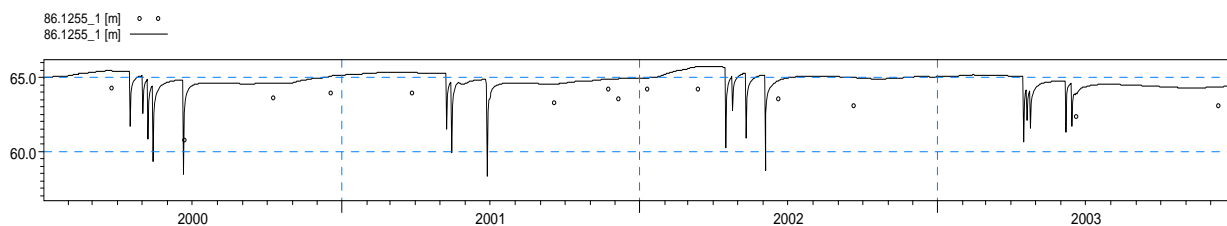
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\86.1123_1.dfs0, item no. 1



ME=0.166649
 MAE=0.322366
 RMSE=0.402371
 STDres=0.366238
 R(Correlation)=0.867524
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1.13961

86.1255_1, head elevation in saturated zone

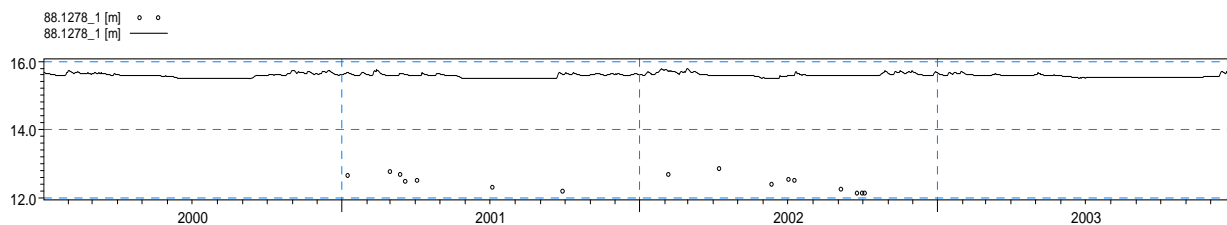
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\86.1255_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.32413
 MAE=1.32413
 RMSE=1.38194
 STDres=0.395508
 R(Correlation)=0.924389
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1.31209

88.1278_1, head elevation in saturated zone

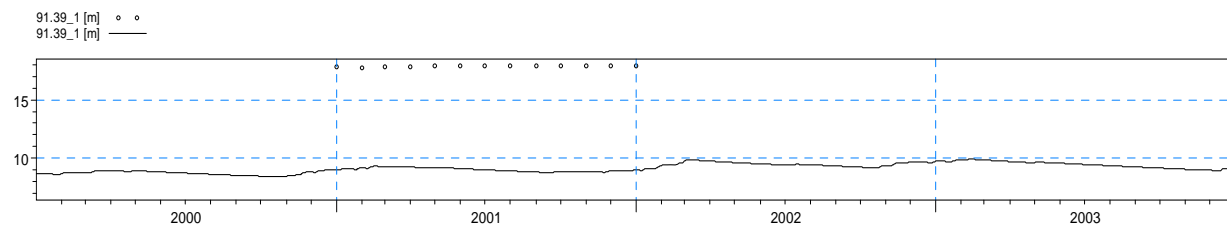
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\88.1278_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.15515
 MAE=3.15515
 RMSE=3.16306
 STDres=0.223589
 R(Correlation)=0.360898
 R2(Nash_Sutcliffe)=-177.172

91.39_1, head elevation in saturated zone

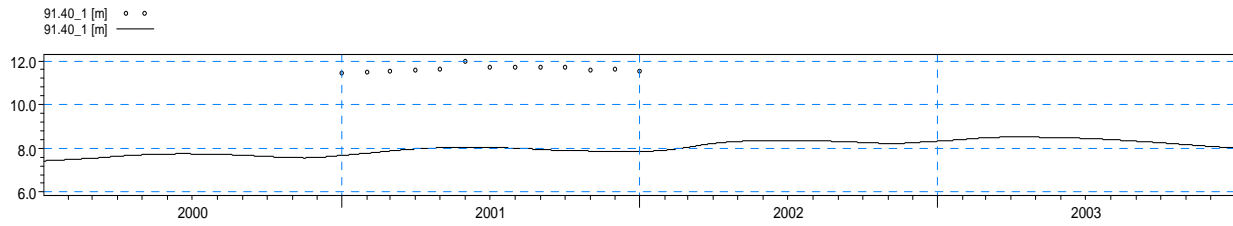
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\91.39_1.dfs0, item no. 1



ME=8.82151
 MAE=8.82151
 RMSE=8.82358
 STDres=0.191103
 R(Correlation)=-0.738929
 R2(Nash_Sutcliffe)=-31311.9

91.40_1, head elevation in saturated zone

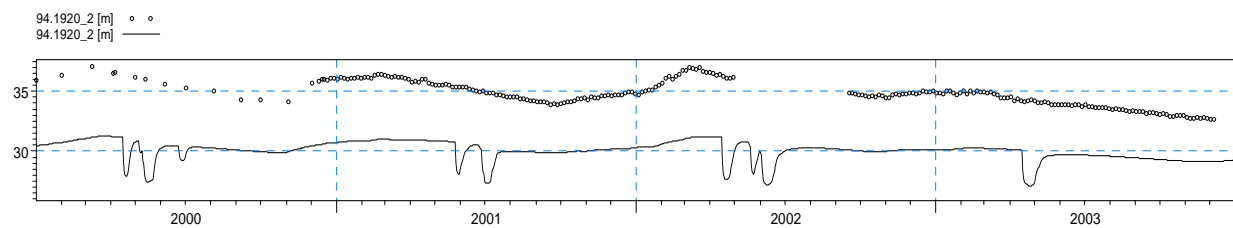
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\91.40_1.dfs0, item no. 1



ME=3.71899
 MAE=3.71899
 RMSE=3.72017
 STDres=0.0936862
 R(Correlation)=0.71393
 R2(Nash_Sutcliffe)=-779.78

94.1920_2, head elevation in saturated zone

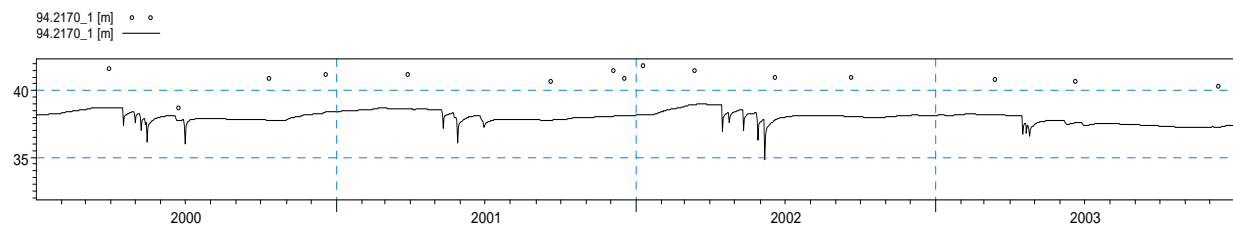
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\94.1920_2.dfs0, item no. 1



