

DK-model2009

Modelopstilling og kalibrering for Fyn

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



DK-model2009

Modelopstilling og kalibrering for Fyn

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

1.	Resumé	5
2.	Introduktion	9
2.1	Formål med modelarbejdet	9
2.2	Modelbenyttelse	10
2.3	Beskrivelse af modelområdet	12
2.3.1	Grundvandsmagasiner	13
3.	Hydrogeologisk tolkningsmodel	16
3.1	Hydrostratigrafisk model (antagelser om reservoirforhold)	16
3.2	Hydrologiske afgrænsninger (randbetingelser)	22
3.2.1	Modeloverflade, dræn og vandløb	22
3.2.2	Vandudveksling mellem grundvand og vandløb (indre randbetingelser)	23
3.2.3	Ydre modelrande	23
3.3	Hydrauliske størrelser	23
3.4	Vandbalanceforhold	25
3.5	Indvindingsforhold	28
4.	Modelsystem	31
4.1	Overfladisk afstrømning	31
4.2	Umættet strømning	32
4.3	Grundvandsstrømning	33
4.4	MIKE 11	35
5.	Modelopstilling	37
5.1	Diskretisering	37
5.2	Nettonedbør og fordeling til grundvand/overfladevand	38
5.3	Vandløb og Søer	46
5.4	Indvindinger	53
5.5	Numeriske parametre	57
6.	Kalibreringsstrategi og data	58
6.1	Valg og bearbejdning af potentialer og afstrømningsdata	58
6.1.1	Databehandling - potentialer	58
6.1.2	Databehandling - afstrømningsdata	61
6.2	Opstilling af kalibreringsmål og -kriterier	63
6.2.1	Kalibreringsmål og performance kriterier - potentialer	63
6.2.2	Kalibreringsmål og performance kriterier - afstrømningsdata	67
6.2.3	Samlet kalibreringsmål	68
6.3	Valg af kalibreringsparametre	70
7.	Kalibrerings- og valideringsresultat	74
7.1	Kalibreringsresultat	74
7.1.1	Kvantitativ vurdering af kalibreringsresultat	77
7.1.2	Kvalitativ vurdering af kalibreringsresultat	80

7.2	Valideringsresultat	87
7.2.1	Kvalitativ vurdering af valideringsresultat	89
8.	Vurdering af model	96
9.	Referencer	98
9.1	Internetsider	99

Bilag 1 – Beskrivelse af procedure for placering af indvindinger

Bilag 2 – Beskrivelse af procedure for udvælgelse af pejlinger

Bilag 3 – Pejletidsserier medtaget i DK-model opsætningen

Bilag 4 – Afstrømningstidsserier fra vandføringsstationer

1. Resumé

DK-modellen	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. Den første version af DK-modellen blev afrapporteret i 2003 med Ferskvandets Kredsløb (Henriksen & Sonnenborg, 2003). I perioden 2005 – 2009 har DK-modellen undergået en omfattende opdatering i et samarbejde mellem GEUS og de syv statslige miljøcentre. Den nationale vandressource model er opdelt i syv delmodeller og denne rapport beskriver den opdaterede model for Fyn.
Model system	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 drænafstrømning, samt vandstrømning i vandløbene (MIKE 11).
Hydrostratigrafisk model	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. Opdateringen af den hydrostratigrafiske model er foretaget af GEUS mens miljøcentret har forestået en kvalitetssikring af, hvorvidt de ønskede lokalmodeller er indbygget tilfredsstillende i den opdaterede model. Opdateringen er kun foretaget i de områder, hvor der eksisterer en lokalmodel før amternes nedlukning. Der er således ikke foretaget en gentolkning for hele modelområdet. Den hydrostratigrafiske model beskriver udbredelsen samt tykkelserne af hhv. høj- og lavpermeable hydrostratigrafiske enheder. Modellen består af tre gennemgående lag (fra topografi og ned): Toplag (bestående af sand, opsprækket ler samt tørv/andet). Ler med indslag af sandlegemer i tre niveauer. Et Prækvarteret lag bestående af Paleocæn og Eocæn ler/mergel samt Senon, Danien og Paleocæn kalk i bunden. Grundvandsmagasinerne udgøres af kalk samt sandlegemerne. Udbredelsen af de Kvarter sand- og gruslag varierer, hvor den største horisontale udbredelse findes for de dybereliggende sandlegemer.

Diskretisering	Under modelopstillingen er det udnyttet, at MIKE SHE giver mulighed for at anvende forskellige opløsninger af den geologiske og den numeriske model. For at udnytte opløsningen i de tidligere amts modeller optimalt, er der anvendt en horisontal diskretisering i den geologiske model på 100x100 m. Denne opløsning er det dog ikke praktisk muligt at anvende for den numeriske model, hvorfor der her er anvendt en (aggregeret) horisontal diskretisering på 500x500 m, mod de 1x1 km der blev anvendt i den første version af DK-modellen.
Overfladevands-systemet	Modellen er en integreret grundvands-/overfladevandsmodel med en direkte kobling mellem de to systemer. Under opdateringen er overfladevandssystemet konverteret til modelkoden MIKE11, og fra Fyns amt er der indhentet eksisterende MIKE11 opsætninger. 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, der tager hensyn til opstuvningsdynamik 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 og afværgeforanstaltninger er indhentet fra Fyns amt. Samtlige udledninger er indlagt som MIKE11 randbetingelse i modellen.
Klimainput	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 DMIs 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 uploaded 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 (Mikkel-

sen & Olesen, 1991).

Indvindinger	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.
Hydrauliske Parametre	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, prækvartært sand og ler samt kalk. Dog er det antaget, at leret i den øverste zone har en højere hydraulisk ledningsevne end det øvrige ler pga. tilstedeværelsen af sprækker. Variation i transmissiviteten indenfor de enkelte enheder er således alene distribueret ud fra variationen i deres tykkelse.
Kalibrering	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 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-Sutcliffe (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 er kalibreret med det formål at kunne reproducere vandløbsafstrømning og potentialer indenfor de kriterier som ville betyde at modellen ville være egnet til en beskrivelse af den overordnede vandbalance på stor skala. Desværre er det de overordnede mål ikke nået indenfor denne kalibrering af modellen. Den primære årsag til manglende målopfyldelse vurderes at kunne henføres til overordnede problemer med vandbalancen Som led i modelopbygningen er der sket en omfattende opdatering af den hydrostratigrafiske model samt vandløbsbeskrivelsen. Modellen

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

Vandbalance problemer

Den første version af DK-modellen indikerede, at der var væsentlige problemer mht. at få vandbalancen til at gå op, hvilket ledte til konsensus notatet "Vandbalance på mark- og oplandsskala" (Plauborg, 2002). På trods af en anvendelse af anbefalingerne i Plauborg (2002) har det med den opdaterede model imidlertid ikke været muligt at lukke vandbalancen.

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 og indarbejde denne geologiske viden i DK-modellen. Dette er sket gennem en seminarrække mellem GEUS og de enkelte amter, hvor amternes geologiske og hydrogeologiske modeller er blevet gennemgået, og det er diskuteret, hvordan amternes geologiske forståelse bedst repræsenteres i den opdaterede model.

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

I nærværende rapport beskrives opstilling, kalibrering og validering af den opdaterede DK-model for delmodellen Fyn. 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 detaljeringsniveau 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.
- *Detaljering 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.
- *Detaljering 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 processe-ret 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 modeopstillingen, 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. indvindingernes 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, der giver større mulighed for at anvende dele af modellen i forbindelse med detaljerede modelstudier. Dette gør sig blandt andet gældende for den hydrostratigrafiske model, der ligger i en 100x100 m opløsning, mens den numeriske model har en horisontal opløsning på en 500x500 m. Ligeledes er der sket en detaljering mht. klimadata samt beskrivelse af vandløb og indvindinger.

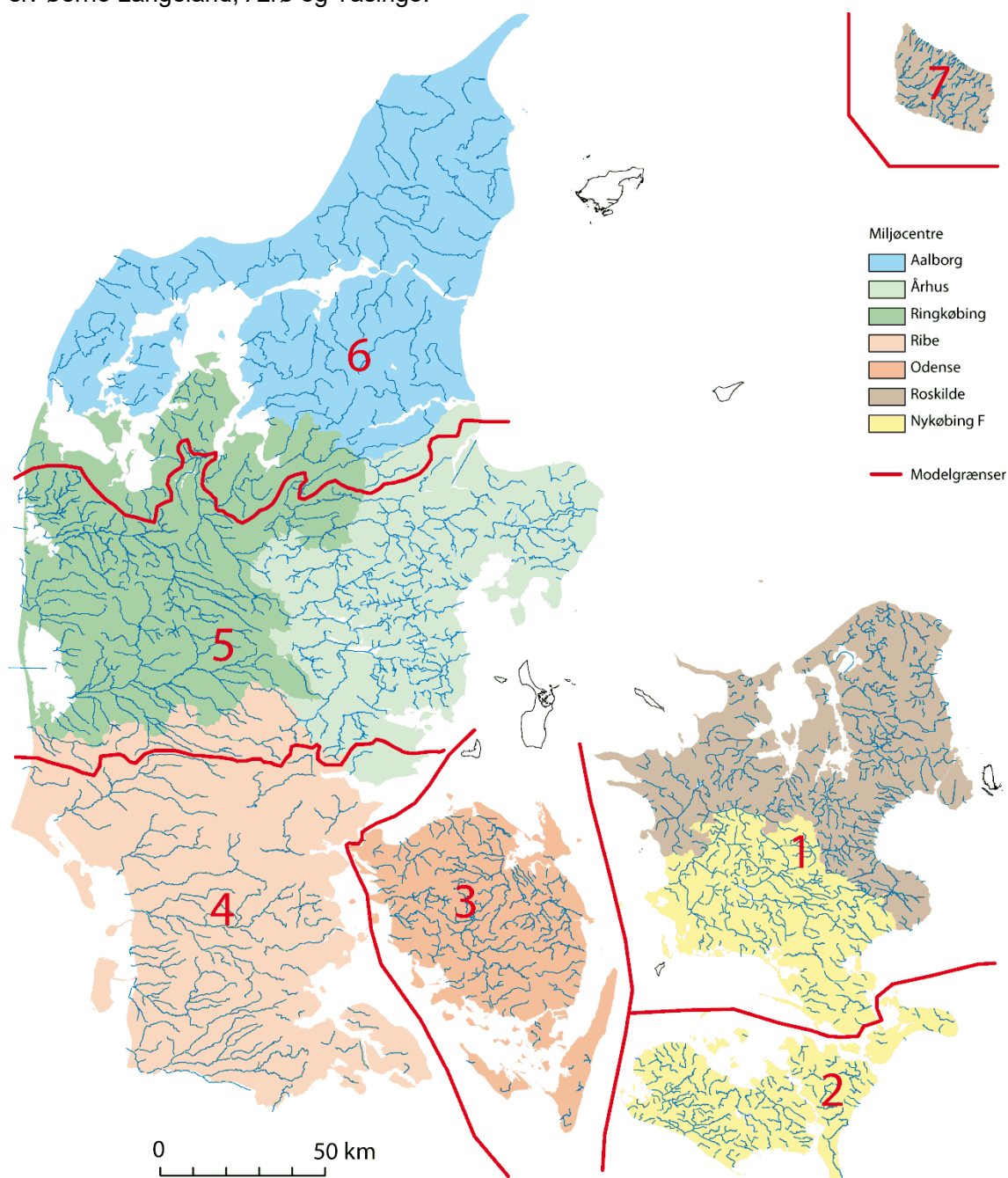
Som grundlag for opbygning af DK-modellen er MIKE SHE/ MIKE 11 systemet valgt (Refsgaard og Knudsen, 1996; Abbott et al. 1986a,b; Havnø et al., 1995). MIKE SHE/ MIKE 11 er et deterministisk og fysisk baseret fuldt distribueret modelkompleks, som beskriver de væsentligste strømningsprocesser i landfasen af det hydrologiske kredsløb. MIKE SHE kan beskrive afstrømning på jordoverfladen (2D), 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 Fyn er sket som led i en samlet opdatering af DK-modellen for hele landet.

2.3 Beskrivelse af modelområdet

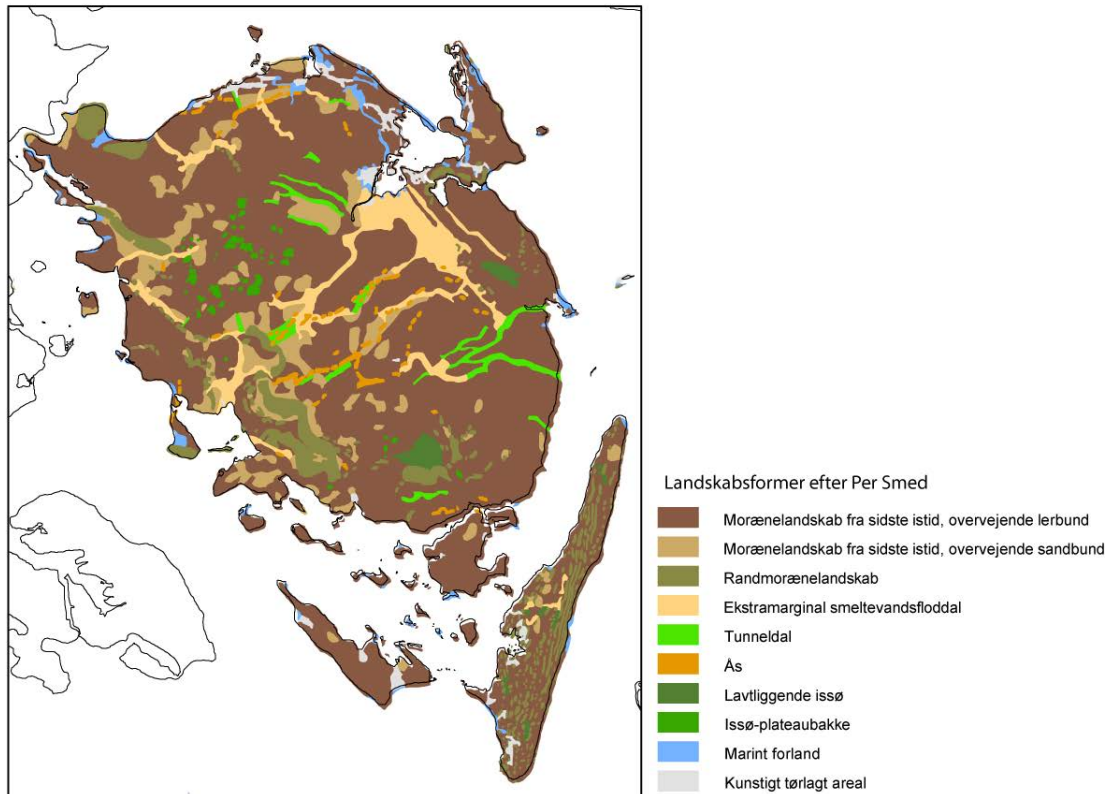
Den opdaterede version af DK-modellen er opdelt i 7 delmodeller som illustreret på Figur 1. Modelområde 3 omfatter Fyn samt de største øer i det sydfynske øhav. Modellen dækker således hele Miljøcenter Odense.

Modellen er afgrænset mod hav langs hele periferien, hvor der er defineret en rand i havet minimum 0,5 km fra kysten. Modelområdet dækker et samlet land areal på 3473 km² inklusiv øerne Langeland, Ærø og Tåsinge.



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

Landskabsmæssigt består området hovedsagligt af et svagt bølgende morænelandskab fra sidste istid – Weichel, med randmoræne strøg på det sydlige Fyn (De fynske alper) og på langs af Langeland. Landskabet er gennemskåret af ekstramarginale smeltevandsfloddale (især øst for Odense) og tunneldale, Figur 2.



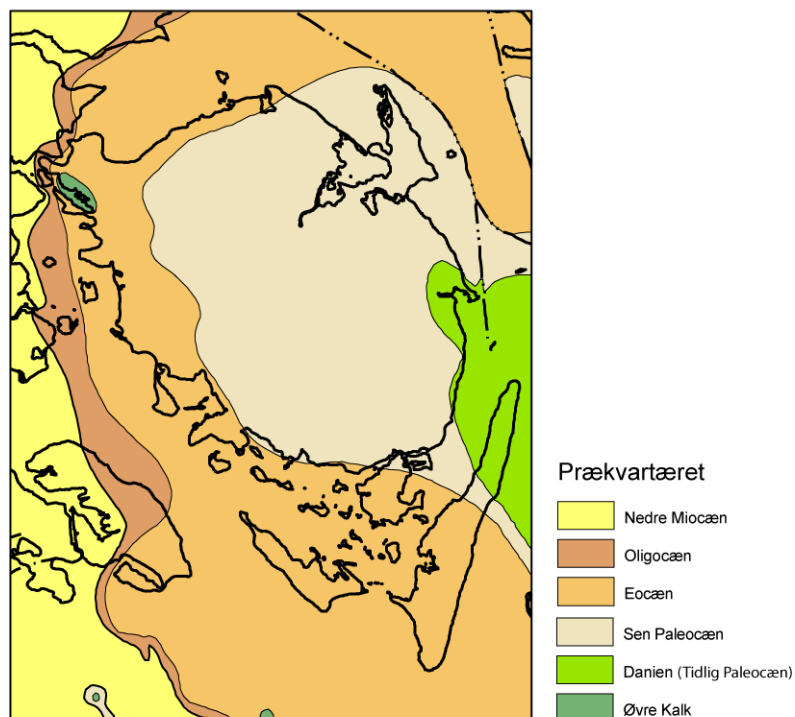
Figur 2. Landskabsformer på Fyn og øerne. Efter Per Smed

2.3.1 Grundvandsmagasiner

De vigtigste prækvarter grundvandsmagasiner findes i Danien kalken (Tidlig Paleocæn), hvis udbredelse er på den østlige del af Fyn fra området omkring Nyborg og syd på mod Svendborg samt på den nordlige del af Langeland, Figur 3. Tykkelsen af Danien kalken på Østfyn er skønnet til mellem 30 og 80 meter og overlejre skrivekridt. Desuden findes et mindre område syd for Middelfart med skrivekridt fra Øvre Kridt.

Fra sen Paleocæn findes mindre aflejringer af Lellinge Grønsand, som er en kystnær aflejring af samme alder som den mere udbredte Kerteminde Mergel. Kerteminde Mergel er typisk en blød siltet mergel, men inkluderer også kalkstens- og lerstenslignende facies. Denne hårde bjergart kan være opsprækket, og udnyttes i mindre grad i området mellem Odense og Nyborg. Enheden stiger til omkring 50 meter omkring Lillebælt.

Aflejringerne fra Eocæn og Oligocæn er overvejende lerede og kan ikke udnyttes til vandindvinding.

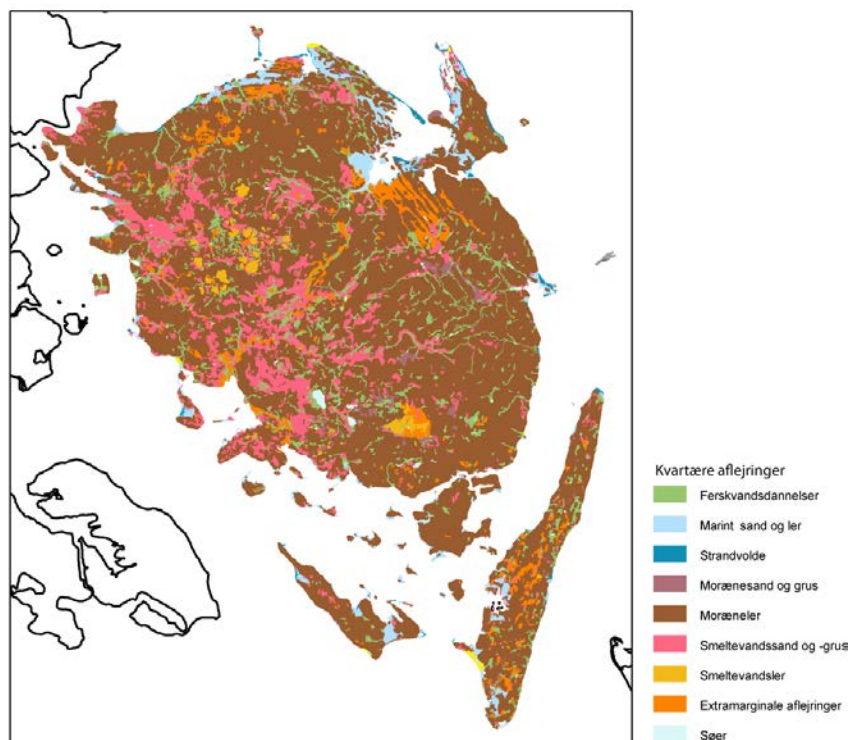


Figur 3. Kort over de prækvartære aflejringer på Fyn og øerne (VARV-kortet)

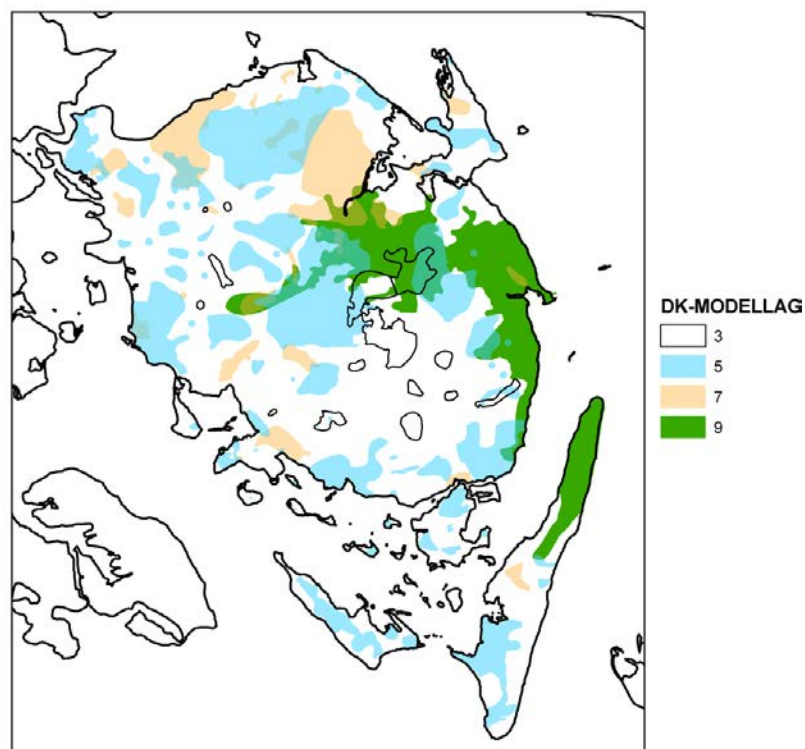
De prækvartære aflejringer er overalt på Fyn dækket af kvartærtidens glaciale bjergarter. Disse består mest af moræneler med mindre indslag af morænesand samt af smeltevands-sand og -grus, Figur 4. Desuden ses en del ekstramaginale sand aflejringer på det nordlige Fyn. Fra borer er der beskrevet Interglaciale aflejringer, som findes i mindre omfang på f.eks. Sydfyn – 'Det hvide sand'. Tykkelsen af de kvartære lag svinger omkring 40 meter, men kan flere steder overstige 100 meter.

Reservoirer af glaciale smeltevandssand og -grus findes de fleste steder på Fyn og tilgrænsende øer. Størstedelen af magasinerne er artesiske, dog er sand-magasinerne ved Middelfart overvejende frie. Ved Assens og Svendborg er der både artesiske og frie magasiner.

Det tidligere Fyns Amt har kortlagt og beskrevet i alt 116 magasiner (2005) med en samlet udstrækning på 1780 km². Grundvandsmagasinerne er opdelt i tre grupper som henholdsvis terrænnære, intermediære og dybtliggende grundvandsforekomster, Figur 5. De største terrænnære grundvandsforekomster findes i og nord for Odense-området, samt udgør vigtige magasiner for vandforsyningen ved Svendborg, Assens, Fåborg og på den sydlige del af Langeland. Forekomsterne findes ned til 20 meter under terræn og er ofte dårligt beskyttet. De intermediære grundvandsforekomster er af stor regional betydning og er mest udbredte mellem Fredericia og Odense (Søndersø), omkring Nyborg (kalk), på den nordlige del af Langeland (kalk) og på Ærø. Den største dybtliggende grundvandsforekomst findes mest i det østlige Odense-område (kalk). Desuden findes der en del små spredte forekomster, som dog kan være mere udbredte, da borer til under kote -40 meter ofte mangler. Grundvandsmagasinerne er tilknyttet lagene i den første DK-model, Figur 5.



Figur 4. Jordartskort i 1:100.000 over Fyn, Langeland, Tåsinge og Ærø.



Figur 5. Fyns amts placeringer af magasinerne i forhold til første udgave af DK-modellen.

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 Fyn 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 borningsniveau frem for anlægsniveau samt en mere fysisk baseret beskrivelse af vandløbene.

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

3.1 Hydrostratigrafisk model (antagelser om reservoirforhold)

Fyn er dækket af kvartære aflejringer med en samlet tykkelse på omkring 40 m der dog flere steder overstiger 100 meters tykkelse. Størstedelen af den kvartære lagserie udgøres af moræneler med linser og lag af smeltevandssand og -grus i forskellige stratigrafiske niveauer. Reservoirerne er overvejende artesiske. De vandførende prækvartære aflejringer består hovedsageligt af marine kalkaflejringer fra Danien og Paleocæn, der findes udbredt på som angivet i Figur 3.

Den øverste del af moræneleren kan inddeles i følgende prækkezoner:

- de øverste 0 – 2 meter under terræn, hvor moræneleren er domineret af makroporer som følge af udtørring, ormehuller, gravegange, rodhuller etc.
- fra ca. 2 meter under terræn til grundvandsspejlet (eller evt. et sandlag, hvis dette ligger højere), hvor der som oftest vil optræde udtørringssprækker og i tryk belastet moræneler sandsynligvis tektoniske sprækker forårsaget af isens tryk på underlaget
- under grundvandsspejlet vil der ofte optræde tektoniske sprækker og i enkelte tilfælde fossile udtørringssprækker som følge af tidligere tørre klimaperioder (for bl.a. ca. 8500 år siden). De tektoniske sprækker kan gennemsætte moræneleret til større dybde
- i områder præget af neotektonik f.eks. saltdomer og forkastningszoner (f.eks. Carlsberg forkastningen i København) er moræneleren ofte gennemsat af sprækker

Det er antaget, at den øverste del af lerpakken, pga. tilstedeværelsen af sprækker, har en højere hydraulisk ledningsevne end det dybereliggende ler. Dybden og intensiteten af sprækkerne varierer rumligt, men der foreligger ikke nogen samlet undersøgelse, ud fra hvilken der kan foretages en rumlig fordeling heraf. Det er derfor valgt at anvende en homogen fordeling af disse forhold. I den tidligere version af DK-modellen blev det opsprækkede lerlag antaget at have en tykkelse på 3 m. Feltstudier har dog vist, at moræneleren kan være gennemsat af sprækker til væsentlig større dybde, specielt i tilfælde hvor et morænelerslag med en tykkelse på mindre end 10 m overlejer højpermeable enheder, såsom sand/grus eller kalk. Det er derfor valgt, at lade det øvre opsprækkede moræneler strække sig ned til maksimalt 10 m under topografien. Hvor sandenhederne genfindes i tykkelser større end 1 m og tættere end 10 m fra terræn, vil det øvre opsprækkede ler kun være til stede fra terræn og ned til den øverste sandenhed.

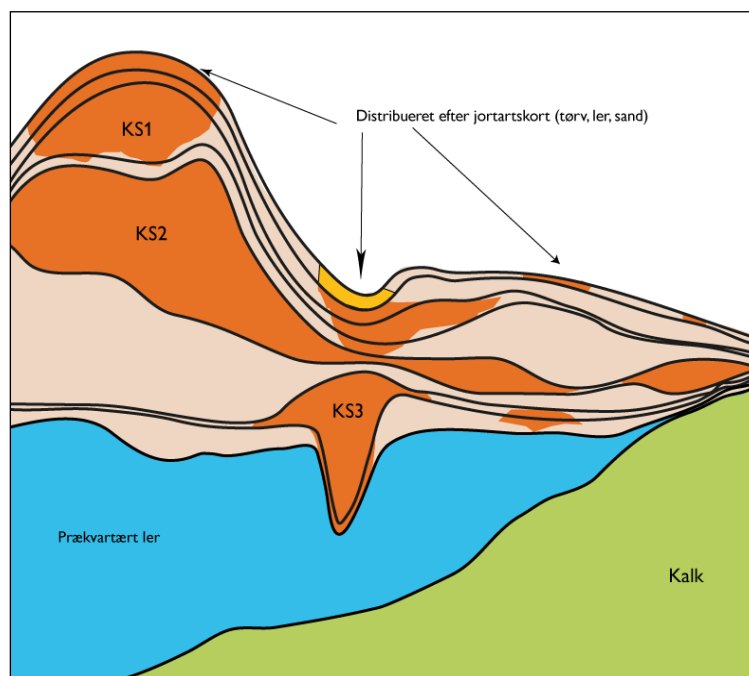
Den hydrostratigrafiske model for Fyn er opbygget som fire gennemgående hydrostratigrafiske lag, med indskud af sandlegemer i tre forskellige niveauer med varierende horisontal udbredelse. De fire gennemgående lag, regnet fra topografien og ned, er:

1. Et toplag bestående af de øverste 3 meter i landområdet, der 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. Laget regnes for opsprækket og de vandførende egenskaber af det øvre ler forventes derfor at afvige fra leret i de dybereliggende lerenheder. I havområder udgør modellens øverste lag havet og har derfor en tykkelse svarende til vanddybden.
2. Et øvre opsprækket lerlag. Dette lag strækker sig fra bunden af toplaget og ned til den øverste sandforekomst, dog maksimalt 10 m under terræn.
3. Et forholdsvis lavpermeabelt lag bestående af ler aflejret under forskellige geologiske tider og under varierende dannelsesmiljøer. Laget er således sammensat af moræneler, sen og postglaciale lerede aflejringer, smeltevandsler og -silt. Laget strækker sig fra bunden af lag 2 og ned til de prækvartære aflejringer.
4. Et Prækvartært lag zoneret i relativt lavpermeable enheder bestående af Lillebæltsler, Røsnæsler og Kerteminde Mergel og vandførende enheder primært kalkaflejringer fra Danien.

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

1. Legemer af smeltevandssand og -grus, som udgør sekundære lokale magasiner. Enhederne, som er det øverste niveau af sandforekomster, ligger omkring typisk over kote 30 og har begrænset udstrækning på godt 1000 km². Laget findes således primært udbredt i de højtliggende områder på Fyn.
2. Vandførende smeltevandssand og -grus enheder. Dette niveau indeholder de regionale øvre primære magasiner og har en relativ stor udstrækning med lagtykkelser over 10 meter i mange områder (ca. 1000 km²). Laget findes ofte omkring kote 30 til 0 meter.
3. Vandførende smeltevandssand og -grus enheder, som udgør et regionalt nedre primært magasin. Magasinerne i dette niveau har relativ lille udstrækning med tykkelser på over 10 meter. Træffes især i de nordlige og vestlige dele af Fyn. Enhederne findes ofte omkring under kote 0. Laget kan stå i hydraulisk kontakt med kalkaflejringerne.

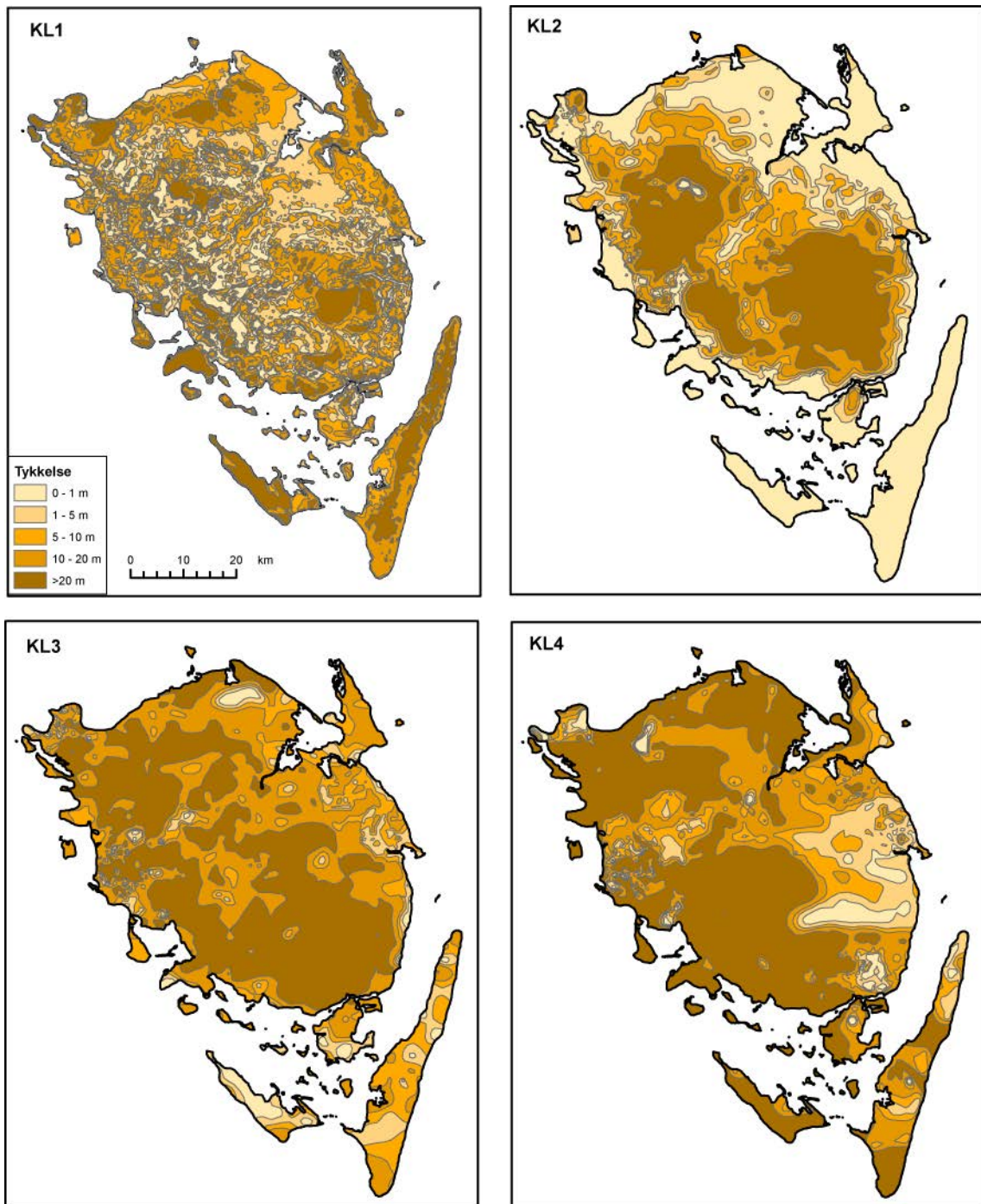
En principskitse (Figur 6) viser de hydrostratigrafiske enheder samt hydrostratigrafiske lag, der er anvendt i strømningsmodellen. De lavpermeable kvartære lerenheder består overvejende af moræneler. I visse områder indgår desuden interglacialt, senglacialt og postglacialt ferskvandsler, samt interglacialt marint ler i disse enheder. De paleocæne og eocæne lavpermeable enheder, Lillebæltsler, Røsnæsler og Kerteminde Mergel og de prækvartære vandførende enheder er zoneret ind i det prækvartære lag.



Figur 6 Principskitse af de hydrostratigrafiske enheder og beregningslag for Fyn

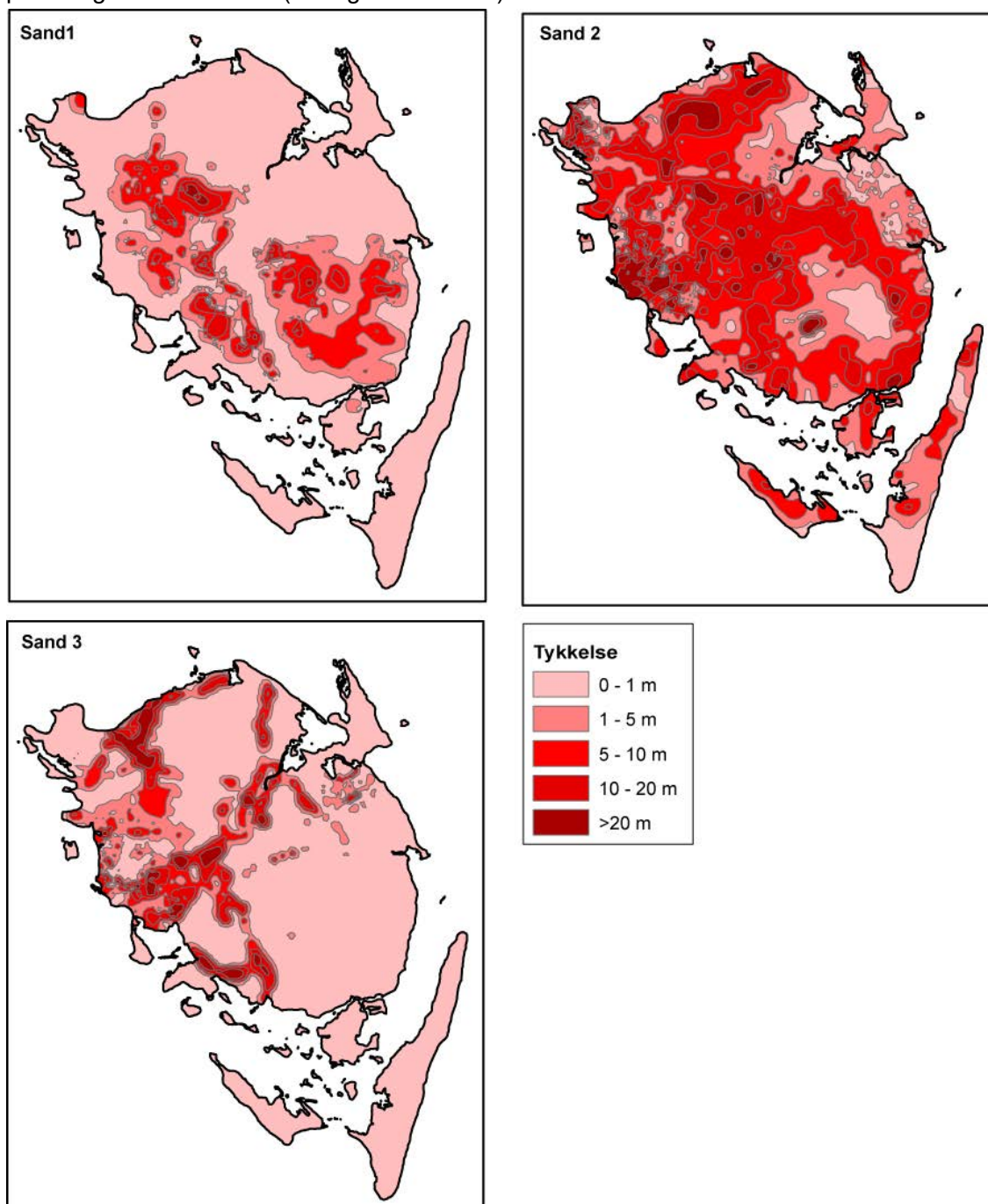
For lavpermeable enheder er den vertikale hydrauliske ledningsevne den vigtigste parameter, hvorimod den horisontale ledningsevne har mindre betydning. Den vertikale hydrauliske

ske ledningsevne afhænger bl.a. af forekomsten af sprækker og sandvinduer. Da udbredelsen af sprækker og sandvinduer imidlertid ikke kendes i detaljer, er det i modellen antaget at leret har en ensartet horisontal og vertikal hydrauliske ledningsevne i hele området. Vandudvekslingens størrelse mellem en øvre og en dybere vandførende enhed antages således omvendt proportional med tykkelsen af det lavpermeable lag ved en given trykniveauafskel. Der er ikke taget hensyn til, at smeltevandsler har en lavere hydraulisk ledningsevne end f.eks. moræneler eller at visse sekvenser af moræneler kan være mere lavpermeable end andre. Udbredelse og tykkelse af leret mellem de tre niveauer af sandlegemerne fremgår af Figur 7.



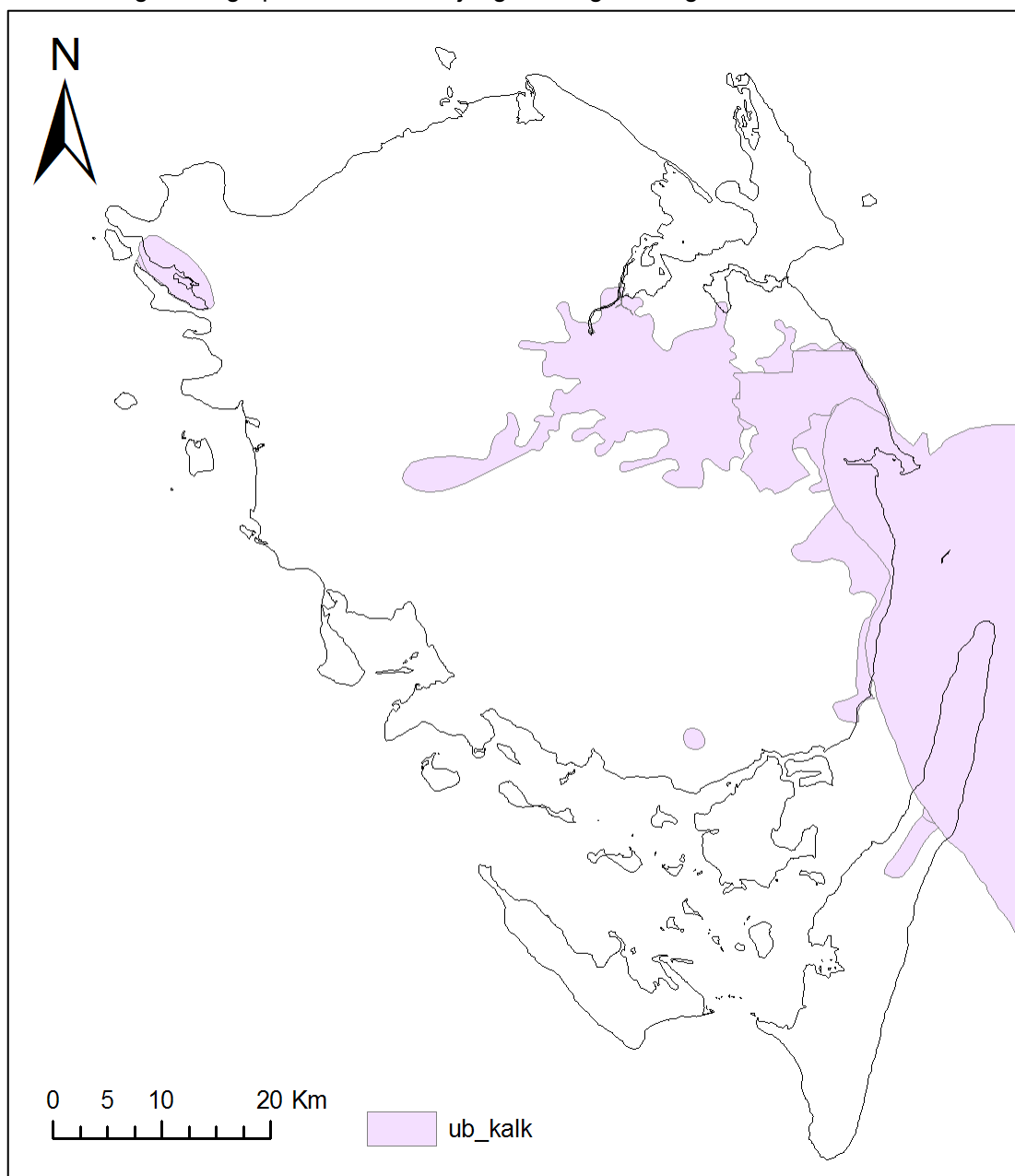
Figur 7. Udbredelse og tykkelse af ler mellem sandlegemerne.

Modellernes sandenheder består overvejende af smeltevandssand og -grus. For sandenhederne findes der relativt få pumpetest data samt specifik ydelse. Datagrundlaget er ikke vurderet tilstrækkeligt til at foretage en interpolation af de hydrauliske ledningsevner indenfor de enkelte sandlegemer. I stedet antages den hydrauliske ledningsevne for enhederne at være konstant. Denne kraftige simplificering medfører, at variationen i transmissiviteten udelukkende afhænger af tykkelsen af den vandførende enhed. Udbredelsen af de vandførende enheder i de tre niveauer er vist i Figur 8. I forhold til Fyns amts indplaceringer af magasiner (Figur 5) er der tilsyneladende nogle uoverensstemmelser i forhold til magasin placeringen i nedre sand (før lag 7 nu sand 3).



Figur 8. Udbredelse og tykkelse af de vandførende enheder

For prækvaltæret er der specificeret en fast mægtighed på 50 m for hele modelområdet. Der er indbygget en variation i den hydrauliske ledningsevne for de prækvaltære enheder ved anvendelse af geounits, hvor der er anvendt én værdi for kalken hhv. én værdi for de øvrige prækvaltære enheder. Det betyder således, at de prækvaltære enheder hydraulisk set er antaget at være homogene. Opdelingen af de prækvaltære enheder i kalk hhv. Ker-temine mergel/ øvrige prækvaltære aflejringer fremgår af Figur 9.



Figur 9. Udbredelse af Prækvaltære magasiner på Fyn. Strømningsmæssigt antages laget at være zoneret i kalk og prækvaltært ler og have en konstant tykkelse på 50 m.

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 aktuel 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 opmagasinerings 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 drænkodet kort (Figur 21). 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. Det skal i parentes bemærkes at det i forbindelse med en evt. mere detaljeret modellering måske er data nok

til at forsøge eksplicit indbygning af dræn, dvs. også områder hvor dræn ikke findes eller vådområder der fx udlægges til N- og P-fjernelse i landskabet.

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 tryktabet som følge af lækagen i vandløbsbunden (~vertikalt) som tryktabet (~horizontalt) den omkringliggende geologi vil medføre (se afsnit 4.4). Denne metode er anvendt i modelopstillingen og der opnås herved en gennemskuelig men praktisk gennemførlig distribuering af modstanden mellem grundvandet og vandløbet, baseret på den vandløbsnære geologi.

3.2.3 Ydre modelrande

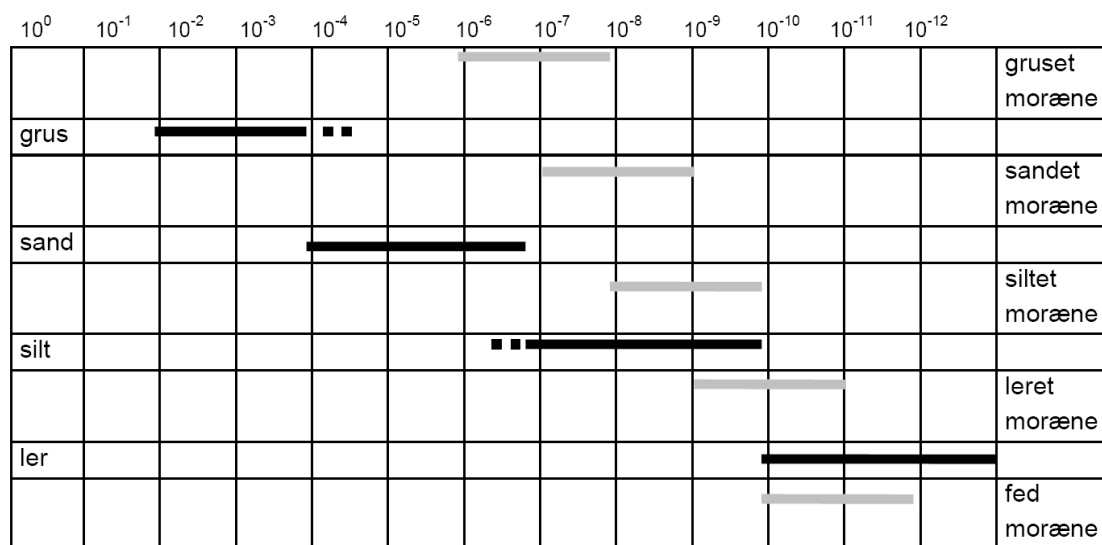
Horisontalt er modellen afgrænset ved havet langs hele den ydre periferi. Her er der anvendt fastholdt tryk som randbetingelse for det øverste beregningslag, hvor celler beliggende i havet har et fastholdt tryk på 0 m. For de øvrige beregningslag er der anvendt no-flow som ydre randbetingelse. No-flow betingelsen betyder, at der ikke kan ske en ind-/udstrømning over den ydre rand for disse beregningslag, svarende til at der ude under havbunden, der hvor modelranden er placeret, ikke forekommer horisontale strømninger. 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.

Modelbunden, der er beliggende 50 meter under toppen af prækvartæroverfladen, 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 10, 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 10. Den hydrauliske ledningsevnes størrelse og variation i m/s (efter Carlsson og Gustafson, 1984).

Den geologiske model er opbygget i et 100x100 m grid, og geologiske heterogeniteter på en mindre skala, f.eks. sprækker, mindre sandlommer samt smalle begravede dale kan ikke indbygges direkte i modellen. Den hydrauliske ledningsevne der anvendes i modellen for de enkelte hydrostratigrafiske enheder vil således være effektive værdier ("bulk-værdier"). Da tynde sandlag, vinduer, sprækker og lignende ikke er repræsenteret i lerlagene vil de effektive beregningsmæssige ledningsevner skulle være større end de angivne ledningsevner (Figur 10). Tilsvarende vil de effektive værdier for de vandførende lag typisk blive en gennemsnitsværdi for grus/sand.

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

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

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

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

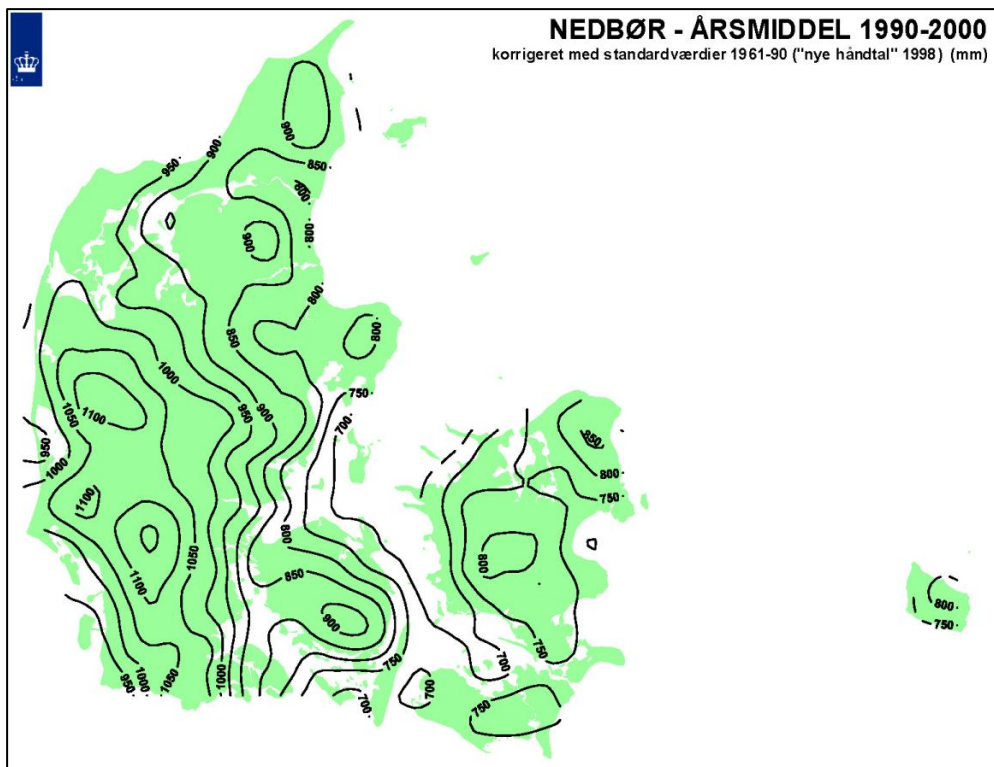
Den effektive hydrauliske ledningsevne for kalken vil være meget styret af sprækkeintensiteten i kalken. Ledningsevnen forventes derfor, at kunne variere betydeligt med horisontale værdier mellem 10^{-9} – 10^{-3} m/s, hvor de højeste værdier vil være forbundet med meget opsprækkede zoner, mens de laveste værdier vil findes i tætte ikke opsprækkede matricer. Udbredelsen af kalken er begrænset til den østlige del af Fyn. Der er ikke anvendt eksisterende prøvepumpningsdata til distribuering af den hydrauliske ledningsevne for kalken som for Sjælland, i stedet antages kalkens transmissivitet ens for hele laget.

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.

