

Risikovurdering ved oliespild

Saltindvindingsboring Hvornum-4

Edmund Gosk, Niels Springer & Erik Nygaard



Risikovurdering ved oliespild

Saltindvindingsboring Hvorum-4

Edmund Gosk, Niels Springer & Erik Nygaard

Risikovurdering ved Oliespild; Saltindvindingsboring Hvornum-4

Indhold	Side
1. Forord	2
2. Historik	3
3. Hydrogeologi	4
4. Situationsbeskrivelse for kavernen Hvornum-4	6
4.1. Olien er i kavernen	8
4.2. Olien lækker langs boringen	9
4.3. Olien lækker langs sprækker i dæklagene	10
4.4. Olien lækker gennem dæklagenes matrix	11
5. Grundvandsindvinding	13
6. Diskussion	13
7. anbefalinger	15
8. Efterskrift	16
9. Referencer	16

1. Forord

Akzo Nobel Salt A/S' vurderer at der på indvindingsanlægget i Hvornum salthorsten kan være sket et tab af beskyttelsesolien i kaverneboring nr. 4 i april 2004. GEUS er med aftale (j.nr.: 0742-038) af 28-10-2004 blevet bedt om at vurdere risikoen for udsivning af olie til det overlejrende grundvandsmagasin, som udnyttes til drikkevandsforsyning.

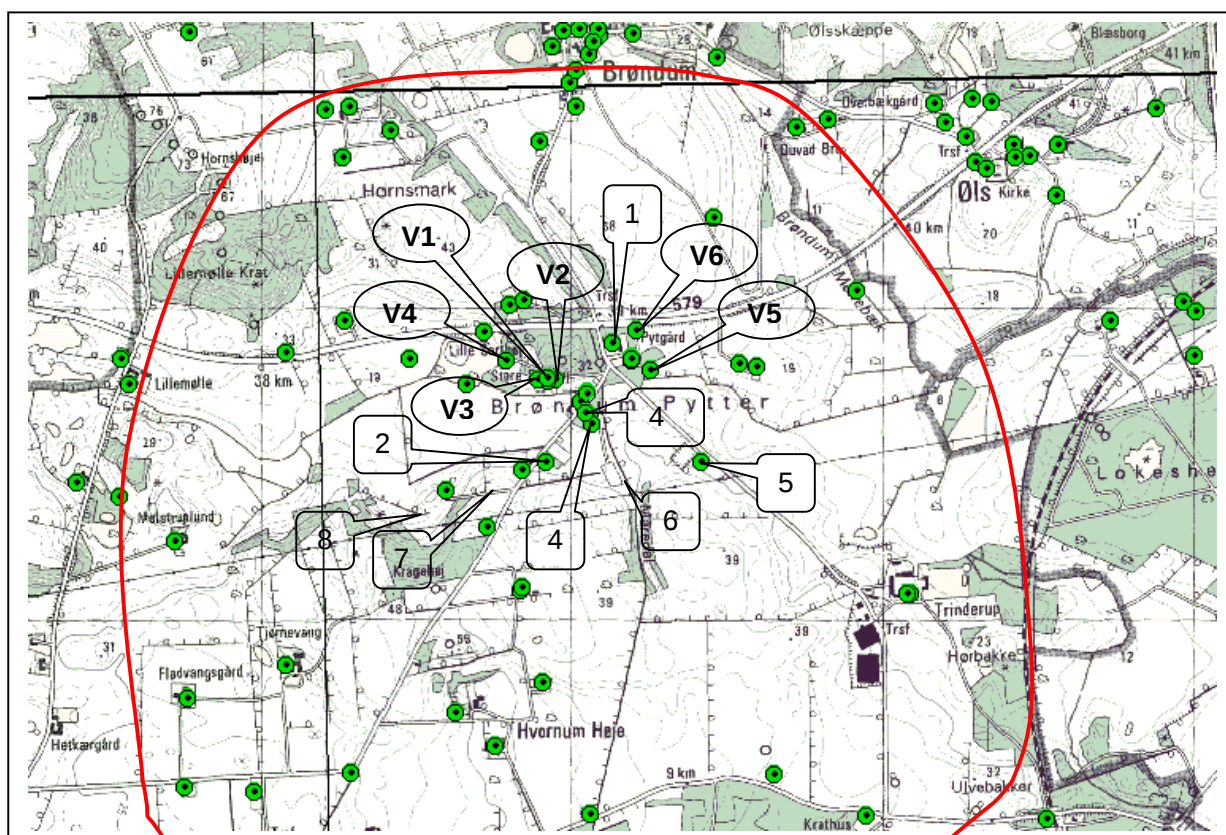
Rapporten, som foreligger hermed, omfatter en principiel følsomhedsvurdering for forskellige scenarier, idet der ikke har kunnet konstateres undvegen/migrerende olie ved undersøgelser i boringen.

Til rådighed for vurderingen har der været oplysninger i Jupiter databasen, borerapporter og logs fra saltindvindingsboringerne på Hvornum salthorsten, Nordjyllands Amts kortlægning af grundvandsforholdene i Hobro kommune /1/, Sætningsundersøgelse over Hvornum saltproduktionsområdet /2/, samt diverse løst materiale vedrørende kaverneudformning, produktionsforhold og undersøgelserne i forbindelse med de aktuelle tildragelser.

Rapporten er udfærdiget af Edmund Gosk, Niels Springer og Erik Nygaard

2. Historik

Hvornum salthorsten ligger under Brøndum Pytter godt 5 km vest-sydvest for Hobro. Her er der etableret et saltindvindingsanlæg med 8 udskyldningskaverne. Kaverne, hvoraf 6 er aktive, har en indbyrdes afstand på ca. 200m, hvor boringen Hvornum-4 ligger centralt i feltet, 34 m fra Hvornum-4A, som blev opgivet på grund af tryktab ved bund af caprock (lost circulation), figur 1.



