

Notat

Sag	Grindsted	Projektnr.	105643
Projekt	Grindsted forureningskortlægning	Dato	2015-11-04
Emne	Modelopsætning og kalibrering	Initialer	THW

Indhold

Baggrund	3
Modelopsætning	4
Basis data (BAS package)	4
Hydrostratigrafi (LPF, ZON package).....	4
Højdemodel	4
Hydrostratigrafi.....	5
Underopdeling af lokalmodel.....	11
Randbetingelser	12
Grundvandsdannelse (RCH package)	12
Indvinding (WEL package).....	13
Fluksrand (WEL package)	15
Dræning (DRN package)	16
Vandløb (RIV Package)	17
Pejledata (OBS, HOBS package).....	18
Kalibrering	23
Kombineret modelkalibrering i PEST	23
Modelresultater.....	26
2015-01-19 – Kalibrering med PEST	26
Endelige parametre	27
Residualer	28
Rumlig fordeling af residualer	30
Kalibreringsstatistik.....	31
Afledte resultater	32
Tidsserier	36

ALECTIA A/S

Teknikerbyen 34
2830 Virum
Denmark
Tlf.: +45 88 19 10 00
Fax: +45 88 19 10 01

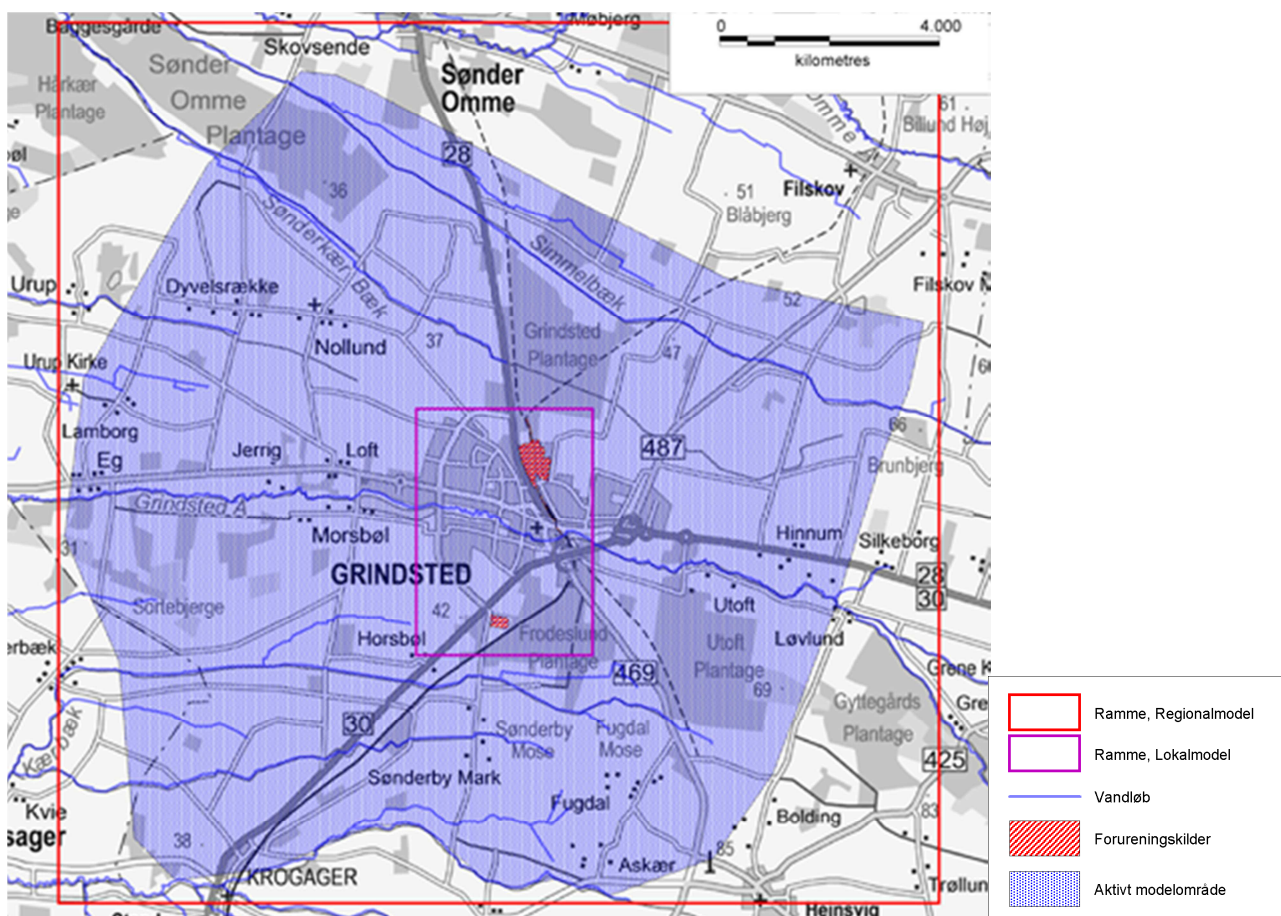
CVR nr. 22 27 89 16

www.alectia.com

Trykniveauer i model (potentialekort)	45
Konklusioner	49
Anbefalinger ved evt. modelopdatering	50
Referencer	50
Appendix: Modflow Datafiler.....	52
Modelopsætning og units	52

Baggrund

Ved Region Syddanmarks arbejde på kortlægning af jord - og grundvandsforureningen ved Grindsted by har man anmodet om en opstilling af en tredimensionel detailmodel over området. Lokalmodellen tager udgangspunkt i en regionalmodel, se Figur 1.



Figur 1: Oversigt over afgrænsning af regional- og lokalmodel

Målet med modellen er at kunne foretage partikelbaneberegninger på forureningen, og benytte modellen som supplerende beslutningsværktøj. Modellen skal kunne udarbejdes således at stoftransport kan foretages på modellen, og herved undersøge forureningsspredningen for stoffer under tilbageholdelse og nedbrydning.

Dette notat beskriver opstilling af Lokalmodellen for Grindsted. Modellen tager udgangspunkt i eksisterende model for Billund (MIKE SHE) /5/, og suppleres med data for en stationær lokalmodel i MODFLOW /2/.

Modellen opstilles som to koblede modeller i MODFLOW. Den ene – regional skala i 100 m, og den anden i lokal 10 m skala. De to modellen flettes sammen vha. MODFLOW-LGR2 pakken, /9/, /10/ og /11/.

Til hver model er knyttet en MapInfo Gridfil med vigtige modeldata. Herfra eksporteres modeldata til modellerne, som opstilles i en Groundwater Vistas brugerflade.

Modelopsætning

Modelopsætningen beskriver de enkelte delelementer i opsætningen og refererer til MODFLOWs pakker (RCH, WEL, OBS etc). Disse pakker er beskrevet i MODFLOW manualerne, /11/.

Modellen er opstillet i en Groundwater Vistas brugerflade, men afvikles ikke i denne, men kaldes af MODFLOW-LGR2 programmet. Resultaterne kan herefter ses i Groundwater Vistas brugerfladen.

Basis data (BAS package)

Tabel 1 viser regional- og lokalmodellens afgrænsning og diskretisering

Tabel 1: Afgrænsning af regioanl og lokalmodel.

Data	Regionalmodel	Lokalmodel
GWV Navn	Grindsted2013R	Grindsted2013L
Gridfil	GrindstedGridR	GrindstedGridL
Ramme for model UTM 32 DVR90	487000 - 503000 6172000 - 6188000	493500 - 496700 6176500 - 6181000
Celle størrelse	100 m	10 m
Grid (col, row)	160x160	320 x 450

Modelarbejdet foregår i ETRS89 Zone 32N (EUREF89 / DVR90)

Tidslig afgrænsning:

Modflowmodel: 1990/1/1 -> 2010/12/31

Tidsskridt: 7 dage. 1096 tidsskridt

Average model (stationær): 2000/1/1 – 2010/12/31 [Dag 3621 – 7638]

Hydrostratigrafi (LPF, ZON package)

Højdemodel

DEM model 20 m benyttes til regionalmodellen.

1.6 m DEM fra frie data benyttes til lokalmodellen. Følgende korttemaer dækker lokalmodellen: 10km_618_49 og 10km_617_49

Tabel 2 viser navngivningen af middel og minimumskoten på gridcelle niveau for respektive modeller.

Tabel 2: Højdemodellen for middel og minimumskote på grid niveau for regional- og lokalmodellen.

Data	Regionalmodel	Lokalmodel
Minimumskote	AnuDEM_Min	DTM_Min
Middelkote	AnuDEM_Avg	DTM_Avg

Hydrostratigrafi

Den hydrostratigrafiske model indeholder 3 lag for kvartær (2 sandlag adskilt af et moræneler) samt følgende prækvartære lag: Odderup sand, Arnum formationen (opdelt i 3 lag), Bastrup sand, Klintingehoved ler og Billund sand. Bunden af Billund sand udgøres af lavpermeabelt palæogent ler, og Billund sand benyttes herved som nederste permeable lag i den regionale model.

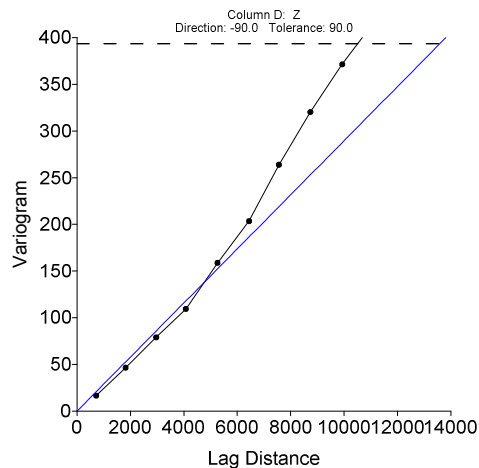
Datagrundlag

Den hydrostratigrafiske model er opdateret med tolkningspunkter fra Regionens GeoScene3D model.

Databehandling

Interpolation

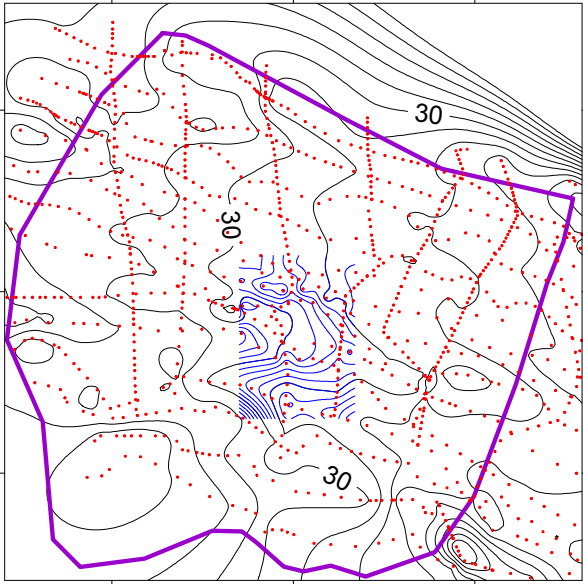
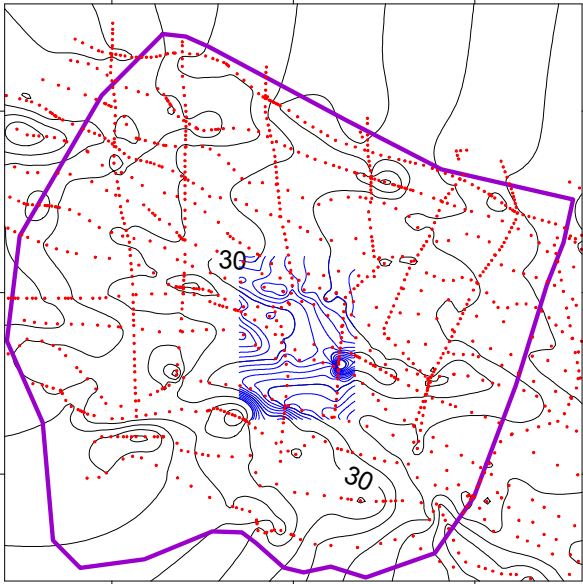
De enkelte hydrostratigrafiske flader interpoleres vha. Kriging. Hertil benyttes et isotropt variogram (ens i alle retninger). Der benyttes samme variogram til alle flader (beregnet fra Odderup data), se nedenfor.

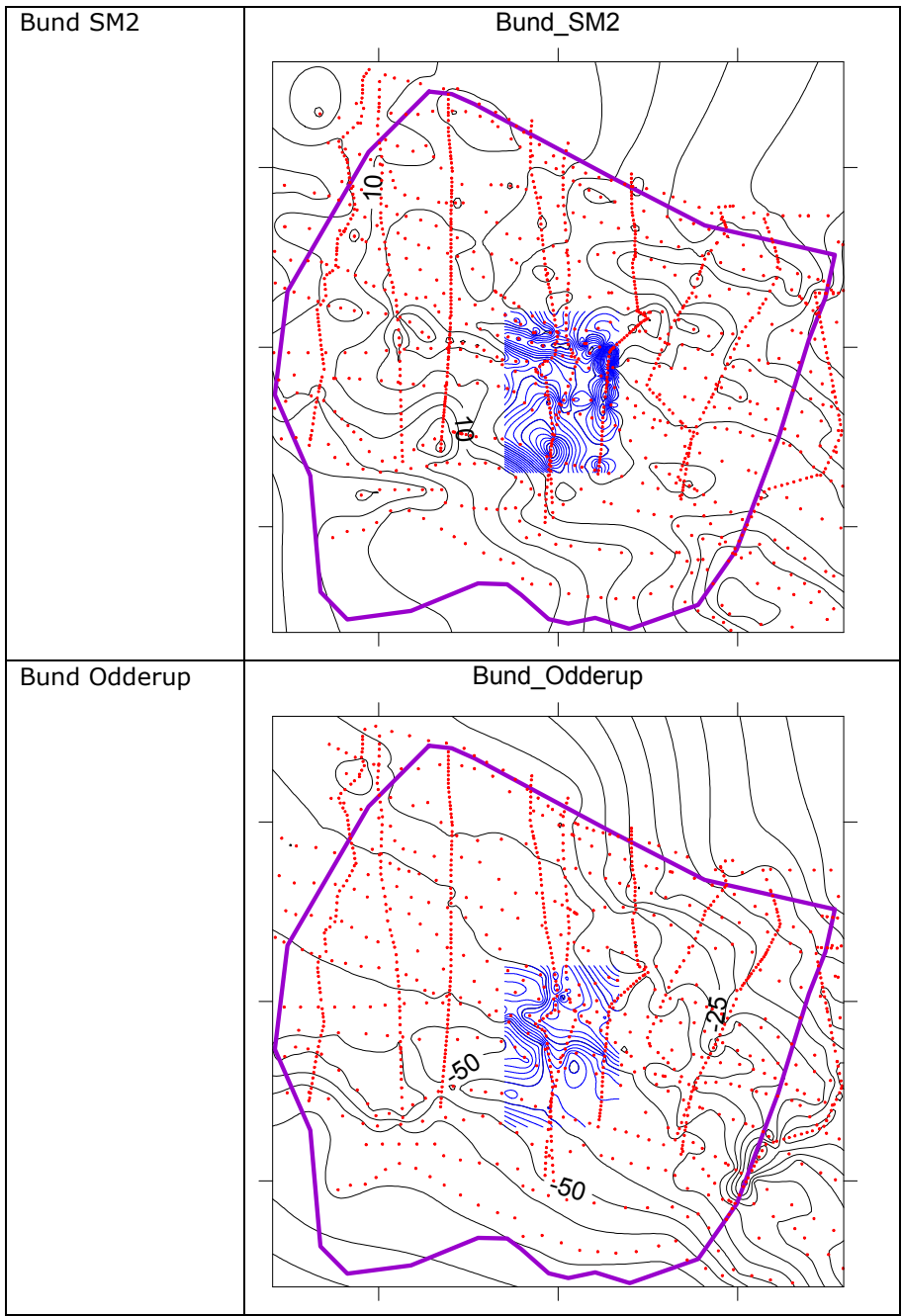


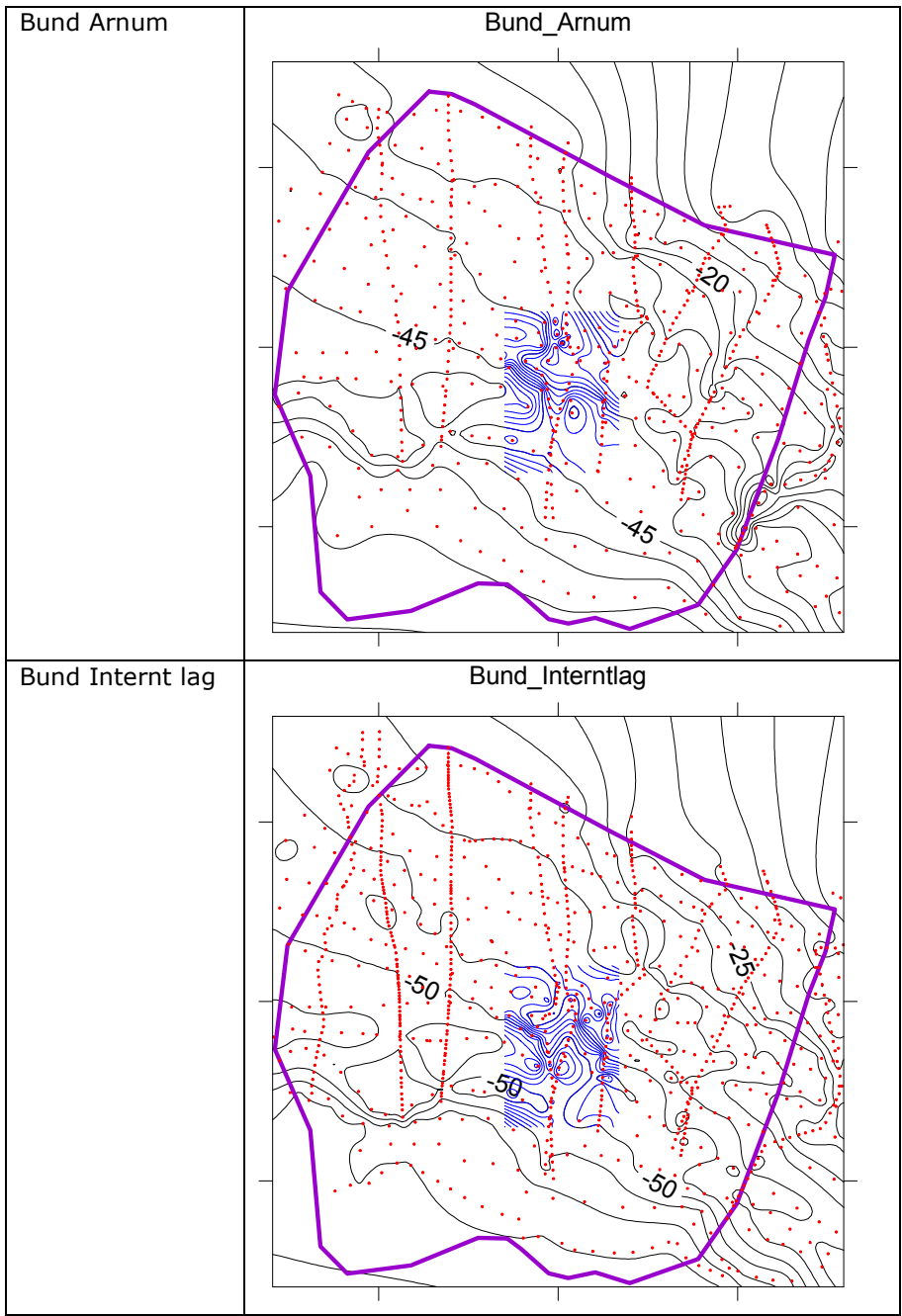
Figur 2: Variogram benyttet til interpolation