ME=4.73067
 MAE=4.73067
 RMSE=4.79929
 STDres=0.808697
 R(Correlation)=0.639031
 R2(Nash_Sutcliffe)=-20.2258

94.2170_1, head elevation in saturated zone

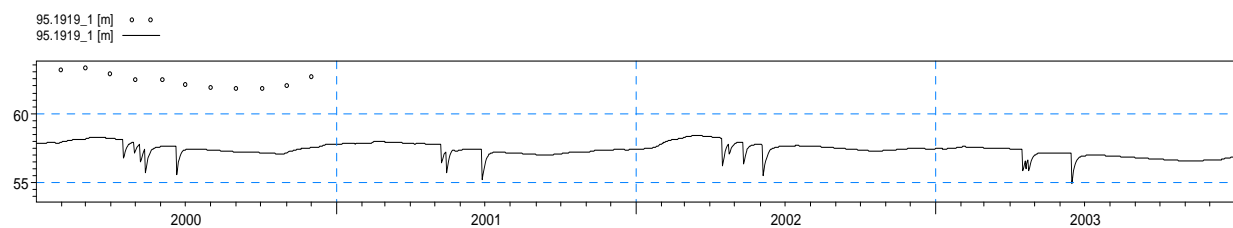
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\94.2170_1.dfs0, item no. 1



ME=2.85162
 MAE=2.85162
 RMSE=2.91012
 STDres=0.580579
 R(Correlation)=0.572633
 R2(Nash_Sutcliffe)=-15.9301

95.1919_1, head elevation in saturated zone

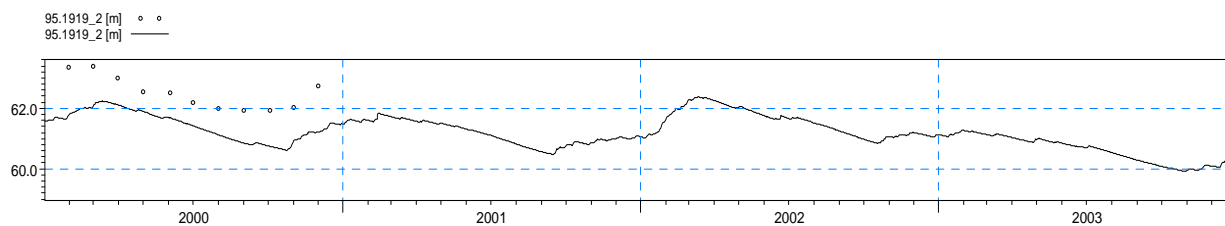
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\95.1919_1.dfs0, item no. 1



ME=4.87873
 MAE=4.87873
 RMSE=4.88567
 STDres=0.260214
 R(Correlation)=0.874624
 R2(Nash_Sutcliffe)=-89.6541

95.1919_2, head elevation in saturated zone

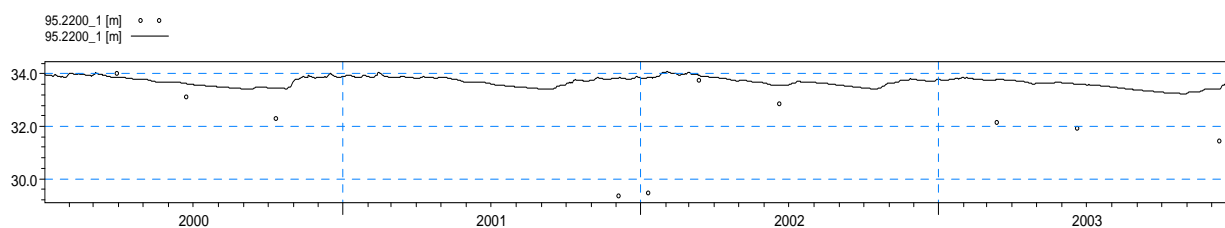
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\95.1919_2.dfs0, item no. 1



ME=1.07298
 MAE=1.07298
 RMSE=1.11145
 STDres=0.289898
 R(Correlation)=0.835723
 R2(Nash_Sutcliffe)=-3.52675

95.2200_1, head elevation in saturated zone

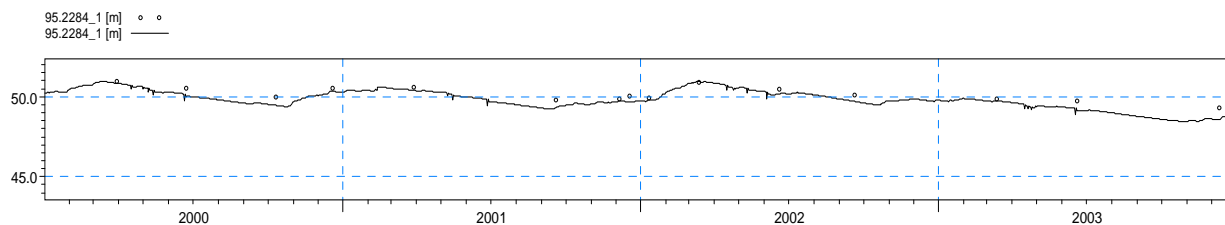
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\95.2200_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.66685
 MAE=1.6917
 RMSE=2.26981
 STDres=1.54067
 R(Correlation)=-0.049313
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1.22818

95.2284_1, head elevation in saturated zone

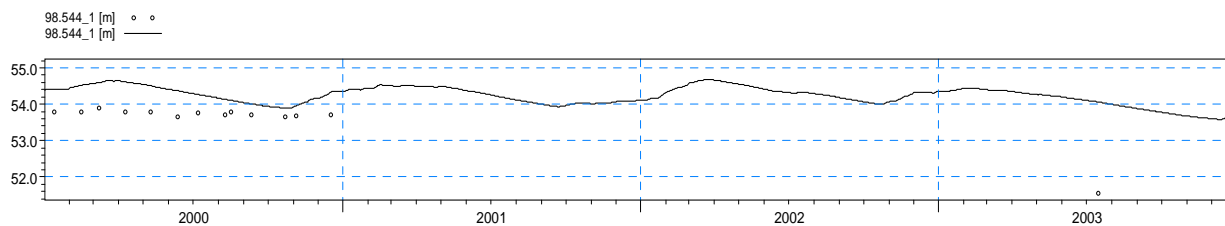
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\95.2284_1.dfs0, item no. 1