Figur 1. Området over Hvornum salthorsten med angivelse af borer registreret i Jupiter boredatabasen. Akzo Nobels vandindvindingsboringer er angivet med "V"+ nr. og Saltkavneboringerne med nummer (6, 7 og 8 uden præcis lokalisering). Den røde linie er en omtrentlig afgrænsning af salthorsten indenfor kortbilledet. De største vandproducenter er V4 og V1. Det detaljerede gridnet er 1x1 km.

I forbindelse med rutinemæssig vedligeholdelse af produktionsboring nr. 4 (DGU nr. 57.320), blev der konstateret at faldende tryk fra 20 til 16 bar under injektion af ca. 18 m³ olie og olie/vand emulsion. Olie anvendes til at beskytte toppen af saltkavnen mod udskylning. Kavnetrykket holdt sig herefter konstant på 16 bar i 14 dage. Trykfaldet på 4 bar svarer beregningsmæssigt til et manglende olievolumen på ca. 20 m³.

Det blev tolket at trykfaldet kunne skyldes tab af olie fra indvindingssystemet. Med henblik på at afklare årsagen til trykfaldet og det manglende olievolumen blev produktionsrørene trukket op, og der blev kørt en 80-Arm Multi Sensor Caliper Log for at undersøge tæringsgraden i 9 5/8" forerøret. Akzo Nobel tolker en korrosionslækage ved ca. 292,5 m u.t. En Sector Bond-CLB-VLD-CCL-Bond Index Log viser, at cementeringen er utilstrækkelig eller manglende i ringrummet mellem 13 3/8" og 9 5/8" forerørene i intervallet ca. 55-269,8 m, samt yderligere omkring 9 5/8" foringen fra 269,8 m og ned til et sted mellem 284 og 305 m u.t., dvs. ned til området ved bund af caprock (se figur 3). Ved bund af caprock blev der under borearbejdet mistet en del boremudder til opløsningskanaler, som også kan have medvirket til det dårlige cementjob. Cementeringen af 9 5/8" forerøret gennem beskyttelseskappen af salt (ned til 517 m u.t. og logget til 515 m u.t.) synes jævnfør loggen at være forsvarligt udført.

Herefter tydede en PND-log på at der kunne være spor af olie mellem 9 5/8" og 13 3/8" forerørene, hvorfor 9 5/8" forerøret blev perforeret i dybderne 60 og 270 mu.t. (2" RTG Circ., CCL-Log) i forventning om at en del tabt olie i ringrummet (11 m³) ville flyde til overfladen ved massefyldeforskellen. Der er ikke for nærværende konstateret olie ved overfladen, men derimod en let saltopløsning, som også kan være årsagen til udslagene på PND-loggen.

Akzo Nobel har siden installeret en packer i ca. 480 m's dybde for at kontrollere trykket i kavernen og reducere den mulige udstrømning af brine til omgivelserne ved lækage i 292,5 m u.t. Boringen er herefter opgivet som produktionsboring.

3. Hydrogeologi

Hvornum salthorsten er dækket af godt 200 m vekslende glaciale aflejringer (stedvis med indslag af tertiært materiale). Denne lagserie findes beskrevet i 19 boringer indenfor nærområdet, hvoraf de 9 er vandforsyningsboringer som er boret til maksimalt 120 m u.t., figur 1. Jordlagene er beskrevet på grundlag af borespåner fra de dybe boringer såvel som vandforsyningsboringerne, hovedsagelig som brøndborebeskrivelser, men i få tilfælde geologbeskrivelser af traditionelle prøver udtaget af opboret materiale ved skift i jordart.

Den glaciale lagserie er bedst beskrevet i de øverste 100 m, hvor der er flest boringer til rådighed. Detaljeringsgraden varierer meget, idet der bl.a. er anført flere tynde lerede lag (morænesand- eller ler) i nogle boringer og ingen i andre. Det generelle indtryk er at der forekommer en del lokale finkornede/lerede indslag øverst i lagserien (ned til omkring kote -30 m), som ellers overvejende er præget af diluvialt sand og grus. Herunder findes der ned til ca. kote -100 m fortrinsvis grus og sand, som udgør hovedmagasinet for grundvand. Fra kote ca. -100 m til caprock (ca. kote -200 m) indikerer flertallet af beskrivelser tykke, dårligt sorterede, sandede og grusede aflejringer med lidt ler (~morænesand?). Herudover forekommer der underordnede lag af sand, grus, konglomerat, lignit og kalksten, som korrelerer dårligt.

Denne overordnede tredeling af de glaciale dæklag stemmer overens med /1/. Fra regionale undersøgelser vides at der er prækvartære dale opfyldt med glacialt materiale i undergrunden.

Brøndum Pytter ligger indenfor et OSD-område (nr. 29) og grundvandspotentialefladen (overvejende frit grundvandsspejl) udgør et plateau på kote godt +15 m, hvorfra der sker naturlig fradræning mod øst, syd og vest. Den stejleste grundvandsgradient mod syd og vest er på 0,35%. Nærmeste vandindvindingsområde til almen vandforsyning er Hvorum vandværk 2 km mod syd-sydvest. I strømningsretningen er der 4 km til indvindingsområdet til Hobro vandværk mod øst (fra /1/) med en gradient på ca. 0,15%.

Saltværket har egen indvinding af 2,1 mill m³/år grundvand til udvaskning af salt fra kaverne, tabel 1:

Tabel 1. Oversigt over grundvandsindvinding til Akzo Nobel A/S's saltindvindingsanlæg ved Hvorum. Den største indvinding foregår fra V4 og V1.

