

Kalking av surt vann

6/89

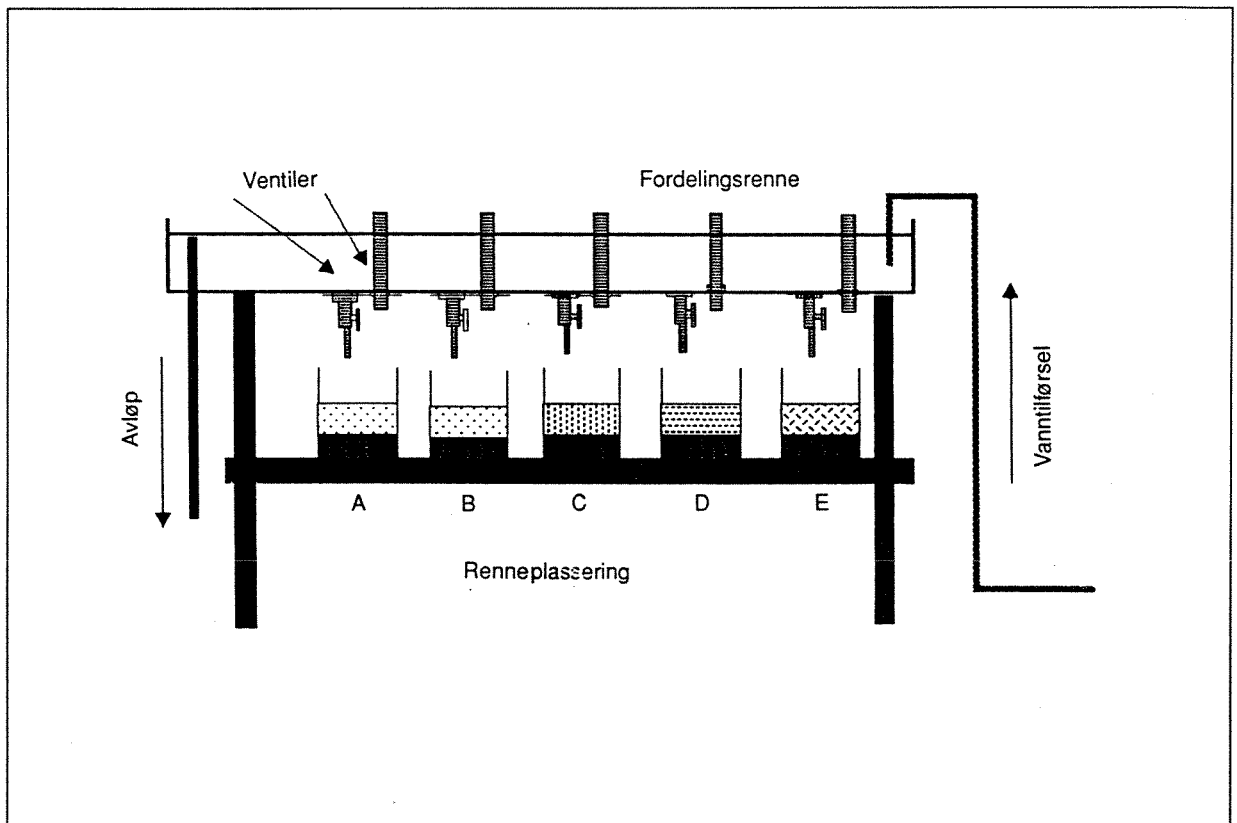
Oppdragsgiver

Direktoratet for naturforvaltning
NIVA

Deltakende institusjon

NIVA

Systematisk utprøving av grove kalktyper i renneforsøk



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

| | | | |
|--|--|--|--|
| Hovedkontor Postboks 33, Blindern 0313 Oslo 3 Telefon (02) 23 52 80 Telefax (02) 39 41 29 | Sørlandsavdelingen Grooseveien 36 4890 Grimstad Telefon (041) 43 033 Telefax (041) 42 709 | Østlandsavdelingen Rute 866 2312 Ottestad Telefon (065) 76 752 | Vestlandsavdelingen Breiviken 5 5035 Bergen - Sandviken Telefon (05) 95 17 00 Telefax (05) 25 78 90 |
|--|--|--|--|

| |
|------------------------------------|
| Prosjektnr.: O-88135 E-88411 |
| Undernummer: |
| Løpenummer: 2246 |
| Begrenset distribusjon: |

| | |
|--|---------------------------------------|
| Rapportens tittel: Systematisk utprøving av grove kalktyper i renneforsøk. | Dato: Juni 1989 |
| Forfatter (e): Frode Kroglund Atle Hindar | Prosjektnummer: O-88135 E-88411 |
| | Faggruppe: Sur nedbør |
| | Geografisk område: Aust-Agder |
| | Antall sider (inkl. bilag): 24 |

| | |
|---|----------------------------------|
| Oppdragsgiver: Direktoratet for naturforvaltning NIVA | Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.): |
|---|----------------------------------|

| |
|---|
| Ekstrakt: De avsyrende egenskaper til skjellsand, korallgrus, krittgrus og dolomitt er undersøkt i et renneforsøk. Det var kontinuerlig vanngjennomstrømming i rennene, og avsyringsegenskapene ble fulgt både ved "lav" vannføring og "flom". Skjellsand og korallgrus hadde de beste oppløsningsegenskapene. Utfelling av et jern-aluminium-humus kompleks på kalkoverflaten, turbulens og partikkelstørrelse virket inn på effektiviteten til de ulike avsyringmidlene. |
|---|

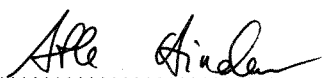
4 emneord, norske:

1. Kalking
2. Kalktyper
3. Bekk
4. Renneforsøk

4 emneord, engelske:

1. Liming
2. Lime products
3. Brook
4. Experimental channels

Prosjektleder:



Atle Hindar

For administrasjonen:



Tor Bokn

ISBN - 82-577-1541-7

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
SØRLANDSAVDELINGEN
GRIMSTAD

O-88135 GROVKALK
E-88411 KALKING

SYSTEMATISK UTPRØVING AV GROVE KALKTYPER I RENNEFORSØK

Grimstad, juni 1989

Saksbehandler: Atle Hindar
Medarbeidere: Frode Kroglund
Rolf Høgberget

FORORD

Norsk institutt for vannforskning gjennomførte i 1987 et forprosjekt med bruk av krittgrus til kalking av mindre bekker på oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning. I brev av 15.07.88 fikk NIVA i oppdrag av DN å følge opp forprosjektet.

Målet med prosjektet har vært å sammenlikne oppløsning av forskjellige grove kalktyper når disse legges direkte ut i rennende vann.

For å gjennomføre prosjektet ble det montert fem renner på Hardeberg ved Grimstad. Vi vil takke Per Yngvar Hardeberg for tillatelse til å bruke hans grunn og for den velvilje han har vist.

De kjemiske analysene er utført av ATIK-vannlaboratorium i Grimstad.

Grimstad, juni 1989

Atle Hindar

| INNHOLDSFORTEGNELSE | SIDE |
|---------------------------------|------|
| 1. SAMMENDRAG | 4 |
| 2. INNLEDNING | 5 |
| 3. MATERIALE OG METODER | 6 |
| 3.1. Oppstilling av renner | 6 |
| 3.2. Substratet i rennene | 6 |
| 3.3. Beskrivelse av kalktypene | 7 |
| 3.4. Hydrologi | 8 |
| 3.5. Kjemiske analyser | 9 |
| 3.6. Beregning av oppløselighet | 9 |
| 4. RESULTATER | 12 |
| 4.1. Pilotforsøk | 12 |
| 4.2. Hovedforsøk | 12 |
| 5. DISKUSJON | 19 |
| 6. REFERANSER | 21 |
| 7. VEDLEGG | 22 |

1. SAMMENDRAG

Det er gjennomført systematiske oppløsningsforsøk med grove kalktyper i renner. Bunnen av rennene ble dekket med grov bekkegrus. Det var kontinuerlig vannstrøm i rennene under forsøket. Kalk ble lagt oppå bekkegrusen i et jevnt lag under vannspeilet.

Forsøkene viste at korallgrus og skjellsand hadde de beste oppløsningsegenskapene. Selvom forskjellen mellom disse to kalktypene og krittgrus var relativ liten i rennene, bør en regne at oppløsningen av krittgrus er 10-20 % lavere enn for de to andre.

Grovdolomitt kom klart dårligere ut enn de andre avsydingsmidlene.

Tre forhold var av avgjørende betydning for oppløsningen når pH og temperatur var relativt konstant:

I. Utfelling av et jern-aluminium-humus-kompleks på kalkoverflatene førte til rask inaktivering av kalken. pH i rennene sank derfor fra relativt høye verdier og tilbake mot verdier for råvannet i løpet av 10 dager.

II. Økt turbulens påsatt som flom i rennene, førte til at det utfelte belegget i en viss grad ble slitt av og at ferske kalkoverflater ble eksponert for det sure vannet. Dette ga en økt kalkoppløsning.

III. Dolomitt er et kalsium-magnesiumkarbonat som har dårligere oppløsningsegenskaper enn kalsiumkarbonat. Grovdolomitt består dessuten av mindre partikler enn de andre kalktypene. Disse partiklene blir liggende dypere nede i grusen, og danner en jevnere overflate mot vannet. Den effektive avsyringsoverflaten i kontakt med det sure vannet blir dermed mindre enn for de andre kalktypene.