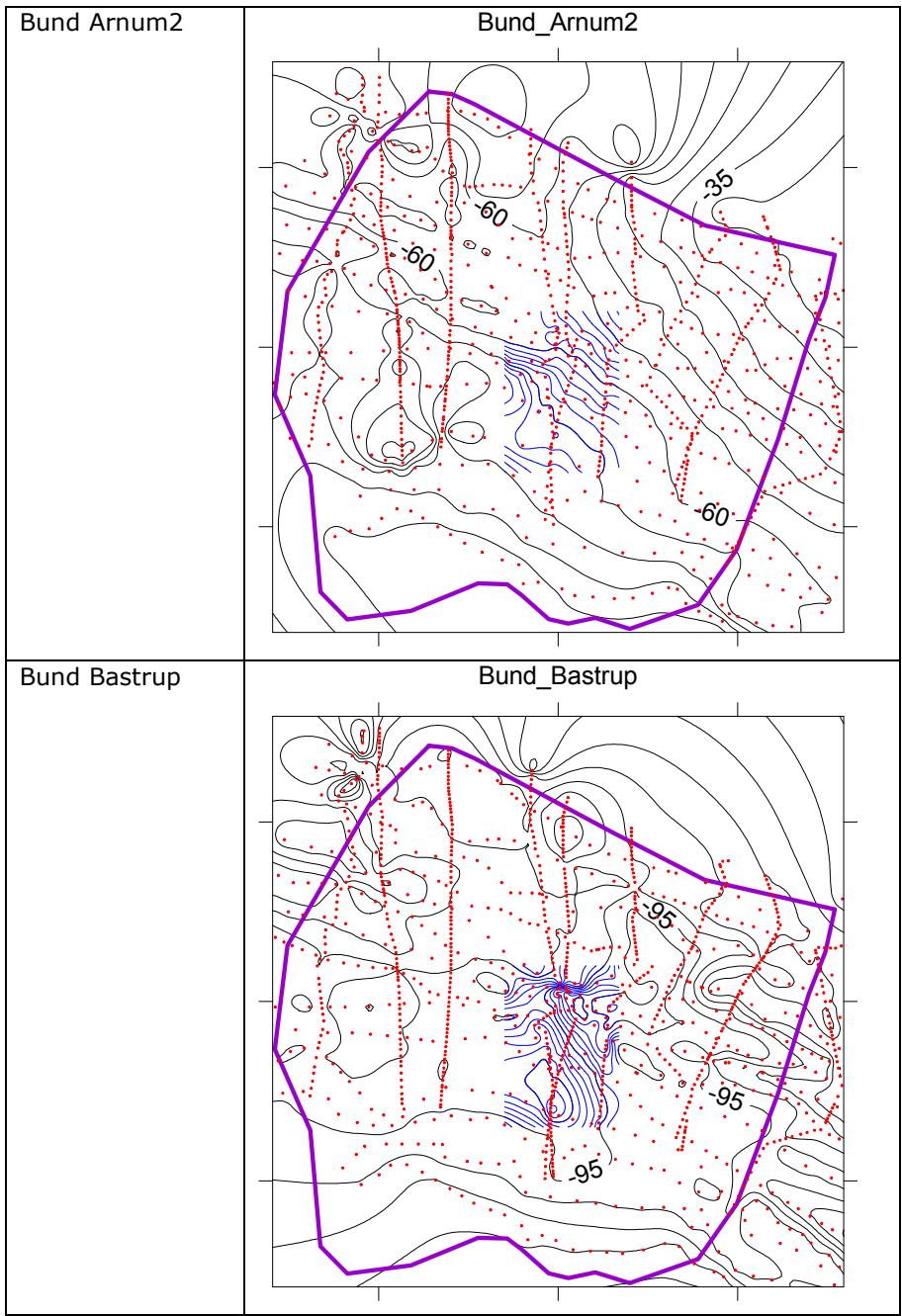
Tabel 3 viser tolkingspunkter (rød) fra bunden af respektive lag i den hydrostratigrafiske model samt de interpolerede flader. Med sort en angivet konturlinjer (5 m) for regionalmodellens og med blå ses detailmodellens konturlinjer med 1 m interval. Den violette afgrænsning er regionalmodellens rand og data uden for dette område er ikke medtaget i modellen.

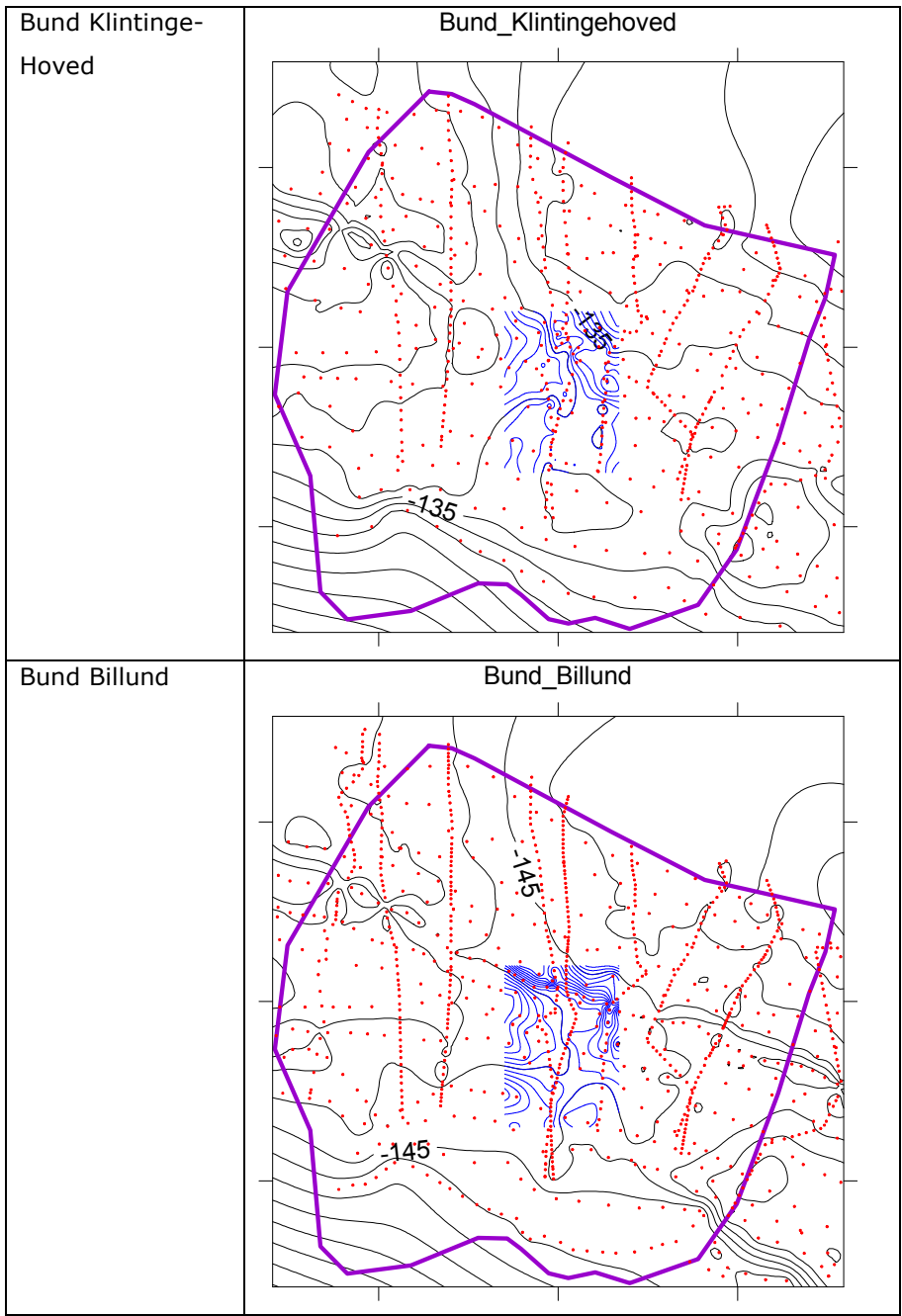
Tabel 3: Kote til bunden af de enkelte hydrostratigrafiske enheder.

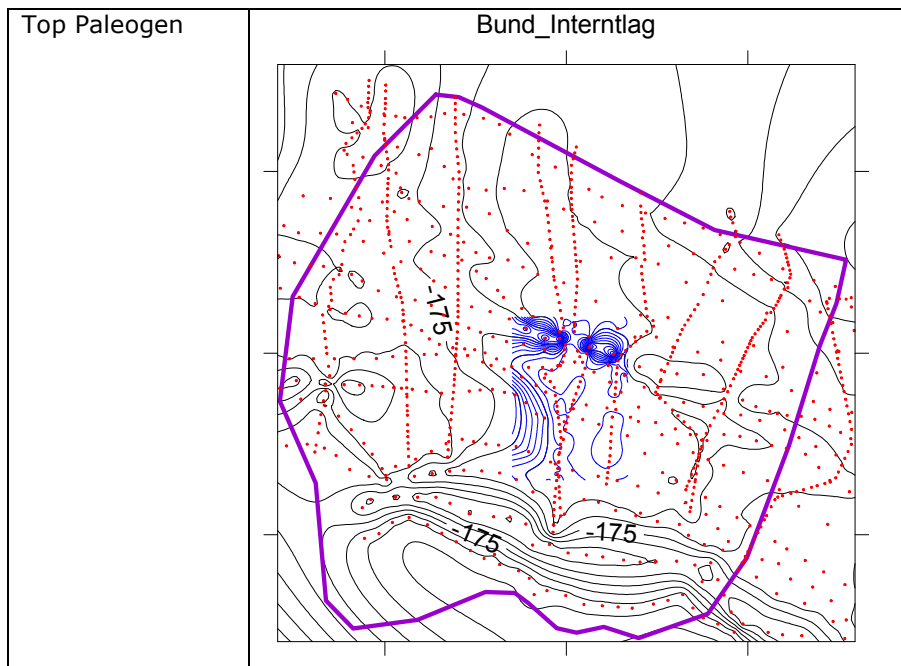
Højdemodel	
Topografi	
Bund SM1	<p style="text-align: center;">Bund_SM1</p> 
Bund ML1	<p style="text-align: center;">Bund_ML1</p> 











Underopdeling af lokalmodel

Lokalmodellen underopdeles i et større antal lag for at kunne beregne den vertikale strømning samt stoftransport. Det tilstræbes at have en cellemægtighed på 2-3 m. Samtidig skal modellen være stabil og så hurtig så muligt, dvs., man skal undgå for små lag samt unødigt mange lag.

Forbindelsen mellem regionalmodel og lokalmodel i LGR2 regi kræver at der er et helt antal underinddelinger for hvert lag.

Tabel 4: Underopdeling af lag til lokalmodel samt angivelse af minimum, middel og maksimum tykkelser (D).

Lag	D _{Min}	D _{Avg}	D _{Max}	Antal sub-lag
SM1	2.3	7.5	14.9	4
ML1	1.0	1.3	13.4	1
SM2	1.9	10.6	26.4	5
Odderup	31.6	52.6	68.2	20
Øvre Arnum	4.3	9.6	15	3
Arnum internt	3.4	6.4	11.5	3
Nedre Arnum	9.5	14.7	19.5	3
Bastrup	21	31	46	1
Sum		133.7		40

ML1 er ikke underinddelt, idet de områder hvor ML1 er til stede i lokalmodellen ikke indgår i området med forurening.

Bastrup sand er medtaget som et lag. Laget er medtaget for at kunne beregne transport af forurening under Arnum.

Produkt

Højdemodellen er interpoleret til modellernes skala og herefter indlagt direkte i grundvandsmodellen på celle-niveau.

Surfer™ Gridfiler er udarbejdet for hhv. den regionale og den lokale model.

Randbetingelser

For regionalmodellen fastsættes en nedre fasthold rand mod vest. Her er grundvandspotentiallet lavest. Mod øst benyttes en fluksrand (evt. en GHB rand). Mod nord og syd følger moderanden vandskellet og det antages at en no-flow rand her er ideel. Randen antages at være ens i alle modellag.

For lokalmodellen benyttes en fluksrand defineret ud fra regionalmodellen.

Grundvandsdannelse (RCH package)

Grundvandsdannelsen tilføres øverste modellag direkte til den mættede zone. Grundvandsdannelsen er nedbør fratrukket evapotranspiration. Da MIKE SHE Billund modellen har en god vandbalance er grundvandsdannelsen herfra benyttet direkte.

Databehandling

MIKE SHE Parameteren UZ-SZ beskriver fluksen af vand fra den umættede zone til den mættede zone. Denne parameter er gemt på daglig niveau, og udtrækkes. Der midles over 7 dages intervaller svarende til MODFLOW modellens 7 dages tidsskridt (stress periode længde).

Produkt

Der udarbejdes to datafiler; en med ugentlige middelværdier (`Flux_Dyn.dat`) og en med en global middelværdi for perioden 2001-2011 (`Flux_Stat.dat`).

Evt. Forbedringer

Der er i lokalmodellen en større detaljeringsgrad ned til 10x10 m. Evapotranspirationen er bestemt af de klimatiske parametre, arealanvendelse og jordbundstype. Specielt arealanvendelsen kan variere over korte områder og her vil en forøget detaljering kunne give et andet grundvandsdannelsesestimat.

Modellens nettonedbør – taget fra MIKE SHE modellen – som igen er taget fra DK modellen tænkes at have en hvis usikkerhed, idet klimadata har været skaleret op til 500 m x 500 m grid størrelse, hvorefter der er foretaget en nedskalering til 100 x 100 m og videre til lokalmodellens 10 m x 10 m. Man kan diskutere om dette er den bedste tilgang. Beregning af klimadata på 10x 10 m grid skala i lokalmodellens domæne kan give større variation og give mulighed for at specificere områder med bebyggelse og herved reduceret infiltration. Dette er eksempelvis gjort i modellen af Grontmij fra 2010 (fig. 2.5, s.8). Her er infiltrationen under byen ca. 80 mm/år mod 400 mm /år over landbrugsarealerne.

Indvinding (WEL package)

Datagrundlag

Oprindelig skulle indvinding for MIKE SHE modellen benyttes. Indvindingen i denne model er dog konstant på anlægsniveau for perioden år 1960 – 2100, og derfor ikke hensigtsmæssigt at benytte. Derfor benyttes seneste indberetning fra JUPITER.

Databehandling

MIKE SHE data

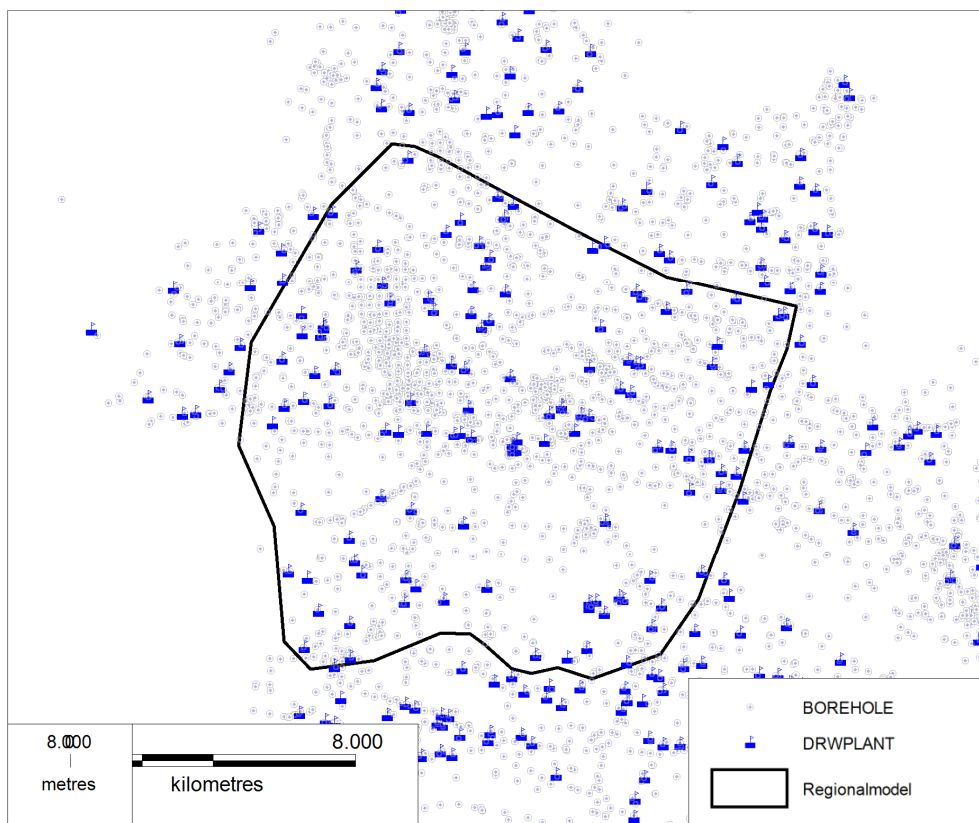
Mike SHE modellen benytter en stationær indvinding, og denne bibeholdes til den stationære model.