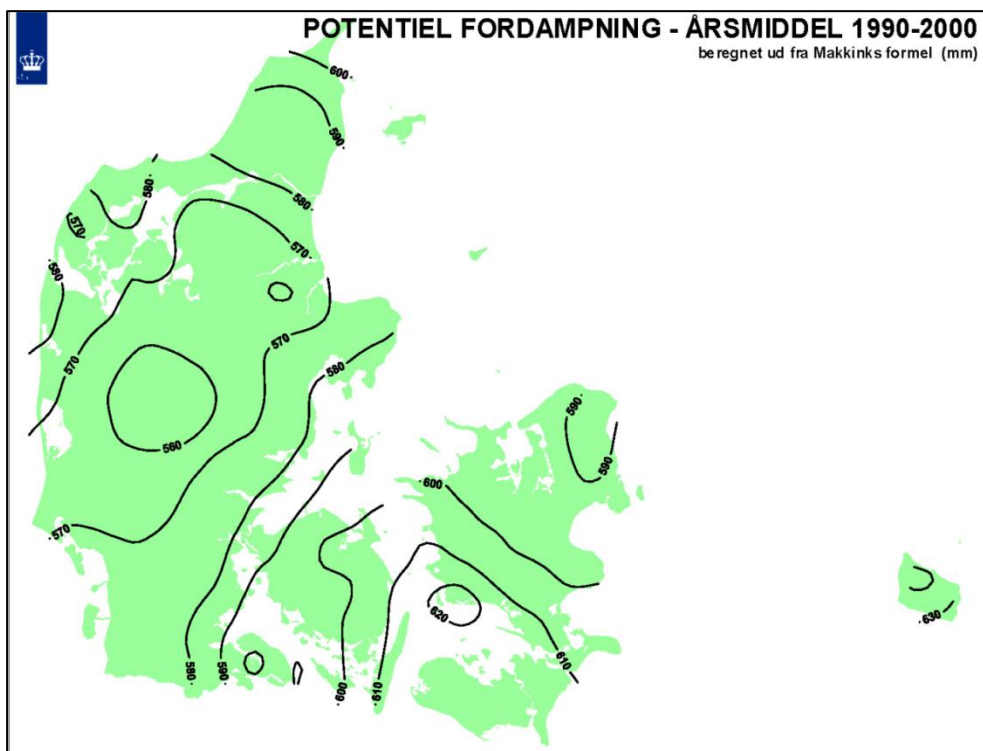
3.4 Vandbalanceforhold

Middel årlig nedbør for perioden 1990 – 2000 er angivet på . Den korrigerede nedbør for perioden varierer således mellem ca. 750 mm/år i de østlige kystområder til over 900 mm/år for den centrale del af Fyn (Scharling & Kern-Hansen, 2002).

Årsmiddel for reference fordampningen beregnet ved Makkink for perioden 1990 – 2000 er vist på Figur 12. Af figuren fremgår det, at den potentielle fordampning stiger fra ca. 610 mm/år mod øst til ca. godt 590 mm/år mod vest.

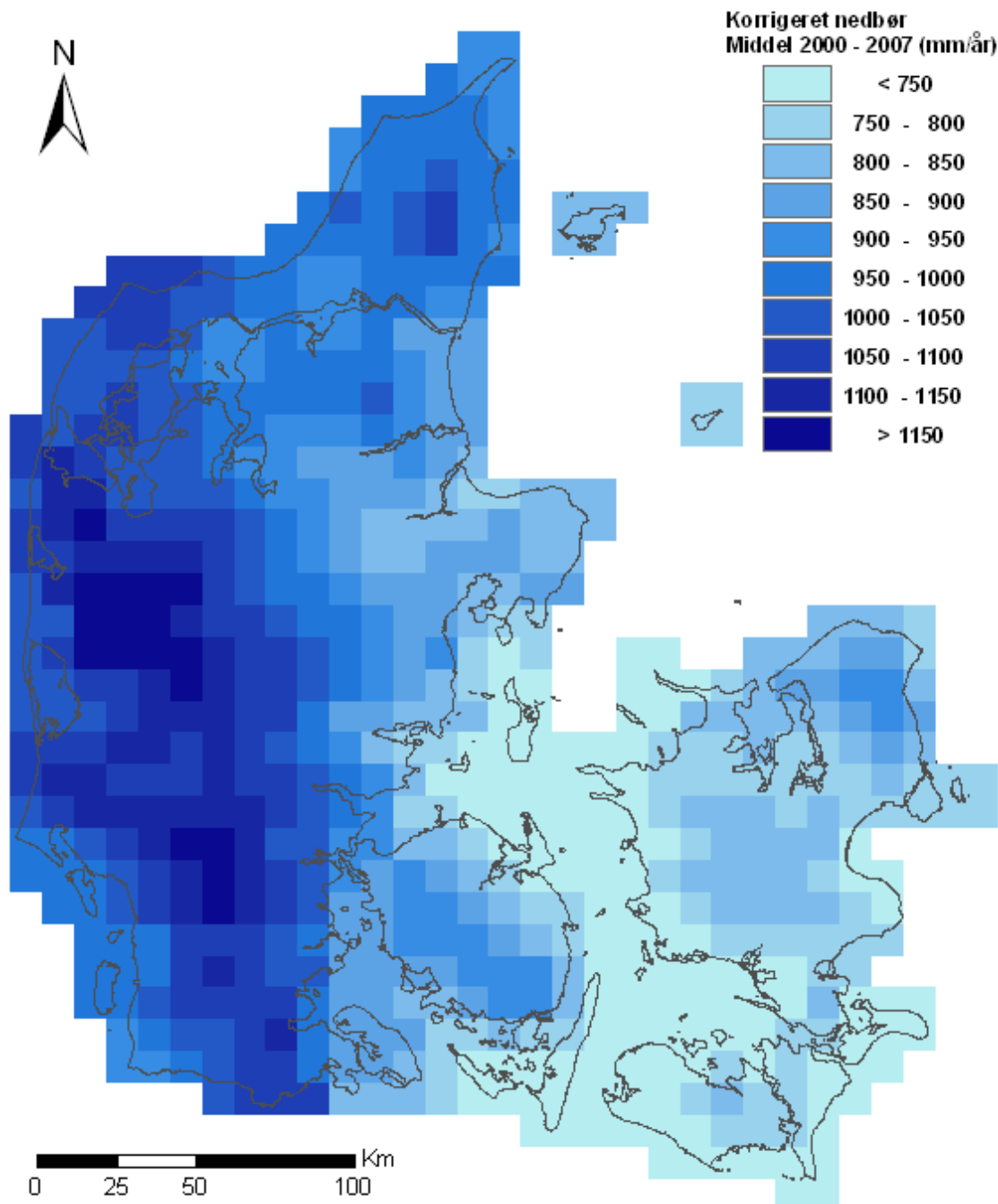


Figur 11. Middel af årlig korrigeret nedbør (mm/år) for perioden 1990-2000 (Scharling & Kern-Hansen, 2002).

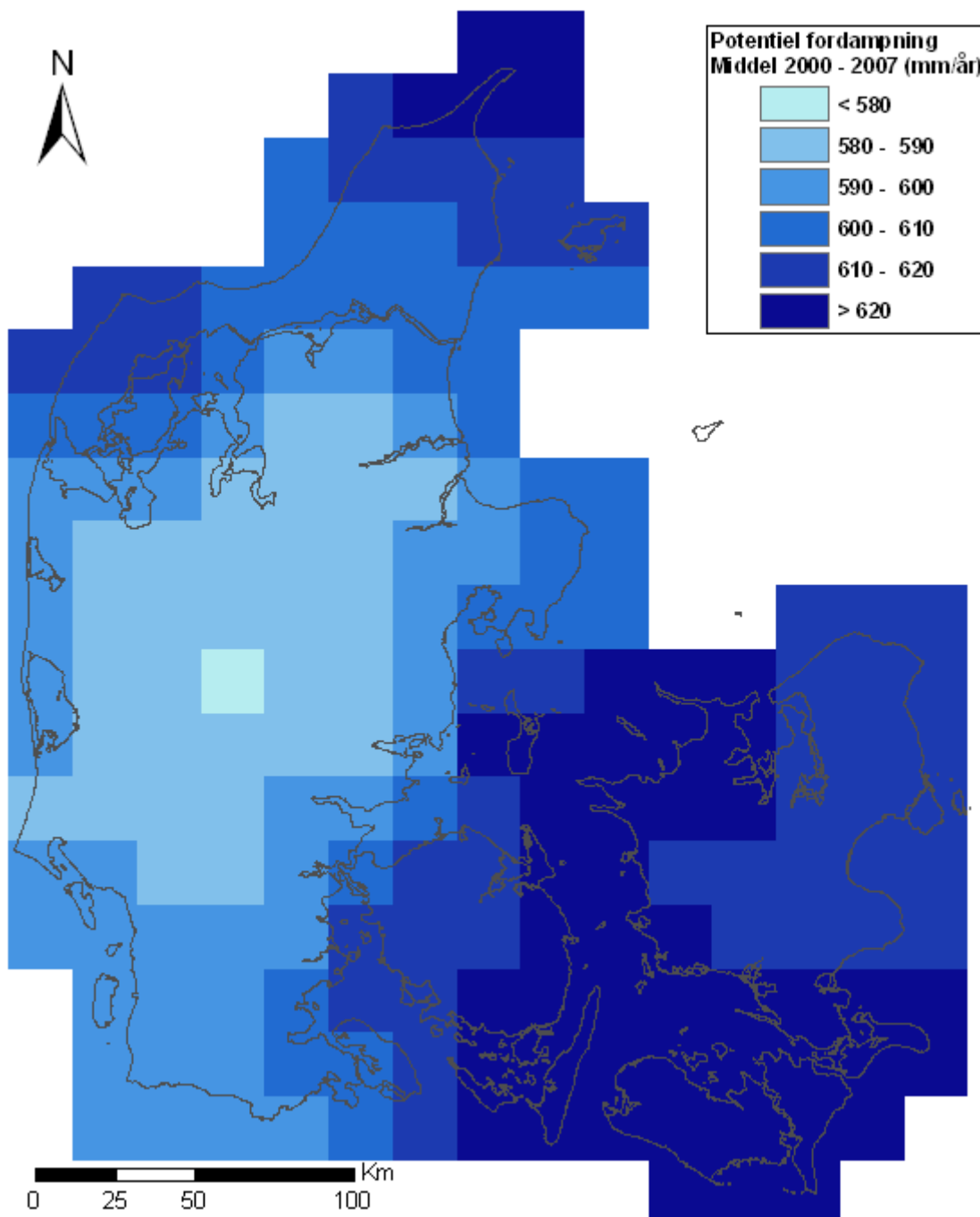


Figur 12. Middel af årlig reference fordampning beregnet ved Makkinks formel for perioden 1990 – 2000 (Scharling & Kern-Hansen, 2002).

Baseret på DMI's 10x10 km klimagrid for nedbør og 20x20 km klimagrid for fordampning er middel af den korrigerede nedbør samt den potentielle fordampning for kalibrerings- og valideringsperiode (2000 – 2007) beregnet til hhv. 809 og 621 mm/år for modelområdet for Fyn samt 905 og 608 mm/år for hele landet, med en rumlig fordeling som angivet i Figur 13 og Figur 14.



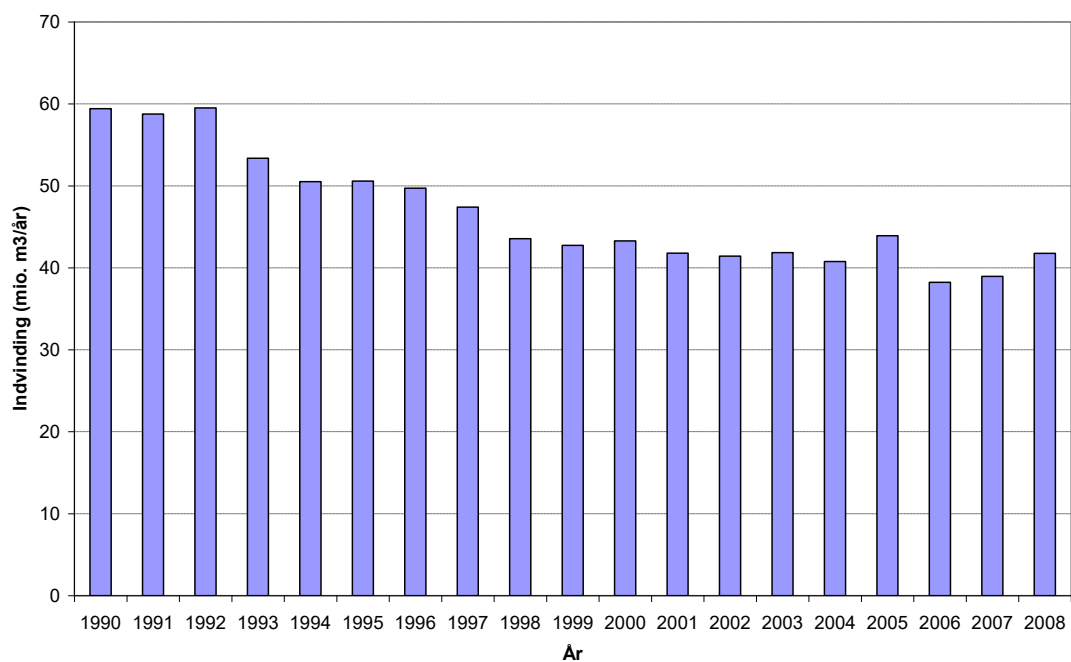
Figur 13. Middel korrigeret nedbør for perioden 2000 – 2007



Figur 14. Middel potentiel fordampning for perioden 2000 – 2007

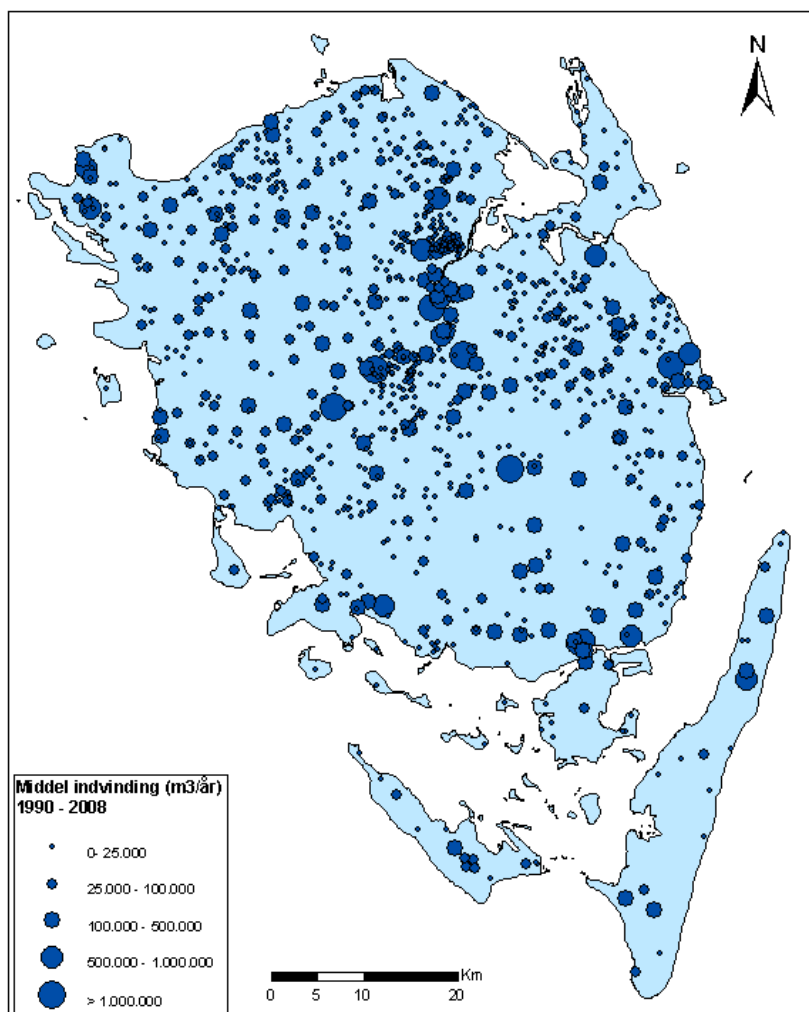
3.5 Indvindingsforhold

Der sket et markant fald i indvindingerne fra 1990 og frem til 1999/2000, hvorefter niveauet har stabiliseret sig og været nærvæd konstant frem til 2005, Figur 15.



Figur 15. Udvikling i den samlede indvinding på Fyn

Den rumlige fordeling af indvindingen er angivet på Figur 16, hvoraf det fremgår, at der er store lokale variationer i indvindingsforholdene, med de fleste og største indvindinger er placeret omkring Odense.



Figur 16. Middel indvinding i perioden 1990 – 2008 angivet på anlægsniveau

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 grundvandspotentiallet 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.

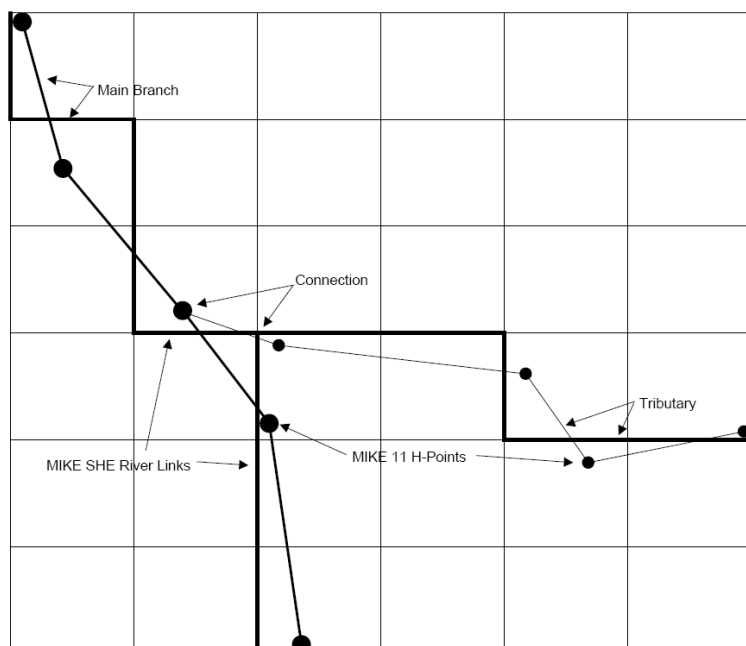
4.3 Grundvandsstrømning

MIKE SHE giver mulighed for løsning af grundvandsstrømningen enten ved en fuld 3D strømningsbeskrivelse 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 magasinsystem med varierende frie og artesiske forhold.

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

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

Ved løsning af grundvandsstrømningen inkluderes udvekslingen mellem grundvand og de øvrige komponenter i kredsløbet: overfladisk afstrømning, rodzonen, vandløb og søer, drænafstrømningen 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 17, 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 17. 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 drængenerende celle til en recipient via en lineær reservoir løsning. Drænastrømning forekommer alene i de tilfælde, hvor niveauet for grundvandsspejlet i et givent grid overstiger 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.

4.4 MIKE 11

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

Den fysiske udformning af vandløbssystemet beskrives i MIKE11 ved en digitalisering af vandløbenes geografiske placering, hvilket kan opnås ved import af et GIS vandløbstema i shape format, samt geometrisk beskrivelse ved vandløbstværsnit (kote beskrivelse af tværsnit). Ved beregningerne i MIKE11 er det kun den samlede vandløbslængde og tværsnitsgeometri der er betydende, mens den geografiske placering af vandløbene kun har betydning, når MIKE11 og MIKE SHE kobles. Vandløbslængden beregnes automatisk ud fra digitaliseringen af vandløbene, og der tildeles et "chainage" nummer for hvert beregningspunkt, der angiver den fortløbende længde af vandløbet. Den geometriske udformning af vandløbene (tværsnitsbeskrivelsen) kobles til vandløbene via et chainage nummer, så det kan specificeres, hvor i vandløbet de enkelte tværsnit er placeret. Der kan imidlertid være nogen usikkerhed ved den automatiske beregning af vandløbslængden baseret på digitaliseringen, og der er derfor mulighed for at specificere nogle "user-defined" 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 tidsskridt på op til 12-24 timer, hvor de mest detaljerede løsningsmetoder kræver tidsskridt 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 Manning (M) tal som input.

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

Udvekslingen mellem grundvandsdelen (MIKE SHE) og vandløbene (MIKE11) styres af gradienten mellem vandstand (i vandløbet) og 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 6002 km², hvoraf landdelen udgør 3473 km².

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

UTM nord 6064000 – 6167000

UTM øst 542000 - 628000

Model topografien er baseret på højdemodel - og havbund koterne er fra AIS databasen [/www.dmu.dk/](http://www.dmu.dk/)

5.1 Diskretisering

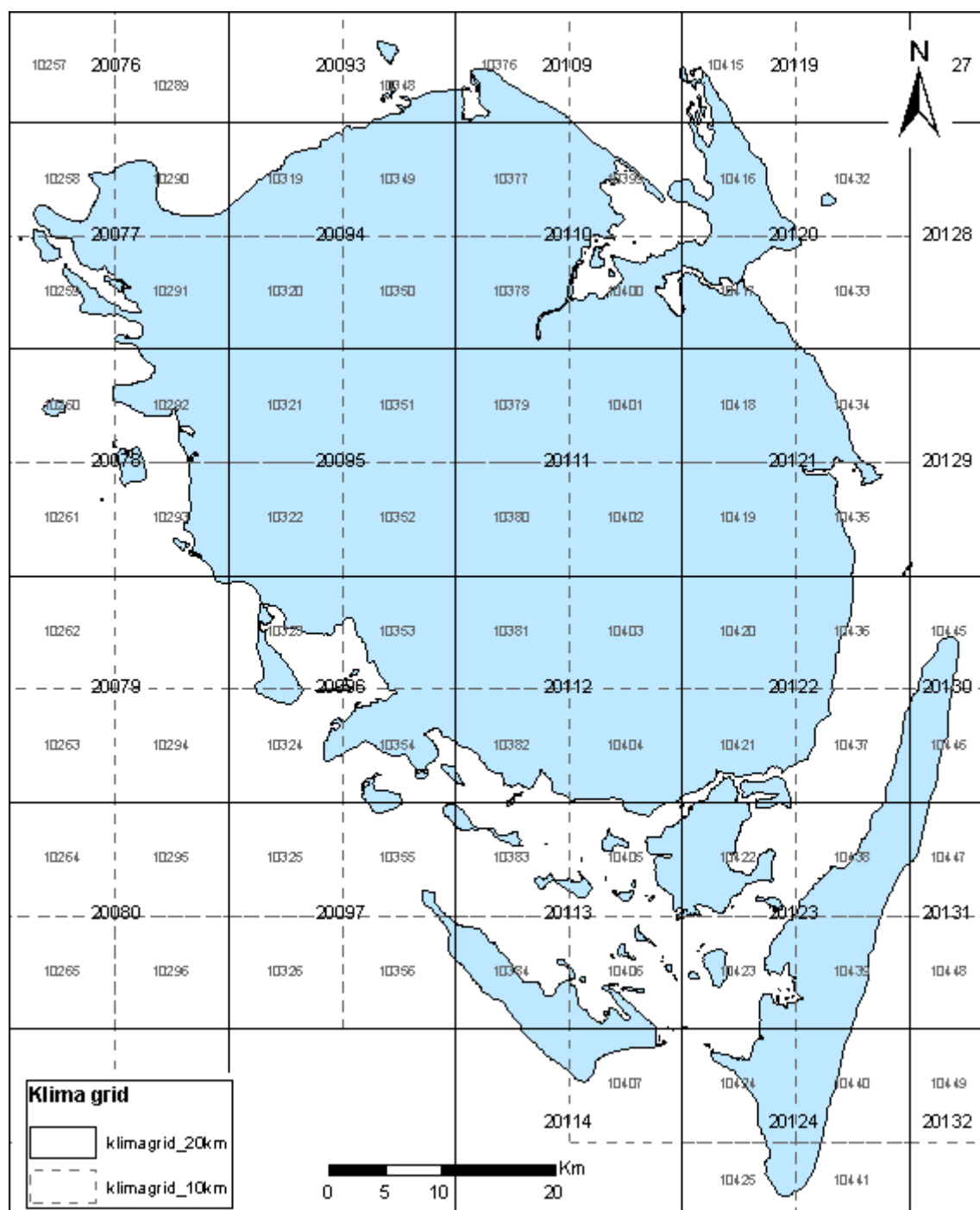
Havet er benyttet som en ydre randbetingelse for modellen. For at minimere effekten af randen er denne placeret minimum 2 km uden for kysten, med undtagelse af området ud til lillebælt og umiddelbart syd for Langeland. Her er randen placeret således at den lokalt er mindre end 0,5 km fra kystlinjen. Modellen er opstillet med horisontal diskretisering på 500 x 500 m, og består af 24.009 aktive celler pr. lag, eller i alt 216.081 aktive celler. For det øverste beregningslag udgør landdelen ca. 3.473 km² svarende til 13.891 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 for: toplaget (min. 3 m maks. 10 m) og for de prækvartære aflejringer. I den kvartære lagpakke (under toplaget) er der defineret et beregningslag for hvert af de tre niveauer med sandlegemer. Disse lag er lagt ind ved at benytte top og bund af de tolkede sandlegemer. I områder hvor sandlegemerne eksisterer, er top og bund af beregningslaget således sammenfaldende med top og bund af sandlegemet. I områder uden sand er der ikke defineret nogen tykkelse af sandlegemerne i den hydrostratigrafiske model, dvs. top og bund er sammenfaldende, for disse områder er der anvendt en minimum tykkelse på 0,5 m for beregningslagene, der automatisk genereres af MIKE SHE under preprocesseringen. Mellem hvert sandlag er der defineret beregningslag til repræsentation af det kvartære ler. Den numeriske model består således af 9 beregningslag. Den vertikale opdeling af modellen er illustreret på principskitzen, Figur 6, mens en beskrivelse af beregningslagene er angivet herunder:

Lag navn	Beskrivelse
LST	Går fra topografien og 3 meter ned. I havet er toppen af beregningslaget defineret i hav niveau (kote 0m), mens bunden er sammenfaldende med havbunden
KL1	Øvre kvartære lerenhed. Laget repræsenterer ler der strækker sig fra 3 m under terræn til toppen af de øverst beliggende sandforekomster. Lagtykkelsen kan i områder med sandforekomster tæt på terræn være sat til 0,5 meter.
KS1	Beregningslag for de øverste sandforekomster, der udgør øvre sekundære magasiner, som ofte ikke er sammenhængende. I områder med sand er lagets top og bund sammenfaldende med top og bund af sandlegemerne. I øvrige områder har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
KL2	Mellem kvartær lerenhed. Adskiller KS1 og KS2
KS2	Beregningslag for sandforekomster der udgør de øvre regionale magasiner. I områder med sand er lagets top og bund sammenfaldende med top og bund af sandlegemerne. I øvrige områder har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
KL3	Mellem/nedre kvartær lerenhed. Adskiller KS2 og KS3.
KS3	Beregningslag for sandforekomster der udgør de nederste regionale kvartære sandmagasiner. I områder med sand er lagets top og bund sammenfaldende med top og bund af sandlegemerne. I øvrige områder har laget en konstant tykkelse på 0,5 m.
KL4	Adskiller KS3 og prækvartæret.
KAL	Beregningslag bestående af de prækvartære enheder, dvs. Danien kalk i den østlige del, og ellers forholdsvis lavpermeable prækvartære enheder, hvoraf Kerteminde mergel udgør den største enkeltandel. Dette beregningslag er defineret ved en konstant tykkelse på 50 m i hele modelområdet.

5.2 Nettonedbør og fordeling til grundvand/overfladevand

Den drivende variabel for grundvandsdannelsen er nettonedbøren der beregnes med det integrerede 2-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 18 (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 18. Nummerering af 10x10 km nedbørsgrid og 20x20 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 1.

Tabel 1. 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 muligt 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 20, 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 250x250 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 beskeden 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 rodzonedybder fremgår af Tabel 2.

Tabel 2. 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	0.48	0.34	0.091	6.0e-7	750
11	Humus					

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 19. For alle landbrugsarealer anvendes samme udviklingscyklus for LAI, RD og Kc, Tabel 3, mens den maksimale rodzonedybde for de enkelte JB-typer er angivet i Tabel

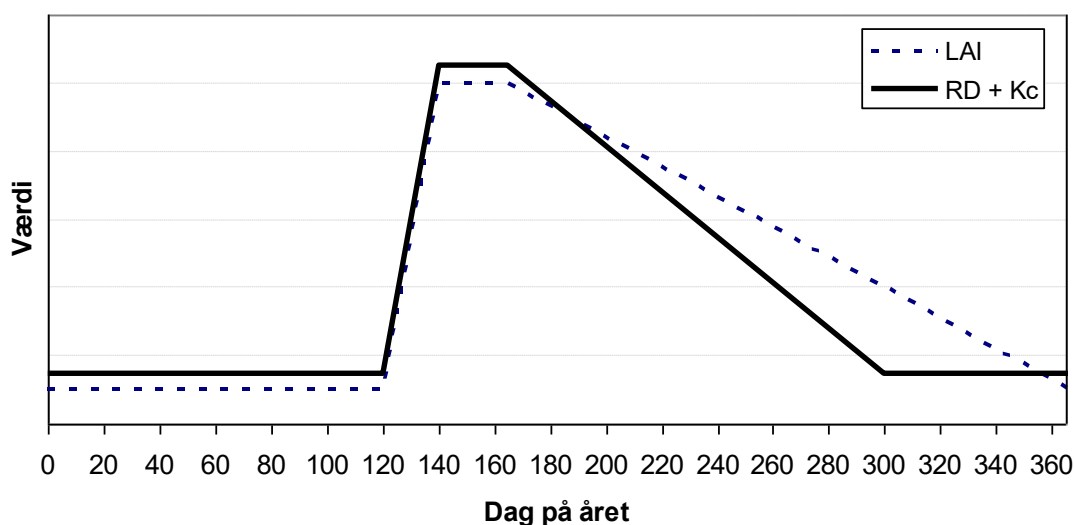
2. For de øvrige vegetationstyper er der anvendt én værdi for hele året for samtlige parametre, Tabel 4.

Tabel 3. 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 2	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 4. 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



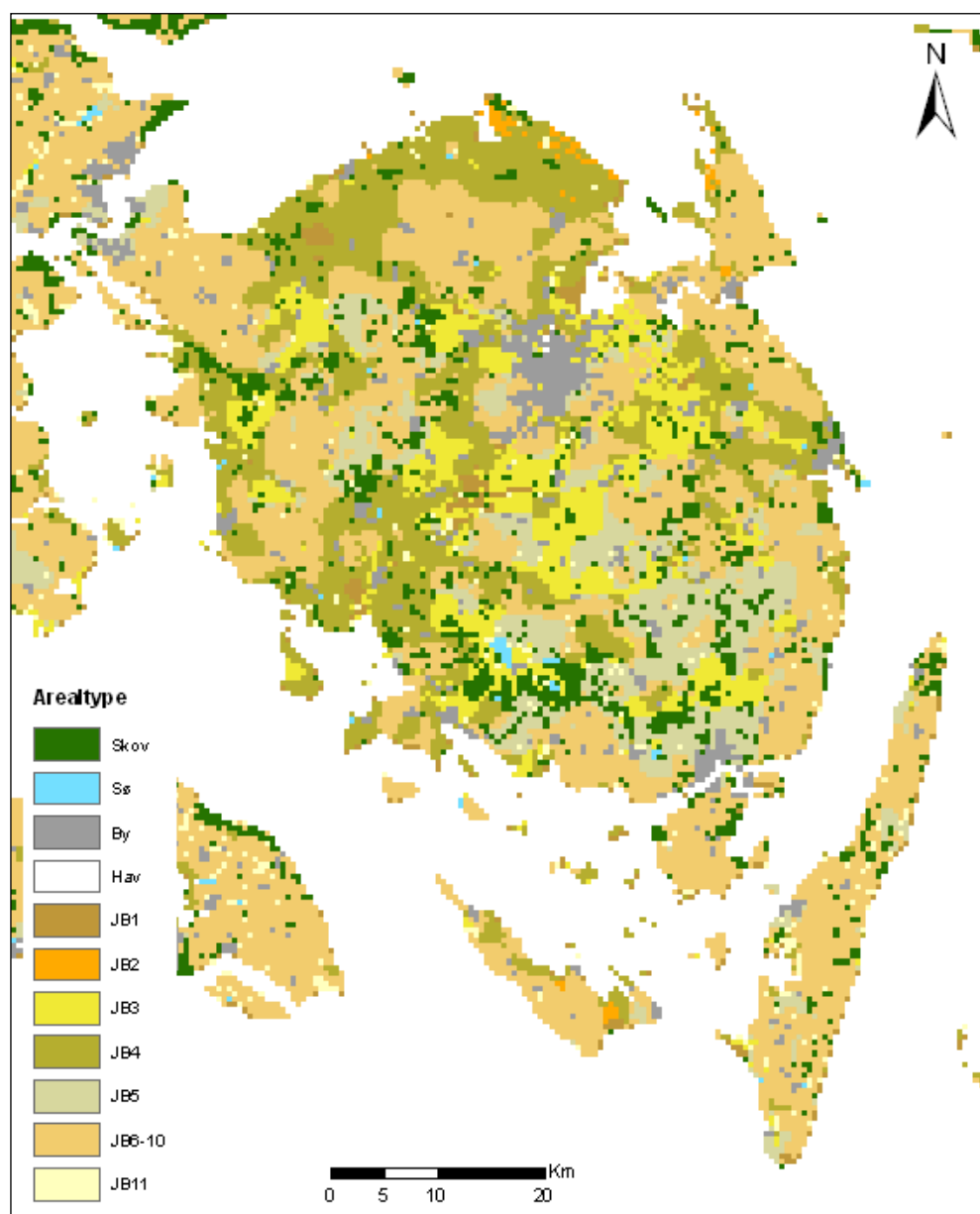
Figur 19. Stepfunktion anvendt til beskrivelse af den sæsonmæssige udvikling i landbrugsafgrøder

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 arealtypeerne skov, landbrug, befæstede arealer og søer. Arealtypen 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 5, mens deres rumlige fordeling fremgår af Figur 20.

Tabel 5. 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)	306	11	195	2515	76	17	361	792	368	1307	56
% andel	5%	0%	3%	42%	1%	0%	6%	13%	6%	22%	1%

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.

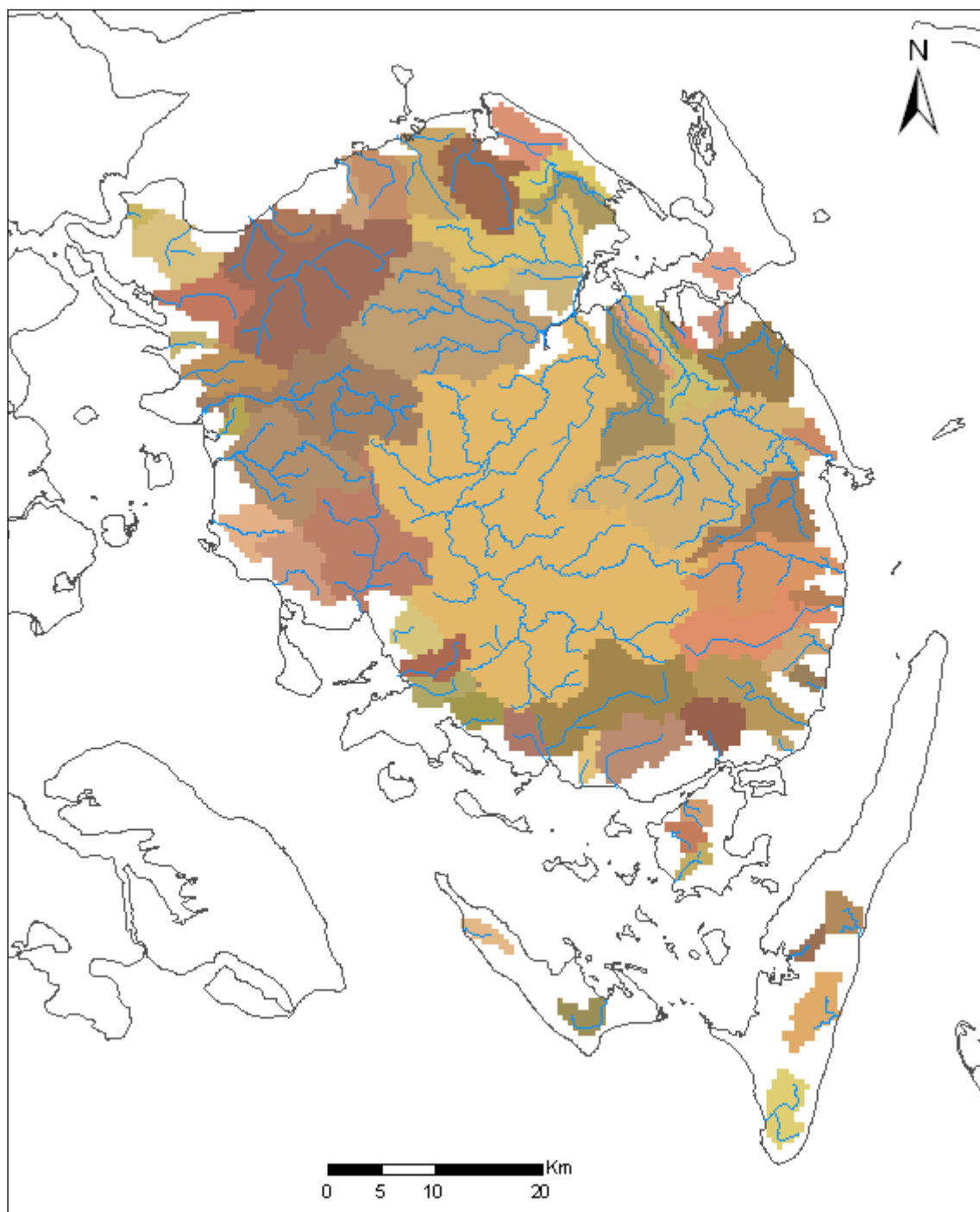


Figur 20. Rumlig fordeling af arealtypekoder

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 MIKE 11 vandløb er tildelt en unik drænoplandskode.
3. Oplande uden MIKE 11 vandløb er tildelt samme kode som nærmeste opland med MIKE 11 vandløb indenfor samme vandløbsopland.
4. Drænoplandene med tilhørende drænkoder er konverteret til et 500 x 500m 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 MIKE 11 vandløb indenfor samme vandløbsopland.

Det resulterende drænkodekort er illustreret i Figur 21.



Figur 21. Drænkoder til bestemmelse af drænstrømningen. Indenfor hver drænkodes polygon drænes der til nærmeste vandløb. Områder uden farve er 1. ordens vandløbsoplande uden MIKE 11 vandløb eller kystnære områder hvor der ikke er defineret vandløbsoplande. Fra disse arealer drænes der direkte til havet.

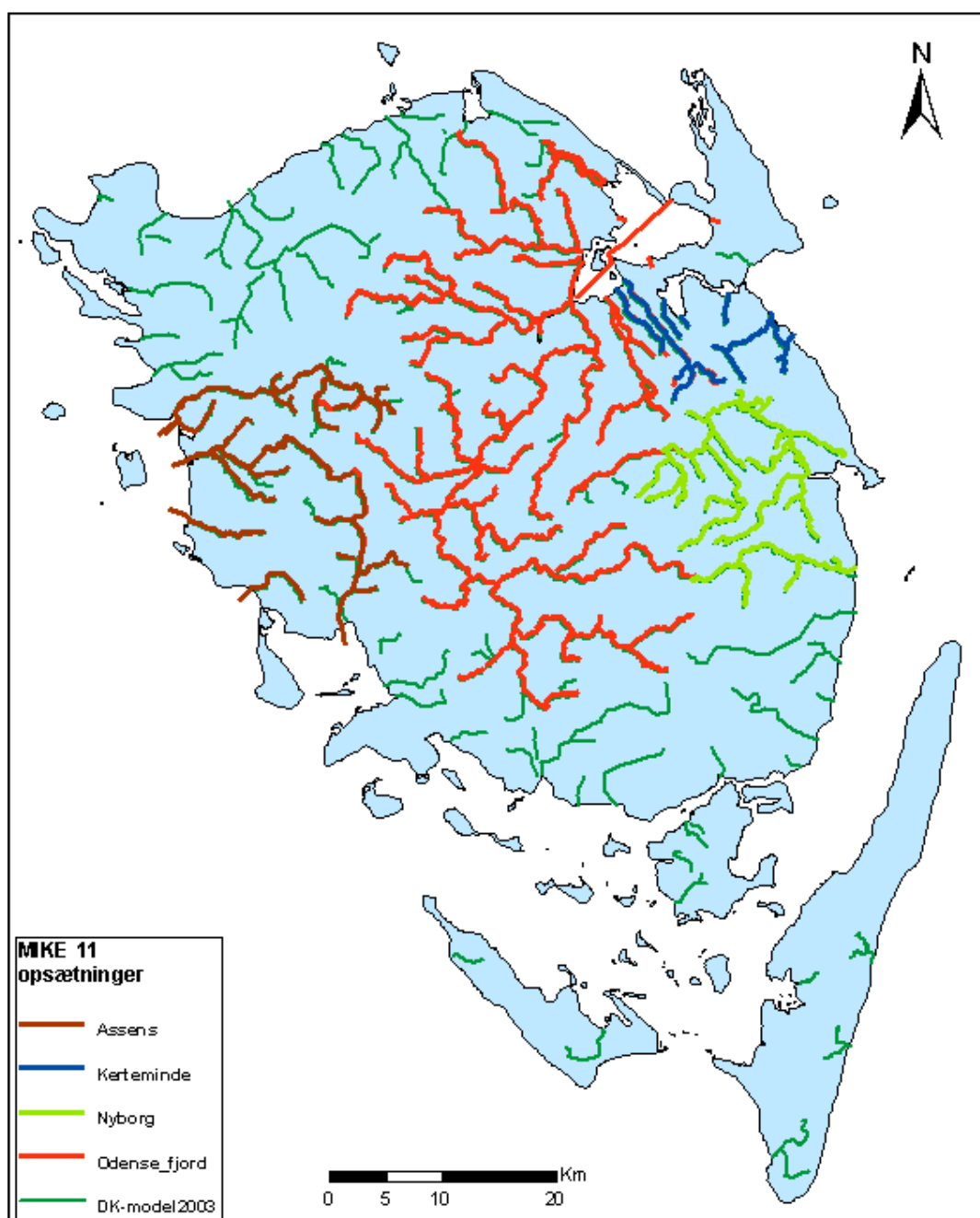
5.3 Vandløb og Søer

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, der er konverteret til MIKE11. Vandløbssystemet er endvidere udbygget med nye vandløb/vandløbsgrene i det omfang de enkelte amter har vurderet, at disse har betydning for den overordnede vandbalance. De modtagne data er konverterede og samlet i MIKE11 filer (netværks-, tværsnits- og randbetingsfiler), hvorefter relevant input til modellen er udvalgt. Der er i alt inkluderet 290 vandløbsstrækninger, som er beskrevet ved 6618 x-y data punkter og 864 tværsnit i modellen.

Data til beskrivelse af vandløbssystemet blev indhentet hos amterne inden deres nedlukning med strukturreformen i 2006. I områder med eksisterende MIKE11 opsætninger blev disse modtaget som samlede opsætninger. Seneste tværsnitsopmålinger blev indsamlet for områder uden tidligere MIKE11 opsætninger samt for områder med tidligere MIKE11 opsætninger, i det omfang disse ikke var inkluderet i MIKE11 opsætningen. For inklusion af punktkilder i vandløbsopsætningen blev der endvidere indhentet data om spildevand udledt direkte til vandløbene samt afværgeforanstaltninger i det omfang disse var af betydende mængde. En oversigt over de indsamlede data er givet i Tabel 6 og illustreret grafisk i Figur 23 og Figur 24.

Tabel 6. Data indsamlede fra Fyns amt til opstilling af MIKE11

Område	MIKE11 op-sætning	Tværsnits-data	Udledninger til vandløb (Spildevand og afværg pumpninger)
Odense Fjord	Komplet	488 tværsnit	Komplet database over spildevandsudledning med placering og årlige mængder – enkelte udledninger hvor placeringen der ikke ligger i kontakt med vandløb er ikke medtaget
Assens	Komplet	111 tværsnit	
Nyborg	Komplet	278 tværsnit	
Kerteminde	Komplet	317 tværsnit	



Figur 22. Oversigt over vandløbsdata indhentet fra Fyns Amt. Strækninger angivet med farve stammer fra eksisterende modeller.

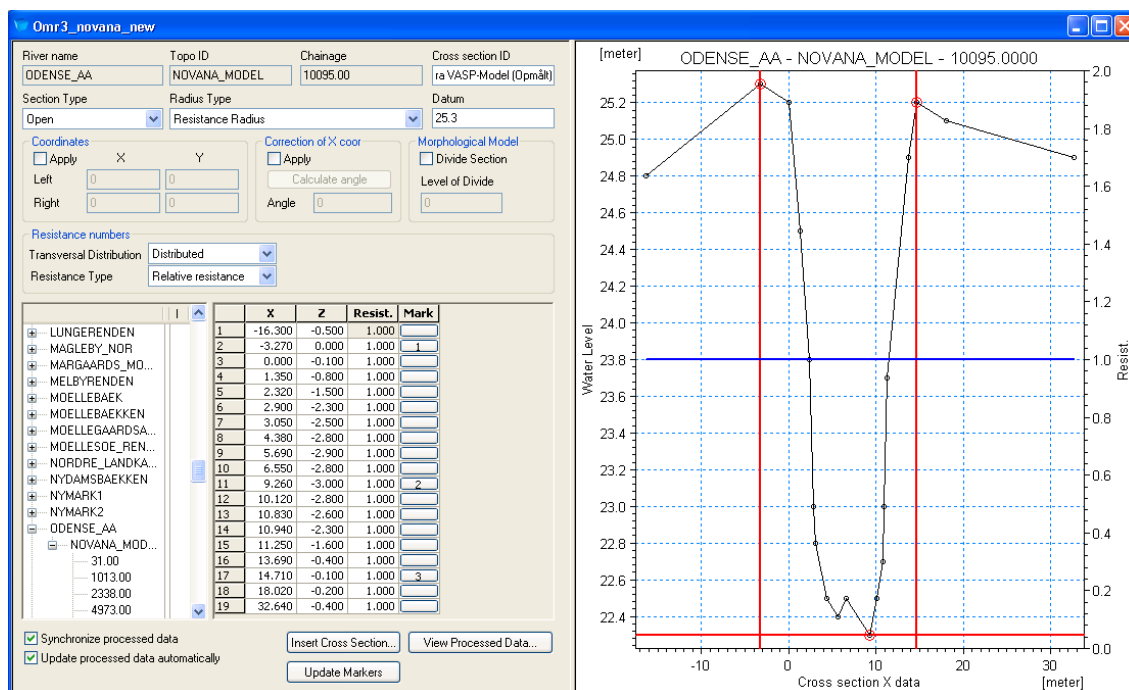
På basis af de indhentede MIKE11 opsætninger, vandløbstværsnitsopmålinger samt, afværg og spildevandsdata er der opstillet en samlet MIKE11 opsætning, der efterfølgende er bearbejdet til den færdige opsætning for Fyn.

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' transformations værktøj. Hvor der er modtaget flere MIKE 11 opsætninger 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. Hvis et vandløb f.eks. hedder FKVL7 i den modtagne MIKE 11 opsætning, er det samme navn brugt i den samlede opsætning, medmindre flere vandløb fra forskellige opsætninger havde samme navngivning. Navnene er dog redigeret således at de danske specialkarakterer: æ, ø og å er udskiftet til æe, oe og aa. De modtagne modeller er gennemgået, og der er foretaget forskellige rettelser og korrektioner. Typiske rettelser omfatter blandt andet fjernelse af "løse" punkter, der ikke definerer et vandløb, korrektion af punkter der resulterer i vandløbsloops, kontrol af placeringen for kobling mellem vandløb og sidegrene. Ved sampling af vandløb fra flere opsætninger er det endvidere sikret, at strømningsretningen er den samme for hele vandløbet. Generelt har vandløbene en positiv strømningsretning, der vil dog være enkelte undtagelser, hvor hele vandløb med negative strømningsretninger, er medtaget fra tidligere opsætninger.

Hvor der ikke eksisterede en MIKE11 opsætning fra en amtsmodel, er vandløbsopsætningen fra den første version af DK-modellen benyttet. Endvidere er der suppleret med vandløbsgrene, hvor amterne har vurderet dette nødvendigt, f.eks. hvor der udledes spildevand af betydende mængde. Den endelig MIKE11 netværksfil indeholder 290 vandløb.

Der er modtaget opmålinger og stationeringer fra amtet i forskellige formater, disse data er inkluderet i en samlet tværsnitsfil. Foruden de indsamlede data indeholder filen tværsnitsbeskrivelser fra den tidligere DK-model samt type-tværsnit for de ekstra vandløbsgrene der er blevet indlagt, i det omfang der ikke eksisterer opmålinger for disse vandløb. Filen er efterfølgende bearbejdet og reduceret i antal til den endelig MIKE11 opsætning, som beskrevet herunder.

Tværsnit beskrivende strukturer og bygværker sorteret fra, og stationeringen er konverteret til enheden meter for alle vandløb. I MIKE11 angives tværsnittenes udformning ved en række x-z punkter (6618 punkter), Figur 23, 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.



Figur 23. Opsætning af vandløbstværsnit i MIKE11

Efter de indledende justeringer er der sket en udvælgelse af tværsnittene, prioriteret på følgende vis: 1) opmålte data i det omfang disse eksisterer, 2) tværsnitsbeskrivelser fra modtagne MIKE11 opsætninger, 3) tværsnit konverteret fra den første version af DK-modellen, og 4) type-tværsnit. Denne prioritering har ført til, at tværsnittene i de indhentede MIKE11 opsætninger i nogle tilfælde kun er anvendt delvist. Under konstruktionen af den samlede tværsnitsfil er det tilstræbt, at navngive tværsnitsbeskrivelser (Cross section-id) i overensstemmelse med dataenes oprindelse, så det er muligt at identificere hvor dataene stammer fra.

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

Der har ikke været foretaget opmålinger eller opstillet MIKE11 for samtlige af de vandløb der var medtaget i den tidligere DK-model. For disse vandløb er tværsnitsbeskrivelse fra den tidligere DK-model konverteret til MIKE11. Konverteringen er foretaget med et program udviklet på GEUS (rdftv2m11), der kombinerer MSHE vandløbsopsætningen fra den tidligere DK-model (*.rdf) med den nye netværksfil og genererer en txt fil med tværsnits data i "rå-data" format, der kan importeres til MIKE11.

Hvor der hverken eksisterer opmålinger, tidligere modelopsætninger eller vandløb i den tidligere DK-model er der konstrueret type-tværsnit. Udformningen af type-tværsnittene er bestemt ud fra medianminimumafstrømningen i de respektive vandløb. De nærliggende vandløbs tværsnit er kopieret, hvis de har den samme medianminimumsafstrømning og ellers er der lagt typetværsnit ind, som er udformet som simple trapezoider. Der er brugt et mindre tværsnit opstrøms og et lidt bredere nedstrøms, størrelsen (bredde og dybde) af typetværsnittene er bestemt ud fra vandløbets medianminimum, som angivet i Tabel 7. Datum for tværsnittet er hentet fra Top10DK højdemodel.

Tabel 7. Basis for konstruktion af typetværsnit

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

De modtagne data indeholder i flere tilfælde opmålinger med meget lille indbyrdes afstand, som ikke vil kunne opløses i en model med en grid størrelse på 500 m. Antallet af tværsnit er efterfølgende reduceret så der er max et tværsnit pr. 500 – 1000 m, dog sådan, at der er mindst et tværsnit for hvert 5 m fald i topografien. Den endelige MIKE 11 opsætning anvendt i modellen indeholder 864 tværsnit. Alle tværsnit, de modtagne opmålinger og del-modellers data, kan dog enkelt inkluderes ved at bruge den samlede tværsnitsfil med 1896 tværsnit, hvis vandets hastighed og volumen i vandløbene skal beregnes mere detaljeret f.eks. med St Venant løsningsmetode.

Til kontrol for tværsnittenes kote (datum) samt afstanden mellem tværsnittene i forhold til topografien, er der 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 25x25 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.

