

Kapitel 4 OPSTILLING AF HYDROGEOLOGISK TOLKNINGSMODEL

Jens Christian Refsgaard
Hydrologisk afdeling, GEUS

Hans Jørgen Henriksen
Hydrologisk afdeling, GEUS

Nøglebegreber: Konceptuel model, hydrologiske processer, geologi, strukturelle forhold, hydrostratigrafiske enheder, tidsperioder, parameterfastsættelse og usikkerhed

ABSTRACT: En hydrogeologisk tolkningsmodel indeholder brugerens opfattelse af de vigtigste hydrologiske processer og geologiske forhold og kan således opfattes som brugerens overblik og afgrænsning af hvad der er nødvendigt at inkludere i de efterfølgende numeriske beregninger. Hvilke hydrologiske processer og geologiske strukturer skal inddrages? Hvilken grad af kompleksitet er nødvendig? Fastlæggelse af hydrostratigrafiske enheder. Stationær og dynamisk model. Valg af tidsperiode til kalibrering og validering. Parameterfastsættelse ud fra geologiske og hydrologiske data. Vurdering af usikkerhed på konceptuel model.

4.1 DEFINITION

En hydrogeologisk tolkningsmodel indeholder brugerens opfattelse af de vigtigste hydrologiske processer og geologiske forhold. Endvidere indeholder den de simplifikationer, som forventes at være acceptable i en numerisk model, selv om den skal kunne opfylde de målsætninger brugeren stiller til modelleringsværktøjet i den konkrete opgave. De enkelte elementer i tolkningsmodellen er beskrevet i nedenstående afsnit 4.2-4.7.

En hydrogeologisk tolkningsmodel kan således opfattes som brugerens overblik og afgrænsning af hvad det er nødvendigt at inkludere i de efterfølgende numeriske beregninger.

En hydrogeologisk tolkningsmodel er en visuel eller skitse-mæssig beskrivelse af grundvandets strømningssystem, ofte i form af "blokdiagrammer", "tværsnit" og "plankort". Egenskaberne ved den hydrogeologiske tolkningsmodel er bestemmende for dimensionerne i den numeriske model og designet af modellens beregningsnet.

4.2 AFGRÆNSNING AF OMRÅDE

På baggrund af formålet med den konkrete opgave og områdets hydrologiske og geologiske karakteristika foretages der en geografisk afgrænsning af det område, der skal medtages i modellen.

Vigtige overvejelser i den anledning er, at området skal være så tilpas stort, at de valgte randbetingelser ikke får uønsket stor indflydelse på beregningsresultaterne, se håndbogens kapitel 7.

Så vidt muligt bør systemets naturlige hydrologiske grænser honoreres i forbindelse med afgrænsning af modelområdet (overordnede grundvandskel, udbredelse af magasiner, topografiske oplande, betydning af vandløbssystemer, vandindvinding mm.), men i praksis kan det være nødvendigt at begrænse eller trunkere modelområdets størrelse, således at der er behov for at specificere randbetingelser, der ikke er sammenfaldende med naturlige hydrologiske grænser der optræder i det givne system. Under alle omstændigheder bør den konceptuelle model forholde sig til og beskrive de "sande" hydrologiske grænser, også beliggende udenfor det evt. "trunkerede" modelområde.

4.3 HVILKE HYDROLOGISKE PROCESSER OG GEOLOGISKE STRUKTURELLE FORHOLD SKAL INDRAGES?

En vigtig beslutning i forbindelse med opstilling af den hydrogeologiske tolkningsmodel er hvor stor en del af det hydrologiske system, det er nødvendigt at medtage i modellen, dvs.:

- Skal processerne i rodzonen og den umættede zone medtages direkte i modellen? I givet fald skal modellen benytte klima inputdata og selv beregne den aktuelle fordampning. I modsat fald skal nedsivningen til det øverste frie grundvandsspejl skønnes på anden vis.
- Skal overfladevandssystemerne medtages direkte i modellen? I givet fald skal modellen indeholde beskrivelse af vandløbssystemer og søer. I modsat fald skal deres indflydelse repræsenteres ved et passende sæt af øvre/indre randbetingelser i modellen.

Disse spørgsmål er specielt vigtige i forbindelse med stillingtagen til hvor godt modellen skal kunne simulere de naturlige klimagenererede dynamiske forhold, såsom årtidsvariationer af trykniveauer og variationer i afstrømning og vandstand i vandløb og søer.