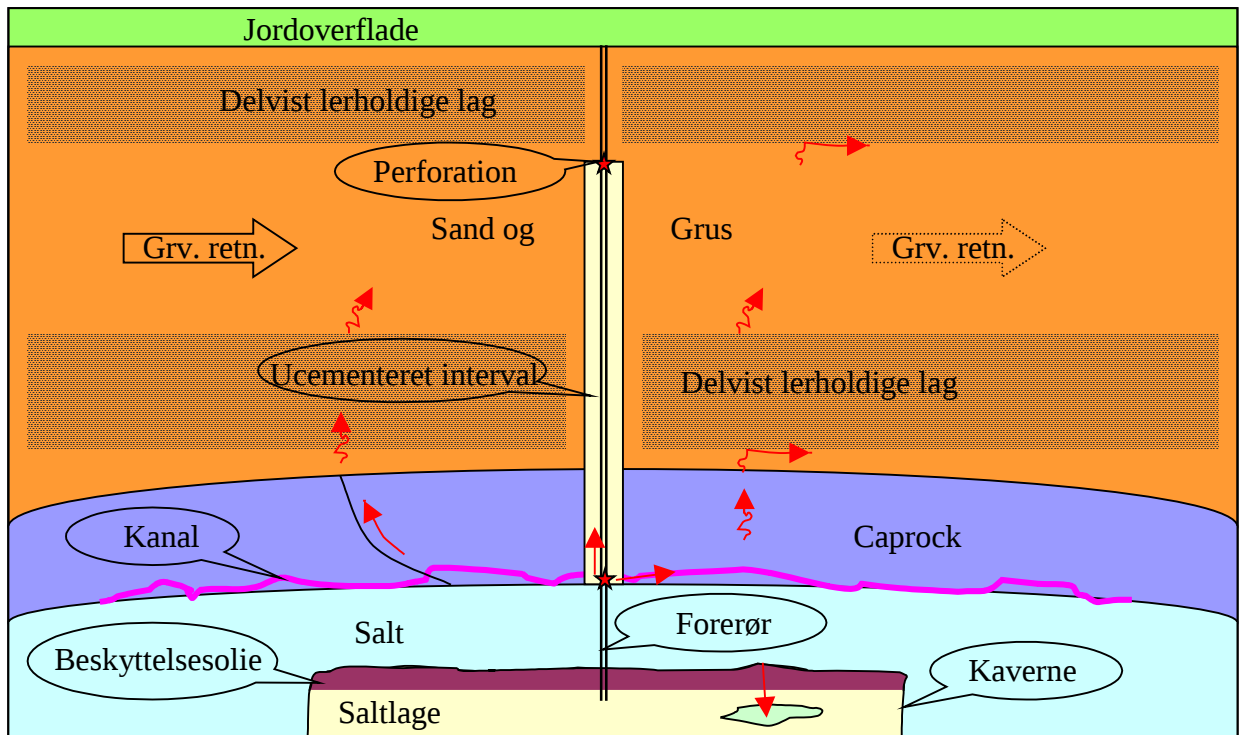
Boring, lokalt nummer	DGU nummer	Prøvepumpning		Produktion	Filterinterval, m u.t.
		Ydelse, m ³ /t	Afsænkning, m	Ydelse, m ³ /t	
V1	57.243	148	3,5	100	62,6-77,6 83-89
V2	57.245	?	?	?	63-88
V3	57.330	180	3,5	?	63-93
V4	57.507	72	2,5	150	59-89
V5	57.645	96,6, indtag 1 12,9, indtag 2	5,7 0,7	?	48,5-60,5
V6	57.703	28,8, seneste	3,56	?	66-78
Årsproduktion				2,1 mill. m ³	

Caprock varierer fra sted til sted og indeholder i boringen Hvorum-1 en 30 m tyk inklusion af tertiært sand med brunkul. Den dokumenterede variation i tykkelsen af caprock over salthorsten er mellem 40 og 114 m. Caprock er i boring Hvorum-4 ca. 75 m tyk og består af tæt gips stedvist med tynde ler-dolomitslirer, samt bladet krystallinsk gips. Nær bunden af caprock overlejrer et 25 m tykt relativt dolomitrigt lag de nederste 7 m, hvor bladet krystallinsk gips udgør op til 60% af bjergarten.

