



O-94214

Mikrobiologisk konsekvens vurdering
ved termisk energilagring i grunnvann på
Gardermoen

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Prosjektnr.: O-94214	Udemr.:
Løpenr.: 3141	Begr. distrib.:

Hovedkontor Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Sørlandsavdelingen Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Vestlandsavdelingen Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Akvaplan-NIVA A/S Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Mikrobiologisk konsekvens vurdering ved termisk energilagring i grunnvann på Gardermoen	Dato: 3 Oktober	Trykket: NIVA 1994
	Faggruppe: Vannressursforvaltning	
Forfatter(e): August Tobiesen	Geografisk område: Østlandet	
	Antall sider: 13	Opplag:

Oppdragsgiver: Oslo Hovedflyplass ved Reinertsen Engineering	Oppdragsg. ref.: Jan Gorset Kontrakt nr. K-2012
---	--

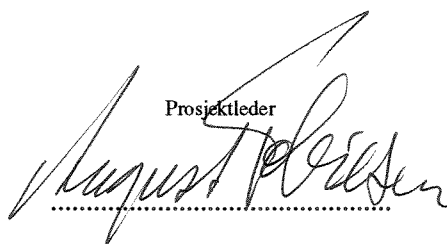
Ekstrakt: En konsekvensvurdering av mulige effekter på mikrobiologiske prosesser i grunnvannet på Gardermoen ved termisk lagring, finner det usannsynlig at det vil kunne oppstå negative effekter på grunnvannskvaliteten i området.

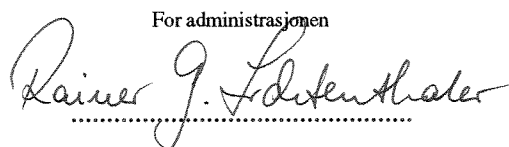
4 emneord, norske

1. Grunnvann
2. Mikrobiologi
3. Termisk energilagring
4. Gardermoen flyplass

4 emneord, engelske

1. Groundwater
2. Microbiologi
3. Thermal energy storage
4. Gardermoen flyplass

Prosjektleder


For administrasjonen


ISBN82-577-2612-5

Rapport

O-94214

Mikrobiologisk konsekvensvurdering av
termisk energilagring i grunnvann
på Gardermoen

Oslo, Oktober 1994

Prosjektleder: August Tobiesen
Kvalitetssikring: Torsten Källqvist

Forord

Reinertsen Engineering henvendte seg til NIVA med forespørsel om NIVA kunne foreta en vurdering av mulige effekter av mikrobiologisk art ved lagring av termisk energi (oppvarmet vann) i grunnvannet ved Gardermoen. Oppdragsgiver er Oslo Hovedflyplass AS som gjennom konsulent felleskapet AF Gjøttum Ekonor med Reinertsen Engenering som fagansvarlig styrer prosjektet.

INNHALDSFORTEGNELSE

		side
1	Sammendrag.....	3
2	Innledning.....	5
3	Datagrunnlag.....	5
4	Vurdering.....	5
4.1	Innledning.....	5
4.2	Geomikrobiologiske effekter.....	6
4.3	Human patogene bakterier.....	7
4.4	Heterotrofe bakterier.....	8
5	Diskusjon og Konklusjon.....	11
6	Referanser	13

1 Sammendrag

Oslo Hovedflyplass A/S har under vurdering et anlegg for termisk lagring av energi i grunnvannet på Gardermoen. I et slikt anlegg vil overskuddsenergi lagres ved å pumpe ned oppvarmet vann samtidig som kaldt vann hentes opp. Ved behov for varme reverseres prosessen. Det er forutsatt at systemet er lukket og under trykk slik at gasser ikke kan blandes inn eller lekke ut.