Jupiter data

Jupiterdata benyttes til den dynamiske model. Indvinding er indberettet på borigningsniveau. Hver tidsserie gennemgås. Såfremt der er huller i dataserien udfyldes denne med middel indvinding i modelperioden. Huller tolkes når der enten er et tomt felt, eller at der er indberettet -1, 999 eller lign, mens et 0 tolkes som ingen indvinding.

Hvis der er tale om en markvanding, gartneri eller anden sæsonbetonet indvinding, foretages al indvinding i perioden maj – august.

Jupiterdatabasen gennemgås for borer (BOREHOLE) og anlæg (DRWPLANT) inden for modelranden



Figur 3: Oversigt over anlæg og boringer i Jupiter indén for modelranden.

Grindstedværkets indvinding

Grindstedværkets indvinding er før 2002 kun indberettet for DGU nr. 114.1292, mens de andre boringer ikke har en indvinding. I Kruger (1997) findes en månedlig opgørelse over indvindingen for 1994-1997. Denne opgørelse er benyttet til at estimere indvindingen for disse boringer i perioden op til 2002 ved at se på den enkelt borings totale indvinding i forhold til den samlede indvinding, Tabel 5. Herefter er denne fordeling benyttet til at estimere indvindingen boringerne tilknyttet Grindstedværket.

Tabel 5: Indvindingsfordeling for Grindstedværkets boringer i perioden 1994-1997.

Boring	Indvindingsfordeling [%]
DGU114.1292	13
DGU114.1294	15
DGU114.1295	3
DGU114.1297	16
DGU114.1298	10
DGU114.1300	13
DGU114.1301	11
DGU114.1302	2
DGU114.1303	1
DGU114.1304	16

Produkt

Datafiler for indvinding er vedlagt for hhv. regional (WellAbs_v2_dyn.dat) og lokalmodel (WellAbs_v2_stat.dat). Datafilerne kan importeres direkte i GroundwaterVistas.

Filen WellAbs_v2_dyn_Grindsted.dat indeholder den korrigerede indvinding for Grindstedværket.

Evt. Forbedringer

Der er en del anlæg i DRWPLANT som ikke er georefereret. Dette vurderes at være fortrinsvis enkeltindvindere og markvanding. Disse kan indlægges, men vandbalancemæssigt er effekten begrænset.

Fluksrand (WEL package)

Datagrundlag

Fluksranden i den østlige del af modellen defineres af MIKE SHE modelresultaterne. Fluks overføres for følgende modellag:

MIKE SHE lag	Beskrivelse
10	Øvre kvartær sand
8	Nedre kvartær sand
7	Odderup sand
5	Internt Arnum lag
3	Bastrup sand
1	Billund

Databehandling

MIKE SHE modellens x komponent for strømning udtrækkes fra cellerne i randen og indlægges i MODFLOW modellen som indvinding i respektive lag.

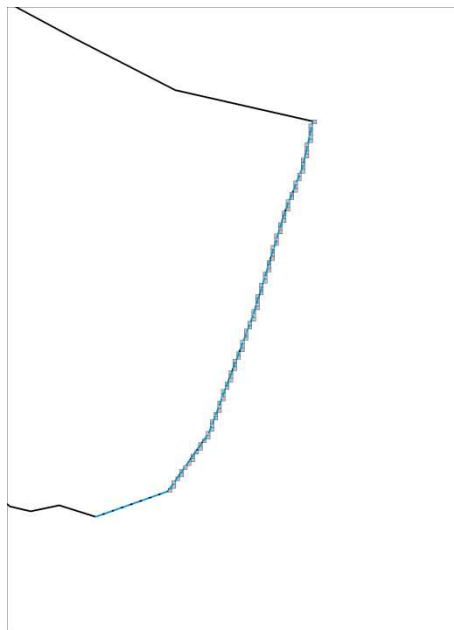
Produkt

Der er udarbejdet en fil for stationær og dynamisk fluks.

Fluksen har Reach ID 5.

Evt. Forbedringer

Kun x-komponenten er medtaget. Man kan også medtage Y komponenten i strømmingen, men da denne udgør ca. 1/10 af x-komponenten kan denne negligeres.



Figur 4 Modelceller langs randen af MODFLOW modellen, hvor en variabel fluks over randen indlægges.

Dræning (DRN package)

Dræning i modellen inkluderer aktive dræn samt forebygger vand på terræn. Dræning er derfor nødvendigt i modellen – dels for at simulere effekten af dræning samt overfladisk afstrømning.

Datagrundlag

Dræn er hentet fra MIKE SHE modellen, hvor to typer dræn for hhv. sandede og mere lerede jorde benyttes. Drænkoten i denne model er sat til 1 meter under modellens terrænværdi.

I den regionale model benyttes en drænkote svarende til 1 meter under middelen, og drænkonduktanser fra MIKE SHE modellen benyttes direkte. Drænkonduktansen er den kalibreringsparameter.

Databehandling

MIKE SHE drænsopsætningen er oversat til MODFLOW.

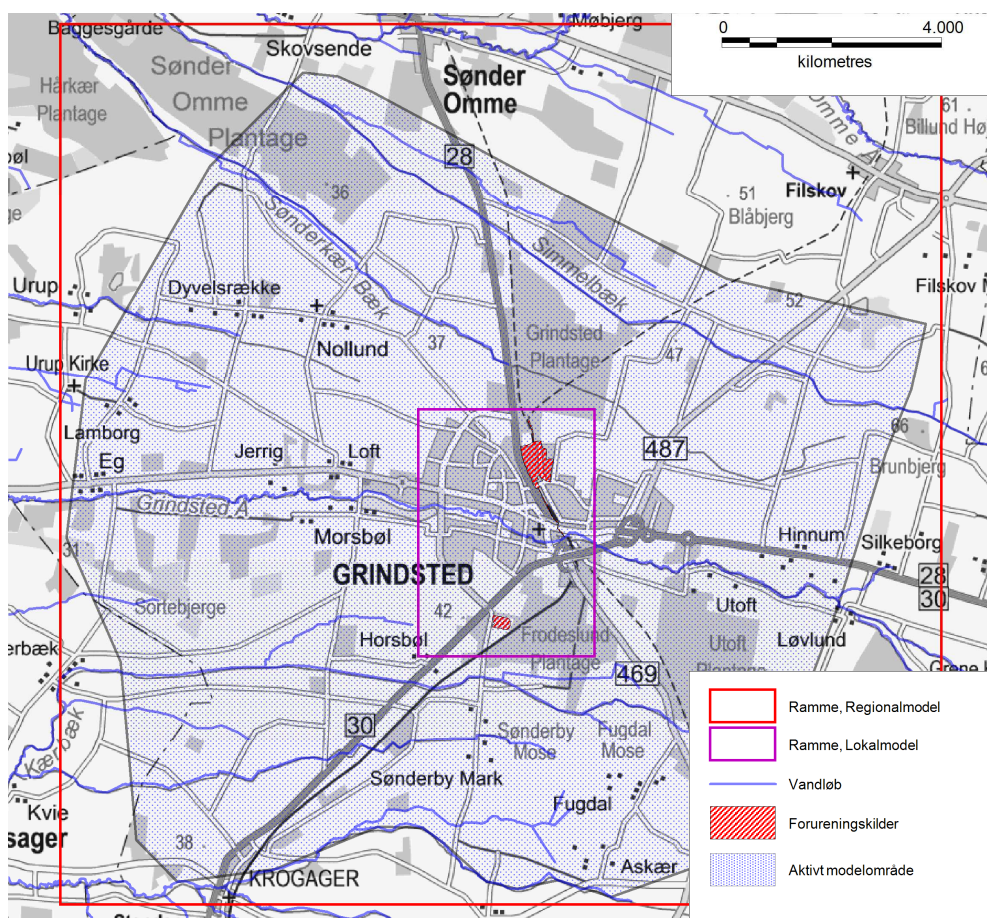
Produkt

Filerne DRNr_v2.csv og DRNI_v2.csv indeholder input til GWV modellens dræn for hhv. den regionale og den lokale model.

Vandløb (RIV Package)

Datagrundlag

For vandløbstema benyttes data fra ArealInfo. Vandløb af 1. og 2. orden antages at være vandfyldte hele året, og indlægges i den regionale model som RIV (og SFR2 med tværsnit i lokalmodellen). Mindre vandløb vurderes at fungere som dræn og indlægges som DRN (se ovenfor).



Figur 5: Oversigt over modellens vandløb.

Databehandling

MIKE 11 modellens vandløbskoter er sammenholdt med højdemodellen. MIKE 11 modellens tværsnitsminimum koter ligger ofte over terrænmodellen, specielt i den nedre del, hvor vandløbet løber gennem byen, Tabel 6.

**Tabel 6: Sammenligning af koter for MIKE 11 modellen ,ed højdemodel-
len samt koter benyttet til MODFLOW modellens dræn og vandløb på
udvalgte punkter langs MIKE 11 modellen.**

MIKE 11 Tvær- snitsminimum	Højdemodel - Minimumskote [m]	Middelkote, (Model) [m]	Dræn Kote [m]	RIV kote [m]
45.67	46.7	48.9	47.9	45.3
44.56	45.7	46.4	45.4	44.3
42.83	43.6	44.5	43.5	42.2
41.6	42.1	42.9	41.9	40.7
40.08	40.1	41.5	40.5	38.7
37.2	38.2	38.4	37.4	36.8
36.72	37.2	37.3	36.3	35.8
35.59	36.2	36.6	35.6	34.8
35.24	34.4	35.9	34.9	34.06
34.8	34.2	34.4	33.4	32.8
31.37	33.3	33.3	32.3	-
32.32	30.5	30.7	29.7	29.1
30.89	28.6	28.8	27.8	27.2
28.81	27.8	28	27	26.4

Produkt

RIV filer for hhv. den regionale (RIVr.csv) og den stationære model (RIVr.csv) kan indlæses i GWV modellen.

Forbedringer

Der er nogen usikkerhed på vandløbs GIS temaet ved Engsøen, idet minimum på højdemodellen ligger syd for vandløbet. LAK modulet kan overvejes. Det vurderes ikke at have den store betydning.

Lokalmodellens RIV kote er sat til 1.3 m under laveste kote for DHM modellen. Den svinger lidt, og en bedre estimeret kote er at foretrække. Alternativt, så burde RIV delen udskiftet med SFR2. Man vinder minimalt på det, men tværsnit og vandstandskote kan overføres.

Pejledata (OBS, HOBS package)

Der benyttes forskellige kilder til kalibrering af modellen, og pejledata udgør den vigtigste kildedata. Pejlingerne er alle DVR90 reference.

Der arbejdes med to datasæt: Et dynamisk og et stationært.

Hvert datasæt opdeles i en lokal og en regional del.

Datagrundlag

- A. MIKE SHE modellens pejledata er benyttet direkte. Et dynamisk datasæt som er tiltænkt at være egnet til den dynamisk regionale model. Her er 58 boringer, primært pænt fordelt i den regionale model.
- B. Jupiter database. Her udtrækkes middel potentiale for perioden 2000 – 2011. Data benyttes i den stationære model. 336 boringer fordelt i både lokal og regionalmodellen. I den transiente model er der samlet 62768 pejlinger, dog er det enkelte boringer som står for størstedelen (103.1542, 113. 111, 114.1439, 114.1618 og 114.1647).
- C. Datafil med synkronpejlede data (Bilag 1 Synkronpejlede_boringer). Denne datafil indeholder 96 pejlinger. Pejlinger er tilknyttet den lokale model.
- D. DTU pejleudtræk. En serie terrænnære pejlinger fra 1992 – 1996. Data er specielt egnet til den lokale dynamiske model
- E. Regionens egne pejlinger. 534 pejlinger fordelt på 115 boringer/indtag. De fleste boringer ligger i lokalmodellen, Figur 6.



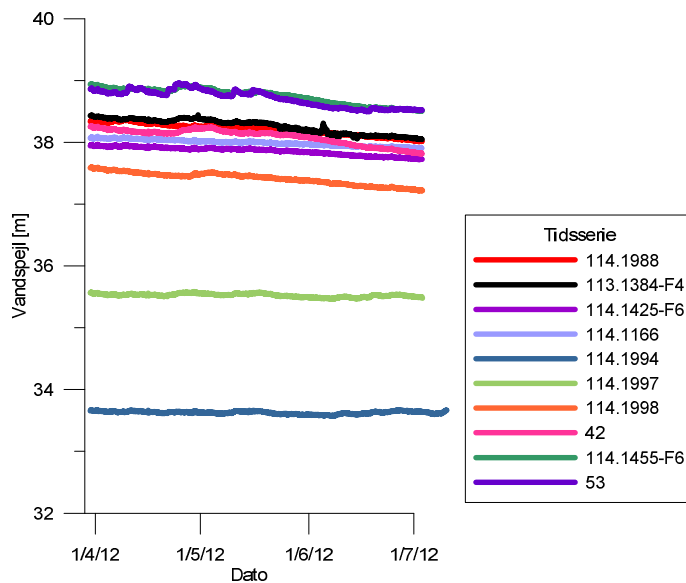
Figur 6: Oversigt over pejleobservationer for gruppe E.

F. Tidsserier_lossepladsen_1994-96. Region Syd's egen dataindsamling.

Tidsserier for følgende indtag: DTU_P1362, DTU_L11_1995-96,
DTU_injektion_1994-96, 114.1455, 114.1454, 114.1453, 114.1384

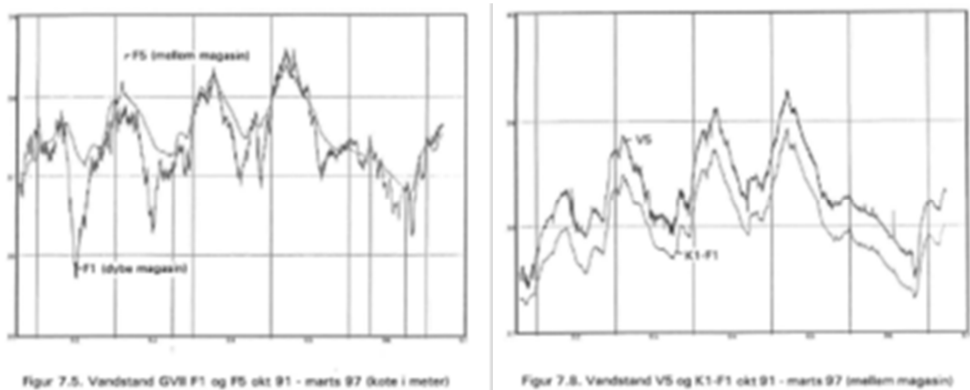
G. Tidsserier_Grindsted_By_2008-9- Region Syd egne data for 114.1424F1,
114.1424F5, 114.1425F2, 114.1430F1 og 114.1447F1

Orbicon2012 loggedata. Orbicon har i perioden 30 / 3 / 12 - 10 / 7 / 12
indsamlet vandspejl i følgende boringer: 114.1384-F4, 114.1988,
113.1166, 114.1994, 114.1997, 42, 114.1455-F6 og 53. Data ligger
uden for modellens temporale ramme.



Figur 7: Orbicon loggedata for 10 indtag.

H. RSD_2011-2014. Region Syd Pejleprogram. Tidsserier for tryk og tempe-
ratur i boringerne DGU nr. 114.1447, 114.1448, 114.1495, 113.1996,
114.1997, 114.1453, 113.1403, 114.2038, 114.2121. Enkelte boringer
er data inkl. flere indtag. Tidsmæssigt 2011-2014, dvs. uden for model-
lens temporale afgrænsning. 1994-
12_Grundvandsovervågning_ved_Grindsted_Products indeholder grafer
for pejleserier, der ikke er indberettet, /4/, se Figur 8.



Figur 8: Tidlig udvikling i borerne benyttet til grundvandsovervågning i 90'erne.

Dette datasæt er ikke inkluderet. For boring GVII (DGU nr. 114.1430) ser man historisk tryk for Odderup og Bastrup sand (den glatte), mens figuren til højre viser trykket i Odderup sandet i to borerne.

Databehandling

De enkelte datasæt er behandlet således at de kan læses af Groundwater Vistas.

- For de dynamiske datasæt er der kun en værdi for hver stressperiode. For flere datapunkter i samme stressperiode benyttes middel og variansen tilføjes vægten (usikkerheden).
- De stationære pejledata tilknyttes en usikkerhed, svarende til alle data man midler over. Store variationer giver herved mindre vægt.

Data A+B

Alle tilgængelige data er udtrukket og indlagt i respektive modeller (stationær / dynamisk, regional / lokal). For transiente data forekommer kun et punkt pr. stressperiode

Data C

Data er benyttet i den stationære model.

Data D

Data klargjort til den dynamiske model. Data er reduceret til et punkt pr. stressperiode.

Data E

Data klargjort og indlagt i den dynamiske model.

Data F+G

Data er trunkeret således at der kun forekommer et datapunkt pr. stressperiode. Datapunktet er beregnet som middel af alle pejlinger i en stressperiode og varia-

tionen (standardafvigelsen) benyttes til vægt. Data uden for den dynamiske models temporale afgrænsning ekskluderes.

Data H+I

Tidsserier ligger uden for modellens temporale afgrænsning. Data vil blive benyttet til den stationære model.

