

UDVIKLINGEN AF SALT/FERSKVANDSGRÆNSEN
I SKRIVEKRIDTET PÅ SJÆLLAND
DE SIDSTE 1 - 3 MILLIONER ÅR

Ph.d. studerende, civilingeniør Ellen Prip Bonnesen
Lektor Flemming Larsen
Institut for Miljø & Ressourcer, DTU

Seniorforsker Torben Sonnenborg
GEUS

Sagsbehandler Kristoffer Amlani Ulbak
Københavns Amt

ATV MØDE
KALK PÅ TVÆRS

SCHÆFFERGÅRDEN
8. november 2006

RESUME

På Østsjælland er porevandet fra tre relative dybe borekerner i Skrivekridt formationen analyseret for elektrisk konduktivitet samt indholdet af klorid og stabile iltisotoper. Profiler af disse data ned gennem Skrivekridtet, samt numerisk modellering, har givet et indblik i hvordan den eksisterende salt/ferskvandsgrænse ser ud, samt hvilke processer der har været styrende for dens udvikling over geologisk tid.

INDLEDNING

Flere steder i Danmark findes vigtige grundvandsmagasiner i formationer af marint aflejret kalk og kridt. Formationerne er dog langt fra blevet fuldstændig udvasket, og der findes stadig salint porevand i dybden. Grundet en højere densitet på det marine vand, i forhold til det overliggende ferske vand, vil der naturligt være en mere eller mindre skarp grænse mellem de to vandtyper /1/. Forstyrres den naturlige ligevægt, kan det marine vand potentielt forurene det ferske /1/. Stabiliteten af grænsen mellem det ferske og marine vand har derfor stor betydning i forbindelse med grundvandsindvinding i de dybere liggende dele af kalkmagasinerne. Det første skridt på vejen, til at opnå en større forståelse for stabiliteten af salt/ferskvands grænsen, er at få et bedre indblik i hvordan salt/ferskvands grænsen ser ud i dag, og hvilke processer og forhold der har styret udviklingen hidtil.

Med dette som formål, er der gennemført kemiske analyser på porevandet fra tre relative dybe borekerner i Skrivekridtet på den østligste del af Sjælland. Herudfra er den kemiske sammensætning af den eksisterende grænse mellem det marine og ferske vand i Skrivekridtet i dette område undersøgt og den tidlige udviklingen af salt/ferskvands grænsen numerisk modelleret.

FELTLOKALITET

Geologien på det østlige Sjælland er domineret af kalkbjergarter fra Øvre Kridt og Danien, som mange steder kun er dækket af et tyndt lag Kvartære aflejringer /2/. Kalkbjergarterne blev aflejret i et varmt shelfhav, som dækkede det meste af nordvest Europa for ca. 61-99 millioner år siden /3/. Efterfølgende er disse de blevet dækket af et mere end 500 meter tykt lag af klastiske sedimenter aflejret i Tertiær, som har bevirket at kalkbjergarterne i dag fremstår som svagt kompakteret /4/. I Neogen begyndte en tektonisk hævnning af det sydlige Norge og Sverige, hvilket medførte en betydelig erosion af det Danske Sedimentær Bassins randområder /4/. Erosionen i det østlige Sjælland har været af størrelsen 500-750 meter, hvilket har blotlagt kalkbjergarterne /4/. Hævningen har formegentlig forgået i to faser, hvoraf den sidste har foregået i Pliocene /4/. Det er derfor sandsynligt, at kalkbjergarterne har været tilgængelig for infiltration af ferske vand de sidste en til tre millioner år.

I en smal zone langs Køge Bugt og på Møn udgøres den prækvartære overflade af Skrivekridt fra Maastrichtian, mens kridtet er dækket af et lag bryozokalk fra Danien på det øvrige Øst-Sjælland /2/. Skrivekridtet er meget finkornet og kun svagt diagenetiseret, hvorfor den har en relativ høj porøsitet på ca. 40-50 % men en relativ lille permeabilitet /5/. Bryozokalken er

noget mere grovkornet grundet dominansen af bryozoer, og er generelt mere permeabel end skrivekridtet.

Den øvre del af formationerne er opsprækkede. Den massive erosion i Neogen har dannet horisontale aflastnings sprækker, mens en overordnet NØ-SV kompressionsretning i området har dannet sub-vertikal sprækker /6/. Den allerøverste del (især Danienkalken) er desuden blevet kraftigt opknust af de glacielle fremstød i Kvartær. Grundet kalkens og kridtets lave permeabiliteter er denne opsprækning altafgørende for at saltvandet i dag er udvasket fra de øvre dele og at formationerne kan udnyttes som grundvandsmagasiner.

