

Teknisk anvisning NOVANA: Hydrologiske modeller for Vanddistrikter

1. Opgavens formål

Det *overordnede mål* med en hydrologisk modellering af vandbalancen og grundvandsdannelsen på overordnet oplandsniveau (Vanddistrikt/VD) er at få bedre styr på vandbalancen og den udnyttelige grundvandsressources størrelse. VD model skal give kvalitetssikring af data, integration af data og feedback til inkonsistenser i konceptuelle modeller og inputdata til vandbalancen. VD model vil kunne bidrage til randbetingelser til modeller på mindre skala f.eks. OSD og endelig skal VD model kunne belyse grundvandsressourcens størrelse og udnyttelsesgrad under hensyn til klima, arealanvendelse og vandindvindingsstrategi.

Både grundvandsdannelsen til magasiner i forskellige dybde, påvirkninger i grundvandspejl og påvirkninger af afstrømningsregimet og minimumsvandføring som følge af klima, arealanvendelse og vandindvinding udgør centrale problemer.

Der er i øjeblikket udpeget 3 vanddistrikter i Danmark (og ét internationalt på grænsen mod Tyskland), og for hver af disse skal der opstilles en integreret hydrologisk model der beskriver såvel overfladevandssystem som grundvandssystem på en skala på 500x500 m (evt. finere hvor det vurderes formålstjenligt).

Det skal tilstiles at modellerne opstilles på vanddistriktsniveau. I de tilfælde hvor en opdeling af et vanddistrikt i submodeller er nødvendig, skal modelområderne afgrænses på basis af topografiske oplande og kystområder. Det er et væsentligt element i denne henseende at sikre en implementering af rimelige randbetingelser, der tager højde for, en eventuel væsentlig grundvandsafstrømning på tværs af submodellerne (udover randbetingelser kræves så vidt muligt konsistens også på tværs af submodellerne i modelstruktur, parameterverdier, inddata osv.)

Det er ønskeligt at VD modellen vil kunne anvendes som udgangspunkt for detailstudier, bl.a. ved udtræk af den overordnede konceptuelle model samt generering af randbetingelser. Det er derfor vigtigt, at den konceptuelle geologiske model forholder sig til OSD kortlægninger og modeller fra indsatsområder og ikke kun beskriver forholdene for vand distriktet som helhed. Vigtigt er ligeledes, at der i rapporteringen af den enkelte VD model foretages vurderinger af det nuværende datagrundlags egnethed, som grundlag for den konkrete integrerede model.

VD modellen skal kunne håndtere udvekslingen af vand mellem grundvand og overfladevand – og hermed også størrelsen og fordelingen af den ressource, der vil være til rådighed for afgrødevanding. Det er vigtigt, at modellen kan håndtere effekten af grundvandsoppumpningerne på vandløbene (påvirkning af regime og minimumsvandføring) og grundvandsforekomster (grundvandsdannelse og afsænkning af trykniveau), ligesom at modellen skal kunne give et bud på restressourcens størrelse under forskellige forudsætninger om klima, arealanvendelse og vandindvinding.

Det er ønskeligt, at der til vurdering af den udnyttelige grundvandsressource, anvendes et par indikatorer som foreslået i forbindelse med NOVA 2003 temarapport om ferskvandskredsløbet (DK-model) (Henriksen og Sonnenborg 2003). De to indikatorer fra temarapporten kunne passende være en indikator som vurderer udnyttelsen af grundvandsressourcen i relation til grundvandsdannelsen til grundvandsforekomster i forhold

til den nuværende oppumpning (Indikator 2). Der er i temarapporten benyttet krav på 30 % men da en væsentlig del af formålet med VD modellen er at give mulighed for en bedre integrering af vandkvalitet og -kvantitet, er det hensigten, at der ved simuleringer af grundvandsdannelsen til de konkrete grundvandsforekomster og påvirkninger af grundvandsspejl mv. fastlægges mere præcise skøn over udnytteligheden, hvor også data fra boringskontrollen er søgt inddraget sammen med data fra vandløb, GRUMO osv.

