

Rapport nr.: 2003.015		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Program for "Det 12. seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi", NGU 4.-5. februar 2003.				
Forfatter: Tove Aune (red.)		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke:		Kommune:		
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 72	Pris: kr 95,-	
		Kartbilag:		
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 03.02.2003	Prosjektnr.: 2718.00	Ansvarlig:	
<p>Sammendrag:</p> <p>Rapporten presenterer program, deltagerliste og sammendrag av foredrag for «Det 12. Seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi» ved NGU 4.-5. februar 2003.</p> <p>Rapporten inneholder sammendrag fra 26 foredrag og 8 plakatpresentasjoner.</p> <p>Foredragene er gruppert i følgende hovedtemaer;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Geokjemi ➤ Grunnvarme ➤ Hydrogeokjemi ➤ Hydrogeologi <p>Det er påmeldt 69 deltagere til seminaret hvorav 37 er ansatt ved NGU.</p>				
Emneord: Hydrogeologi	Hydrogeokjemi		Geokjemi	
	Grunnvarme			
			Fagrapport	

INNHold

Seminarprogram	6
Deltagerliste.....	11
Sammendrag:	
<i>Dypvannsdeponering av forurensede havnesedimenter – et miljøakseptabelt lavkostnadstiltak</i>	
Jens Skei	15
<i>Site specificity in environmental geochemistry - My sediments, exactly!</i>	
Rodney Stevens, Göteborg University	17
<i>Agricultural Soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas (The BSS-Project)</i>	
Clemens Reimann, NGU, m.fl.	19
<i>LITO-prosjekt: geokjemisk sammensetning av Norges berggrunn</i>	
Jan Cramer, NGU	21
<i>IronCurtain – utarbeidelse av beslutningsmodell basert på indikatorer – foreløpige resultater</i>	
Arve Misund, Interconsult ASA & George Lev, JL Consulting	22
<i>Trygg disponering av gravemasser og innhold av miljøgifter i betong/tegl-avfall</i>	
Toril Haugland & Rolf Tore Ottesen, NGU	24
<i>PCB i yttervegger i bygg fra Bergen, Trondheim og Tromsø</i>	
Malin Andersson & Tore Volden, NGU	25
<i>Etterspørsel etter grunnvarmebaserte varmepumpesystem</i>	
Roar Hugnes, Enøksenteret Sør-Trøndelag AS	26
<i>Grunnvarme fra fast fjell – Noen resultater fra "Trykkeprosjektet"</i>	
Randi Kalskin Ramstad, NGU, m.fl.	28
<i>Simulering av grunnvarmeuttak ved bruk av FeFlow og HFM</i>	
Tormod Spangelo, NTNU	30
<i>Dypgeotermisk energi – prosjektet ved Rikshospitalet</i>	
Otto K. Sønju & <u>Torbjørn Slungaard</u> , NTNU	32
<i>Grunnvarme for nye universitetssykehus i Akershus</i>	
Kirsti Midttømme & Helge Skarphagen, NGU	33
<i>Environmental behaviour of trace metals in soils: implications for the development of prion diseases</i>	
K. Vala Ragnarsdottir, University of Bristol	35
<i>Drinking Water Quality in the Ethiopian section of the East African Rift Valley</i>	
Clemens Reimann, NGU, m.fl.	37
<i>A legacy of a century of gold mining in South Africa: water management and mine closure</i>	
Fridtjov Ruden, NGU, m.fl.	38
<i>CO₂ lagring i akviferer – hvilken rolle spiller mineral-vann reaksjoner?</i>	
Per Aagaard, Universitetet i Oslo	40

<i>Utfellingspotensialet i fastfjellsbrønner i Akershus og Østfold</i>	
Ola M. Sæther & Andreas Grimstvedt, NGU	41
<i>Miljøbasert vannføring og interaksjon grunnvann/overflatevann</i>	
Hervé Colleuille, NVE, m.fl.	42
<i>EU's vanndirektiv og grunnvann</i>	
Sissel Tvedten, Asplan Viak AS	44
<i>Grunnvann i fjell: Regionale variasjoner i grunnvannspotensiale og hydrauliske egenskaper</i>	
Helge Henriksen, Høgskulen i Sogn og Fjordane	47
<i>Uttak av grunnvann til Storelva vannverk, Båtsfjord kommune</i>	
Bernt Olav Hilmo, Asplan Viak, m.fl.	49
<i>Grunnvannsbeskyttelse i løsmasser og fjell, Nordre Land kommune</i>	
Knut Ellingsen, NGU	51
<i>Bruk av tilsatt sporstoff til å bestemme strømningshastighet og kritisk nedbørmengde for en rasutsatt dalsideavsetning i Flåmsdalen</i>	
Harald Johansen, IFE, m.fl.	53
<i>Tunneltraséen Ringveg Vest i Bergen: lokale bruddsystem og spenningsfelt relatert til lekkasje</i>	
Ruth Guri F. Venvik, Universitetet i Bergen & Agust Gudmundsson, Universitetet i Göttingen	55
<i>Bruddsoner og vanninnslag - verifisering av grunnvannsmodell i tunneler og borehull</i>	
Alvar Braathen, NGU, m.fl.	56
<i>Utviklinger i Brønndatabasen og GRANADA</i>	
Atle Dagestad & Jan Cramer, NGU	58

PLAKATPRESENTASJONER

Postersesjon tirsdag 4. februar kl. 15:30-17:00

<i>Strømningsmåling i borehull, - påvising av vanninnslag</i>	
Harald Elvebakk & Jan Steinar Rønning, NGU	61
<i>Landsomfattende grunnvannsnett 25 år – Quo vadis?</i>	
Bjørn Frengstad, NGU, m.fl.	63
<i>Sammenheng mellom forurenset grunn og inneklime i bygninger</i>	
Henning K.B. Jensen & Rolf Tore Ottesen, NGU	64
<i>Luster kommune satser på grunnvarme. Eksempel på forundersøkelse ved Luster ungdomsskole</i>	
Torleif Lauritsen & Øystein Jæger, NGU	66
<i>Grunnvarmepotensialet i Asker og Bærum</i>	
Randi K. Ramstad, NGU, m.fl.	67
<i>Bruddsystemer, aktive forkastninger og grunnvannspotensial på Bømlo, Vestlandet</i>	
Belinda Larsen, Universitetet i Bergen & Agust Gudmundsson, Universitetet i Göttingen	68
<i>Oil field water injection - A large scale water-rock experiment: Results and applications</i>	
Harald Johansen, IFE, m.fl.	70
<i>Numerical Modelling of Groundwater Flow in Fractured Rock – an example from Lunner tunnel</i>	
Elin Skurtveit, NGI, m.fl.	72

DET 12. SEMINAR OM HYDROGEOLOGI OG
MILJØGEOKJEMI

Tirsdag 4. og onsdag 5. februar 2003
Knut S. Heiers konferansesenter, NGU
Leiv Eirikssons vei 39, Lade, Trondheim

PROGRAM

Tirsdag 4. februar

09:00 – 09:30 Registrering

09:30 – 09:45 Åpning av seminaret v/adm.dir. Arne Bjørlykke

Geokjemi (ordstyrer Aivo Lepland)

09:45 – 10:15 ***Dypvannsdeponering av forurensede havnesedimenter – et miljøakseptabelt lavkostnadstiltak***
Jens Skei, NIVA

10:15 – 10:45 ***Site specificity in environmental geochemistry - My sediments, exactly!***
Rodney Stevens, Göteborg University

10:45 – 11:00 ***Pause***

11:00 – 11:20 ***Agricultural Soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas (The BSS-Project)***
Clemens Reimann, NGU, m.fl.

11:20 – 11:40 ***LITO-prosjekt: geokjemisk sammensetning av Norges berggrunn***
Jan Cramer, NGU

11:40 – 12:00 ***IronCurtain – utarbeidelse av beslutningsmodell basert på indikatorer – foreløpige resultater***
Arve Misund, Interconsult ASA & George Lev, JL Consulting

12:00 – 12:20 ***Trygg disponering av gravemasser og innhold av miljøgifter i betong/tegl-avfall***

Toril Haugland & Rolf Tore Ottesen, NGU

12:20 – 12:40 ***PCB i yttervegger i bygg fra Bergen, Trondheim og Tromsø***

Malin Andersson & Tore Volden, NGU

12:40 – 13:45 ***Lunsj***

Grunnvarme (ordstyrer Øystein Nordgulen)

13:45 – 14:05 ***Etterspørsel etter grunnvarmebaserte varmepumpesystem***

Roar Hugnes, Enøksenteret Sør-Trøndelag AS

14:05 – 14:25 ***Grunnvarme fra fast fjell – Noen resultater fra "Trykkeprosjektet"***

Randi Kalskin Ramstad, NGU, m.fl.

14:25 – 14:45 ***Simulering av grunnvarmeuttak ved bruk av FeFlow og HFM***

Tormod Spangelo, NTNU

14:45 – 15:05 ***Dypgeotermisk energi – prosjektet ved Rikshospitalet***

Otto K. Sønju & Torbjørn Slungaard, NTNU

15:05 – 15:25 ***Grunnvarme for nye universitetssykehus i Akershus***

Kirsti Midttømme & Helge Skarphagen, NGU

15:30 – 17:00 ***Postersesjon m/forfriskning og snacks***

19:00 ***Seminarmiddag – Grenaderen, Kongsgårdsgt. 1***

-----0-----

Onsdag 5. februar

Hydrogeokjemi (ordstyrer Bjørn Frengstad)

- 09:00 – 09:30 ***Environmental behaviour of trace metals in soils: implications for the development of prion diseases***
K. Vala Ragnarsdottir, University of Bristol
- 09:30 – 09:50 ***Drinking Water Quality in the Ethiopian section of the East African Rift Valley***
Clemens Reimann, NGU, m.fl.
- 09:50 – 10:10 ***A legacy of a century of gold mining in South Africa: water management and mine closure***
Fridtjov Ruden, NGU, m.fl.
- 10:10 – 10:30 ***CO₂ lagring i akviferer – hvilken rolle spiller mineral-vann reaksjoner?***
Per Aagaard, Universitetet i Oslo
- 10:30 – 10:50 ***Pause***
- 10:50 – 11:10 ***Utfellingspotensialet i fastfjellsbrønner i Akershus og Østfold***
Ola M. Sæther & Andreas Grimstvedt, NGU

Hydrogeologi (ordstyrer Jan Cramer)

- 11:10 – 11:30 ***Miljøbasert vannføring og interaksjon grunnvann/overflatevann***
Hervé Colleuille, NVE, m.fl.
- 11:30 – 11:50 ***EU's vanndirektiv og grunnvann***
Sissel Tvedten, Asplan Viak AS
- 11:50 – 12:10 ***Grunnvann i fjell: Regionale variasjoner i grunnvannspotensiale og hydrauliske egenskaper***
Helge Henriksen, Høgskulen i Sogn og Fjordane
- 12:10 – 12:30 ***Uttak av grunnvann til Storelva vannverk, Båtsfjord kommune***
Bernt Olav Hilmo, Asplan Viak, m.fl.
- 12:30 – 13:30 ***Lunsj***

- 13:30 – 13:50 ***Grunnvannsbeskyttelse i løsmasser og fjell, Nordre Land kommune***
Knut Ellingsen, NGU
- 13:50 – 14:10 ***Bruk av tilsatt sporstoff til å bestemme strømningshastighet og kritisk nedbørmengde for en rasutsatt dalsideavsetning i Flåmsdalen***
Harald Johansen, IFE, m.fl.
- 14:10 – 14:30 ***Tunneltraséen Ringveg Vest i Bergen: lokale bruddsystem og spenningsfelt relatert til lekkasje***
Ruth Guri F. Venvik, Universitetet i Bergen & Agust Gudmundsson,
Universitetet i Göttingen
- 14:30 – 14:50 ***Bruddsoner og vanninnslag - verifisering av grunnvannsmodell i tunneler og borehull***
Alvar Braathen, NGU, m.fl.
- 14:50 – 15:10 ***Utviklinger i Brønndatabasen og GRANADA***
Atle Dagestad & Jan Cramer, NGU
- 15:10 – 15:30 ***Diskusjon***

-----O-----

PLAKATPRESENTASJONER

Postersesjon tirsdag 4. februar kl. 15:30-17:00

Strømningsmåling i borehull, - påvising av vanninnslag

Harald Elvebakk & Jan Steinar Rønning, NGU

Landsomfattende grunnvannsnett 25 år – Quo vadis?

Bjørn Frengstad, NGU, m.fl.

Sammenheng mellom forurenset grunn og inneklima i bygninger

Henning K.B. Jensen & Rolf Tore Ottesen, NGU

Luster kommune satser på grunnvarme. Eksempel på forundersøkelse ved Luster ungdomsskole

Torleif Lauritsen & Øystein Jæger, NGU

Grunnvarmepotensialet i Asker og Bærum

Randi K. Ramstad, NGU, m.fl.

Bruddsystemer, aktive forkastninger og grunnvannspotensial på Bømlo, Vestlandet

Belinda Larsen, Universitetet i Bergen & Agust Gudmundsson, Universitetet i Göttingen

Oil field water injection - A large scale water-rock experiment: Results and applications

Harald Johansen, IFE, m.fl.

Numerical Modelling of Groundwater Flow in Fractured Rock – an example from Lunner tunnel

Elin Skurtveit, NGI, m.fl.

DELTAKERE

Etternavn	Fornavn	Institusjon/bedrift	Adresse	Postnr./-sted	Tlf.	Fax	E-post
Andersson	Malin	NGU		7491 TRONDHEIM	73904321	73921620	malin.andersson@ngu.no
Berg	Tomm	NGU		7491 TRONDHEIM	73904375	73921620	tomm.berg@ngu.no
Boyd	Rognvald	NGU		7491 TRONDHEIM	73904141	73921620	rognvald.boyd@ngu.no
Brattli	Bjørge	NTNU, Institutt for geologi og bergteknikk		7491 TRONDHEIM			bjorge.brattli@geo.ntnu.no
Braathen	Alvar	NGU		7491 TRONDHEIM	73904233	73921620	alvar.braathen@ngu.no
Colleuille	Hervé	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Postboks 5091 Majorstua	0301 OSLO	22959439	22959216	nec@nve.no
Cramer	Jan	NGU		7491 TRONDHEIM	73904310	73921620	jan.cramer@ngu.no
Dagestad	Atle	NGU		7491 TRONDHEIM	73904360	73921620	atle.dagestad@ngu.no
Dalsegg	Einar	NGU		7491 TRONDHEIM	73904465	73921620	einar.dalsegg@ngu.no
Dimakis	Panagiotis	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Postboks 5091 Majorstua	0301 OSLO	22959169	22959216	pad@nve.no
Ellingsen	Knut	NGU - Oskontoret	Smiuv. 33	0981 OSLO	97092801/22101293		knutelli@online.no
Elvebakk	Harald	NGU		7491 TRONDHEIM	73904463	73921620	harald.elvebakk@ngu.no
Finne	Tor Erik	NGU		7491 TRONDHEIM	73904319	73921620	tor.finne@ngu.no
Frengstad	Bjørn	NGU		7491 TRONDHEIM	73904380	73921620	bjorn.frengstad@ngu.no
Gaut	Amund	Statkraft Grøner AS	Postboks 400	1327 LYSAKER	67128430	67128030	ag@statkraftgroner.no
Gaut	Sylvi	NGU		7491 TRONDHEIM	73904362	73921620	sylvi.gaut@ngu.no
Greiff	Siri	Noteby	Postboks 1139	7420 TRONDHEIM	72566900	72566920	sg@noteby.no
Habimana	Cyprien	NGU		7491 TRONDHEIM	73904210	73921620	cyprien.habimana@ngu.no
Haug	Anette	NGU	Edgar B. Schieldropsvei 12C	7033 TRONDHEIM	73931466		toveanet@stud.ntnu.no
Haugland	Toril	NGU		7491 TRONDHEIM	73904300	73921620	toril.haugland@ngu.no
Haugum	Anne	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Postboks 5091 Majorstua	0301 OSLO	22959292	22959232	ann@nve.no
Henriksen	Helge	Høgskulen i Sogn og Fjordane, Avd. for Naturfag	Postboks 133	6851 SOGNDAL	57676231	57676201	helge.henriksen@hisf.no
Hilmo	Bernt Olav	Asplan Viak Sør AS	Tempeveien 22	7483 TRONDHEIM	73984405	73949790	berntolav.hilmo@asplanviak.no
Holm	Thorgeir	UiO, Institutt for geologi	Postboks 1047 Blindern	0316 OSLO			
Holmøy	Kristin H.	NTNU, Inst. For geologi og bergteknikk		7491 TRONDHEIM	73594894	73590898	kristin.holmoy@geo.ntnu.no
Hugnes	Roar	Enøksenteret Sør-Trøndelag AS	Postboks 6097 Sluppen	7434 TRONDHEIM	73824480	73824481	roar.hugnes@enok.st.no
Høisæter	Åse	Nores geotekniske institutt (NGI)	Postboks 3930 Ullevål	0806 OSLO	22023140	22230448	ash@ngi.no
Jakobsson	Eva	Rogalandsforskning	Postboks 8046	4068 STAVANGER	51875178	51875200	eva.jakobsson@rf.no
Jartun	Morten	NGU		7491 TRONDHEIM	73904469	73921620	morten.jartun@ngu.no
Jensen	Henning K.B.	NGU - Tromsøkontoret	Polarmiljøseneteret	9296 TROMSØ	77750127	77750126	henning.jensen@npolar.no
Johansen	Harald	Institutt for energiteknikk	Postboks 40	2027 KJELLER	63806148	63815553	hjo@ife.no
Jæger	Øystein	NGU		7491 TRONDHEIM	73904314	73921620	oystein.jager@ngu.no