ME=0.319284
 MAE=0.322102
 RMSE=0.387069
 STDres=0.218815
 R(Correlation)=0.958113
 R2(Nash_Sutcliffe)=0.260398

98.544_1, head elevation in saturated zone

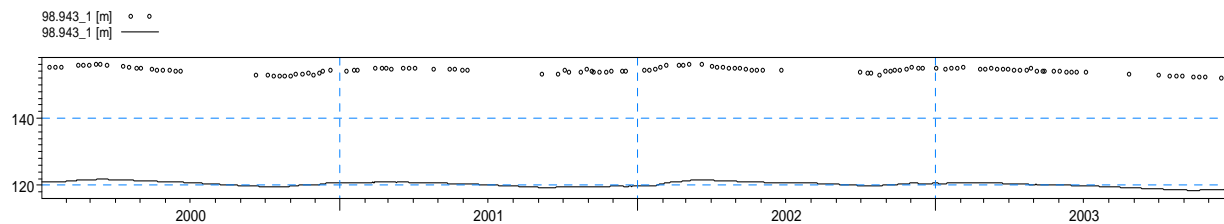
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\98.544_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.680119
 MAE=0.680119
 RMSE=0.870466
 STDres=0.543276
 R(Correlation)=0.326699
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1.31252

98.943_1, head elevation in saturated zone

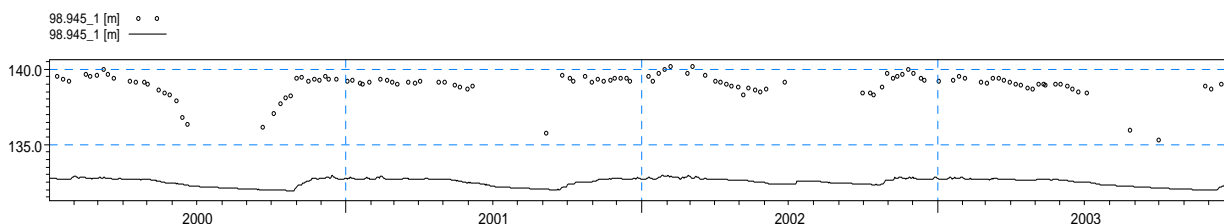
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\98.943_1.dfs0, item no. 1



ME=33.9061
 MAE=33.9061
 RMSE=33.9091
 STDres=0.449664
 R(Correlation)=0.876872
 R2(Nash_Sutcliffe)=-1323.99

98.945_1, head elevation in saturated zone

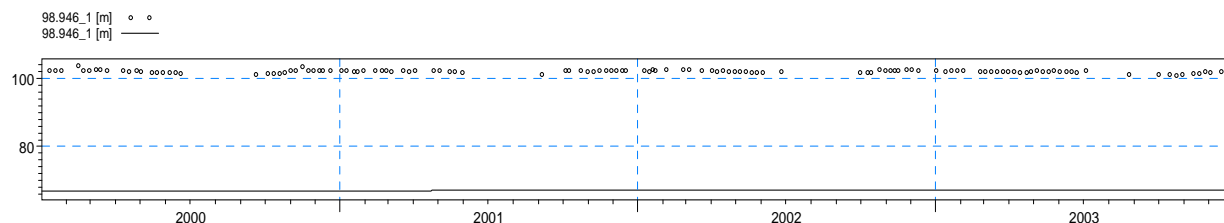
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\98.945_1.dfs0, item no. 1



ME=6.37913
 MAE=6.37913
 RMSE=6.41585
 STDres=0.685391
 R(Correlation)=0.692267
 R2(Nash_Sutcliffe)=-59.8526

98.946_1, head elevation in saturated zone

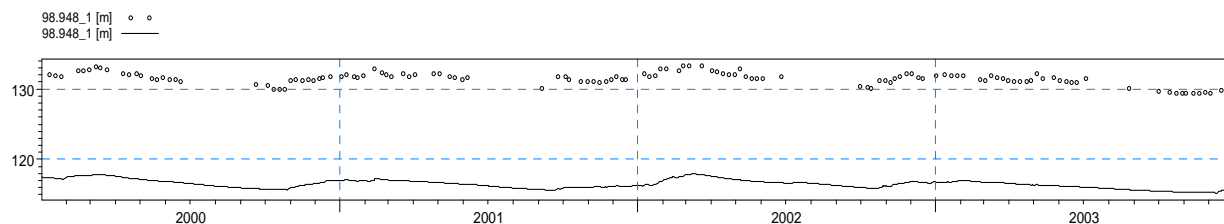
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\98.946_1.dfs0, item no. 1



ME=35.0422
 MAE=35.0422
 RMSE=35.0447
 STDres=0.414735
 R(Correlation)=-0.27959
 R2(Nash_Sutcliffe)=-7672.56

98.948_1, head elevation in saturated zone

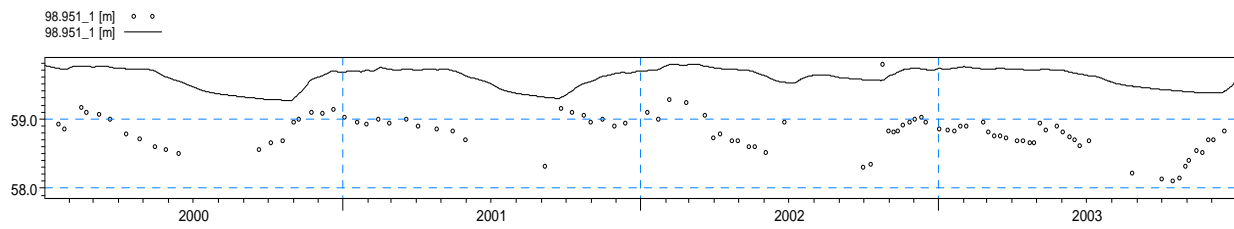
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\98.948_1.dfs0, item no. 1



ME=14.9082
 MAE=14.9082
 RMSE=14.9145
 STDres=0.431718
 R(Correlation)=0.894213
 R2(Nash_Sutcliffe)=-277.956

98.951_1, head elevation in saturated zone

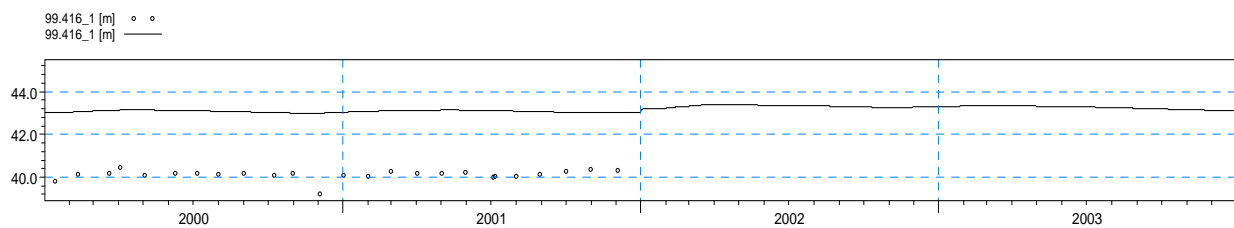
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\98.951_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.816709
 MAE=0.821666
 RMSE=0.853261
 STDres=0.247064
 R(Correlation)=0.389197
 R2(Nash_Sutcliffe)=-9.37963

