DOKUMENT

19 1998

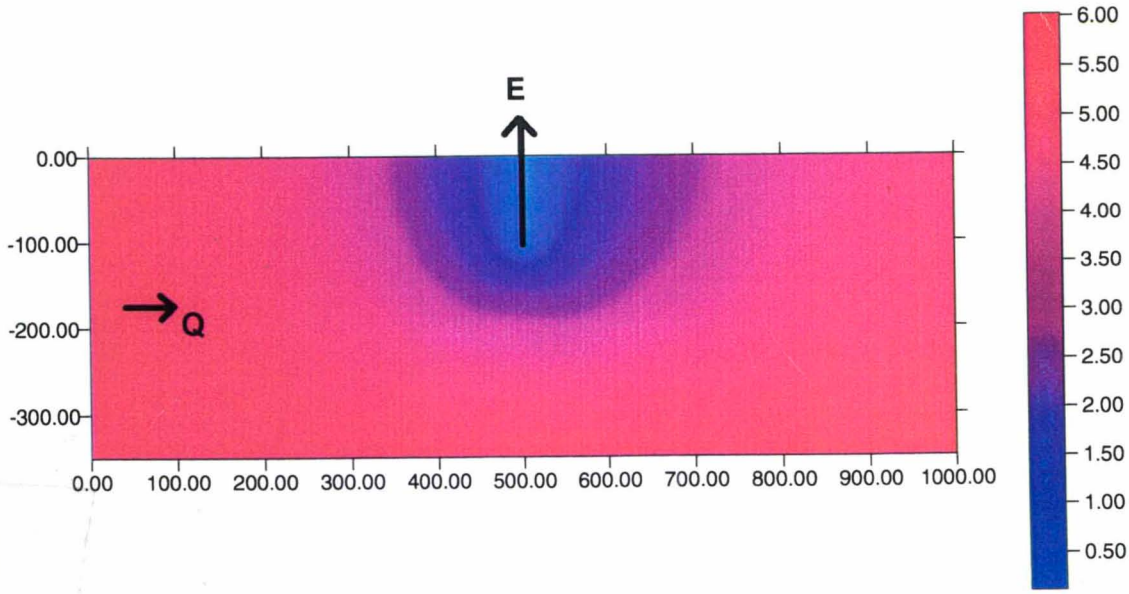
Norges vassdrags- og energidirektorat

NVE

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
BIBLIOTEK

Thorgeir Holm

Evaluering av energibidraget fra grunnvannsstrømning



Tittel: **Evaluering av energibidraget fra grunnvannsstrømning**	**DOKUMENT nr. 19**
Saksbehandler: Thorgeir Holm (HV)	Dato: 16. desember 1998 Dokumentet er åpent
Oppdragsgiver: NGU	Opplag: 30

Sammendrag

2D-simulering av vann- og energitransport ga indikasjoner på energibidraget fra grunnvannsstrømning, sett opp mot varmeledningsevne, temperatur og sprekkesoner i fjell. En ikke ubetydelig ekstragevinst vart påvist for større strømningshastigheter, med en heldig gevinstøkning for lågere varmeledningsevne. Begrensningen for dette simuleringsforsøket viser seg i forhold til sprekkesonene, men et godt resultat i parametersammenlikninga gir et brukelig grunnlag for å kunne ta fatt på en eventuell nærmere undersøkelse i så måte.

Emneord:
Energitransport i fjell, grunnvanns-simulering, varmepumper.

Ansvarlig underskrift:

Lars-Evan Pettersson

Lars Evan Pettersson
fung. seksjonssjef

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
BIBLIOTEK

Forord

Grunne energibrønner har stort potensiale som energikilde for oppvarming av eneboliger og offentlige bygninger. Avgjørende for utnyttelsen av dette potensialet vil være etableringskostnader og ytevne for anleggene. Ved Hydrologisk avdeling har vi lang erfaring med bruk av modellverktøy i ulik sammenheng, også innen geohydrologi. Det er derfor naturlig at vi innlemmer energitransport i denne modelleringsvirksomheten. Denne simuleringen er gjort med idealiserte forhold som utgangspunkt, men beskriver de avgjørende faktorer for et optimalt energiuttak.