Etternavn	Fornavn	Institusjon/bedrift	Adresse	Postnr./-sted	Tlf.	Fax	Etternavn
Kirkhusmo	Lars A.	NGU - Oslokontoret	Postboks 5348 Majorstua	0304 OSLO	22959800	22959801	lars.kirkhusmo@ngu.no
Krog	Jan Reidar	NGU		7491 TRONDHEIM	73904312	73921620	reidar.krog@ngu.no
Larsen	Belinda	Universitetet i Bergen, Inst. for Geovitenskap	Strandgaten 74	5004 BERGEN	55319032/95247160		belinda.larsen@student.uib.no
Lauritsen	Torleif	NGU		7491 TRONDHEIM	73904462	73921620	torleif.lauritsen@ngu.no
Lepland	Aivo	NGU		7491 TRONDHEIM	73904311	73921620	aivo.lepland@ngu.no
Lystad	Tor	Scandiaconsult AS	Ilsvikveien 22	7493 TRONDHEIM	73841000	73841030	tor.lystad@scc.no
Midttømme	Kirsti	NGU		7491 TRONDHEIM	73904316	73921620	kirsti.midttomme@ngu.no
Misund	Arve	Interconsult	Strandgaten 32	4400 FLEKKEFJORD	38327650	38327651	armi@interconsult.com
Ottesen	Rolf Tore	NGU		7491 TRONDHEIM	73904302	73921620	rolf.ottesen@ngu.no
Pettersen	Jens Erik	Folkehelseinstituttet	Postboks 4404 Nydalen	0403 OSLO	22042244	22042686	jepe@fhi.no
Ragnarsdottir	Vala	University of Bristol, Dept. of Earth Sciences	Wills Memorial Bldg. Queens Road, Bristol, BS8 1RJ	UNITED KINGDOM	449545432	449253385	vala.ragnarsdottir@bris.ac.uk
Ramstad	Randi Kalskin	NGU		7491 TRONDHEIM	73904304	73921620	randi.kalskin@ngu.no
Reimann	Clemens	NGU		7491 TRONDHEIM	73904307	73921620	clemens.reimann@ngu.no
Repp	Kjell	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Postboks 5091 Majorstua	0301 OSLO	22959238	22959201	kre@nve.no
Rohr-Torp	Erik	NGU - Oslokontoret	Postboks 5348 Majorstua	0304 OSLO	22959800	22959801	erik.rohr-torp@ngu.no
Ruden	Fridtjov	NGU Pretoria	Council for Geoscience, Private Bag X 112	Pretoria 0001, South Africa	27128411103		ruden@geoscience.org.za
Rye	Noralf	UiB, Geologisk inst.	Allégt. 41	5007 BERGEN	55583498	55589416	noralf.rye@geol.uib.no
Rønning	Jan Steinar	NGU		7491 TRONDHEIM	73904441	73921620	jan.ronning@ngu.no
Sivertsvik	Frank	NGU		7491 TRONDHEIM	73904486	73921620	frank.sivertsvik@ngu.no
Skarphagen	Helge	NGU - Oslokontoret	Postboks 5348 Majorstua	0304 OSLO	22959800	22959801	helge.skarphagen@ngu.no
Skei	Jens	NIVA	Postboks 173 Kjelsås	0411 OSLO	22185100	22185200	jens.skei@niva.no
Skurtveit	Elin	NGI	Postboks 3930 Ullevål	0806 OSLO	22023051	22230448	esk@ngi.no
Slungaard	Torbjørn	NTNU, Inst. for energi- og prosesssteknikk		7491 TRONDHEIM	73592020	73598390	slung@maskin.ntnu.no
Smelror	Morten	NGU		7491 TRONDHEIM	73904180	73921620	morten.smelror@ngu.no
Spangelo	Tormod	NTNU, Institutt for energi og prosesssteknikk		7491 TRONDHEIM	73593926		spangelo@stud.ntnu.no
Stevens	Rodney	Department of Earth Sciences, Göteborg University	Box 460	SE 405 30 GÖTEBORG	46317732807	46317732849	stevens@gvc.gu.se
Storrø	Gaute	NGU		7491 TRONDHEIM	73904315	73921620	gaute.storro@ngu.no
Sæthun	Nils Roar	NIVA	Postboks 173 Kjelsås	0411 OSLO	22185121	22185200	nils.saelthun@niva.no
Sæther	Ola Magne	NGU		7491 TRONDHEIM	73904372	73921620	ola.sather@ngu.no
Sørdal	Torbjørn	NGU		7491 TRONDHEIM	73904201	73921620	torbjorn.sordal@ngu.no

Etternavn	Fornavn	Institusjon/bedrift	Adresse	Postnr./-sted	Tlf.	Fax	Etternavn
Tvedten	Sissel	Asplan Viak AS	Dyrmyrgt. 35	3611 KONGSBERG	32772012	32772039	sissel.tvedten@asplanviak.no
Aase	Marianne	Noteby	Postboks 1139	7420 TRONDHEIM	72566900	72566920	maa@noteby.no
Venvik	Ruth Guri F.	Universitetet i Bergen, Inst. for Geovitenskap	Møllendalsveien 17	5009 BERGEN	97705529		ruth.venvik@student.uib.no
Viken	Geir	NGU		7491 TRONDHEIM	73904487	73921620	geir.viken@ngu.no
Volden	Tore	NGU		7491 TRONDHEIM	73904320	73921620	tore.volden@ngu.no
Wong	Wai Kwok	Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Postboks 5091 Majorstua	0301 OSLO	22959388	22959216	wkw@nve.no
Aagaard	Per	UiO, Institutt for geologi	Postboks 1047 Blindern	0316 OSLO	22856644	22854215	per.aagaard@geologi.uio.no

FOREDRAG

4. februar

Dypvannsdeponering av forurensede havnesedimenter – et miljøakseptabelt lavkostnadstiltak

Jens Skei

Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo

Bunnsedimenter i havneområder inneholder ofte betydelige mengder av uorganiske og organiske miljøgifter. Årsaken til dette er knyttet til ulike typer forurensningskilder slik som industriaktiviteter, tilførsler av kommunal kloakk, avrenning fra gater og veier og skipstrafikk (oljesøl, TBT-holdig skipsmaling etc.). Havner ligger oftest skjernet for vind og strøm og finpartikulært materiale hopper opp i sedimentene. I norske havner (i motsetning til havner på kontinentet) er det ofte liten tilførsel av naturlige sedimenter via elver (eks. Bergen og Oslo), slik at nivåene av forurensning blir høye (liten fortykning).

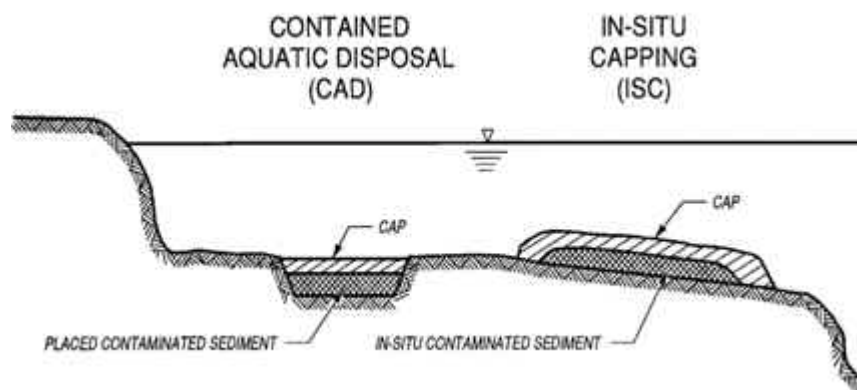
I noen havner er sedimentasjonen i kaiområdene såpass stor at oppgrunning er til hinder for skipsnavigasjon og mudring er derfor nødvendig for å drive normal havnedrift. I den grad sedimentene er forurenset er det nødvendig med spesielle tiltak med hensyn til valg av mudringsteknologi og deponeringsløsninger. I andre havner er tiltak for å bedre forholdene i seilingsleden ikke nødvendig, men sedimentene kan være så sterkt forurenset at man ønsker tiltak av miljømessige årsaker (jfr. Stortingsmelding nr. 12).

Hva er så problemet med miljøgiftige sedimenter? Moderne skip med mange og kraftige propeller forårsaker stor turbulens og finkornige bunnsedimenter virvles opp og kan transporteres med strømmer til områder langt utenfor havna. Dette innebærer spredning av forurensning til andre områder hvor brukerinteressene er andre (f.eks. fisk og fiskeoppdrett). Ved oppvirvling av sedimenter med høyt innhold av miljøgifter ligger det til rette for større desorpsjon av miljøgifter fra partikler (remobilisering). I tillegg vil sedimentene inneholde dyr, forutsatt at sedimentene er oksiske, og disse dyra vil bli eksponert for miljøgifter både gjennom sedimentets porevann og gjennom spising av partikler. De sedimentlevende dyra vil ofte inngå i dietten til fisk som lever nær sedimentflaten og dermed ligger det til rette for spredning av miljøgifter i næringskjeder og konsekvenser i forhold til kostholdsrad knyttet til konsum av sjømat.

Det kan derfor fastslås at forurensede bunnsedimenter er en potensiell årsak til forringelse av vannkvaliteten og en mulig kobling til økte nivåer av miljøgifter i sjømat. Av den grunn er myndighetene opptatt av å rydde opp der forholdene er verst. Tiltak mot forurensede sedimenter betyr ofte tre hovedalternativer; tildekking (capping) av sedimentene på stedet, fjerning av sedimentene og deponering i et område med permanent sedimentasjon (dypvannsdeponering i

anoksiske bassenger), etterfulgt av tildekking, og fjerning av sedimentene og deponering på land, eventuelt etterfulgt av ulike typer tiltak (avvanning, rensing etc.).

I Norge har vi en rekke fjordbassenger og poller hvor bunnvannet er stagnerende til tider eller permanent inneholder sulfid. En deponering av forurensede sedimenter i slike bassenger reduserer muligheten for erosjon og spredning. Fravær av oksygen innebærer også fravær av sedimentlevende dyr, slik at dyrs gravende virksomhet og opptak i fisk via sedimentlevende dyr ikke er et problem. Ved å dekke til sedimentene med ca. 0.5 m sandig materiale vil dypvannsdeponering heller ikke skape et problem i framtida hvis dypbassenget skulle av en eller annen grunn bli permanent oksisk. Den største hindringen for å få aksept for denne type sedimenthåndtering er folks oppfatning av at dette er "cheap and dirty" og en måte å løse et problem ved å "feie møkka under teppet". Med de store kostnader som er forbundet med en nasjonal satsning på opprydding av forurensede sedimenter vil det være riktig å velge løsninger som er å betrakte som lavkostnadstiltak (i forhold til landdeponering og rensing) og som er miljøakseptabelt i forhold til risiko både på kort og lang sikt.



Figuren viser prinsippet med plassering av forurensede sedimenter i bassenger og forsengkninger etterfulgt av tildekking (CAD) og tildekking på stedet (ISC).

Site specificity in environmental geochemistry - My sediments, exactly!

Rodney Stevens

Department of Earth Sciences, Göteborg University, Box 460, SE-405 30 Göteborg

Pollution risks need to be evaluated within increasing site specificity, rather than applying standard threshold values or generalised normalisations. The underlying problem with many environmental evaluations is the interdependency between sediment parameters, such as grain size, organic content, specific minerogenic phases, metals and organic contaminants. My presentation will review alternative approaches, illustrated from the EU H-SENSE project on harbour sediment pollution (see *Env.Geol.* 43:4, 2003) and other examples.

Normalisation techniques based on single and multi-parameter calculations attempt to compensate for parameter dependencies, but these are often applied to entire sample sets (Fig. 1). The “gradient method” and enrichment factors allow identification of deviations from the population trends. A further step toward understanding and accounting for the effects of the inter-relationships is possible by using “Functional Facies”, subdivisions of sea-floor or ground conditions that integrate physical, geochemical and biological characteristics.

The associations identified within each Functional Facies class will allow more accurate compensation for inter-parameter dependency (e.g. contaminant speciation) and will provide site specificity relative to the spatial resolution of mapped Functional Facies units. The development of bioassay tests relate toxicity to site sediment, an improvement over threshold values as a classification criteria, but the sediment properties themselves should be related to the overall ground conditions. The “Sediment Quality Triad” approach combines the results of geochemical testing, bioassays toxicity tests and benthos community evaluation, but these “effects” are not fully related to bio-geo process and parameters of the ground environments, such as facilitated by the interpretative framework of the Functional Facies concept. The facies concept can be used to optimise database management and to suggest sampling, measurement and evaluation strategies.

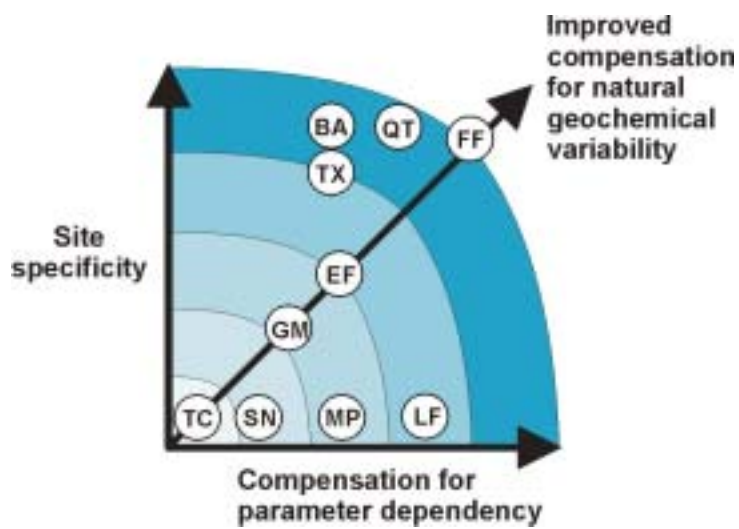


Fig. 1. Sensitivity of different measures for sediment contamination with respect to their ability to compensate for parameter dependency and to provide site specificity. Functional Facies (FF) will improve the interpretative basis of geochemical measures (TC= total content; SN=single-parameter normalisation; MP=multi-parameter normalisation; LF=leached, mobile fractions; GM=gradient method; EF=enrichment factors) and provide more efficient use of expensive biological measures (TX=toxicity tests; BA=bioassay; QT=sediment quality triad).

Agricultural Soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas (The BSS-Project)

Reimann, C.¹⁾, Siewers, U.²⁾, Tarvainen, T.³⁾, Bityukova, L.⁴⁾, Eriksson, J.⁵⁾, Gilucis, A.⁶⁾, Gregorauskiene, V.⁷⁾, Lukashev, V.(†)⁸⁾, Matinian, N.N.⁹⁾ & Pasieczna, A.¹⁰⁾

¹⁾*Geological Survey of Norway, 7491 Trondheim, NORWAY, e-mail: Clemens.Reimann@ngu.no*

²⁾*Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany*

³⁾*Geological Survey of Finland, P.O. Box 96, 02151 Espoo, Finland*

⁴⁾*Institute of Geology, 7 Estonia Avenue, Tallinn, 0001, Estonia*

⁵⁾*Swedish University of Agricultural Sciences, Box 7014, 750 07 Uppsala, Sweden*

⁶⁾*State Geological Survey of Latvia, 5, Eksporta Street, Riga 1010, Latvia*

⁷⁾*Geological Survey of Lithuania, Konarskio str. 35, 2600 Vilnius, Lithuania*

⁸⁾*Institute of Geological Sciences of ASB, Zhodinskaya Str. 7, 220072 Minsk, Belarus*

⁹⁾*Laboratory of Soil Geography, Biological Institute, St.Petersburg State University, Oranienbaumskoe shosse 2, 198904, Stariy Petergof, St.Petersburg, Russia*

¹⁰⁾*Geological Survey of Poland, Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, Poland*

During 1996/97 agricultural soils from ten northern European countries (W-Belarus, Estonia, Finland, N-Germany, Latvia, Lithuania, Norway, Poland, W-Russia, and Sweden) were collected at 748 sites from the A_p (0-20 cm) and B-/C-horizon (50-75 cm). The sample sites were evenly spread over a 1,800,000 km² area, at an average sample density of 1 site / 2500 km². The <2 mm-fraction (Poland: <1 mm) of all 1500 samples was analysed for up to 62 chemical elements following ammonium acetate-, aqua regia- and HF-extractions and for total element concentrations by XRF. Electrical conductivity and pH (water extraction) and loss on ignition (LOI, 1030°C) were determined as additional parameters.