Endvidere skal der tages stilling til hvilken grad af kompleksitet, det er nødvendigt at medtage i modelbeskrivelsen. Typiske spørgsmål i den sammenhæng vil være:

- Hvor kompleks skal simuleringen af den umættede zone være? Er det nødvendigt at tage hensyn til tensionsforhold (dvs. Richards' ligning) eller er gravitationsstrømning eller blot en boksmode tilstrækkelig?
- Skal der tages hensyn til preferentielle strømningsveje i den umættede zone eller skal disse forhold indkorporeres i form af effektive parameterverdier?
- Skal der tages hensyn til den rumlige variation af parameterverdier i den umættede zone eller skal disse forhold indkorporeres i form af effektive parameterverdier?
- Skal der tages hensyn til linser eller sprækkezoner i den mættede zone?
- Skal der tages hensyn til densitetseffekter i den mættede zone?

Det er ikke muligt at give generelle entydige svar på ovenstående og lignende spørgsmål, som skal afklares i forhold til den specifikke målsætning og de lokale hydrogeologiske forhold. Tabel 4.1 indeholder dog nogle vejledende betragtninger.

4.4 FASTLÆGGELSE AF HYDROSTRATIGRAFISKE ENHEDER

Med baggrund i den geologiske model (Kapitel 3) og formålet med den givne opgave besluttet detaljeringsgraden og strukturen af de geologiske informationer, der skal indgå i modellen. Typiske valgmuligheder vil være:

- En to-dimensional beskrivelse af de vandførende lag. Dette indebærer, at der foretages en vertikal midling over hele lagpakken, og at de hydrauliske forhold beskrives i form af transmisiviteter.
- En quasi tre-dimensional beskrivelse med en opdeling i et antal geologiske lag. Dette indebærer ofte, men ikke nødvendigvis, skiftevis lag af vandførende og lavpermeable lag (henholdsvis akviferer og akvitarder).
- En fuld tre-dimensional beskrivelse.

I langt de fleste situationer i Danmark vil det som følge af de geologiske forhold være nødvendigt eller fordelagtigt at bruge 3D grundvandsmodeller ved zonerings, når det drejer sig om vurderinger af, hvor grundvandet dannes og ved afgrænsning af indvindingsoplande og ved vurdering af grundvandets trykforhold og transporttid gennem dæklagene. I områder hvor geologien er mere simpel, kan der ofte bruges simple metoder, men områderne afgrænses bedre med 3D modeller.

I et østdansk område kunne en typisk sekvens af hydrostratigrafiske enheder eksempelvis være som følger (jf. DK-model Sjælland, med 11 lag fra top til bund): 1. et vandførende lag opsprækket moræneler af få meters tykkelse, 2. et forholdsvis lavpermeabelt lag bestående af moræneler og evt. sen- og postglacialt ler, 3. et vandførende lag eller snarere linser af smeltevandssand og grus, som udgør sekundære magasiner, 4. et lavpermeabelt lag bestående hovedsageligt af moræneler evt. også af smeltevandsler og –silt (dæklag til det primære smeltevandsmagasin mange steder), 5. et vandførende lag af smeltevandssand og –grus, 6. et lavpermeabelt lerlag bestående hovedsageligt

af moræner evt. også smeltevandsler og –silt, 7. et vandførende lag af smeltevandssand og –grus, som udgør et regionalt nedre primært magasin specielt i Nord- og Vestsjælland samt på Lolland (laget mangler dog på Østsjælland og på Møn), 8. et lavpermeabelt lerlag bestående hovedsageligt af moræner evt. også af smeltevandsler og –silt (laget mangler i nogle områder bl.a. Nordsjælland), 9. et vandførende lag af smeltevandssand og grus, som et dybtliggende nedre primært magasin, der især findes i dybe sænkninger i den prækvartære overflade som i Nordsjælland og på Lolland, 10. et lavpermeabelt lerlag bestående hovedsageligt af Kvartær ler og silt samt prækvartære aflejringer (Palæocæn og Eocæn ler), i en del områder findes laget ikke og der er derfor hydraulisk kontakt mellem det overliggende kvartære sand og de prækvartære vandførende aflejringer og 11. vandførende prækvartære kalkaflejringer fra Danien og Kridt samt Danien grønsandsaflejringer.

4.5 FASTSÆTTELSE AF TIDSPERIODER

Grundlæggende kan der skelnes mellem en dynamisk model og en stationær model.

En stationær grundvandsmodel beskriver en stationær situation med konstante forhold med hensyn til nettonedbør/grundvandsdannelse, trykniveauforhold, udveksling med vandløb, oppumpninger, mv. En stationær model er relativ simpel at opstille, kræver begrænset regnetid og er velegnet til invers kalibrering (Kapitel 14). En stationær model er i nogle situationer tilstrækkelig til at opfylde den givne målsætning, mens den i andre situationer vil være et naturligt første skridt i en kalibreringsproces.