Enkelte pejlinger falder markant udenfor forventede værdier og ekskluderes fra inversionen, se Tabel 7.

Tabel 7: Oversigt over pejleboringer ekskluderet fra modellen.

Model	Ekskluderede pejlinger	Kommentar
Regional Stationær	114.1570, 114.1977	114.1570: Vandværksboring med to pejlinger med 5 m difference (antageligt indvindingspåvirket)
Regional Dynamisk		
Lokal Stationær	114.2121	114.2121
Lokal Dynamisk		

Produkt

Der udarbejdes en datafil for hvert datasæt. De regionale modeller benytter ikke pejlepunkter, som ligger i de lokale modeller, idet der ikke beregnes et trykniveau her. I modellerne forekommer gengangere af boringer. Tabel 8 giver en oversigt over antallet af boringer og pejlinger i respektive modeller

Tabel 8: Oversigt over grundvandspejlinger i respektive modeller

Model	Antal boringer	Antal observationer
Regional Stationær	34	34
Regional Dynamisk	255	3691
Lokal Stationær	196	196
Lokal Dynamisk	90	1191

Kalibrering

Kombineret modelkalibrering i PEST

Der foretages en kombineret kalibrering af området i PEST på fire modeller:
Stationær / Dynamisk og regional / lokal.

I PEST genereres datafiler til disse fire modeller, hvorved der for hver iteration benyttes identiske hydrauliske parametre i alle fire modeller.

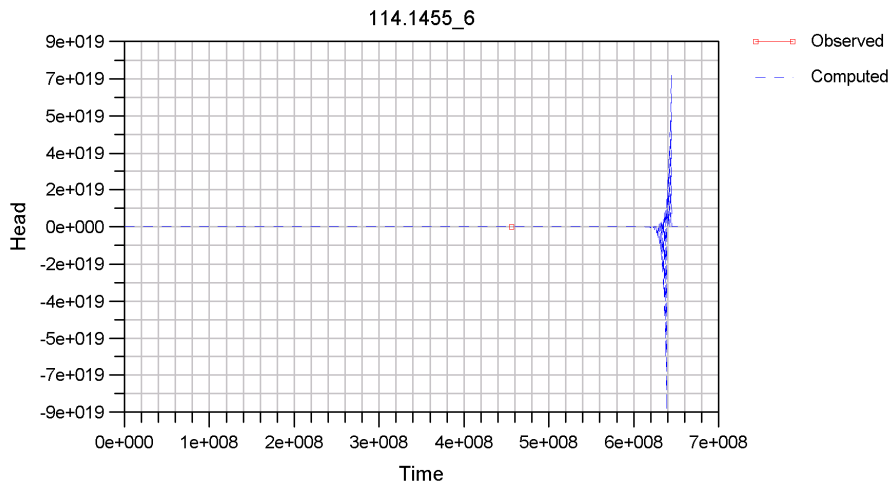
Først køres de stationære modeller, hvor der findes en stationær løsning på både den regionale og den lokale model. Modellerne afvikles simultant vha. MODFLOW LGR2. Løsningen benyttes som initial betingelse for de dynamiske modeller. Da den regionale LGR model ikke laver en løsning for den lokalmodellens område i regionalmodellen, foretages initialt en løsning af regionalmodellen med PEST parametre. Denne løsning benyttes som initial betingelse for den regionale dynamiske model.

Herefter beregnes en løsning for de dynamiske modeller, som også afvikles simultant. Fluksen over randen til lokalmodellen beregnes for hvert tidsskridt, og der er herved kontinuert overensstemmelse mellem den regionale og den lokale model.

Stabilitet kontra beregningstid

For den stationær løsning benyttes adskillige iterationer i LGR for at opnå den bedste udveksling mellem de to modeller. Da hver modeliteration tager godt 1 minut, vil modellen konvergere inden for få minutter. For den dynamiske model er der kun en iteration, dvs. at løsningen fra den regionale model benyttes i den lokale model. Denne eksplicitte tilgang skyldes at hver gennemberegning af den stationære model tager godt 5 timer.

Dog kan der forekomme ustabilitet, hvilket fremstår som vekslen mellem meget høje og meget lave trykniveauer. Ustabiliteten kan indtræde sent i beregningen, se Figur 9 hvor modellen bryder sammen efter 6.2×10^8 tidsenheder [sekunder]. For at imødekomme dette opdeles hver stress periode i 2 tidsskridt, hvorefter modellen er stabil.



Figur 9: Eksempel på ustabil model.

Justering af model under kalibrering

Kvartær sand og Odderup får egen zone i lokalmodellen. Den vertikale komponent for hydraulisk ledningsevne fritstilles også i lokalmodellen. (PEST)

Der indføres en storage zone 3 for øverste modellag for at kompensere modellen mod at der benyttes spændte modellag. (LPS, ZONE)

Frit vandspejl i lokalmodellen

Frit vandspejl er indlagt i lokalmodellen. Koblingen til regionalmodellen (som stadig er spændt) fungerer fint, og der er ikke nogen stor forøgelse af beregningstiden (som er 6-10 timer). Man skal være opmærksom på at der er pejllinjer som ligger i øverste lag i lokalmodellen, hvor cellerne er tørlagte og derved tildeles et tryk på 999 m. Disse boringer flyttes til underliggende numeriske lag.

Ændring af rch fil til øverst active lag

Ændringen gav igen større ændringer i modelperformance / resultat.

Transport output fra lokal-stationær model (LMT pakken)

Koblingen til LMT pakken (som skal være lmt7 pakken) crasher når der benyttes frit vandspejl. Det tænkes at man bør køre stoftransport på en model med spændt magasin.

Erfaringer for modellen under kalibrering

Enkelte pejleobservationer i den lokale dynamiske model er fejlbehæftet. Disse observationer er fjernet fra PEST (vægten sat til meget lav). Deres betydning var 80 % af objektfunktionen, så denne del af modellen har været presset mod en forkert værdi.

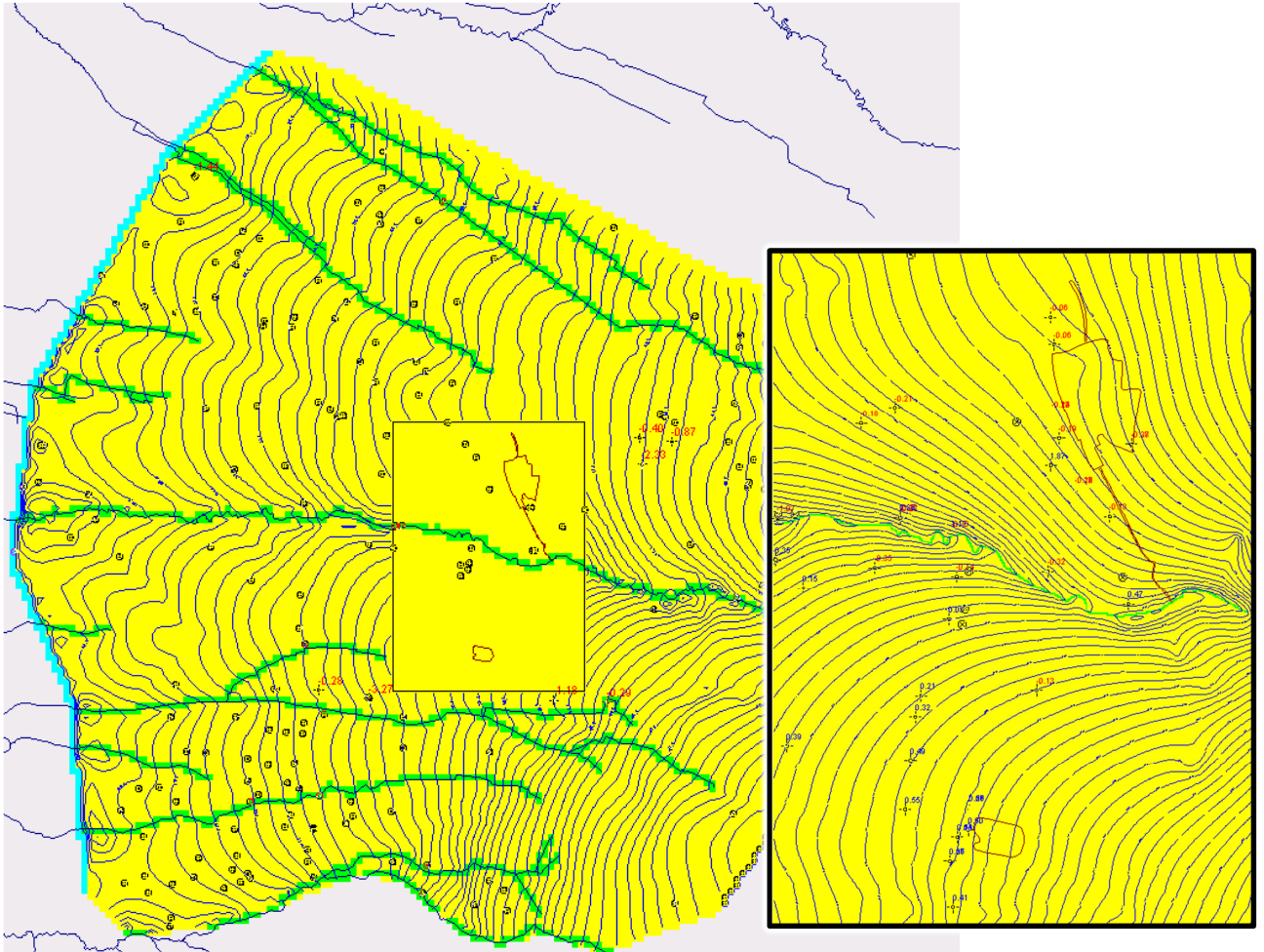
LGR koblingen virker fornuftig idet lokalmodellen får en god dynamisk rand. Kalibreringen er kørt til minimum, og man kan diskutere om resultatet er godt nok. Der er pejleobservationer, som har et lidt for større residual, men man skal tænke på at – specielt den stationær model – er en relativ stor usikkerhed på pejlinger på grund af årlig variation i grundvandspotentialet i forhold til gradienten på grundvandspejlet.

Der ser ud til at være en svag bias i potentialet, således at pejlinger syd for Varde Å generelt har et positiv residual (lidt for lav beregnet vandstand). Dette kan skyldes usikkerhed på den hydrostratigrafiske model eller på klimadata.

Hvis det er den hydrostratigrafiske model, skyldes dette antageligt heterogeniteten i de øvre hydrostratigrafiske modellag. Syd for lossepladsen forekommer moræneler, og udbredelsen af dette lerlag må tænkes at have stor betydning for den terrænnære strømning. Dette lags nordlige afgrænsning er usikker. Dette er noget man kan se på om dette kan give en modelforbedring.

Modelresultater

Modellens resultater er opdelt i regional og lokal skala, således at resultater for den lokale model ikke eksisterer i output fra den regionale model, Figur 10.



Lokal dynamisk	1973	926
SUM	4935	3361

Endelige parametre

Tabel 10 viser en liste over de endelige parametre fra modelkalibreringen. Parametre i kolonnen for lokalmodellen har fået lov til at afvige fra den regionale model.

De fleste parametre har realistiske størrelse og kan sammenholdes med tidligere modeller. Dog skal det bemærkes at den vertikale hydrauliske ledningsevne for Arnum-formationen er relativ høj (KZ5), specielt i den regionale model.

Porøsiteten er fundet til at være mellem 5 og 15 % og er fundet ved at tilpasse dynamikken i de dynamiske modeller.

Tabel 10: Oversigt over endelige parametre fra kalibrering

Formation	Parameter	Regional	Lokal	Grøntmij (2010) /2/	GEUS (2009) /5/
Øvre Kvar-tært sand	kx1	6.447E-04 m/s	3.697E-04 m/s	4.1e-4 m/s	5.33e-4 m/s
	kz1	6.447E-05 m/s	3.697E-05 m/s		5.33e-5 m/s
Moræneler	kx2	6.347E-08 m/s			2.51e-7 m/s
	kz2	6.347E-09 m/s			2.51e-8 m/s
Nedre Kvar-tært sand	kx3	1.452E-04 m/s	1.309E-04 m/s		5.33e-4 m/s
	kz3	1.452E-06 m/s	1.309E-06 m/s		5.33e-5 m/s
Odderup sand	kx4	3.017E-05 m/s	1.364E-04 m/s	4.6e-4 m/s	5.33e-4 m/s
	kz4	3.017E-07 m/s	9.997E-06 m/s		5.33e-5 m/s
Øvre Arnum ler	kx5	1.000E-06 m/s	3.767E-07 m/s	1.9e-7 m/s	2.51e-7 m/s
	kz5	1.000E-06 m/s	3.767E-07 m/s		2.51e-8 m/s
Mellem Ar-num Sand	kx6	3.202E-05 m/s		1.7e-5 m/s	5.33e-4 m/s
	kz6	3.202E-06 m/s			5.33e-5 m/s
Nedre Arnum Ler	Kx7			1.3e-7 m/s	2.51e-7 m/s
	Kz7				2.51e-8 m/s
Bastrup Sand	kx8	4.829E-05 m/s		3.1e-4 m/s	5.33e-4 m/s
	kz8	4.829E-07 m/s			5.33e-5 m/s
Klintinge-hoved ler	kx9	4.432E-08 m/s		1.8e-7 m/s	2.51e-7 m/s
	kz9	4.432E-08 m/s			2.51e-8 m/s
Billund sand	kx10	2.082E-04 m/s		1.6e-5 m/s	5.33e-4 m/s
	kz10	2.082E-06 m/s			5.33e-5 m/s

Vejle fjord ler	kx11	2.193E-08 m/s		1.5e-10 m/s	2.51e-7 m/s
	kz11	2.193E-09 m/s			2.51e-8 m/s
DRN konduktanser	dr1	9.107E-03 m ² /s	2.34E-04 m ² /s		
	dr2	9.741E-03 m ² /s	2.23E-05 m ² /s		
RIV konduktans	riv1	1.749E-04 m ² /s	5.68E-05 m ² /s		
Magasintal	ss1	4.661E-03 s ⁻¹	5e-005		
	ss2	5.021E-04 s ⁻¹	5e-005		
	ss3	4.078E-02 s ⁻¹	5e-005		
Specifik Ydelse	sy1	0.144	0.2		
	sy2	8.83E-02	0.2		
	sy3	5.13E-02	0.2		

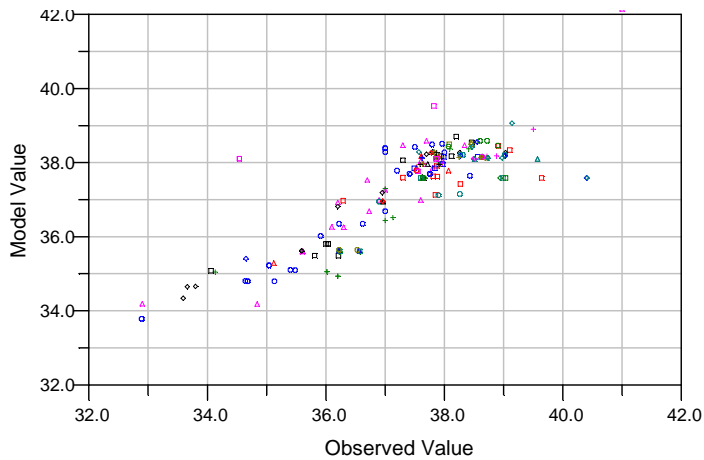
I Tabel 10 er der desuden en sammenligning med de hydrauliske ledningsevner fundet i de to tidligere modeller. Der er generelt overensstemmelse (inden for en dekade) mellem de hydrauliske ledningsevner i de forskellige modeller, men der er også nogle større forskelle. Primært ser man at den hydrauliske ledningsevne for Odderup er lidt lavere (en dekade) i indeværende model og at den vertikale hydrauliske ledningsevne i Arnum ler er ca. 1 dekade højere og Bastrup sandet er en dekade mindre.

Transmissiviteten for Bastrup sand med prøvepumpninger fra hhv. /7/ og /8/ er fundet til at være ca. 0.01 m²/s. Med en magasintykkelse på ca. 30 m giver det en hydrauliske ledningsevne på ca. 0,0003 m/s. Dette er ca. 1 dekade højere end indeværende model. Prøvepumpningen viser endvidere at der ikke er større lækage gennem Arnumformationen. Dette kunne godt tyde på at den fundne vertikale hydrauliske ledningsevne i Arnumformationen er overestimeret i denne model. Dette er noget man kan se på ved en fremtidig modelopdatering.

Residualer

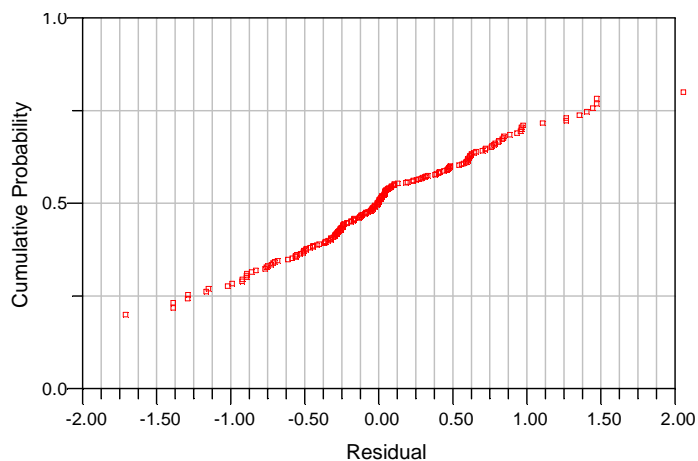
Stationær model

Figur 11 viser trykniveauer for den lokale stationære model. Der er en rimelig tilpasning til linjen $y=x$, med en usikkerhed på ca. 0.5 m. Der ses en svag tendens til at borerer med observation under 34 m er beregnet lidt for højt (~ 35 m), samt beregnet tryk er lidt underestimeret for observationer over 39 m. Man skal være opmærksom på at den årlige variation i grundvandspotentialet har en amplitude på omkring 1 meter, og at det flade grundvandsspejl i lokalmodellen betyder at mange observationer ligger inden for denne amplitude.



