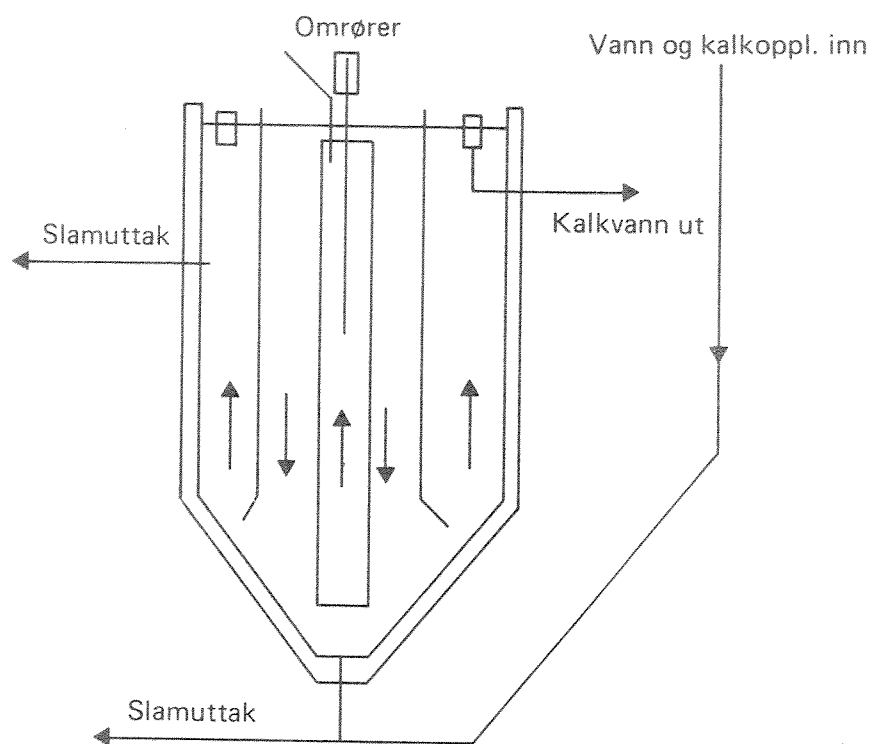


# RAPPORT 17|87

0-87016

## Forsøk med kalkbereder i kalkdoseringsanlegg



# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

**Hovedkontor**

Postboks 333  
0314 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80

**Sørlandsavdelingen**

Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 03 3

**Østlandsavdelingen**

Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 75 2

**Vestlandsavdelingen**

Breiviken 2  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.: 0-87016
Undernummer:
Løpenummer: <b>2046</b>
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:  Forsøk med kalkbereder i kalkdoseringsanlegg.  VA-17/87	Dato: September 1987
	Prosjektnummer: 0-87016
Forfatter (e):  Jens Arne Ohren	Faggruppe: VA-teknikk
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag): 86

Oppdragsgiver: Bergen kommune, Bærum kommune, Franzefoss bruk, Fredrikstad og omegn vannverk, IVAR, NIVA, Norsk Hydro Industrigass, Oslo kommune, Vansjø Vannverk, Vestfold Interkomm. Vannverk	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt: Ved økning av hydrauliske belastninger i berederen heves slamteppet i berederen. Denne hevingen av slamteppet resulterer i store partikkeløkninger i kalkvannet i toppen av berederen. Doseringer av dette kalkvannet til renvannet etter vannbehandlingen øker turbiditetsverdiene betydelig. Økningen kan være fra 0,15 FTU til hele 160 FTU. I de fleste forsøkene øker turbiditetsverdiene fra 0,5 til 2 FTU. Overflatebelastningene i berederen var fra 0,15 til 0,9 m/h.
---

4 emneord, norske:

1. Vannforsyning
  2. Vannbehandling
  3. Kalkdosering
  4. Vannkvalitet
- VA-17/87

4 emneord, engelske:

1. Water Supply
2. Water Treatment
3. Lime Dosage
4. Water Quality

Prosjektleder:

  
Jens Arne Ohren

For administrasjonen:

  
Oddvar Lindholm

  
Lasse Vråle

ISBN - 82-577-1302-3

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

OSLO

O-87016

FORSØK MED KALKBEREDER I KALKDOSERINGSANLEGG

Oslo, september 1987

Prosjektleder: Jens Arne Ohren  
Medarbeider: Hans Wold

## INNHALDSFORTEGNELSE

Forord.

Sammendrag.

1. Innledning
2. Beskrivelse av forsøksanlegget.
3. Forsøkene.

## FORORD

For reduksjon av korrosjon i ledningsnett for vannverk er tilsetning av hydratkalk og karbondioksyd ett av de mest aktuelle tiltak. Den prosesstekniske utformingen av et slikt anlegg er kostbar og noe komplisert.

NIVA er engasjert til å utarbeide en prosessteknisk beskrivelse av kalkdoseringsanlegget i karbonatiseringsanlegg. Kalkberederen er en av de viktigste delene i kalkdoseringsanleggene. Som grunnlag for dette arbeidet er forsøk utført med kalkberederen. Denne rapporten omhandler disse forsøkene.

Prosjektet er finansiert av følgende:

Bergen kommune.  
 Bærum kommune.  
 Franzefoss bruk.  
 Fredrikstad og omegn vannverk.  
 IVAR (Stavanger).  
 NIVA.  
 Norsk Hydro Industrigass.  
 Oslo kommune.  
 Vansjø Vannverk.  
 Vestfold Interkommunale Vannverk.

Hovedprinsippene for prosjektet er trukket opp av en styringsgruppe bestående av følgende personer:

Kaj Johansen	Bærum kommune.
Ivar Laulund	Franzefoss Bruk.
Jens Arne Ohren	NIVA
Torleif Hals	Norsk Hydro Industrigass.

En spesiell takk rettes til Vansjø Vannverk som har stilt en av vannverkets beredere til disposisjon og bygget opp et pilotanlegg for blanding av kalkvann med vann. Vannverkets personell har videre vært behjelpelig for gjennomføring av forsøkene.

Prosjektleder er Jens Arne Ohren som også har gjennomført forsøksarbeidet, databearbeidingen og rapporteringen av resultatene. Hans Wold ved Vansjø Vannverk har vært en viktig medspiller både i opplegget og i gjennomføringen av forsøkene.

Jens Arne Ohren

## SAMMENDRAG.

I de vanligste prosesser for karbonatisering av drikkevann er kalktilsetting til vannet nødvendig. Et viktig og kostnads-krevende element i kalkdoseringsanlegget er kalkberederen.

I dette prosjektet er forsøk gjennomført med berederen. Overflatebelastninger er variert fra 0.15 til 0.90 m/h.

Ved økninger i overflatehastigheten heves slamlaget i berederen. I noen av forsøkene heves slamlaget helt til overflaten i berederen.

Overflatehastigheten i berederen er den helt dominerende enkeltfaktoren for slamteppets stige-hastighet, men andre faktorer har også betydning. Disse er slampartiklenes størrelse og egenvekt, vannets viskositet m.v.

I forsøkene varierer slamteppets stige-hastighet fra 0 til 0.5 m/h, som tilsvarer fra 0 til 45 prosent av overflatehastigheten i berederen.

Hevingen av slamteppet resulterer i kraftige økninger i innholdet av suspendert stoff i kalkvannet i toppen av berederen. Økningen starter vanligvis lenge før slamteppet når overflaten i berederen og maksimumsnivået av suspendert stoff inntreffer like etter slamteppet har nådd overflaten. Da registreres verdier på opptil 480 mg SS/l i kalkvannet. I flere av forsøkene ligger maksimumsverdien på omkring 200 mg SS/l.

Det høye innholdet av suspendert stoff i berederoverflaten opprettholdes bare i kort tid før det reduseres til et betydelig lavere nivå. Reduksjonen skjer med bare noen få cm senkning av slamteppet og inntreffer også uten reduksjon i hydraulisk belastning i berederen. Det synes som om partikler vaskes ut av slammet i berederen.

I ett av forsøkene holdes overflatebelastningen i berederen konstant på 0.35 - 0.40 m/h gjennom store deler av forsøket. Slamteppet ligger da hele tiden ca. 85 - 90 cm under berederoverflaten og innholdet av suspendert stoff i berederoverflaten er ca 85 - 90 mg SS/l.

Utpumping av slam fra berederen medfører store og forbigående økninger i innholdet av suspendert stoff i kalkvannet i berederoverflaten. Etter noen timer stabiliseres vannkvaliteten og slamteppet senkes til et lavere nivå. Etter slamutpumpingen heves slamteppet saktere og påvirker vannkvaliteten mindre ved økninger i hydraulisk belastning gjennom berederen.

I et av forsøkene måles også turbiditet i kalkvannet i toppen av berederen. Resultatene viser gode sammenhenger med innhold av suspendert stoff.

2 og 5 meter under berederoverflaten, som også er et godt stykke nede i slamlaget, måles kalsiuminnhold på 8 - 25 g Ca/l. De laveste verdiene måles etter vesentlige reduksjoner av kalkdoseringen til berederen. I kalkvannet i berederoverflaten måles vanligvis kalsiuminnholdet til 550 - 650 mg Ca/l. Kalsiuminnholdet i slamlaget nede i berederen er m.a.o. 15 - 40 ganger høyere et enn i kalkvannet i toppen av den.

De kraftige økningene i innhold av suspendert stoff p.g.a. økningen i hydraulisk belastning, innebærer liten eller ingen økning i kalsiuminnhold i kalkoppløsningen i toppen av berederen. I enkelte tilfeller reduseres faktisk innholdet av kalsium ved økning av hydraulisk belastning. Partiklene i kalkoppløsningen i toppen av berederen har i liten grad kalsiumforbindelser knyttet til seg.

I kalkvannet i toppen av berederen måles innholdet av aluminium til 270 - 290 ug Al/l, mens det 2 - 5 meter nede i berederen er 250 - 430 mg Al/l. M.a.o. er konsentrasjonen 1000 - 2000 ganger høyere under slamteppet i berederen. Aluminiumsinnholdet i berederen stammer i all hovedsak fra aluminiumsforbindelser i hydratkalken, mens aluminiumsinnholdet i kalkvannet stammer både fra hydratkalken, råvannet og aluminiumsdoseringen i renseprosessen.

Dosering av 1 - 3 prosent kalkvann til forsyningsvann gir store økninger i turbiditetsverdier i vannet. Økningene i turbiditet følger i hovedsak forløpet i suspendert stoff i berederen. Ved små og stabile hydrauliske belastninger i berederen øker turbiditetsverdiene i vannet relativt lite. F.eks. kan økningen være fra 0.15 FTU i tilførselsvannet til 0.4 FTU i vannet etter dosering av kalkvann. Ved økninger og/eller høyere belastninger i berederen kan turbiditetsverdiene komme opp i 0.8 - 2.5 FTU. I to av forsøkene registreres kortvarige topper i turbiditet på hele 160 FTU i vannet etter innblanding av kalkvann. Denne verdien er over 300 ganger høyere enn grenseverdien for turbiditet i godt drikkevann.

Etter en relativt kortvarig topp i turbiditet reduseres den noe. Reduksjonen inntreffer også uten reduksjon i hydraulisk belastning. Reduksjonen kan f.eks. skje når slamteppet i berederen synker sakte.

Økt dosering av kalkvann til tilførselsvannet gir høyere turbiditetsverdier.

Små turbiditetsverdier i vannet etter kalkvannstilsetting reduseres ikke nevneverdig etter 2 - 3 timers oppholdstid. Store turbiditetsverdier reduseres imidlertid noe. Denne reduksjonen forårsakes delvis av sedimentering og delvis av en utflating av toppene. Alle forsøkene gjøres uten tilsetting av karbondioksyd. Karbondioksyddosering til vannet før kalkvannstilsetningen vil i noen grad løse opp kalkpartiklene og redusere turbiditetsverdiene.

Kalsiuminnholdet i vannet etter kalkvannstilsetting følger forløpet til kalsiuminnholdet i berederen. Konsentrasjonen er selvsagt betydelig mindre. De tidvis store økningene i turbiditet fører ikke til vesentlige økninger i kalsium. Vanligvis er innholdet av kalsium mellom 18 og 25 mg Ca/l og i enkelte tilfeller er innholdet høyere. En stor del av kalsiuminnholdet kommer fra tilførselsvannet og ikke fra kalkvannet i berederen.

#### HOVEDKONKLUSJON:

Resultatene viser at selv lave hydrauliske belastninger i berederen for kalkdoseringsanlegg gir store turbiditetsøkninger i vann tilsatt kalkopløsning.



## 1. INNLEDNING

De aller fleste norske vannverk har råvannskvaliteter med lavt karbonatinnhold og tidvis lave pH-verdier. P.g.a. den stadige tilførselen av sur nedbør er det ingen tegn til bedring av denne situasjonen.

Vannverkernes ledningsnett av betong, asbest-cement, forskjellige metaller m.v. er sterkt utsatt for sure og kalsiumfattige råvannskvaliteter. Den innvendige korrosjon på rørene kan øke sterkt og forårsake flere uheldige effekter. Noen av disse er:

- Svekket rørstyrke.
- Minsket rørtverrsnitt (ubeskyttede jernrør).
- Redusert vannkvalitet.

Den samlede gjenskaffelsesverdien av ledningsnettet til vannverkene er trolig flere titalls milliarder kroner. Forfallet i ledningsnettet kan derfor ha stor økonomisk betydning ved siden av redusert vannkvalitet.

I de senere år er flere forskningsprosjekter igangsatt omkring dette forfallet, og tiltak for å redusere det. Tilsetning av karbondioksyd og hydratkalk er av de tiltak det er fokusert sterkt på. Metoden benyttes mye i Sverige og Finland for korrosjonsreduksjon og er en av de mest interessante alternativer for større vannverk i Norge.

Dosering av karbondioksyd er relativt ukomplisert, men doseringen av hydratkalk kan innebære en rekke driftsproblemer. Kalkdoseringsprosessen er videre kostbar og kan resultere i en uheldig påvirkning av vannkvaliteten.

Undersøkelser av 7 eksisterende kalkdoseringsanlegg på vannverk, utført av NIVA (1), viste at kvaliteten på anleggene er variabel, og i mange tilfeller svært dårlig.

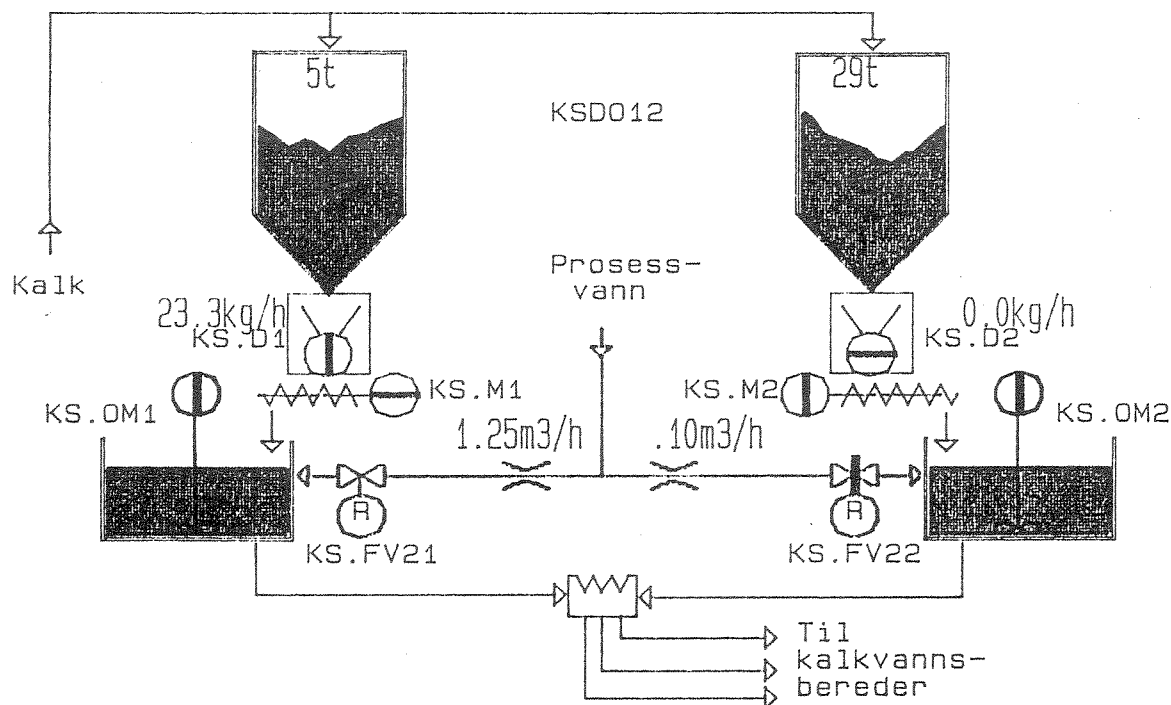
Flere av de største vannverkene i Norge har planer om bygging av kalkdoseringsanlegg i løpet av de nærmeste år. Prosessutforming av et slikt anlegg er imidlertid langt fra avklart. Beredrne er ett av de viktigste elementene i et kalkdoseringsanlegg. Arealene og byggevolumene for disse berederne er svært store og byggekostnadene kan komme opp i betydelige beløp. Det finnes eksempler på at arealene for kalkberedere og lagertanker utgjør nesten 50 prosent av filterarealene for et direktefiltreringsanlegg. P.g.a. de store høydene på beredrne er den tilsvarende prosentandelen for byggevolumet enda større.

Dette er bakgrunnen for at forsøk med ulike hydrauliske belastninger på berederen er gjennomført. I forsøkene er en rekke spørsmål belyst og mange interessante opplysninger framkommet. Prosjektet har imidlertid svært begrensede økonomiske ressurser og det var ikke mulig å gå inn på alle de uavklarte spørsmål. Det gjenstår derfor fortsatt en del forskning før kalkdoseringsprosessen kan anses å være tilfredsstillende.

## 2. BESKRIVELSE AV FORSØKSANLEGGET

I forsøket er vannverkets to kalksiloer, to blandtanker og en av de tre kalkberedere benyttet. I tillegg er et pilotanlegg bestående av 4 tanker oppbygd for å studere de effektene kalkvannstilførselen har på vannkvaliteten.

Figur 1 viser flytskjema for de to kalksiloene og blandtanken for kalk og vann. Kun en av kalksiloene er i bruk av gangen. Kalken i pulverform mates ut av kalksiloen og blandes med vann i blandtanken under kontinuerlig omrøring. Utblandingen av kalk skjer proporsjonalt med vanntilførselen slik at konsentrasjonen blir tilnærmet konstant. I øyeblikket figuren tegnes ut, blandes 23.3 kg kalk pr. time med 1.25 m<sup>3</sup> vann pr. time til konsentrasjonen 18.6 g/l. Denne konsentrerte oppløsning fordeles til de tre beredne gjennom en overløpskasse.



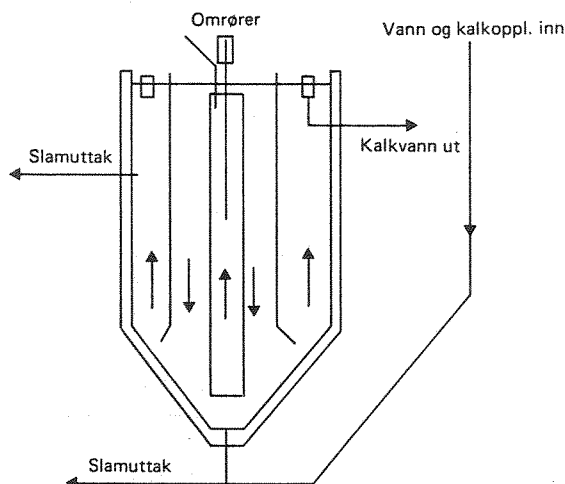
Figur 1. Flytskjema for kalksilo og blandtank.

Kalkberederen vises i figur 2. En av vannverkets tre beredere benyttes til forsøkene. Berederen er lagd av betong og har pyramidisk utformet bunn. Sentrisk inne i berederen er to stålsylindere vertikalt plassert utenpå hverandre. I sentrum av innerste stålsylinder er en omrører montert. Denne omrøreren gir en vertikal oppadrettet strøm i indre sylinder og en vertikal nedadrettet strøm i ytre sylinder. Kalkoppløsningen tilføres berederen i øverste del av indre sylinder. Den vertikale og oppadrettede strømmen trekker vann opp fra bunnen av berederen og reduserer sedimenteringen av partikulært materiale. Kalkoppløsningen tvinges så over kanten til ytre sylinder hvor den nedadrettede strømmen fører kalkoppløsningen til bunnen i berederens ytre del. Her utblandes kalkoppløsningen ytterligere med vann og stiger så opp mot berederoverflaten og trekkes av i toppen av berederen.

Vann tilføres i bunnen av berederen og resulterer i en vertikal oppadrettet strøm her. Denne strømmen reduserer sedimenteringen av lettere partikler og øker turbulensen slik at kalkutnyttningen bedres.

Et stykke under overflaten i berederen samles store slammengder. I toppen av berederen er imidlertid kalkoppløsningen vanligvis klar. Skille mellom disse er markert og kalles i det etterfølgende slamteppet.

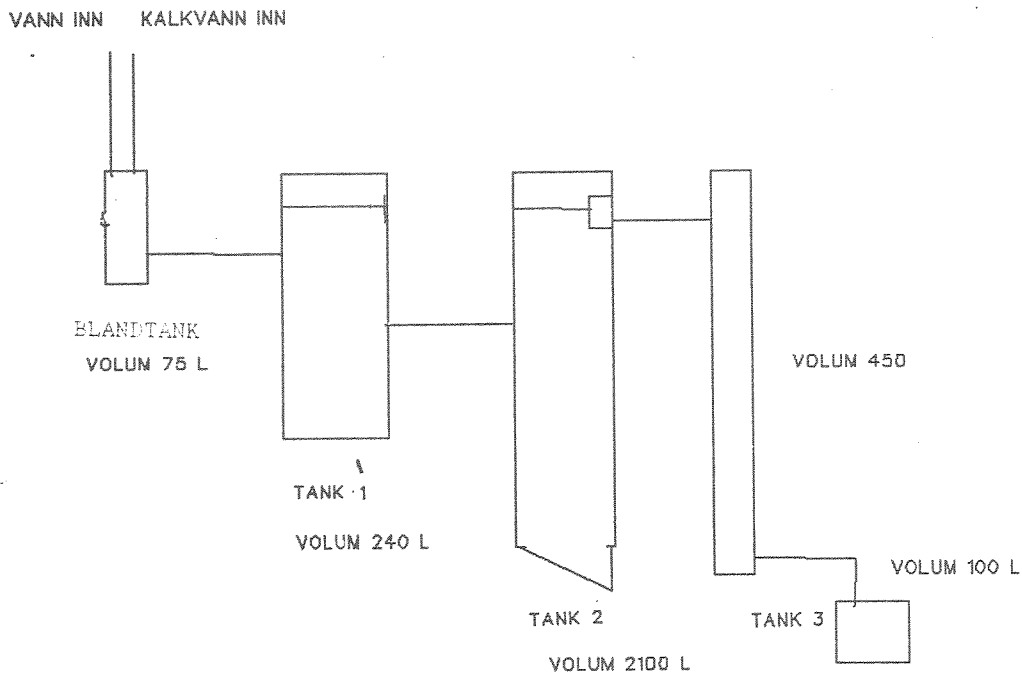
Tilførselen av vann og kalkoppløsning til berederen styres proporsjonalt slik at hydratkalktilførselen til berederen vanligvis er 1.5 g/l. På slutten av de siste forsøkene er imidlertid hydratkalktilsetningen noe mindre enn vanntilførselen. Konsentrasjonen av kalkoppløsningen til berederen blir derfor noe mindre enn ovennevnte.



Figur 2. Flytskjema for bereder.

Pilotanlegget for innblanding av kalkoppløsning og vann vises i figur 3. Kalkoppløsningen tas ca. 5 cm under overflaten i berederen og pumpes over til en blandtank. I denne tanken blandes kalkoppløsning med vann fra vannverkets kullfiltre. Vann fra kullfiltrene har vanligvis svært lav turbiditet. En omrører montert på blandtanken sikrer god innblanding mellom vann og kalkoppløsning. Etter blandtanken passerer vannet gjennom tankene 1, 2 og 3. Prøver tas ut fra innløpet til tank 1 og fra utløpet til tank 2 og 3.

Dette pilotanlegget simulerer effekten av tilførsel av kalkoppløsning på renvannskvaliteten i et vannverk.



Figur 3. Flytskjema av pilotanlegg for blanding av kalk og vann.

### 3. FORSØKENE

Hovedhensikten med forsøkene var å undersøke de effekter ulike hydrauliske belastninger i berederen har på kalkvannskvaliteten i berederen, og videre på vannkvaliteten etter innblanding av kalkopløsningen.

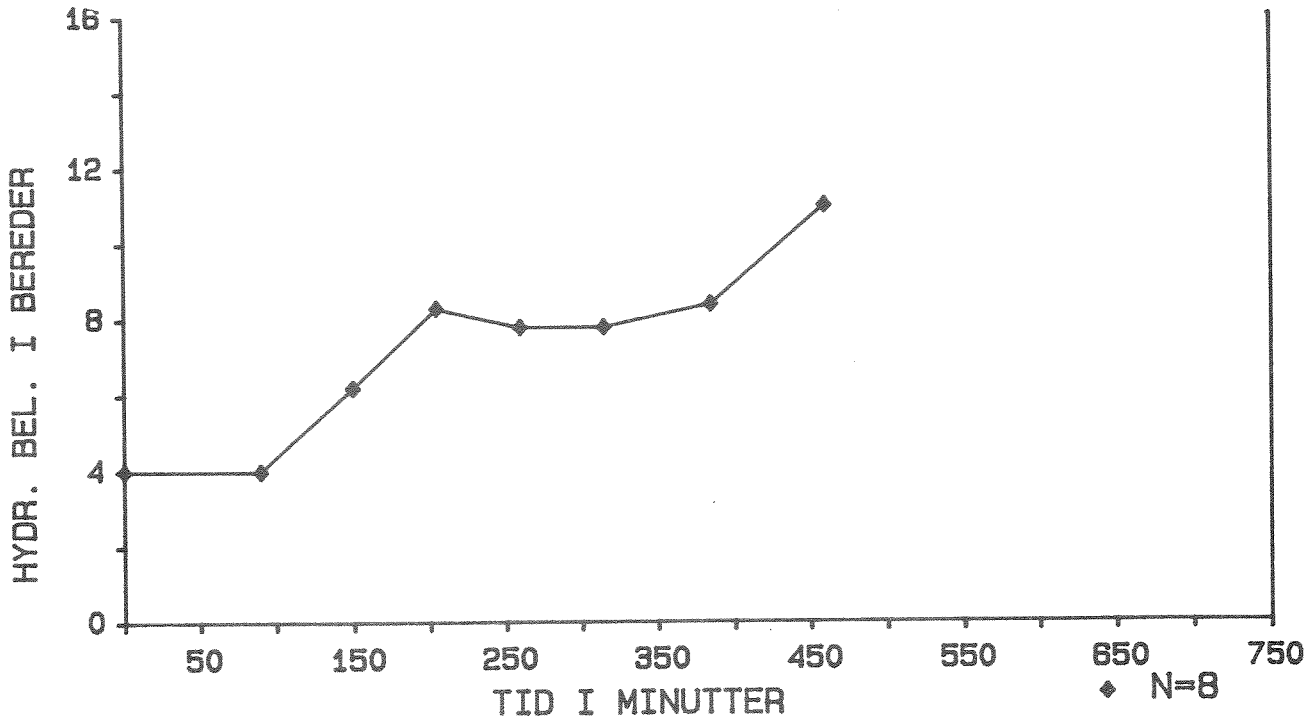
I alt 6 forsøk er gjennomført hvor de hydrauliske belastningene på berederen varieres. Vanligvis er den hydrauliske belastningen liten i begynnelsen av hvert forsøk og øker utover i undersøkelsen. I noen tilfeller reduseres hydraulisk belastning helt på slutten av forsøkene.

I flere av forsøkene økes hydraulisk belastning raskt. I mange vannverk vil denne økningen ta noe lengre tid.

#### 3.1. Forsøk 1

##### 3.1.1. Hydraulisk belastning.

Figur 4 viser den hydrauliske belastningen i berederen i dette forsøket. Belastningen er i starten av forsøkene helt nede i 4 m<sup>3</sup>/h. På dette nivået har den for øvrig ligget i 6 timer før forsøket startes. Belastningen øker utover i forsøket og havner på ca. 11 m<sup>3</sup>/h. Disse belastningene tilsvarer overflatebelastninger på henholdsvis 0.18 og 0.5 m/h.