Gitt ovenstående forhold og med det datagrunnlaget som er stilt til disposisjon samt innhentelse av uttalelser og søk i litteraturen, er det denne rapportens vurdering at det ikke vil oppstå betydelige endringer av mikrobiologisk art i grunnvannet. Rapporten har vurdert mulig effekt av temperatur mht geomikrobiologi, human patogene bakterier og heterotrofe bakterier uten at det framkommer endringer i disse forhold som skulle kunne spores som en endring i grunnvanns kvaliteten. Det er sannsynliggjort at manganutfelling i rørsystemet for anlegget kan tenkes å opptre periodevis hvis manganholdig vann blandes med oksygenholdig vann. Dette vil kun ha driftsmessige konsekvenser og vil ikke påvirke grunnvannskvaliteten negativt.

2 Innledning

I forbindelse med hovedflyplassen på Gardermoen er det prosjektert et termisk varmegjennvinningsanlegg som skal lagre varmt vann ved å pumpe det ned i grunnvannet i perioder med overskuddsvarme og pumpe det opp igjen i perioder med varmebehov. Dette systemet vil medføre en økning i vanntemperaturen i grunnvannet i nærområdet til anlegget (se vurdering av IF Technology, Nederland). Ved injisering av vann med temperatur på 30 °C, har simuleringsforsøk vist en maksimal temperaturøkning på 10 °C 25 m ut fra injeksjonsbrønnene. Denne rapporten har vurdert hvorvidt denne temperaturøkning vil ha mikrobiologiske konsekvenser.

3 Datagrunnlag

Som grunnlag for vurdering har NIVA fått dokumentasjon på/om:

- Plassering av brønner og simulering av temperaturøkning utarbeidet av IF Technology for lokalitet 1 og 2.
- Vannanalyzedata fra NGI (Rapport 920050)
- Kjemiske vannanalyser fra drikkevannsbrønn på Nordmoen (NMT Jesseheim)
- Bakterieanalyser fra drikkevannsbrønn på Nordmoen (NMT Jesseheim)
- Kjemiske analyser og plassering av Nordmoen Grunnvannsanlegg (Nannestad vannverk)

Andre kilder er oppgitt som referanser i referanseavsnittet

4 Mikrobiologisk vurdering

4.1 Innledning

Det er en rekke mikrobiologiske prosesser som kommer i betraktning i en vurdering av mulige temperatureffekter i grunnvann. Aktualiteten og mulig konsekvens av ulike mikrobiologiske prosesser blir nedenfor først behandlet separat, dernest vil denne informasjonen være utgangspunkt for en samlet vurdering. Mulige forhold som med sannsynlighet vil kunne påvirkes av temperatur kan samles i tre grupper: 1) Geomikrobiologiske effekter, 2) Effekt på human patogene bakterier 3) Effekt på heterotrofe bakterier. Generelt vet vi at de fleste bakterier vil svare på en 10 °C økning med en 2-3 dobling i metabolske prosesser, men for varmekjære bakterier kan en økning fra 6 til 16 °C bety forskjellen mellom hviletilstand og aktiv vekst. I denne vurderingen forutsettes det at bakteriene har en gradvis respons til økning i temperatur.

Dessverre mangler det informasjon vedrørende oksygenmetningen i grunnvannet i grunnvannsanalysene fra Gardermoen. Tilstedeværelse av oksiderte forbindelser som NO_3^- og SO_4^{2-} i grunnvannsprøvene fra lokalitet 1 og 2, tyder på at oksydative forhold råer og lave konsentrasjoner av partikulært organisk materiale i sedimentene tyder på lavt oksygenforbruk ved heterotrof metabolisme. Oksygenmåling fra 30m dyp på Furusmo (Jørgensen et al., 1991) gir 0.5 ml O_2 /l (snitt av 23 målinger), overflatevann fra samme område har 6.2 ml O_2 /l. Denne målingen antyder nær anoksiske forhold i dypgrunnvann på Gardermoen, dette er i overensstemmelse med hyppige funn av løst mangan og jern i grunnvannet i det aktuelle området (NGI rapport 920050). Under oksiske forhold vil mangan oksideres og felles ut langsomt (G. Willemsen, IF Technology), mens tilsvarende jern felles ut raskt.

En rekke fagpersoner ved ulike institusjoner (NGI, Ås Landbrukshøgskole, Folkehelse, og Geologisk Institutt UiO) er forespurt mht mulig effekt på mikrobiologisk aktivitet av termisk lagring med en 10 °C økning uten at det fremkom noen umiddelbare betenkeligheter i den sammenheng.

