

## Kapitel 22 MODELPROGRAMMER PÅ MARKEDET

Hans Jørgen Henriksen  
*Hydrologisk afdeling, GEUS*

Nøglebegreber: Modelkode (motor), grafisk brugerinterfaces (skaller), præ- og postprocessering, funktionalitet, numeriske algoritmer, analytisk model, public domæne og kodeverifikation,

ABSTRACT: På baggrund af den modelanvendelse, der har været benyttet i de senere år i Danmark, er det valgt primært at beskrive koder af MODFLOW familien samt MIKE SHE og de tilhørende grafiske bruger interfaces. Der er foretaget en sammenligning af forskellige modelkoder (motorer) med hensyn til type, udvikler, pris, indbyggede procesbeskrivelser (fx umættet zone) mm. Grafiske brugerinterfaces på markedet: Groundwater Vistas, MS-VMS, PMWin, Visual Modflow, GMS og MIKE SHE beskrives kortfattet i tabel mht. tilhørende koder, supporterede koder, mulighed for forfinede grid, autokalibrering, sensitivitsanalyse, stokastisk simulering, præsentations- og udtræksmuligheder, nuværende udvikling, brugervenlighed, support mv.

### *22.1 VALG AF DE 3D MODELKODER (MOTORER) OG GRAFISKE BRUGER INTERFACES (SKALLER) DER INDGÅR I SAMMENLIGNINGEN*

Modelkoder er computerprogrammer som indeholder algoritmer til numerisk løsning af ligninger for fysiske strømningsprocesser. De fleste modelkoder indeholder grafiske bruger interfaces til præ- og postprocessering af modeldata (se kapitel 6).

Modelkoden indeholder følgende:

- Funktionalitet mht. at importere data til beskrivelse af modelområdet og de hydrologiske påvirkninger i rum og tid
- Numeriske algoritmer der løser strømningsligningerne
- Funktionalitet mht. at udtrække resultatet af simuleringer

Den numeriske model giver mulighed for en beskrivelse af strømningsprocesser herunder kompleks geometri, dynamisk påvirkning af systemet og rumlig og tidslig variabilitet, og er derved mere generelt anvendelige end analytiske modeller (fx WinFlow og TwoDan). Analytiske eller semi-analytiske løsningsmetoder (fx "boundary integral method") skal derfor ikke omtales nærmere i nærværende kapitel, idet disse er mest velegnede til indledende trin eller overslagsberegninger, og ikke er så relevante til akvifer simuleringer (Hi fi), som typisk vil være behovet i forbindelse med zonerings.

Med henblik på facilitering af data input, strømningssimulering og resultatbehandling, benytter de fleste modelkoder grafiske bruger interfaces (graphical user interface – GUI, på dansk: "skal"), baseret på fx Microsoft Windows. Procesovervejelser mm. i forbindelse med valg af kode er omtalt i kapitel 4 og 5. Formålet med dette afsnit er at sammenligne udvalgte koder som skønnes relevante i forhold til det danske marked. Der sker fortsat en betydelig udvikling og der henvises derfor til de enkelte udvikleres og producenters hjemmesider, for mere ajourførte oplysninger. Her er dog givet en oversigtsmæssig sammenligning af udvalgte motorer og GUI's.

På baggrund af den modelanvendelse, der har været benyttet i de senere år i Danmark, er det valgt kun at beskrive følgende koder (motorer), se tabel 22.1:

- Modflow
- Modflow-Surfact
- ModflowT
- MIKE SHE

Og følgende grafiske bruger interfaces (skaller), se tabel 22.2:

- Groundwater Vistas (GV)
- Modflow-Surfact (MS-VMS)
- Processing Modflow (PMWin)
- Visual Modflow
- Groundwater Modeling System (GMS)
- Mike She