Ved en dynamisk grundvandsmodel tages der hensyn til variationer af eksterne påvirkninger over tiden. Det kan være tidsvarierende oppumpninger eller naturlige variationer i nedbørsforhold. Eftersom overfladevandssystemet er præget af betydelige klimagenererede naturlige variationer er dynamiske modeller specielt vigtige ved studier af vandudvekslingen mellem overfladevands-, herunder vandløb, og grundvandssystemer. Dynamiske modeller er mere komplekse, men er også i stand til at udnytte informationer, som en stationær model ikke kan. Det drejer sig fx om data for årstidsvariationer af observerede trykniveauer, som indeholder væsentlige informationer af betydning for tolkning af grundvandsdannelsen og samspillet mellem forskellige akviferer.

Ved valg af tidsperiode skal der tages hensyn til, at der som regel vil være behov for både en periode til modelkalibrering (Kapitel 14) og en uafhængig periode til modelvalidering (Kapitel 15). Såfremt oppumpningsforholdene er nogenlunde konstante vil der typisk være behov for to perioder af 5-8 års længde.

4.6 PARAMETERFASTSÆTTELSE UD FRA GEOLOGISKE INFORMATIONER OG HYDROLOGISKE DATA

Distribuerede hydrologiske modeller er opbygget således, at den rumlige variation af fx et områdes geologiske karakteristika beskrives ved at give forskellige parameterværdier i de forskellige beregningspunkter, som området beregningsmæssigt er opdelt i. Eftersom en model oftest opererer med flere tusinde beregningspunkter, som hver karakteriseres med adskillige parametre, kan antallet af parametre blive i 10.000vis, som principielt alle kan have forskellige værdier. Hvis alle disse parameterværdier betragtes som frie parametre, vil det af flere grunde give uoverstigelige problemer. For det første ville det i praksis være uoverkommeligt at estimere alle disse parameterværdier. For det andet vil man ud fra en teoretisk statistisk betragtning nemt kunne overbevise sig om, at estimering af så mange frie parameterværdier med en blot nogenlunde acceptabel statistisk sikkerhed vil være fuldstændig urealistisk, således at modellen måske nok vil kunne bringes til at fitte de eksisterende feltdata, men på grund af de mange frihedsgrader ikke vil have nogen prediktionsevne og dermed ikke vil have nogen værdi i praksis.

En rigoristisk metode til fastsættelse af parameterværdier (parametrisering) er af afgørende betydning for at undgå metodiske problemer i de efterfølgende trin med modelkalibrering og –validering. Ved parametrisering fastsættes de rumlige mønstre af parameterværdierne således at en given parameter kun afspejler de signifikante og systematiske variationer, som kan beskrives ved

de tilgængelige feltdata. Det kan fx ske ved at benytte repræsentative parameterverdier for individuelle jordtyper, vegetationstyper og geologiske lag. Parametriseringsprocessen kan således i meget betydeligt omfang reducere antallet af frie parametre som det er nødvendigt at estimere i den efterfølgende kalibreringsproces. I parametriseringen er det vigtigt at tage følgende hensyn (Refsgaard and Storm, 1996):

- Parameterklasserne (jordtyper, vegetationstyper, klimazoner, geologiske lag mm.) skal vælges, så det bliver let på objektiv vis at tilknytte parameterverdier. Parameterverdierne bør således i højst muligt omfang kunne estimeres ud fra tilgængelige feltdata.
- Det bør eksplicit vurderes hvilke data der kan estimeres alene ud fra feltdata og hvilke der behøver kalibrering. For de parametre, der skal estimeres ud fra kalibrering, bør der fastsættes fysisk acceptable intervaller.
- Antallet af kalibreringsparametre bør af såvel praktiske som metodiske grunde holdes så lille som muligt. Dette kan fx gøres ved at fastsætte en parameters rumlige mønster og tillade dens absolutte værdi at blive varieret gennem kalibreringsprocessen, i stedet for at lade parameteren variere frit i alle beregningslementer.

4.7 SKALERINGSEFFEKTER

En komplicerende faktor ved fastsættelse af parameterverdier direkte ud fra feltdata udgøres af skalaproblemet, se kapitel 11. Herved forstås eksempelvis, at punktobservationer ikke nødvendigvis også repræsenterer "effektive" parameterverdier på den skala (= beregningselement) som en model opererer på. Der findes ikke i dag nogen opskaleringsmetodik, som kan benyttes generelt. Den bedste måde at opnå præcise skøn over effektive parameterverdier, som bedst muligt beskriver grundvandshydraulikken i et akvifersystem, er derfor ofte at foretage kalibrering af et antal hydrauliske parametre (se kapitel 14). Som beskrevet i ovenstående afsnit 4.6 er det dog meget vigtigt at benytte geologiske informationer som grundlag for at identificere parameterklasserne og hermed de parametre, der skal fastsættes gennem kalibrering.

