

Odense Vandselskab, Dalum Kildeplads

Opstilling af hydrologisk model, fase 2

Lars Trolborg



Odense Vandselskab, Dalum Kildeplads

Opstilling af hydrologisk model, fase 2

Lars Trolborg

Indholdsfortegnelse

1. Resume	3
2. Introduktion	3
3. Hydrologisk tolkningsmodel.....	3
4. Modelværktøj	5
5. Modelområde	5
6. Modelkalibrering	6
7. Modelsimuleringer	9
8. Litteratur.....	16

1. Resume

Modellen for Dalum kildeplads dækker et område på 10x15 km i et 100x100 m beregningsnet. Den overordnede geologiske opbygning og randbetingelser er hentet fra DK-model Fyn. Der er lavet en generel detaljering af den geologiske model med speciel fokus på området omkring Odense å. Det beregnede grundvandsdannende opland er ca. 14 km². Beregningerne viser at både oplandet øst og vest for Odense å bidrager med vand til Dalum kildeplads.

Modellsimuleringer viser at godt halvdelen af vandet på kildepladsen har en alder (transport tid fra infiltration til kildeplads) mellem 30 og 50 år og kun godt 10 % af vandet er ældre end 100 år. Beregninger af BAM forureningen på kildepladsen viser, at BAM koncentrationen vil toppe på kildepladsen om 20-30 år. BAM koncentrationen til den tid vil ligge på 0,1 til 0,4 µg/l.

2. Introduktion

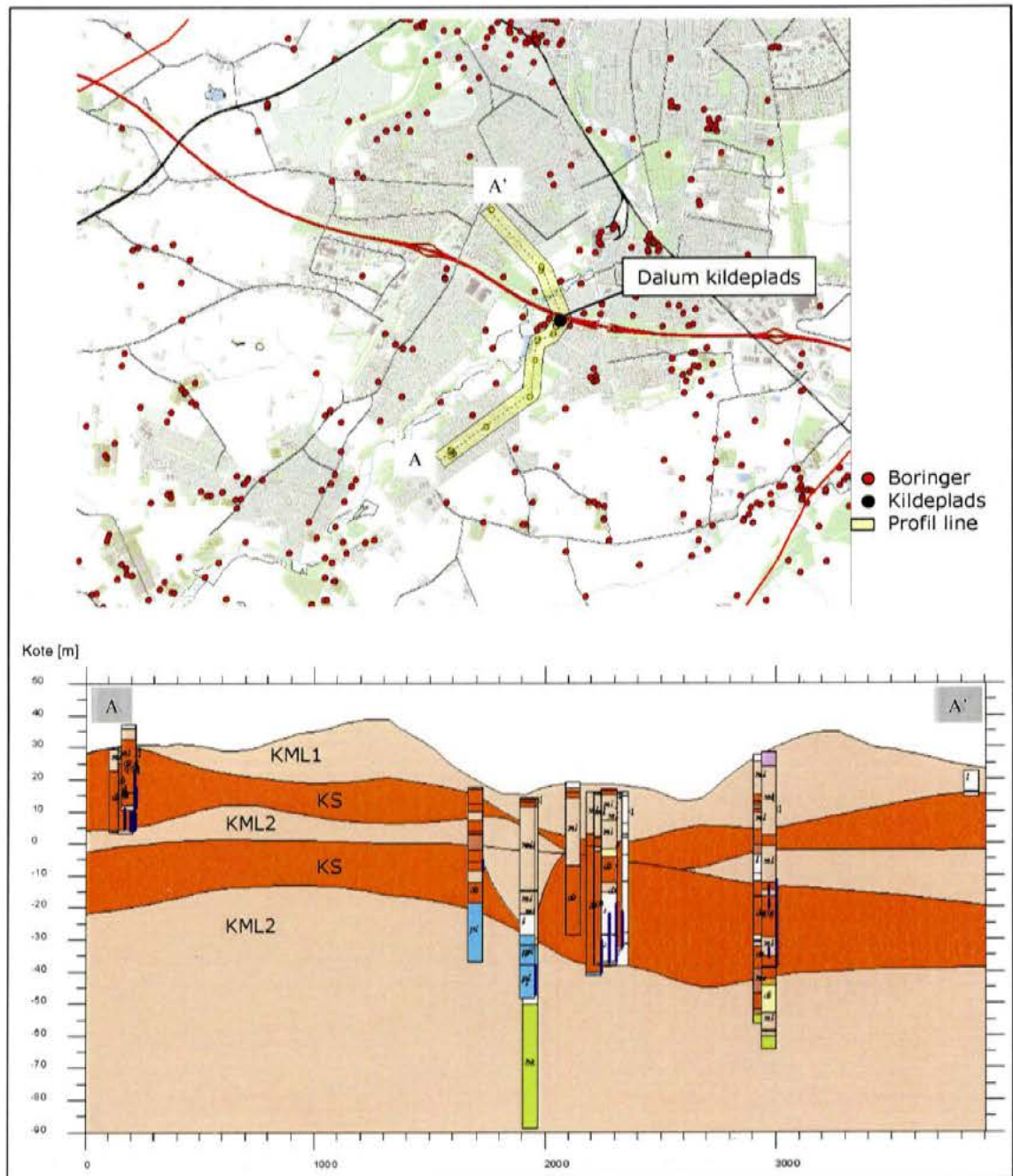
Denne rapport afslutter anden fase og dermed modelarbejdet ved Dalum Vandværk. Formålet med modellen, herefter kaldet Dalum modellen, er at fortage en vurdering af indvindingsoplandet's placering og udbredelse samt grundvandets alder inden for samme. Modellen sammenstiller de eksisterende hydrologiske og geologiske data for området. Model-fremskridt og modelresultater er i flere omgange blevet vendt med rekvisit for at opnå klarhed over modellens muligheder og begrænsninger, herunder er den geologiske model flere gange tilpasset undervejs.