4.2 Geomikrobiologiske effekter

Dette omhandler prosesser hvor uorganiske forbindelser inngår. Potensiale for en eventuell effekt vil her være bestemt av tilgangen dvs konsentrasjonene av de enkelte forbindelser i grunnvannet. I denne sammenheng er det av spesiell interesse å vurdere stoffene jern (Fe), svovel (S), mangan (Mn) og ammonium (NH₄), fordi disse stoffene er kjente substrat for bakterier og kan være grunnlag for bakteriell vekst. Vurderingene for disse stoffene er begrenset ved at man kun kjenner konsentrasjonene for stoffene i vann og ikke som fast stoff i sedimentene. Ifølge IEA rapporten (report 36-B) vedrørende geokjemiske reaksjoner i forbindelse med termisk lagring i grunnvann, viser både testanlegg og laboratoriestudier at man får en økt løslighet av Na, K, og Si i slike anlegg. For de tre første er økningen liten mens den økte løsligheten av Si er betydelig. Avkjøling av vann medfører ikke utfelling av Si som kvarts men istedet dannes Mg-silikater (leireminerale). Men reaksjonene både mht til oppløsning og utfelling er langsomme og får ingen effekter for driften av ATES (aquifer thermal energi storage, eller termisk energi lagring i grunnvann) anleggene. De økte konsentrasjonene med Si har ingen mikrobiologisk betydning. Utfelling av karbonater spesielt CaCO₃ har vært registrert ved andre ATES installasjoner. CaCO₃ løsligheten synker ved økende temperatur og utfelling i andre ATES installasjoner har derfor skjedd i den delen av systemet hvor vannet er oppvarmet. Betydningen av disse forhold for et eventuelt anlegg på Gardermoen er vurdert av IF Technology (Nederland). CaCO₃ mengden i vann har ingen betydning for mikrobiologiske prosesser utenom pH effekten i denne sammenheng.

Jern (Fe)

Jørgensen et al. (1991) antar at jern i form av pyrite (FeS) kan utgjøre 0.08-0.14 % av sedimentene i det vannmettede sjiktet. Ved tilgang på fritt oksygen vil pyrite omdannes til toverdige jern (Fe²⁺) og sulfat. Denne formen kan være en energikilde for jernoksyderende bakterier. Men formen er ustabil i nærvær av oksygen og vil da bunnfelle som jernhydroksid. Av analysene fremkommer det at løst jern finnes i konsentrasjoner fra under deteksjonsgrensen til 24 mg/l (920050/5). Av 74 brønnvannsprøver viste 15 prøver verdier over deteksjonsgrensen (0.05 mg/l) og 2 over 10 mg/l. pH i alle prøvene viser verdier på 7 eller høyere. Jernoksyderende bakterier er ikke aktive ved pH >6, mens pH i grunnvannet på Gardermoen er på 7 eller høyere. Noen økt bakterievekst på grunnlag av jern synes derfor uaktuelt. I de tre prøvebrønnene nærmest lokalitet 1 ble det ikke funnet verdier over deteksjonsgrensen. I de tre brønnene nærmest lokalitet 2 viste 2 av 9 prøver verdier over deteksjonsgrensen, høyeste verdi var 0.86 mg/l. Relativt høye tall tyder på at innslag av anoksisk vann. Jørgensen et al. (1991) beregnet at en stor andel av oksygenforbruket i grunnvannet på Gardermoen kunne tilskrives oksydasjon av pyrite. Denne omdannelse vil i hovedsak inntreffe i et smalt skikt hvor forbruk av oksygen for pyriteoksidasjon blir kompensert ved diffusjon av oksygen ovenfra. Vann med høye verdier for løst jern vil da stamme fra dette sjiktet.

