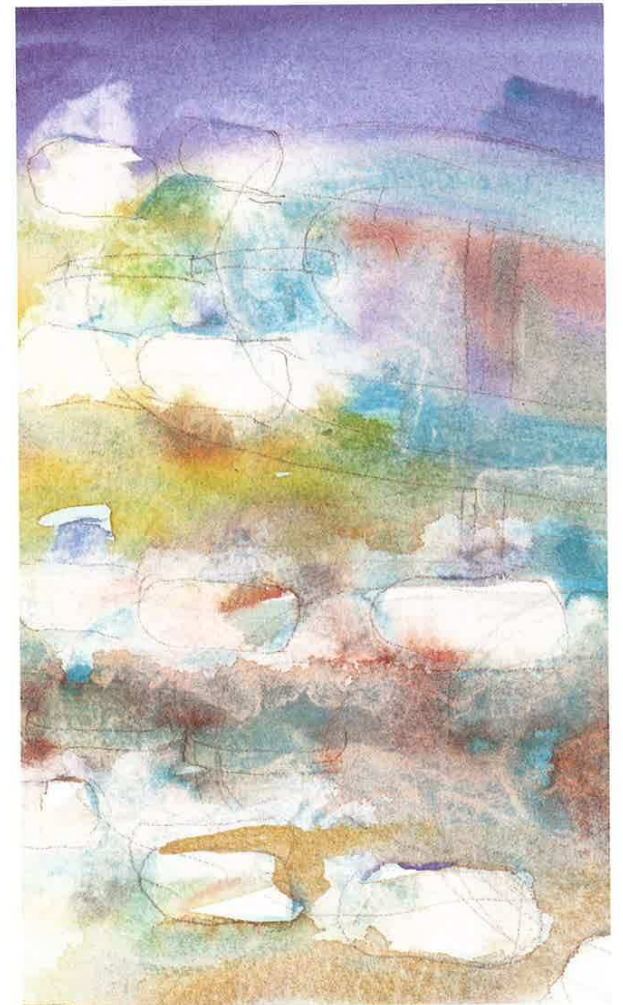


Ribe Amt

Grundvandsmodel for Grindsted-området

Hovedrapport

Oktober 1997



INDHOLDSFORTEGNELSE	Side
1. INDLEDNING	1.1
2. BAGGRUND OG OVERORDNET FORMÅL	2.1
3. GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI I MODELOMRÅDET	3.1
3.1 Potentialeforhold	3.1
4. STATIONÆR REGIONALMODEL	4.1
4.1 Opstilling	4.1
4.1.1 Vertikal geometri (lagdeling)	4.1
4.1.2 Horisontal geometri	4.2
4.1.3 Hydrauliske ledningsevner	4.3
4.1.4 Nettonedbør	4.4
4.1.5 Indvinding	4.5
4.1.6 Vandføring i å-løb	4.7
4.2 Kalibrering	4.8
4.3 Simuleringer	4.12
4.3.1 Simulering 1: Vandføring i åer, ved værst tænkelige markvanding	4.13
4.3.2 Simulering 2: Vandføring i åer uden markvanding	4.13
4.3.3 Simulering 3: Vandføring i åer, ved ikke- stationær simulering af markvanding	4.14
5. STATIONÆR DETAILMODEL	5.1
5.1 Opstilling	5.1
5.2 Kalibrering	5.2

5.3	Simuleringer	5.2
5.3.1	Simulering 4: Detailmodel for 1994/1995	5.2
5.3.2	Simulering 5: DIGR's indvinding flyttet fra lag 3 til lag 1	5.4
5.3.3	Simulering 6: DIGR's indvinding ændret fra den faktiske til den tilladte mængde	5.4
5.3.4	Simulering 7: DIGRs indvinding er sat til nul	5.5
5.3.5	Simulering 8: DIGRs indvinding styret i forhold til et ønske om hydrauliske kontrol af forurening	5.5
5.3.6	Simulering 9: Grindsted Vandværks indvinding flyttes til lag 3 på kildeplads 2	5.6
6.	SAMMENFATNING AF SIMULERINGER	6.1
7.	ANBEFALINGER TIL DET VIDERE ARBEJDE	7.1
8.	REFERENCER	8.1

BILAGSFORTEGNELSE

(jf. bilagsrapport)

1. Oversigtskort med modelafgrænsning, indvindingsceller, målt potentiale og vandføringsstationer.
2. Lokalisering af geologiske snit.
3. Geologiske snit.
4. Kort over lertykkelsen.
5. Tolkning af prøvepumpninger.
6. Indvundet drikkevand fordelt på borer.
7. Medianminimumsvandføring

1. INDLEDNING

Der er opstillet en grundvandsmodel for Grindsted-området. Grundvandsmodellen er afleveret til Ribe Amt på en CD-ROM. Baggrund for grundvandsmodellen samt dokumentation og resultater af aftalte simuleringer med modellen fremgår af denne rapport.

Behovet for en grundvandsmodel udspringer af, at der indvindes betydelige mængder grundvand af Danisco Ingredients (DIGR) og Grindsted Vandværk samtidig med, at der er konstateret grundvandsforurening i området. Konsekvenserne af forureningen for indvindingen og for Grindsted Å er belyst ved kørsler med modellen.

Endvidere er markvandingens betydning for vandføringen i åerne belyst ved simple kørsler med modellen.

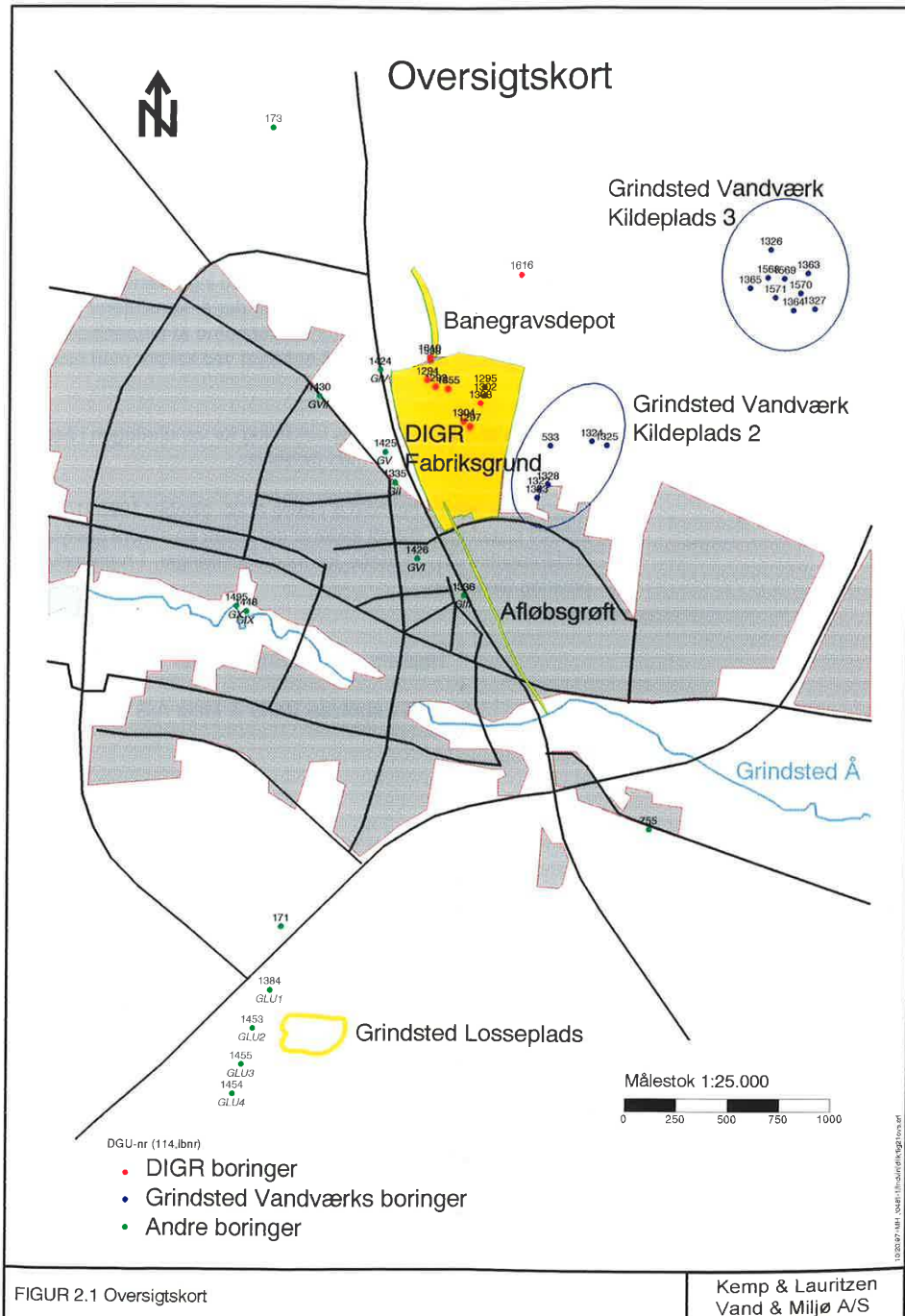
Opgaven er udført i henhold til oplæg af 25. oktober 1995 /1/ med enkelte justeringer. Blandt andet er der udført en mindre geofysisk undersøgelse /31/ til støtte for modelopstillingen i nærområdet omkring Grindsted.

Højbjerg, den 21. oktober 1997

Kemp & Lauritzen Vand & Miljø A/S

Udarbejdet af:

Geolog Max Halkjær
Geolog Ole Kloster Jakobsen



FIGUR 2.1 Oversigtskort

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

2. BAGGRUND OG OVERORDNET FORMÅL

Der er gennemført en lang række undersøgelser af grundvands- og forureningsforhold i området omkring Grindsted. Disse undersøgelser er beskrevet i /2/ til /29/. I det følgende er hovedresultaterne kort sammenfattet.

- Produktion af medicinalvare og hjælpestoffer til næringsmiddelindustrien på DIGR (tidligere Grindstedværket og Grindsted Products) har givet anledning til tre hovedkilder til forurening, nemlig Fabriksgrunden, Banegravsdepotet og Afløbsgrøften, se beliggenhed på figur 2.1.
- Forureningen, der omfatter såvel organiske som uorganiske stoffer, er spredt med grundvandet i retning mod Grindsted Å. Der er konstateret forurening i boreriger, der ligger mindre end 100 m fra åen.
- Grindsted Vandværks indvinding er ikke aktuelt påvirket af forurening, og det er vurderet, at der med den nuværende indvindingsstrategi i området ikke er fare for forurening af vandværkets indvinding.
- Grindsted Gl. Losseplads er lokaliseret syd for Grindsted by, se beliggenhed på figur 2.1. I området ved lossepladsen findes en nedadrettet trykgradient, hvilket giver anledning til perkolatspredning også til de dybereliggende magasiner.

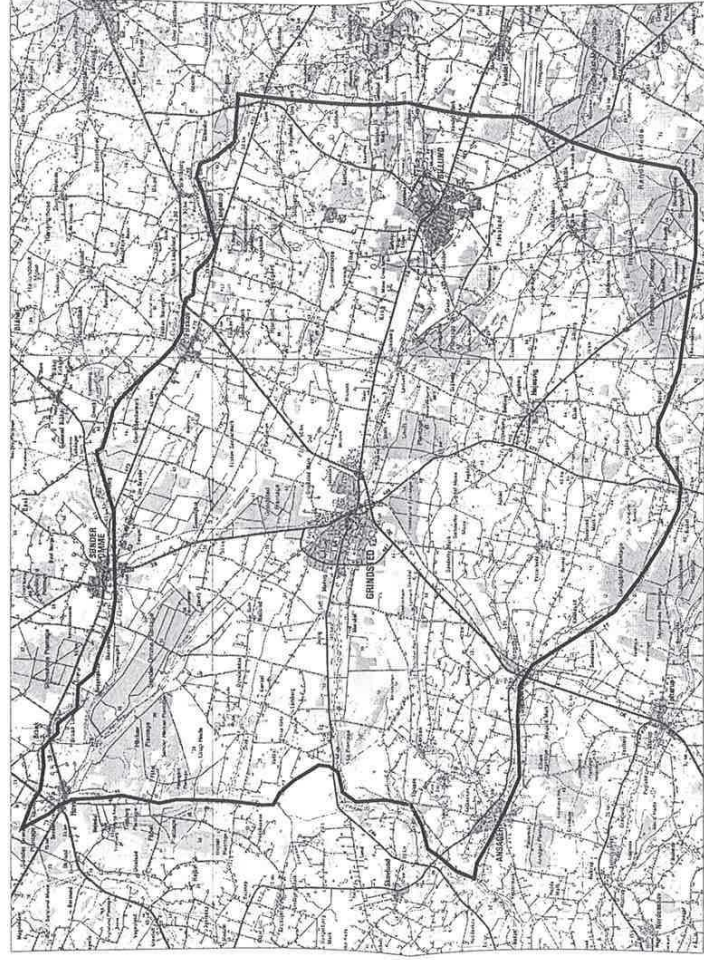
Der er således opbygget en stor viden om grundvands- og forureningsforhold i Grindsted-området. Tilbage står dog en række uløste problemer, der kan sammenfattes således.

- Der kan forventes ændringer i indvindingen på såvel DIGR's som Grindsted Vandværks kildefelter. Det skal afklares, hvordan disse ændringer påvirker forureningstruslen over for Grindsted Vandværk.
- Forureningstruslen mod Grindsted Å skal afklares.
- Samspillet mellem markvandingen og vandføringen i vandløbene (herunder Simmelbæk) skal belyses.

Det er en nødvendig forudsætning for at kunne løse disse problemer, at grundvandsstrømningerne og -balancen i området kortlægges. Som værktøj hertil er der opstillet en stationær grundvandsmodel for området.

Den stationære grundvandsmodel er baseret på eksisterende geologiske og hydrologiske data. Disse data er blevet vurderet og videre behandlet med henblik på, at data skal indgå i opstilling og kalibrering af modellen.