Der er i de seneste par år etableret tre relative dybe kerneboringer på det østlige Sjælland; 'Karlslunde Mose-boring', en 272 meter dyb boring mellem Tune by og Køge bugt; 'Stevens 1', en 450 meter dyb boring ved Flagbanken på det yderste af Stevns klint; og 'Stevens 2', en 350 meter dyb boring nede i det nedlagte Boes-dal kalkbrud ved Rødvig. Se Figur 1 for boringernes placering. Stevns 2 boringen står direkte i Skrivekridtet, mens denne formation i Stevns 1 er dækket af ca. 15 meter Bryozo-kalk og i Karlslunde Moseboring af ca. 25 meter Kvartære aflejringer. Stevns 1 ligger i terrænkote ca. +25 meter, mens Stevns 2 og Karlslunde moseboring har hhv. terrænkote ca. 0 og +2 meter.



Figur 1. Boringernes placering på det østlige Sjælland.

FELTDATA

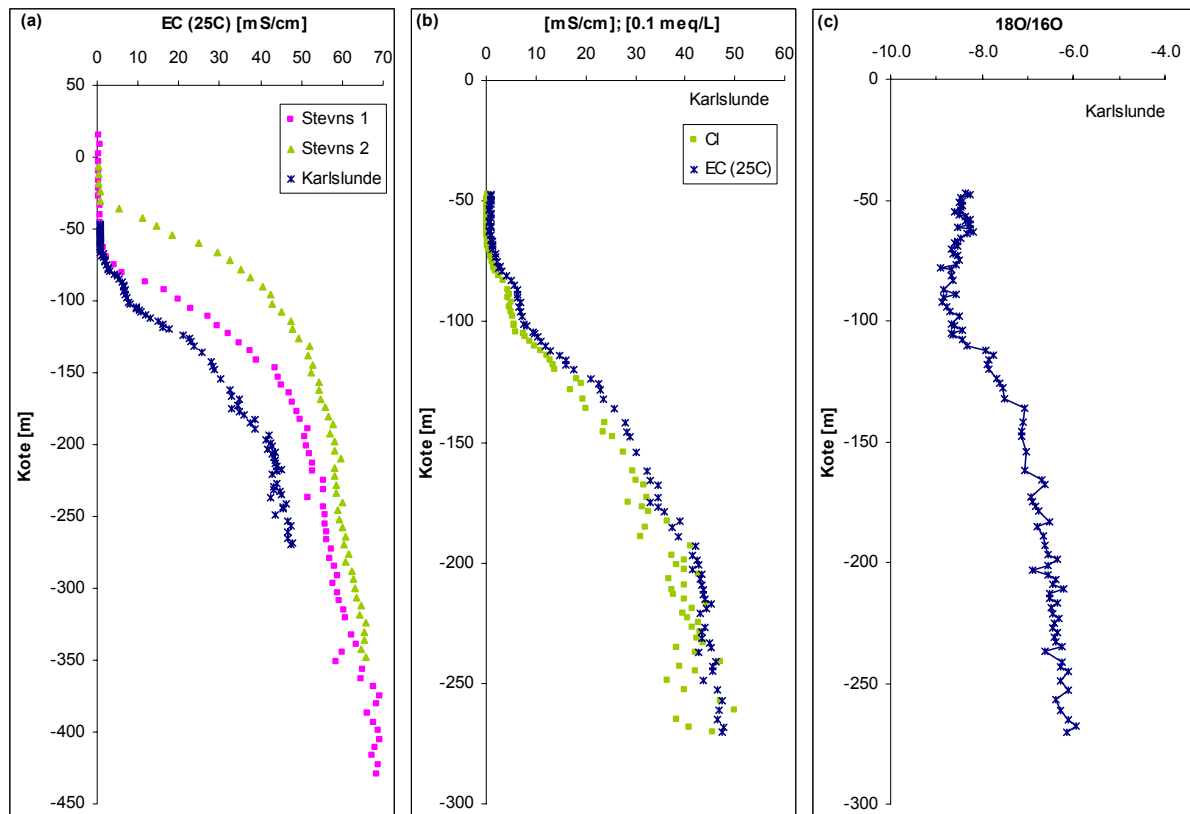
Metode

Ved etableringen af de tre ovennævnte boringer, blev stykker af kernen efter afdrypning pakket i husholdningsfilm og forseglet i en pose af kraftigt polymer laminat /7/. Efterfølgende blev kernerne opbevaret i op til et år før de blev skåret og porevandet centrifugeret ud. Det vurderes at fordampningen fra kernerne i opbevaringsperioden har været minimal grundet den beskrevne indpakning. Kernerne blev centrifugeret i ca. 35 min ved 4500 omdrejninger per minut i en Heraeus Christ Varifuge K. Inden centrifugeringen blev stykkerne knust med en hammer for at mindske kapillærkræfterne. For de to Stevns boringer er porevandet ekstraheret på et kernestykke for hver sjette meter i hele kernens længde, mens der er taget prøver fra Karlslunde moseboring fra 49-272 m med et til fire meters interval. Den elektriske konduktivitet (EC) er blevet målt på det udcentrifugerede porevand, og hvor der var vand nok, blev der udtaget prøver til analyse for hovedioner samt stabile ilt isotoper. I denne rapport vil

kun den elektriske konduktivitet bliver behandlet for alle tre borer, mens klorid og stabile iltisotoper også vil blive behandlet for Karlslunde boringen. Klorid koncentrationerne for Karlslunde boringen er målt på en HPLC ionkromatograf, mens de stabile iltisotoper er målt massespektrometrisk på Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet /7/.