Udnytteligheden i relation til maksimal vandføringspåvirkning ved minimumsafstrømning skal baseres på Indikator 4 (max. påvirkning af vandføring i forhold til vandføring uden oppumpning på 5, 10, 15, 25 og 50% for henholdsvis vandløbsmålsætning A, B1, B2, B3, og C-F vandløb). Derudover skal der udarbejdes ”varighedskurver” for den samlede påvirkning af afstrømningsregimet, idet der som referencesituation vælges en situation uden oppumpning.

Endelig opstilles et par ”supplerende” indikatorer til beskrivelse af kvalitetsmæssig og recipientmæssig bæredygtig ressource, i det følgende benævnt indikator 5 og 6 (jævnfør Ferskvandets kredsløb terminologien).

Indikator 5 beskriver her hvor meget der kan pumpes på systemet uden at der sker afsænkninger af grundvandsspejlet i givne kontrolpunkter i grundvandet (det kan f.eks. være krav til grundvandsspejlet hvor der forekommer pyritholdige aflejringer der ved grundvandssænkning og iltning kan resultere i frigivelse af nikkel eller krav til påvirkning af gradientforhold f.eks. i punkter hvor der er risiko for saltvandsoptrængning eller -indsivning fra kystnære områder). Det undersøges hvilken oppumpning der er mulig uden at der opstår en konflikt mellem grundvandsstand eller gradientforhold i de definerede ”kontrolpunkter”. Indikator 5 kan herved give en vurdering i forhold til kendte problemområder når det gælder sammenhænge mellem grundvandsspejl og vandkvalitet.

Indikator 6 beskriver ændringer i afstrømning (”environmental flow”) belyst i form af varighedskurver for det samlede afstrømningsregime ved udpegede kontrolpunkter i vandløb. Der foretages i simuleringer af afstrømningsregime (”varighedskurve”) uden oppumpning og ved forskellige oppumpningsintensiteter, klimainput og arealanvendelse. Krav til hvor meget regimet / varighedskurven må ændres ved oppumpning fastlægges ud fra en nærmere vurdering af variable for ”recipient- og habitatforhold (hastighed, dybde, substrat mv.). Herved vil indikator 6 supplere indikator 4 med hensyn til udnyttelig ressource under hensyn til vandløbspåvirkning.

VD modellen skal etableres, så den kan give en kvalitetssikring af den aktuelle forståelse af vandkredsløb og vandbalance og integrere data bl.a. sammenhænge mellem grundvandsforekomsterne og vandløb og betydning af lavpermeable formationer (sammenhænge mellem grundvands- og vandløbstypologier) med henblik på en vurdering af konsekvenser af eksisterende og fremtidige indvindingsanlæg (herunder betydning af klima og arealanvendelse). VD modellen skal give en overordnet beskrivelse af grundvandsdannelsens størrelse og fordeling til de enkelte grundvandsforekomster og for VD som helhed, give overblik over vandbalancen for de enkelte grundvandsforekomster samt VD som helhed samt belyse de regionale strømningsforhold og grundvandskel.

Formålet med NOVANA modelleringen (VD-model) er:

1. At foretage en GIS baseret sammenstilling og vurdering af datagrundlaget for området som grundlag for opbygning af en integreret hydrologisk model, som sammen med indsamling af eksisterende og

supplerende data skal munde ud i en konceptuel hydrologisk model for vanddistriktet (VD). Den konceptuelle hydrologiske model ønskes "evalueret" ved opstilling, kalibrering og validering af en stationær og dynamisk regional numerisk strømningsmodel (f.eks. DAISY/MIKE SHE/MIKE 11 eller tilsvarende), i forhold til observationer af trykniveau og afstrømning, for derved at påpege inkonsistens i data og forståelsen af vandbalancen.