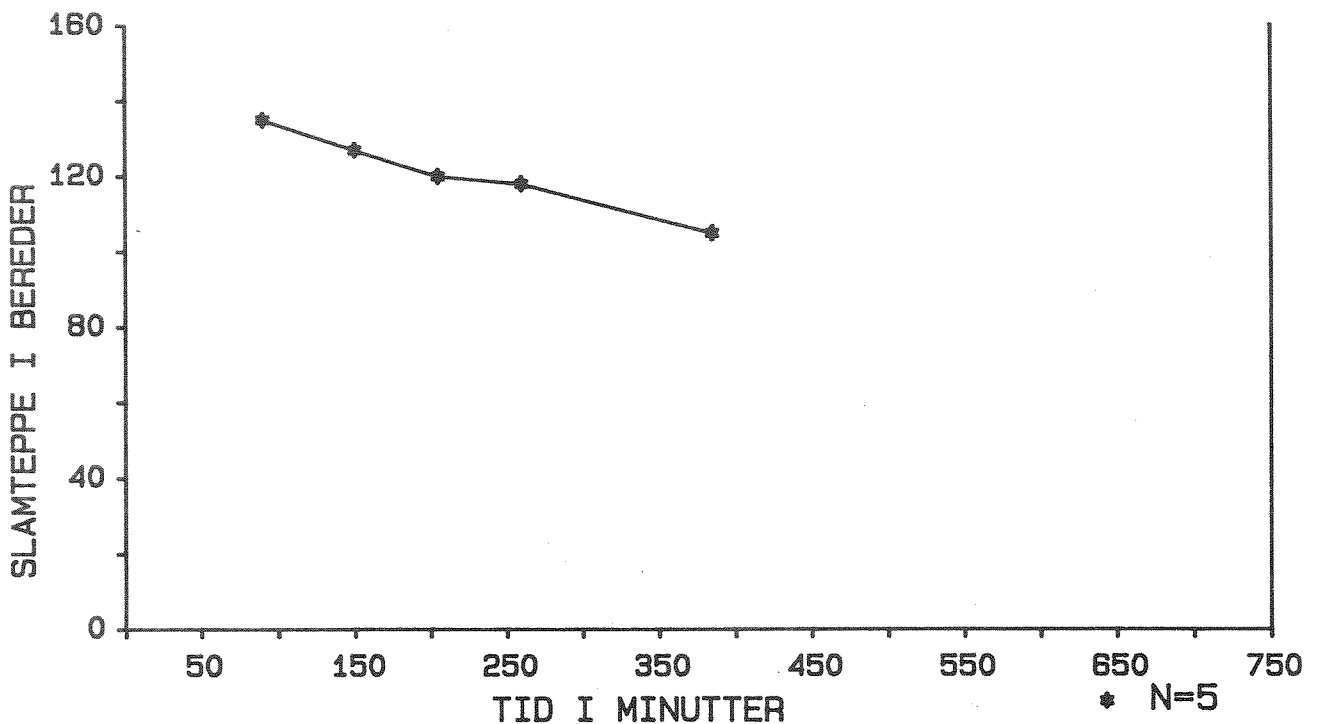


Figur 4. Hydraulisk belastning i berederen i m<sup>3</sup>/h.

### 3.1.2. Slamteppe i berederen.

Slamteppet i berederen balanseres mellom gravitasjonskrefter og skjærkrefter fra den vertikale vannstrømmen. Gravitasjonskreftene fører til sedimentering av partikulært materiale, mens skjærkreftene fra vannstrømmen holder partiklene svevende. En forskyvning i forholdet mellom disse to kreftene fører til endringer i nivået på slamteppet. F.eks. kan økt vanngjennomstrømning heve slamteppet.

De ulike partiklene oppfører seg noe forskjellig. Generelt heves de minste partiklene med lav egenvekt lettest i berederen. Vanntemperaturen har også betydning ved at lavere vanntemperaturer fører til økt viskositet og økte skjærkrefter mellom vannet og partiklene og raskere stigning av slamteppet.

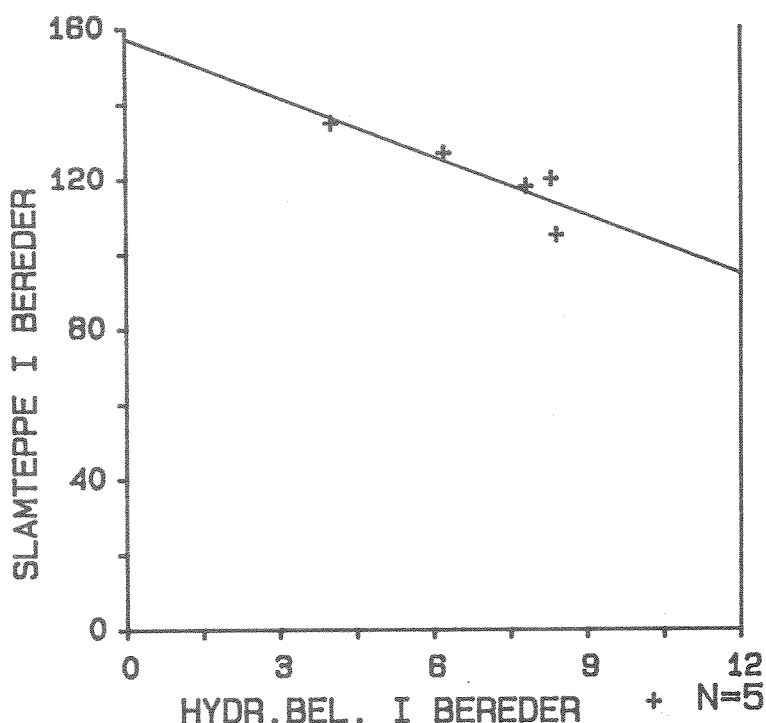


Figur 5. Nivået på slamteppet i berederen i cm fra berederoverflaten.

Høyden på slamteppet i berederen vises i figur 5. Som det framgår av figuren, heves slamteppet fra ca. 135 til 107 cm under berederoverflaten. Stigehastigheten på slamteppet er jevn og ligger i gjennomsnitt på 0.06 m/h som er mellom 12 og 30 prosent av overflatastigheten i berederen.

Endringen i nivået på slamteppet skjer i samsvar med endringen i vannstrømmen og er direkte forårsaket av denne. Figur 6 viser sammenhengen mellom hydraulisk belastning og nivået på slamteppet. Den lineære sammenhengen mellom disse parametre er meget god.

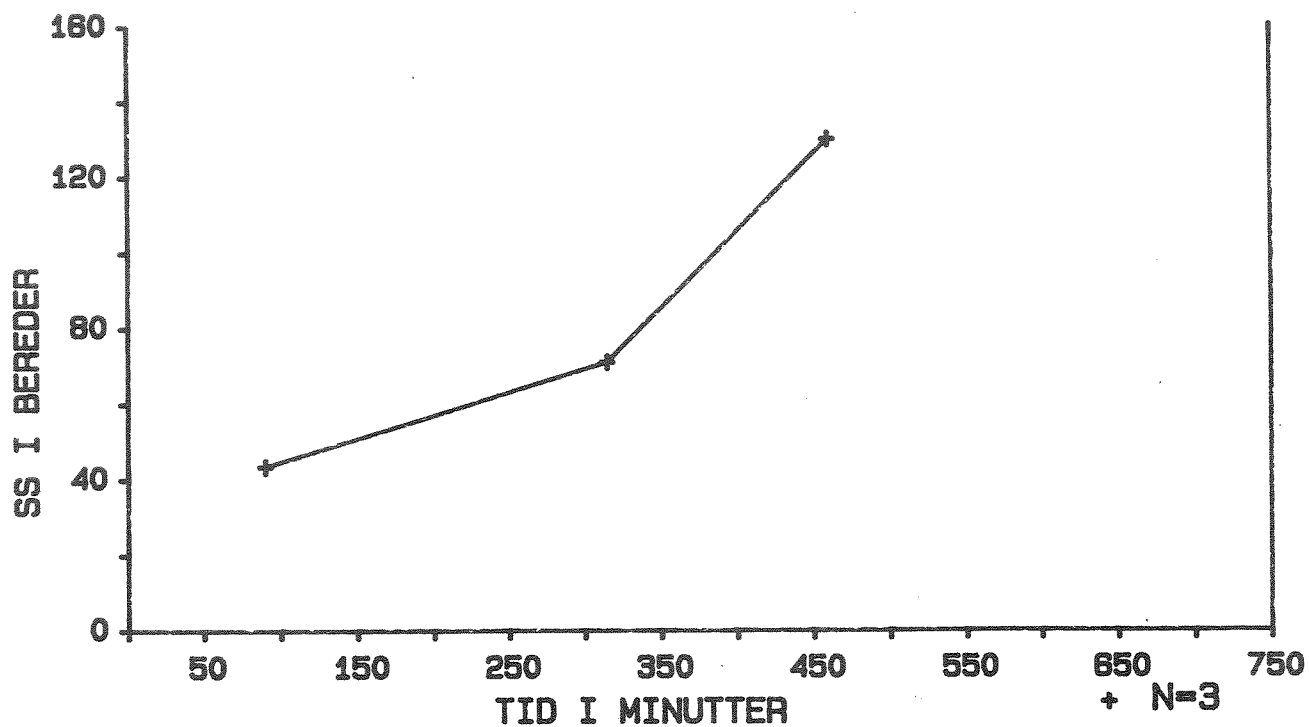




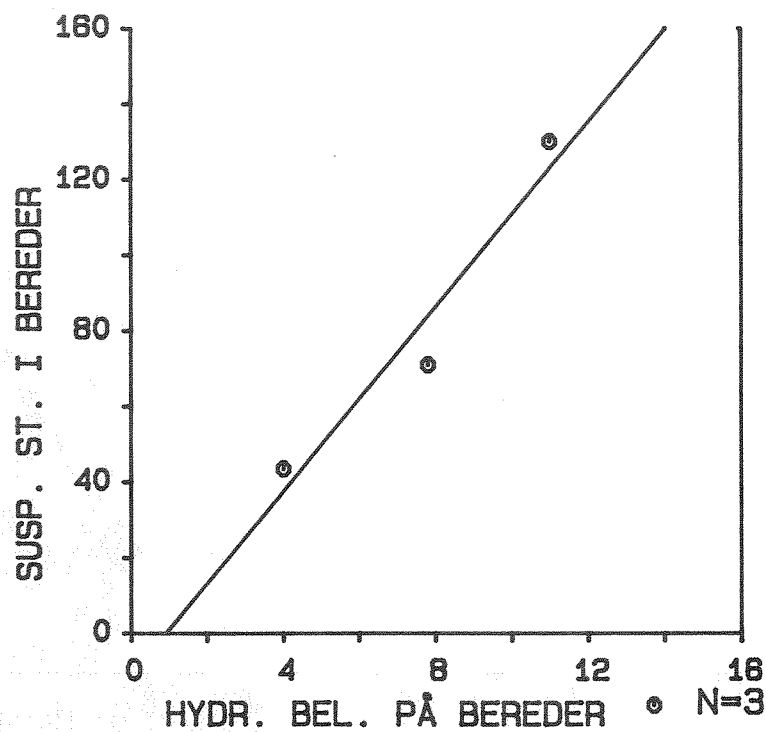
Figur 6. Sammenheng mellom hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h i berederen og nivå på slamteppet i cm.

### 3.1.3. Suspendert stoff.

Innholdet av suspendert stoff i berederen vises i figur 7. Selv om slamteppet på slutten av forsøket ligger mer enn 1 meter under vannoverflaten i berederen, fører likevel økningen i hydraulisk belastning til økning i innholdet av suspendert stoff i toppen av berederen fra 40 til 140 mg SS/l. Resultatene tyder på at økningen i suspendert stoff i stor grad skyldes partikulært materiale med liten diameter og relativt liten spesifikk vekt i forhold til partiklene nede i berederen.



Figur 7. Suspendert stoff i mg SS/l i toppen på berederen.



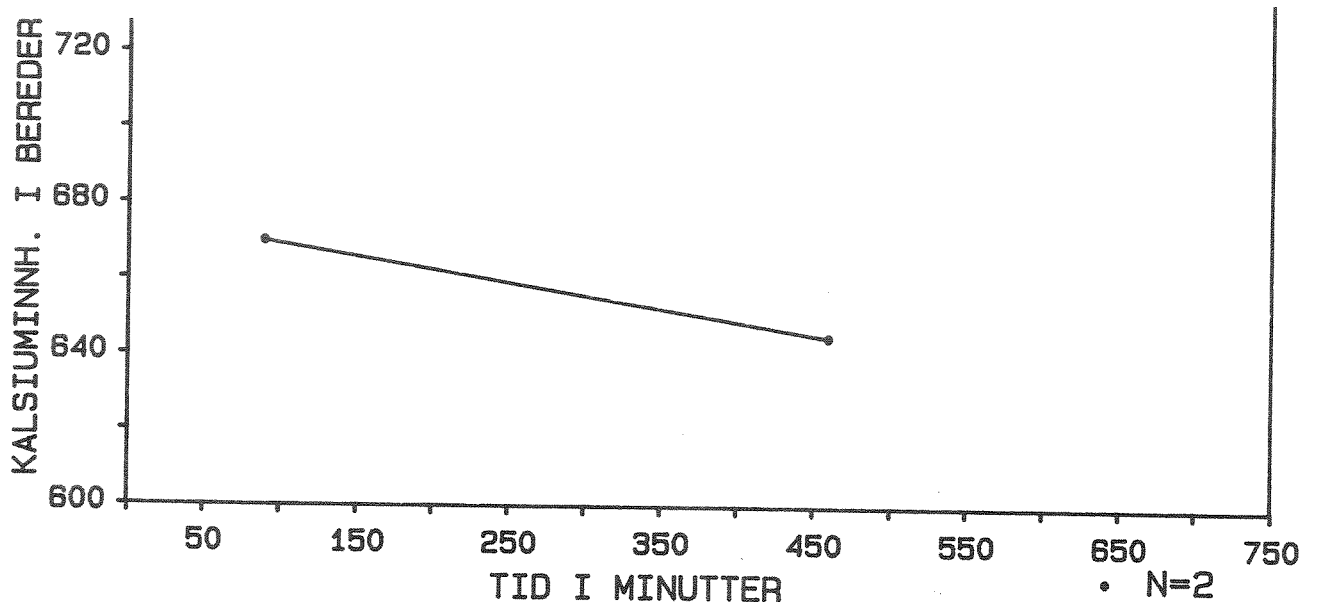
Figur 8. Sammenhengen mellom hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h og suspendert stoff i mg SS/l i toppen av berederen.

Sammenhengen mellom hydraulisk belastning i berederen og innholdet av suspendert stoff helt i toppen av berederen vises i figur 8. Sammenhengen mellom parameterene synes meget god. Det bemerkes imidlertid at antall målinger er noe lite for en tilfredstillende statistisk korrelasjon.

#### 3.1.4. Kalsium og aluminium i berederen.

Dagen før start av dette forsøket måles kalsiuminnholdet 2 og 5 meter under berederoverflaten til henholdsvis 20 og 25 g Ca/l. Disse verdiene er 30 - 40 ganger større enn konsentrasjonen i kalkvannet på toppen av berederen i det samme tidspunkt. Resultatene viser klart den store oppkonsentrasjon av kalsiumforbindelser som skjer nede i berederen. En viss økning i kalsiuminnholdet registreres mot bunnen av berederen, men sett i forhold til kalsiuminnholdet i toppen på berederen er forskjellen i slamlaget relativt liten. Før prøveuttaket er ikke slam tappet fra berederen på flere måneder, utenom de daglige uttakene helt i bunnen på berederen, som varer i ca. 10 sekunder. En betydelig slamakkumulering skjer derfor i berederen i løpet av denne tiden. Like etter uttakene av prøvene og ca. 15 timer før forsøkene startes, tappes store slammengder ut av berederen. Uttappingen fører til en senkning av slamteppet.

Fra 2 og 5 meters dyp i berederen (under slamteppet) måles aluminiumsinnholdet til henholdsvis 290 og 435 mg Al/l. Innholdet er 3-4000 ganger høyere enn drikkevannskravene for fullrenset vann. I ikke fullrenset drikkevann foreligger ikke grenseverdier for aluminium. Innholdet er imidlertid ca. 1000-10000 ganger høyere enn innholdet av aluminium i vanlig norsk overflatevann. Det er sterke diskusjoner om aluminiumets helsemessige betydning og drikkevannets bidrag til menneskets eksponering. Selv om kun 1 prosent slamvann blandes i renvannet, kan likevel bidraget fra slamteppet bli betydelig. Uttaket av kalkvann skal imidlertid alltid skje over slamlaget hvor aluminiumsinnholdet bare er omkring 1 promille av innholdet i slamlaget. Ved økninger eller for store hydrauliske belastninger i berederen heves imidlertid slamteppet, og slamflukt inntreffer i større eller mindre grad.



Figur 9. Kalsiuminnhold mg Ca/l i toppen av berederen.

Figur 9 viser kalsiuminnholdet i toppen av berederen i løpet av forsøket. En reduksjon fra ca. 670 til 645 mg Ca/l skjer mellom begynnelsen og slutten av forsøket. Denne reduksjonen er interessant fordi de store mengder kalsiumforbindelser under slamteppet i liten grad influerer på kalsiuminnholdet i toppen av berederen. Resultatene tyder på at de partikulære kalsiumforbindelsene under slamteppet har høy spesifikk vekt, som i liten grad påvirkes av økninger i hydraulisk belastning.

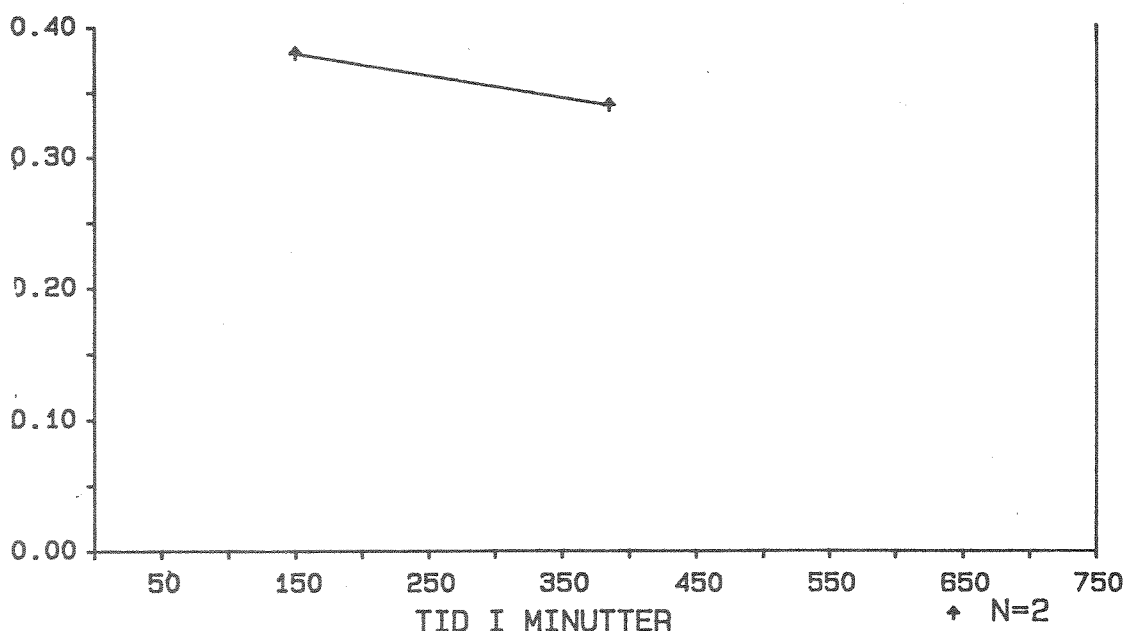
Resultatene viser også at partiklene i kalkvannet i liten grad har kalsium knyttet til seg.

I dette forsøket endres hydratkalkdoseringen sammen med endringene i hydraulisk belastning gjennom berederen. Dette innebærer at hydratkalkkonsentrasjonen holdes konstant inn til berederen. Målingene av konduktivitet i lagertanken for kalkopløsning (etter berederen) viser svært jevne verdier og bekrefter dette.

### 3.1.5. Kalkoppløsning til tankene 1, 2 og 3.

Tilførselsvannet tas etter kullfilteret i vannbehandlingsanlegget og ledes til blandtanken og videre gjennom tankene 1, 2 og 3. Vannmengden er konstant 18 l/min. Kalkoppløsningen tas ca 5 cm under overflaten i berederen og ledes til blandtanken hvor det blandes i vannet under kraftig omrøring.

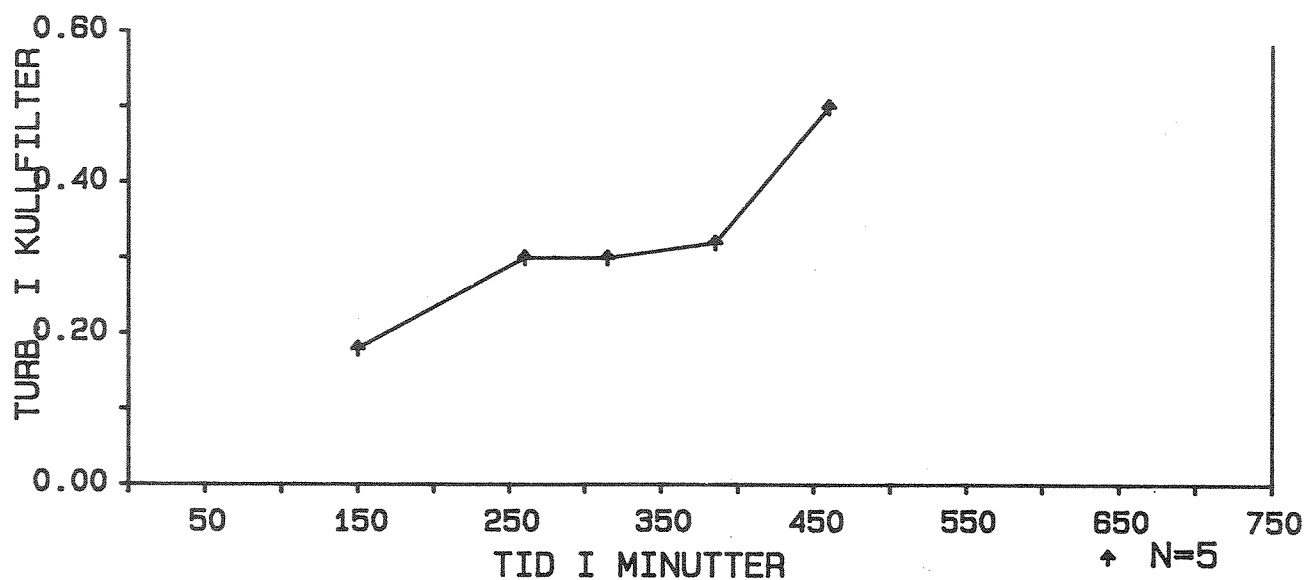
Figur 10 viser tilførselen av kalkoppløsning til blandtanken. En svak reduksjon fra ca. 0.40 til 0.35 l/min skjer under forsøket. Denne endringen har selvsagt betydning for kalsium, turbiditet, suspendert stoff m.v. i tankene.



Figur 10. Tilførsel av kalkoppløsning i l/min til tankene 1, 2 og 3.

### 3.1.6. Turbiditet i tilførselsvann til blandtank.

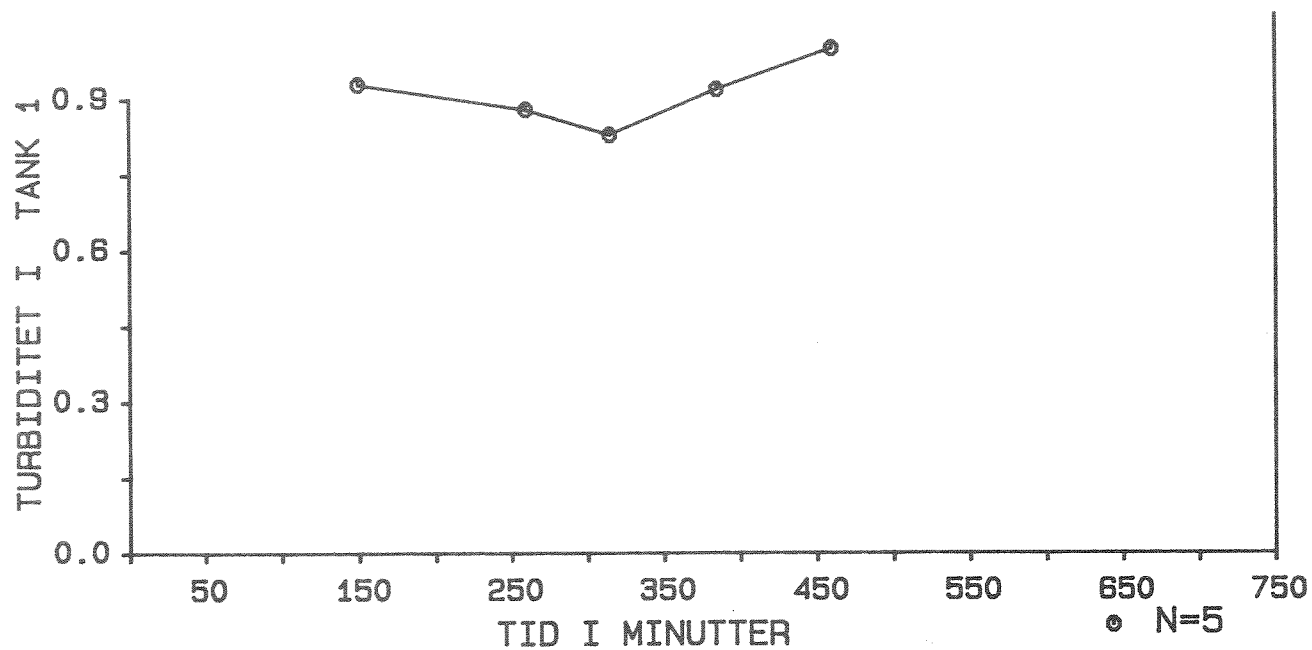
Figur 11 viser turbiditet i tilførselsvannet til blandtanken. Som nevnt tas dette vannet etter kullfiltreringen i behandlingsanlegget og har derfor meget bra kvalitet. Turbiditetsverdiene ligger vanligvis omkring 0.15 - 0.25 FTU i dette vannet. I begynnelsen av dette forsøket er turbiditetsverdiene ca 0.20 FTU og øker gradvis utover i forsøket og ender på hele 0.5 FTU i slutten av det.



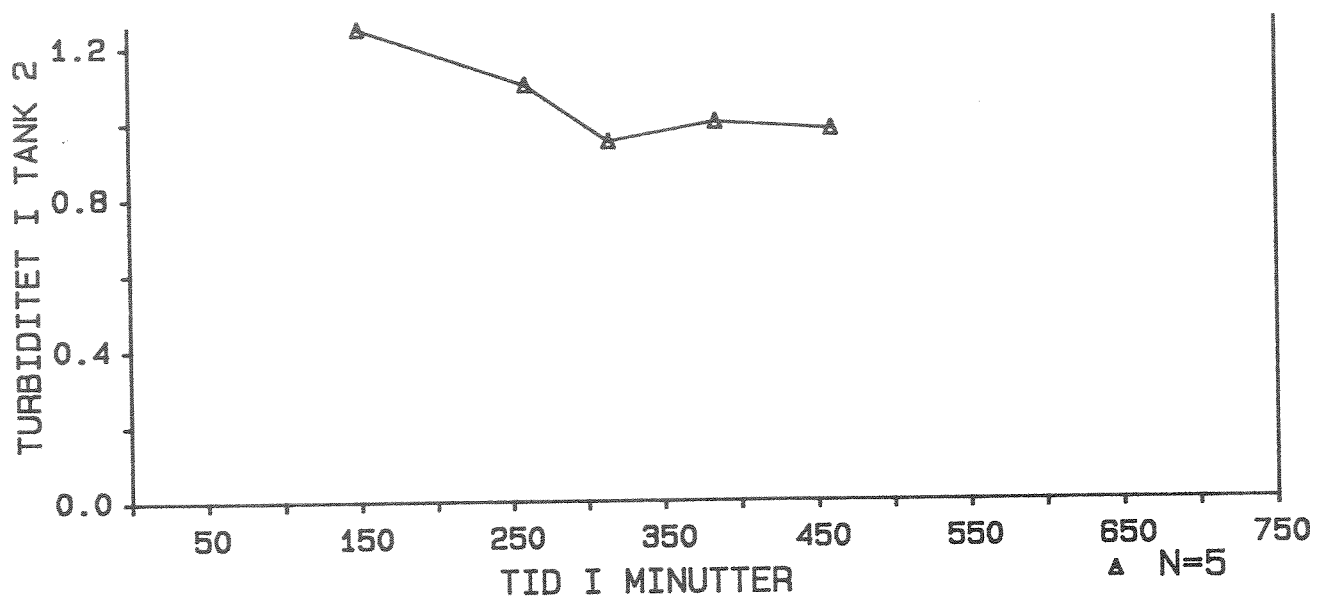
Figur 12. Turbiditet i FTU i vann til tankene 1, 2 og 3.

### 3.1.7. Turbiditet i tankene 1, 2 og 3.

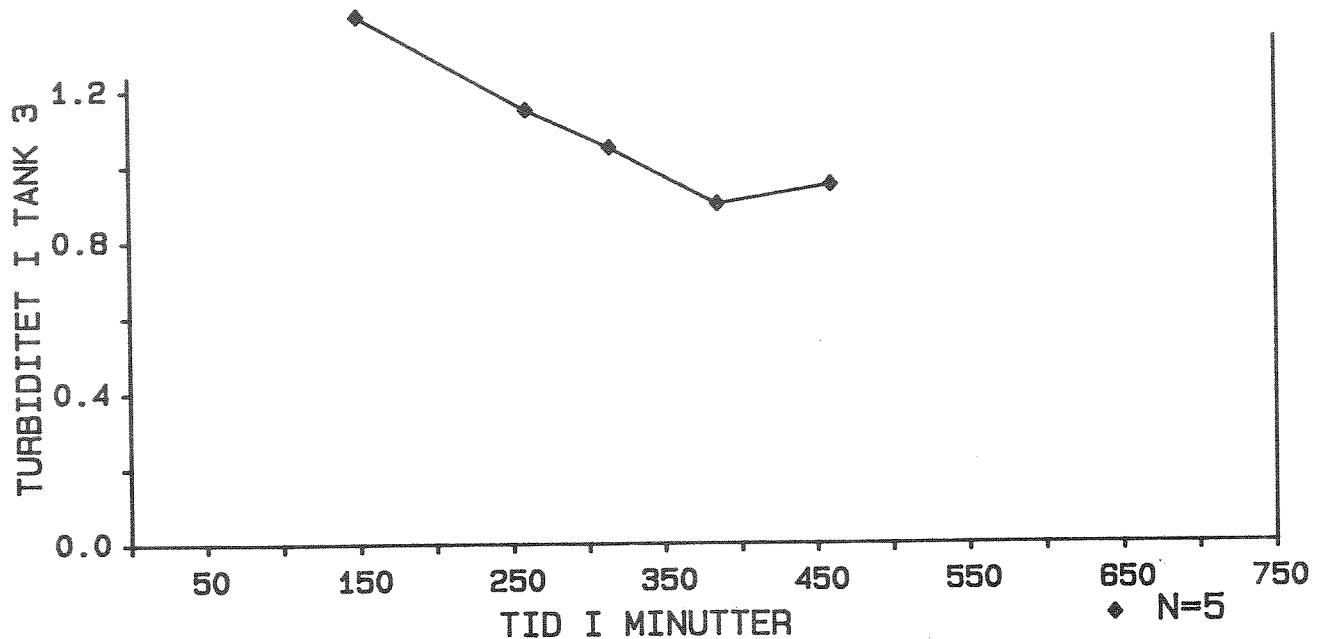
Flere forhold påvirker turbiditetsverdiene i tankene 1, 2 og 3. Den dominerende faktor er partikkelinnholdet i kalkoppløsningen fra berederen. En annen faktor av betydning er blandingsforholdet mellom kalkvann og vann fra kullfilteret. Ved små turbiditetsverdier i tankene 1, 2 og 3, spiller turbiditetsverdien i kullfiltrert vann også en viss rolle.



