

# Kvalitetsdokumentation for Esbjerg modellen

## 1. Generelle oplysninger

*I nærværende kvalitetsdokumentation gives en kortfattet beskrivelse af den regionale 3-D grundvandsmodel for Sneum-Holsted-Bramming å.*

### 1.1 Formål

Forskning: Indvindingsplanlægning: X

Afværgeprojekt: Anlægsprojekt:

Andet:

*Formålet med grundvandsmodellen er at beskrive de hydrogeologiske forhold og regionale strømningsforhold i grundvandet for oplandet til Sneum å - Holsted/Bramming å i den sydlige del af Ribe Amt med henblik på at vurdere grundvandsressourcens størrelse og regionale fordeling samt de hydrologiske følgevirkninger på grundvandstand og vandløbs-afstrømning, som følge af forøget vandindvinding i området.*

### 1.2 Omfang af modelprojektet

Kategori:

Stort	X	Middel	Lille
-------	---	--------	-------

Mandmåneder til modelopsætning og kalibrering:

< 0,5	0,5 - 1	1 - 2	> 2	X
-------	---------	-------	-----	---

### 1.3 Grænseflader til andre projekter

*Modelarbejdet er udført i forbindelse med fase IV i en undersøgelsesrække vedr. lokalisering af fremtidige kildepladser for Esbjerg Vandforsyning. De enkelte faser omfattede:*

*Fase I: Indledende kortlægning og udvælgelse af særlige interesseområder  
Rapporteret i DGU Kunderapport nr. 74, 1993*

*Fase II: Undersøgelse af udvalgte områder  
Rapporteret i DGU Kunderapport nr. 61, 1994*

*Fase III: Videregående detailundersøgelser  
Rapporteret i DGU Kunderapport nr. 25, 1995*

*Fase IV: Design af kildepladser  
Rapporteret i DGU Kunderapport nr. 51, 1995*

*Modelarbejdet har desuden grænseflader til det igangværende tværamtslige projekt med kortlægning af Ribe-formationen indledt i 1994 med deltagelse af Ribe, Ringkøbing, Vejle, Viborg, Århus og Sønderjyllands amter.*

## 2. Organisatoriske oplysninger

### 2.1 Projektets parter

Rekvirent:

*Esbjerg kommune, Forsyningsvirksomhederne  
Ravnevej 10  
P. Box 2040  
6705 Esbjerg Ø  
Kontaktperson: Oluf Jørgensen, Vandforsyningen  
Tlf.: 76 14 24 30*

Overordnet myndighed:

*Ribe Amtskommune  
Teknisk Forvaltning  
Amtsgården  
Sorsigvej 35  
6760 Ribe  
Kontaktperson: Willy Høi Jensen  
Tlf.: 75 42 42 00*

Modelopsætter:

*Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, GEUS  
Thoravej 8  
2400 København NV  
Kontaktperson: William Harrar  
Projektleder: Hans Jørgen Henriksen  
Tlf.: 31 10 66 00*

### 2.2 Ansvarsfordeling mellem parterne

Rekvirentens og overordnede myndigheds ydelser:

*Diverse hydrogeologiske data nødvendig for modelopsætning og kalibrering. Input til simuleringsscenarier.*

Modelopsætterens ydelser:

*Opstilling af geologisk model og konceptuel hydrogeologisk model. Afgrænsning af modelområde. Inddatering. Modelopsætning, kalibrering og følsomhedsanalyser. Opstilling af beregningsscenarier og simuleringer. Rapportering i form af rapport over simuleringsresultater (dansk) og modelrapport (engelsk).*

## 2.3 Kvalitetssikring

Princip for gennemførelse af kvalitetssikring:

*Inddatering er kontrolleret ved udskrift af data og plots. Modelopsætning, kalibrering, vandbalance og resultater fra indvindingsscenarier er kvalitetskontrolleret af uvildig person.*