Herudover findes forskellige finite-element motorer: fx Aquifem-N, Aqua3D, Femwater, Sutra og Feflow. Femwater, SUTRA og FEFLOW giver mulighed for umættet zone beregninger og densitetsbetinget strømning. Nærmere oplysninger om SUTRA, AQUA3D, FEFLOW og Femwater kan fås på <http://www.scisoftware.com>. Priserne på disse koder ligger fra ca. 10.000 kr. op opefter. En del af koderne har deres egne interfaces, bortset fra Femwater som kan køres vha. GMS. I princippet giver FE koderne nogle fordele i form af mulighed for bedre tilpasset modelgrid / diskretisering fx tæt på indvindingsboringer og vandløb eller i forhold til geologi, men de er dog endnu ikke så udviklede, at de er i stand til at beskrive fx udvekslingen mellem grundvand og vandløb, med ligeså bredt et spektrum af procesantagelser eller randbetingelsestyper, som fx MODFLOW og MIKE SHE. Hvad de "vinder" i det mere fleksible beregningsnet, taber de til gengæld i det som det koster at administrere denne fleksibilitet. Der er derfor ikke den store forskel på "afviklingshastighed".

Det er almindeligt accepteret at Modflow oprindeligt udviklet af US Geological Survey (McDonald og Harbaugh, 1986), er en "industri-førende" grundvandsmodel, selvom den ikke nødvendigvis er egnet til enhver modelopgave. Der findes som nævnt i ovenstående liste en række forskellige GUI (skaller) til MODFLOW, som har forskellig funktionalitet og som konkurrerer om markedet både i USA, Europa og andre verdensdele. Public domain koder har normalt været udsat for omfattende peer-reviews, med dokumentation af deres generelle anvendelighed på en række case-studier, så vel som deres evt. begrænsninger, hvilket i betydeligt omfang er publiceret i den videnskabelige litteratur.

Mange af public domain koder blev oprindeligt udviklet af (og raffineres fortsat af) US government agencies (fx USGS, EPA og Department of Defence), med betydelig assistance af specialist konsulenter (Modflow blev oprindeligt udviklet i 1986 af USGS og er efterfølgende blevet opgraderet mere gennemgribende to gange dels i 1996 og igen i august 2000).

Private koder er dem som udvikles af bestemte firmaer, og selvom de kan have mange attributter fælles med public domain koder, så er kildeteksten ikke tilgængelig for disse koder, og anskaffelsesprisen er normalt meget dyrere i forhold til public domain koderne. De private koder sælges som færdige produkter med tilhørende service. Omfanget af peer reviews af koden ofte er begrænset! Modflow Surfact, ModflowT og Mike She er eksempler på "private modelkoder".

Den primære årsag til at Modflow generelt har et godt omdømme indenfor grundvandsmodellering er at koden er anvendt som referencemodel ved amerikanske domstole, er blevet verificeret i forhold til en bred vifte af analytiske løsninger, koden har været anvendt til at simulere et meget stort antal hydrogeologiske systemer over hele verden, kildeteksten er public domain kode og der findes adskillige relativt billige og udmærkede skaller til Modflow (GUIs). En anden styrke ved Modflow og en række af de øvrige koder er at de er blevet udviklet med en modulær opbygning (moduler der beskriver forskellige hydrologiske processer kan slås fra og til), og nye moduler til beskrivelse af strømningsprocesser eller forbedrede numeriske metoder bliver løbende produceret og integreret til Modflow, og visse af de øvrige koder. De private koder er ikke verificeret i samme grad som følge af et stort antal case eksempler eller artikler i internationale tidsskrifter som MODFLOW.