Mangan (Mn)

Toverdig mangan (Mn^{2+}) kan være en energikilde for en rekke bakterier. Enkelte kan dyrkes kjemoautotrofisk ved temperaturer opptil 40 °C. Oksidasjon av mangan hos bakterier medfører dannelse av utfelt MnO_2 . Av analysene til NGI (rapport 920050) fremkommer det at 52 prøver hadde konsentrasjoner over deteksjonsgrensen på rundt 0.015 µg/l. Unntatt for en prøve på 2 mg/l var det ingen konsentrasjoner på over 1 mg/l. De tre nærmeste brønnene til lokalitet 1 hadde en snittkonsentrasjon på 0.11 mg/l. Snittkonsentrasjonen for lokalitet 2 er tilsvarende 0.12 mg/l. MnO_2 blir redusert av bakterier til Mn^{2+} under anoksiske forhold i nærvær av en organisk karbonkilde. Ved prøvetaking av grunnvannsprøver blir pumpen senket ned til bunnen av brønnen og deretter heist opp rundt 0.5 m. Men ingen av brønnene synes å gå mer enn 5-6 m ned i grunnvannsmettet dyp. De planlagte pumpebrønner/injeksjonsbrønner er tenkt ført nær 30m ned i vannmettet sone, pumpeinntaket er planlagt 10-15 m ned i vannmettet sone, det er derfor overveiende sannsynlig at anoksiske vann med Mn^{2+} vil bli blandet med vann med noe oksygen. Mn^{2+} vil sakte kjemisk oksydere til MnO under oksiske forhold. Mens bakterier vil benytte dette hurtigere til autotrof vekst. Denne oksydasjon medfører dannelse av ikke løslig manganoksid. Optimal pH for manganoksiderende bakterier er 7 og derfor innenfor det målte området for grunnvannet på Gardermoen. Optimale konsentrasjoner for manganoksiderende bakterier i ferskvann er 1 mg $Mn\ l^{-1}$. Problemer med utfelling av manganoksid og derpåfølgende trykkfall i ledningsnett er registrert f.eks i Tyskland (Erlich, 1981). I vannverk regnes en konsentrasjon på over 0.15 mg $Mn\ l^{-1}$ som grense for når tiltak mot utfelling i ledningsnett må settes i verk. I en kvalitetsvurdering av grunnvannet fra Hona vannverk (ca 4 km nord for flyplassen) ble det av Hjøllnes Cowi AS i 1992 på grunnlag av høye funn av mangan anbefalt å behandle vannet for å felle ut mangan før det ble sendt ut på vannledningsnett. Pumpebrønnene planlagt i forbindelse med anlegget for termisk lagring skal gå nær 30 m ned i vannmettet sone, det er derfor sannsynlig at anoksiske vann med løst mangan blir blandet med oksiske vann. I et lukket system med oppvarming og gjennomstrømning er det sannsynlig at manganoksyderende bakterier vil få forbedrede forhold med utfelling av manganoksid som resultat.

Svovel (S)

H_2S , S_0 eller thiosulfate er alle stoff som kan utnyttes energimessig av svovel oksyderende bakterier under oksydative forhold, med dannelse av SO_4^{2-} . I NGI rapport 920050 er det analysert for både total svovel og SO_4^{2-} , fra disse resultatene kan man konkludere at svovel i grunnvannet i hovedsak (>90 %) er i form av SO_4^{2-} . For de tre nærmeste brønnene til lokalitet 1 er snittkonsentrasjonen på 7.8 mg/l. Snittkonsentrasjonen i de tre nærmeste brønnene til lokalitet 2 er 7.9 mg/l. I en artikkel av Jørgensen et al. (1991) settes dannelsen av SO_4^{2-} i sammenheng med oksydasjon av pyrite (FeS) med dannelse av SO_4^{2-} og $Fe(OH)_2$. Jernhydroksid har lav løselighet ved nøytral pH og vil derfor ikke måles som jern i grunnvannsprøvene i prøver som er oksiske. I artikkelen til Jørgensen et al. (1991) antydes det at en vesentlig del av oksygenforbruket i grunnvannet skyldes oksydativ omdannelse av pyrite.