Displaying the analytical results as maps, even given the unusual low sample density, reveals regional-scale geochemical patterns for all elements. Influences of geology, agriculture, pollution, topography, marine aerosols and climate on the regional distribution patterns are all detectable. Industrial point source pollution is seen to be a local process, with measurable levels reaching no further than 100 – 200 km from any source. In contrast, broad dispersive traffic-related pollution affects much larger areas. For all elements natural variations in the element concentrations span 2 to 4 orders of magnitude. Differences in the median concentrations between the countries are often large and can reach an order of magnitude or more. Highest values for many elements are observed in the three Nordic countries Finland, Norway and Sweden. Highest values for many

heavy metals are observed in Sweden and have natural sources. Differences in the observed element concentrations of the TOP- (Ap-horizon) and BOTTOM-layer (B-/C-horizon) are very small for most elements. Nine elements and LOI are however, generally enriched in the TOP-layer) throughout the survey area: with enrichments decreasing from S (4x) – Cd – P – LOI – Se – Pb – Zn – Bi – Sb to Mn (1.2x). This enrichment can be linked to natural processes for all these elements, and is only locally overwhelmed by anthropogenic processes.

LITO-prosjekt: geokjemisk sammensetning av Norges berggrunn

Jan Cramer

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

NGU slutførte i 1999 arbeidet med produksjon av 1:250,000 berggrunnsgeologiske kart for hele landet. Dette arbeid danner grunnlaget for NGUs neste systematiske kartleggingsprosjekt om den geokjemiske sammensetning av Norges berggrunn i samme målestokk. LITO-prosjektet har som hovedmål å skaffe en database med en representativ og kvalitetssikret sett av petrofysiske- og litokjemiske-data for alle fastfjellsbergarter på landsdekkende basis. En slik datasett vil skaffe grunnlaget for nye tolkninger av geologiske prosesser på en stor regional målestokk. I tillegg vil det også danne et utgangspunktet for mer helhetlig prosess-forståelse ved å inkludere flere geologiske- og biologiske media i fremtiden, på samme måte som er gjort nå for berggrunnen.

Et forprosjekt til LITO-prosjektet ble startet med feltsesongen i 1998, mens hovedfasen i prosjektet startet sommeren 1999. Forprosjektet ble brukt til å utvikle en metode for systematisk og representativ prøvetaking av bergartene som ville la seg gjennomføre for hele landet innenfor en rimelig tidsperiode. Ved bruk av en spesial utviklet borerigg samles det nå borkjerner fra totalt ca. 4,000 lokaliteter som er basert på en landsdekkende rutenett med rutestørrelse 9 x 9 km. Diamantboring utføres på lokaliteter med friske bergarter og ned til en dyp av minst 3 m for å unngå effekter fra forvitring, antropogene prosesser (f. eks. spregning av fjell) mm..

Ved utgangen av 2002 er det samlet inn borkjerner fra 1,000 lokaliteter hvorav en første batch på 500 kjerner nå også er ferdig analysert. Denne første runde med analyser ved NGUs laboratoriet inneholder XRF analyser for total-innhold av hoved- og sporelementer, ICP-AES analyser for syreløslig-innhold av hoved- og sporelementer, samt petrofysiske målinger av magnetisk susseptibilitet, total γ -stråling, egen vekt og varmeledningsevne. I tillegg blir alle borhull logget for bergartens elektrisk resistivitet.

Dette foredrag vil presentere prosjektet og analyseresultatene for den første batchen med prøver fra 500 lokaliteter fra mid-Norge. Resultatene viser en del interessante fordelinger for den litokjemiske sammensetning av berggrunnen fra Dovre nordover til Rørvik, og bekrefter viktigheten av en systematisk prøvetaking på en stor regional målestokk. I tillegg viser resultatene en del begrensninger i analysemetodene brukt for denne første batchen.

IronCurtain – utarbeidelse av beslutningsmodell basert på indikatorer - foreløpige resultater

Arve Misund¹⁾ & George Lev²⁾

¹⁾ Interconsult ASA, Strandgaten 32, 4400 Flekkefjord

²⁾ JL Consulting , c/o Pertoldova 3384/125, Prague, Czech Republic

Iron Curtain prosjektet er et samarbeid mellom syv universiteter og firma i Europa. Prosjektet er finansiert gjennom EU's 5. rammeprogram.

Bakgrunn

I Europa har det tidligere jernteppet medført at det er ekstreme overganger i industrielt nivå og levestandard på de ulike sidene av denne grensen. Enhetlige naturområder er splittet i regioner der arealbruken og belastningen på naturmiljøet har vært svært ulik. Dette har medført at utviklingen i ulike områder har fått ulik utvikling på grunnlag av den politiske realitet. Militære grunner har medført at store deler av grenseregionene er lavt befolket og fremstår nå som noen av de få reelle naturreservatene i Mellom-Europa. Det er heller ingen tvil om at jernteppets eksistens har ført til meget hard belastning på naturmiljøet i andre områder. Integrasjonsprosessen av EU og samfunnsmessige omstillingsprosesser medfører at de ubebygde områdene vil være meget attraktive for utbygging og høyere/annen arealutnyttelse. Dette kan medføre en uønsket utvikling hvis man ikke har valgt en klar strategi for hvordan man kan ta vare på eller utnytter disse områdene.

Generelt

Den generelle metodedelen skal baseres på flere studieområder langs det tidligere jernteppet. For hvert studieområde skal det lages synteser av dagens tilstand, hovedsakelig basert på eksisterende kunnskap. Områdene har ulike karakteristika, derfor vil det være høyst ulike problemstillinger som er aktuelle. Sammen vil alle disse studieområdene være dekkende for de aktuelle problemstillinger langs jernteppet, men de vil også være dekkende for problemstillinger knyttet til arealforvaltning og forurensing generelt.

Resultater

Prosjektet Iron Curtain har nå løpt i vel et år og de viktigste aktivitetene har vært knyttet til å etablere kontakter i området slik at prosjektet kan være lokalt forankret. Dette har vist seg å være et krevende men ikke desto mindre viktig arbeide. Den lokale forankringen er avgjørende for at arbeidet med problem- og målanalysen skal bli mest mulig aktuell og reell. På grunnlag av denne analysen er det utarbeidet et sett med målbare indikatorer som er bestemt slik at det er mulig å

følge utviklingen i området og måle konsekvenser av handlinger. Indikatorene er hentet fra arbeidet til UN Commission of Sustainable Development, April 2001. Indikatorene dekker både økonomiske, sosiale og miljømessige faktorer.

I tillegg til arbeidet med problem- og målanalyse er det arbeidet med å skaffe til veie det vi kaller et "minimal data set". Her inngår basiskart, digital terrengmodell, geologisk informasjon, demografisk info osv. "Minimal data set" sammen med indikatorer og problem- og målanalysen vil danne grunnlag for et GIS basert støtteverktøy for naturressursforvaltning rettet spesielt mot beslutningstakere og arealplanleggere.

Nytt prosjekt i området

Til slutt kan nevnes at vi vil starte opp et nytt EU-prosjekt i området i løpet av våren. Prosjektet har tittelen TRANSCAT som står for "Transboundary catchments". Prosjektet vil ha mye av den samme strukturen med problem- og målanalyse samt definering av indikatorer. Det skal også her lages en beslutningsmodell basert på indikatorer og GIS, men prosjektet vil være mer målrettet mot forvaltning av vannforekomster som deles av flere nasjoner. Prosjektet vil konsentreres seg om Pasvikvassdraget og gjennomføres i samarbeidet med organisasjoner i Russland og Finland.

Trygg disponering av gravemasser og innhold av miljøgifter i betong/tegl-avfall

Toril Haugland & Rolf Tore Ottesen

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

Dette foredraget angir data for:

- hvilke mengder gravemasser som genereres i Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø i løpet av et år, og hvor stor andel av disse massene som ikke bør disponeres fritt pga sitt innhold av miljøgifter.
- pålitelighet av mengdeberegning av rivemasser
- innhold av miljøgifter i betong/tegl-avfall og hvor stor andel av slike masser som ikke bør disponeres fritt.

I de fire byene Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø ble det til sammen generert 3,8 millioner m³ gravemasser i 2001. Den totale mengden masser fra eldre bydeler, der risikoen for å støte på forurenset masse er høy, kom opp i 1,2 millioner m³ for de fire byene til sammen. En stor andel av anleggsmassene som pga sitt innhold av miljøgifter bør behandles utenfor byggetomten, blir ikke levert til godkjent mottak. Det føres ingen generell forurensningskontroll med graving og flytting av masser i norske byer i dag. Bortsett fra tilfeller der det er konkret mistanke om forurensning, kreves det sjelden en miljøteknisk grunnundersøkelse før gravingen igangsettes.

Mengdeberegningene for rivemasser ble forsøkt estimert på grunnlag av kommunale registre og manuell gjennomgang av rivesaker som ble tatt opp til behandling i 2001. Framgangsmåten viste seg å være særdeles ressurskrevende og uoversiktlig. Etter en nøye vurdering i samråd med kommunene, ble det konkludert med at det vanskelig lar seg gjøre å fremskaffe bedre estimater enn det Statistisk Sentralbyrå har gjort med GAB-registeret som kilde. SSBs tall for 2000 er tatt med i rapporten.

Omtrent 95 % av prøvene av betong/tegl-avfall er relativt lite forurenset med metaller og organiske miljøgifter. Anslagsvis 5 % av prøvene er så forurenset med PCB og PAH at det ikke bør være gjenbruk av dette materialet.

Det er viktig å få tak i de 5 prosentene med sterkt forurenset betong/tegl. Et godt virkemiddel er å få kommunene til å vedta forskriften om BA-avfall. Denne forskriften gir anledning til å kreve avfallsplaner i bygge-/rivesaker. Brukes denne forskriften aktivt, er det mulig å sørge for at urene masser (både betong/tegl-avfall og gravemasser) får en forsvarlig behandling.

PCB i yttervegger i bygg fra Bergen, Trondheim og Tromsø

Malin Andersson & Tore Volden

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

PCB-kilder (polyklorerte bifenyler) i bygninger er omtalt i en rekke rapporter. PCB har vært brukt i utvendige fuger og som tilsatsstoff brukt til sårbehandling/flikking, grunning, avretting innendørs i bygninger oppført på 1960-70 tallet, i isolerglasslim frem til 1975 og i utvendig puss/maling. NGU har nå gjennomført en kartlegging av PCB-innholdet i yttervegger på bygninger satt opp i perioden 1950-1980. Det er tatt kjerneprøver fra 39 bygg i Bergen, 28 bygg i Tromsø og 10 bygg i Trondheim.

30 prosent av de undersøkte byggene i Bergen har PCB-forurensede yttervegger. Åtte av ti 10 undersøkte boligblokkene har PCB-forurensede yttervegger, mens de 10 undersøkte kontor/lager/industri-bygg har alle et meget lavt innhold av PCB i ytterveggene. Fire av 19 skolebygg hadde PCB-forurensede yttervegger.

Det konkluderes med at PCB er blitt brukt i stort omfang i visse typer bygg i Bergen. Dette står i kontrast til en lignende undersøkelse i Tromsø der det kun ble funnet ett "PCB-bygg" av 28 undersøkte hus. Ingen av 10 undersøkte bygg i Trondheim hadde PCB-forurensede yttervegger. I 6 av de undersøkte bygningene i Tromsø, tyder analysene på at borkjerneprøvene kan ha et høyt innhold av klororganiske pesticider.

I følge Norsk Byggforskningsinstitutt er det siden 50-årene til slutten av 70-tallet blitt brukt PVA-bindemiddel (Polyvinylacetat) i mørtler og betong. PCB i flytende form ble brukt som tilsetningsmiddel til PVA-mørtel. Når man begynte å tilsette sement til disse PVA-mørtler ble de brukt i større utstrekning. Mørtel med disse to tilsetninger hadde gode byggegenskaper, for eksempel bedre smidighet, høyere strekk- og bøyefasthet, større bruddforlengelse og bedre heftfasthet til glatte underlag, mao. bedre arbeidsegenskaper enn for rene sementmørtler. Kartlegging av PCB-holdige byggmaterialer er vanskelig ettersom bruken av PVA var svært firma- og personavhengig. Geografiske forskjeller i bruk er blitt antydnet, der deler av Vestlandet med Bergen som sentrum har brukt ulike PVA-blandninger i høyere grad enn i landet for øvrig. Dette er bekreftet gjennom NGUs kartlegging.

Ved fremtidig rehabilitering eller vedlikehold av bygg (boligblokker og skolebygg), satt opp eller rehabilitert i perioden 1950-80, bør ytterveggene kontrolleres for eventuelt innhold av PCB før arbeidene igangsettes.

Etterspørsel etter grunnvarmebaserte varmepumpesystem

Roar Hugnes

Enøksenteret Sør-Trøndelag AS, Postboks 6097 Sluppen, 7434 Trondheim

Enøksenteret Sør-Trøndelag AS ble stiftet i 1994 som det første regionale enøksenter i landet. Det har vært en gradvis økning av henvendelser til Enøksenteret siden oppstart, pr. telefon eller direkte kontakt. Henvendelsene har variert stort i tema og kompleksitet, alt fra fordeling av forbruk ved utleie, tariffer/priser/avgifter, vedfyring, sparedusj kontra ”sløsedusj”, etterisolering, byggforskrifter, ventilasjon/inneklima, støtteordninger, til lønnsomhets-beregninger ved ulike varmeløsninger, styringssystemer/automatikk, beregning av varmepumper med energi fra luft, jord, vann, sjø og fjell, osv. En energirådgiver ved et enøksenter må være en svært sammensatt ”multirådgiver”!



I de siste årene har det vært en sterk økning i henvendelser vedr. vannbåren varme og varmepumper. Som energirådgiver med hovedansvar for bolig på Enøksenteret Sør-Trøndelag, er det fra denne sektoren jeg har merket det største trykket. Ferske tall fra SSB/Varmeinfo viser at andelen vannbåren varme i fullførte eneboliger fremdeles øker, i 3. kvartal 2002 ble denne varmeløsningen valgt i 38,6 % av byggeprosjektene.

Ved de fleste av henvendelsene til oss vedr. vannbåren varme, har varmepumpe også vært sentral i spørsmålet om hvilken energikilde som skal velges. Størrelse på varmepumpe, valg av energikilde, lønnsomhetsberegninger, oversikt over leverandører, utførende rørleggere, brønnborerfirma, støtteordninger etc. har typisk vært det enøksenteret har hjulpet kundene med. Ved vurdering av vann-vann varmepumpe, er det som oftest løsningen med energibrønn som er den mest aktuelle (bergvarmepumpe). Dybde til fast fjell, grunnvannsstand/-strøm, type berg er vanlige problemstillinger. Der vi ikke kan fastslå det, henviser vi kundene videre, til NGU, den aktuelle kommunen, andre med lokalkunnskap.

Usikkerheten rundt hvor langt ned det må bores er stor. Jo flere henvendelser kunden gjør, jo flere svar på ”riktig borehullsdybde” risikerer han/hun å få! Kunden er fokusert på kostnader, og kan

risikere å velge den leverandøren som har anbefalt en energibrønn som blir for grunn over tid. Dette er en utfordring for de involverte parter!

Fra og med 2003 er enøkvirksomheten i Norge totalt lagt om. Enova støtter ikke lenger alle enøksentrene i landet direkte. Dette fører til at alle de som ønsker gratis energirådgiving nå må ringe et ”call-senter” som ligger oppe i Narvik. Det sier seg selv at kjennskap til lokale forhold som grunnforhold, leverandører, utførende virksomheter, rørleggere etc. blir svært begrenset. En annen sak er at når en har tenkt å bruke 100 000 kr for å benytte en energikilde, så kan det å engasjere en energirådgiver for noen timer, være en svært god ”investering”!

Uansett er behovet nå enda større for å kartlegge grunnvarmepotensialet rundt om i kommunene, - og ikke minst få denne viten ”frem i lyset”, tilgjengelig for den private byggeren, utbyggingselskap og andre beslutningstakere som kan være med på å velge grunnvarmebaserte varmepumpesystem, - slik at veien frem ikke blir enda lengre enn tidligere!

Grunnvarme fra fast fjell - Noen resultater fra ”Trykkeprosjektet”

Randi Kalskin Ramstad^{1,4)}, Bernt Olav Hilmo²⁾, Helge Skarphagen¹⁾, Espen Hiort³⁾ & Bjørge Brattli⁴⁾

¹⁾*Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim*

²⁾*Asplan Viak AS, Tempeveien 22, 7483 Trondheim*

³⁾*Brønnteknologiutvikling AS*

⁴⁾*Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, 7491 Trondheim*

I prosjektet ”Grunnvarme fra fast fjell – økt energiuttak ved hydraulisk trykking av borebrønner” har det vært gjennomført omfattende uttesting av metodikk og utstyr for hydraulisk trykking. Ideen er å splitte opp fjellet i flere nivåer slik at berggrunnen kan fungere som en stor varmeveksler der ”varmt” grunnvann pumpes opp fra satellittborehull og føres til varmepumpen. Fra varmepumpen returneres det ”kalde” vannet tilbake til magasinet via et senterborehull. I forbindelse med prosjektet er det bygget to demonstrasjonsanlegg i Bærum basert på dette konseptet. Her er mulighetene og begrensningene knyttet til denne type grunnvarmeanlegg ytterligere kartlagt. De viktigste resultatene fra prosjektet vil bli presentert.