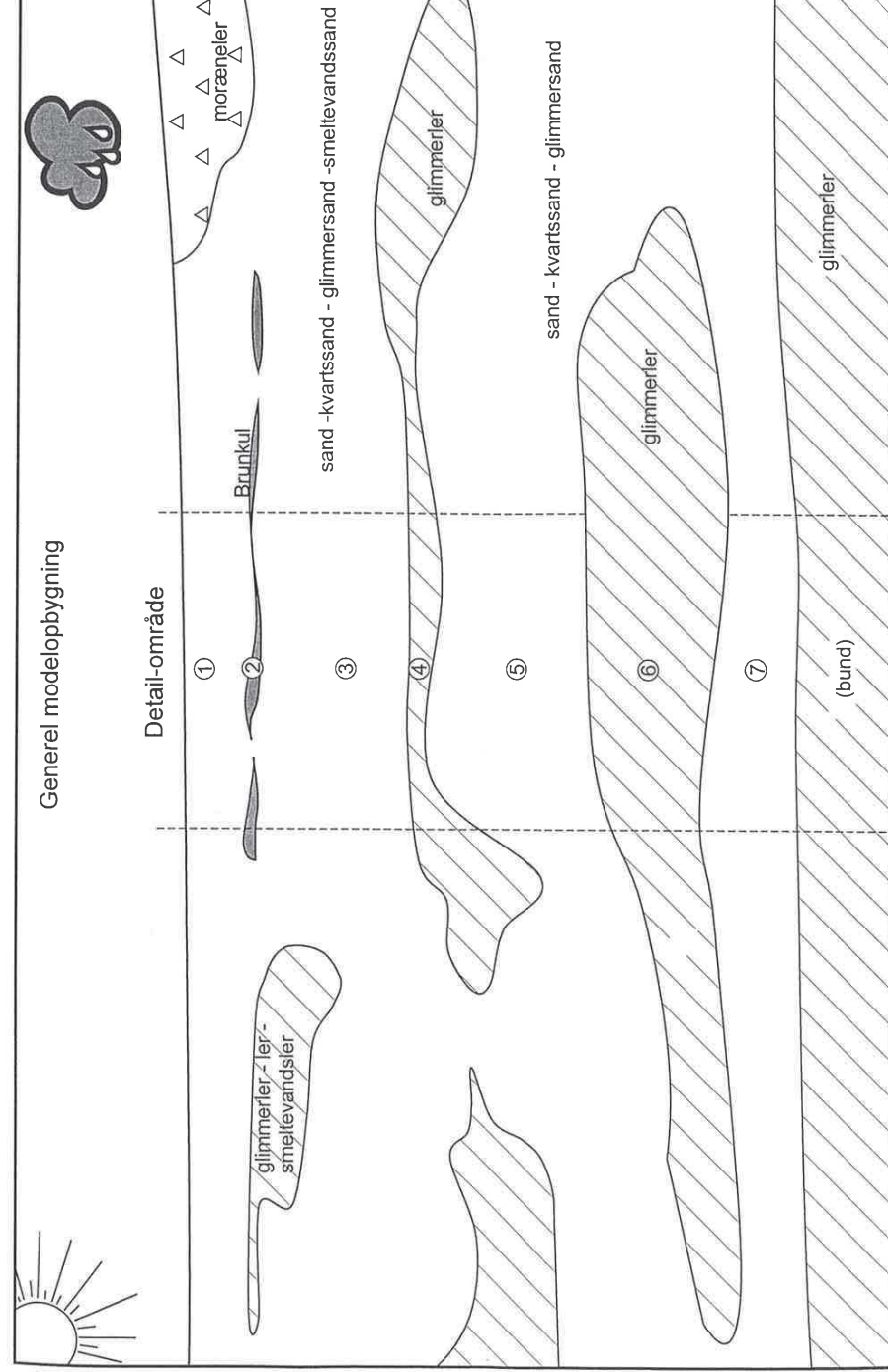
Grindsted Hedeslette



Målestok 1:200.000

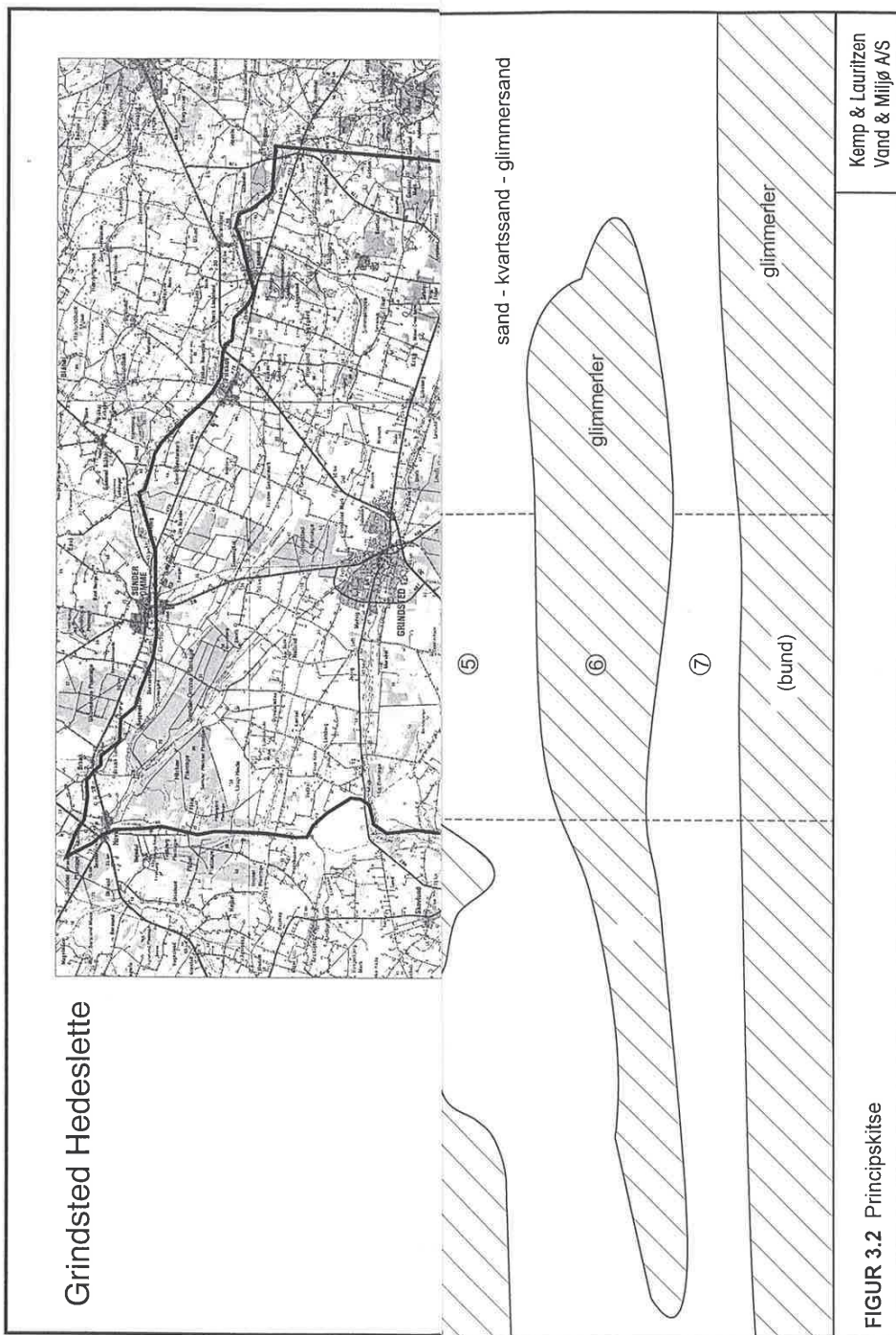
FIGUR 3.1 Grindsted Hedeslette og naturlige modelgrænser

31.04.07:MH
Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S



FIGUR 3.2 Principskitse

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S



3. GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI I MODELOMRÅDET

For at beskrive de mere regionale geologiske og hydrogeologiske forhold samt detalforholdene omkring Grindsted by er boringsoplysninger og andet relevant materiale inden for Grindsted Hedeslette blevet vurderet. Grindsted Hedeslette dækker et areal på omkring 500 km² (se figur 3.1) og er overordnet afgrænset af følgende vandløb og landskabslementer:

- Varde Bakkeø og hedesletten danner grænse mod vest ved Vesterbæk og Grindsted Å.
- Mod nord definerer Omme Å en naturlig grænse.
- Mod syd er hedesletten afgrænset af Ansager Å.
- Mod øst er områdets afgrænsning baseret på det naturlige grundvandsskel øst for Billund.

Området er lokaliseret umiddelbart vest for sidste istids nordsydgående hovedopholdslinie. Dette har givet anledning til et meget fladt terræn, som mod vest falder ca. 1,5 meter/kilometer. Det flade terræn afspejler smeltevandets aflejringer. En undtagelse er området omkring Hejnsvig, som terrænmæssigt ligger relativt højt. På Per Smeds kort /30/ ses området ved Hejnsvig da også at være tolket som en bakkeø.

Prækvarteroverfladen ligger meget højt, og formentlig findes der i nogle områder tertiære aflejringer fra terræn. De højstliggende tertiære aflejringer er af miocæn alder. De miocæne aflejringer er beskrevet ved vekslende sand, silt og glimmerlerlag aflejret i et deltamiljø.

På figur 3.2 ses en principskitse af den geologiske lagserie i området. Skitsen dækker over de kvartære og miocæne aflejringer.

I bilag 1 og 2 ses placeringen af i alt 11 geologiske snit, og i bilag 3 ses de 11 snit. Formålet med optegning af de geologiske snit har været at definere den geometriske model af de hydrogeologiske forhold i et interval indtil knap 200 meters dybde. I afsnit 4 beskrives, hvordan grundvandsmodellens 7 lag bl.a. er baseret på disse snit.

3.1 Potentialeforhold

Det overordnede potentialekort, som ses på figur 3.3, er dannet på grundlag af data fra Ribe Amt suppleret med data fra Zeus-boredatabasen.

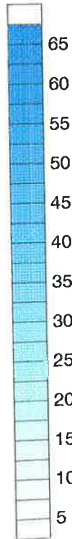
I det regionale modelområde er der ikke skelnet mellem boringer filtersat i de fire grundvandsmagasiner.

Potential-kort

● Ribe Amt data

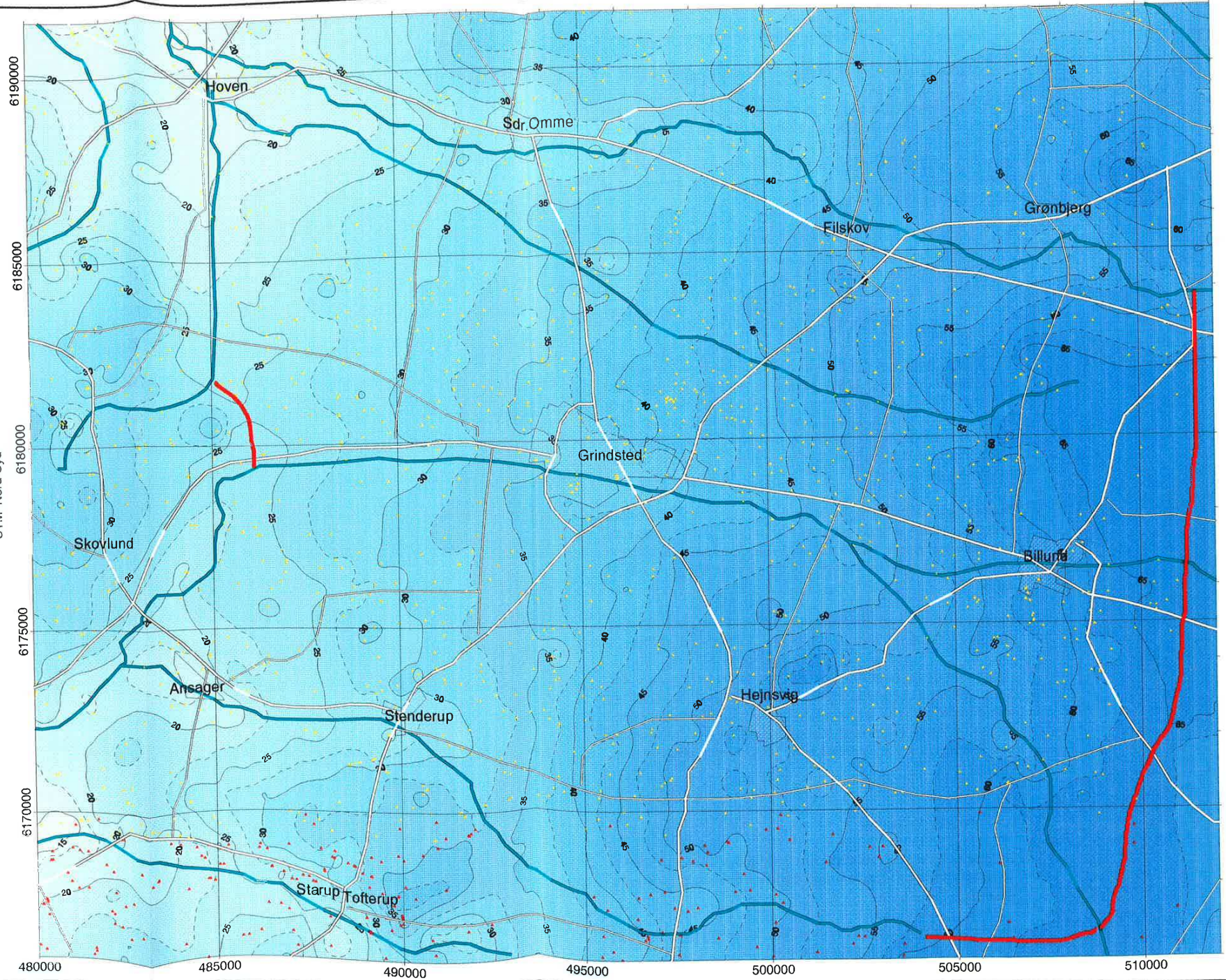
▲ PC-ZEUS data

Kote [Meter]



Målestok 1:100.000

UTM Nord-Syd

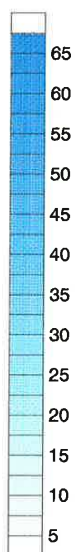


FIGUR 3.3 Potentialkort baseret på pejledata fra Ribe Amt og dataudtræk fra PC-ZEUS databasen

Potential-kort

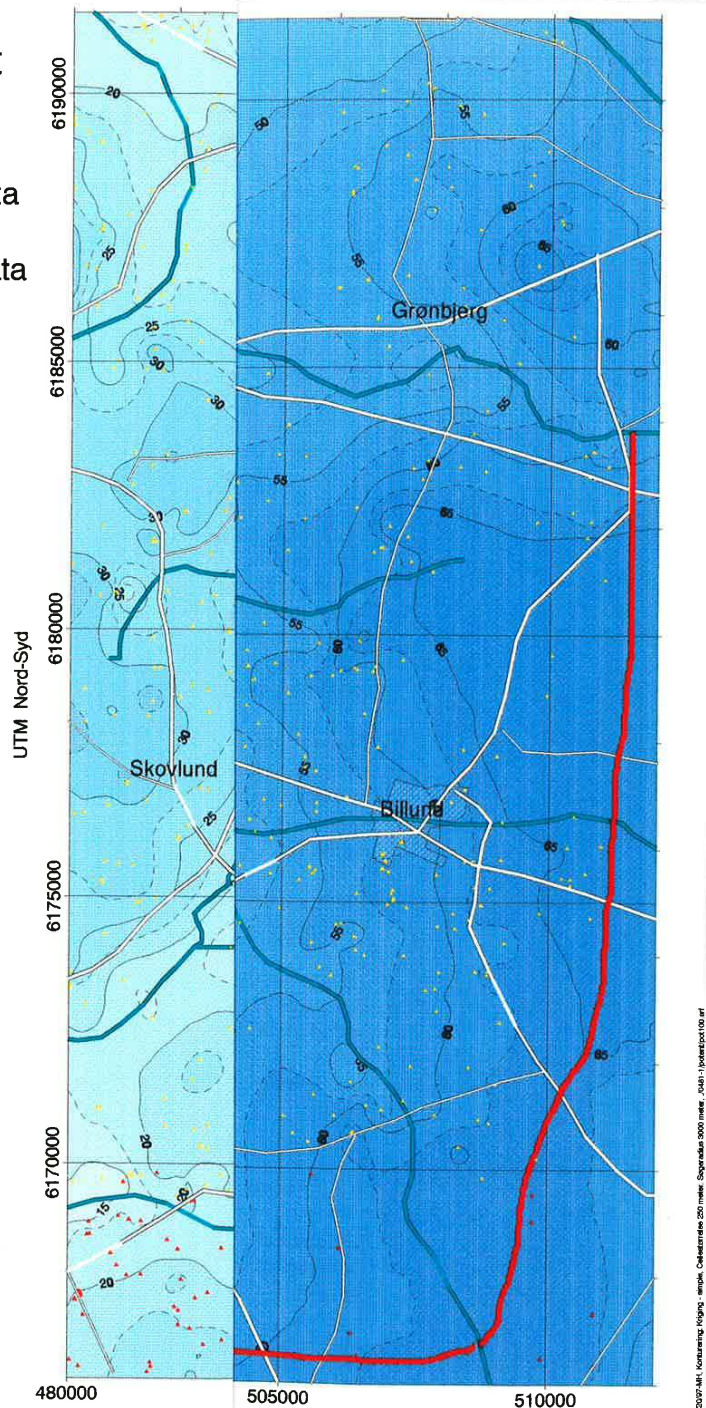
- Ribe Amt data
- ▲ PC-ZEUS data

Kote [Meter]



0 1000 2000 3000 4000

Målestok 1:100.000



1:100000: Kortlægning af vandressourcer i Ribe Amt, 2000. Kortet er baseret på data fra Ribe Amt og PC-ZEUS. Kortet er baseret på data fra Ribe Amt og PC-ZEUS.

FIGUR 3.3 Potentialkort baseret på pejledata fra Ribe Amt

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Dette skyldes dels, at der kun findes ganske få boringer filtersat i lag 5 og 7 og det forhold, at grundvandspotentialiet i lag 1 og 3 ikke afspejler betydelige potentialevariationer i forhold til det regionale potentiale.

Alle boringer, hvori der er registreret et vandspejl, er som udgangspunkt medtaget. Således findes der inden for modelområdet 3043 boringer med angivelse af vandspejlet. Af disse boringer er boringer, som afviger fra det generelle potentialebillede, blevet vurderet i forhold til rigtigheden af kotesætning og lokalisering. Dette har givet anledning til, at ca. 40 boringer er blevet sorteret fra, mens bestemmelsen af terrænkoten på grundlag af 4cm-kortet har givet anledning til en korrektion af vandspejlskoten for andre boringer.

I området omkring Grinsted er der skelnet mellem potentialerne i de fire magasiner. Dette er i overvejende grad baseret på pejlingerne beskrevet i reference /23/.

Det bør bemærkes, at information om vandspejlet i de større vandløb ikke er anvendt til optegning af potentialkortet.

4. STATIONÆR REGIONALMODEL

Den regionale stationære model er opstillet ved først at definere det geometriske set-up (lagenes udstrækning horisontalt og vertikalt), modellagens hydrauliske egenskaber, indvindinger og nettonedbøren. Dernæst er modellen kalibreret mod potentialkortet for området, samt vandføringen målt i de større vandløbssystemer.

På vedlagte oversigtsfigur (bilag 1) i målestok 1:50.000 ses modelområdet, placering af geologiske profilsnit med tilhørende boringer, placering af TEM-sonderinger, det målte potentiale, udvalgte vandføringsstationer og indvindingsceller i grundvandsmodellen.

4.1 Opstilling

Alle variable er beskrevet i SI-systemet (meter og sekunder). Vertikalt er der valgt en angivelse i forhold til dansk normal nul (DNN), hvilket også betegnes som koten. Horisontalt er modelcellerne orienteret parallelt med det retvinklede UTM-koordinatsystem zone 32.

Som modelleringssoftware er grundvandsmodellen baseret på MODFLOW programmet i kombination med brugerfladen PMWIN version 4.0 og partikeltransport-programmet PMPATH version 2.0.

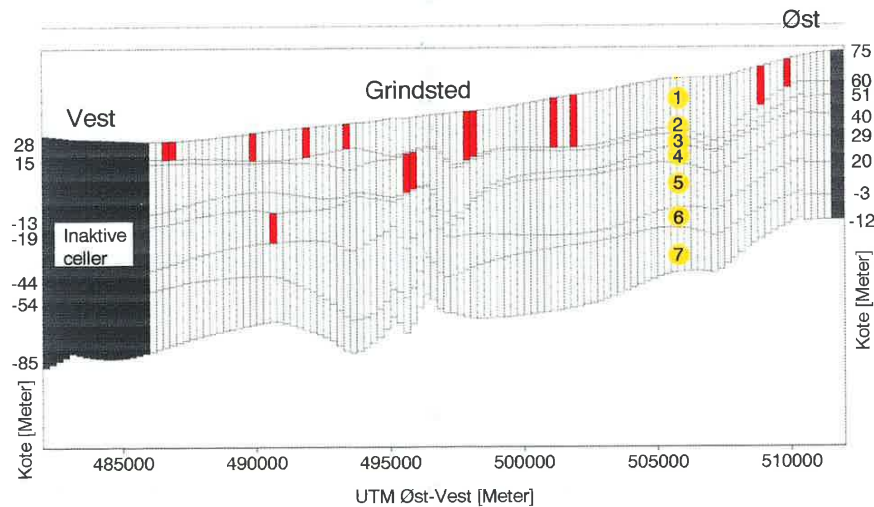
4.1.1 Vertikal geometri (lagdeling)

På basis af de geologiske snit er det valgt, at grundvandsmodellen bedst beskriver de hydrauliske forhold ved syv modellag. De syv modellag kan fra terræn og nedefter beskrives, som følger:

Lag nr.	Lithologi	Formation	Periode
1	Sand	-	Kvartær evt. Miocæn
2	Ler, brunkul	Gram / Hodde?	Miocæn
3	Sand	Odderup ?	Miocæn
4	Ler	Arnum ?	Miocæn
5	Sand	Odderup ?	Miocæn
6	Ler	Arnum ?	Miocæn
7	Sand	Ribe	Miocæn
Bund	Ler	-	Miocæn evt. Oligocæn

TABEL 4.1 Modellag.

Modeltværsnit



- Inaktiv modelcelle
- Aktiv modelcelle
- Indvindingscelle
- 1 Modellagnummer

FIGUR 4.1 Modeltværsnit

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Lagenes placering i den miocæne lagserie er ud over boringsbeskrivelserne baseret på kortlægningen beskrevet i reference /33/.