Nitrogen (N)

Ammonium (NH_4) er substrat for nitrifiserende bakterier som kan leve autotroft på dette, og mange nitrifiserende bakterier har en optimal vekst temperatur på nær 30 °C. I NGI rapporten (920050) er det ikke analysert for ammonium men tall for nitrat (NO_3^-) og total

nitrogen tyder på at alt uorganisk nitrogen er i form av nitrat. Selv ved en eventuell gjødsling av grøntanlegg i forbindelse med flyplassen er det ikke forventet at ammonium vil trenge ned til grunnvannet men bli omdannet til nitrat underveis gjennom det umettede sjiktet (Berit Svensen, Ås, personlig meddel.).

4.3 Effekt på human patogene bakterier

En alvorlig betenkelighet ville være om termisk energi medførte gunstige vekstvilkår for human patogene bakterier. Dette problemet har vært relativt grundig undersøkt i eksisterende anlegg (IEA, 1992, rapport 42-D). Et kort resymé av noen av de resultater og erfaringer fra denne rapporten er gjengitt nedenfor. Det er ikke tatt bakteriologiske prøver fra de aktuelle lokaliteter. Det som er av aktuell informasjon er fra Hona vannverk (Nordmoen) som ligger ca 4 km nord for flyplassen. Vannet her har vært undersøkt av Næringsmiddelkontrollen på Jessheim i perioden 1989 til 1993. Det er kun analysert for koliforme ved 37 °C og termostabile koli ved 44 °C samt kimtall. Totalt er det tatt 22 prøver i dette tidsrommet, av disse hadde 3 prøver mellom 2 og 10 koliforme per 100 ml, det ble ikke registrert termostabile koli i noen prøver, mens kimtall var mindre enn 100 for alle prøver unntatt en. Alle prøvene tilfredsstiller kvalitetskravene for drikkevann. Det blir ikke analysert for andre patogene bakterier, unntatt når standardtestene tyder på forurensning fra human aktivitet.

Spørsmålet er likevel, kan en oppvarming av vannet forårsake en økning i de patogene som finnes? Human patogene er mesophile, det vil si at de vokser best ved temperaturer mellom 10 og 45 °C og har optimal vekst ved 37-40 °C. En temperatur økning fra 6 til 16 °C eller mer vil derfor kunne bety mye for deres vekstpotensiale. Erfaring fra et ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) anlegg i Tyskland viste at til tross for at grunnvannet var forurensset med koliform bakterier fra ett nærliggende kloakkrenseanlegg så medførte ikke drift av anlegget noen økning i antallet koliforme bakterier. Alle prøver viste konstant lavt antall. I en simulering med infeksjon av et anlegg med koliform bakterier benyttet man i Sveits nedskalerte modellsystemer. Disse benyttet vann og sediment fra hovedanlegget. Modellsystemene ble infisert med kolibakterier og kjørt med ulik vannoppvarming. Ved injeksjon av vann på 40-55 °C ble koliformbakterietallet halvert på <1 dag, ved 25 °C ble antallet halvert på 4 dager. I et annet anlegg i Sveits ble overlevelse av den termofile bakterien *Legionella pneumophila* (gir lungebetennelse, kjent fra varmtvannberedere som opererer ved 50-60 °C) under ulike driftsforhold i modellsystemer. Ved 37 °C i autoklavert vann (sterilt) fra hovedanlegget ble 3000 CFU/ml redusert til under deteksjonsgrensen etter 2 uker. I ikke sterilt vann forsvant 90 % i løpet av 10 dager samtidig som andre bakterier økte 3000 ganger. Det kan derfor konkluderes med at *L. pneumophila* ikke vil vokse i slike anlegg. I USA ble et "åpent" anlegg (vannet kommer i kontakt med luft) testet for 6 grupper av vanlige human patogene med forekomst i vann på 5 punkter gjennom en sesong. Totalt ble det tatt 68 prøver. Fekale koliform ble ikke funnet i noen prøver. En opportunistisk bløtvevsbakterie (*Mycobacterium chelonae*) ble funnet i meget lave antall i 6 prøver. Ellers ble det ikke funnet andre patogene bakterier. Et åpent anlegg vil naturlig nok være mye mer utsatt for introduksjon av bakterier og undersøkelsen tyder derfor på at anleggene ikke fremmer vekst av patogene bakterier.