Resultater og diskussion af porevandsanalyserne

Resultaterne af porevandsanalyserne ses i Figur 2.



Figur 2. a) porevands elektriske konduktivitet som funktion af dybden; b) sammenligning af profilet for EC og klorid koncentration i porevandet for Karlslunde moseboring; c) porevands $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ forhold som funktion af dybden for Karlslunde moseboring.

Figur 2a viser profilerne af målt elektrisk konduktivitet i porevandet ned igennem de tre borer. Overordnet har de tre profiler den samme form, der minder om et diffusionsprofil, hvor de øverste 30 til 100 meter af formationen er blevet udvasket. Der ses dog en tydelig forskel i dybden hvortil udvaskningen er nået. I Stevns 2 ses en stigning i EC allerede i ca. kote -30 meter, mens det for Stevns 1 og Karlslunde først ses i omkring kote -70 meter. Det egentlige diffusionsprofil ses dog først at begynde i ca. kote -104 meter i Karlslunde. Udvasningen i de øverste 30-100 meter tolkes som et tegn på, at der i denne zone er et relativt tæt og sammenhængende netværk af hydraulisk aktive sprækker, som har muliggjort infiltrationen af ferskt vand og hurtig advektiv transport af salt i.

Under denne zone er sprækkerne få, ikke sammenhængende og ikke hydraulisk aktive, hvilket sammen med den lave permeabilitet af kridtmatrixen og densitetsforskellen på det ferske og marine vand gør, at diffusion her vil være den dominerende transport proces. Disse observationer stemmer godt overens med hvad Bath & Edmunds /8/ fandt i en lignende undersøgelse i Skrivekridtet i Øst-England.

Diffusiv transport er en relativ langsom proces, der oftest beskrives ved hjælp af Fick's 2. lov:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Hvor C er en koncentration, t er tiden, D_e er sedimentets effektive diffusionskoefficient og $\frac{\partial C}{\partial x}$ er en koncentrationsgradient.

Da Skrivekridtet blev hævet i Neogen var porevandet i hele formationen havvand. Den advective transport i sprækkerne i den øvre del af formationen foregår som udgangspunkt så hurtigt, at tiden for udvaskning af denne zone er negligeabel relativ til tidshorizonten for udviklingen af diffusions profilet i den uopsprækkede del /7/, og det kan derfor antages, at der har været ferskt vand i den opsprækkede zone siden infiltrationens start. Koncentrationsgradienten vil således have været nogenlunde konstant igennem tiden, og udviklingen af saltvandsprofilet er derfor kun en funktion af tiden og de effektive diffusionskoefficienter. De effektive diffusionskoefficienter kan i et givent område antages at være konstante over tid kun afhængig af det porøse medies egenskaber.

De små knæk, der kan observeres i selve diffusionsprofilet (Figur 2a), ses ved sammenligning med gamma-logs fra borehullerne at stemme godt overens med ændringer i naturlig gamma-stråling, og dermed lerindhold (Figur 6 viser gamma-loggen fra Karlslunde boringen). Ved observation af selve kernen ses, at disse horisonter med høj gammastråling er et udtryk for en hyppig forekomst af tynde ler/mergel lag med en tykkelse fra få millimeter op til ca. 10 cm, og ikke som et mere homogent lag med et generelt højere lerindhold. Figur 3 viser et billede af sådanne to ler/mergel lag. Disse lerlag har oftest en mindre effektiv diffusionskoefficient end den mere rene kridtmatrix, og selv om lagene er tynde, tyder de observerede knæk på diffusionskurverne på, at hvor de optræder hyppigt er disse lag styrende for diffusionen.



Figur 3. Illustration af ler/mergel lag i Skrivekridtet.

Regnvand har et $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ forhold på omkring -9 /9/. Af Figur 2c ses $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ forholdet i porevandet ned gennem Karlslunde boringen. Heraf fremgår, at der i Karlslunde boringen findes ferskt vand ned til ca. kote -106 meter. Sammenlignes med EC eller klorid profilet for samme boring, ses at der i denne dybde allerede er en klorid koncentration på over 2.000

mg/l, hvilket viser at saltvandet endnu ikke er helt udvasket i denne dybde. Denne sammenhæng mellem de stabile iltisotoper og kloridprofilen, samt selve formen på kloridprofilen i dybden ca. 70-106 m, indikerer, at denne zone er en overgangszone, hvor der stadig findes sprækker, hvori der transporteres ferskt vand ned i formationen, men hvor sprækkeafstanden er så stor at alt saltet endnu ikke er diffunderet ud af matrix. Denne overgangszone ses ikke i Stevns 1 og Stevns 2 boringen.