2. INNLEDNING

Kalking med skjellsand er vanlig ved bekkekalking på Sørlandet. Kalkingsmetoden består i sin enkleste form i å spa kalken direkte ut i bekken. I Birkedalsbekken har kalking direkte i bekken med skjellsand og konverteringskalk fra Norsk Hydro A/S siden tidlig på 1970-tallet bidratt til å bevare en lokal aurestamme i et av landets sureste områder (Hindar og Kleiven 1987).

Skjellsand brukes også i såkalte skjellsandbrønner. Kalken knuses da i brønnen og føres ut som finere partikler.

De vannkjemiske og biologiske resultatene ved disse kalkingstiltakene varierer tildels sterkt fra bekk til bekk.

Laboratorieforsøk med kalk i renner er tidligere utført i Kalkingsprosjektets regi (Johannessen 1981) og av Grahn og Hultberg (1975). Johannessen fant at grovmalt kalksteinsmel og skjellsand hadde større evne til å avsyre rennende vann enn dolomitt. Grovere fraksjoner av kalksteinsmel hadde bedre avsyringsevne enn finere fraksjoner. Det ble tilskrevet økt turbulens omkring større partikler og dermed bedret oppløsning. Avsyringsevnen var relativt stabil over en tre-måneders periode. En kortvarig humusutfelling var også uten betydning for kalkens evne til å nøytralisere det sure vannet.

Ved kalking med krittgrus i Krokbecken ble kalken inaktivert etter få døgn med et jern-aluminium-humuskompleks (Hindar 1988). Inaktivering av kalkpartikler er også vist i laboratorieforsøk (Sverdrup et al. 1984).

Målsettingen med dette arbeidet har vært å:

- 1) sammenlikne oppløsningsegenskapene til forskjellige grove kalktyper med hensyn på direkte utlegging i bekker. Vi ville forsøke å fastslå hvilke kalktyper som er best egnet til denne type kalking under mest mulig naturlige betingelser.

2) identifisere de forhold som har størst betydning for oppløsningen av kalk i rennende vann.

3. MATERIALE OG METODER

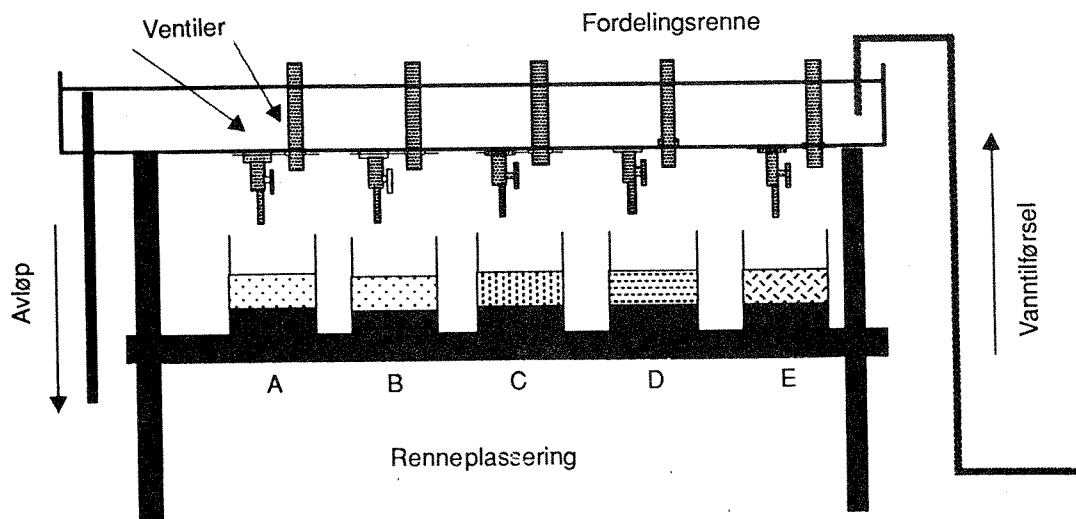
3.1. Oppstilling av renner

Rennene var plassert like nedenfor en demning i Knabvannsbekken (UTM 687744). Fallhøyden fra demningkant til rennene var ca 1.5m. Forsøksvannet ble ledet fram til rennene gjennom to PVC rør.

Forsøket ble gjennomført i 5 glassfiberrenner (lengde 12.5 m, bredde 0.2 m og høyde 0.15 m), plassert på trebukker (figur 1). Over rennene var det plassert en fordelingsrenne for inngående vann. I fordelingsrenna var det boret to hull. I det ene hullet var det montert en ventil som ga justeringsmuligheter for vannføringen i området 0 - 20 l/min. I det andre hullet var det plassert et rør med tetningspakning 2 cm fra den ene enden. Avhengig av hvilken del av røret som ble tredd inn i hullet ville man enten få 0 eller ca 60 l/min i vanntilførsel. I fordelingsrenna var det plassert et overløpsrør, som sikret stabil vannhøyde i fordelingsrenna, og dermed liten variasjon i vanntilførselen til hver enkelt renne.

3.2. Substratet i rennene.

Det ble benyttet morenegrus levert fra Peder Pedersen i Grimstad som bunnssubstrat i rennene. Mesteparten av finfraksjonen var tatt ut. I tillegg ble det plassert 15 stein med diameter mellom 7 og 12 cm oppå grusen for å øke turbulensen i rennene. Grusen ble fordelt i et ca 7.5 cm tykt lag. Restsand i grusen ble vasket ned mellom steinene og var lite synlig fra overflata. Sanden tettet de fleste hulrom i grusen. Det er grunn til å anta at det meste av vannet rant på overflata av substratet og ikke gjennom denne.



Figur 1. Skjematisk oppstilling av rennene. Kalktype og mengde er oppgitt i tabell 1.

3.3. Beskrivelse av kalktypene

Det ble gjort forsøk med fire typer grov kalk. Data for disse er vist i tabell 1. I et pilotforsøk ble kun mergel benyttet.

Tabell 1. Kalk som ble benyttet til forsøket. Renhet vil si vekt % av CaCO_3 eller som $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

| RENNE | KALKTYPE | MENGDE | RENHET | LEVERANDØR |
|-------|--------------|--------|--------|---------------------------|
| A | Skjellsand | 2.5 kg | 85% | Agder Havneservice ANC |
| B | Skjellsand | 10 kg | 85% | Agder Havneservice ANC |
| C | Korallgrus | 10 kg | 93% | Norcem Sement A/S |
| D | Krittgrus | 10 kg | 93% | A/S Christiansands Møller |
| E | Grovdolomitt | 10 kg | 99% | Norwegian Talk Minerals |

Skjellsand.

Den syrenøytraliserende delen av skjellsanden består av CaCO_3 . Den skjellsanden som ble benyttet i dette forsøket var ikke siktet og bestod derfor av partikler av ulik størrelse. Den lite homogene partikkelstørrelsen og strukturen gir en relativt stor overflate når kalken legges på bekkebunnen.

Krittgrus.

Kritt består også av kalsiumkarbonat, men inneholder en del flint. Andelen flint er ikke kvantifisert, med det var såvidt man kunne konstatere ikke rene flintoverflater på de kalkoverflatene som ble eksponert i rennene. Vi har derfor ikke korrigert for flint i beregningen av kalkforbruket.

Kritt består av svært små partikler, men partiklene holdes sammen i aggregater. Disse aggregatene kan deles mellom fingrene, men holder formen når de ligger i en vannstrøm uten for stor turbulens. Overflaten av den tilførte kalken blir dermed atskillig mindre enn om partiklene hver for seg ble eksponert.

Korallgrus.

Korallgrus er også kalsiumkarbonat. Disse partiklene har et mer skifrig utseende, med mer ujevn overflate enn kritt. Partikkelstørrelsen er forskjellig, opp til 2-3 cm, slik at den totale eksponerte overflaten blir relativt stor.

Dolomitt.

Dolomitt består av $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Partiklene som ble benyttet her var relativt homogene og i størrelse omkring 2 mm. Den spesifikke overflaten er derfor relativt stor, men i dette forsøket dannet kornene et tett lag mot bekkebunnen.

3.4 Hydrologi

Hydrologiske parametre lot seg kun måle ved påsatt flom i rennene. Vannføringen var da 60 l/min inn i rennene. Vannhøyde og - hastighet var for lav ved normal vanngjennomstrømming til at den lot seg måle med tilgjengelig utstyr.

Strømhastigheten ved flom var 6 - 7 cm/s i middel, målt over et 7.5 m langt strekk. På grunn av turbulens, forårsaket av steinene og høydevariasjon i gruslaget vil strømhastigheten målt over korte strekk variere sterkt i forhold til dette.

Midlere vannhøyde i de seks rennene varierte mellom 5.1 og 6.5 cm, med en total variasjon fra 3.5 til 8.0 cm innen rennene. Vannvolum i rennene ble beregnet på grunnlag av både midlere vannhastighet og midlere vannhøyde og var ca. 140 liter. Dette gir en oppholdstid på 2.3 minutter ved en vanngjennomstrømming på 60 l/min.

