

Modellering af saltvandsindtrængning

CARSTEN CHRISTIANSEN

Christiansen, C. 2002–12–11: Modellering af saltvandsindtrængning. DGF grundvandsmøde 31. oktober 2002. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 2, pp. 9–11, København.

Forringet drikkevandskvalitet i indvindingsboringer som følge af saltvandsindtrængning er et problem for mange af landets kystnære vandforsyninger. Problemerne kan ofte afhjælpes ved, at tilrettelægge en mere hensigtsmæssig indvindingsstrategi fx, at reducere den samlede indvindingsmængde, ved at fordele den samlede indvinding på flere boringer eller ved at flytte indvindingsboringerne længere ind i landet på baggrund af en analyse af konsekvensen ved forskellige indvindingsscenarier.

Der findes en række forskellige modelværktøjer til simulering af densitetsstyret transport i grundvandet, således at saltvandspåvirkningen ved forskellige indvindingsscenarier kan vurderes. Denne type simuleringer er især nyttige i forbindelse med udarbejdelse af indvindingsstrategier og vandforsyningsplaner for eksisterende kildepladser samt i forbindelse med etablering af nye kildepladser.

Kilder til saltvandsindtrængning

Saltvandsindtrængning forekommer i kystnære indvindingsboringer primært som følge af indtrængende havvand. Havvandet trænger gennemhavbunden og ind under fastlandet som en kile under det ferske grundvand og indstiller sig i en ligevægts-situation. Saltvandskilens form og udstrækning afhænger bl.a. af afstrømningen fra grundvandsmagasinet til havzonen. Øges en kystnær indvinding kan det medføre at afstrømningen til havet mindskes, hvorved saltvandskilen vil bevæge sig længere ind under land, hvilket kan give en øget risiko for saltvandsindtrængning. Saltvandskilens ligevægtsposition afhænger for artesiske grundvandsmagasiner af afstrømningen og ikke af trykniveauet i magasinet, hvorfor det kan forekomme, at sækninger af trykniveauet til under kote 0 ikke nødvendigvis vil give anledning til saltvandsproblemer.

I ikke-kystnære indvindingsboringer er indtrængende havvand et mindre problem, hvorimod optrængende marint residualvand kan give problemer ved

for kraftig oppumpning. I mange tilfælde vil indvindingsboringer være påvirket af en kombination af havvand og marint residualvand.

Opbygning af en saltvandsmodel

Grundlaget for en saltvandsmodel er en hydrogeologisk tolkningsmodel som afspejler en tolkning af de geologiske og hydrogeologiske forhold i et givent modelområde.

Den hydrogeologiske tolkningsmodel implementeres i en numerisk strømningsmodel, fx. *'Modflow'* som er en *'finite difference'* model til strømnings- og transportberegninger i mættet zone. Den numeriske strømningsmodel kalibreres mod observerede trykniveauværdier, prøvepumpningsresultater mm. med udgangspunkt i en række på forhånd definerede kalibreringskriterier. Strømningsmodellen bruges til beregning af et stationært eller dynamisk strømningsbillede i forskellige indvindingsscenarier, og danner således udgangspunkt for transportberegninger med saltvandsmodellen. Herudover benyttes strømningsmodellen til fastlæggelse af indvindingsoplande og infiltrationsområder.

Saltvandsmodellen, fx. *'Femwater'* som er en *'finite element'* model til strømnings- og transportberegninger i mættet og umættet zone, opbygges analogt til den tilhørende strømningsmodel eller som en forsimplet udgave af denne med vægt på de lag, hvori saltvandsstrømningen foregår. Saltvandet defineres dels som en randbetingelse, hvor klorid koncentrationen i de øverste beregningspunkter i modelområdet langs kysten samt i havområder fastholdes på et niveau svarende til den aktuelle koncentration i havvandet og dels ved angivelse af den initielle saltvandsgrænse i grundvandsmagasinet ligeledes ved angivelse af klorid koncentrationer. Det sidste er især vigtigt idet det salte grundvand dels kan optræde som følge af indtrængning af havvand og dels som marint residualvand i aflejringer, som tidligere har været påvirket af havvand.



Figur 1. Konturkort over saltvandsgrænsens beliggenhed med angivelse af datapunkter og punktværdier. **Trekanter** angiver geoelektriske sonderinger og **cirkler** transient elektromagnetiske (TEM) sonderinger.

Saltvandsgrænsen inden for et modelområde kan fastlægges på baggrund af geofysiske målinger som fx. transient elektromagnetiske (TEM) sonderinger eller geoelektriske sonderinger.

Der kan med de to modeller gennemregnes en række forskellige indvindingsscenarier, hvor nuværende og eventuelt fremtidige indvindingsstrukturer kan vurderes mht. afgrænsning af indvindingsoplande, grundvandsdannelser samt ændringer i saltvandsgrænsens beliggenhed.

Saltvandsmodellering på Halsnæs Baggrund

Halsnæs har tre drikkevandsforsyninger; Hundested Vandværk, Lynæs Vandværk og Ullerup/Torplille Vandværk. Der er konstateret problemer med drikkevandskvaliteten i en række af indvindingsboringerne, idet der er målt kloridkoncentrationer på op til ca. 500 mg/l ved Hundested Vandværk, op til ca. 400 mg/l ved Lynæs Vandværk og op til 300 mg/l ved Ullerup/Torplille Vandværk. På den baggrund er der behov for en analyse af mulige ændringer i vandforsyningsstrukturen og herunder eventuelt etablering af nye kildepladser og ændret indvinding på eksisterende.