I et testborehull i grønnstein utenfor NGUs lokaler ved Lade i Trondheim ble nyutviklet utstyr for hydraulisk trykking testet. Utstyret består av en dobbeltmansjett bestående av to gummielementer montert i hver sin ende av et perforert stålrør. Gummielementene tåler arbeidstrykk opp mot 250 bar, og effektiv trykkeseksjon er 2,5 meter. Denne avstanden kan justeres. Uttestingen ved Lade bestod av testpumping, hydraulisk trykking, samt et mislykket forsøk på hydraulisk trykking med injeksjon av sand.

Ved utvelgelse av lokalitet for demonstrasjonsanleggene i Bærum ble det lagt vekt på (1) nærhet til aktuelle brukere av anlegget i kommunen og (2) forskjellige berggrunnsforhold. Hydraulisk trykking utført i områder med forskjellig berggrunn vil gi verdifull kunnskap om hvilke geologiske forhold som har betydning for resultatet av hydraulisk trykking. Berggrunnen ved demonstrasjonsanlegget ved Bryn skole og Brynsveien 88A/EAB består henholdsvis av en kvartsrisk sandstein (Ringerikssandstein) og en kalkholdig skifer. For å dokumentere effekten av hydraulisk trykking med vann og hydraulisk trykking med sandinjeksjon, er det gjort omfattende feltstudier ved begge anleggene. Undersøkelsene består av (1) geofysisk logging (optisk TV, vanntemperatur, vannets elektriske ledningsevne og gammastråling), (2) testpumping, (3) bergspenningsmåling (Bryn), (4) hydraulisk trykking med bare vann, (5) hydraulisk trykking med injeksjon av sand, og (6) strømningsmålinger.

Resultatene fra undersøkelsene viser at borehullenes vannkapasitet øker betydelig som følge av hydraulisk trykking. En ytterligere kapasitetsøkning oppnås ved injeksjon av sandkorn på sprekkeflatene. Sandkornene fungerer som avstandsklosser og hindrer at sprekkeklapper sammen etter trykkavlastning. Videre ser det ut til at sandinjeksjon har større effekt for nye sprekker med forholdsvis høyt mottrykk (anslagsvis >50 bar) enn hva som er tilfelle for nye åpne sprekker med lavt mottrykk (anslagsvis <50 bar). Berggrunnsgeologien og bergspenningsforholdene har stor betydning for effektiviteten av hydraulisk trykking. I den harde Ringerikssandsteinen ved Bryn, hvor det også viste seg å være høye bergspenninger, ble det dannet nye sprekker i 65% av seksjonene (40 av 62 seksjoner) stimulert med hydraulisk trykking. Tilsvarende tall for Brynsveien 88A/EAB (kalkholdig skifer) er 97% (29 av 30 seksjoner). Borehullslogger som viser vannets temperatur og elektrisk ledningsevne er et godt hjelpemiddel for å indikere mulige vannførende sprekker. Effekten av hydraulisk trykking i form av økt vannkapasitet, kan best dokumenteres ved seksjonal testpumping fremfor strømningsmåling av hele borehullet.

Simulering av grunnvarmeuttak ved bruk av Feflow og HFM

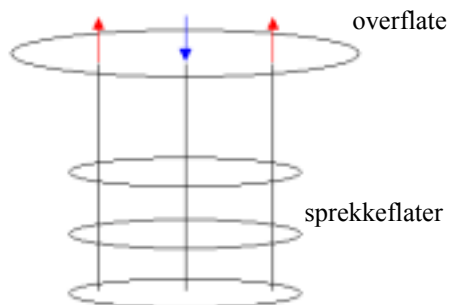
Tormod Spangelo

Institutt for energi og prosesssteknikk, NTNU, 7491 Trondheim

For å kunne beregne pris per energienhet på planlagte grunnvarmeanlegg, må energipotensialet beregnes. Til dette er datasimuleringsverktøy et godt hjelpemiddel. Det finnes mange aktuelle simuleringsverktøy på markedet, og her har Feflow og Hydraulic Fracture Model (HFM) blitt studert nærmere. NGUs demonstrasjonsanlegg på Bryn i Bærum, som er bygget i forbindelse med prosjektet Grunnvarme fra fast fjell – økt energiuttak ved hydraulisk trykking, er simulert i dette arbeidet.

Grunnvarmeanlegg

Anlegget er et hydrockanlegg med en senterbrønn og fire satellittbrønner hver à 100 meter i fast berggrunn. Sprekkeflater skaper kontakt mellom senterbrønnen og satellittbrønnene. Vann blir



injisert i senterbrønnen og varmet opp av berggrunnen mens det strømmer gjennom sprekkelatene, ut til satellittbrønnene. Fra satellittbrønnene pumpes vannet opp til overflaten, og varmen fra berggrunnen blir brukt på lavtrykkssida i ei varmepumpe. For å oppnå kommunikasjon i berg som er naturlig tett, foretas hydraulisk trykking eventuelt med sandinjeksjon. Grunnvarmeanlegget kan da se ut som i figur 1.

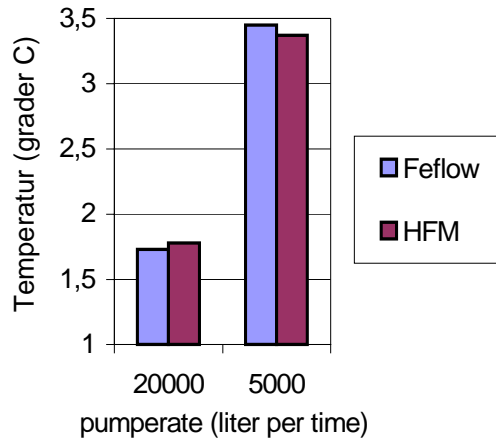
Figur 1. Hydrockanlegg

Simuleringsverktøy

Feflow har grafisk brukergrensesnitt og kan simulere flere forskjellige typer grunnvannsproblemer. Et høyt detaljnivå i programmet gjør at simuleringene kan gjøres svært godt tilpasset spesifikke anlegg, men kan også være en ulempe fordi implementeringen blir tidkrevende. En dårlig side ved programmet er at temperaturen på vannet som kommer opp igjen fra satellittbrønnene ikke er gitt som en spesifikk verdi, men må regnes ut ved hjelp av strømningshastigheter og temperatur på hver sprekkflate.

HFM er laget for å simulere varmelagring og varmeuttak fra hydrokanlegg. Det benytter seg av symmetri ved beregningene, og kan derfor bare simulere symmetriske anlegg. Programmet er både lett å lære og lett å bruke til dette formålet. I motsetning til Feflow kan ikke HFM brukes til

å kontrollere om vannmengden som blir injisert i senterbrønnen er realistisk i forhold til sprekkesystemet.



Figur 2. Temperatur på vann opp av satellittbrønnene etter syv måneders drift.

Det ble gjort en serie simuleringer der blant annet pumperaten ble variert for å belyse forskjeller mellom programmene. Vannet ble injisert i senterbrønnen med temperatur på 1°C, og figur 2 viser temperatur på vannet opp av satellittbrønnene etter syv måneders drift med to forskjellige pumperater for injisert vann i senterbrønnen. Alle simuleringene viste generelt god overensstemmelse mellom resultatene fra Feflow og HFM.

Dypgeotermisk energi - prosjektet ved Rikshospitalet

Otto. K. Sønju & Torbjørn Slungaard

Institutt for energi- og prosessteknikk, 7491 Trondheim

Geotermisk energi er varmeenergi tatt ut fra jordskorpen. Temperaturen stiger med 25-35 K/km i geologisk stabile områder. Dette gjør at selv utenom termisk aktive områder med naturlige varme kilder er det mulig å ta ut varme på store dyp. Slike prosjekter har vært eller blir gjennomført i flere land som Sverige, Tyskland, Sveits, Frankrike, USA, Australia m. fl.

Temperaturen det er mulig å oppnå er i hovedsak en funksjon av temperaturgradienten i området og boreddybden. Moderne boreteknologi gjør det mulig å bore ned til 5-6000 meter hvor fjelltemperaturen kan ligge opp mot 200°C, og varmt vann/damp er dermed tilgjengelig som direkte kan anvendes til fjernvarme og eventuelt elektrisitetsproduksjon. HDR (Hot Dry Rock) er betegnelsen på teknologien rundt uttak av varme fra tørt grunnfjell på store dyp. Alle anlegg til nå er basert på injeksjonsbrønner med kaldtvann og uttaksbrønner med varmtvann. Vanntransporten mellom disse er da avhengig av sprekker i fjellet.

Med moderne boreteknologi er det mulig å borre ned til ønsket dybde, borre flere tverrhull der nede samt et oppløpsrør. Dette gir en varmeveksler nede i grunnfjellet. Dette prinsippet er patentert av Geovarme AS og var planlagt uttestet i et prosjekt ved det nye Rikshospitalet. Planen var å borre et testanlegg til 4500 meters dybde med fire tverrhull og en ytelse på 2 MW, for så å utvide til et komplett anlegg på 8 MW.

Boringen viste seg å være en større utfordring enn først antatt. Blant annet viste det seg at de sedimentære, og veldig harde, bergartene var tykkere enn eksisterende informasjon skulle tilsi. Totalt ble det boret 7000 meter i prosjektet. Det ble på det meste boret ned til 1600 meters dybde før prosjektet ble avsluttet. Prosjektet ga likevel verdifulle boretekniske erfaringer samt nye geologiske data for området.

I dette foredraget vil den varmetekniske design av anlegget og boreteknikken gjennomgås og resultatene presenteres.

Grunnvarme for nye universitetssykehus i Akershus

Kirsti Midttømme¹⁾ & Helge Skarphagen²⁾

¹⁾Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

²⁾Norges geologiske undersøkelse, Oslokontoret, Postboks 5348 Majorstua, 0304 Oslo

Et nytt sykehus skal bygges på Lørenskog i Akershus, og et borehullbasert energilager kombinert med varmpumper skal etter planen forsyne sykehuset med varme om vinteren og kjøling om sommeren. Energilageret vil bestå av 350 borehull i fjell til 200m dyp. Anlegget vil dekke 80% av oppvarmingsbehovet og alt kjølebehovet til sykehuset. Kjølebehovet vil være dimensjonerende for anlegget.

Byggherren ønsker å etablere borehullslageret i "grønt områdene" mellom bygningene. Forundersøkelsene i høst har gitt overraskende resultater. Refraksjonsseismikk avdekket flere knusningssoner som går tvers gjennom det mest aktuelle området. To av tre testbrønner til 200m måtte avbrytes på henholdsvis 20 og 60 m. Begge boringene stoppet mot en sone fylt med bløt leire. Deler av energilageret er flyttet for å unngå knusningssonene.

Leiroverdekningen varierer fra 0-40 m i utbyggingsområdet. Kartlegging av løsmassetykkelsene har vært en viktig del av forundersøkelsen. For å redusere borekostnadene er det viktig å få lokalisert boringene til de områdene med minst leiroverdekning. Med hensyn på eventuelle setninger når temperaturen i borehullene heves eller senkes er det også viktig med god oversikt over løsmassene. Basert på de geologiske undersøkelsen vil det bli gitt anbefalinger på minsteavstand mellom energilageret og bygningene i området og anbefalte temperaturgrenser for borehullslageret.

FOREDRAG

5. februar

Environmental behaviour of trace metals in soils: implications for the development of prion diseases

K. Vala Ragnarsdottir

Department of Earth Sciences, University of Bristol, Bristol BS8 1RJ, UK

In recent years the hypothesis has been put forward that high Mn/Cu levels in soil may be a risk factor for the onset of prion diseases, often referred to as transferable spongiform encephalopathy (TSE). These diseases include bovine spongiform encephalitis (BSE or mad cows disease) in cattle, scrapie in sheep, chronic wasting disease in deer (CWD) and Creutzfeldt-Jacobs Disease (CJD) in humans. It has been suggested that soil and vegetation from regions of the world in which prion diseases occur at higher than average incidence are low in copper (Cu) and high in manganese (Mn). Indeed, there are geographically defined clusters of these diseases as is well known for scrapie in Iceland and chronic CWD in Colorado. In Norway scrapie also occurs and the possibility of CWD occurrence is currently being investigated. Even within the relatively few cases of the human variant CJD clusters of cases have emerged in Slovakia, Italy and the UK. It has recently been shown that Mn replacement of Cu for prion protein function causes prions to unfold. Also important in the unfolding of the prion proteins may be environmental pollutants such as organophosphate pesticides, ozone and UV light (entering the retina) oxidizing Mn^{2+} to Mn^{3+}/Mn^{4+} . It also appears to be evident that this mechanism of prion alteration is further devastating if metals (e.g. Se, Zn) that are key components of antioxidant enzymes (e.g. superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase) are also low in the soils. Recent findings in Iceland show that sheep that come from areas that are prone to develop scrapie have very low blood levels of such enzymes. Therefore the biogeochemical behaviour of Mn and Cu and other trace metals needs to be investigated in order to lay the foundation for an understanding of possible environmental factors that may affect the development of prion diseases.

Trace metal speciation in soil solutions is sensitive to the content and type of organic matter, the percentage of clay and amorphous hydrous oxide minerals, pH/Eh, and the ionic strength. For example, Mn precipitates as Mn(IV) oxide or Mn(II) carbonate at high pH and high Eh and sorbs weakly to mineral and organic matter surfaces by forming an outer sphere complex. At lower pH and in the presence of slightly reducing conditions, Mn-oxides and Mn-carbonates dissolve, and the main dissolved species is Mn^{2+} . In contrast, a low solution concentration of the micronutrient Cu should occur for soils high in immobile organic matter (but not too low in pH) and for soil solutions with low Eh and high P_{CO_2} values. Under intermediate pH conditions, the solution concentration of Cu should increase significantly with an increase in chloride and carbonate

concentration or in organic solutes such as glycine. Since the complexes formed in these case reduce the ionic charge of the soluble trace metal species, a decrease in the affinity of sorption to clays is observed. Altogether, copper is less mobile and therefore less bioavailable than Mn in humic rich soils that have a low pH. These conditions are typical for sheep pastures and may be linked to scrapie occurrence in, for example, Iceland. Whether high Mn/Cu ratios in soil and feed along with oxidants are indeed inducers of TSE remains to be demonstrated experimentally. Preliminary data from Iceland indicate that scrapie prone sheep have low glutathion peroxidase concentrations in blood. Also, it has been shown in the UK that hypocuprosis (a copper deficiency disease) in cattle develops in areas of molybdenum (Mo) rich soils – because Mo interferes with the uptake of copper. Therefore it appears that selenium and molybdenum (and perhaps other trace metals including zink) abundance needs to be investigated in addition to Cu and Mn in order to cast further light on TSE development. It is clear that the detailed speciation of the trace metals present a formidable problem in the presence of proteins like prions. Much research is still needed to fully understand important Cu and Mn (and other trace metal) reactions and corresponding stability constants before definitive predictions for the environmental behaviour of trace metals and their possible role for the development of prion diseases can be made. This study lays the basis for a new EC funded project under the Quality of Life/Environment Programme.

Drinking Water Quality in the Ethiopian section of the East African Rift Valley

Clemens Reimann¹⁾, Kjell Bjorvatn²⁾, Bjørn Frengstad¹⁾, Zenebe Melaku³⁾, Redda Tekle-Haimanot³⁾ & Ulrich Siewers⁴⁾

¹⁾*Geological Survey of Norway, N-7491 Trondheim*

²⁾*Institute for Dental Research, University of Bergen, Årstadvei 17, N-5009 Bergen*

³⁾*Medical Faculty, Addis Ababa University, P.O.Box 1176, Addis Ababa/Ethiopia*

⁴⁾*Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, P.O.Box 510153, D-30631 Hannover*

Drinking water samples were collected throughout the Ethiopian part of the Rift Valley, separated into water drawn from deep wells (deeper than 60 m), shallow wells (less than 60 m deep), hot springs ($T > 36\text{ }^{\circ}\text{C}$), springs ($T < 32\text{ }^{\circ}\text{C}$) and rivers. 138 samples were analysed for a total of 70 parameters (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, F, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, I, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, NO_2 , NO_3 , Pb, Pr, Rb, Sb, Se, Si, Sm, Sn, SO_4 , Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr, temperature, pH, conductivity, and alkalinity) with ion chromatography (anions), spectrometry (ICP-OES and ICP-MS, cations) and parameter-specific (e.g. pH-meter, titrator) techniques. In terms of European water directives and WHO guidelines 78 % of all wells yield waters failing to pass the quality standards set for drinking water. The most problematic element is fluoride (F), for which 33 % of all samples returned values above 1.5 mg/L and up to 11.6 mg/L. Incidence of dental and skeletal fluorosis is well documented in the Rift Valley. Another problematic element may be uranium (U) – 47 % of all wells yield water with concentrations above the newly suggested WHO MAC value of 2 $\mu\text{g/L}$. Fortunately only 7 % of the collected samples are above the 10 $\mu\text{g/L}$ EU-MAC for As in drinking water. Almost all high F-wells occur in the central part of the Rift Valley. This geographical distribution suggests that the high F is related to hydrothermal activity.