Figur 13. Turbiditet i FTU i tank 1.



Figur 14. Turbiditet i FTU i tank 2.



Figur 15. Turbiditet i FTU i tank 3.

Figurene 13, 14 og 15 viser turbiditetsverdiene i henholdsvis tankene 1, 2 og 3. I tank 1 varierer turbiditetsverdiene mellom 0.85 og 1 FTU. En svak økende tendens registreres mot slutten av undersøkelsen, som trolig hovedsakelig skyldes økt partikkelinnhold i kalkoppløsningen. Som tidligere vist endres innholdet av suspendert stoff i kalkvannet fra 40 i begynnelsen av forsøkene til ca. 140 mg SS/l helt mot slutten. Denne endring har betydning for turbiditetsverdiene i tankene.

Gjennom forsøket øker også turbiditetsverdiene i kullfiltrert vann betydelig, som bidrar til økte turbiditetsverdier i tankene. Gjennom forsøket reduseres imidlertid tilførselen av kalkvann til tankene, som reduserer turbiditetsverdiene.

I tank 2 reduseres turbiditetsverdiene i den første tiden av forsøket til omkring 1 FTU. Deretter ligger den stabilt på dette nivået i resten av forsøket. Reduksjonen skyldes trolig forstyrrelsen fra slamtappingen i berederen ca. 15 timer tidligere, som forårsaket store økninger i partikkelinnholdet i berederen. Den samme tendens sees også i tank 1 i begynnelsen av forsøket. Mellom innløpet til tank 1 og utløpet til tank 2 er vannvolumet ca. 2350 liter som gir 2.1 timers teoretisk oppholdstid. Mellom disse tankene er det derfor en forsinkelse i reaksjonene. Det tar derfor 1.5 - 3 timer før endringer i tank 1 registreres i tank 2.



Mot slutten av forsøket skjer det en viss utflatning i turbiditetsverdiene i tank 2, som delvis skyldes partikkelinnholdet i tilførselsvannet.

I tank 3 skjer også reduksjon i turbiditet i den første delen av undersøkelsen. Forklaringen er trolig også her slamtappingen fra berederen 15 timer før forsøkets start. Reduksjonen i turbiditet avtar langt senere i tank 3 enn i tank 2. Dette har naturligvis sammenheng med oppholdstiden mellom utløpet av tank 2 og tank 3.

Det er også interessant å legge merke til at minimumsverdien på ca. 0.9 FTU forskyver seg fra tank 1, gjennom tank 2 og videre til tank 3. I liten grad reduseres minimumsverdiene gjennom tankene p.g.a. sedimentering og oppløsning av hydratkalk i vannet.

#### 3.1.8. Kalsium i tank 1.

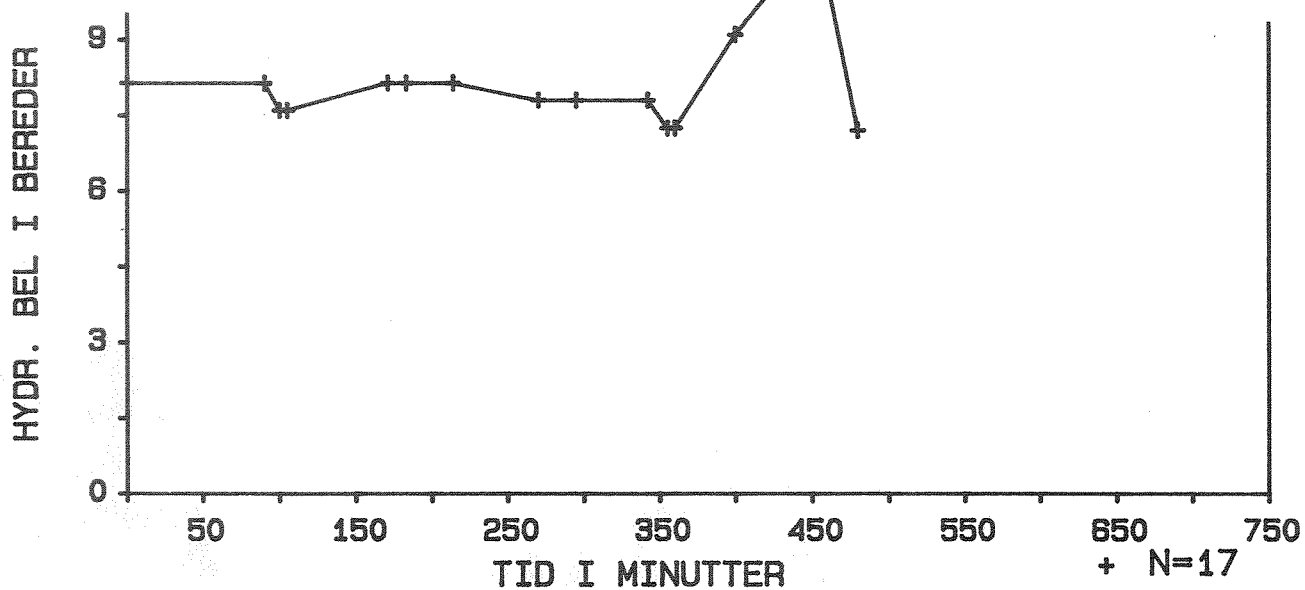
Figur 16 viser innholdet av kalsium i tank 1. En meget svak økning registreres utover i forsøket. Dette skjer på tross av både reduksjon i kalsiumkonsentrasjonen og tilførselen av kalkoppløsning fra berederen. Årsaken ligger derfor ikke i disse forhold. Tilførselsvannet har derimot et betydelig kalsiuminnhold i alle disse forsøkene. Hvilke mengder er i dette forsøket ukjent, men trolig skyldes økningen i kalsiuminnholdet i tank 1 en mulig økning i kalsiuminnholdet i tilførselsvannet.

### 3.2. Forsøk 2.

Dette forsøket starter med en lav hydraulisk belastning i berederen som øker utover i forsøket.

#### 3.2.1. Hydraulisk belastning på berederen.

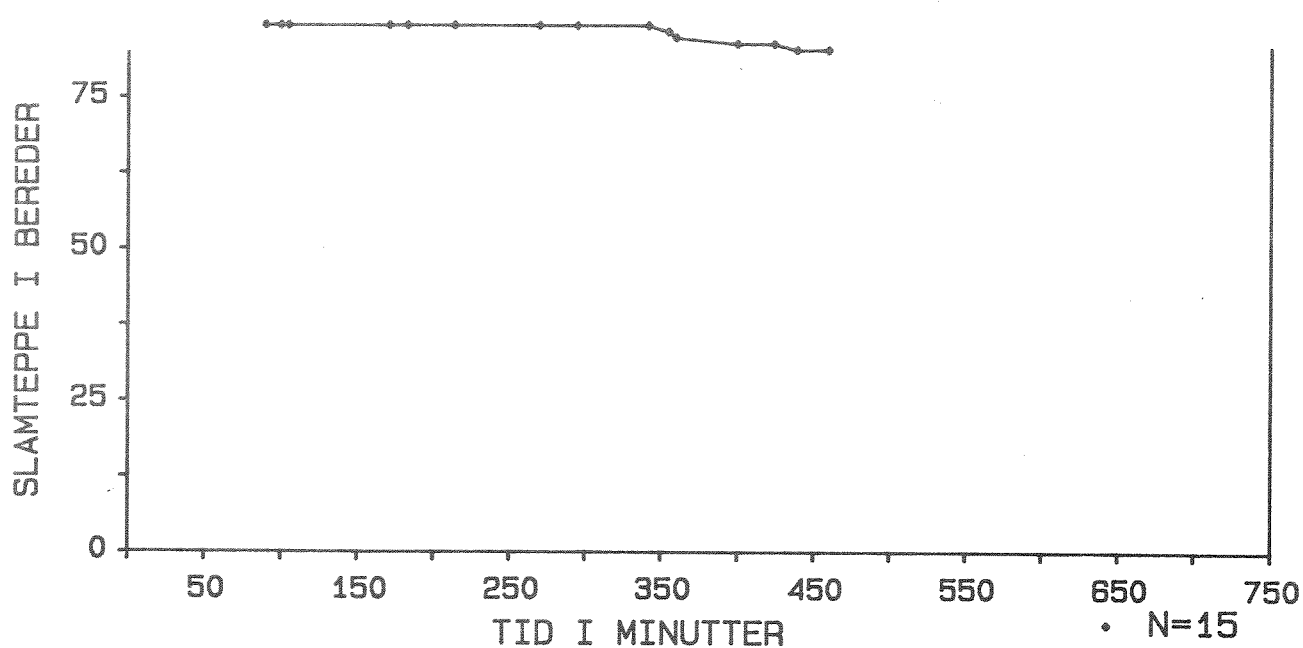
Figur 17 viser hydraulisk belastning i berederen. Belastningen ligger i store deler av forsøket svært jevnt på omkring 8 m<sup>3</sup>/h som tilsvarer en overflatebelastning på omkring 0.35 m/h. 350 minutter ute i forsøket øker belastningen til ca. 10.5 m<sup>3</sup>/h eller 0.45 m/h.



Figur 17. Hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h i berederen.

### 3.2.2. Slamteppe i berederen.

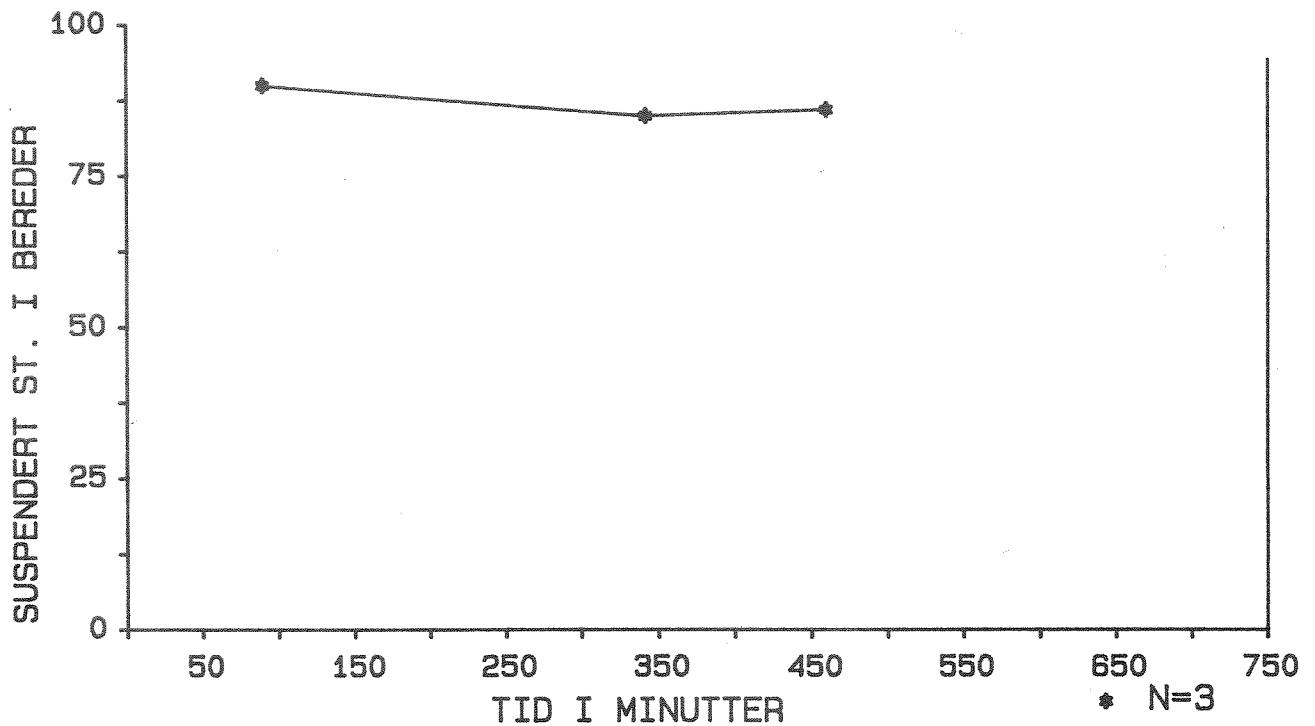
Figur 18 viser nivået på slamteppet i berederen. Slamteppet ligger svært jevnt 85 - 90 cm under overflaten gjennom hele forsøket. Den lille økningen i hydraulisk belastning som skjer etter ca. 350 minutter, resulterer ikke i merkbar heving av slamteppet. Tvert imot skjer det en ubetydelig senkning av slamteppet.



Figur 18. Nivået i cm av slamteppet i berederen.

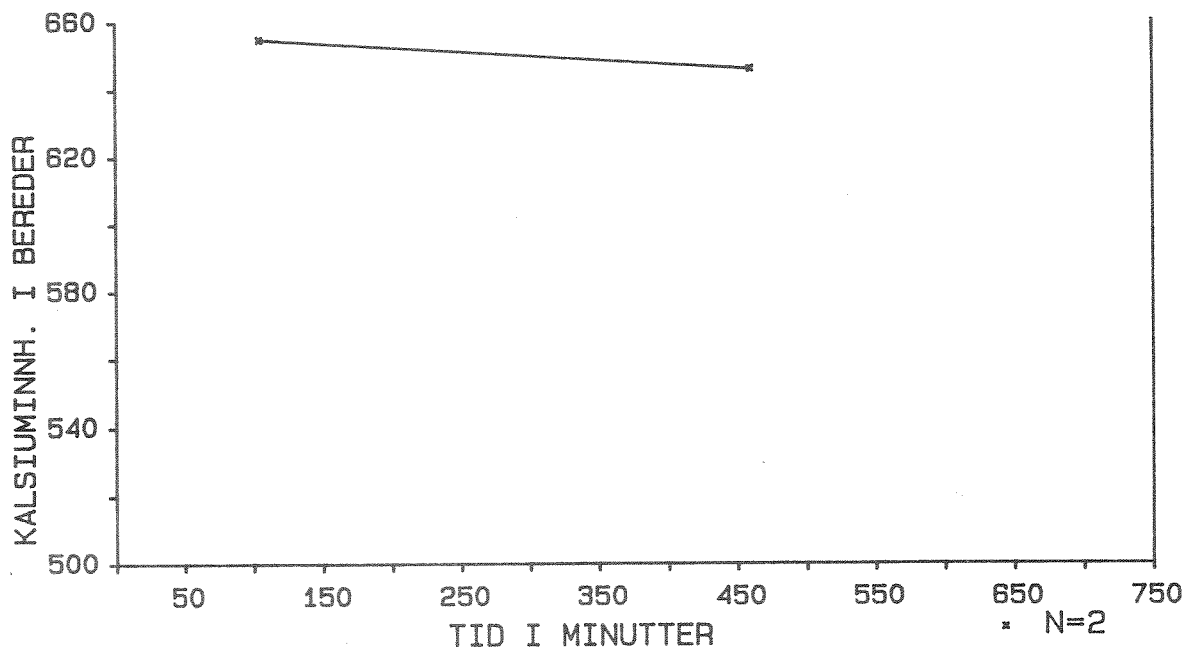
### 3.2.3. Suspendert stoff i berederen.

Figur 19 viser innholdet av suspendert stoff i kalkvannet i toppen av berederen. Innholdet ligger jevnt på ca. 90 mg SS/l gjennom hele dette forsøket. Det konstante nivået på slamteppet gir også et konstant partikkelinnhold i kalkvannet. Innholdet av suspendert stoff er langt høyere i dette forsøket enn i begynnelsen av forrige forsøk, da hydraulisk belastning i berederen bare var 4 m<sup>3</sup>/h.



Figur 19. Suspendert stoff i mg SS/l på toppen i berederen.

### 3.2.4. Kalsiuminnhold i berederen



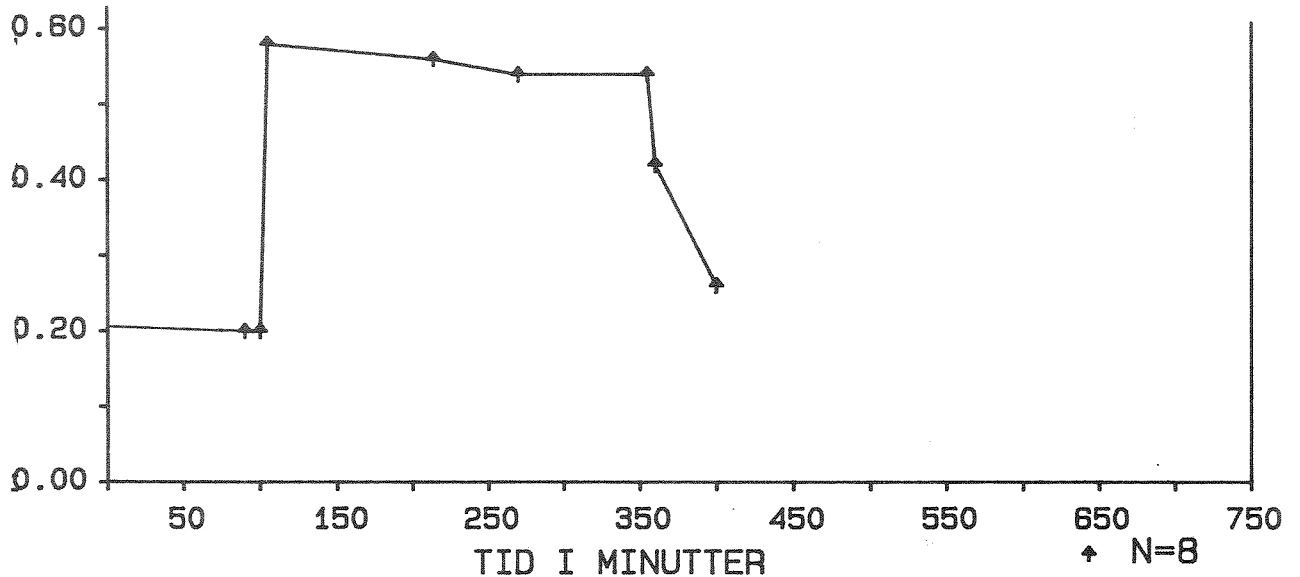
Figur 20. Kalsiuminnholdet i mg Ca/l i toppen av berederen.

Figur 20 viser kalsiuminnholdet i kalkvannet fra toppen av berederen. Innholdet ligger som i forrige forsøk omkring 650-655 mg Ca/l. En nesten ubetydelig reduksjon registreres mot slutten av forsøket, som i forrige forsøk.

### 3.2.5. Kalkvannstilførsel til tank 1.

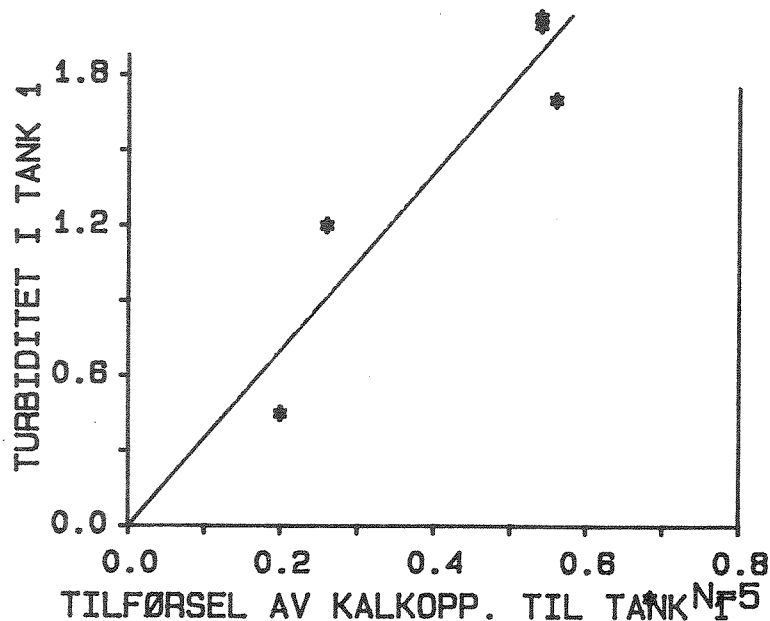
Vanntilførselen til blandtanken i pilotanlegget er også i dette forsøket 18 l/min.

Figur 21 viser tilførselen av kalkopløsning til blandtanken. I den første tiden ligger kalkdoseringen på ca 0.20 l/min., men økes til ca. 0.55 l/min noe lengre ut i forsøket. Doseringene tilsvarer henholdsvis ca. 1 og 3 prosent av vanntilførselen.



Figur 21. Dosering av kalkopløsning i mg Ca/l til tank 1.

Figur 22 viser sammenhengen mellom tilførsel av kalkopløsning til blandtanken og turbiditetsverdien i vannet i tank 1. Sammenhengen mellom disse to parametre er god og bekrefter at økt tilførsel av kalkopløsning fører til økt turbiditet i vannet.

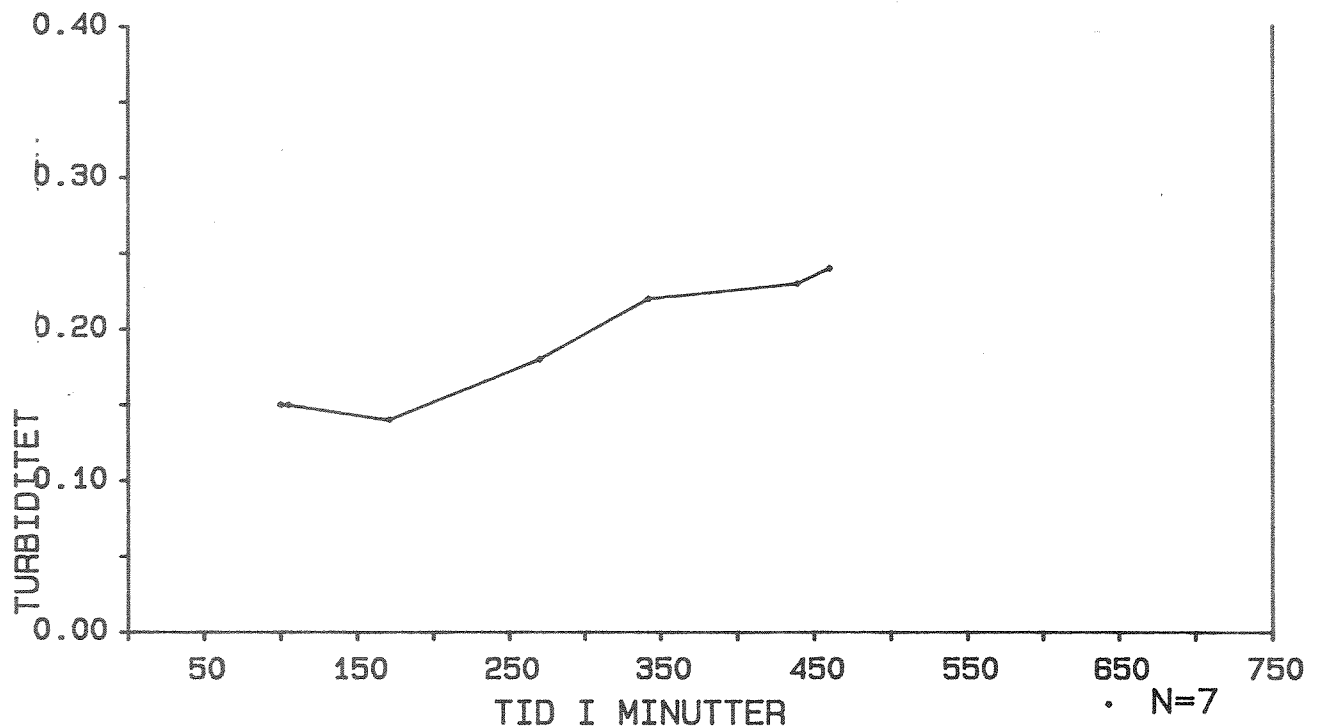


Figur 22. Sammenheng mellom tilførsel av kalkopløsning i l/min og turbiditet i FTU i tank 1.

### 3.2.6. Turbiditet i vannet til blandtanken.

Figur 23 viser turbiditet i vanntilførselen til blandtanken i pilotanlegget. Turbiditetsverdiene i tilførselsvannet ligger betydelig lavere i dette forsøket enn i det foregående forsøket. Særlig ligger verdiene lavt i begynnelsen av forsøket.

Turbiditetsverdiene øker fra ca. 0.15 FTU i begynnelsen til ca. 0.25 FTU mot slutten av undersøkelsen og er dermed små i forhold til turbiditetsverdiene i vannet etter kalkvannstilførselen. Økningen i turbiditetsverdien i vanntilførselen har derfor relativt liten betydning.

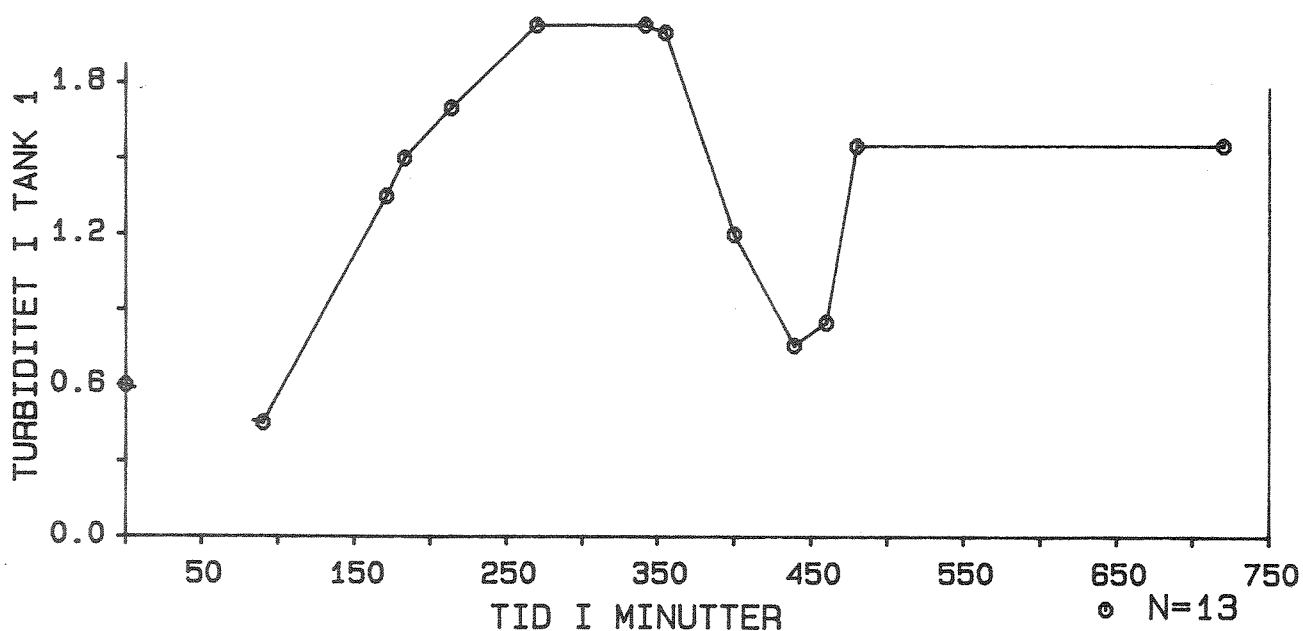


Figur 23. Turbiditet i FTU i vanntilførsel til tank 1.