Den elektriske konduktivitet er et mål for ionstyrken i en given prøve. Sammenlignes profilerne af hhv. elektrisk konduktivitet og klorid koncentrationen af porevandet i Karlslunde boringen (Figur 2b), ses som forventet en meget stor overensstemmelse. Formen for de to kurver ses at følges godt ad og klorid ses at være langt den dominerende anion. Idet klorid er et konservativt stof, og langt den dominerende anion i havvand, kan porevandets elektriske konduktivitet bruges som et godt mål for havvandskoncentrationen i de tre profiler.

At den høje saltkoncentration ikke stammer fra nutidig saltvandsindtrængning, men må være residualt porevand fra før skrivekridtet blev hævet over havniveau, kan sluttes af at saltkoncentrationen i Køge Bugt er meget lavere end de målte saltkoncentrationer i porevandet, som når over ocean-niveau. Oceanisk vand har gennemsnitligt en klorid koncentration på ca. 20.000 mg/l eller salinitet på 35 psu, hvilket svarer til en elektrisk konduktivitet ved 25°C i størrelsesordenen 55 mS/cm /10/. I Køge Bugt er den årlige gennemsnitlige salinitet fra 1989 til 1995 blevet målt til ca. 10 psu /11/, hvilket er under 1/3 af saliniteten i oceanisk havvand, og under 1/4 af den salinitet der burde være nederst i Stevns 1, hvor der er målt EC værdier helt op til 70 mS/cm. De høje EC værdier i bunden af Stevns 1 og 2 tyder endog på at der kan være sket noget opkoncentrering under nogle af de dybereliggende ler/mergel horisonter.

DIFFUSIONSKOEFFICIENTER

Som diskuteret i forrige afsnit vil stoftransport i den nedre uopsprækkede del af kridtet primært foregå ved diffusion. Størrelsen af den effektive diffusionskoefficient bliver således den styrende parameter for hastigheden, hvormed saltvandet vil diffundere ud af kridtmatrixen. En rimelig bestemmelse af den effektive diffusionskoefficient er derfor vigtig for at kunne beskrive tidshorizonten for udviklingen af salt/ferskvands grænse hidtil og fremover.

Teori og metode

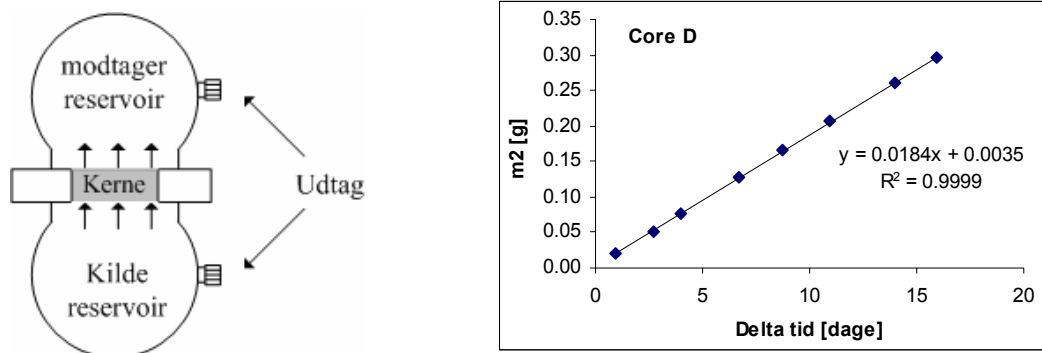
Diffusion er en spredning af partikler i stillestående vand ved brownian bevægelser /10/. Den diffusive flux af et stof, F_x , kan kvantitativt beskrives ved hjælp af Fick's første lov:

$$F_x = -\theta D_e \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

Hvor θ er porøsiteten af det medie hvori diffusionen foregår, D_e er den effektive diffusionskoefficient, og $\frac{\partial C}{\partial x}$ er en koncentrationsgradient. Den effektive diffusionskoefficient er relateret til den fri diffusionskoefficient ved en korrektion for tortuositeten af det givne porøse medie,

hvor den fri diffusionskoefficient er diffusionskoefficienten i selve væsken, og derfor uafhængig af det porøse medie.

