

National vandsressource model

Opdatering af DK-model Bornholm
med data fra detailkortlægningen

Lars Troldborg, Per Nyegaard
& Simon Stisen



Indhold

Problemformulering og formål	3
Opdatering af den geologiske model	3
Vurdering af modellens evne til at simulere tryk og afstrømning	3
Modelsimuleringer	3
Status for geologisk opdatering	4
Data og konceptuel model for sprækkedale	4
Data bearbejdning og flade interpolation	5
Indarbejdning af laseropmålt topografisk model og ny Prækvartær overflade.....	5
Modeldata for sprækkedalene	6
Indarbejdelse af jordartskort	7
Indarbejdelse af DMI data frem til 2006.....	7
Indarbejdelse af indvindingsdata frem til 2008	8
Status for modellens performance og problemer ved modelanvendelse	9
Initiale kørsler og sammenligning af performance	9
Implementering af pixelgeologi.....	10
Problemer angående vandløbsopsætning.....	11
Cellestørrelse i forhold til dalstrukturer og problemer med maksimum antal beregningsceller i Mike She	11
Fremtidige opdateringer og anbefalinger	13
Metodik for udskiftning af pixel-geologi og indarbejdelse af lokal specifik geologi	13
Anvendelse af nye topografiske data	13
Udnyttelse af referenceramme ved opstilling af lokale modeller samt metodik	13
Generelle bemærkninger.....	14
Referencer	15

Problemformulering og formål

Opdatering af den geologiske model

Miljøcenter Roskilde (MCR) har behandlet indsamlet materiale fra bla. detailkortlægningen og udviklet konceptuelle modeller for sprækkedalene på Nordbornholm. Opgaven bestod i at bistå MCR teknisk med den geologiske opdatering af DK-model Bornholm med disse data. Det tekniske aspekt ved denne opgave var primært databehandlingen, således at 2D profil tolkninger udført af MCR kunne udvikles til en egentlig 3D (hydro-)geologisk model i overensstemmelse med en konceptuel model der sideløbende blev udviklet i samarbejde med MCR. Herudover skulle arbejdet implementeres i DK-model Bornholm, således at modelkonceptet vil kunne bære nuværende og fremtidige opdateringer. En delopgave var implementering af beregnede hydrauliske parametre fra en række prøvepumpninger gennemført af MCR i samarbejde med Kurt Ambo, ICAN miljø for vandførende enheder i flere opsprækkede medier på Bornholm. Denne del af opgaven er dog ikke gennemført i denne omgang som følge af modeltekniske problemer.

Vurdering af modellens evne til at simulere tryk og afstrømning

GEUS skulle gennemføre modelkørsler med den opdaterede model for valideringsperioden 1997-2000, validere den opdaterede models evne til at simulere vandløbsafstrømning (målt på R^2 og Fbal), potentiale (målt på RMS) og vandbalancen, sammenholdt med den eksisterende models performance. Modelsimuleringerne skulle gennemføres med et modelsetup, hvor kun den geologiske model er opdateret. Der var i opgaven ikke afsat tid til en rekalibrering af model parametre og modelopdatering i forhold til nye indvindingsdata.

Modelsimuleringer

GEUS skulle, såfremt modellens performance var tilfredsstillende, gennemføre simuleringer af årlige vandbalancer 2000 frem til 2006 med klimadata fra NOVANA programmet og 1990-2000 med klimadata fra den eksisterende model. Indvindinger opdateret af MCR skulle indgå i modellen. Det stod hurtigt klart at modellen, som var afrapporteret og kalibreret i Mike She version 2001 og opdateret til version 2004 dog uden rekalibrering, ikke uden problemer kunne flyttes/opdateres til Mike She version 2008.

Performance med version 2008 var væsentlig ringere end den oprindelig afrapporterede, og det blev derfor besluttet ikke at forsøge gennemførelse af modelsimuleringer i denne opgave. Grunden hertil var, at det vurderedes nødvendig med en egentlig rekalibrering af modellen for at opnå tilsvarende eller bedre model performance som den afrapporterede version 2001. Som en del af opgaven er der således brugt en del tid på at undersøge årsagen(-erne) til den ringere performance. Undervejs i forløbet har der været afholdt to møder primært omhandlende tolkningsdata og håndtering af data. I det følgende er der givet en kort status for geologisk opdatering, beskrivelse af model performance med diskussion af problemer og specielle udfordringer ved modelanvendelse.