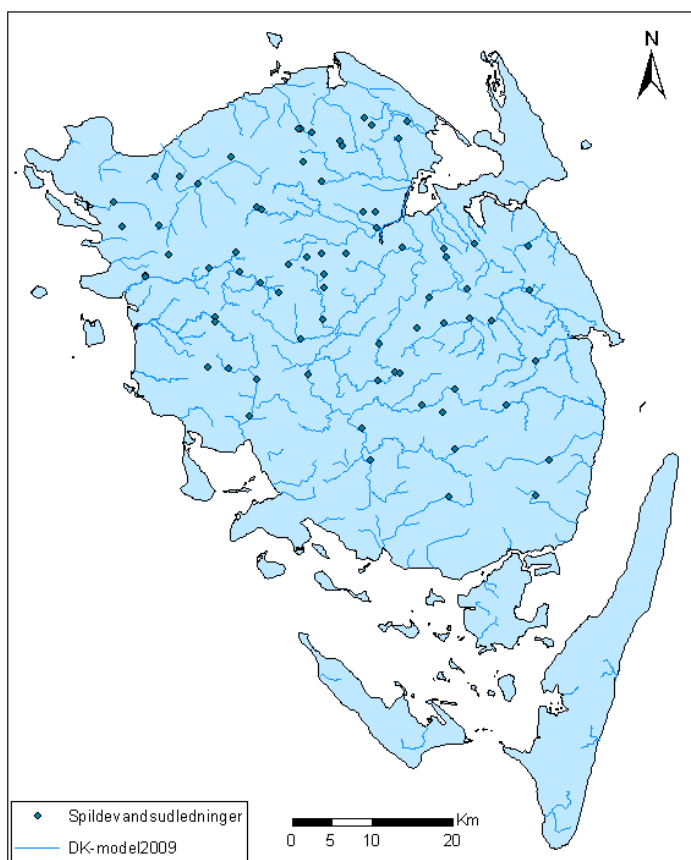
Vandløbene kobles til MIKE SHE på siderne af det numeriske grid, Figur 17. Da der kun kan medtages ét vandløb mellem to MIKE SHE grids, er det ikke muligt at opløse detaljeringen i vandløbenes placering, hvor afstanden mellem vandløbene er mindre end det anvendte numeriske grid på 500 x 500 m. Ved koblingen 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 MIKE 11, da alle vandløb her er bibeholdt med deres korrekte længde. Ved kobling mellem MIKE 11 og MIKE SHE vil der dog mangle udvekslingspunkter, hvor vandløbene er mindre end størrelsen af det numeriske grid, ligesom nogle udvekslingspunkter vil være geografisk forskudt, hvor der er mindre end 500 m mellem vandløbene. For meget lokale forhold vil det kunne betyde en 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 (flyttes) 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 MIKE 11 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. MIKE 11 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. Der er placeret 73 spildevandsudledning, og deres placering fremgår af Figur 24. 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. Data blev indhentet i 2006, og der er derfor 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.



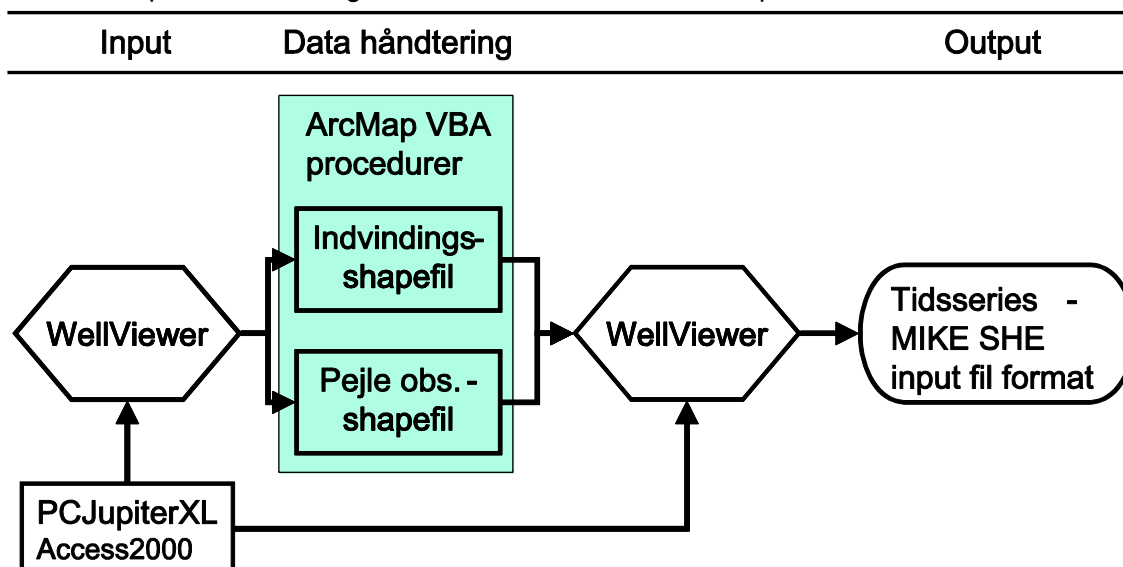
Figur 24. Placering af udledninger til vandløb

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 software program "WellViewer" samt GIS-rutiner, der begge er udviklet i forbindelse med opdateringen af DK-modellen. Det overordnede flow i dataprocesseringen er illustreret i Figur 25 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

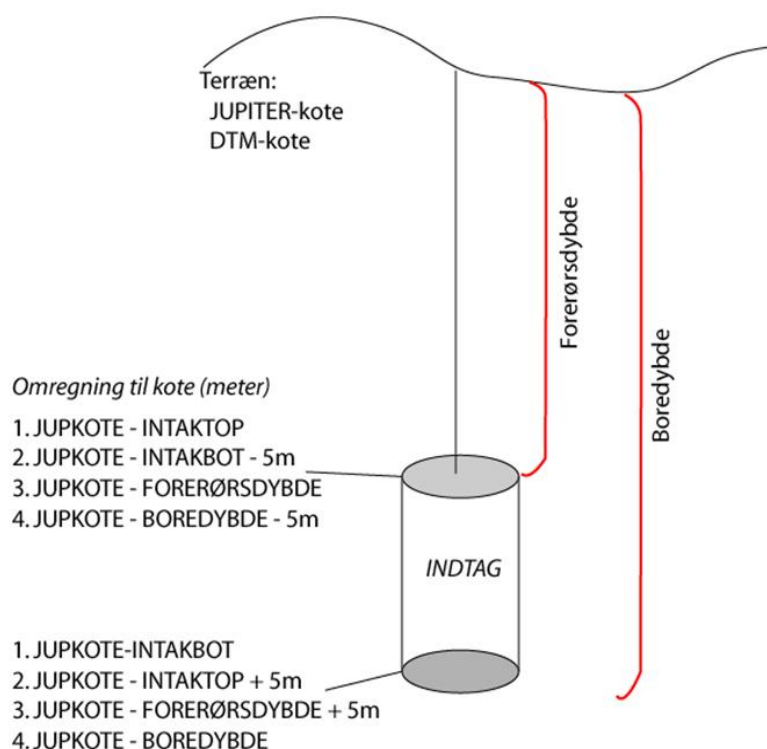


Figur 25. Flow i processering af indvindings- og pejledata. ArcMap procedurerne foretages vha. udviklede visual basic (VBA) rutiner.

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 indtagenes vertikale placering. I tilfælde hvor der eksisterer supplerende boringsinformationer, estimeres indtagenes top- og bundkoter på baggrund af disse. Bestemmelsen af top- og bundkoter foregår efter en prioriteret rækkefølge, som fremgår af Figur 26.

Betydningen af benævnelserne anvendt i Figur 26 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

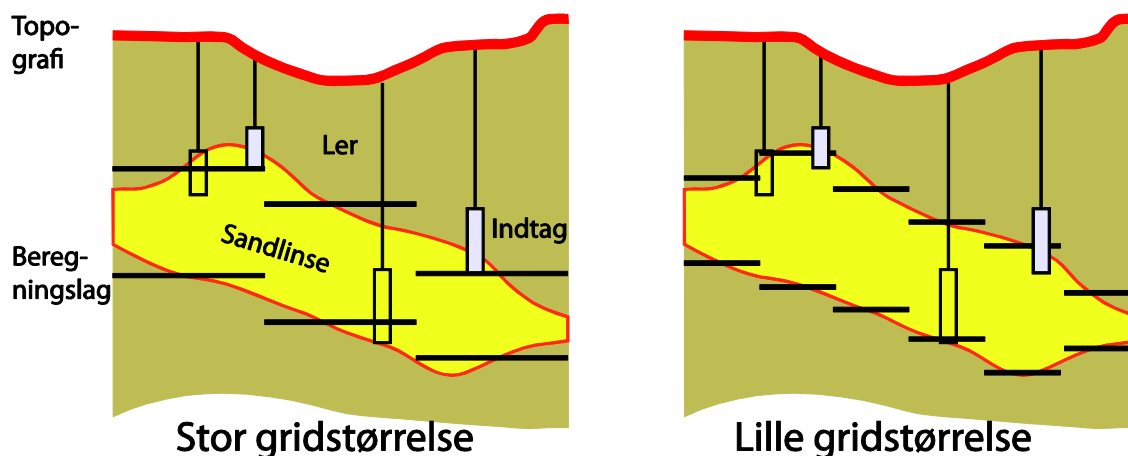


JUPKOTE erstattes med
DTM-kote hvor JUPKOTE mangler

Figur 26. Bestemmelse af top- og bundkoter for indtag. Nummereringen angiver den prioriterede rækkefølge.

Efter fejlscreening og bestemmelse af koter for indtagenes bund og top, skal indtagene indplaceres i de korrekte hydrostratigrafiske enheder. I nogle tilfælde vil en placering af indtagene efter kote resultere i, at indtagene vil blive indplaceret i en lerenhed frem for en magasinenhed som forventelig. En sådan umiddelbar uoverensstemmelse mellem filterplacering og hydrostratigrafiske enheder kan have flere årsager. Dels kan der være fejl i den hydrostratigrafiske model, enten ved forkert magasin afgrænsning eller manglende repræsentation af magasiner pga. den anvendte skala. Andre årsager kan være, at interpolationen i 500x500 m grids er for grov til at opløse mindre variationer, hvorved et indtag kommer til at falde udenfor magasinet, Figur 27. Endeligt kan der være fejl i de angivne koter i Jupiter databasen. I forbindelse med en vurdering af ressourcen, er det imidlertid vigtigt, at indvindingerne henføres til de korrekte magasiner, så der oppumpes de korrekte mængder fra de enkelte magasiner. Dette er specielt vigtigt for modellens anvendelighed i forbindelse

med vandplanerne og rapporteringen til Vandramme direktivet, hvor indvindinger skal angives på grundvandsforekomst niveau.



Figur 27. Indplacering af filtre i model ved forskellige horisontale opløsninger. Ved stor gridstørrelse vil de grå filtre blive placeret i lerenheder ved en indplacering efter koter.

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

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

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

Det endelige resultat af databehandlingen er gengivet i 27, hvor den årlige middelindvinding er beregnet på basis af perioden 1990 – 2005.

Tabel 8. Oversigt over fordelingen af indvindinger fordelt på modellag for Fyn

Geologisk lag	Indtag i lag	Indtag associeret lag	indtag i lag i alt	indvinding (mid-del 1990 - 2005)	% indvinding
1 (jordart 3m)	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3 (sand)	50	57	107	1.294.482	3
4	0	0	0	0	0
5 (sand)	914	498	1.412	22.804.980	50
6	1	0	1	4.896	0
7 (sand)	396	228	624	15.449.379	34
8	2	0	2	1.960	0
9 (kalk)	187	2	189	5.749.131	13
i alt			2.335	45.304.829	81
Samlet indvinding for Fyn				56.066.064	100
Frasorteret ved Fejlscreening			175	6.945.845	12
Ikke medtaget pga. manglende indtag			163	3.815.390	7

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

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-4 m
Maks. residual fejl	1,0e-4 m/d
Maks. iterationer	200

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 Fyn 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 opvarmningsperiode 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 pejldata 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.

Efter den indledende fejlscreening er indtagene indplaceret i modellens beregningslag. Ved en placering af indtag på basis af koter for top og bund af filter, som angivet i Jupiter databasen, henføres flere indtag helt eller delvist til beregningslag der repræsenterer ler. Da langt hovedparten af pejlinger foretages i magasiner er der således en manglende overensstemmelse mellem filterets kote angivelse samt den hydrostratigrafiske model. Der er flere årsager til, at en sådan manglende overensstemmelse kan opstå, som beskrevet under afsnittet om indvindinger, afsnit 5.4. Indtag placeret i ler er, i det omfang det har været muligt, efterfølgende associeret til de sandmagasiner/beregningslag de er vurderet at repræsentere. Den overordnede procedure har været:

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

Enkelte tilbageværende indtag er placeret i det øverste lag, idet indtagets top-kote ligger højere end topografien.

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 frasortering 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 pejlning, er det imidlertid ikke hensigtsmæssigt at indlægge alle observationer som tidsserier. Der er i alt indlagt 158 pejletidsserier ud fra krav om spredning, antallet af pejlinger i den enkelte tidserie og visuel bedømmelse om pejlet (indvindingspåvirket eller uregelmæssig udseende). De øvrige pejl-

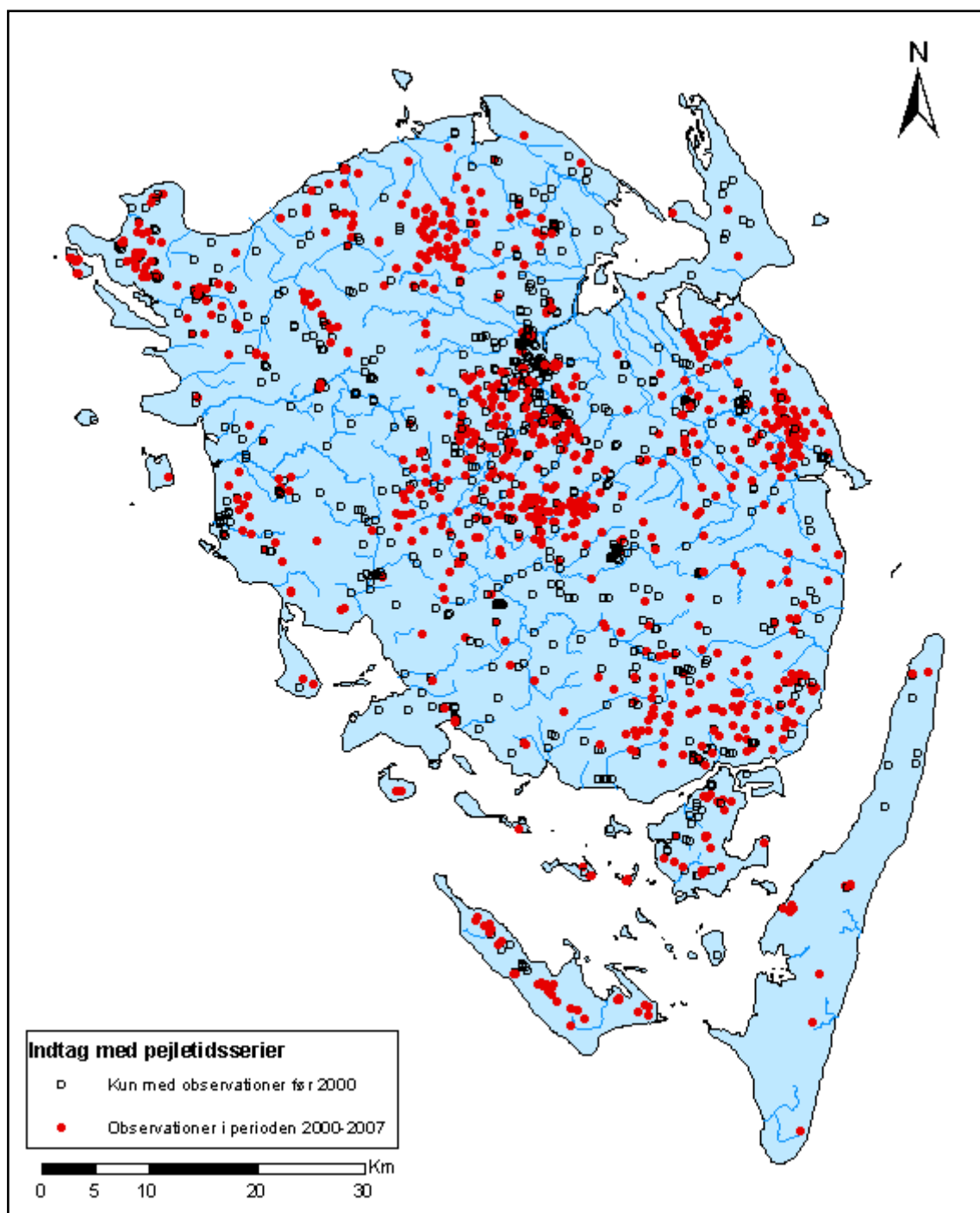
ger er derfor medtaget i kalibrering ved anvendelse af programmet "Layerstatistics", der er udviklet i forbindelse med den nuværende opdatering af DK-modellen. Med Layerstatistics er det muligt at medtage pejlinger ved angivelse af deres x, y, z-koordinater, tidspunkt for observationen samt den observerede 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/download/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 af pejlingerne fordeler de brugbare pejlinger (både dem som er lagt direkte ind via brugerfladen og dem som er indlagt via Layerstatistics) sig som angivet i Tabel 9. Placeringen af indtagene hvorfra der er medtaget pejletidsserier (2462 stk.) er angivet på Figur 28. Det høje antal pejlinger i lag 6 og 8 skyldes primært to enkelt filtre (145.2124 og 137.46), som bidrager med mere end henholdsvis 9200 og 5700 pejlinger i hver periode.

Tabel 9. Fordeling af indtag pr. beregningslag fordelt på perioder for modellen for Fyn

Beregningslag	Indtag med observationer			Antal pejlinger i perioden	
	kun før 2000	2000 - 2003	2004 - 2007	2000 - 2003	2004 - 2007
1 (mixed sand/ler)	39	4	13	5	14
2	325	93	131	1.672	1.598
3 (sand)	137	82	60	1.262	1.261
4	142	118	85	737	997
5 (sand)	258	269	218	4.731	2.870
6	44	58	57	11.667	11.567
7 (sand)	38	45	24	2.464	1.875
8	31	45	41	7.726	7.559
9 (kalk)	29	21	55	785	434
i alt	1.043	735	684	31.049	28.175
i magasiner	501	421	370	9.247	6.454
i lerlag	542	314	314	21.802	21.721



Figur 28. Placering af indtag hvorfra der er medtaget pejlinger.

6.1.2 Databehandling - afstrømningsdata

Fra DMU er der modtaget tidsserier for 29 vandføringsstationer på Fyn, der helt eller delvist dækker kalibrerings- og valideringsperioden. Ud af disse er der udvalgt 22 stationer til kalibrering af modellen. Udvælgelsen af afstrømningsstationer er baseret på oplandsstørrelse, driftsperiode samt eventuel påvirkning af reguleringer i vandløbet. Da modellen er en stor-skala model vil det ikke være muligt at opnå en tilfredsstillende simulering af vandføringerne for de mindste oplande. Som udgangspunkt er det derfor valgt kun at medtage data fra

stationer med et oplandsareal på mere end 50 km². I tilfælde hvor der ikke opnås en tilstrækkelig rumlig dækning med stationer > 50 km² er mindre stationer medtaget, med oplande ned til 27 km². Effekten af en eventuel regulering af et vandløb er vurderet på basis af en visuel inspektion af data, og vandløb med markant regulering er udeladt fra kalibrering og validering, da disse aspekter ikke er medtaget i modelopsætningen. For at kunne foretage en sammenligning med DK-modellen af rapporteret 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 22 stationer der medtaget under kalibrering og validering af modellen er angivet i Tabel 10, mens deres placering fremgår af Figur 38.

Tabel 10 Afstrømningsstationer modtaget fra DMU

DMUstnr	Oplandsareal	Navn	Kalib*
430001	136,79	STORÅ	1
430003	28,02	RINGE Å	1
430007	29,12	VIBY Å	1
440020	170,22	VINDINGE Å	1
440021	127,63	VINDINGE Å- NS ULLERSLEV RENS,	1
450001	535,07	ODENSE Å- EJBY MØLLE- NS RENS	1
450002	535,04	ODENSE Å- NS EJBY SLUSE	1
450003	485,86	ODENSE Å- KRATHOLM	1
450004	301,61	ODENSE Å- NØRRE BROBY	1
450005	78,00	STAVIS Å	1
450043	64,74	LINDVED Å	1
450045	29,51	ODENSE Å- AFLØB ARRESKOV SØ	1
450058	26,68	GEELS Å	1
450080	31,60	HOLMEHAVE BÆK	1
460001	102,52	BRENDE Å	1
460017	78,48	HÅRBY Å	1
460020	61,94	PUGE MØLLEÅ	1
460030	70,89	BRENDE Å	1
470001	57,77	HUNDSTRUP Å	1
470035	32,71	SYLTEMAE Å	1
470036	39,98	VEJSTRUP Å	1
470037	53,33	STOKKEBÆKKEN	1
440023	3,81	LADEGÅRDS Å- HJULBY BRO	0
450033	3,51	ARRESKOV SØ	0
450035	2,56	ARRESKOV SØ	0
450059	0,38	HOLSTENHUUS AFLØB	0
460018	4,15	SØHOLM SØ	0
460019	5,95	SØHOLM SØ	0
470033	4,36	LILLEBÆK	0

* Kalib = 1 stationer er blevet anvendt i kalibreringen

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 sommervandføringen 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 er supporteret 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. Der er udvalgt 158 tidsserier, der indgår som detaljerede pejletidsserier for Fyn og øerne, af disse indeholdes 144 i kalibreringsperioden.

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 kvadratafgivelsessum 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 $\Delta h_{\max}$ 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 er 94,6 m [-3,3; 91,3]. En acceptabel middelfejl kan således beregnes til $\pm 2,37$ 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 94,6 m for Fyn ville kravet således være en RMS på 9,46 m, hvilket er et meget løst kriterium, og væsentligt dårligere end det der blev opnået for Fyn i DK-model2003. Med den forbedrede beskrivelse af de hydrogeologiske forhold bør der kunne opnås en lavere RMS for DK-model2009.

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 Nordjylland mht. RMS således 4,73 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

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

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

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 kvadratafgigelsen 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 sommermånedene 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, at det vil være svært at opnå høje R^2 -værdier, mens oplande på over 100 grids typisk vil give gode muligheder for at opnå høje R^2 -værdier.

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

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 High Fidelity akvifer simuleringer. Tidligere erfaringerne med DK-modellen, 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) (Trolborg & 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 High Fidelity 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 den i 'te residual. Objektivfunktionen er således en vægtet kvadratsum af residualerne, på engelsk benævnes denne weighted summed squared residuals (SSR_w). I tilfældet hvor residualerne ikke vægtes benævnes objektivfunktion blot summed squared residuals (SSR). Vægtningen af de enkelte residualer gør det muligt at lade de enkelte residualer have forskellig betydning under optimeringen, dvs. hvor meget vægt PEST skal tillægge de enkelte residualer i dens forsøg på at opnå en optimal løsning. Ideelt skal vægtningen af de enkelte residualer reflektere den forventede usikkerhed på observationerne, så observationer med stor usikkerhed tæller mindre i optimeringen end observationer med lille usikkerhed, hvilket kan gøres ved at vægte de enkelte observationer med den reciprokke værdi af standard afvigelsen på observationen ($1/s_{obs}$). En detaljeret vurdering af usikkerheden for samtlige potentialeobservationer 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 den 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 bidrog 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 observationstype. 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 parameterværdier (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 pejllingerne er observationerne i det øverste lag vægtet med 1/3 af de øvrige observationer. Dette 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, hvor-

for 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	10	ingen
qobs_Fbal	Vandbalance for hele kalibreringsperioden	1	1/n _{oplandsgruppe} *
MFal_060708	Vandbalance for juni, juli og august måned	5	1/n _{oplandsgruppe} *
HTS_ME	Middelfejl for potentialer medtaget som pejletidsserier	1	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 be-

grænset 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 således valgt, at der kun anvendes én hydraulisk ledningsevne for hhv. sand og ler, uden en underopdeling i hydrauliske zoner indenfor sandmagasinerne, men dog med en opdeling af leret i "opsprækket ler" (øvre 10 m) samt øvrigt 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 2)
 - 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
 - opsprækket ler (øvre 10 m)
 - tørv/andet (øvre 3 m)
 - sand
 - ler
 - Prækvarter ler
 - kalk
- Dræn
 - tidskonstant
 - dybde placering
- Overfladisk afstrømning
 - overflade ruhed (Manning tal)
 - overflade magasinering (detention storage)
 - sz-dummy
- Vandløb
 - Manning tal
 - 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 beskeden 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 2. 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 2.
- *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, på nær det opsprækkede ler i de øvre 10 m, hvor det er antaget at sprækkerne primært forårsager en øget horisontal strømning, hvorfor der her anvendes en anisotropi faktor på 100.
- *Dræn.* Vandløbsdynamikken blev fundet følsom overfor såvel dræn tidskonstanten samt hvilken dybde drænene blev placeret i. Disse to parametre blev ved en manuel følsomheds analyse fundet at være delvist korrelerede, så en ændring i simuleret afstrømning pga. en justering af dybden delvist kunne opvejes af en ændring i tidskonstanten. Da topografien udjævnes ved anvendelse af store gridceller, vil den optimale placering af drænene til opnåelse af en korrekt drænaforstrømning 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 manningstallet som følge blev fastholdt på startværdien.

Som startværdierne for kalibreringen er anvendt værdierne angivet i Tabel 2 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 *	1,0e-6	1,0e-8	0,20	1,0e-4
Tørv/andet	1,0e-5	1,0e-6	0,20	1,0e-4
Top3m sand	1,0e-3	1,0e-4	0,20	1,0e-4
Sand	1,0e-4	1,0e-5	0,26	1,0e-4
Ler	1,0e-7	1,0e-8	0,06	1,0e-4
Prækvartær ler	1,0e-7	1,0e-8	0,05	1,0e-4
Kalk	2,0e-4	2,0e-5	0,05	1,0e-4
Dræn	Tidskonstant (s^{-1})	Dybde (m)		
Ikke distribueret	4e-8	0,5		
Overflade	Ruhed ($m^{1/3}/s$)	Magasinering (mm)		
Ikke distribueret	2	10		
Vandløb	Manningtal ($m^{1/3}/s$)	Lækage (s^{-1})		
Ikke distribueret	25	1e-7		

* *Hydrauliske anisotropi forhold er for alle enheder fastholdt på faktor 10:1 (horisontal:vertikal) med undtagelse af det opsprækkede ler der har en større anisotropi på faktor 100:1.*

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 3-4.

7.1 Kalibreringsresultat

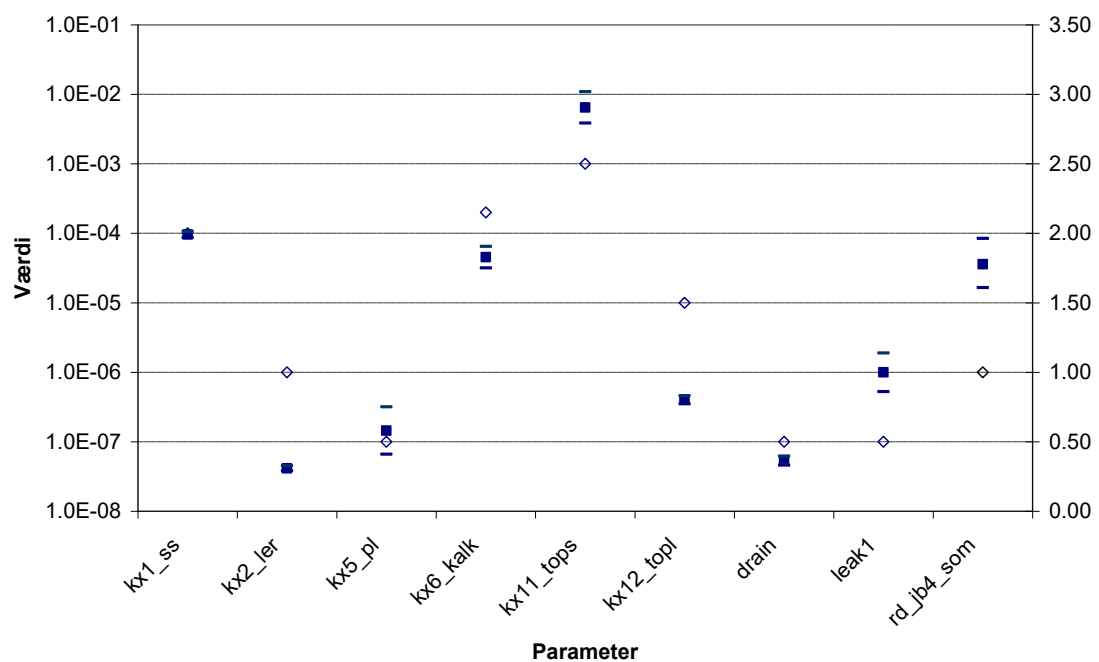
Udvælgelsen af frie parametre til optimeringen er baseret på erfaringer fra den inverse optimering af de øvrige delmodeller, samt karakteristika for de lokale hydrogeologiske forhold. Erfaringsmæssigt er de vertikale hydrauliske ledningsevner mest betydende for lernehederne mens de horisontale ledningsevner er styrende strømningen i sandet. Sandet er delt op i to enheder, det øvre toplag sand og den resterende del af den kvartære sand/grus pakke. For det øvre toplag er det antaget at leret er opsprækket og derfor vil have en højere ledningsevne end det øvrige kvartære ler. Kategorien i toplaget "Tørv/andet" har en begrænset udbredelse, og kalibreringsresultater fra Sjælland har vist, at det ikke er muligt at estimere en fornuftig bestemt værdi for denne enhed. Under optimering er Tørv/andet teknisk set låst fast til værdierne for opsprækket ler, således at forhold mellem deres initial værdier er fastholdt. Hydrauliske anisotropi forhold er for alle enheder fastholdt på faktor 10:1 (horisontal:vertikal) med undtagelse af det opsprækkede ler der har en større anisotropi på faktor 100:1.

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 estimer 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.

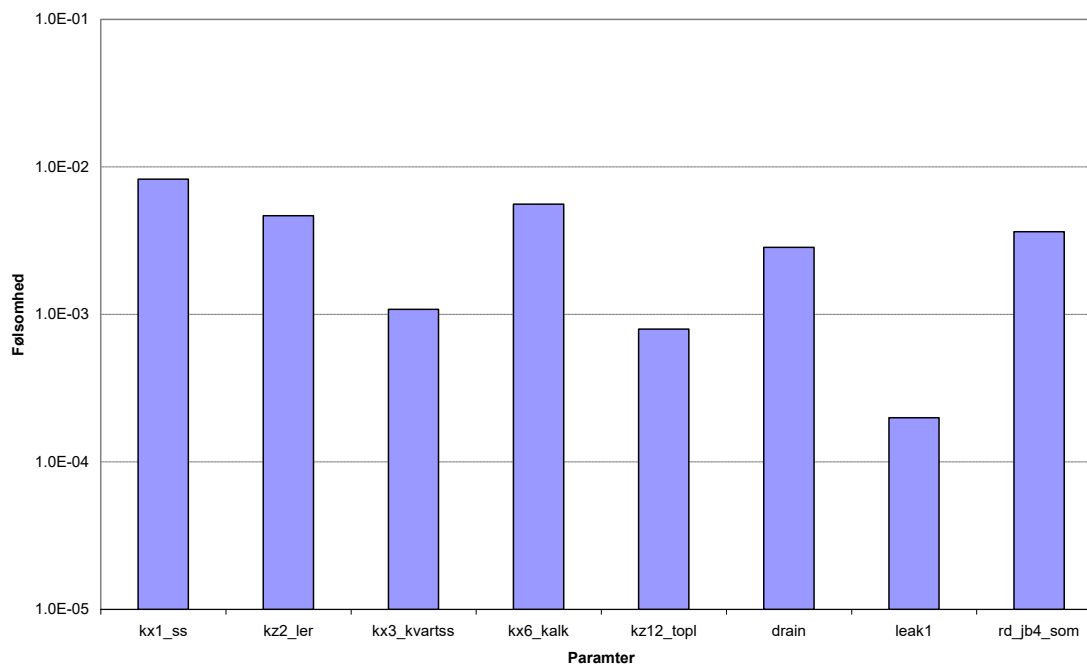
Med udvælgelsen af frie parametre som beskrevet i afsnit 6.3 samt reduktionen heraf som beskrevet ovenfor indgår der i alt 8 frie parametre i kalibreringen. De optimerede parametre er angivet i Tabel 13, og illustreret grafisk på Figur 29. Det skal bemærkes, at pga. den simple vægtning af de indgående observationer (afsnit 6.2), kan de estimerede 95% konfidens intervaller ikke tages som udtryk for parametrenes absolutte usikkerhed. Konfidens intervallerne 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 fremgår af resultatet, at de fleste parametre er godt bestemt.

Tabel 13. Optimerede parametre ved invers kalibrering

Parameter	ID	Enhed	Estimeret værdi	95% konfidensinterval	
				Nedre	Øvre
Kvartært sand	kx1_ss	m/s	9,59E-05	8,69E-05	1,06E-04
Kvartært ler	kx2_ler	m/s	4,15E-08	3,83E-08	4,51E-08
Prækvartært ler	kx5_pl	m/s	1,45E-07	6,61E-08	3,17E-07
Kalk	kx6_kalk	m/s	4,53E-05	3,17E-05	6,46E-05
Top3m sand	kx11_tops	m/s	6,48E-03	3,85E-03	1,09E-02
Opsprækket ler	kx12_topl	m/s	4,02E-07	3,51E-07	4,60E-07
Dræn	drain	s-1	5,36E-08	4,61E-08	6,22E-08
Vandløbs lækage	leak1	m/s	1,00E-06	5,28E-07	1,90E-06
Rodzone dybde sommer	rd_jb4_som	m	1,78	1,61	1,96



Figur 29. Optimerede parametre ved invers kalibrering er angivet med udfyldte kvadrater, vandrette barer angiver 95% konfidensintervaller. Hydrauliske ledningsevner [m/s], dræn og vandløbslækage [s⁻¹] på akse 1. Rodzone dybde [m] på akse 2. Initial værdier er angivet med rombe.



Figur 30. Følsomheder af de optimerede parametre

En samlet oversigt over parameter værdierne for den optimerede model er angivet i Tabel 14, 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 (mm)
1	Grovsandet jord	0,48	0,24	0,039	6,0e-6	889
2	Finsandet jord	0,47	0,28	0,046	6,0e-6	1333
3	Grov lerblandet sandjord	0,46	0,27	0,058	6,0e-6	889
4	Fin lerblandet sandjord	0,45	0,30	0,067	6,0e-6	1777
5	Grov sandblandet lerjord	0,44	0,31	0,087	6,0e-7	1777
6	Fin sandblandet lerjord	0,44	0,32	0,091	6,0e-7	1777
7	Lerjord					
8	Svær lerjord					
9	Meget svær lerjord					
10	Siltjord	0,48	0,34	0,091	6,0e-7	1333
11	Humus					

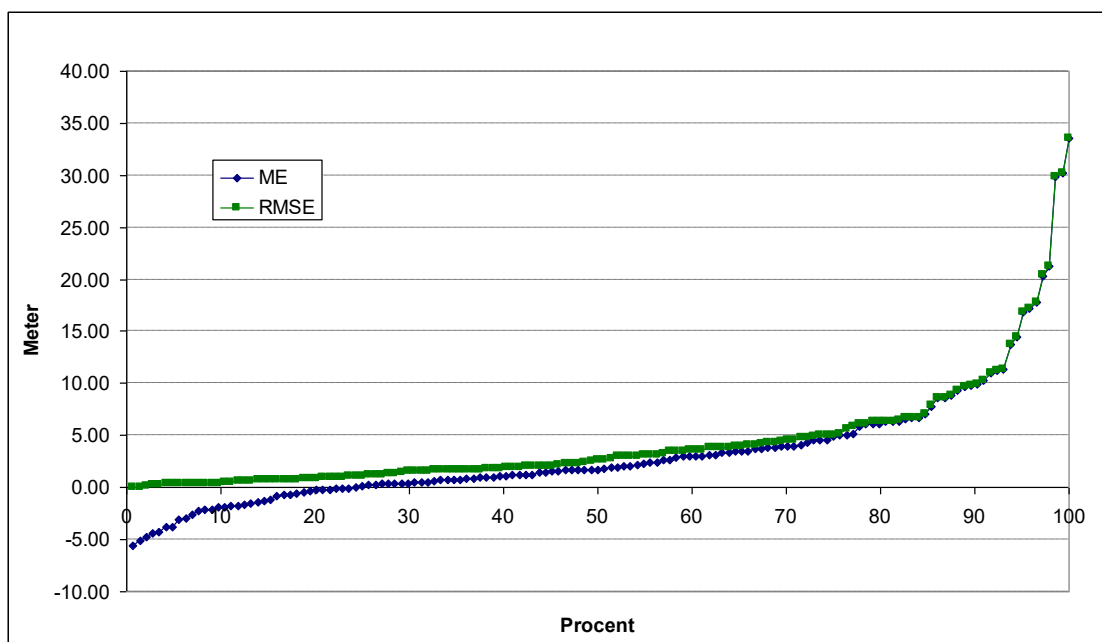
Tabel 15. Oversigt over optimale parameterværdier

Parameter	Værdi				
Hydrostratigrafiske enheder	soil code	K-horisontal (m/s)	K – vertikal (m/s)	Specifik ydelse (-)	Specifik magasintal (m ⁻¹)
Top3m - Sand	1	6,48E-03	6,48E-04	0,20	1,00E-04
Top3m - Ler	2	4,02E-07	4,02E-09	0,20	1,00E-04
Top3m - Toerv	3	4,02E-06	4,02E-07	0,20	1,00E-04
Hav	4	1,00E-04	1,00E-05	0,20	1,00E-04
Kvartært sand	91	9,59E-05	9,59E-06	0,26	1,00E-04
Kvartært ler	92	4,15E-08	4,15E-09	0,06	1,00E-04
Opsprækket ler	93	4,02E-07	4,02E-09	0,20	1,00E-04
Kalk	5	4,53E-05	4,53E-06	0,05	1,00E-04
Prækvartært ler	6	1,45E-07	1,45E-08	0,05	1,00E-04
Dræn	Tidskonstant (s-1)			Dybde (m)	
Ikke distribueret	5,36E-08			0,5	
Overflade	Ruhed (m ^{1/3} /s)			Magasinering (mm)	
Ikke distribueret	2			10	
Vandløb	Manningtal (m ^{1/3} /s)			Lækage (m/s)	
Ikke distribueret	25			1,00E-06	

7.1.1 Kvantitativ vurdering af kalibreringsresultat

Den kumulerede middelfejl samt RMS for de pejletidserier der er medtaget i kalibreringen er plottet i Figur 31. Heraf fremgår det, at der er bias i fittet på tidsserierne, hvor modellen for 75% af tidsserierne simulerer højere end de observerede værdier. Den samlede middelfejl og RMS for pejletidsserierne er beregnet til hhv, 3,5 m og 4,49 m, og overholder således ikke begge de opstillede kriterier ($ME < 2,37m$, $RMS < 4,73 m$) umiddelbart, men ses der bort fra de 5 mest ekstreme afvigelser (afvigelser større end 20m) falder den samlede middelfejl og RMS for pejletidsserierne til hhv, 2,65 m og 3,68 m. Der er ikke nogen umiddelbart forklaring på de mest ekstreme afvigelser, men de kunne tænkes at repræsentere 'hængende vandspejl' eller pumper der er slukket, som således enten ikke kan modelleres direkte i dette koncept eller uden mere detaljerede data for indvindinger.

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 (se afsnit 6.2) både pr. modellag samt et vægtet middel for hele modellen og magasin lagene. For disse observationer er der ligeledes en mindre bias med en negativ middelfejl, hvilket betyder en overestimering af de simulerede potentialer. Kriterierne for såvel middelfejlen samt RMS er overholdt for magasinerne for potentialerne medtaget som dynamiske observationer. Middelværdierne for data udenfor kalibreringsperioden og modellen som helhed og enkelte lag overholder dog ikke kriteriet om $RMS < 4,73 m$.



Figur 31. Kumuleret middelfejl og RMS for pejletidsserierne

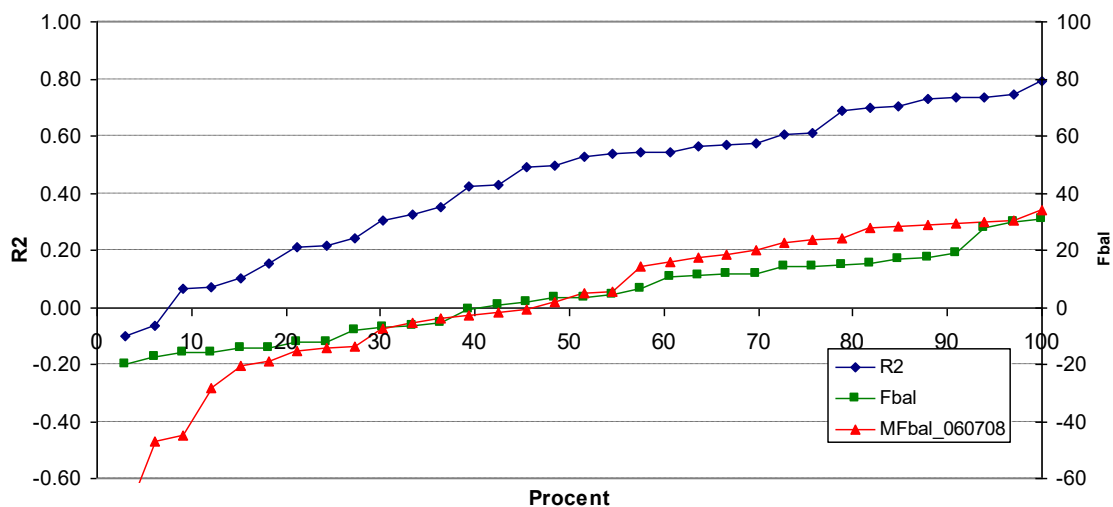
Tabel 16. Middelfejl og RMS for potentialer der ikke er indlagt som tidsserier i MIKE SHE

Lag	Hobs_mean			Hobs_dyn			Samlet		
	RMSE	ME	#obs	RMSE	ME	#obs	RMS	ME	#obs
1	5,23	-0,98	101	2,81	-1,86	23	4,78	-1,14	124
2	8,27	3,75	282	10,26	6,62	225	9,15	5,02	507
3	5,95	0,51	73	2,90	1,09	73	4,43	0,80	146
4	7,31	3,23	207	8,57	2,34	223	7,96	2,77	430
5	5,71	1,71	181	4,73	2,19	379	5,04	2,04	560
6	5,33	0,73	93	4,14	2,10	452	4,34	1,87	545
7	6,95	2,63	27	3,38	1,65	55	4,56	1,97	82
8	6,17	1,04	24	4,73	1,77	135	4,95	1,66	159
9	4,24	1,52	30	2,35	1,57	176	2,62	1,56	206
Vægtet middel									
magasiner	5,61	0,89		3,78	1,75		4,45	1,43	
model	6,68	2,14		5,40	2,55		5,87	2,40	2759

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 opnås en ME på 2,4 m, hvilket er indenfor det kriterium der blev fundet acceptabelt i afsnit 6.2.1. Den samlede ME værdi for magasinerne er 1,43. Samtlige lag har positive ME værdier på nær lag 1 (LST - top3m simplificeret efter jordartskortet). Med positive ME-værdier er der således en generel underestimering af potentialerne i modellen.

Fittet til den daglige vandføring for de 22 stationer der indgår i kalibreringen er illustreret i Figur 32 og summeret i Tabel 17. Med en middel R^2 på 0,39 og en $R^2 < 0,60$ for ca. 45% af stationerne, er de opstillede krav for R^2 ikke opfyldt. De opstillede kriterier for Fbal er: 1) Middel Fbal < 10% og 2) Maks 25% af stationerne må have en Fbal > 20%. Begge de op-

satte kriterier er opfyldt, med en arealvægtet middel vandbalancefejl for alle stationer på 6,3%, mens 2 stationer ($2/22 \cdot 100 = 9,1\%$) har en $|Fbal| > 20\%$.



Figur 32. R^2 (venstre y-akse) og vandbalancefejl for hele kalibreringsperioden samt sommermånedene juni, juli og august (højre y-akse) optegnet som fordelingskurver for samtlige kalibreringsstationer

Tabel 17. Kalibreringsresultat for vandføringer

Station	Areal (km ²)	R ² (-)	Fbal(%)	MFbal_060708(%)
430001	137	0,37	-4,6	21,4
430003	28	-1,24	25,2	81,9
430007	29	0,62	2,3	9,7
440020	170	0,51	3,2	-7,8
440021	128	0,52	5,7	-1,9
450001	535	0,61	13,4	38,8
450002	535	0,60	2,5	20,2
450003	486	0,60	8,7	24,6
450004	302	0,66	13,3	25,3
450005	78	0,64	18,5	32,4
450043	65	0,14	8,5	66,4
450045	30	0,14	-19,7	23,7
450058	27	0,63	15,1	11,8
450080	32	0,70	-17,7	-17,4
460001	103	0,42	-6,0	2,6
460017	78	0,06	-11,5	18,5
460020	62	0,41	-5,9	28,8
460030	71	0,54	-1,9	-1,6
470001	58	0,67	2,6	0,3
470035	33	-0,08	9,5	39,1
470036	40	0,62	11,7	-21,8
470037	53	0,40	21,3	52,6
areal vægtet middel		0.52	6,3	22,4
Areal > 200 (4 stk)		0.61	9,5	27,2
Areal 100-200 (4 stk)		0.45	-0,4	3,6
Areal <100 (14 stk)		0.30	4,1	23,2
Middel		0,39	4,3	20,3

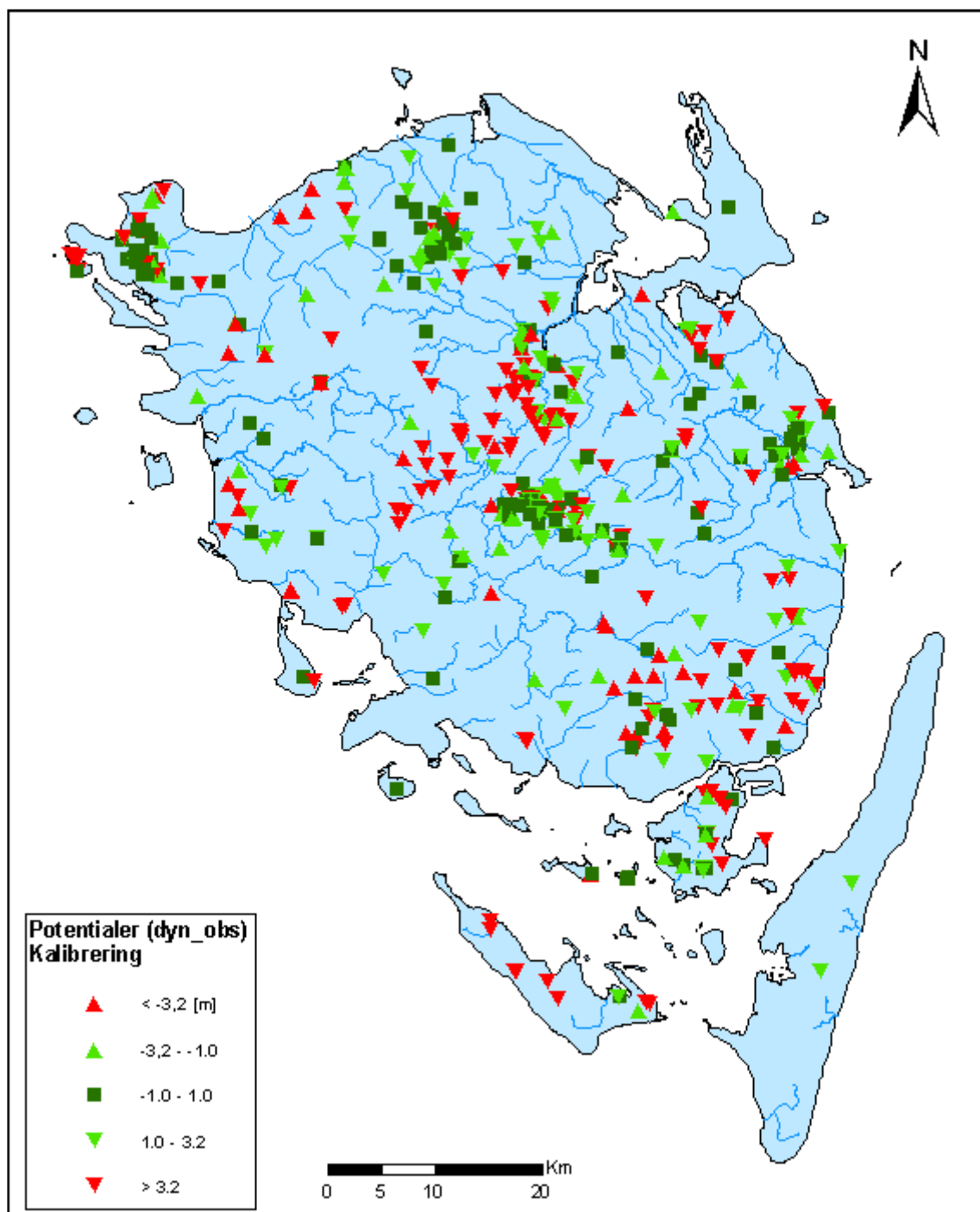
7.1.2 Kvalitativ vurdering af kalibreringsresultat

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.

For potentialerne i observationsgruppen Hobs_dyn (observationer indenfor kalibreringsperioden) er den rumlige fordeling af middelfejlen vist i bilag 4 for de enkelte magasinlag. Et samlet billede af middelfejl på potentiale simuleringer er endvidere vist i Figur 33. Af figuren fremgår det, at der overordnet set er en fornuftig rumlig fordeling af ME. Dog kan der identificeres nogle problemområder omkring midterste og nedre dele af Odense å, hvor der i de fleste tilfælde simuleres for lavt potentiale. Figur 34 viser den rumlige fordeling af middelfejlen for potentialerne medtaget som pejletidsserier i Mike She opsætningen.

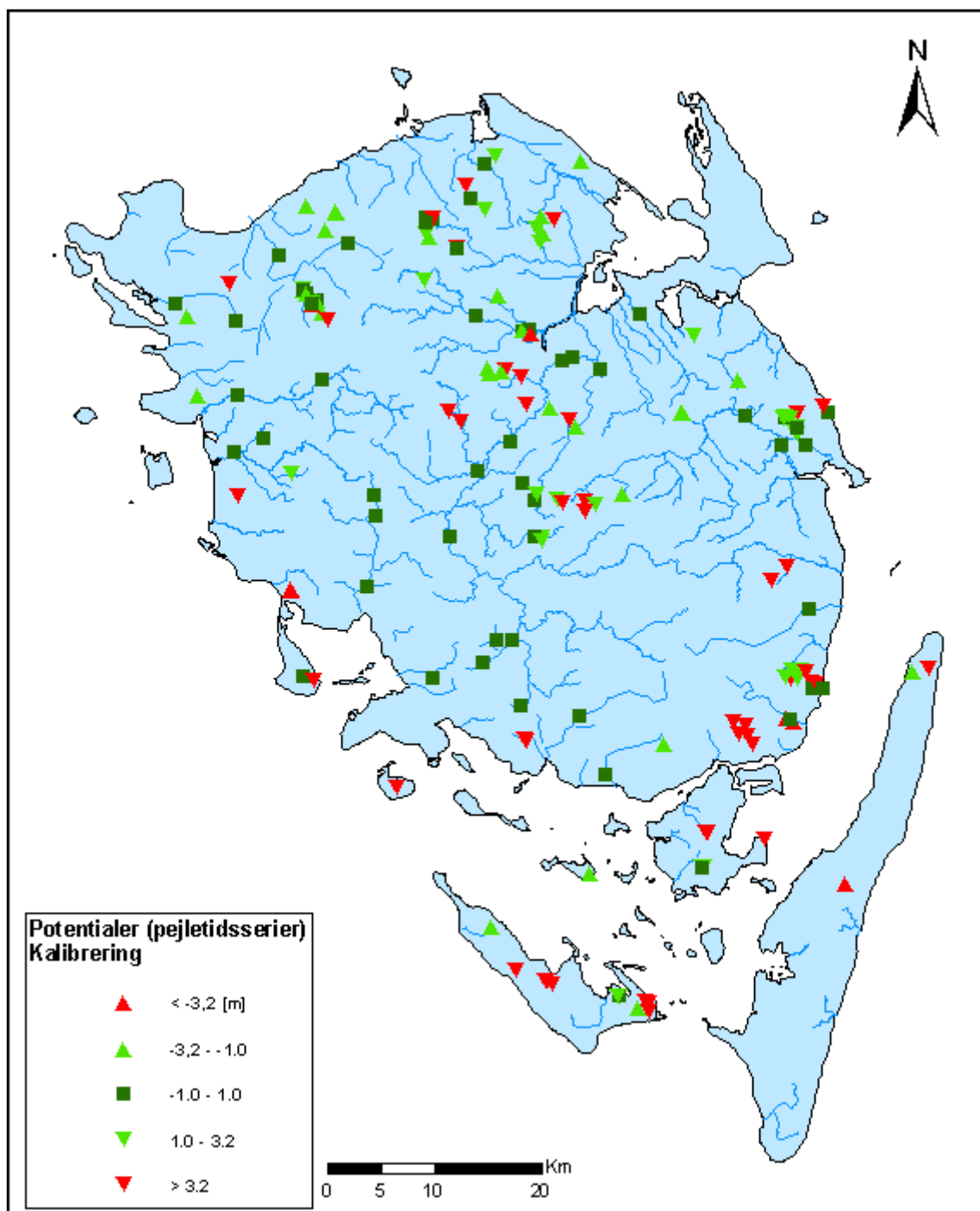
For at opnå en meningsfuld kalibrering af modellen er det vigtigt, at de observationsdata der medtages afspejler forhold som modellen forventelig kan repræsentere. Eksempelvis bør der således ikke medtages data der er udtryk for småskala variationer, som ikke er medtaget i modellen. Det er i videst muligt omfang tilstræbt at tage højde for disse forhold under udvælgelsen af observationsdataene, men ved en evt. fremtidig finkalibrering af modellen vurderes det 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 lokalkendskab til de enkelte områder, udover det kendskab der er opnået gennem opdateringen af DK-modellen.