### 3.2.7 Turbiditet i tankene 1, 2 og 3.

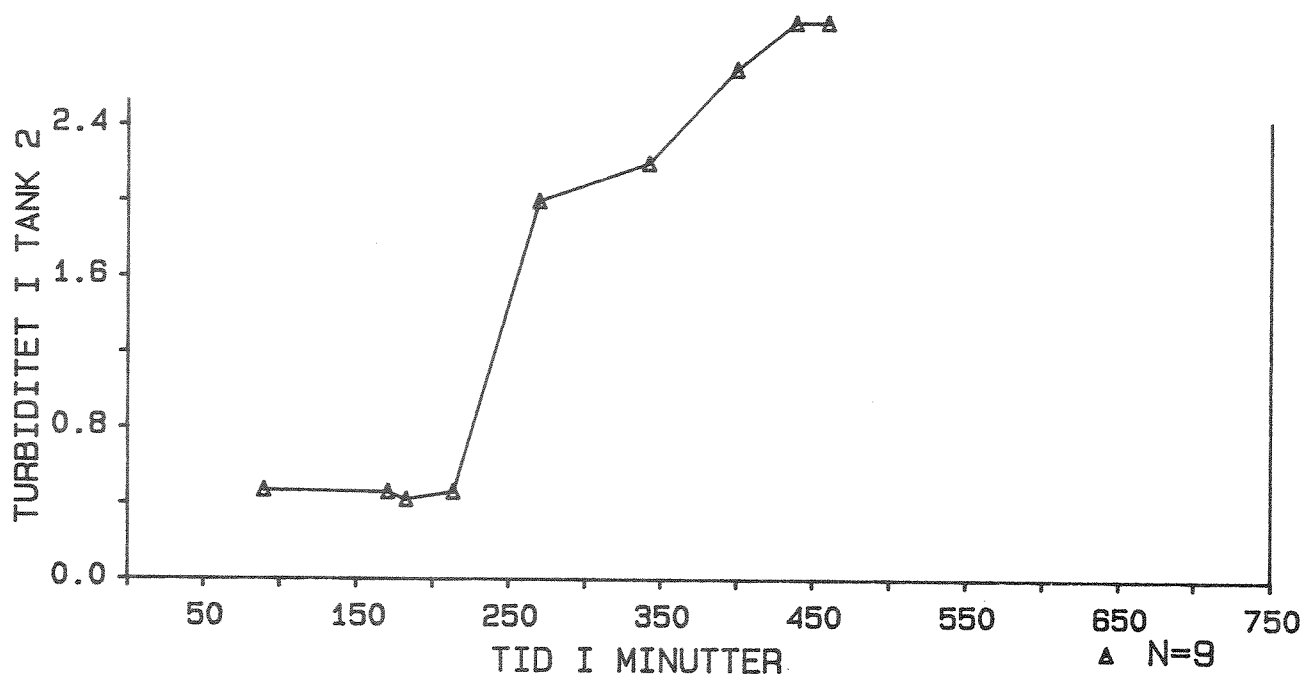
Figur 24 viser turbiditetsverdiene i tank 1 etter innblanding av kalkoppløsning. Den kraftige økningen som forekommer noe ut i forsøket, skyldes økningen i kalkvannstilførselen til blandetanken. På tilsvarende måte skyldes reduksjonen i turbiditetsverdiene lengre ut i forsøket reduksjonen i kalkvannstilførselen til tanken. Den maksimale kalkvannstilførselen til vannet er i dette forsøket 3 prosent av vanntilførselen. Denne andelen er ikke unormal høy. Likevel innebærer denne kalkvannstilførselen en økning av turbiditetsverdiene fra ca. 0.2 til ca. 2 FTU. I de reviderte kvalitetskravene til drikkevann er grenseverdiene for turbiditet 0.5 FTU for en god drikkevannskvalitet. For en mindre god drikkevannskvalitet er kravene 1.0 FTU. Disse kravene blir overskredet henholdsvis ca 100 og 300 prosent.

Den hydrauliske belastningen på berederen er svært jevn og ikke unormal høy i disse forsøkene. Resultatene viser klart hvilken effekt kalkvannstilførselen har på vannkvaliteten. I disse forsøkene er imidlertid ikke kullsyre tilsatt vannet før kalktilsetning (annet enn til direktefiltrert vann før kullfilteret). Kullsyretilsetning til vannet vil føre til økt oppløsning av hydratkalk til vannet og dermed redusert turbiditet.

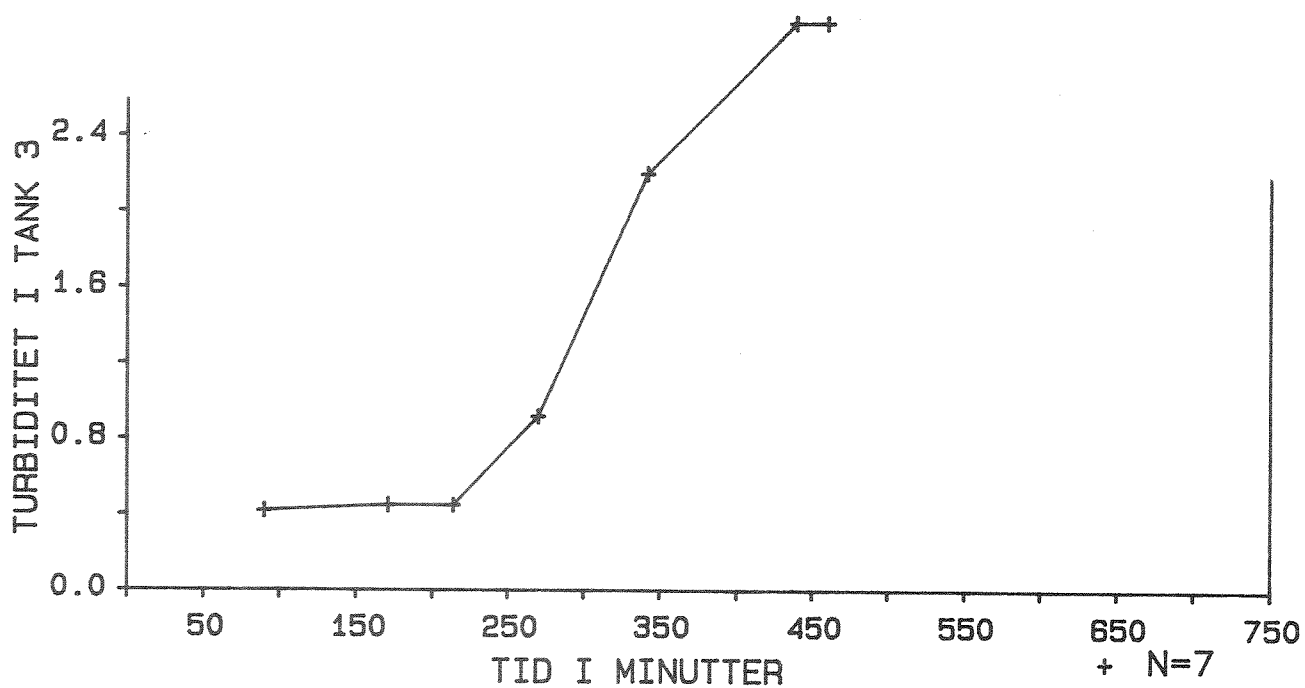


Figur 24. Turbiditet i FTU i tank 1.





Figur 68. Turbiditet i FTU i tank 3.



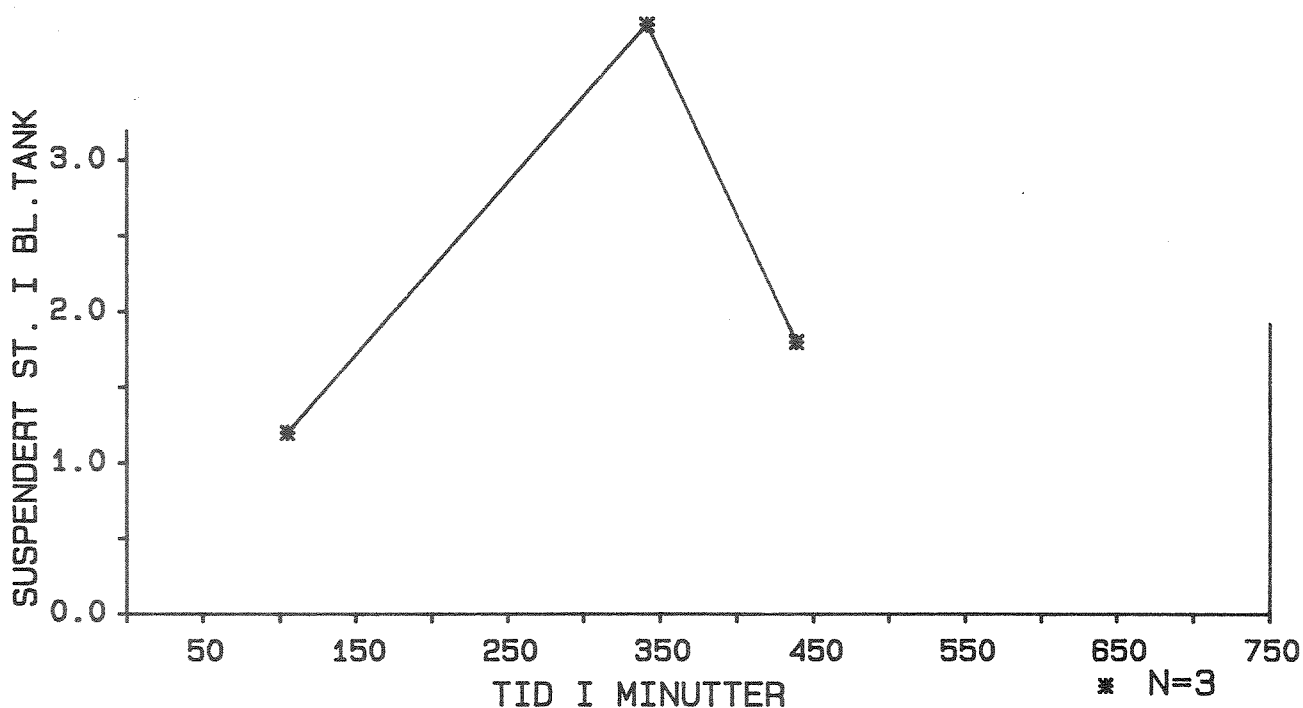
Figur 26. Turbiditet i FTU i tank 3.

Figurene 25 og 26 viser turbiditetsverdiene i tankene 2 og 3. Verdiene ligger svært lavt i den første delen av undersøkelsen, men øker sterkt utover i forsøket, forårsaket av økningen i kalktilførselen da. Økningen i turbiditet skjer senere i tank 2 og enda senere i tank 3 enn i tank 1. Forsinkelsen har selvsagt sammenheng med oppholdstiden i tankene.

Interessant er det å merke at det ikke skjer noen reduksjon i turbiditetsverdiene gjennom tankene. Helt i begynnelsen av forsøket ligger turbiditetsverdiene omkring 0.4 FTU i de 3 tankene, når tidsforskyvelsen tas i betraktning. Etter at økningen i kalkvannstilførselen gir fullt utslag i tankene, ligger turbiditetsverdiene på 2-3 FTU. Da registreres tvert imot en økning i turbiditet fra tank 1 til tankene 2 og 3. Denne økningen er neppe reell, men har trolig mer sammenheng med tidspunktene for turbiditetsmålingene. Tidspunktet for toppen i turbiditet i tank 1 oppfanges trolig ikke fullt ut av målingene.

### 3.2.9. Suspendert stoff i tank 1.

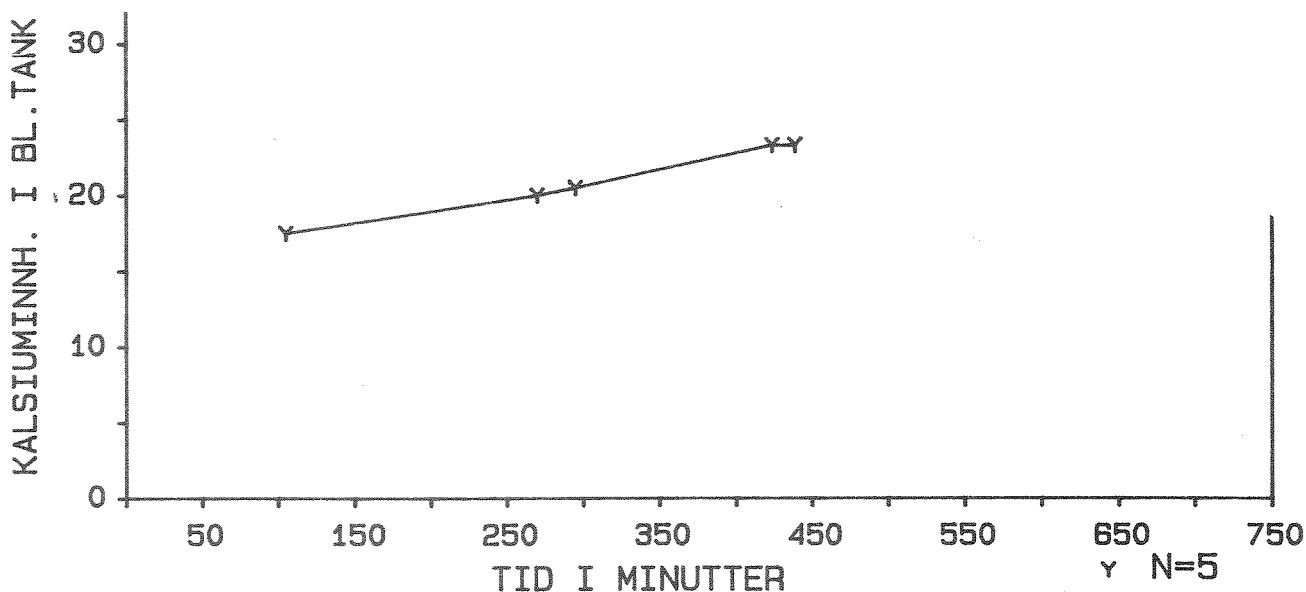
Figur 27 viser innholdet av suspendert stoff i tank 1. Antall prøver er for lite til å gi et godt bilde av utviklingen i suspendert stoff. Men utviklingen i innholdet av suspendert stoff følger i hovedsak turbiditetsverdiene.



Figur 27. Innhold av suspendert stoff i mg SS/l i tank 1.

### 3.2.10. Kalsiuminnhold i tank 1.

Figur 28 viser innholdet av kalsium i tank 1. Innholdet er omkring 20 mg Ca/l, og forløpet har en svakt økende trend utover i forsøket. Økningen er imidlertid langt fra så stor som økningen i kalkvannstilførselen i forsøket skulle tilsi.

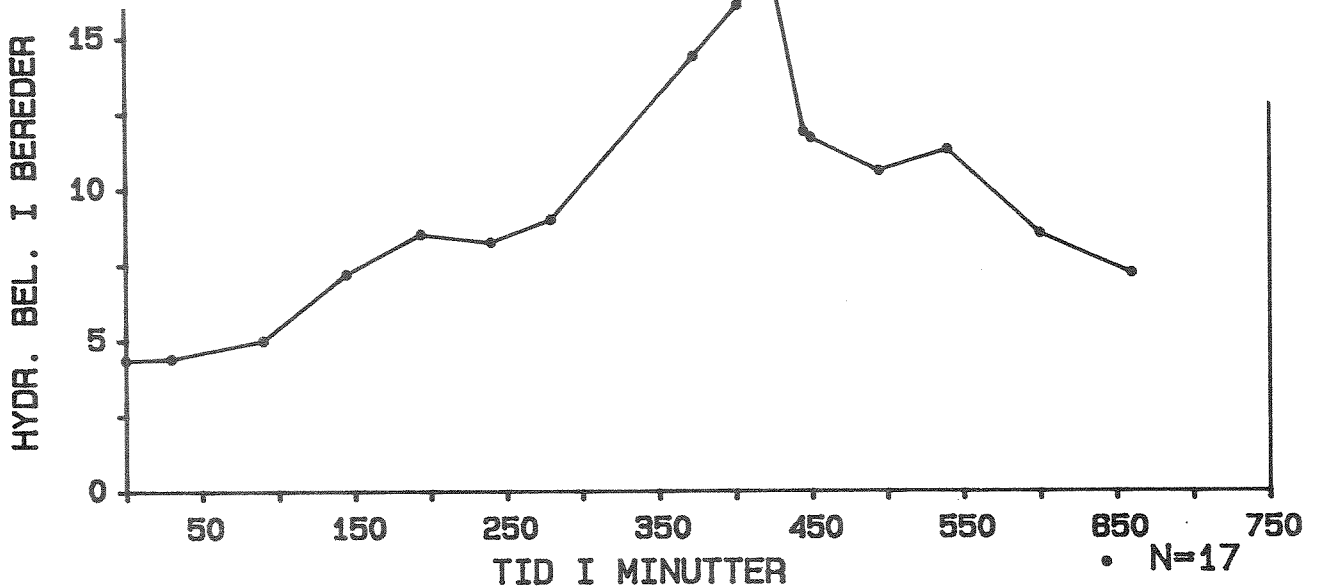


Figur 28. Kalsiuminnhold i mg Ca/l i tank 1.

### 3.3. Forsøk nr.3.

#### 3.3.1. Hydraulisk belastning på berederen.

Figur 29 viser forløpet i hydraulisk belastning i berederen. I begynnelsen av forsøket er belastningen ca. 4 m<sup>3</sup>/h som tilsvarer en overflateshastighet på 0.18 m/h, og øker til ca. 14 m<sup>3</sup>/h eller en overflateshastighet på 0.62 m/h noe ut i forsøket. Mot slutten av forsøket reduseres belastningen til ca. 7.4 m<sup>3</sup>/h eller 0.33 m/h. De høyeste belastningene er betydelig større enn i de to foregående forsøkene.



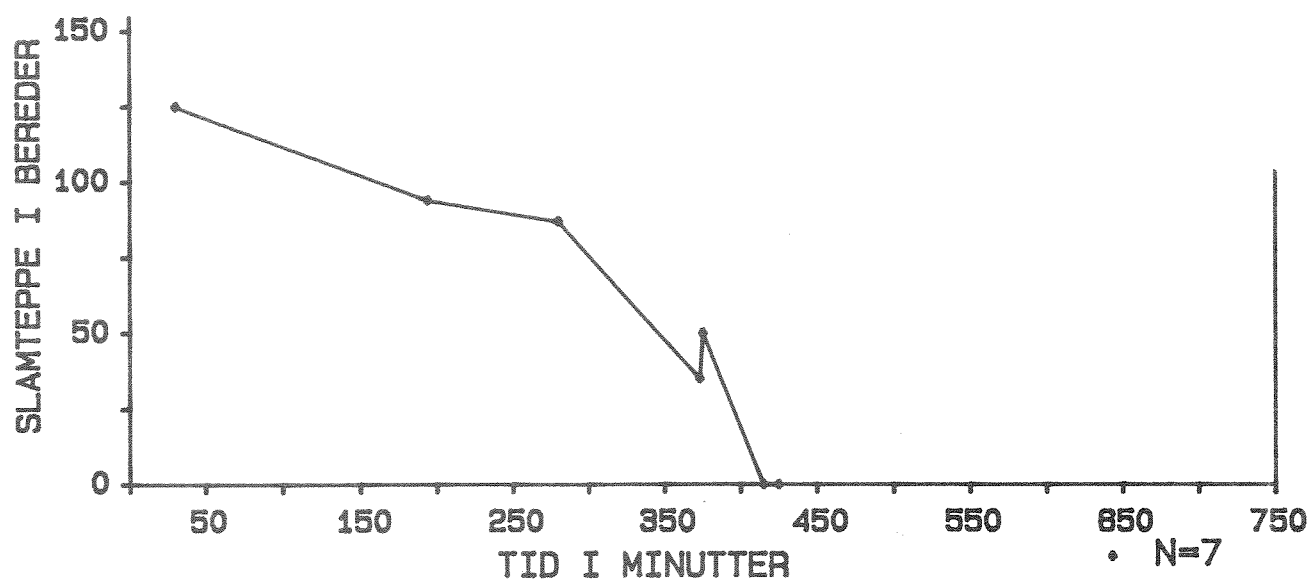
Figur 29. Hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h i bereder.

### 3.3.2. Slamteppe.

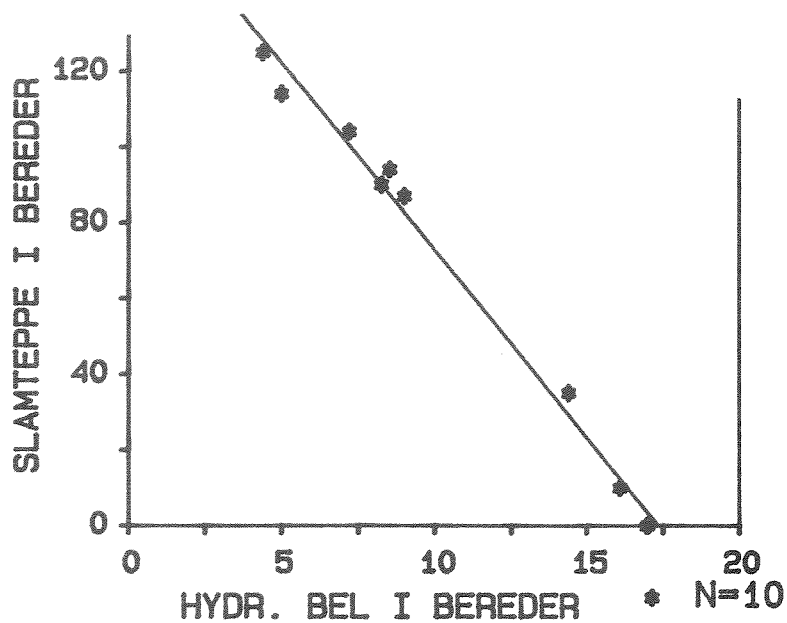
Nivået på slamteppet i berederen vises i figur 30. Slamteppet heves fra 125 cm under overflaten av berederen til overflaten i løpet av ca. 420 minutter ( 7 timer ) p.g.a. økningen i hydraulisk belastning. Slamteppet når i overflaten på berederen samtidig med økningen til den maksimale hydrauliske belastningen. En viss treghet mellom hydraulisk belastning og nivået på slamteppet kan trolig forventes. Det er derfor grunn til å tro at slamteppet ville heves til overflaten av berederen også med lavere hydraulisk belastning.

Stigehastigheten på slamteppet er i den første tiden 0.09 m/h, men øker til 0.36 m/h den siste tiden før slamteppet når overflaten av berederen.

Figur 31 viser sammenhengen mellom hydraulisk belastning og nivået på slamteppet i berederen. Som det framgår av figuren er sammenhengen svært god.



Figur 30. Nivå på slamteppe i berederen.



Figur 31. Sammenhengen mellom hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h og nivå i cm i slamteppe i berederen.

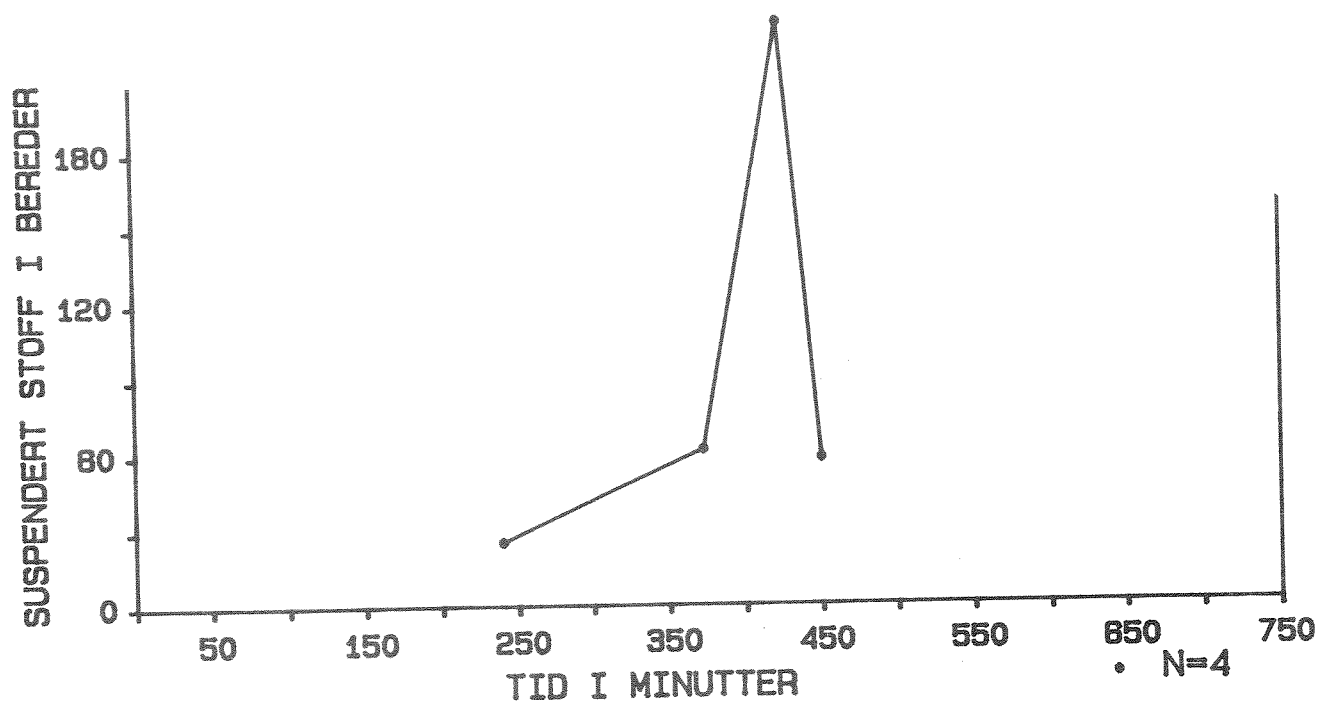
### 3.3.3. Suspendert stoff.

Figur 32 viser innholdet av suspendert stoff i kalkopløsningen i toppen av berederen. Innholdet øker sterkt, når slamteppet heves. Når slamteppet når overflaten av berederen måles innholdet av suspendert stoff til hele 240 mg SS/l. Ca. 30 minutter etter denne toppen i suspendert stoff faller innholdet til ca. 60 mg SS/l.

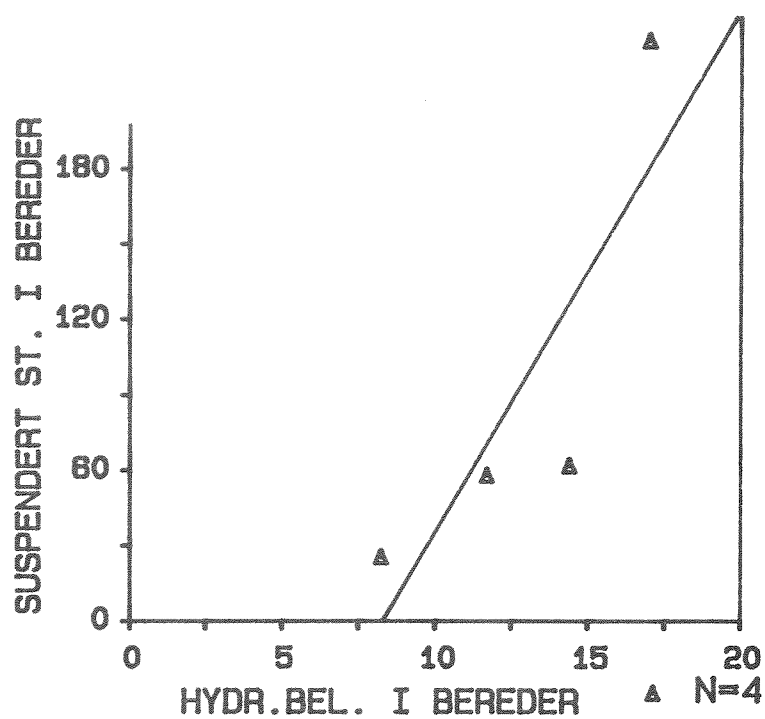
Resultatene viser hvilke store slammengder som kan mobiliseres fra berederen. Økninger i hydraulisk belastning resulterer i betydelige økninger i innholdet av suspendert stoff, selv om slamteppet ligger godt under toppnivået i berederen. Dette har trolig sammenheng med at slaminnholdet i berederen inneholder en mengde partikler med variabel størrelse og tyngde. Ved økninger i hydraulisk belastning heves de små og lette partiklene først og gir den første økningen i kalkvannets innhold av partikulært materiale.

Når slamteppet først kommer opp til overflatelaget på berederen, skjer det en kraftig økning i partikkelinnholdet i kalkopløsningen. Interessant er det å legge merke til den raske reduksjonen i suspendert stoff som finner sted etter at slamteppet har nådd toppen av berederen er på vei nedover i berederen. En mulig forklaring på denne reduksjonen kan være at utvasking av lettere partikulært materiale skjer når slamteppet er på vei oppover i berederen eller ligger på topp i berederen. Når den hydrauliske belastningen reduseres, er de lette slamfraksjonene utvasket, og tilbake er de noe større partiklene som raskere sedimenterer.

Rent visuelt endres også fargen på kalkvannet gradvis fra lys grønn, når slamteppet er langt under overflaten i berederen til grå/brun når slamteppet nærmer seg overflaten. Når slamteppet flommer over kanten på berederen, er fargen mer lys brun.



Figur 32. Suspendert stoff i mg SS/l i berederen.



Figur 33. Sammenheng mellom hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h og suspendert stoff i mg SS/l i berederen.

I figur 33 ses sammenhengen mellom hydraulisk belastning i berederen og suspendert stoff i kalkvannet i toppen av den. Figuren viser en brukbar sammenheng mellom de to parametere og framstiller på en noe annen måte enn ovenfor at økt hydraulisk belastning i berederen gir økt innhold av suspendert stoff i berederen. Kurva baseres kun på 4 punkter, som er lite til å bygge en god korrelasjon på, men resultatene er likevel interessante.