Status for geologisk opdatering

Modellens geologiske skelet er en geologisk pixelmodel med diskretisering på 250x250x5m. Pixelgeologien er tolket i horisontale snit, hvor boringsoplysningerne er apriori hydrogeologisk tolket til 13 enheder (se tabel 1). Den færdige pixelmodel er samlet til en fil med x,y,z koordinater og en "geokode" svarende til hvilken geologi, der er tolket til at befinde sig i en 250x250x5m celle med angivelse af celle midtpunkt. For en nærmere beskrivelse af pixel tolkning og baggrund henvises til GEUS rapport "DK-model Bornholm – model opstilling og kalibrering" (Troldborg et al 2006).

Tabel 1 Hydrologiske enheder anvendt i tolkning af DK-model Bornholm

Kode	Betegnelse	DGUsymboler
1	Q-sand ('Kvartær sand og grus')	DS DG DZ MS MG MZ ES TS TG FS FG YS YG HS HG
2	Q-ler ('Kvartært ler og silt')	DL DI DV FL FI FP FV FT ML MI MV TI TL YL
3	Kalk	K AF AK EK GK OK QK TK RK
4	Præ-sand	AS BS GF JS US VS BV .
5	Robbedale sand og grus	RG RS RV .
6	Præ-ler	AL BL EL JI JL JV NL UI UL UV VI WL CL JC RL KA VV
7	Grundfjeld	A D PA PD .
8	Sandsten og kvartsit	EQ KQ RQ CQ Q UQ VQ JQ
9	Skifre	AR GR KR OR SR DR R TR VR SJ
10	Grønne skifre	KJ
11	Sand	S G
12	Ler	L I
13	Andet	Symboler som ikke indgår i øvrige grupper.

Den pixelgeologiske tolkning udgjorde den rumlige geologiske model (den geologiske struktur) for den oprindelige model, på nær hvad angår den opsprækkede del af granit, sandsten og skifre. Denne del blev indlagt som lagstrukturer, dækkende de øverste 25 meter af Prækvartæret i de områder som var dækket af forkastningszoner. Dybden til prækvartæret var bestemt ud fra temakort udviklet af Bornholms region kommune over tykkelsen af de kvartære aflejringer. Områderne med forkastningszoner var interpoleret fra temakort hentet i GEUS' gis database (Geologisk Set Bornholm, fig.6). Den opsprækkede del af Prækvartæret var indarbejdet i den geologiske model uafhængigt af den pixelgeologiske tolkning, og der var ikke i den oprindelige model udviklet en pixel-uafhængig konceptuel model for magasin materialet i sprækkedalene.

Data og konceptuel model for sprækkedale

Sprækkedalene på den nordlige del af øen er konceptualiseret ved at indeholde magasin materiale bestående af smeltevandssand og -grus samt en opsprækket del af grundfjeldet. I den kvartære del af sprækkedalene findes linser af ler typisk i et til to niveauer. Sprække-

dalene er typisk 50-150 meter brede og kan være op til 80 meter dybe (typisk 20-40 meter), mens den opsprækkede del af grundfjeldet er 20-30 meter dyb.

Data er modtaget fra MCR tolket i pixelformat langs udvalgte profiler, og data indeholder pixler for ler, sand, granit opsprækket og granit. Denne tolkning er bearbejdet til kun at vise punkttolkninger af top og bund af opsprækket grundfjeld langs de tolkede profiler. Profilerne er typisk lagt enten på langs eller tværs af sprækkedalene.

Herudover er der polygon data for udbredelsen af sprækkedalene (overflade areal), udbredelser, dybder og tykkelser for ler linser i sprækkedalene, samt polyliniedata for sprækkedalenes orientering. Polygondata for lerlinser i sprækkedalene er anvendt i modelopsætningen frem for tolkningen i pixelformat, fordi polygondata giver en kontinuert rummelig beskrivelse i modsætning til profiltolkningen. Tilsvarende er polygon data for udbredelsen af sprækkedalene kontinuerte i rummet og kan derfor bruges næsten direkte i modelopsætningen. Fra den oprindelige pixelgeologiske tolkning er der udtrukket data for niveauet af prækvartær overfladen, dvs. hvornår der fra overfladen og ned første gang er truffet prækvartære geokoder i pixeltolkningen.

De bearbejdede data er interpoleret i ArcGis og samlet i én folder, hvor interpolationsrutiner og færdige interpolerede grid også ligger. Folder, data og lyr-fil er "zip'et" og vedlagt på CD ("bornholm-gis.zip").