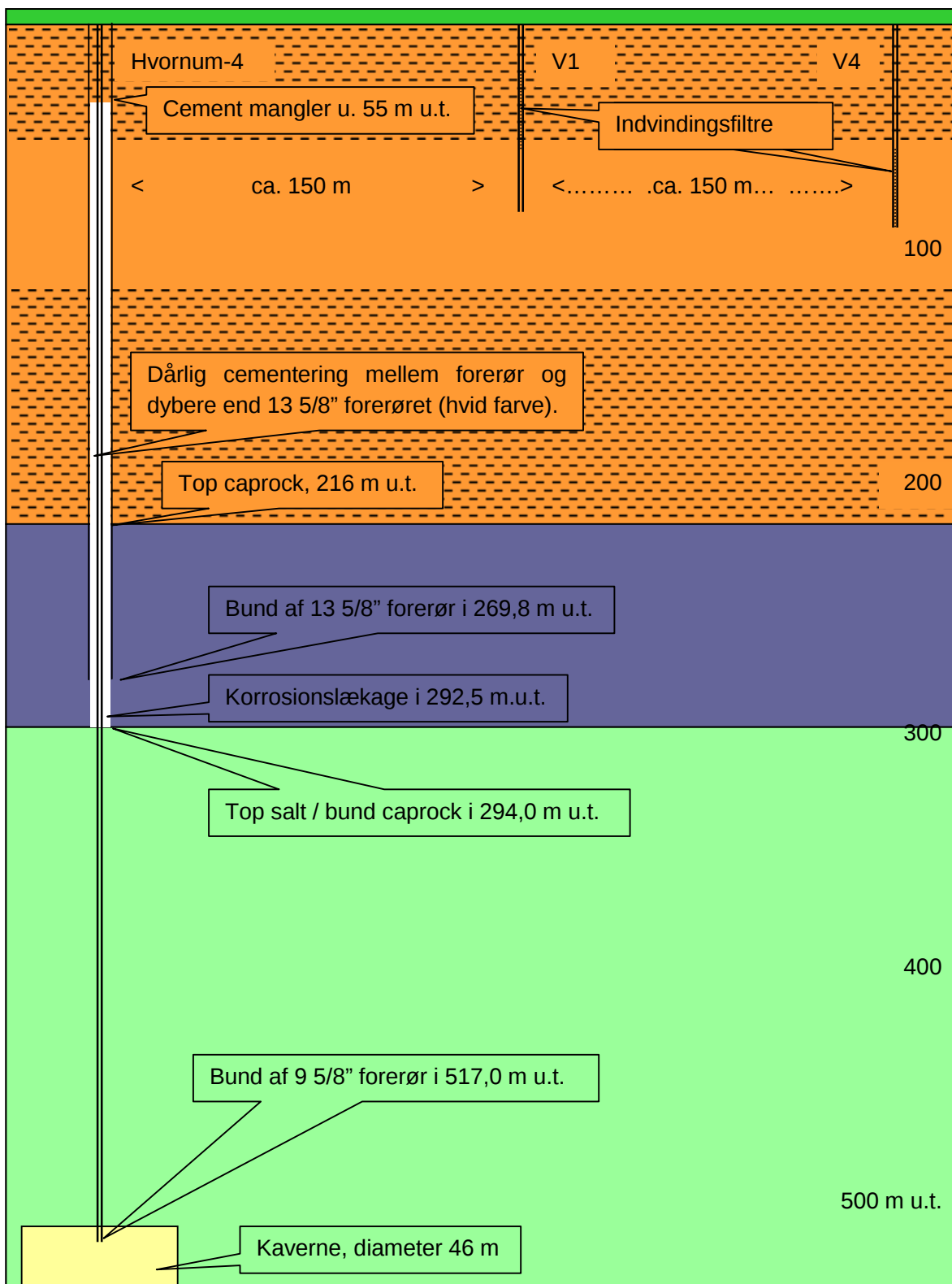
Under borearbejdet, for både Hvorum-4A og -4, var der betydelige tab af muddertryk ved udboring fra caprock til salt. Der er således gennemboret betydelige kanaler/hulheder som ligger langs denne bjergartsgrænse. Dette fænomen langs grænsen mellem caprock og salt er observeret i flere andre borer på Hvorum salthorsten (og mange andre steder).

4. Situationsbeskrivelse for kavernen Hvornum-4

Her fokuseres på de aspekter som er af betydning for vurderingen af risikoen for at olie spredes til grundvandsmagasinet i de glaciale lag over caprock, figur 2. For hver af de steder, hvor olien måtte befinde sig, er der skitseret de eventuelle migrationsveje til grundvandsmagasinet.



Figur 2. Principsskitse af forholdene omkring boring Hvornum-4. Over caprock er det ucementerede 9 5/8" forerør omgivet af et 13 3/8" forerør. Pile viser de bevægelser, af betydning for vurderingen af migrerende olies skæbne og historie, som omtales i teksten: Indfald af materiale i kavernens loft, lækage (ved nedre perforation) til opløsningskanal, lækage til det ucementerede ringrum om 9 5/8" forerøret, perkolation gennem sprækker m.v. i caprock, perkolation/diffusion gennem caprock matrix, stuvning under finkornede/lerede lag underst i den kvartære lagserie, perkolation gennem de nederste kvartære lag til det sandede og grusede hovedmagasin for grundvand, perkolation til stuvning under den øvre serie af vekslende glaciale lag. Lagserien er her stærkt simplificeret.



Figur 3. Situationen mellem jordoverfladen og kaverne Hvorum-4 med angivelse af mål, og i realistisk størrelsesforhold. Terræn ligger gennemgående i +18 m, idet dog terræn ved V1 ligger ca 30 m højere (ikke inkluderet i figuren). Jordarterne (farverne og rasterne) er forklaret i figur 2.

Figur 3 viser de tekniske dele af figur 2 med dimensioner. I det følgende gennemgås det situation for situation, hvor manglende olie eventuelt befinder sig og hvilken mulighed den har for at migrere ind i grundvandsmagasinet:

- ♦ olien er i kavernen,
- ♦ olien lækker langs boringen,
- ♦ olien lækker langs sprækker i dæklagene,
- ♦ olien lækker gennem dæklagenes matrix,

4.1 Olien er i kavernen

Under kavernens tag ligger der en beskyttelsesolie for at bibeholde og sikre en passende tyk saltkappe mellem kavernen og caprock mod opløsning. Olien kan ikke undslippe gennem saltet som i praksis er impermeabel og hvor de sjældne væskeformige brineinklusioner udgør isolerede hulrum. Den eneste måde olie kan forsvinde fra kavernen er gennem rørføringerne eller langs ydersiden af et evt. dårligt cementeret 9 5/8" forerør. Cement-bond loggen viser imidlertid en vellykket og ubeskadiget cementering gennem hele saltkappen.

En manko i olieregnskabet på de ca. 20 m³ betyder ikke nødvendigvis at dette kvantum olie er undsluppet til omgivelserne. En geologisk forklaring kunne være, at der ved indstyrtende flager af fx. anhydrit- og gipsblokke i kavernens tag kan være opstået nyt volumen i olie-kappen, hvortil olien har bredt sig pga. sin lave massefylde, figur 2. Sidescan sonar undersøgelserne, der udføres med års mellemrum, giver ikke noget præcist billede af lofttopografien i kavernen, og uregelmæssigheder i loftets topografi vil kunne "skjule" oliemængder i den aktuelle størrelsesorden.