99.416_1, head elevation in saturated zone

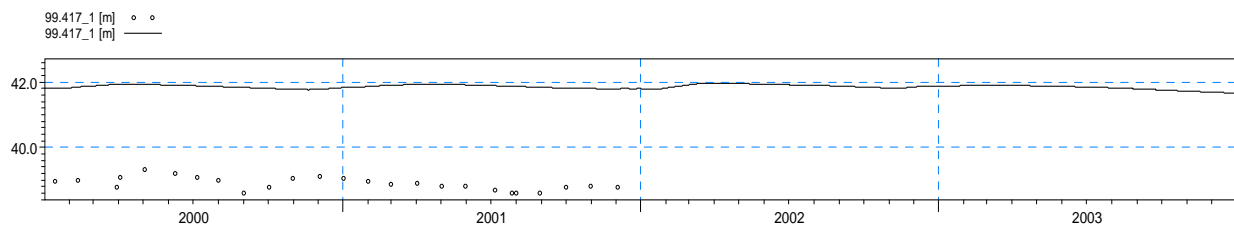
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\99.416_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.95328
 MAE=2.95328
 RMSE=2.96128
 STDres=0.21744
 R(Correlation)=0.332325
 R2(Nash_Sutcliffe)=-166.889

99.417_1, head elevation in saturated zone

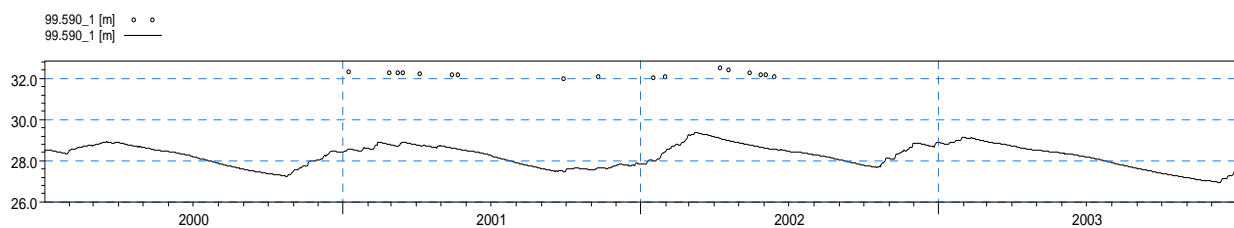
- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\99.417_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.96992
 MAE=2.96992
 RMSE=2.97635
 STDres=0.195506
 R(Correlation)=0.103288
 R2(Nash_Sutcliffe)=-233.471

99.590_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\Data\Novana\Novomr5\Time\Obs\H-data\99.590_1.dfs0, item no. 1

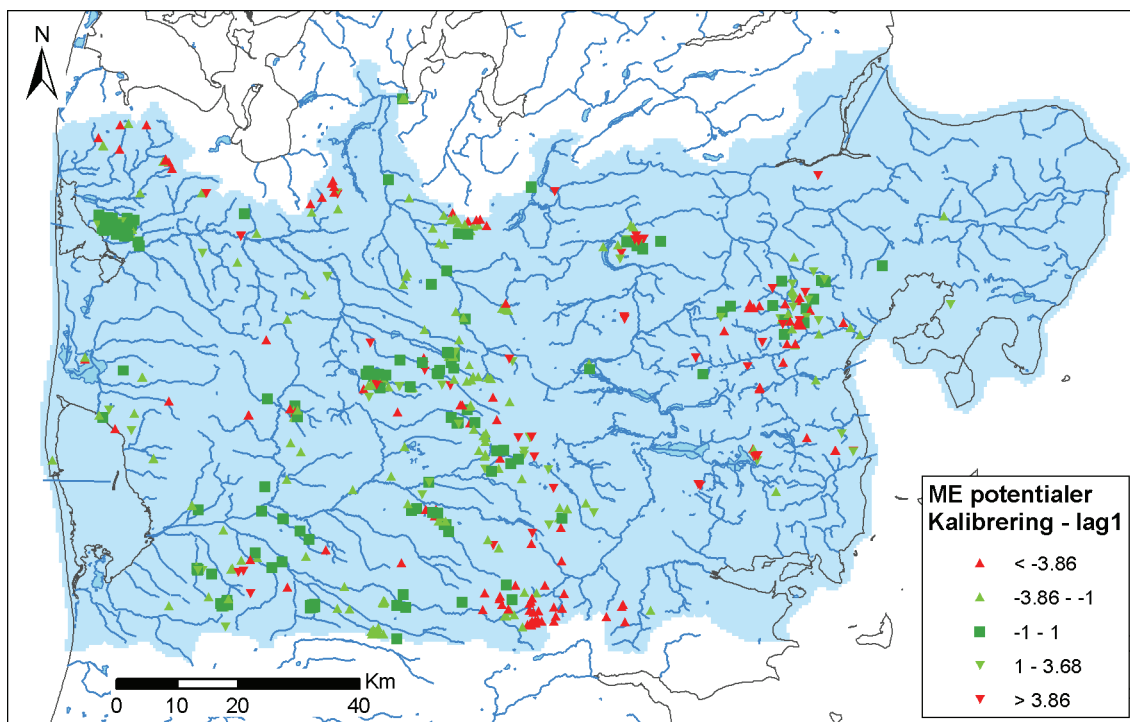


ME=3.67609
 MAE=3.67609
 RMSE=3.68982
 STDres=0.318005
 R(Correlation)=0.762209
 R2(Nash_Sutcliffe)=-742.863