Data bearbejdning og flade interpolation

Fra de MCR tolkede data er valgt de data som ligger indenfor udbredelsen af sprækkedalene. Uden for sprækkedalene er brugt data fra pixeltolkningen (kote for overgangen mellem kvartære - og prækvartære pixler). Disse to (selections) datasæt interpoleres til en flade (brk-kvt-v1 = bund af kvartær eller top af prækvartær), som giver en beskrivelse af sprækkedalene med nogen huller i. For at bevare sprækkedal orienteringen re-interpoleres der med samme data og polyline beskrivelsen af bunden af dalstrukturerne. Den benyttede interpolationsrutine er oprindeligt udviklet til at lave hydrologisk korrekte topografier (læs topografier med vandløb hvor vandet løber i en retning), men er med fordel benyttet her, idet den kan udnytte sprækkedals orienteringen til placering af dalstrukturerne. Den interpolerede flade (brk-kvt-v2) er dannet i et 25x25m grid for at kunne honorere selv de mindre sprækkedale bredder (typisk 2-6 grid). Fladen og de to udbredelsesfiler er i princippet nok for at kunne implementere sprækkedalssystemerne i DK-model Bornholm, som linser i linser der overskriver pixeltolkningerne indenfor udbredelses arealerne.

Indarbejdning af laseropmålt topografisk model og ny Prækvartær overflade

Den nye digitale terrænmodel (DTM), som er en del af det nye data grundlag, er en beta version, dvs. den er ikke endelig færdigrettet. Den endelige version forventes klar 1/1-2009. DTM ligger i 1,6x1,6m grid, men er i projektet aggregeret til 25x25m grid (dtm25), svarende til den opløsning som sprækkedalene er fladebeskrevet i. Standard afvigelsen på DTM25 målt i forhold til DTM1,6 er i middel på 1 cm og maksimum på 3 meter. Til sammenligning

har den eksisterende modeltopografi (250x250m) en standard afvigelse pr. grid på middel 37 cm og maksimum 39 m. DTM25 er ikke anvendt direkte som input til modellen, men indirekte sammen med det digitale jordartskort (ligeledes i 25x25m grid), hvor de sammen er anvendt i tilretningen af den interpolerede flade over sprækkedalene. Det tilrettede produkt (brk-kvtb = bund af kvartær) forventes at give en udmærket beskrivelse af den prækvartære overflade og kan sammen med dtm25 bruges til at beregne tykkelsen af de kvartære aflejringer inklusiv det kvartære materiale i sprækkedalene i et 25 meter grid. Det skal dog bemærkes at grunddata for brk-kvtb er domineret af pixelgeologi, dvs. fra et 250 meter grid, hvorfor den forventede usikkerhed må være styret af disse (dvs. svarende til topografiens standard afvigelse på op til 40 meter på enkelt celle niveau og med 2,5 meter i gennemsnit alene pga. pixel celle højde på 5 meter). Brk-kvtb fladen er tilrettet i forhold til dtm25 således at den på intet tidspunkt krydser topografien, men i områder hvor jordartskortet viser kvartært materiale (i en meters dybde) er minimums tykkelsen 1 m, mens den i områder hvor jordartskortet viser prækvartært materiale har en minimums tykkelse på 0 m.

Modeldata for sprækkedalene

Sprækkedalene indarbejdes som linser i pixelgeologien, hvor pixelgeologien er baggrundsgeologi som overskrives af linse beskrivelsen. Linser beskrives ved en udbredelsesfil og top og bund af linsen, i dette tilfælde er udbredelserne beskrevet v.hj.af maksimum udbredelse (ub-merge.shp) af de polygonfiler MCR har leveret for sprækkedale (ub-sprkkedale.shp) og lerlinser i sprækkedalene (sprkkedale-ler.shp). Således vil udbredelsen af lerlinserne altid være indenfor udbredelsen af sprækkedalene, som forventet og i overensstemmelse med den konceptuelle model. Valg af maksimum udbredelse er nødvendig dels for at opnå konsistens i data og dels fordi man således kan udnytte Mike She systemet mulighed for at arbejde med linser i linser, dvs. at mindre linser overskriver større linser under forudsætning af de kan indeholdes fuldstændigt i de større linsers udbredelse (dybde som areal).