#### 3.3.4. Kalsium i bereder.

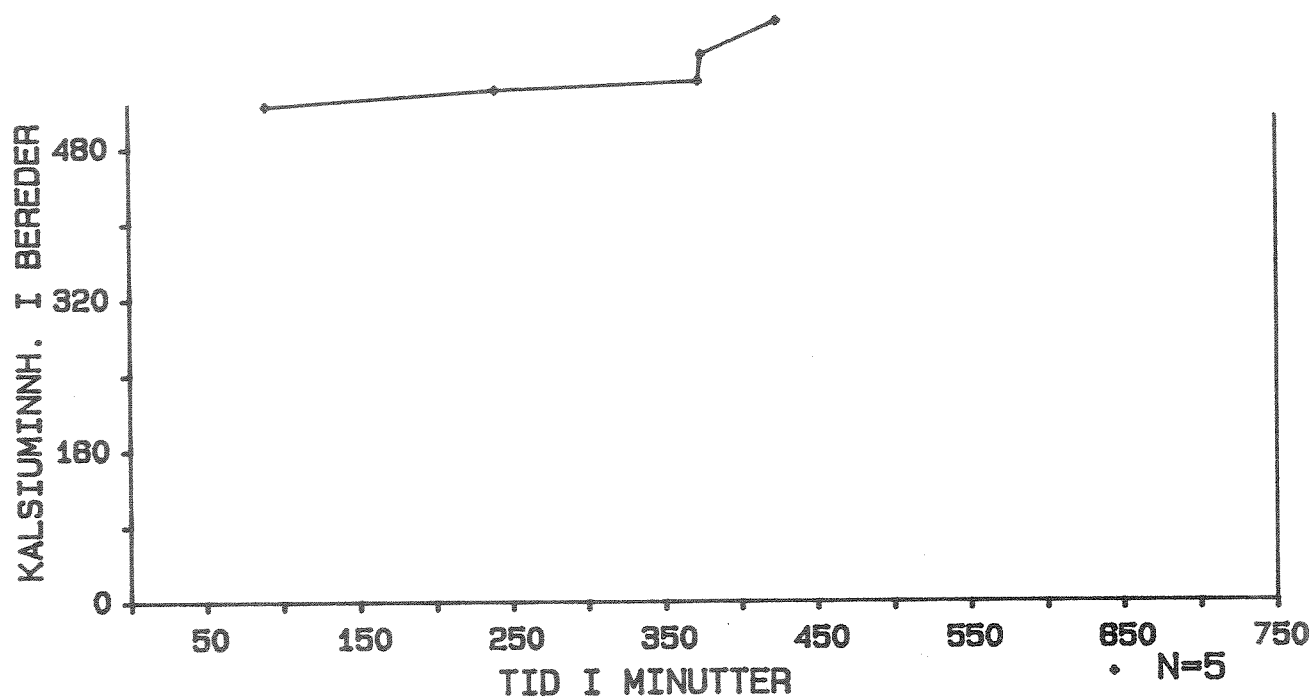
I figur 34 vises innholdet av kalsium i kalkvannet i toppen av berederen. Innholdet øker svakt fra ca. 525 mg Ca/l i begynnelsen av forsøket til ca 580 mg Ca/l like før slamteppet når overflaten. Når slamteppet ligger helt i toppen av berederen, øker kalsiuminnholdet ytterligere til ca. 615 mg Ca/l.

I forhold til økningen i suspendert stoff er kalsiumøkningen svært moderat. Dette samsvarer delvis med de tidligere forsøkene. Da vistest en svak reduksjon i kalsiuminnholdet ved økt hydraulisk belastning. I slamlaget i berederen finnes meget store konsentrasjoner av kalsium. Det er derfor noe uventet at ikke større konsentrasjoner av kalsium registreres når slamteppet kommer opp i overflaten i berederen. Kalsiumforbindelsene i slamlaget i berederen synes derfor i stor grad å være knyttet til de store og tunge partiklene. Partiklene som lett stiger opp ved økninger i hydraulisk belastning, er i liten grad knyttet til kalsiumforbindelser.

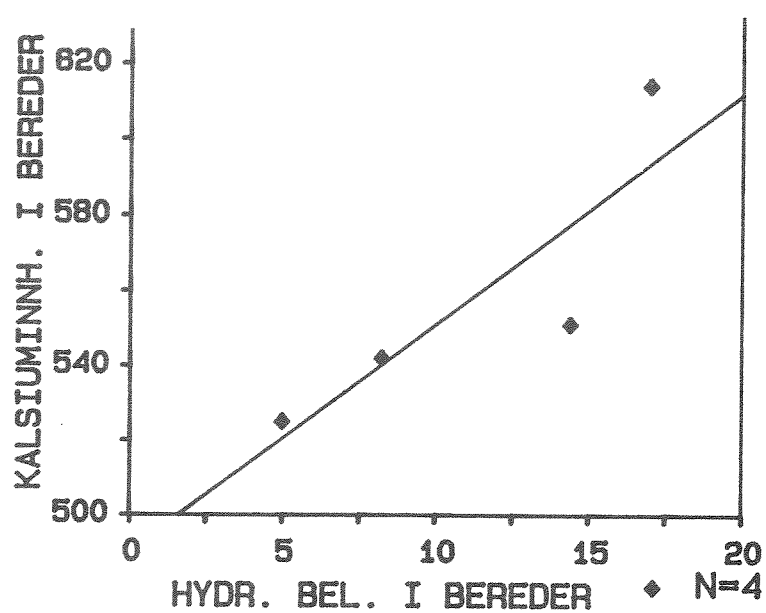
Figur 35 viser sammenhengen mellom hydraulisk belastning og kalsiuminnholdet i berederen. Kurven viser en brukbar sammenheng mellom disse parametre. Økt hydraulisk belastning sammenfaller med økt innhold av kalsium. Også denne regresjonsanalysen baseres på noe for få data, men kurven gjengis likevel. Det må understrekes at økningene i kalsium er meget begrenset i forhold til økningen i hydraulisk belastning.

I figur 36 vises sammenheng mellom innhold av kalsium og suspendert stoff i berederen. I dette forsøket er sammenhengen ekstremt god og viser at økt innhold av suspendert stoff i berederen samsvarer med økt innhold av kalsium. 3 punkter er imidlertid altfor lite til bygge en god korrelasjon på, men resultatene er så interessante at de tas med. Også her må det sies at økningen i kalsiuminnhold er meget begrenset i forhold til økningen i turbiditet.

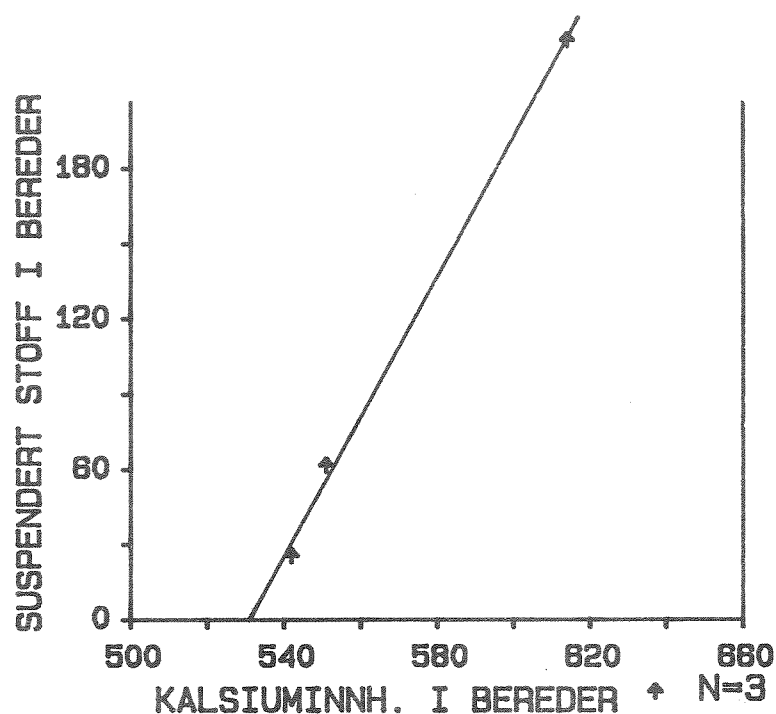




Figur 34. Kalsium i mg Ca/l i toppen av berederen.



Figur 35. Sammenheng mellom hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h og innhold av suspendert stoff i mg SS/l i berederen.

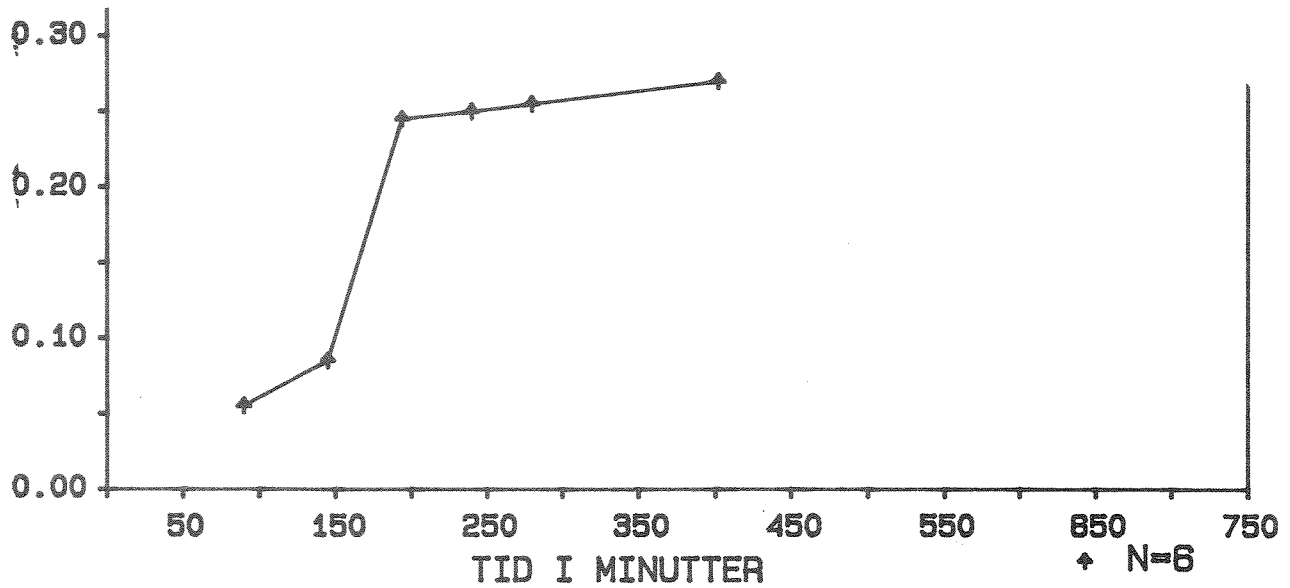


Figur 36. Sammenheng mellom innhold av kalsium i mg Ca/l og suspendert stoff i mg SS/l i kalkvannet i toppen av berederen.

### 3.3.5. Kalkvannstilførsel til blandtanken.

Også i dette forsøket er vanntilførselen til blandtanken ca. 18 l/min.

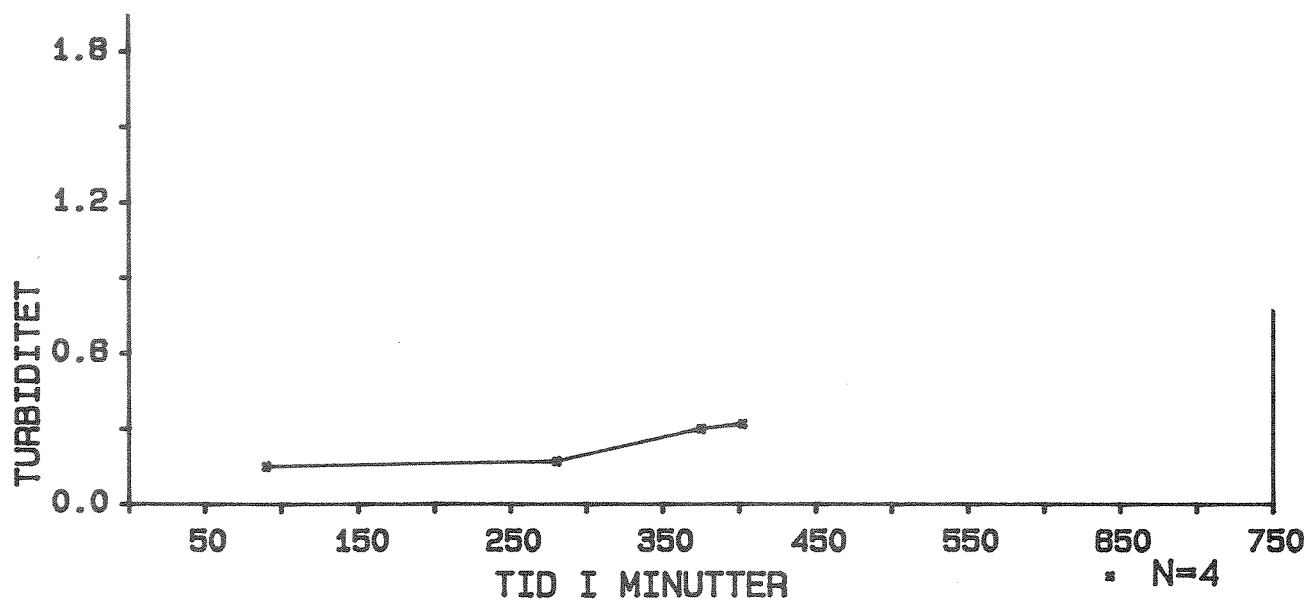
Figur 37 viser kalkvannstilførselen til tankene. Tilførselen er i begynnelsen av forsøket bare 0.05 l/min, men øker utover i forsøket til ca. 0.25 l/min. Kalkvannstilførselen er dermed mellom 0.3 og 1.4 prosent av vanntilførselen. Denne prosentandelen er svært lav i forhold til det som kan forventes på anlegg for karbonatisering av vann.



Figur 37. Kalkvannstilførsel i l/min til blandtanken.

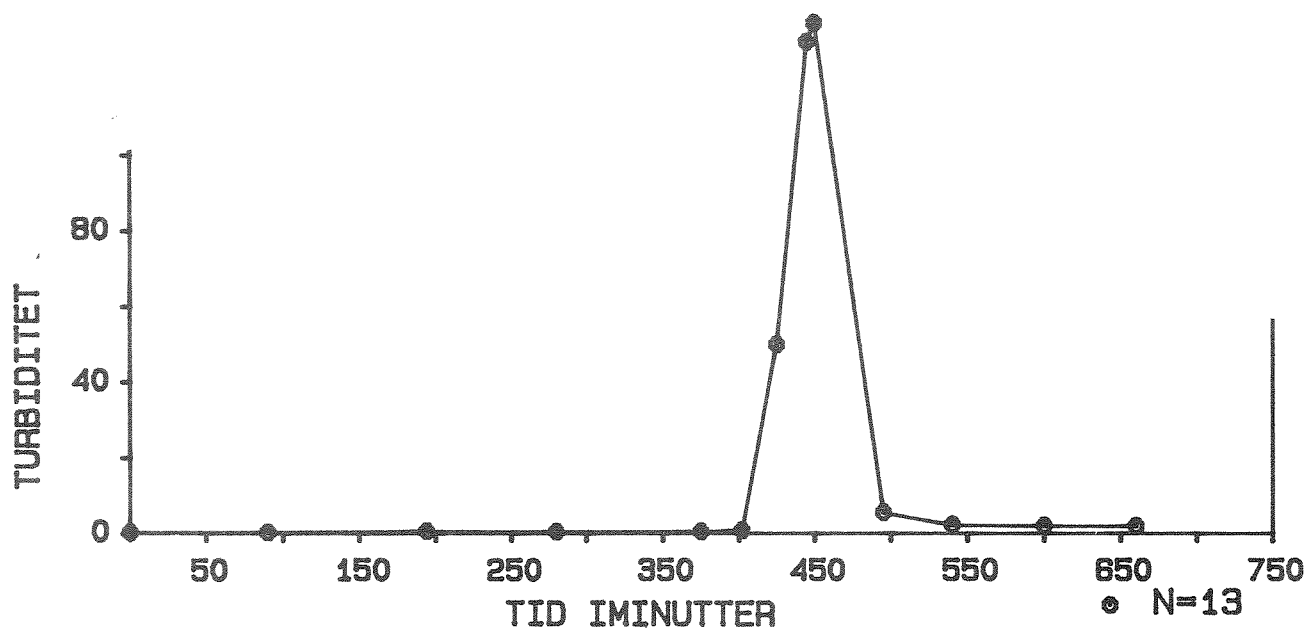
### 3.3.6. Turbiditet i forsyningsvann.

Figur 38 viser turbiditet i forsyningsvannet til blandtanken. I løpet av forsøket observeres en økning i turbiditet fra 0.15 til 0.30 FTU.

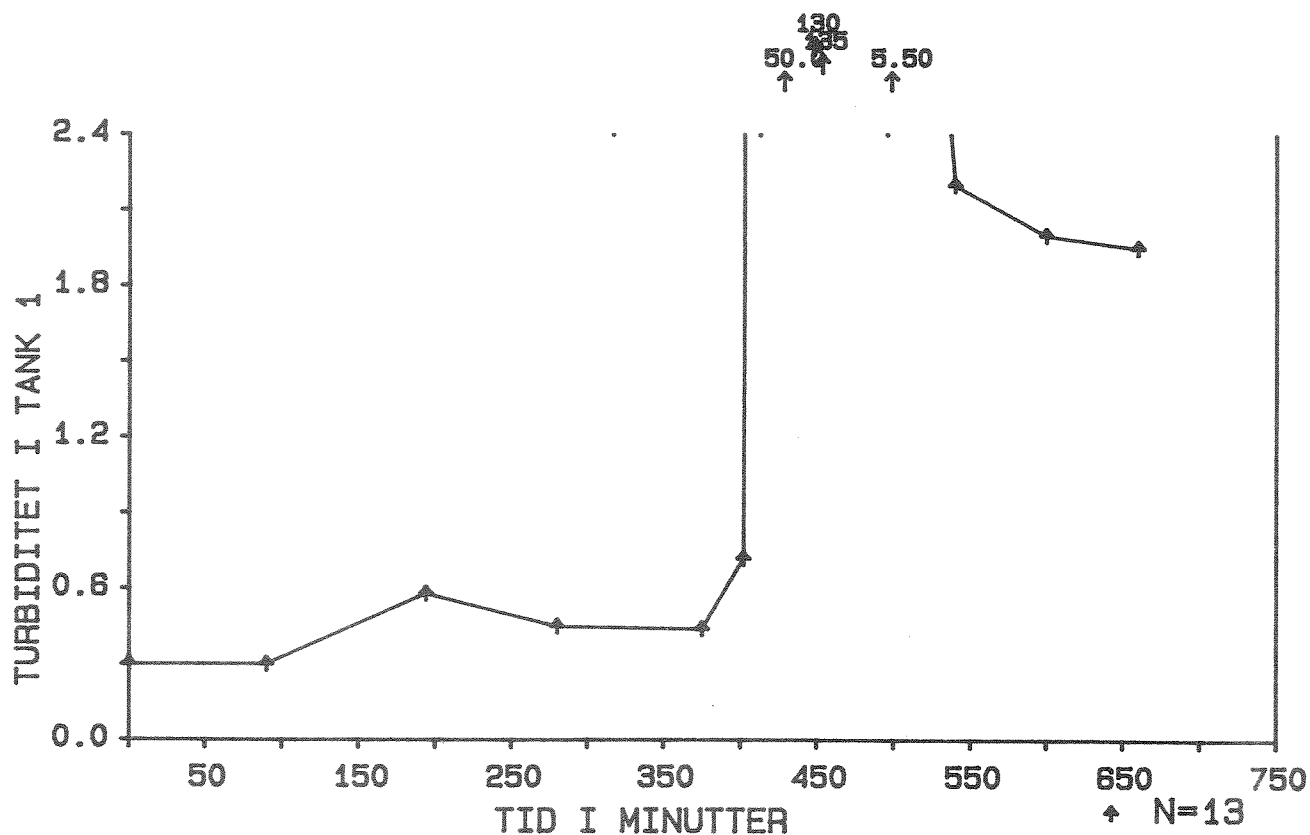


Figur 38. Turbiditet i FTU i tilførselsvann til tank 1.

3.3.7. Turbiditet i tank 1.



Figur 39. Turbiditet i FTU i tank 1.



Figur 40. Turbiditet i tank 1. (forstørret turbiditetsskala).

Figurene 39 og 40 viser turbiditet i tank 1 med to ulike skalaer for turbiditet. Helt i begynnelsen av forsøket fører tilsetningen av kalkopløsning til en økning i turbiditet i tank 1 fra ca. 0.15 til ca. 0.30 FTU. Den begrensede økningen i turbiditet har sammenheng med tilsetningen av kalkopløsning i denne perioden, som bare er 0.3 prosent av vanntilførselen. 150 minutter ut i forsøket økes kalkopløsningen til ca. 1.4 prosent av vanntilførselen, som fortsatt ikke er noen unormal høy dosering. Turbiditetsverdien heves da til 0.6 FTU. Delvis er også årsaken økningen i turbiditet i forsyningsvannet i denne perioden.

I den første tiden økes også hydraulisk belastning i berederen og slamteppet heves. Denne heving av slamteppet har i tidligere forsøk ført til betydelige økninger i partikkelinnholdet i kalkopløsningen. I den første tiden av dette forsøket synes ikke dette å skje.

Utover i forsøket fortsetter hevingen av slamteppet. Noen minutter før slamteppet når toppen av berederen, øker turbiditetsverdiene i tank 1 dramatisk. En sky av småpartikler synes å ligge over slamteppet i berederen og forårsake denne økningen.

Når slamteppet når toppen av berederen, registreres turbiditetsverdier opp i 140 FTU, som er 280 ganger grensene for en god kvalitet og 140 ganger grensene for en middels god kvalitet. Denne kraftige økningen i turbiditet forårsakes av økningen i overflatehastigheten i berederen til 0.62 m/h. Trolig er ikke bare den maksimale overflatehastigheten av betydning for partikkelinnholdet i kalkvannet. Betydning har også størrelsen på endringen av overflatehastigheten og dybden på slamteppet når overflatehastigheten øker. Videre er vannets viskositet og dermed temperaturen også av en viss betydning.

Toppen i turbiditet er kortvarig og tank 1 har et volum som gir ca 15 minutters oppholdstid ved aktuell vanngjennomstrømning. En viss fortykning av partikulært materiale vil da inntreffe. Etter toppen i turbiditet registreres betydelige slammengder i bunnen av tanken. Både fortykningen og sedimenteringen kan innebære registrering av lavere turbiditetsverdier i tankene enn de reelt er.

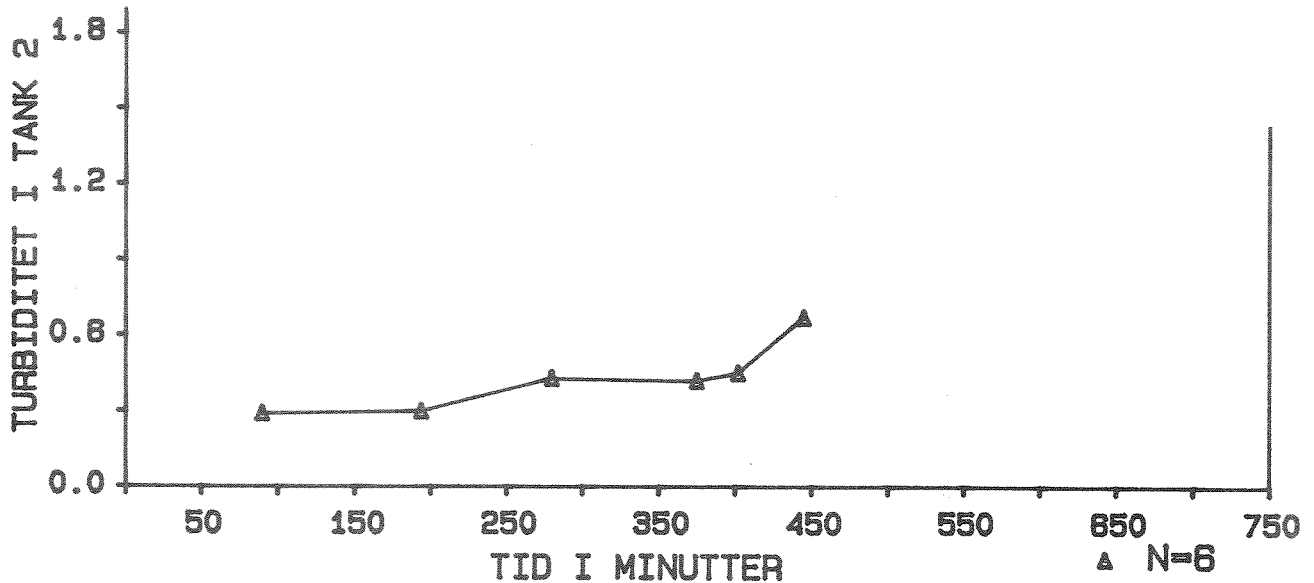
Overflatehastigheten i berederen reduseres til ca. 0.5 m/h etter toppen i overflatehastighet. Reduksjonen fører til en rask reduksjon i turbiditet til 5.5 og videre til omkring 2 FTU etter noen få minutter. En reduksjon av overflatebelastningen til 80 prosent av opprinnelig nivå resulterer m.a.o. i en reduksjon av turbiditet i tank 1 til 1.5 - 4 prosent av maksimumsnivået.

Resultatene bekrefter at det ikke er bare størrelsen på overflatebelastningen som har betydning for partikkeltilførselen fra berederen, men også endringen i overflatehastigheten. Ved høy og særlig vedvarende høy overflatehastighet og med slamteppet helt i overflaten på berederen, vaskes store mengder partikulært materiale ut av berederen. Når senkningen av slamteppet skjer, etter en slik utvasking, er de små og lette partiklene utvasket. De tyngre partiklene, som er tilbake i kalkopløsningen i toppen av berederen, synker lettere og turbiditetsverdiene reduseres dermed kraftig.

### 3.3.8. Turbiditet i tank 2.

Figur 41 viser turbiditetsverdiene i tank 2. I løpet av observasjonsperioden måles bare en mindre turbiditetsøkning i tank 2. Denne økningen samsvarer med økningen i turbiditet i tank 1 i begynnelsen av forsøket, men er noe forskjøvet i tid. Forskyvningen forårsakes av oppholdtiden i tank 1 og 2. Interessant er det å legge merke til at ingen reduksjon skjer i turbiditet mellom tank 1 og 2, når tidsforskinkelsen tas i betraktning. Tilsvarende registrertes også i forrige forsøk. Dette tyder også på at turbiditetsverdiene i liten grad reduseres ved økt oppholdstid.

Den ekstremt høye turbiditesverdien som registreres i tank 1 rekker ikke fram til tank 2 i løpet av observasjonsperioden.

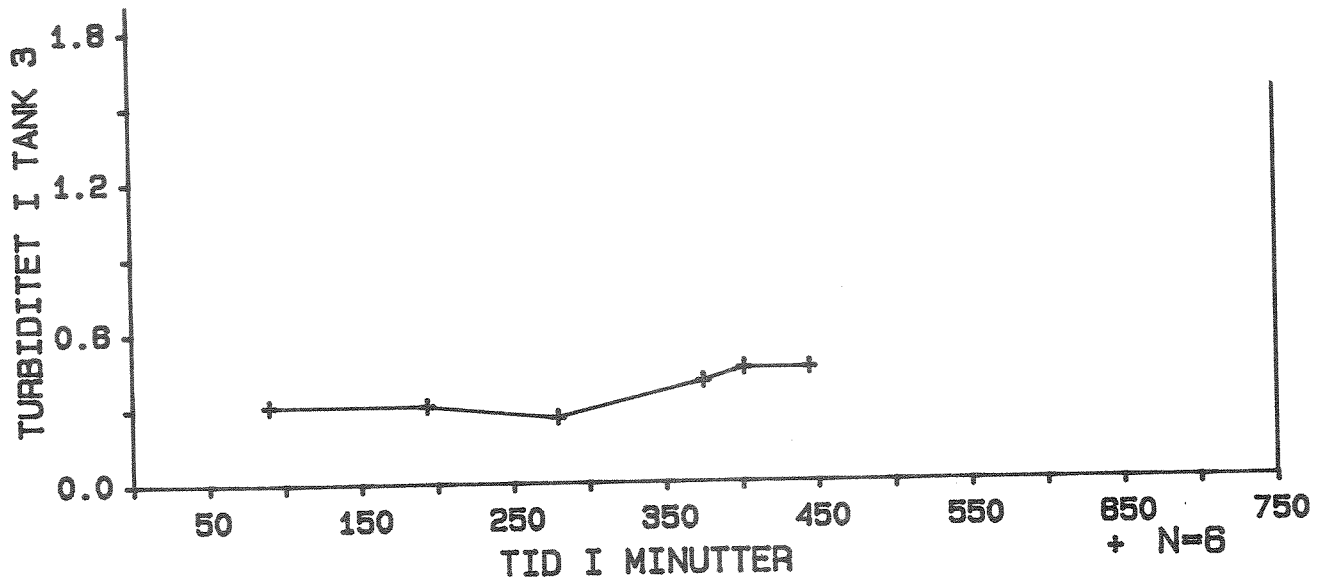


Figur 41. Turbiditet i FTU i tank 2.

### 3.3.9. Turbiditet i tank 3.

Figur 42 viser turbiditetsverdien i tank 3. Verdiene ligger omkring 0.3 FTU i begynnelsen og øker til 0.5 FTU mot slutten av forsøket. Resultatene samsvarer godt med resultatene fra tank 2 og den tidlige fase i tank 1. Heller ikke i tank 3 skjer det noen vesentlig reduksjon i turbiditet i forhold til tank 2. Den lille toppen i turbiditet i tank 1 på 0.6 FTU, ca 200 minutter etter forsøksstart, reduseres til ca. 0.5 FTU i tank 3. Partikkelmengden er trolig ikke redusert, men toppen i turbiditet er heller noe utflatet.

Også disse resultatene tyder på at det ikke skjer nevneverdige reduksjoner i turbiditet p.g.a økt oppholdstid. Med tilsetning av karbondioksyd til vannet kan dette endres.