Til at beskrive terrænoverfladen er samtlige borer med angivelse af terrænkoten i Zeus-boredatabasen kombineret med koter udtaget fra 4cm-kort langs med vandløb, støttepunkter i områder med få boringsoplysninger samt oplysninger om koten for hver TEM-sondering /31/ blevet anvendt.

For alle borer dybere end 20 meter er den summerede lerlagstykkelser af de øverste 20 meter vurderet (se bilag 4). Det er fundet, at der næsten ingen steder findes mere end 2,5 meter ler i de øverste 20 meter. Dette gælder eksempelvis også for et område som Hejnsvig bakkeø. På denne baggrund er det valgt, at lade det første modellag være beskrevet ved sand.

Modellaggrænserne er baseret på udtræk fra ZEUS-boredatabasen samt 50 TEM-sonderinger omkring Grindsted by /31/. De udvalgte borer repræsenterer de dybeste og mest repræsentative i det regionale område.

Mange steder er lag 2 og 4 af megen beskeden tykkelse. TEM-metoden kan ikke opløse sådanne tynde lag af få meters tykkelse, hvorfor lag 1 til 4 i mange områder af TEM-kortlægningen fremstår som et samlet lag. I sådanne områder er tykkelsen af lag 1 til 4 baseret på observationer fra de omkringliggende borer, mens top og bund af lag 6 er bestemt af TEM-kortlægningen.

Det er ikke alle syv lag, som findes overalt i modelområdet. I områder, hvor et lag ikke findes, er det tildelt en tykkelse på 1 meter og en hydraulisk ledningsevne svarende til lagene over og under.

På figur 4.1 ses et eksempel på den vertikale modelgeometri i form af et lodret stillet vestøst gående profil gennem modellen.

4.1.2 Horisontal geometri

Den horisontale udstrækning af modellen kan beskrives ved UTM-området:

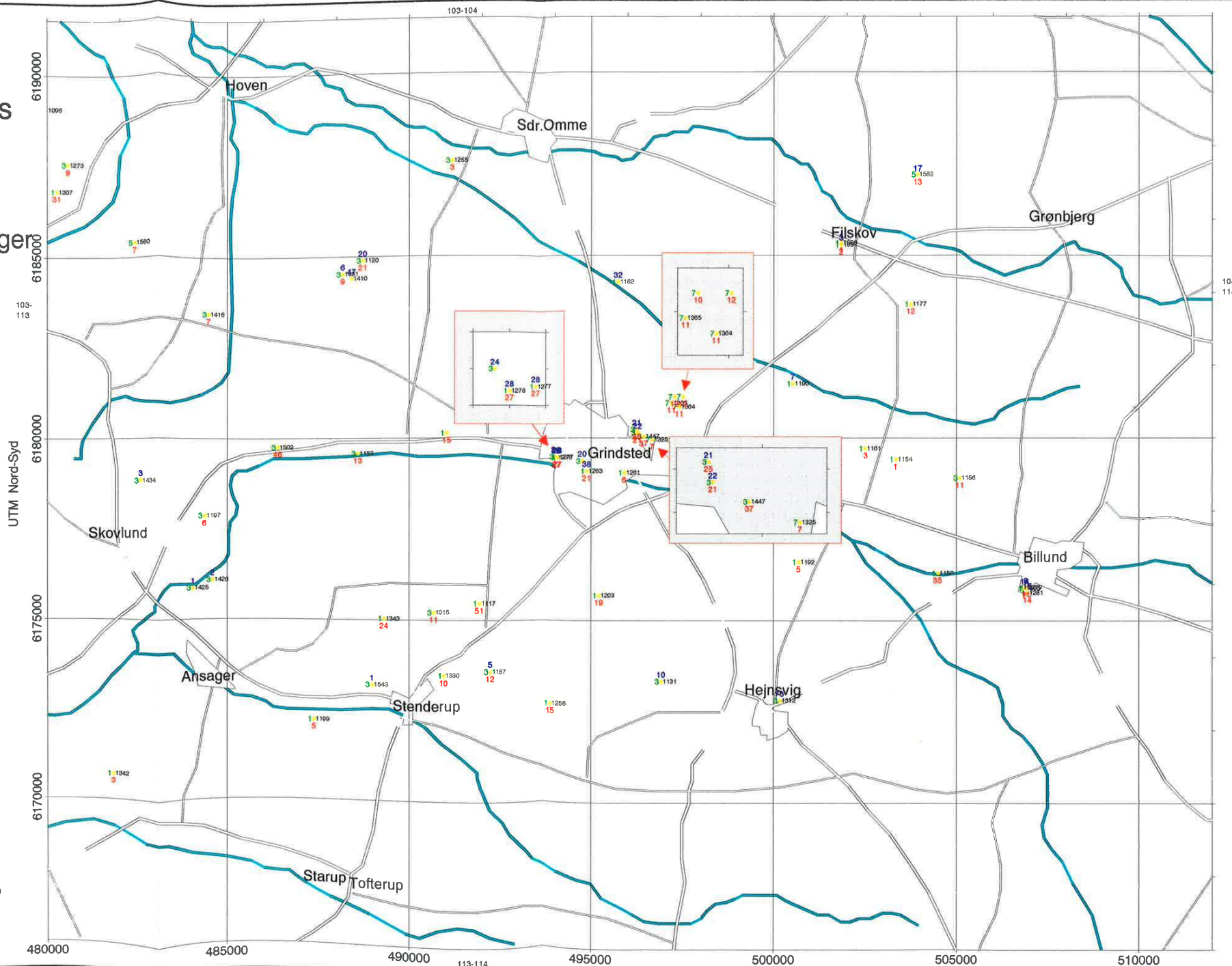
UTM Øst-Vest [Meter]	UTM Nord-Syd [Meter]
482.000	6.166.000
512.000	6.191.500

For den regionale model er der valgt en cellestørrelse på 250 x 250 meter overalt i området, hvilket svarer til en model med 120 søjler og 102 rækker.

T-værdier
 $\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Baseret på
tolkning af
prøvepumpninger

Stigning
Lag nr dgunr
Sænkning



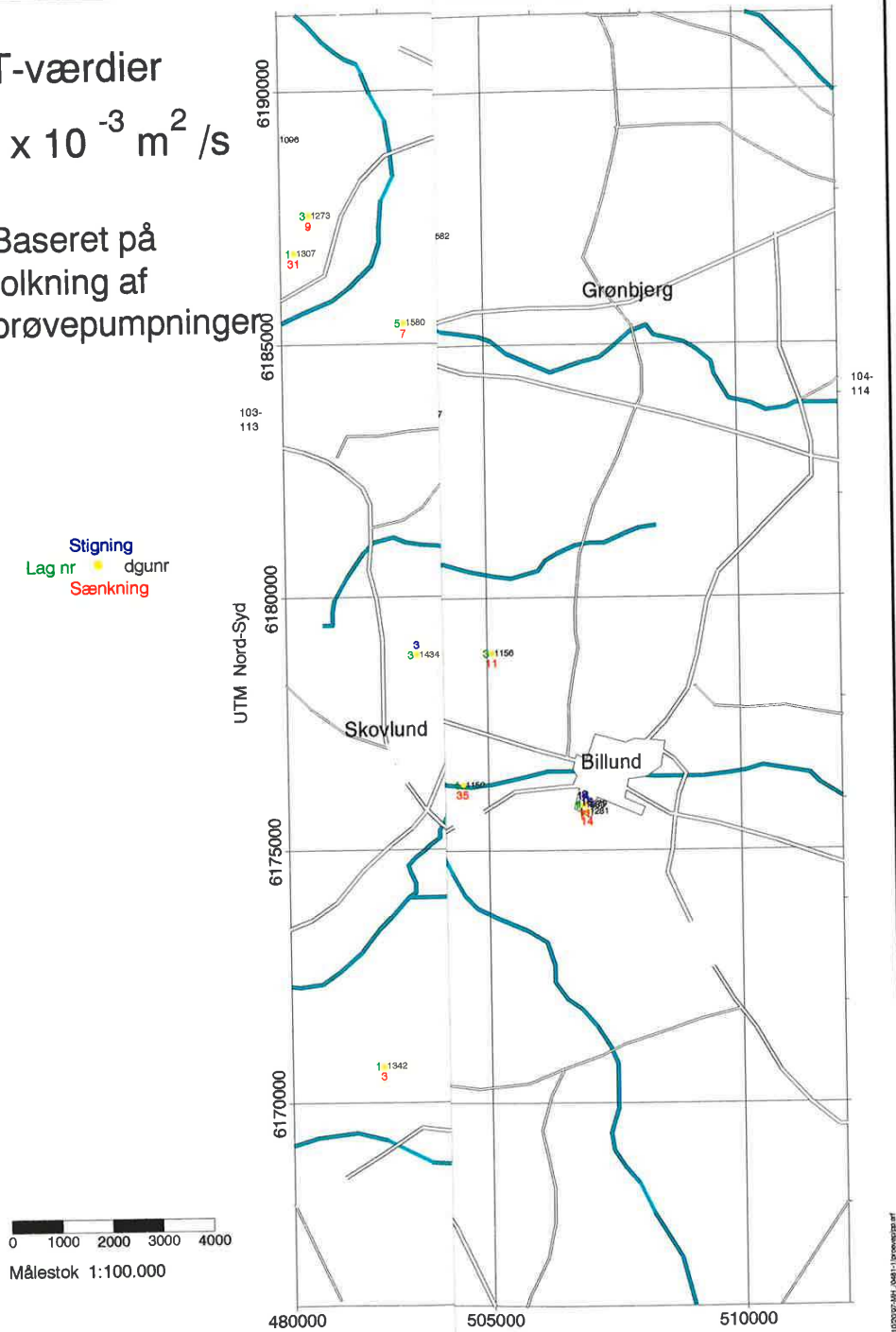
FIGUR 4.2 T-værdier

T-værdier

$$\times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Baseret på
tolkning af
prøvepumpninger

Stigning
Lag nr dgunr
Sænkning



FIGUR 4.2 T-værdier

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Som nævnt i afsnit 3 er det aktive modelområde afgrænset mod nord og syd af de større vandløbssystemer Omme Å og Ansager Å, som af potentialkortet (figur 3.3) ses at være i god kontakt med grundvandsmagasinet. Mod vest afgrænses det aktive modelområde af Varde bakkeø og mod øst er grænsen defineret ved et grundvandsskel. På figur 3.1 ses modelområdet.

Grundvandsskellet mod øst er dels bestemt på grundlag af potentialkortet beskrevet i afsnit 3.3, og det overordnede potentialkort for Vejle Amt /34/.

Alle de syv modellag har samme aktive modelområde. Dette skal ses i lyset af, at der ikke findes potentialeoplysninger, som ikke harmonerer med dette. Desuden ligger modelgrænserne langt fra detailmodellen omkring Grindsted by, som er det primære interesseområde.

4.1.3 Hydrauliske ledningsevner

For at vurdere sandlagenes hydrauliske ledningsevner er samtlige borejournaler, som ligger inden for modelområdet, i Ribe Amts borearkiv blevet gennemgået. Borejournaler med angivelse af en prøvepumpe med registrering af tre eller flere datapunkter er blevet tolket.

I bilag 5 ses tolkning af prøvepumpningsdata fra borejournalerne under anvendelse af tolkningsprogrammet PUMPTTEST.

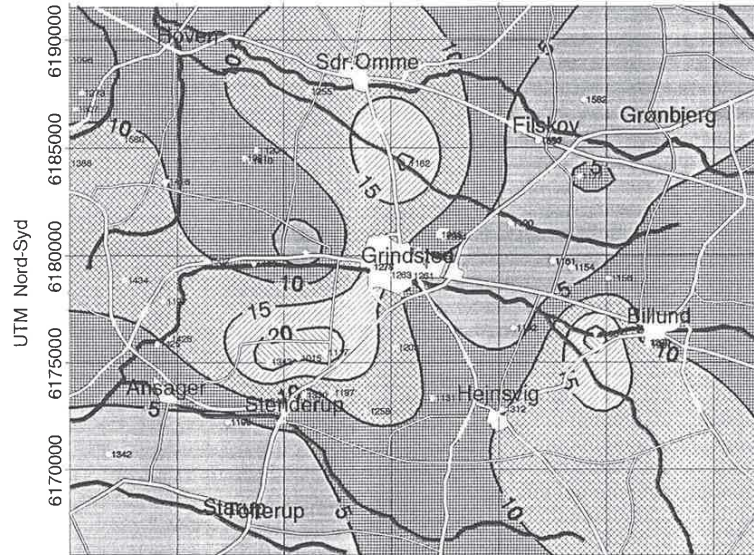
Endvidere er resultatet af prøvepumpninger fra følgende referencer blevet inddraget: /2/, /3/, /4/, /15/, /28/ og /32/.

På figur 4.2 ses et kort, hvor de tolkede prøvepumpninger er inddelt i forhold til det modellag de repræsenterer, og om der er tale om sænkings- eller stigningsdata.

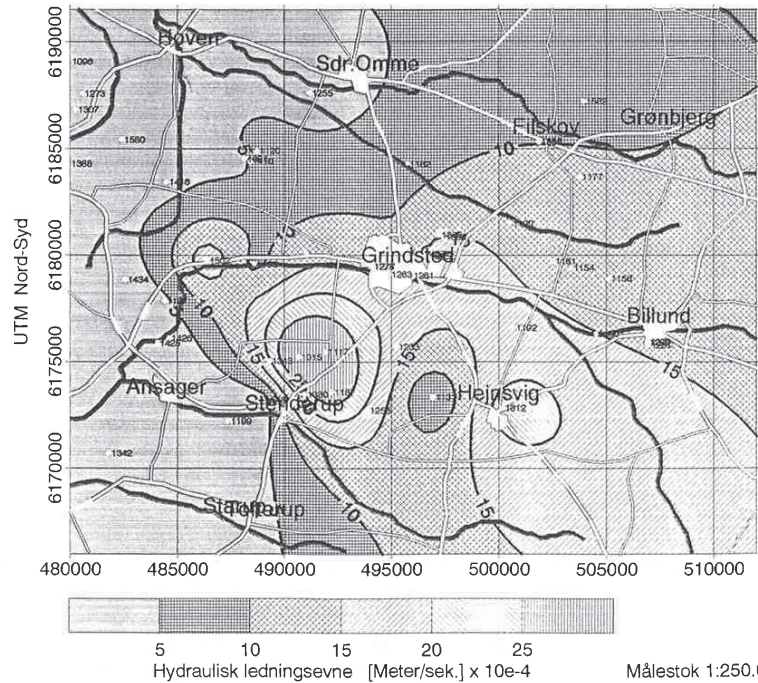
Efterfølgende er prøvepumpningerne relateret til ét af de fire magasiner i grundvandsmodellen, og magasinets mægtighed er vurderet med henblik på at omsætte den hydrauliske transmissivitet (T) til en hydraulisk ledningsevne (K).

For lag 1 og 3 findes en jævn dækning af det regionale modelområde, mens der kun findes ganske få oplysninger om K-værdierne for lag 5 og 7. Således er der foretaget en konturering af de hydrauliske ledningsevner i lag 1 og 3 (se figur 4.3), mens ledningsevnerne i lag 5 og 7 er defineret ved en konstant gennemsnitsværdi. Tabel 4.2 på følgende side beskriver de fundne niveauer for de fire magasiner.

Lag 1



Lag 3



FIGUR 4.3 Hydrauliske ledningsevner i lag 1 og 3 bestemt ved prøvepumpninger

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Ved opstilling af grundvandsmodellen beskrives den hydrauliske ledningsevne som anisotrop, idet der skelnes mellem den horisontale og den vertikale hydrauliske ledningsevne. Traditionelt defineres den vertikale ledningsevne til at være 10 % af den horisontale, hvilket også er valgt for denne model.

Lag nr.	Kontureret [meter/sek.]	Gennemsnitsværdi [meter/sek.]
1	2×10^{-4} til 24×10^{-4}	-
3	1×10^{-4} til 35×10^{-4}	-
5	-	4×10^{-4}
7	-	5×10^{-4}

TABEL 4.2 Hydrauliske ledningsevner K på basis af prøvepumpninger.

De hydrauliske ledningsevner for de tre lerlag beskrives i afsnit 4.2 under kalibrering af modellen.

4.1.4 Nettonedbør

Som input til modellen er der anvendt de beregnede værdier fra Hedeselskabet i et 10 kilometer grid, som følger UTM-nettet.

I 1995 udgjorde den gennemsnitlige nedbør over modelområdet 936 mm/år, mens nedbøren i perioden fra 1981 til 1995 i gennemsnit var på 1040 mm/år (se nedenstående tabel 4.3).

År	1981-1995	1995
Nedbør	1040	936
Potentiel fordampning	543	597
Aktuel fordampning	398	400
Nettonedbør	642	536

TABEL 4.3 Nedbør og fordampning, [mm/år].

Den aktuelle fordampning er beregnet som et lige vægtet gennemsnit for jordtyperne "grovsandet jord" og "grov lerblandet sandjord" og otte forskellige afgrødetyper. Den gennemsnitlige værdi er i 1995 beregnet til 400 mm/år, hvilket ligger meget tæt på gennemsnitsværdien for perioden 1981 til 1995 på 398 mm/år.

På baggrund af de beregnede tal for nedbøren og den aktuelle fordamning er nettonedbøren i 1995 beregnet til 536 mm/år. Denne vandmængde udtrykker den del af nedbøren, som passerer rodzonen og videre ned gennem den umættede zone til grundvandsmagasinerne.

I modellen er nettonedbøren beskrevet som et kontureret billede af gridværdierne beregnet af Hedeselskabet for hver 10 km, idet variationerne i fordamning fra gridnode til gridnode er inddraget.

Nettonedbøren er i byområdet ved Grindsted reduceret til 100 mm/år. Denne reduktion er begrundet med, at store dele af byområdet er befæstet areal, hvor en større del af nedbøren vil strømme af som overfladeafstrømning.

På grundlag af en vurdering af den summerede lerlagstykkelse i de øverste 20 meter (bilag 4) er det vurderet, at der i hele modelområdet ikke findes nævneværdige områder med mere end 2,5 meter ler. På denne baggrund er det valgt ikke at reducere nettonedbøren i et område som f.eks Hejnsvig bakkø.