Top afgrænsningen af sprækkedalene er i princippet fastsat ved terræn overfladen, men modelteknisk og geologisk set kan det bedre betale sig at udnytte jordarts kortets detaljering ved overfladen. Dvs. top afgrænsningen er sat til niveauet umiddelbart under jordarts kortet, hvilket i modellen er udvidet fra 1 meter til at gælde indtil 3 meter under terræn.

Dybde afgrænsningen beskrives af Brk-kvtb fladen (bund af Kvartær, beskrevet i foranstående to afsnit). I modellen fyldes hele det udspændte rum med sand/grus, som herefter overskrives af op til fire ler linser.

Ler linserne har en udbredelse beskrevet ved en polygon fil (sprkkedale-ler.shp), top og bundkoter beskrevet i samme fil. I den numeriske model er top og bundkoterne omdannet til grid (dfs2 filer). Den geologiske model består således af sand/grus indenfor sprækkedalene, men med indlagte lerlinser i op til fire niveauer. Ler linserne vil i modelopsætningen overskrive sand/gruset i sprækkedalene.

Tilgrænsende dalstrukturene er opsprækket grundfjeld. I modellen er denne zone indlagt som linse med en udbredelse hentet fra bjergartsbeskrivelsen (polygonfil), hvor polygoner

med granit, gnejs, sandsten og skifre er udvalgt. Toppen er filen Brk-kvtb, mens dybden er angivet til de øverste 10 meter under Brk-kvtb (benævnt brk-kvtb-10m).

Dybden af grundfjeldets forkastningszoner er der sat til 25 meter under bunden af kvartæret.. I modellen er disse zoner indlagt som linser med udbredelse fra forkastningszonete-maet (polylinietema). Toppen af linsen er brk-kvtb-10m, mens bunden af linsen er yderligere 15 meter længere nede svarende til 25 meter under brk-kvtb (prækvartær overfladen minus 25 meter, benævnt brk-kvtb-25m).

Indarbejdelse af jordartskort

Jordartskortet er ikke tidligere blevet brugt i DK-model Bornholms opsætning, fordi den geologiske model var opstillet i pixel geologi, men det er taget med i opdateringen. Jordartskortets geologiske enheder (TSYM) er summeret til 5 enheder (tabel 2) og herefter medtaget i modellen som en linsepolygon afgrænset med fem forskellige geokoder (BRK-jordart25_v2p.shp). Samlet set dækker linsen hele øen med top og bundafgrænsning ved terræn og 3 meter ned.

Tabel 2 Summering af jordartskortets geologi

Geologisk model	Geo kode i modellen	TSYM fra jordarts kortet
Sand	21	DG, DS, ES, HG, HS, TG, TS,YG,YS
Ler	22	ML, MS, TL
Tørv	23	FP, FT
Prækvtr	24	PKV
Andet	25	BY, FJ, HAV, O, SØ, X

Indarbejdelse af DMI data frem til 2006

For den gamle version af DK-model Bornholm var klima data indlagt som nettonedbør udregnet vha. rodzonemodulet (Troldborg et al, 2006). Rådata stammer fra DMI's 40 km klima grid. I denne opdatering er der indlagt nettonedbørsdata, hvor rådata stammer fra DMI's 10 km klima grid. Den samlede nettonedbørs datafil kan opdeles i tre perioder: perioden 1970-1989 stammer fra DJF's 40 km klimagrid, perioden 1990-1998 stammer fra DMI's 40 km klimagrid og perioden 1999-2005 stammer fra DMI's 10 km klimagrid.

Traditionelt har data været indlagt i DK-modellen som nettonedbørstidsserier med tilhørende grid som beskrev den rumlige fordeling af disse tidsserier (klimakoder - hvor hver klimakode havde en tilknyttet nettonedbørstidsserie). I den opdaterede version er tidsserier og klimakode grid blevet præprocesseret til, og indlagt i modellen som, ét tidsvarierende grid (DHI formattet .dfs2 - der teknisk et nyt grid pr. dag samlet til matrix). Hvor det ved anvendelse af 40 km klimagrid var nødvendigt at indarbejde variation som følge af topografisk variation, så er dette ikke indarbejdet ved anvendelse af 10 km grid data. Dvs. leret og sandet jorde har samme nettonedbør indenfor de enkelte DMI grid uafhængigt af topografisk variation i den del af tidsseriefilen som er fra 1999 og frem.