A legacy of a century of gold mining in South Africa: water management and mine closure

H. Coetzee¹⁾, L. Croukamp¹⁾, F. Ruden²⁾ & P.K. Zawada¹⁾

¹⁾*Council for Geoscience, Private Bag X112, Pretoria 0001, South Africa*

²⁾*Geological Survey of Norway, N-7491 Trondheim*

For the past 114 years gold has been mined from the Witwatersrand Supergroup. In total 43500 tons of gold was produced from the Witwatersrand basin between 1887 and 1994. This represents almost 40% of the total gold mined from the earth's crust¹. Although gold production has declined since 1970, it is estimated that the basin still holds some 45% of the world's known resources². The Witwatersrand basin is also a significant source for uranium accounting for 96% of the country's production³. Although some mines are in operation many have ceased with or without adequate closure of mine openings. The decline in mining has resulted in fewer mines pumping water to keep the mine workings dry. As a result, water levels are rising in most areas and abandoned shafts on the West Rand have recently started to decant mine water. Sulphides within the ores and wastes oxidise, forming acid mine drainage, which in turn mobilises other components of the ore, including heavy metals and radionuclides.

On request of the Department of Minerals and Energy, the Council for Geoscience has started a multi-year and multi-faceted programme that will address the following broad issues:

- to reduce the ingress of water into the mine workings by locating and closing unrehabilitated shafts and near-surface stopes;
- the completion of several scientific studies that will focus on acid mine drainage and increased levels of uranium and radioactivity and their amelioration, and
- the development of a comprehensive water management plan for the Witwatersrand region.

This strongly focussed environmental programme is wide ranging in its scope and will draw on many skills and competencies for which the Geological Survey of Norway could ably assist through a collaborative agreement with the Council for Geoscience, for which funding may be available. The training of geologists would be seen as an important element of such an agreement. It is therefore suggested that further discussion on collaboration be entered into between the respective organisations.

¹ SANDERS, J.W., ROWLAND, T.W. and MELLODY, M. (1994). Formation related gold production from the Central Rand Group and the Ventersdorp Supergroup, South Africa. XVth CMMI Congress, Johannesburg, South Africa: Institute of Mining and Metallurgy, 3, p. 47-53.

² ROBB, L.J. and ROBB, V.M. (1998). Gold in the Witwatersrand Basin. In: The mineral resources of South Africa. Council for Geoscience Handbook 16. Editors M.G.C. Wilson and C.R. Anhaeusser, p. 294-349.

³ COLE, D.I. (1998). Uranium. In: The mineral resources of South Africa. Council for Geoscience Handbook 16. Editors M.G.C. Wilson and C.R. Anhaeusser, p. 642-658.

CO₂ lagring i akviferer - hvilken rolle spiller mineral-vann reaksjoner?

Per Aagaard

Institutt for geologi, Universitetet i Oslo, Postboks 1047 Blindern, 0316 Oslo

Lagring av CO₂ i akviferer blir idag betraktet som en lovende måte å redusere utslipp av CO₂ til atmosfæren. Bidraget fra fossilt brensel til atmosfærens innhold kan påvirke klimaet. Det er imidlertid mange spørsmål knyttet til lagring av i akviferer. Hva er lagringskapasiteten og hva slags mineral-vannreaksjoner vil skje når superkritisk CO₂ ved tilstrekkelig høyt trykk sendes ned i akviferen?

Situasjonen har mange likhetspunkter med det vi kjenner fra diagenetiske studier i oljegeologi, hvor CO₂ er en viktig faktor i reaksjonsforløpet og reaktiviteten til systemet. Hovedskillet er imidlertid at CO₂ innholdet mangedobles, og man vil forvente langt høyere reaksjonspotensiale. Reaktive mineraler kunne inngå i reaksjoner med CO₂ og binde CO₂ under dannelse av nye mineraler.

Resultater fra geokjemiske reaksjonssimuleringer viser at den klastiske mineralogien er svært viktig for CO₂ binding. Karbonater vil kunne reagere hurtig men har liten kjemisk lagringskapasitet. Bare reaktive silikatmineraler som er istand til å danne karbonatmineraler, vil gi en store grad av kjemisk forbruk og binding av CO₂. Silikatmineralers kinetikk er her kritisk. Store usikkerheter i de kinetiske parameter krever mere eksperimentell kunnskap. Vi har planer om å dedikerte eksperimentelle studier for dette.

Med basis i SACS prosjektet og den kjennskap vi har til injeksjonsakviferen, Utsiraformasjonen, vil langtids lagringskapasitet og bindingshastighet til CO₂ bli diskutert ut fra mineralogiske og geokjemiske egenskaper i akviferen og generelle geologiske forhold.

Utfellingspotensialet i fastfjellsbrønner i Akershus og Østfold

Ola M. Sæther & Andreas Grimstvedt

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

Graden av metning med hensyn på en lang rekke faste stoffer er beregnet i 250 grunnvannsprøver fra private og offentlige brønner i fast fjell i Akershus og Østfold. Prøvene er samlet inn av de lokale Næringsmiddeltilsynene i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse (NGU). De kjemiske analysene av de innsamlede grunnvannsprøvene er utført ved NGUs laboratorier innenfor prosjektet "Landsomfattende kartlegging av kjemisk kvalitet i grunnvann i fast fjell" i løpet av 1997 og er tilgjengelige i NGU-rapportene 97.157 og 97.158.

Beregning av forskjellige metningsindekser i grunnvannet viser at på svært mange lokaliteter er grunnvannet nær metning eller overmettet med hensyn til oksider, hydroksider og karbonater som inneholder Fe, Mn og Ca, til tross for at konsentrasjonen av disse grunnstoffene i grunnvannet ikke nødvendigvis utgjør de høyeste. Forutsatt at de kinetiske betingelsene er noenlunde like, vil dette kunne medføre dannelse av belegg på selve borehullsoverflaten, utstyr montert i brønnene, eller andre installasjoner som kommer i kontakt med vannet, også i brønner med moderate eller lave konsentrasjoner av de respektive kationer. Dette synes særlig å kunne være et problem i områdene Iddefjord-Halden-Hvaler, Nesodd-landet og Hurdal. Graden av problemet vil ikke bare være bestemt av kjemiske forhold i grunnvannet, men også i stor grad av temperatur og strømnings- eller uttakshastighet.

Miljøbasert vannføring og interaksjon grunnvann/overflatevann

H. Colleuille, W. K. Wong, P. Dimakis & T. S. Pedersen

Norges vassdrags- og energidirektorat, Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

Redusert vannføring står sentralt i konsesjonsbehandlingen av vassdragsinngrep. Fastsettelse av en minstevannføring for regulerte vassdrag er et område forvaltningen daglig må forholde seg til i nye vassdragskonsesjoner, ved revisjon av vilkår i gamle konsesjoner og som følge av den nye vannressursloven og EUs vanndirektiv. Fastsettelse av minstevannføring skal i fremtiden baseres seg på et objektivt system som tar hensyn til de ulike brukerinteressene og naturens karakteristikk som vannkvalitet, biologi, sediment og erosjon, estetikk, vanntemperatur og grunnvann. FoU-programmet ”Miljøbasert vannføring” er derfor opprettet for å få økt kunnskap om sterkt reduserte vannføringer i vassdrag, slik forvaltningen får et bedre faglig grunnlag til å fastsette vannføring ved inngrep i vassdrag. Programmet finansieres av Olje- og energidepartement og forankres i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Samspill mellom grunnvann og overflatevann er vesentlig for vannkvalitet, vanntemperatur og ferskvannøkologi. NVE har derfor satt i gang et prosjekt som har målsetning å øke kunnskapen om interaksjon mellom grunnvann og overflatevann langs vassdrag. Hovedformålet er å utvikle analyseverktøy for å kunne kvantifisere og forutsi effekt av redusert vannføring på grunnvann og samtidig effekt av grunnvannsuttak på vannføring og vannkvalitet.

Det ble valgt i dette prosjektet å bruke som tilfellestudie en liten elveslette (ca. 2 km²) på Rena i Hedmark. Grunnvannsressursene i Rena sentrum er utnyttet siden 1950-tallet (Rena Kartongfabrikk) og flere undersøkelser har blitt utført de siste 40 årene i forbindelse med opprettelse og vedlikehold av pumpebrønner både for vannforsyning (industri og drikkevann) og energiutnyttelse. Grunnvannsforekomsten i Rena består av heterogene fluviale og glasifluviale sedimenter og er et åpent infiltrasjonsmagasin, der grunnvannsnivået styres av vannstanden i Glomma.

To tredimensjonale grunnvannsmodeller (Visual Modflow 3.0 og Feflow 5.0) er anvendt i dette prosjektet. Modellene er kalibrert på grunnlag av hydrogeologiske data samlet i felt. Feltarbeid er tidkrevende og kostbart, og en del av prosjektet er å definere det minimale datagrunnlaget som trenges, og hvilke metoder som er best egne for å estimere disse data. Grunnvannsforekomsten og bunnsedimenter i Glomma ble kartlagt og karakterisert vha. georadar og uttak av sedimentprøver. Foretrukne strømningsveier har vært undersøkt med sporstoff-forsøk. Vannstand, temperatur og

elektrisk ledningsevne, har vært overvåket både i grunnvannforekomsten og Glomma. Vannkjemi og hydroklimatiske regime har vært også analysert vha. statistikk verktøy.

Den første oppgaven til prosjektet er å utføre vannbalanseanalyser for å kvantifisere vannutvekslingen mellom Glomma og grunnvannsforekomst i løpet av et normalt hydrologisk år med snøsmelting, vårflom og lavvannføring.

Den andre oppgaven er å analysere den potensial effekten av endringer i vannregime (på grunn av elveregulering og følgende tetting av elvesbunn) på grunnvannsressurser og dets interaksjon med ellevann. Den tredje oppgaven fokuserer på utnyttelse av grunnvannsressurser, tålegrenser og beskyttelsesområder, samt utnyttelsekonsekvenser på ellevann kvalitet og kvantitet.

EU's vanddirektiv og grunnvann

Sissel Tvedten

Asplan Viak AS, Dyrmyrgt. 35, 3611 Kongsberg

Det overordnede målet med EUs rammedirektiv for vann er å sørge for at landene beskytter og (om nødvendig) forbedrer vannkvaliteten i vassdrag og grunnvann, samt fremme en "bærekraftig" utnyttelse av vannressursene. Innen 2004 skal grunnvannsforekomster være karakterisert og arbeidet rapportert til EU, og innen 2006 skal et overvåkingssystem være operativt.

Norske grunnvannsressurser har ikke tidligere vært systematisk kartlagt. Implementering av EU's vanddirektiv, sammen med ny vannressurslov der grunnvann nå inngår, gir oss nå en mulig til å tenke helhetlig forvaltning av vannressurser, inkludert grunnvann.

I dag er om lag en tredjedel av godkjenningspliktige vannverk i Norge grunnvannsanlegg (ref. VREG¹). Vanddirektivet setter særlige krav til overvåking av disse.

Det utarbeides nå veiledningsmaterieill i EU for å legge overordnede rammer for hvordan karakteriseringsarbeidet og senere overvåking skal gjennomføres. Hvert enkelt land står imidlertid relativt fritt til å velge strategi for arbeidet.

Vanddirektivet er foreløpig ikke oversatt til norsk. I den engelske utgaven brukes uttrykket "groundwater bodies" som vi på norsk har oversatt til grunnvannforekomst. Denne defineres som å være et spesifikt volum grunnvann i en akvifer eller flere akvifere. Det angis ikke hvordan begrepet skal avgrenses nærmere, og her tillates det å anvende eksisterende nasjonal praksis. I Norge har vi imidlertid pr i dag ingen slik praksis.

Akvifer blir definert som en geologisk formasjon med tilstrekkelig porøsitet og permeabilitet til at det kan strømme betydelige mengder vann gjennom akviferen, eller at det er mulig å ta ut betydelige mengder vann fra akviferen. Betydelig (*significant*) kvantifiseres ikke i rammedirektivet, og vil være avhengig av nasjonal praksis. Igjen har vi ingen slik praksis i Norge.

Fastsatt grense på 10 m³/dag innebærer at vi i praksis kan definere grunnvannsforekomster over hele Norge.

¹ Vannverksregisteret som administreres av Folkehelseinstituttet

Grunnvann blir behandlet i vanndirektivets § 4, § 17, samt anneks II (karakterisering) og anneks V (kvalitet).

§ 4

beskriver de overordnede målene med direktivet. Artikkel 4 b inneholder spesifikke mål for grunnvann:

- ✓ Forurensing av grunnvann skal opphøre eller begrenses for å unngå videre forringing.
- ✓ Grunnvann skal beskyttes, og hvis nødvendig forbedres.
- ✓ “God” status skal oppnås innen 15 år.

For den innledende karakteriseringen skal en benytte eksisterende data. En utfordring er å lage et karakteriseringssystem som kan være hensiktsmessig i dag, og som siden også kan “bygges ut”.

§ 17

Artikkel 17 omhandler strategier for å unngå og kontrollere forurensing av grunnvann. Det refereres til karakteriseringskrav som blir beskrevet i annekser, og inneholder tidsfrister for implementering.

Anneks 2

gir en oversikt over informasjon som skal inngå i en første karakterisering. Målet med denne er å framskaffe informasjon om bruk av grunnvann, og identifisere akviferer som kan være av mindre ”god” status. Denne skal minimum inneholde følgende:

- ✓ Lokaltitet og avgrensning av akviferen
- ✓ Diffuse kilder for forurensing
- ✓ Punktkilder for forurensing
- ✓ Uttaksmengder
- ✓ Kunstig infiltrasjon
- ✓ Beskrivelse av løsmasser som ligger over akviferen
- ✓ Økosystemer enten i overflatevann eller på land som er avhengig av akviferen

Akvifere som blir identifisert som under risiko i den første karakteriseringen vurderes videre i en utvidet karakterisering. Denne skal utdype følgende momenter:

- ✓ geologiske forhold
- ✓ hydrogeologi, inkludert hydrauliske parametere
- ✓ løsmasser som overligger akviferen med fokus på sårbarhet og beskyttelse
- ✓ eventuell stratifisering av grunnvannet
- ✓ assosierte overflatevann

- ✓ estimering av strømningsretning og vannmengder mellom akvifer og overflatevann
- ✓ gjennomsnittlig årlig infiltrasjonsrate
- ✓ kjemisk sammensetning

Det er nå gjennomført tilfellestudie i to avgrensede områder; del av Gudbranddalslågen og Tana for å se hvordan en karakterisering kan gjennomføres i Norge. Arbeidet danner grunnlag for utarbeidelse av en veileder. Det legges opp til et faseinndelt program for karakterisering. En må ta hensyn til Norges spesielle geologi med et stort antall (løsmasse-)forekomster med begrenset utstrekning og store inhomogeniteter.

Grunnvann i fjell: Regionale variasjoner i grunnvannspotensiale og hydrauliske egenskaper

Helge Henriksen

Høgskulen i Sogn og Fjordane, Avdeling for Naturfag, Postboks 133, 6851 Sogndal

Viktig og relevant informasjon om berggrunnsakviferer kan ekstraheres fra regionale GIS-baserte hydrogeologiske databaser. Ved bruk av GIS kan store datavolum, som er nødvendig i forbindelse med regionale hydrogeologiske studier, genereres ved å koble data fra brønndatabaser med informasjon om geologi, tektonikk, hydrologi og geomorfologi/topografi.

De genererte data kan videre behandles ved hjelp av statistiske analyser. Et dilemma i denne type eksplorative undersøkelser av store mengder grunnvannsdata fra fjell er å sikre et representativ datamateriale fra et hydrogeologisk standpunkt, som på samme tid ikke bryter med de grunnleggende forutsetningene for de statistiske analysene.

De fleste statistiske analyser stiller krav til fordelingen av datamaterialet, noe som i hydrogeologi og andre vitenskaper som utforsker naturlige fordelinger, ofte kan komme i konflikt med den ideelle situasjonen der alle data blir brukt. For å utføre en troverdig regional statistisk analyse med utgangspunkt i et stort datavolum er kvalitetssikring ved hjelp av filtrering og fjerning av outliers/ekstreme verdier nødvendig. Ofte vil det også være nødvendig med datatransformasjon til f.eks. logaritmiske verdier. Samlet sett kan utelatelsen av data for å produsere en database av høy kvalitet føre til en betydelig reduksjon i datamaterialet. I løpet av en slik prosess kan viktig informasjon gå tapt, men outliers og andre ekstreme verdier kan og bør behandles eksplisitt.

I en analyse fra det Fennoskandiske skjoldområdet ble data, baserte på brønndatabasene til NGU og SGU, ordnet i tre profiler orientert hhvis NØ-SV, NNØ-SSV og N-S, på tvers av gradienter for typiske regionale faktorer som antas å ha betydning for grunnvannspotensiale og hydrauliske egenskaper i berggrunnen. Det opprinnelige datasettet før filtrering var på ca. 34 000 poster. Før den endelige statistiske analysen var datasettet redusert til ca. 13 600 poster.