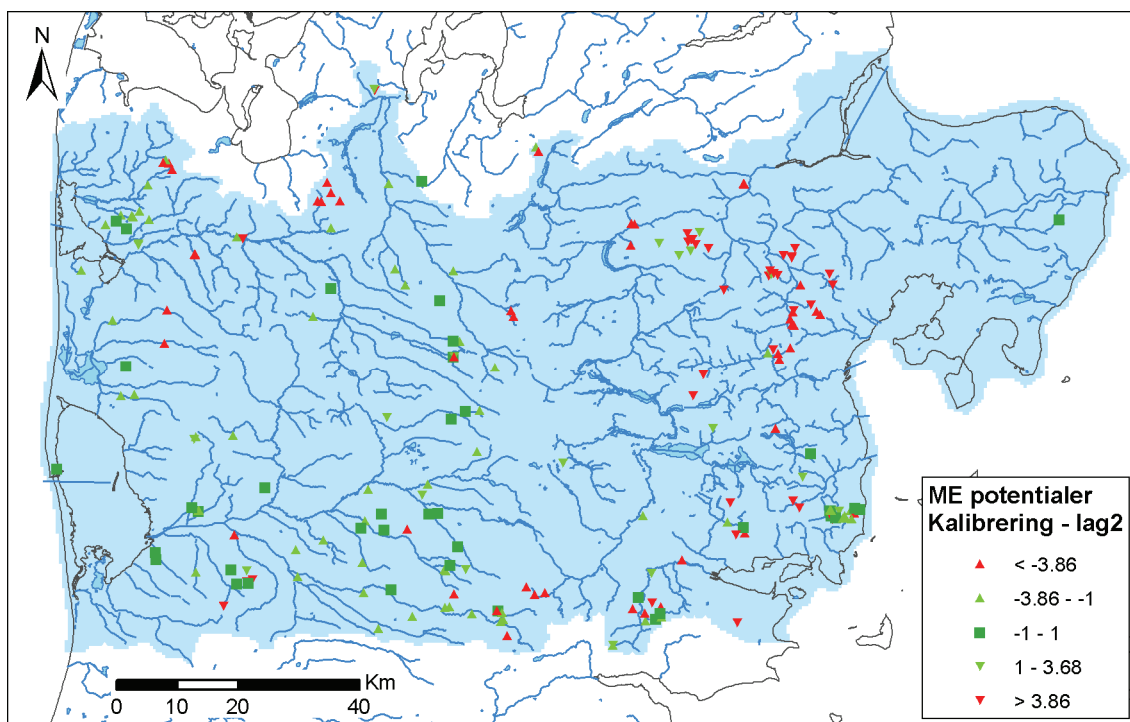
BILAG 4

Middelfejl for potentialer

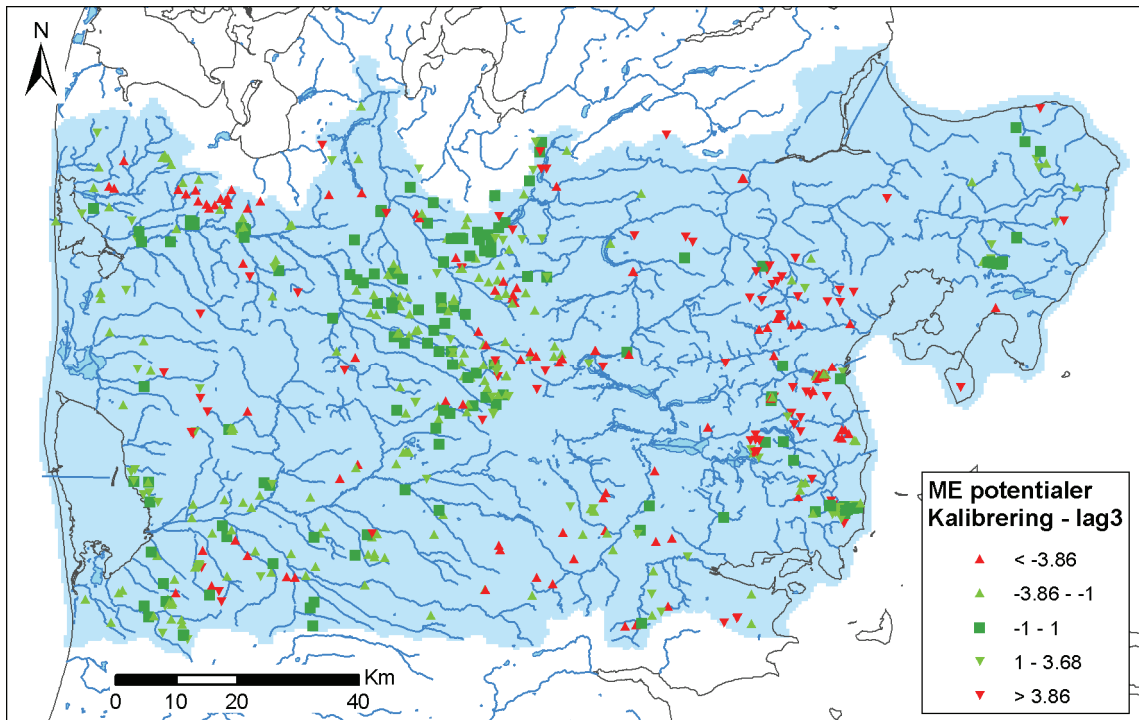
Novomr5 - Midtjylland



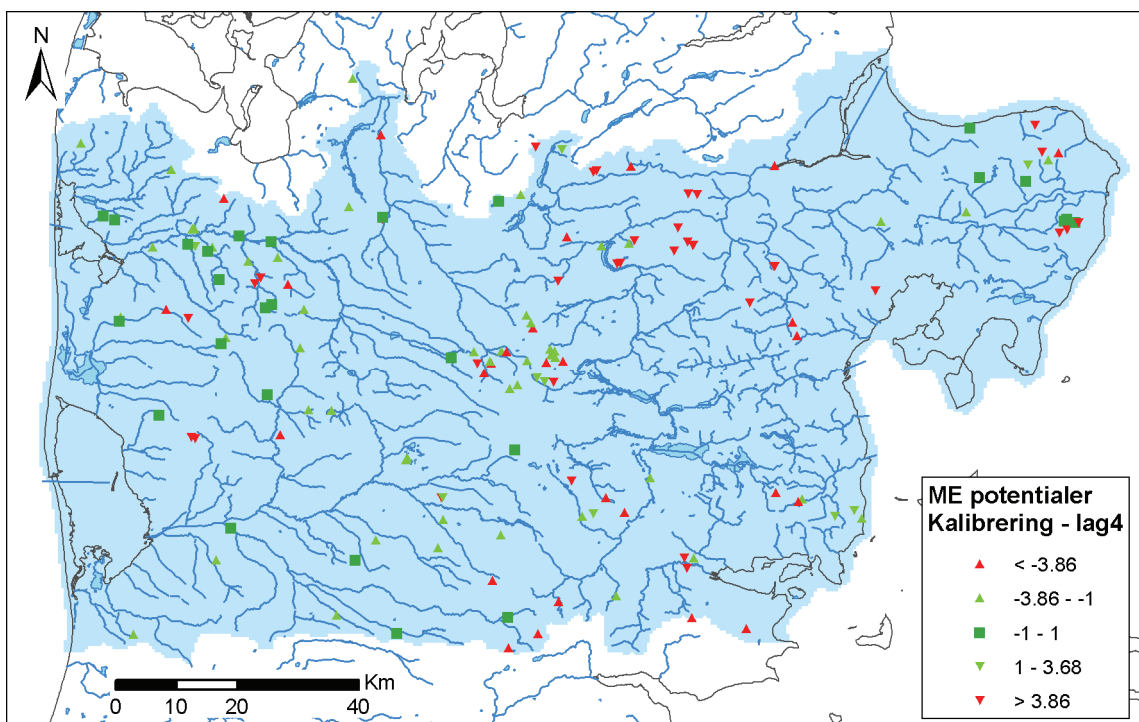
Figur B4- 1. Middelfejl (ME) for lag 1 i kalibreringsperioden