4.1.5 Indvinding

Indvindingen i modelområdet kan overordnet betragtes som markvandsboringer overvejende filtersat i de to øverste magasiner (1 og 3), DIGR, som indvinder fra lag 3 og drikkevandsindvinding fra lag 3, 5 og 7.

Markvanding

Markindvindingen er i områderne, som ligger i Ribe og Vejle amter baseret på, hvad den enkelte jordbruger har indberettet for 1995. Indvindingen i Ringkjøbing Amt er defineret som 75 procent af den tilladte indvindingsmængde. En oppumpning på 75 procent af den tilladte mængde er baseret på et skøn foretaget af den aktuelle kommune i den nordvestlige del af modelområdet.

I forhold til dybden af filtersætningen i markvandsboringerne er markindvindinger tilskrevet lag 1, 3 og 5. Således er boringer filtersat dybere end 50 meter under terræn tilskrevet lag 5, boringer filtersat i intervallet fra 20 til 50 meter under terræn indvinder fra lag 3, mens boringer filtersat mindre end 20 meter under terræn tilhører lag 1.

Størstedelen af boringerne indvinder ved denne opdeling fra det terrænnære magasin (lag 1), se oversigtsfiguren i bilag 1. I området ved Hejnsvig bakkø tilhører mere end halvdelen af markvandsboringerne lag 3, mens der i et område ved Filskov findes nogle boringer filtersat i lag 5.

Der findes i modelområdet et meget stort antal markvandsboringer. Således er der registreret 1007 boringer hørende til lag 1, 251 boringer i lag 3 og 48 boringer i lag 5.

Da den anvendte grundvandsmodel MODFLOW ikke kan håndtere mere end 1000 boringer, vil dette store antal markvandsboringer umiddelbart give problemer. Dette er løst med et eksternt program, som kan summere flere indvindinger hørende til samme modelcelle.

Reinfiltration ved markvanding er sat til 40 procent. Således er oppumpning til markvanding reduceret med 40 procent.

DIGR

DIGR har i perioden 1988 til 1995 indvundet følgende vandmængder:

År	Indvundet vandmængde [m ³]
1988	2.100.000
1989	?
1990	1.250.000
1991	699.750
1992	488.852
1993	436.746
1994	798.603
1995	642.265

TABEL 4.4 Vandmængde indvundet på fabrikken Grindsted Products / Danisco A/S. Den tilladte indvindingsmængde har i hele perioden været 1.500.000 m³/år.

I lighed med drikkevandsindvindingen er opgørelsen for 1994 blevet anvendt. Da man ikke ved, hvordan indvindingen har været fordelt på de enkelte boringer, er det antaget, at de 11 aktive indvindingsboringer (DGU-nr. 114.1292, .1294, .1295, .1297, .1302, .1303, .1304, .1355, .1598, .1610 og .1616) har indvundet lige store vandmængder i 1994.

Placeringen af boringerne ses på figur 3.1

Indvindingen er tilskrevet lag 3.

Drikkevandsindvinding til vandværker

I tabellen i bilag 6 ses den indvundne mængde drikkevand i 1994 fordelt på vandværker og tilhørende boringer.

Følgende vandværker har aktive indvindingsboringer i modelområdet:

- Hoven Vandværk
- Sdr. Omme Vandværk
- Filskov Vandværk
- Grindsted Vandværk
- Billund Vandværk (nye / gamle)
- Ansager Vandværk
- Vesterhede Vandværk
- Hejnsvig Vandværk
- Donslund Vandværk
- Vorbasse Vandværk

Indvindingsboringerne er filtersat i lag 3, 5 og 7. Således indvinder Billund og Grindsted vandværker fra lag 7, Hoven, Filskov og Vesterhede vandværker fra lag 5, mens næsten alle vandværkerne har indvindingsboringer placeret i lag 3.

Ved indlæsning af de mange boringer i grundvandsmodellen er indvindinger inden for samme modelcelle og samme modelag blevet summeret. På oversigtskortet (bilag 1) ses modelcellerne, hvorfra der indvindes vand.

4.1.6 Vandføring i å-løb

I det regionale modelområde findes der nogle større vandløbssystemer, som er med til at definere randen af modellen, og inde i det aktive modelområde findes fire vandløb, som er langt ind i modellen.

Vandløb, som definerer modelranden

Vandløbene som er med til at definere modelranden er:

- Vesterbæk som løber mod nord ud i Omme Å, og Omme Å som definerer det aktive modelområde mod nord. Omme Å løber til Skjern Å, som udmunder i den sydøstlige del af Ringkøbing Fjord.
- Den sydlige modelrand defineres af Nebel Sønderbæk og Ansager Å, som løber ud i Varde Å sammen med den vestlige del af Grindsted Å. Varde Å forsætter mod sydvest, indtil den munder ud i Ho Bugt.

Det er vurderet på grundlag af potentialkortet, at disse vandløb er i direkte kontakt med grundvandsmagasinerne, idet disse tydeligt ses af potentialbilledet. Således er modelranden i disse områder defineret som fastholdt trykniveau. Potentialet i disse randceller er bestemt ved aflæsning af vandløbskoterne på 4cm-kort.

Vandløb, som ligger inde i modelområdet

Inde i selve modelområdet findes fire vandløb, som er i mere eller mindre god kontakt med grundvandsmagasinet. Der er tale om følgende vandløbssystemer:

- Grindsted Å og Grene Å
- Simmelbæk
- Morsbøl Bæk og Kærbæk
- Urup Nordre Bæk

I forbindelse med disse vandløb findes en række vandføringsstationer. For disse vandføringsstationer er der vurderet en medianminimumsvandføring, som det ses af tabellen i bilag 7.

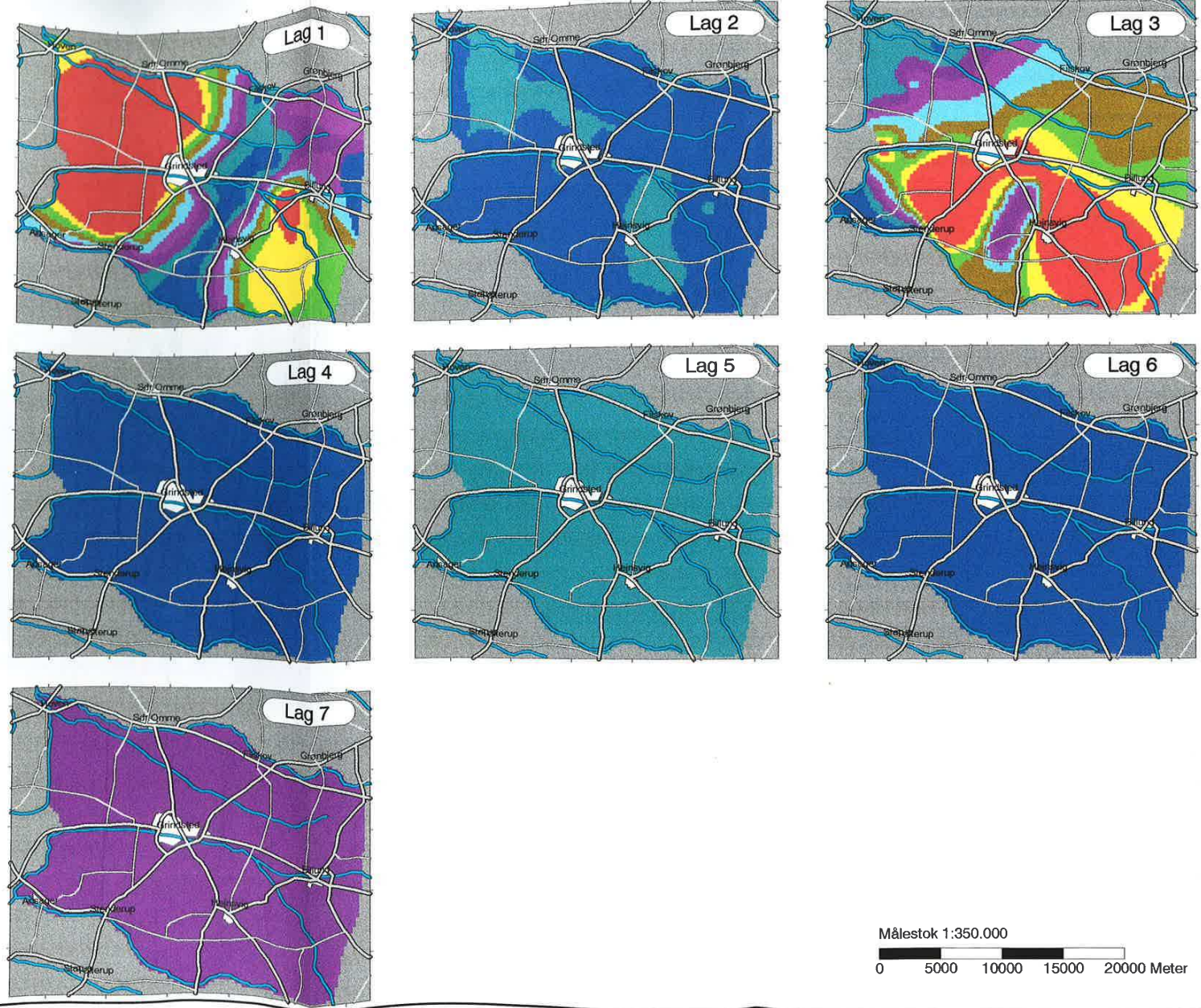
De fire vandløb i modellen er tilskrevet lag 1. Samspillet mellem grundvandsmagasinet i lag 1 og vandløbene er beskrevet ved en form for transmissivitet. Denne transmissivitet er defineret ved produktet af den hydrauliske ledningsevne for vandløbets bund, vandløbets bredde og vandløbscellens længde divideret med vandløbsbundens tykkelse. I modellen er tykkelsen af vandløbsbunden overalt fastsat til 1 meter.

Disse medianminimumsvandføringer er anvendt i forbindelse med kalibrering af regionalmodellen, idet denne vandføring antages at udgøre en rimelig konstant strømning fra grundvandsmagasinerne til vandløbene. Således er det antaget, at de målte medianminimumsvandføringer udelukkende skyldes grundvandstilstrømning og ikke overfladevand i forbindelse med nedbørsepisoder.

4.2 Kalibrering

Kalibreringen er foretaget ud fra et ønske om at korrigere de målte data (nettonedbør, K-værdier og modelgeometri) mindst muligt, således at de variable ligger inden for et realistisk niveau i forhold til den geologiske lagserie, og at variationer generelt gøres mindst mulige. Med baggrund heri er der opstillet en rimelig simpel og overskuelig model, som ikke beskriver små variationer, som der ikke er datagrundlag for.

Horisontal hydraulisk ledningsevne



Horisontal hydrauliske ledningsevner

meter/sek x 10e-4

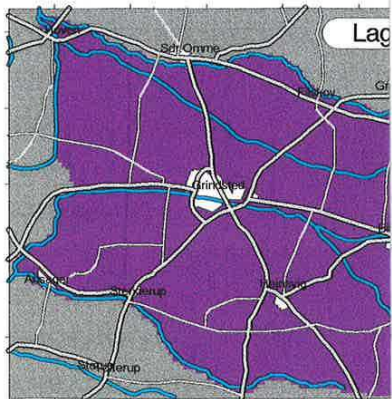
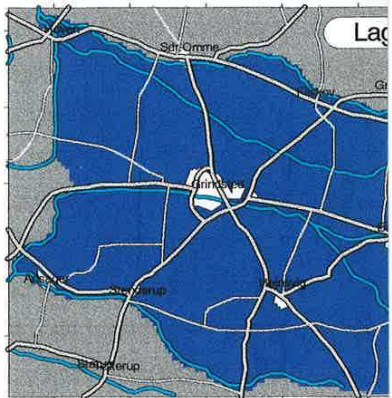
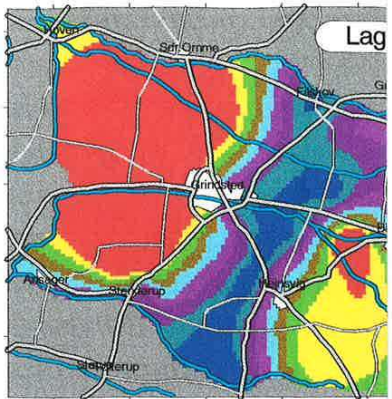
- 16 - 20
- 14 - 16
- 12 - 14
- 10 - 12
- 8 - 10
- 6 - 8
- 4 - 6
- 2 - 4
- 1 - 2
(for lag 2, 4 og 6 er K = 10e-7)

Målestok 1:350.000
 0 5000 10000 15000 20000 Meter

FIGUR 4.4 Kalibrerede horisontale hydrauliske ledningsevner

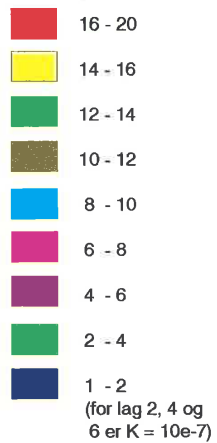
1:02007-AH1-10491-1-limodelling_hinc.srf

Horizontal hydraulisk ledningsevne



Horizontal hydrauliske ledningsevner

meter/sek x 10e-4



FIGUR 4.4 Kalibrerede horizontale hydrauliske ledningsevner

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

4.2.1 K-værdier

De kalibrerede horizontale hydrauliske ledningsevner (K-værdier) ses af kortene på figur 4.4, og i tabel 4.5 ses de overordnede niveauer for alle 7 modellag.

Lag nr.	Lagtype	Kalibrerede horizontale hydrauliske ledningsevner [m/s]
1	Sand	1×10^{-5} til $1,9 \times 10^{-4}$
2	Ler / brunkul	10^{-7} (huller 4×10^{-4})
3	Sand	10^{-4} til $1,9 \times 10^{-4}$
4	Ler	10^{-7}
5	Sand	4×10^{-4}
6	Ler	10^{-7}
7	Sand	5×10^{-4}

TABEL 4.5 Kalibrerede horizontale hydrauliske ledningsevner. Den vertikale hydrauliske ledningsevne udgør 10 procent af den horizontale.

Sammenlignes de målte K-værdier i lag 1 baseret på prøvepumpinger (figur 4.3) med den kalibrerede fordeling af de hydrauliske ledningsevner (figur 4.4), ses små forskelle. Der er tale om området umiddelbart vest for Hejsnig by, hvor den kalibrerede K-værdi er mindre, end hvad der faktisk er målt. Dette er gjort for at afspejle, at grundvandspotentialer (figur 3.3) har en stor gradient i dette område. I området nordøst for Billund langs modelranden er der ligeledes en forskel mellem det målte og det kalibrerede. Der er igen tale om en lavere K-værdi indsat for at opbygge et højere potentiale.

Lag 2 har fået tildelt en horizontal hydraulisk ledningsevne på 10^{-7} m/s. Dog ses nogle grønne områder på figur 4.4, hvilket er et udtryk for, at lag 2 ikke eksisterer, hvorfor det imaginære lag 2 med en tykkelse på 1 meter har fået tildelt en ledningsevne på 4×10^{-4} m/s svarende til sand.

Lag 3 er, som tilfældet var for lag 1, som udgangspunkt baseret på de målte værdier (figur 4.3). I forhold til de målte værdier er der kun tale om minimale justeringer.

På trods af at lag 4 under Grindsted by ikke er éntydigt defineret i borejournalerne, er der i modellen indlagt et lag 4 med tykkelsen 1 meter.

Da man ikke genfinder lag 4 i boringerne, ville man normalt tildele lag 4 en hydrauliske ledningsevne svarende til sandlagene over og under dette lag, men ud fra et kalibreringssynspunkt synes der at forekomme et lavpermeabelt lag i dette område, hvorfor det 1 meter tykke lag har fået tildelt en lav ledningsevne. Således er der opnået trykgradienter, som svarer til målingerne beskrevet i reference /23/.

Lag 5 og 7 er fået tildelt en gennemsnitsværdi baseret på prøve-pumpningerne, som der ikke er fundet anledning til at justere ved kalibreringen.

Lag 6 har i hele modelområdet en horisontal ledningsevne på 10^{-7} m/s, hvilket er i overensstemmelse med /35/.

Den vertikale hydrauliske ledningsevne er for alle lag defineret som 10 procent af den horisontale.