På basis af de seneste data for kaverne Hvorum-4 pr. 09.02.2004 kan olie-kappens tykkelse skønnes: når det antages at taget er plant og vandret, diameteren af taget er 46 m og der er injiceret 36 m³ olie i kavernen, svarer det til en tykkelse af olie-kappen på 2 cm. Det forstås intuitivt, at selv små uregelmæssigheder i taget sagtens kan kamuflere større mængder olie, idet arealet af kavernetaget er stort i forhold til den injicerede mængde olie. Dette understreges af at brine-olie kontakten står ved underkant af 9 5/8" forerøret, selv om dette rager 40 cm ned under kaverneloftet. Indstyrtning af en 40 cm tyk loftsskive på 50 m² i den aktuelle oliezone ville medføre et tilsyneladende tab af olie på 20 m³. Dette forklarer imidlertid ikke trykfaldet i systemet.

4.2 Olien lækker langs boringen

Den mest almindelige årsag til lækage med kort tidshorisont (mindre end 100 år) fra kaver-ner (samt fra olie/gas og aquifer lagre) til omgivelserne er utætheder i og ved boringerne som følge af korrosion eller dårlig cementering, fig. 2. Begge fænomener er mulige årsager i Hvorum-4 brønden som det omtales nedenfor.

Efter det mulige olieudslip blev konstateret er der kørt en række logs i Hvorum-4 boringen. En "Multi-Sensor Caliper Log" (MSC log) viser meget tydelig forerørssamlinger. Denne log har et af sine største udslag i samlingen i 292.5 m u.t., hvilket kan antyde en læk gennem en korrosionsskade i denne dybde. Log responsen kan dog ikke tages som et bevis på lækage dette sted; der er andre steder på loggen, hvor rørsamlingerne har tilsvarende store udslag.

En "Cement Bond Log" (Sector Bond – CBL – VDL – CCL – Bond Index Log) viser i inter-vallet 55 – 304 m u.t. meget tydelig forerørssamlinger, hvilket tyder på manglende eller delvis manglende cementering. Ringrummet mellem 9 5/8" og 13 3/8" forerørerne udgør derfor en mulig fælde for olie der måtte strømme ud via den tidligere mistænkte korrosion i forerøret. En afsluttende perforering af 9 5/8" forerøret i 60 og 270 m u.t. har imidlertid ikke påvist spor af olie, kun en let saltvandsopløsning. Der diffunderer således hverken olie eller brine i ringrummet. Normalt vil kapillarkræfterne og lav permeabilitet i aquitardens (cap rock'ens) matrix forhindre mistet olie i at stige videre op gennem jordlagene og nå grund-vandet.

Niveauet omkring 292,5 m u.t. er ydermere det sted, hvor der blev tabt mudder under bore-arbejdet. Derfor kan udstrømmende olie gennem et korrosionshul i forerøret i 292,5 m u.t. teoretisk være strømmet til kaviteter i boringens omgivelser. Det er imidlertid tvivlsomt om dette realistisk vil kunne foregå, uden at der også ville være strømmet en delmængde af olien til det ucementerede ringrum.

En "Pulsed Neutron Log" (Blanket Interface PND Log) viser en svagt stigende respons i intervallet 52 – 101 m u.t., og herunder et moderat udslag – svagt stigende nedad – indtil 292 m u.t., hvor udslaget falder til nær 0 cps (counts per second). Neutron loggen reagerer på brintatomer i sidestenen, og underbygger, da der ikke synes at strømme olie gennem perforeringerne, at der står vand omkring borestrengen over ca. 292,5 m u.t.

4.3 Olien lækker langs sprækker i dæklagene

I Hvornum-4 boringen har selve salthorsten sin top i 294 m u.t. Den er overlejret af en caprock indtil 216 m u.t., hvorover der er glaciale aflejringer. Som vist i fig. 2 kan caprock være gennemsat af sprækker/forskydninger/forkastninger. Disse forskydninger kan fungere som lækageveje for et eventuelt olieudslip som breder sig i eller gennem caprock. I almindelighed har en evaporit caprock, her gipshat, en lav permeabilitet, ofte mindre end 1 mD, men hulrum og inklusioner vides at kunne forekomme. Under boringen af Hornum-4 var der således, i lighed med flere andre kaverneboringer i Hvornum salthorsten, tab af muddertryk i bunden af caprock 4 gange, hvilket tyder på store hulrum i dette niveau. Den generelt lave permeabilitet i den øvrige del af caprock er en følge af at den er dannet ved akkumulation nedefra af oftest finkornede uopløselige urenheder i saltet (idet der opløses salt ved kontakten til fersk/strømmende grundvand) samt rekrystallisation.

Dersom der aktuelt findes sprækker/forkastninger/forskydninger i caprock og dersom de er åbne, vil strømning af olie primært foregå her, men stadig forudsat at der er tilført olie ved lækage gennem forerøret. En tilførsel af olie ved tofase strømning til en sprække i caprock vil antagelig udelukkende kunne forekomme hvis sprækken skærer boringen eller en opløsningskanal ved bunden af caprock.

De overlejrende glaciale lag, hovedsagelig sand, grus og ler, er næppe særlig tætte. Pga. deres løst konsoliderede tilstand vil forkastninger eller små sætninger hurtigt lukkes. Ved et olieudslip vil olien pga. sin lavere densitet bevæge sig opad, indtil den normalt standses af, og udbreder sig som et tyndt lag under, lavpermeable lag.

Sprækker/forkastninger/forskydninger dannes ved differentielle sætningsbevægelser, fx. i forbindelse med jordskælv. I området omkring Mariager er der ikke i de seneste 75 år (så længe registrering har fundet sted) målt jordskælv. Den nærmeste registrering er 40 km nordpå, omkring Ålborg. Over Hvornum salthorst sker der en svag indsynkning i forbindelse med saltproduktionen, som vist i nivellementsundersøgelserne /2/, men de er ikke angivet som differentielle og kan på grund af undergrundsstrukturens bueform antages primært at være kompressive og dermed tilbøjelige til at lukke evt. åbninger langs forskydninger.