2. At foretage simuleringer af vandbalancer og grundvandsdannelser til de enkelte grundvandsforekomster (herunder betydning af klimavariation) i området og udpege overordnede grundvandsoplande og hydrologiske rammebetingelser for indsatsområder
3. At foretage simuleringer af den udnyttelige grundvandsdannelse for VD under hensyntagen til klimavariation, grundvandskvalitet og vandløbspåvirkning. Opgørelsen skal ske for grundvandsforekomster. Opgørelsen baseres på vurderinger af acceptable udnyttelsegrader i forhold til grundvandsdannelsen (kvantitet og kvalitet) til de konkrete grundvandsforekomster samt i forhold til acceptabel påvirkning af minimumsafstrømningen og afstrømningsregimet i vandløb. På dette grundlag kvantificeres udnyttelsesgraden herunder restressourcen, der er til rådighed til vandværker, industri og erhvervsindvinding (f.eks. landbrugsvanding).
4. At fastlægge og belyse variationer i vandbalancer og randbetingelser til lokalmodeller (i tid og sted). Her tænkes både på ydre randbetingelser (f.eks. beliggenhed af grundvandsskel og gradientforhold) samt grundvandsdannelse og vandbalancer for de enkelte indsatsområder, incl. identifikation af usikkerheder på inputparametre og modelstruktur/geologi for disse områder

Overordnet metodik

Opgaven udføres jf. retningslinier for opstilling af grundvandsmodeller /1, 2/ og opgaven udføres efter en faseopdeling jf. følgende plan for modelarbejdet:

- Modelstudieplan
- Opstilling af konceptuel model og nettonedbørsberegning for VD
- Modelopstilling og nøjagtighedskriterier
- Kalibrering og validering
- Modelsimuleringer og usikkerhedsvurderinger

Indhold i VD-modelleringen

Modelstudieplan

Det første trin i en modellering for VD er en specifikation, af den modellering der skal foretages herunder kendte problemer med opfyldelse af målsætninger for overfladevand og grundvand.

Følgende domæner skal indgå:

- nedbør/fordampning/vegetation/jordbundsforhold/dybde til grundvand/ nettonedbør
- overfladevandssystemet/terræn/dræn/vandløb

- grundvand

VD modellen skal arbejde ud fra et krav til "høj kompleksitet", som giver mulighed for at beskrive vandbalance og tilstandsvariable (flow, vandstand) med en detaljeringsgrad, der kan give det nødvendige overblik på VD skala. Der sigtes mod planlægning/overvågning.

Deltagende aktører i modelarbejdet på VD skala skal beskrives herunder deres rolle. Interessenter der planlægges inddraget beskrives. Hvis der indgår andre relevante relationer beskrives det (f.eks. forskning).

En oversigt over de grundvandsforekomster der fra udgangen af 2004 skal gennemgå en videregående karakterisering vil blive indarbejdet i modelstudieplanen for VD modellen.

Hensigten med VD modellen er bl.a. at sætte de enkelte vandforekomster i sammenhæng med hinanden og i forhold til det hydrologiske kredsløb på oplandsniveau.

Der udarbejdes en statusrapport som indeholder modelstudieplan for perioden 2005-2009 for de følgende milepæle.

Opstilling af konceptuel model og nettonedbørsberegning

Konceptualiseringen skal indeholde følgende beskrivelser:

- systembeskrivelse og tilgængelige data
- indsamling og præprocessering af rådata (f.eks. GIS)
- behov for yderligere data
- definition af modelstruktur
- beskrivelse af processer
- parameterisering
- opsummering af konceptuel model og antagelser / alternative konceptuelle modeller
- processering af modelstruktur data
- valg af modelkoder og rapportering og opdatering af modelstudieplan
- review af konceptualisering og modelstudieplan

Dataanalysen omfatter gennemgang af eksisterende data for området og vurdering af følgende elementer. Så vidt muligt skal datakvaliteten og vurderet usikkerhed fremgå i tilhørende GIS-tabeller:

- a) Analyse af ydre randbetingelser (kontakt mellem grundvandsmagasiner og hav).
- b) Hovedvandløb og større tilløb med tværsnitsdata, koordinater, lækagekoefficient for vandløbsbund, evt. regulering af vandløb, væsentlige bygværker mv., samt evt. QH kurver for målestationer/øvrige målepunkter.
- c) Medianminimumsafstrømning (koordinater og datasæt fra flere runder, hvis sådanne foreligger); de indsamlede data ønskes analyseret og afbildet på temakort (opgjort på delstrækninger), med henblik på vurdering af rumlige variationer i grundvandsafstrømningen til vandløb, og vurdering af anvendelse i forbindelse med "kalibrering/validering" af den stationære model.

- d) Data fra faste afstrømningsstationer (koordinater og tidsserier med daglige værdier); der ønskes en analyse af afstrømningstidsserier for registreringsperioden med henblik på beskrivelse af tidlige variationer og dynamik for en længere årrække.
- e) Pejledata (synkronpejlinger, Jupiter database og pejletidsserier for perioden 1990-); ud fra pejleserier vurderes tidlige variationer i forskellige geologiske lag, så der kan estimeres en ”standardafvigelse” på benyttede synkronpejledata eller data fra Jupiter databasen, som forventes anvendt til stationær kalibrering.
- f) Beregnet nedbør/fordampning eller nettonedbørsfordeling i området og tidsserier for perioden 1990- bestående af daglig nedsivning fra rodzonen beregnet med en rodzonemodul (f.eks. Daisy GIS eller tilsvarende). Baseres på nedbørskorrektion jf. håndtal 1961-90, Makkink fordampning og afgrødekoefficienter for de enkelte vegetationstyper; forslag til benyttede afgrødekoefficienter og betydning af evt. fejl på nedbørskorrektion og fordampning bør beskrives.
- g) Topografi baseres på top10 DK fra Kort- og Matrikelstyrelsen, eller andet grundlag såfremt der er andre bedre muligheder.
- h) Vegetationsfordeling. Forenklet i udvalgte typer fx skov, åbent land, vådområde, og forskellige typer landbrug.
- i) Data for vandindvindinger. Indvinding på kildepladser skal, i det omfang det lader sig gøre, fordeles ud på borer med koordinater, top og bund af filter. Som minimum benyttes årlige indvindingsmængder for perioden 1990- for samtlige vandforsyninger, erhvervs- og industriindvindinger, samt evt. øvrige oppumpninger af betydning for vandbalancen. Markvanding og andre indvindinger med stor tidlig variation skal beskrives med årstidsvariationer i oppumpning. Håndtering af markvanding i modelmæssig sammenhæng kan ske ved at der foretages simuleringer af vandingsmængder med rodzonemodulet, som efterfølgende fordeles ud på de enkelte borer, men som minimum skal det eftervises ud fra indberettede data, at modelberegningerne svarer til de faktisk opgjorte mængde for de enkelte år.
- j) Hydrauliske parametre (horisontal og vertikal hydraulisk ledningsevne og frie/artesiske magasintal) bestemmes på baggrund af eksisterende prøvepumpninger, Jupiter data mv. (koordinater, filtertop og - bund). Data baseret på længerevarende prøvepumpninger i området bør sammenstilles og indgå som en del af grundlaget for fastsættelse af parameterverdier og rumlig fordeling i disse, samt i specifikationen af frie og faste parametre i kalibreringen.
- k) Drænforhold (dybde, parameterverdier, evt. områder som ikke er drænet). Dræn kan afhængigt af det valgte rodzonemodul indarbejdes i såvel rodzonemodul som grundvandsmodel. Problemet med dræn er imidlertid at de faktiske drænforhold i praksis ikke er kendte. I Danmark hvor 95 % af samtlige vandløb er regulerede er det normalt en god antagelse på VD skalaen at forudsætte at samtlige områder med højtliggende grundvandspejl er drænede eller har grøfter som virker på samme måde som kunstige dræn. I områder hvor grundvandspejlet ligger i større dybde (f.eks. dybere end drændybden på typisk 0,5-1 m) vil det ikke betyde noget at der modelteknisk ligger dræn i grundvandsmodellen. Derfor etableres modellen med dræn beliggende i hele VD i grundvandsmodellen. I det omfang det er muligt at foretage en distribuering af parameterverdier for drænkoefficienten (fx i 2-3 kategorier) kan dette anbefales f.eks.