3. Hydrologisk tolkningsmodel

Udgangspunktet for den hydrologiske tolkningsmodel var DK-model Fyn (Henriksen *et al.*, 1997). DK-model Fyn opererer med 11 hydrostratigrafiske enheder. 10 lag med vekslende sand og ler lag samt et lag med kalk. Top og bund af de enkelte lag er med udgangspunkt i cirkeldiagram kort tolket i et 2 x 2 km net. I områder hvor alle 11 lag genfindes i borings databasen er lagtykkelsen sat til 1 m. Dette skyldes ønsket om at operere med de samme gennemgående lag for hele Fyns området. Erfaringerne viser at 1 meter tykke beregningslag ingen synlig effekt har på beregningsresultaterne, mens det giver gode muligheder for at repræsenterer de varierende geologiske forhold.

Detaljeringen har ført til to afgørende forskelle i forhold til DK-model Fyn. Dels genfindes kun to regionale sandlag i området og dels er kalk magasinet ikke medtaget i beregningerne, således operere Dalum modellen med 8 hydrostratigrafiske enheder med tre vandførende enheder. Der er to gennemgående sandlag (af smeltevandssand) med regional udbredelse og et sandlag (ligeledes smeltevandssand) af lokal udbredelse beliggende i den

vestlige del af området. De gennemgående sandlag er i store dele af området adskilt af lavpermeable lag (moræneler), mens de i dele af området ved Odense å har en mere sammenhængende karakter. Ligeledes er der indlagt aflange bakke formede ler strukturer parallelt med Odense å i det nedre gennemgående sandlag.



Figur 1 Model profil fra Dalum modellen

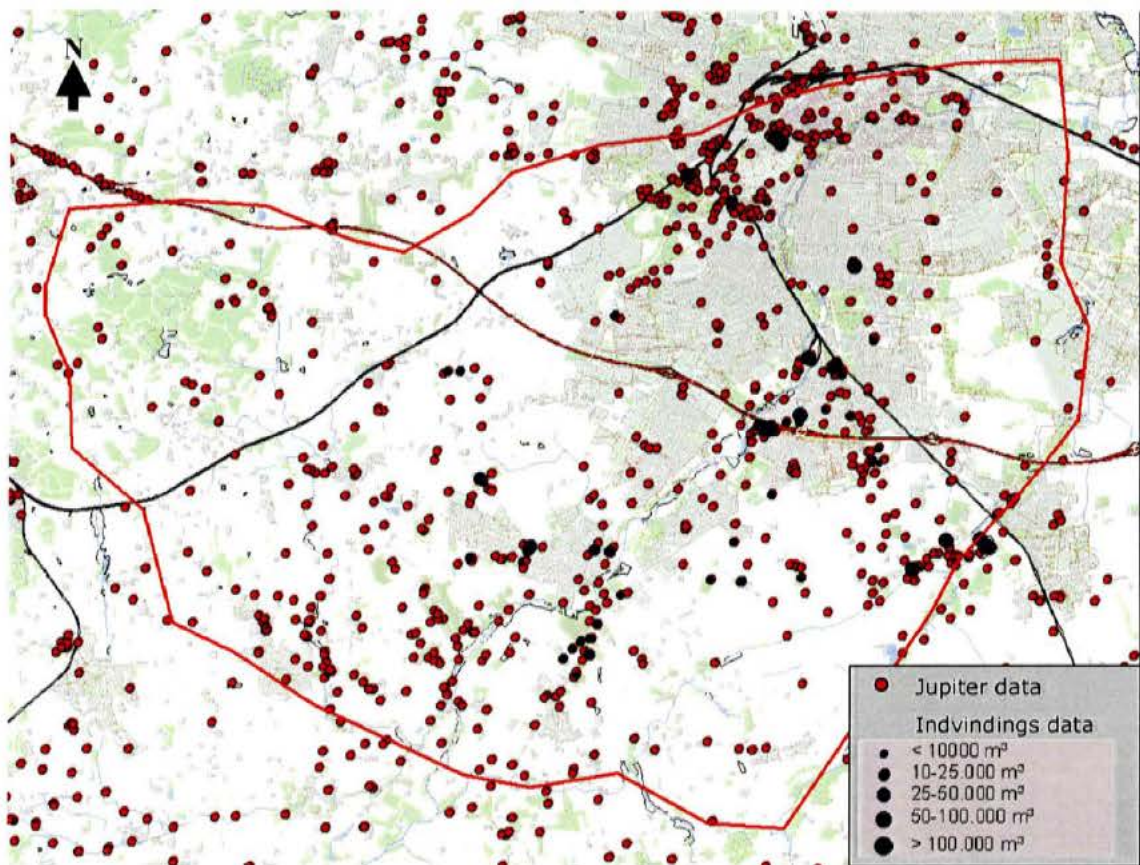
De hydrologiske basisdata er hentet fra DK-model Fyn. Ændret i forhold til DK-model Fyn er fordelingen af nettonedbør og vandindvindinger. Nettonedbøren er på baggrund af GIS bearbejdning af TOP10DK data og det digitale jordartskort fordelt på hele beregningsnettet (100x100 m). Vandindvindingerne er i Dalum modellen fordelt ud på de enkelte boringer med månedlige værdier for indvindingsmængder. Randbetingelserne for modelområdet er præget af de mange små og store kildepladser som ligger langs Odense Å. Det er vanskeligt for et område med kompleks geologi og mange overlappende indvindingsområder at finde hydrogeologisk baserede modelrande og samtidig finde en rimlig balance mellem beregningsnet og område størrelse. Det er derfor valgt at hente tryk randbetingelse fra modelkørsler med DK-model Fyn, og der er således anvendt nogle ikke nødvendigvis hydrogeologiske betingede modelrande.

4. Modelværktøj

Der anvendes en 3D grundvandsmodel til beskrivelse af grundvandets trykniveau i de enkelte lag og dermed strømningsretningen. Programpakken MIKE SHE fra DHI er anvendt til beregningerne. Til opstilling af den geologiske model og til præsentation er anvendt Arc-View, som er et GIS baseret værktøj. Anvendelsen af GIS i modelopsætningen muliggjorde inddragelse af mange forskelligartede typer data og resulterede i en beregningsnet uafhængig hydrogeologisk tolkningsmodel.