De typisk regionale faktorene omfatter årlig rate for postglasial landheving og årsnedbør. Jordart, jorddyp og bergartstype er sub-regionale og lokale faktorer. Som statistisk testobservator er benyttet logtransformerte verdier av Q/d , der Q er oppgitt vannytelse (kapasitet) og d er boret dyp i fjell. I regionale studier basert på data fra brønndatabaser representerer den normerte brønnyttelsen Q/d et konservativt estimat av spesifikk kapasitet; som på sin side er proporsjonal med transmissiviteten.

For NØ-SV profilet, fra Bergen mot Umeå i Sverige er det en svak samvariasjon mellom $\log Q/d$ og de regionale faktorene. De andre profilene, hhvis fra Fredrikstad mot Umeå (NNØ -SSV) og fra Skåne i Sverige mot Umeå (N-S) viser ingen klar trend på tvers av de regionale gradientene.

Resultatene av de statistiske analysene (parametrisk og ikke-parametrisk variansanalyse) indikerer at for de typiske regionale faktorene, så forklarer årlig landhevingsrate og gjennomsnittlig årsnedbør samlet sett ikke mer enn 11.2% av den observerte variasjonen til $\log Q/d$. Noen av de analyserte faktorene, og andre faktorer som ikke er inkludert i undersøkelsen, virker i motsatte retninger og kan på denne måten oppheve hverandre. Lokale faktorer, som nærhet til sprekkekorrelerte lineament og topografi spiller trolig en viktigere rolle og kan overskygge virkningen av de regionale faktorene.

Uttak av grunnvann til Storelva vannverk, Båtsfjord kommune

Bernt Olav Hilmo¹⁾, Tidemann Klemetsrud²⁾ & Sissel Tvedten³⁾

¹⁾Asplan Viak Sør AS, Tempeveien 22, 7483 Trondheim

²⁾Norges geologiske undersøkelse, Oslokantoret, Postboks 5348 Majorstua, 0304 Oslo

³⁾Asplan Viak AS, Dyrmyrgt. 35, 3611 Kongsberg

I forbindelse med utbygging av ny vannkilde til Storelva vannverk har Asplan Viak hatt ansvaret for brønnetablering, prøvepumping og utbygging av vannkilden.

Vannverket forsyner 2600 personer samt flere fiskebruk. Det store vannforbruket på 200 l/s skyldes stort vannbehov på fiskebrukene, samt omfattende frosttapping og store vannlekkasjer. Dagens vannkilde, Storelva, har bra kvalitet unntatt i flomperioder, men den er sårbar mot eventuelle forurensninger. Ut fra en total vurdering av kvalitet, sikkerhet og kostnader valgte kommunen å satse på grunnvann framfor rensing av dagens vannkilde.

Den aktuelle grunnvannsførekkomsten ligger på ei slette ved Storelva 3 km sør for Båtsfjord sentrum. Forekomsten er kartlagt og utredet av NGU ved bruk av seismikk, georadar, undersøkelsesboringer og prøvepumping. Grunnvannsmagasinet har en utbredelse på ca. 500 x 100 m, en tykkelse på opptil 15 m og rommer ca. 80 000 m³ grunnvann. På grunnlag av forundersøkelsene ble det sommeren 2002 etablert 5 nye Ø 300 mm skråbrønner (15-20° fall). Brønnene har 15-25 m lange brønnfiltre som er plassert mellom 3,5 og 11 m under bakkenivå. For å øke uttakspotensialet ble det kanalisert elvevann til et basseng like i nærheten av tre av produksjonsbrønnene. Bassengen ble laget ved å demme opp et gammelt elveleie.

Det ble gjennomført parallell prøvepumping fra 3-5 brønner. Prøvepumpingen viste følgende:

- Total kapasitet på 145-240 l/s (30-70 l/s pr brønn)
- Opptil 4,7 m senkning av grunnvannsnivået i produksjonsbrønnene
- Beregninger viser høye verdier for hydraulisk ledningsevne ($0,2-8,3 \times 10^{-3}$ m/s).
- Grunnvannets oppholdstid fra elv til brønner er maksimalt 5 døgn.
- God fysisk kjemisk kvalitet, men liten forskjell mellom elvevann og grunnvann.
- Påvist bakterieinnhold i enkelte grunnvannsprøver
- Kunstig infiltrasjon har stor effekt på kapasiteten i de tre produksjonsbrønnene som ligger nærmest infiltrasjonsbassenget.

For å styrke nydannelsen av grunnvann i perioder med lav elvevannføring er det planlagt nok et infiltrasjonsbasseng, samt trykkinfiltrasjon i en ”mislykket” produksjonsbrønn i reserve. Vannkilden for infiltrasjon vil være desinfisert elvevann fra dagens inntak.

Det er valgt å benytte tørroppstilte sugepumper for permanent drift. Sugepumper tillater normalt maksimum 5-6 m løftehøyde. For å redusere løftehøyden er brønnhusene gravd 1-1,5 m under bakkenivå. I tillegg vil kunstig infiltrasjon bidra til å opprettholde et høyt grunnvannsnivå også ved store uttak.

De viktigste erfaringene man kan trekke ut fra dette prosjektet er:

- Relativt små grunnvannsmagasin kan være aktuelle for store uttak hvis de hydrauliske egenskapene er gode og det er gunstige forhold for nydannelse av grunnvann.
- Selv om det ikke oppnås en fullgod hygienisk rensing med 60 døgns oppholdstid, bør grunnvann vurderes fordi man tross alt kan oppnå en såpass god beskyttelse og vannkvalitet til at det er tilstrekkelig med en hygienisk barriere.

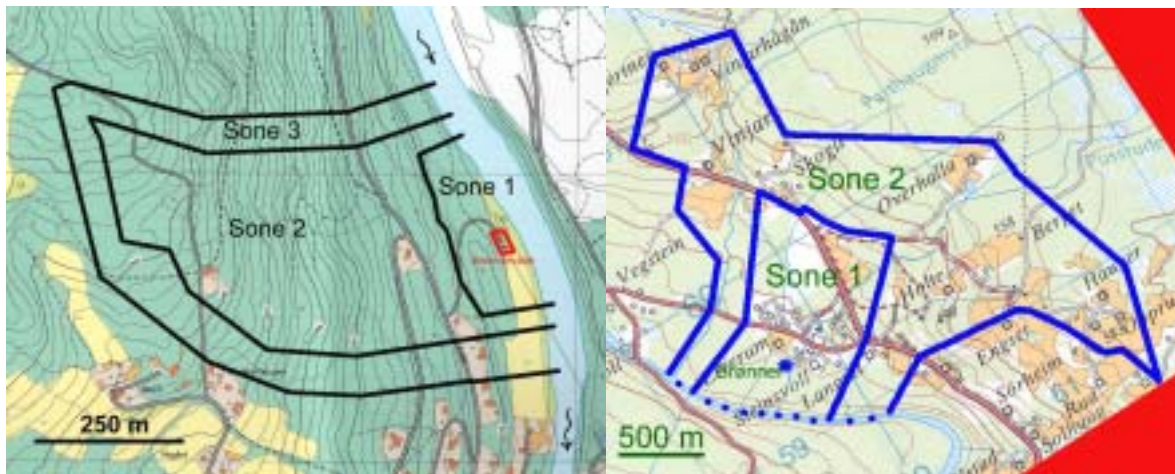
Grunnvannsbeskyttelse i løsmasser og fjell, Nordre Land kommune

Knut Ellingsen

Norges geologiske undersøkelse, Oslokontoret, Postboks 5348 Majorstua, 0304 Oslo

Dokka vannverk forsyner 2500 personer og får grunnvann fra to rørbrønner i løsmasser nær Dokka elv. Torpa vannverk (på Elverum) forsyner 180 personer og får grunnvann fra tre borebrønner i fjell. Forslag til sonegrenser og restriksjoner er utarbeidet for beskyttelse av de to vannverkene. For Dokka vannverk er fire soner foreslått (sone 0-3 der sone 0 er nærområdet rundt brønnene og sone 3 lengst fra brønnene) og for Torpa vannverk tre soner (sone 0-2) etter tilsvarende prinsipp.

Kommunen rådes til å ta utgangspunkt i de foreslåtte sonegrenser og restriksjoner for å finne fram til et endelig system for beskyttelse av grunnvannsbrønnene for de to vannverkene. Enkelte elementer bør kunne endres forutsatt at en oppnår like god eller bedre beskyttelse. Eventuelle endringer bør kreve dokumentasjon basert på faglig holdbare undersøkelser.



Dokka vannverks brønner(t.v.) er godt lokalisert med få muligheter for å bli forurenset. Torpa vannverks fjellbrønner ligger nedenfor bebyggelsen og er sårbare for stofftilsig derfra.

Premisser for Dokka vannverk: 1) Elva utgjør en positiv hydrologisk barriere som innebærer at brønnene ikke mottar vann som er infiltrert i grunnen på andre siden av elva. 2) Det finnes en effektiv rensebarriere mellom ellevannet og brønnene som innebærer at kravet om 60 døgn oppholdstid i grunnvannssonen for det infiltrerte ellevannet kan fravikes. 3) Bekken fra vest som renner nær brønnene kan forårsake flomproblemer for vannverket. 4) Berggrunnen under løsmassene er bare en minimal bidragsyter til forurensning av brønnene.

Premisser for Torpa vannverk: 1) Infiltrasjonsfaktoren/-kvotienten er neppe mer enn 3% som krever 1,2 km² infiltrasjonsområde, som i ”beste” fall utgjør brønnenes nærområde. 2) ”Kortslutning” er mulig mellom bekker i området og brønnene. Derfor kan i stedet bekkene utgjøre yttergrensen for beskyttelsesområdet. Usikkerheten her medfører at det må tas hensyn til begge; både-og i stedet for enten-eller. 3) En generell beskyttelse ligger i det 2-4m morenelaget som finnes over fjell de fleste steder. Dette er et gode med tanke på beskyttelse mot så vel kjemisk som mikrobiologisk forurensning

Bruk av tilsatt sporstoff til å bestemme strømningshastighet og kritisk nedbørmengde for en rasutsatt dalsideavsetning i Flåmsdalen

Harald Johansen¹⁾, D.Ø. Eriksen¹⁾, C. Quenild¹⁾ & Bjørn S. Rosenvold²⁾

¹⁾*Institutt for Energiteknikk, Postboks 40, 2027 Kjeller*

²⁾*Luna Mineral AS*

Fyllittjord er hovedkomponenten i meget labile dalsideavsetninger i Flåmsdalen, Aurland kommune. Dalsidetopografien er dominert av en mengde tungelignende rygger, som viser tydelig bevis på bevegelse nedover dalsiden. For bedre å forstå sammenhengen mellom nedbørintensitet, grunnvannsbevegelse og deformasjon satte IFE, i samarbeid med NGI og Aurland kommune, i gang et sporstoffeksperiment. HTO (³H) ble 30. august 2001 tilsatt i bakkant av en fyllittunge, og vannprøver ble tatt regelmessig fra en peilebrønn i forkant av fyllittungen. Sporstoffet ble ikke detektert før i desember 2001, og maximum intensitet kom i juni-juli 2002. Tracerpulsene har pr. 15. desember 2002 ennå ikke dødd ut, selv om konsentrasjonen nå er synkende. Vurdering og modellering av sporstoffpulsens form har gitt flere nyttige holdepunkter med hensyn til fyllittjordens hydrologiske og mekaniske egenskaper. Den permeabilitet som kan beregnes ut fra eksperimentet er meget lav, og karakteristisk gjennomsnittlig strømningsrate ligger i størrelsesorden noen cm/d. Dette er en meget langsom hastighet for terreng som heller mere enn 30°. Ut fra visse antakelser for porøsitet av fyllittjorden, og fra beregnet permeabilitet, har vi beregnet den nedbørintensitet som skal til for å vannmette avsetningen, og deretter bygge opp overtrykk. Typisk tid for å fylle opp umettet sone vil være 5-10 dager ved en nedbørintensitet som overskrider 40 mm/døgn. Disse beregnede verdiene er i god overensstemmelse med lokale observasjoner, som sier at kilder begynner å produsere økt vannmengde etter "ca. en uke" i intense nedbørperioder. Beretninger om skredbevegelser sier også at 1-2 uker med intens nedbør ofte har gått foran sigebevegelser og ras. Sammenligning av utstrømningsraten fra relativt grunne kildehorisonter med sporstoffdata fra dypere nivåer i peilebrønner viser at fyllittavsetningen er delt i to nivåer, sannsynligvis avgrenset av et glideplan. Over dette plan er avsetningen vanligvis umettet, og under planet mettet. Det øvre nivået dreneres betydelig raskere enn det nedre. ³H er ikke observert i kildene, og ledningsevnen for vann fra kildene er betydelig lavere enn vann fra dype nivåer i peilebrønnene. H og O isotoper fra dypt nivå i en peilebrønn viste overhodet ingen variasjon over mere enn 1 måned i smelteperioden våren 2002, noe som viser at dypere nivåer av fyllittjorden praktisk talt ikke får innblanding av smeltevann og nedbør i denne tidsskala. Ut fra disse iakttagelser er det grunn til å tro at den kritiske faktor for oppbygging av overtrykk i udeformert fyllittjord er permeabilitet av tilsvarende størrelse som i sporstoffeksperimentet. En avsetning som allerede er deformert har ofte et glideplan med relativt høy permeabilitet. Glideplanet svarer til observerte kildehorisonter. Overtrykk like under glideplanet er kontrollert

av dypere permeabilitet, slik at ny deformasjon langs glideplanet kan forventes å bli utløst av de samme nedbørverdier som i udeformert fyllittjord. De kritiske faktorer for utløsning av deformasjon vil derfor være:

1. Nedbørintensitet
2. Forsinkelsestid for å fylle opp umettet sone (avhengig av tykkelse og porøsitet)

Dersom nedbøren avtar under forsinkelsestiden, vil deformasjon ikke inntreffe. Tykkelsen av umettet sone blir således en meget viktig sikkerhetsfaktor. Flere steder i Flåmsdalen har vi indikasjoner på at mere permeable morenelag ligger under fyllittjorden. På slike steder vil tykkelsen av umettet sone ofte være tykkere, og sikkerheten derfor bedre. Gården Holo like ved siden av vår lokalitet for sporstoffeksperimentene er et eksempel på en løsmasserygg som ikke er særlig rasutsatt, på grunn av god bunndrenering. De som plasserte husene i gammel tid ser ut til å ha vært i besittelse av betydelig hydrologisk innsikt, idet svært mange av de andre "fine tomtene" i området har betydelig rasrisiko.

Studiene på Holo i Flåmsdalen viser at en god hydrologisk modell, som er støttet av geokjemiske data, er en verdifull støtte for risikovurderinger for løsavsetninger i bratte dalsider.

Tunneltraséen Ringveg Vest i Bergen: lokale bruddsystem og spenningsfelt relatert til lekkasje

Ruth Guri F. Venvik¹⁾ & Agust Gudmundsson²⁾

¹⁾*Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen, Allégaten 41, 5007 Bergen*

²⁾*Geoscience Centre, Universitetet i Göttingen, Tyskland*

Lekkasje (assosiert grunnvannsynkning) er ofte et problem ved utbygging av tunneler. Sannsynligvis er lekkasjen i tunneler størst i bruddsoner, hvor hydraulisk konduktivitet er avhengig av bruddintensitet, bruddorientering og bruddapertur. Vannstrømning til tunnelen er avhengig av det lokale spenningsfeltet og bruddaperturen i området.

I forbindelse med tunnelprosjektet Ringveg Vest sør for Bergen sentrum er det gjort feltarbeid for å kartlegge bruddsoner, beregne hydraulisk konduktivitet i feltområdet og modellere hvordan tunnelen vil omdistribuere det lokale spenningsfeltet. Prosjektet er et samarbeid mellom Statens Vegvesen i Hordaland og Universitetet i Bergen

Lineamentstolkningen viser tydelig endring av lineamentorientering etter bergartskompleksene. Øygarden gneiskompleks, Grunnfjellet, domineres av NNV til NNØ orienterte lineament, Lille Bergensbue domineres av mer Ø-V orienterte lineament, og Lindåsdekket har større variasjon i lineamentorientering fra NNV til NØ.

Vannstrømning i fast fjell avhenger av bruddaperturen. Det vil si at en liten endring i apertur kan gi stor endring i vannstrømning. Felldata er brukt til utregning av volumetrisk strømningsrate (Q) og hydraulisk konduktivitet (K). Bergegningene viser variasjoner i K fra $1,5 \times 10^{-6}$ m/s til $7,2 \times 10^{-4}$ m/s som kan sammenlignes med hydraulisk konduktivitet (permeabilitet) i fin til medium sand.

Det lokale spenningsfeltet i berget vil endres under tunneldriften og det kan føre til dannelse eller reaktivering av brudd i overflaten eller rundt tunnelene. Numerisk modellering basert på grenseelementmetoden er brukt for å fremstille spenningskonsentrasjoner rundt tunneler når modellene er påført horisontal kompresjon (som er den sannsynlige in situ spenningstilstanden på Vestlandet). Resultatene viser mulig spraking i tunneltaket (og delvis i vegger) og bevegelse i svake soner rundt tunnelen og ved overflaten. Store bruddsoner som krysser tunneltraséen Ringveg Vest vil trolig føre til betydelig vannlekkasje.