4.2.2 Vandføring i åløb

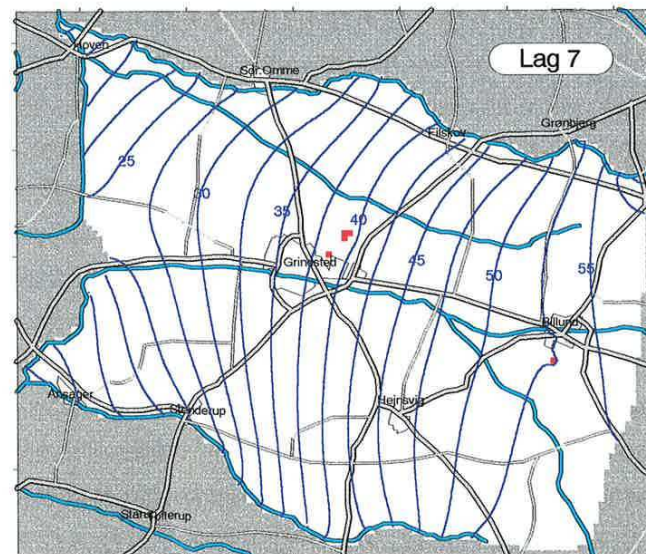
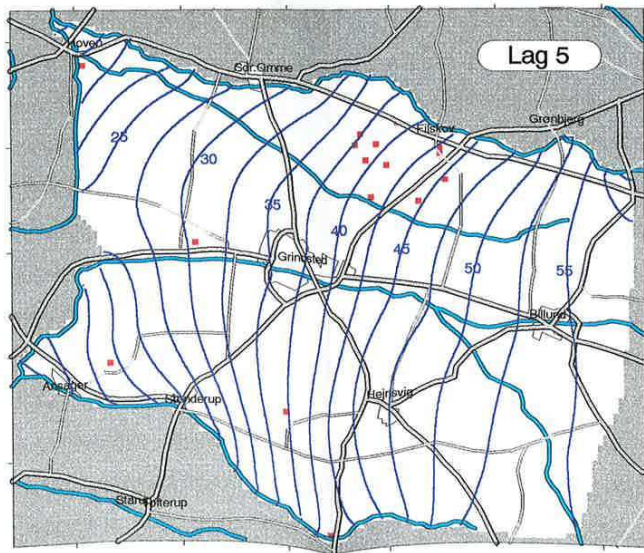
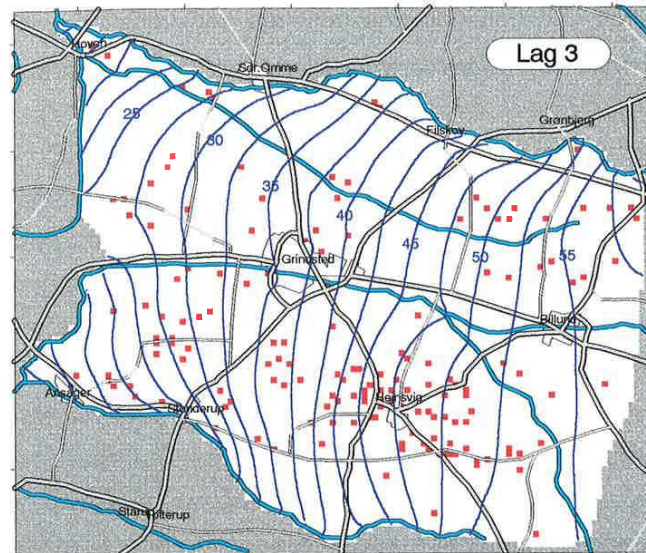
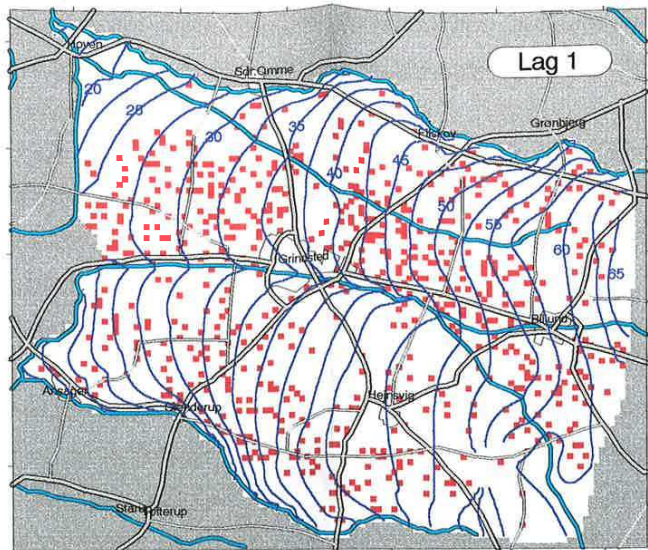
Langs med de fire vandløb i modelområdet findes en række vandføringsstationer med angivelse af medianminimumsvandføringen.

Som nævnt i afsnit 4.1.7 styres udvekslingen af vand mellem vandløbene og det terrænnære magasin af transmissiviteten i bunden af vandløbene. Denne parameter er ikke målt i felten, hvorfor bestemmelsen af denne udelukkende beror på kalibrering af modellen. Dog er bestemmelsen bestemt af, at bundens hydrauliske ledningsevne skal ligge inden for et realistisk niveau.

Idet modelcellerne er 250 meter lange, vandløbene defineres til at have bredden 5 meter, og tykkelsen af vandløbenes bund sættes til 1 meter, er de kalibrerede hydrauliske ledningsevner for hvert af de fire vandløb:

Vandløb	Kalibreret K-værdi [m/s]
1. Grindsted Å	$6,4 \times 10^{-5}$
2. Simmelbæk	$4,0 \times 10^{-5}$
3. Morsbøl Bæk	$3,2 \times 10^{-6}$
4. Urup Nordre Bæk	$6,4 \times 10^{-6}$

TABEL 4.6 Kalibreret hydrauliske ledningsevner for den 1 m tykke bund i de fire vandløb i modelområdet.

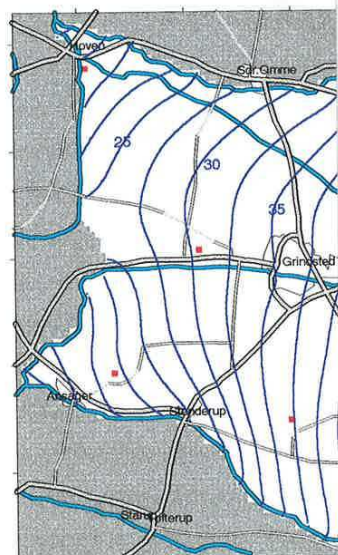
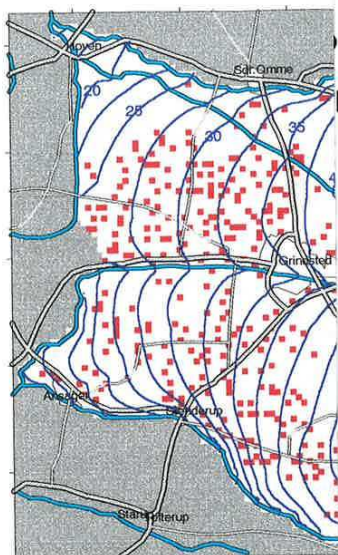


Potentialet i de fire grundvandsmagasiner

- Indvindingsceller
 - Potentiallinier
- Ækvidistance 2,5 meter
- Målestok 1:250.000
- 0 2500 5000 7500 10000
Meter

FIGUR 4.5 De modellerede potentialer i de fire grundvandsmagasiner

Potentialet i de fire grundvandsmagasiner



■ Indvindingsceller

— Potentiallinier

Ækvidistance 2,5 meter

Målestok 1:250.000



1:250.000, 0,001, 1:100.000, 0,001

FIGUR 4.5 De modellerede potentialer i de fire grundvandsmagasiner

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Medianminimumsvandføringerne som angivet i tabellen i bilag 7 kan sammenlignes med strømningen i vandløbscellerne i den stationære regionalmodel. I tabel 4.7 ses resultatet af denne sammenligning.

Vandløb / Vandføringsstation	Model [l/s]	Målt [l/s]
1. Grindsted Å (HU310.327)	1309	1600
2. Simmelbæk (HU250.012)	108	169
3. Morsbøl Bæk (HU310.026)	145	170
4. Urup Nordre Bæk (HU250.014)	59	78

TABEL 4.7 Sammenligning af modellerede og målte medianminimumsvandføringer.

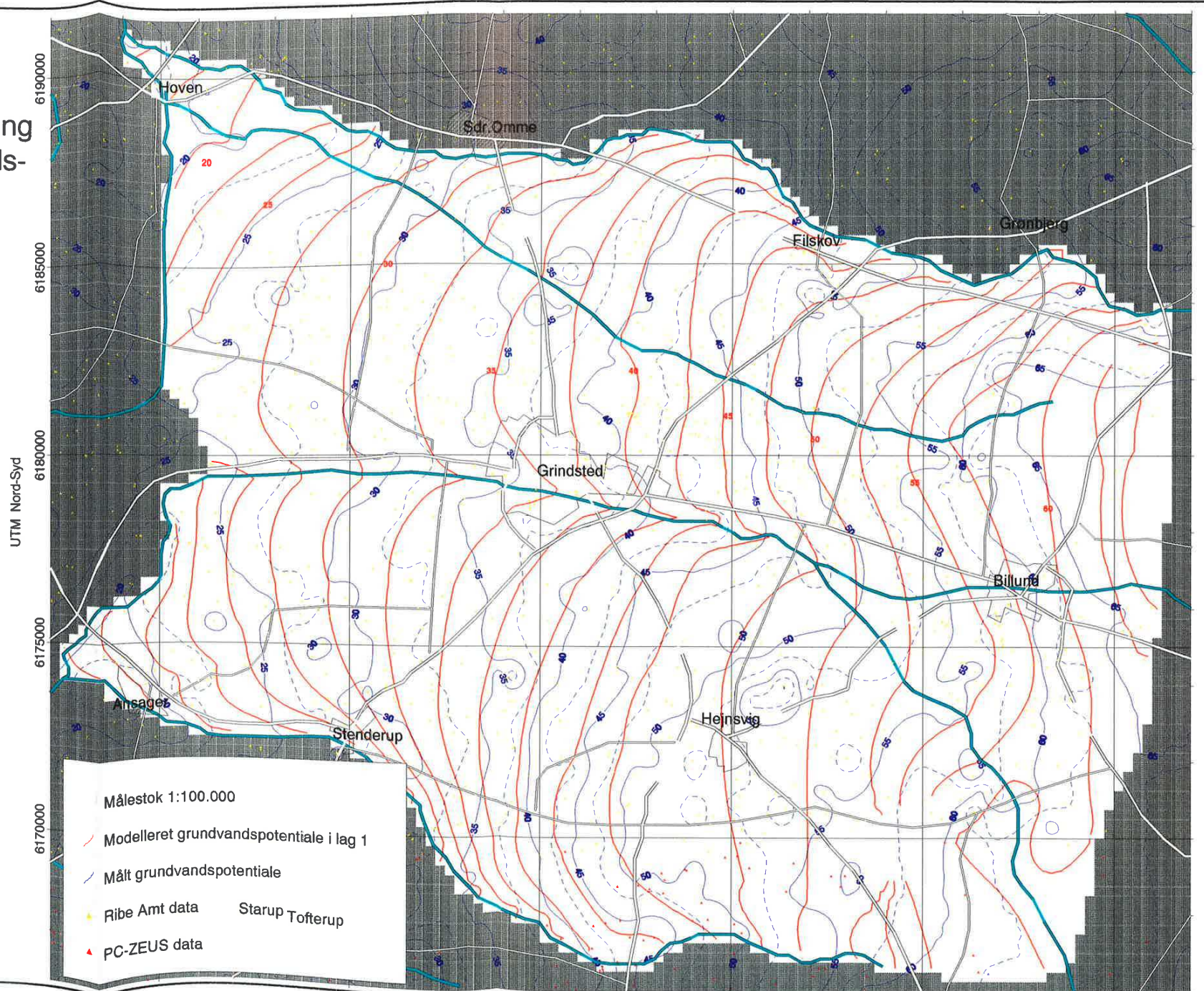
I forhold til de årlige variationer i målt medianminimum vurderes de modellerede vandføringer at være acceptable.

4.2.3 Andre kalibreringer

Ud over justeringer af de hydrauliske ledningsevner for de 7 model-lag og i bunden af vandløbene, er der gjort følgende justeringer:

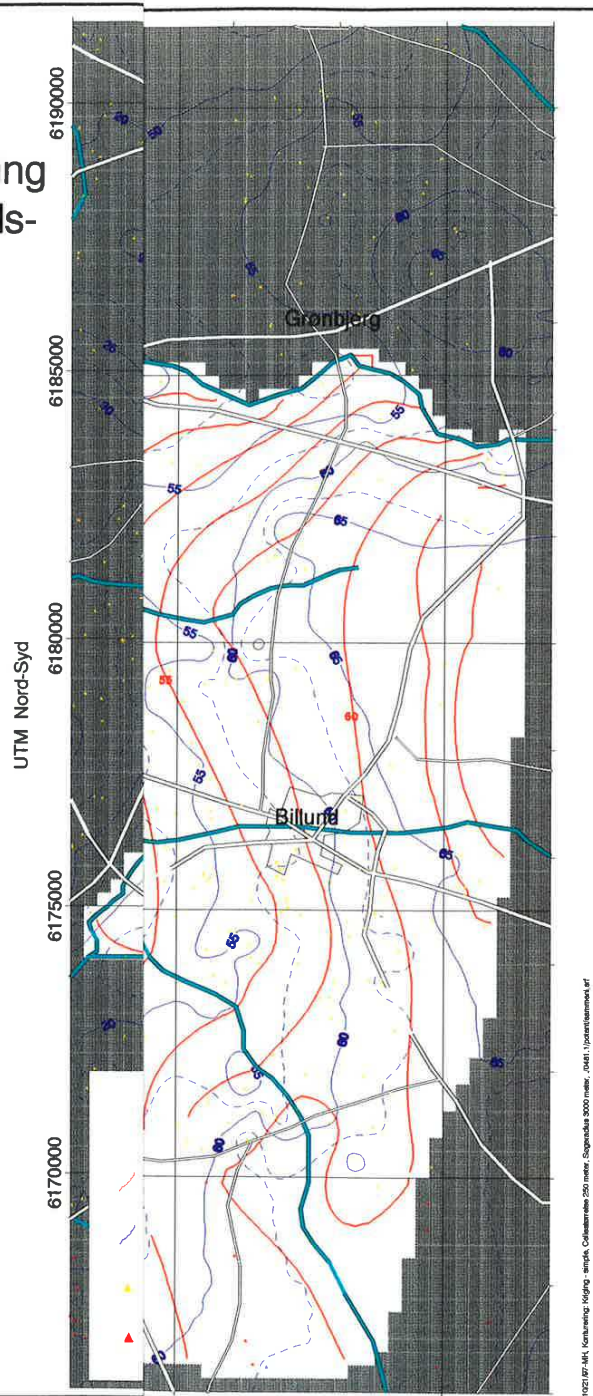
- Reduktion af nettonedbøren med 5 procent. Denne justering er foretaget for at den modellerede medianminimumsvandføring i vandløbene skal afspejle, hvad der er målt.
- Sænket beliggenheden af Simmelbæk med 1 meter i forhold til angivelserne på 4cm-kortene. Denne justering har vist sig nødvendig, idet Simmelbæk ellers ikke vil føre vand, hvilket er i modstrid med, hvad der rent faktisk er målt.
- Endelig er der foretaget mindre geometriske justeringer i yderområder.

Sammenligning af grundvandspotentialer



FIGUR 4.6 Sammenligning af målt og modelleret potentialkort

Sammenligning af grundvands-potentialer



FIGUR 4.6 Sammenligning af målt og modelle

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

4.2.4 Sammenligning af det målte og modellerede potentialkort

Figur 4.6 viser det målte potentiale illustreret på figur 3.3 sammen med det modellerede potentiale i lag 1 (figur 4.5).

Generelt er der en meget fin overensstemmelse mellem det målte og det modellerede potentiale. I området omkring Hejnsvig og området nordøst for Billund er potentialkurveforløbene dog ikke helt sammenfaldende. I relation til modellens formål er det valgt ikke at anvende mange ressourcer på at opnå en perfekt tilpasning i disse områder, idet afvigelserne her ikke vil have betydning for modellen i f.eks. Grindsted byområdet.

På figur 4.5 ses også potentialerne for de tre dybere liggende grundvandsmagasiner. Det generelle billede er glatte kurveforløb, som påvirkes mindre og mindre af modellens fire vandløb. Potentialkortene er vurderet i forhold til potentialerne målt i de dybere liggende magasiner i området omkring Grindsted /23/. På denne baggrund er der fundet en god overensstemmelse mellem de målte og de modellerede potentialer.

4.3 Simuleringer

Med henblik på at belyse markvandings indflydelse på vandføringen i de fire åløb, der ligger inden for modelområdet er der gennemført 3 simuleringer med den regionale grundvandsmodel.

Modellen beregner vandføringen overalt i de vandløb, der indgår i modellen. I de følgende vurderinger er anvendt den vandføring, der er beregnet på kalibreringslokaliteterne i Grindsted Å, Simmelbæk, Morsbøl Bæk og Urup Nordre Bæk, jf. tabel 4.7.

Målestation	Simulering 1: Værst markv.		Simulering 2: Uden markv.		Simulering 3a: Med nedbør		Simulering 3b: Uden nedbør	
	l/s	s ₁ /kal	l/s	s ₁ /s ₂	l/s	s _{3a} /s ₂	l/s	s _{3b} /s ₂
Grindsted Å	1011	77%	1405	72%	1321	94%	853	61%
Simmelbæk	-55	0%	161	0%	110	68%	-259	0%
Morsbøl Bæk	104	72%	159	65%	147	92%	81	33%
Urup Nordre Bæk	45	76%	63	71%	58	92%	38	68%

TABEL 4.8 Vandføring i åløb, simulering 1,2 og 3.

4.3.1 Simulering 1: Vandføring i åer, ved værst tænkelige markvanding

Markvanding udgør en koncentreret indvinding i sommerperioden. I den opstillede stationære regionalmodel kan sådanne årstidsvariationer ikke simuleres direkte. En grov beskrivelse af markvandings effekt på vandføringen i åerne kan dog opnås ved at multiplicere markvandingen med 4, svarende til at markvandingen typisk foregår i ¼ af året (månederne maj, juni og juli). Da der er tale om stationær simulering, kan der ikke tages hensyn til magasineringen i grundvandsmagasinerne og dermed den forsinkelse i påvirkningen, som vil forekomme. Simuleringen kan derfor betragtes som en værst tænkelig simulering af påvirkningen.

I det aktuelle tilfælde er markvandingerne fra 1995, der er anvendt ved kalibreringen, multipliceret med 4. Alle øvrige parametre er uændrede i forhold til kalibreringen.

Resultatet af simulering 1 er vist i tabel 4.8. Der er vist den simulerede vandføring i liter pr. sekund og den simulerede vandføring i forhold til den vandføring, der blev simuleret ved kalibreringen. Det fremgår, at Simmelbæk påvirkes så kraftigt, at der i modellen er beregnet netto-udstrømning fra bækken til grundvandsmagasinet, hvilket dog reelt ikke er muligt. Således antyder simuleringen, at Simmelbæk er meget følsom overfor indvinding til markvanding, og at denne værst tænkelige markvanding kan tørlægge åen helt.

For de øvrige åer reduceres vandføringen til mellem 72 og 77% af den kalibrerede.

4.3.2 Simulering 2: Vandføring i åer uden markvanding

I simulering 2 er der foretaget en simulering af vandføringen i åerne, under forudsætning af, at der ikke indvindes vand til markvanding.

I praksis er markvandingerne fra 1995, der er anvendt ved kalibreringen, sat til 0. Alle øvrige parametre er uændrede i forhold til kalibreringen.

Resultatet af simulering 2 er vist i tabel 4.8. Der er vist den simulerede vandføring i liter pr. sekund og den simulerede vandføring i simulering 1 forhold til den vandføring, der er beregnet ved simulering 2. Det fremgår, at der - i overensstemmelse med forventningerne - beregnes væsentligt højere vandføringer i simulering 2. Vandføringen i simulering 1 udgør således mellem 0 og 72% af den vandføring, der beregnes i simulering 2.