Figur 11: Beregnet tryk mod observeret tryk i den lokale stationære model.

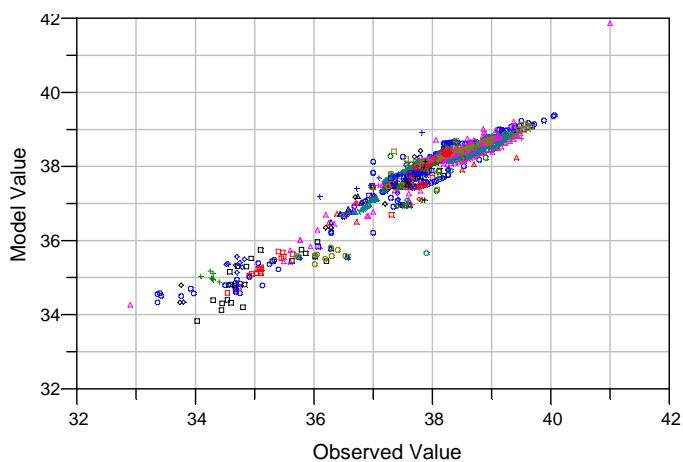
Figur 12 viser et kumulativt plot over de vægtede residualer. Disse falder på en ret linje og viser herved at fordelingen af residualer er normalfordelt.



Figur 12: Kumulativ hyppighed for vægtede residualer.

Dynamisk model

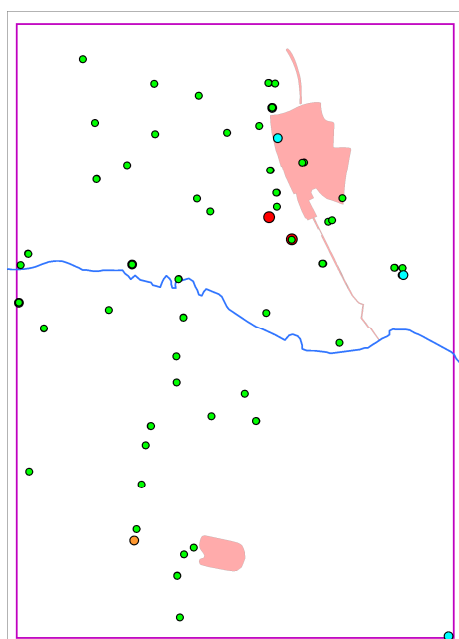
Ved kalibrering af den dynamiske model har fokus været at få den årlige dynamik i grundvandsspejlet reproduceret. Figur 13 viser beregnet potentiale som funktion af observeret potentiale i den lokaldynamiske model. Disse falder stort set på en ret linje omkring $y=x$. Der er en svag tendens til at det beregnede potentiale er lidt underestimeret for potentialeverdier over kote 39 m.



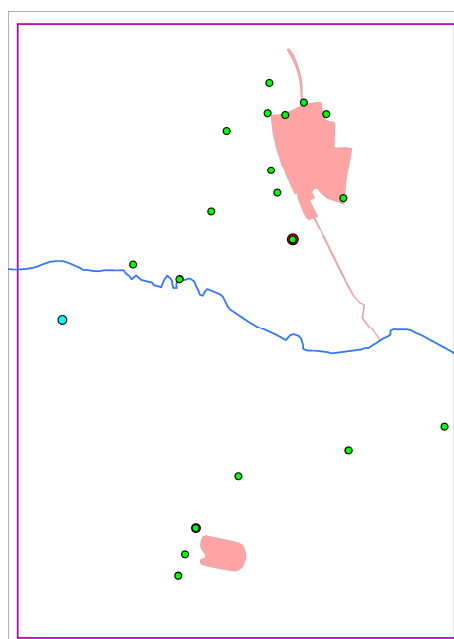
Figur 13: Beregnet grundvandspotentiale som funktion af observeret potentiale i den lokale model.

Rumlig fordeling af residualer

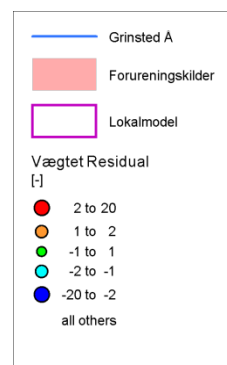
Figur 14 og Figur 15 viser kort over residualer for den lokale stationære model for hhv. indtag i Kvartær og Odderup formation. De fleste residualer falder inden for en standardafvigelse af pejlingerne (som er i nærheden af den årlige amplitude på grundvandspotentialet).



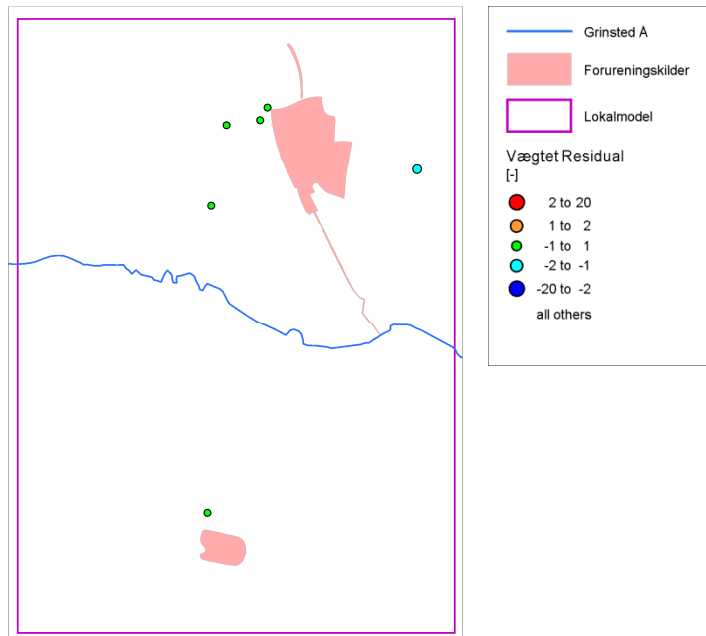
Figur 14: Residualer for den lokale stationære model for Kvartært sand.



Figur 15: Residualer for den lokale stationære model for Odderup sand.



Figur 16 viser fordelingen af residualer for indtag i Bastrup sand. Her er alle pejleobservationer inden for en standardafvigelse.



Figur 16: Residualer for den lokale stationære model for Bastrup sand.

Kalibreringsstatistik

Kalibreringsstatistikken er beregnet for hhv. den stationære regionale model og stationære lokale model.

Der beregnes fire statistiske størrelser, som korrigeres og herefter sammenholdes med kriterier fra GEUS' vejledning /6/.

Til beregning af kriterium 3 benyttes en S_{Obs} på 2.0 m svarende til den maksimale variation i grundvandspotentialen. Der er ikke foretaget en korrektion, hvis pejleboringen er i boring med aktiv indvinding.

Tabel 11 viser kalibreringsstatistik for den regionale stationære model. Der er en middelfejl (kriterium 1) på -0.54 m, svarende til overslag. Standardfejlen (kriterium 2) og RMS korrigeret for fejl er begge lave. RMS korrigeret for grundvandsgradient (Kriterium 4) er også på overslagsniveau. At kriterium 4 ikke er bedre kan skyldes at der er en relativ lav gradient på grundvandspotentialen og og herved er dH_{max} relativ lille (21 m).

Modelstatistikken anses for at være acceptabel idet den regionale model i princippet kun skal fungere som rand til lokalmodellen.

Tabel 11: Statistik på pejleobservationer for den regionale stationære model.

Kriterium	Statistisk mål		Beregnet	Screening	Overslag	Detail
1	Residual mean	ME	-0.54 <	1.09	0.55	0.22
2	Standard Error	SE	0.54 <	2.60	2.00	1.65
3	Root Mean Square	RMS/Sobs	0.57 <	2.60	2.00	1.65
4	Root mean square	RMS	1.13 <	2.18	1.09	0.55

Tabel 12 viser statistik for den lokale model. Middelfejlen (kriterium 1) er meget lav. Standardfejlen (kriterium 2) er lav og RMS korrigeret for fejl (kriterium 3) også acceptabel. RMS korrigeret for grundvandets hældning er derimod ikke opfyldt. Dette skyldes at grundvandsspejlet i lokalmodellen er meget fladt og kun spænder over 8 meter.

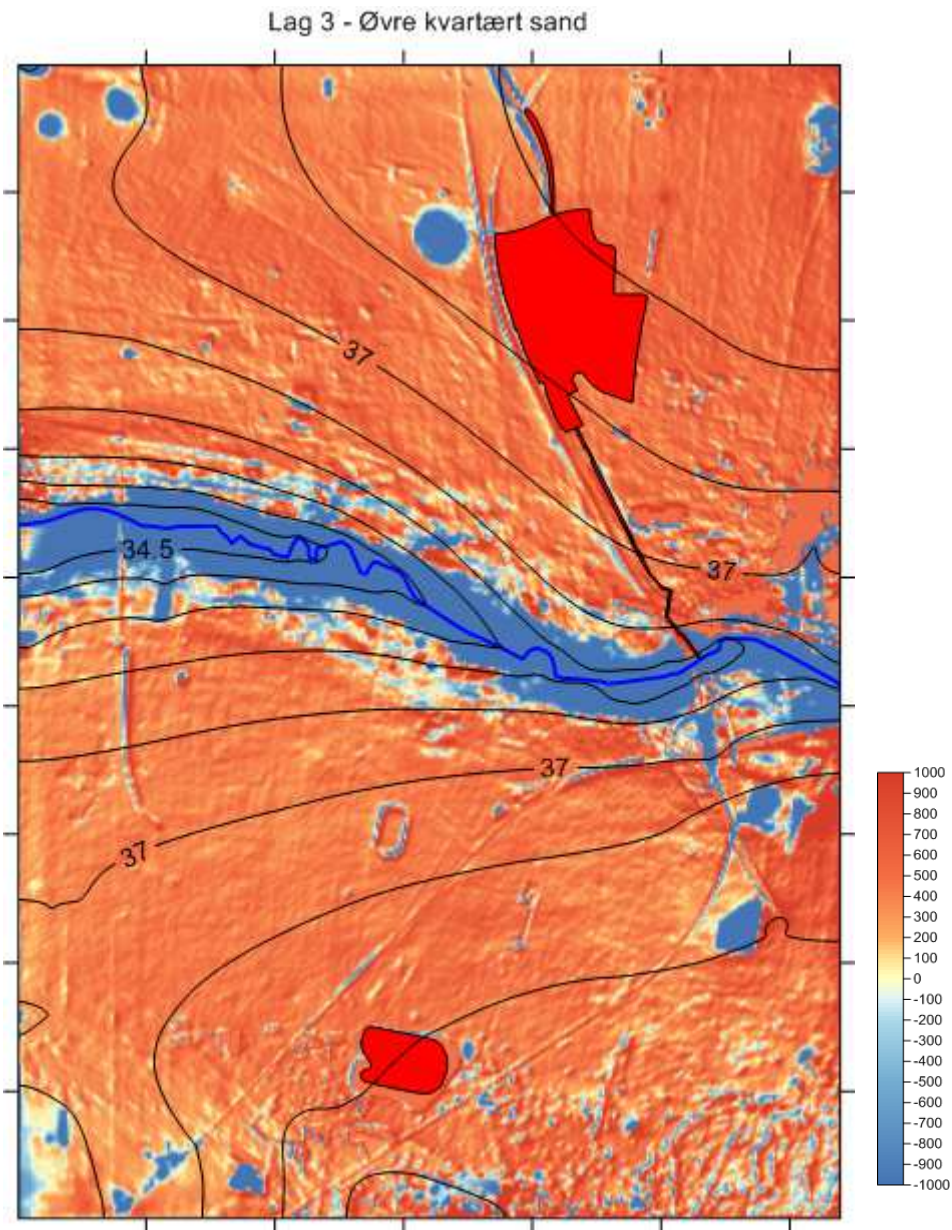
Tabel 12: Statistik på pejleobservationer for den lokale stationære model.

Kriterium	Statistisk mål		Beregnet	Screening	Overslag	Detail
1	Residual mean	ME	0.02 <	0.42	0.21	0.08
2	Standard Error	SE	1.47 <	2.60	2.00	1.65
3	Root Mean Square	RMS/Sobs	0.38 <	2.60	2.00	1.65
4	Root mean square	RMS	0.76 <	0.84	0.42	0.21

Afledte resultater

I de følgende afsnit vil forskellig modeludtræk blive præsenteret.

Figur 17 viser den vertikale fluks i den øvre del af kvartær (modellens lag 3). Der ses en opadrettet strømning i ådalen samt i nogle af de tilstødende rande og grøfter. Generelt er der uden for ådalen en nedadrettet gradient i størrelsesordenen ca. 300 mm / år. På figuren ses endvidere trykniveauet for det pågældende lag. Her ses at ådalen fungerer som regionalt dræn, og at der er en strømning mod ådalen fra hhv. nord og syd. De andre dræn påvirker ikke i samme grad grundvandspotentialen og er derfor ikke så betydende som det regionale dræn i Grindsted ådal.

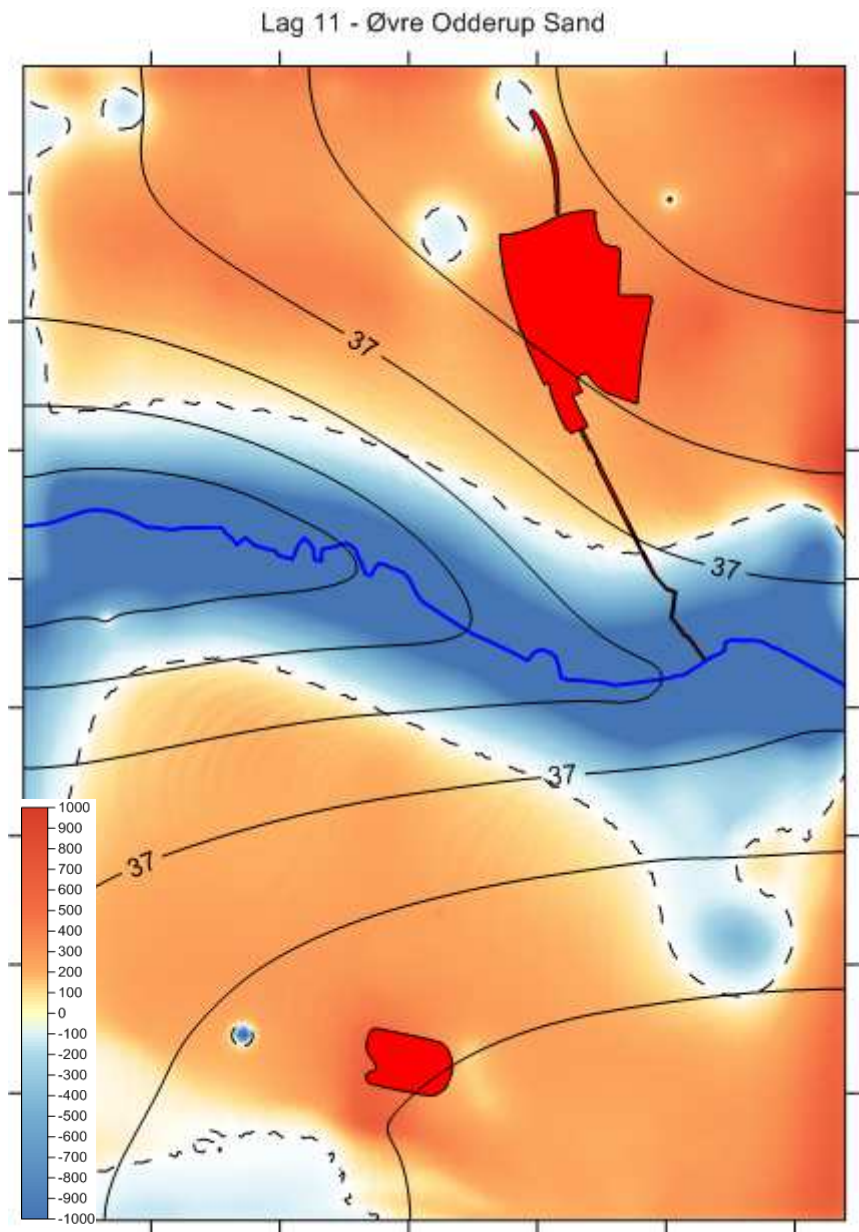


Figur 17: Vertikal fluks [mm/år] samt grundvandspotentialet [m] i lag 3 (øvre del af modellen)

Figur 18 viser den vertikale strømning i den øvre del af Odderup sandet, svarende til modellens lag 10. Allerede i denne dybde ser man en betydelig udglatning af den terrænnære påvirkning. Dette ses også på potentialelinjerne, som er betydeligt mere afrundede end potentialelinjerne nær terræn.

De blå områder viser at der er en opadrettet gradient omkring ådalen, men også at overgangen ikke er defineret som en skarp grænse lige ved ådalens afgrænsning men uden for denne. Dette betyder at der uden for ådalen (men tæt på denne) forekommer en transitionszone, hvor der ved terræn er en nedadrettet

gradient, mens der ved overgangen mellem Kvartær og Odderup formation forekommer en opadrettet gradient.