Der findes en forskellige Modflow versioner (se <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware>):

- MODFLOW88
- MODFLOW96
- MODFLOWP
- MODFLOW2000

Og desuden en række private koder:

- GeoTrans: MODFLOWT ([www.hsigeotrans.com](http://www.hsigeotrans.com))

- HydroGeoLogic: MODFLOW-SURFACT ([www.hgl.com](http://www.hgl.com))
- Environmental Simulation Inc.: MODFLOW<sup>win32</sup> ([www.groundwatermodels.com](http://www.groundwatermodels.com))
- DHI, Institut for Vand og Miljø: MIKE SHE  
(<http://www.dhisoftware.com/mikeshe/Description/index.htm>)

**Tabel 22.1** Sammenligning af 3D grundvandsmodeller

	MIKE SHE	Modflow	Modflow Surfact	ModflowT
Type	3D flow og stoftransport	3D flow (stoftransport Moc3D, MT3D eller MODPATH)	3D flow og stoftransport	3D flow og stoftransport
Udvikler / support	DHI, Institut for Vand og Miljø, Danmark	USGS, USA	HydroGeoLogic, USA	Hydrosolve/HsiGeoTrans, USA
Pris	Sælges med interfaces (se GUI tabel 22.2)	Public domain	2,600 US \$ (Modflow-Surface99)	500 US \$
Udveksling mellem grundvand og vandløb	Flere muligheder, bl.a. kobling til MIKE 11. Dokumentation i forhold til testcases er begrænset.	Flere muligheder. Veldokumenteret i litteratur. Der findes forskellige grader af detaljering /packages.	Flere muligheder.	Flere muligheder.
Umættet zone	Ja (fuld kobling, både Richards ligning og simple beskrivelse)	Nej	Ja (Richards ligning)	Nej
Densitetsbetinget strømning	Under udvikling, HST3D er indbygget, men testcases mangelfulde.	Under udvikling	Under udvikling	Nej
GUI (se tabel 22.2)	MIKE SHE (en ny forbedret objekt orienteret Windows GUI under udvikling)	PMWin, Groundwater Vistas, Visual Modflow og GMS	Groundwater Vistas (kompatibel med PMWin, Visual Modflow og GMS)	Groundwater Vistas (Kompatibel med PMWin, Visual Modflow og GMS)
Kommentar	Veludbygget funktionalitet som integreret hydrologisk modelværktøj og dynamisk kredsløbsmodel (flow og transport). Koblinger både programmets styrke og svagt punkt. Unik vandressourcekode testet på DK-model.	Førende industristandard på verdensplan som grundvandsmodel. Udviklingen går dog relativt langsomt med ”knubskydninger” i en række private koder. MODFLOW-2000 nyeste standard, release i august 2000.	Indeholder speciel Newton Raphson solver, mættet/umættet strømning og stoftransport og multifase-transport af flygtige stoffer. Surface-99 kompatibel med bla. Groundwater Vistas, GMS 2.1, PMWIN. Surface-2000 på vej.	Koden er primært en ”forbedret” stoftransport-model.

**Tablet 22.2 Grafiske bruger interfaces til Modflow og Mike She**

Navn på GUI:	Groundwater Vistas	Modflow Surfact	Processing Modflow	Visual Modflow	Groundwater Modeling System	Système Hydrologique Européen
Forkortelse	GV	MS-VMS	PMWin	VM	GMS	MIKE SHE
Ca. pris		1.400 US \$	2.000 US \$	0 US \$	3.000 US \$	16.000 US \$ incl. GUI, dedikeret version: ca. 5.000 US \$)
Udvikler	Environmental Simulation International (ESI)	HydroGeoLogic (HGL)	Chiang & Kinzelbach	Waterloo Hydrogeologic	U.S. Army Corps of Engineers	DHI, Institut for Vand og Miljø
Umættet zone	Ja, med Modflow Surfact fra HGL (2.600 US \$)	Ja, Richards ligning	Nej	Nej	Nej	Ja, Richards ligning + forenklet løsning
Densitetsstrømning	Under udvikling	Under udvikling	PMWin densitetsmodul	Nej	Nej	Ja, HST3D indbygget i 2000 (case studie test mangler)
Sprækkestrømning	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Ja (makropore)
Stoftransport partikelbane	MT3D, RT3D og MODPATH	MT3D og MODPATH	MT3D, MT3DMS, MOC3D og PMPPath99	MT3D og Modpath	MT3D, Modpath, RT3D og SEAM3D	MIKE SHE stoftransport modul og partikelbanemodul
Supporterer desuden	MT3DMS, MOC3D, PATH3D, MODFLOW/T og Modflow-Surfact.	MT3DMS, RT3D, MOC3D, PATH3D		MT3DMS, MT3D99 og RT3D		
Teleskop grid refinement (Sub-model)	Ja	Ja	Ja	Nej	Under udvikling	Ja
On screen views	Plan + tværprofil	Plan + tværprofil	Plan i flow,	Plan + tværprofil	Plan + tværprofil	Plan: 2D editor og river editor
Autokalibrering	UCODE, Pest (lite) Supportere PEST	UCODE, Supportere PEST	UCODE Pest (lite)	Supporterer WinPEST	NEW PEST og UTCHEM	Under udvikling. MIKE SHE/UCODE (GEUS DK-model)