Rapporten kommer som et resultat av et samarbeide mellom Norges geologiske undersøkelse og NVE.

Oslo, 16. desember 1998

Tor Simon Pedersen

prosjektleder

Innhold

Sammendrag 2

Forord 3

Evaluering av energibidraget fra grunnvannsstrømning 5

1. Bakgrunn 5

2. Modellen 5

2.1 Energiuttak 6

2.2 Parametre 7

3. Resultater 8

4. Konklusjon 9

5. Referanse 10

Figurer

Rutenett over områdemodellen 6

Områdemodellen med grensevilkår 7

Essensielle resultat for effektuttak 8

Effektuttak plotta mot head-gradient 9

Evaluering av energi-bidraget fra grunnvanns-strømning

Indikasjoner på effekten av varmetransport ved grunnvanns-strømning sett opp mot varmeledningsevne, sprekkesoner og grunnvannstemperatur, ved hjelp av en enkel to-dimensjonal modell.

1. Bakgrunn

Prosjektet Energibrønner i Fjell, som er et samarbeidsprosjekt mellom NVE og NGU, har som formål å kartlegge potensialet for energiuttak ved grunnvarme. Uttaket vil skje gjennom varmepumper installert i tilknytning til grunnvanns-brønner i fjell. Kartlegginga er ment å gi en bedre bakgrunn for å kunne estimere dimensjoneringa av varmepumpeanlegg, for slik å øke kostnads-effektiviteten.

Potensialet for energiuttak er avhengig hovedsakelig av tre faktorer: varmeledningsevnen i berggrunnen, grunnvannstemperaturen og grunnvanns-strømningen. Dette dokumentet vil ta for seg effekten av grunnvanns-strømningen, sett i høve til de andre faktorene. Bare den relative effekten vil bli vurdert, dvs ingen konkrete verdier for energiuttaket.

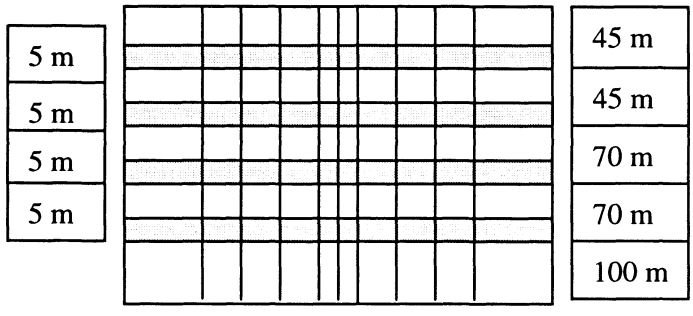
2. Modellen

Den numeriske koden SUTRA [1] vart brukt for å simulere ymse situasjoner med hensyn til strømning, ledningsevne og temperatur. SUTRA-modellen kombinerer endelig-element- og endelig-differanse-metodene, og simulerer

transport av både vann og energi (evt. forurensninger). Energibalansen omfatter varmeledning i både vann og matriks, og varmetransport gjennom vannstrømning. I tillegg kommer blandingseffekten, som numerisk blir implementert sammen med varmeledningen. Simuleringa skjer over en områdemodell definert gjennom et rutenett av noder og elementer.

Områdemodellen er et 350 m djupt snitt ned i grunnen, som strekker seg 1 km horisontalt, dvs ei 1000x350 m flate sett fra sida. Første varianten er homogen, med lik hydraulisk ledningsevne (10^{-7} m/s) og porøsitet (0,2%) over det hele, mens andre varianten har fått innført fire 5 m mektige horisontale sprekkesoner, slik at det blir to sett med ledningsevne og porøsitet: $1{,}7 \cdot 10^{-6}$ m/s og 2,5%, og 10^{-9} m/s og 0,06%, for henholdsvis sprekkesonene og det omkringliggende materialet. Det vekta gjennomsnittet tilsvarer verdiene for det homogene tilfellet.