3.5. Kjemiske analyser

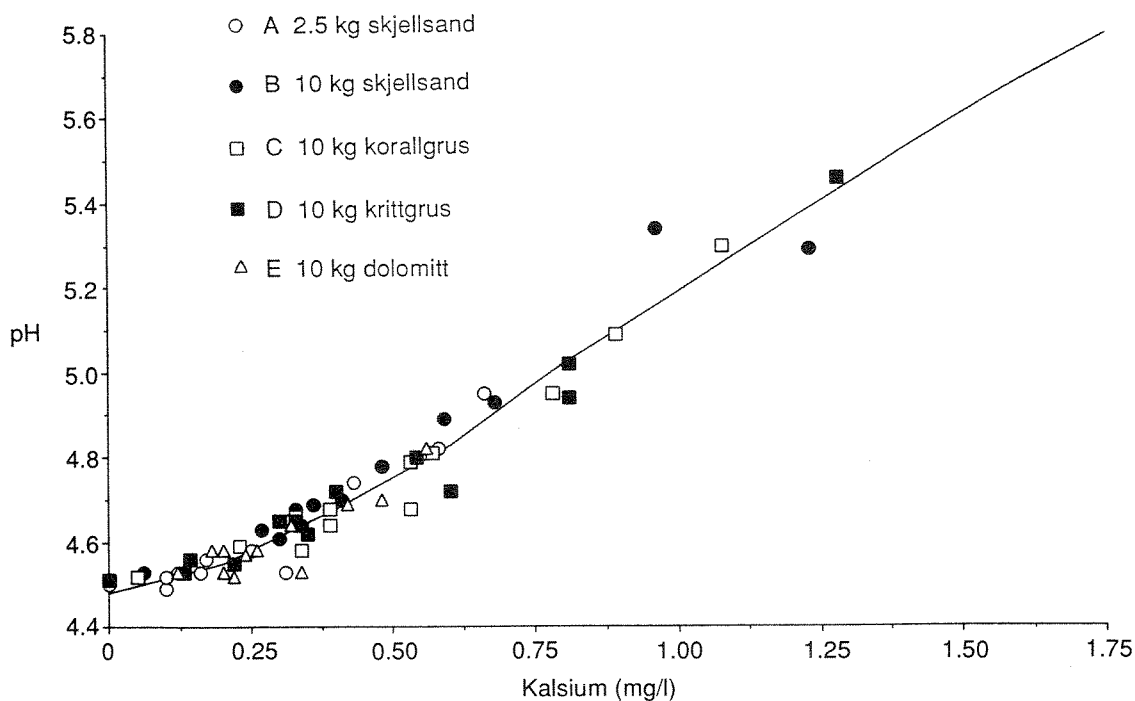
Vannprøver ble tatt i utløpet av rennene. pH og temperatur ble målt 0.5 m fra enden av rennene. 1/2 l vannprøve ble filtrert gjennom 0.45 m GFC filter. Filteret var på forhånd vasket i 1/2 liter ionebyttet vann. Det ble benyttet filteroppsats og pumpe fra Millipore. Det ble samtidig tatt en liter vannprøve av ufiltrert vann.

pH ble i felt målt med ORION pH meter SA 250 og Radiometer elektrode GK 2401 C. Temperatur ble målt med digital temperaturmåler fra AMA DIGIT. Vanngjennomstrømming og vannhastighet ble estimert med henholdsvis 10 liter bøtte og liten pinne. Vannprøvene ble analysert på ATIK-vannlaboratorium i Grimstad. Titreringsanalyse av råvannet er utført av NIVA.

3.6. Beregning av oppløselighet

Råvann fra Knabvannsbekken er titrert med 0.05 M NaCO_3 (figur 2). 100 ml vann ble titrert til pH 6.5. Kurven viser kalkbehovet for forskjellige pH-verdier. Punktene i figuren er målte kalsiumøkninger i rennene og tilhørende pH-verdier. Det er en meget god overenstemmelse mellom målte verdier og titreringskurven. Det

viser at vannet fra rennene har vært i kjemisk likevekt med hensyn på kalsium og pH ved analyse på laboratoriet.

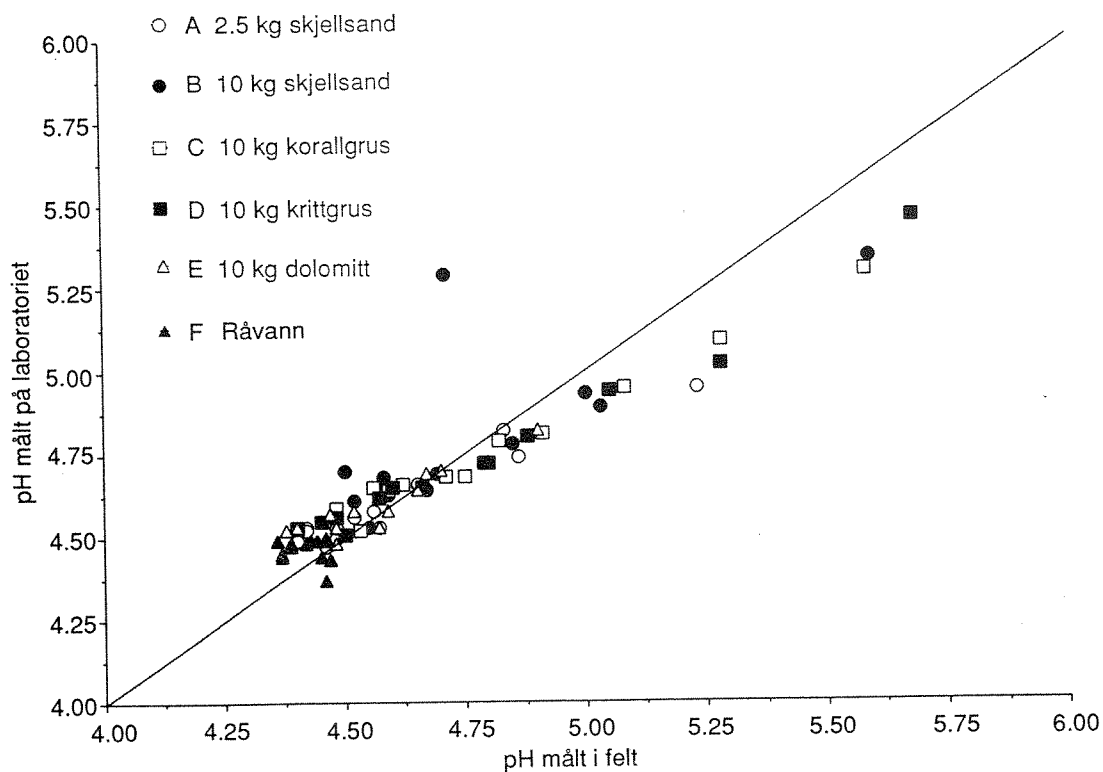


Figur 2. Råvann fra Knabvannsbekken titrert med NaCO_3 . Linjen framkommer ved omregning til ekvivalente mengder kalsium. Punktene representerer pH og kalsium i ufiltrerte prøver fra rennene.

Det er en rimelig bra overenstemmelse mellom pH målt i felt og pH målt på laboratoriet (figur 3). Det er allikevel tendenser til at pH målt på laboratoriet er noe høyere enn pH målt i felt ved de laveste pH-verdiene og noe lavere ved de høye verdiene. I den videre bearbeiding av dataene vil pH målt på laboratoriet bli benyttet, ettersom det er lite som tyder på at partikulært kalsium har løst seg i prøveflaskene mellom prøvetaking og måling.

pH i filtrerte prøver er nesten alltid høyere enn pH i ufiltrerte prøver. Dette kan skyldes at filtreringen fjerner humus, som er en svak syre. Det antas at utlufting av CO_2 spiller liten rolle

siden det er turbulens i bekkevann og i renner og dermed likevekt mellom CO_2 i luft og CO_2 oppløst i vann.



Figur 3. pH målt i felt i forhold til pH målt på laboratoriet. Heltrukken linje tilsvarer $\text{pH}_{\text{felt}} = \text{pH}_{\text{lab}}$.

Analysene viser at det bare er ubetydelige forskjeller i kalsiumkonsentrasjon mellom ufiltrert og filtrert vann. Dette viser at transport av kalkpartikler i rennene har vært liten.

Differansen mellom filtrert råvann og filtrert vann fra rennene er benyttet ved beregning av oppløst mengde kalk i rennene. Verdiene er korrigert for kaltpens renhet (tabell 1). Kalkforbruket over tid er beregnet ved å multiplisere midlere kalsiumdifferanse med midlere vannføring i en periode. Akkumulert kalkforbruk er beregnet som total kalkoppløsning over flere perioder.

4. RESULTATER

4.1 Pilotforsøk

Pilotforsøket ble gjennomført for å teste oppløsningsforholdene i rennene. Det var usikkerhet omkring vannføring, vannstand over kalken, vinkel på rennene og nødvendig kalkmengde for å få målbare resultater.

Dette forsøket varte i fem dager. Det ble tilsatt 2.1 kg mergel i samtlige renner bortsett fra i renne A som fikk 10.5 kg. Vannføringen varierte fra 46 til 91 liter pr. minutt. pH-økningen målt etter 2.5 timer, var liten (0.04 til 0.09 pH-enheter). Økningen var størst i renne A hvor kalktilsetningen var størst (se primærtabell 1 bak i rapporten). Ved å redusere vanngjenstrømmingen i renne A ble det oppnådd høyere og mer stabil pH.