4.4 Olien lækker gennem dæklagenes matrix

Olie kan trænge igennem dæklag ved forskellige fysiske mekanismer der alle i almindelighed har en lang tidshorisont (mange tusinde eller millioner år):

- Diffusion
- Opløst i vandfasen (én-fase flow)
- Olieflow der forskyder vandfasen (to-fase flow)

Olie som er opløst i vandfasen kan udbrede sig ved diffusion. Det er en fysisk-kemisk proces, hvor et stof diffunderer fra et område med en højere koncentration mod et område med en lavere koncentration. Diffusionsprocessen kan beskrives ved Fick's anden lov for én-dimensional tidsafhængig diffusion, hvor diffusions coefficienten D er konstant [3]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

C angiver stof koncentrationen i afstanden x til tiden t . Diffusions coefficienten for olie i vand i en sedimentær bjergart ved overflade temperatur er omkring $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ og i almindelighed opløses der mindre end 100 ppm olie i vand. Ved den aktuelle tykkelse af caprock på knapt 80 m vil det vare ca. 16.000 år før koncentrationen over caprock er $1/100$ af den oprindelige koncentration af opløst olie, dvs. mindre end 1 ppm. Det indebærer at der i praksis ikke ved diffusion sker en målbar tilførsel af olie til bunden af de glacielle dæklag.

Da olie, som nævnt, opløses svagt i vandfasen kan små mængder olie alternativt transporteres med det strømmende vand igennem dæklag/caprock. Processen kan beskrives ved Darcy's lov:

$$Q \propto K_w * \delta P \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

som angiver at fluxen Q er proportional med permeabiliteten K_w for caprock og trykgradienten δP . Da trykgradienten og øvrige parametre ikke kendes kan der ikke specifikt angives en værdi for denne type transport gennem cap rock, men koncentrationen kan ikke overstige 100 ppm (den lodrette trykgradient gennem caprock er normalt nær hydrostatisk, men hvis der er trykudligning gennem et hul i forerøret i 292,5 m u.t. vil der være en opadrettet gradient. Den vandrette gradient i magasinet over caprock er ca. 0,2% svarende til en naturlig vandret hastighed på ca. 50 m/år.

Olie udgør en ikke-vædende fase i normale vandvåde bjergarter. Når to ikke-blandbare (eller kun meget lidt blandbare) væskefaser er tilstede i en sedimentær bjergart, opstår der et kapillærtryk mellem faserne i porennetværket. Under bestemte trykforhold vil den ikke-vædende fase (olie) være i stand til at fortrænge den vædende fase (vand) fra porennetværket. I caprock tilfældet strømmer olie herved op i caprock, så der nu vil være et to-fase flow system, som ultimativt vil kunne transportere olie videre til den ovenliggende grundvands

zone i de glaciale lag. Det kapillare gennembrudstryk P_{ce} kan beskrives ved Purcell's ligning /4/:

$$P_{ce} = \frac{2\gamma * \cos \Theta}{r_m} \quad [\text{Pa}]$$

hvor γ angiver grænsefladespændingen og Θ er kontaktvinklen; r_m angiver porehals radius for de største porer. Almindelige værdier af γ og Θ for systemet olie-vand-bjergart er: grænsefladespænding: 10 – 60 mN/m og kontaktvinkel: $\sim 30^\circ$

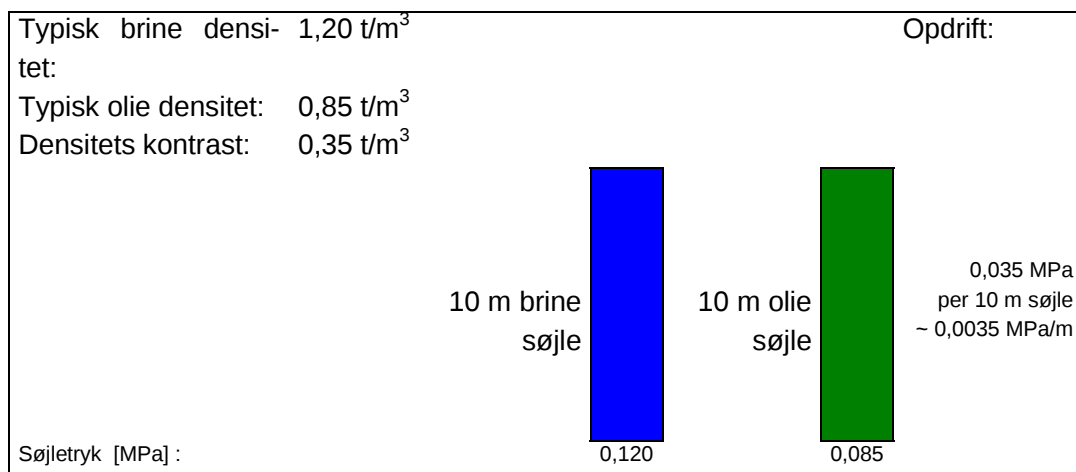
Om olien er istand til at overskride P_{ce} bestemmes således af caprock's porestørrelsesfordeling, som også bestemmer permeabiliteten. Gode caprock's har permeabiliteter $< 100 \text{ nD}$ ($\sim 10^{-21} \text{ m}^2$) og typisk $P_{ce} > 4 \text{ MPa}$ (40 bar). Kvaliteten af caprock over saltkavernen Hvor-num-4 er, som tidligere nævnt, dårligt kendt og de overlejrende kvartære lag er næppe særlig tætte. Tabel 2 sammenfatter typiske værdier.

Tabel 2. Nogle typiske værdier af permeabilitet og kapillare gennembrudstryk for et olie-vand system. Bemærk at moræneler, der har en dårlig sorteringsgrad, har en meget lav K_w men samtidig en overraskende lav P_{ce} .