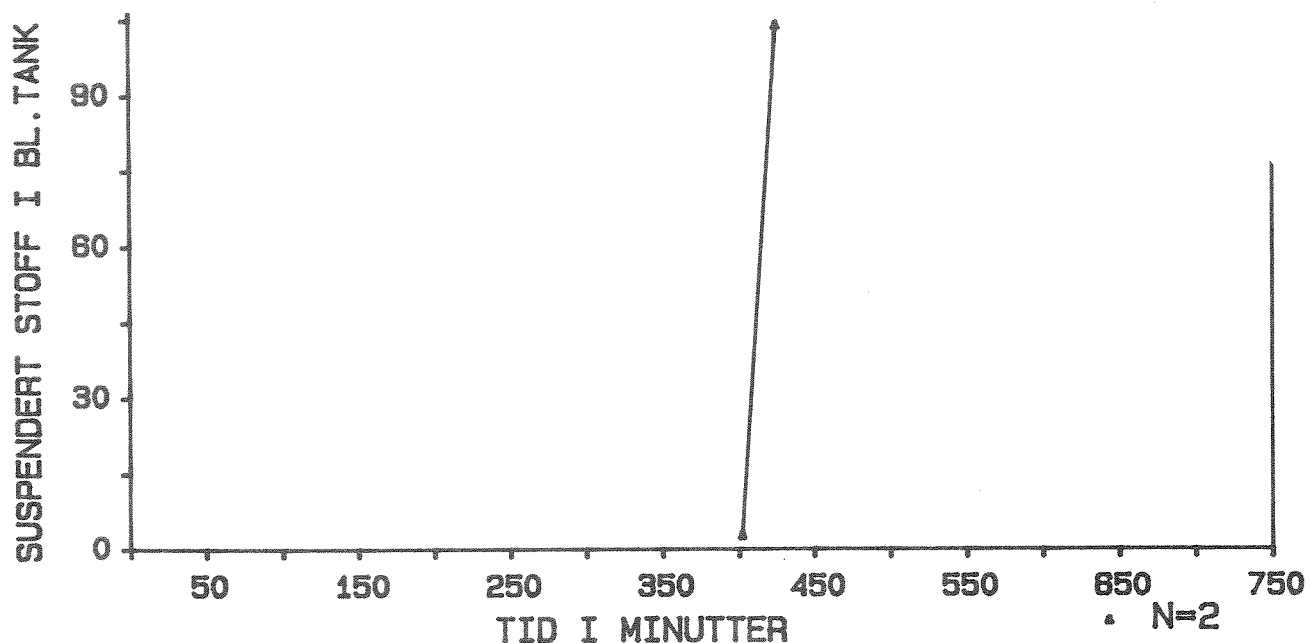


Figur 42. Turbiditet i FTU i tank 3.

### 3.3.10. Suspendert stoff i tank 1.

Figur 43 viser innholdet av suspendert stoff i to prøver i tank 1. Prøvene tas i tidspunktet like før og etter slamflukten i berederen. Innholdet av suspendert stoff øker fra ca. 2.5 til 105 mg SS/l over kort tid. Økningen i suspendert stoff i vannet i tank 1 er større enn innholdet av suspendert stoff i berederen skulle tilsi. Noen god forklaring på dette er vanskelig å finne.

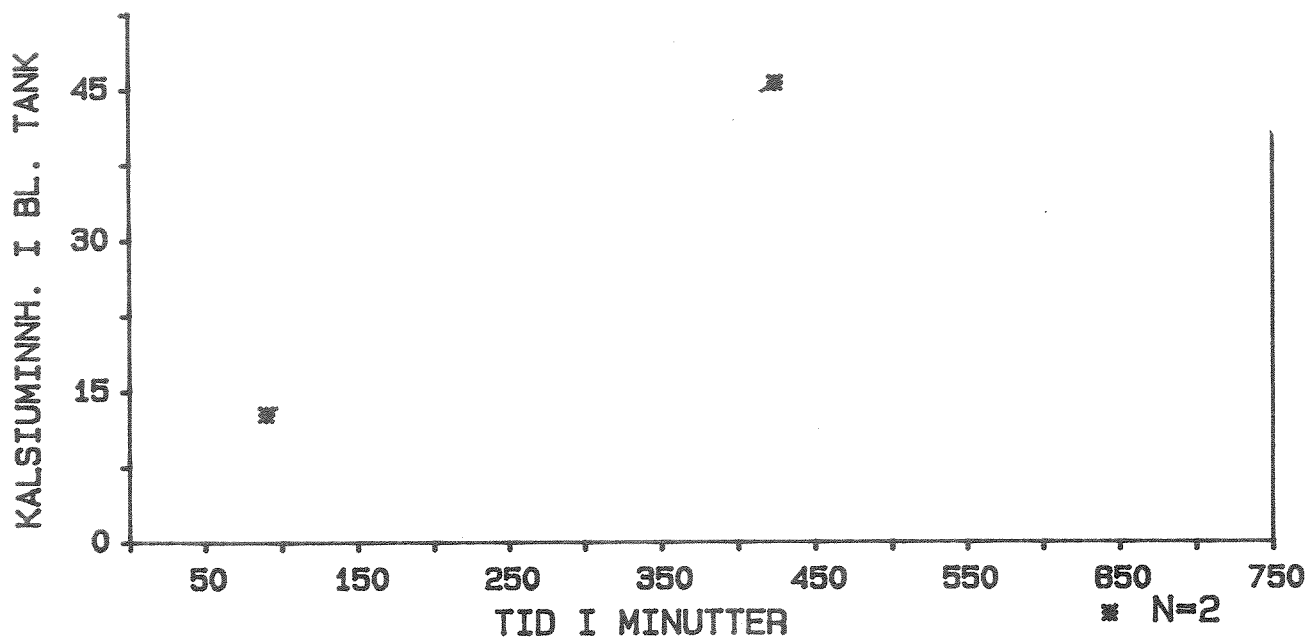




Figur 43. Innhold av suspendert stoff i mg SS/l i tank 1.

### 3.3.11. Kalsium i tank 1.

Figur 44 viser innholdet av kalsium i tank 1. En prøve er tatt helt i begynnelsen av forsøket, mens den andre er tatt når slamteppet er helt i overflaten av berederen. Økningen i kalsiuminnhold mellom disse tidspunkt forårsakes likevel hovedsakelig av økningen i kalkvannsdoseringen og i mindre grad av partikkeløkningen i vannet etter hevingen av slamteppet. Dette bekreftes forøvrig av forløpet i kalsiuminnholdet i toppen av berederen før og under hevingen av slamteppet. I svært liten grad økes kalsiuminnholdet i berederen.



Figur 44. Kalsiuminnhold i mg Ca/l i tank 1.

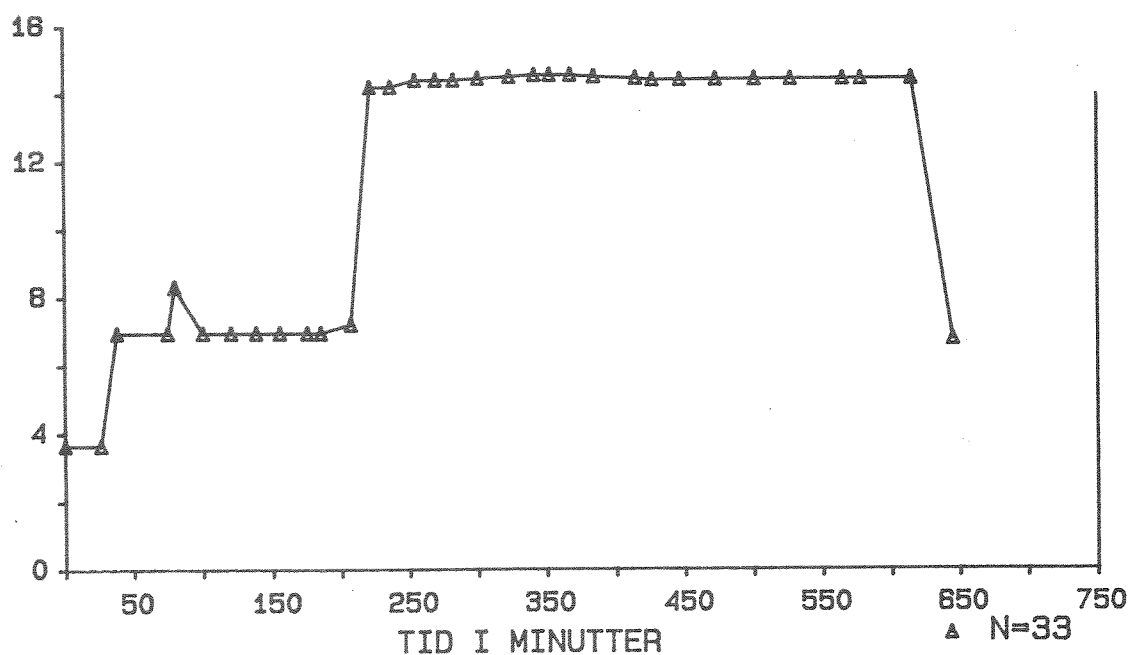
### 3.4. Forsøk 4.

I Dette forsøket følger kalkdoseringen til berederen ikke alle endringene i hydraulisk belastning. Ca. 190 minutter ut i forsøket økes hydraulisk belastning raskt til et permanent høyt nivå. Denne økningen resulterer bare i en begrenset økning i kalkdoseringen som videre reduseres ca. 250 minutter ut i forsøket. På lang sikt vil derfor en uttynning av kalkvannet i berederen forekomme. Fordi oppholdstiden i berederen er nesten 10 timer, og slamkonsentrasjonen i den er stor, vil det ta noe tid før effekten av denne reduksjonen vises i merkbar grad i kalkopløsningen i utløpet av berederen.

#### 3.4.1. Hydraulisk belastning i berederen.

Forløpet i hydraulisk belastning gjennom berederen vises i figur 45. Økningen i hydraulisk belastning skjer trinnvis til et maksimumsnivå på 14 m<sup>3</sup>/h som tilsvarer en overflatebelastning på 0.62 m/h, som er lik den maksimale hydrauliske

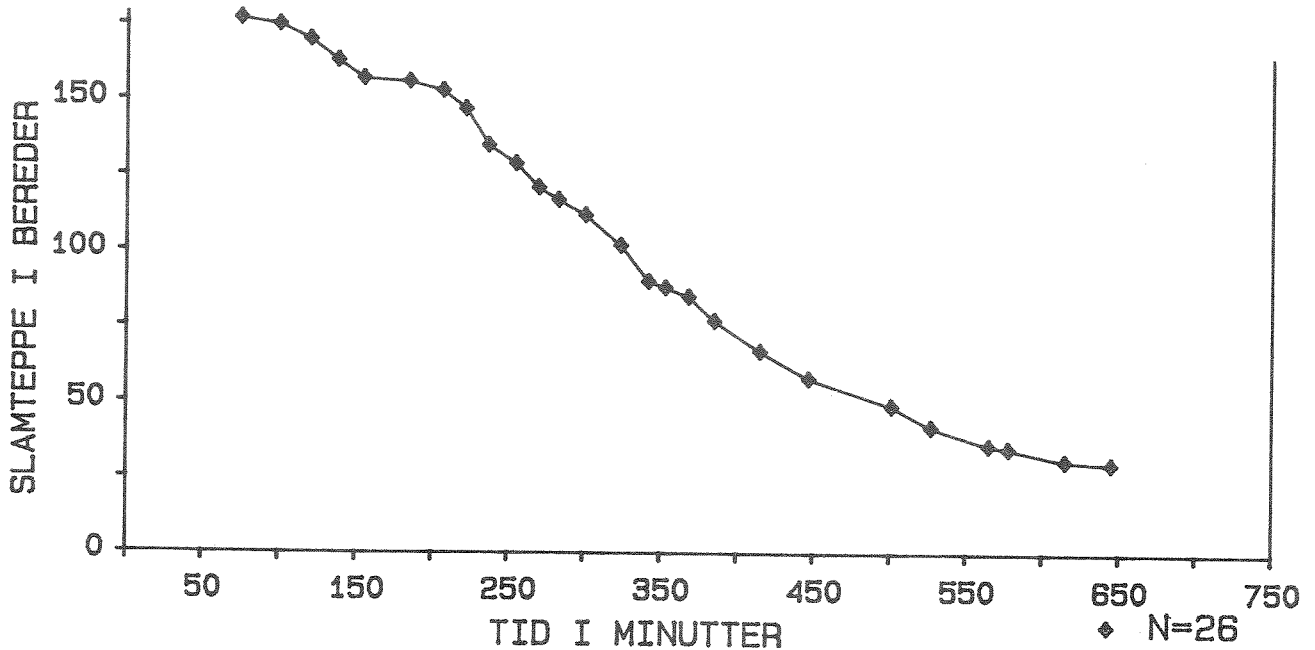
belastningen i det forrige forsøket. Da skjedde økningen jevnt over lengre tid og nådde maksimal belastning først ca. 425 minutter ut i forsøket. I dette forsøket skjer den maksimale belastningen etter ca. 190 minutter.



Figur 45. Hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h i berederen.

### 3.4.2. Slamteppet i berederen.

Figur 46 viser nivået av slamteppet i berederen. Gjennom dette forsøket heves slamnivået jevnt. En antydning til utflatning av kurven skjer ca 160 minutter ut i forsøket. Denne utflatning har trolig sammenheng med den konstante perioden i hydraulisk belastning som da forekommer. Økningen i hydraulisk belastning, ca. 190 minutter ute i forsøket, fører igjen til en jevn heving av slamteppet. I denne perioden er stige-hastigheten på slamteppet 0.25 m/h, som er ca 40 prosent av overflatehastigheten i berederen. Mot slutten av forsøket utflatnes hevingen ca. 25 cm under overflaten. Denne utflatningen skjer uten reduksjon i overflatebelastningen i berederen.



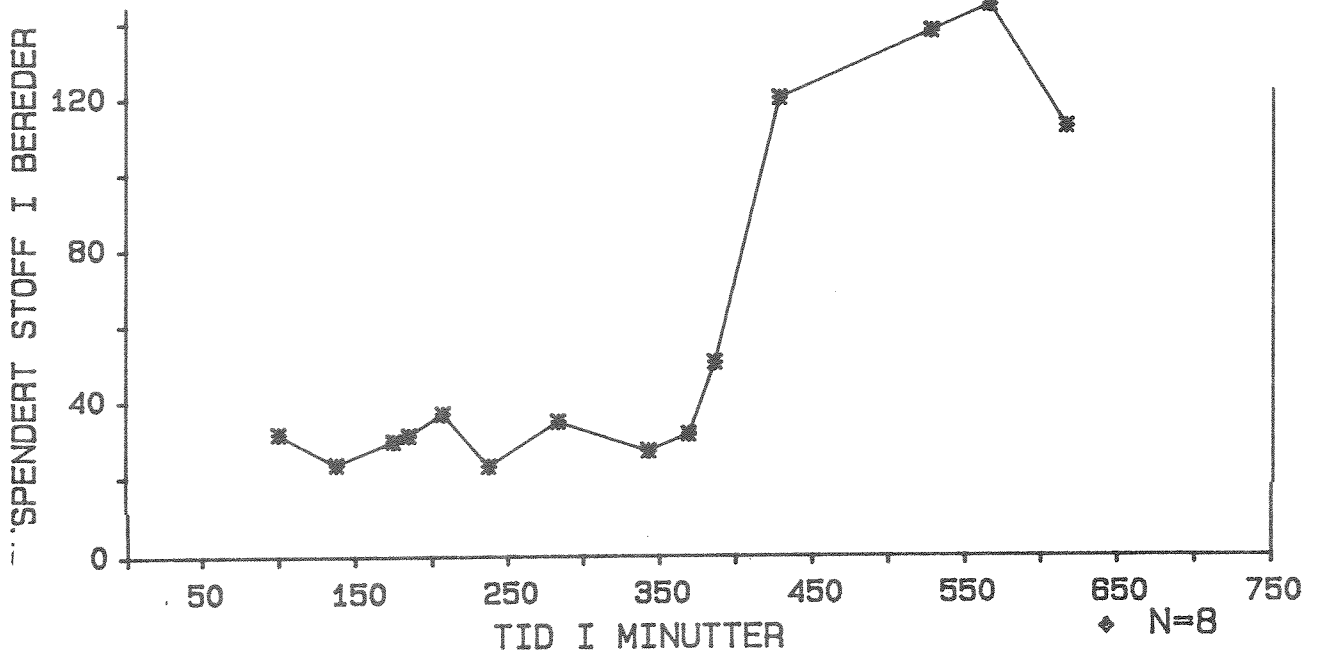
Figur 46. Nivå i cm av slamteppet i berederen.

### 3.4.3. Suspendert stoff i berederen.

I figur 47 vises innholdet av suspendert stoff i kalkvannet i toppen av berederen. I den første delen av forsøket ligger innholdet jevnt omkring 25 - 40 mg SS/l. Selv med betydelige økninger i hydraulisk belastning og jevn heving av slamteppet, øker ikke innholdet av suspendert stoff i den første tiden. I forhold til sammenlignbare perioder i tidligere forsøk ligger innholdet av suspendert stoff i dette forsøket på et lavere eller samme nivå.

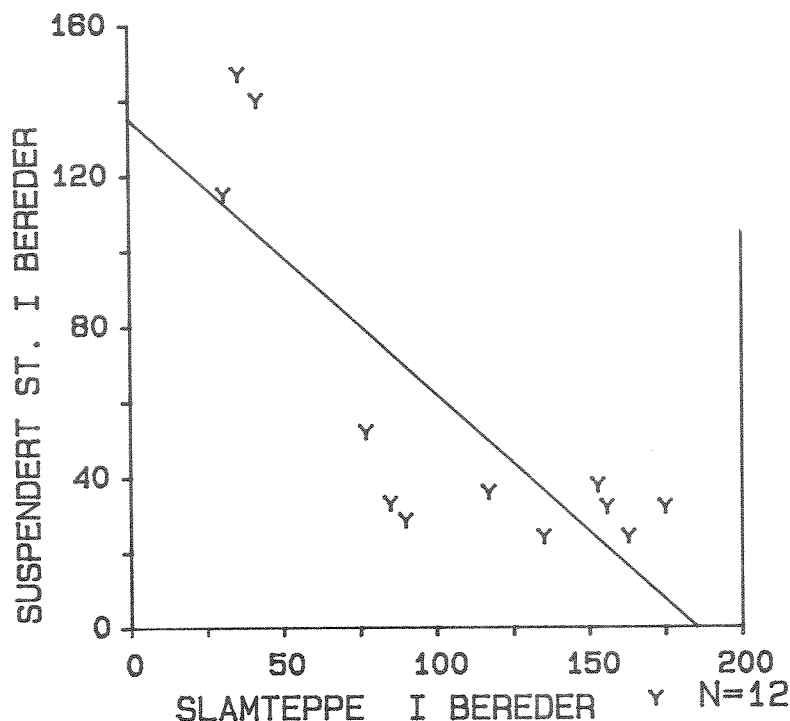
Ca 375 minutter ut i forsøket øker imidlertid innholdet raskt og havner etter kort tid på hele 130 mg SS/l. Denne kraftige økningen inntreffer med slamteppet hele 70 - 80 cm under overflaten på berederen. Resultatene bekrefter det samme som observeres tidligere. Store mengder partikulært materiale synes å sveve over slamteppet i berederen og påvirker vannkvaliteten sterkt før slamteppet når toppen av berederen.

Helt på slutten av forsøket reduseres innholdet av suspendert stoff svakt. Reduksjonen skjer på tross av vedvarende høy hydraulisk belastning. Slamteppet stiger i denne perioden svært sakte og er i ferd med å flates ut. Det synes i denne periode å ha foregått en utvasking av partikulært materiale i berederen.



Figur 47. Suspendert stoff i mg SS/l i topp på berederen.

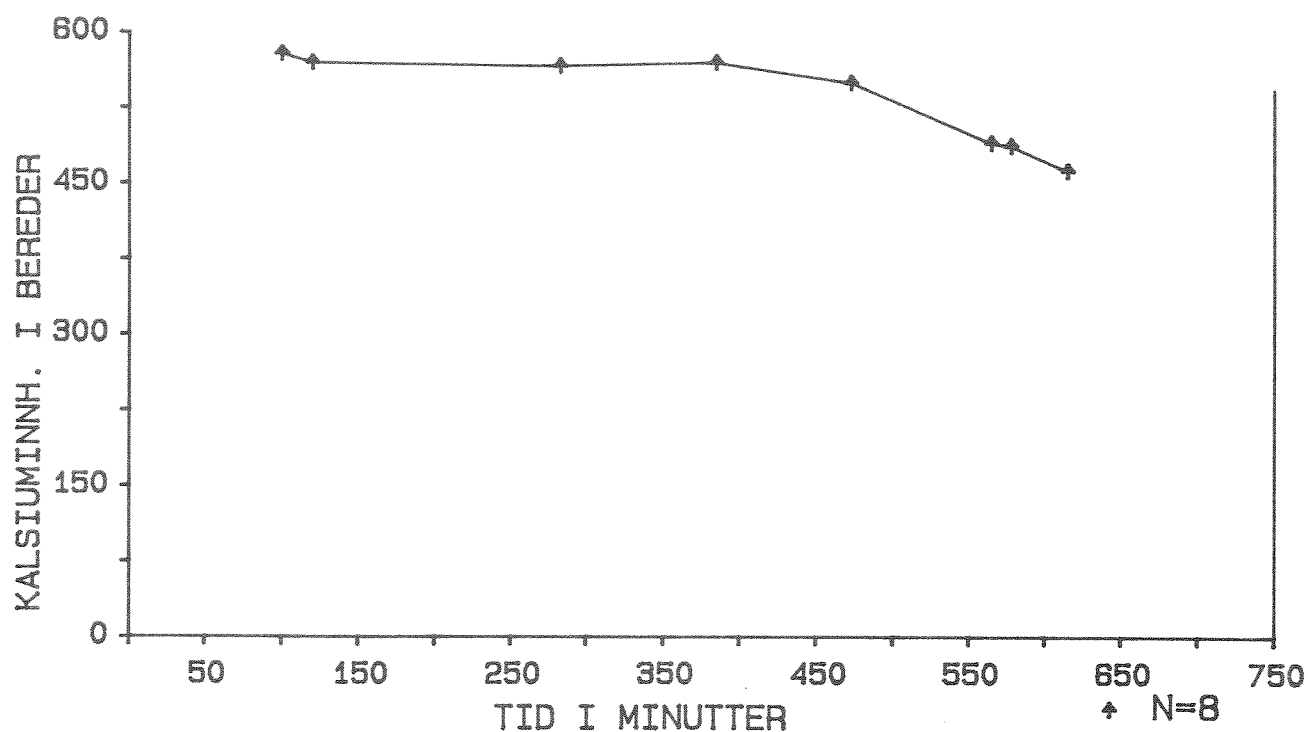
Figur 48 viser sammenhengen mellom nivået på slamteppet og suspendert stoff i berederen. Den lineære sammenhengen er brukbar, mens den logaritmiske sammenhengen er bedre.



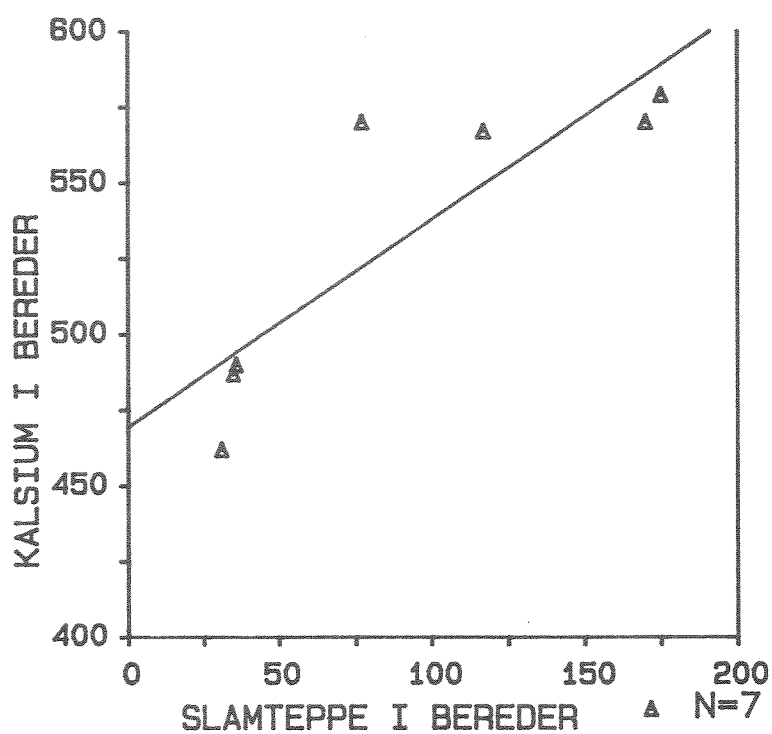
Figur 48. Sammenheng mellom nivået av slamteppet i cm og innholdet av suspendert stoff i mg SS/l i kalkvannet i toppen av berederen.

#### 3.4.4. Kalsium i bereder.

I figur 49 vises innholdet av kalsium i kalkopløsningen i toppen av berederen. I motsetning til suspendert stoff forekommer det ingen økning i kalsiuminnhold i toppen av berederen utover i forsøket. Faktisk skjer det en svak reduksjon i innholdet helt i slutten av forsøket. Denne reduksjonen forårsakes trolig av fortynningen av kalkvannet p.g.a. redusert hydratkalktilførsel i forhold til vann gjennom berederen. Resultatene samsvarer godt med resultater fra tidligere forsøk, hvor liten eller ingen økning i kalsium skjer utover i forsøket. De store økningene i partikkelinnholdet i kalkvannet ved heving av slamteppet gir ingen økninger i kalsiuminnholdet. Også disse resultatene tyder på at partiklene i kalkvannet i liten grad er knyttet til kalsiumforbindelser.



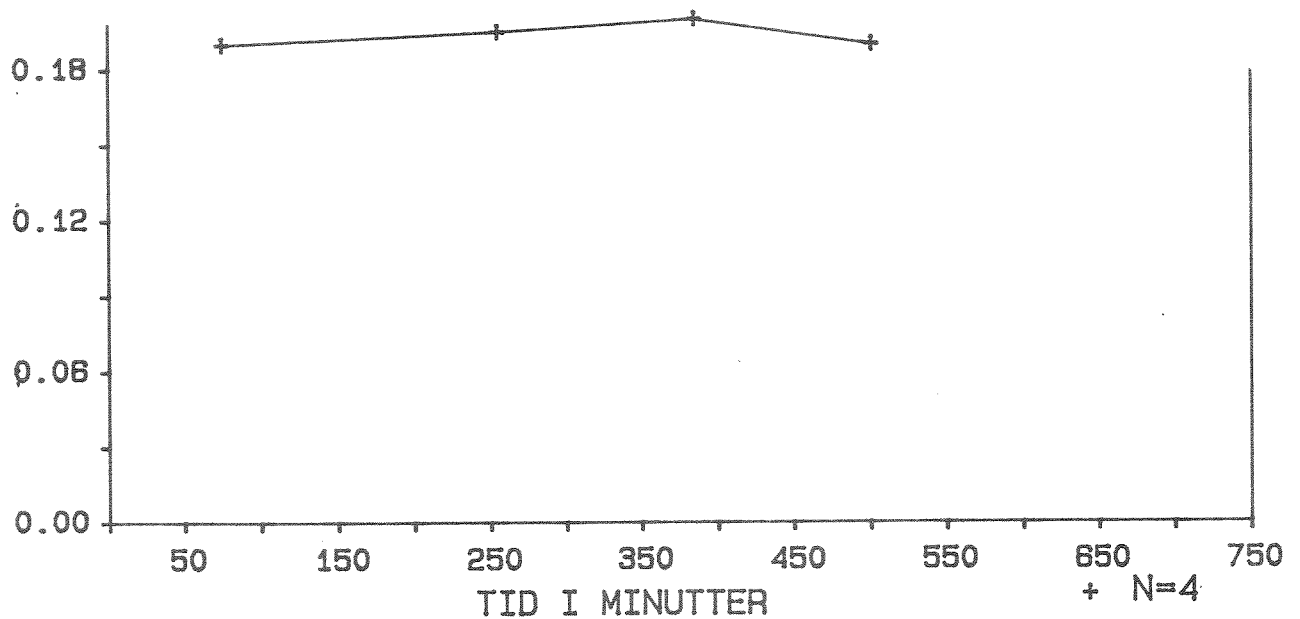
Figur 49. Innholdet av kalsium i mg Ca/l i kalkvannet i toppen av berederen.



Figur 50. Sammenhengen mellom nivå av slamteppe i cm og kalsiuminnholdet i mg Ca/l i kalkvannet i berederen.

### 3.4.5. Vanntilførsel til blandtank.

Tilførselen av vann og kalkvann til blandtanken ligger i dette forsøket jevnt på henholdsvis ca. 18 og 0.2 l/min. Forholdet mellom kalkvann og vann er dermed 1.1 prosent gjennom hele forsøket.

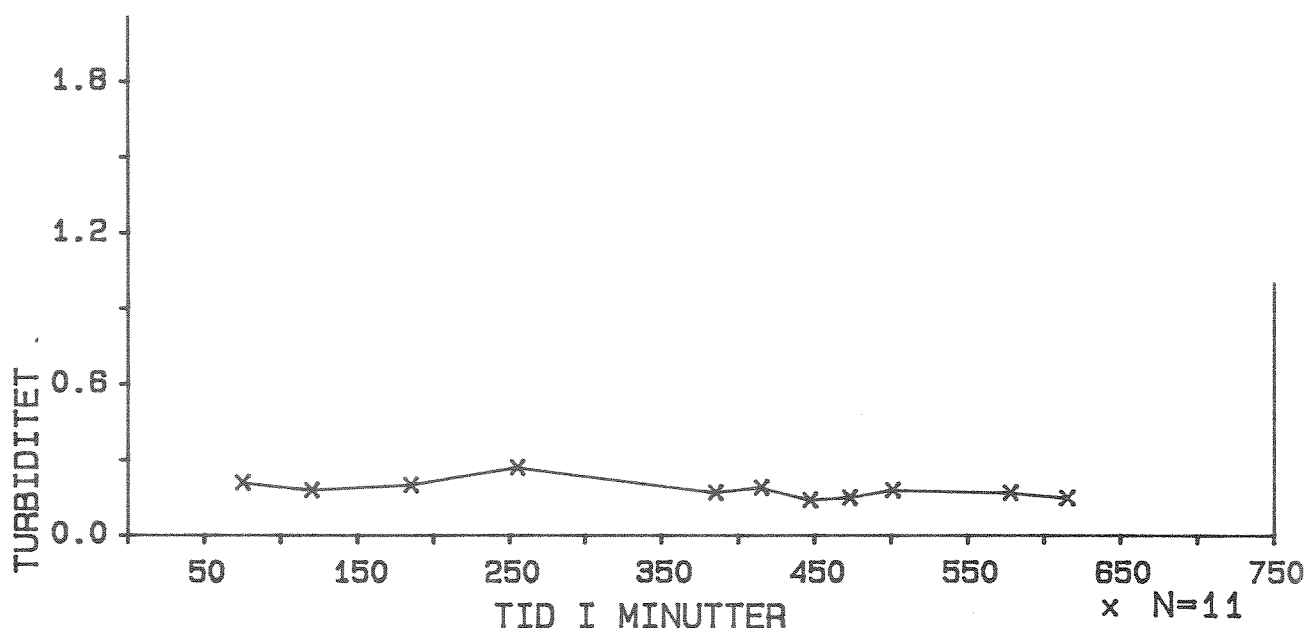


Figur 51. Kalkvannstilførselen i l/min til blandtank.

