

Vejledning – Stokastisk grundvandsmodellering & 3D grundvandsdannelse (ifm. SGO)

Introduktion & baggrund

Miljøstyrelsen har i forbindelse med Pilotprojektet på Fyn i 2023 og 2024 genbesøgt grundvandskortlægningens data og modeller, med det formål at kunne identificere områder, hvor risikoen for transport af uønskede stoffer til grundvandet er størst. Dette blev til de sårbare grundvandsdannende områder (SGO), der markerer arealer inden for indvindingsoplandene, hvor der kan ske forholdsvis stor grundvandsdannelse af relativt ungt vand fra terræn til almene vandforsynings indvindingsfiltre. I ”Vejledning – Sårbare grundvandsdannende områder (SGO)” /1/, kan man læse mere omkring baggrunden af SGO. På Bilag 1 ses et forsimplet workflow af arbejdsgangen ifm. stokastisk grundvandsmodellering og 3D grundvandsdannelse. På Bilag 2 kan det overordnede data workflow for stokastisk grundvandsmodellering, SGO-beregning og udstilling af data ses. På Bilag 3 ses et detaljeret workflow for beregningsprocesserne, der typisk skal udføres efter at der ligger en godkendt hydrologisk model (referencemodel). Der kan findes yderligere og mere dybdegående information i den tekniske gennemgang /5/.

Beregningerne af SGO forudsætter stokastiske modelkørsler fra terræn til indvindingsfiltrene, og der er i denne forbindelse et behov for ensartning af hvordan dette udføres. Derfor har Miljøstyrelsen lavet forestående vejledning til at beskrive det modellerings-tekniske input, der kræves for at beregne de sårbare grundvandsdannende områder.

I forbindelse med at der beregnes stokastiske modelkørsler til indvindingsfiltrene bør der også udregnes stokastiske modelkørsler til magasinerne, da dette kunne blive fordelagtigt ifm. en potentiel revision af OSD (områder med særlige drikkevandsinteresser). Hvis det vurderes givtigt skal der i samme ombæring også beregnes stokastiske indvindingsoplande.

3D Grundvandsdannelse

Retningslinjerne for beregninger i grundvandsmodeller fremover, kræver at der beregnes en 3D grundvandsdannelse. I en beregning af 3D grundvandsdannelse anvendes en partikelbanesimulering fra terræn til magasin/filter til at estimere, hvor på terræn grundvandsdannelsen sker, samt størrelsen heraf /2/. Med implementeringen af 3D grundvandsdannelse opnås et mere robust bud på hvor grundvandsdannelsen til magasinet/filteret sker. 3D grundvandsdannelsen bidrager foruden dette til et mere sikkert sårbarhedsgrundlag, da lokale forhold kan fordre at størstedelen af grundvandsdannelsen sker uden for magasinets udbredelse, projiceret til terræn /2/. Produktet mellem procentdelen af startpartikler, der når magasin/filter (registreringszonen) og den vertikale flux fra terræn bruges til at estimere 3D grundvandsdannelsen i mm/år og partikelbaneberegningerne anvendes til at estimere transporttiden fra en modelcelle/terræn til filter/magasin.

Stokastiske modelkørsler

For at imødekomme den iboende usikkerhed for grundvandsmodeller, skal der udføres stokastiske modelberegning for både magasiner og indvindingsfiltre. Stokastiske modelkørsler, er kørsler med forskellige parameterverdier, som anvendes til at belyse usikkerheden og variansen i modellen. Dette betyder, at der både skal laves stokastiske modelkørsler ift. indvindingsoplandene /4/, men også ift. 3D grundvandsdannelsen.

1. Grundlag

Referencemodellen (*grøn boks i Bilag 1*) og dens beregnede indvindingsoplande samt 3D grundvandsdannelse beregnes ofte på tilladelsesscenariet, men ifm. de stokastiske modelkørsler skal der opstilles et design, der kan anvendes til at beskrive usikkerheden i modellen. Den stokastiske basismodel er som udgangspunkt den samme som referencemodellen.