Table 22.2 (fortsat)	GV	MS-VMS	PMWin	VM	GMS	MIKE SHE
Sensitivitetsanalyse	Automatiseret	Automatiseret	Nej	Nej	Nej	Under udvikling
Indbygget stokastisk simulering	Ja, Monte Carlo metodik til Modflow, MT3D og Modpath	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Præsentations- og udtræksmuligheder	Import + Eksport til surfergrid og datafiler. God Arc View shapefile wizard til import og eksport. Import fra EVS og Earthvision. TECHPLOT	Import + Eksport til surfergrid og datafiler. Eksport TECHPLOT 3D visualisering.	Import fra surfer, Eksport til surfer, 2D visualisering.	Import og eksport til Surfer grid. Eksport ArcView format. Indbygget 3D animation med Visual Groundwater.	Import og eksport til Arc View, Arc Info mm. Indeholder geostatistisk funktionalitet til 3D interpolation, krigning mm.	Import og eksport i tekstfilformat (t0 og t2 filer). Konverter/extension til ArcView.
Nuværende udvikling	Udvikling i gang. Forventes at supportere MODFLOW-2000 og PEST-2000 i løbet af efteråret. Udvikling i gang omkring optimeringsværktøjer	Udvikling i gang mht. overfladevands- grundvandsmodelle- ring. Modflow Surface 2000 forventes at integrere 3D UZ med 3D grundvand og kanalstrømning og sprækkestrømning. GV vil ikke supportere Surface-2000 version.	Udvikling i gang mht. til inkorporering af MODBRANCH stream interaction package	Udvikling følger måske lidt efter øvrige GUI's men menu-system er enkelt og brugervenligt.	Udvikling i gang omkring nye interfaces til PEST og UTCHEM.	Udvikling i gang mht. ny MIKE ZERO windows interface. Forbedret stationer løser og simpel MIKE 11 routing under udvikling. Nye moduler: Geodator, UZ editor, HST3D og FE grundvand.
Kommentarer	God hjælp og support. Fuld support af nye release Modflow packages. God og billig kode. Velstruktureret. Udvikles af konsulentfirma i USA/UK. Standard i UK (EA)	Udvikler er et større konsulentfirma i USA. God stoftransportmo- del. Ny version på vej der kan blive en konkurrent til MIKE SHE på kredsløbsom- rådet.	Udvikler er underviser ved Inst. For Ground- water studies ved University of Free State og aktiv i udvik- ling og publisering af en række grundvands- software	Udvikles af Canadisk konsulentfirma. God kode for begyndere og uerfame modellerer (logiske og selvforkla- rende menuer)	Gode faciliteter til interpolation af geologisk model og geostatistik.	Unik vandsressource model og dynamisk kredsløbsmodel. God 2D editor og MIKE 11 interface. Import/ eksport lidt mangel- fuldt eller besværlig i MIKE SHE.