Indarbejdelse af indvindingsdata frem til 2008

Indvindingsdata er samlet i to filer. En fil med filter placeringer (.well) og en fil med tidserier over indvundne mængder pr. filter. I opdateringen er det først og fremmest tidsseriefilerne, der er opdateret med data fra MCR på faktiske mængder (born-abs2.dfs0), tilladelser (born-abs-till.dfs0) og gennemsnits mængder (born-abs-gnst.dfs0). "Well"filerne er opdateret for så vidt angår at de nye navne for indvindingsfilerne tilknyttes de enkelte filtre, og der er således dannet tre nye "well"filer, som er tilsvarende navngivet (born-abs2.well, born-abs-till.well og born-abs-gnst.well).

Status for modellens performance og problemer ved modelanvendelse

Initiale kørsler og sammenligning af performance

Modellens performance er vurderet ved at gennemføre simuleringer for perioden 1981-2001 og sammenligne først og fremmest vandløbsafstrømninger målt på Nash-Sutcliff (R2) og vandbalance (Fbal) og kun i mindre grad sammenholdt mod trykniveau observationer (RMS). Afstrømningerne er målt ved fire stationer, hvoraf to stammer fra samme vandløb. De fire stationer dækker afstrømningen fra under halvdelen af Bornholms samlede areal.

R2 og Fbal er udregnet for både kalibreringsperioden (1993-1996) og valideringsperioden (1997-2000), men mest direkte sammenlignelig med gamle data via kalibreringsperioden, dvs. før nettonedbørs data skifter fra 40 til 10 km grid.

Sammenligningen er opdelt i to dele, første del hvor modellen flyttes fra tidligere version af Mike She til 2008 versionen, og anden del hvor modellen er opdateret geologisk. Det viste sig desværre at flytningen af modellen fra tidligere Mike She versioner til den nuværende version ikke er helt omkostningsfri, og en stor del af performance sammenligningen er derfor fokuseret mod at afklare hvorfor modellen i nuværende version ikke performer på tilsvarende niveau som tidligere versioner. Performance sammenligningen er dokumenteret på Excel ark format (vedlagt på CD'en som BRK_RMS-kalibrering.xls og BRK-R2_Fbal-kalibrering.xls) og gengivet på kort form i tabel 3 og 4.

Performance for den rene versions opdatering og den geologiske opdatering er dårlig sammenlignet med performancekrav opstillet for den oprindelige opstilling og kalibrering af DK-model Bornholm (Troldborg et al 2006). Specielt er vandbalancerne ved vandføringsstationerne ikke gode, men heller ikke hydrografen målt på R2 eller potentiale simuleringerne viser nogen god overensstemmelse. Problemerne med den dårlige performance bliver ikke løst via geologisk opdatering og kan formodentligt henføres til to hovedproblestillinger dels implementering af pixelgeologi og dels problemer angående vandløbsopsætning. Begge dele er kort præsenteret i det efterfølgende.

Tabel 3 Performance sammenligning på simulering af trykniveauer

RMS trykniveau		Ver2001	ver2008val	ver2008g	test1	test3	opdate2008
Kalibrering 1993-1996	lag1	5.05	4.91	5.17	5.63	5.49	6.03
	lag2	4.33	7.25	7.18	7.09	6.95	7.39
	lag3	4.76	10.63	10.33	9.77	9.83	9.09
	lag4	6.32	13.63	13.57	12.89	12.83	12.65
	lag5	6.70	13.17	12.81	11.68	11.08	10.06
Validering 1997-2000	lag1	5.04	4.90	5.14	5.64	5.50	6.02
	lag2	4.33	7.27	7.16	6.99	6.96	7.31
	lag3	4.79	10.68	9.81	9.21	9.27	8.43
	lag4	6.33	13.66	13.54	12.84	12.77	12.60
	lag5	6.76	12.92	12.78	11.65	11.04	10.00

Tabel 4 Performance sammenligning på simulering af vandføringer

Kalibreringsperiode 1993-1996								
Data/kørsel	DMUnavn	Navnm11	Ver2001	ver2008g	ver2008val	test1	test3	opdate2008
Nash-Sutcliffe (R ²)	660014	Øle å	0.81	0.65	0.73	0.52	0.38	-1.39
	670017	Kobbe å	0.68	0.70	-0.06	-0.46	-1.63	-1.91
	670018	Øle å	0.73	0.76	0.62	-0.66	-0.97	-4.31
	670019	Bagge å	0.75	0.78	0.76	0.73	0.67	0.07
Volumen balance (Fbal)	660014		4%	-42%	-14%	-37%	-35%	-19%
	670017		-15%	-16%	42%	28%	30%	32%
	670018		24%	15%	-9%	-21%	-25%	-21%
	670019		-10%	-39%	-24%	-22%	-16%	10%