RUTENETTET:



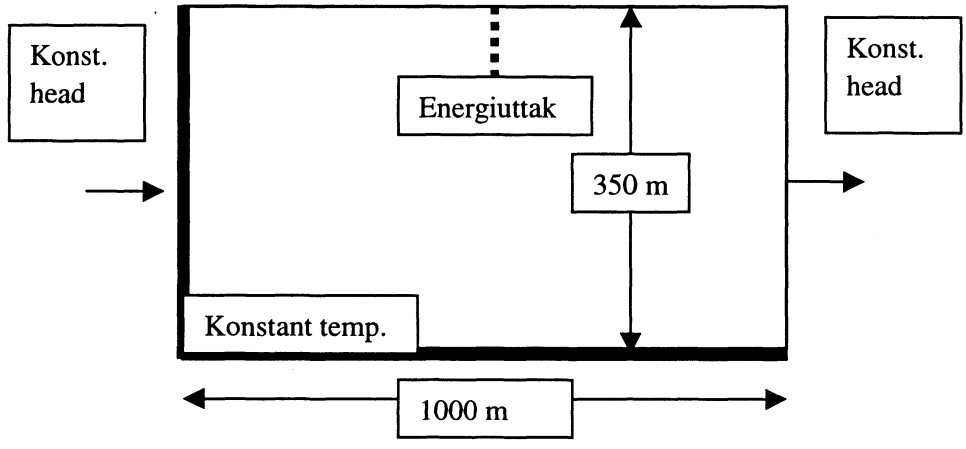
2.1. Energiuttak

Energiuttaket skjer ved å fjerne energi fra fem punkter i 0 til 100 meters djup, tilpassa slik at temperaturen i de aktuelle punktene blir så nær 0°C som mulig. Det er størrelsen på dette energiuttaket som simulerer energipotensialet for en varmepumpebrønn. Verdt å merke seg er at siden dette er en 2D-modell, vil

ikke de absolutte tala være sammenlignbare med reelle verdier; det er de relative effektene ved endring av visse parametre det er aktuelt å vurdere her.

For å simulere tilførsel av energi fra omkringliggende områder og fra sol-oppvarming, blir botnen og den sida av modellområdet det strømmer vann *inn* fra, gitt grensevilkår med konstant temperatur. Dette blir ikke helt identisk med mulighetene for energitilførsel i et 3D-tilfelle, så en kan ikke rekne med at proporsjonene i energiuttaka blir helt som i virkeligheten, men sannsynligvis ikke langt unna. Iallfall må det innbyrdes størrelsesforholdet bli det samme, og dét er hva vi er ute etter.

OMRÅDEMODELLEN:



2.2. Parametre

Det er bidraget fra grunnvannsstrømningen som står i fokus, men dette må ses på bakgrunn av sprekkesoner, varmeledningsevne og temperatur. Parametre utprøvd i modellen er:

- fall i hydraulisk *head*; 0%, 1% og 10% (og 3%, 6% og 15% for ett tilfelle). Sammen med
- homogen modell mot sprekkesonemodell – simuleres størrelse og heterogenitet i strømningsfeltet (spesifikt avløp **q** er som kjent lik $-K \cdot \nabla h$).
- varmeledningsevne for matriks; 2, 3,5 og 5 W/Km
- temperatur (sams for vann og matriks); 6 og 6,5°C. Dette er temperaturen ved grensevilkåra, og i innstrømmende vann.