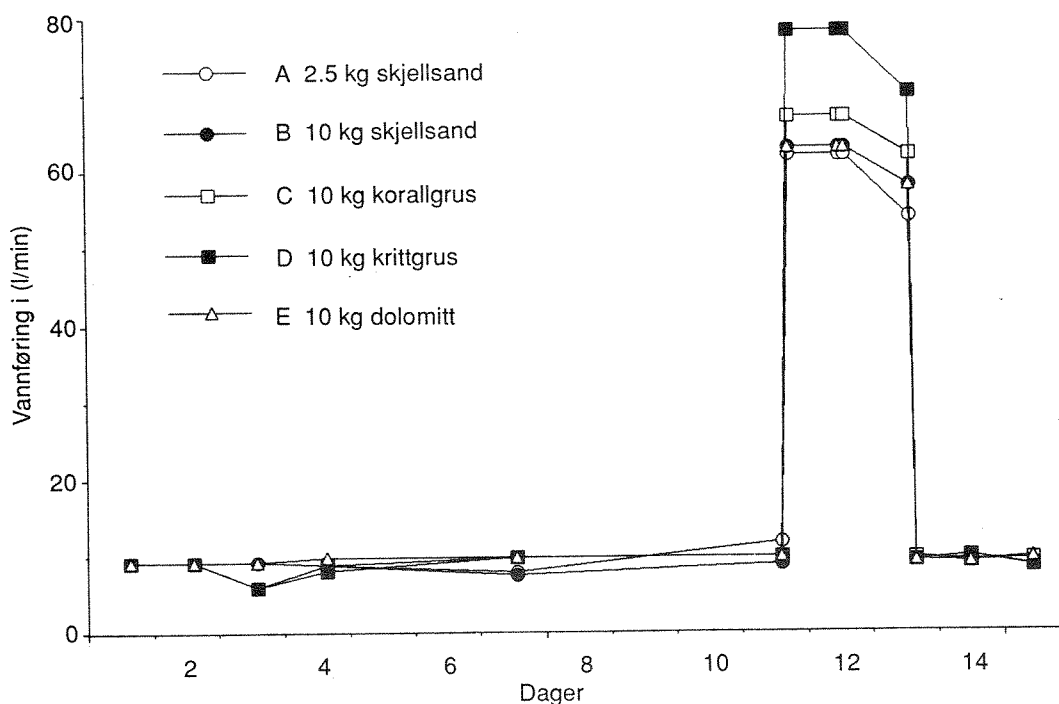
I renne B ble grusen fjernet etter tre dager og erstattet med 15 kg skjellsand. Skjellsanden ble fordelt jevnt, men vannhøyden i renna ble beholdt. Det førte til at vannhøyden over skjellsanden ble noe større. pH-økningen var på 1 pH-enhet etter 0.5 timer, men ble redusert til 0.1 pH-enhet etter 2 timer. Etter to døgn var det ikke målbar forskjell mellom råvann og rennevann. Vannføringen var da 19.5 l/min.

Hovedforsøket ble satt opp etter erfaringene fra pilotforsøket. Resultatene fra pilotforsøket viste at bare en relativt liten vannføring kunne avsyres og at turbulens var viktig for oppløsning av kalken. Det ble dessuten registrert brunfarging på kalkoverflatene.

4.2 Hovedforsøk

Forsøket ble gjennomført i en periode på 14 dager. Vannføringen i rennene i denne perioden er vist i figur 4. Forsøket måtte da avsluttes pga isdannelse og isskuring i rennene. I dette

forsøket ble det gjort forsøk med samtlige avsyrningsmidler som er vist i tabell 1. Etter 10 dager ble vannføringen økt for å simulere flom. Etter en dag flom ble endeplatene på rennene skrudd av for å redusere vannhøyden over grusen. Reduksjonen var liten og endeplatene ble satt tilbake når flommen ble avsluttet. Disse tre periodene er markert med piler på figurene 5-10.



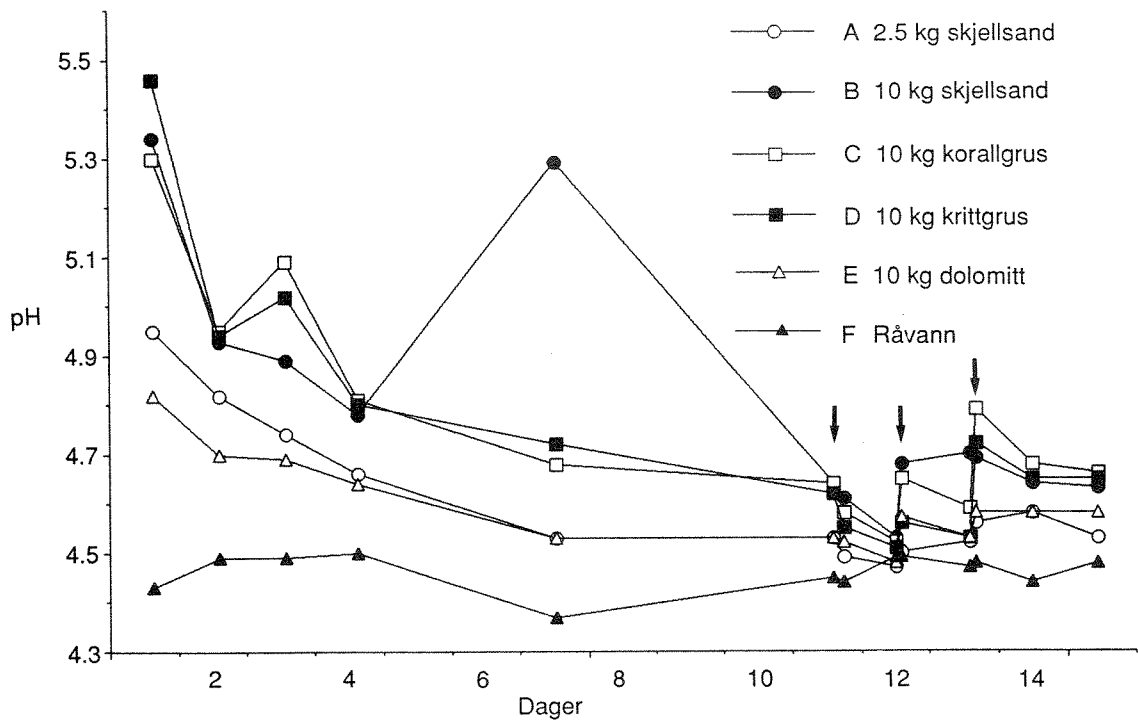
Figur 4. Vannføring i rennene under hovedforsøket. Etter 10 dager ble vannføringen økt for å simulere flom.

Temperatur.

Temperaturen i forsøksperioden varierte mellom 3.8 og 5.2 °C. Den lave temperaturen har redusert kalkopløsningen, men har ikke gitt ulike oppløsningsbetingelser i rennene.

pH.

pH i rennene steg til pH 4,9 - 5,7 umiddelbart etter kalking for så å gradvis avta og etterhvert nærme seg rå-vannets pH (figur 5).

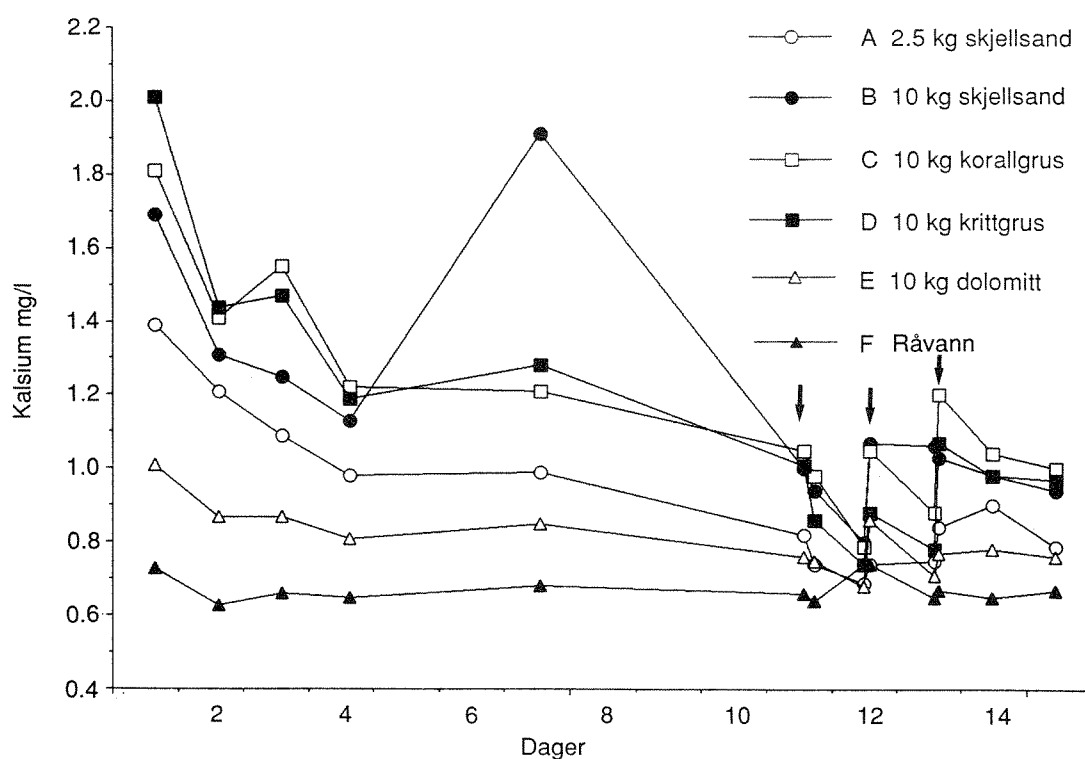


Figur 5. pH-utviklingen i renne A til E. Pilene markerer endringer i forsøksbetingelsene under påsatt flom.