4.4 Heterotrofe ikke patogene bakterier

Denne gruppen bakterier inkluderer alle bakterier som lever av organisk materiale men som til vanlig selv i høye antall, ikke bidrar til sykdom/infeksjon hos mennesker. Disse bakteriene vil i noen grad slå ut på kimtallsundersøkelsen til næringsmiddeltilsynet. Bakterier fra denne gruppen vil finnes overalt hvor det er organisk stoff og forholdene muliggjør oksydasjon av dette stoffet slik at bakteriene kan omdanne det organiske stoffet til energi og cellemetabolisme. Forventet vekst hos bakterier i grunnvann er trolig meget lavt sammenlignet med systemer med høy omsetning av organisk materiale, Harvey og George (1987) fant ikke detekterbar vekst i uforurenset grunnvann ($\mu < 0.004 \text{ d}^{-1}$), mens forurenset grunnvann (kloakk) hadde vekst i området $\mu = 0.024 - 1.1 \text{ d}^{-1}$. Ifølge NGI (Audun Hauge pers. med.) er mengden av organisk stoff i sediment i grunnvannsnivå på mindre enn 0.01 % dvs 0.1g/kg. Omregnet til organisk karbon (tørrt organisk materiale*0,5=karbon) blir dette 0.05 g C/kg sediment. Opprinnelsen til dette organiske materiale kan ha to kilder: Enten deponert i forbindelse med dannelsen av sedimentene ved slutten av siste istid, eller bygget opp ved tilførsel av vann med næringstoffer. Disse to kildene er ikke gjensidig ekskluderende, tvert imot. Det som skjer ved sistnevnte oppbygging, er at avrenningsvann perkolerer ned gjennom det næringsrike toppjordskikte, og blir tilført organiske næringsemner herfra, disse næringsemnene er en blanding av lavmolekylære og lett nedbrytbare stoffer samt høymolekylære mindre nedbrytbare stoffer.

Mengden av oppløst organisk materiale i grunnvannet er ikke oppgitt i NGI rapporten (920050). Tall fra Hona vannverk antyder verdier i området 0.25 til 4.1 mg C/l, med snittverdi på 3.8 mg C/l. Dette er meget høyt og muligens ikke representativt for grunnvannet på Gardermoen fordi verdien for total fosfor samtidig er funnet til 35 $\mu\text{g/l}$ og antyder direkte tilsig fra overflaten. Forventet verdi i grunnvann er mindre enn 1.0 mg C/l (Gjessing, personlig med.). De lett nedbrytbare stoffene vil i hovedsak være nedbrutt før vannet når grunnvannskiktet, mens de tungt nedbrytbare stoffene i grunnvannet sakte vil omdannes bakteriell til bakteriebiomasse. Noen av bakteriene vil etterhvert dø og gi opphav til partikulært organisk stoff. Høymolekylært materiale kan også felles ut kjemisk/fysisk og derved danne partikulært materiale. Det partikulær materiale kan så igjen brytes ned via bakterier eller sopp. Slik er det en likevekt mellom dannelse og nedbrytning av partikulært materiale. En forandring av de miljømessige forhold så som temperatur økning og oksygenering, vil kunne påvirke denne balansen. De undersøkelser som er foretatt i forbindelse med ATES installasjoner tyder på en generell økning i bakterietantall og i antall aktive bakterier i de tilfeller hvor vann injeksjonstemperaturen er på 40-80 °C. Trolig er en temperaturøkning til 30 °C for lite til å gi betydelig utløsning av labile organiske komponenter med derpåfølgende bakterievekst. Dette er i overensstemmelse med erfaring gjort av Brons et al. (1991) med sediment fra grunnvannslag inkubert aerobt og anaerobt i laboratoriet, hvor utløsning av organiske forbindelser først ble observert ved 45 °C og over.