Figur 33. Rumlig fordeling og størrelse af middelfejl for potentialer. Middelfejlen er beregnet for observationsgruppen Hobs_dyn, dvs. observationer indenfor kalibreringsperioden.

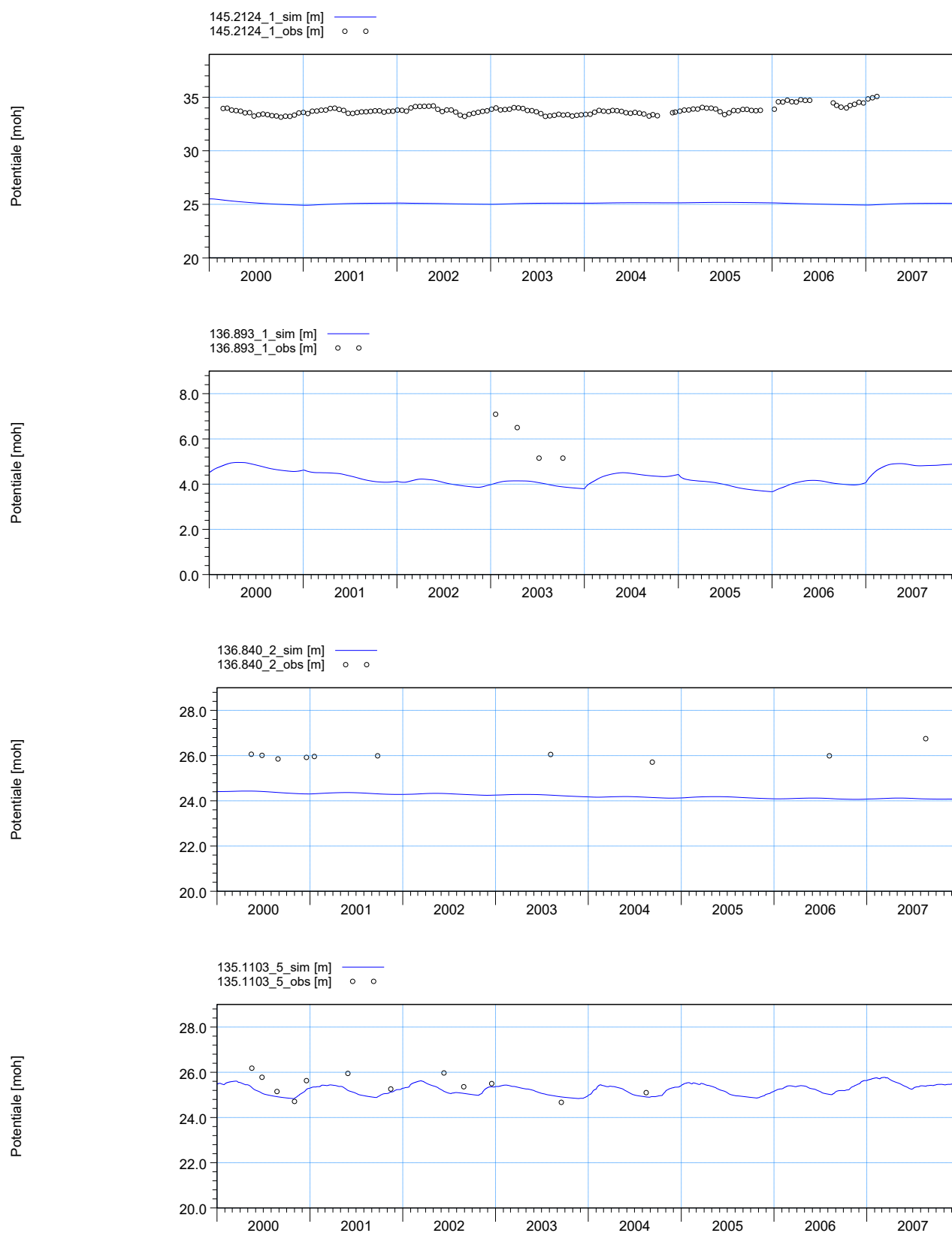
Modellens evner til at reproducere de dynamiske variationer i grundvandspotentialet er vurderet på basis af udvalgte tidsserier som beskrevet i afsnit 6.1.1. Fordelingen af middelfejlen for disse tidsserier er vist på Figur 34. Overordnet set er der en del mangler i at opnå en god overensstemmelse mellem den observerede og simulerede dynamik i vandstandsvariationerne, dog med nogen variation heri. I områder hvor simuleringen ikke fange den

observerede dynamik er der en generel tendens til, at modellen underestimerer dynamikken.



Figur 34. Rumlig fordeling og middelfejl for pejletidsserier for kalibreringsperioden

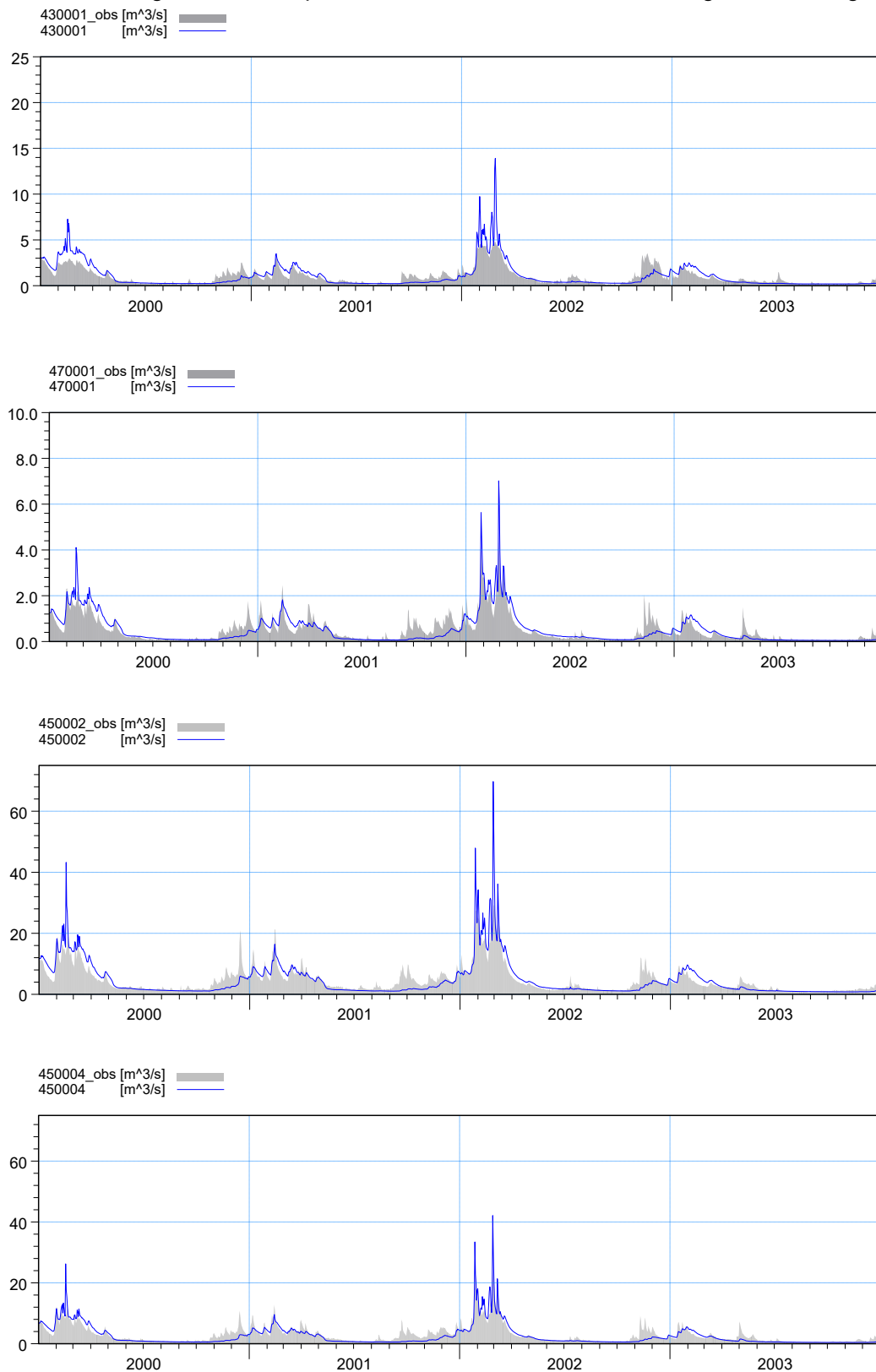
Modellens evne til at fange dynamikken i pejletidsserierne er illustreret i Figur 35, for udvalgte borer, der viser de generelle tendenser mellem observerede og simulerede potentialer. Fittet mellem observeret og simuleret potentiale for alle pejletidsserierne der er medtaget i modellen er vist i Bilag 3.



Figur 35. Simuleret og observeret potentiale for udvalgte borer

Figur 36 viser den observerede og simulerede vandløbsafstrømning i kalibreringsperioden for udvalgte vandløb i modelområdet. Afstrømning fra alle stationerne i perioden 2000-2007

er samlet i Bilag 4. Som indikeret ved de forholdsvis dårlige R^2 og Fbal værdier for samtlige vandløb, illustrerer den visuelle sammenligning af de observerede og simulerede størrelser ligeledes, at der generelt ikke opnås ikke en tilfredsstillende simulering af vandføringen.

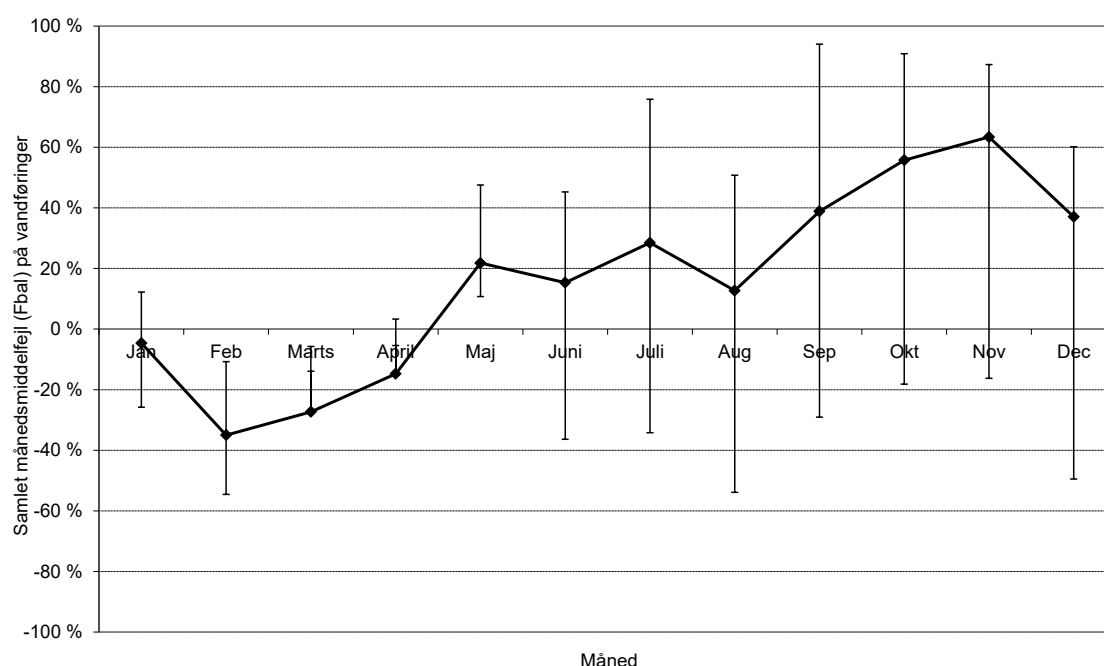


Figur 36. Eksempler på observeret og simuleret vandføring.

Den rumlige fordeling af vandbalancen (Fbal) for vandløbene medtaget i kalibreringen er angivet på Figur 38, hvor farveskalaen angiver Fbal på stationsniveau. Den rumlige fordeling af R^2 er illustreret på Figur 39. Som det fremgår af Figur 38 og Figur 39, er der ikke nogen rumlig bias mht. de opnåede vandbalancer og R^2 .

Som det fremgår at graferne med observerede og simulerede vandføringer i Figur 36 er der en general tendens til at vandføringerne i efterårs perioden underestimeres mens vinter/forårs perioden overestimeres med deraf følgende dårlige dynamik og dermed også R^2 . Erfaringer fra den tidligere DK-model viste at det var nødvendigt at fjerne 25% af nettonedbøren fra det tidligere anvendte rodzone modul, for at vandbalancen for Fyn kunne gå op.

I kalibreringen af denne model kompenseres der tilsyneladende tilsvarende i Two-layer modulet for dette vandbalance problem ved at øge rodzonedybden ganske kraftigt, således at der kan fordampes meget. Dette medfører at rodzonen fungerer som en slags buffer, der først skal fyldes op (efter sommeren) før magasinerne kan fyldes op og afstrømningen for alvor kan begynde. I dette tilfælde fjerner denne buffer noget af vandføringen i efterårsmånederne. Dette går ud over potentialerne som da også underestimeres en smule, men i kalibreringen kompenseres der for dette ved at mindske de hydrauliske ledningsevner i den geologiske model. Dette påvirker så igen afstrømnings hydrograferne i forårs sæsonen efter at rodzone bufferen er fyldt op. Problemerne med vandbalancen ses tydeligere på Figur 37 hvor vandbalance fejlene er opgjort på månedsniveau.

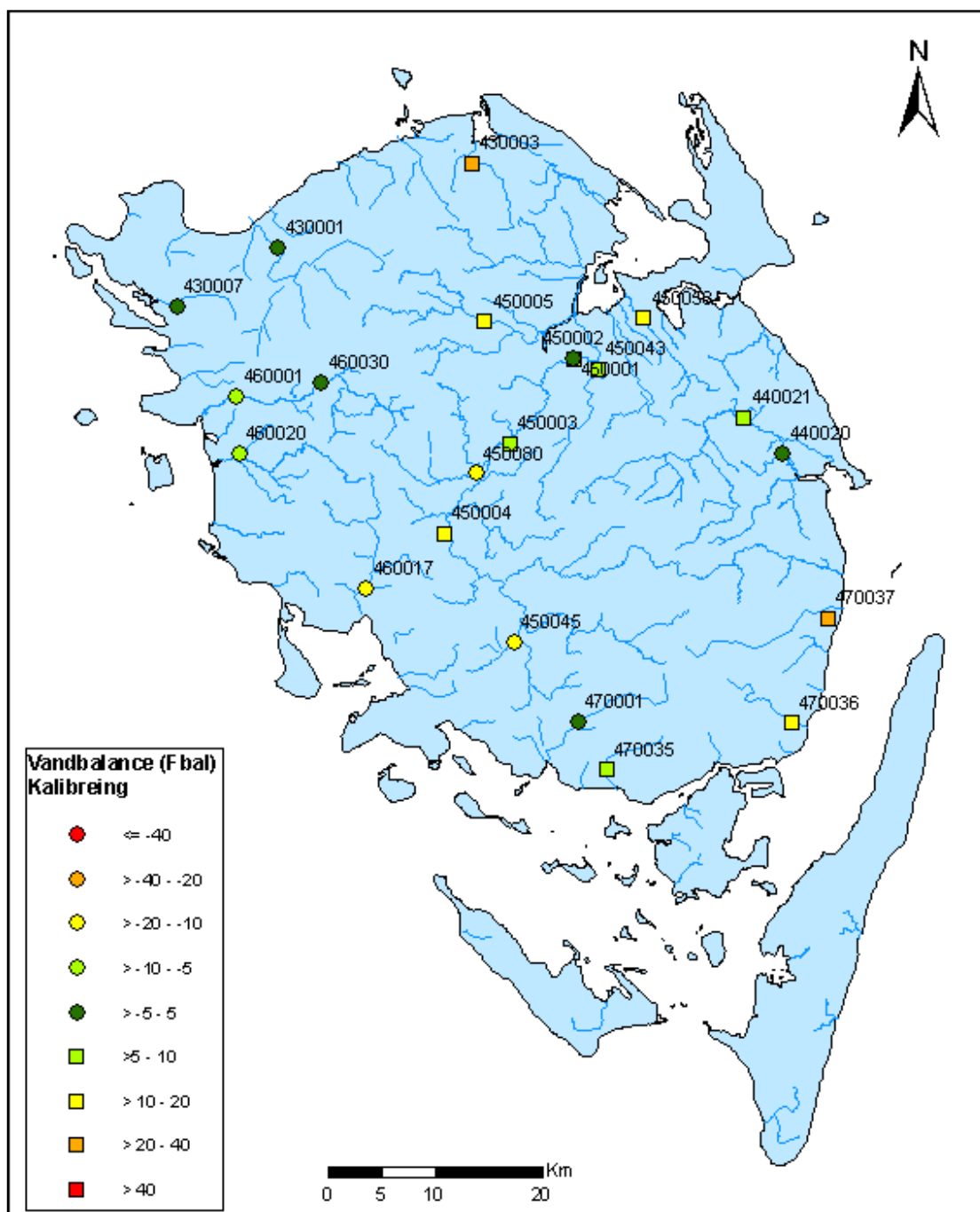


Figur 37 Månedsmiddelfejl for alle vandføringsstationer opgjort for kalibreringsperioden

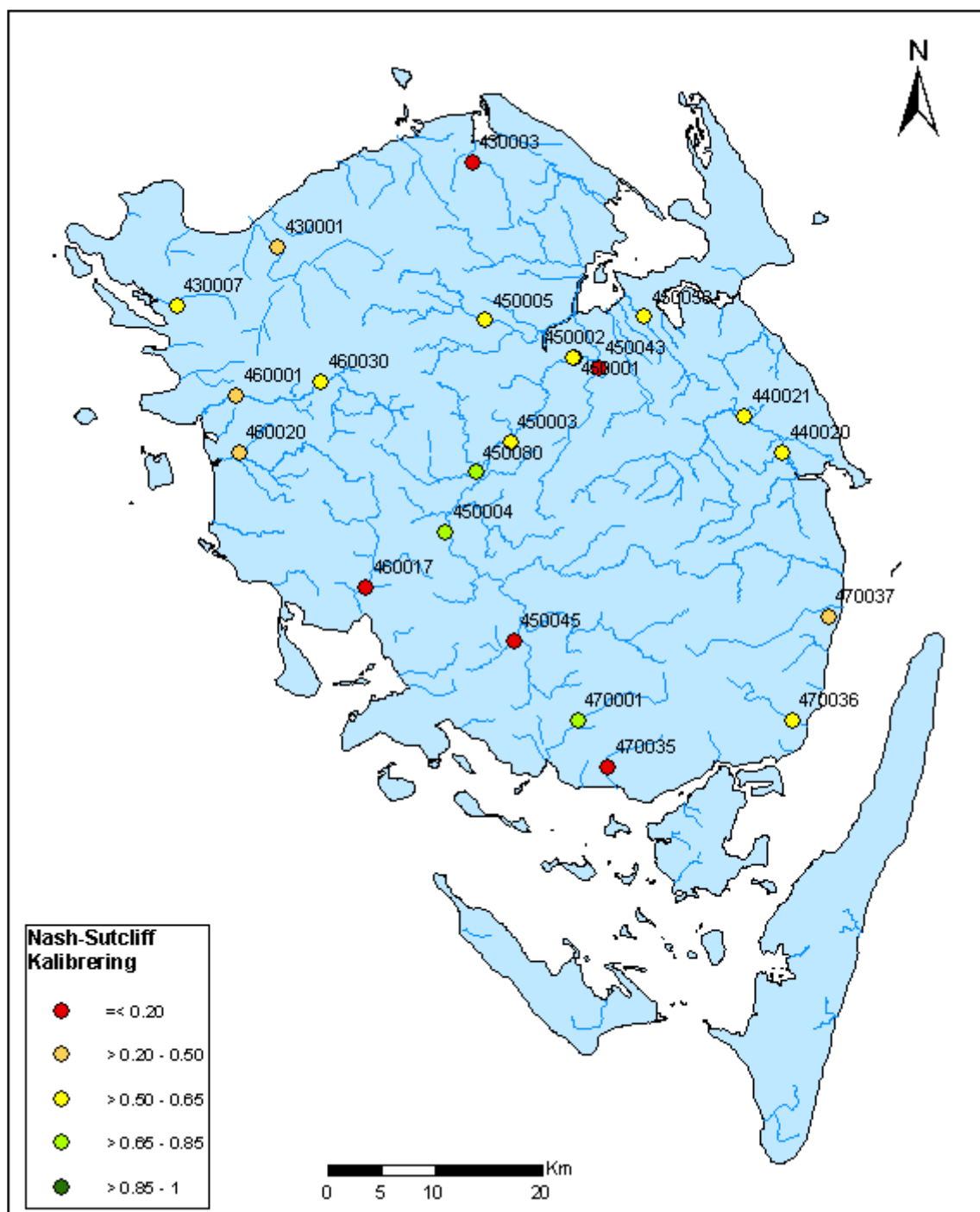
Tilsvarende erfaringer med problemer med vandbalancen er også set i de andre delmodeller. Ved introduktion af Two-layer modulet i stedet for det tidligere anvendte rodzone modul til beregning af nettonedbøren, blev der indledningsvist foretaget en række følsomhedsanalyser mht. hvilke parametre i Two-layer modulet der var styrende for hhv. den samlede

vandbalance samt den simulerede vandløbsdynamik. Under tidlige inverse kalibreringer blev det forsøgt at medtage en række af de følsomme parametre for Two-layer, såsom rodzone dybden og vandindhold ved vandmætning og markkapacitet (θ_s , θ_{fc}). Resultatet heraf indikerede, at for at få vandbalancen til at "gå op" er der behov for en maksimal fordampning om vinteren samtidigt med en lille fordampning om sommeren,

Baseret på disse analyser samt den tilsyneladende bias der observeres i kalibreringsresultatet med en sæsonmæssig variation i vandbalancen, vurderes det ikke muligt at opnå et væsentligt bedre kalibreringsresultat med det anvendte klimainput samt modelkoncept.



Figur 38. Rumlig fordeling af Fbal af vandløb der er medtaget i kalibreringen.



Figur 39. Rumlig fordeling af R^2 af vandløb der er medtaget i kalibreringen.

7.2 Valideringsresultat

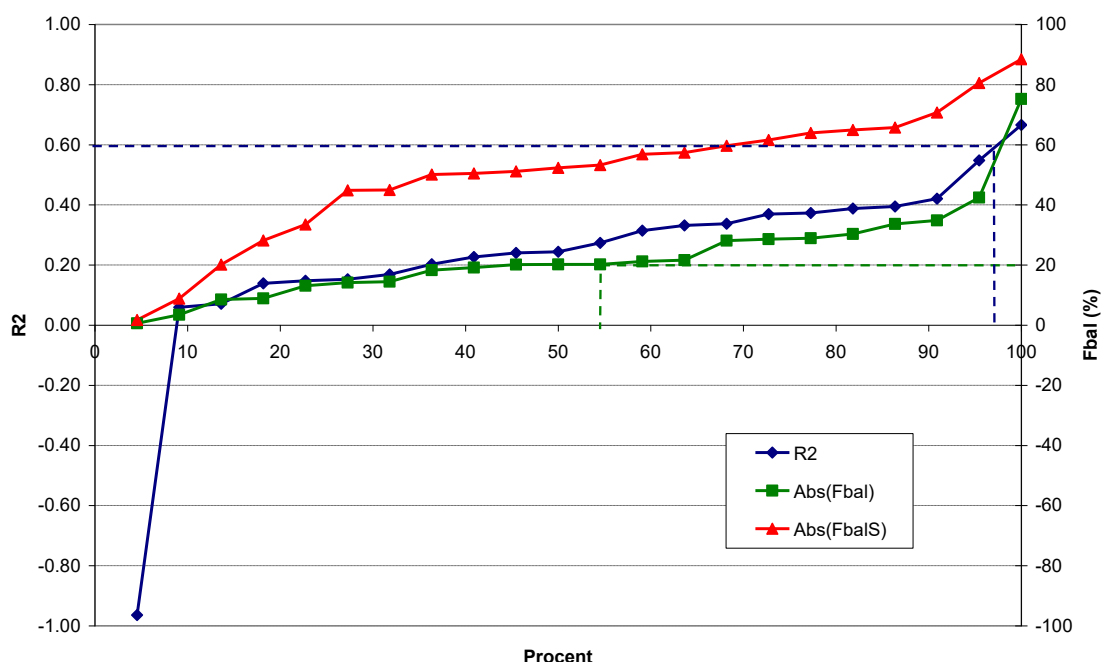
Da det ikke har været muligt at kalibrere modellen til de opstillede nøjagtighedskriterier, giver det ikke umiddelbart mening at udføre en egentlig valideringstest. Det er dog alligevel valgt at gennemføre en simulering frem til 2008 og lave samme statistiske udtræk for perioden 2004 – 2008 som der er anvendt under kalibrering for perioden 2000 – 2003.

Overensstemmelsen mellem observeret og simuleret potentiale i valideringsperioden er angivet i Tabel 18. RMS såvel som ME simuleres ringere for valideringsperioden end for kalibreringsperioden, hvilket indikerer at der er sket en justering af parametre for at ramme kalibreringsmålene i en sådan grad at det er sket på bekostning af modellens robusthed.

Tabel 18. Middelfejl og RMS 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	5,24	-1,00	101	3,05	-1,64	21	4,86	-1,11	122
2	8,52	3,93	282	11,24	6,48	239	9,77	5,10	521
3	5,93	0,61	73	3,55	0,05	53	4,93	0,37	126
4	7,28	3,19	206	6,81	2,83	197	7,05	3,01	403
5	5,78	1,88	181	7,30	4,32	242	6,65	3,28	423
6	5,31	0,73	93	9,56	4,33	150	7,94	2,95	243
7	7,28	2,83	27	4,50	1,51	24	5,97	2,21	51
8	6,64	1,26	24	8,03	4,62	75	7,69	3,81	99
9	4,40	1,68	30	5,50	2,79	109	5,26	2,55	139
Vægtet middel									
magasiner	5,67	1,00		6,07	3,02		5,88	2,05	
model	6,78	2,23		7,92	4,01		7,37	3,16	2127

Figur 40 viser fordelingskurverne for nøjagtighedskriterierne for vandløbene i valideringsperioden, og i Tabel 19 er de opnåede resultater for valideringsperioden er angivet.



Figur 40. Kumulerede nøjagtighedskriterier for validering: R^2 og vandbalancefejl for hele perioden samt vandbalance for sommermånederne juni, juli og august, nb. 2 y-akser.

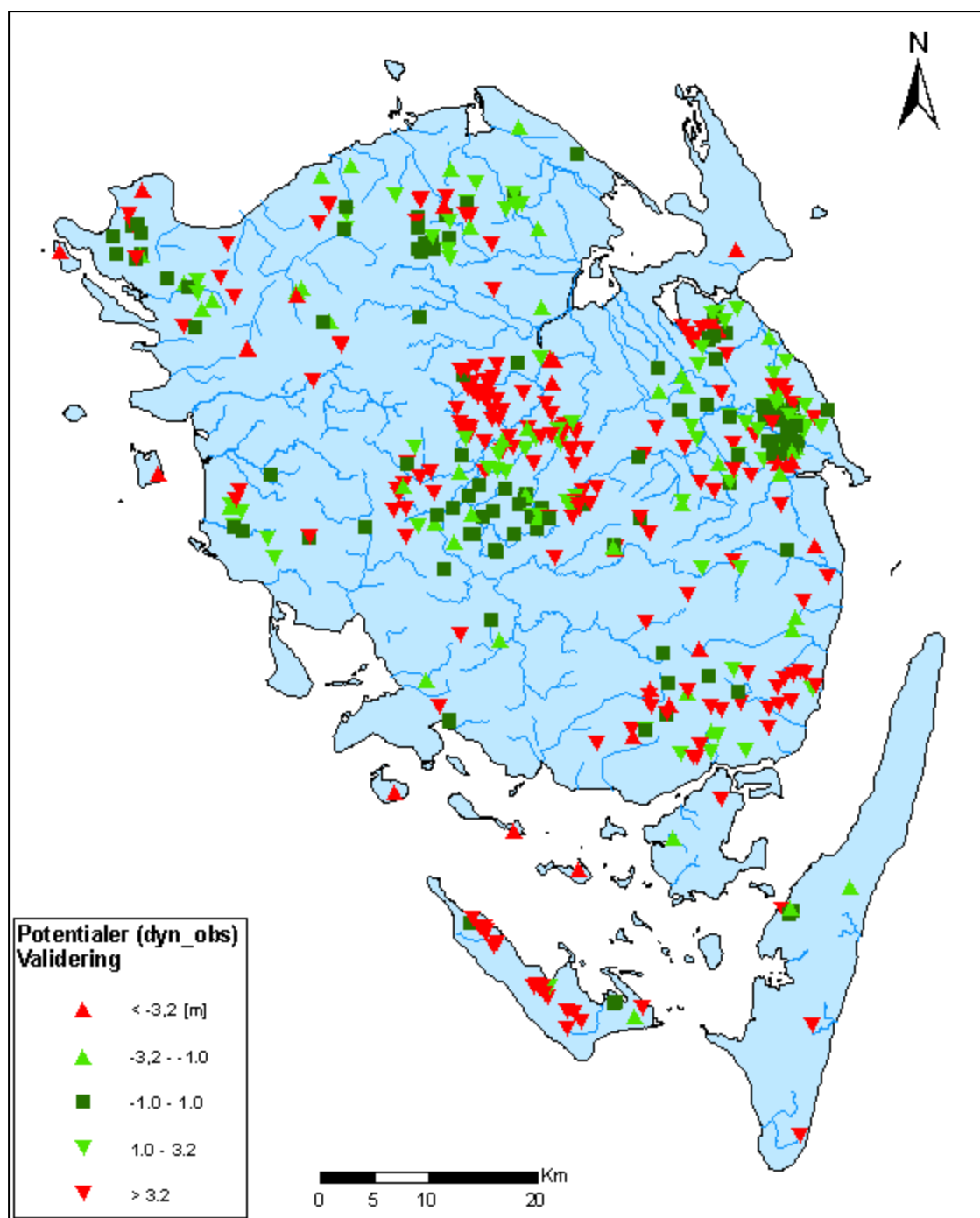
Tabel 19. Valideringssresultat for vandføringer

Station	Areal (km ²)	R2 (-)	Fbal(%)	MFbal_060708(%)
430001	137	0.37	21.2	57.4
430003	28	-0.96	75.3	88.5
430007	29	0.39	30.3	44.8
440020	170	0.55	8.9	-1.7
440021	128	0.23	19.2	45.0
450001	535	0.33	28.1	59.7
450002	535	0.37	20.2	52.3
450003	486	0.42	21.6	50.5
450004	302	0.34	33.6	64.9
450005	78	0.17	28.6	61.6
450043	65	0.06	13.1	70.7
450045	30	0.31	-3.4	20.1
450058	27	0.24	20.2	28.2
450080	32	0.67	-8.5	8.8
460001	103	0.24	14.1	51.1
460017	78	0.07	0.6	33.5
460020	62	0.27	28.9	63.9
460030	71	0.20	14.4	53.2
470001	58	0.39	18.3	50.1
470035	33	0.15	20.1	65.8
470036	40	0.15	34.8	56.8
470037	53	0.14	42.4	80.5
areal vægtet middel		0.32	22.5	51.8
Areal > 200 (4 stk)		0.36	25.9	56.8
Areal 100-200 (4 stk)		0.35	15.8	37.9
Areal <100 (14 stk)		0.16	22.5	51.9
Middel		0.23	21.9	50.3

Som for trykniveauerne er fittet for vandføringerne ringere i valideringsperioden end for kalibreringsperioden. Igen indikerer dette at modellens robusthed er under pres, sådan forstået at modellen under kalibreringen har forsøgt at skævvride parametre i et forsøg på at kompensere for de bias ramte klima data som driver modellen.

7.2.1 Kvalitativ vurdering af valideringsresultat

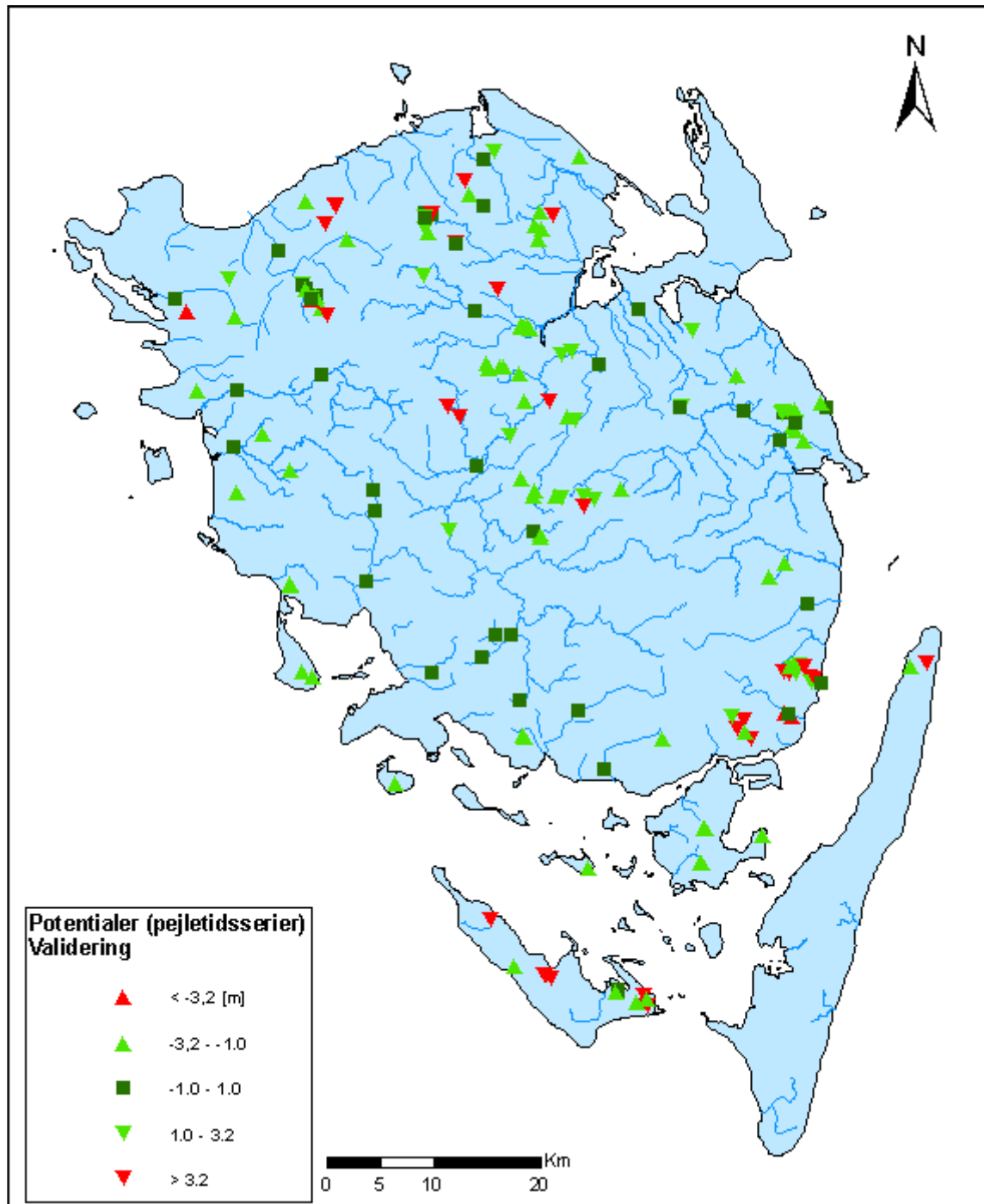
Som for de kvantitative mål, er der også sammenlignet kvalitative målsætninger opfyldes for valideringsperiode.



Figur 41. Rumlig fordeling og størrelse af middelfejl for potentialer. Middelfejlen er beregnet for observationsgruppen Hobs_dyn, indenfor valideringsperioden.

For potentialerne i observationsgruppen Hobs_dyn (pejletidsserier med data i valideringsperioden) er det samlede billede af middelfejl på potentiale simuleringer vist i Figur 41. Af figuren fremgår det, at der er en fornuftig rumlig fordeling af ME, som ligner tilsvarende for kalibreringsperioden overordnet set. Der er dog enkelte områder som stemmer dårligere end andre og dette er mere tydeligt for valideringsperioden. Det drejer sig primært om et område vest for Odense omkring en Vandcenter Syds kildeplad (Exercer marken), hvor der er en tendens til for lavt simuleret grundvandsspejl, hvilket kan hænge sammen med dårlige beskrivelser af magasin forholdene, indvindingspåvirkede pejlinger eller ændringer i

vandindvinding. To andre områder er Ærø og Lillebæk – begge med tilsvarende tendens til for lavt simuleret grundvandsspejl i forhold til pejleobservationerne. På Figur 42 er den rumlige fordeling af potentiale middelfejl for observationer medtaget som pejletidsserier i Mike She opsætningen.

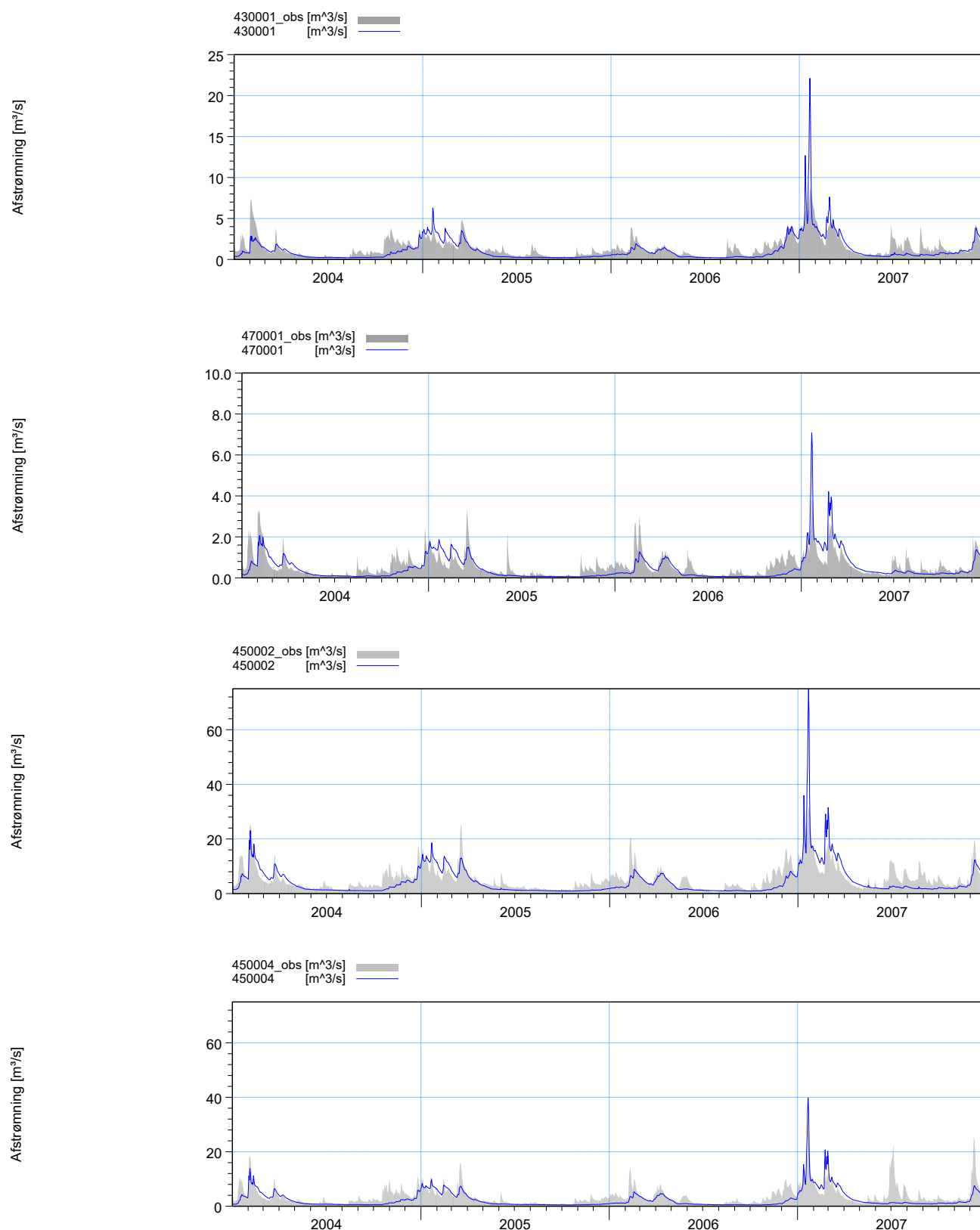


Figur 42. Rumlig fordeling og middelfejl for pejletidsserier for valideringsperioden.

Middelfejlen på residualerne har som for kalibreringsperiode forholdsvis flest observationer med positive ME-værdier der er således en generel underestimering af potentialerne i modellen.

Modellens evner til at reproducere de dynamiske variationer i grundvandspotentialet er vurderet på basis af udvalgte tidsserier. Af Figur 35 fremgår det at de mangler en del dynamik i at opnå en god overensstemmelse mellem den observerede og simulerede dynamik i vandstandsvariationerne, dog med nogen variation heri. I områder hvor simuleringen ikke fange den observerede dynamik er der en generel tendens til, at modellen underestimerer dynamikken.

Figur 43 viser den observerede og simulerede vandløbsafstrømning for udvalgte vandløb i modelområdet. Som indikeret ved de forholdsvis dårlige R^2 og Fbal værdier for samtlige vandløb, illustrerer den visuelle sammenligning af de observerede og simulerede størrelser ligeledes, at der generelt ikke opnås ikke en tilfredsstillende simulering af vandføringen.

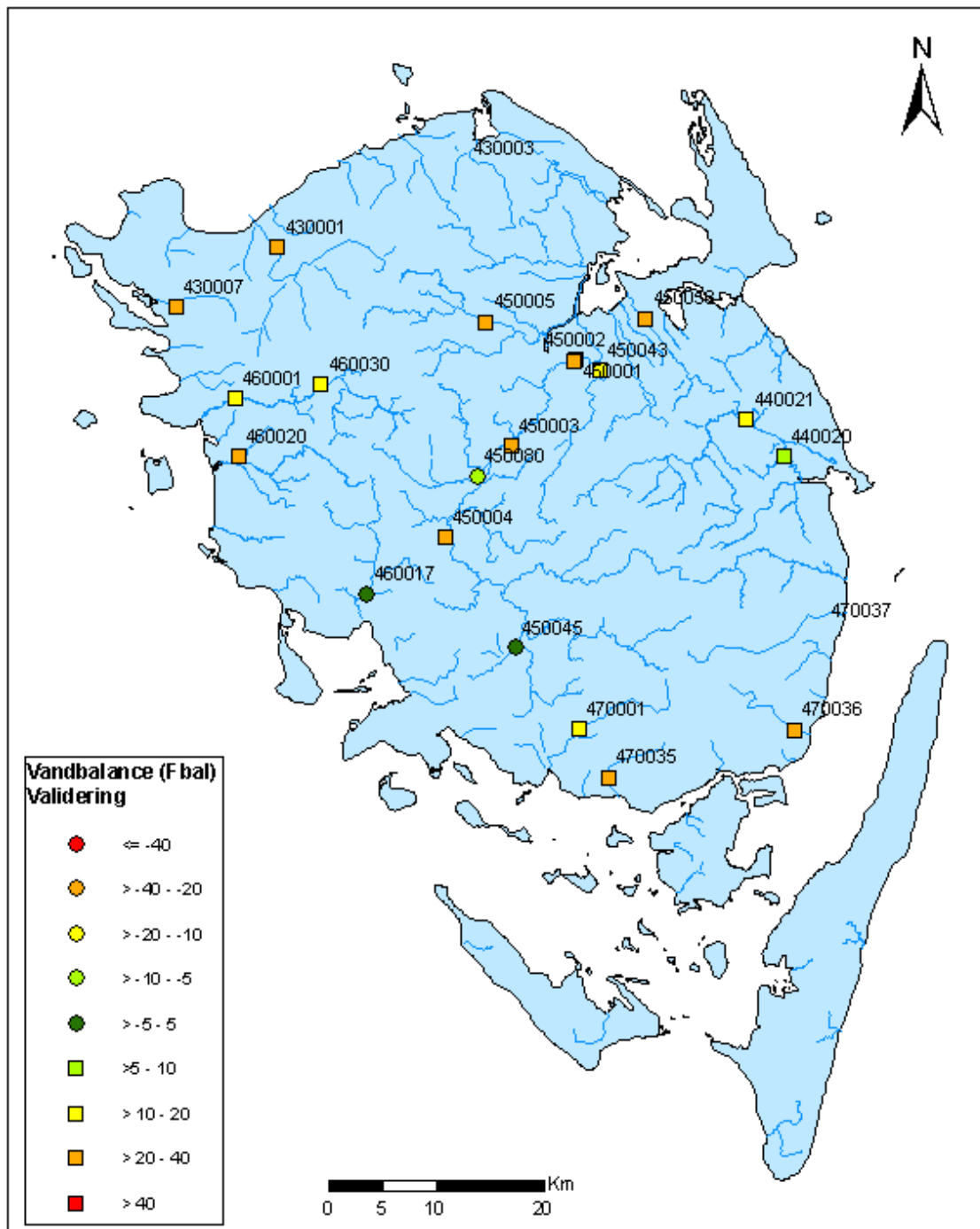


Figur 43. Eksempler på observeret og simuleret vandføring.

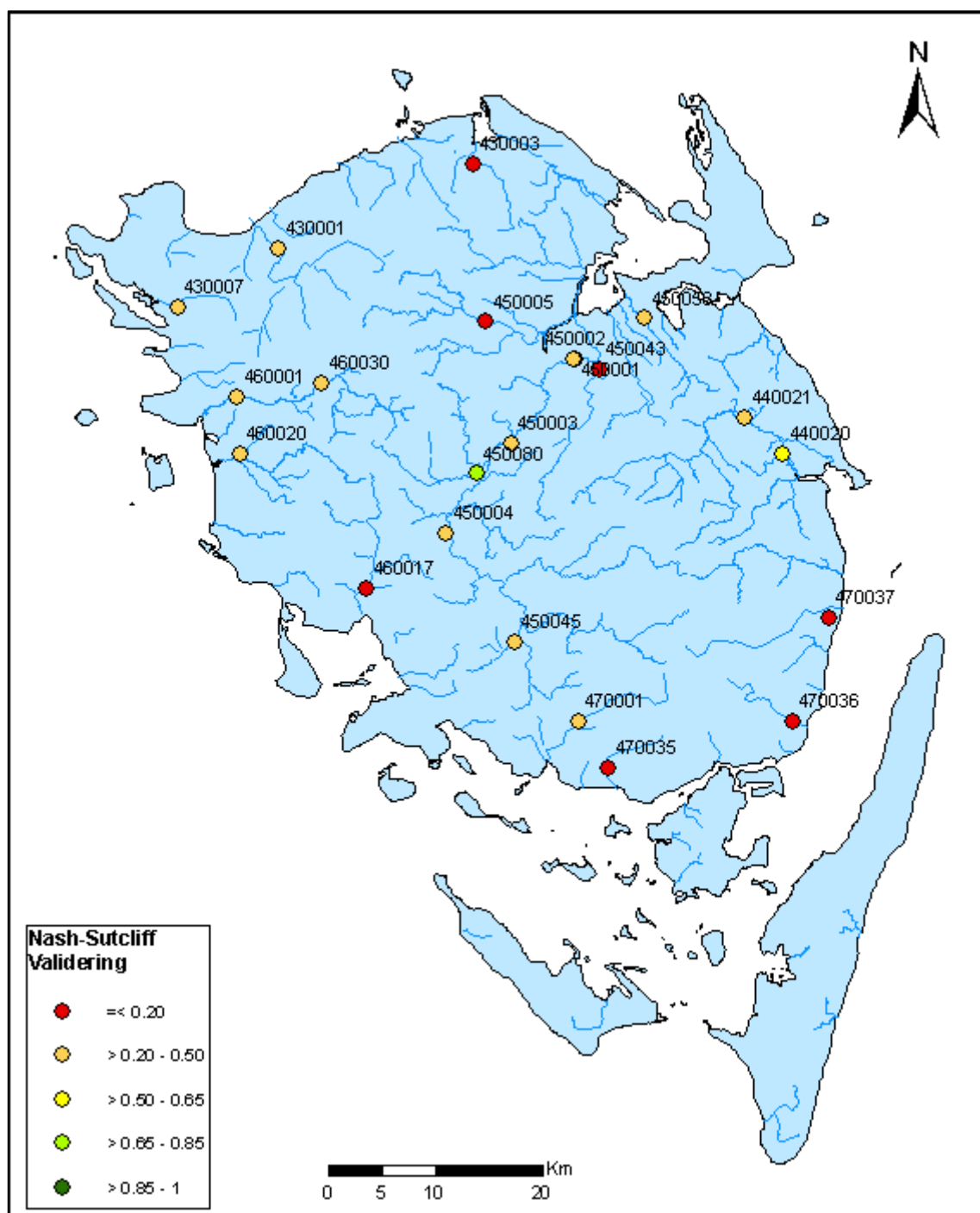
Den rumlige fordeling af vandbalancen (Fbal) for vandløbene medtaget i valideringsperioden er angivet på Figur 44, hvor farveskalaen angiver Fbal på stationsniveau. Den rumlige for-

deling af afvigelser i forhold til vandføringsvariationer (R^2) er illustreret på Figur 45. Der synes ikke at være nogen væsentlig forskel i rumlig fordeling mht. de opnåede Fbal og R^2 .

Denne kvalitative validering af modellen kan ikke afvise konklusionen fra den kvantitative validerings analyse. Overordnet set er der ikke noget i den kvalitative validering som tyder på problemer i modelopsætningen/-kalibreringen.



Figur 44. Rumlig fordeling af Fbal af vandløb der er medtaget i valideringen.



Figur 45. Rumlig fordeling af R^2 af vandløb der er medtaget i valideringen.

8. Vurdering af model

Med kalibrering af modellen for Fyn 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. Den manglende modelperformance for vandløbsdynamikken kan være relateret til en række faktorer såsom den anvendte simplificering med få modelparametre, øvrige antagelser og simplificeringer under modelopstillingen, de anvendte procesbeskrivelser, randbetingelserne, input data osv. For kalibreringsperioden har det været muligt at opnå en acceptabel vandbalancefejl mens vandløbsdynamikken ikke lever op til de opstillede nøjagtighedskriterier. Tilsvarende resultater blev generelt opnået for de øvrige delmodeller indeholdt i DK-model2009, hvilket indikerer, at det anvendte modelkoncept kombineret med de anvendte input data ikke i tilstrækkelig grad er i stand til at simulere det fysiske system. Det ses endvidere, at resultatet for valideringsperioden generelt er væsentlig dårligere end for kalibreringsperioden. Dette kunne tyde på en "over-fitting" af modellen, hvor parametrene er tilpasset optimalt til forholdene under kalibreringsperioden, men ikke i samme udstrækning er i stand til at reproducere forholdene under valideringsperioden. Et sådant tilfælde indikerer ligeledes en mulig fejl i modelkonceptet, hvor de optimale parameterværdier kompenserer for denne fejl i kalibreringsperioden.

I DK-model2003 blev der anvendt det simple "stand-alone" rodzone modul til beregning af nettonedbøren og det var nødvendigt at reducere nettonedbøren for at få den samlede vandbalance til at gå op. I DK-model2003 blev nedbøren endvidere omfordelt baseret på topografiske højdeforskelle, hvor nedbøren i grids med en middel kote på over +50 m blev korrigeret op med 10%, mens de lavere liggende grids (< kote +50 m) blev tilsvarende reduceret. Endelige blev der anvendt en UZ-dummy koefficient, der gjorde det muligt at omfordele andelen af nettonedbøren der genererede overfladisk afstrømning versus den andel der resulterede i en grundvandsdannelse. I DK-model2009 er rodzone modulet erstattet af et ligeledes simpelt men integreret modul til beregning af nettonedbøren. Til forskel for DK-model2003 er der ikke foretaget en reduktion eller omfordeling af nettonedbøren. Det er derfor nærliggende at vurdere, hvorvidt fejlen i den konceptuelle model, kan skyldes det anvendte klimainput.