Valideringsperiode 1997-2000								
Data/kørsel	DMUnavn	Navnm11	Ver2001	ver2008g	ver2008val	test1	test3	opdate2008
Nash-Sutcliffe (R ²)	660014	Øle å	0.67	0.50	0.63	0.15	-0.10	-2.82
	670017	Kobbe å	0.60	0.22	0.16	-0.34	-1.16	-1.34
	670018	Øle å	0.69	0.65	0.25	-2.32	-2.89	-7.54
	670019	Bagge å	0.72	0.69	0.63	0.59	0.59	0.18
Volumen balance (Fbal)	660014		-2%	-50%	3%	-8%	-6%	3%
	670017		-1%	1%	42%	30%	32%	32%
	670018		24%	15%	3%	-3%	-6%	-5%
	670019		7%	-11%	-36%	-24%	-18%	6%

Implementering af pixelgeologi

Pixelgeologi, der i Mike She version 2001 stadig var på udviklingsstadiet, blev lagt ind via en almindelig teksteditor og var endnu ikke implementeret i GUI'en til Mike She. Brugen af pixelgeologi frembød nogle store fordele i forhold til Bornholms alt andet end plan parallelle forkastede undergrund. Det blev derfor besluttet at satse på en pixelgeologisk tolkning frem for mere traditionel lagtolkning. For praktisk anvendelse af den hydrologiske model blev det foretrukket at have en hydrostratigrafisk lagfølge som i overvejende grad skulle følge magasinerne på de store kildepladser. Den hydrauliske ledningsevne inden for hvert hydrostratigrafisk lag blev udregnet af modellen ud fra den pixelgeologiske tolkning.

Der er udtrukket hydrauliske ledningsevne fordelinger ud for hvert af de hydrostratigrafiske lag i den gamle DK-model og disse er sammenlignet med tilsvarende fra samme model opstillet i den nye Mike She version. Sammenligningen viser at de hydrauliske egenskaber for beregningslagene ikke er ens. Forespøgelser hos DHI angående problemer med ledningsevne tyder da også på at der er sket en fejlretning i den numeriske kode 2004 i forbindelse med en opgave DHI havde for Århus amt hvor pixel geologi også var anvendt. Det har ikke været muligt at finde et "release_note" dokument hvor fejlretningen er beskrevet.

Herudover er der en lang række mulige fejlkilder, som også kan tænkes at påvirke den resulterende hydrauliske ledningsevnefordelinger inden for lagene. Mest oplagt var indtastnings fejl pga. anvendelse af tekst editor frem for GUI, men muligheder for ændring i placering af hydrostratigrafiske lag ved konvertering fra T2 til dfs2, ændringer i pixelfordelingen

for de enkelte horisonter osv. listen er næsten uendelig. I opdateringsproceduren er en lang række af disse fejlmuligheder forsøgt belyst, og alt tyder således på, trods enkelte af de mulige fejlkilder blev fundet og afklaret, at skiftet, fra en model hvor pixelgeologi muligheden endnu ikke var fuldt implementeret til nuværende version, har betydet en ændring i de resulterende hydrauliske egenskaber pr lag.

Forskelle i de resulterende hydrauliske egenskaber inden for de enkelte lag, har åbenlys betydning for model simuleringerne, hvilket også bliver afspejlet i performance målt på RMS i forhold til trykniveau simuleringer og R2 samt Fbal i forhold til vandløbs afstrømninger. Det giver således ikke umiddelbart mening at anvende modellen til scenarie kørsler, før en egentlig ny kalibrering af modellen i version 2008 er gennemført. Samtidigt giver det heller ikke mening at sammenligne version 2001 performance med version 2008 hvor geologien er opdateret mht. sprækkedale og jordartskort, da pixel geologi problemstillingen fuldstændigt vil dominere model performance.

Problemer angående vandløbsopsætning

Anvendelse af Mike11 til håndtering af vandløbsafstrømningen sammen med Mike She som grundvandsmodel var på infantiltstadiet i version 2001. Udviklingen af Mike11 har sidenhen bl.a. åbnet op for flere forskellige løsningsrutiner og tidslig diskretisering. Praktisk set er opdateringen smertefri, alt hvad der kræves er at det daværende setup åbnes og gemmes. Men de bagved liggende opdateringer har åbnet op for nogle mere effektive løsningsrutiner, der kan gøre model simuleringerne hurtigere (og rigtigere). En sideeffekt er at det nu er praktisk muligt at tjekke løsningsrutiner mod hinanden. I tidligere versioner af DK-model Bornholm (MikeShe2001 såvel som MikeShe2004) er der anvendt kinematik routing med Musink Cum Grunge transformation, en stabil løsning som desværre ikke nødvendigvis er massebevarende. Der er gennemført flere simuleringer med forskellige løsningsrutiner for at sammenligne i forhold til performance, og resultaterne heraf viser en påvirkning af R2 og Fbal.