### 3.4.6. Turbiditet i tilførselsvann.

Figur 52 viser at turbiditet i tilførselsvann ligger mellom 0.15 og 0.25 FTU gjennom hele forsøket.





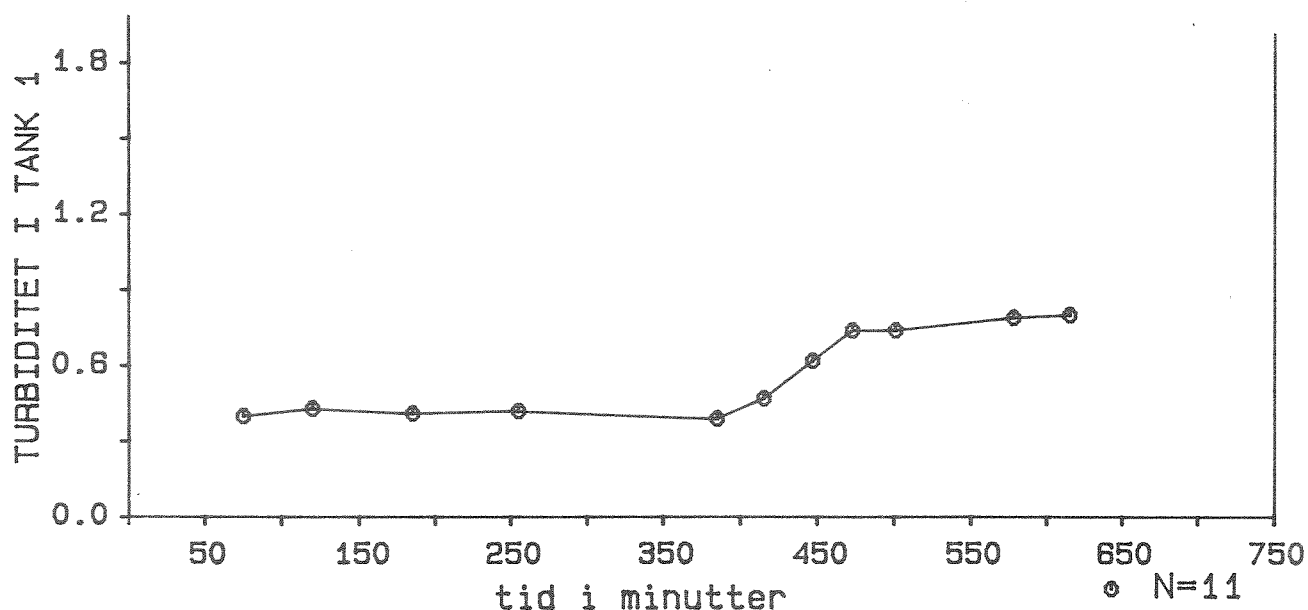
Figur 52. Turbiditet i FTU i tilførselsvann til blandtanken.

#### 3.4.7. Turbiditet i tank 1.

Figur 53 viser turbiditet i tank 1. Generelt følger verdiene godt innholdet av suspendert stoff i berederen. I den første delen av forsøket ligger turbiditetsverdiene jevnt på ca. 0.4 FTU, som bare er ca. 0.15 FTU høyere enn turbiditetsverdien i tilførselsvannet. Resultatene fra denne delen av forsøket viser at kalkvannstilførselen i relativt liten grad påvirker vannet negativt, selv om det må påpekes at partikkeløkningen er hele 60 prosent, og partikkelinnholdet bare er 0.1 FTU eller 20 prosent under kvalitetsgrensene til et godt drikkevann. Det må også understrekes at kalkvannsdoseringen bare er 1.1 prosent av vanntilførselen i dette forsøket.

Økningen i innholdet av suspendert stoff i berederen gir også merkbare økninger i turbiditetsverdiene i tank 1. I dette forsøket er imidlertid ikke økningen på langt nær så stor som i de foregående forsøkene. Fra ca. 0.25 FTU i forsyningsvannet økes turbiditetsverdien til ca. 0.80 FTU etter kalkvannstilsetning. Økningen er på vel 200 prosent, og kvalitetsgrensene til et godt drikkevann overskrides med 0.3 FTU eller 60 prosent.

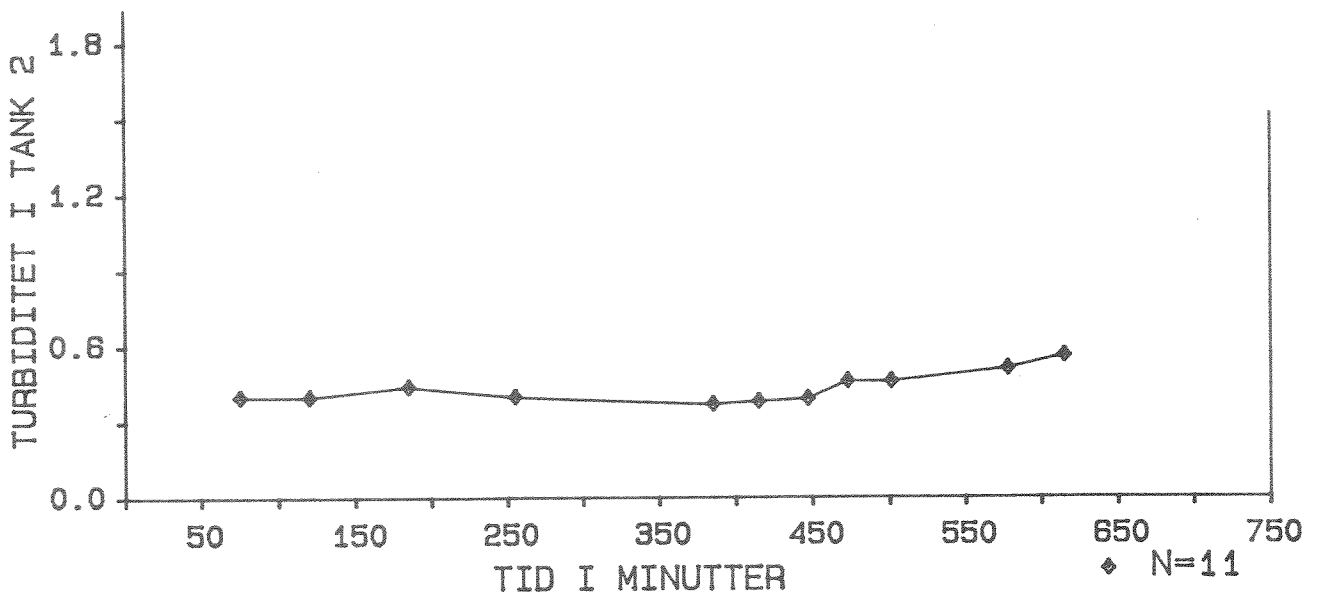
Det maksimale innholdet av suspendert stoff i berederoverflaten er nesten like stort i dette forsøket som i det foregående. Den maksimale turbiditetsverdien i tank 1 er imidlertid bare 0.8 FTU i dette forsøket, i motsetning til 140 FTU i det foregående forsøket. Årsaken til denne store forskjellen er vanskelig å fastslå. Betydning kan det ha at slamteppet ikke når helt opp til overflaten i berederen i dette forsøket. En viss betydning har det at tilførselen av kalkvann i dette forsøket er noe mindre enn i det foregående forsøket.



Figur 53. Turbiditet i FTU i tank 1.

### 3.4.8. Turbiditet i tank 2.

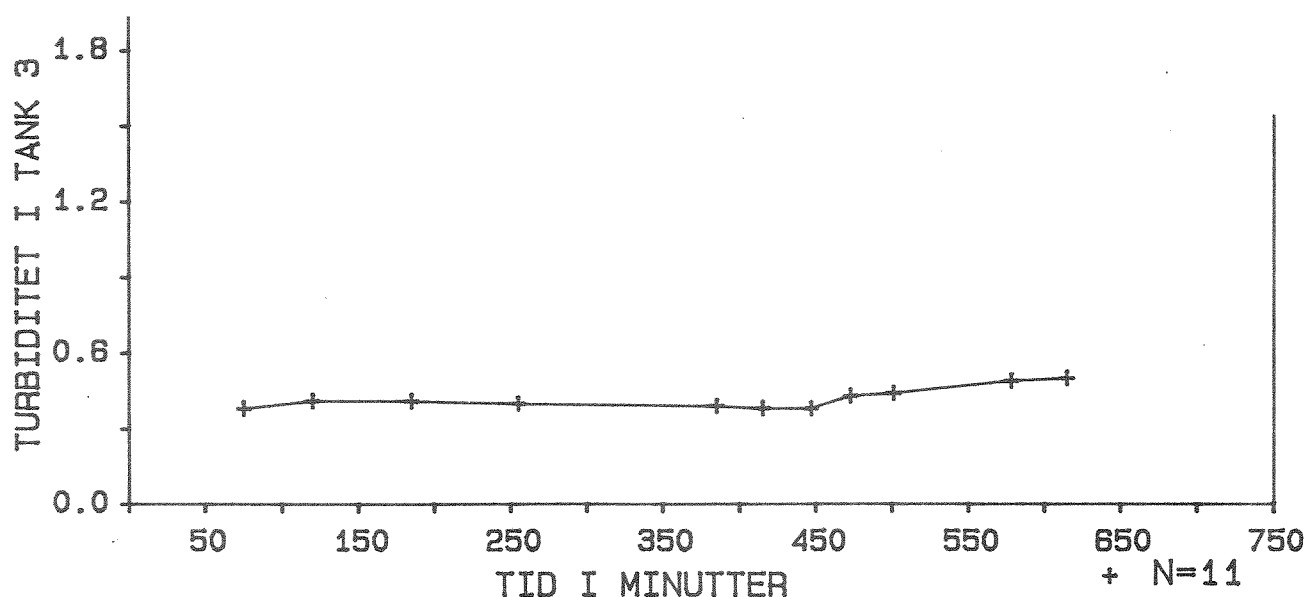
Figur 54 viser turbiditet i tank 2. Turbiditetsverdiene i første delen av forsøket ligger jevnt i området 0.4 FTU, som er svært lik turbiditetsverdiene i tank 1 i denne delen av forsøket. Resultatene viser m.a.o. ingen reduksjon i turbiditetsverdier mellom tank 1 og tank 2.



Figur 54. Turbiditet i FTU i tank 2.

### 3.4.9. Turbiditet i tank 3.

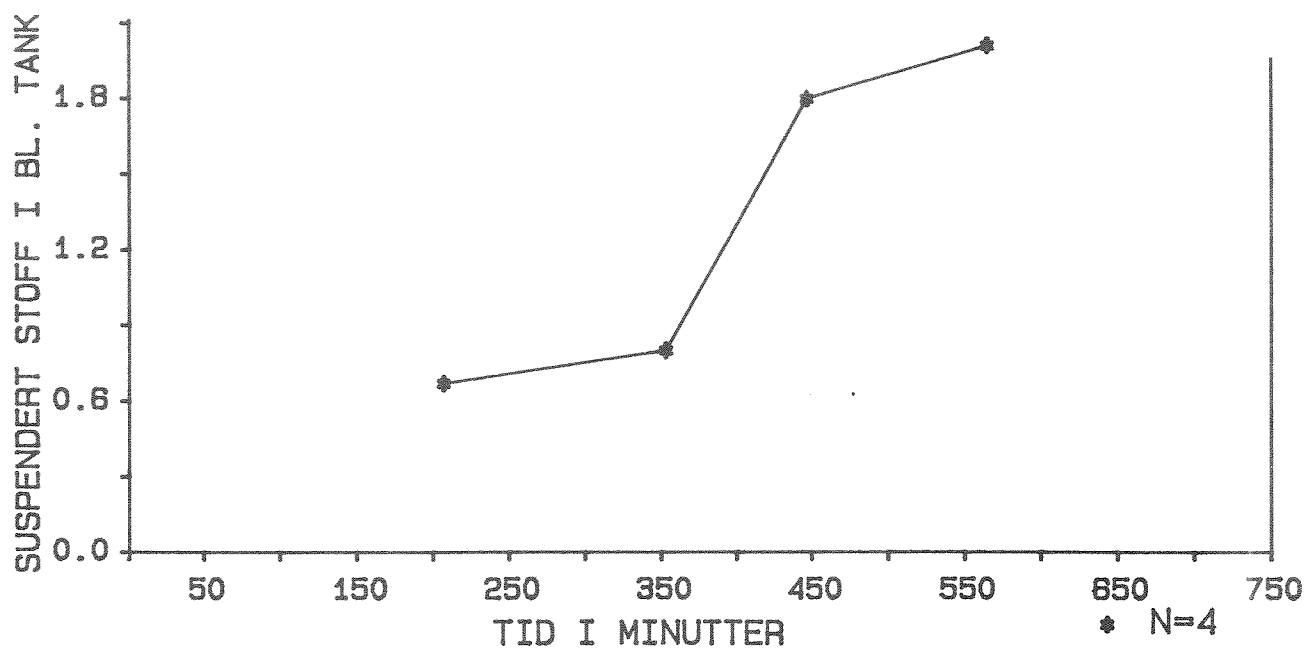
Figur 55 viser turbiditet i tank 3. I den største delen av forsøket ligger verdiene omkring 0.4 FTU som i tank 2. I denne perioden forekommer det ingen reduksjon i turbiditet i forhold til tankene 1 og 2. Helt mot slutten av forsøket registreres en svak økning i turbiditet i tank 3, som i tank 1 og 2. Økningen er mindre enn i tank 2. Totalmengden av partikulært materiale er sannsynligvis ikke redusert gjennom tankene, men toppen i partikkelkonsentrasjon er trolig heller flatet ut over en større tidsperiode.



Figur 55. Turbiditet i FTU i tank 3.

### 3.4.10. Suspendert stoff i tank 1.

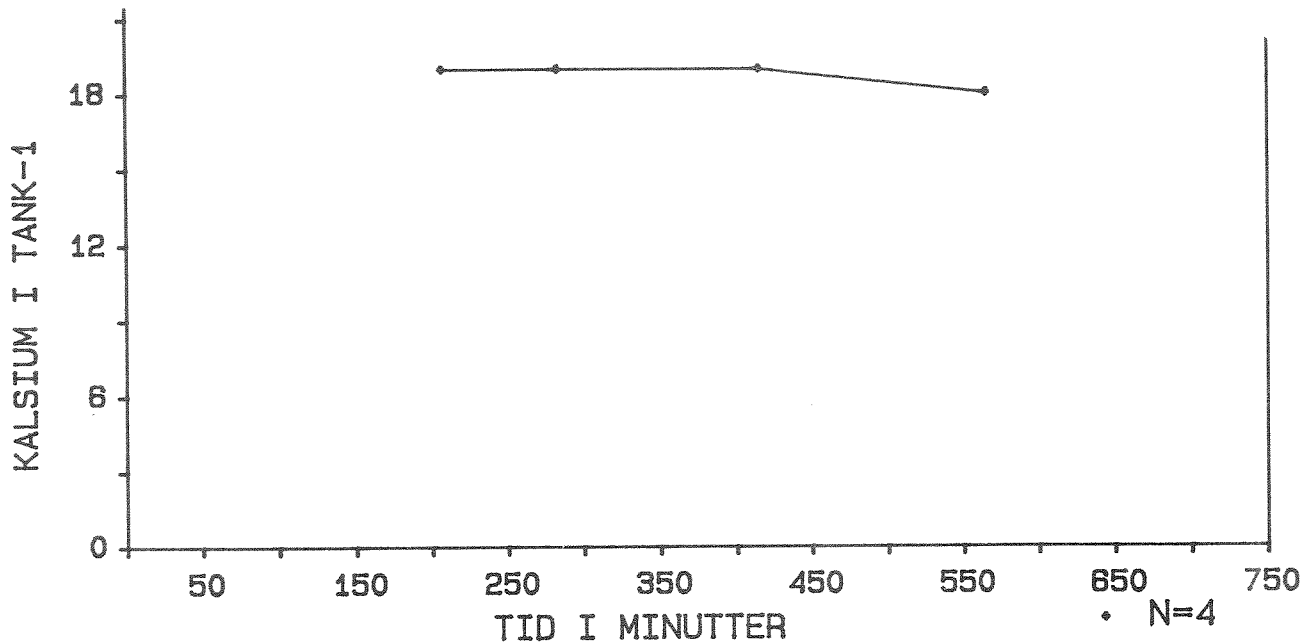
I figur 55 vises innholdet av suspendert stoff i tank 1. I store trekk følger kurven forløpet av turbiditet i tank 1.



Figur 56. Innhold av suspendert stoff i mg SS/l i tank 1.

#### 3.4.11. Kalsiuminnhold i tank 1.

Figur 57 viser kalsiuminnholdet i tank 1. Innholdet ligger jevnt omkring 19 - 20 mg Ca/l gjennom hele forsøket. Det forekommer ingen økning i kalsiuminnholdet p.g.a. økningen i partikkelinnholdet. Dette samsvarer med kalsiuminnholdet i kalkopløsningen fra berederen, hvor det som tidligere beskrevet ikke forekommer noen økning i kalsiuminnholdet.

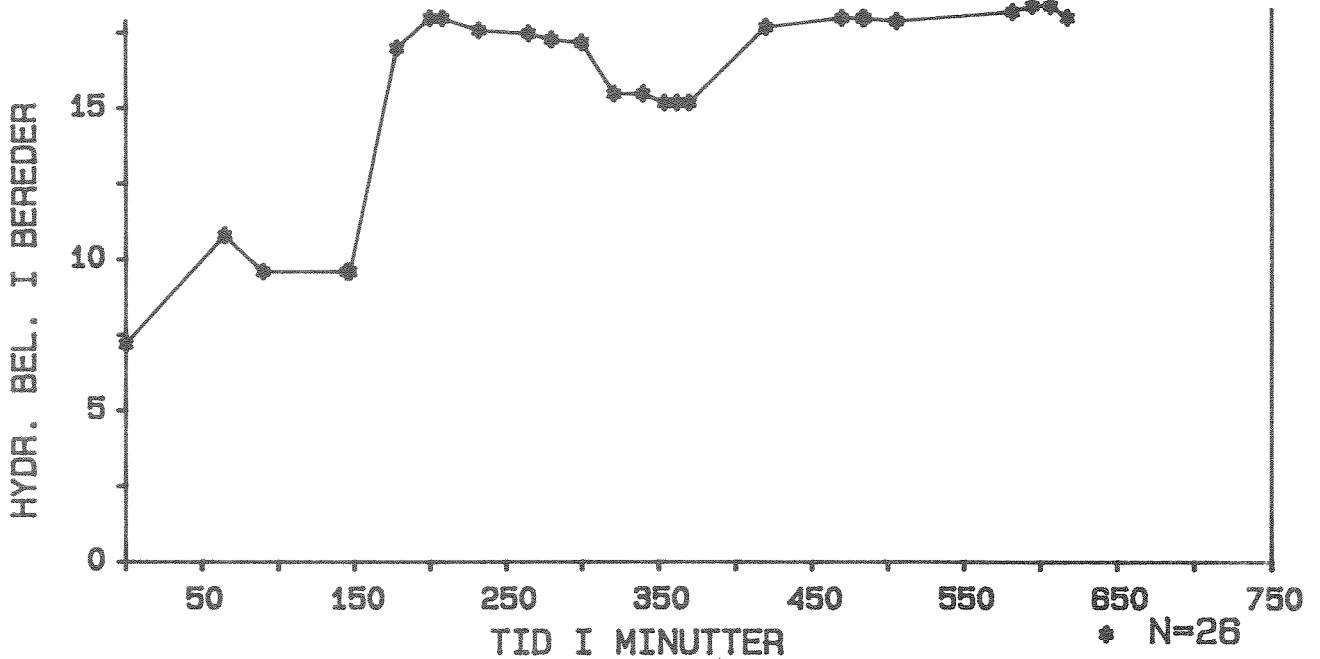


Figur 57. Kalsiuminnhold i mg Ca/l i tank 1.

### 3.5. Forsøk 5

#### 3.5.1. Hydraulisk belastning på berederen.

Figur 58 viser hydraulisk belastning på berederen. I de første 150 minuttene av forsøket ligger belastningen på mellom 4.5 og 11 m<sup>3</sup>/h, som tilsvarer overflatehastigheter på henholdsvis ca. 0.20 og 0.49 m/h. Ca. 150 minutter ut i forsøket økes belastningen til hele 18 m<sup>3</sup>/h eller 0.80 m/h. På dette nivået ligger belastningen i resten av undersøkelsen. Den er bare avbrutt av en forbigående reduksjon til ca. 15 m<sup>3</sup>/h. Disse hydrauliske belastningene er betydelig høyere enn i de foregående forsøkene.

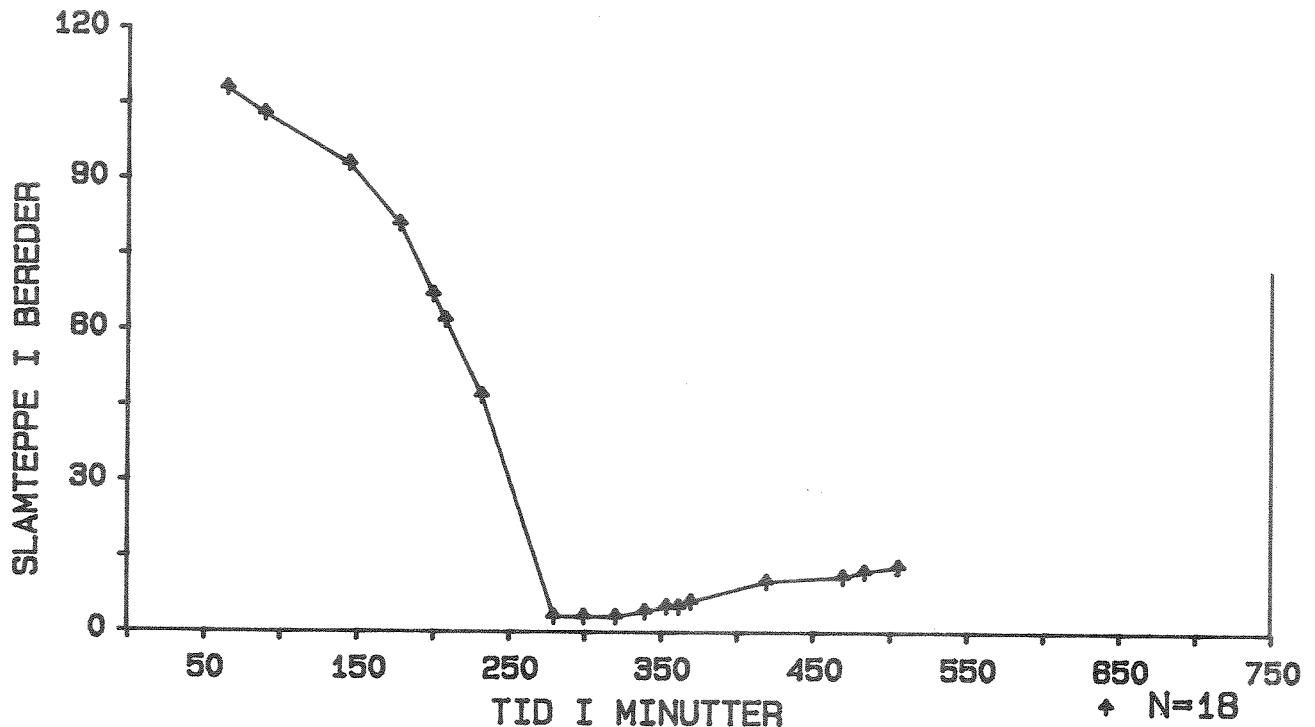


Figur 58. Hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h i berederen.

### 3.5.2. Slamteppet i berederen.

I figur 59 vises nivået på slamteppet i berederen. I de første 150 minutter heves slamteppet med en jevn hastighet på ca. 0.14 m/h som er ca 30 prosent av den gjennomsnittlige overflatehastighet i berederen i denne perioden. Når overflatehastigheten økes etter 150 minutter, økes også stige-hastigheten på slamteppet. Den gjennomsnittlige hastigheten av slamteppet før det når overflaten, er ca. 0.4 m/h, som er ca. 50 prosent av overflatehastigheten på berederen i perioden. Hastigheten på slamteppet synes m.a.o. å øke med tiden i denne perioden.

En stund etter at slamteppet har nådd overflaten, synker det sakte. Senkningen av teppet starter først etter at den hydrauliske belastningen reduseres, men stopper ikke selv om belastningen igjen øker til det opprinnelige nivå på ca. 18 m<sup>3</sup>/h. Senkningen av teppet går da bare saktere.



Figur 59. Nivå i cm på slamteppet i berederen.

### 3.5.3. Suspendert stoff i berederen.

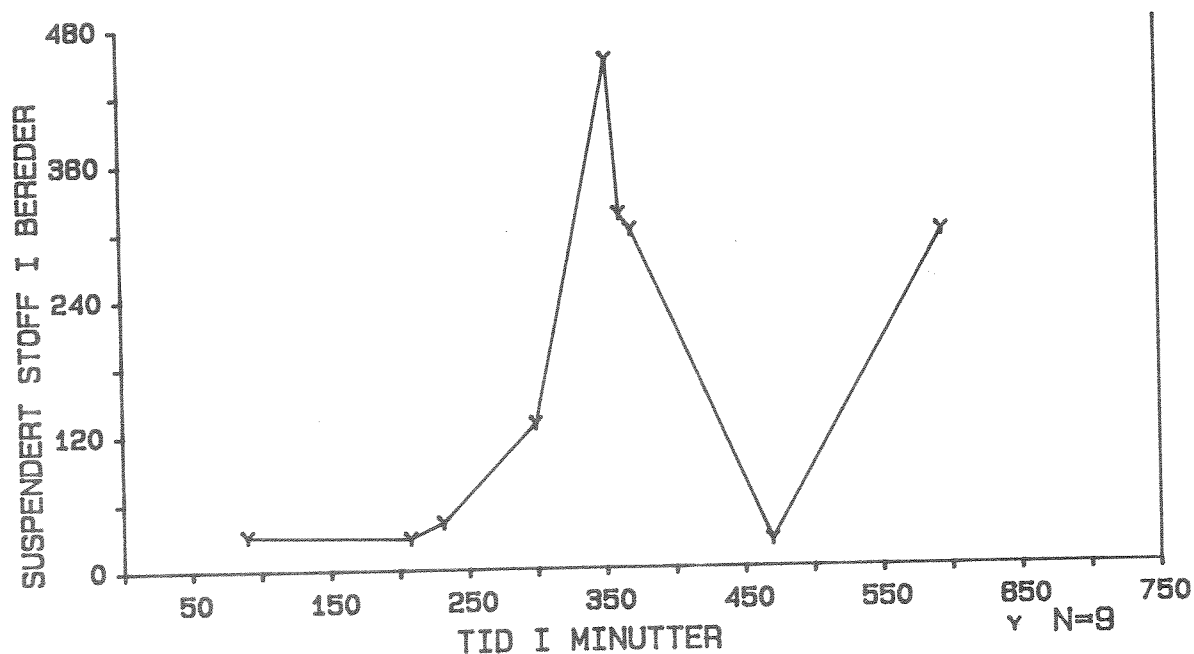
Figur 60 viser innholdet av suspendert stoff i kalkvannet i toppen av berederen. I den første tiden ligger innholdet av suspendert stoff på omkring 30 mg SS/l, som er lavere enn i mange av de tidligere forsøkene. Ca. 210 minutter ut i forsøket øker innholdet. På dette tidspunktet er fortsatt slamteppet ca 60 cm under overflaten i berederen. Først etter at slamteppet har gått i overflaten i ca. 70 minutter, og er på vei nedover, registreres det maksimale nivået av suspendert stoff i berederen på hele 480 mg SS/l. Dette innholdet er det høyeste som registreres i kalkvannet i berederen av alle de utførte forsøkene. Det kan tenkes at innholdet er enda høyere, noe før dette tidspunktet, men at dette ikke fanges opp av prøvetakingen.

Innholdet av suspendert stoff faller til ca 30 mg SS/l ca. 460 minutter ute i undersøkelsen. Dette fallet er temmelig stort og har trolig sammenheng med reduksjonen i hydraulisk belastning tidligere i forsøket. Interessant er det å legge merke til at



dette lavnivået i suspendert stoff først skjer etter at hydraulisk belastning i berederen igjen stiger. Slamteppet ligger da bare noen få cm under berederoverflaten, men det synes å ha en betydelig treghet. Mot slutten av forsøket øker igjen innholdet av suspendert stoff og bekrefter ovennevnte treghet.