3. Resultater

De viktigste resultatene kan settes opp slik:

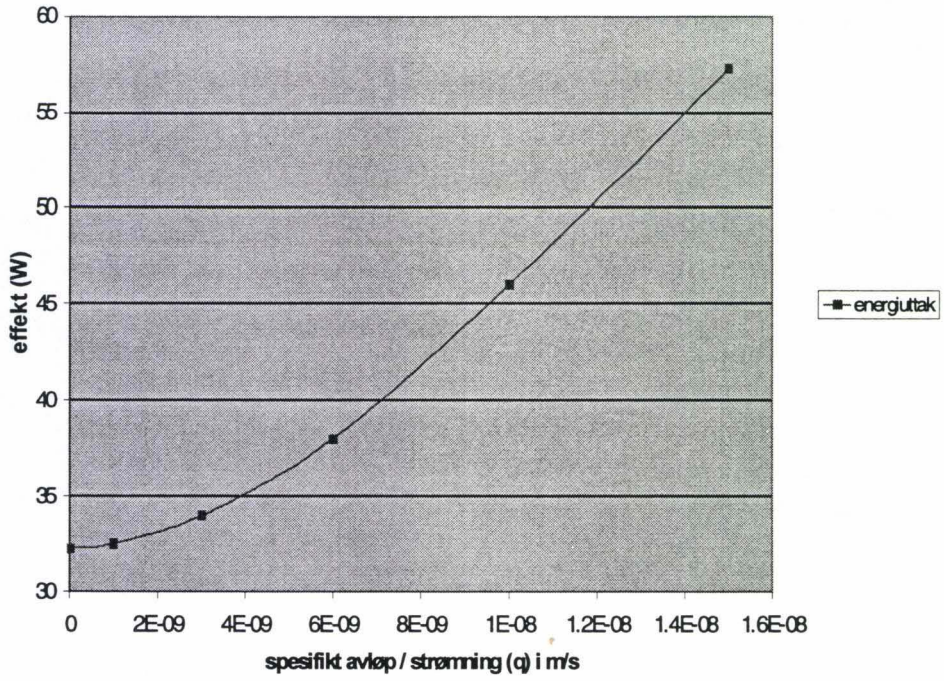
Effekt-uttak		Strømningsforhold		
		0% head-gradient	10% head-gradient	sprekker, 10% head-gradient
Var-me-led-nings-evne (λ)	2,0	18½ W	36¼ W	43¾ W
	3,5	32¼ W	46 W	52¼ W
	5,0	46 W	57 W	62¼ W

(Signifikante resultater fra simulering med 6°C; verdiene er for hele uttaksområdet i 2D-snittet, og følgelig ikke direkte sammenlignbare med 3D uttaksverdier)

Strømning tilsvarende en head-gradient på 1% ga knapt noen synlig skilnad fra 0%. Ved 10% gradient var utslaget derimot til dels stort, økende både absolutt og særlig relativt med synkende varmeledningsevne. Med sprekkesoner vart utslaga større, følgende det samme mønstret i høve til ledningsevnen.

Uten strømning var tilhøvet mellom varmeledningsevne og energiuttak lineært. Det samme gjaldt for temperatur og energiuttak, men da òg *med* strømning.

Ei nærmere undersøking av økningen i uttak med gradienten (strømninga) for ett tilfelle, med varmeledningsevne 3,5 W/Km, ga dette bildet:



4. Konklusjon

Hva gjelder bidraget fra grunnvannsstrømning til det potensielle energiuttaket i varmepumpebrønner, kan således tre indikasjoner formuleres:

- Ved større strømningshastigheter (antyda til størrelsesorden 10^{-8} m/s spesifikt avløp) er det betydelige mengder ekstra energi å hente.
- Den ekstra energigevinsten er størst i matriks med låg varmeledningsevne.
- Sprekkesoner kan øke gevinsten ved grunnvannsstrømning noe.

Den to-dimensjonale modellen kan som før nevnt ikke simulere den absolutte størrelsen på energiuttaka. Derimot gir den brukelig grunnlag for å si noe om forholdet mellom effekten av ulike parametre. Mindre liketil blir det å knytte dette opp til virkelige strømningsforhold, ettersom fullgode parametre ikke

alltid er mulig å oppnå. Best ser en dette ved sprekkesonene; den aktuelle 2D-modellen her modellerte disse på en veldig strømlinjeforma måte, og kan ikke generaliseres til å gjelde for alle sprekkesoner som sådan. Innflytelsen fra sprekkesonene må derfor undersøkes over et videre spektrum av sprekke-arkitektur for å kunne si mer nøyaktig hva de ulike strukturene medfører for energitransporten.