Bjergart	K_w [mD]	P_{ce} [MPa]
Lerskifer	10^{-5}	> 8
Caprock	0,1	0,2
Moræneler	0,01	0,01-0,1
Kalk ($\sim 40\%$ porøsitet)	5	0,03
Sand	100-1000E3	$< 0,001$

Under antagelse af nogle almene fysiske parametre kan man beregne hvor stort et tryk opdriften på en 1 meter høj oliesøjle udøver. Af tabel 3 fremgår, at opdriftgradienten er ca. 0.0035 MPa per meter oliesøjle. Sammenholdes denne værdi med værdierne for gennembrudstrykket i tabel 2 ses det, at caprock over saltkavernen sandsynligvis er istand til at modstå opdriftstrykket fra en oliesøjle på mere end 60 meter's højde afhængig af materialets karakter.

Tabel 3. Principiel beregning af søjletryk og opdrift for en oliesøjle omgivet af mættet brine.



5. Grundvandsindvinding

Den vandrette komponent i grundvandets naturlige strømning i magasinet er omkring 50 m/år. Akzo Nobel A/S indvinder, som nævnt ovenfor, 2,1 mill. m³/år grundvand i nærområdet omkring saltkavernerne. Dette svarer samlet til en sænkningstragt med radius over 0,5 km (statiske forhold), hvor Hvornum-4 ligger ca. 300 m fra grundvandsboringen med den højeste ydelse, figur 1 og 3. Der er således grund til at formode at olie, eller en del af den olie, der når magasinet gennem caprock og de underste ca. 100 m glaciale lag, vil strømme til fabrikkens indvindingsboringer, idet det forudsættes at der ikke forekommer dybereliggende sammenhængende grundvandsmagasiner uden direkte strømningskontakt til det overlejrende hovedmagasin. Strømningstiden i det udnyttede magasin fra området ved Hvornum-4 boringen til fabrikkens hovedindvinding af grundvand anslås for statiske forhold og indvinding til under et år.

6. Diskussion

På grund af mistanke om et udslip af beskyttelsesolie fra Hvornum-4 saltindvindingskavernen er der her foretaget en vurdering af olies migrationsmuligheder til de glaciale dæklag. De forskellige undvigeveje er beskrevet særskilt. Der er ikke datagrundlag til konkrete beregninger af de specifikke transportegenskaber over Hvornum saltforekomsten. I stedet er forskellige tænkelige migrationsscenarier bedømt med støtte i generelle erfaringer.

Det vurderes at olie, undvejet til caprock i 292,5 m u.t., alene ved migration gennem diffusion, vil nå gennem caprock til bunden af den glaciale lagserie i meget lav og uproblematisk koncentration efter en meget lang årrække.

Strømning af opløst olie (enfasestrømning) er afhængig af trykgradienten. Denne er hydrostatisk over caprock og normalt nær hydrostatisk i caprock, hvorfor strømningen vil følge den naturlige overvejende vandrette retning. En lækage fra 9 5/8" forerøret ved bund af caprock ville øge drivtrykket, så opløst olie i øget omfang, i forhold til ved diffusion, ville nå de glaciale dæklag ved strømning. I denne situation vil der være en opadgående tryk-/strømningsgradient og en øget lagparallel gradient. Oliekoncentrationen ved enfasestrømning vil dog ikke kunne overstige ca. 100 ppm.

Den største strømningsrate af olie til bunden af den glaciale lagserie vil være knyttet til tofasestrømning i åbne sprækker eller anden hydraulisk anisotropi gennem caprock, fx. langs forerørene. Olieudslip gennem et hul i forerøret til åbne sprækker gennem caprock (evt. via kanaler i bunden af caprock) vil være drevet af trykdifferencen og massefylde forskellen (opdriften). I værst tænkelige tilfælde med en åben sprække i caprock vil olie overføres meget hurtigt til de kvartære dæklag. Det formodes at kræve en oliesøjle på 60 m for at skabe gennembrudstryk for olie gennem caprock, dvs en åben oliefyldt sprække som forløber kontinuert over 60 m (lodret komposant), hvilket kun kan opstå langs en åben forkastning (anden anisotropi eller boring). Eksistensen af en sådan sprækkepermeabilitet er imidlertid ikke sandsynlig:

- ◆ Det ville være forventeligt at, i det mindste en del af et olieudslip i 292 m u.t. til omgivelserne, ville blive opsamlet i det ucementerede ringrum mellem 9 5/8" og 13 3/8" forerørerne, - hvilket ikke er tilfældet.
- ◆ Et tryktab gennem et hul i forerøret og videre via åbne strømningsruter ville forventeligt fortsætte indtil der var opnået hydrostatisk tryktilstand, men trykket stabiliseredes på 16 bar's overtryk.
- ◆ Caprock's har normalt en lav lodret permeabilitet.

Et direkte udslipsscenario ville kunne knytte sig til udslip til og langs ydersiden af yderste forerør. Det er imidlertid undersøgt med logs og gennem perforering af 9 5/8" forerøret at dette ikke er foregået i inderste ringrum og derfor næppe heller i den cementerede annulus.

Olie som når op til bunden af den glaciale lagserie migrerer under påvirkning af diffusion, hydraulisk gradient og opdrift. Kildestyrken vil være den, der når gennem caprock. Da de glaciale lag er løst lejrede vil der næppe forekomme væsentlig sprækkepermeabilitet, og migrationen vil gå gennem matrix. I værste tilfælde med groft sorteret sand mellem caprock og grundvandsmagasinet vil olie, som lækker ovenud af caprock ved to-fasestrømning, hurtigt nå bunden af det udnyttede grundvandsmagasin (ca. 110 m u.t.) ved to-fasestrømning.