2. Følsomhedsanalyse og parameterudvælgelse

For at identificere og optimere antallet af parametre i sit parametersæt, man ønsker varieret ifm. de stokastiske modelkørsler skal der foretages en konkret vurdering, hvilket typisk vil medføre at der bør laves en følsomhedsanalyse.

Da fokus er at vurdere usikkerheden af 3D grundvandsdannelsen anbefales det som minimum at undersøge parametrenes følsomhed over for den vertikale grundvandsflux, Kz , især for de øvre dæklag/aquitardlag, da denne erfaringsmæssigt er en ret følsom parameter og betydende ift. grundvandsdannelses størrelse og udbredelse. Pejledata og vandføringsdata skal også indgå som faste parametre ifm. følsomhedsanalysen.

Der er ligeledes en lang række parametre, der kan være relevante til følsomhedsanalyse, og dette afhænger ofte af de lokale forhold og modellens natur:

- Horisontale/vertikale ledningsevne i alle lag
- Hydrauliske ledningsevner i jordlagene
- Roddybder til diverse afgrøder
- Dræntidskonstant, drændybden
- Vandløb og søers lækagekoefficient
- Inflow og outflow tidskonstant
- Manningtal for overflade afstrømning
- Befæstelsesgrad
- Randbetingelser

Den relevante hydrolog, med indsigt i modellen, besidder ofte viden omkring hvilke parametre, der er mest relevante ift. parameterudvælgelsen. Det bør dog altid laves en konkret vurdering, såfremt der ikke foreligger tilstrækkelige nødvendige erfaringer fra kalibreringen.

Modelspecifikt kan der opsættes forskellige typer af objektivfunktioner, men variationer af mean error (ME) og root mean square error (RMSE) af pejledata, vandføringsdata og den vertikale grundvandsflux er anbefalet.

Ud fra resultaterne af følsomhedsanalysen træffes en række valg og dette er en svær balancegang. Resultatet bør dog være en klar identifikation af de nødvendige parametersæt og dets tilsvarende antal modelkørsler, der med rimelighed kan beskrive variansen i modellen og data. Fokus bør være at beskrive udfaldsrummet for grundvandsdannelsen bedst muligt, da det er denne, som i denne kontekst er vigtigst.

Ifm. udvælgelsen anbefales det at anvende Latin Hypercube Sampling til at vælge modelparameterverdierne. Det er selvfølgelig en balance at medtage parametre, da antallet af modelrealisationer, nødvendig for at udspænde udfaldsrummet, vokser kraftigt med antallet af parametre. De udvalgte parametre defineres sammen med deres respektive spænd og ved Latin Hypercube Sampling genereres antallet af parametersæt nødvendige for at udspænde udfaldsrummet. Det er disse parametersæt der skal køres ifm. den stokastiske modellering.

3. Kørsel af stokastiske modeller

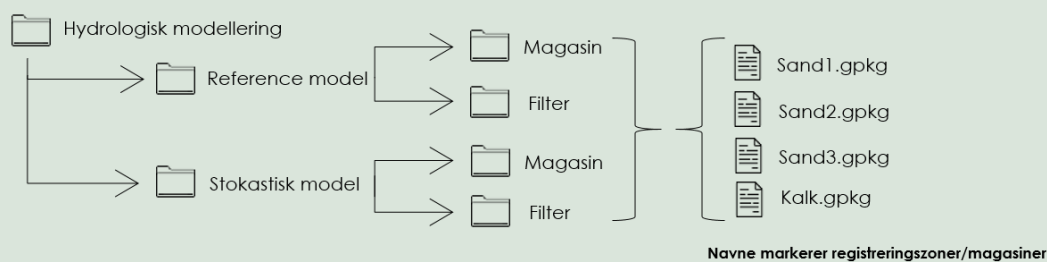
Efter følsomhedsanalysen, står man med et antal nødvendige modelrealisationer, der beskriver et realistisk parameterspænd for det antal af parametre som grundvandsdannelsen er mest følsom overfor. Opsætningen af partikelsimuleringen skal være ens over alle modeliterationerne, og det anbefales at 3D grundvandsdannelsen beregnes med en partikelkørsel som simulerer 500 år for dynamiske modeller. Der anbefales, at anvende 49 partikler per modelcelle fordelt i et jævnt 7x7 partikel grid. Partiklerne skal placeres 5% over bunden i det øverste beregningslag, en enkelt gang i starten af simuleringen (for dynamiske modeller betyder dette at partiklerne placeres på én valgt dato i efteråret for at minimere antallet af partikler, der løber til dræn). Partikelkørslerne opsættes således at partiklernes ankomst registreres i indvindingsmagasiner/indvindingsfiltre, kaldet registreringszoner.