baseret på kendskab til dræn, grøfter mv. Afvandede områder, - drænsystemer, pumpemængder mv. beskrives ud fra eksisterende data.

Den konceptuelle hydrogeologiske model skal beskrives og illustreres grafisk med profiler-, fence-, eller blokdiagrammer, og der skal gives en beskrivelse af de regionale strømnings- og vandbalanceforhold, samt modellerede processer i vandkredsløbet, ligesom forslag til zoner af parameterverdier (herunder valg af frie og faste parametre, samt angivelse af variationsramme for samtlige parametre). Evt. begrænsninger i datagrundlaget eller i kendskabet til den konceptuelle model beskrives ligeledes grundigt. Usikkerhed på hydrogeologisk model mht. 1) datatæthed og 2) geologisk kompleksitetsgrad vurderes.

Der ønskes så vidt muligt anvendt uniforme parameterverdier for hydraulisk ledningsevne for geologiske enheder og for vandløbslækage hvor det er muligt. Det er vigtigt at der tilvejebringes en så gennemskuelig model som muligt med så få parameterzoner som muligt (så modellen ikke bliver underbestemt i forhold observationsdata).

Nettonedbør

I en grundvands-vandløbsmodel gives nettonedbøren som input, og er dermed randbetingelse for modellen. Kortgrundlaget for nettonedbørsberegningen dækker over jordtyper, arealanvendelse, klima og dræn/grundvandsforhold. Data for de fire typer klassificeres og kombineres med de øvrige til at give et antal unikke kombinationer, for hvilke der beregnes en nettonedbør f.eks. ved hjælp af DAISY eller tilsvarende metodik.

Der skal som minimum foretages beregninger af nettonedbør på baggrund af daglig korrigeret nedbør, potentiel fordampning og temperatur for et udvalg af jordtyper/arealanvendelsestyper for perioden fra 1990 og frem.

Når nettonedbørsberegningen er gennemført kan det anbefales at opstille en vandbalancen for de målte oplande og vurdere de samlede led i vandbalancen (incl. underjordisk afstrømning). Evt. kan der være behov for at genberegne nettonedbøren med rodzonemodellen med nye parameter- og eller nedre randbetingelser for rodzonemodellen (hvis resultaterne ikke svarer til det ønskede jf. nøjagtighedskriterier). Først når den samlede integrerede hydrologiske model er færdig kalibreret og valideret er nettonedbørsberegningen helt færdiggjort.

Det vil sige at der meget ofte kan være behov for at gentage både simuleringer med grundvands-overfladevandsmodel og rodzonemodell indtil der opnås rimelig konsistens i den samlede vandbalance og antagelserne af f.eks. nedre rand i rodzonemodellen eller nettonedbørsinput i grundvands-overfladevandsmodellen. Det kan kræve 2-3 iterationer.

Det vil på dette tidspunkt være en god idé at sammenligne beregningerne med tidligere undersøgelser samt resultater af f.eks. DK-modellen.

Modelopstilling og nøjagtighedskriterier

Der forudsættes opstillet en 3D numerisk strømningsmodel med henblik på akvifersimuleringer, det vil sige med et højt krav til modellens beskrivelse af strømningsforhold i 3 dimensioner, samt tidslige variationer, og udveksling mellem grundvand og vandløb.