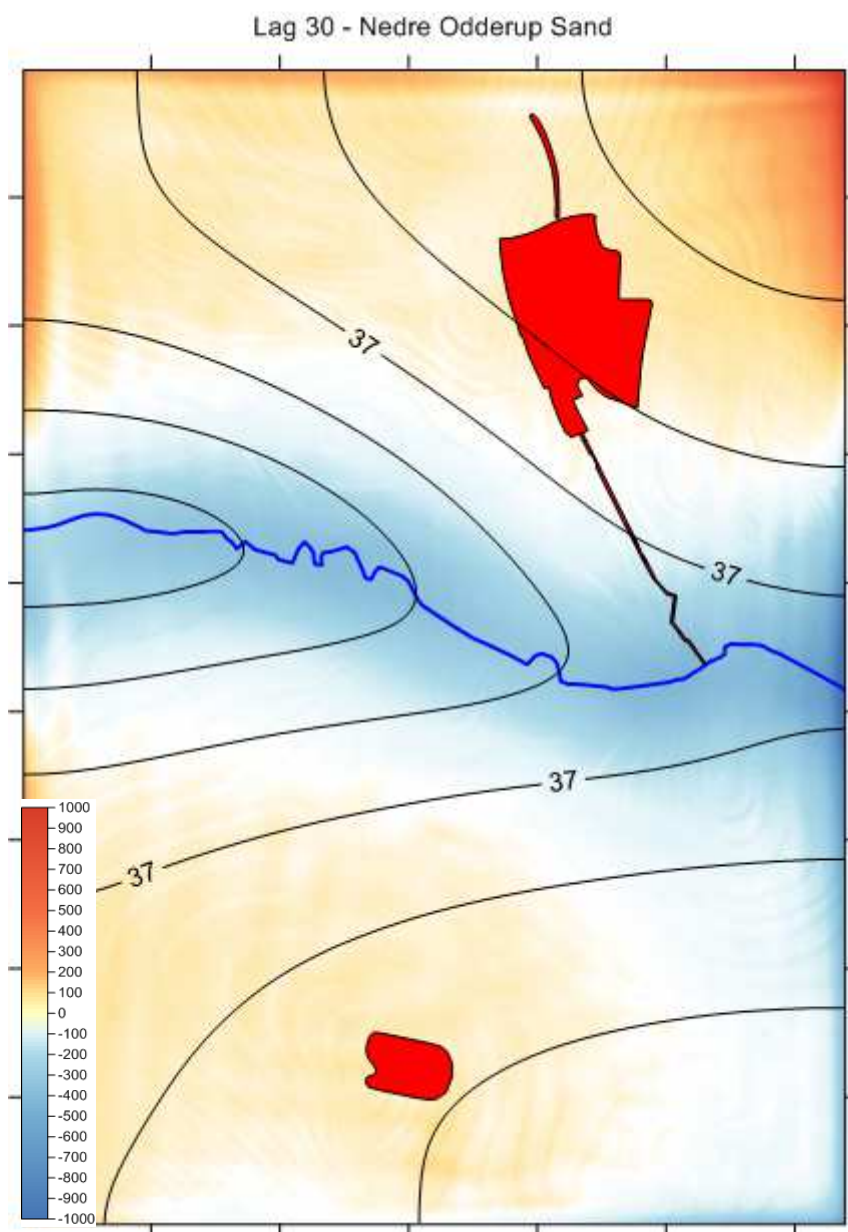


Figur 18: Vertikal fluks [mm/år] samt grundvandspotentialet [m] i lag 10 (Øvre del af Odderup sand)

Figur 19 viser den vertikale fluks i bunden af Odderup sandet nær overgangen til Arnum formation. Grænsen mellem opadrettet og nedadrettet gradient er flyttet lidt længere væk fra Grindsted Ådal. Størrelsen af den vertikale fluks er endvidere mindre, og nu stort set under 100 mm/år.

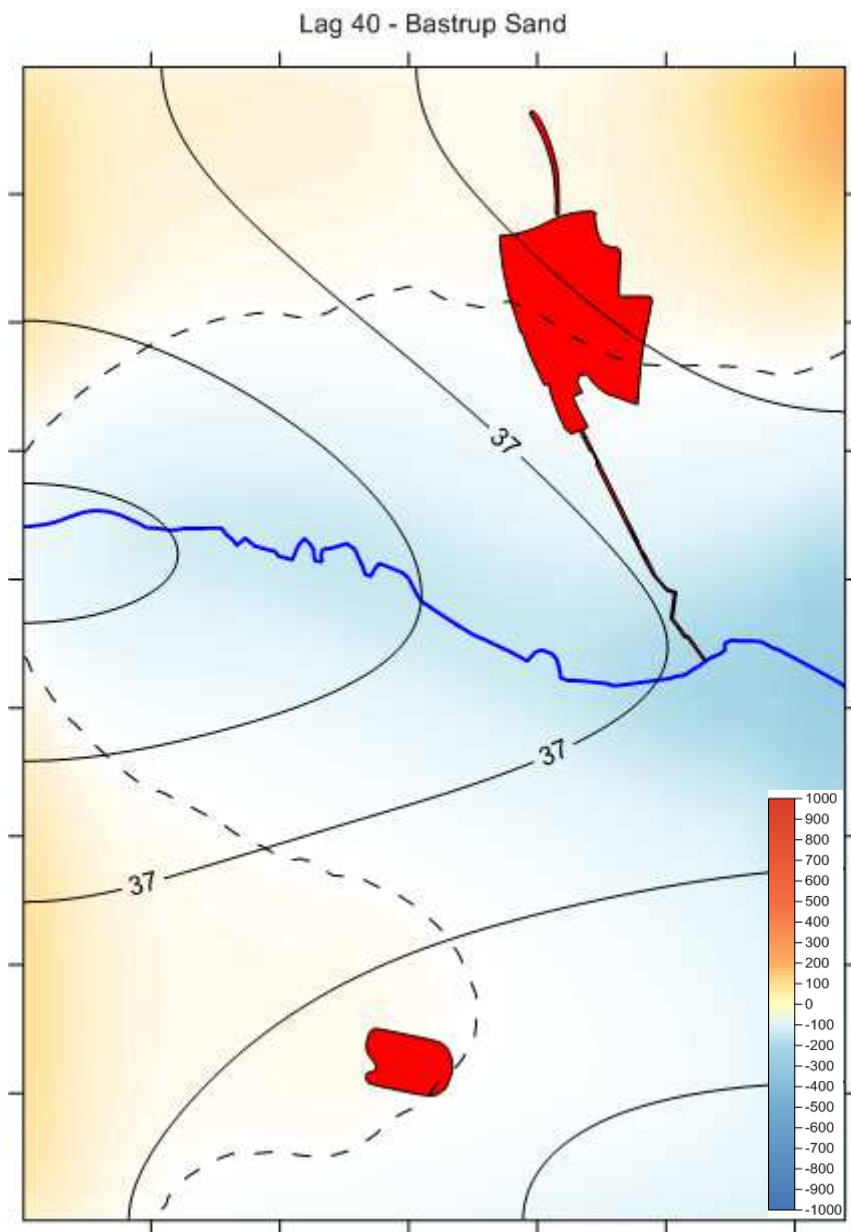
Tætheden (dvs. den vertikale hydrauliske ledningsevne) af Arnumformationen er her vigtigt, idet en mindre permeable Arnumformation vil betyde at den vertikale-

le fluks gennem denne vil være betydelig mindre. Kalibreringen gav en relativ høj vertikale hydraulisk ledningsevne, hvor en lavere hydraulisk ledningsevne vil betyde at udvekslingen af vand (både opadrettet og nedadrettet) vil være betydelig mindre. Grænsen mellem opadrettet og nedadrettet strømning vil antageligt være uændret. Så hvis der er forurening under Odderup sandet vil den fundne vertikale hydrauliske ledningsevne for Arnumformation være en 'worst case' situation.



Figur 19: Vertikal fluks [mm/år] samt grundvandspotentialet [m] i lag 30 (Bunden af Odderup sand)

Figur 20 viser den vertikale fluks i toppen af Bastrup sandet. Man ser at området der skiller opadrettet og nedadrettet strømning går gennem Grindsted by samt lossepladsen i syd.



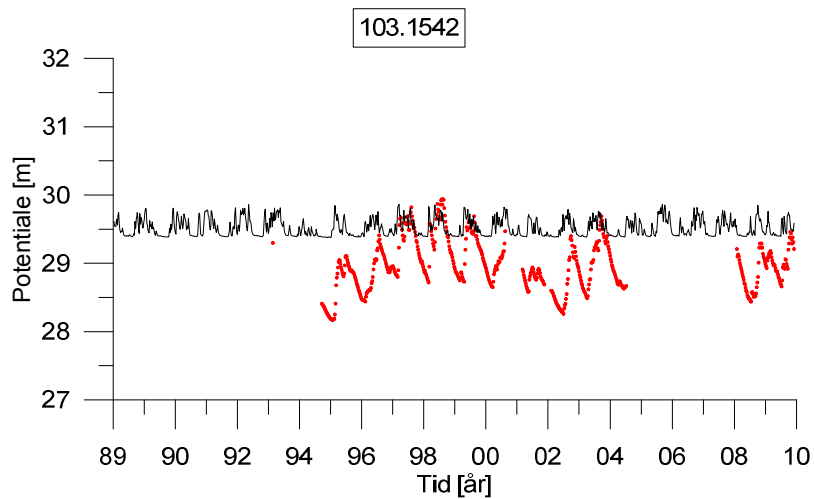
Figur 20: Vertikal fluks [mm/år] i lag 30 (Toppen af Bastrupsand)

Tidsserier

Tidsserier for pejleobservationer er vist for udvalgte indtag i både den regionale og den lokale model.

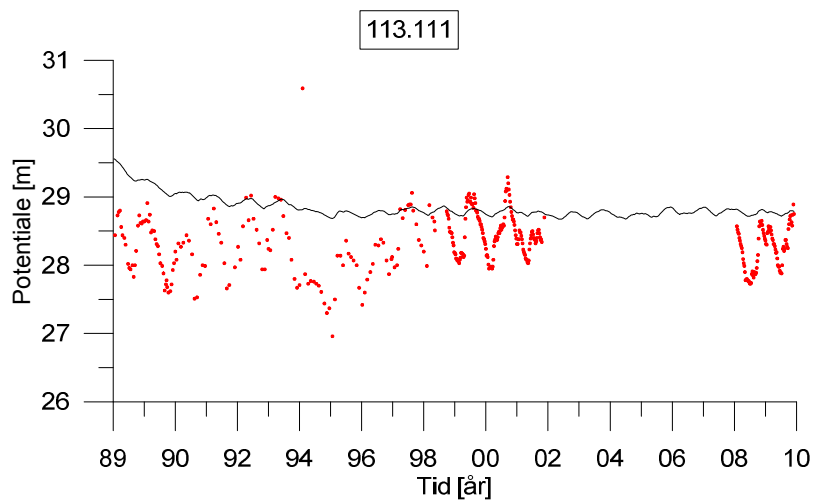
Tidsserier for den regional-dynamiske model

Figur 21 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 103.1542. Modellen når ikke under kote 29.5 m. Maksimumniveauet er acceptabelt.



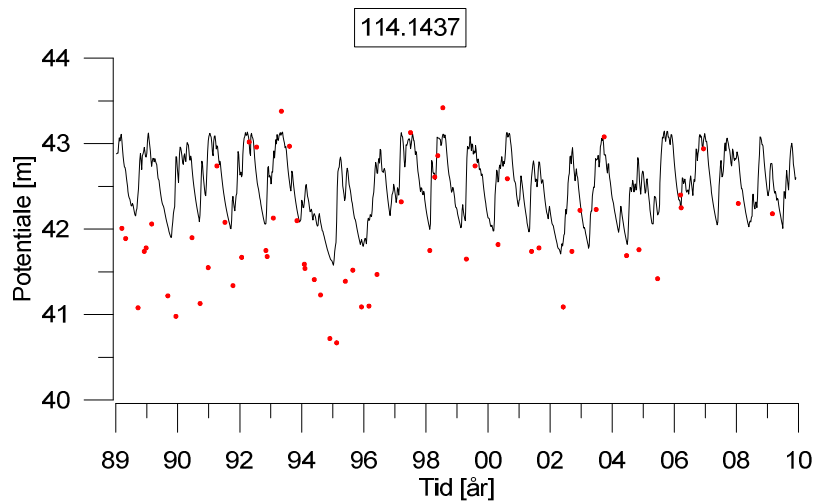
Figur 21: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 103.1542

Figur 22 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 113.111. Modellen viser her for lidt variation i trykniveauet.



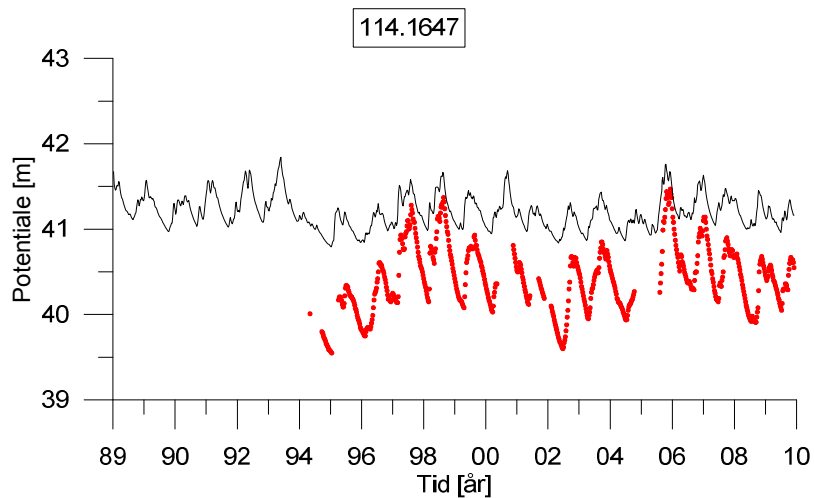
Figur 22: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 113.111

Figur 23 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1437. Boringen viser en god dynamik, men er lidt underestimeret i forhold til observationerne, som har en variation på godt 1 meter.



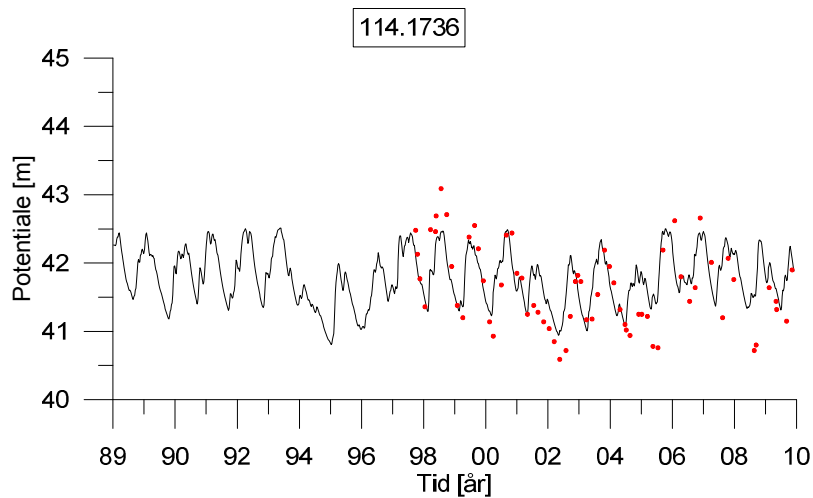
Figur 23: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1437

Figur 24 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1647. Modellen underestimerer lidt den årlige variation mens trykniveauet generelt er godt.



Figur 24: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1647

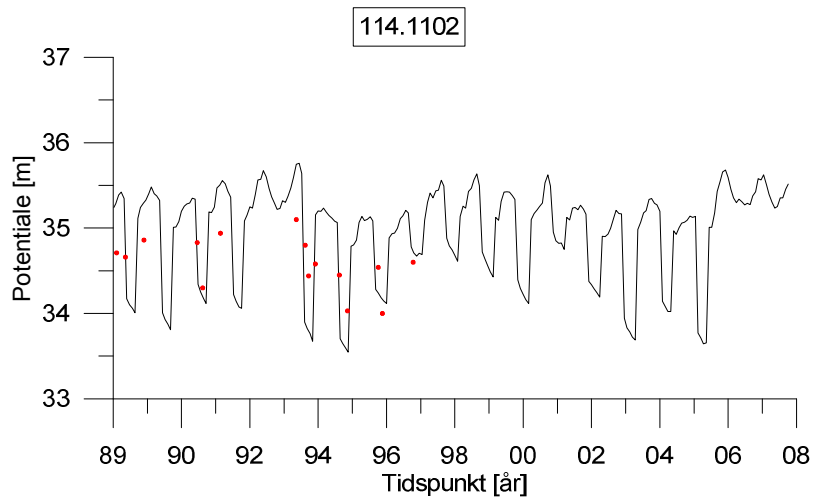
Figur 25 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1736. Svag underestimering af den årlige variation, mens middeltrykniveauet er korrekt beregnet.



Figur 25: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1736 indtag 6.

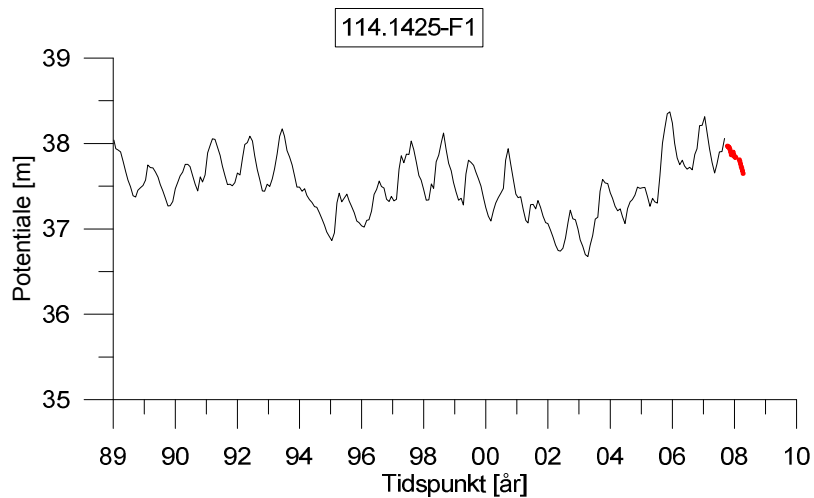
Tidsserier for den lokal-dynamiske model

Figur 26 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1102. Boringen er påvirket af indvinding grundet en markvanding (sæsonstyret indvinding). Niveaueet er korrekt beregnet.