Det er ikke funnet publiserte undersøkelser hvor den totale bakterielle floraen i grunnvann er undersøkt i Norge. I Sverige er total antall bakterier samt identifisering av isolerbare bakterier utført i 5 brønner for dyp ned til 800 m. Gjennomsnittlig totaltall var $2.6 \cdot 10^5$ bakterier ml^{-1} . Dette er 1/10 av hva som er vanlig i overflatevann. Gjennomsnittlig kimtall var $7.7 \cdot 10^3 \text{ ml}^{-1}$, dvs betydelig høyere enn funnet i Hona vannverk.

NIVA har tidligere undersøkt nedbrytning av glycol i den umettede øvre jordskiktet (NIVA

rapport 91114) og konkludert med at glycol brytes ned tilnærmet fullstendig i 75 cm høye jordsøyler ved temperaturer ned til 2-4 °C. Det innebærer at selv om brønnene skulle ligge under tilsigsområdet for moderate utslipp av glycol vil dette neppe kunne spores i grunnvannet. Grunnvannoverflaten ligger 6-13 m under jordoverflaten (NGI rapport 930050). Ingen av grunnvannprøvene analysert av NGI hadde detekterbare konsentrasjoner av glycol. Hvis glycol mot formodning likevel skulle nå grunnvannet vil det medføre en aerob nedbrytning inntil eventuell fritt oksygen er oppbrukt. Glycols høye energi innhold og lett nedbrytbarhet vil tilsi at videre nedbrytning vil være anaerob med bruk av oksygenerte forbindelser som sulfat, nitrat og manganoksid som oksygenkilder. Disse prosessene vil forløpe noe raskere i oppvarmet vann, men forløpet vil være likt.

5 Diskusjon og Konklusjon

Denne rapporten har vurdert alle sannsynlige effekter av en forventet temperaturøkning i grunnvannet som følge av termisk energilagring i grunnvannet i nærheten av den planlagte Oslo Hovedflyplass. Simuleringer utført av IF-Technology antyder en maksimal utstrekning av område med 10 °C økning vil være 25-30 m ut fra varmeinjeksjonsbrønnene. Temperaturinfluens områder vil derfor kun være av lokal karakter. Systemet er planlagt som et helt lukket system, grunnvannet vil derfor ikke kunne få tilført stoffer eller organismer som ikke allerede er tilstede i utgangspunktet.

Generelt vil en temperaturøkning gi en forventet vekst hos bakterier, men det forutsetter at det samtidig blir tilført næringsemner som bakterier kan utnytte til vekst. Denne vurdering har ikke kunnet sannsynliggjøre at så vil skje for human patogene bakterier eller andre heterotrofe bakterier. For kjemoautotrofe bakterier er det kun for mangan oksyderende bakterier at det kan forventes en viss effekt. Dette er betinget av at anoksisk vann med løst mangan blir blandet med oksisk vann. Ved oppvarming vil dette gi gode vekstbetingelser for manganoksyderende bakterier på f.eks. innsiden av røropplegget til anlegget med oppbygging av manganoksid utfelling.

Eventuelt behov for tiltak mot manganutfelling i varmegjennvinningsanlegget bør derfor utredes nærmere. (NIVA kunne utføre laboratoriesimuleringsforsøk)

-Selv om en termisk lagring mot formodning skulle medføre en betydelig økning i bakterievekst og bakteriebiomasse så vil dette kun kunne registreres lokalt det vil si i området med høyest temperaturøkning. En slik effekt vil også kun være lokal i tid da eventuelle økninger i næringsstoffutlekking til bakterier vil være direkte tilknyttet temperaturøkningen og utnyttelsen av disse næringstoffene vil være umiddelbar og opphøre så snart temperaturen synker. Distansen nydannede bakterier kan fraktes med undervanns bevegelse vil være avhengig av type sediment. I en oversiktsartikkel av Crane & Moore (1984), er lengste fraktdistanse etter injeksjon med kjent bakterie undersøkt. I sediment av typen grov sand/grus ble bakterier gjenfunnet inntil 400-800m fra utslippsstedet. I blanding av grov og fin sand var lengste fraktdistanse 20-30m og i fin sand med leire 5-10m. Undersøkelser av total bakterietall og antall frie bakterier i grunnvann viser at frie bakterier utgjør mindre enn 1 % av totaltallet (Marxsen, 1982) eller mindre enn 0.02 % (Hazen, et al., 1991). Slik at selv om det oppstår en økt bakterievekst vil denne i hovedsak skje i form av fastsittende bakterier (Holm et al., 1992) og bare i meget liten grad transporteres ut av temperaturinfluens sonen. Gjennomsnittlig oppholdstid for grunnvann på Gardermoen er 30 år (Jørgensen & Østmo, 1990), høy gjennomstrøming vil være med på å sikre homogene forhold over tid.