Der skal foreligge en nærmere beskrivelse af princip for fastlæggelse af beregningslag. Den regionale model diskretiseres horisontalt i max. 500 x 500 m kasser. Anvendes en grovere diskretisering (1x1 km) skal argumentation herfor beskrives.

Vandløb og vandudveksling mellem vandløb og grundvand implementeres i en stationær model og beskrivelsen detaljeres yderligere i forbindelse med udbygning til ikke stationær model, med f.eks. distribuering af "processen" for beskrivelse af vandudveksling (fx direkte kontakt, vertikal tryktab, horisontal og vertikal tryktab), parameterverdier for vandløbsbundens hydrauliske ledningsevne / lækagekoefficient samt en detaljeret beskrivelse af vandføringssevne og fysiske forhold som har betydning for vandspejlsvariationer.

Oppumpninger indbygges og fordeles på hver enkelte indvindingsboring / filtersætning over beregningslagene i den numeriske model.

Observationsdata ("targets") udvælges og indbygges i modelopstillingen (tryk-niveauobservationer og afstrømninger).

Der ønskes en beskrivelse af kvantitative kalibreringskriterier ved den stationære kalibrering. Nærmere beskrivelse af kalibreringsprocedure og -kriterier indarbejdes.

Udover de kvantitative kriterier skal benyttes følgende kvalitative kriterier: (1) De estimerede parametre skal have realistiske værdier. (2) Residualerne skal være fordelt fornuftigt både i tid og sted. (3) Områdets hydrologiske karakteristika skal kunne reproducere af modellen.

Der skal i forbindelse med modelopsætningen udarbejdes potentialebilleder for det primære magasin ud fra observerede data, som kan benyttes ved vurdering af kvalitative kriterier, ligesom øvre og nedre grænser for de enkelte parameterverdier skal angives ud fra litteratur og hydrauliske prøvepumpningsdata fra området. Der ønskes en præcis reference til benyttede startværdier og ranges.

Modellen anbefales opsat med så få frie parametre som muligt. Det kan anbefales at arbejde med en kalibreringsstrategi i flere trin, hvor modellen gradvist forfines og parameterverdier kalibreres for både stationær og dynamisk model. Strategien formuleres så den omfatter samtlige modeldomæner dvs. grundvand, overfladevand og nettonedbør.

De ikke stationære modeller skal kalibreres for en udvalgt delperiode og valideres på baggrund af uafhængige data for en anden udvalgt delperiode (f.eks. 1991-2000 og 2001-2008) ud fra pejletidsserier og afstrømningsdata. Proxy basin tests kan evt. gennemføres i samarbejde med "nabo-vanddistrikt". Differential split sample tests kan gennemføres for områder hvor der i perioden 1990- er datagrundlag herfor (f.eks. vandværker der er blevet lukkede eller nye vandværker eller andre større indgreb i vandkredsløb der er etableret, og hvor der foreligger f.eks. trykniveau og afstrømning fra en periode både før og efter ændringen).

Som starttrykniveau skal anvendes data fra den tilsvarende stationære model. Modellen skal kunne foretage ikke stationære simuleringer på baggrund af data for nedbør/fordampning eller nettonedbør på daglig basis. Det påregnes, at der er behov for en opvarmningsperiode på mindst 3 år på flow, forudsat at der benyttes hotstartfil fra en stationær kørsel og tidsseriedata derfor skal indbygges for perioden 1990- .

Procedurer og kriterier for kalibrering og validering af ikke stationære modeller samt forslag til usikkerhedsvurdering skal indgå.

Der skal efter afslutning af milepæl 3 redegøres for modelopstillingen, valgte ydre og indre randbetingelser, opsætning af beregningslag, beregning af grundvandsdannelse, oppumpninger, benyttede initialværdier.

Udfra en første kørsel med den stationære og ikke stationære model og bestemte kvantitative kalibreringsmål (fx ME, RMS, SE eller $R^2 / 1,2/$), skal der være udarbejdet nøjagtighedskrav til slutmodellen, efter endt kalibrering.