Den grad af beskyttelse, som de nederste ca. 100 m af de glaciale lag forventes at yde, kan ikke fastslås præcist på grund af manglende data. I /2/ angives der i denne dybde et relativt højt lerindhold, subsidært salint grundvand. Boreoplysningerne fra den glaciale lagserie i kaverneboringerne og vandindvindingsboringerne i undersøgelsesområdet er ikke særlig detaljerede og præcise. Der angives forskellige sandede, grusede og lerede jordarter i dette interval (betegnelser som moræneler, konglomerat, lignit) og beskrivelserne kan være forskellige i forskellige beskrivelser af samme materiale. I alle tilfælde, undtagen kaverneboring 8 og de nederste 25 m over caprock i kaverneboring 4A, anføres "ler" som bestanddel i jorden. Af de 14 sammenfattende beskrivelser af den dybere del af den glaciale lagserie angiver de 8 at der er et tykt lerlag, 11 at der er et vist lerindhold og 3 at der kun er sand og grus. I kaverneboringerne Hvorum-7 og -8 er der kørt Gamma logs, som ikke tyder på et højt lerindhold i den glaciale lagserie.

Det vurderes på dette grundlag at beskrivelser af den nedre glaciale lagserie er af varierende kvalitet, men at den forventeligt har et vist beskyttelsespotentiale overfor migration ved to fasestrømning. Graden af beskyttelse i den nedre glaciale lagserie kan imidlertid ikke afklares med det aktuelle datagrundlag.

Boringen Hvorum-4 ligger indenfor den sænkningstragt som opstår ved Akzo Nobels egen grundvandsindvinding. Da der ikke vides at være spændte magasiner i området /2/, og dette også er usandsynligt på grundlag af de mest fremherskende jordarter, kan grundvandets, og dermed en olieforurenings, strømningsretning antages i hovedsagen at gå mod Akzo Nobels indvindinger. En eventuel tidlig varsling af en olieforurening vil derfor kunne monitoreres og varsles her.

I denne risikovurdering tages der udgangspunkt i et olieudslip/-manko på ca. 20 m³, svarende til trykdifferensen på 4 bar mellem det normale produktionstryk på 20 bar og de 16 bar efter injektionen/efterfyldningen med ca. 18 m³ overskudsolie fra en anden kaverne. Efterfyldningen havde til hensigt rutinemæssigt at sikre at niveauet for bund af beskyttesolie i kavernen skulle ligge lidt dybere end bund af 9 5/8" forerøret. Denne praksis vil normalt indebære at der står olie inde i 9 5/8" foringen (omkring produktionsrørene) i hele forerørets længde.

Da det ikke har været muligt konkret at påvise undvegen olie, og da trykniveauet stabiliserede sig over hydrostatisk niveau, kan det overvejes, hvorvidt der reelt er mistet olie: Der som 9 5/8" forerøret ikke er oliefyldt i hele sin længde (dvs. at den nederste del af forerøret er brinefyldt) vil trykket være lavere end de 20 bar. Den overskudsolie, som blev anvendt til efterfyldning/niveauekontrol af olien i 9 5/8" forerøret var opsamlet fra en anden kaverne. Under en sådan opsamling indvindes der vand i tilgift til olie. Den opsamlede olie blev imidlertid injiceret i Hvornum-4 uden forudgående separation af olie og vand. En ufuldstændig oliefyldning af 9 5/8" foringen vil med dette udgangspunkt kunne forklare et lavere tryk uden et tilhørende tab af olie. Det bør undersøges om der har været en analog tryksænking ved eventuel tidligere efterfyldning med overskuds olieemulsion.

7. Konklusion

- ◆ Akzo Nobel har konstateret et beregningsmæssigt olietab i Hvornum-4 produktionsboringen.
- ◆ Det har ikke været muligt, ud fra feltdata, at dokumentere at der er tabt olie, og den tabte olies skæbne kan derfor heller ikke konkret dokumenteres.
- ◆ Der er derfor foretaget en teoretisk vurdering af mulige scenarier for oliens migrationsveje. De fleste scenarier giver ikke anledning til grundvandsforurening, mens enkelte kan have denne effekt, men i så fald formodentlig over mange år. Risikoen vurderes således at være lille, men det understreges, at det ikke er muligt på det foreliggende grundlag at kvantificere sandsynligheden (risikoen).
- ◆ Det anbefales derfor at datagrundlaget for dæklagenes hydrauliske egenskaber forbedres, og at grundvandskvaliteten over caprock monitoreres så nær den mulige klide som muligt

8. anbefalinger

Med henblik på at varsle og verificere eventuel transport af olie til grundvandsmagasinet anbefales det, at der monitoreres for saltholdighed og olieindhold. Monitoringen kan foregå ved bund af filterinterval i Akzo Nobel's grundvandsindvindingsboringer, men vil med fordel kunne suppleres med monitoring i den glaciale lagserie lige over caprock for at undgå at en eventuel dyb strømning ud af sænkningstragtens område forbliver uvarslet. Denne "dybe" monitoring er så tæt på en eventuel kilde som muligt og vil kunne foregå gennem perforationer i Hvorum-4 boringen.

Herudover anbefales det at der ved fremtidige borearbejder indsamles materiale til karakterisering af hydrauliske egenskaber af lagene over Hvorum salthorsten.

9. Referencer

- /1/ Nordjyllands Amt, 2002: Kortlægning af grundvandsforholdene i Hobro Kommune. Geologisk model for OSD nr. 29 og samlede vurderinger af indvindingsoplande, Rapport ved WaterTech a/s, 50 s.
- /2/ Akzo Nobel, 2000: Surface subsidence predictions in the Hvorum brinefield, pp 13.
- /3/ Crank, J.: The mathematics of diffusion. Clarendon Press, Oxford 1975, pp 414.
- /4/ Dake, L.P.: Fundamentals of reservoir engineering. Elsevier, Amsterdam 1995, pp 443 (Ch. # 10).