Bruddsoner og vanninnslag - verifisering av grunnvannsmodell i tunneler og borehull

A. Braathen¹⁾, H. Elvebakk¹⁾, B. Wissing¹⁾, J.S. Rønning¹⁾, G. Storrø¹⁾ & R.H. Gabrielsen²⁾

¹⁾Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

²⁾Universitetet i Bergen, Allégt. 41, 5007 Bergen

Norsk berggrunn er gjennomgått av sprekker/brudd. De varierer både i opptreden (bredde, lengde) og intensitet, noe som gjenspeiler den arealmessige fordeling av slike strukturer. Studeres Norge fra en satellitt, er det klart at landet er gjennomskåret av lineære soner i berggrunnen, som oftest vist som daler og forsenkninger. Disse topografiske trekkene er betinget av svak berggrunn som har vært lettere eroderbar enn omliggende bergarter. Gjennom feltstudier er det dokumentert at disse sonene i de langt fleste tilfellene består av sterkt oppsprukket fjell, også kalt *bruddsoner*.

Norsk berggrunn består hovedsakelig av metamorfe og magmatiske bergarter uten primær porøsitet. I disse bergartene vil all strømming av grunnvann foregå langs brudd. Fordelingen av brudd er derfor avgjørende for strømmingen av grunnvann, hvor strømming foregår langs foretrukne løp ut fra fordelingen av åpne brudd og opptreden av impermeable soner/lag og sprekkefyllinger (forkastningsbergarter, sekundære mineraliseringer).

Ut fra en enkel betraktning at det i områder med flere brudd er større potensial for grunnvannstrømming, kan en gjøre kvalitative vurderinger av grunnvannspotensialet. I en statistisk vurdering av bruddfordeling inn mot – og langs mer enn 100 bruddsoner i Norge, framkommer et generelt mønster (Braathen & Gabrielsen 1998; 2000): Sonene består av en *forkastningskjerner* i sentrum. Den er normalt mellom noen cm og 20 m bred, og inneholder gjerne tette, bløte forkastningsbergarter. Bruddtettheten varierer mellom 5 og 100 eller flere korte brudd per snittmeter. Utenfor kjernen finner en *distaldelen*, som er fra 5 til mer enn 50 meter bred. Bruddtettheten er vanligvis mellom 3 og 8 brudd per snittmeter. *Overgangs-sonen*, opptil 200 m bred, utgjør den ytterste delen av bruddsonen, hvor en påviselig høyere bruddfrekvens gradvis avtar ut mot områder med *bakgrunns-oppsprekning* med 1-2 brudd per snittmeter. Sistnevnte oppsprekningsmønster opptrer over store områder mellom bruddsoner.

Med basis i disse kvalitative studiene, er det foreslått en modell for grunnvannsstrømming i - og rundt bruddsoner. Modellen påpeker at *distaldelen* med relativt høy bruddfrekvens og mange lange brudd har høyest permeabilitet og derfor størst grunnvannspotensiale, mens *forkastningskjernen* og *overgangssonen* bidrar mest til porøsitet i berggrunnen. Modellen har vært forsøkt testet gjennom flere typer studier med forskjellig grad av oppløsning:

- (i) Analyser av avstand mellom fjellbrønner og bruddsoner, hvor NGUs Grunnvannsdatabase og Strukturdatabase har vært samkjørt.
- (ii) Logging av tunneler, hvor vanninnstrømning og injeksjon av sement har vært vurdert ut fra fordeling av bruddsoner i tunnelen.
- (iii) Avansert logging (televiwer, strømningsmåler mm) av brønner som gjennomborer bruddsoner.

Førstnevnte analyser har ikke gitt positive resultater, sannsynligvis fordi posisjonering av brønner og bruddsoner i databasene ikke har god nok oppløsning i forhold detaljgraden av grunnvannsmodellen. I mer detaljerte analyser (ii+iii) blir modellen verifisert.

Utviklinger i Brønndatabasen og GRANADA

Atle Dagestad & Jan Cramer

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

NGU er landets sentrale institusjon for forvaltning og formidling av kunnskap om landets geologi; berggrunn, mineralressurser, løsmasser og grunnvann. NGU er også myndighetenes faginstans i geofaglige spørsmål. Dette innebærer at NGUs data og informasjon om grunnvann skal være tilgjengelig for myndigheter, næringsliv og allmennhet. NGU har i sine strategiplaner for 2000-2004 definert utvikling av databaser innen ulike geofaglige disipliner som en av de viktigste oppgaver ([NGU@digital](#)). Hovedmotivasjonen for dette er å gjøre geologisk informasjon som NGU besitter lett tilgjengelig for brukere utenfor institusjonen. En forutsetning for etableringen og utviklingen av de ulike geofaglige databasene er at informasjon som ligger i disse blir gjort tilgjengelig over Internett kostnadsfritt for eksterne brukere. Brønndatabasen er en viktig del av dette arbeidet innen fagfeltet hydrogeologi samt arbeidet med å utvikle **Grunnvann – Nasjonal databasene (GRANADA)** og WEB-portalen Grunnvann-i-Norge. Under følger en kort beskrivelse av databasene og de seneste utviklinger i databasearbeidet.

Brønndatabasen:

Denne databasen ble utviklet for å systematisere og gjøre tilgjengelig informasjon om grunnvannsbrønner som ble innrapportert til NGU etter innføringen av Forskrift om oppgaveplikt ved brønnboring og grunnvannsundersøkelser i 1997. Det finnes per i dag geologiske og tekniske opplysninger fra ca. 19000 fjellbrønner og ca. 2000 løsmassebrønner/undersøkelsesbrønner i denne databasen. Det er også mulig å hente informasjon fra målestasjoner i LGN-nettet (Landsomfattende grunnvannsnett) og de 38 brønnboringsfirma som finnes i Norge. Antall grunnvannsbrønner i databasen er økende og i 2002 ble det lagt inn over 1100 nye brønner i databasen. Det har i det siste året også blitt arbeidet med å kople grunnvannsbrønner registrert i databasen med aktuelle hydrogeologiske rapporter og grunnvannskjemi der dette forligger. Til tross for brukervennlig tilrettelegging av informasjon i Brønndatabasen, og betydelig informasjonsarbeid overfor oppgavepliktige aktører i henhold til Forskriften, registrere NGU fortsatt en betydelig underrapportering av oppgavepliktige grunnvannsbrønner og grunnvannsundersøkelser. NGU vil intensivere arbeidet med å øke innrapporteringen i tiden som kommer og vil sette fokus på konsulentbransjen og brønnboreernes interesseorganisasjoner.

Granada:

Etablering av den nasjonale database for grunnvann startet ved NGU i mai 2002 og fremdriftsplanen tar sikte på å ferdigstille databasen ved utgangen av 2004. Hovedmålet er å lage en sentral database for all tilgjengelig informasjon om grunnvann i Norge for tilrettelegging for

karakterisering og overvåking av grunnvann i henhold til EUs Vanndirektiv (EU-WFD).

Følgende punkter beskriver den fremtidige utviklingen av GRANADA:

- Brukergrensesnittet vil være kartbasert; GIS database – Oracle pluss ArcSDE; ArcIMS Internett brukergrensesnitt; WMS linking via bredbånd til relevante databaser ved andre institusjoner.
- Tilrettelegging for karakteriseringsarbeidet (EU-WFD) – samling og tilgjengeliggjøring av landets eksisterende hydrogeologisk kunnskap og data om grunnvann; produkter (kart, rapporter mm.) til bruk i karakteriseringsarbeid frem til 2004; dataarkiv for karakteriseringsarbeid ut over 2004
- Linking til relevante databaser ved NGU og andre institusjoner – NGU (løsmasse-, berggrunns- og strukturgeologi, bakkegeofysikkdatabase), SFT (Forurenset grunn), NVE (LGN, hydrologisk informasjon), Nasjonalt folkehelseinstitutt (VREG), Jordforsk (Jovå), Statens kartverk (kommunale arealplaner) mm.
- VREG - kombinert med informasjon innhentet fra vannverkseier for de over 700 godkjenningsspliktige grunnvannsanlegg i Norge inkl. tidsserier for grunnvannskvalitet
- LGN - langtidsserier (25+ år) for fysikalske og –kjemiske parameter; datainnsamling og automatisering i iht EU-WFD.

Grunnvann-i-Norge Web-portal

Som en del av NGUs nasjonalt ansvar for formidling av geologisk informasjon arbeider NGU med utvikling av en Internett Web-portal for grunnvann, Grunnvann-i-Norge. Portalen blir et sentralt formidlingssted for informasjon relatert til grunnvann og gir adgang til relevante databaser og Internett-linker. Denne portalen forventes tilgjengelig før sommeren 2003.

PLAKAT- PRESENTASJONER

Strømningsmåling i borehull, - påvisning av vanninnslag

Harald Elvebakk & Jan S. Rønning

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

NGU påviser vanninnslag i borehull ved å måle vannstrømmen langsetter et borehull. Til dette brukes en strømningsmåler (sonde) fra Robertson Geologging Ltd. Metoden er utviklet av NGU innenfor prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", et bransjeprosjekt finansiert av Statens vegvesen, Jernbaneverket, Utbygningsetaten i Oslo, Forskningsrådet og 3 entreprenørfirma.

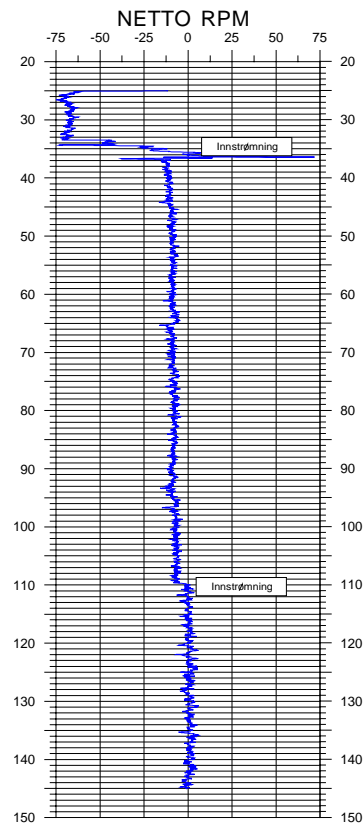
Strømningsmåleren består av en propell som roterer med en hastighet (rpm) som er proporsjonal med vannstrømmen. Sonden kan kalibreres slik at en kan kvantifisere strømmingen, noe som forutsetter at sonden står sentralt i hullet og at strømningsprofilen er kjent. Målingene kan utføres statisk ved at sonden står i bestemte posisjoner hvor vannstrømmen måles. Dynamiske målinger foretas ved at sonden senkes og heves i borehullet med forskjellig hastighet. Ved å bearbeide data etter gitte prosedyrer kan et kontinuerlig strømningsprofil nedover borehullet beregnes. På grunn av at propellen har en viss oppstartsfriksjon, gir dynamiske målinger det beste resultatet. Målingene forutsetter selvsagt en viss strømming noe som oppnås enten ved at brønnen er artesisk, eller ved at målingene kombineres med pumping av borehullet. Kombinasjonen av strømningsmåling og pumping kan foretas ved å flytte både pumpe og sonde med fast avstand nedover i borehullet eller ved at pumpen står fast og at strømningsmåleren flyttes. Av praktiske grunner må pumpen være øverst i hullet. Sammen med borehullslogging er strømningsmåling et viktig redskap for å kartlegge og kvantifisere vannførende soner i borehull.

I Grualia, Lunner kommune, ble det i forbindelse med driving av en vegtunnel gjort strømningsmåling i et 120 m langt borehull. Målingene ble utført statisk, med pumping 7100 l/time, på forskjellige dyp der optisk borehullslogging hadde indikert åpne sprekker. Endringer i målerens hastighet (rpm) indikerte vanninnstrømning fra flere av sprekkesonene. Nesten halvparten, 3400 l/time, av vannet som ble pumpet ut, kom fra sprekker mellom 40 og 50 m. 600 l/time kom fra sprekk ved 79 m, mens resten, 3000 l/time kom fra sprekker ved 100 og 110 m.

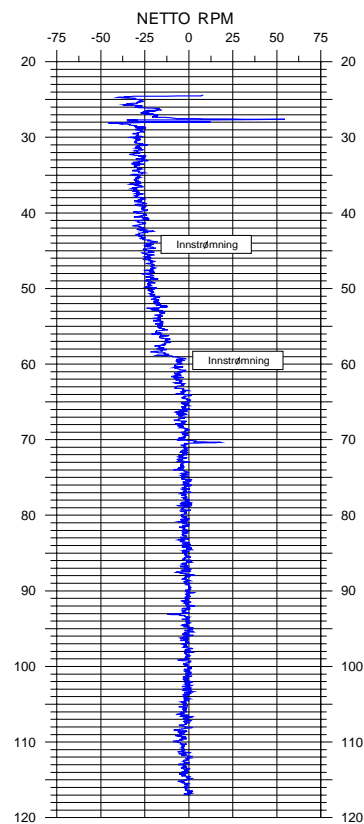
Ved EAB i Sandvika, Bærum kommune, er det gjort strømningsmåling i en energibrønn. Det er gjort både statisk og dynamiske målinger sammen med pumping, 5100 l/time. Målingene indikerte et kraftig vanninnslag ved ca 35 m dyp, 4500 l/time, og et mindre ved 110 m, 600 l/time. Statisk måling indikerte ikke vannstrømmen over 110 m da den trolig ikke var kraftig nok til å dra i gang propellen. På dynamisk måling ble innstrømmingen ved 110 m indikert tydelig.

Metoden er hittil benyttet i 10 brønner. Måleprosessen tar ca 1 time for en 100 m dyp brønn, og det har vist seg at en får mye informasjon om vanninnstrømning fra sprekker for en beskjeden innsats. Kombinert med optisk inspeksjon og andre geofysiske logger er metoden et slagkraftig verktøy i studiet av grunnvann på sprekker i fjell.

EAB, Sandvika
Strømningsmåling, Dynamisk



Skaugum
Strømningsmåling, Dynamisk



Dynamisk strømningsmåling fra EAB, Sandvika og Skaugum. Endringer i strømningsmålerens hastighet (rpm) indikerer vanninnstrømning i borehullet.

Landsomfattende grunnvannsnett 25 år – Quo vadis?

Bjørn Frengstad¹⁾, Lars A. Kirkhusmo²⁾ & Tor Simon Pedersen³⁾

¹⁾*Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim*

²⁾*Norges geologiske undersøkelse – Oslokontoret, Postboks 5348 Majorstua, 0304 Oslo*

³⁾*Norges vassdrags- og energidirektorat, Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo*

Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) drives som et samarbeid mellom Norges vassdrags- og energidirektorat og Norges geologiske undersøkelse. Nettet har vært i drift i 25 år og omfatter idag 43 aktive observasjonsområder over hele landet hvor grunnvannstanden overvåkes. Ved opprettelsen tok man over en del eksisterende målinger slik at noen av disse har måleserier på over femti år og er i så måte enestående i europeisk sammenheng. I tillegg måles grunnvannstemperaturen i 36 av områdene og vannkjemien prøvetas jevnlig i 17 av områdene. De siste årene er flere stasjoner blitt automatisert og et titalls stasjoner fjernoverfører vannstand- og temperaturdata daglig via mobiltelefon. Flere stasjoner vil bli fullautomatisert i de nærmeste årene.

De lange måleseriene har vist seg svært nyttige f.eks. ved dokumentasjon av naturlige grunnvannstandvariasjoner før utbygging av hovedflyplass på Gardermoen og for å fremskaffe en oversikt over grunnvannstemperaturene til vurdering av grunnvarmepotensialet. Endringer i vannkvalitet som følge av sur nedbør har også vært studert. I høst og vinter har dataene gitt grunnlag for å kunne advare eiere av gravde brønner i store deler av landet om at brønnene kan gå tomme i løpet av vinteren. Månedlige oversikter over grunnvannstanden ved de ulike stasjonene kan hentes ned fra nettet på <http://www.nve.no> (>**Vann**>Hydrologiske fagområder>Hydrologisk månedsoversikt).

EUs rammedirektiv for vann medfører krav om systematisk overvåkning og dokumentasjon av grunnvannsressursenes tilstand både med hensyn til mengde og kvalitet. Tilpasning i Norge til disse kravene vil bygge på eksisterende systemer, deriblant LGN og data fra grunnvannsverk. Planer for overvåking skal være utarbeidet i slutten av 2004 slik at implementering av overvåkingen kan starte i 2006. I løpet av 2003 vil vi derfor utvide LGN med automatisk logging av indikatorparametere på grunnvannskvaliteten ved fem utvalgte stasjoner for å teste ut systemer for logging, dataprosessering og rapportering. Parametrene som EU-direktivet krever overvåket er pH, ledningsevne, oksygen, nitrat og ammonium.