5. Modelområde

Modelområdet (Figur 2) dækker et område på 10 x 15 km. Det relativt store område er valgt for at sikre dels at modelranden ligger tilpas langt fra Dalum kildeplads og dels for at få nogle veldefineret randbetingelser. Modelranden skærer i nord, øst og tildels syd igennem oplande til nogle store kildepladser. Dette skyldes dels at det er svært at undgå pga. de mange kildepladser placeret i Odense å dal og dels for at opnå en rimlig afvejning mellem modelopløsning for Dalum kildeplads og model størrelse. Modellen arbejder i et beregningsnet på 100 x 100 m, svarende til ca. 78.000 beregnings elementer.



Figur 2 Modelområdets udstrækning

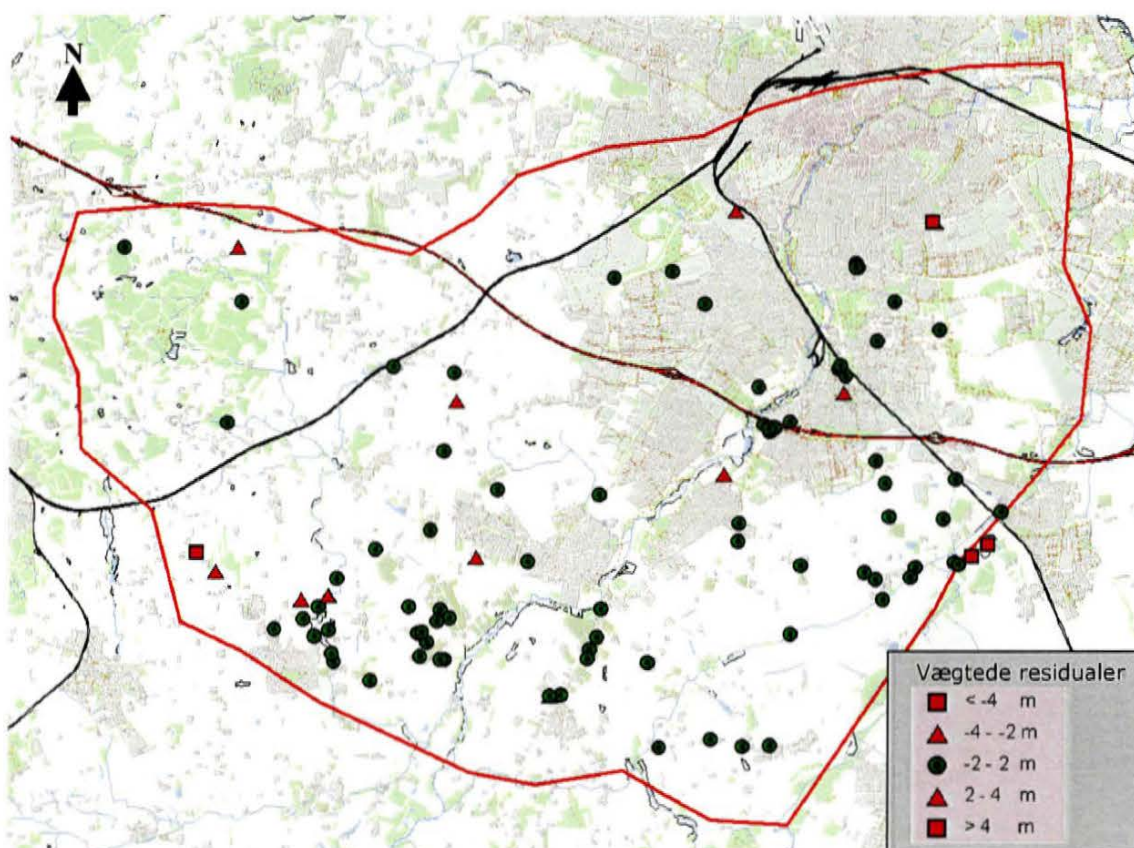
6. Modelkalibrering

Den hydrauliske ledningsevne er opdelt i tre klasser: En parameter for de vandførende lag (KS), en parameter for moræneler (KML2) og en parameter for den øvre opsprækkede del af moræneleren (KML1). Der er således tilstræbt en simpel og gennemskuelig parametrisering, som giver mulighed for at vurdere geologiens indflydelse på strømningsbilledet og dermed transportvejene. Transmissivitetsfordelingen inden for de enkelte lag er dermed udelukkende bestemt ud fra den hydrauliske ledningsevne for sandlagene (KS) og de enkelte lags rumlige udbredelse.

Grundvandsmodellen er inverst kalibreret mod pejledata fra Odense Vandforsyning og pejledata fra Jupiter databasen. Modellen er kalibreret i stationær tilstand mod midlede trykniveaudata. Målesikkerheden på pejledata ligger normalt indenfor et par centimeter, men den totale usikkerhed kan sammensættes af målesikkerhed (2-5 cm), pejlepunkt usikkerhed (ofte aflæst på 4 cm kort med 5 meter ækvidistance), temporalt bidrag (dels sæson variationer og dels indberetnings tidspunkt i forhold til kalibrerings periode) og skaleringsbidrag (dels midling over geologisk heterogenitet og dels topografisk variation inden for et beregningsselement) (Henriksen et al., 2001). Anvendes ovenstående definition fås 2 til 4

meter total usikkerhed på observationerne (standard afvigelse), primært afhængig af størrelsen af det temporale bidrag.