Under forskningsprojektet HOBE er der opstillet en delmodel for Ringkøbing fjord baseret på DK-model2009. Delmodellen er kalibreret med alternative nedbørsinput, beregnet ved anvendelse af forskellige metoder til korrektion af den daglige nedbør og med alternative input for referencefordampning (Stisen et al., submitted). 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 vandløbsdy-

namikken udtrykt ved R^2 -værdien, markant forskellig, hvor det bedste resultat blev opnået med den dynamiske korrektion.

Detailundersøgelserne for Skjern Å er således i overensstemmelse med den opnåede kalibrering af modellen for Fyn, hvor det har været muligt at kalibrere den overordnede vandbalance på plads, mens vandløbsdynamikken udtrykt ved R^2 ikke fanges tilfredsstillende. Skjern Å projektet antyder således, at manglende opfyldelse af kalibreringskriterierne for Fyn kan være relateret til vandbalanceproblematikken. Det vurderes derfor, at vandbalanceproblemerne er en væsentlig årsag til den manglende opfyldelse af de opstillede nøjagtighedskriterier. Udover bias i nedbørs- og fordampningsdata vurderes det dog relevant at inddrage andre forhold ved en fremtidig kalibrering af modellen. Med ønsket om en bredere anvendelse af DK-model indenfor vandforvaltningen i fremtiden (Madsen et al., 2009), vil der være krav til en bedre tilpasning af modellen til lokale/regionale forhold, og dermed behov for at kunne tilgodese heterogenitet i de hydrauliske egenskaber på en 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 tilhørende oplande på 50 km² eller derover, med den præcision der blev opnået ved modelvalideringen af de enkelte delmodeller. Tilsvarende er modellen dokumenteret egnet til at beskrive det hydrauliske trykniveau med den opnåede præcision. Delmodellerne 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 formegentligt have mindre præcision ved anvendelse på mindre skala.

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 for Fyn 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.

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 nedbørskorrektioner. Danish Meteorological Institute, Techn. Rep. No. 98-10, Copenhagen.
- DHI (2008a). MIKE 11 – A modelling system for rivers and channels, user guide, pp. 454
- DHI (2008b). MIKE SHE - An integrated hydrological modelling framework, volume 1: User guide, pp. 302
- DHI (2008c). MIKE SHE - An integrated hydrological modelling framework, volume 2: Reference manual, pp. 436
- Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H., Jensen, J.J. (1997) Observed Precipitation in Denmark, 1961-1990. Technical Report 97-8. Dansk Meteorologisk Institut.
- Havnø, K., Madsen, M.N., Dørge, J. (1995) MIKE 11—a generalized river modelling package. In: Singh, V.P., (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications, pp. 733–782.
- Harrar, W. G. & Nilsson, B. (1998). Seasonal Variation in fracture flux through a glacial till. 1998 GSA Annual Meeting. ISSN 0016-7592
- Henriksen, H.J., Sonnenborg, A. (2003) Ferskvandets kredsløb, Nova2003 Temarapport, 228p, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- Henriksen, H.J., Trolborg, L., Knudby, C.J., Dahl, M., Nygaard, P., Jacobsen, P. R. & Rasmussen, P. (1998) National Vandressource Model – Sjælland, Lolland, Falster og Møn, GEUS rapport 1998/109, pp. 101. Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.
- 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.
- Kürstein, J., Andersen, J.A. & Mahrt J. (2009) Sjællandsmodellen – et integreret modelværktøj for det hydrologiske vandkredsløb. Dokumentationsrapport. Miljøministeriet, Miljøcenter Roskilde og Niras.
- 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 Hydrostrati-grafisk opdatering, GEUS rapport 2010/XX, København.

- Mikkelsen, H.E. & Olesen J.E (1991) Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning. Landbrugsministeriet, Statens Planteavlsforsøg, Tidsskrift for Planteavls Specialserie, Beretning nr. S 2157.
- Olesen, J.E. & Heidmann, T. (2002) EVACROP. Et program til beregning af aktuel fordampning 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 fordampning, 20x20 og 40x40 km.. DMI Technical Report 99-12, Trafikministeriet, DMI.
- Scharling, M. (1999b): Klimagrid - Danmark, Nedbør 10x10 km (ver.2). DMI Technical Report 99-15, Trafikministeriet, DMI.
- 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, H.J. (eds) (2006), Optimering af DK-model for Københavns Energi, GEUS rapport 8/2006, 174p, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København
- Vandplan Sjælland (2005). Statistisk analyse af pejletidsserier. Udgivet af Københavns kommune, Frederiksberg kommune, Københavns Amt, Vestsjællands Amt, Storstrøms Amt, Frederiksborg Amt og Roskilde Amt

9.1 Internetsider

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

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

Teknisk anvisning for hydrologisk modellering i NOVANA,
http://www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/ta_hydrologisk_modellering_marts2006.pdf

Grundvand. Status og udvikling 1989-2006
http://www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2006.htm

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

AIS database

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

Corine database

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

BILAG 1

Beskrivelse af procedure for placering af indvindinger i modellerne for Fyn og øerne

Indvindingsdata Område 3 (Fyn og øerne)

Datagrundlag

Indvindingen for Fyn og øerne (område 3) er processeret på basis af et JupiterXL foretaget d. 17. november 2009. Datum for udtrækket er euref89 og DVR90. Konvertering af JupiterXL udtrækket til ArcMap shape format er foretaget med programmet WellViewer.

Udtrækket er organiseret i to shapfiler, én indeholdende alle anlæg hvortil der er registreret ét eller flere indtag (1099 anlæg), og én shapefil med alle anlæg hvortil der ikke er registreret et indtag i Jupiter databasen (163 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
A06	1	4	5.964	5.964	5.964	5.964
E09	2	2	32.142	16.071	12.073	20.069
E11	2	2	2.079	1.040	250	1.829
E14	1	4	11.821	11.821	11.821	11.821
F05	1	1	6.379	6.379	6.379	6.379
F07	3	11	103.583	34.528	3.350	75.732
L03	10	13	29.523	2.952	30	14.222
M11	19	19	50.776	2.672	90	19.500
M41	1	1	17.360	17.360	17.360	17.360
M93	4	18	8.536	2.134	900	4.214
M94	2	2	5.156	2.578	1.057	4.098
M99	1	1	102.784	102.784	102.784	102.784
P01	2	2	2.893	1.446	430	2.463
V01	60	15.401	23.721.599	395.360	125	4.238.489
V02	246	7.830	20.324.398	82.620	455	1.062.519
V03	2	2	4.633	2.316	1.441	3.192
V30	5	16	26.263	5.253	384	16.200
V40	134	228	820.935	6.126	20	37.664
V41	2	13	7.468	3.734	1.461	6.007
V50	462	989	3.906.237	8.455	7	113.528
V51	6	21	123.188	20.531	30	69.759
V52	1	4	8.243	8.243	8.243	8.243
V53	3	3	34.791	11.597	205	29.291
V60	1	1	8.959	8.959	8.959	8.959
V70	6	12	33.687	5.615	334	12.250
V80	19	266	792.596	41.716	78	365.981
V81	12	154	860.469	71.706	5.943	416.331
V82	3	6	60.644	20.215	2.966	42.210
V83	2	50	239.159	119.579	14.639	224.520
V85	9	9	36.638	4.071	135	24.778
V90	32	65	361.282	11.290	188	113.534
V91	4	10	14.503	3.626	1.785	5.353
V92	1	1	5.922	5.922	5.922	5.922
V93	2	27	309.663	154.831	128.544	181.119
V95	37	38	127.804	3.454	70	39.578
V99	1	289	42.598	42.598	42.598	42.598
Sum	1.099	25.515	52.250.674	1		

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
M94	3	907	302	250	330
E05	1	661	661	661	661
I01	1	763	763	763	763
A06	1	764	764	764	764
V30	1	832	832	832	832
M99	2	1.449	725	174	1,275
M63	1	1.661	1.661	1.661	1,661
V80	9	4.618	513	4	1,794
V70	2	2.296	1.148	388	1,908
P01	5	5.816	1.163	90	3,000
V95	11	10.185	926	5	3,011
V02	3	7.343	2.448	1.549	3,941
V03	5	12.672	2.534	451	5,260
J06	1	6.788	6.788	6.788	6,788
M41	3	13.988	4.663	2.650	7,288
V60	2	15.219	7.610	96	15,123
L03	9	29.836	3.315	25	15,400
V90	12	33.989	2.832	84	15,663
V51	1	27.160	27.160	27.160	27,160
V41	5	34.055	6.811	100	29,089
F07	4	47.165	11.791	1.502	34,946
M11	19	136.827	7.201	52	37,167
V50	37	123.337	3.333	5	37,989
V40	15	332.108	22.141	383	95,935
V93	4	330.843	82.711	861	221,453
M50	1	389.073	389.073	389.073	389,073
V85	3	953.192	317.731	2.442	506,000
V83	2	1.291.844	645.922	293	1,291,551
Sum	163	3.815.390	7%	af samlet indvinding	

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 33 indtag med manglende x,y-koordinater, Tabel 3. For indtag i tabellen er samtlige indtag med manglende x-y-koordinater, på nær 2, tilknyt-

tet et anlæg med flere indtag, som det har været muligt at placere i modellen. De 2 anlæg, hvor der kun er tilknyttet dette ene indtag, har indvindingen derfor ikke kunnet placeres i modellen, Tabel 4. Under fejlscreeningen er der identificeret 38 indtag med manglende top/bund kote, Tabel 3, af disse er kun er tilknyttet ene indtag, og har indvindingen derfor ikke kunnet placeres i modellen, Tabel 4.

Tabel 3. Fejlscreening af indtag

EC-kode	Beskrivelse	Antal indtag frasorteret
1	Manglende georeference	33
2	Top/bund af filter kan ikke beregnes	38

Tabel 4. Anlæg hvor det ikke har været muligt at placere nogle af indtagene pga. manglende informationer om top og bundkoter eller X-Y-koordinater

PLANTID	Navn	Type	Middel indvinding
81201	Kærsgård Avlsgård Vandværk	V03	3192
81237	Kjeld St. Hansen	V85	388
81331	Dyreborg Frugtplantage	V51	30
81335	Claus Flemming Poulsen	V91	2079
81415	Jens Erik Gylling	V50	33
81474	Sportsplads	V40	5407
81625	Asger Lindenskov	V50	2153
81637	Ole Pedersen	V95	400
81760	Brenntag Nordic	V80	36904
81922	Jens E. Jensen	M11	1000
82193	Gartneriet Tingdal ApS vedr.: Fangelvej 26	V50	14259
82222	Gartneriet Brogård	V95	8044
82229	Marino Dalsgaard Christensen	V95	383
82233	Gartneriet & Butik Dugfrisk	V50	1249
82352	Helge Christensen	V40	1174
82604	Anders Frederik Kroer	L03	3933
82686	Farstrup Møbler A/S	V80	1621
82770	Gartneriet Munksminde	V50	19067
83016	Gribsvad vandværk	V02	3992
83034	Merete Pedersen vedr.: Kaslundvej 42	V85	671

Frasortering af indtag

Der er sket en frasortering af indtag, der ikke skal indgå som et indvindingsfilter. Der kan generelt være to årsager hertil: 1) indtaget er tilknyttet et anlæg, men anvendes til andet formål, eller 2) der er en fejl i Jupiter mht. koblingen mellem anlæg og indtag. Årsagen til fravælgelse af indtag samt den anvendte frasorteringskode i GIS-tabellen fremgår af Tabel 5. 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". En fravælgelse af samtlige indtag registreret med et andet formål end indvinding er imidlertid ikke hensigtsmæssig, da der eksisterer en del tilfælde, hvor samtlige indtag tilknyttet et anlæg er angivet at have en anvendelse forskellig fra indvinding, dette er eksempelvis tilfældet for flere afværgelanlæg. Det er derfor valgt kun at frasortere indtag tilknyttet et vandværk, hvor use eller purpose er forskellig fra virksomhedstyperne V01 og V02, som er hhv. " Offentlige fælles vandforsyningsanlæg" og " Private fælles vandforsyningsanlæg".

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

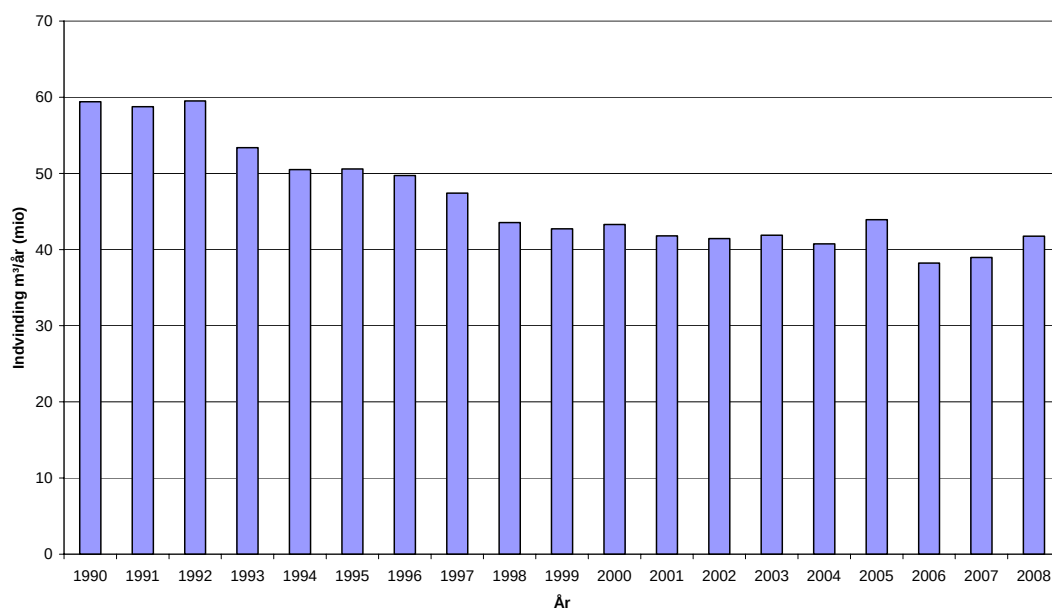
Indtag	Beskrivelse	Frasort kode
Multiple 70 i alt	Sum af EC1 og EC2	-1
136. 305	Topkote er mindre end bundkote	-2
Multiple 78 i alt	Indtag tilknyttet et vandværk (virksomhedstype V01) med 'P' (pejling), 'M' (monitering), 'A' (andet), 'G' (geoteknisk), 'I' (ned-pumpningsboring), 'J' (Jordvarme), 'L' (forureningsboring), 'R' (råstofboring), 'U' (undersøgelsesoring) i feltet Use	-6
Multiple 126 i alt	Indtag tilknyttet et vandværk (virksomhedstype V01) med 'P' (pejling), 'M' (monitering), 'A' (andet), 'G' (geoteknisk), 'I' (ned-pumpningsboring), 'J' (Jordvarme), 'L' (forureningsboring), 'R' (råstofboring), 'U' (undersøgelsesoring) i feltet Purpose OG hvor feltet use IKKE er en af følgende: 'C','V','VA','VD','VH','VI','VM','VP','VV'. Dvs indtag er ikke oprettet som indvindingsboring og heller ikke registreret til at være overgået hertil.	-7

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 Fyn og øerne

År	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
m3/år (mio)	59	59	60	53	51	51	50	47	44	43
År	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
m3/år (mio)	43	42	41	42	41	44	38	39	42	



Figur 1. Samlet årlig indvinding for anlæg med tilknyttede indtag (angivet i millioner m³/år)

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

Tabel 7. Fordeling af indvinding i beregningslagene for modellen for område 3

Geologisk lag	Indtag i lag	associeret lag	indtag i lag i alt	indvinding	% af indvinding
1 (jordart 3m)	0	0	0	0	0%
2	0	0	0	0	0%
3 (sand)	50	57	107	1.294.482	3%
4	0	0	0	0	0%
5 (sand)	914	498	1.412	22.804.980	50%
6	1	0	1	4.896	0%
7 (sand)	396	228	624	15.449.379	34%
8	2	0	2	1.960	0%
9 (kalk)	187	2	189	5.749.131	13%
i alt			2.335	45.304.829	100%

Generering af model input filer

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

BILAG 2

Beskrivelse af procedure for udvælgelse af pejlinger til kalibrering af modellerne for Fyn og øerne

Pejledata område 3 (Fyn)

Datagrundlag

Pejlinger for område 3 er processeret på basis af et JupiterXL udtræk foretaget d. 17 november 2009. Datum for udtrækket er euref89 og DVR90. Konvertering af JupiterXL udtrækket til ArcMap shape format er foretaget med WellViewer programmet.

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.

Tabel 1. Indtag frasorteret pga. manglende information – område 3

EC-kode	Beskrivelse	antal indtag frasorteret
1	Manglende georeference	37
2	Top/bund af filter kan ikke beregnes	1608
	I alt	1610

Placering af pejlinger i modellen

Indtagene placeres i forhold til de geologiske lag i DK-modellen. Modsat indtag der anvendes til indvinding, hvor et filter kan strække sig over flere beregningslag, skal hvert indtag der anvendes til pejling associeres til ét beregningslag. Formålet med opgaven har således været, at specificere hvilket lag i modellen et givet indtag er filtersat i, og dermed i hvilket lag pejlingerne er foretaget. Til opgaven er anvendt specielt udviklede GIS værktøjer. Der er anvendt følgende prioritering mht. indplacering af indtagene i modellen:

1. For de borer, hvor indtaget helt eller delvist falder sammen med et vandførende lag i modellen (lag 1, 3, 5, 7 og 9), associeres pejlingen til det aktuelle lagnummer. I de særlige tilfælde, hvor et indtag sidder i to vandførende lag er indtaget angivet placeret i det dybeste lag.
2. For de resterende indtag er det antaget, at indtaget står i ler eller mindre sandmagasin, der ikke er repræsenteret i den geologiske model. For disse indtag angives det lerlag (lag 2, 4, 6, 8), hvor indtaget sidder.

3. Enkelte tilbageværende indtag er placeret i det øverste lag under jordartslaget (top3m), idet indtagets top-kote ligger højere end topografien
4. Enkelte tilbageværende indtag er placeret under det nederste lag, de placeres i nederste lag

giver et overblik over antallet af indtag, der sidder i eller er flyttet (associeret) til de forskellige beregningslag.

Tabel 2 Indtag hvori der eksisterer pejlinger fordelt pr beregningslag

Beregningslag	Indtag i lag	Indtag associeret lag	indtag i lag i alt
1 (top3m)	66	0	66
2	623	8	631
3 (sand)	288	0	288
4	431	0	431
5 (sand)	1221	0	1221
6	258	0	258
7 (sand)	316	0	316
8	248	0	248
9 (kalk)	199	30	229
i alt			3688

Frasortering 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:

- *Indvindingsboring.* Alle boringer tættere end 10 m på en indvindingsboring i samme beregningslag er antaget at være en indvindingsboring og er frasorteret.
- *Fejl i observeret potentiale.* Enkeltstående pejleindtag med en absolut middelfejl på mere end 10 m i forhold til flade interpoleret fra middel af pejlinger indenfor perioden 2000-2008 og indenfor samme beregningslag er frasorteret.
- *Tæt på rand.* Indtag der er placeret i en gridcelle med én eller flere naboceller der udgøre modelrand er frasorteret.
- *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 fortegnsfejl i de indberettede data. De tidsserier der er medtaget i modellen som tidsserier i MikeShe opsætningen er manuelt gennemgået og evt. outliers er frasorteret. 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 pejle er frasorteret.
- *Kraftige outliers.* I flere tilfælde er tidsserier med mange pejlinger blevet frasorteret manuelt, da der ved gennemgang af pejletidsserierne er konstateret kraftige outliers i pejletidsserien

- *Mærkelig tidsserie.* I flere tilfælde er der frasortet tidsserier manuelt, da de ved gennemsyn er fundet meget afvigende fra omkring liggende tidsserier.

Årsagen til frasorteringen af pejlinger samt antal indtag der er frasortet pga. de forskellige årsager fremgår af Tabel 3. Kolonnen "Frasortkode" til kolonnen i den GIS-tabel der er anvendt under databehandlingen.

Tabel 3. Årsag til frasortering af indtag samt antallet af frasorterede, område 3

Frasort kode	Årsag til frasortering	Antal
-2	Indvindingsboring	819
-3	mulig fejl i tidsserie	209
2	kun pejlinger tidligere end 1. jan 2000	1043
-7	Fejl i observeret potentiale	9
-6	Tæt på rand	225
-11	mærkelig udseende tidsserie (manual udvælgelse)	7
-12	kraftige outliers (manual udvælgelse)	15
	I alt	3937
0	tilbageværende filtre	1361

Efter ovenstående frasortering fordeler de anvendte pejleobservationer sig som angivet i Tabel 4

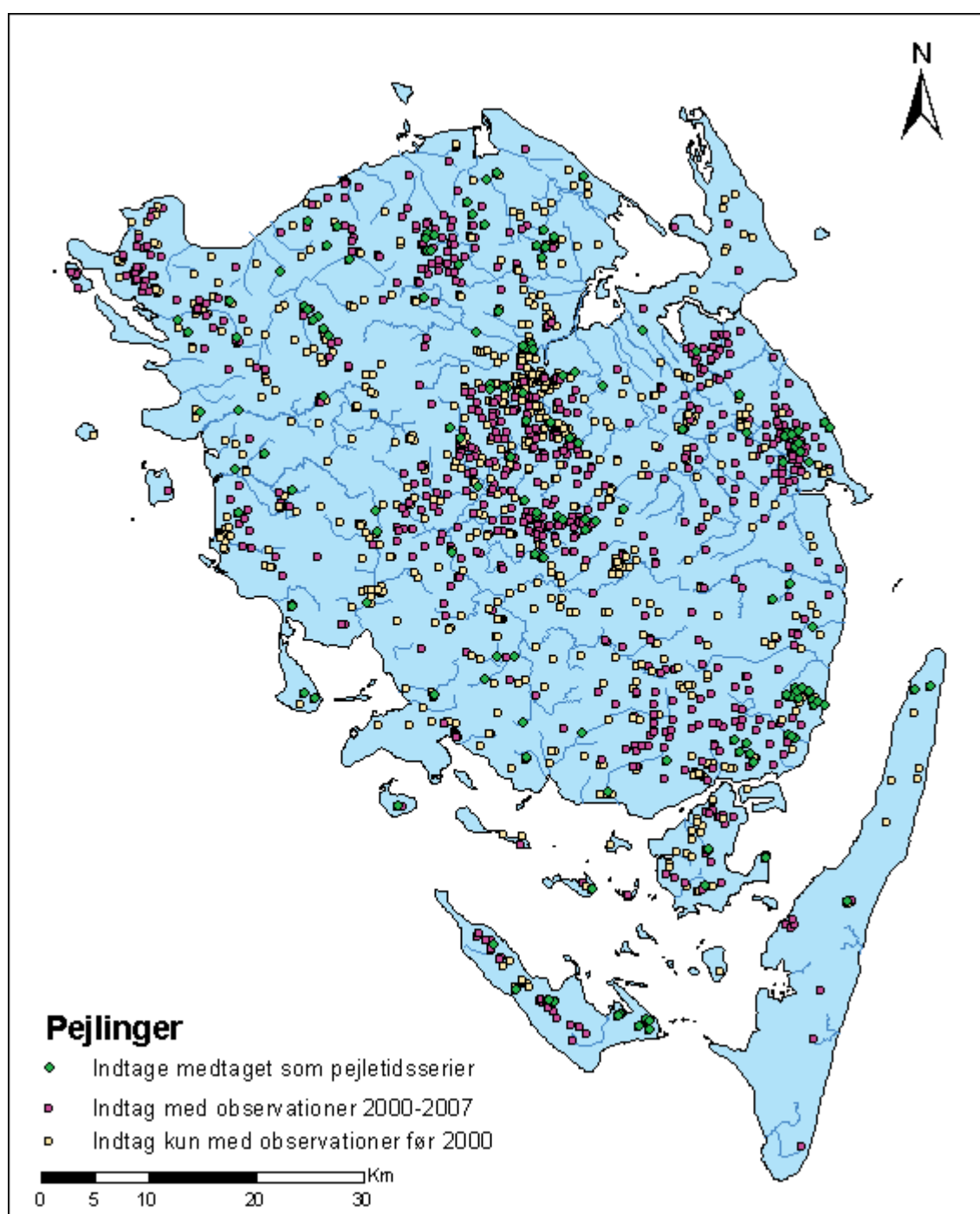
Tabel 4. Fordeling af indtag pr. beregningslag fordelt på perioder, område 3

Beregningslag	Indtag med observationer			Antal pejlinger i perioden	
	kun før 2000	2000 - 2003	2004 - 2007	2000 - 2003	2004 - 2007
1 (mixed sand/ler)	39	4	13	5	14
2	325	93	131	1.672	1.598
3 (sand)	137	82	60	1.262	1.261
4	142	118	85	737	997
5 (sand)	258	269	218	4.731	2.870
6	44	58	57	11.667	11.567
7 (sand)	38	45	24	2.464	1.875
8	31	45	41	7.726	7.559
9 (kalk)	29	21	55	785	434
i alt	1.043	735	684	31.049	28.175
i magasiner	501	421	370	9.247	6.454
i lerlag	542	314	314	21.802	21.721

Udvælgelse af pejletidsserier

Pejlinger medtages under kalibreringen på forskellige vis, som beskrevet i hovedrapporten. Udvalgte tidsserier medtages i Mike She opsætningen som "detailed timeseries", og giver hermed mulighed for optegning af observerede og simulerede tidsserier, ved anvendelse af de indbyggede funktionalitet i Mike She brugerflade.

I forbindelse med modeopstillingen blev der modtaget pejletidsserier på dfs0 format fra Miljøcenter Roskilde. Disse blev manuelt gennemgået og tidsserier der blev vurderet at været påvirket af indvindinger er sorteret fra. Efter denne frasortering er der i alt medtaget 155 tidsserier.



Figur 1 placering af udvalgte pejlinger og tidsserier

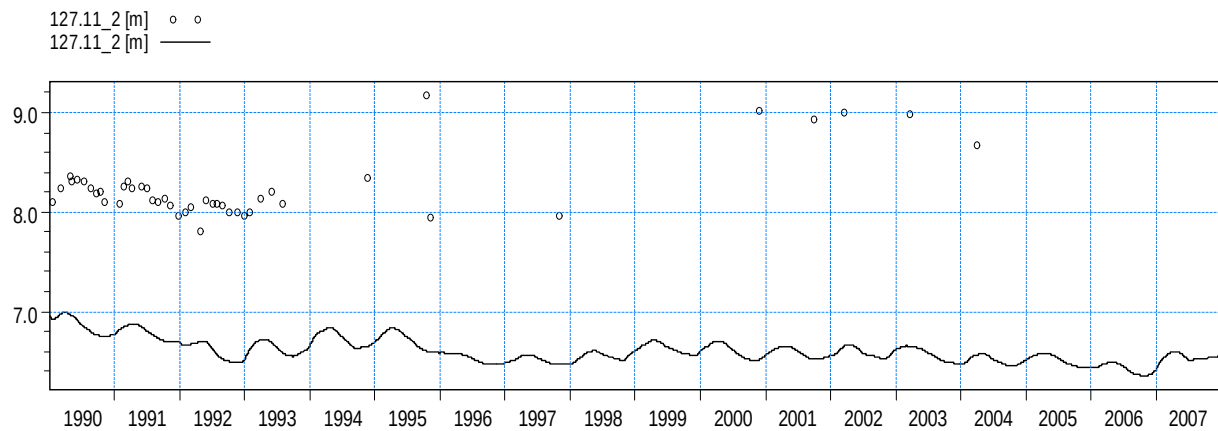
BILAG 3

Pejletidsserier medtaget i DK-model opsætningen (novomr3)

Plot number 1

127.11_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\127.11_2.dfs0, item no. 1



ME=1.53474

MAE=1.53474

RMSE=1.57367

STDres=0.347868

R(Correlation)=-0.0237267

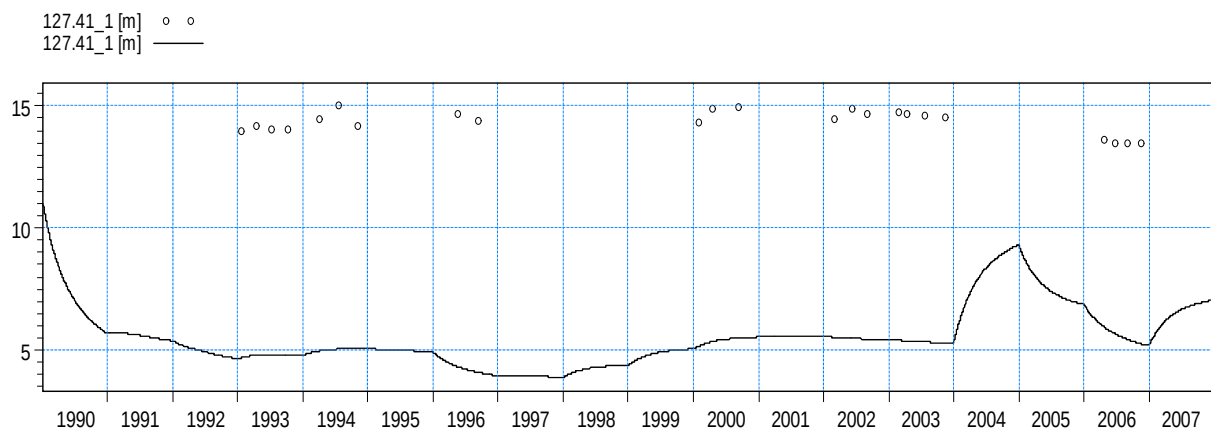
R2(Nash_Sutcliffe)=-24.0498

[< back](#)

Plot number 2

127.41_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\127.41_1.dfs0, item no. 1



ME=9.20649

MAE=9.20649

RMSE=9.2302

STDres=0.661118

R(Correlation)=-0.0937219

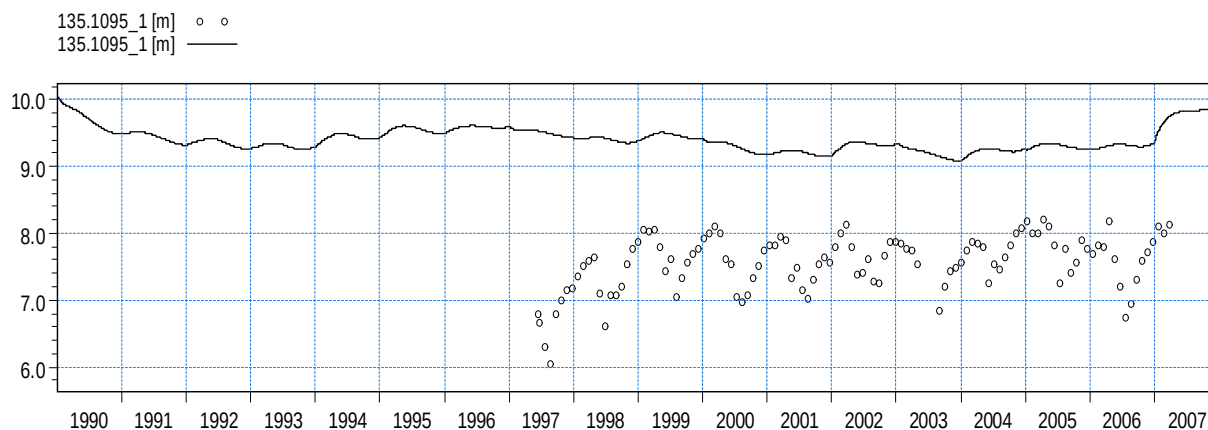
R2(Nash_Sutcliffe)=-371.213

[< back](#)

Plot number 3

135.1095_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1095_1.dfs0, item no. 1



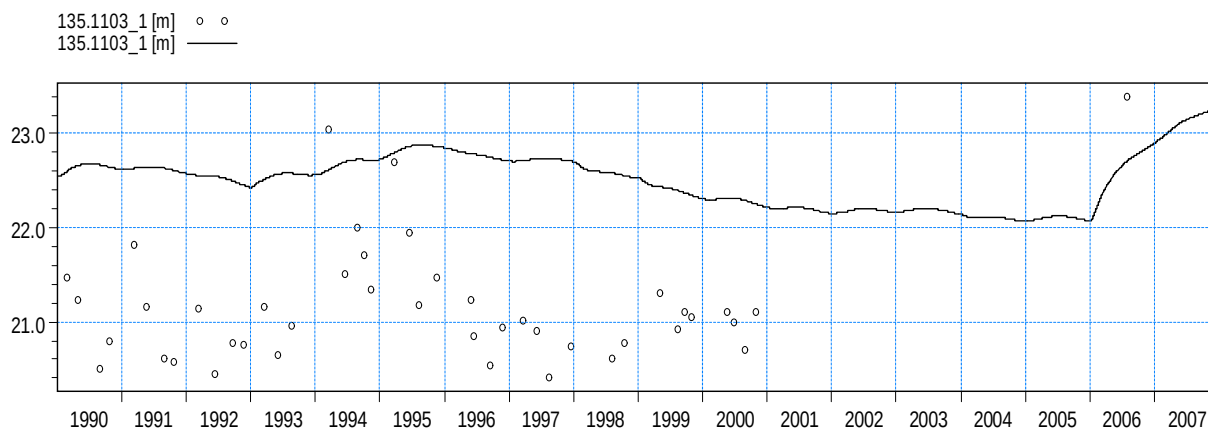
ME=-1.76045
MAE=1.76045
RMSE=1.81502
STDres=0.441683
R(Correlation)=-0.0918314
R2(Nash_Sutcliffe)=-17.8937

[< back](#)

Plot number 4

135.1103_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1103_1.dfs0, item no. 1



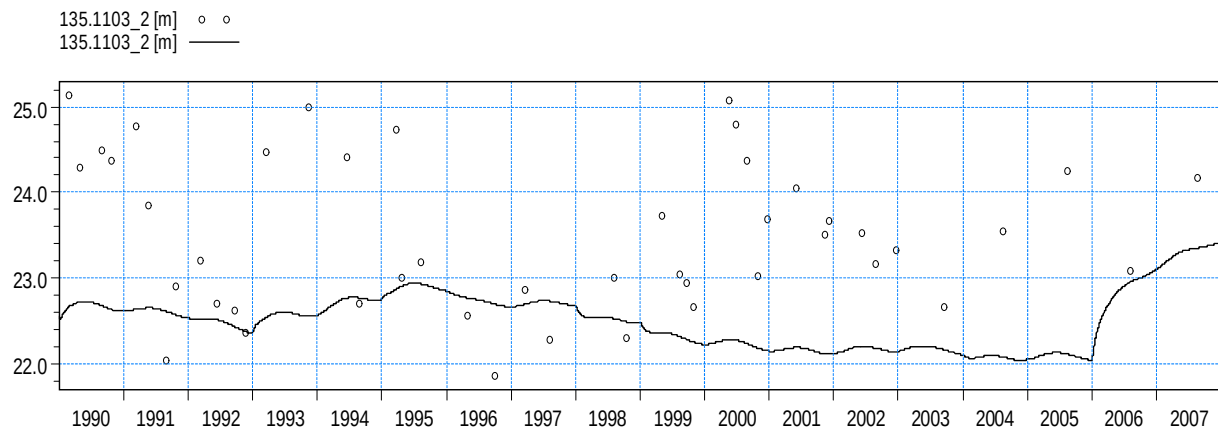
ME=-1.43335
MAE=1.4854
RMSE=1.56307
STDres=0.623455
R(Correlation)=0.252308
R2(Nash_Sutcliffe)=-4.8855

[< back](#)

Plot number 5

135.1103_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1103_2.dfs0, item no. 1



ME=1.02371

MAE=1.1259

RMSE=1.37597

STDres=0.919415

R(Correlation)=-0.00994782

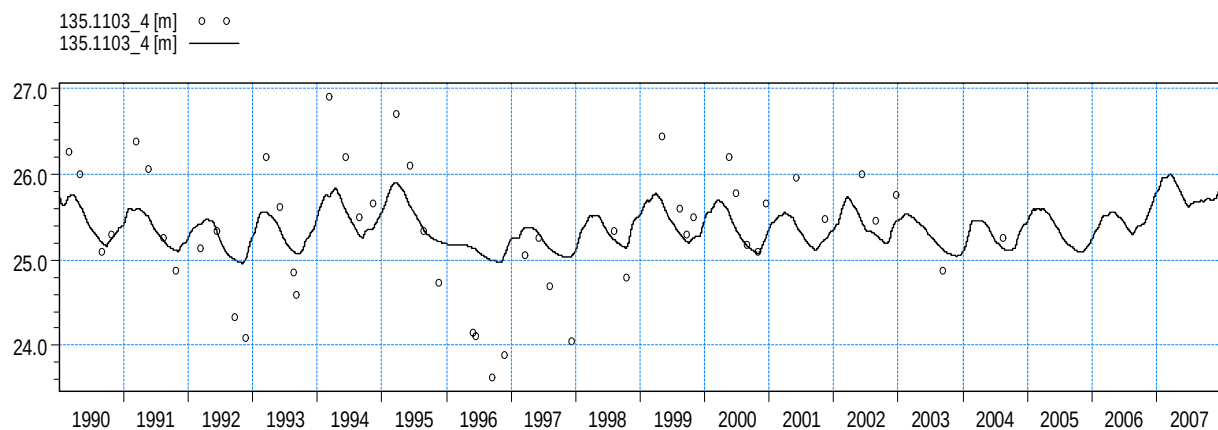
R2(Nash_Sutcliffe)=-1.50107

[< back](#)

Plot number 6

135.1103_4, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1103_4.dfs0, item no. 1



ME=0.0267042

MAE=0.439346

RMSE=0.556029

STDres=0.555388

R(Correlation)=0.905575

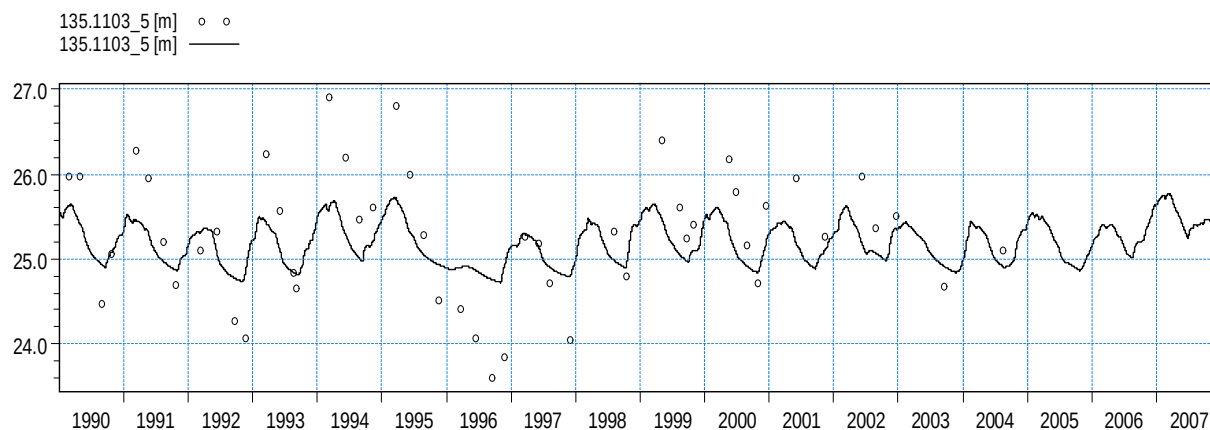
R2(Nash_Sutcliffe)=0.438825

[< back](#)

Plot number 7

135.1103_5, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1103_5.dfs0, item no. 1



ME=0.169435

MAE=0.470971

RMSE=0.573815

STDres=0.54823

R(Correlation)=0.874334

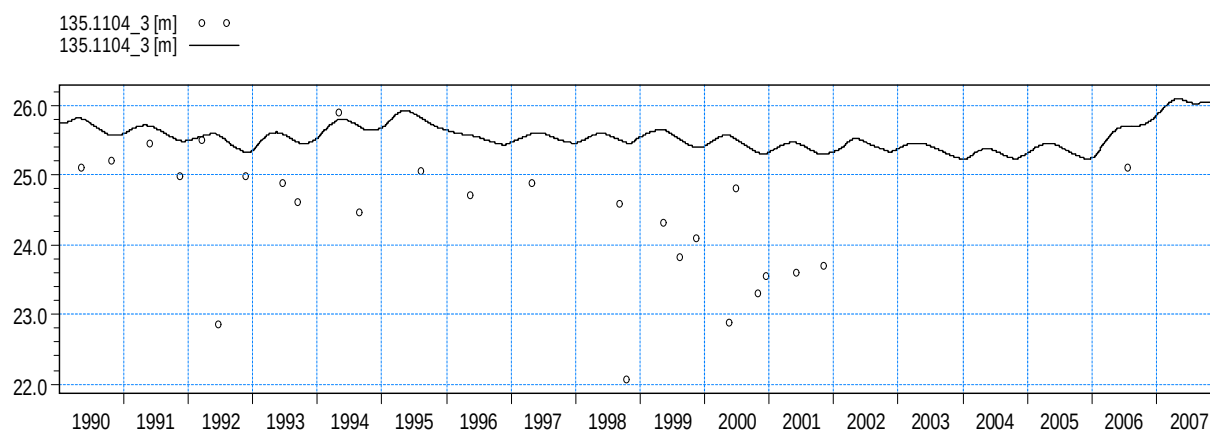
R2(Nash_Sutcliffe)=0.400575

[< back](#)

Plot number 8

135.1104_3, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1104_3.dfs0, item no. 1



ME=-1.10179

MAE=1.12359

RMSE=1.40287

STDres=0.868397

R(Correlation)=0.400697

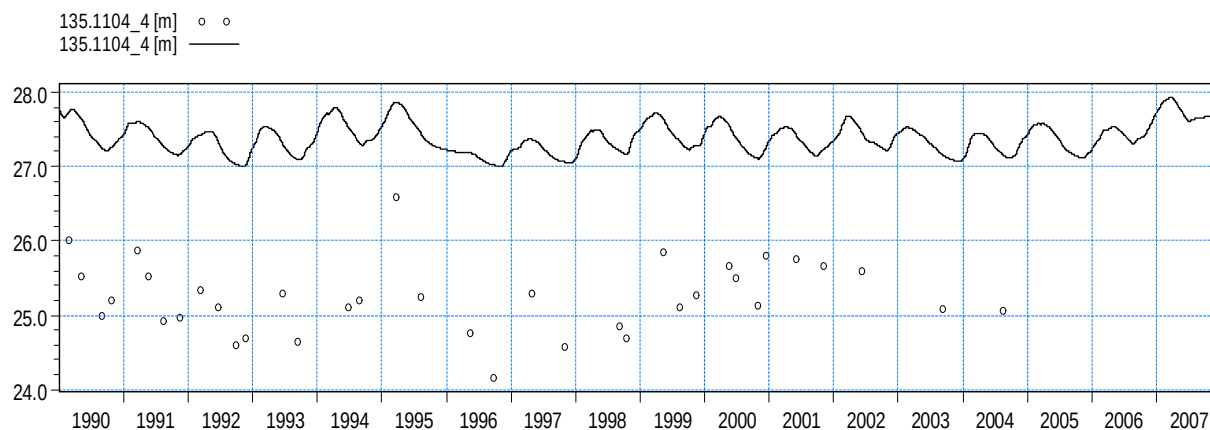
R2(Nash_Sutcliffe)=-1.33546

[< back](#)

Plot number 9

135.1104_4, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1104_4.dfs0, item no. 1



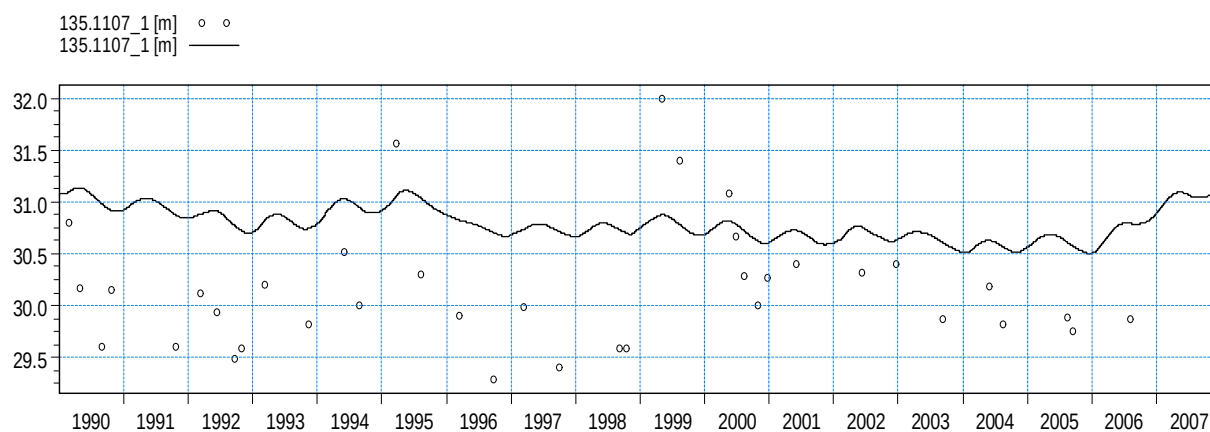
ME=-2.09046
MAE=2.09046
RMSE=2.11466
STDres=0.319026
R(Correlation)=0.853395
R2(Nash_Sutcliffe)=-18.5896

[< back](#)

Plot number 10

135.1107_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1107_1.dfs0, item no. 1



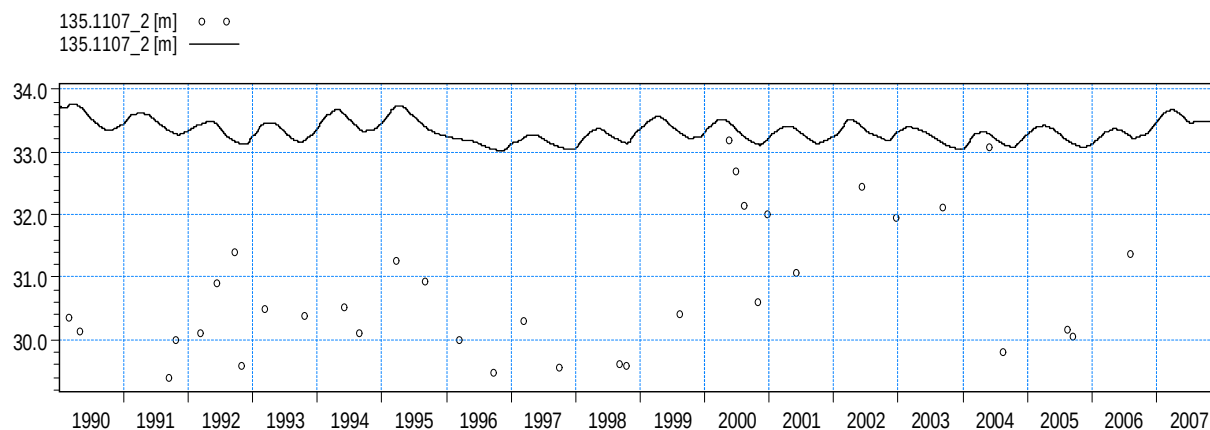
ME=-0.626047
MAE=0.753946
RMSE=0.82983
STDres=0.544686
R(Correlation)=0.352279
R2(Nash_Sutcliffe)=-1.05041

[< back](#)

Plot number 11

135.1107_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1107_2.dfs0, item no. 1



ME=-2.47487

MAE=2.47487

RMSE=2.69612

STDres=1.0696

R(Correlation)=0.240311

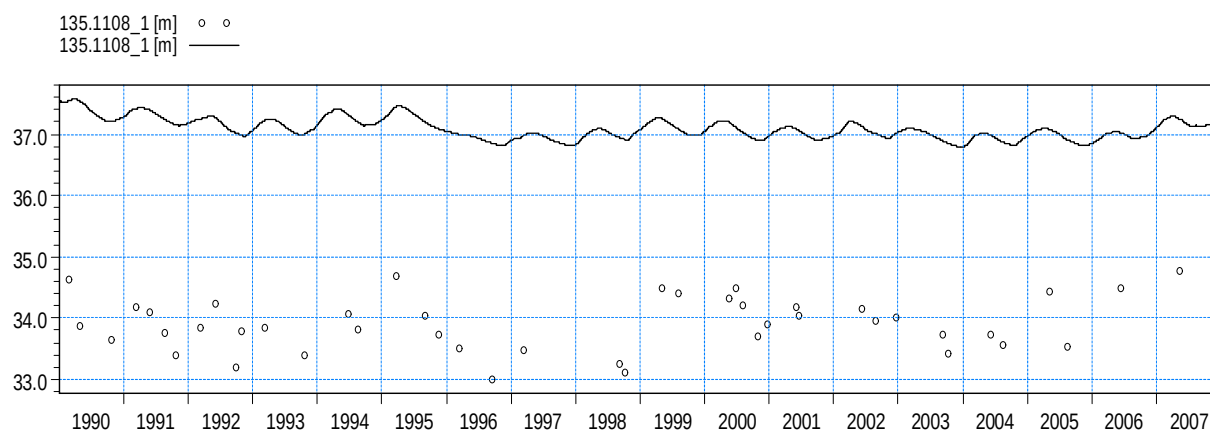
R2(Nash_Sutcliffe)=-5.02422

[< back](#)

Plot number 12

135.1108_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1108_1.dfs0, item no. 1



ME=-3.20567

MAE=3.20567

RMSE=3.22619

STDres=0.363296

R(Correlation)=0.572221

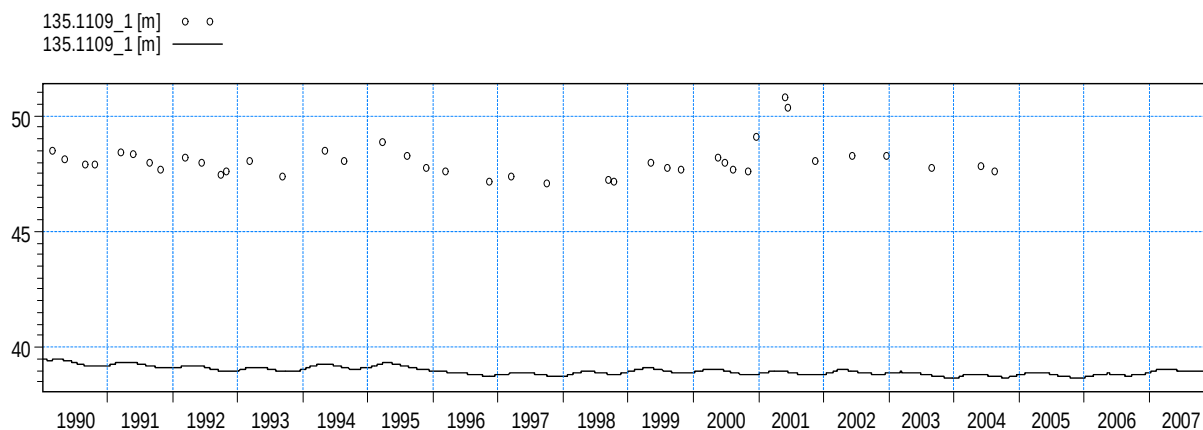
R2(Nash_Sutcliffe)=-54.0136

[< back](#)

Plot number 13

135.1109_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1109_1.dfs0, item no. 1



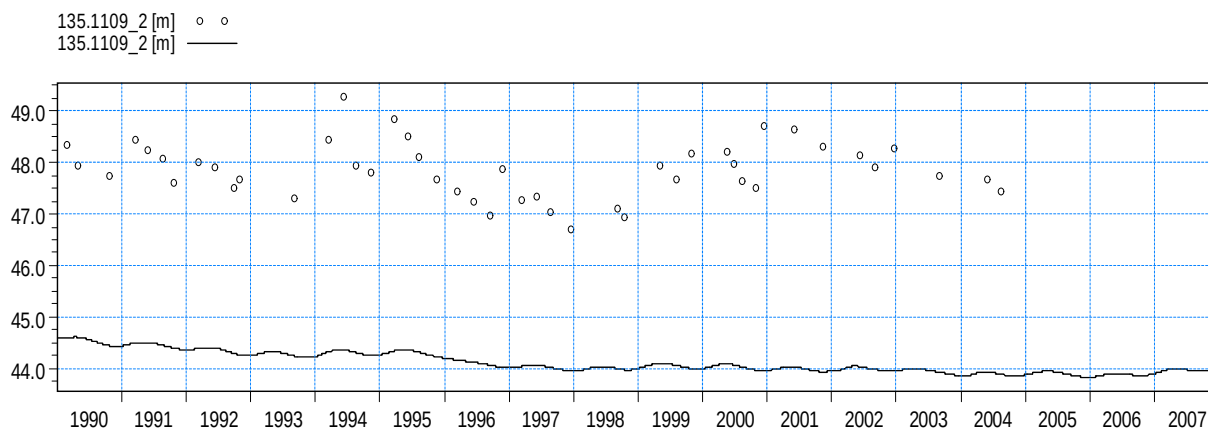
ME=9.0085
MAE=9.0085
RMSE=9.03546
STDres=0.697407
R(Correlation)=0.270641
R2(Nash_Sutcliffe)=-154.561