Den planlagte økning i temperatur på 10 °C vil kunne bidra til endring i bakteriesamfunnet, men endringene er kun av midlertidig art og reverseres i løpet av få uker etter gjenoppsettelse av vanlig temperatur (IEA rapport 42-D). Området med oppvarmet vann er også svært begrenset i forhold til grunnvannsvolumet på Gardermoen.

Ved en betydelig økning i mikrobiell vekst vil dette kunne medføre økt deponering av organisk stoff med redusert porositet i sedimentene rundt brønnene som resultat. Det forhold at anlegget for termisk lagring på Gardermoen er planlagt lukket vil utelukke tilførsel av oksygen og organisk næringsemner, derved vil ikke biomassen kunne øke

utover det potensial som er i vannet. Det er ikke rapportert om driftmessige problemer eller redusert porøsitet forårsaket av bakteriell vekst i fungerende termiske energianlegg til nå (IEA rapport 42-D).

REFERANSER

- Brons, -H.J.; Griffioen, -J.; Appelo, -C.A.J.; Zehnder, -A.J.B. 1991. (Bio)geochemical reactions in aquifer material from a thermal energy storage site. *WATER-RES.* 1991. vol. 25, no. 6, pp. 729-736
- Crane, S.R. & Moore, J.A. 1984. Bacterial pollution of groundwater: A review. *Water, Air and Soil Pollution* 22: 67-83.
- Erlich, H.L. 1981. *Geomicrobiology*. Dekker, New York, Basel. pp. 393.
- Harvey, R.W. & George, L.H. 1987. Growth determination for unattached bacteria in a contaminated Aquifer. *Appl. Environ. Microb.* 53:2992-2996.
- Hazen, T.C., Jiménez, L., López de Victoria, G. & Fliermans, C.B. 1991. Comparison of bacteria from deep subsurface sediment and adject groundwater. *Microb. Biol.* 22: 293-304.
- Holm, P.E., Nielsen, P.H., Albrechtsen, H.J. & Christensen, T.H. 1992. Importance of unattached bacteria and bacteria attached to sediment in determining potentials for degradation of xenobiotic organic contaminants in an aerobic aquifer. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 3020-3026.
- International Energy Agency. Report 36-B. Annex VI. Environmental and chemical aspects of thermal energy storage in aquifers and research and development of water treatment methods. Subtask B. (Bio)geochemical reactions. Draft.
- International Energy Agency. Report 42-D. Annex VI. Environmental and chemical aspects of thermal energy storage in aquifers and research and development of water treatment methods. Subtask D. Microbiological processes. Draft.
- Jørgensen, P. & Østmo, S.R. 1990. Hydrogeology in the Romerike area, Southern Norway. *Nor. Geol. unders. Bull.* 418: 19-26.
- Jørgensen, P., Stuanes, A.O. & Østmo, S.R. 1991. Aqueous geochemistry of the Romerike area, Southern Norway. *Nor. Geol. unders. Bull.* 420: 57-67.
- Marxsen, J. 1982. A new method for the investigation of bacterial occurrence in groundwater-bearing sandy sediments. *Arch. Hydrobiol.* vol. 95: 221-233.
- Pedersen, K. & Ekendahl, S. 1990. Distribution and activity of bacteria in deep granitic groundwater of Southeastern Sweden. *Microb. Ecol.* 20:37-52.

NIVA 

Norsk institutt for vannforskning

Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2612-5