Ti dager etter forsøkets start var pH avtatt til 4.5-4.65, og "flom" ble igangsatt. Flommen varte i to døgn (figur 4). Vannføringen ble deretter endret tilbake til den opprinnelige vannføringen. pH var nesten lik råvanns-pH under flommen i alle rennene, men steg noe etter at flommen ble skrudd av. pH sank deretter igjen.

Kalsium.

Kalsiumendringen forløp svært likt endringen i pH (figur 6). Maksimal kalsiumøkning var fra 0.7 mg Ca/l (råvann) til 2.0 mg Ca/l. Kalsiumkonsentrasjonen i vann fra rennene avtok gradvis fra kalkingstidspunktet og fram til flommen ble startet. Under flommen sank kalsiumkonsentrasjonen til verdier nær råvannets. Etter at flommen var avsluttet steg kalsiumkonsentrasjonen noe, for så å synke igjen.



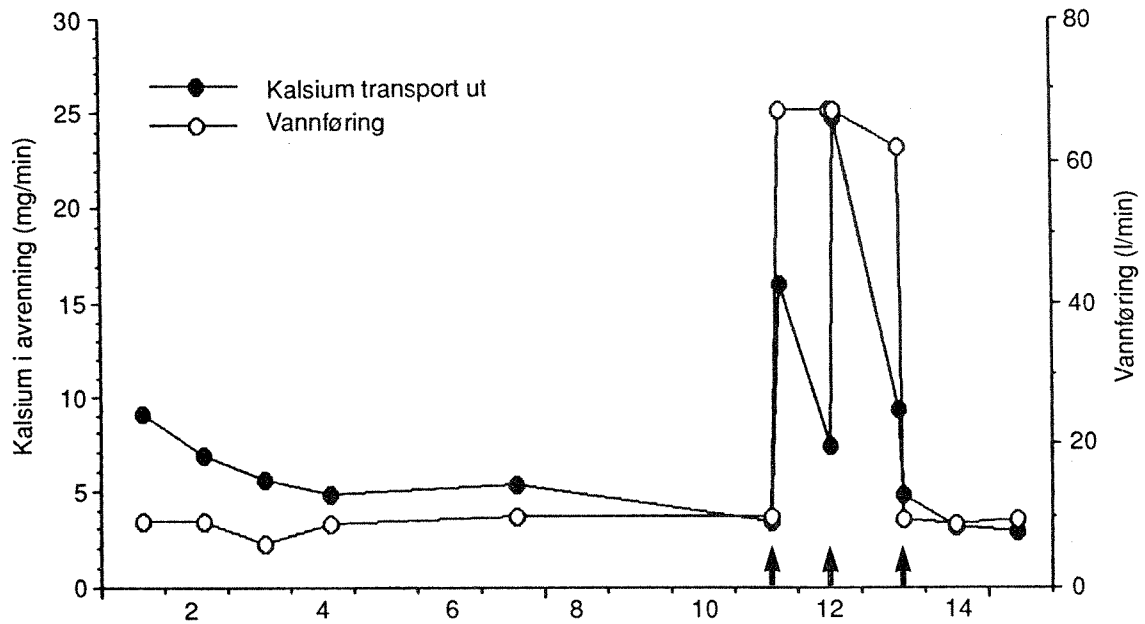
Figur 6. Endring i kalsiumkonsentrasjon i rennene. Piler markerer endringer i forsøksbetingelsene.

Selvom kalsiumkonsentrasjonen var lav under flommen, var dette den perioden da mest kalsium ble ført ut av rennene pr. minutt (figur 7). Det viser seg samtidig at kalsiumtransport ut av rennene økte sterkt ved hver endring av forsøksbetingelsene.

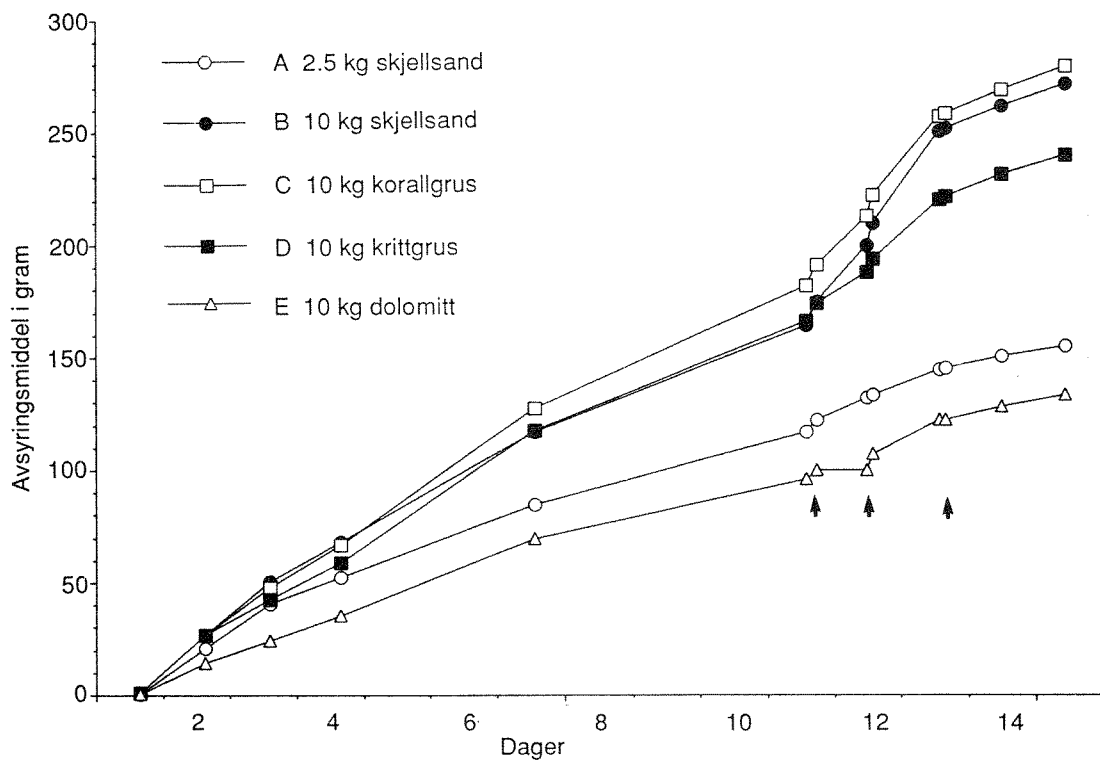
På grunnlag av kalsiumtransporten ut av rennene er total kalkoppløsning over tid beregnet (figur 8). I de akkumulerte verdiene er det tatt hensyn til kalkens innhold av karbonat.

Størst kalkutnyttelse i prosent av tilført mengde ble målt i renne A (6.2 %), hvor det bare var to kilo skjellsand (tabell 2). Selv om det var fem ganger mer skjellsand i renne B enn i renne A, ble det bare transportert 75% mer kalk ut av denne renna.

I renne E, med dolomitt, ble det bare løst 1.3 % av tilsatt mengde.



Figur 7. Kalsiumtransport ut av renne C med korallgrus i forhold til vannføringen i rennene. Pilene markerer endringer i forsøksbetingelsene.



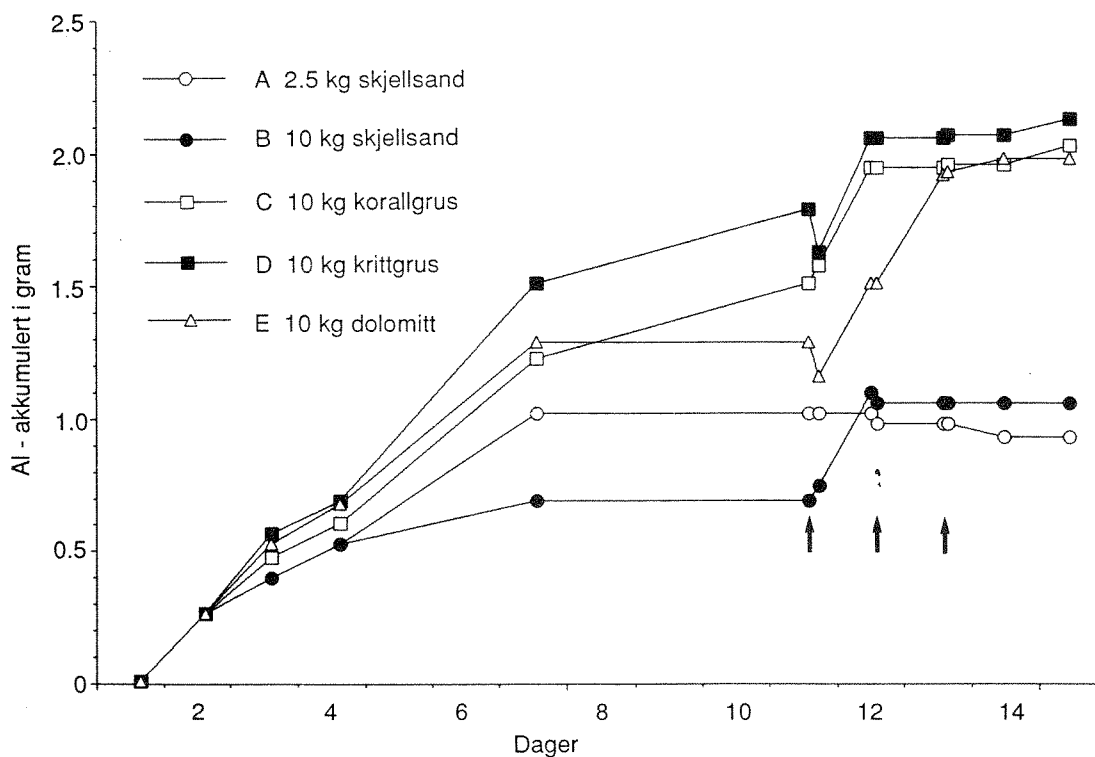
Figur 8. Akkumulerte verdier for kalktransport ut av rennene for hele forsøksperioden. Pilene markerer endringer i forsøksbetingelsene.