[< back](#)

Plot number 14

135.1109_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1109_2.dfs0, item no. 1



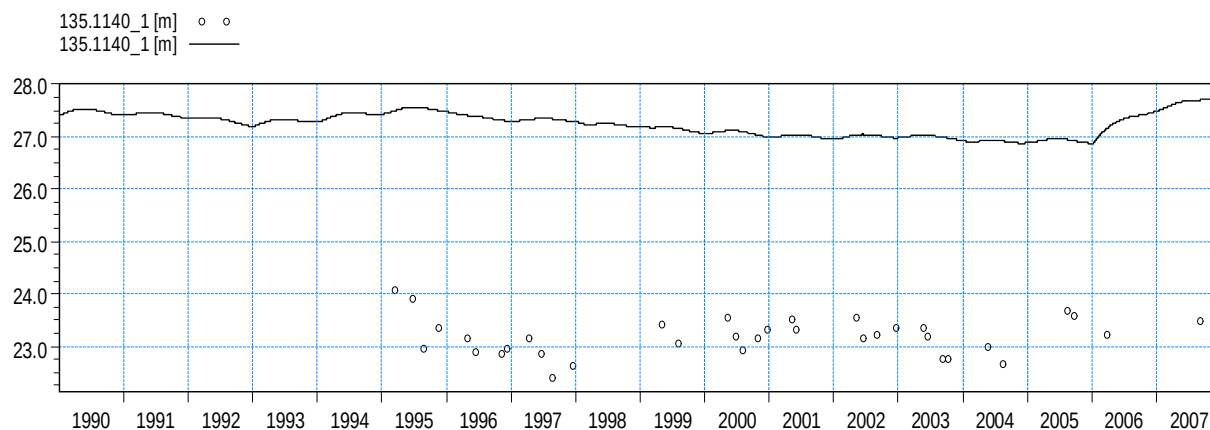
ME=3.6937
MAE=3.6937
RMSE=3.72768
STDres=0.502178
R(Correlation)=0.336696
R2(Nash_Sutcliffe)=-47.9298

[< back](#)

Plot number 15

135.1140_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1140_1.dfs0, item no. 1



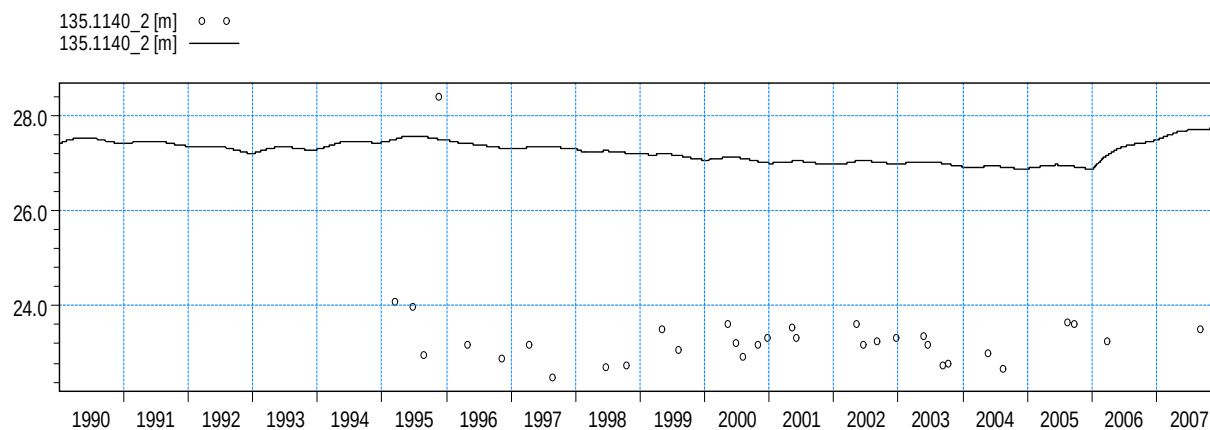
ME=-3.9942
MAE=3.9942
RMSE=4.01372
STDres=0.395362
R(Correlation)=0.0908805
R2(Nash_Sutcliffe)=-127.818

[< back](#)

Plot number 16

135.1140_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1140_2.dfs0, item no. 1



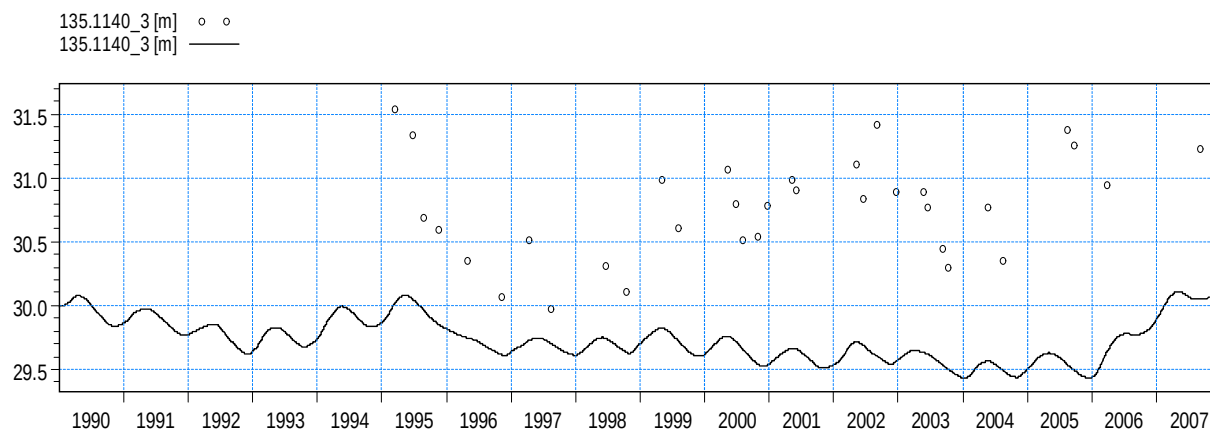
ME=-3.78675
MAE=3.84037
RMSE=3.89455
STDres=0.909966
R(Correlation)=0.322796
R2(Nash_Sutcliffe)=-15.5998

[< back](#)

Plot number 17

135.1140_3, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1140_3.dfs0, item no. 1



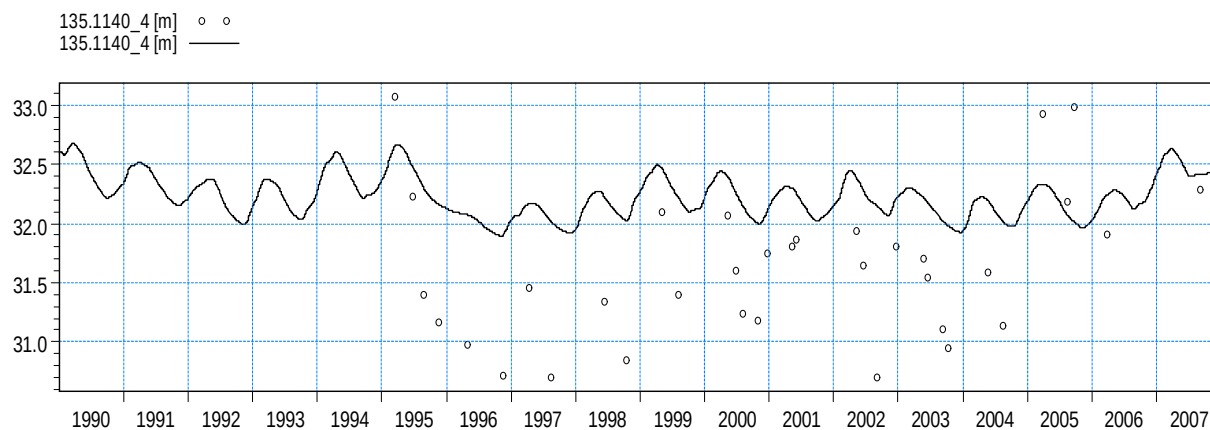
ME=1.07543
MAE=1.07543
RMSE=1.14045
STDres=0.379578
R(Correlation)=0.313367
R2(Nash_Sutcliffe)=-7.18607

[< back](#)

Plot number 18

135.1140_4, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1140_4.dfs0, item no. 1



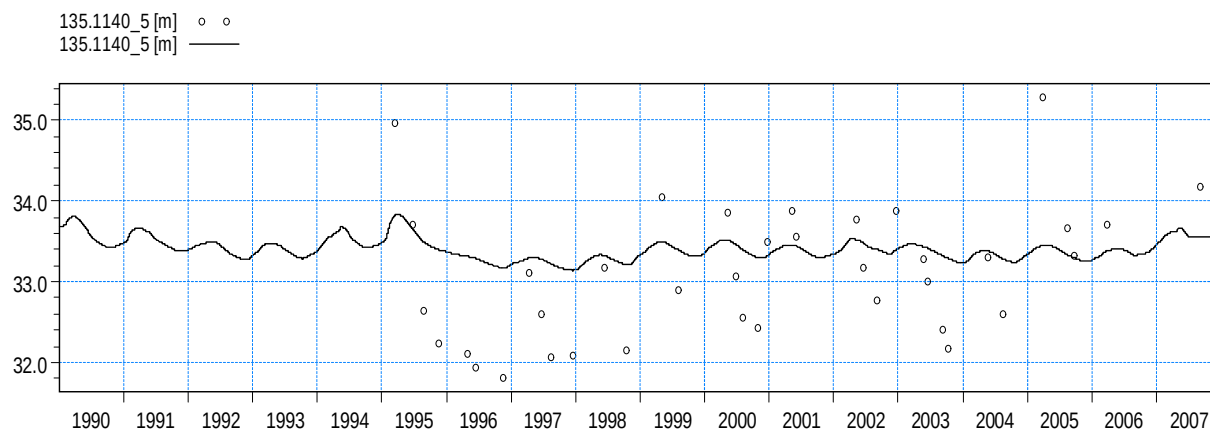
ME=-0.577052
MAE=0.699937
RMSE=0.77671
STDres=0.519894
R(Correlation)=0.660445
R2(Nash_Sutcliffe)=-0.601527

[< back](#)

Plot number 19

135.1140_5, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.1140_5.dfs0, item no. 1



ME=-0.292508

MAE=0.643993

RMSE=0.778828

STDres=0.721812

R(Correlation)=0.733624

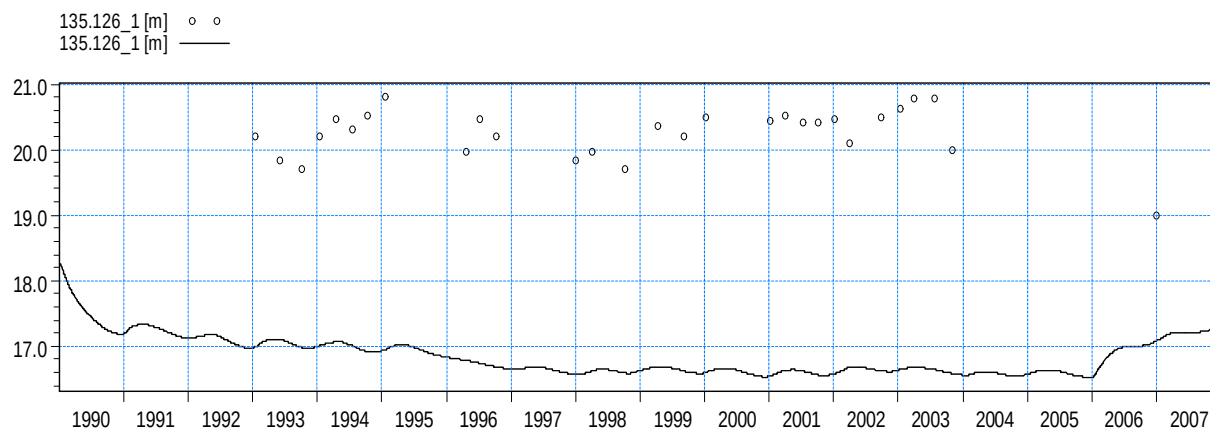
R2(Nash_Sutcliffe)=0.0828882

[< back](#)

Plot number 20

135.126_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.126_1.dfs0, item no. 1



ME=3.50469

MAE=3.50469

RMSE=3.53569

STDres=0.467102

R(Correlation)=-0.209714

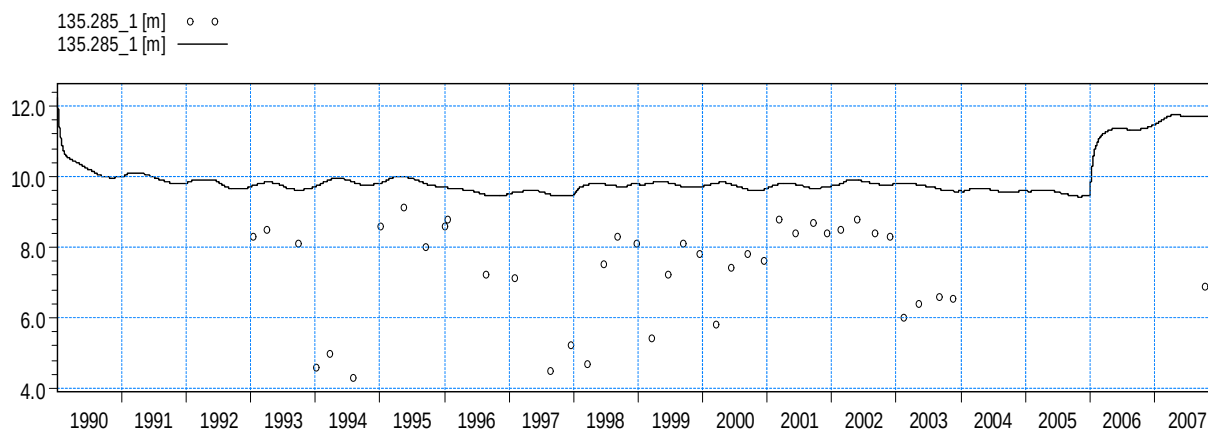
R2(Nash_Sutcliffe)=-81.1089

[< back](#)

Plot number 21

135.285_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\135.285_1.dfs0, item no. 1



ME=-2.47312

MAE=2.47312

RMSE=2.85638

STDres=1.42918

R(Correlation)=0.0213493

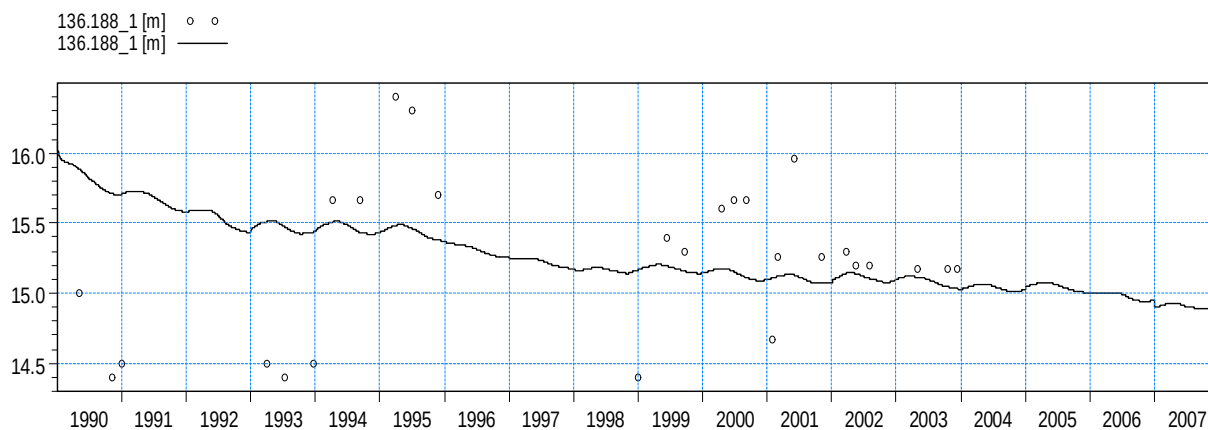
R2(Nash_Sutcliffe)=-3.17899

[< back](#)

Plot number 22

136.188_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.188_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.0517321

MAE=0.492589

RMSE=0.630794

STDres=0.62867

R(Correlation)=-0.192873

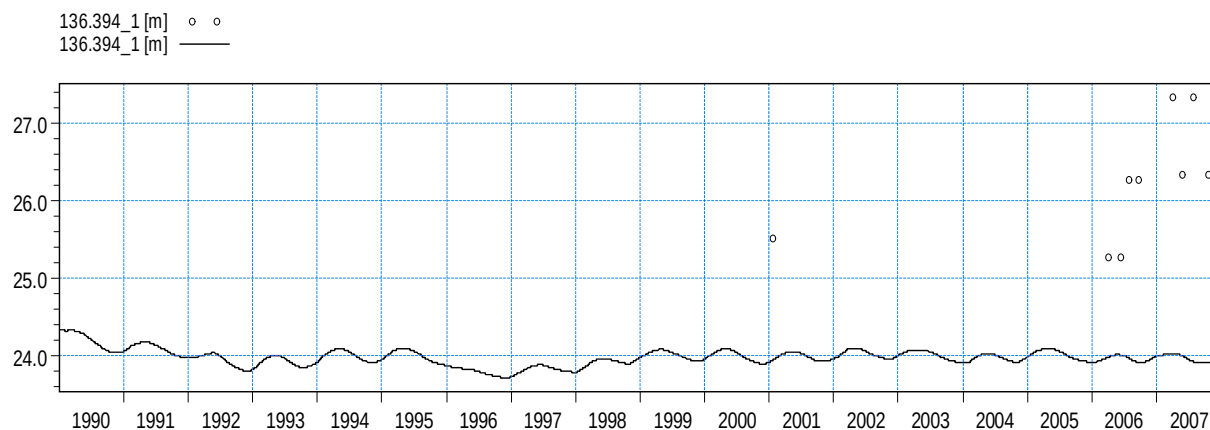
R2(Nash_Sutcliffe)=-0.347764

[< back](#)

Plot number 23

136.394_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.394_1.dfs0, item no. 1



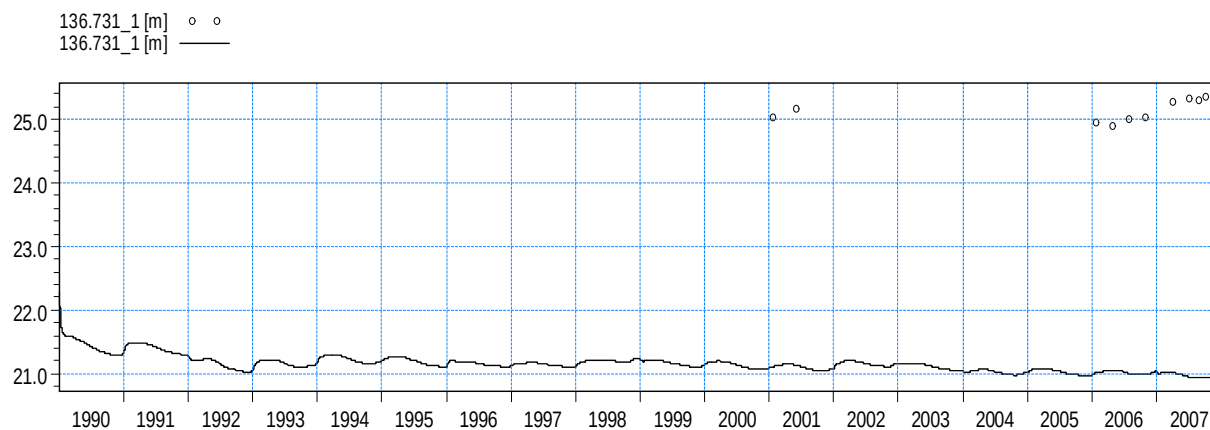
ME=2.26155
MAE=2.26155
RMSE=2.37891
STDres=0.737985
R(Correlation)=-0.0992722
R2(Nash_Sutcliffe)=-9.52868

[< back](#)

Plot number 24

136.731_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.731_1.dfs0, item no. 1



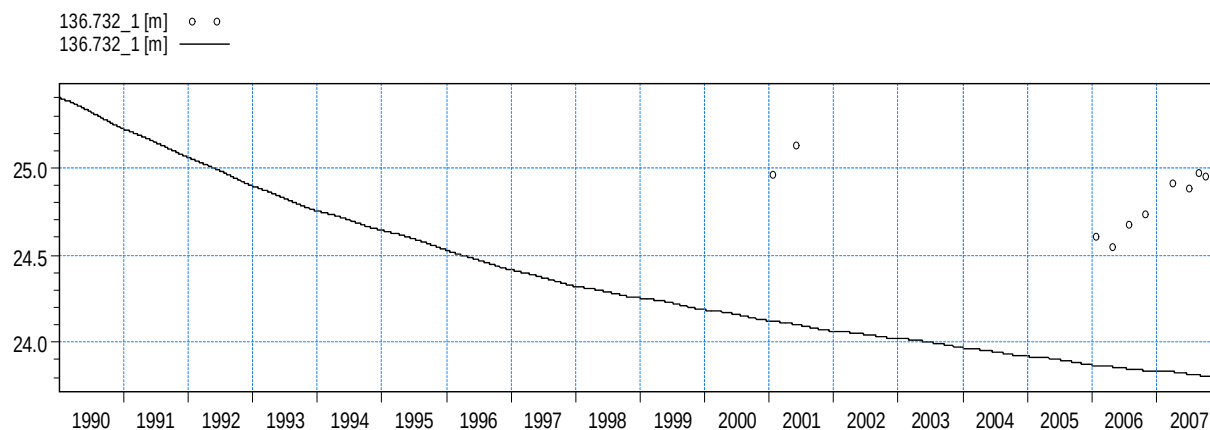
ME=4.11565
MAE=4.11565
RMSE=4.12056
STDres=0.201077
R(Correlation)=-0.475949
R2(Nash_Sutcliffe)=-637.309

[< back](#)

Plot number 25

136.732_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.732_1.dfs0, item no. 1



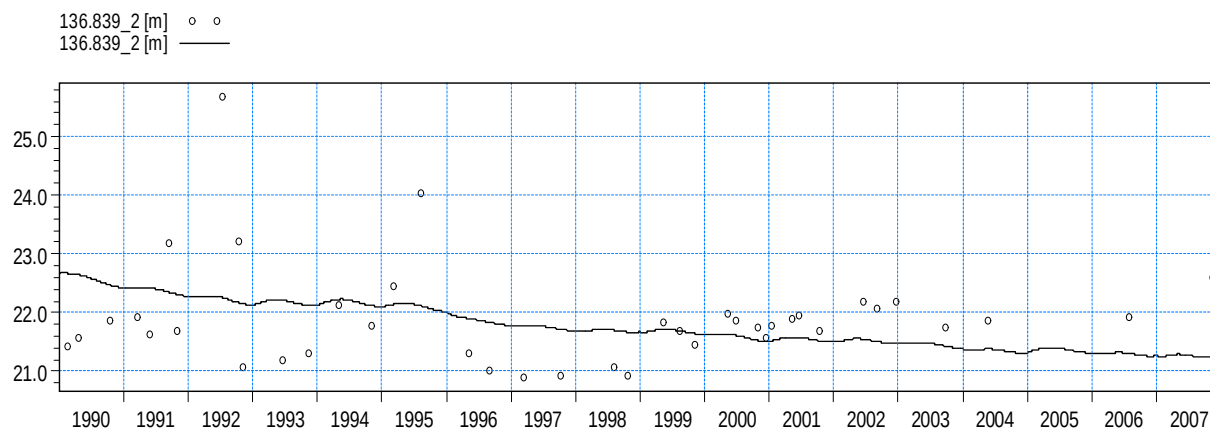
ME=0.94433
MAE=0.94433
RMSE=0.958118
STDres=0.16196
R(Correlation)=0.451448
R2(Nash_Sutcliffe)=-28.009

[< back](#)

Plot number 26

136.839_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.839_2.dfs0, item no. 1



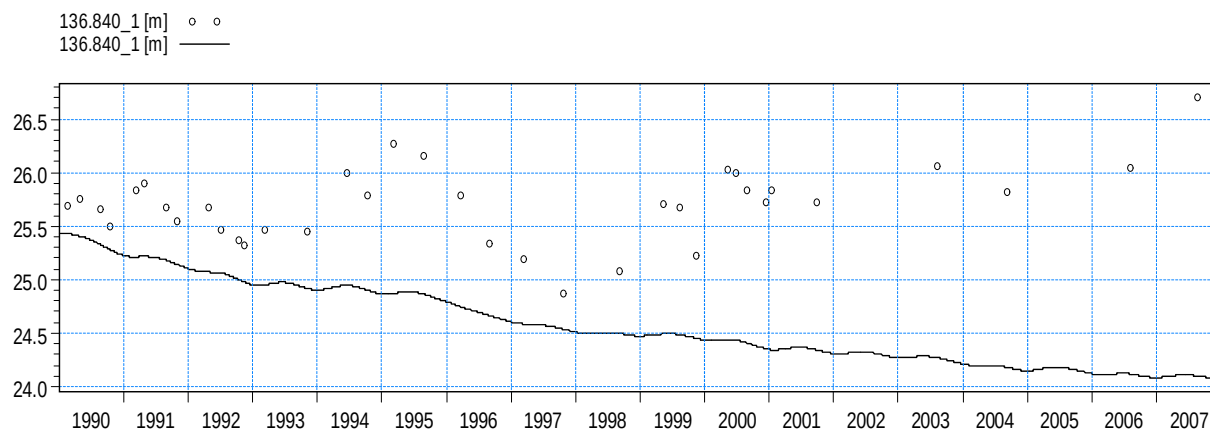
ME=0.0482722
MAE=0.675213
RMSE=0.891625
STDres=0.890317
R(Correlation)=0.145103
R2(Nash_Sutcliffe)=-0.0742992

[< back](#)

Plot number 27

136.840_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.840_1.dfs0, item no. 1



ME=0.941238

MAE=0.941238

RMSE=1.10024

STDres=0.569732

R(Correlation)=-0.205403

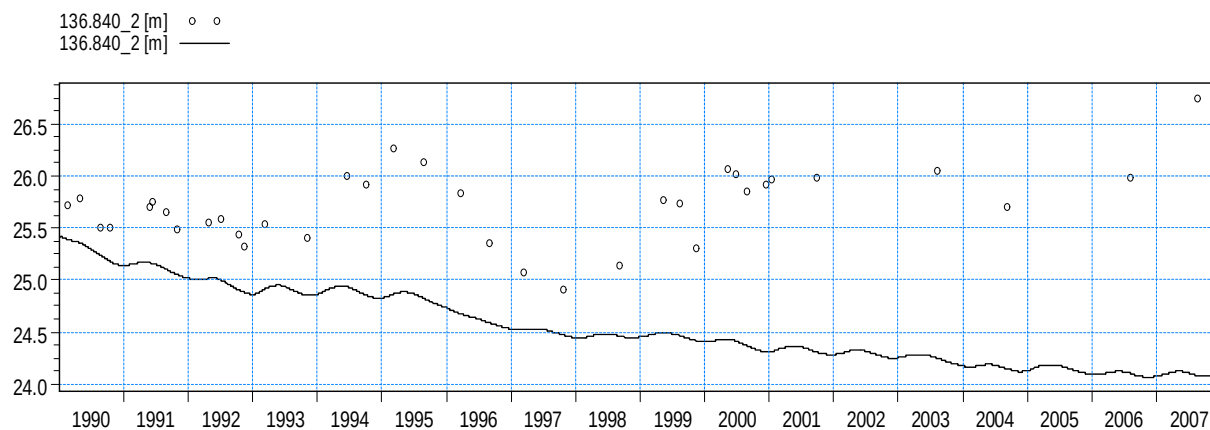
R2(Nash_Sutcliffe)=-8.90957

[< back](#)

Plot number 28

136.840_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.840_2.dfs0, item no. 1



ME=1.00484

MAE=1.00484

RMSE=1.15658

STDres=0.57269

R(Correlation)=-0.253615

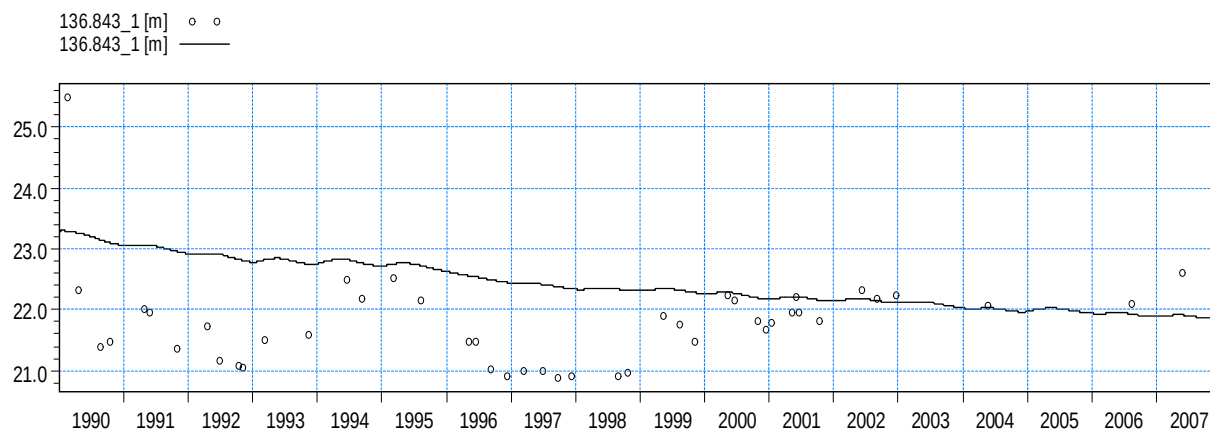
R2(Nash_Sutcliffe)=-9.66023

[< back](#)

Plot number 29

136.843_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.843_1.dfs0, item no. 1



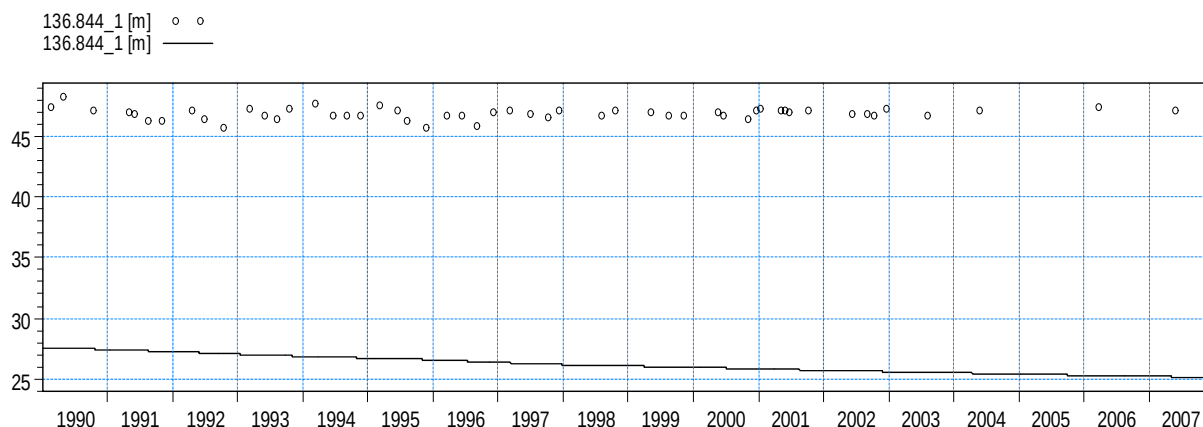
ME=-0.741162
MAE=0.892336
RMSE=1.08433
STDres=0.791493
R(Correlation)=0.1375
R2(Nash_Sutcliffe)=-1.07316

[< back](#)

Plot number 30

136.844_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.844_1.dfs0, item no. 1



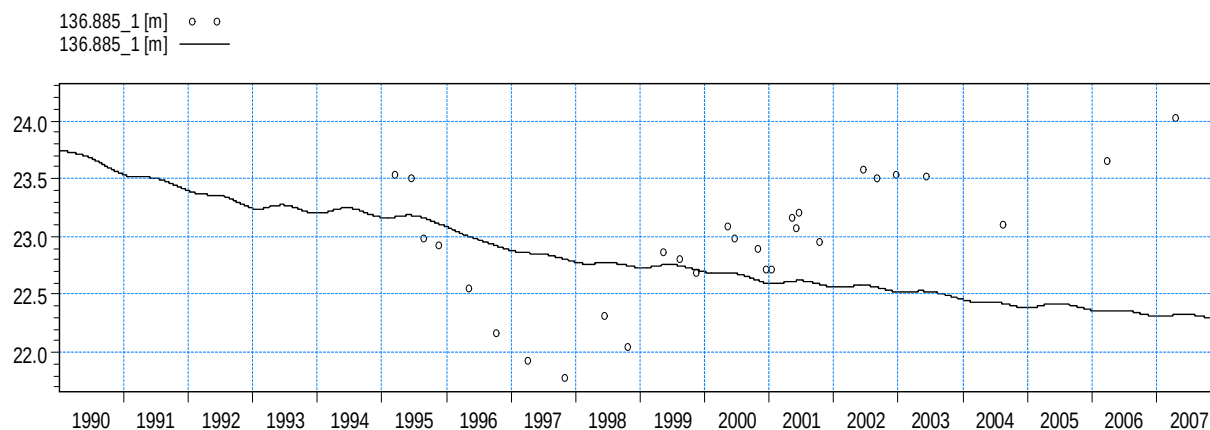
ME=20.4761
MAE=20.4761
RMSE=20.493
STDres=0.832073
R(Correlation)=-0.086372
R2(Nash_Sutcliffe)=-1897.61

[< back](#)

Plot number 31

136.885_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.885_1.dfs0, item no. 1



ME=0.240169

MAE=0.566021

RMSE=0.695923

STDres=0.653167

R(Correlation)=-0.334777

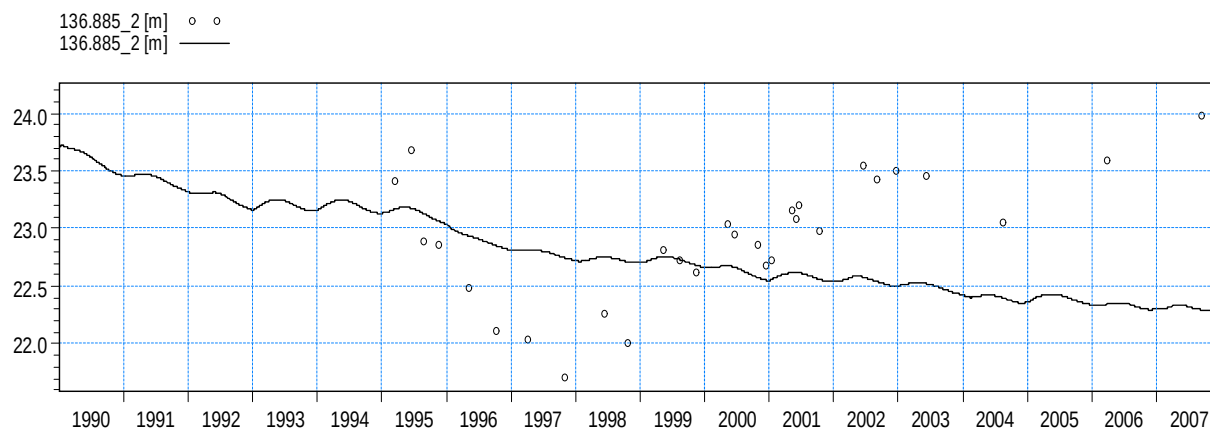
R2(Nash_Sutcliffe)=-0.658694

[< back](#)

Plot number 32

136.885_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.885_2.dfs0, item no. 1



ME=0.230879

MAE=0.556247

RMSE=0.679452

STDres=0.639022

R(Correlation)=-0.271276

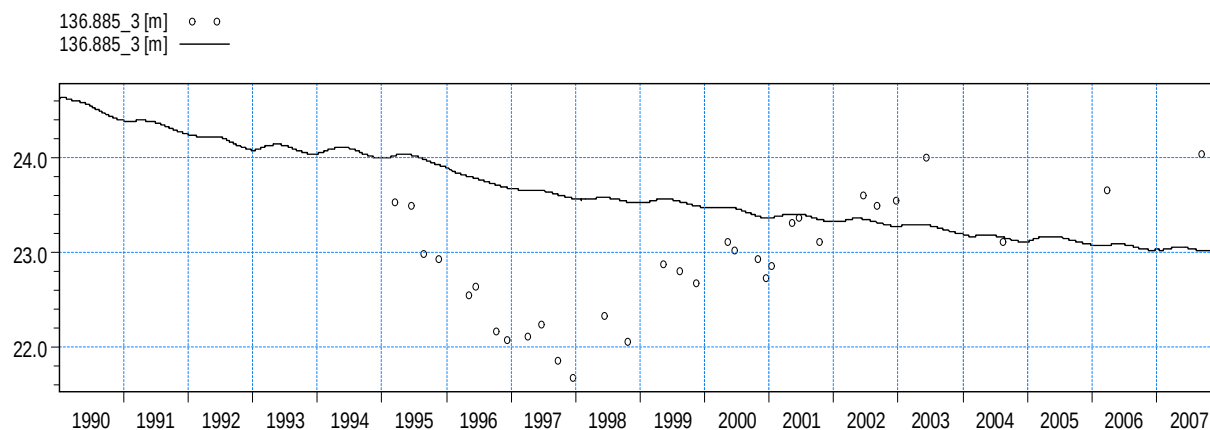
R2(Nash_Sutcliffe)=-0.578339

[< back](#)

Plot number 33

136.885_3, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.885_3.dfs0, item no. 1



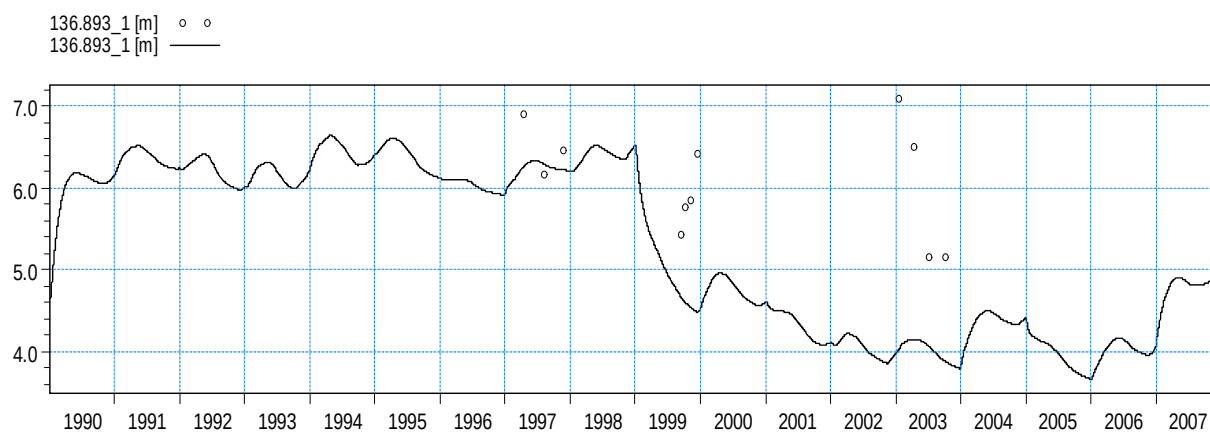
ME=-0.623345
MAE=0.809589
RMSE=0.968235
STDres=0.740892
R(Correlation)=-0.390184
R2(Nash_Sutcliffe)=-1.55906

[< back](#)

Plot number 34

136.893_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.893_1.dfs0, item no. 1



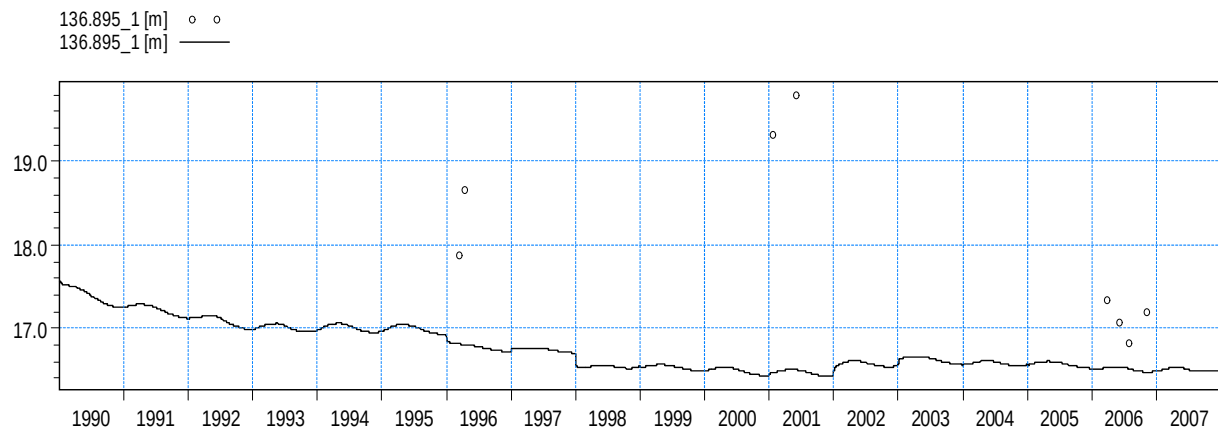
ME=1.24317
MAE=1.26731
RMSE=1.52245
STDres=0.878852
R(Correlation)=0.392311
R2(Nash_Sutcliffe)=-4.7344

[< back](#)

Plot number 35

136.895_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\136.895_1.dfs0, item no. 1



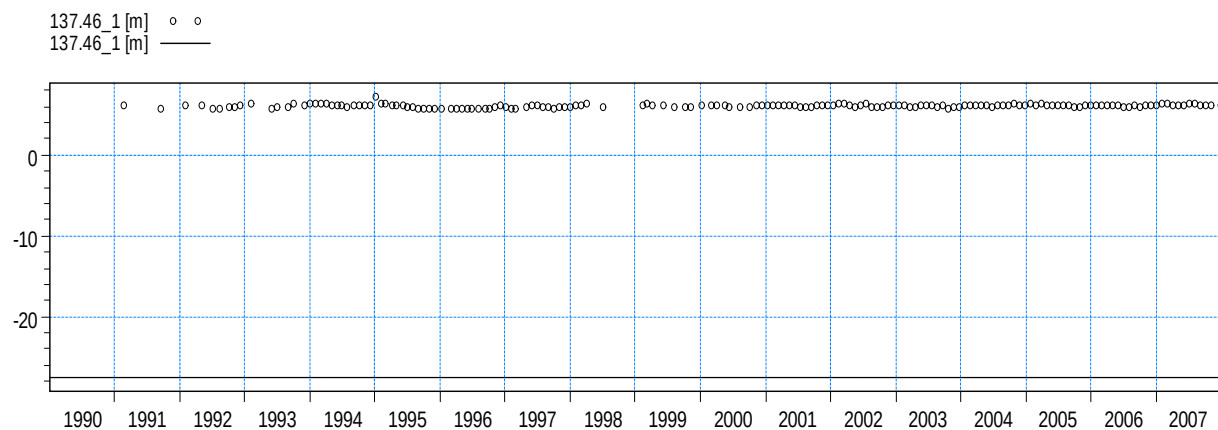
ME=1.46667
MAE=1.46667
RMSE=1.76969
STDres=0.990293
R(Correlation)=0.141126
R2(Nash_Sutcliffe)=-2.12992

[< back](#)

Plot number 36

137.46_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\137.46_1.dfs0, item no. 1



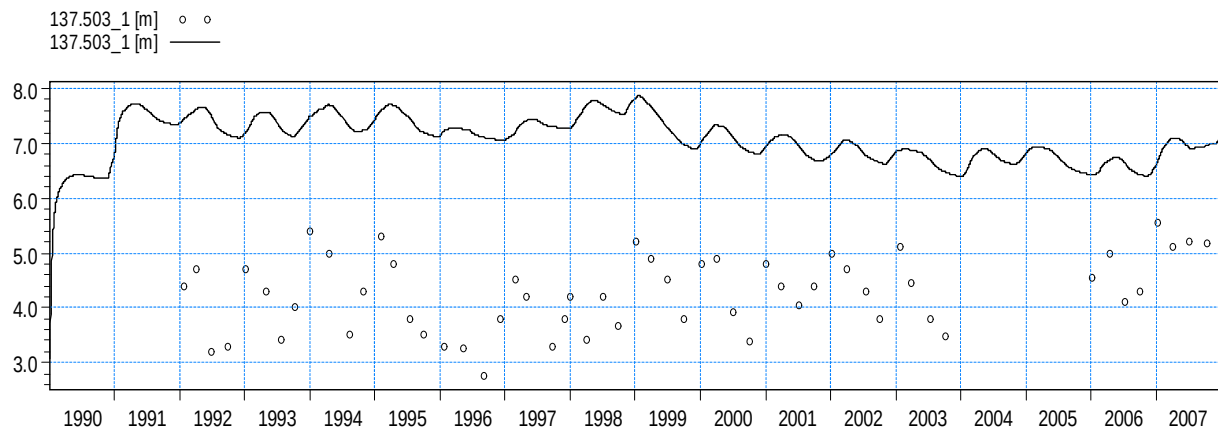
ME=33.5818
MAE=33.5818
RMSE=33.5821
STDres=0.143855
R(Correlation)=-0.532262
R2(Nash_Sutcliffe)=-55936

[< back](#)

Plot number 37

137.503_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\137.503_1.dfs0, item no. 1



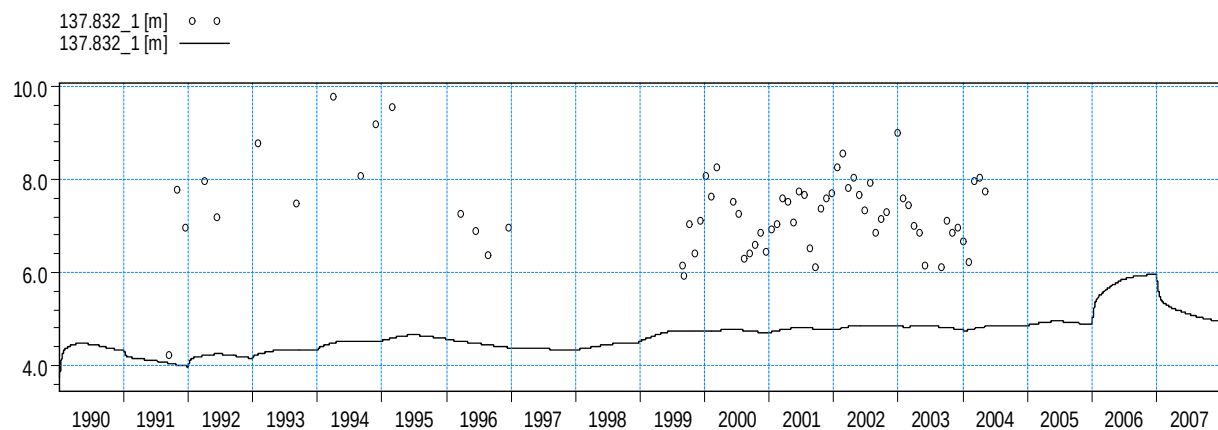
ME=-2.89256
MAE=2.89256
RMSE=2.98918
STDres=0.753854
R(Correlation)=0.0161401
R2(Nash_Sutcliffe)=-18.7723

[< back](#)

Plot number 38

137.832_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\137.832_1.dfs0, item no. 1



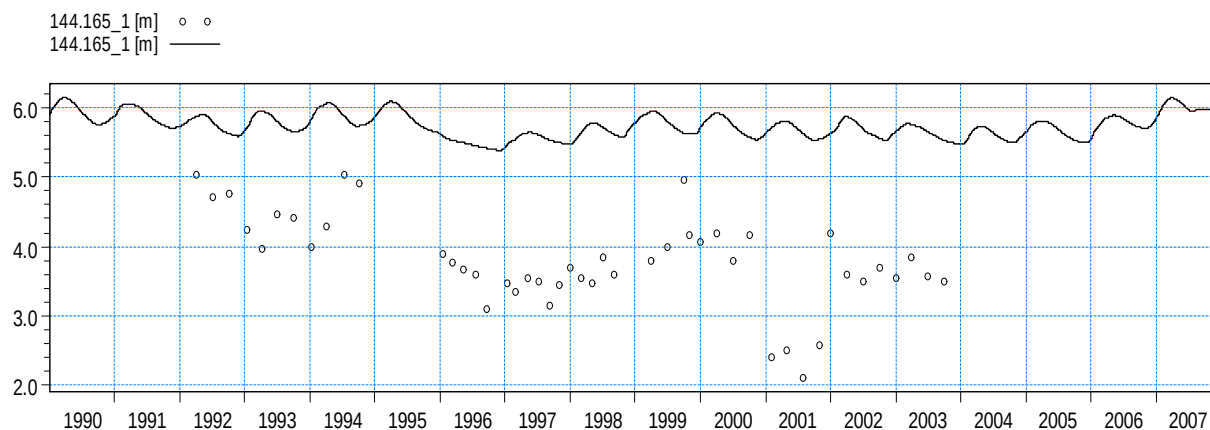
ME=2.42552
MAE=2.42552
RMSE=2.52502
STDres=0.701842
R(Correlation)=0.205647
R2(Nash_Sutcliffe)=-11.5608

[< back](#)

Plot number 39

144.165_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\144.165_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.88152

MAE=1.88152

RMSE=1.9774

STDres=0.608271

R(Correlation)=0.362826

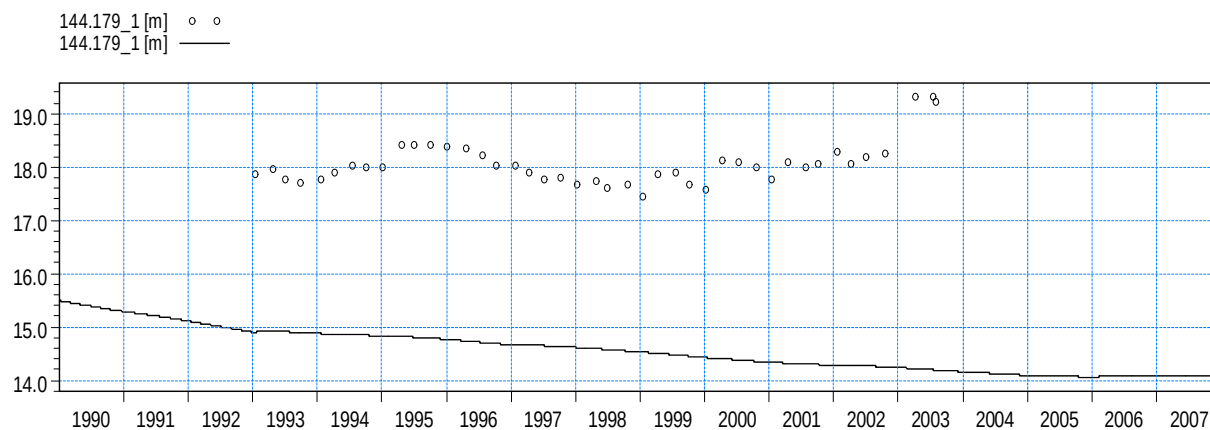
R2(Nash_Sutcliffe)=-8.36981

[< back](#)

Plot number 40

144.179_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\144.179_1.dfs0, item no. 1



ME=3.48092

MAE=3.48092

RMSE=3.52235

STDres=0.538651

R(Correlation)=-0.352331

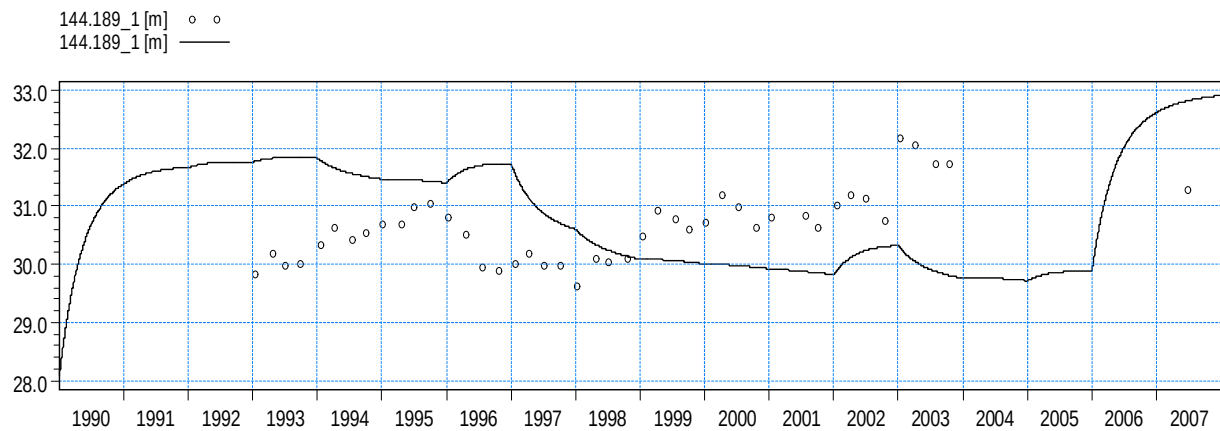
R2(Nash_Sutcliffe)=-72.8912

[< back](#)