Den effektive diffusionskoefficient for klorid og tritium er blevet bestemt i laboratoriet på flere kridt- og mergelstykker fra Karlslunde boringen. Tritium er et hydrogenatom med atomvægten 3 og vil beskrive selve vandets diffusion. Den eksperimentelle opstilling er vist i Figur 4a og består af to beholdere; et kilde reservoir, der ved forsøgets start indeholder en blanding af tritieret vand og natrium-klorid med en koncentration på hhv. ca. 20 MBq/l og 20.000 mg Cl/l; og et modtager reservoir, der ved forsøgets start indeholder rent deioniseret vand. En 1 cm tyk glasplade separerer de to beholdere, og kridtkernen, igennem hvilken diffusionen skal bestemmes, er placeret i et hul i denne plade. En silikonerings bruges som tætning mellem glasplade og kridtkerne, og sørger for at transporten kun kan foregå gennem selve kridtkernen. Under forsøget opbevares opstillingen vertikalt med kilde reservoir nederst, således at advektiv og densitet induceret strømning hindres. Diffusion er derfor den eneste proces hvormed stof kan transporteres mellem de to beholdere. Begge beholdere har et udtag således at koncentrationsudviklingen kan monitoreres løbende.



Figur 4. a) Eksperimentelle opstilling til bestemmelse af effektive diffusionskoefficienter. b) Eksempel på koncentrationsudvikling i modtager reservoir som funktion af tiden.

I dette forsøg blev kun udviklingen i modtager reservoiret monitoreret løbende. I forsøgsperioden blev der ca. 2-3 gange ugentligt udtaget 1 ml væske til analyse for tritium, og den elektriske konduktivitet blev målt. Den elektriske konduktivitet blev målt med en sonde, og vandet udtaget til denne måling blev efterfølgende hældt tilbage i modtager reservoiret for at mindske den totale mængde stof fjernet fra systemet. Tritiumaktiviteten blev efter forsøgets slut målt ved scientillationstælling.

Allerede meget kort tid efter forsøgets start sås en linear tidsudvikling i koncentrationen af klorid/tritium i modtager reservoiret (jf. Figur 4b). Dette indikere at fluxen kan antages at være semi-steady state. I dette tilfælde vil akkumuleringen af masse i det modtagende reservoir være lig den total massetransport gennem kridtkernen ganget med tiden. Dvs:

$$F_x = \frac{1}{A} \frac{\partial m_2}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial (V_2 C_2)}{\partial t} \quad (3)$$

Hvor A er kernens tværsnitsareal, m_2 er massen af stof i modtager reservoiret, V_2 er volumen af væske i modtager reservoiret, C_2 er koncentrationen i modtager reservoiret og t er tiden.

Ved at antage at koncentrations gradienten over kalk kernen er linear, kan den effektive diffusionskoefficient således bestemmes ved at kombinere ligning 2 og 3:

$$D_e = \frac{l}{\theta A(C_1 - C_2)} \frac{d(V_2 C_2)}{dt} \quad (4)$$

Hvor l er længden af kridtkernen og C_1 er koncentrationen i kilde reservoiret. I dette eksperiment blev kun koncentrationen i modtager reservoiret målt jævnlige og koncentrationen i kilde reservoiret er derfor beregnet ved at antage massebalance.

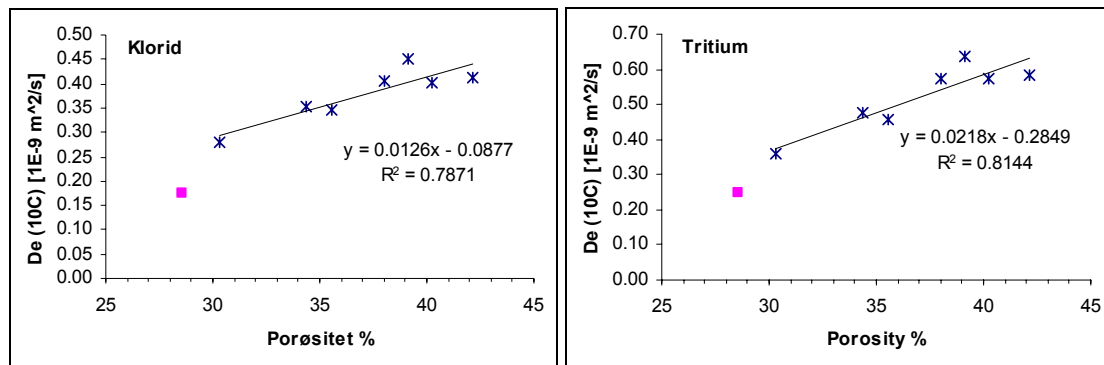
Porøsiteten af de benyttede kerner er bestemt efter diffusionsforsøget ved at måle vægttabet ved tørring af den vandmættede kerne:

$$\theta = \frac{m_{\text{vand}} / \rho_{\text{vand}}}{m_{\text{vand}} / \rho_{\text{vand}} + m_{\text{kridt}} / \rho_{\text{kridt}}} \quad (5)$$

hvor m_{vand} er vægttabet ved tørring, m_{kridt} er massen af den kridtkernen efter tørring, ρ_{vand} er densiteten af vand, som er 0.998 g/cm^3 ved $25 \text{ }^\circ\text{C}$, og ρ_{kridt} er densiteten af kridt, som er 2.7 g/cm^3 .