4.8 USIKKERHED PÅ KONCEPTUEL MODEL

Som afslutning på etableringen af den konceptuelle model er det vigtigt at vurdere hvorvidt den er tilstrækkelig til den foreliggende opgave. I den forbindelse er det nødvendigt at overveje hvilke usikkerheder der er knyttet til de tolkninger, der ligger til grund for den konceptuelle model.

Normalt, når usikkerhederne på numeriske modeller analyseres, tages der kun hensyn til usikkerhed på input data (fx klimadata) og usikkerhed på parameterverdier (fx hydrauliske parametre for forskellige geologiske lag). Men der er også en betydelig usikkerhed på den geologiske model og hele den hydrogeologiske tolkningsmodel (Hansen and Gravesen, 1996).

Ideelt set burde usikkerhederne om den geologiske tolkning tages i betragtning. Det kan gøres ved at opstille et par alternative tolkningsmodeller baseret på forskellige forudsætninger. Disse alternative geologiske modeller kan herefter resultere i et tilsvarende antal forskellige numeriske modeller, som eksplicit kan indgå i en efterfølgende usikkerhedsanalyse (Kapitel 19).

4.9 REFERENCER

Anderson, M.P. & Woessner, W.W. (1992) Applied Groundwater Modelling. Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press.

Hansen, M. & Gravesen, P. (1996) Geological modelling. In: *Abbott, M.B. and Refsgaard, J.C. (Eds): Distributed Hydrological Modelling*, 193-214, Kluwer Academic Publishers.

Henriksen, H.J., Rasmussen, P. & Knudby, C. (2000) Afprøvning af zoneringsmetoder, Miljøprojekt 553, Miljøstyrelsen.

Refsgaard, J.C. & Storm, B. (1996) Construction, calibration and validation of hydrological models. In: *Abbott, M.B. and Refsgaard, J.C. (Eds): Distributed Hydrological Modelling*, 41-54, Kluwer Academic Publishers.

Table 4.1 Typiske valg af kompleksitetsniveau for den hydrogeologiske tolkningsmodel

	Regional vandressourceopgørelse		Grundvandszonering		Lokal forureningsundersøgelse	
	Simple, indledende undersøgelser	Detailundersøgelser (projektering af vandindvindning, vandløbspåvirkninger)	Udpegning af sårbare områder	Indsatsplaner	Overslagsberegning	Detailberegning
Hvordan skal vandløb og søer repræsenteres?	Medtages som stationære randbetingelser. Desuden skal vandføningsdata benyttes til at checke vandbalancen på oplandsskala	Medtages eksplicit – dynamisk simulering	Medtages som stationære randbetingelser	Medtages eksplicit, såfremt der er behov for en dynamisk simulering	Sjældent nødvendige	Medtages som stationære randbetingelser
Skal umættet zone medtages?	JA, på en eller anden måde til estimering af aktuel fordampning	JA	NEJ	JA, til skøn af forureningstransport og adsorption/nedbrydning (fx nitrat og pesticider)	NEJ	Sjældent
Hvor kompleks skal den mættede zone beskrives?	Gravitationsstrømning eller boksmode	Richards' ligning nødvendig for områder med højt grundvandsspejl (fx ånære områder). Ellers er simple metoder ofte tilstrækkelig	-	Richards' ligning plus absorption-nedbrydning	-	I tilfælde hvor umættet zone beskrivelse er nødvendig vil der ofte kræves Richards' ligning plus absorption-nedbrydning
Preferentiel strømning i umættet zone?	NEJ	Sjældent nødvendig – indgår i "effektive parametre"	-	Ja, til skøn af forureningstransport	-	JA, i de tilfælde hvor umættet zone model inkluderes
Hvor kompleks skal den mættede zone beskrives	2D ofte tilstrækkelig	Flerlags- eller fuld 3D beskrivelse med fokus på oplands/regional skala	Flerlags- eller fuld 3D beskrivelse med fokus på lokal skala	Fuld 3D beskrivelse med fokus på lokal skala	2D eller flerlagsbeskrivelse ofte tilstrækkelig	Fuld 3D beskrivelse med fokus på lokal skala
Preferentiel strømning i mættet zone?	NEJ	Som regel ikke nødvendig – indgår i "effektive parametre"	NEJ	JA, hvis der er tale om opsprækkede formationer	NEJ	JA, hvis der er tale om opsprækkede formationer
Densitet i mættet zone?	NEJ	NEJ	NEJ	JA, i tilfælde hvor der er potentielle salinitetsproblemer	NEJ	JA, i tilfælde hvor der er potentielle salinitetsproblemer eller hvor forureningsperkolat kan "synke til bunds" pga høj densitet