Plot number 41

144.189_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\144.189_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.127478

MAE=1.06172

RMSE=1.18745

STDres=1.18059

R(Correlation)=-0.404647

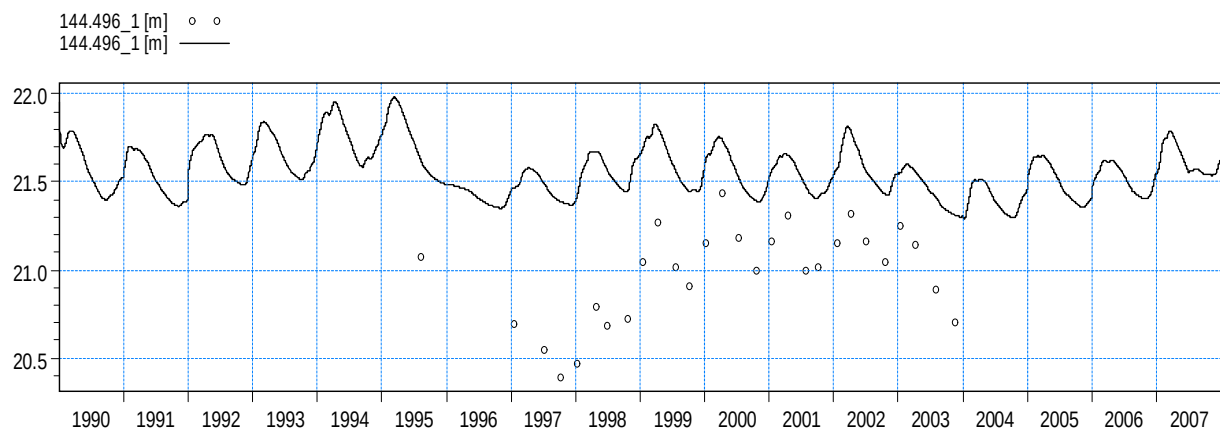
R2(Nash_Sutcliffe)=-3.10798

[< back](#)

Plot number 42

144.496_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\144.496_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.568421

MAE=0.568421

RMSE=0.606108

STDres=0.210391

R(Correlation)=0.650173

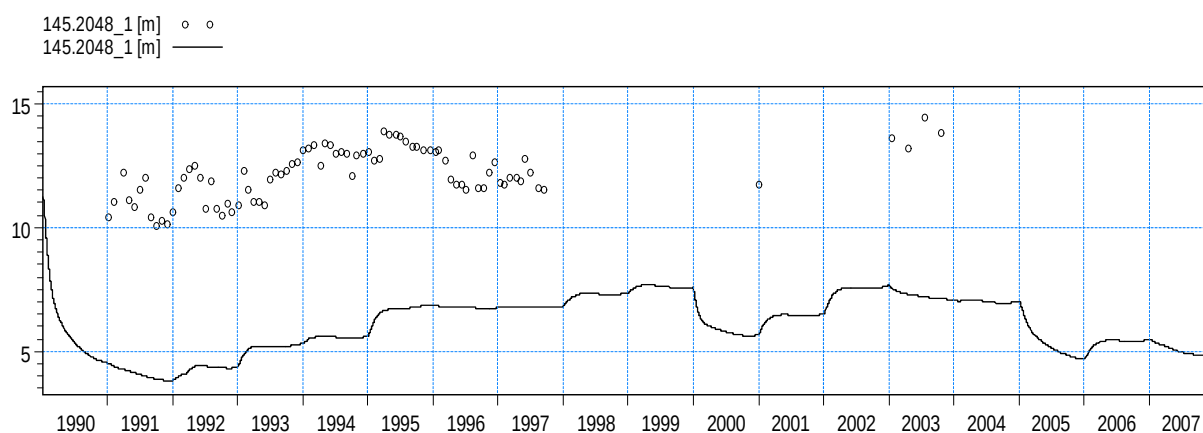
R2(Nash_Sutcliffe)=-4.10283

[< back](#)

Plot number 43

145.2048_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\145.2048_1.dfs0, item no. 1



ME=6.52712

MAE=6.52712

RMSE=6.59112

STDres=0.916275

R(Correlation)=0.633711

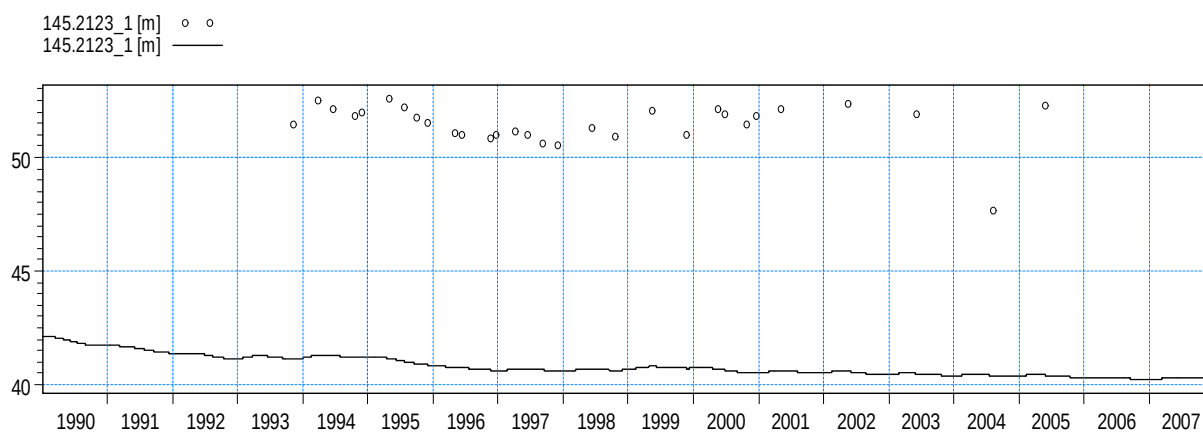
R2(Nash_Sutcliffe)=-41.2466

[< back](#)

Plot number 44

145.2123_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\145.2123_1.dfs0, item no. 1



ME=10.6889

MAE=10.6889

RMSE=10.7214

STDres=0.834408

R(Correlation)=0.441877

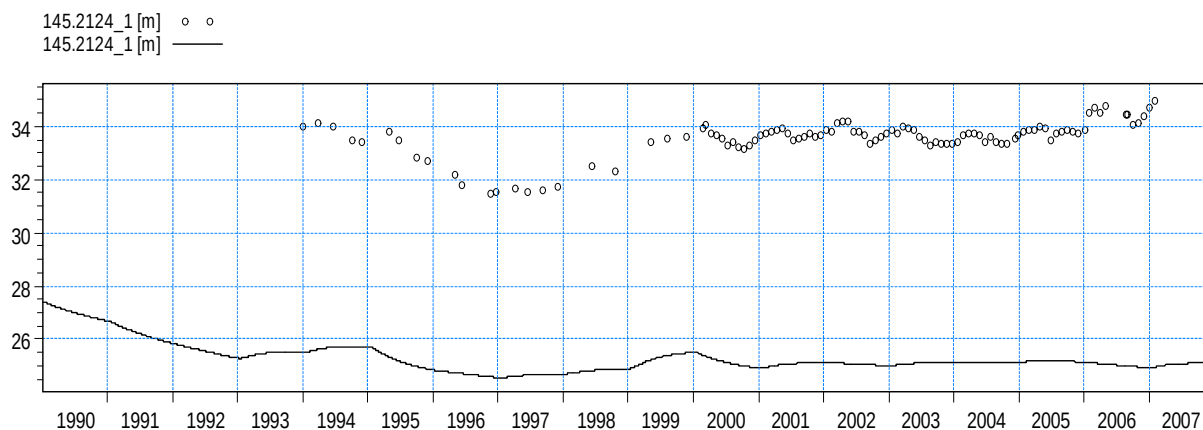
R2(Nash_Sutcliffe)=-136.318

[< back](#)

Plot number 45

145.2124_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\145.2124_1.dfs0, item no. 1



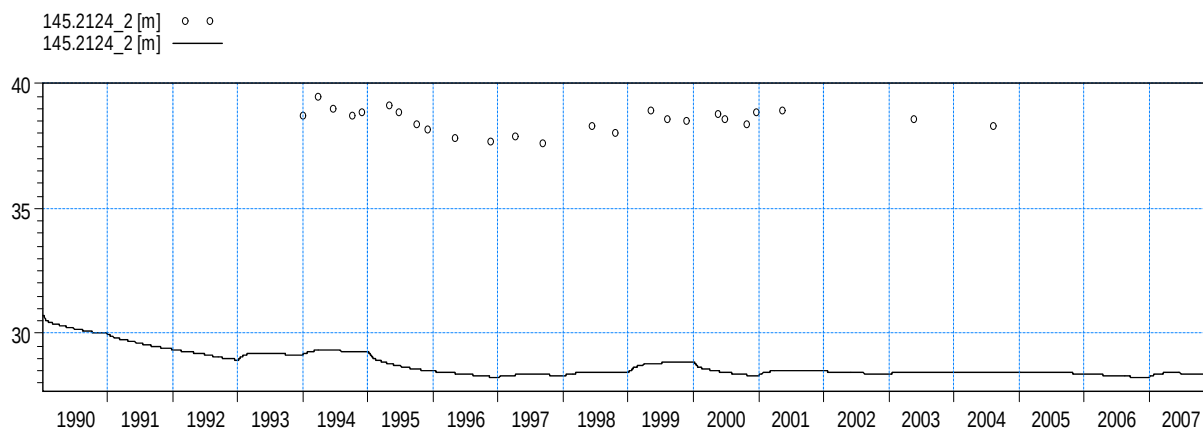
ME=8.68332
MAE=8.68332
RMSE=8.69371
STDres=0.424954
R(Correlation)=-0.14084
R2(Nash_Sutcliffe)=-459.359

[< back](#)

Plot number 46

145.2124_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\145.2124_2.dfs0, item no. 1



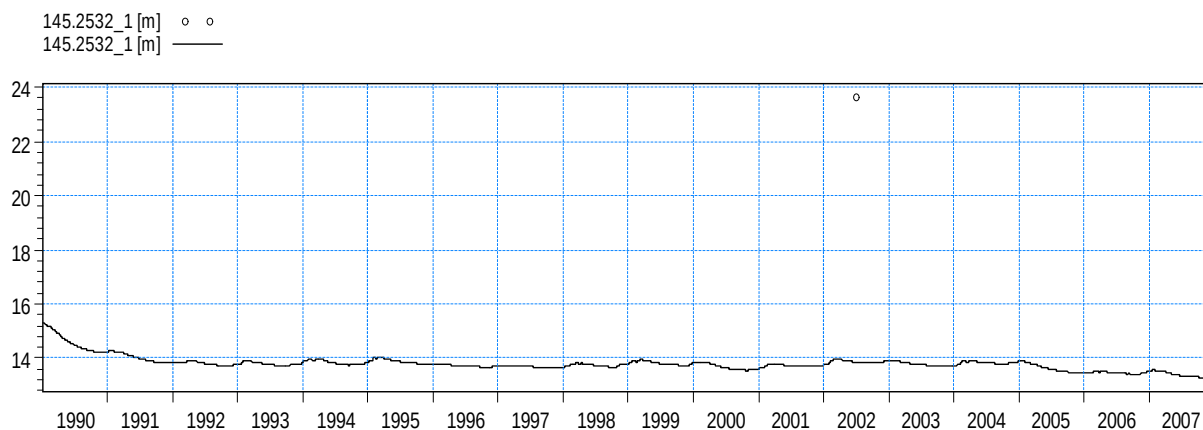
ME=9.84265
MAE=9.84265
RMSE=9.84883
STDres=0.34898
R(Correlation)=0.657657
R2(Nash_Sutcliffe)=-455.756

[< back](#)

Plot number 47

145.2532_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\145.2532_1.dfs0, item no. 1



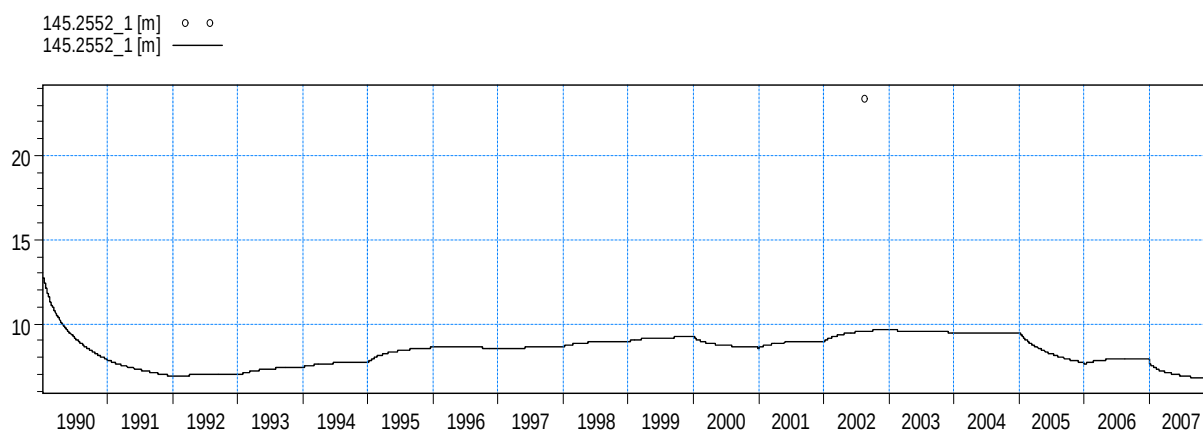
ME=9.76016
MAE=9.76016
RMSE=9.76016
STDres=0
R(Correlation)=-1
R2(Nash_Sutcliffe)=-1

[< back](#)

Plot number 48

145.2552_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\145.2552_1.dfs0, item no. 1



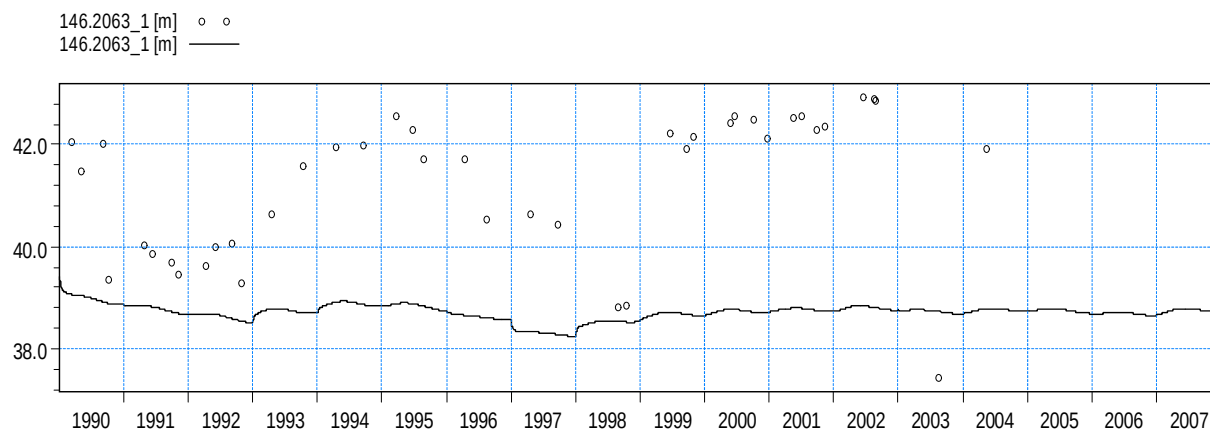
ME=13.7782
MAE=13.7782
RMSE=13.7782
STDres=0
R(Correlation)=-1
R2(Nash_Sutcliffe)=-1

[< back](#)

Plot number 49

146.2063_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\146.2063_1.dfs0, item no. 1



ME=2.50607

MAE=2.56796

RMSE=2.83186

STDres=1.31873

R(Correlation)=0.405411

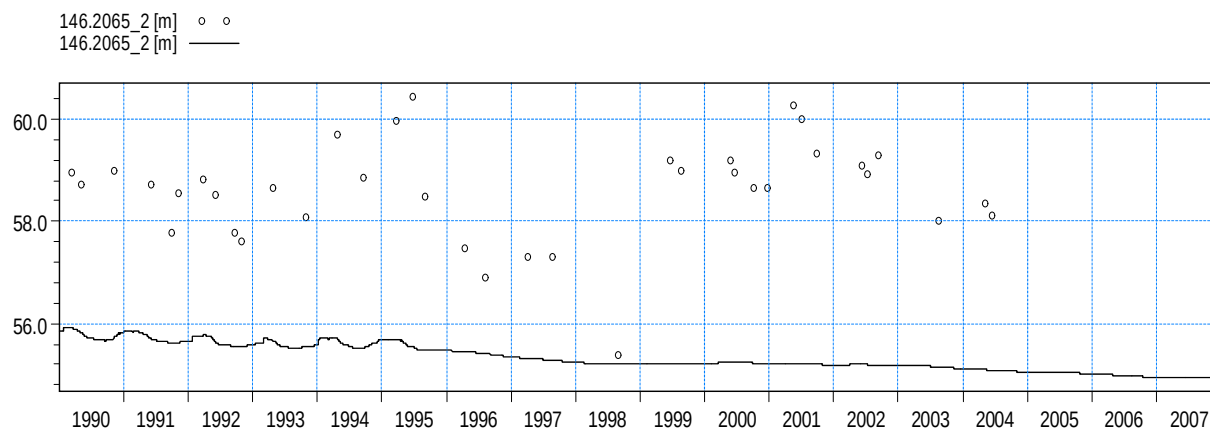
R2(Nash_Sutcliffe)=-3.25262

[< back](#)

Plot number 50

146.2065_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\146.2065_2.dfs0, item no. 1



ME=3.18541

MAE=3.18541

RMSE=3.32882

STDres=0.966536

R(Correlation)=0.0841302

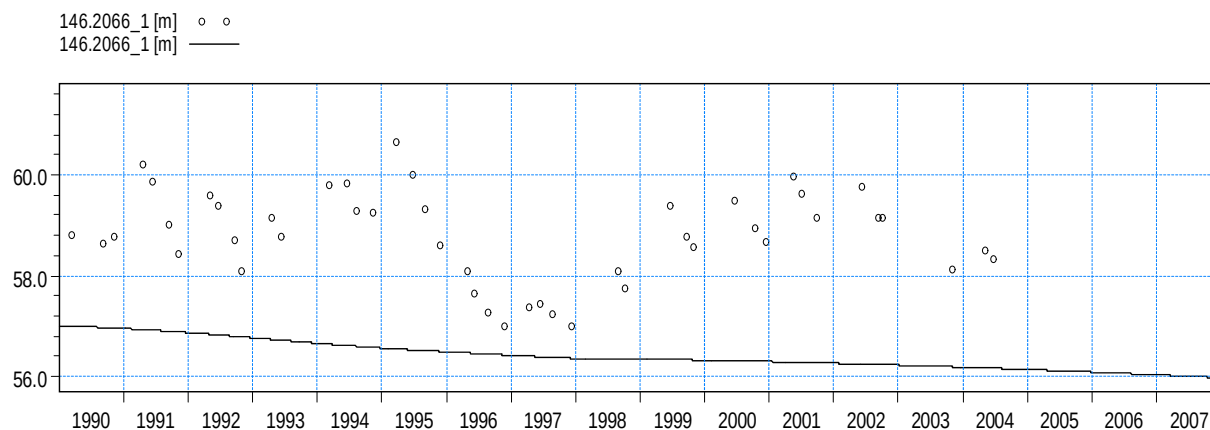
R2(Nash_Sutcliffe)=-11.0675

[< back](#)

Plot number 51

146.2066_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\146.2066_1.dfs0, item no. 1



ME=2.29923

MAE=2.29923

RMSE=2.45957

STDres=0.873514

R(Correlation)=0.198999

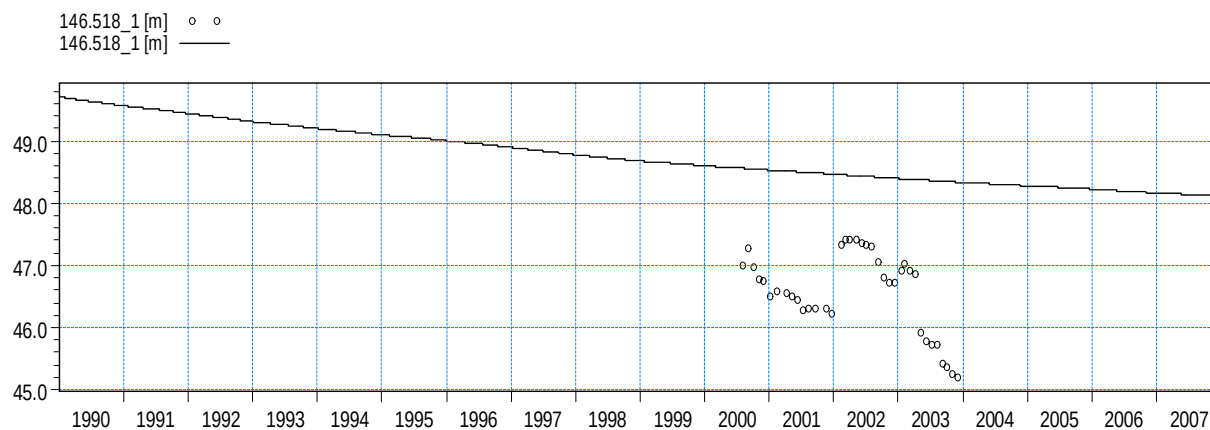
R2(Nash_Sutcliffe)=-6.66807

[< back](#)

Plot number 52

146.518_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\146.518_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.8729

MAE=1.8729

RMSE=1.9653

STDres=0.595523

R(Correlation)=0.440374

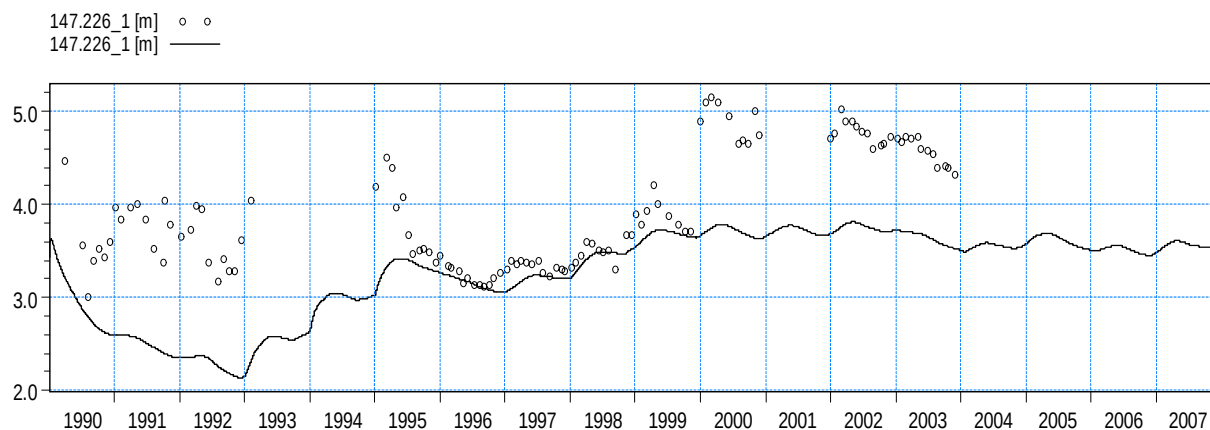
R2(Nash_Sutcliffe)=-8.98952

[< back](#)

Plot number 53

147.226_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\147.226_1.dfs0, item no. 1



ME=0.715467

MAE=0.721009

RMSE=0.896913

STDres=0.540888

R(Correlation)=0.532647

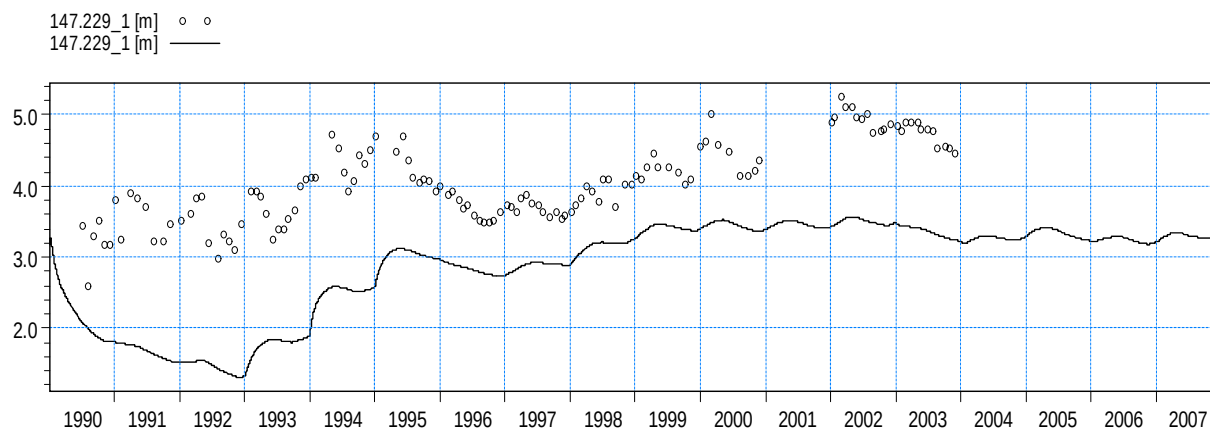
R2(Nash_Sutcliffe)=-1.24753

[< back](#)

Plot number 54

147.229_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\147.229_1.dfs0, item no. 1



ME=1.31109

MAE=1.31109

RMSE=1.40079

STDres=0.493225

R(Correlation)=0.733933

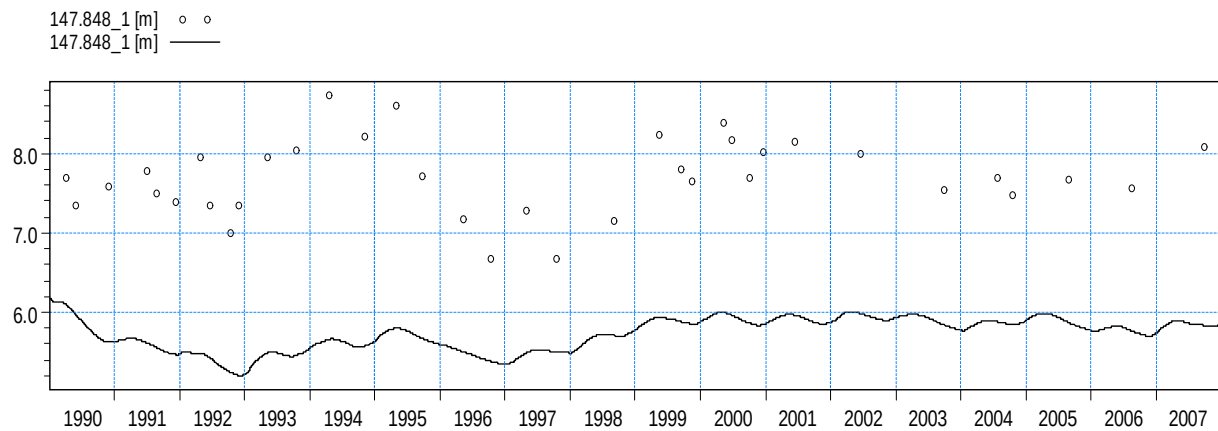
R2(Nash_Sutcliffe)=-5.6456

[< back](#)

Plot number 55

147.848_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\147.848_1.dfs0, item no. 1



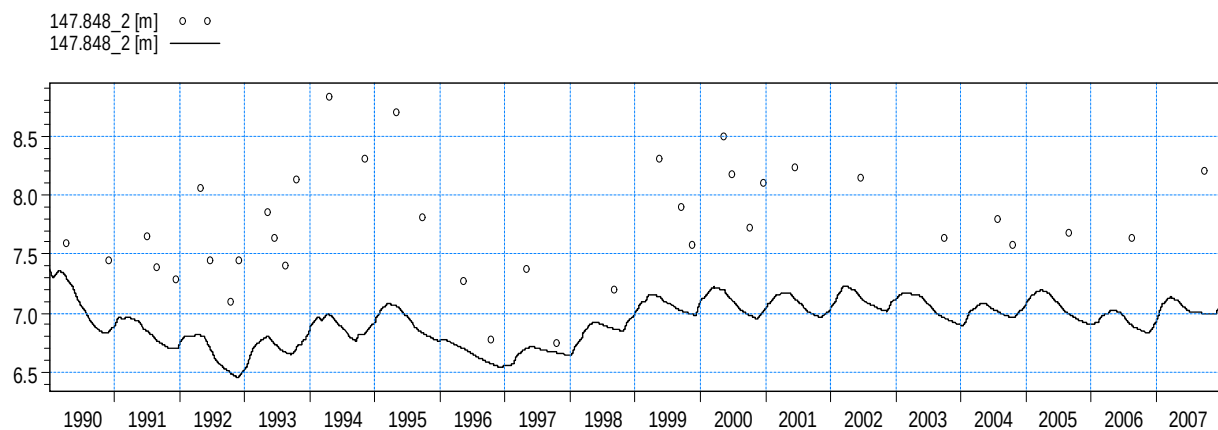
ME=1.98458
MAE=1.98458
RMSE=2.0278
STDres=0.416431
R(Correlation)=0.462233
R2(Nash_Sutcliffe)=-17.6494

[< back](#)

Plot number 56

147.848_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\147.848_2.dfs0, item no. 1



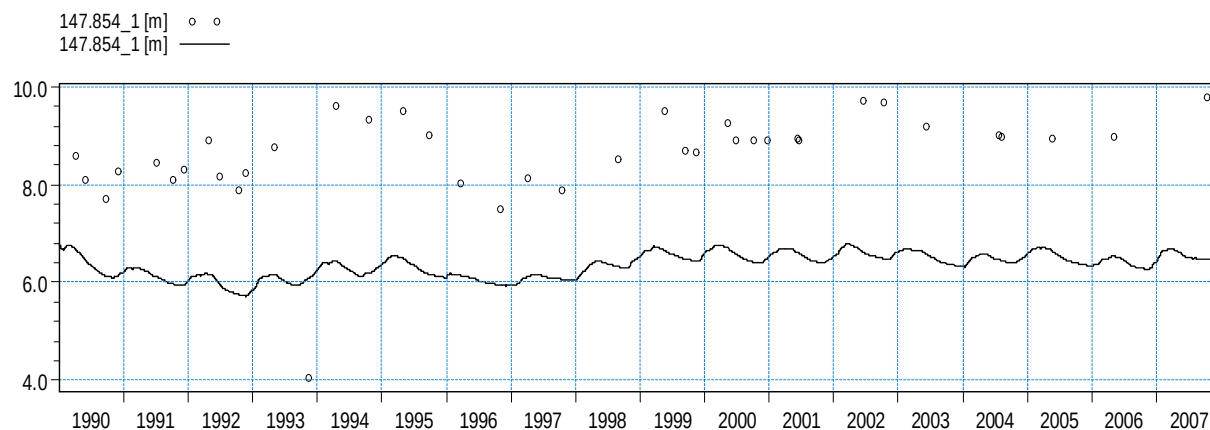
ME=0.853889
MAE=0.853889
RMSE=0.936243
STDres=0.38396
R(Correlation)=0.632949
R2(Nash_Sutcliffe)=-2.87293

[< back](#)

Plot number 57

147.854_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\147.854_1.dfs0, item no. 1



ME=2.29521

MAE=2.39642

RMSE=2.43626

STDres=0.816915

R(Correlation)=0.541719

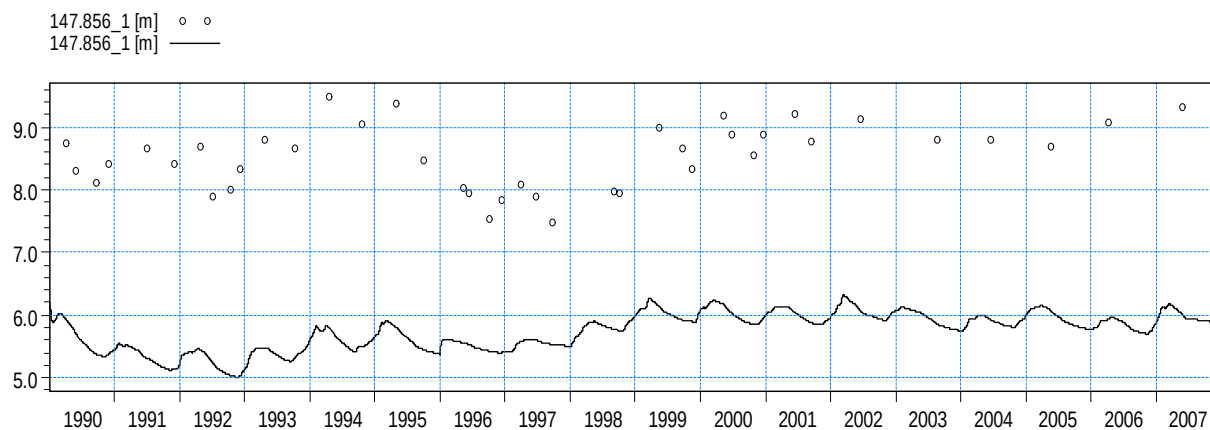
R2(Nash_Sutcliffe)=-5.88675

[< back](#)

Plot number 58

147.856_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\147.856_1.dfs0, item no. 1



ME=2.86965

MAE=2.86965

RMSE=2.8998

STDres=0.417108

R(Correlation)=0.581093

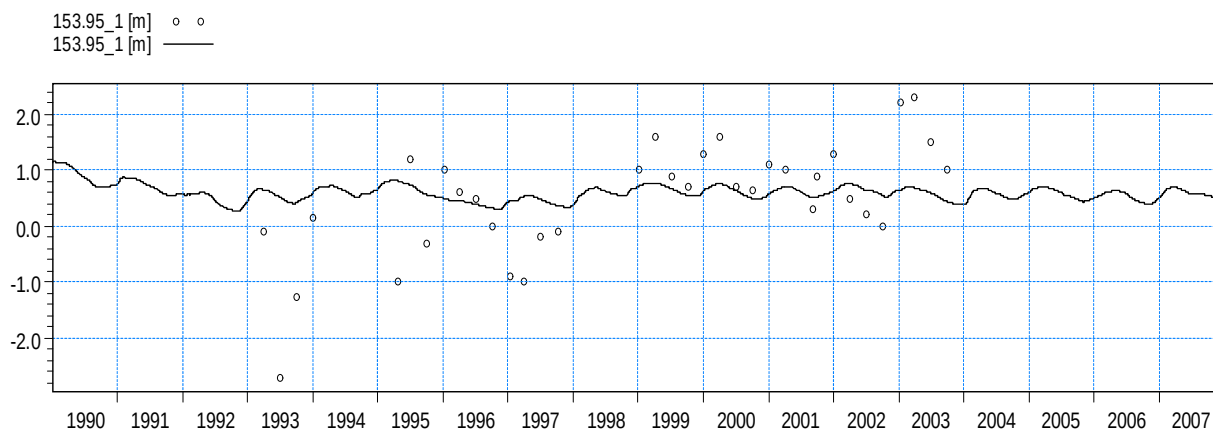
R2(Nash_Sutcliffe)=-31.0355

[< back](#)

Plot number 59

153.95_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\153.95_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.105679

MAE=0.730407

RMSE=0.975097

STDres=0.969353

R(Correlation)=0.38007

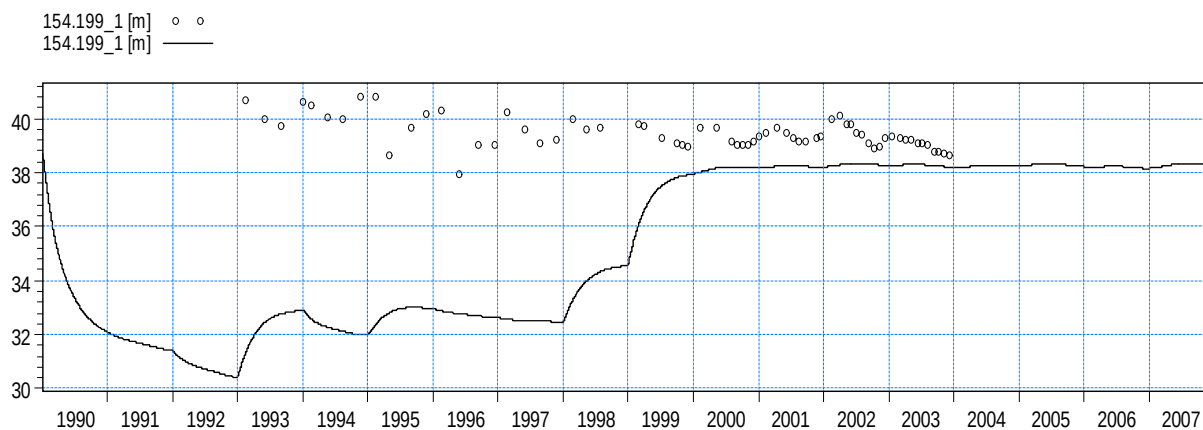
R2(Nash_Sutcliffe)=0.0660005

[< back](#)

Plot number 60

154.199_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\154.199_1.dfs0, item no. 1



ME=3.00271

MAE=3.00271

RMSE=4.11951

STDres=2.82031

R(Correlation)=-0.444009

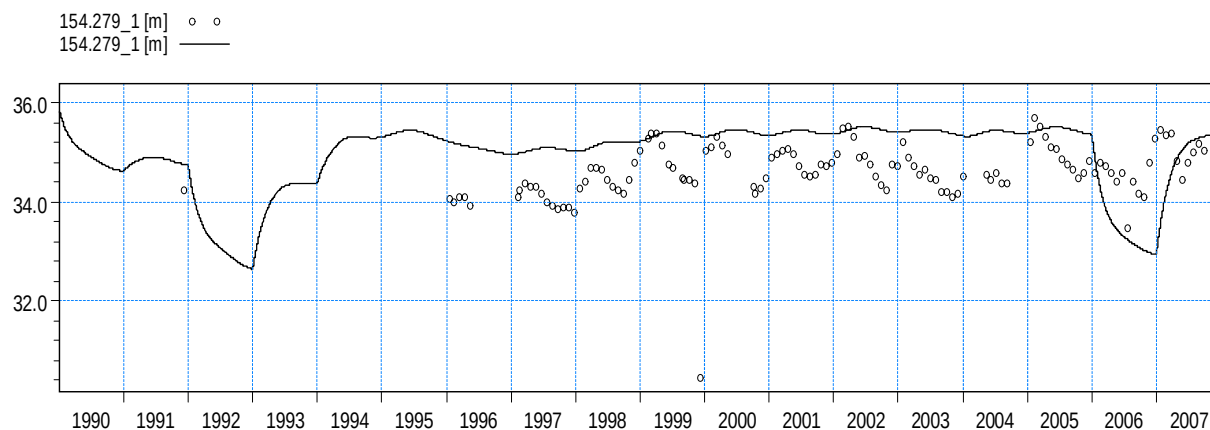
R2(Nash_Sutcliffe)=-58.0161

[< back](#)

Plot number 61

154.279_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\154.279_1.dfs0, item no. 1



ME=-0.528078

MAE=0.79346

RMSE=0.890161

STDres=0.716603

R(Correlation)=0.0782805

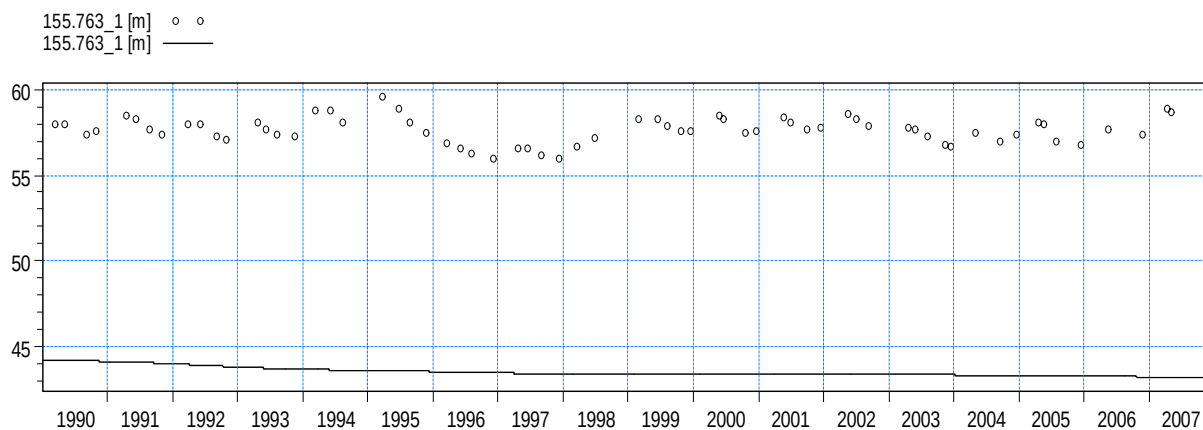
R2(Nash_Sutcliffe)=-2.66511

[< back](#)

Plot number 62

155.763_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\155.763_1.dfs0, item no. 1



ME=14.1321

MAE=14.1321

RMSE=14.1526

STDres=0.761674

R(Correlation)=0.109102

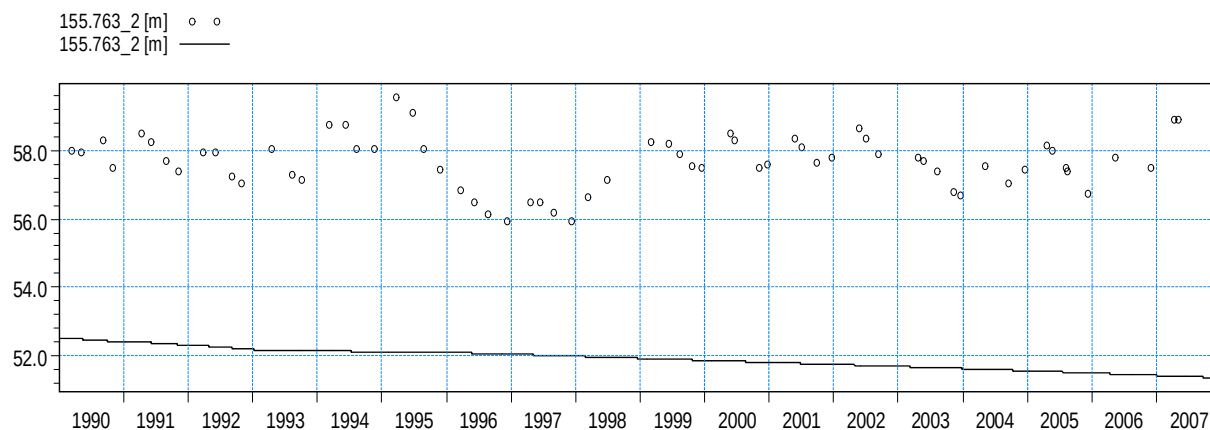
R2(Nash_Sutcliffe)=-363.264

[< back](#)

Plot number 63

155.763_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\155.763_2.dfs0, item no. 1



ME=5.77223

MAE=5.77223

RMSE=5.83119

STDres=0.827112

R(Correlation)=-0.0224372

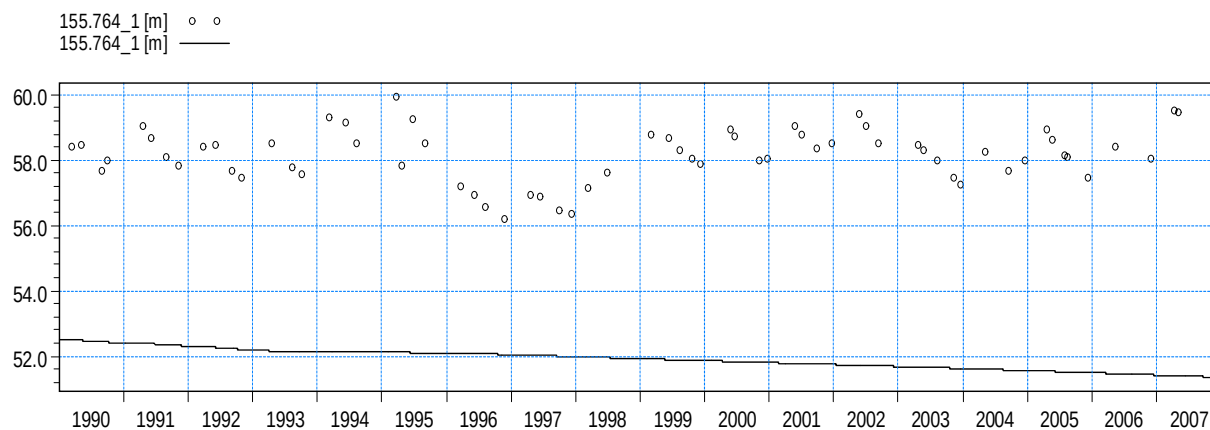
R2(Nash_Sutcliffe)=-57.1814

[< back](#)

Plot number 64

155.764_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\155.764_1.dfs0, item no. 1



ME=6.27582

MAE=6.27582

RMSE=6.34112

STDres=0.907649

R(Correlation)=-0.17751

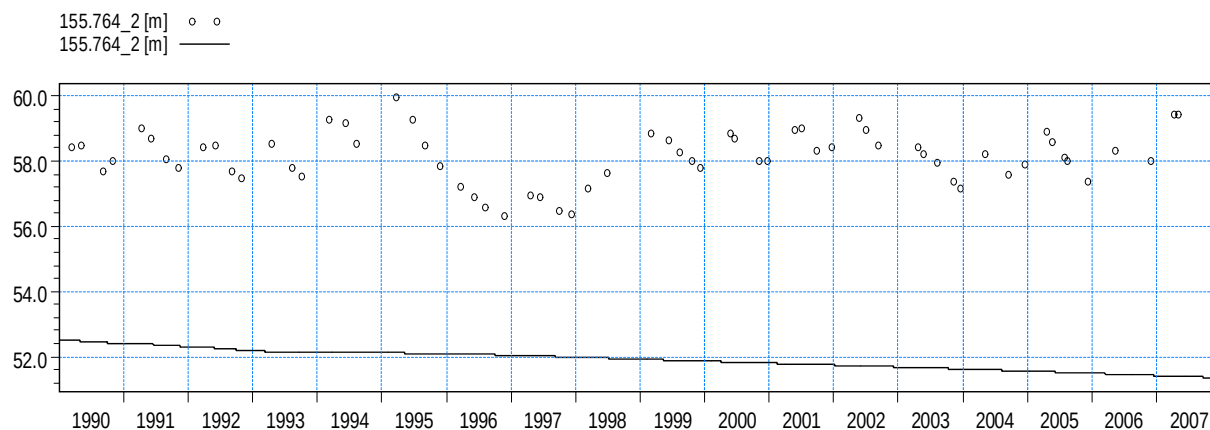
R2(Nash_Sutcliffe)=-61.0864

[< back](#)

Plot number 65

155.764_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\155.764_2.dfs0, item no. 1



ME=6.25533

MAE=6.25533

RMSE=6.3183

STDres=0.889808

R(Correlation)=-0.142672

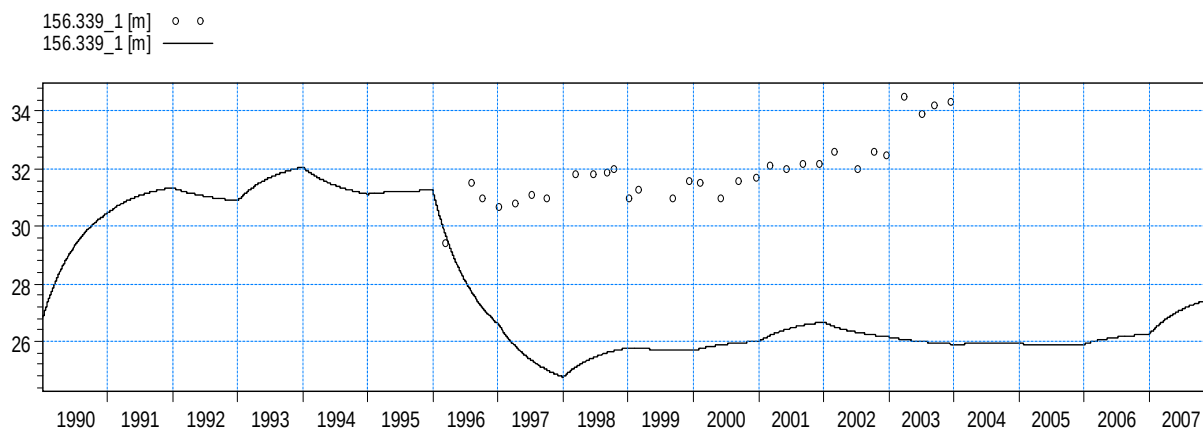
R2(Nash_Sutcliffe)=-62.0134

[< back](#)

Plot number 66

156.339_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\156.339_1.dfs0, item no. 1



ME=5.74771

MAE=5.76561

RMSE=5.95793

STDres=1.56868

R(Correlation)=-0.279935

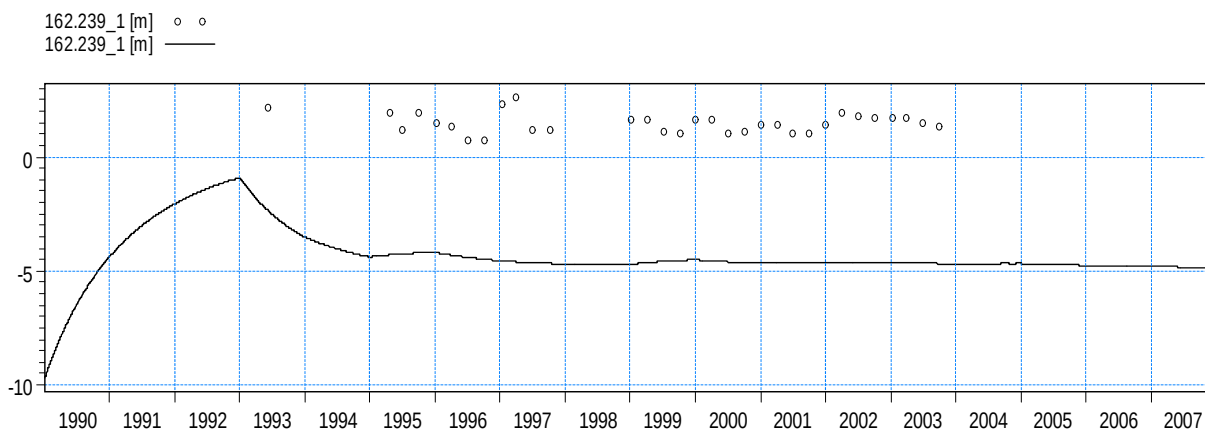
R2(Nash_Sutcliffe)=-28.0481

[< back](#)

Plot number 67

162.239_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\162.239_1.dfs0, item no. 1



ME=5.96348

MAE=5.96348

RMSE=5.98485

STDres=0.505355

R(Correlation)=0.276505

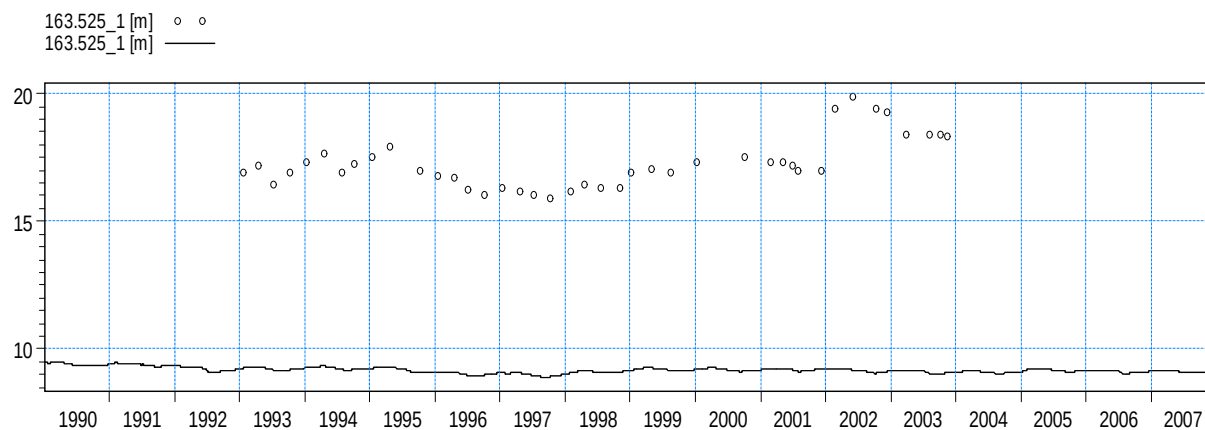
R2(Nash_Sutcliffe)=-189.707

[< back](#)

Plot number 68

163.525_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\163.525_1.dfs0, item no. 1