Tabell 2. Total mengde oppløst avsyrimiddel.

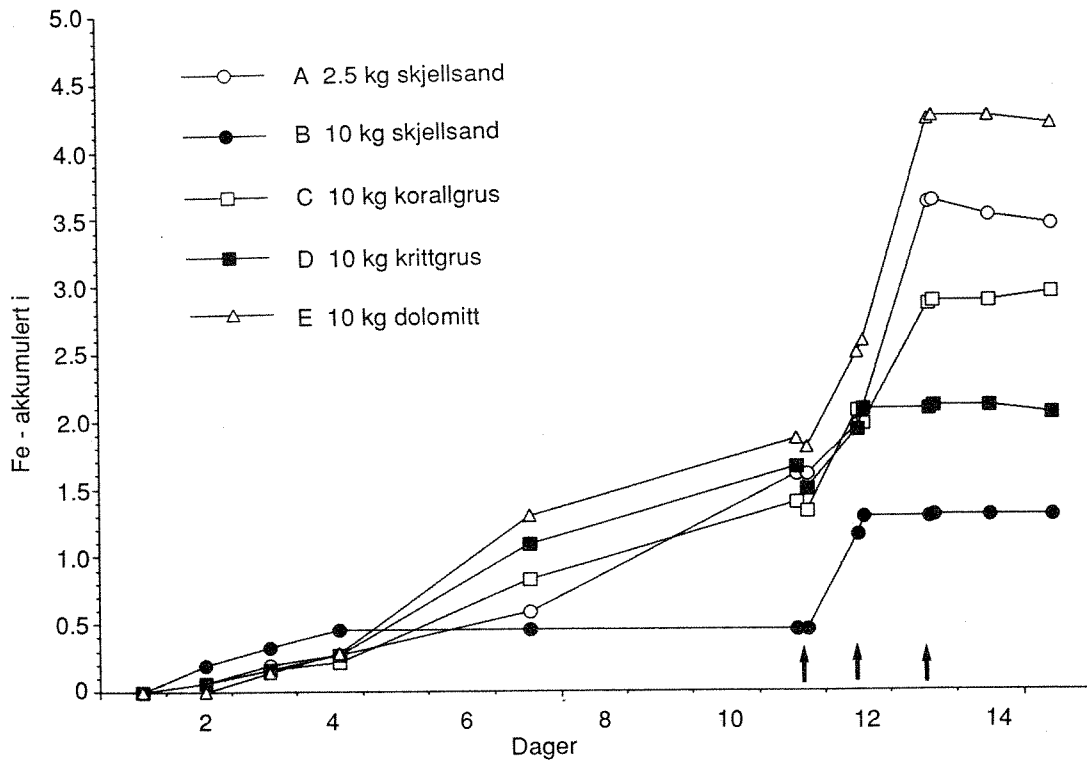
| RENNE | AVSYRINGSMIDDEL | TILSATT kilo | AVRENT % | AVRENT gram |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|----------------|
| A | Skjellsand | 2.5 | 6.2 | 155 |
| B | Skjellsand | 10 | 2.7 | 271 |
| C | Korallgrus | 10 | 2.8 | 279 |
| D | Krittgrus | 10 | 2.4 | 240 |
| E | Grovdolomitt | 10 | 1.3 | 135 |

Aluminium og jern.

Aluminium og jern ble utfelt i alle rennene under mesteparten av forsøket (figur 9 og 10). Utfellingene er et gulbrunt Al - Fe - humus belegg på kalkoverflatene. De fjernes lett fra overflatene ved berøring. Det ble kun observert utfellinger på kalkoverflatene, ikke på morenegrusen.



Figur 9. Aluminium akkumulert på kalkoverflatene i renne A til E. Pilene markerer endringer i forsøksbetingelsene.



Figur 10. Jern akkumulert på kalkoverflatene i renne A til E. Pilene markerer endringer i forsøksbetingelsene.

I løpet av de 14 dagene forsøket pågikk ble det avsatt opp til 2 gram aluminium og 4 gram jern i rennene. Dette tilsvarer 0.8 g aluminium og 1.6 g jern pr. m² grunnflate i rennene. Aluminium- og jernavsetningen var kraftigst tidlig i forsøket og rett etter at flom ble startet. I en stabil fase midt i forsøket og på slutten av forsøksperioden var avsetningen liten.

Minst aluminium ble utfelt i rennene med skjellsand. Utfellingen var relativt lik i de andre rennene. Jern hadde minst avsetning i renne B med skjellsand og i D med kritt, mest i renne E med dolomitt.

5. DISKUSJON

pH-og kalsiumverdiene målt i rennene under dette forsøket viste ingen vesentlig forskjell i oppløselighet mellom skjellsand og korallgrus. Krittgrus ble ikke oppløst i samme grad som disse to. Selvom forskjellen var relativt liten mellom krittgrus og de to andre i disse rennene, vil den ha betydning i fullskalakalking. En bør regne at oppløsningen av krittgrus er 80-85 % av oppløsningen av korallgrus.

Det var spesielt i forsøkets siste del av disse forskjellene oppstod. Det kan tyde på at Al-Fe-humusutfellingene ikke ble slitt vekk i samme grad fra krittverflatene som fra overflatene av korallgrus og skjellsand.

Dolomitt hadde vesentlig dårligere oppløsningsegenskaper enn de andre avsyngsmidlene. Dette er trolig først og fremst forårsaket av dolomittens kjemiske sammensetning. Det høye magnesiuminnholdet (13 %) reduserer oppløsningshastigheten. Grovdolomitten la seg dessuten i større grad mellom steinene i substratet og dannet en jevn flate mot vannet. Partiklene ble dermed mindre påvirket av turbulens og mekanisk slitasje. Resultatet for dolomitt er svært likt resultatet i tidligere forsøk (Johannessen 1981). Aluminium- og jernavsetningen var også større på dolomitt enn på de andre avsyngsmidlene. Årsaken til dette er ikke undersøkt.

Kalsiumtransport ut av rennene økte ved hver endring i vannføringen. Inhiberingsstoffene ble vasket av kalkoverflatene ved endring i vannføringen, det vil si turbulens, og bygde seg opp igjen når situasjonen igjen ble stabil. Det ser ut til at vedvarende flom med konstant vannføring også gir stabile betingelser rundt partiklene, og dermed grunnlag for økt inhibering. Det er endringene i vannføring og ikke nødvendigvis vedvarende høy vannføring som gir økt mekanisk slitasje av kalkoverflatene.

Når det er jevn vannbevegelse over kalken og vannstanden er høy blir det svært liten kontakt mellom det sure vannet og kalkover-

flatene. Dette ble vist under pilotforsøket, da det ble lagt et tett kalklag på bunnen av en av rennene. Den manglende pH-økningen i det forsøket kan kun tilskrives fravær av turbulens.

Det ble lagt ut 4 ganger mere skjellsand i renne B enn i renne A. Kalktransporten ble imidlertid bare 75 % større i renne B. Dette kan forklares ved at en vesentlig del av kalken i renne B ble liggende i tykke lag. Den effektive kalkoverflaten ble derfor ikke så mye større som kalkmengden skulle tilsi. Det viser at det er viktig å spre kalken over et stort areal.

Det raske avtaket i pH i dette forsøket er forårsaket av inhibering av kalkoverflatene på grunn av humus - Al - Fe-utfelling. Samlet kalkoppløsning var så ubetydelig i rennene at en mindre tilgjengelig kalkoverflate for oppløsning ikke kan være årsaken. I tidligere forsøk er det ikke observert endringer i oppløselighet gjennom en tre måneders periode (Johannessen 1981). Ulik kvalitet på råvannet kan forklare denne forskjellen.

Observasjoner i rennene viste at utfellingen kun skjer på kalkoverflatene. Utfellingshastigheten var størst i starten av forsøksperioden og umiddelbart etter at flommen ble startet (figur 9 og 10). Dette faller sammen med de periodene kalkoverflatene var renest. Det var samtidig ingen entydig sammenheng mellom pH og aluminium- og jernutfellingene i rennene. Utfellingene skjer i et grensesjikt på de rene kalkoverflatene, der pH er høy pga oppløst kalk (Sverdrup et al. 1984).