I forbindelse med 25-årsjubileet foreligger det nå et atlas med essensiell informasjon om stasjonene i landsomfattende grunnvannsnett samt artikler som beskriver eksempler på bruken av dataene. Dette kan lastes ned fra <http://www.lgn.nve.no/>

Sammenheng mellom forurenset grunn og inneklima i bygninger

Henning K. B. Jensen¹⁾ & Rolf Tore Ottesen²⁾

¹⁾*Norges geologiske undersøkelse, Tromsø-kontoret, Polarmiljøseneteret, 9296 Troms*

²⁾*Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim*

La oss tenke oss et tilfelle, hvor det oppdages at det er deponert noen hundre liter organisk løsningsmiddel, eksempelvis det kreftfremkallende tetrakloreten (C_2Cl_4), på en gammel fylling i et nå bebygde område. På den samme tidligere, men nå nedlagte og tildekte fylling ble det deponert våtorganisk avfall over en lengre periode. I dagens situasjon er området blitt omregulert, delvis bebygde med boliger og næringsbygg. En risikovurdering vil tilsi, at det kan være fare for transport av gasser og flyktige organiske forbindelser (VOC) fra grunnen inn i bygg. Hva bør da være fremgangsmåten for å vurdere helserisiko og eventuelle tiltak?

Både gasser fra organisk avfall og flyktige organiske forbindelser kan trenge inn i bygninger på tidligere fyllinger eller i nærheten av tidligere fyllinger. Det betyr en eksponering for mennesker via luftvei. Inntrengning av gasser og dampe i bygg vil bety høyere konsentrasjoner av helseskadelige stoffer, og dermed også økt helserisiko. For en del gasser og stoffers vedkommende kan eksponering føre til alvorlige lidelser som kreft.

NGU har satt i gang et studie av denne problemstilling, som ikke forekommer å være spesielt godt dekket i Norge. Det er i årenes løp deponert mange hundretusen tonn nedbrytbar organisk avfall i deponier og fyllinger. Organisk avfall vil under bakteriell nedbryting gi metan og andre gasser, som enten er eksplosjonsfarlige eller helseskadelige. Det er også deponert en del tusen tonn organiske løsningsmidler i årenes løp, og det vil avgi flyktige organiske forbindelser i dampfase. Flere av disse forbindelsene, spesielt klorerte organiske løsningsmidler, er kreftfremkallende. I tillegg er det ikke fullstendig kontroll med hvor og hvordan både organisk avfall og en del løsningsmidler er deponert. I dagens situasjon er det en tendens til å bygge både boliger og næringsbygg i områder som tidligere har vært brukt som fyllinger. Slik sett er det stor fare for eksponering for en rekke helsefarlige stoffer via luft, spesielt i bygg.

NGU har sett på publiserte undersøkelser i utlandet, og her er det en del erfaring med både gasser og flyktige organiske forbindelser. Det er i utlandet gjennomført konkrete undersøkelser av deponier hvor det er dokumentert forekomst av flyktige organiske forbindelser. NGU har også laget en liste for helsefarlige stoffer, som vil forekomme i dampfase.

Målet for NGU er å sette problematikken på den miljømessige dagsorden, og det vil komme forslag for hvordan det kan legges til rette for undersøkelser for gasser og flyktige forbindelser i eksisterende og tidligere deponier og fyllinger. Det vil også bli satt opp forslag etter amerikansk

modell for hvordan grunnundersøkelser, helsevurdering og kontakt med offentligheten innarbeides i konkrete prosjekter, slik at det brede publikums interesser blir ivaretatt på best mulig måte.

Luster kommune satser på grunnvarme. Eksempel på forundersøkelse ved Luster ungdomsskole

Torleif Lauritsen & Øystein Jæger

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

Plakaten presenterer metoder og resultater fra innledende undersøkelser i forbindelse med etablering av grunnvarmeanlegg ved Luster ungdomsskole.

Luster ungdomsskole ligger på elvedeltaet der Jostedøla munner ut i Gaupnefjorden. Mange tettsteder i Norge ligger på slike delta. Denne type avsetning kan gi gode muligheter for uttak av grunnvann til bruk i grunnvarmeanlegg.

Forundersøkelsen har omfattet georadarprofilering, sonderboringer, testpumpinger, uttak av vann- og masseprøver og analyser av disse.

Undersøkelsen viser at massene består av sand og grus med god vanngjennomgang til minst 30 meters dyp. Temperaturen i grunnvannet er stabilt 7°C fra 15 meters dyp (høsten 2002). Analysene viser at vannet har god kvalitet bortsett fra høyt innhold av jern.

Forundersøkelsen har gitt grunnlag for å anbefale plassering og dimensjonering av fullskala brønn for langtids prøvepumping. En slik prøvepumping er nødvendig for å fastslå brønnens kapasitet og grunnvannets temperatur og kvalitet over tid. Resultatene fra prøvepumpingen vil gi grunnlag for endelig utforming av grunnvarmeanlegget ved skolen.

Grunnvarmepotensialet i Asker og Bærum

Randi K. Ramstad, Kirsti Midttømme, Torbjørn Sørdal, Harald Elvebakk, Arne Solli & Janusz Koziel

Norges geologiske undersøkelse, 7491 Trondheim

Prosjektet "Kartlegging av grunnvarmepotensialet i Asker og Bærum" er en videreføring av pilotstudiet "Energikartlegging Bekkestua", og en forstudie til en nasjonal grunnvarmeportal på internett. Hovedmålet med prosjektet er å utarbeide et brukervennlig energipotensialkart for grunnvarme i de to kommunene. Kartet er basert på en samtolkning av eksisterende og nye resultater fra omfattende undersøkelser av berggrunnen. Undersøkelsene omfatter: (1) Måling av varmeledningsevne på bergartsprøver fra 44 forskjellige lokaliteter, (2) overflatemålinger av naturlig radioaktivitet, (3) geofysisk logging (optisk TV, vanntemperatur, vannets elektriske ledningsevne og gammastråling) i 10 borehull, deriblant to borehull á 500 meters dyp, og (4) termisk responstest som måler den totale varmeeffekten fra borehull. De viktigste resultatene fra prosjektet vil bli presentert.

Berggrunnens varmeledningsevne varierer fra 2,1 til 3,7 W/m,K, og de forskjellige bergartene kan grovt generaliseres slik:

- Lav varmeledningsevne: Rombeporfyr,
- middels varmeledningsevne: Kambrosilurbergarter og Drammensgranitt,
- høy varmeledningsevne: Ringerikssandstein.

En sammenligning av temperaturprofilene for de to 500-meters borehullene ved Arnestad (Asker) og Gullhaug (Bærum) viser at betydelige temperaturvariasjoner forekommer til tross for at borehullene er lokalisert innen et forholdsvis lite geografisk område. Ved 500-meters dyp er temperaturen 5°C høyere ved Arnestad enn Gullhaug. Spalting av radioaktiv energi, som følge av at den dypere delen av borehullet ved Arnestad består av radioaktiv alunskifer, antas å være årsak til den høye temperaturen.

Drammensgranitten inneholder også et høyt innhold av radioaktive elementer, og overflatemålinger av naturlig radioaktivitet bekrefter et forhøyet strålingsnivå. På bakgrunn av dette forventes det relativt høye temperaturgradienter i de sørvestlige deler av Asker kommune.

Termisk respons test måler borehullets totale effektbidrag, det vil si effektbidraget fra henholdsvis bergartens varmeledningsevne og grunnvannsstrømning i området. Resultater fra utførte målinger viser at grunnvannsstrømning gir en betydelig økning i effektuttaket fra enkelte borehull.

Bruddsystemer, aktive forkastninger og grunnvannspotensial på Bømlo, Vestlandet

Belinda Larsen¹⁾ & Agust Gudmundsson²⁾

¹⁾Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen, Allégaten 41, 5007 Bergen

²⁾Geoscience Centre, Universitetet i Göttingen, Tyskland

Feltstudier på Bømlo i Sunnhordland viser tre fremtredende bruddretninger: N-S, NØ-SV og NV-SØ. Bruddfrekvensen øker vanligvis inn mot lineamenter, men det er også observert forkastninger hvor bruddfrekvensen ikke øker inn mot forkastningskjernen. I disse tilfellene er bruddfrekvensen generelt lav. Resultater fra feltstudiene er brukt til å lage numeriske modeller av spenningskonsentrasjon i og rundt forkastninger. Spenningskonsentrasjon er en viktig faktor for å opprettholde permeabiliteten i forkastninger i postseismiske perioder. Forkastningsgeometrien er delt inn i soner med ulike Youngs modulus, basert på bergartstyper og deres bruddfrekvenser målt i felt. Modellene er anvendt i et kompressivt regime der den påtrykte kompressive spenningen på 10 MPa og 20 MPa samsvarer med dagens spenningsfelt på Vestlandet. Numeriske modeller av en NØ-strykende forkastning viser at spenningskonsentrasjonen er størst i overgangen mellom vertsberget og den ytterste knusningssonen. Det kan være en forklaring på hvorfor knusningssonen har en tendens til å bli tykkere over tid. Modellene viser at når Youngs modulus i kjernen avtar, øker spenningskonsentrasjonen i den innerste knusningssonen. Økning i spenningskonsentrasjonen skjer også hvis den påtrykte kompressive spenningen økes. Brudd som står vinkelrett på forkastningskjernen vil fortsette å vokse inn i vertsberget som følge av spenningskonsentrasjoner i bruddtuppene. Bruddene som står vinkelrett på forkastningskjernen vil også åpnes, fordi bruddene er parallelle med den påtrykte spenningen. Det kan være med på å øke permeabiliteten i knusningssonen, vinkelrett på forkastningskjernen. Permeabiliteten kan også øke i forkastningens strøketning som følge av spenningskonsentrasjoner rundt forkastnings-parallelle brudd. Spenningskonsentrasjonen er størst rundt bruddene som er parallelle med forkastningen, og det kan være en forklaring på hvorfor det som oftest opptrer flere brudd som er parallelle med, enn brudd som er orientert vinkelrett på forkastninger. Den økte permeabiliteten i knusningssonene kan føre til at vann transporteres inn til forkastningskjernen. Følgene av det kan være nedsatt friksjon på forkastningsplanet, og dermed økt sjanse for jordskjelv. Analytiske modeller er brukt for å regne ut konduktivitet og vannstrøm i knusningssonen til forkastninger og lineamenter. Resultatene viser at konduktiviteten øker inn mot lineamentet som følge av økt bruddfrekvens, en økning fra $\sim 10^{-3}$ til 10^{-2} m/s, dersom alle bruddene har åpning på 1 mm. Denne konduktiviteten tilsvarer konduktiviteten i for eksempel grus. På en lokalitet er det ikke en økning i bruddfrekvensen inn mot forkastningskjernen, og her er konduktiviteten i gjennomsnitt $2,6 \cdot 10^{-3}$ m/s. Resultatene viser at konduktiviteten er generelt høy i de oppsprukne bergartene på Bømlo,

og dersom perkulasjonsterskelen er oppnådd, vil vann bli transportert inn mot forkastningskjerner og lineamenter.

Oil field water injection – A large scale water-rock experiment: Results and applications

H. Johansen¹⁾, B.V. Nystrand²⁾, H. Stray¹⁾, I. Johansen¹⁾ & Ø. Dugstad

¹⁾*Institute for Energy Technology, P.O.Box 40, N-2027 Kjeller*

²⁾*A/S Norske Shell, Risavika Havnering 300, P.O.Box 40, N-4098 Tananger*

While injected water is flowing towards producing oil field wells, the chemical and isotopic composition will change due to mixing with formation water and reactions with the reservoir rock. The reservoir is thus a large scale experimental reactor, where water-rock interaction in oil rich fluids can be studied. If the chemical and isotopic composition of injection water is significantly different from the formation water, both reactive changes and changes due to mixing can be identified. Sea water is commonly used as injection water, and this water has several useful chemical and isotopic characteristics.

63 produced water samples from the Norne Field in the Norwegian Sea have been analyzed for 12 chemical elements and O,H,C and Sr isotopes. Also injected tracers HTO, ³⁶Cl and various fluorinated benzoic acids (FBA) have been measured. The systematics of mixing and reaction has been investigated by combined mass balance and diagenetic modelling. Formation waters in Norne are fairly homogeneous with respect to O and H isotopes, but heterogeneous for most other chemical and isotopic components. H isotopes is the best element to quantify sea water breakthrough, and $\delta^{18}\text{O}$ and SO_4 is also very nearly conservative. Sr and Br/Cl ratios are semi-conservative. Na, TDS (total dissolved solids), Br and Cl are reflecting reservoir heterogeneities, while SiO_2 and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ are controlled by alkali feldspar dissolution. Other ions (K, Ca, Mg, Ba, Fe) are partly controlled by mineral reactions, but also by an original heterogeneous distribution. Diagenetic modelling suggest that total inorganic C (TIC) and $\delta^{13}\text{C}$ are less influenced by carbonate diagenesis than by organic reactions. Statistical correlations, mass balance, thermodynamic and kinetic calculations has been used to determine the behaviour of all the natural tracer elements investigated. H isotopes, O isotopes, SO_4 , Sr and Br/Cl have all been found useful as indicators for the breakthrough of injection water in the Norne Field.

H isotopes is the most robust indicator, and the percentage of sea water can be fairly accurately determined from this natural tracer. Waters with very low SO_4 contain high and variable Ba contents. Samples with higher SO_4 show linear correlation with H isotopes. The Ba and SO_4 data clearly show that injected SO_4 is sufficient to precipitate most Ba in the reservoir, presenting a negligible barite scale potential. Thermodynamic calculations show that calcite scaling is more likely.

The Norne water samples were collected in time intervals when the breakthrough of various artificial tracers was expected (HTO, ^{36}Cl , FBA). This has permitted a direct comparison between the use of natural and artificial tracers in detecting injection water breakthrough. The ingress of sea water is detectable from natural tracers long before the increase in water cut.

Artificial tracers can only be injected as a time-limited pulse, while the natural tracers are available at all times. The information from the two tracer systems is thus different and complementary. The most hard fact from artificial tracers is that they can prove communication between distinct wells, and allow accurate calculations of travel time for the tracer pulse. The disadvantage is that they are not able to monitor the complete water injection history. Natural tracers are, on the other hand less specific with respect to paths and travel time, but more useful for early warnings, mass of water breakthrough, and for the identification of mode of water flow (piston flow, slug flow, fingering, thief zones). Natural water chemistry is also valuable for the prediction of other production problems (scale, formation damage, pollution, reserve updating), especially when used on the basis of data and models that identify the interactions between water and reservoir rocks and fluids.

One Norne well showed a very distinct and massive sea water breakthrough. Most of the other producers in the field show a much lower sea water component associated with increased water cuts. This indicates that injection water is pushing the formation water without strong mixing. This may suggest that the sea water injection to a large extent is acting as a larger scale piston, pushing reservoir fluids towards the producers.

Clear evidence has been found for K-feldspar dissolution on a production time scale. Produced waters are generally strongly superaturated with respect to quartz, even when the sea water content is as high as 90%. Diagenetic modelling suggests that K-feldspar dissolution is typical for CO_2 rich waters in intimate contact with oils. When CO_2 is buffered by the rock (no oil), K-feldspar will be close to equilibrium. Reservoir quality prediction must therefore use a distinct model for a reservoir that trap oil early, before subsequent deep burial. Such reservoirs are likely to preserve a better reservoir quality at great depths. A systematic concept has been developed to evaluate the behaviour of potential natural tracers during water injection. H isotopes have been shown to be a very faithful recorder of sea water mixing during injection in the Norne Field. Hydrocarbon filled reservoirs appear to represent a very distinct diagenetic environment, where K-feldspar dissolution and minor quartz cementation is very favorable for poroperm evolution and quartz framework stabilization.

Numerical Modelling of Groundwater Flow in Fractured Rock - an example from Lunner tunnel

Elin Skurtveit, Fabrice Cuisiat & Åse Høisæter

Norwegian Geotechnical Institute, Box 3930 Ullevål, 0806 Oslo

A numerical model has been used to predict leakage rate and pore pressure reduction in fractured rock due to the excavation of the Lunner tunnel. The work was performed as part of the Miljø og Samfunnstjenelige Tunneler project managed by the Norwegian Road Authority (vegvesen).

In solid rock, where the rock matrix is almost impermeable flow occurs mainly in the connected network of fractures. If not controlled, large tunnel leakage can have dramatic consequences for the water table and the environment. The fractured rock mass has been modelled with a discrete fracture network approach where the fractures are described individually, but generated stochastically. With this approach, the very heterogeneous nature of the fractured system can be properly taken into account. The tool used for the study, NAPSAC, has been developed throughout the past 15 years by Serco Assurance. It provides a very efficient numerical solution of the flow and transport equation based on the finite element which allows the generation of very large fracture networks.

The main data required for setting up the numerical model consist of the geometrical and hydraulic characteristics of the fractures and fracture network. Input parameters such as number of fracture sets, fracture orientation, fracture density and fracture transmissivity were estimated from available field and borehole data and Lugeon tests. The effects of other critical parameters which could not be assessed from available field data, such as fracture length, transmissivity of deterministic faults, were assessed through parametric studies. The effect of initial hydrological conditions and the choice of boundary conditions were also investigated. An analysis of the lugeon tests with a local discrete fracture network model was performed in an attempt to calibrate the hydraulic transmissivities of the stochastic fracture network to the observations.

The results show the determinant effect of the main deterministic faults on the hydraulic regime around the tunnel, as well as the interaction between main faults and the stochastic fracture system. It emphasises the difference with a continuum model and the importance of discrete fracture flow modelling for such applications.