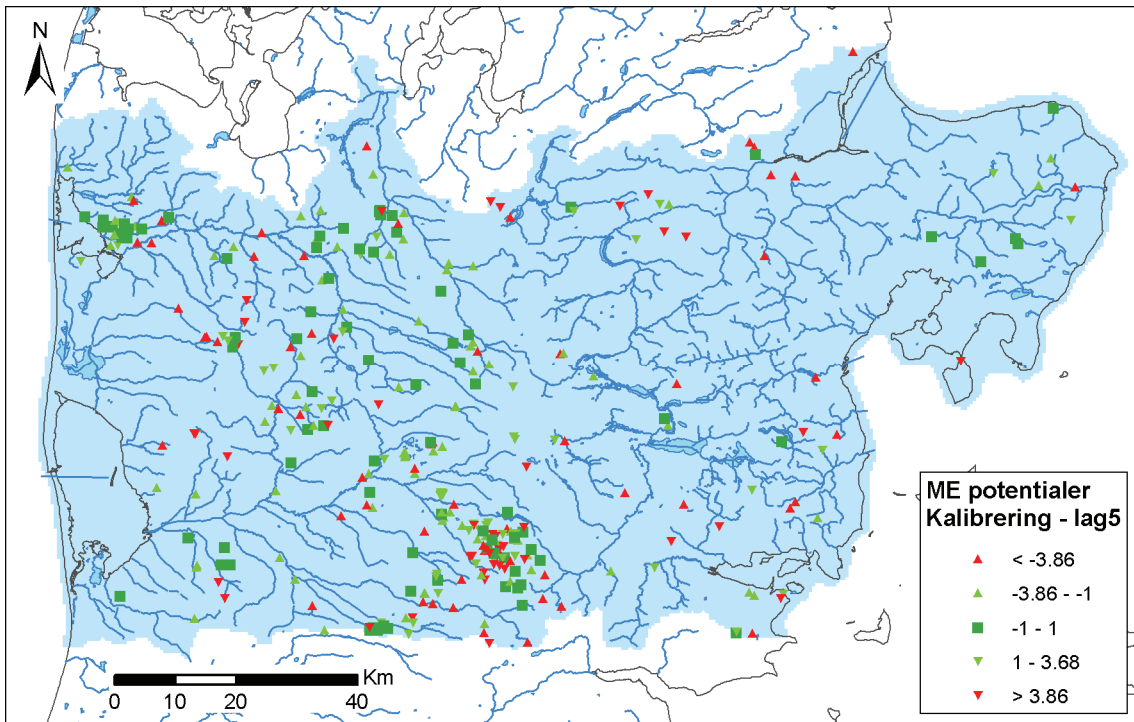
Figur B4- 2. Middelfejl (ME) for lag 2 i kalibreringsperioden.



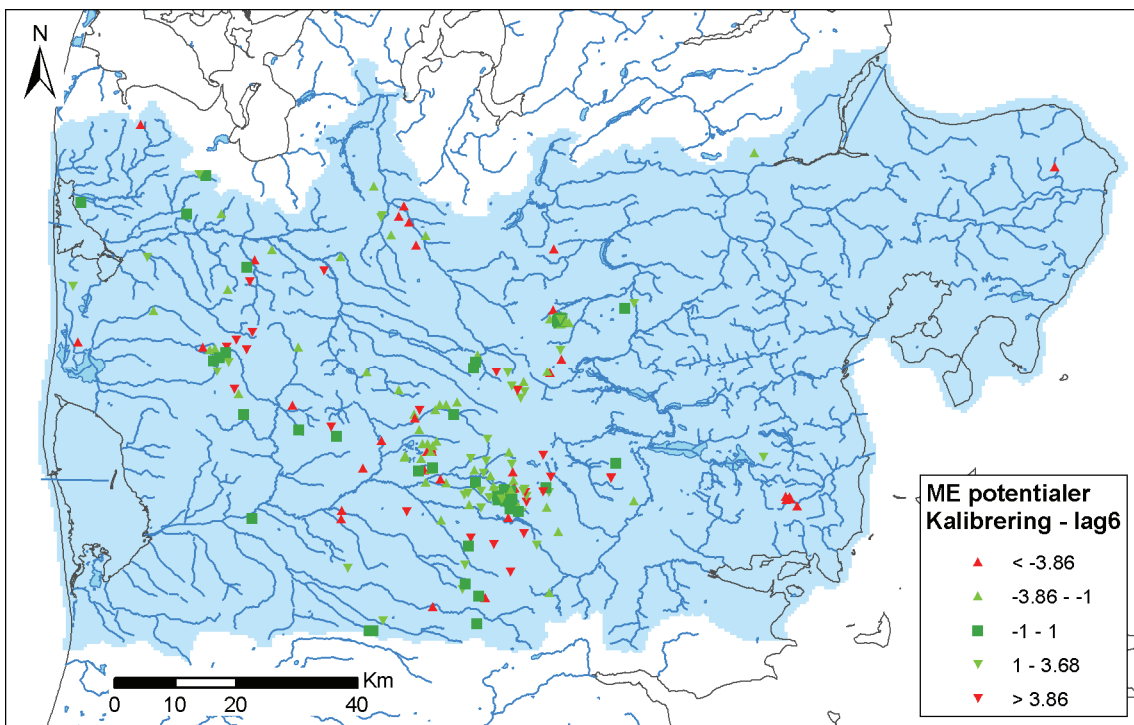
Figur B4- 3. Middelfejl (ME) for lag 3 i kalibreringsperioden.