Resultater

Effektive diffusionskoefficienter er blevet bestemt på i alt syv kridtkerner og tre kerner taget decideret fra ler/mergel horisonter. Resultatet er i Figur 5 vist som funktion af kernernes porøsitet. Grundet problemer med bestemmelse af porøsiteterne for ler/mergel kernerne har det dog ikke været muligt at relatere disse diffusionskoefficienter med porøsiteten, og derfor er kun en enkelt repræsentativ værdi vist i Figur 5. For de kridt kerner ses et tilnærmelsesvis lineært forhold mellem den effektive diffusionskoefficient og porøsiteten. Generelt viser resultaterne at den effektive diffusionskoefficient ved 10°C er i størrelsesordenen $4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for den rene kridtmatrix (porøsiteter omkring de 39%, som ses i Karlslunde boringen i horisonter med lav gamma stråling) mens den er ca. halvt så stor i de egentlige ler/mergel lag.



Figur 5. Den effektive diffusionskoefficient som funktion af porøsiteten. Firkanten længst til venstre i de to figurer repræsenterer den effektive diffusionskoefficient for lerhorisonterne.

TIDSLIG UDVIKLING AF SALT/FERSKVANDSGRÆNSEN

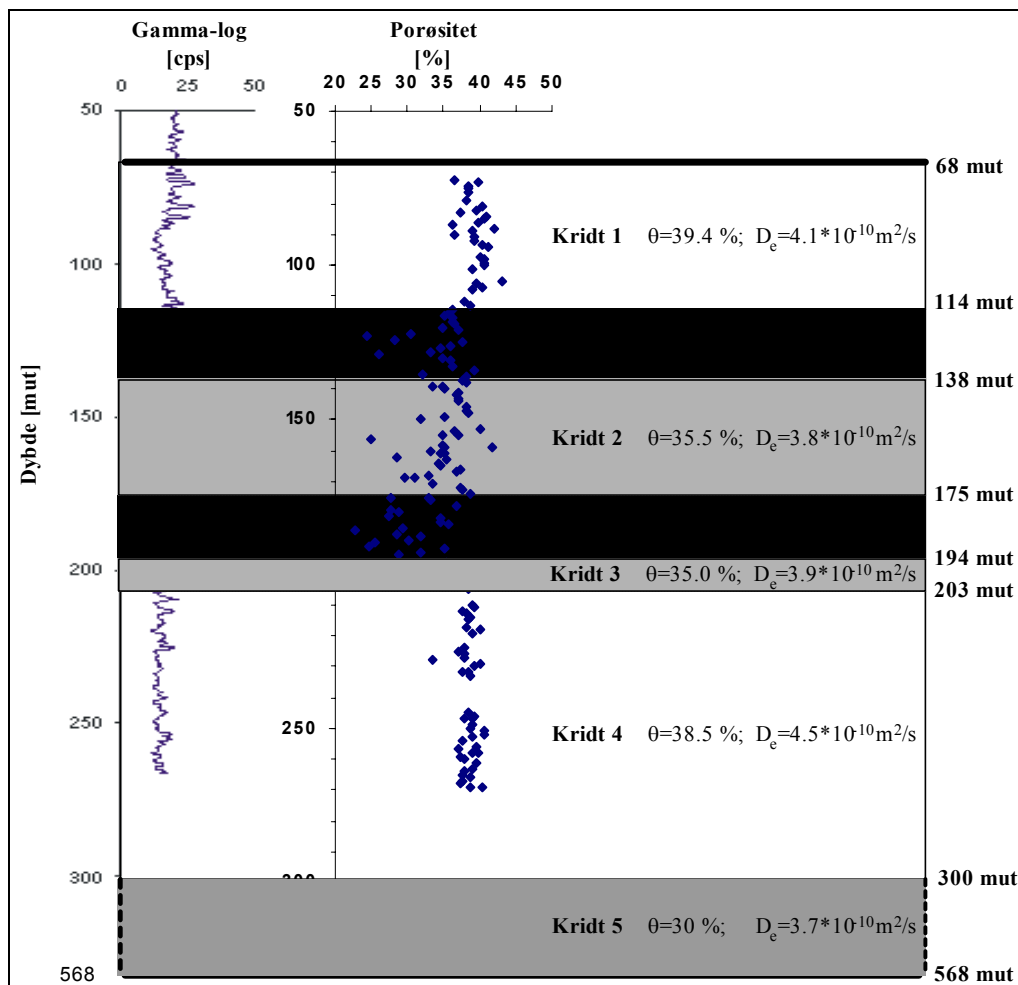
Jævnfør diskussionen i forrige afsnit omkring diffusion værende den dominerende transport proces i den nedre uopsprækkede zone, samt negligerbarheden af tiden for udvaskning i den øvre opsprækkede zone, så kan den tidlige udvikling af salt/ferskvandsgrænsen evalueres ved at løse Fick's 2. lov (ligning 1). Den numeriske kode FRACTRAN /12/ benyttes hertil.