En delkonklusion er at den tidligere valgte løsningsrutine ikke var masse bevarende, dvs. vandfluxen fra grundvand, dræn og overfladisk afstrømning indenfor de enkelte deloplande til Mike 11 blev ikke modsvaret af samlet afstrømning i Mike11. Modellen, som er kalibreret til afstrømninger simuleret i Mike11, vil derfor være behæftet med ikke tidligere erkendte fejl. Som en del af opdateringen er det derfor valgt at benytte den forholdsvis simple kinematik routing med "no discharge transformation", som er massebevarende og stabil ved selv forholdsvis store tidsskridt (12 timer). Ulempen ved dette skift er at modellen bør kalibreres på ny, for at sikre at performance er i orden.

Cellestørrelse i forhold til dalstrukturer og problemer med maksimum antal beregningsceller i Mike She

Den geologiske model for sprækkedalene er i ArcGis opstillet og tilrettet i et 25m grid. Flytningen til Mike She er ikke helt problemfri, da et numerisk grid i 25m og 6 beregningslag medfører et for stort antal beregnings celler til at Mike She kan håndtere det. Tilsvarende gælder ved 50m grid. Den umiddelbare løsning er at håndtere den geologiske model i det

fine 25m grid, mens det numeriske holdes i 250m grid. Problemet herved er dels at linse-afgrænsningen (efter ub-merge.shp) ikke vil være kontinuert indenfor de enkelte sprækkedale og dels at Mike She automatisk omregner bunden ud fra det finere 25m grid til det numeriske 250m grid. Disse beregninger gør tilsyneladende at modellen ikke kan initialisere (pre-processere). Som løsning er det valgt at aggregere 25m griddet til 250m grid direkte i ArcGis både hvad angår linse afgrænsningen (ub-merge250.dfs2) og bund afgrænsningerne for kvartæret (brk-kvtb250.dfs2), 10 m opsprækket Prækvartær (brk-kvtb250-10m.dfs2) og 25 m zonen ifm. forkastningerne (brk-kvtb250-25m.dsf2). Udbredelsen og top og bund for lerlinserne i sprækkedalene er bibeholdt i 25m grid, da det ikke giver problemer formodentlig pga. uniform dybde afgrænsning pr. linse.

Fremtidige opdateringer og anbefalinger

Metodik for udskiftning af pixel-geologi og indarbejdelse af lokal specifik geologi

Den valgte metode med at indarbejde ny geologisk viden via linsearbejdet er til trods for gridproblematikken, en meget fleksibel og nem metode at anvende. Metoden kræver for at fungere optimalt, at det geologiske tolknings arbejde sker via traditionel horisontal/lag tolkning. Hertil kræves der yderligere at det er muligt at lave en arealafgrænsning af området hvor der skal opdateres og at man vil være i stand til at lave en flade beskrivelse af de enkelte enheder. I denne opgave er der benyttet en interpolations rutine hentet fra overflade hydrologisk modellering, som kan udnytte tolknings punkter, konturer og linje elementer direkte i interpolationen. For udvikling af flader til beskrivelse af dalstrukturer har det været en stor fordel at kunne bruge beskrivelser af dalforløb direkte i interpolationen.

De enkelte pixler kan også udskiftes direkte, men det vil formodentlig kræve en vertikal tolkning, dvs. fladesnit med pixler i samme dybde, for at kunne lave en udskiftning som er konsistent med den oprindelige konceptuelle model. Metodik for pixel udskiftning er ikke aftestet i denne opgave.

Anvendelse af nye topografiske data

Sammenligningen mellem den oprindelige topografiske model i 250m grid og den nye topografiske model i 1,6m grid viser ganske store topografiske variationer indenfor de enkelte grid. Topografiske variationer som formodentligt langt overstiger den øgede topografiske præcision, den gamle topografi var baseret på grunddata fra top10dk med en usikkerhed på 2,5 meter, det nye sæt vil efter opretning formodentlig have en usikkerhed på cm niveau. Den nye topografiske model har i opgaven været brugt til opretning af flade beskrivelser i 25m grid, dvs. der er sørget for at de interpolerede flader ikke krydser topografien, samt at en øverste lerlinse ligger under det øverste jordartslag (3 mut.).