Vel vitende om begrensningen som ligger i den modell-angrepsmåten som vart gjort her, har dette vært for en forpostfektning å rekne, i høve til spørsmålet om virkningen av grunnvannsstrømning på energipotensialet til varmepumpe-brønner. Slik sett er den ovenstående konklusjonen oppløftende, idet den oppfyller kravet til en god forpostfektning: å vite hvor kreftene skal settes inn.

5. Referanse:

[1] C. I. Voss: A finite-element simulation model for saturated-unsaturated, fluid-density-dependent groundwater flow with energy transport or chemically-reactive single-species solute transport. USGS, National Center, Reston, Virginia, 1984.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)
Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

I 1998 ER FØLGENDE DOKUMENT UTGITT:

Nr 1 Kristin Kolseth: Avkastning på kapitalen i sentral-, regional- og distribusjonsnettet (7 s.)

Nr 2 Eli Sæterdal: Punktbaserte marginale tap (29 s.)

Nr 3 Inger Sætrang(red): Oversikt over vedtak i tvistesaker. *Andre* halvår i 1997 (10 s.)

Nr 4 Ingebrigt Bævre: Vurdering av flom og isforhold i Surna (112.C) ved Bolme (13 s.)

Nr 5 Hallgeir Elvehøy: Samanlikning av massebalanse på Hardangerjøkulen og Folgefonna (26 s.)

Nr 6 Lars-Evan Pettersson: Flomforhold rundt Heddalsvatn (016.Z) (16 s.)

Nr 7 Inger Sætrang(red): Oversikt over vedtak i tvistesaker. *Første* halvår i 1998 (10 s.)

Nr 8 Beate Sæther: Strømningsanalyse og vurdering av sikringstiltak ved RiT-brua, Nidelva (123.A11) (10 s.)

Nr 9 Tharan Fergus: Alternativ erosjonssikring - metoder og litteratur (16 s.)

Nr 10 Ikke åpen

Nr 11 Nils-Otto Kitterød, Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Elin Langsholt og Panagiotis Dimakis: Vanntransport i oppsprukket fjell - Numeriske simuleringer av vannlekkasjer i Romeriksporten (42 s.)

Nr 12 Eirik Traae:Vassdragstekniske vurderinger av "Tiltaksplan Måna - Øvre Rjukan"(9 s.)

Nr 13 Knut Matre og Kristin Kolseth, Markedsrapport - marginer i kraftmarkedet 1997/husholdnings-markedet 1998 (25 s.)

Nr 14 Astrid Myrvang, Kristin Kolseth og Knut Matre: Oppsummering av høringsuttalelser med NVEs kommentarer, oktober 1998, Retningslinjer for måling og avregning av kraft-omsetning og fakturering av nettjenester (35 s.)

Nr 15 Jim Bogen, Truls Erik Bønsnes og Hans Christian Olsen: Transport av finpartikulært materiale til Holandsfjorden og Nordfjorden (29 s.)

Nr 16 Sylvia Smith-Meyer: Sedimentkilder i et brefritt høyfjellsvassdrag, Foksa. Registreringene er synlig-gjort ved bruk av GIS (40 s.)

Nr 17 Ketil Grasto, Knut Ekerhovd og Christina Sepúlveda: Kompensasjon for ikke levert energi. - Oppsummering av høringsuttalelser med NVEs kommentarer (21 s.)

Nr 18 Toril Almenningen, Helena Nynäs og Tine S. Jorde: Sluttrapport «Nettverksprosjektet» - plan for_ «Prosjekt Museumsordning» (53 s.)

Nr 19 Thorgeir Holm: Evaluering av energibidraget fra grunnvannsstrømning (10 s.)

Norges vassdrags- og energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

NORGES VASSDRAG
OG ENERGIVERK
eks. 1
00531235