Geologi

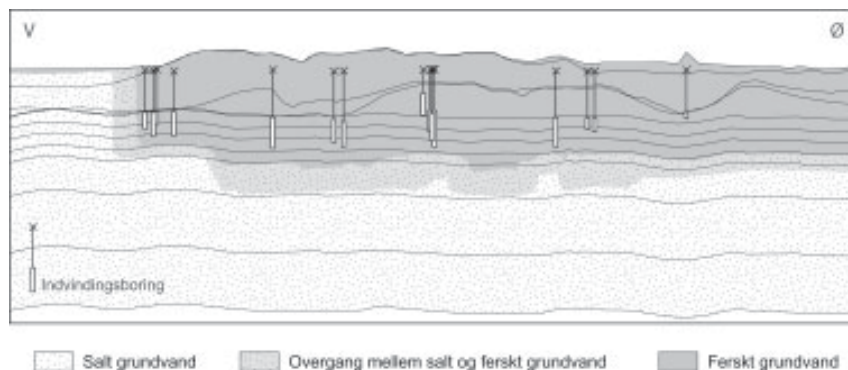
Halsnæs er geologisk beskrevet ved en kvartær lagserie på op til 60 m overvejende bestående af veksellende lag af moræner og smeltevandsler med indslag af smeltevandssand. Flere steder findes geologiske vinduer, hvor de lerede dæklag er meget tynde eller helt fraværende. De prækvartære aflejringer består af Danien kalksandskalk. Undersøgelser har vist, at kalken generelt er meget tæt med enkelte højtstående peakflow zoner som ligger relativt dybt i kalken.

Kloridforureningen skyldes formentlig en kombination af indtrængende havvand og optrængning af residualt havvand fra de dybere dele af kalken. Årsagen til at problemet med saltvandsindtrængning ikke er større end det er skyldes formentlig de relativt tykke lag af tæt kalk som adskiller det dybere liggende saltvand fra den øvre del af kalken, hvorfra oppumpningen foregår.

Modelarbejde

COWI har for Frederiksborg Amt opstillet en grundvandsmodel i programmet 'GMS-Modflow' samt en tilhørende saltvandsmodel i 'GMS-Femwater' til simulering af saltvandsindtrængningen på Halsnæs. Den geologiske model er tolket vha. programmet 'Geoeditor' på basis af boreoplysninger samt oplysninger fra

Figur 2. Beregnet saltvandsgrænse med angivelse af modellag samt indvindingsboringer. Snittet går gennem modelområdet fra vest til øst, og modellen er ca. 200 m i højden. Linierne angiver modellagene, hvor de nederste parallelle lag angiver kalken, mens de øverste angiver de kvartære aflejringer.



multielektrode profilering (MEP), TEM og geoelektriske målinger. Opstillingen af modellerne er sket som led i en vurdering af mulige fremtidige vandindvindingsstrategier, hvor modellerne indgår i en vurdering af den tilgængelige drikkevandsresource samt en vurdering af risikoen for saltvandspåvirkning af nye kildepladser.

Alle strømningsberegninger er foretaget med 'Mod-flow' modellen idet det vurderes, at give den største nøjagtighed. Strømningsberegningerne for hvert indvindings-scenarie er importeret som stationært strømningsbillede i 'Femwater' modellen, hvorefter der er foretaget en dynamisk transportberegning af saltvandsgrænsens beliggenhed. Den initiale saltvandsoverflade, fundet ved de geofysiske målinger, er i modellen angivet ved en kloridkoncentration på 20.000 mg/l (Fig. 1). I tolkningen af beregningsresultaterne er saltvandsgrænsen angivet ved en koncentration på 300 mg/l, svarende til det vejledende drikkevandskriterium (Fig. 2).

Konklusion

Det fremgår af beregningsresultaterne, at den nuværende indvindingsstruktur er i balance med grundvandsdannelsen. Dette skal imidlertid ses i lyset af, at indvindingsoplandene til Hundested Vandværk og Lynæs Vandværk for en stor dels vedkommende befinder sig i havzonen, hvorved risikoen for indtrængning af salt grundvand til indvindingsboringerne er stor. Dette afspejles i de relativt høje klorid koncentrationer, som er fundet i specielt Hundested Vandværks indvindingsboringer. Der ses ikke en tilsvarende påvirkning af den beregnede saltvandsgrænse ved Hundested, hvilket bl.a. kan forklares ved lokale forhold som fx. sprækker i kalken. 'Femwater' modellen er ikke i stand til at simulere sprækketransport og vil således underestimere saltvandspåvirkningen i den givne indvindings-situation.

Der er med de opstillede modeller etableret nogle tekniske værktøjer som er nyttige i forbindelse med en vurdering af indvindingernes indbyrdes afhængighed samt til bestemmelse af relative ændringer af saltvandsgrænsen i forskellige indvindings-situationer. Beregningerne af indvindingernes påvirkning af saltvandsgrænsen viser, at saltvandsmodellen er i stand til at simulere trends, men udviser en vis usikkerhed i forbindelse med en kvantificering af klorid-påvirkningen. Dette kan skyldes lokale forhold som sprækkebetinget transport som modellen ikke kan regne på samt at beregningsperioden på 8 år er for kort til at kunne simulere langtidseffekter.