Ved disse stationære beregninger kan det således - værst tænkeligt - beregnes, at markvandingen tørlægger Simmelbæk og reducerer vandføringen i de øvrige år med mellem 28 og 35 %.

4.3.3 Simulering 3: Vandføring i år, ved ikke-stationær simulering af markvanding

I forhold til stationær simulering giver ikke-stationær simulering en mere præcis beregning af markvandingens påvirkning af vandføring i år. Årsagen hertil er, at ikke-stationær simulering kan medtage årstidsvariationer og magasinering i grundvandsmagasinerne.

I det aktuelle tilfælde er grundvandsmodellen kalibreret stationært. Den eksisterende stationære model kan dog umiddelbart sættes til at køre ikke-stationært i en 3 måneders periode, svarende til markvandsperioden. Dette vil, i forhold til simulering 1, give en mere realistisk, men stadig grov, simulering af den reelle påvirkning.

Simulering 3 er gennemført i to varianter:

- 3a: med en grundvandsdannelse, der svarer til den årlige grundvandsdannelse i 1995.
- 3b: uden grundvandsdannelse, svarende til en sommersituation i et overfladenært grundvandsmagasin.

For begge varianter er begyndelsesbetingelserne en situation uden markvanding. I praksis betyder dette, at der er anvendt startpotentialer, svarende til beregnede potentialer i simulering 2. Der er desuden valgt magasintal på 0,25 for frie magasiner og 0,0001 for spændte magasiner.

Resultatet af simuleringerne 3a og 3b er vist i tabel 4.8. Der er vist den simulerede vandføring i liter pr. sekund og den simulerede vandføring i forhold til den vandføring, der blev beregnet ved simulering 2 (ingen markvanding). Det fremgår, at der i simulering 3a (med grundvandsdannelse) beregnes vandføringer, der ligger mellem 68 og 94% af vandføringen uden markvanding (simulering 2).

Endvidere fremgår det, at der i simulering 3b (ingen grundvandsdannelse) beregnes vandføringer, der ligger mellem 0 og 68% af vandføringen uden markvanding (simulering 2).

De to varianter af simulering 3 viser således, at det er meget vigtigt for vandføringen i åerne, om der forekommer grundvandsdannelse i markvandsperioden.

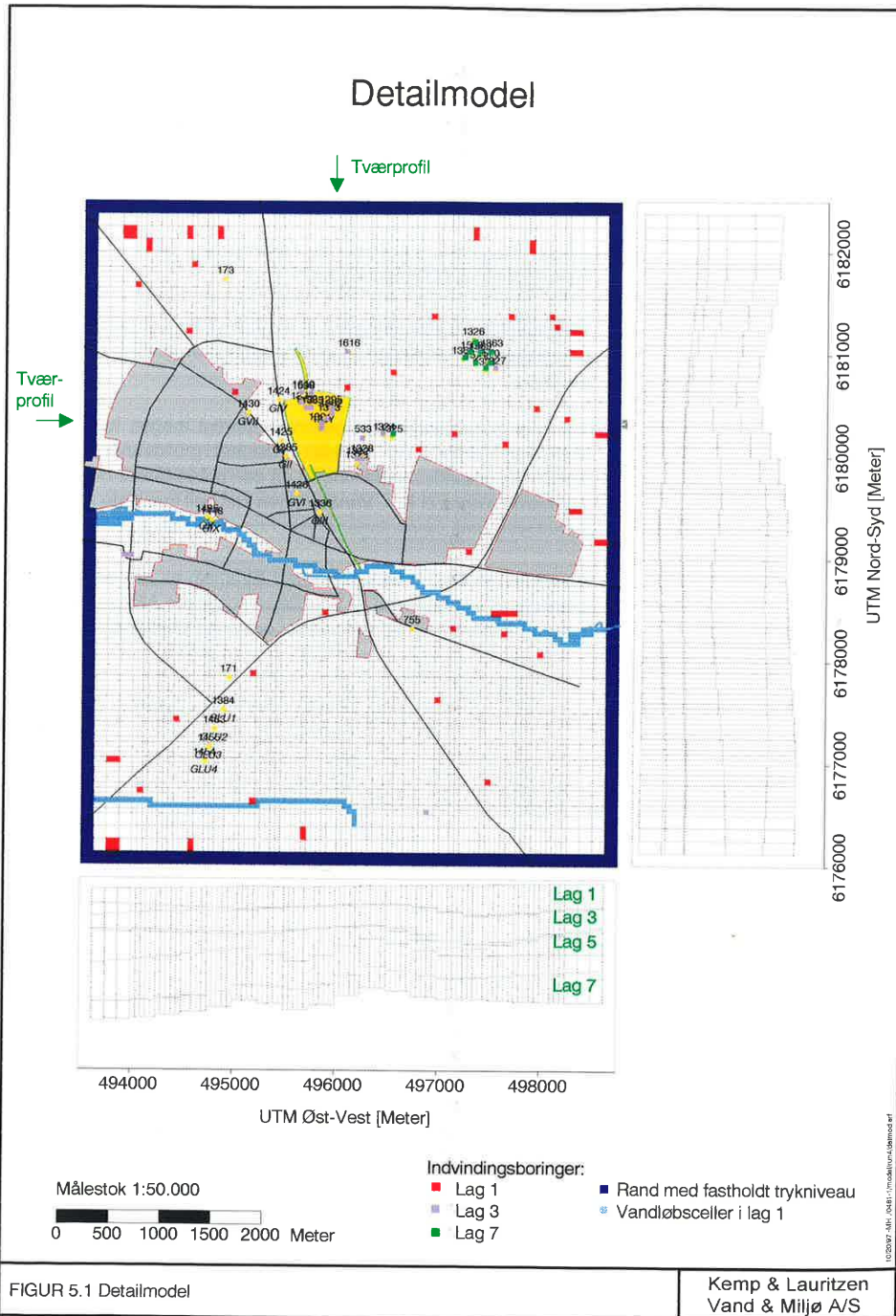
Kvalitativt kan det vurderes, at der i det øverste grundvandsmagasin, hvorfra en stor del af markvandingen foregår og som bidrager væsentligt til vandføringen i åerne, vil være meget ringe grundvandsdannelse i en sommerperiode. Specielt vil det forventes, at der i en periode med behov for markvanding vil være ringe eller ingen grundvandsdannelse.

På den baggrund vurderes det, at simulering 3b er tættere på virkeligheden end simulering 3a.

De gennemførte simuleringer 1 til 3 viser samlet, at markvandingen påvirker vandføringen væsentligt og at særligt Simmelbæk er påvirket.

Årsagen til, at Simmelbæk påvirkes særligt meget, kan blandt andet være, at åbunden kun er lidt nedskåret i grundvandspotential. En lille potentialesænkning vil på den måde få stor betydning for tilstrømningen til åen. Vandføringen kan helt forsvinde ved selv forholdsvis små sænkninger af potentialet.

Resultaterne af simuleringerne ved Simmelbæk er i store træk overensstemmende med de resultater, som Ribe Amt har opnået med en ASM-grundvandsmodel for oplandet til Simmelbæk /28/.



FIGUR 5.1 Detailmodel

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

5. STATIONÆR DETAILMODEL

Med henblik på at belyse detailforholdene i et område omkring Grindsted by er den kalibrerede regionale grundvandsmodel diskretiseret.

Detailmodellen er baseret på et ønske om detaljeret at kunne simulere forholdene omkring DIGR, Grindsted Vandværks kildeplads 2 og 3 samt Grindsted Losseplads.

5.1 Opstilling

Detailmodellen er beskrevet ved 118 rækker og 93 søjler, hvoraf de fire celler langs kanten har kantlængden 125 meter, mens de centrale celler har kantlængden 50 meter.

Detailmodellen dækker følgende UTM-område:

UTM Øst-Vest [Meter]	UTM Nord-Syd [Meter]
493.500	6.176.000
498.750	6.182.500

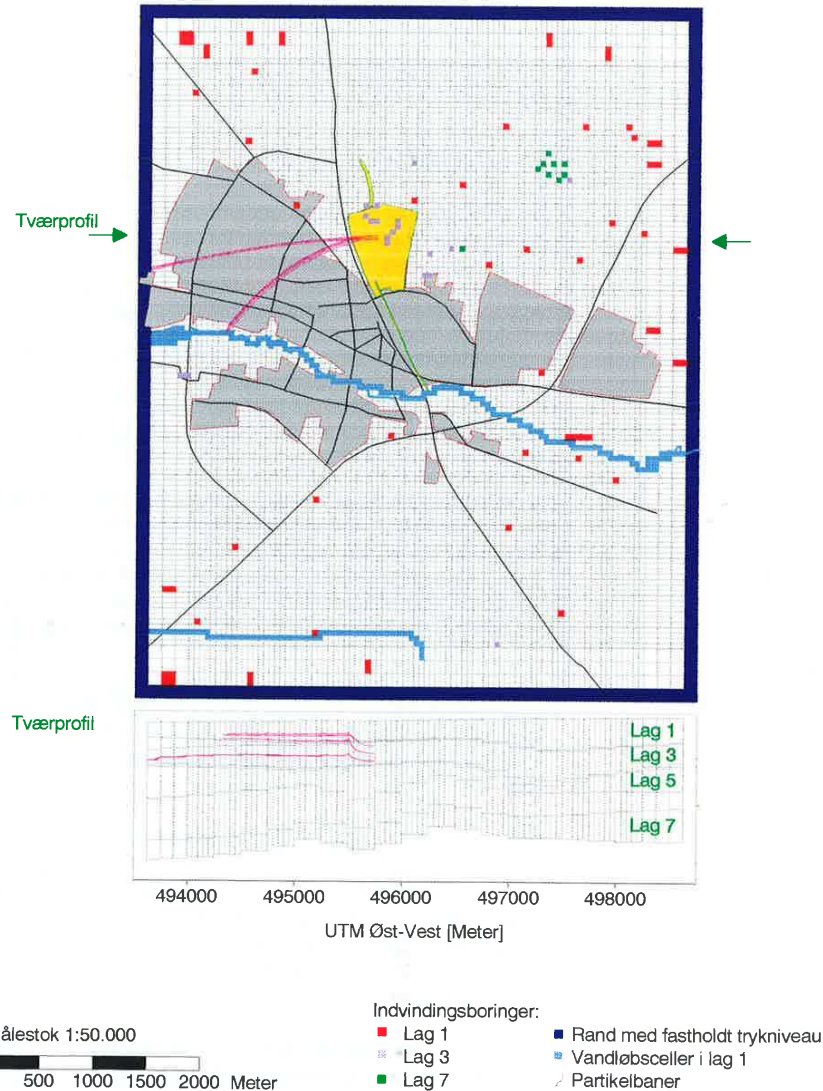
Modelteknisk er detailmodellen konstrueret ved at diskretisere regionalmodellen, således at regionalmodellen har 194 rækker og 192 søjler. En så stor model er meget tung at håndtere på en sædvanlig computer, hvorfor der er anvendt et lille program, som læser alle parametre fra den store diskretiserede regionalmodel, hvorefter parametrene svarende til detailmodellen er taget ud.

Denne metode giver anledning til, at information fra én modelcelle i regionalmodellen er spredt ud over 25 modelceller i detailmodellen. Derfor er forløbet af Grindsted Å forfinet i detailmodellen, og ligeledes er indvindingerne tilskrevet én modelcelle i detailmodellen.

Detailmodellens rand er for alle 7 modellag defineret ved et fastholdt trykniveau. Dette niveau er bestemt af de kalibrerede potentiåler i regionalmodellen. Således sker der i detailmodellen en strømning ud eller ind af modellen hvor potentiallinierne forløber langs modelranden, mens der ikke sker nogen strømning over modelranden i områder, hvor potentiallinierne forløber tilnærmelsesvis vinkelret på modelranden.

På figur 5.1 ses detailmodellen med angivelse af grid, vandløb, boringer og modelranden med fastholdt trykniveau.

Detailmodel, Simulering 4



FIGUR 5.2 Simulering 4, Partikelbaner ved en forurening i lag 3

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø AVS

5.2 Kalibrering

Det har ikke været nødvendigt at foretage en kalibrering af detailmodellen, idet denne model principielt er kalibreret i forbindelse med kalibrering af regionalmodellen. Dog har kørsler med detailmodellen givet anledning til, at kalibreringen af regionalmodellen er blevet revurderet.

For at vurdere detailmodellens følsomhed i forhold til randbetingelsen, som er defineret ved et fastholdt trykniveau, er der gjort følgende test. For ekstreme indvindingsituationer på DIGR ($0 \text{ m}^3/\text{år}$ og $1.500.000 \text{ m}^3/\text{år}$) er der foretaget kørsler med både den diskretiserede regionalmodel og detailmodellen. De modellerede potentialer er efterfølgende sammenlignet, og det er fundet, at den største forskel mellem de to modeltyper maksimalt udgør nogle få centimeter. På denne baggrund er det fundet rimeligt at anvende detailmodellen til simuleringerne, som beskrives i det følgende.

5.3 Simuleringer

Med detailmodellen er der foretaget en række simuleringer som beskrevet i tabel 5.1.

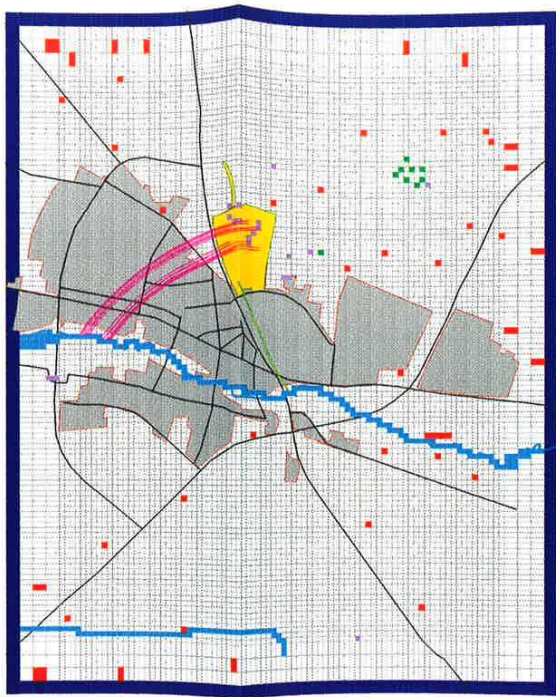
5.3.1 Simulering 4: Detailmodel for 1994/1995

Simulering 4 er identisk med den kalibrerede regionalmodel. Blot er vandløbene ændret fra at være beskrevet ved celler på 250 meters bredde til modelceller på 50 meters bredde. Ligeledes er hver indvindingscelle nu relateret til en celle med størrelsen 50 x 50 meter.

Simulering nummer	Beskrivelse
4	Svarer til den kalibrerede regionalmodel. Vandløb og indvindinger er ændret, så de svarer til det mere detaljerede grid.
5	DIGR's indvinding er flyttet fra lag 3 til lag 1.
6	DIGR's indvinding er ændret fra 798.000 m^3 i 1994 til den tilladte mængde på $1.500.000 \text{ m}^3$.
7	DIGR's indvinding er sat til 0 m^3 .
8	DIGR's indvinding er styret i forhold til et ønske om hydraulisk kontrol af forurening
9	Indvindingen ved Grinsted Vandværks kildeplads 3 er sammen med indvindingen fra kildeplads 2 lag 7 (i alt $2.100.000 \text{ m}^3/\text{år}$) flyttet til en tænkt indvindingsboring i lag 3 på kildeplads 2.

TABEL 5.1 Simuleringer ved anvendelse af detailmodellen.

Detailmodel, Simulering 4



Detailmodel for 1994/95

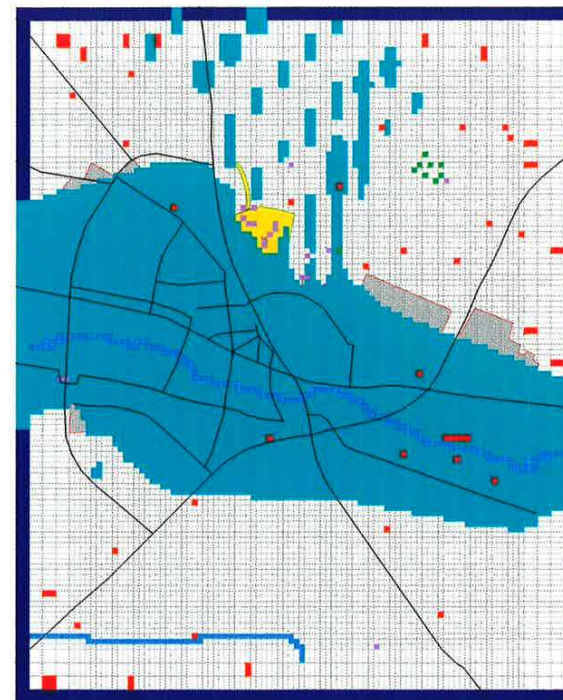
Målestok 1:50.000
0 500 1000 1500 2000 Meter

Indvindingsboringer:
 ■ Lag 1
 ■ Lag 3
 ■ Lag 7
 ■ Rand med fastholdt trykniveau
 ■ Vandløbsceller i lag 1
 ■ Partikelbaner
 (partikler placeret i lag 1)

FIGUR 5.3 Simulering 4, Partikelbaner i lag 1 fra fabriksgrunden mod Grindsted Å

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Detailmodel, Simulering 4



Detailmodel for 1994/95

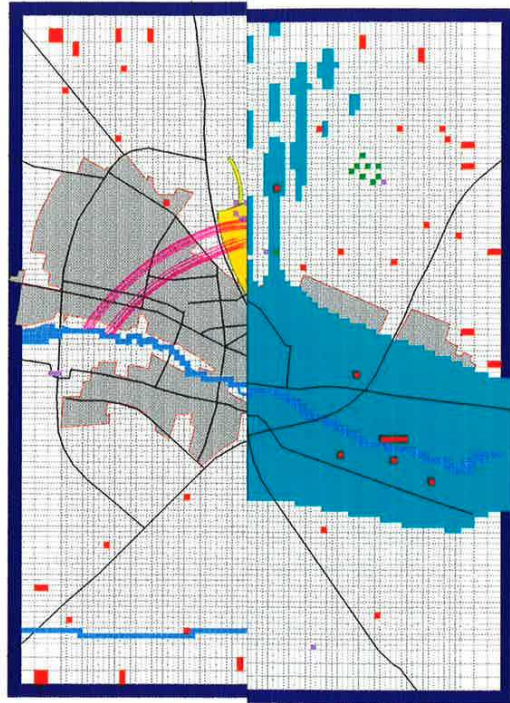
Målestok 1:50.000
0 500 1000 1500 2000 Meter

Indvindingsboringer:
 ■ Lag 1
 ■ Lag 3
 ■ Lag 7
 ■ Rand med fastholdt trykniveau
 ■ Vandløbsceller i lag 1
 ■ Opadrettet trykgradient

FIGUR 5.4 Simulering 4, Gradientforhold mellem lag 1 og lag 3

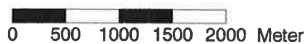
Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Detailmodel Simulering 4



Detailmodel for 1995

Målestok 1:50.000



ingsboringer:

- g 1 ■ Rand med fastholdt trykniveau
- g 3 ■ Vandløbsceller i lag 1
- g 7 ■ Opadrettet trykgradient

10/2002: M&L: 2001: 1: modelgrunddata af

FIGUR 5.3 Simulering 4, Partikelbaner i lag 1 fra fabri

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Denne simulering 4 af de faktiske hydrologiske forhold vil i de følgende simuleringer blive anvendt som reference.