Model setup

Modelleringen foretages for et 500 meter dybt profil af Skrivekridtet fra 68 til 568 meter under terræn ved Karlslunde boringen. De 68 meter er evalueret som dybden på den opsprækkede zone, og ved denne grænse sættes en fastholdt klorid koncentration på 0 mg/l, svarende til ferskt vand. Ved 568 meter er defineret en koncentrations gradient på nul ud fra den hypotese at udvaskningen ikke har nået denne dybde endnu, hvilket EC målingerne fra Stevns 1 bekræfter. Profilet simuleres som pseudo 1D, og initialt haves en klorid koncentration på 20.000 mg/l, svarende til marint vand, i hele profilet.

I forrige afsnit sås hvorledes den effektive diffusionskoefficient afhænger af kridtmatrixens porøsitet samt eksistensen af ler/mergel lag. Den konceptuelle model for Skrivekridt formationen, der benyttes i modelleringen, sættes derfor op på baggrund af dybdeprofilen af målt porøsitet og gamma-loggen for Karlslunde boringen. Der er således blevet defineret to ler-horisonter og fem kridt-horisonter (jf. Figur 6). Relationen for effektiv diffusionskoefficient versus porøsitet fra Figur 5 er benyttet til at tilskrive effektive diffusionskoefficienter for de forskellige kridthorisonter.

Der er desuden lavet en temperatur-korrektion ud fra en temperatur-gradient på 2-3°C per 100 m observeret på temperatur-logs fra Stevns 1 og 2. Fra 300 til 568 meter haves ingen porøsitet eller gamma data fra Karlslunde boringen, så her er benyttet en porøsitet på 30%, som observeret for Stevns 1 i denne dybde.

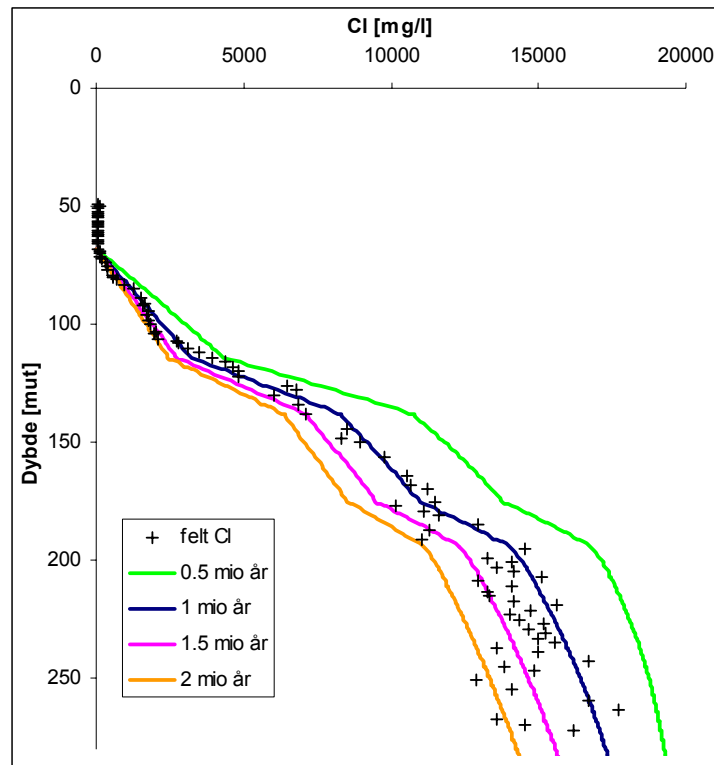


Figur 6. Konceptuel model for Skrivekridt formationen i Karlslunde boring.

Resultater og Diskussion

Resultatet af simuleringerne for tiderne 0,5 til 2 millioner år ses i Figur 7. Det ses, at efter ca. en million år stemmer de simulerede koncentrationer nogenlunde overens med de målte værdier. Med hensyn til tiden ligger usikkerheden på de tilskrevne effektive diffusionskoefficienter. Dog fremgår det af en sensitivitetsanalyse, at inden for rimelige værdier af diffusionskoefficienter, vurderet ud fra diffusionsforsøgene, vil tiden for udviklingen af den eksisterende diffusionsprofil stadig være ca. en og max to millioner år. At udviklingen af den eksisterende salt/ferskvandsgrænse har stået på i en til op mod to millioner år stemmer godt overens med Japsen et. al's teori /4/, om at hævnning af det Danske Sedimentære Bassin er sket i sen Neogen.