Dataudtrækket fra hver modeliteration skal indeholde transporttiden (min, max, middel og median), procentdelen af startpartikler, der når magasin/filter (registreringszonen) samt 3D grundvandsdannelsen (produktet af procentdelen af startpartikler, der når registreringszonen og den vertikale flux fra terræn). Hertil kan Miljøstyrelsens leverede Processeringsværktøj /3/ anvendes til at processere rådata fra grundvandsmodellerne og lave statistik på tværs af det antal modelrealisationer, der for projektet er valgt. Den nødvendige dataformatering og –opsætning er beskrevet i næste afsnit. Alle resultater skal være magasinopdelte, så det nemt kan integreres i SGO-beregningerne.

Overlevering - grundvandsmodeller

Beregningerne af de sårbare grundvandsdannende områder udføres for nuværende af Grundvandskortlægningen. Dog er SGO-beregningerne afhængige af at resultaterne fra grundvandsmodellerne overleveres på en systematisk og retvisende måde. Det forventes at både referencemodellen, samt resultaterne fra de stokastiske modelkørsler opsættes og overleveres som ses i FIGUR . Modellerne skal opdeles i magasin og filter og hver mappe skal indeholde filer, hvor navnet antyder registreringszonen eller magasinnavnet.

Folderstruktur:



FIGUR 2. Folderstruktur til overlevering af resultatfiler fra grundvandsmodellering. Navnene på filerne må gerne justeres, men skal indeholde magasinnavne.

I de enkelte modelfiler er der også krav til navngivningen af attributterne. Attributterne der skal være med kan ses i TABEL 1. Processeringsværktøjet vil generere det nødvendige data i FIGUR 2 og TABEL 1 /3/.

TABEL 1. Data attributter samt forklaringer. Tekst i kursiv er for aflevering af de stokastiske modelkørsler. 3D_GVD_prb eksisterer kun for de stokastiske modelkørsler.

Attributter	Forklaring
Cell_ID	Celle id
zFlux	Middelværdi af den vertikale flux fra lag 2 <i>(for alle modelkørsler)</i>
3D_GVD	Middelværdi af 3D grundvandsdannelse til magasin/filter <i>(for alle stokastiske modelkørsler)</i>
NoPT	Antallet af partikler anvendt i partikelberegninger
PctPT / 3D_GVD_prb	Procentdel af partikler, der når magasin/filter. <i>(Sandsynlighed for at cellen har 3D grundvandsdannelse. Antallet af modeller med 3D grundvandsdannelse divideret med det samlede antal af modeller)</i>
TrvYr_avg	<i>(Middelværdien af)</i> Middeltransporttiden for partikler, der når magasin/filter
TrvYr_med	<i>(Middelværdien af)</i> Mediantransporttiden for partikler, der når magasin/filter
TrvYr_min	<i>(Middelværdien af)</i> Minimumtransporttiden for partikler, der når magasin/filter
TrvYr_max	<i>(Middelværdien af)</i> Maksimumtransporttiden for partikler, der når magasin/filter
TrvYr_std	<i>(Middelværdien af)</i> Standardafvigelsen af transporttiden for partikler, der når magasin/filter