Efter den første kørsel vurderes det om der skal foretages justeringer af den konceptuelle model eller nettonedbørsinputtet. I givet fald revideres disse opstillinger / beregninger.

Kalibrering og validering

Den stationære model kalibreres inverst i henhold til kalibreringsprotokollen (jf. Ståbi, kapitel 10 i Henriksen et al. 2000).

Observationsdata og kalibreringskriterier er opstillet og vurderet i forbindelse med modelopstillingen og omtalt ovenfor. Under kalibreringen skal der først udvælges de parametre, der skal indgå i den stationære inverse kalibrering. Dette forudsætter en analyse af det fysiske system og en sensitivitetsanalyse af de enkelte parametre. Det kan evt. være nødvendigt at inddrage randbetingelser, grundvandsdannelse og andre forhold, såfremt der er systematiske uoverensstemmelser mellem simulerede og målte trykniveauer og grundvandsafstrømninger.

Udvalgte resultater fra denne indledende kalibrering skal beskrives på plot.

Resultaterne af den inverse kalibrering skal vurderes i forhold til opstillede variationsrammer for de enkelte parametre. Såfremt den inverse kalibrering kommer ud med urealistiske parameterværdier eller er følsom overfor startgæt, skal der foretages en revurdering af kalibreringsparametre og en gentagelse af den inverse kalibrering.

Der skal foretages en nærmere analyse af kalibreringsresultatet med en angivelse af hvilke delområder eller parameterværdier, der er godt eller dårligt kalibreret, i forhold til gennemsnittet.

”Kalibreringsstatistik” skal beskrives udførligt i modelrapporten jf. anvisninger i Ståbi kapitel 10.

Det skal vurderes om kalibreringsstatistikken opfylder de opstillede nøjagtighedskriterier. Hvis ikke skal mulige forklaringer angives.

Der skal (i lighed med under kalibrering) foretages en nærmere analyse af valideringsresultatet, med en angivelse af hvilke delområder eller parameterværdier, der er godt eller dårligt kalibreret, i forhold til gennemsnittet.

”Valideringsstatistik” skal beskrives udførligt i modelrapporten med samme metodik som ”kalibreringsstatistik”, for trykniveau- og afstrømningsdata. Eventuelle årsager til en utilfredsstillende valideringsresultat skal forklares (fx overparameterisering eller manglende volumen og/eller kvalitet af datagrundlaget benyttet ved kalibrering).

Efter afsluttende validering foretages følsomhedsanalyser eller beregninger med alternative konceptuelle modeller for at vurdere hvilken betydning usikkerheden på modelstruktur, data og tolkning bevirker på områdets vandbalance og grundvandsdannelse. Det skal i forbindelse med følsomhedsanalysen vurderes om resultaterne af analysen er med til yderligere at kvalificere modellens troværdighed og nøjagtighed i forbindelse med simuleringer.

Der skal udarbejdes en tabel der sammenfatter ”simulerings mål”, ”kilder til usikkerhed”, ”mulig håndtering i usikkerhedsvurdering”, og ”betydning”:

VD usikkerhed	Kilde til usikkerhed	Mulig håndtering	Betydning
Grundvandsdannelse	- Hydraulisk ledningsevne (Kz) for moræner - Nedre rand i rodzonemodul - Osv.	- Sensitivitetsanalyse ud fra konfidensintervaller - Sensitivitetsanalyse	- Stor - Moderat
Vandbalance	- Underjordisk afstrømning til havet - Inputdata fra rodzonemodul - Osv.	- Alternativ konceptuel model / randbetingelse - Sensitivitetsanalyse	- Stor - Moderat
Minimums-afstrømning	- Lækagekoefficient for vandløbsbund - Geologisk model for ådal - Hydraulisk ledningsevne for kalkmagasin	- Sensitivitetsanalyse - Alternativ konceptuel model - Sensitivitetsanalyse	- Lille - Stor - Moderat
Og så videre			

Modelsimuleringer og usikkerhedsvurderinger

Der skal defineres og gennemføres en ”referencekørsel”, som de øvrige simuleringer kan sammenlignes med. Der gennemføres såvel en stationær som en ikke stationær referencekørsel.