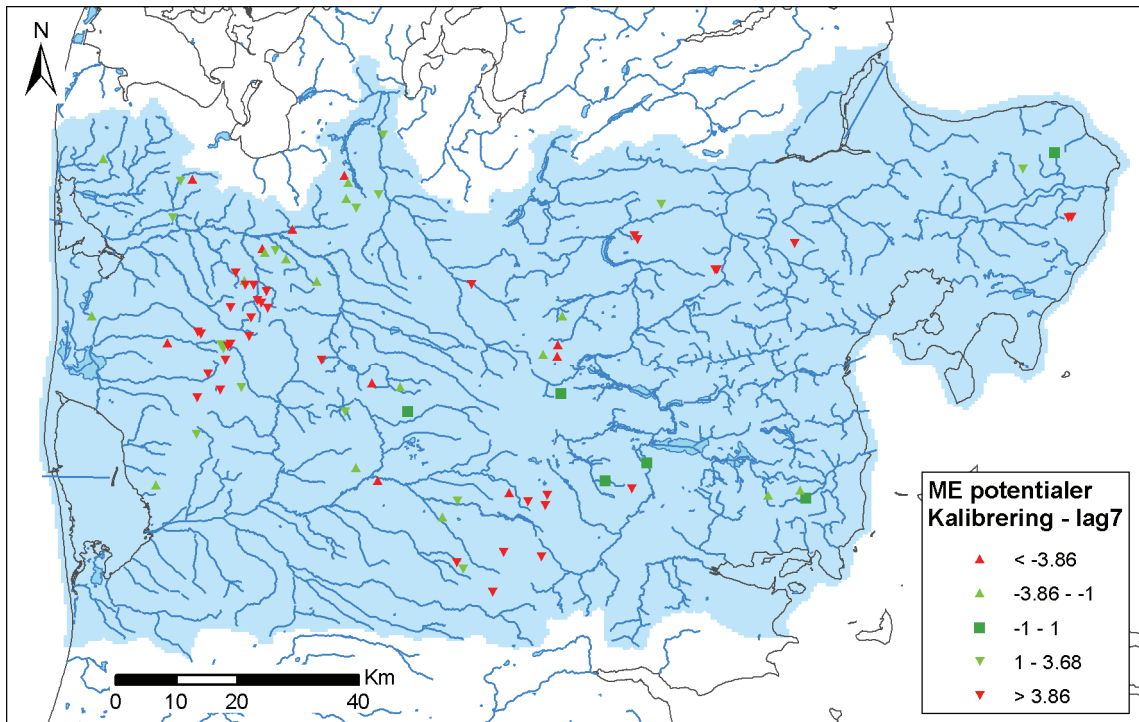
Figur B4- 4. Middelfejl (ME) for lag 4 i kalibreringsperioden.



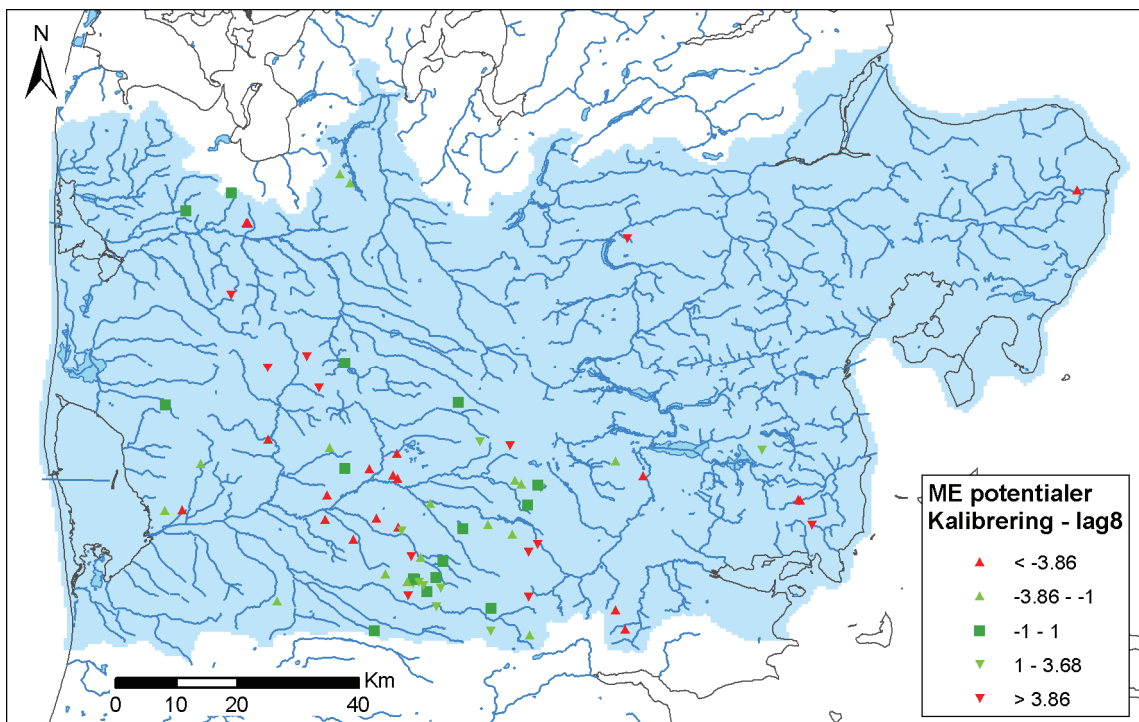
Figur B4- 5. Middelfejl (ME) for lag 5 i kalibreringsperioden.



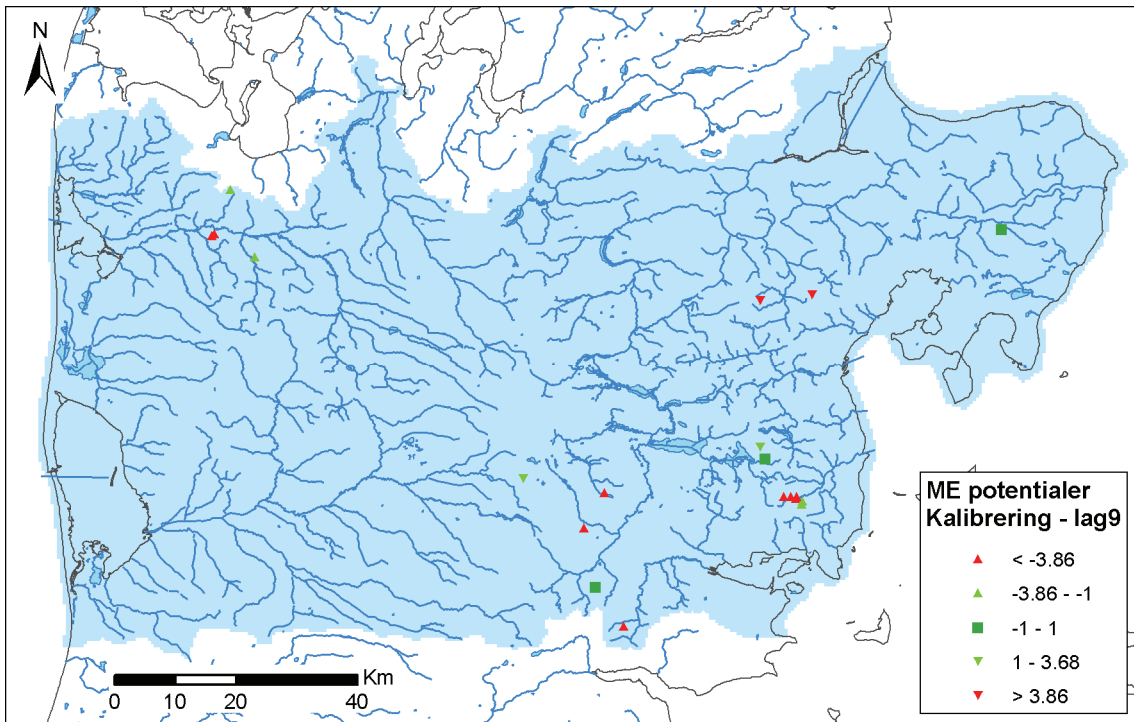
Figur B4- 6. Middelfejl (ME) for lag 6 i kalibreringsperioden.