Referencer

- /1./ Miljøstyrelsen (2024), Vejledning – Sårbare grundvandsdannende områder (SGO), udarbejdet af Miljøstyrelsen, september 2024
- /2./ Miljøstyrelsen (2024), Mølleåen – 3D grundvandsdannelse, udarbejdet af Rambøll, august 2024 (under udarbejdelse)
- /3./ Miljøstyrelsen (2024), Processeringsværktøj af rådata fra MIKE SHE og MODFLOW grundvandsmodeller, udarbejdet af Miljøstyrelsen, oktober 2024 (under udarbejdelse)
- /4./ Miljøstyrelsen (2024), Administrative retningslinjer for hydrologisk modellering og beregning af indvindingsoplande og grundvandsdannende partikler, ISBN: 978-87-7038-634-0, udarbejdet af Miljøstyrelsen, august 2024
- /5./ Miljøstyrelsen (2025), Tekniske gennemgang 3D grundvandsdannelse til SGO-beregning (under udarbejdelse)

Bilag 1

Hydrologiske beregninger til 3D grundvandsdannelse (input til SGO) og indvindingsoplande (Input til IOL) – Proces Workflow

Step 1

Fastlæggelse af hvilke kørsler der skal udføres for at sikre robusthed i resultater. Hydrauliske parametre udvælges baseret på følsomhedsanalyse om nødvendigt og parameter spænd fastlægges. Kørsler sættes op så hydrauliske parameter alle varieres på en gang.

Eventuelt øvrige vigtige parametre identificeres og der opsættes et antal kørsler til at teste betydningen af den/disse

Grundlag: Godkendt grundvandsmodel opsat m. tilladelsesværdier for indvinding (Referencemodellen)

Step 2:

Reference modellen, samt modeller med alternative modelparametres fra step 1 (stokastiske modeller) køres og der laves partikelbane simulering til bestemmelse af IOL samt 3D grundvandsdannelse til filter og magasin

Resultater fra alle enkeltkørsler (reference modellen og de stokastiske modeller) processers til GRUKOS format (MST leverer værktøj til dette)

Resultater fra alle enkeltkørsler (reference modellen og de stokastiske modeller) opsummeres til samlet output for henholdsvis IOL, og 3D grundvandsdannelse til magasin og filter til GRUKOS format (MST leverer værktøj til dette)

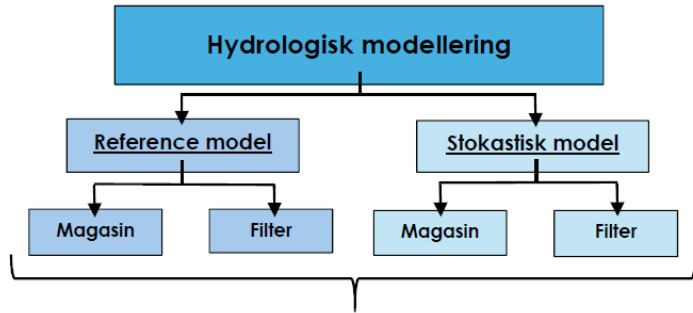
Step 3

Optegning af IOL: Udføres på baggrund af alm partikelbanekørsel samt stokastiske resultater

SGO beregning: Udføres af MST på baggrund af stokastiske 3D grundvandsdannelsesberegninger til filter

OSD: Stokastiske 3D grundvandsdannelse til magasin forventes at indgå som datainput (skal stadig afklares nærmere)

Sårbare grundvandsdannende områder (SGO) – Data Workflow



Dataleverance fra rådgiver

Folder struktur:

- Hydrologisk modellering
 - Reference model
 - Magasin
 - Sand1.gpkg
 - Sand2.gpkg
 - Sand3.gpkg
 - Filter
 - Kalk.gpkg
 - Stokastisk model
 - Magasin
 - Filter

Navne markerer registreringszoner/magasiner

Data attributter:

Cell_ID	zFlux	3D_GVD	NoPT	PctPT/3D_GVD_prob	TrvYr_avg	TrvYr_med	TrvYr_min	TrvYr_max
---------	-------	--------	------	-------------------	-----------	-----------	-----------	-----------

+ standard GRUKOS-kolonner → klar til aflevering

Attribut forklaring (kursiv for den stokastiske model):

- zFlux:** Middelværdi af den vertikale flux fra lag 1 (for alle modelkørsler) [mm/år]
- 3D_GVD:** Middelværdi af 3D grundvandsdannelse til magasin/filter (for alle stokastiske modelkørsler) [mm/år]
- NoPT:** (Middelværdien af) Antal af partikler, der når magasin/filter, (decimaltal)
- PctPT/3D_GVD_prob:** Procentdel af partikler, der når magasin/filter. (Sandsynlighed for at cellen har 3D grundvandsdannelse. Antallet af modeller med 3D grundvandsdannelse divideret med det samlede antal af modeller, [%])
- TrvYr_avg:** (Middelværdien af) Minimumstransporttiden for partikler, der når magasin/filter "med": median, "min": minimum, "max": maximum [år]

Udtræk af rådata – kan leveres til rådgivere til at hjælpe med processing af filer

Reference – Processingsscript til enkeltkørsler
Opsat til at klare processingen af filer til aflevering for referencemodellen

Stokastiske modeller - Processingsscript til flere modelkørsler
Opsat til at klare processingen og midlingen af filer til aflevering for de stokastiske kørsler

Sårbare grundvandsdannende områder (SGO)

Beregningsprocedure forklaret:

- Først:
 - Udregnes Q10 (10%-fraktilen) af grundvandsdannelsen fra de stokastiske kørsler for hvert magasin for hele modelområdet til senere anvendelse i beregningerne for de faste kriterier.
- Inden for hvert indvindingsopland:
 - Indhentes data fra de stokastiske modelkørsler med resultater af grundvandsdannelsen og minimumstransporttiden til indvindingsfilteret for det pågældende magasin, der indvendes fra.
 - Udregnes Q50, Q30 og Q20 for minimumstransporttiden samt Q50, Q25 og Q10 for grundvandsdannelsen inden for det specifikke indvindingsopland til anvendelse af beregning af de relative kriterier.
- For hver celle i indvindingsoplandet:
 - Beregnes en klassifikation af sårbarhedskriterier (0-3 hvor 3 er stor 2 er nogen, 1 er lille og 0 er ingen, for henholdsvis de faste og de relative kriterier (jf. FIGUR 1).
 - Beregnes en boolesk (Sand/Falsk) attribut, "SGO", der markerer hvorvidt cellen er omfattet af SGO-reglen (foreningsmængden af de store og middel sårbarhedskriterier fra de faste og relative kriterier).
- Eksporteres:
 - Sårbare grundvandsdannende områder: en simplificeret geometrifil til visning af SGO
 - Sårbare grundvandsdannende områder – GRUKOS: en databasefil med alle de relevante attributter til GRUKOS-aflevering

Faste & relative kriterier:

Kriterium	Værdi
Lille	TT < 200 år & GVD > Q10 for hele modellen
Nogen	TT < 100 år & GVD > Q10 for hele modellen
Stor	TT < 30 år & GVD > Q10 for hele modellen

Transportid (TT), grundvandsdannelsen (GVD)

Kriterium	Værdi
Lille	TT < Q50 & GVD > Q10
Nogen	TT < Q30 & GVD > Q25
Stor	TT < Q20 & GVD > Q50

Transportid (TT), grundvandsdannelsen (GVD)

For både de faste og relative kriterier er der også nedlagt overordnede kriterier, der skal opfyldes: Transportid (TT) < 200 år & 3D_GVD_prob > 25%

SGO afgrænses foreningsmængden af "Stor" og "Nogen" for de faste og relative kriterier

Data attributter til GRUKOS:

Cell_ID	id	3DGVD_relmag	PctPT_relmag	TrvYr_relmag	Relmag_rela live	Relmag_faste
SGO	magasin	3DGVD_refiller	PctPT_refiller	TrvYr_refiller	Relfilter_rela live	Relfilter_faste
Anlægsnavn	Kortnavn	3DGVD_stokmag	3D_GVD_prob_stokmag	TrvYr_stokmag	Stokmag_rel olive	Stokmag_faste
Anlægs ID	kommentar	3DGVD_stokfile	3D_GVD_prob_stokmag	TrvYr_stokfilter	Stokfilter_rel olive	Stokfilter_faste

Opretdato
Opretruger
Opdaterings dato

Forklaring af attributter på næste side

Udstilling af data

MiljøGIS:

Atlas – leverance til VV & kommuner:

Sårbare Grundvandsdannende Områder - Dataleverance

Type	Attributter	Beskrivelse	Enhed	Datatype
Sårbare grundvandsdannende områder	Cell_ID	Celle id	[-]	int
	3DGDV_refmag	Middelværdien af 3D grundvandsdannelsen til magasin for referencemodellen	mm/år	numeric
	3DGDV_reffilter	Middelværdien af 3D grundvandsdannelsen til indvindingsfilter for referencemodellen	mm/år	numeric
	3DGDV_stokmag	Middelværdien af 3D grundvandsdannelsen til magasin for alle stokastiske modelkørsler	mm/år	numeric
	3DGDV_stokfilter	Middelværdien af 3D grundvandsdannelsen til indvindingsfilter for alle stokastiske modelkørsler	mm/år	numeric
	PctPT_refmag	Procentdel af partikler der når magasin for referencemodellen	[-]	numeric
	PctPT_reffilter	Procentdel af partikler der når indvindingsfilter for referencemodellen	[-]	numeric
	3D_GVD_prob_stokmag	Sandsynlighed for at cellen har 3D grundvandsdannelse divideret med det samlede antal af modeller	[-]	numeric
	3D_GVD_prob_stokfilter	Sandsynlighed for at cellen har 3D grundvandsdannelse divideret med det samlede antal af modeller	[-]	numeric
	Trvl_refmag	Middeltransporttid for partikler, der når magasinet i referencemodellen	år	numeric
	Trvl_reffilter	Middeltransporttid for partikler, der når indvindingsfilter i referencemodellen	år	numeric
	Trvl_stokmag	Middelværdi af middeltransporttid for partikler, der når magasinet for alle stokastiske modelkørsler	år	numeric
	Trvl_stokfilter	Middelværdi af middeltransporttid for partikler, der når indvindingsfilter for alle stokastiske modelkørsler	år	numeric
	Refmag_relative	0 - celle når ikke de relative afskæringskriterier 1 - Gul / lille 2 - Orange / mellem 3 - Rød stor	[-]	int
	Reffilter_relative		[-]	int
	Stokmag_relative		[-]	int
	Stokfilter_relative		[-]	int
	Refmag_faste	0 - celle når ikke de faste afskæringskriterier 1 - Gul / lille 2 - Orange / mellem 3 - Rød stor	[-]	int
	Reffilter_faste		[-]	int
	Stokmag_faste		[-]	int
	Stokfilter_faste		[-]	int
	SGO	Foreningsmængden af orange og røde celler fra de faste og relative kriterier for de stokastiske til indvindingsfilter 0 - celle udenfor sårbare grundvandsdannende område 1 - celle indenfor sårbare grundvandsdannende område	[-]	int
	id	id for en pågældende post (PK)	[-]	Serial
	Kortnavn	Projektets navn	[-]	Text
	kommentar	Eventuel kommentar fra rådgiver	[-]	Text
	opretdato	dato for oprettelse af post	[-]	tidsstempel
opretbruger	brugernavn for oprettelse af post	[-]	Text	
opdateringdato	dato for opdatering af post	[-]	tidsstempel	
opdateringbruger	brugernavn for opdatering af post	[-]	Text	
Magasin	Navn på grundvands magasin	[-]	Text	

Bilag 3

Workflow – Hydrologisk modellering