Herefter gennemføres simuleringer af vandbalance for opland og grundvandsforekomster. Indikatorer beregnes under forskellige antagelse om klima og vandindvinding (1990 -). Der foretages simuleringer ved 3 alternative arealanvendelsesscenarier (f.eks. udvalgt for 1990, 2000 og 2010). Usikkerhedsvurderinger med enten sensitivitetsanalyse eller alternativ konceptuel model.

Der foretages simuleringer med både stationær og dynamisk model.

Der etableres en simuleringsdatabase for de forskellige kombinationer af vandindvinding (0, 50 %, 100 % og 150 %), arealanvendelse og nettonedbør (1990-). Udtræk af vandbalancen for hvert år med både stationær og dynamisk model præsenteres i tabel for hvert år og med plot for periodemidler.

Der foretages beregninger med den dynamiske model for perioden 1990- med faktiske oppumpninger hvor vandbalancen for hvert år præsenteres grafisk for VD og grundvandsforekomster. Afstrømning til vandløb opgøres på overfladisk afstrømning, drænastrømning og grundvandsafstrømning og præsenteres for

udvalgte vandløbspunkter med daglige værdier. Trykniveau i grundvandet præsenteres med tidsserier ud fra dynamiske model.

Udnyttelig ressource for hver af de 4 indikatorer vurderes ud fra beregninger med stationær (indikator 2 og 5) og dynamisk model (indikator 4 og 6).

Hvis ikke de udførte simuleringer virker troværdige gentages milepæl 1-4, og simuleringer foretages herefter.

Vurdering af usikkerheden jf. milepæl 4 gennemføres og usikkerheden på simuleringens resultater med hensyn til usikkerhed på geologisk tolkning, parameter værdier, input værdier og modellens procesbeskrivelser belyses og sammenfattes i rapporten. Der forventes gennemført en usikkerhedsanalyse, hvor betydningen af usikkerheder på nettonedbør, arealfordeling af grundvandsdannelse, geologisk tolkning, parameter værdier og modellens procesbeskrivelser beskrives.

Der udarbejdes en standardrapport med et omfang og en disposition som beskrevet i Ståbi kap. 14 (Henriksen et al. 2000):

- Rapport titel
- Indholdsfortegnelse, figur-, tabel- og acronymliste
- Kapitel 1: Resumé
- Kapitel 2: Introduktion
- Kapitel 3: Teknisk approach
- Kapitel 4: Dataanalyse, geologisk karakterisering, opstilling af hydrogeologisk tolkningsmodel
- Kapitel 5: Modelstudieplan
- Kapitel 6: Modelopstilling
- Kapitel 7: Kalibrering
- Kapitel 8: Modelvalidering
- Kapitel 9: Begrænsninger i modellen
- Kapitel 10: Modelsimulering incl. usikkerhedsanalyser
- Kapitel 11: Konklusioner og anbefalinger
- Kapitel 12: Referencer
- Appendiks og bilag

Geologisk tolkningsprojekt (f.eks. Geoeditor projektfiler) og slutmodel indberettes til GEUS's modeldatabase.

Referencer

- /1/ Henriksen, H.J. et. al (2000) Ståbi i grundvandsmodellering. Kapitel 0-17 (http://vandmodel.dk/staabi_2000.htm). GEUS. 1. udgave.
- /2/ Henriksen, H.J. et. al (2000) Retningslinier for opstilling af grundvandsmodeller (http://vandmodel.dk/retningslinier-hoering_081200.pdf). Udkast til rapport for Miljøstyrelsen.
- /3/ Henriksen, H.J. og Sonnenborg, A. (2003) NOVA Temarapport. Ferskvandets Kredsløb. Maj. 2003.