Der er desuden dannet en terrænmodel i 25m grid baseret på de nye topografiske data.

Udnyttelse af referenceramme ved opstilling af lokale modeller samt metodik

DK-model Bornholm kan udgøre en reference ramme for opstilling af lokale modeller, både hvad angår randbetingelser og struktur. Den geologiske model for sprækkedalene ligger i et 25m såvel som 250m grid, navngivet på samme måde bortset fra 250 betegnelsen bagerst i filnavnet på 250m grid filerne, f.eks. brk-kvtb.dsf2 (25 m grid over bunden af kvartæret) og brk-kvtb250.dfs2 (samme i 250 m grid). Model og modelgrid leveres særskilt, ligesom ArcGis data med tilknyttet metadata til de enkelte filer der gør det muligt at se interpolations metode osv.

Generelle bemærkninger

De fleste bemærkninger er gengangere tjeklisten i den tidligere model rapport (Trolborg et al 2006):

Kalibreringsmetodik

- middelvandføring inddrages i stationær invers kalibrering (så ikke kun trykniveau benyttes til optimering)
- kriterium for afvigelse i forhold til minimumsvandføring inddrages i dynamisk invers kalibrering – metodik er ved at blive udarbejdet i forbindelse med Novana opdateringen af den resterende del af DK-modellen. Erfaringerne fra arbejdet vil med fordel kunne udnyttes i ny kalibrering af DK-model Bornholm.

Vandbalance input

- Vådomyråder, altså områder med potentiel fordampning året rundt, forøges fra ca. 4-5 % til ca. 10-15 % af arealet (som benyttet for øerne) => vil betyde at både max. og min. afstrømninger ændres; max. afstrømning vil forøges og min. afstrømning reduceres. Erfaringer fra Novana opdateringen med brug af simple direkte koblede fordampnings rutiner (populært kaldet two-layer model) kan bidrage til en mere dynamisk beskrivelse af vådområder.
- Fordampningen i områder med sprækkestrømning er et pionerområde under danske forhold; der foretages en revurdering af fordampning fra 'detention storage' (overflader f.eks. i granitområdet og sandstens-områder) for de forskellige arealtyper
- Pejletidsserier bør inddrages i den dynamiske del af kalibreringen

Model struktur

- der foretages en manuel dynamisk fin-kalibrering af overflade-struktur-forhold og vigtige dynamiske parametre: f.eks. vådområde- og dræn-udstrækninger, dummy koefficienter og drænkoefficient, ålækagefaktor og frie magasintal med henblik på bedre kalibrering i forhold til synkronmålinger / enkeltobservationer for forskellige strækninger

Parameterværdier

- distribuering af ålækagefaktor i to eller tre zoner

Observationsdata

- etablering af forbedret datagrundlag ved vandføring; de 3-4 vandføringsstationer giver, som vist, ikke et tilstrækkeligt godt grundlag for at vurdere vandbalancen for Bornholm og for at 'fange' evt. systematiske fejl på nedbørskorrektion og fordampning, der er behov for flere stationer med kontinuert registrering
- synkronpejlerunde og vandføringsmålinger for strækninger bør kunne indarbejdes i ny kalibrering
- den underjordiske afstrømning bør vurderes ved hjælp af håndberegninger ('ukendt faktor')
- pejlinger fra Jupiter databasen bliver mere og mere komplette og der er i Novana opdateringen udviklet en metodik hvor data kan hentes direkte fra Jupiter databasen ind i modellen og kalibreringen via ArcGis. Modellen kan med fordel opdateres med pejledata fra Jupiter databasen via denne metodik i det omfang at de komplementære de eksisterende data.

Referencer

- Det digitale Jordartskort 1:25.000, De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland, København, <http://www.geus.dk/departments/quaternaly-marine-geol/gis/j25-dk.html>
- Geologisk Set Bornholm, af *Peter Gravesen*, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, 1996, <http://www.sns.dk/raastof/netpub/geosetbornholm/>
- Troldborg, Lars, Hans Jørgen Henriksen og Per Nyegaard, 2006, DK-model Bornholm – modelopstilling og kalibrering, GEUS rapport 2006/31, Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse, København.