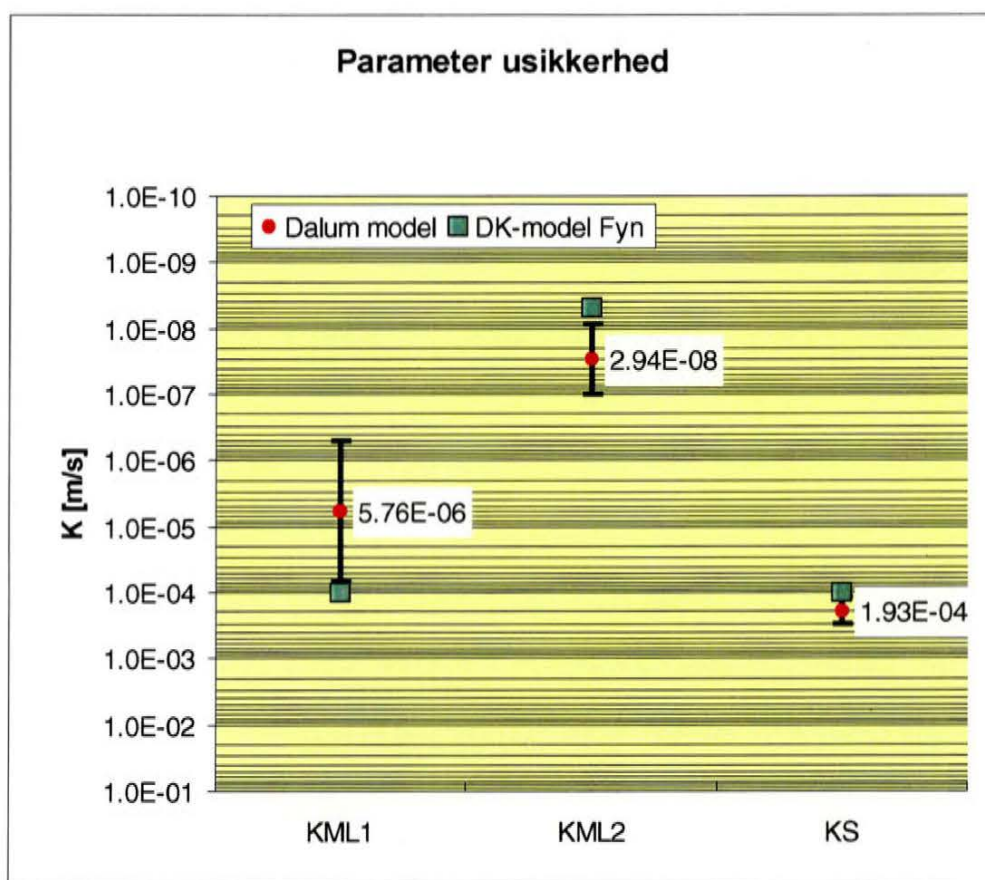
Som et mål for hvor godt modellen fitter pejledata er RMS kriteriet anvendt. RMS ('Root Mean Square') angiver kvadratroden af den gennemsnitlige kvadrat afvigelse mellem observerede og simulerede trykniveauer. RMS værdier bruges som mål for spredningen på residualerne. RMS værdierne for de enkelte sandlag bør sammenholdes med den totale usikkerhed på de observerede trykniveauer. RMS værdierne for de to regionale sandlag er 4.2 m for øvre sandmagasin henholdsvis 2.9 m for nedre sandmagasin. Fra STÅBI i grundvandsmodellering angives RMS divideret med standard afvigelsen på observationerne som en mål for nøjagtigheden af modellen. Dalum modellen er efter dette nøjagtighedsmål i "High fidelity" nøjagtigheds klassen. I beregningerne af RMS er anvendt 75 observationer for øvre sandmagasin og 12 observationer for nedre sandmagasin, se Figur 3 for placering og afvigelser (grøn 0-2 m, rød trekant 2-4 m, rød firkant > 4 m). Det skal bemærkes at flere af observationerne er påvirket af lokale sænkninger som følge af pumpning, sænkninger det ikke vurderes muligt at modellere med Dalum modellens beregningsnet (100 x 100 m).



Figur 3 Observationer brugt til kalibrering

Som en del af den inverse modellerings teknik er det muligt at angive parameter usikkerhedsintervaller. Figur 4 viser de beregnede 95% konfidensintervaller for de estimerede

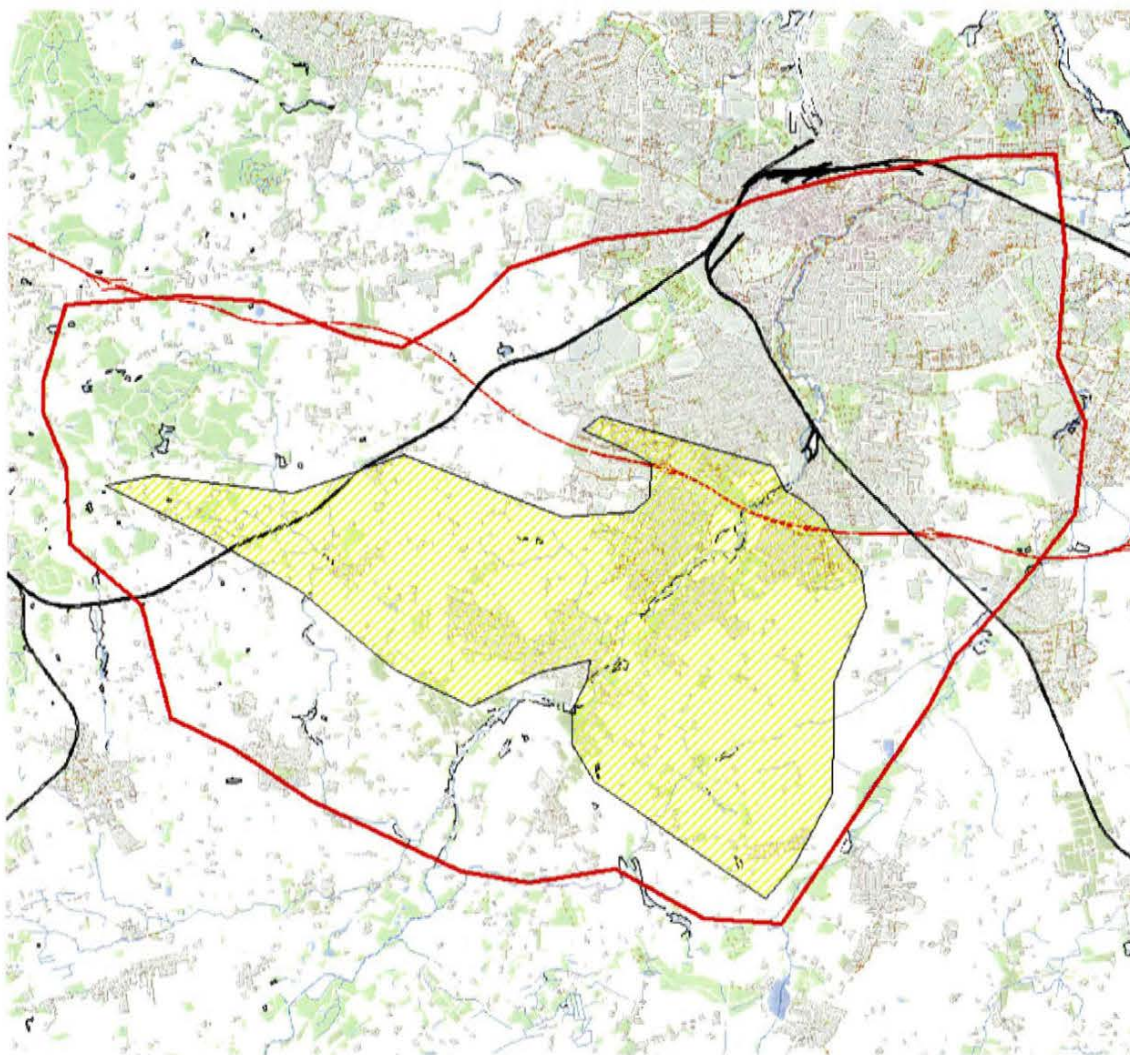
hydrauliske ledningsevner. Til sammenligning er angivet parameter værdier for DK-model Fyn. Det fremgår at parameterværdierne i Dalum modellen generelt ligger tæt på parameterværdierne i DK-model Fyn. Det skal bemærkes at der i Dalum modellen opereres med det konstante anisotropi forhold $K_v/K_h = 0.1$, mens det i DK-model Fyn anvendte anisotropi forhold var 0.01 for KML1 (den opsprækkede del af morænen dvs. de øverste 3-4 m), 0.1 for KS (sand) og 0.0025 for KML2 (den "ikke opsprækkede" del af morænen dvs. lerlag under de øverste 3-4 m). Det fremgår desuden at estimatet for den opsprækkede del af morænen (KML1) er den dårligst bestemte parameter, mens estimatet for sand (KS) er den bedst bestemte parameter.