## 2.4 Fase IV opdeling

*1 : Dataindsamling, geologisk model og dataanalyse, marts-maj 1995*

*2 : Modelopstilling, maj-juni 1995*

*3 : Modelkalibrering og modelsimuleringer, juni-september 1995*

*Følsomhedsanalyser er udført i forbindelse med modelrapport, marts 1996*

## 2.5 Anvendt model

MIKE SHE 5.1:	SHE 4.2:
MODFLOW: X	MDT3D:
AQUA:	Andet: PATH3D + ModelCad386

## 2.6 Dokumenter

Titel på udarbejdede rapporter:

*Nye vandindvindingsmuligheder for Esbjerg kommune, Fase IV-Model*

*Udført for Esbjerg kommune, Forsyningsvirksomhederne. DGU Kunderapport nr. 51, 1995*

*Groundwater model for river Sneum-Bramming-Holsted å catchment area.*

*Modelsetup and calibration. Udført af GEUS for Ribe Amtskommune. 1996*

Reference på grundlæggende beskrivelse af den anvendte computer model:

*McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh. 1988: 'A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model. Techniques of Water Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 6. 586 pp.*

*Rumbaugh, J.O. : 'ModelCad386 - Computer Aided Design Software for Groundwater Modeling'. Vol. 1. March 1993. Geraghty&Millar, Inc. Modeling Group. 10700 Parkridge Boulevard, Suite 600. Reston, Virginia, 22091, USA*

*Zheng, C.: 'PATH3D - a ground-water path and travel-time simulator'*

*S.S. Papadopulos&Associates, Inc. Environmental & Water-Resource Consultants, 7944 Wisconsin Avenue, Bethesda, Maryland 20814, USA*

## 3. Modelinformationer

### 3.1 Modelforudsætninger

Hvilke dele af det hydrologiske kredsløb indgår i modellen:

*Grundvand, incl. grundvandsdannelse og afstrømning af grundvand til vandløb.*

Geologisk model:

*Geologien i modelområdet er opbygget af miocene og kvartære aflejringer. De kvartære aflejringer består overvejende af moræneler, morænesand, smeltevandsler, -silt, og -sand. Generelt om de kvartære aflejringers regionale karakter kan siges, at de især i den centrale del af Sekjær området er aflejret i en mere end 200 m dyb dal dannet ved isens og smeltevandets erosion. De lavpermeable kvartære enheder i området består af lerrige til siltede aflejringer eller linser (ML, DL, QL og DI).*

*Miocenet er opdelt i marine og limniske aflejringer: Gram, Hodde og Arnum formationerne er af marin oprindelse mens Odderup og Ribe formationerne overvejende er af limnisk oprindelse. Gram og Hodde er de yngste og består hovedsageligt af ler. Odderup Formationen består overvejende af fin- til mellemkornet glimmersand og mellem/grov kvartssand samt lag af glimmerler og brunkul. Arnum Formationen består overvejende af finkornet glimmersand, glimmersilt og glimmerler. Generelt er Arnum Formationen mere lerrig mod vest. Ribe Formationen består overvejende af fin til mellemkornet glimmersand og mellem til grovkornet kvartssand med indslag af glimmerler. Den er relativt dybtliggende > 100 m.u.t.*

Antagelser om reservoir forhold:

*Det kvartære reservoir i den dybe erosionsdal hvor mægtigheden er størst kan opdeles på et øvre reservoir (som idag i stort omfang anvendes til mark-vanding), et mellemdybt reservoir beliggende mellem kote -20 m til -60 m og et dybt reservoir under kote -80 m. Disse reservoirer er adskilt af mere lavpermeable silt- og lerlag af begrænset udstrækning hvilket betyder at der er relativ god hydraulisk kontakt mellem de kvartære reservoirer. Den øvre del af kvartæret er generelt mere lavpermeabel end nedre del.*

*I miocenet udgør Ribe Formationen et dybtliggende reservoir i kote ca. -80 til -90 m med størst mægtighed og overvejende forekommende i den østlige del af modelområdet. Det samme gør sig gældende for den overliggende relativt vandførende Odderup Formation.*

*Miocenet har generelt en højere permeabilitet mod øst.*

### **Grundvandsdannelse [source].**

Konstant infiltration:

*Der er anvendt konstant grundvandsdannelse distribueret på grundlag af jordtypeforhold og topografi.*

### **Afstrømning [sink].**

Trykniveau afhængige flow randbetingelser i vandløbspunkter:

*Ved vandløb er benyttet trykniveau afhængige flow randbetingelser, enten specificeret i form af dræn (kun 'sink') eller i form af vandløb (mulighed for både 'source' og 'sink'). Vandløb beliggende i beregningslag 3 er simuleret som source/sink, mens vandløb beliggende i beregningslag 1 og 2 er simuleret som sink.*

### **Randbetingelser**

Trykniveau afhængig flow randbetingelse:

*Mod Vadehavet i det syd-vestlige hjørne af modellen er i beregningslag 3 benyttet trykniveau-afhængig flow randbetingelse. I beregningslag 2 er langs den nordlige modelrand, hvor Holme å-dalen skærer modelranden, ligeledes benyttet trykniveau-afhængig flow randbetingelse. I beregningslag 8 (Ribe Formationen) er i en del af den sydlige modelrand benyttet trykniveau-afhængig flow randbetingelse. Ved samtlige trykniveau-afhængige rande er fluxen rettet ud af modelområdet, svarende til at den regionale grundvandsstrømning drives af grundvandsdannelsen indenfor modelområdet.*

Impermeabel:

*For modelbunden er antaget impermeabel randbetingelse. Langs øvrige modelrande, hvor modelrand følger observeret vandskel, er antaget impermeabel randbetingelse.*

### **3.2 Modelopsætning**

Geografisk afgrænsning af strømningssmodel:

*Modelområdet er afgrænset af UTM koordinaterne: UTM Øst: 475000 - 516000 og UTM Nord: 6140000 - 6165000.*

*Modelområdet afgrænses geografisk af Gredstebro - Skodborg i syd, Store Darum - Vester Nebel i vest, Gesten - Store Andst i øst og Hovborg - Vorbasse i nord. Modelområdet omfatter hele afstrømningsområdet til Sneum - Bramming - Holsted å samt øvre del af Holme å og en stor del af Kongeå.*

Geografisk afgrænsning af særligt interesseområde:

*Området som har særlig interesse i forbindelse med fremtidig indvinding til Esbjerg vandforsyning er beliggende i området nord for Holsted, mellem Glejbjerg, Lindknud og Holsted.*

Horisontal og vertikal diskretisering:

*Modellen er diskretiseret horisontalt i 500x500 m beregningsgrid, ialt 82 x 50 gridpunkter. Vertikalt er modellen diskretiseret i ialt 11 beregningslag. Bund af lag 1 svarer til kote 40 m, bund af lag 2: kote 20*

*m, bund af lag 3: kote 0 m osv. Lag 1, 2 og 3, hvor topografien er under pågældende lags bundniveau, er fastsat så den samlede beregningstykkelse af laget her er 1 m.*

**Datagrundlag**

	Antal i modelområdet
Nedbørsstationer :	16
Vandføringsmålestationer :	10
Synkronmålinger der dækker oplandet :	1976 + 1991-94

Borings antal pr. km2	DGU	Andre
Ialt <i>5142</i> :	ca. 5.1	
Dybere end 30 m <i>1233</i> :	ca. 1.2	

**Pejlinger af grundvandsspejl**

	Varighed	Antal/omfang
Synkronpejlinger i oplandet :	<i>marts 95</i>	<i>65</i>
	<i>august 95</i>	<i>48</i>

Tidsserier af pejlinger :	< 1 måned	<i>5 pejle- skabe 2 DGU boringer</i>
	1-6 måneder	
	> 6 måneder	

**Prøvepumpninger**

	Varighed	Antal/omfang
Prøvepumpninger i oplandet :	< 1 uge	5
	1-3 uger	10
	> 3 uger	13
Metode til fortolkning af prøvepumpninger :	<i>Pumptest + Radiærsym.</i>	