I begynnelsen av flomperioden var aluminium- og jernkonsentrasjonen i avløpsvannet fra rennene større enn i råvannet. Dette skyldes at kalken da var utsatt for mekanisk slitasje, og det brune belegget ble i en viss grad vasket av.

Den pH-økningen som ble observert i rennene var moderat, fra 0.5 pH-enheter etter ett døgn til 0.1 pH-enhet etter 10 døgn. Det skyldes at rennene var korte, ikke at pH-økningen hemmet en større oppløsning. En dobling av rennelengdene ville gi akseptabel vannkvalitet for fisk (pH 5.7-5.8) i inntil en uke etter kalking ved "normal" vannføring i rennene.

6. REFERANSER

Grahn, O. og Hultberg, H. 1975. The neutralizing capacity of 12 different lime products used for pH-adjustment of acid water. *Vatten*, 2: 120-132.

Hindar, A. 1988. Kalking med krittgrus i Krokbecken. O-87098, NIVA, Grimstad. 22 s.

Hindar, A. og Kleiven, E. 1988. Birkedalsbekken, Aust-Agder. I: Kalkingsvirksomheten i perioden 1984-1986. (Hindar, A., red.). Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim. 100 s.

Johannessen, M. 1981. Testing av norske kalkprodukter for bruk i sure fiskevann. O-8004402, NIVA. Kalkingsprosjektet, rapport 1-81. Oslo. 32 s.

Sverdrup, H.U. Rasmussen, R. og Bjerle, I. 1984. A simple model for the reacidification of limed lakes, taking the simultaneous deactivation and dissolution of calcite in the sediments into account. *Chemica Scripta*. Vol. 24: 53-66.

7. VEDLEGG

| RENNE | DATO | KL. | FELT OBSERVASJON | | | LAB VERDIER | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------|-------|---------------------|------|------|-------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--|--|--|--|--|--|
| | | | YANN | TEMP | PH | pH | pH | Ca | Ca | RAI | RAI | Fe | Fe | | | | | | |
| | | | FØRING l/min | °C | | ufilt | filt | ufilt | filt | ufilt | filt | ufilt | filt | | | | | | |
| A | 4-nov-88 | 14:25 | 9,25 | 4,1 | 5,28 | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 4-nov-88 | 15:15 | 9,25 | 4,1 | 5,23 | 4,95 | 4,98 | 1,39 | 1,36 | 400 | 350 | 315 | 195 | | | | | | |
| A | 5-nov-88 | 14:45 | 9,25 | 4,6 | 4,83 | 4,82 | 4,82 | 1,21 | 1,18 | 410 | 400 | 315 | 265 | | | | | | |
| A | 6-nov-88 | 14:30 | 9,25 | 5,0 | 4,86 | 4,74 | 4,81 | 1,09 | 1,18 | 425 | 390 | 305 | 235 | | | | | | |
| A | 7-nov-88 | 15:00 | 8,75 | 3,8 | 4,65 | 4,66 | 4,74 | 0,98 | 0,98 | 420 | 400 | 320 | 240 | | | | | | |
| A | 10-nov-88 | 13:00 | 7,80 | 5,1 | 4,57 | 4,53 | 4,58 | 0,99 | 1,02 | 425 | 400 | 340 | 265 | | | | | | |
| A | 14-nov-88 | 14:00 | 11,7 | 4,2 | 4,42 | 4,53 | 4,60 | 0,82 | 0,84 | 420 | 395 | 330 | 265 | | | | | | |
| A | 14-nov-88 | 17:30 | 62,0 | 4,2 | 4,40 | 4,49 | 4,60 | 0,74 | 0,80 | 425 | 400 | 340 | 260 | | | | | | |
| A | 15-nov-88 | 12:00 | 62,0 | 4,3 | 4,46 | 4,47 | 4,59 | 0,69 | 0,73 | 425 | 390 | 275 | 230 | | | | | | |
| A | 15-nov-88 | 14:15 | 62,0 | 4,3 | 4,48 | 4,50 | 4,50 | 0,74 | 0,74 | 430 | 390 | 265 | 230 | | | | | | |
| A | 16-nov-88 | 13:50 | 54,0 | 4,8 | 4,42 | 4,52 | 4,52 | 0,75 | 0,70 | 425 | 410 | 340 | 270 | | | | | | |
| A | 16-nov-88 | 15:45 | 9,50 | 4,8 | 4,52 | 4,56 | 4,60 | 0,84 | 0,82 | 430 | 405 | 350 | 250 | | | | | | |
| A | 17-nov-88 | 11:30 | 9,00 | 5,2 | 4,56 | 4,58 | 4,62 | 0,90 | 0,85 | 420 | 400 | 370 | 275 | | | | | | |
| A | 18-nov-88 | 10:30 | 9,40 | 4,3 | 4,48 | 4,53 | 4,61 | 0,79 | 0,80 | 425 | 410 | 375 | 285 | | | | | | |
| B | 4-nov-88 | 14:25 | 9,25 | 4,1 | 5,74 | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 4-nov-88 | 15:15 | 9,25 | 4,1 | 5,59 | 5,34 | 5,22 | 1,69 | 1,54 | 400 | 330 | 315 | 200 | | | | | | |
| B | 5-nov-88 | 14:45 | 9,25 | 4,6 | 5,00 | 4,93 | 4,92 | 1,31 | 1,33 | 410 | 380 | 305 | 220 | | | | | | |
| B | 6-nov-88 | 14:30 | 9,25 | 5,0 | 5,03 | 4,89 | 4,90 | 1,25 | 1,28 | 425 | 385 | 305 | 235 | | | | | | |
| B | 7-nov-88 | 15:00 | 8,75 | 3,8 | 4,85 | 4,78 | 4,86 | 1,13 | 1,15 | 420 | 395 | 315 | 260 | | | | | | |
| B | 10-nov-88 | 13:00 | 7,50 | 5,1 | 4,71 | 5,29 | 4,72 | 1,91 | 1,20 | 435 | 395 | 355 | 260 | | | | | | |
| B | 14-nov-88 | 14:00 | 8,75 | 4,2 | 4,58 | 4,64 | 4,70 | 1,00 | 1,00 | 420 | 395 | 355 | 260 | | | | | | |
| B | 14-nov-88 | 17:30 | 63,0 | 4,2 | 4,52 | 4,61 | 4,69 | 0,94 | 0,94 | 420 | 390 | 355 | 260 | | | | | | |
| B | 15-nov-88 | 12:00 | 63,0 | 4,3 | 4,55 | 4,53 | 4,53 | 0,80 | 0,80 | 420 | 390 | 270 | 260 | | | | | | |
| B | 15-nov-88 | 14:15 | 63,0 | 4,3 | 4,58 | 4,68 | 4,68 | 1,07 | 1,07 | 430 | 390 | 265 | 260 | | | | | | |
| B | 16-nov-88 | 13:50 | 58,0 | 4,8 | 4,50 | 4,70 | 4,59 | 1,06 | 0,82 | 440 | 405 | 360 | 265 | | | | | | |
| B | 16-nov-88 | 15:45 | 9,50 | 4,8 | 4,69 | 4,69 | 4,74 | 1,03 | 1,00 | 430 | 405 | 340 | 250 | | | | | | |
| B | 17-nov-88 | 11:30 | 9,25 | 5,2 | 4,67 | 4,64 | 4,72 | 0,98 | 0,99 | 415 | 395 | 360 | 275 | | | | | | |
| B | 18-nov-88 | 10:30 | 9,40 | 4,3 | 4,59 | 4,63 | 4,68 | 0,94 | 0,93 | 425 | 415 | 370 | 280 | | | | | | |
| C | 4-nov-88 | 14:25 | 9,25 | 4,1 | 5,71 | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 4-nov-88 | 15:15 | 9,25 | 4,1 | 5,58 | 5,30 | 5,19 | 1,81 | 1,66 | 400 | 330 | 315 | 205 | | | | | | |
| C | 5-nov-88 | 14:45 | 9,25 | 4,6 | 5,08 | 4,95 | 4,93 | 1,41 | 1,39 | 410 | 380 | 315 | 205 | | | | | | |
| C | 6-nov-88 | 14:30 | 6,00 | 5,0 | 5,28 | 5,09 | 5,13 | 1,55 | 1,60 | 410 | 360 | 305 | 220 | | | | | | |
| C | 7-nov-88 | 15:00 | 8,75 | 3,8 | 4,91 | 4,81 | 4,91 | 1,22 | 1,23 | 420 | 390 | 320 | 245 | | | | | | |
| C | 10-nov-88 | 13:00 | 9,75 | 5,1 | 4,75 | 4,68 | 4,73 | 1,21 | 1,23 | 425 | 400 | 335 | 260 | | | | | | |
| C | 14-nov-88 | 14:00 | 9,75 | 4,2 | 4,59 | 4,64 | 4,71 | 1,05 | 1,04 | 415 | 390 | 335 | 250 | | | | | | |
| C | 14-nov-88 | 17:30 | 67,0 | 4,2 | 4,48 | 4,58 | 4,66 | 0,98 | 0,91 | 420 | 365 | 345 | 245 | | | | | | |
| C | 15-nov-88 | 12:00 | 67,0 | 4,3 | 4,53 | 4,52 | 4,52 | 0,79 | 0,79 | 420 | 365 | 270 | 245 | | | | | | |
| C | 15-nov-88 | 14:15 | 67,0 | 4,3 | 4,56 | 4,65 | 4,65 | 1,05 | 1,05 | 425 | 365 | 290 | 245 | | | | | | |
| C | 16-nov-88 | 13:50 | 62,0 | 4,8 | 4,48 | 4,59 | 4,58 | 0,88 | 0,80 | 425 | 405 | 350 | 265 | | | | | | |
| C | 16-nov-88 | 15:45 | 9,50 | 4,8 | 4,82 | 4,79 | 4,84 | 1,20 | 1,17 | 420 | 400 | 335 | 240 | | | | | | |
| C | 17-nov-88 | 11:30 | 9,00 | 5,2 | 4,71 | 4,68 | 4,74 | 1,04 | 1,04 | 415 | 395 | 360 | 275 | | | | | | |
| C | 18-nov-88 | 10:30 | 9,40 | 4,3 | 4,62 | 4,66 | 4,71 | 1,00 | 0,99 | 420 | 410 | 365 | 270 | | | | | | |