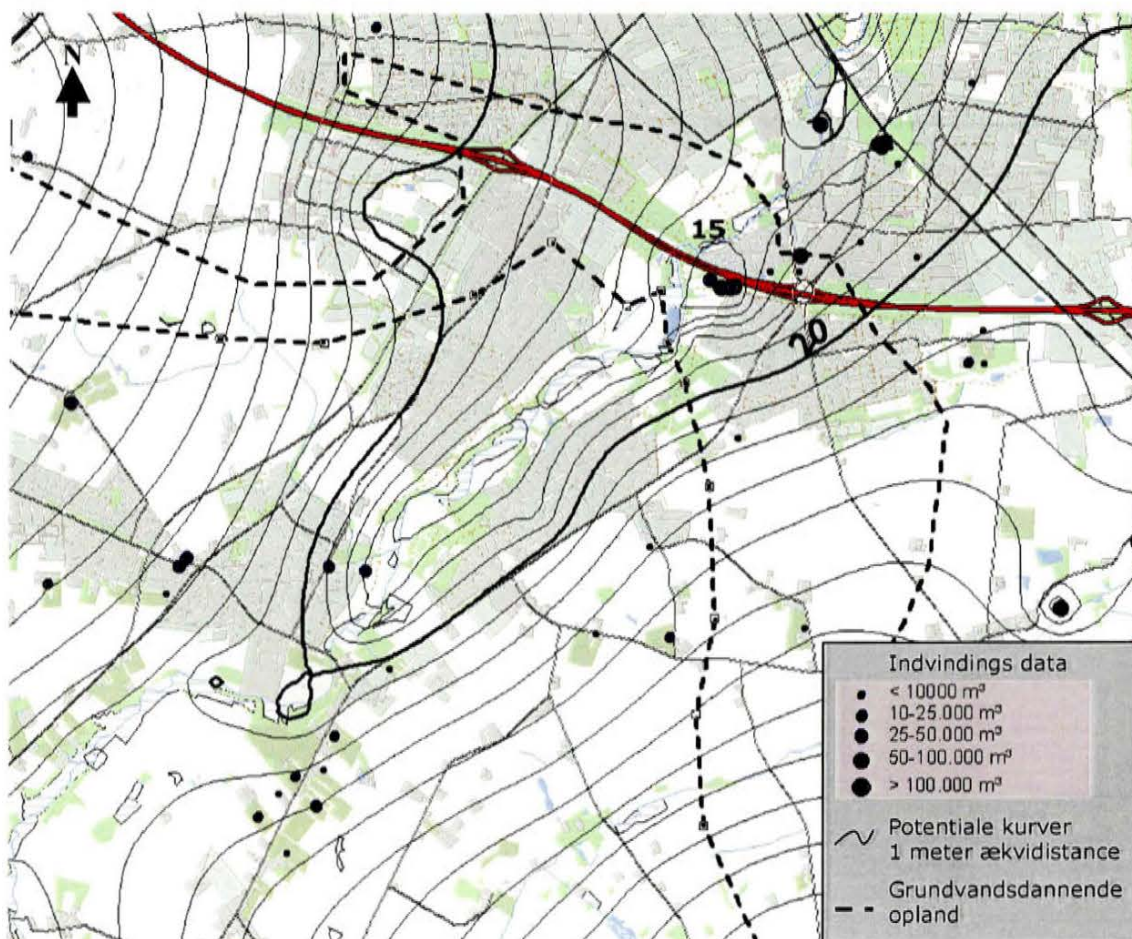
Figur 4 Konfidens intervaller (95 %) og optimerede parameterværdier for Dalum modellen vist i forhold til parameterværdier fra DK-model Fyn. Horisontal hydraulisk ledningsevne (K_h) for opsprækket moræneler (KML1) og sand (KS) og vertikal hydraulisk ledningsevne (K_v) for "ikke opsprækket" moræneler (KML2)