ME=8.09033

MAE=8.09033

RMSE=8.14526

STDres=0.944296

R(Correlation)=0.241946

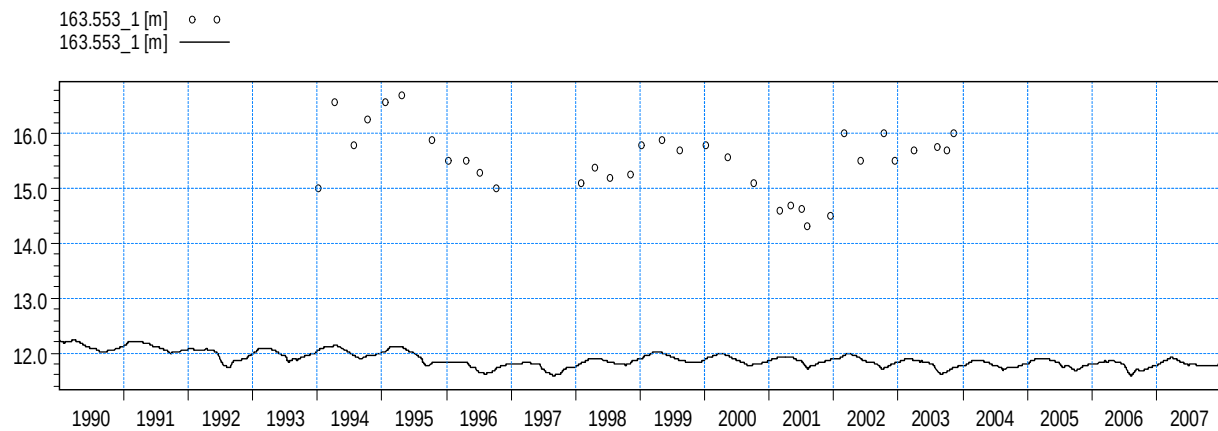
R2(Nash_Sutcliffe)=-70.5427

[< back](#)

Plot number 69

163.553_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\163.553_1.dfs0, item no. 1



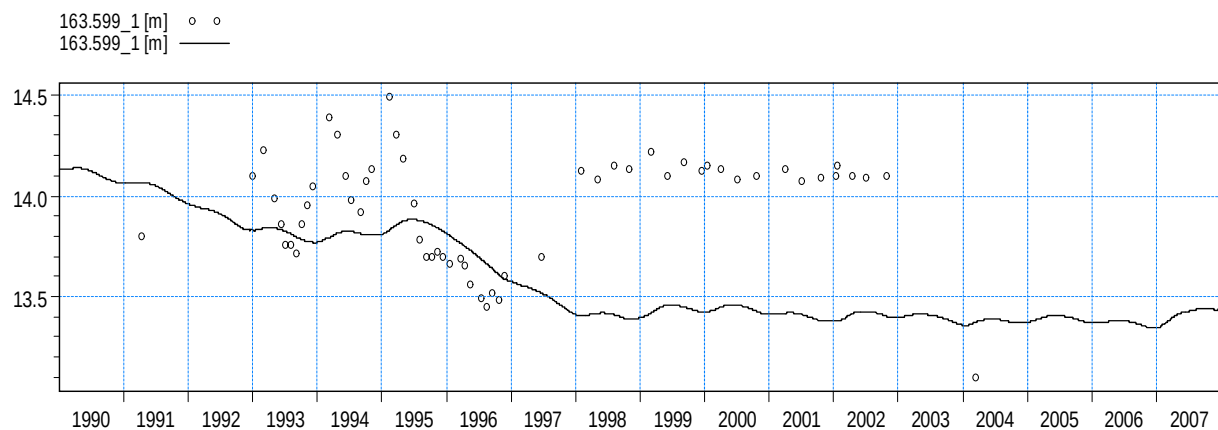
ME=3.67382
MAE=3.67382
RMSE=3.7131
STDres=0.538688
R(Correlation)=0.408034
R2(Nash_Sutcliffe)=-40.5164

[< back](#)

Plot number 70

163.599_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\163.599_1.dfs0, item no. 1



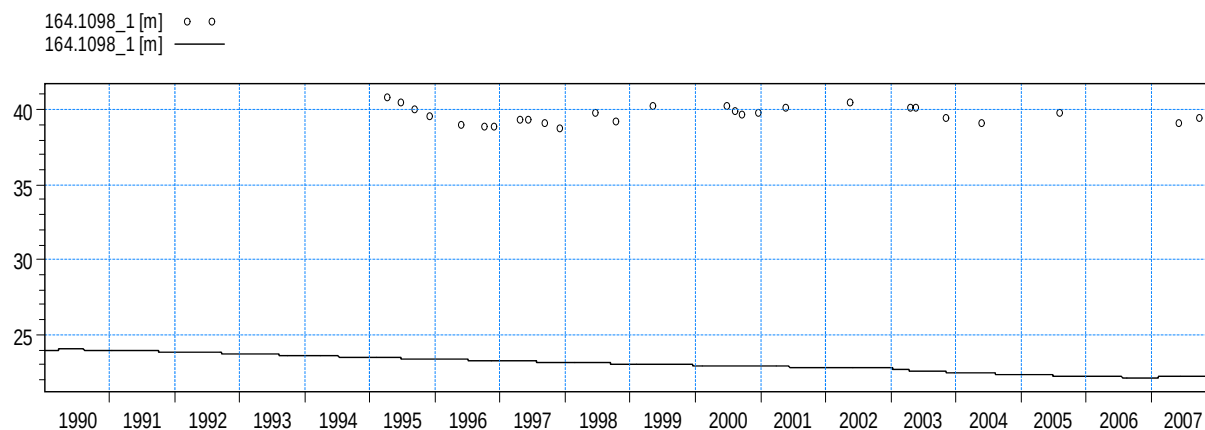
ME=0.292021
MAE=0.375769
RMSE=0.457109
STDres=0.351672
R(Correlation)=-0.160424
R2(Nash_Sutcliffe)=-2.00967

[< back](#)

Plot number 71

164.1098_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.1098_1.dfs0, item no. 1



ME=16.6767

MAE=16.6767

RMSE=16.6895

STDres=0.654612

R(Correlation)=0.00811764

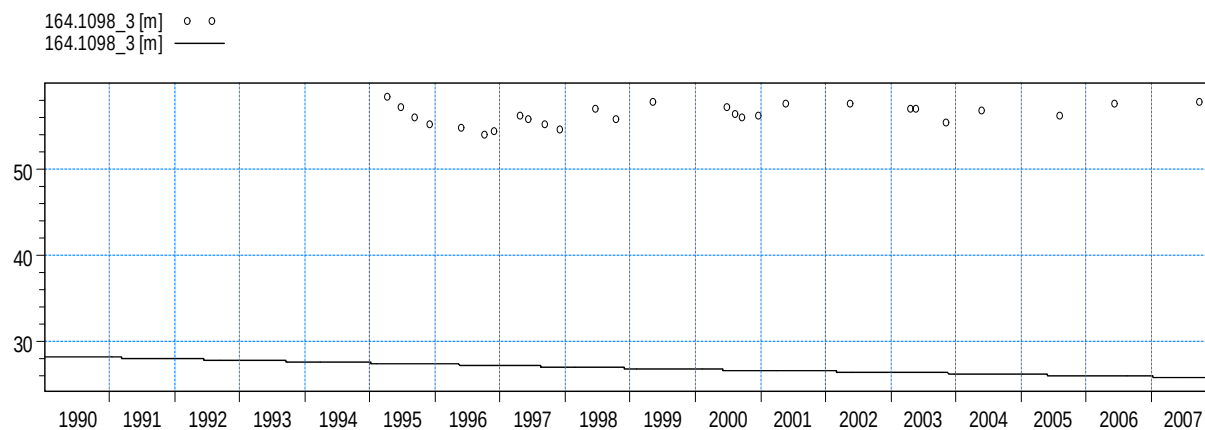
R2(Nash_Sutcliffe)=-950.995

[< back](#)

Plot number 72

164.1098_3, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.1098_3.dfs0, item no. 1



ME=29.4956

MAE=29.4956

RMSE=29.5284

STDres=1.39211

R(Correlation)=-0.419815

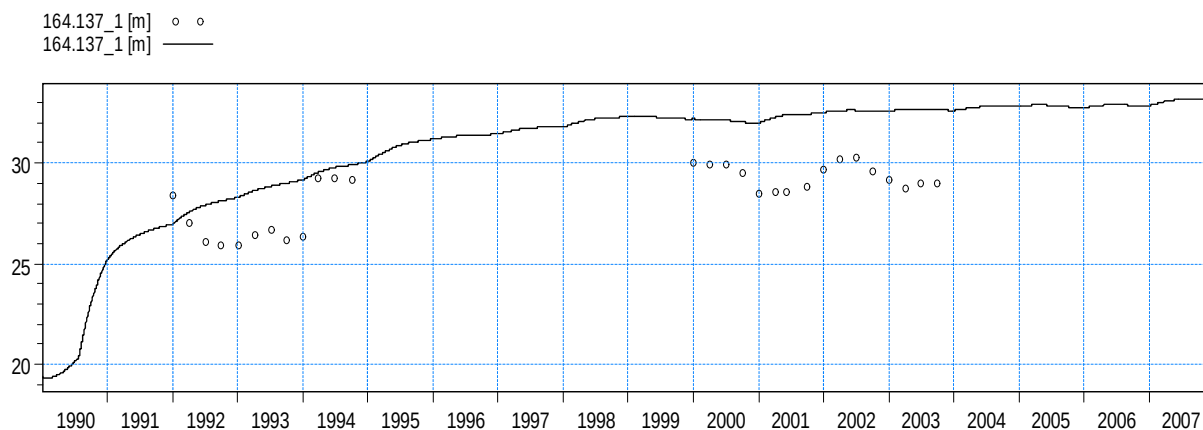
R2(Nash_Sutcliffe)=-680.937

[< back](#)

Plot number 73

164.137_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.137_1.dfs0, item no. 1



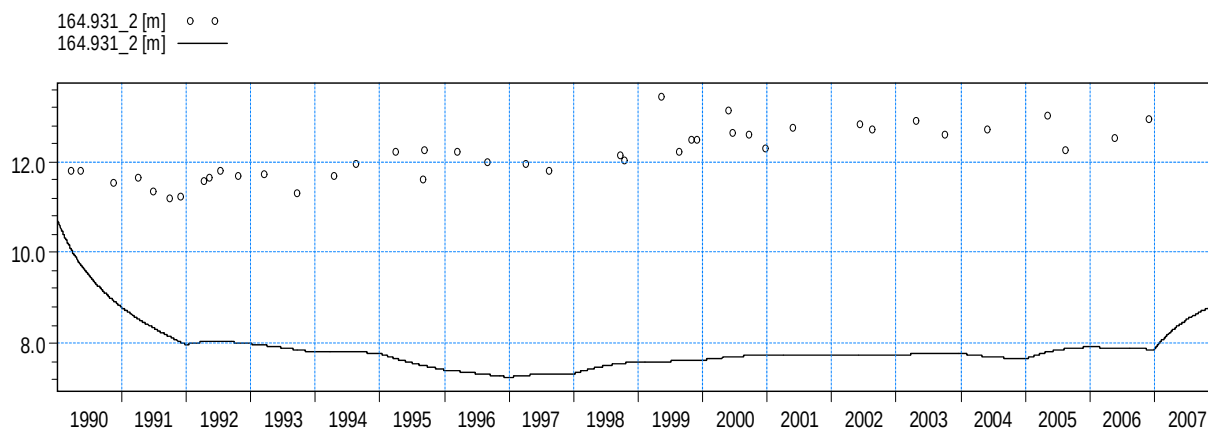
ME=-2.38009
MAE=2.47826
RMSE=2.67923
STDres=1.23022
R(Correlation)=0.777681
R2(Nash_Sutcliffe)=-2.44853

[< back](#)

Plot number 74

164.931_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.931_2.dfs0, item no. 1



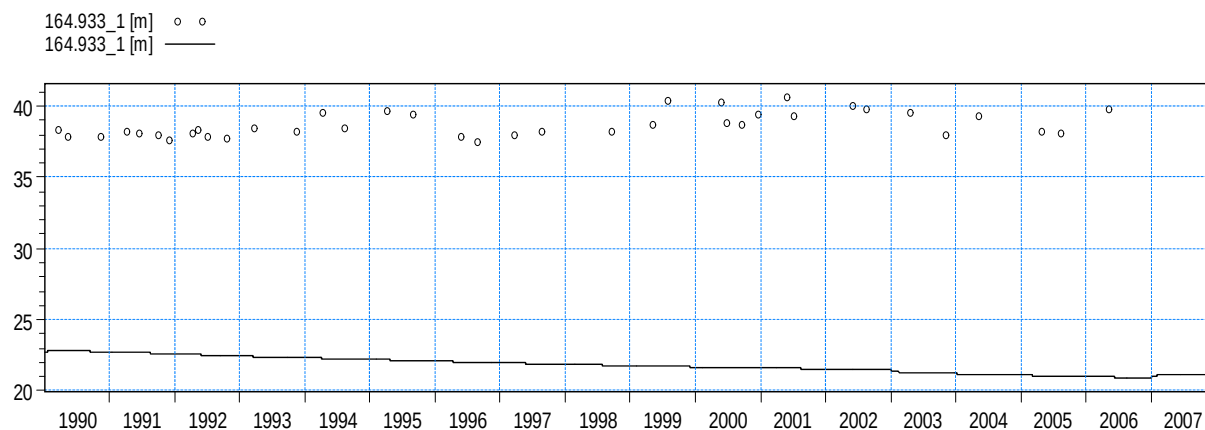
ME=4.30001
MAE=4.30001
RMSE=4.39112
STDres=0.889868
R(Correlation)=-0.340134
R2(Nash_Sutcliffe)=-61.8607

[< back](#)

Plot number 75

164.933_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.933_1.dfs0, item no. 1



ME=16.7218

MAE=16.7218

RMSE=16.7649

STDres=1.20025

R(Correlation)=-0.439239

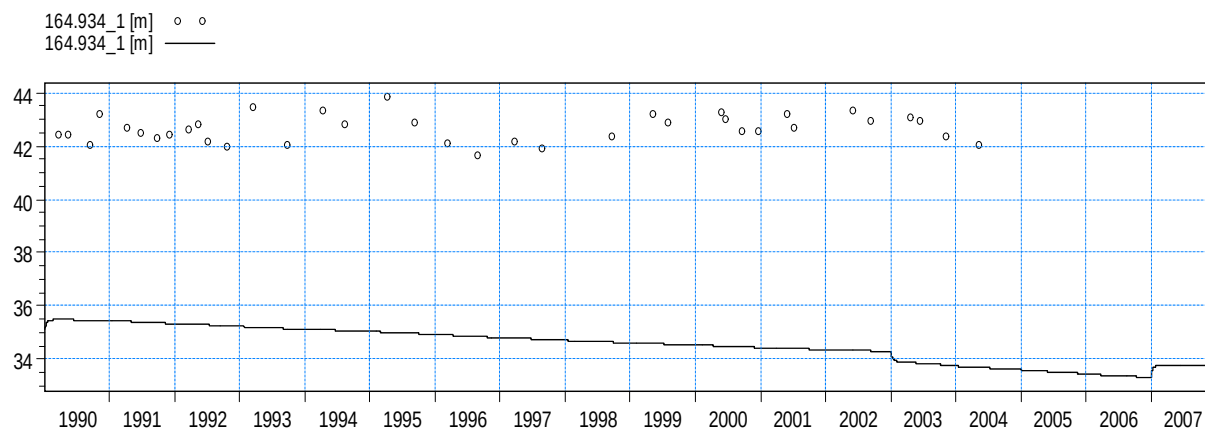
R2(Nash_Sutcliffe)=-391.321

[< back](#)

Plot number 76

164.934_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.934_1.dfs0, item no. 1



ME=7.82473

MAE=7.82473

RMSE=7.86195

STDres=0.764106

R(Correlation)=-0.138548

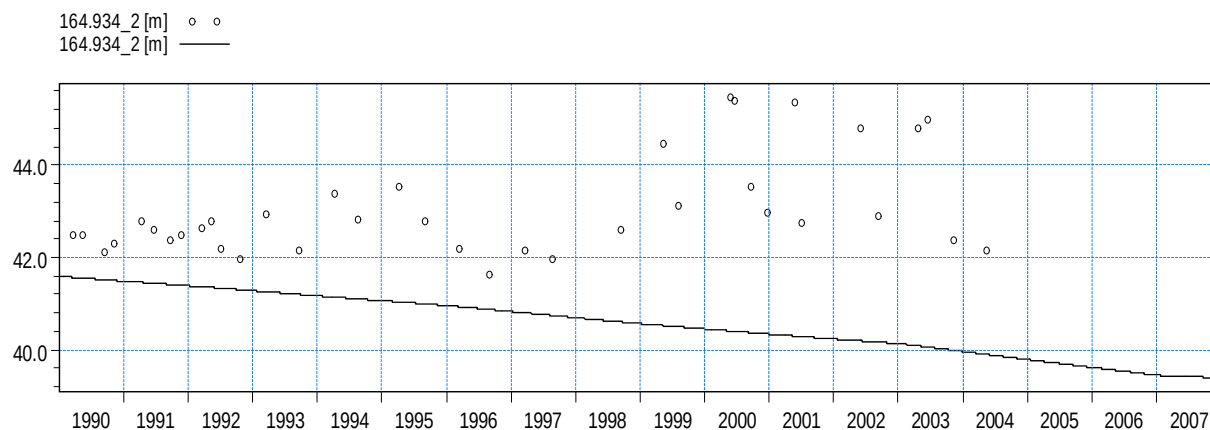
R2(Nash_Sutcliffe)=-251.908

[< back](#)

Plot number 77

164.934_2, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.934_2.dfs0, item no. 1



ME=2.1872

MAE=2.1872

RMSE=2.60041

STDres=1.40652

R(Correlation)=-0.521469

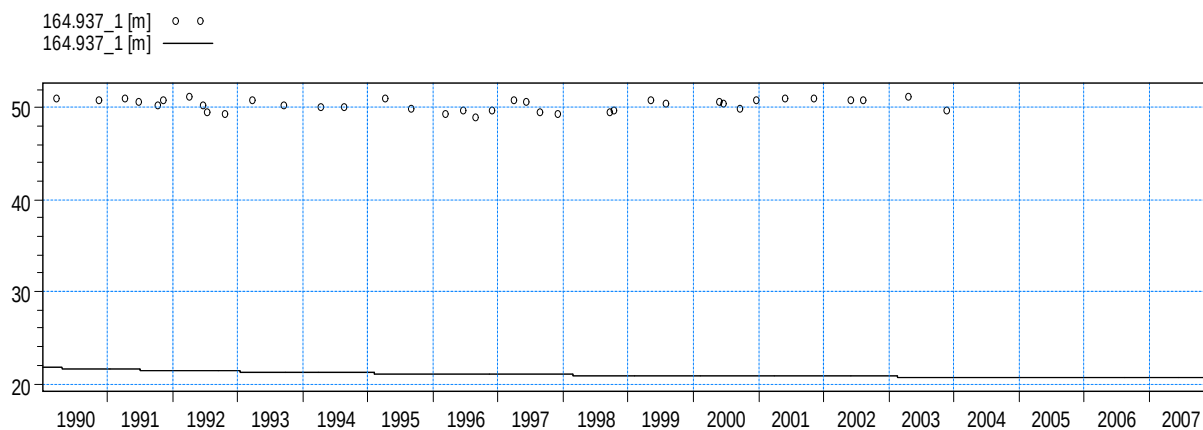
R2(Nash_Sutcliffe)=-5.02745

[< back](#)

Plot number 78

164.937_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\164.937_1.dfs0, item no. 1



ME=29.1899

MAE=29.1899

RMSE=29.1973

STDres=0.659685

R(Correlation)=0.104677

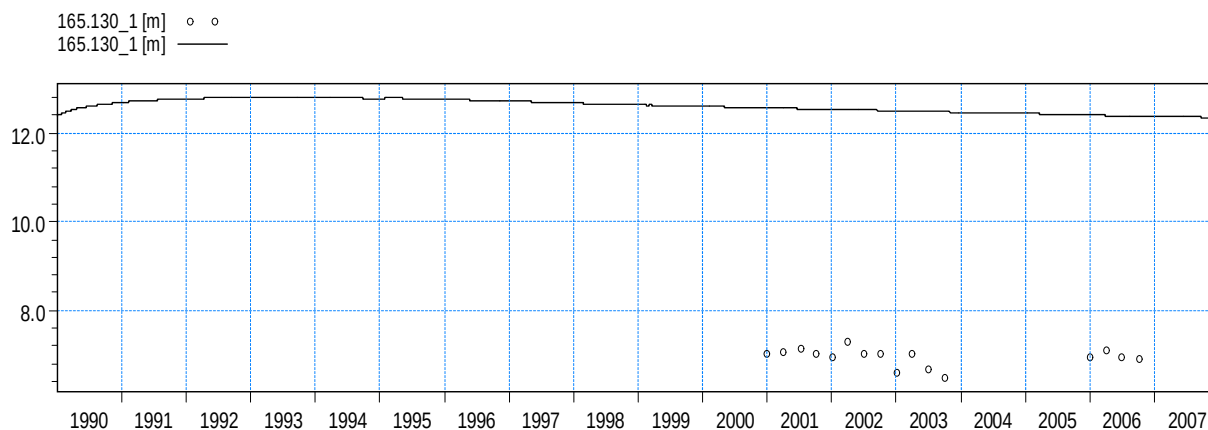
R2(Nash_Sutcliffe)=-2145.59

[< back](#)

Plot number 79

165.130_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\165.130_1.dfs0, item no. 1



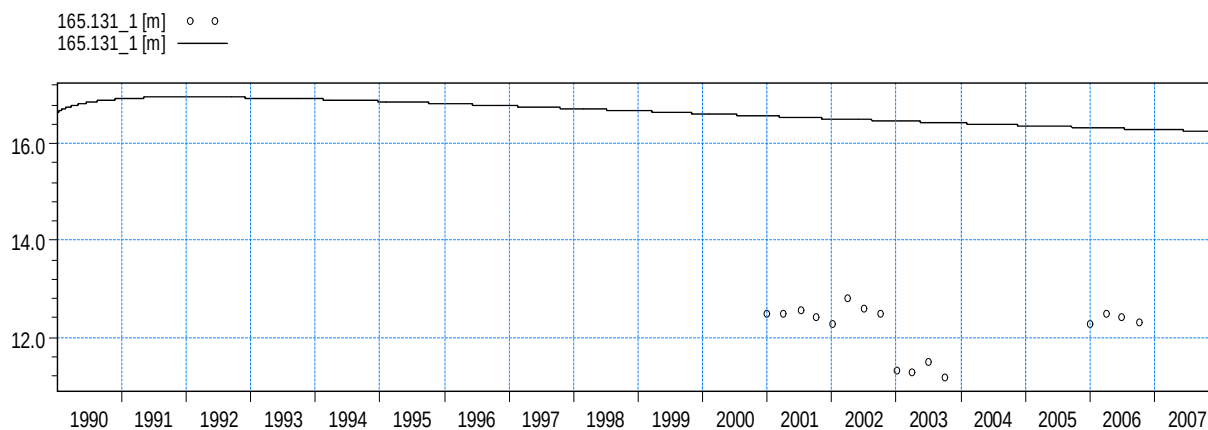
ME=-5.54182
MAE=5.54182
RMSE=5.5454
STDres=0.199283
R(Correlation)=0.169194
R2(Nash_Sutcliffe)=-765.989

[< back](#)

Plot number 80

165.131_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\165.131_1.dfs0, item no. 1



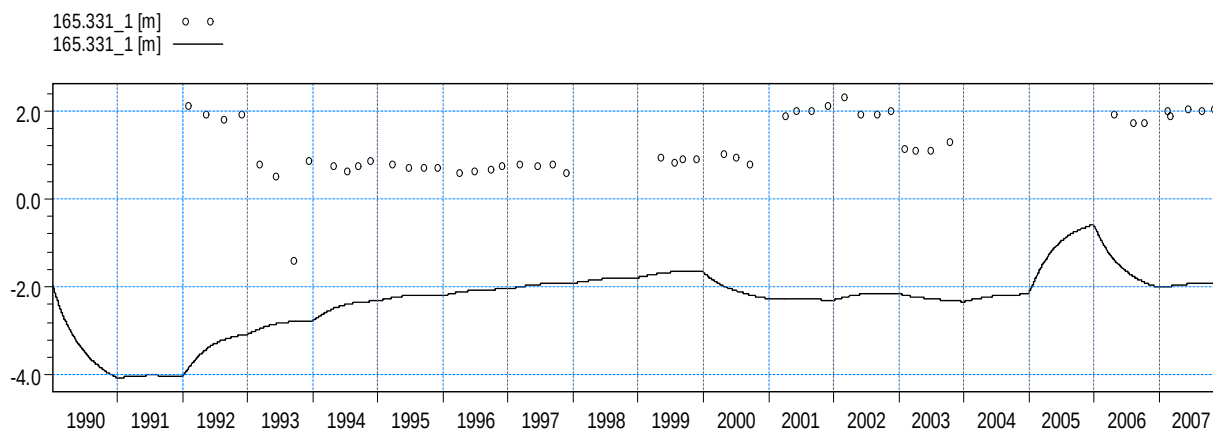
ME=-4.27123
MAE=4.27123
RMSE=4.30212
STDres=0.514669
R(Correlation)=0.118697
R2(Nash_Sutcliffe)=-68.0641

[< back](#)

Plot number 81

165.331_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\165.331_1.dfs0, item no. 1



ME=3.44947

MAE=3.44947

RMSE=3.54858

STDres=0.832815

R(Correlation)=-0.0308267

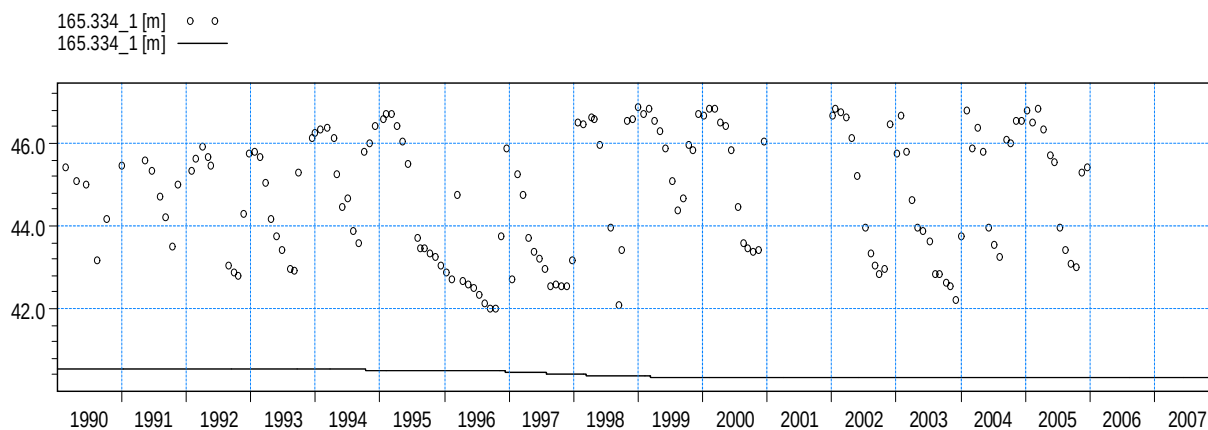
R2(Nash_Sutcliffe)=-25.9048

[< back](#)

Plot number 82

165.334_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\165.334_1.dfs0, item no. 1



ME=4.41355

MAE=4.41355

RMSE=4.68862

STDres=1.58232

R(Correlation)=-0.248568

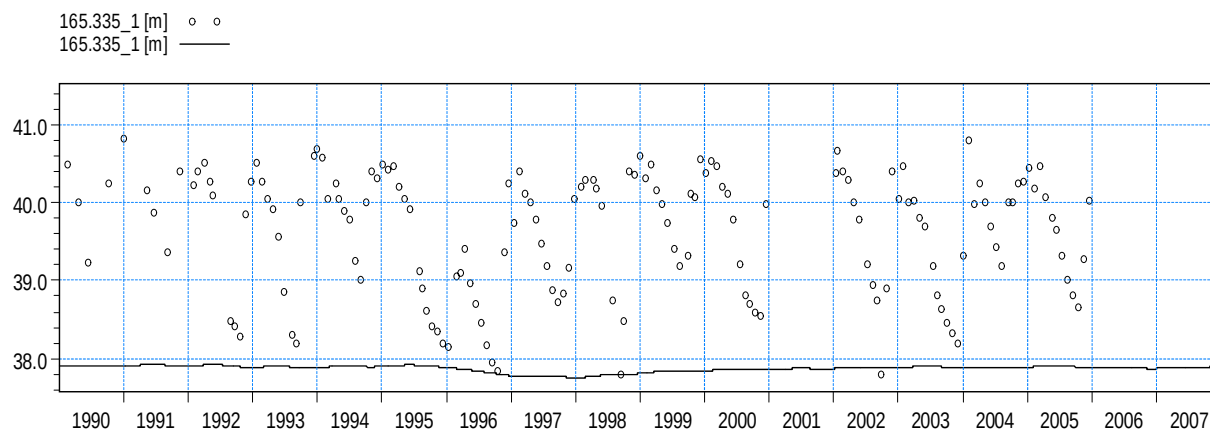
R2(Nash_Sutcliffe)=-8.0348

[< back](#)

Plot number 83

165.335_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\165.335_1.dfs0, item no. 1



ME=1.80026

MAE=1.80064

RMSE=1.96685

STDres=0.792175

R(Correlation)=0.0479875

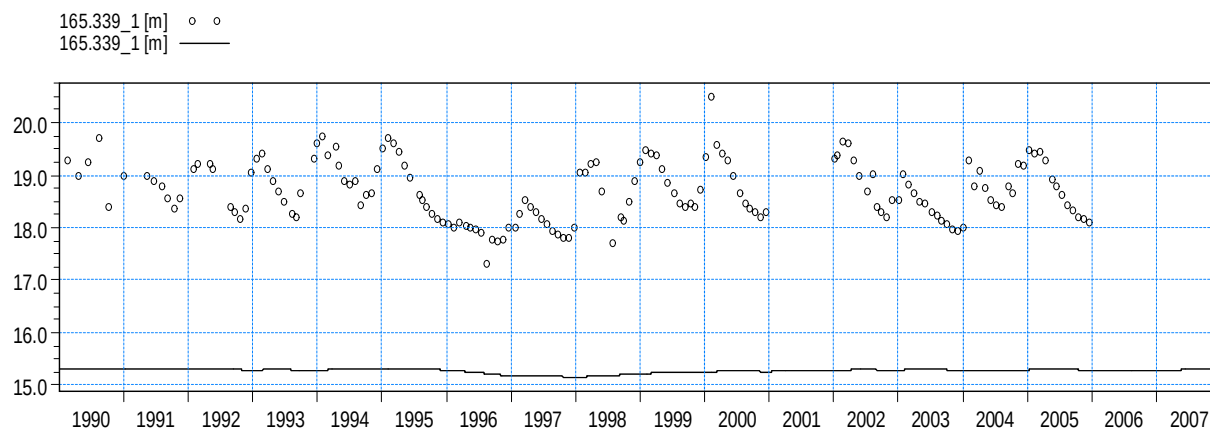
R2(Nash_Sutcliffe)=-5.15095

[< back](#)

Plot number 84

165.339_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\165.339_1.dfs0, item no. 1



ME=3.44339

MAE=3.44339

RMSE=3.48844

STDres=0.558834

R(Correlation)=0.318562

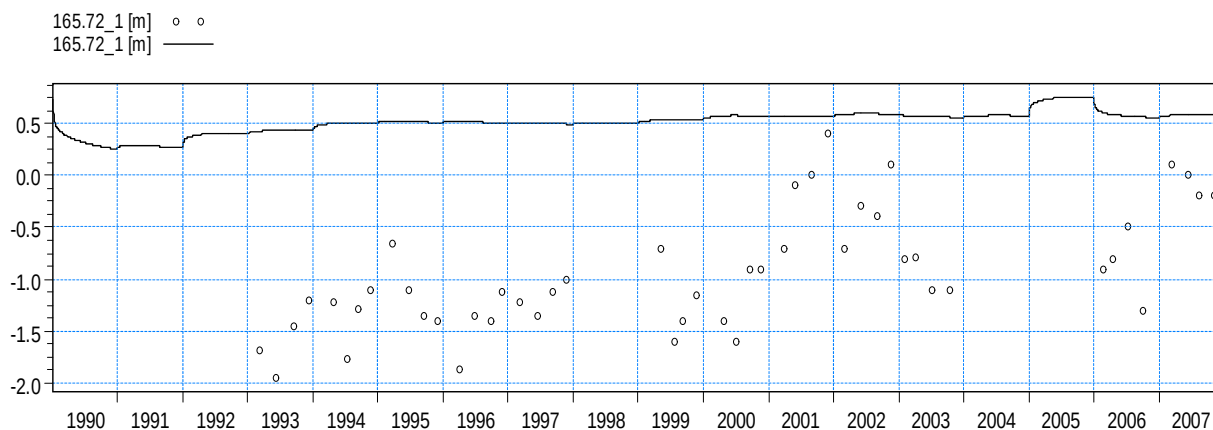
R2(Nash_Sutcliffe)=-36.1674

[< back](#)

Plot number 85

165.72_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\165.72_1.dfs0, item no. 1



ME=-1.48958

MAE=1.48958

RMSE=1.5818

STDres=0.532206

R(Correlation)=0.647325

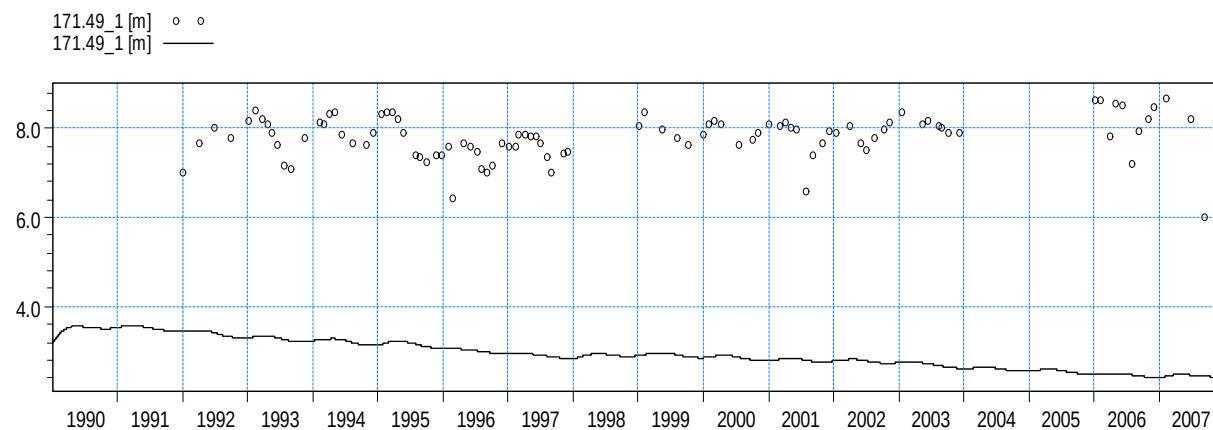
R2(Nash_Sutcliffe)=-6.957

[< back](#)

Plot number 86

171.49_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\171.49_1.dfs0, item no. 1



ME=4.8742

MAE=4.8742

RMSE=4.90871

STDres=0.581103

R(Correlation)=-0.0282752

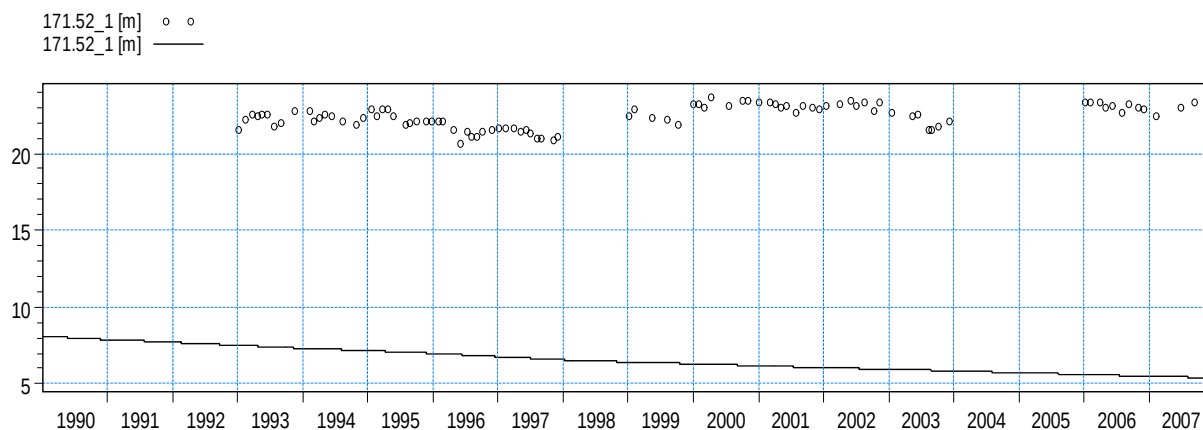
R2(Nash_Sutcliffe)=-92.2047

[< back](#)

Plot number 87

171.52_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\171.52_1.dfs0, item no. 1



ME=15.9562

MAE=15.9562

RMSE=15.9971

STDres=1.14321

R(Correlation)=-0.468016

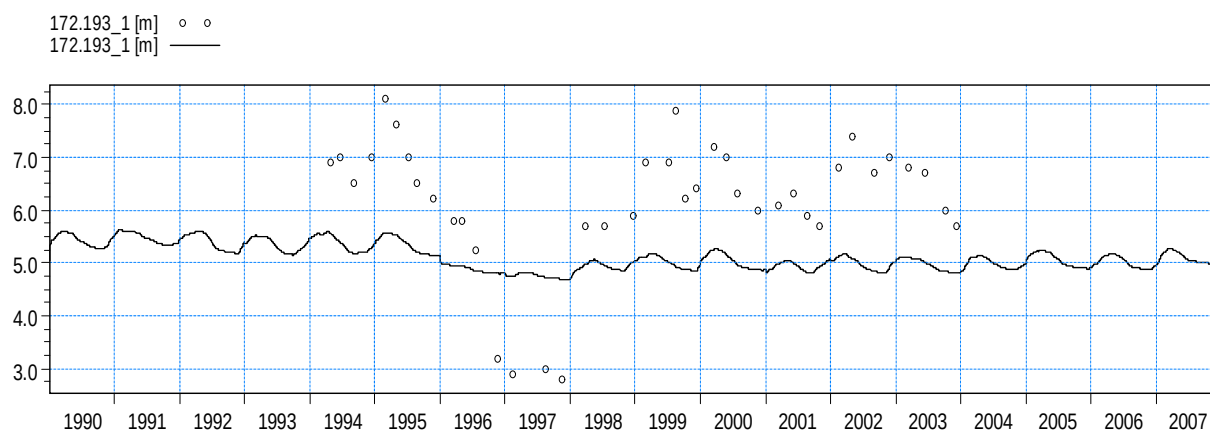
R2(Nash_Sutcliffe)=-491.995

[< back](#)

Plot number 88

172.193_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\172.193_1.dfs0, item no. 1



ME=1.13299

MAE=1.48701

RMSE=1.57801

STDres=1.09838

R(Correlation)=0.683865

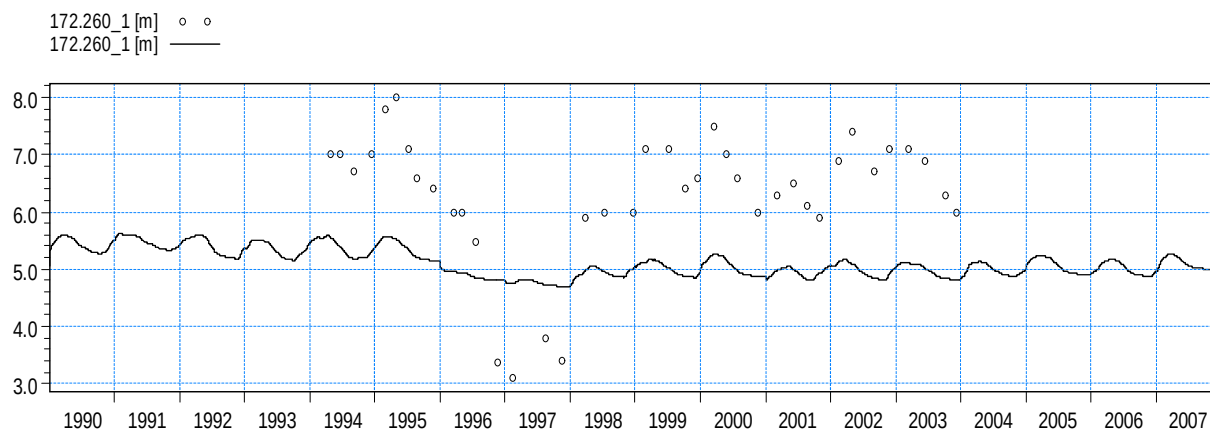
R2(Nash_Sutcliffe)=-0.629152

[< back](#)

Plot number 89

172.260_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\172.260_1.dfs0, item no. 1



ME=1.27411

MAE=1.54589

RMSE=1.60751

STDres=0.980172

R(Correlation)=0.709556

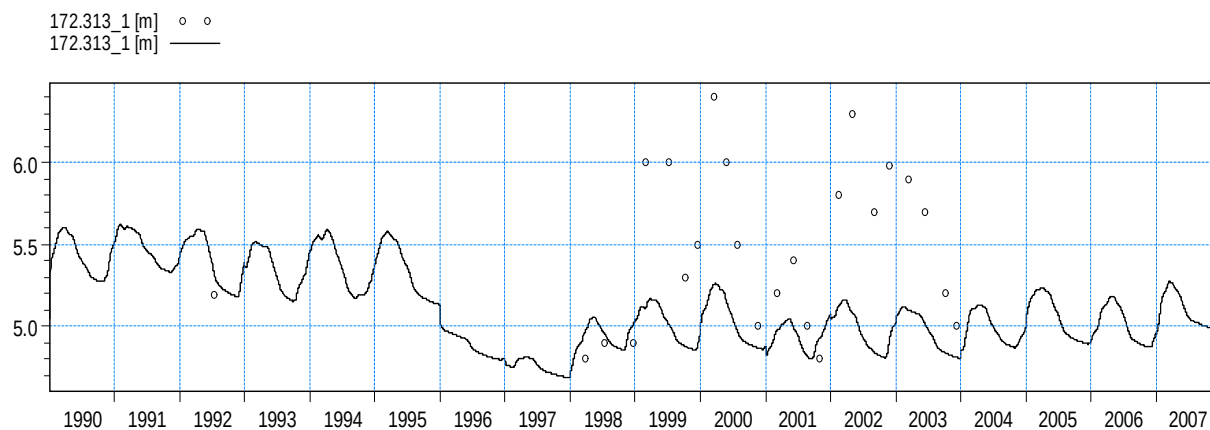
R2(Nash_Sutcliffe)=-1.04366

[< back](#)

Plot number 90

172.313_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\172.313_1.dfs0, item no. 1



ME=0.482059

MAE=0.532818

RMSE=0.644953

STDres=0.428468

R(Correlation)=0.500783

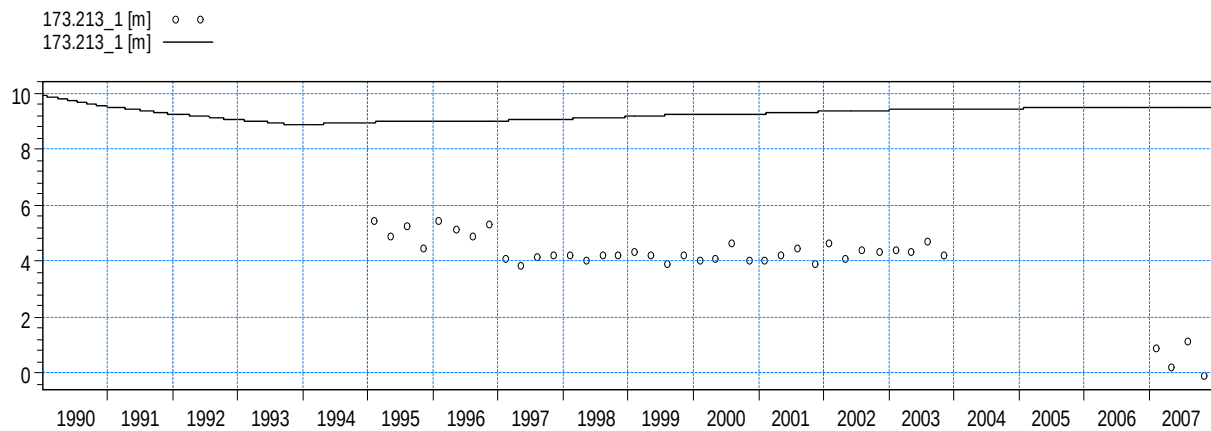
R2(Nash_Sutcliffe)=-0.806973

[< back](#)

Plot number 91

173.213_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\173.213_1.dfs0, item no. 1



ME=-5.20542

MAE=5.20542

RMSE=5.379

STDres=1.35544

R(Correlation)=-0.635812

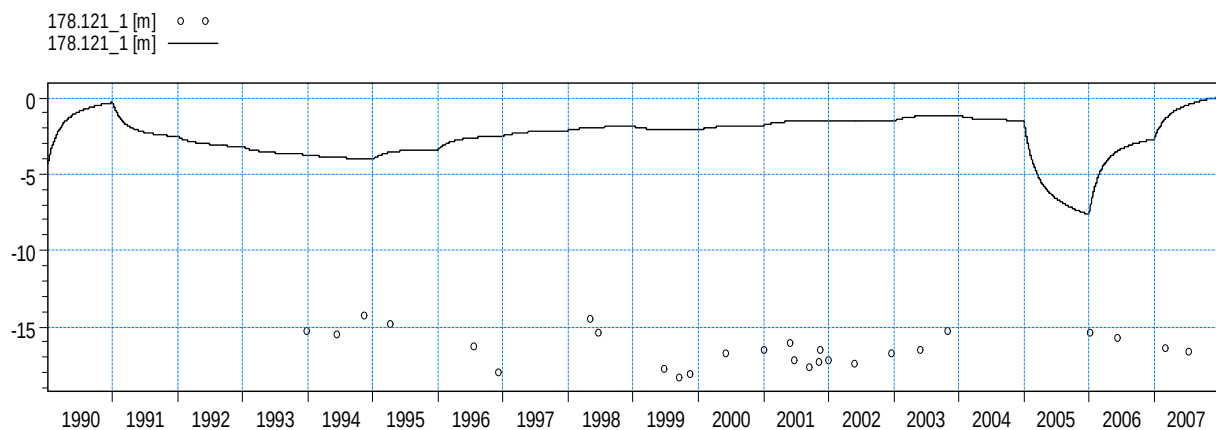
R2(Nash_Sutcliffe)=-17.7538

[< back](#)

Plot number 92

178.121_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\178.121_1.dfs0, item no. 1



ME=-14.2426

MAE=14.2426

RMSE=14.3821

STDres=1.99834

R(Correlation)=-0.4563

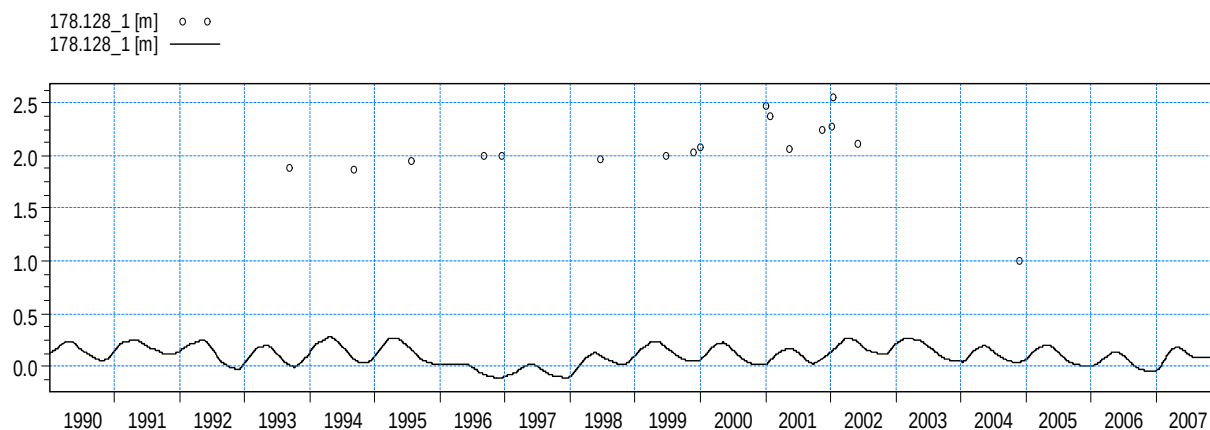
R2(Nash_Sutcliffe)=-179.561

[< back](#)

Plot number 93

178.128_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\178.128_1.dfs0, item no. 1



ME=1.98609

MAE=1.98609

RMSE=2.01176

STDres=0.32036

R(Correlation)=0.155784

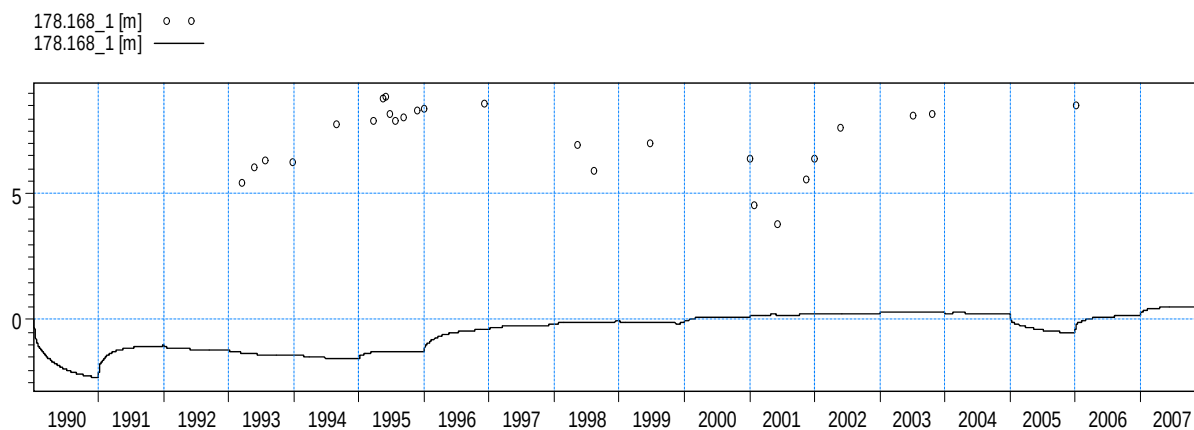
R2(Nash_Sutcliffe)=-37.9559

[< back](#)

Plot number 94

178.168_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\178.168_1.dfs0, item no. 1



ME=7.90713

MAE=7.90713

RMSE=8.08436

STDres=1.6835

R(Correlation)=-0.335813

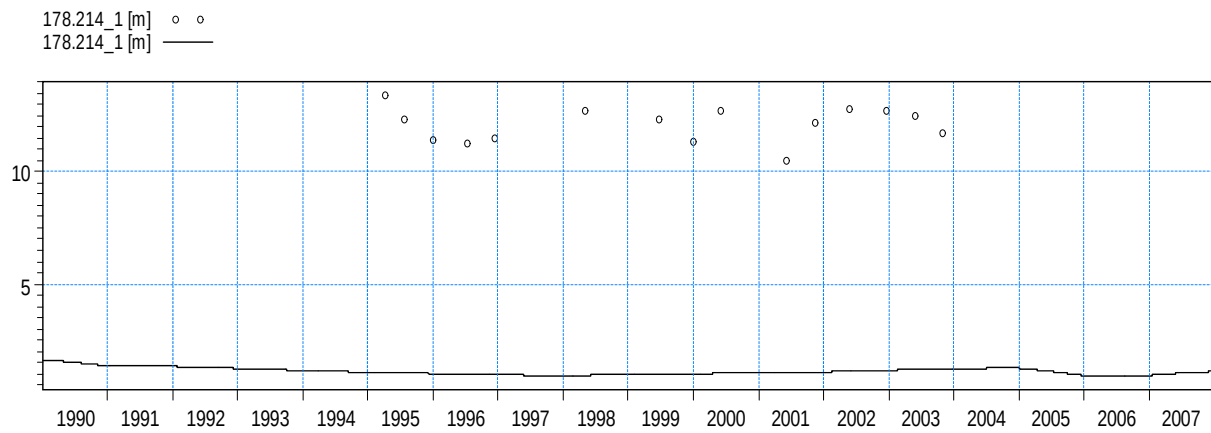
R2(Nash_Sutcliffe)=-37.0983

[< back](#)

Plot number 95

178.214_1, head elevation in saturated zone

- Obs: F:\DHI\data\Novana\Novomr3\Time\hobs\178.214_1.dfs0, item no. 1



ME=11.0404

MAE=11.0404

RMSE=11.0651

STDres=0.738584

R(Correlation)=0.20063

R2(Nash_Sutcliffe)=-216.32

[< back](#)

BILAG 4

Afstrømnings tidsserier fra vandføringsstationer medtaget i DK-model opsætningen (novomr3)