For at teste modelopsætningen er sensitiviteten af dybden til den nedre grænse og dennes type (ingen koncentrationsgradient versus fastholdt havvandskoncentration) evalueret. Her er det fundet, at hvis den nedre grænse er i ca. 500 mut eller dybere har dens position og type ingen signifikant effekt på profilet, hvilket var som forventet ud fra observationer af Stevns 1 profilet. Over denne dybde vil formen på den nederste del af profilet blive påvirket lidt.



Figur 7. Udsnit (fra 250 mut og opefter) af simulerede salt/ferskvandsgrænse profiler for forskellige tider.

KONKLUSION

Profiler af, elektrisk konduktivitet, klorid koncentration og stabile iltisotoper målt på porevandet fra tre dybe borekerner i Skrivekridtet på Østsjælland, viser at saltvandet her er blevet udvasket til kote ca. -40 til -70 meter. Under denne dybde ses en signifikant stigning i klorid koncentrationen ned til omkring kote -400 til -500 meter, hvor den målte EC værdi vidner om fuldt marint vand. Ved modellering er det bevist, at overgangszonen mellem den udvaskede zone og det fuldt marine vand kan beskrives ved en opadrettet diffusion alene. I den øver udvaskede zone er advektiv transport i et veludviklet sprækkesystem den styrende transportproces. Under den udvaskede zone er sprækkerne få og inaktive, hvilket sammen med kridtmatrixens lave permeabilitet og densitetsforholdet mellem det ferske og marine vand gør at den langsomme diffusion transport er styrende i denne zone.

Det marine vand i Skrivekridtet er ældgammelt residualt havvand indespærret i porevolumenet under aflejringen for mere end 65 millioner år siden. Initiale modelleringsresultater viser at udviklingen af den eksisterende salt/ferskvandsgrænse har stået på i en til to millioner år. Dette stemmer godt overens med teorier fremsat af Japsen et al. /4/ om at hævnningen af det Østsjællandske område har foregået i sen Neogen, hvorved Skrivekridt formationen først har været tilgængelig for infiltration siden udgangen af Neogen for 1.8 millioner år siden.

REFERENCER

- /1/ Reilly, T. & Goodman, A. (1985): Quantitative analysis of saltwater-freshwater relationships in groundwater systems – a historical perspective. *Journal of Hydrology*, Vol 80, pp. 125-160.
- /2/ Thomsen, E. (1995): *Kalk og kridt I den danske underground*. Fra Nielsen, O.B., ed., Danmarks Geologi fra Kridt til i dag. Aarhus Geokompender, nr. 1, p. 31-67.
- /3/ Surlyk, F. (1997): *A Cool-Water Carbonate Ramp with Bryozoan Moundes: Late Cretaceous-Danien of the Danish Basin*. In James, N.P. & Clarke, J.D.A. (eds.), *Cool-Water Carbonates*. SEPM Special Publication No. 56.
- /4/ Japsen, P., Bidstrup, T. & Lidmar-Bergström, K. (2002): *Neogene uplift and erosion of southern Scandinavia induced by the rise of the South Swedish Dome*. Fra Doré, A. G., Cartwright, J. A., Stoker, M. S., Turner, J. P., og White, N. Exhumation of the North Atlantic Margin: Timing, Mechanisms and Implications for Petroleum Exploration. Geological Society, London, Special. Publications, 196, side 183 – 207.
- /5/ Frykman, P. (2001): Spatial variability in petrophysical properties in Upper Maastrichtian chalk outcrops at Stevns Klint, Denmark. *Marine And Petroleum Geology*, Vol. 18, pp. 1041-1062.
- /6/ Jakobsen, P.R. & Rosenbom, A. (2002): *Transport i sprækket kalk ved Sigerslev*. ATV Møde: Kalkmagasiner som drikkevandsressource – Problemer og løsningsforslag. Helnan Marselis Hotel, 24 oktober 2002.
- /7/ Ulbak, K. A., 2004; *Fersk-saltvandsgrænsen i Skrivekridt i Karlslunde oplandet*. Eksamensprojekt fra Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet.
- /8/ Bath, A.H. & Edmunds, W.M. (1981): Identification of connate water in interstitial solution of chalk sediment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 45, pp. 1449-1461.
- /9/ Clark, I. & Fritz, P., (1997): *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, p. 328
- /10/ Appelo, C.A.J. & Postma, D. (1999): *Geochemistry, Groundwater and pollution*. Rotterdam, A.A. Balkema, p. 536.
- /11/ Conley, D.J., Kaas, H., Møhlenberg, F., Rasmussen, B. & Windolf, J. (2000): Characteristics of Danish Estuaries. *Estuaries*, Vol. 23, No. 6, pp. 820-837.
- /12/ Sudicky, E.A. & McLaren, R.G. (1998): *FRACTRAN User's Guide – An efficient simulator for two-dimensional, saturated groundwater flow and solute transport in porous or discretely-fractured porous formations*. Groundwater Simulations Group, Waterloo Center for Groundwater Research, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.