7. Modelsimuleringer

Grundvandsmodellen er anvendt til at gennemføre en vurdering af indvindingsoplandets placering og en vurdering af grundvandets alder på Dalum kildeplads, herudover er det forsøgt at lave en fremskrivning af pesticid forureningen på kildepladsen som helhed. Der er anvendt en partikelbane simulering til bestemmelse af indvindingsoplandets placering. Det simulerede indvindingsopland er godt 40 km² stort og strækker sig på begge sider af Odense Å (Figur 5). Indvindingsoplandet er beregnet som det "supponerede" område af de enkelte aquifere bidrag. Med de aquifere bidrag forstås her den del af aquiferen som potentielt bidrager med vand til kildepladsen (capture zone). Det modellerede potentiale billede (se Figur 6) for Dalum kildeplads viser et jævnt faldende trykniveauer fra syd mod nord med en faldende tendens omkring indvindingsboringerne. På samme figur er angivet det grundvandsdannende opland, dvs. den del af overfladen hvor nedbør med tiden vil havne på kildepladsen. Det er denne tid vi forstår som grundvandets alder, eller snarere denne vifte af transporttider til kildepladsen, vi forstår som vandets aldersfordeling. Det skal bemærkes at det grundvandsdannende opland er væsentlig mindre end indvindingsoplandet. Dette skyldes forskelle i potentiale forhold mellem de forskellige aquiferer, som medfører komplekse strømningsforhold og dermed transportveje fra nedsivning (nedbør) til kildeplads (oppumpning). Det grundvandsdannende opland er ca. 14 km² og strækker sig ligeledes på begge sider af Odense å.



Figur 5 Indvindingsopland for Dalum kildeplads på grundlag af partikelbanesimuleringer ud fra grundvandsmodel (modelleret afgrænsning vist med gul skravering)

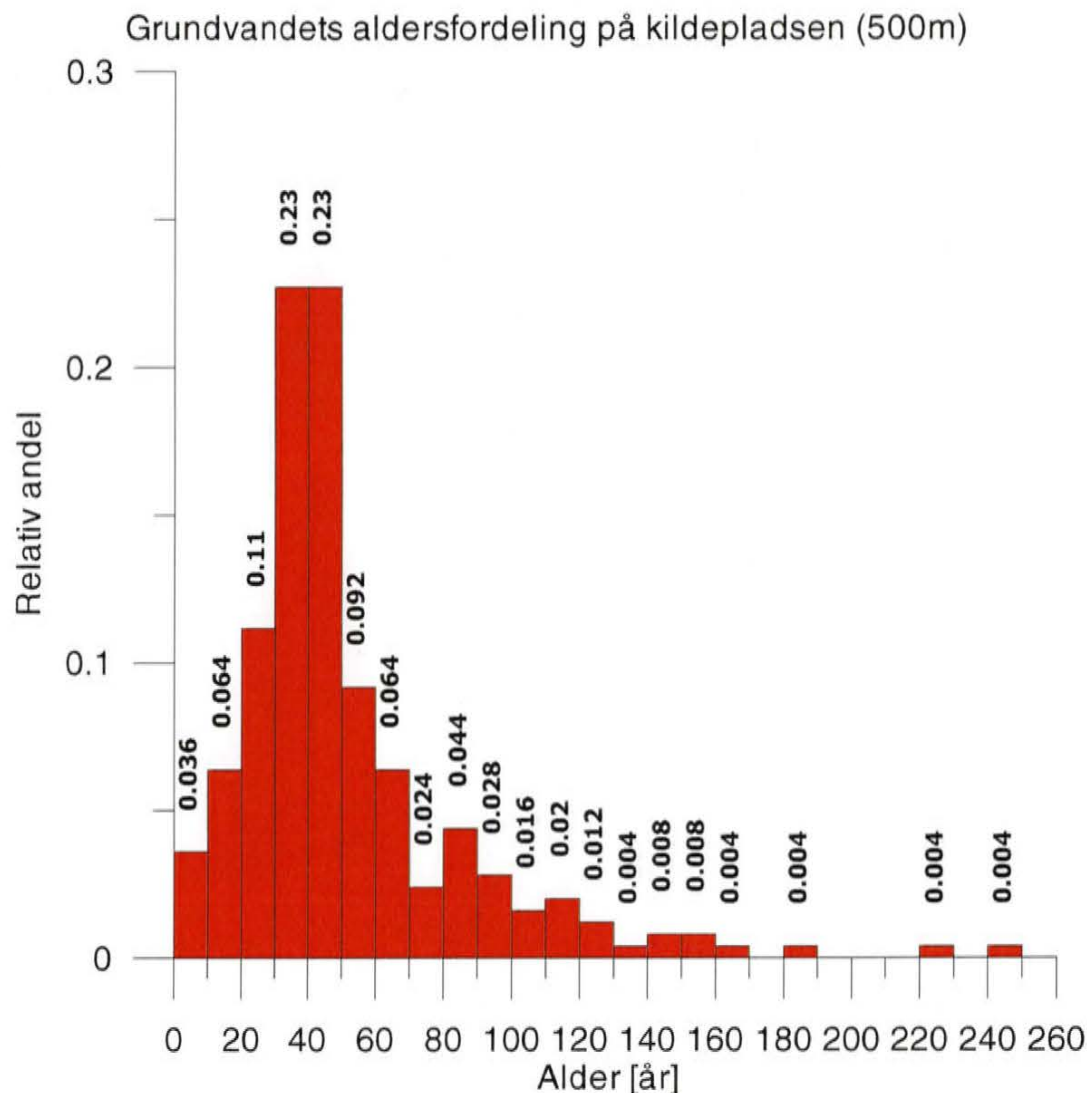


Figur 6 Simuleret potentialebillede og grundvandsdannende opland for Dalum kildeplads

Grundvandets alder er ligeledes bestemt ud fra en partikelbane simulering. Partikelbane modeller er ofte foretrukket til beregning af strømnings og forurenings mønstre på regional skala. Ud over beregningsmæssige fordele har partikelbane modeller den styrke at det er muligt at estimere aldersspredning inden for et givet område. For at beregne grundvandets alder på kildepladsen er partikler tilført det øverste beregningslag med frekvensen 20 pr beregningselement pr. år. Partiklerne vil følge det stationære strømningsbillede med en hastighed afhængig af trykgradienten og proportional med den effektive porøsitet. Den effektive porøsitet er sat til 0,2 gældende for hele modellen. Beregningerne af partiklernes vej gennem modellen gentages indtil antallet af partikler som tilføres modellen er af samme størrelse som forlader modellen, i dette tilfælde ca. 1000 år. Partiklerne udstyres populært sagt med et ur, som gør det muligt at kende alderen på hver eneste partikel, hvorfor det er muligt at beregne en gennemsnits alder, men også sammensættes til en aldersfordeling (alders histogram) for et givet område.