Geofysiske data	Antal/Omfang
Borehulslogging	<i>gammalog i 5 boringer kombineret gamma- og resistivitetslog i 10 boringer</i>
Geoelektriske sonderinger	<i>elektromagnetisk sonderinger til kortlægning af prækvartæroverfladen (viste sig ikke at være entydige)</i>
Anden geoelektrik	<i>gravimetrisk målinger langs 7 profilinier</i>
Sesmik	<i>seismiske profiler viste god korrelation med gravimetrisk målinger</i>
Stoftransport data	
Porøsitetmålinger	
Tracertest	<i>aldersdatering ved kulstof 13/14 i ialt 8 filtre</i>
Vandkvalitetsdata	<i>almindelig vandanalyse i 15 boringer, flere filtersatte i 2-3 niveauer, samt i 2 markvandingsboringer</i>
Andet	<i>pesticidanalyser i 9 boringer</i>

### 3.3 Kalibrering

#### Procedure for kalibrering

Parametre som blev justeret i forbindelse med kalibreringen var:

- grundvandsdannelsen
- hydraulisk ledningsevne (horizontal og vertikal)
- ålækage

Der blev benyttet parameter zoner for de enkelt lag 'a priori' fastsatte ud fra lagfølge oplysninger, borehulslogs, transmissivitetsværdier mm.

Grundvandsmodellen blev kalibreret stationært på baggrund af synkronpejlinger for marts (65 obs.) og august 1995 (48 obs.) samt pejldata fra ZEUS (471 observationer). Endvidere blev modellen kalibreret i forhold til medianminimumsafstrømninger fra 1991-94, opdelt på ialt 44 vandløbsstrækninger.

Antal stationære kalibreringer:

> 50

Længde af dynamisk kalibreringsperiode:

Invers modellerings procedure:

#### Verifikation af kalibrering

Længde af verifikationsperioden:

Resultat af statistisk vurdering af kalibrerings resultatet:

Root mean square værdi af residualværdier:

marts 1995: 1.94 m

august 1995: 1.66 m

ZEUS data: 2.98 m

Medianafvigelse på beregnet grundvandsafstrømning til del- vandløbsstrækninger: 33 % i forhold til medianminimumsværdier

Opsummeret afvigelse: Sneum å: 9 %, Bramming/Holsted å: 3 %, Holme å: 35 % og øvre Kongeå-Vejen å: 10 % mellem simuleret og medianminimum.

Resultat af følsomhedsanalyse overfor parametervalg:

*Modellen er mest følsom overfor den vertikale hydrauliske ledningsevne af beregningslag 2, ålækagen, den horizontale ledningsevne af beregningslag 8. Modellen er noget følsom overfor horizontal ledningsevne af lag 3 og 4.*

### 3.4 Evaluering

Er formålet opfyldt?

*Modellen er opstillet og anvendt med henblik på at danne grundlag for en overordnet vurdering af den udnyttelige vandressource, herunder følgevirkninger for vandløbsafstrømningen. Modellen har opfyldt dette formål.*

Fremtidige behov for videre udvikling af modellen:

*Der indsamles i øjeblikket kontinuerte data fra 4 faste vandføringsstationer og pejlinger ved 5 pejlestationer i området nord for Holsted samt synkronmålinger 1 gang pr. måned ved øvrige målepunkter. Modellen bør kalibreres på baggrund af disse data, evt. med en dynamisk kalibrering. En fuld dynamisk model vil være nødvendig, med henblik på fremtidig brug til regional vurdering af konsekvenser af markvanding.*

Forslag til forbedret resultat:

*Der er behov for en testperiode med større indvinding og tilhørende monitoring i forbindelse med indkøring af en ny vandindvinding. Sådanne data kan give en bedre kalibrering og verifikation af modellen, hvilket specielt vil være værdifuld med henblik på mere sikre prognoser af partikelbaner, transporttider og evt. ændringer i vandkvalitet ved etablering af ny kildeplads.*

## 4. Andre relevante oplysninger

Projektlederens underskrift:

\_\_\_\_\_

Sted og dato: \_\_\_\_\_