Spredning af forurening i lag 1 fra DIGR's fabriksgrund

På figur 5.3 ses vandpartiklernes baner, når de er placeret i lag 1 i en række celler på DIGR's fabriksgrund. Partikelbanerne danner en vifteform, som bøjer af mod Grindsted Å.

For at vurdere den vandmængde som via fabriksgrunden gennem lag 1 løber til Grindsted Å er der gjort følgende overvejelser og beregninger:

- Den vertikale vandudveksling fra de dybereliggende magasiner til lag 1 er beregnet til $2,81 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ i området svarende til partikelbaneviften beskrevet ovenfor.
- I samme område er nettonedbøren beregnet til $2,79 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.
- I en række celler dækkende partikelbaneviften langs med vandløbet er vandstrømningen i lag 1 fra nord mod syd beregnet til $3,44 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$.

Ved en simpel vandbalancebetragtning findes netto vandstrømningen gennem lag 1 fra DIGR's fabriksgrund til vandløbet til $2,88 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ svarende til 29 l/sek.

Ved at beregne et vandbudget for vandløbsceller langs den tilsvarende strækning findes en forøgelse af vandføringen på 65 l/s. Dette svarer til, at Grindsted Å på denne strækning får tilført omkring 30 l/s fra hver side af vandløbet.

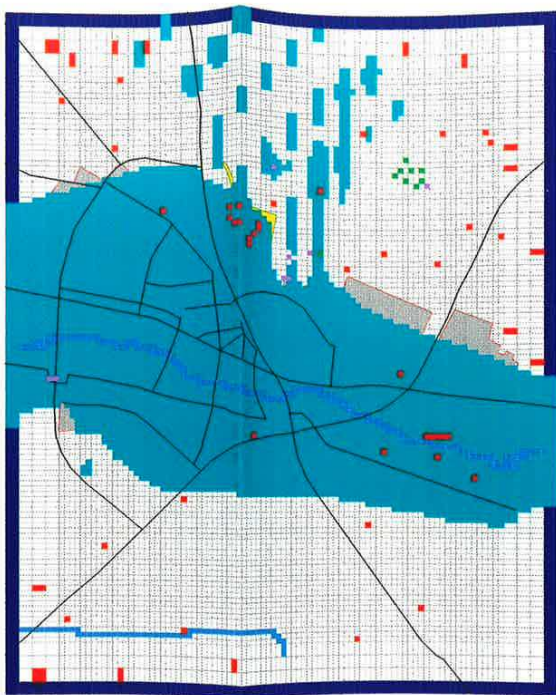
Sammenlignes disse vandmængder med beregningerne i /23/ er der ikke stor forskel på de beregnede vandmængder, men i forhold til beregningerne foretaget i /23/ tilføres de 29 l/s på en åstrækning på knap 1 km., mens man i reference /23/ har baseret udregningerne på en 2 km lang åstrækning.

Vurderes vandføringen i Grindsted Å på grundlag af målte medianminimumsvandføringer i 1995 for målestationerne hu310353 og hu310486, findes et niveau på ca. 1400 l/s. Et bidrag til Grindsted Å på 29 l/s svarer således til ca. 2 % af Grindsted Å's medianminimumsvandføring.

Spredning af forurening fra lag 3 under DIGR's fabriksgrund

På figur 5.2 ses en vandpartikel placeret i lag 3 centralt på DIGR's fabriksgrund. Som det ses af modeltværsnittet nederst på figuren vil partiklerne placeret i den øvre del af lag 3 ret hurtigt strømme op gennem lag 2 til lag 1, mens de dybest placerede partikler vil strømme væk i lag 3. De partikler, som når op i lag 1, vil strømme af til Grindsted Å som beskrevet ovenfor, mens partiklerne i lag 3 vil strømme i en mere vestlig retning.

Detailmodel, Simulering 5



DIGR's indvinding flyttet fra lag 3 til lag 1

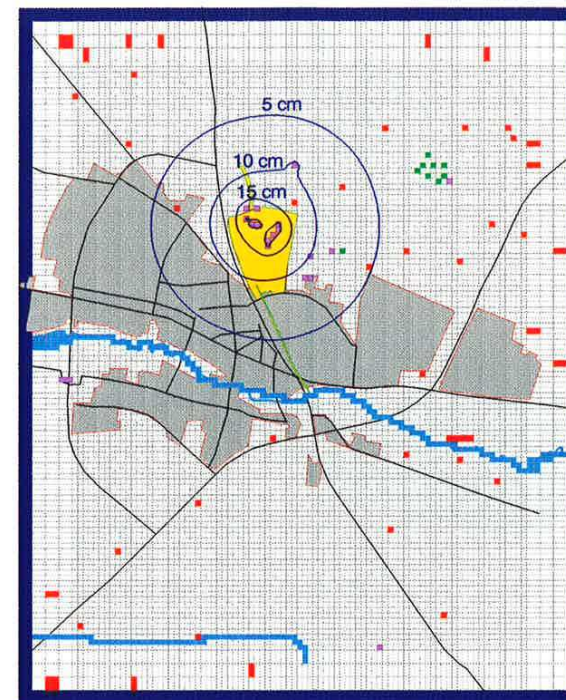
Målestok 1:50.000
0 500 1000 1500 2000 Meter

Indvindingsboringer:
 ■ Lag 1
 ■ Lag 3
 ■ Lag 7
 ■ Rand med fastholdt trykniveau
 ■ Vandløbsceller i lag 1
 ■ Opadrettet trykgradient

FIGUR 5.5 Simulering 5, Gradientforhold mellem lag 1 og lag 3

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Detailmodel, Simulering 6



DIGR's indvinding ændret fra den faktiske til den tilladte mængde

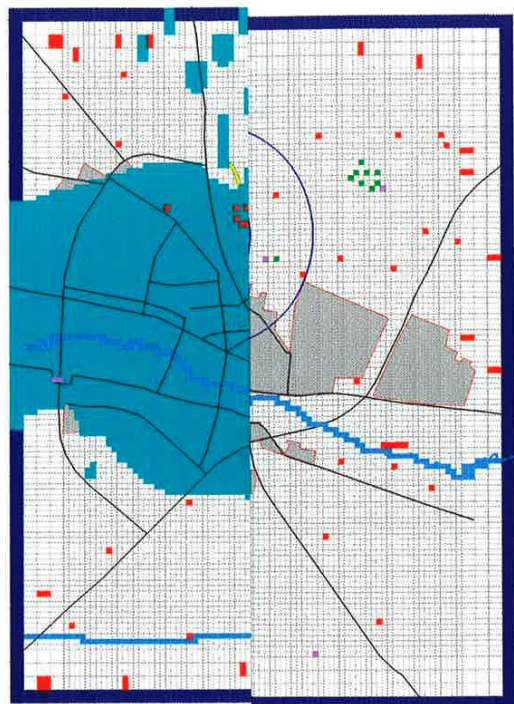
Målestok 1:50.000
0 500 1000 1500 2000 Meter

Indvindingsboringer:
 ■ Lag 1
 ■ Lag 3
 ■ Lag 7
 ■ Rand med fastholdt trykniveau
 ■ Vandløbsceller i lag 1

FIGUR 5.6 Simulering 6, Yderligere sænkning i lag 3 som følge af forøget oppumpning

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Detailmodulering 6



DIGR's indvinding ændret fra lag 3 til lag 1 i den tilladte mængde

Målestok 1:50.000

0 500 1000 1500 2000 Meter

Indvindingsboringer:

g 1
g 3
g 7

■ Rand med fastholdt trykniveau
■ Vandløbsceller i lag 1

082027 2010 1/2011 1/2011 1/2011 1/2011

FIGUR 5.5 Simulering 5, Gradientforhold mellem lag 3 og lag 1 i forbindelse med foretaget oppumpning

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Det betyder, at forureningsspredningen fra DIGR's fabriksgrund formentlig kan have flere retninger som følge af, at der i fabriksområdet tidligere har foregået en større indvinding fra lag 3, end tilfældet er i dag. Denne indvinding har givet anledning til en nedadrettet trykgradient fra lag 1 til lag 3, således at forureningen er nået ned i lag 3.

5.3.2 Simulering 5: DIGR's indvinding flyttet fra lag 3 til lag 1

Simulering 5, hvor DIGR's indvinding flyttes fra lag 3 til lag 1, er udført for at vurdere de ændrede trykgradientforhold i relation til forureningsspredning fra DIGR.

Formålet med denne simulering er at beskrive en situation, hvor der hersker en entydig strømning fra lag 3 mod lag 1. Da forureningen allerede befinder sig i lag 3 under DIGR's arealer og nedstrøms for disse, vil man ikke kunne fjerne forureningen ved denne pumpestrategi, men man vil kunne hindre yderligere forurening af de dybereliggende grundvandsmagasiner.

Ved simulering 4 blev gradientforholdet mellem lag 1 og 3 i området under fabriksgrunden vurderet. På figur 5.4 ses det, at grænsen mellem områder med nedadrettet og opadrettet strømning fra lag 3 til 1 ligger i den sydvestlige del af fabriksgrunden. Således er der tale om en meget beskedent nedadrettet strømning på store dele af fabriksgrunden beskrevet ved en trykgradient på 0 til 3 cm. For simulering 5 ses det, at der under hele fabriksgrunden er opadrettet strømning, jf. figur 5.5. Trykgradienten er i den centrale del af fabriksgrunden beregnet til mellem 1 og 5 cm.

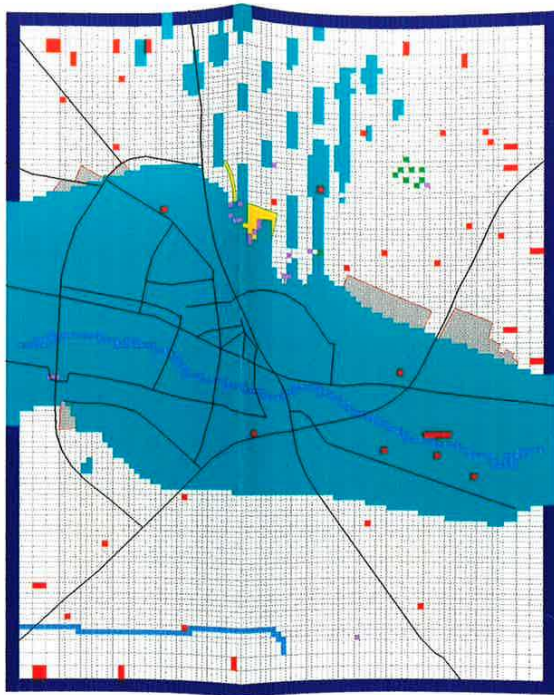
Således har simulering 5 vist, at en omlægning af DIGR's indvinding fra lag 3 til lag 1 vil kunne hindre, at forureningen i fremtiden spredes til lag 3.

5.3.3 Simulering 6: DIGR's indvinding ændret fra den faktiske til den tilladte mængde

Formålet med denne simulering er at vurdere konsekvensen af, at DIGR øger indvindingsmængden til det tilladte niveau.

I 1994 har DIGR indvundet 798.000 m³ vand. Ved simulering 6 er indvindingen for de 11 boringer, som var aktive i 1994, ændret, således at den samlede indvindingsmængde i stedet udgør 1.500.000 m³ vand.

Detailmodel, Simulering 7



DIGR's indvinding er sat til nul

Målestok 1:50.000



Indvindingsboringer:

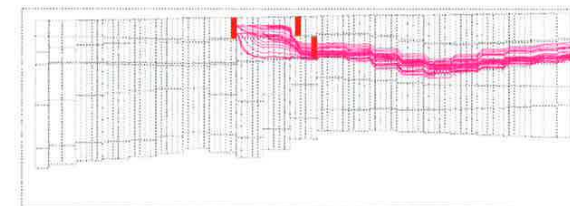
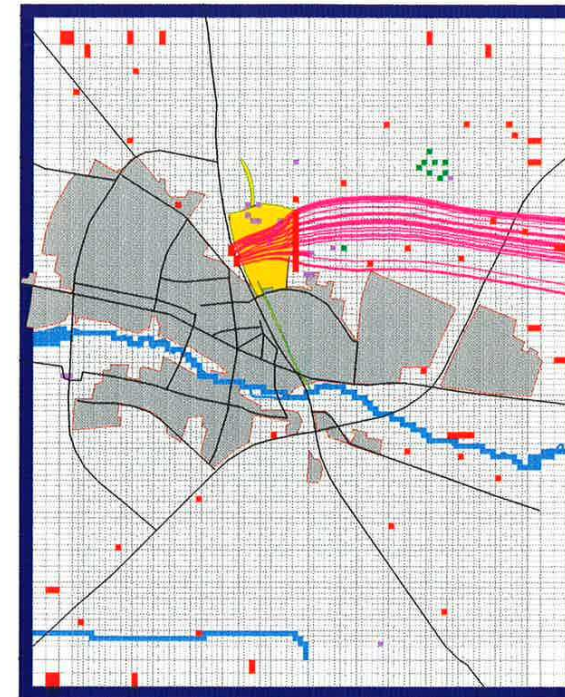
- Lag 1
- Lag 3
- Lag 7
- Rand med fastholdt trykniveau
- Vandløbsceller i lag 1
- Opadrettet trykgradient

FIGUR 5.7 Simulering 7, Gradientforhold mellem lag 1 og lag 3

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

00207-001-0001-11-00000007-00000000

Detailmodel, Simulering 8



UTM Øst-Vest [Meter]

Målestok 1:50.000



Indvindingsboringer:

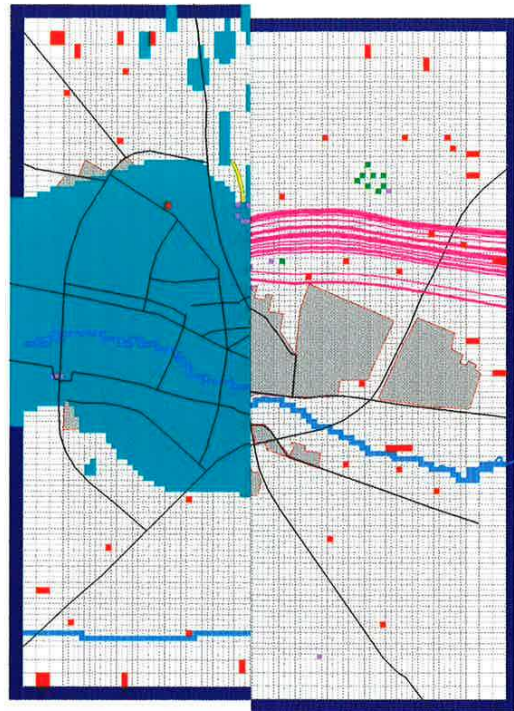
- Lag 1
- Lag 3
- Lag 7
- Rand med fastholdt trykniveau
- Vandløbsceller i lag 1
- Partikelbaner

FIGUR 5.8 Simulering 8, Opland for hydraulisk kontrol af forurening

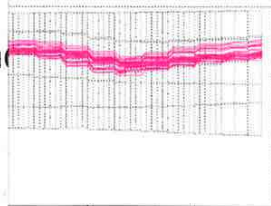
Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

00207-001-0001-11-00000007-00000000

Detailmodel Simulering 8



DIGR's indvinding



497000 498000

st [Meter]

ingsboringer:

- g 1 ■ Rand med fastholdt trykniveau
- g 3 ■ Vandløbsceller i lag 1
- g 7 / Partikelbaner

Målestok 1:50.000

0 500 1000 1500 2000 Meter

DIGR - JHR - 02011 - Hovedkvarteret

FIGUR 5.7 Simulering 7, Gradientforhold mellem lag 1 og 3 i forbindelse med forurening

Kemp & Lauritzen
Vand & Miljø A/S

Som det ses af figur 5.6 fører denne forøgelse af indvindingen til en yderligere sænkning på 15 til 25 cm under den nordlige del af fabriksgrunden, hvor indvindingsboringerne er placeret. I en radius på 1 km. sænkes trykniveauet med 5 cm.

I lag 1 ses en tilsvarende sænkning som for lag 3.

Trykgradienten mellem lag 1 og 3 ændres ikke i forhold til simulering 4, hvor der indvindes 798.000 m³ vand fra lag 3.

5.3.4 Simulering 7: DIGR's indvinding er sat til nul

Ved at sætte indvindingen fra DIGR's borer lig nul vurderes potentialeforhold med henblik på at belyse ændringer i trykgradienten mellem lag 1 og 3 i området ved fabriksgrunden, og desuden vurderes det, om Grindsted Vandværks kildeplads 2 vil blive berørt af forureningen på fabriksgrunden.

På figur 5.7 ses fordelingen af områder med henholdsvis opadrettet og nedadrettet trykgradient mellem lag 1 og 3. Sammenlignes dette kort med kortet på figur 5.4, som viser fordelingen ved simulering 4 og figur 5.5, som viser fordelingen ved simulering 5, kan man drage følgende konklusion. Ved at stoppe indvindingen fra lag 3 vil der i et større område være opadrettet gradient. Området bliver dog ikke af samme størrelse som ved simulering 5, hvor indvindingen fra lag 3 er flyttet til lag 1.