Der er i resultaterne udtaget partikler i et område på indenfor en radius af 500 meter fra boringerne, aldersfordelingen af dette område er angivet på se Figur 7. Det skal bemærkes

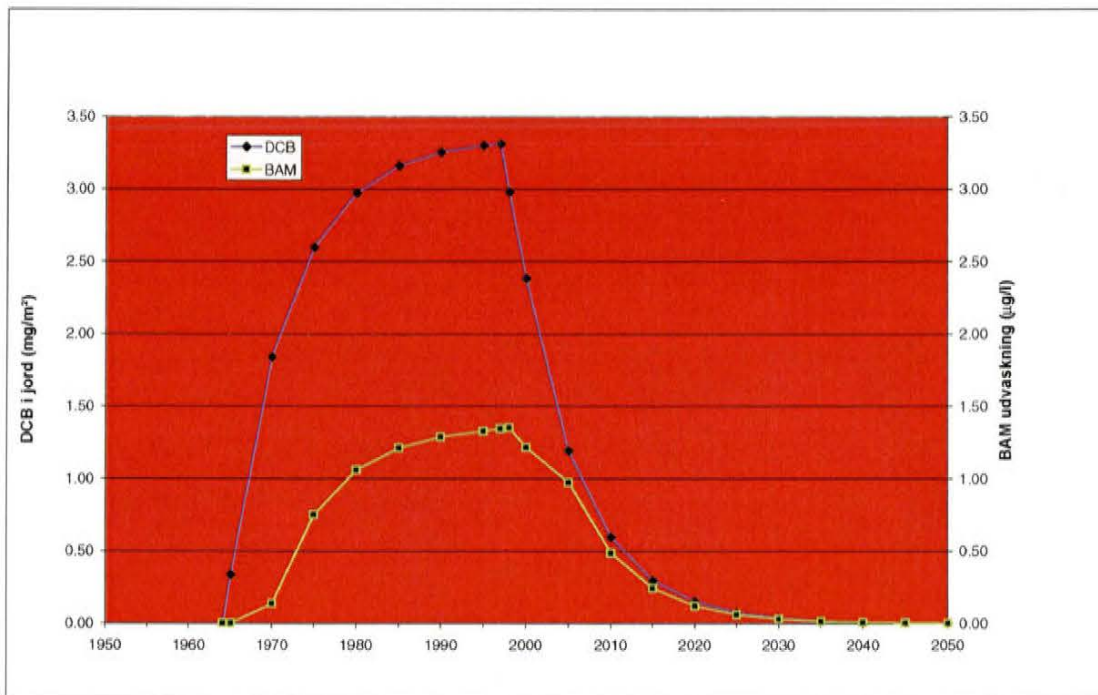
at magasin adskillelsen ved Dalum kildeplads er af ringe tykkelse og lokalt ikke eksisterende, hvorfor aldersfordelingerne er beregnet på grundlag af vand såvel fra øvre som nedre magasin og at dette kan have betydning for grundvandets alderssammensætningen.



Figur 7 Grundvandets alder ved Dalum kildepladsen

Af aldersfordelingen kan det ses at godt halvdelen af vandet på kildepladsen har en alder (transport tid fra infiltration til kildeplads) mellem 30 og 50 år og kun godt 10 % af vandet er ældre end 100 år.

Pesticid forurenings fremskrivningen for Dalum kildeplads foretages ved at sammenholde generelle betragtninger om BAM udsivninger fra rodzonen med relative aldersfordelinger for delbidrag til Dalum kildeplads. Udsivningen af BAM fra rodzonen er estimeret af til at toppe omkring år 2000 (Henrik Aktor - Figur 8).

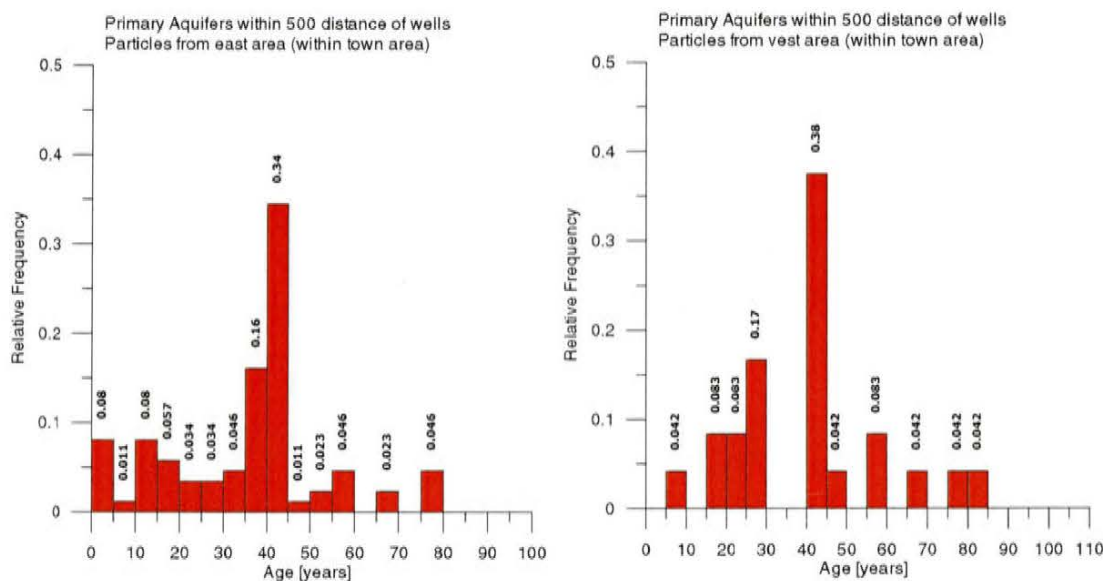


Figur 8 Estimeret DCB i jord og BAM udsivning fra rodzonen (kilde: Henrik Aktor)

Der opstilles tre arbejdshypoteser, som er afhængige af hvor BAM forureningen stammer fra:

1. Hele området bidrager med BAM udsivning fra rodzonen
2. Kun byområdet øst for kildepladsen bidrager med BAM udsivning fra rodzonen
3. Kun byområdet vest for kildepladsen bidrager med BAM udsivning fra rodzonen