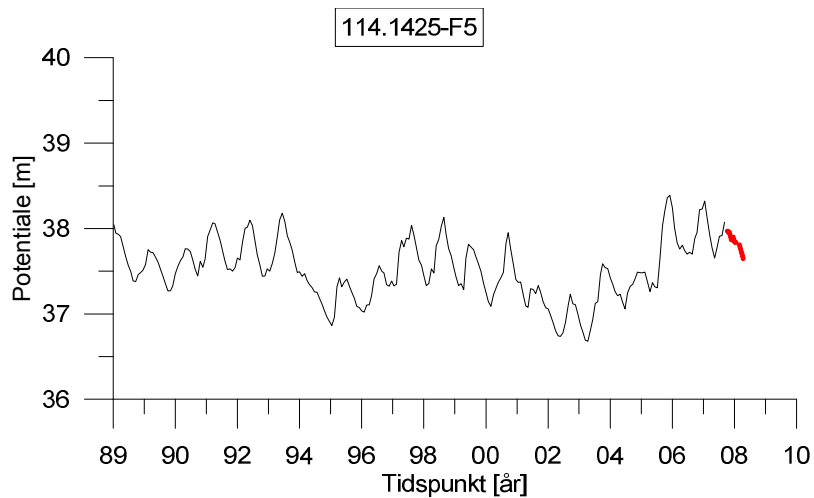
Figur 26: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1102

Figur 27 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 113.1425-F1. Boringens trykniveau og årlig variation er korrekt beregnet.



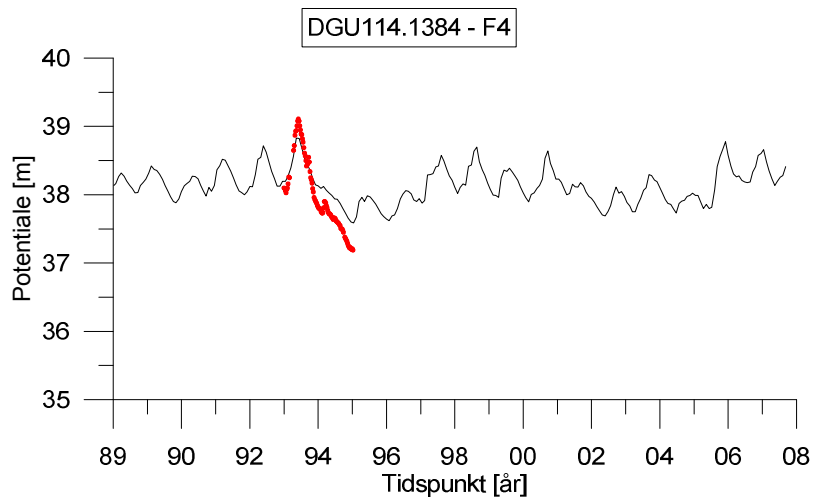
Figur 27: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1425-F1

Figur 28 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1425 – F5. Boringens trykniveau og årlig variation er korrekt beregnet.



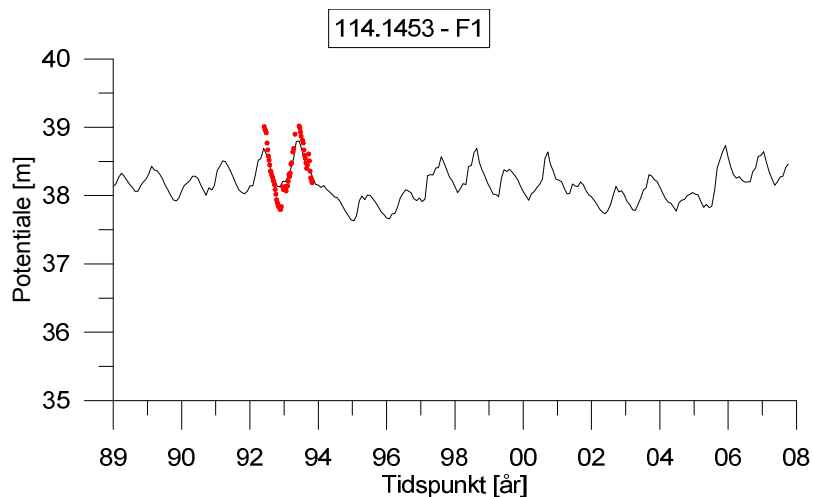
Figur 28: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1425-F5

Figur 29 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1384-F4. Niveaulet er korrekt beregnet. Man ser en svag underestimering af trykniveauet.



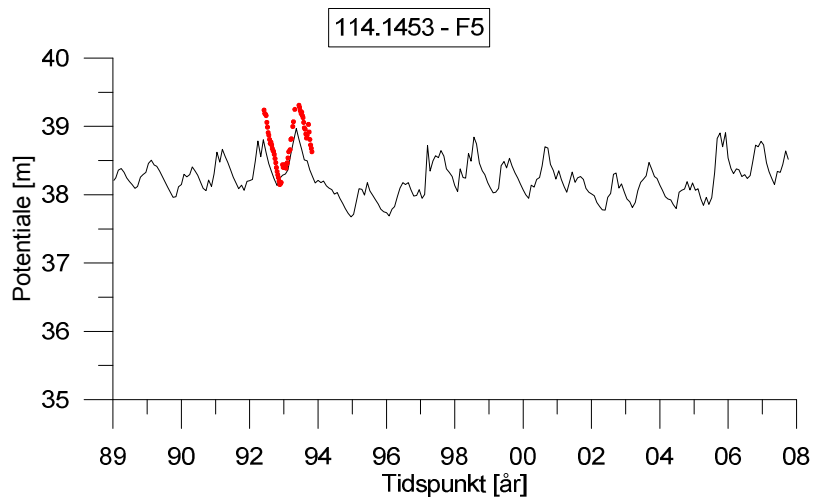
Figur 29: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1384 – F4

Figur 30 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1453-F1. Middelniveau og variation er korrekt beregnet.



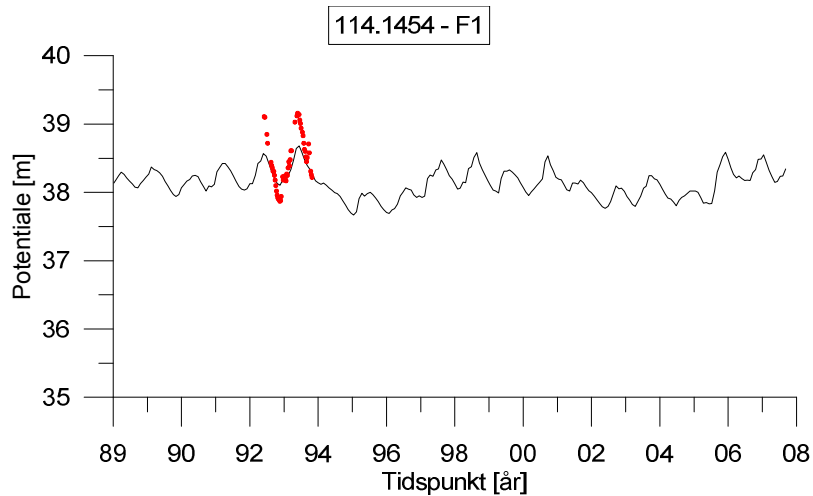
Figur 30: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1453-F1

Figur 31 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1453-F5. Niveau er rimelig godt beregnet og den årlige variation ser også fornuftig ud.



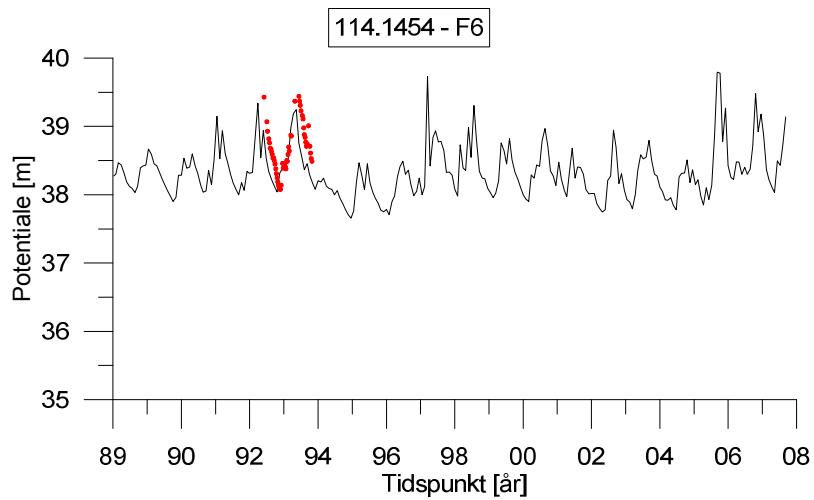
Figur 31: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1453-F5

Figur 32 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1454-F1. Man ser en svag underestimation af dynamikken, mens niveauet er korrekt beregnet.



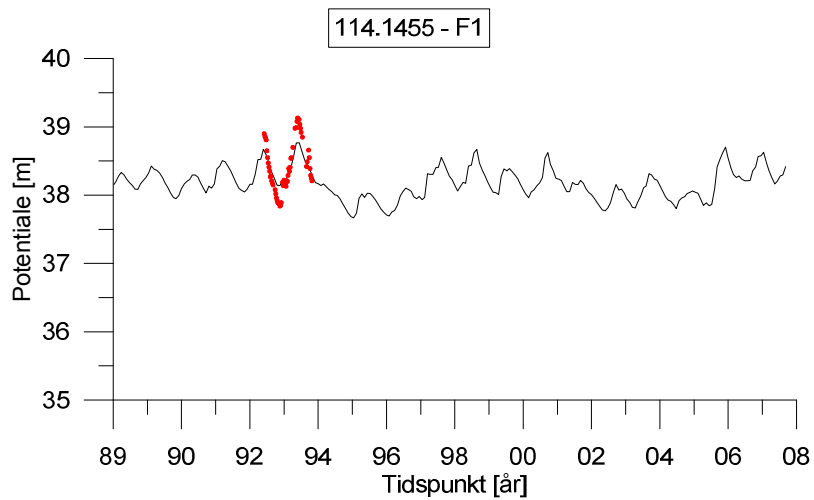
Figur 32: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1454-F1

Figur 33 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1454-F6. Niveau og dynamik er korrekt beregnet.



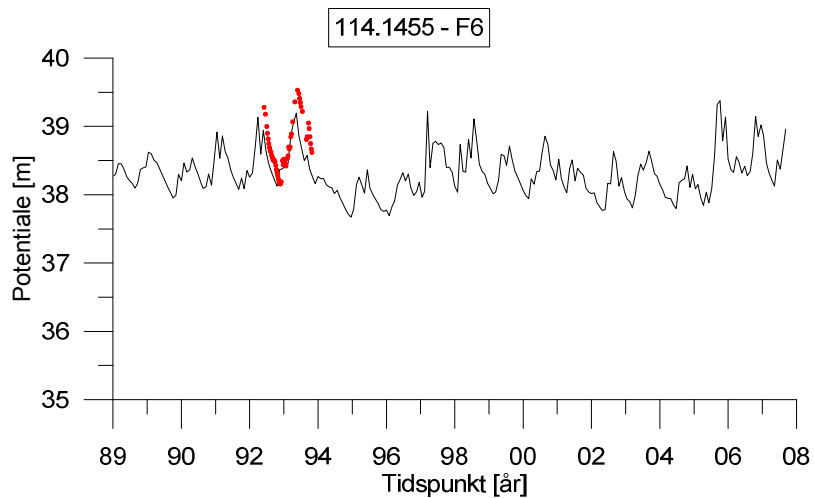
Figur 33: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1454-F6

Figur 34 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1455 – F1. Niveau er korrekt beregnet, mens dynamikken er svagt underestimeret.



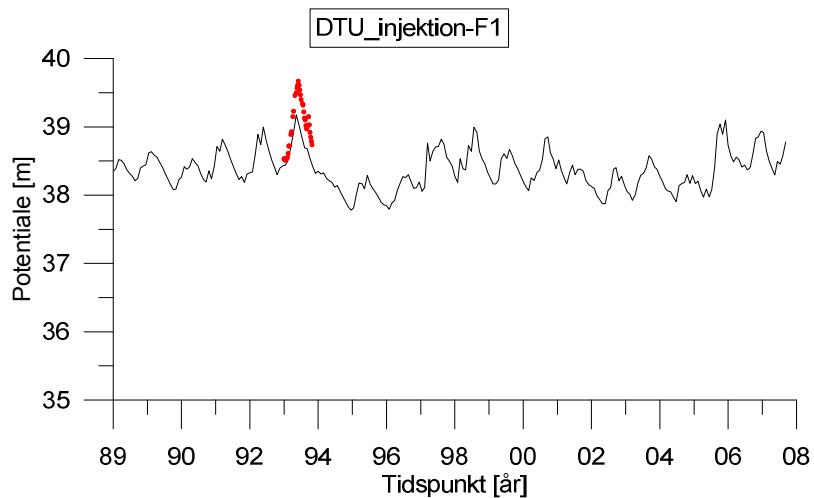
Figur 34: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1455-F1

Figur 35 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU 114.1455-F6. Niveau og dynamik er korrekt beregnet.



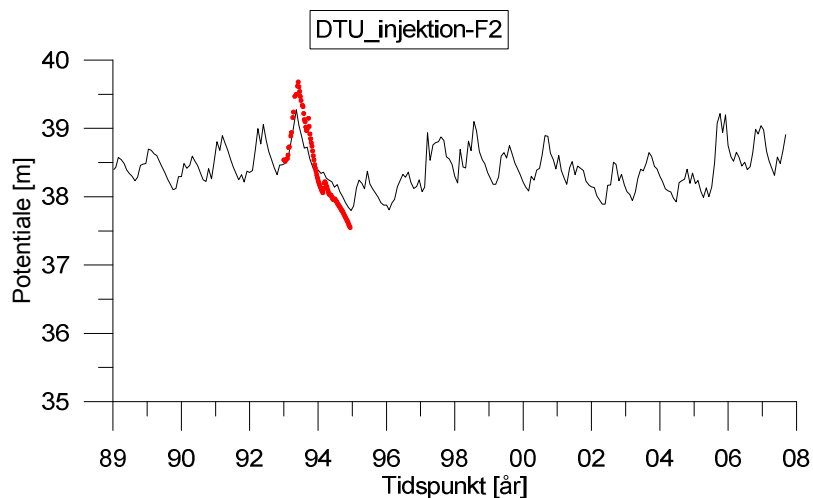
Figur 35: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DGU 114.1455-F6

Figur 36 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DTU Injektion – F1. Her er dynamikken svagt underestimeret, mens niveauet er korrekt.



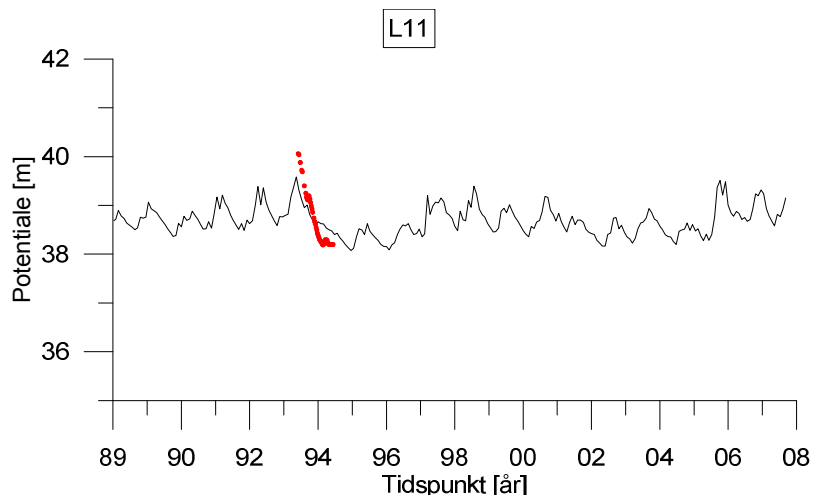
Figur 36: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DTU Injektion – F1

Figur 37 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DTU injektion F2. Niveaueet er korrekt beregnet, mens dynamikken er svagt underestimeret.



Figur 37: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring DTU Injektion – F2

Figur 38 viser tidsserier for beregnet og observeret tryk i boring DGU L11. Niveauet er korrekt beregnet, mens dynamikken er svagt underestimeret.



Figur 38: Tidsserie for beregnet og observeret potentiale for boring L11

Gennemgangen af de dynamiske pejleobservationer viser at den lokale model har et velberegnet niveau (potentiale), som svarer til observeret. Dynamikken er svagt underestimeret. Der er en generelt lav porøsitet (5 % - 15 %), så en del af den manglende dynamik kan muligvis findes i en mindre overestimering af magasintallet.