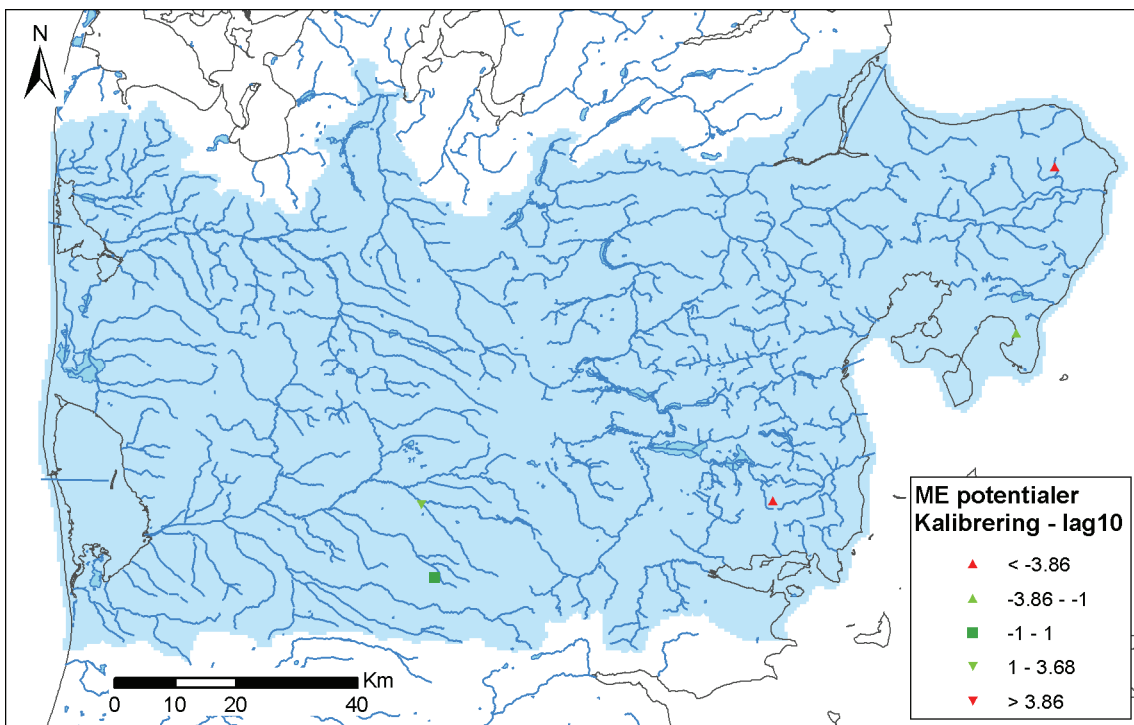
Figur B4- 7. Middelfejl (ME) for lag 7 i kalibreringsperioden.



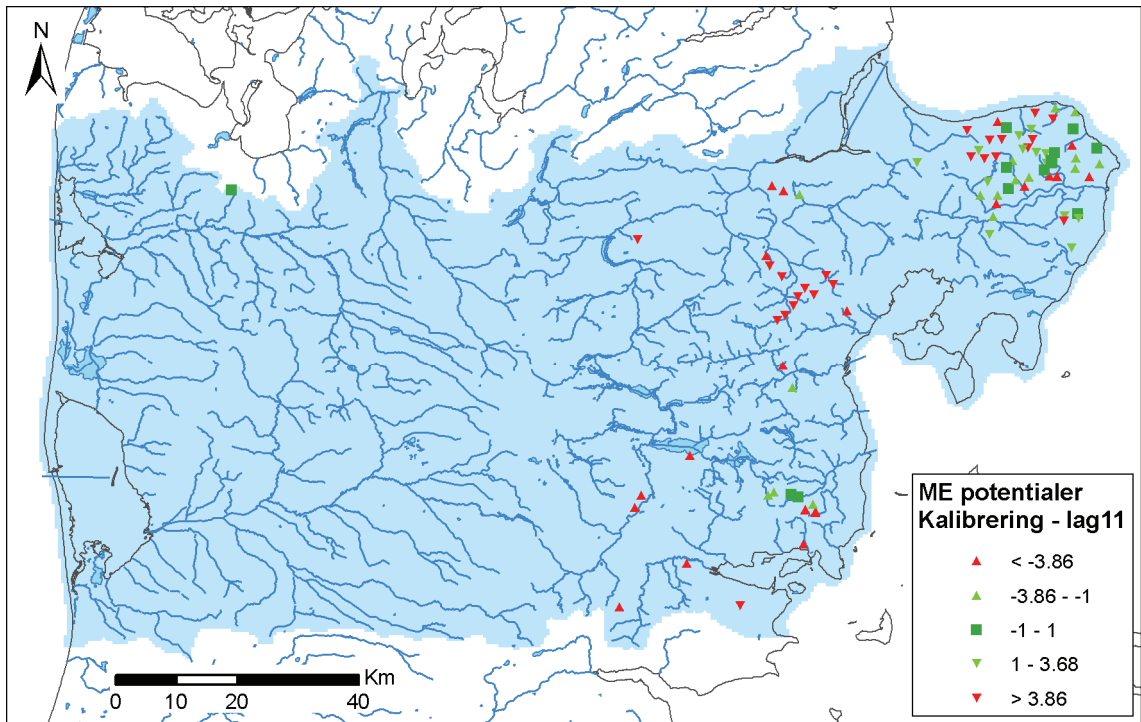
Figur B4- 8. Middelfejl (ME) for lag 8 i kalibreringsperioden.



Figur B4- 9. Middelfejl (ME) for lag 9 i kalibreringsperioden.



Figur B4- 10. Middelfejl (ME) for lag 10 i kalibreringsperioden.



Figur B4- 11. Middelfejl (ME) for lag 11 i kalibreringsperioden.

BILAG 5

Observerede og simulerede afstrømninger

Novomr5 - Midtjylland