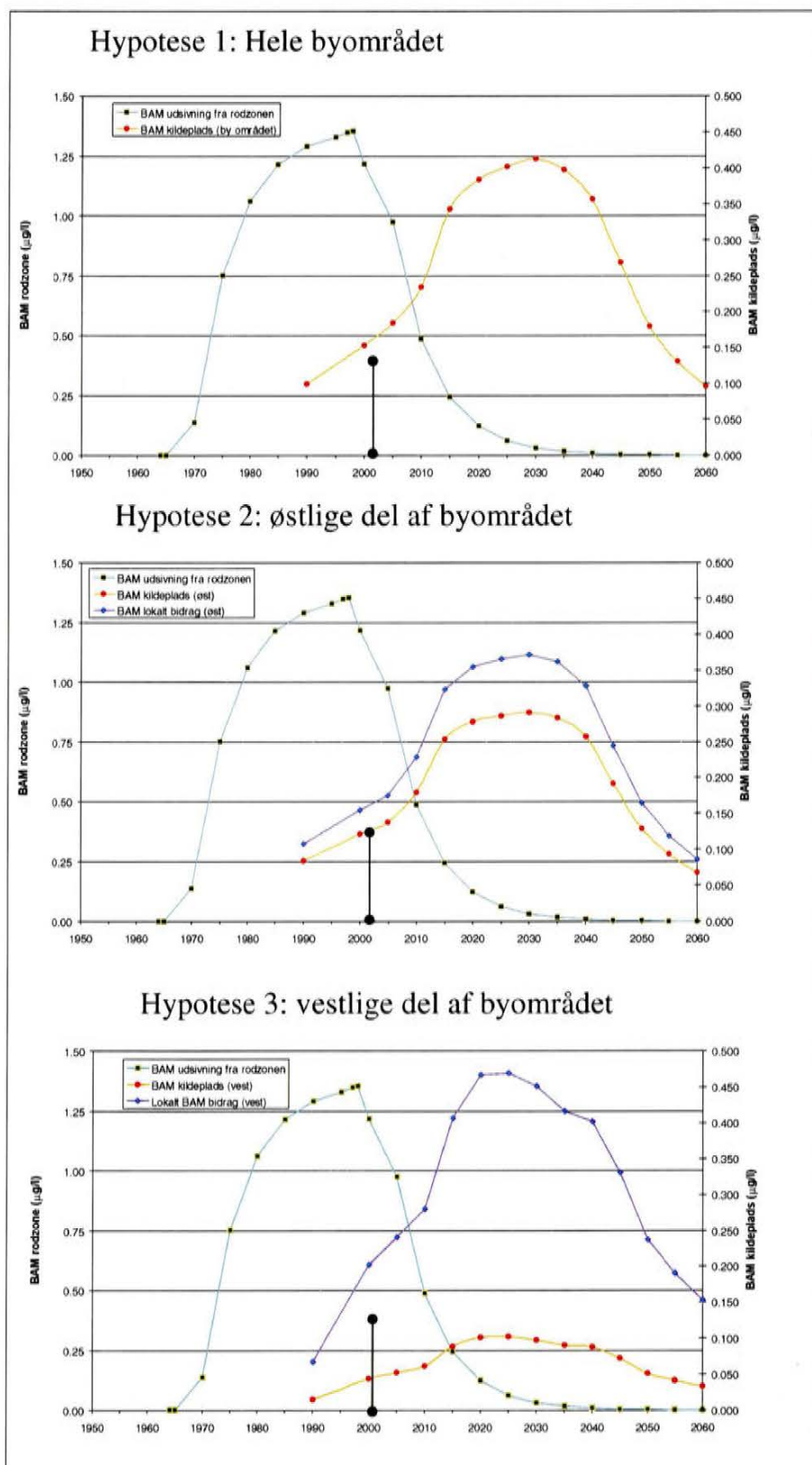
De beregnede BAM koncentrationer for delområderne er fremkommet ved at beregne produktet af BAM udvasknings estimatet (Figur 8) og aldersfordelings bidrag fra de enkelte delområder. Bidragene dvs. aldersfordelingen for det østlige og vestlige bybidrag (Figur 9) er stort set identiske.



Figur 9 Bidrag fra byområderne øst (venstre) og vest (højre) for kildepladsen

De beregnede fremtidige BAM udviklinger på kildepladsen for de forskellige arbejdshypoteser er angivet på Figur 10. Det nuværende BAM niveau på kildepladsen er generelt lavt, men en af kildepladsens borer er BAM påvirket med koncentrationer op til 0.142 µg/l. Spredningen på BAM analyse resultaterne er angivet på figuren som en streg. For hypotese 2 og 3 er der afbildede to udviklingskurver. Den nedre (prikkede) kurve viser den gennemsnitlige koncentration inden for 500 meter radius af borerne, mens den øvre kurve viser kildestyrken, dvs. hvor høje koncentrationer der ville kunne nås i særlige ugunstige situationer. Som eksempel herpå kunne tænkes situationen at enkelte borer udelukkende blev født af vand fra den vestlige del af indvindingsområdet (hypotese 3), således ville BAM koncentrationerne på kildepladsniveau være godt 0.1 µg/l i 2020, mens BAM koncentrationen for disse enkelte borer ville nå 0,45 µg/l dvs. godt fire gange så høj koncentration.

Den største del af vandet på kildepladsen stammer fra den østlige del af indvindingsområdet, derfor vil det ende med forskellige BAM koncentrationer på kildepladsniveau alt afhængig af placeringen af BAM forureningen. Uanset arbejdshypotese vil det betyde at BAM koncentrationen på kildepladsen vil toppe om 20-30 år. Gennemsnits koncentrationerne vil til den tid ligge på 0,1 – 0,4 µg/l.



Figur 10 Fremtidige koncentrationer af BAM på kildepladsen

8. Litteratur

Henriksen HJ, CJ Knudby, P Rasmussen og P Nyegaard (1997), National vandressource model – Modelopstilling og kalibrering for Fyn, GEUS rapport 1997/139

Henriksen HJ, JC Refsgaard, TO Sonnenborg, P Gravesen, A Brun, A Refsgaard og KH Jensen (2001) STÅBI i grundvandsmodellering. GEUS rapport 2001/56