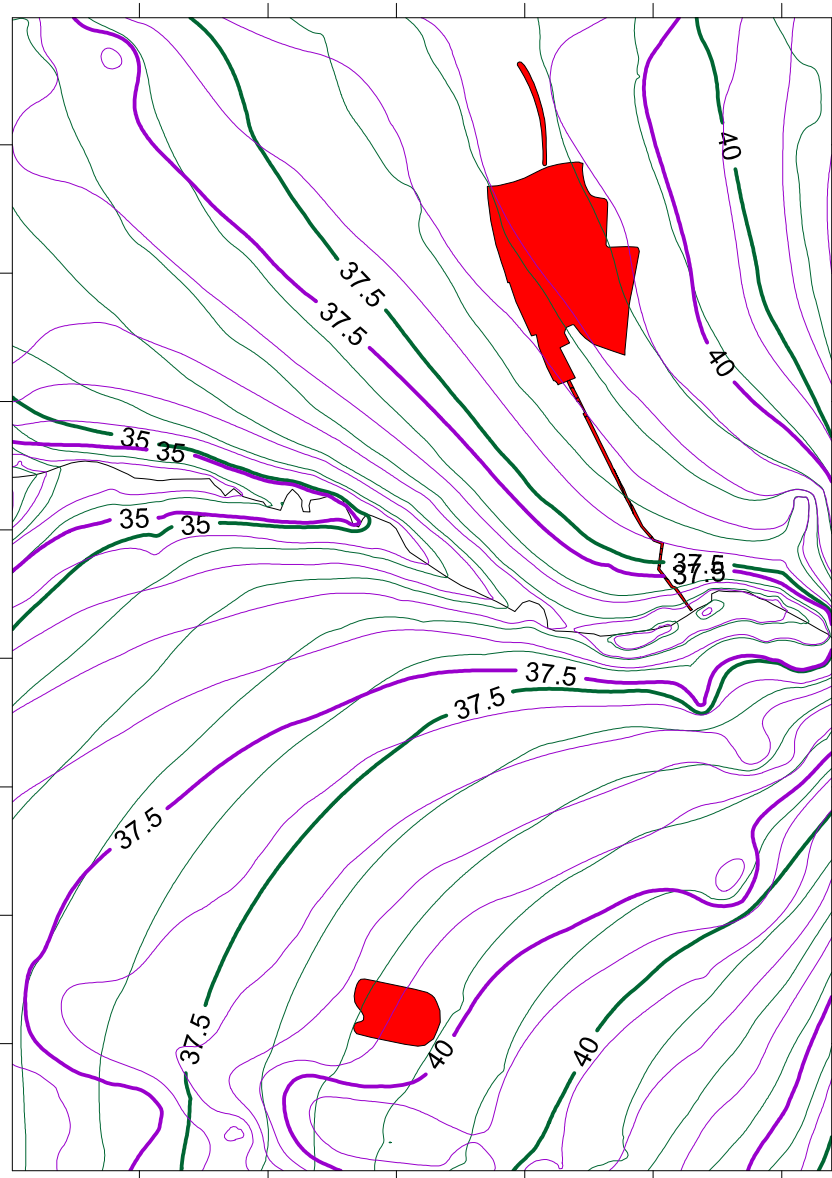
Trykniveauer i model (potentialekort)

I det følgende vises udtræk af potentialekort fra lokalmodellen. Kortene er udtrukket for øvre Kvartære sand, øvre og nedre Odderup sand samt Bastrup sand.

Dynamiske trykvariationer, lokalmodel

Potentialekortene er for den dynamiske model udtrukket for stress periode 352 (minimum potentiale, september 1996) og 884 (maksimum potentiale, december 2006). Herved er det muligt at se ændringer i grundvands strømningsretning når grundvandspotentialet ændres.

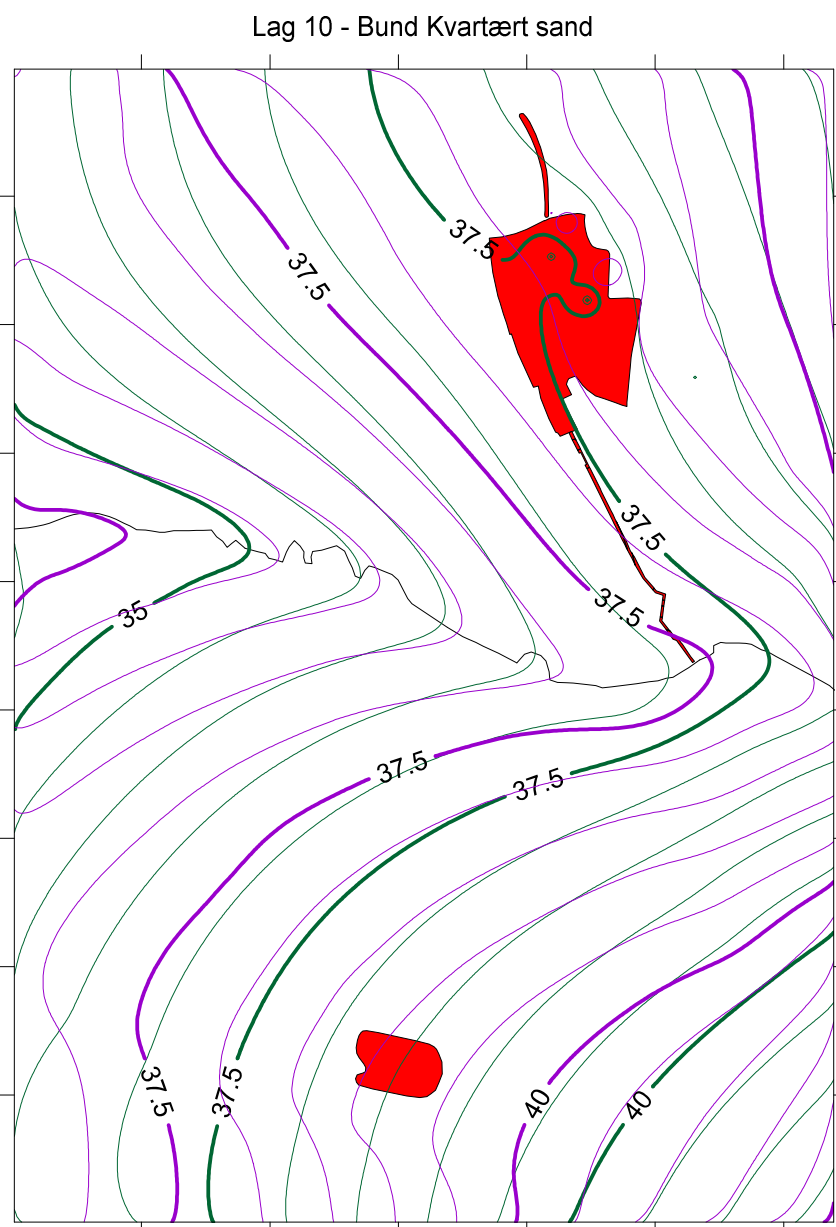
Lag 3 - Øvre kvartært sand



Figur 39: Konturlinjer for trykniveau for minimum (grøn) og maksimum (violet) potentialelinjer for øvre del af kvartæret (grundvandspejlet).

Figur 39 viser potentialekort for det terrænnære grundvand i den øvre del af Kvartæret. I Grindsted by ses en sydvestlig retning, som stort set er uændret ved varierende grundvandspotentiale. Syd for Grindsted Å ses man en forskellig strømningsretning afhængig af grundvandspotentialet. Ved lossepladsen er

grundvandsstrømningen nordvestlig. Om vinteren ses en mere nordlig strømning, mens en mere vestlig strømning opnås i sensommeren når vandstanden er lav. Man ser endvidere at der om vinteren ved højt grundvandspotentialer forekommer et grundvandsskel umiddelbart syd for lossepladsen. Om sommeren er dette grundvandsskel længere mod syd. Dette grundvandsskel skyldes antageligt at Morsbøl bæk med tilløb (gravede grøfter) er vandførende om vinteren.



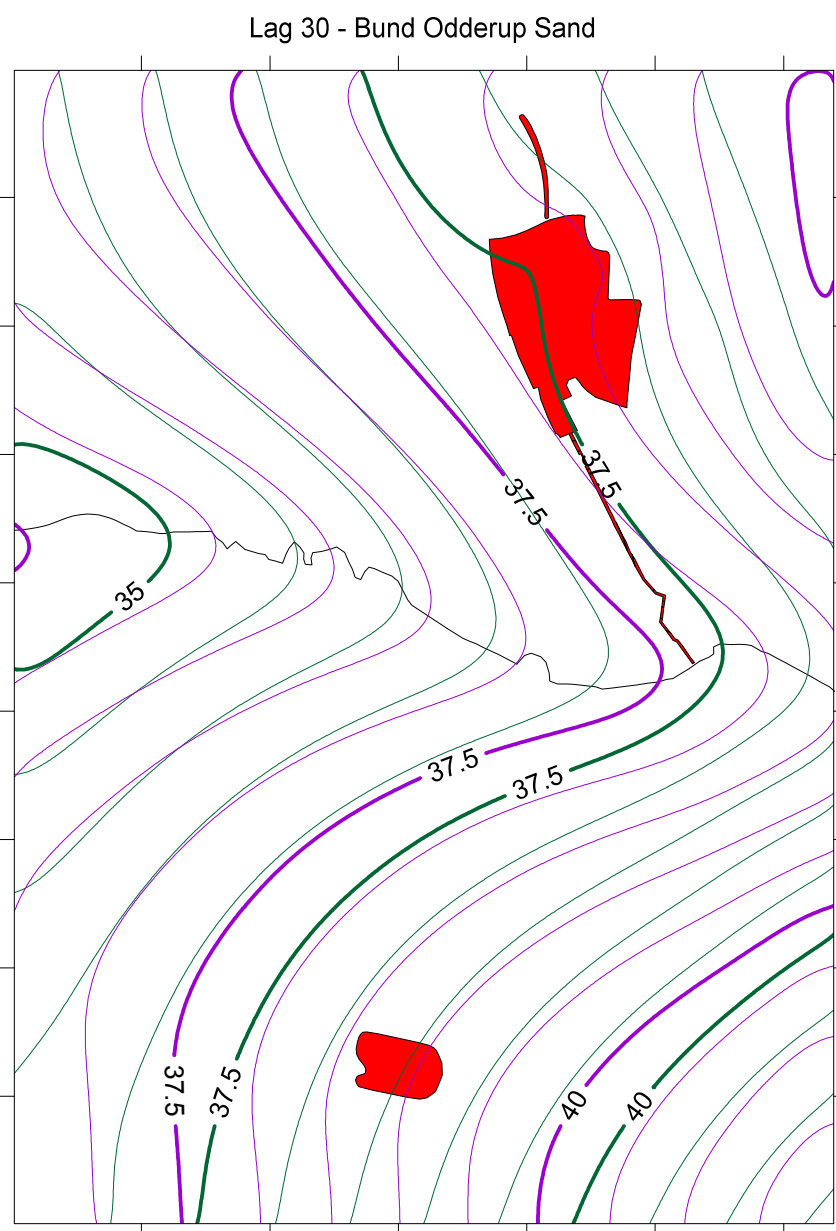
Figur 40: Konturlinjer for trykniveau for minimum (grøn) og maksimum (violet) potentiale i øvre del af Odderup sand.

Potentialelinjen for 37.5 m har nogle 'krøller' under fabriksgrunden. Disse skyldes at der har fundet større indvindig (afværge) sted netop her i september

1996, hvor det laveste grundvandspotentiale er observeret. Denne afværgе har foresaget en lokal sænkning af grundvandsspejlet.

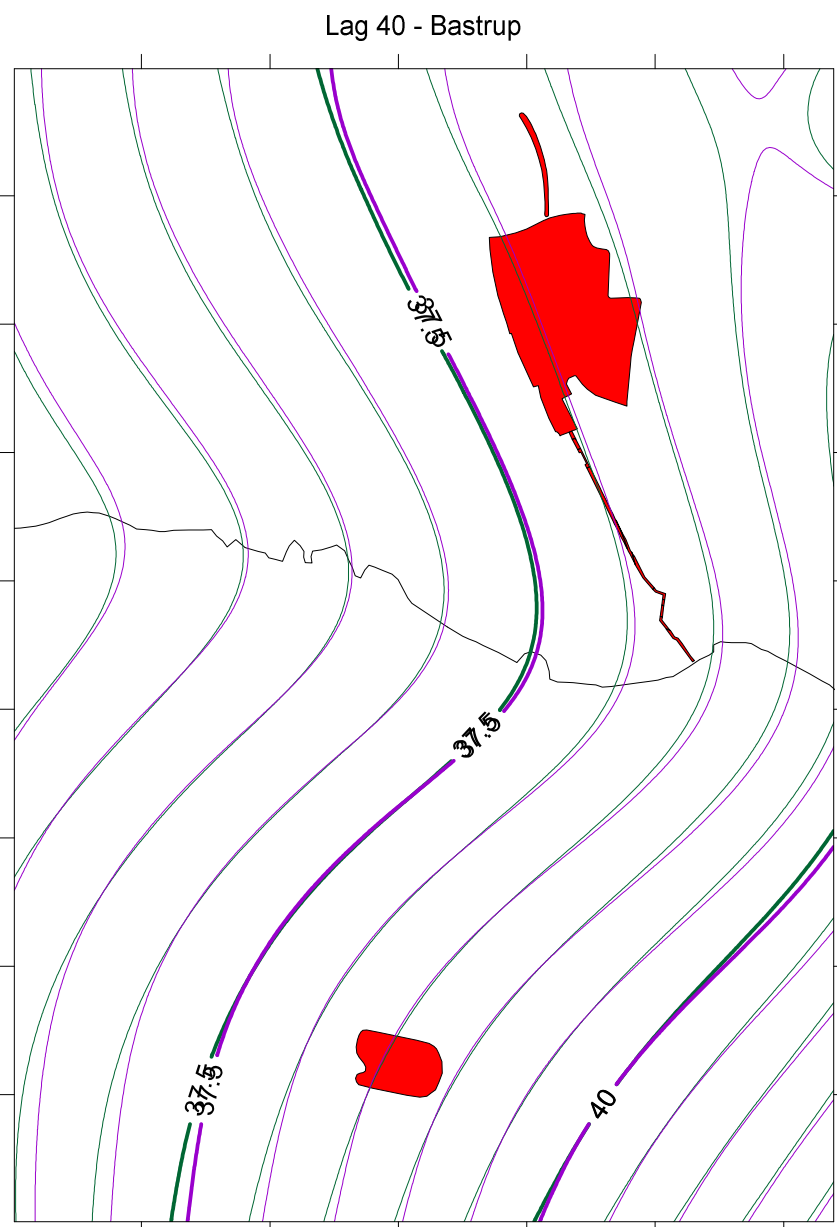
Udover en forskel på ca. 0.5 meter mellem de to yderpunkter er der kun minimal forskel på strømningsretningen

Figur 40 og Figur 41 viser modelberegnete potentialekort for hhv. øvre og nedre Odderup. I denne dybde sker der en betydelig udglatning af grundvandsstrømningen, og selvom der er en variation i potentialet på op til 1 meter, så er strømningsretningen stort set den samme.



Figur 41: Konturlinjer for trykniveau minimum (grøn) og maksimum (violet) potentialelinjer for nedre del af Odderup Sand

Figur 42 viser potentialekort for Bastrup sandet. Der ses en svag kontakt til Grindsted Å i form af de kurvede potentialelinjer. Hvis der ingen påvirkning var, ville potentialelinjerne løbe nord-syd, og der er beregnet en sænkning på ca. 1.5 m.



Figur 42: Konturlinjer for trykniveau minimum (grøn) og maksimum (violet) potentialelinjer for Bastrup Sand

Konklusioner

Der er opstillet en hybrid regional- og lokalmodel for Grindsted med fokus på beregning af forureningsspredning fra fabriksgrund, banegrav og tilløb nord for Grindsted Å samt losseplads syd for Grindsted Å.

Modellen er kalibreret mod både stationære og dynamiske observationer.

Modellen viser god modelperformance mod både stationære og dynamiske observationer, her specielt trykniveauer. Dynamikken er muligvis en anelse underestimeret.

Anbefalinger ved evt. modelopdatering

Nettonedbøren er fra MIKE SHE modellen, som er skaleret fra DK modellen. Dette giver et relativt groft nedbørsgrid, hvis detaljeringsgrad er forsvundet når man kommer til lokalmodellen 10 m grid. Her bør man overveje om en beregning af nettonedbør til forskellig jordtype / arealanvendelse i lokalmodelskala kan give bedre præcision.

Man bør ved en modelopdatering se om man kan fastfryse hydrauliske parametre for Bastrup sand og Arnum formationen mere afgrænsende i henhold til prøvepumpningsdata.

Da det inkluderende sandlag i arnumformationen ikke eksisterer som et sandlag med repræsenterer adskillige sandlag, bør man slå hele arnumformationen sammen til en hydraulisk enhed med en forventet stor anisotropi.

Referencer

- /1/ Petersen, M. F., 2012, "Quantification of and risk assesment of continuous micropollutant mass discharge from multiple sources to a gaining stream at catchment scale", Master thesis, DTU Miljø
- /2/ Grontmij, 2010, Grundvandsmodel for Grindsted By, Technical report, Region Syddanmark
- /3/ Kruger 1994 Grundvandsovervågning ved Grindsted Products.
- /4/ Kruger 1997 Grundvandsovervågning ved Grindsted Products.
- /5/ GEUS & Region Syddanmark (2009). MIKE SHE model for Billund
- /6/ Refsgaard, J.C. et.al. (2010): God praksis I hydrologisk modellering. Geovejledning 7.
- /7/ Orbicon (2010): Prøvepumpning ved Tronsøen
- /8/ Orbicon (2013): Tre dybe boringer ved Grindsted
- /9/ Harbaugh, A.W., 2005, [MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process](#): U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

- /10/ Mehl, S.W. and Hill, M.C., 2005, [MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- documentation of shared node local grid refinement \(LGR\) and the Boundary Flow and Head \(BFH\) Package](#): U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A1
- /11/ Mehl, S.W., and Hill, M.C., 2013, [MODFLOW-LGR -- Documentation of ghost node local grid refinement \(LGR2\) for multiple areas and the boundary flow and head \(BFH2\) package](#): U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A44

Appendix: Modflow Datafiler

Følgende afsnit er tiltænkt det videre arbejde på MODFLOW filerne. Her er en oversigt over inputfiler og units.

Modelopsætning og units

Følgende tabel angiver de forskellige MODFLOW units benyttet i modelarbejdet. Listen er tiltænkt at hjælpe modelløren at holde styr på de mange filer. Modelerne kører sekventielt, først stationær (grindsted_rs + grindsted_ls) og siden da den dynamiske (grindsted_rd og grindsted_ld). En koblet model kan ikke have samme fil unit i begge modeller.

Fil	Grindsted _rs	Grindsted _ls	Grindsted _rd	Grindsted _ld
LIST	7	10	7	10
BAS	211	11	21	11
OC	22	12	22	12
ZONE	40	45	40	45
HOB	41	46	41	46
WEL	24	14*	24	14
RIV	25	15	25	15
DRN	26	16	26	16
RCH	27	18	27	18
PCG	23	13*	23	13
LPF	28	17	28	17
DIS	29	19	29	19
GHB	30		*	
MT3D output	31	32	31	32
HED	71	80	71	80
FLW	72	81	72	81
Init_head	13	20	33	20
HobData	53	500	63	500
CBB	50	60	50	60
HDS	51	61	51	61
DDN	52	62	52	62