| RENNE | DATO | KL. | FELT OBSERVASJON | | | LAB VERDIER | | | | | | | |
|-------|-----------|-------|-------------------------|------------|------|-------------|------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | | | YANN FØRING l/min | TEMP °C | PH | pH ufilt | pH filt | Ca ufilt mg/l | Ca filt mg/l | RAI ufilt µg/l | RAI filt µg/l | Fe ufilt µg/l | Fe filt µg/l |
| D | 4-nov-88 | 14:25 | 9,25 | 4,1 | 5,92 | | | | | | | | |
| D | 4-nov-88 | 15:15 | 9,25 | 4,1 | 5,68 | 5,46 | 5,27 | 2,01 | 1,76 | 390 | 310 | 315 | 195 |
| D | 5-nov-88 | 14:45 | 9,25 | 4,6 | 5,05 | 4,94 | 4,93 | 1,44 | 1,38 | 410 | 385 | 315 | 230 |
| D | 6-nov-88 | 14:30 | 6,00 | 5,0 | 5,28 | 5,02 | 4,93 | 1,47 | 1,35 | 400 | 375 | 305 | 230 |
| D | 7-nov-88 | 15:00 | 8,00 | 3,8 | 4,88 | 4,80 | 4,88 | 1,19 | 1,21 | 420 | 390 | 315 | 245 |
| D | 10-nov-88 | 13:00 | 9,75 | 5,1 | 4,80 | 4,72 | 4,72 | 1,28 | 1,21 | 420 | 405 | 330 | 265 |
| D | 14-nov-88 | 14:00 | 9,75 | 4,2 | 4,57 | 4,62 | 4,67 | 1,01 | 1,00 | 415 | 390 | 335 | 260 |
| D | 14-nov-88 | 17:30 | 78,0 | 4,2 | 4,45 | 4,55 | 4,61 | 0,86 | 0,85 | 435 | 400 | 350 | 250 |
| D | 15-nov-88 | 12:00 | 78,0 | 4,3 | 4,50 | 4,51 | 4,51 | 0,74 | 0,74 | 420 | 400 | 275 | 250 |
| D | 15-nov-88 | 14:15 | 78,0 | 4,3 | 4,48 | 4,56 | 4,56 | 0,88 | 0,88 | 425 | 400 | 265 | 250 |
| D | 16-nov-88 | 13:50 | 70,0 | 4,8 | 4,40 | 4,53 | 4,55 | 0,78 | 0,75 | 425 | 405 | 360 | 260 |
| D | 16-nov-88 | 15:45 | 9,25 | 4,8 | 4,79 | 4,72 | 4,74 | 1,07 | 1,05 | 420 | 400 | 335 | 250 |
| D | 17-nov-88 | 11:30 | 9,75 | 5,2 | 4,66 | 4,65 | 4,71 | 0,98 | 0,99 | 415 | 395 | 360 | 295 |
| D | 18-nov-88 | 10:30 | 8,50 | 4,3 | 4,60 | 4,65 | 4,67 | 0,97 | 0,96 | 420 | 410 | 375 | 270 |
| E | 4-nov-88 | 14:25 | 9,25 | 4,1 | 5,02 | | | | | | | | |
| E | 4-nov-88 | 15:15 | 9,25 | 4,1 | 4,90 | 4,82 | 4,81 | 1,01 | 0,99 | 400 | 390 | 315 | 240 |
| E | 5-nov-88 | 14:45 | 9,25 | 4,6 | 4,70 | 4,70 | 4,70 | 0,87 | 0,88 | 410 | 410 | 320 | 255 |
| E | 6-nov-88 | 14:30 | 9,25 | 5,0 | 4,67 | 4,69 | 4,69 | 0,87 | 0,83 | 415 | 410 | 305 | 245 |
| E | 7-nov-88 | 15:00 | 9,75 | 3,8 | 4,65 | 4,64 | 4,71 | 0,81 | 0,85 | 420 | 410 | 315 | 265 |
| E | 10-nov-88 | 13:00 | 9,75 | 5,1 | 4,57 | 4,53 | 4,55 | 0,85 | 0,86 | 425 | 415 | 325 | 265 |
| E | 14-nov-88 | 14:00 | 9,75 | 4,2 | 4,48 | 4,53 | 4,60 | 0,76 | 0,78 | 420 | 400 | 335 | 260 |
| E | 14-nov-88 | 17:30 | 63,0 | 4,2 | 4,38 | 4,52 | 4,60 | 0,75 | 0,73 | 435 | 400 | 345 | 240 |
| E | 15-nov-88 | 12:00 | 63,0 | 4,3 | 4,48 | 4,48 | 4,48 | 0,68 | 0,68 | 420 | 400 | 270 | 240 |
| E | 15-nov-88 | 14:15 | 63,0 | 4,3 | 4,47 | 4,57 | 4,57 | 0,86 | 0,86 | 425 | 400 | 270 | 240 |
| E | 16-nov-88 | 13:50 | 58,0 | 4,8 | 4,40 | 4,53 | 4,58 | 0,71 | 0,69 | 420 | 410 | 340 | 265 |
| E | 16-nov-88 | 15:45 | 9,25 | 4,8 | 4,59 | 4,58 | 4,64 | 0,77 | 0,76 | 420 | 395 | 335 | 250 |
| E | 17-nov-88 | 11:30 | 9,00 | 5,2 | 4,59 | 4,58 | 4,65 | 0,78 | 0,80 | 410 | 400 | 360 | 290 |
| E | 18-nov-88 | 10:30 | 9,60 | 4,3 | 4,52 | 4,58 | 4,60 | 0,76 | 0,76 | 425 | 415 | 375 | 275 |
| RÅ | 4-nov-88 | 14:25 | | 4,1 | 4,47 | | | | | | | | |
| RÅ | 4-nov-88 | 15:15 | | 4,1 | 4,47 | 4,43 | 4,51 | 0,73 | 0,68 | 420 | 415 | 325 | 255 |
| RÅ | 5-nov-88 | 14:45 | | 4,6 | 4,46 | 4,49 | 4,51 | 0,63 | 0,65 | 430 | 420 | 320 | 265 |
| RÅ | 6-nov-88 | 14:30 | | 5,0 | 4,36 | 4,49 | 4,52 | 0,66 | 0,67 | 435 | 425 | 315 | 260 |
| RÅ | 7-nov-88 | 15:00 | | 3,8 | 4,46 | 4,50 | 4,55 | 0,65 | 0,68 | 430 | 415 | 325 | 275 |
| RÅ | 10-nov-88 | 13:00 | | 5,1 | 4,46 | 4,37 | 4,43 | 0,68 | 0,68 | 440 | 405 | 350 | 270 |
| RÅ | 14-nov-88 | 14:00 | | 4,2 | 4,37 | 4,45 | 4,50 | 0,66 | 0,68 | 420 | 405 | 345 | 285 |
| RÅ | 14-nov-88 | 17:30 | | 4,2 | 4,37 | 4,44 | 4,51 | 0,64 | 0,67 | 425 | 410 | 340 | 270 |
| RÅ | 15-nov-88 | 12:00 | | 4,3 | 4,43 | 4,49 | 4,54 | 0,74 | 0,68 | 425 | 400 | 280 | 250 |
| RÅ | 15-nov-88 | 14:15 | | 4,3 | 4,44 | 4,49 | 4,49 | 0,74 | 0,68 | 425 | 400 | 280 | 250 |
| RÅ | 16-nov-88 | 13:50 | | 4,8 | 4,39 | 4,47 | 4,49 | 0,65 | 0,65 | 425 | 405 | 360 | 265 |
| RÅ | 16-nov-88 | 15:45 | | 4,8 | 4,39 | 4,48 | 4,51 | 0,67 | 0,66 | 430 | 410 | 355 | 260 |
| RÅ | 17-nov-88 | 11:30 | | 5,2 | 4,45 | 4,44 | 4,52 | 0,65 | 0,68 | 415 | 410 | 360 | 280 |
| RÅ | 18-nov-88 | 10:30 | | 4,3 | 4,42 | 4,48 | 4,54 | 0,67 | 0,68 | 425 | 420 | 370 | 285 |