Ved en vurdering af partikelbanerne for partikler placeret mellem fabriksgrunden og Grindsted Vandværks kildeplads 2 er det fundet, at forureningen på fabriksgrunden ikke vil spredes til kildepladsen under forhold svarende til simulering 7.

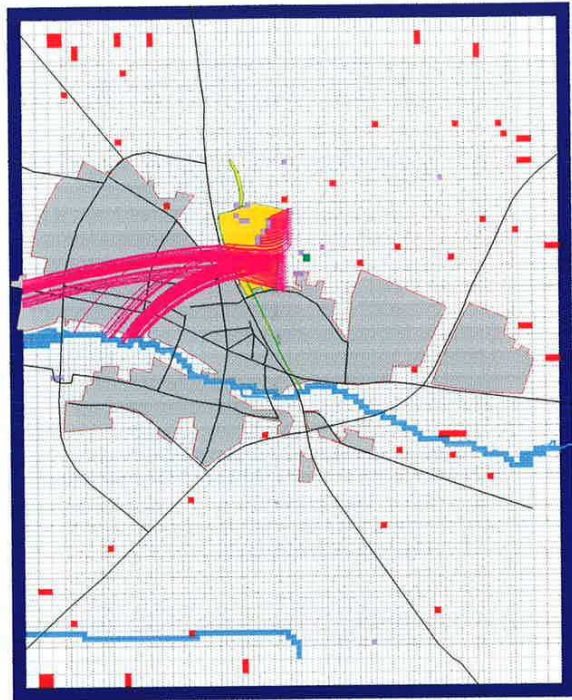
5.3.5 Simulering 8: DIGR's indvinding styret i forhold til et ønske om hydrauliske kontrol af forurening

Formålet med denne simulering er at vurdere mulighederne for at holde forureningen fra DIGR i hydraulisk kontrol.

Simuleringen har taget udgangspunkt i den kalibrerede detailmodel. I forhold til kalibreringen er indvindingerne ændret således:

- DIGR's indvinding er flyttet fra fabriksgrunden til umiddelbart øst for fabriksgrunden. Denne ændring i indvindingen er valgt med henblik på at mindske tilstrømningen af rent grundvand til det forurenede område.

Detailmodel, Simulering 9



Grinsted Vandværks indvinding flyttes til lag 3 på kildeplads 2

Målestok 1:50.000
 0 500 1000 1500 2000 Meter

Indvindingsboringer:
 ■ Lag 1 ■ Rand med fastholdt trykniveau
 ■ Lag 3 ■ Vandløbsceller i lag 1
 ■ Lag 3 imaginær indvindingscelle / Partikelbaner

FIGUR 5.9 Simulering 9, Partikler placeret i lag 1 øst for fabriksgrunden

Kemp & Lauritzen
 Vand & Miljø A/S

- DIGR's indvinding er flyttet fra lag 3 til lag 1. Denne ændring i indvindingen er valgt med henblik på særligt at mindske tilstrømningen af rent grundvand til området umiddelbart under fabriksgrunden, der må anses for det mest forurenede område.
- Det er forudsat, at DIGR indvinder hele den tilladte mængde (1.500.000 m³/år). Dette er valgt med henblik på at reducere tilstrømningen mest muligt.
- Der oppumpes 200.000 m³/år fra lag 1 umiddelbart vest (nedstrøms) for fabriksgrunden. Denne oppumpning er valgt med henblik på at holde et område under fabriksgrunden i hydraulisk kontrol.

Til illustration af resultatet af simuleringen er udarbejdet figur 5.8. På figuren er, i plan og snit, vist DIGR's 11 indvindingsboringer umiddelbart øst (opstrøms) for fabriksgrunden, 4 indvindingsboringer til hydraulisk kontrol af forurening samt enkelte andre indvindingsboringer i området. Endvidere er vist strømningslinier i oplandet for den hydrauliske kontrol af forurening.

Det fremgår af strømningsliniernes forløb, at den hydrauliske kontrol af forurening omfatter de dele af lag 1 og 3, der ligger under de centrale dele af fabriksgrunden. DIGR's opstrøms indvinding har den effekt på den hydrauliske kontrol af forurening, at oplandet for den hydrauliske kontrol spredes, både horisontalt og vertikalt.

Simuleringen skal opfattes som et eksempel på en mulig afværgeforanstaltning overfor en del af forureningen. Såfremt det bliver aktuelt, at der skal udføres afværgeforanstaltning overfor grundvandsforureningen, kan den hydrauliske kontrol optimeres i forhold til det område, der ønskes bragt i hydraulisk kontrol.

5.3.6 Simulering 9: Grinsted Vandværks indvinding flyttes til lag 3 på kildeplads 2

Indvindingen ved Grinsted Vandværks kildeplads 3 er sammen med indvindingen fra kildeplads 2 lag 7 (i alt 2.100.000 m³/år) flyttet til en tænkt indvindingsboring i lag 3 på kildeplads 2.

Ved en vurdering af vandpartiklernes baner i området mellem fabriksgrunden og Grinsted Vandværks kildeplads 2, hvor den tænkte indvindingsboring er placeret, ses det (se figur 5.9), at en forurening fra fabriksgrunden ikke vil strømme til kildeplads 2.

6. SAMMENFATNING AF SIMULERINGER

Der er gennemført 3 simuleringer med regionalmodellen og 6 simuleringer med detailmodellen. Disse kan sammenfattes således:

- *Simulering 1-3: Konsekvenser af indvinding til markvanding*

Stationære simuleringer og ukalibrerede ikke-stationære simuleringer tyder på, at åløbene inden for modelområdet er påvirket af indvindingen til markvanding. Simmelbæk påvirkes særligt kraftigt og kan eventuelt tørlægges helt som følge af indvinding til markvanding.

I Grindsted Å og Urup Nordre Bæk reduceres vandføringen ifølge simuleringerne med op til ca. 40 %, som følge af indvinding til markvanding. I Morsbøl Bæk reduceres vandføringen med op til 50 %.

- *Simulering 4: Nuværende situation*

I det øverste grundvandsmagasin (lag 1) strømmer forureningen fra fabriksgrunden i sydvestlig retning mod åen. Vandbalanceberegninger viser, at nettotilstrømningen fra fabriksgrunden til åen er ca. 30 l/s. I åen opblandes denne vandmængde i vandløbets samlede vandføring, der er målt til ca. 1400 l/s, hvilket giver en fortyndingsfaktor på ca. 45.

I det næstøverste grundvandsmagasin (lag 3) strømmer forureningen delvis op i det øverste grundvandsmagasin (lag 1) og delvis i en mere vestlig retning parallelt med åen.

- *Simulering 5 - 7: Ændringer i DIGR's indvinding*

Omlægning af DIGR's nuværende indvinding fra det næstøverste grundvandsmagasin (lag 3) til det øverste grundvandsmagasin vil ændre på gradientforholdene, således at fremtidig forurening ikke spredes til lag 3.

En fuldstændig udnyttelse af DIGR's indvindingstilladelse, hvilket næsten svarer til en fordobling af indvindingen fra lag 3, ændrer ifølge simuleringerne ikke på gradienten mellem lag 1 og lag 3.

Et ophør af indvindingen til DIGR vil ifølge simuleringerne betyde, at der i forhold til den nuværende situation (simulering) 4, vil være et større område med opadrettet gradient mellem lag 3 og 1. Området bliver dog ikke så stort, som opnået ved at flytte indvindingen til lag 1 (simulering 5).

Endvidere viser simuleringerne, at vandværkets indvinding ikke vil være truet af forurening selv om DIGR ophører med indvinding.

- *Simulering 8: Hydraulisk kontrol af forurening*

Denne simulering viser, at forureningen eller eventuelt dele heraf kan bringes i hydraulisk kontrol ved kombination af opstrøms oppumpning af rent grundvand og nedstrøms oppumpning af forurenede grundvand. I det simulerede eksempel holdes forureningen under den centrale del af fabriksgrunden i kontrol. Oppumpningen af forurenede grundvand udgør 200.000 m³/år.

- *Simulering 9: Ændring i Grindsted Vandværks indvinding*

I forhold til forureningen under og nedstrøms for fabriksgrunden er det vurderet, at en omlægning af Grindsted Vandværks indvinding til udelukkende at ske fra næstøverste grundvandsmagasin (lag 3) på kildeplads 2, vil være mest kritisk.

Simuleringen viser, at Grindsted Vandværk selv i denne meget kritiske situation ikke vil trues af forurening fra fabriksgrunden.

Det gennemførte arbejde med grundvandsmodellerne i Grindstedområdet har givet anledning til en række tanker om anvendelse og udvikling af modellerne. Disse er opstillet, som anbefalinger til det videre arbejde, i næste afsnit.

7. ANBEFALINGER TIL DET VIDERE ARBEJDE

Supplerende modelkørsler

Der er i det foregående rapporteret 3 simuleringer med regionalmodel og 6 simuleringer med detailmodellen. Regional- og detailmodellen vil fremover kunne anvendes til at simulere konsekvenser af indvindingsændringer inden for modelområdet. Herunder vil eksempelvis mulighederne for hydraulisk kontrol af forurening i Grindsted kunne belyses med detailmodellen for Grindsted.

Der vil endvidere kunne opstilles andre detailmodeller inden for det regionale modelområde. Disse vil kunne anvendes til beregninger af indvindingsoplande, til kontrol af forurening, til belysning af lokale markvandingskonsekvenser mv.

Ikke-stationær kalibrering

De 3 simuleringer med regionalmodellen har alle haft til formål at belyse markvandings indflydelse på vandføringen i åerne i modelområdet. Simuleringerne er gennemført med den stationære regionalmodel (simulering 1 og 2) og med en ukalibreret ikke-stationær model (simulering 3a og 3b). Resultaterne af disse simuleringer har givet en grov beskrivelse af den effekt, som indvinding til markvanding har på vandføringen i åerne.

Kørsler med en kalibreret ikke-stationær model vil give en bedre beskrivelse af markvandingen. Værdien af en ikke-stationær model vil dog afhænge meget af, om der er data, der kan anvendes til kalibrering af modellen. Til kalibrering er der behov for tidsserier med vandføringsdata (medianminimum) og pejledata. Inden for modelområdet haves der tidsserie med vandføringsdata fra målestationen Eg, der ligger ved Grindsted Å, 7 km nedstrøms for Grindsted. Med hensyn til pejleserier er der ved de større kildefelter ved Grindsted og andre byer mulighed for indsamling af enkelte korte pejleserier.

Modellen kan kalibreres ikke-stationært på grundlag af disse pejleserier, men på grund af det sparsomme datagrundlag vurderes værdien af en sådan kalibrering dog som lille. I stedet foreslås det, at der etableres nye målesteder til opsamling af tidsserier med vandføringsdata og pejledata. Den nuværende model kan anvendes til at udpege optimale steder for placering af disse målesteder. Efter opsamling af data fra ét hydrologisk år kan modellen kalibreres ikke-stationært. Kalibreringen kan herefter forbedres i de følgende år, efterhånden som data fra målestederne indsamles. Der opnås hermed et stærkt forbedret hjælpeværktøj til brug ved administrationen af markvandingstilladelser i området.

Forureningsudbredelse i lag 3

I simulering 4 er forureningsudbredelse illustreret ved anvendelse af partikelstrømningsbaner (programmet PMPATH).

dataindsamling

Dette svarer til konservativ (worst case) stoftransport. I overensstemmelse med forventningerne fremgår det, at strømningsbanerne fra fabriksgrunden, i lag 1, er rettet i sydvestlig retning mod Grindsted Å. I lag 3 er strømningsbanerne vestlige, svarende til, at vandpartiklerne i lag 3 løber langs med åen og først længere nedstrøms for Grindsted strømmer til åen.

Resultaterne tyder på, at forurening i lag 3 kan have en mere vestlig udbredelsesretning end hidtil antaget. Dette bekræftes delvist af boring GVII, hvori der, for nogle stoffers vedkommende, er fundet en kraftigere forureningspåvirkning end forventet med en sydvestlig strømningsretning. Der findes dog ikke boringer med en optimal placering til verificering af denne vestlige udbredelsesretning i lag 3. Det anbefales, at der udføres en boring til ca. 70 meters dybde i området 1 - 2 km vest for fabriksgrunden til belysning af forureningsudbredelsen i vestlig retning.

Forureningspåvirkning af Grindsted Å

Som nævnt ovenfor er forureningsudbredelse udelukkende simuleret ved partikelstrømningsbaner, svarende til konservativ forureningsspredning. Der er på baggrund heraf vurderet en påvirkning af Grindsted Å i form af et fortyndingsforhold.

Vurderingerne tager ikke hensyn til adsorption, dispersion, diffusion og nedbrydning af de forurenende stoffer i grundvandsmagasinet. Disse forhold kan inddrages i vurderingen ved at udbygge modellen til en stoftransportmodel, eksempelvis af typen MT3D, der kan køres i forlængelse af MODFLOW.

I januar 1997 er der fundet indhold af forureningskomponenter i Grindsted Å. De fundne koncentrationer kan sammen med målte grundvandskoncentrationer anvendes til en foreløbig kalibrering af en stoftransportmodel. Stoftransportmodellen kan herefter anvendes til at vurdere eventuelle afværgeforanstaltningers effekt på vandkvaliteten i Grindsted Å.

I simulering 8 er én mulighed for hydraulisk kontrol afprøvet. Der er anvendt opstrøms oppumpning i kombination med nedstrøms oppumpning af forurenede grundvand. Det kan anbefales at afprøve andre afværagemuligheder. Som eksempel herpå kan nævnes en opstrøms infiltrationsstrategi kombineret med nedstrøms afværgepumpning.

Opdatering af model

Regionalmodellen skal fremover kunne anvendes som selvstændig model til belysning af regionale forhold og som rammemodel for detailmodeller i området. Der skal derfor etableres en vedligeholdelsesprocedure, der sikrer, at modellen opdateres med jævne mellemrum.

Opdateringen af en stationær model vil typisk omfatte:

- justering af geologi på grundlag af nye borer
- justering af hydrauliske ledningsevner, på grundlag af nye prøvepumpninger
- justering af indvindinger
- kalibrering af regional- og detailmodeller på det nye data-grundlag.

De data, der indgår i modellen, vil med fordel kunne håndteres i et GIS-system.

8. REFERENCER

- /1/ Ribe Amt, "Oplæg til grundvandsmodel for Grindsted-området", K&L, Oktober 1995
- /2/ Tage Sørensen A/S, "Forureningsundersøgelse i Grindsted.", 1984.
- /3/ Frank Klintø, "Speciale, Forureningsspredning i mættet/umættet zone.", 1985.
- /4/ Tage Sørensen A/S, "Prøvepumpning af dybe borer på kildeplads 2", Grindsted Vandværk, 1985.
- /5/ Tage Sørensen A/S, "Forureningsundersøgelse i Grindsted, Stoftransportmodel", 1985.
- /6/ Vandkvalitetsinstituttet, "Undersøgelser af kemikaliedepoter i Grindsted", 1986.
- /7/ Ribe Amt, "Sammenfatning af foreløbige undersøgelser af kemikalieaffaldsdepot i Grindsted", 1987.
- /8/ Ribe Amt, "Opmåling af banegravsdepotet og grundvandsstand omkring depotet", 1988.
- /9/ Tage Sørensen A/S, "Kortlægning af trykforhold i det dybe grundvandsmagasin", 1988.
- /10/ Tage Sørensen A/S "Forureningsundersøgelse af Grindsted Kommunes Gl. losseplads.", 1988.
- /11/ Tage Sørensen A/S, "Opmåling af afløbsgrøften.", 1988.
- /12/ R&H A/S, "Grindsted Gl. losseplads, Skitseprojektering af afløbsforslag.", 1989.
- /13/ Vandkvalitetsinstituttet, "Prøvetagningsforsøg i Grindsted 1989, Boring GP11 og GPV.", 1989.
- /14/ Vandkvalitetsinstituttet, "Kortlægning af forureningsudbredelsen i det frie magasin.", 1989.
- /15/ Palle E. Madsen. "Speciale, Hydrologisk undersøgelse ved Grindsted.", 1990.
- /16/ Ribe Amt, "Vandmiljø overvågning.", 1990.
- /17/ R&H A/S, "Grindsted banegravsdepot, Supplerende undersøgelser.", 1990.

- /18/ Krüger A/S, "Fabriksområdet i Grindsted, Poreluftundersøgelse.", 1990.
- /19/ R&H A/S, "Etablering af boring GX i Grindsted.", 1991.
- /20/ Ribe Amt, "Vandmiljø overvågning.", 1991.
- /21/ Krüger A/S, "Grundvandsforurening ved Grindsted Products fabriksanlæg i Grindsted.", 1992.
- /22/ Krüger A/S, "Grundvandsforurening ved Grindsted Products fabriksanlæg i Grindsted, jord og øvre grundvand.", 1992.
- /23/ Krüger A/S, "Grundvandsforurening ved Grindsted Products fabriksanlæg i Grindsted, Samlerapport.", 1992.
- /24/ Krüger A/S, "Olieforurening ved boring 304 på Grindsted Products fabriksgrund i Grindsted.", 1992.
- /25/ Krüger A/S, "Grundvandsovervågning ved Grindsted Products fabriksanlæg i Grindsted.", 1993.
- /26/ Peter Blohm, "Projektarbejde: Stationær grundvandsmodel.", 1994.
- /27/ Krüger A/S, "Grundvandsovervågning ved Grindsted Products fabriksanlæg i Grindsted.", 1994.
- /28/ Ribe Amt, "Grundvandsindvinding - påvirkning af afstrømning i opland til Simmelbæk.", 1994.
- /29/ Krüger A/S, "Grundvandsovervågning ved Grindsted Products fabriksanlæg i Grindsted.", 1995.
- /30/ Per Smeds kort, "Geografforbundet", 1978
- /31/ Kemp & Lauritzen Vand & Miljø A/S, "TEM-sonderinger omkring Grindsted", Juni 1996.
- /32/ Geoteknisk Institut, "Grundvandssænkning ved pumpestation mv., Vurdering af vandmængder samt afledningsforhold", 1993.
- /33/ Rud Friberg og Steen Thomsen, "Kortlægning af Ribe Formationen i Danmark", 1995.
- /34/ Vejle Amt, "Grundvandspotentiale og transmissivitet", 1980, Danmarks Geologiske Undersøgelse.

/35/ Tage Sørensen A/S, "Prøvepumpning af dybe borer på kildeplads 2, Grindsted Vandværk", maj 1985.