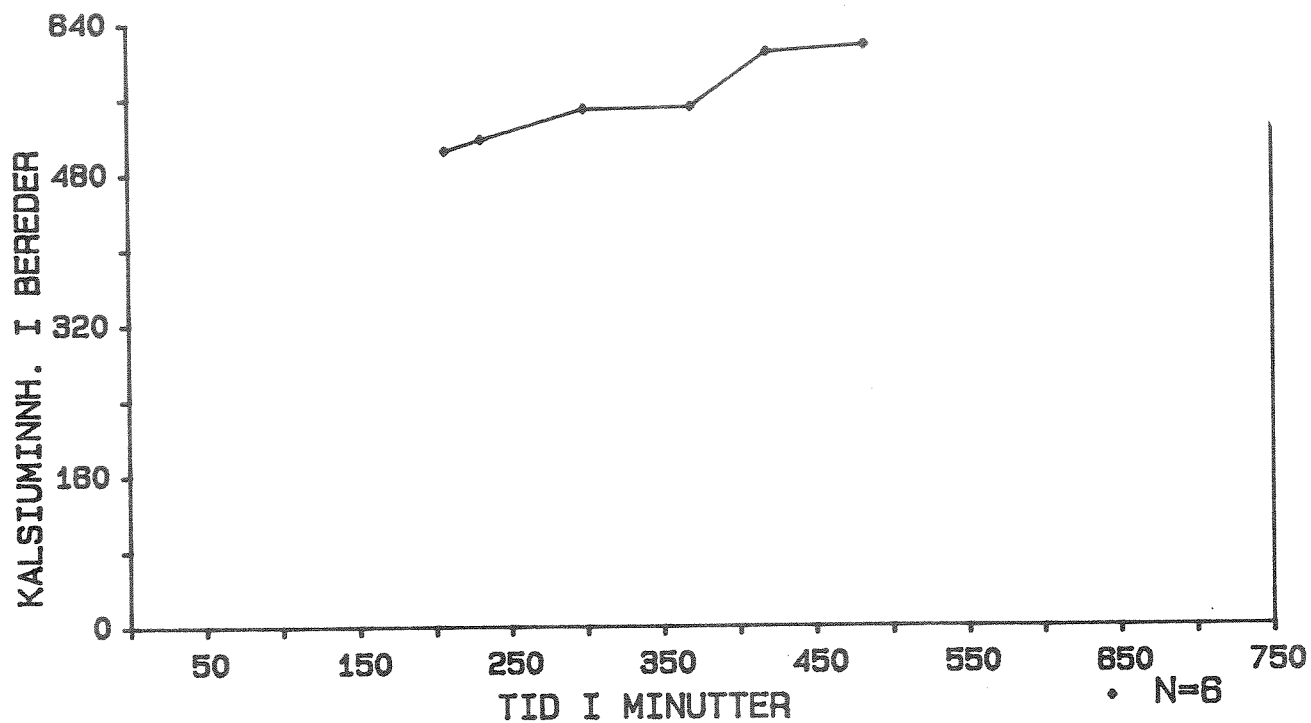
Noe hyppigere prøvetaking ville muligens ha gitt et noe mer nyansert bilde av situasjonen.



Figur 60. Innhold av suspendert stoff i mg SS/l i kalkvannet i toppen av berederen.

#### 3.5.4. Kalsium i berederen.

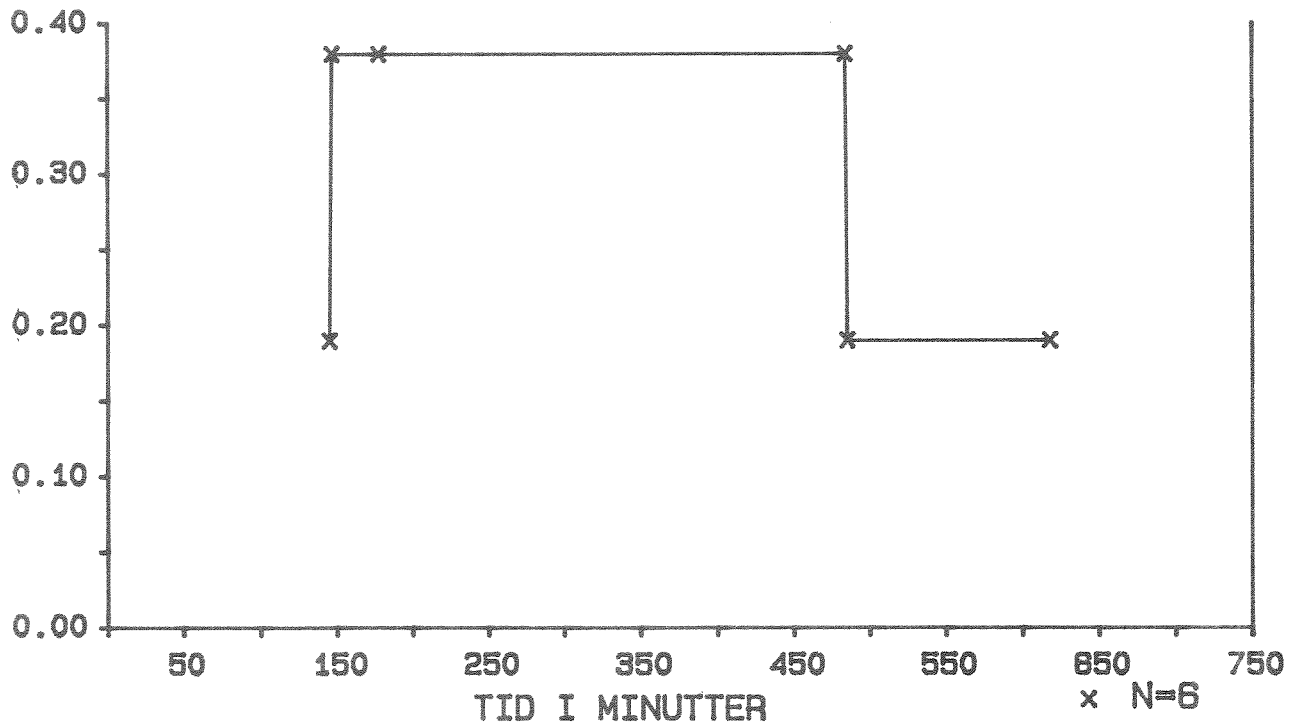
Figur 61 viser innholdet av kalsium i kalkvannet i toppen av berederen. Resultatene viser en jevn og liten stigning gjennom hele forsøket. En liten utflatning av økningen forekommer midt under reduksjonen i hydraulisk belastning. I de foregående forsøkene ligger innholdet av kalsium temmelig jevnt gjennom forsøkene, på tross av kraftige økninger i innholdet av suspendert stoff. Innholdet av kalsium øker riktignok noe i dette forsøket, men i forhold til økningen i suspendert stoff er den ubetydelig. Dette bekrefter nok en gang at kalsiumforbindelsene er oppløst i vannet og i liten grad knyttet til partikler.



Figur 61. Innhold av kalsium i mg Ca/l i kalkvannet i berederen.

### 3.5.5. Tilførsel av kalkopløsning til blandtanken.

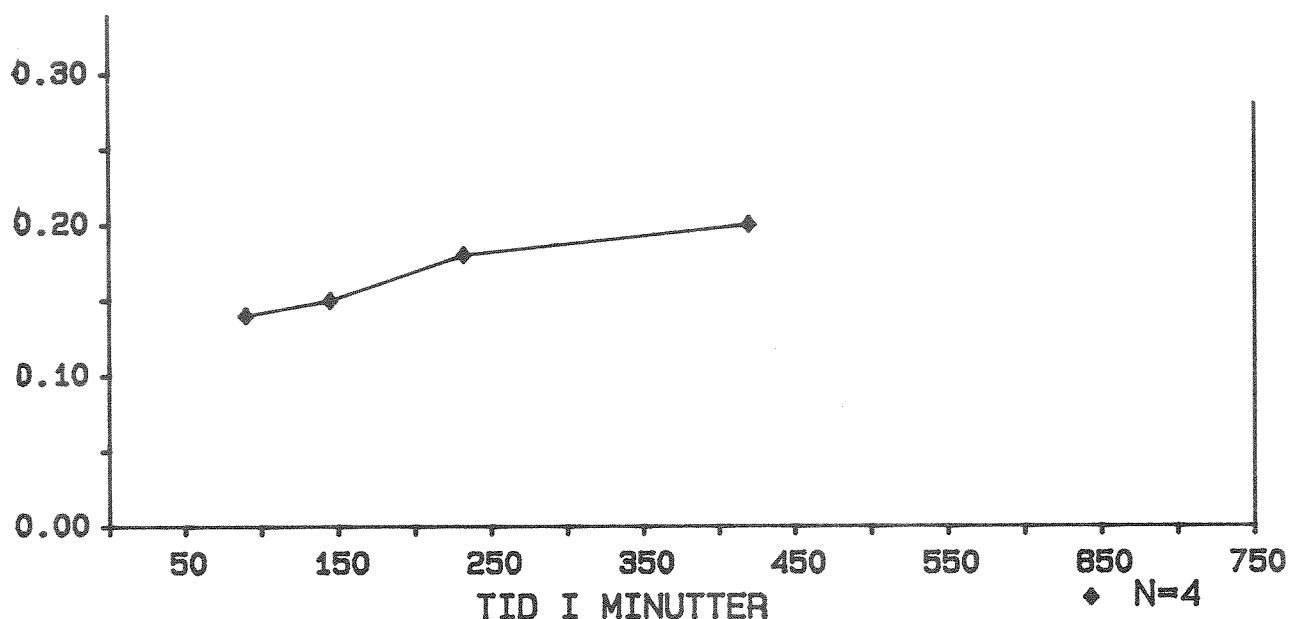
Figur 62 viser tilførselen av kalkvann til berederen. Ca. 150 minutter ut i forsøket økes kalkvannstilførselen til 0.2 l/min, som er dobbelt av vanlig tilsetning i de foregående forsøkene.



Figur 62. Kalkvannstilførsel i l/min til tank 1.

### 3.5.6. Turbiditet i forsyningsvann.

Turbiditet i forsyningsvann vises i figur 63. En svak økning i turbiditet forekommer noe ut i forsøket. Både økningen og turbiditetsverdiene er så små at de neppe har særlig betydning for turbiditetsutviklingen i tankene 1, 2 og 3.



Figur 63. Turbiditet i tilførselsvann til tank 3.

### 3.5.7. Turbiditet i tank 1.

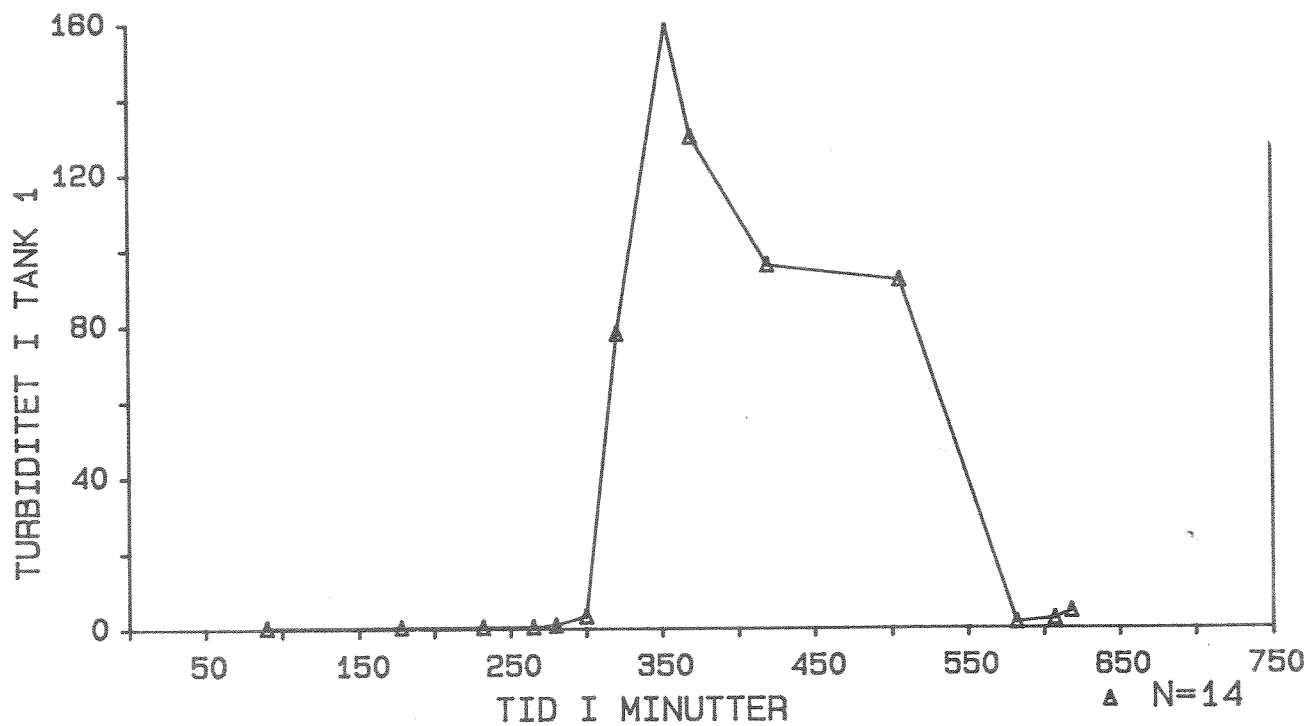
Figurene 64 og 65 viser turbiditet i tank 1 i henholdsvis full skala og forstørret utgave. I den første delen av forsøket ligger turbiditetsverdiene helt nede i 0.4 FTU. Verdien er likevel 0.25 FTU eller ca. 170 prosent høyere enn turbiditetsverdiene i tilførselsvannet til tankene. Årsaken til økningen er kalkvannstilførselen. Stigningen i turbiditetsverdi mot 0.5 FTU skyldes hovedsakelig økningen i kalkvannstilførselen og i mer begrenset grad den svake økningen i turbiditetsverdiene i tilførselsvannet.

Ca. 300 minutter ut i undersøkelsen øker turbiditetsverdien dramatisk og ender på hele 160 FTU. Denne toppen skyldes slamteppet i berederen, som går i overløp og tilfører store slammengder til tankene. I dette tilfellet overskrides de nye kvalitetsgrensene til et godt drikkevann hele 320 ganger, mens kravene til mindre godt drikkevann overskrides 160 ganger.

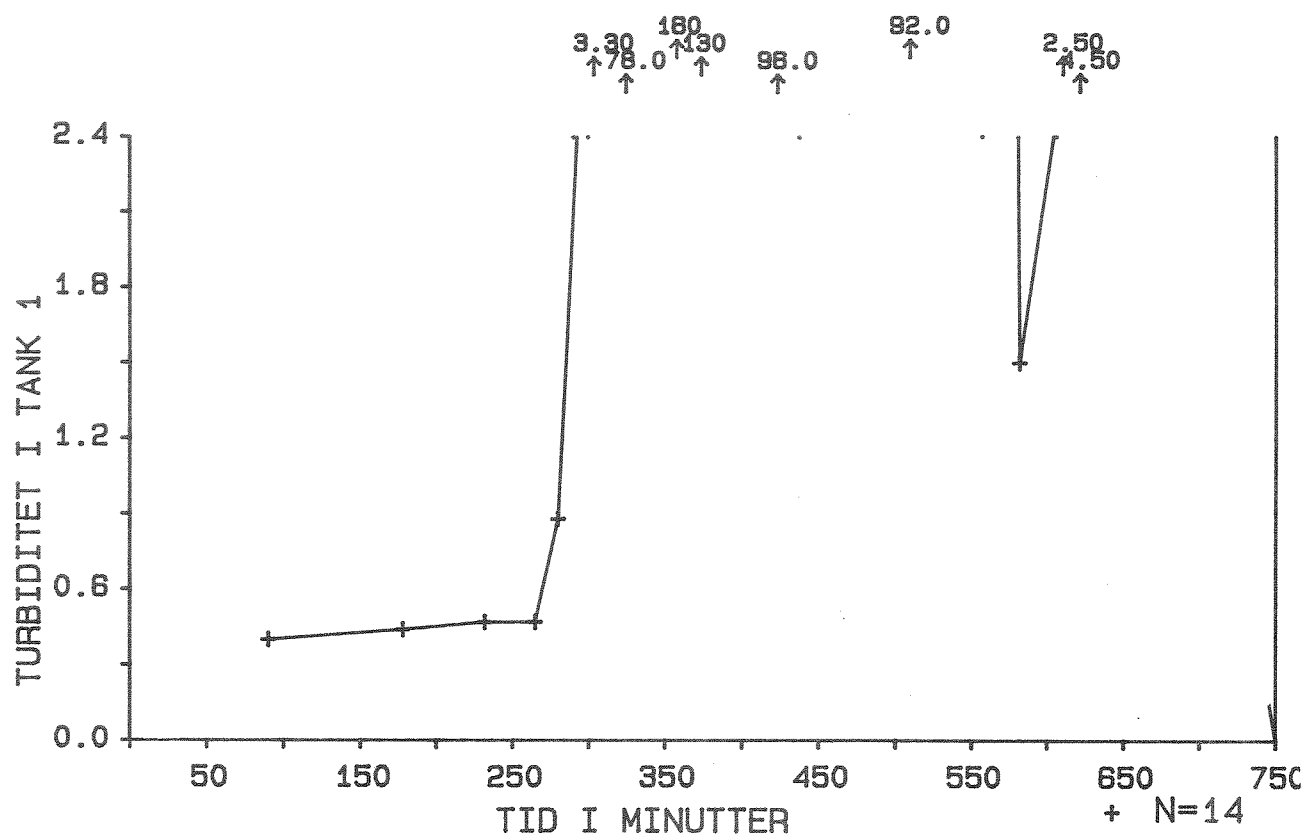
En kraftig reduksjon til et bunnivå på ca. 1.5 FTU forekommer mot slutten av forsøket. Denne verdi er fortsatt 0.5 FTU eller

50 prosent høyere enn kravene til et mindre godt drikkevann. Etter dette bunnivået fortsetter igjen turbiditetsverdien forsiktig å stige.

I store trekk følger turbiditetsverdien forløpet i innholdet av suspendert stoff i kalkvannet i berederen.



Figur 64. Turbiditet i FTU i tank 1.



Figur 65. Turbiditet i tank 1 (forstørret turbiditetsskala).

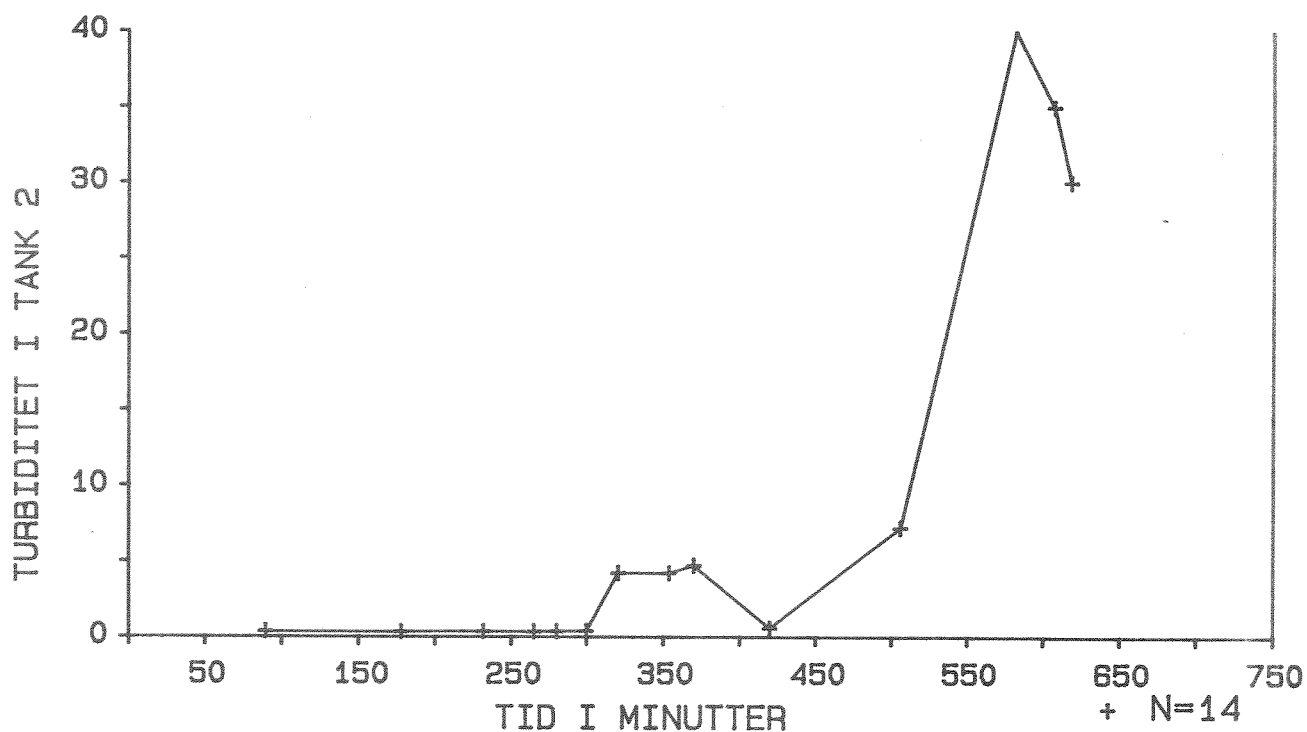
### 3.5.8. Turbiditet i tank 2.

Figur 66 og 67 viser turbiditetsverdiene i tank 2. I den første tiden ligger verdiene på 0.4 FTU som i den første tiden i tank 1. Som tidligere observert forekommer ingen reduksjon i turbiditet gjennom tank 1 og tank 2.

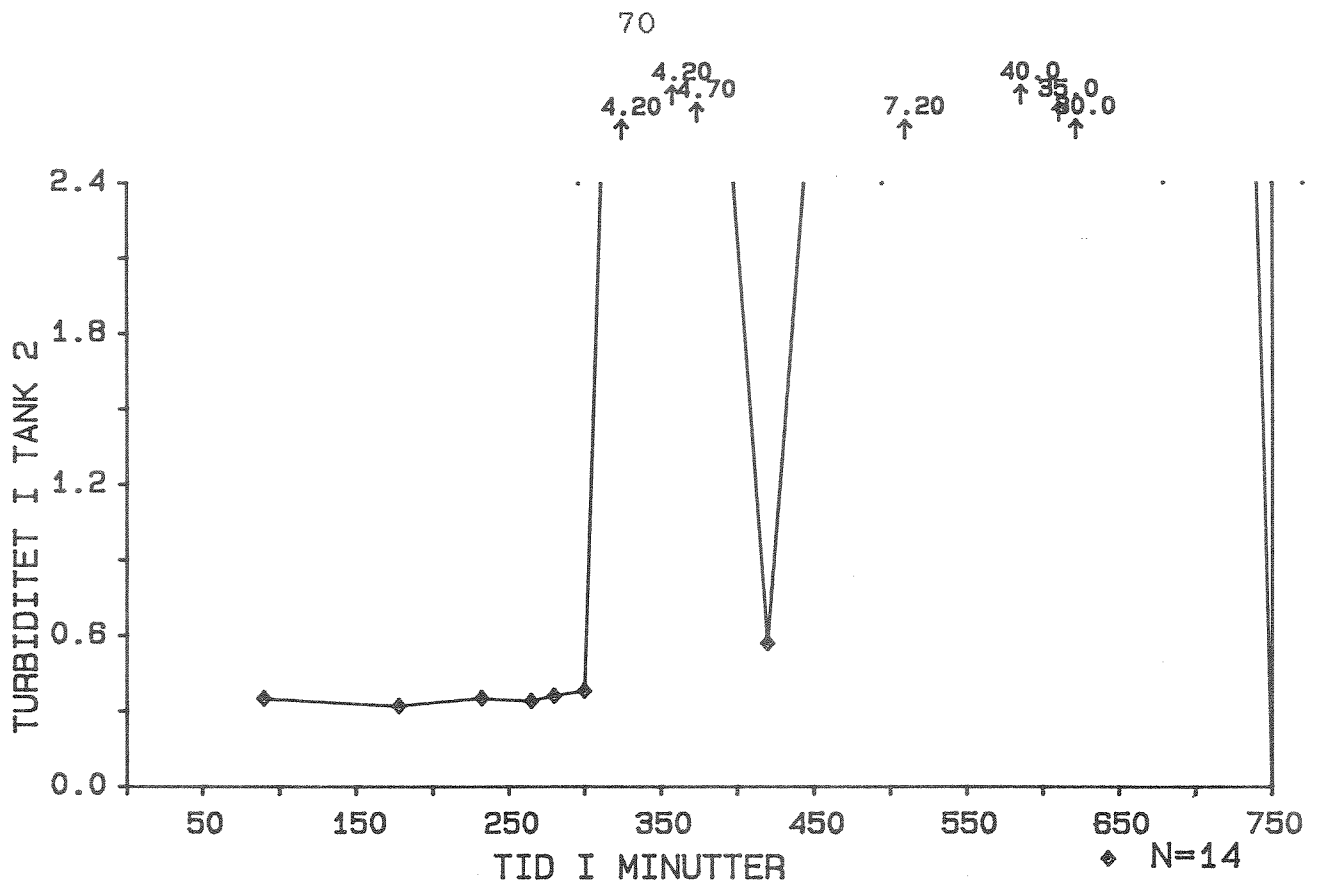
En noe uforklarlig topp til omkring 4.5 FTU registreres ca. 300 minutter ute i forsøket. Toppen forekommer riktignok på samme tid som toppen i turbiditet i tank 1, men det er likevel lite trolig at de har samme opprinnelse. Mellom disse tankene er det en betydelig oppholdstid. Delvis kan derfor toppen skyldes økningen i kalkvannstilførselen, men normalt skulle denne tilførselen gi langt lavere turbiditet. Bare en liten del av forklaringen ligger derfor her. Økningen i turbiditet i tilførselsvannet er som tidligere nevnt begrenset og har neglisjerbar betydning for denne toppen.

Vel 400 minutter ut i forsøket starter en ny topp som trolig har sammenheng med den kraftige toppen i turbiditet i tank 1 og suspendert stoff i berederen. I tank 1 er toppen hele 160 FTU, mens den i tank 2 er "bare" 40 FTU. Denne forskjellen kan skyldes sedimenteringen som finner sted gjennom tankene 1 og 2. Disse turbiditetsverdiene skyldes for en stor del partikler med opprinnelse nede i berederen, og som har en viss størrelse. Det er ikke uventet at disse i noen grad sedimenterer.

Toppene i turbiditet i begge tankene er imidlertid spisse og kortvarige og baseres på kun en prøve. Det kan derfor også tenkes at verdiene i f.eks tank 2 kan være større enn de målte, men at dette ikke fanges opp i prøvetakingen.



Figur 66. Turbiditet i FTU i tank 2.



Figur 67. Turbiditet i FTU i tank 2 (forstørret turbiditets-skala).

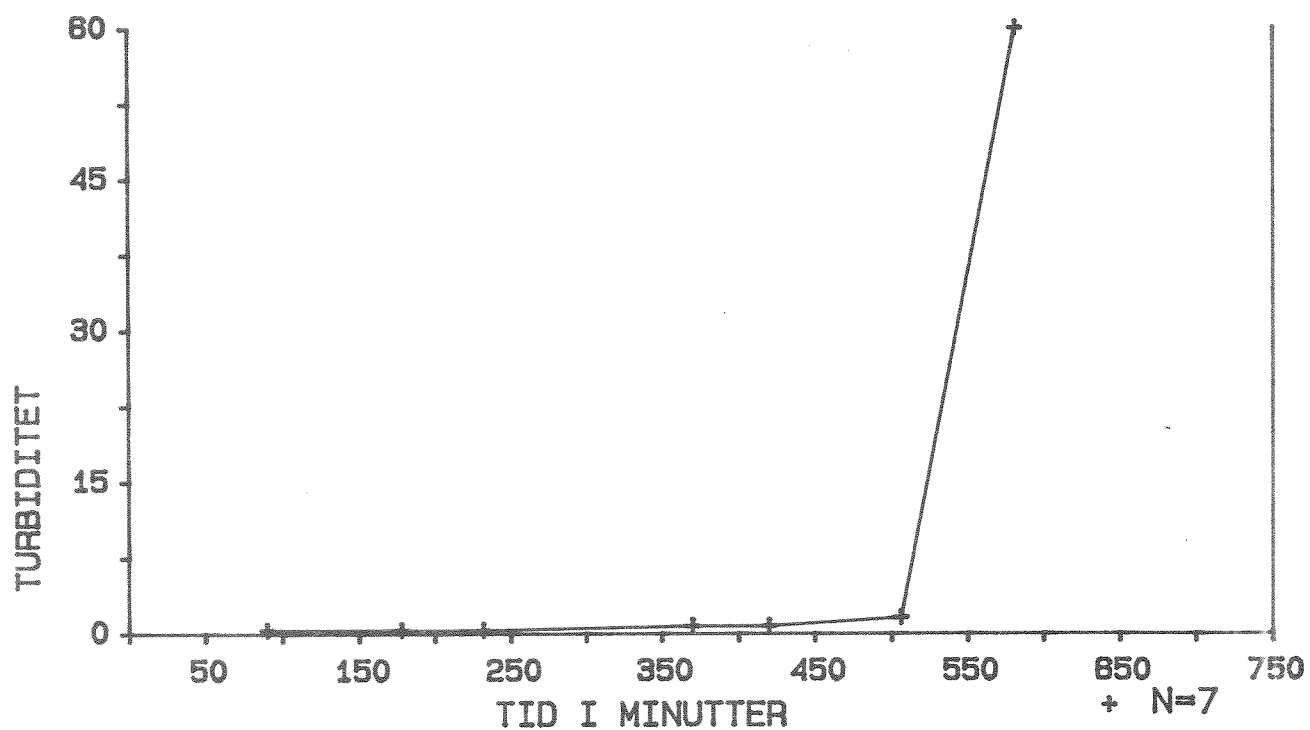
### 3.5.9. Turbiditet i tank 3.

Figurene 68 og 69 viser innholdet av turbiditet i tank 3. I begynnelsen av forsøkene ligger turbiditetsverdiene på ca. 0.4 FTU, som i tilsvarende periode i tankene 1 og 2. I denne perioden forekommer det m.a.o. ingen reduksjon i partikkelinnholdet gjennom tankene 1, 2 og 3. Økningen av turbiditet til 0.8 FTU, 250 - 400 minutter ute i forsøkene, samsvarer tidsmessig med toppen i tank 2 noe før. Verdien av turbiditet i tank 3 er imidlertid betydelig redusert.

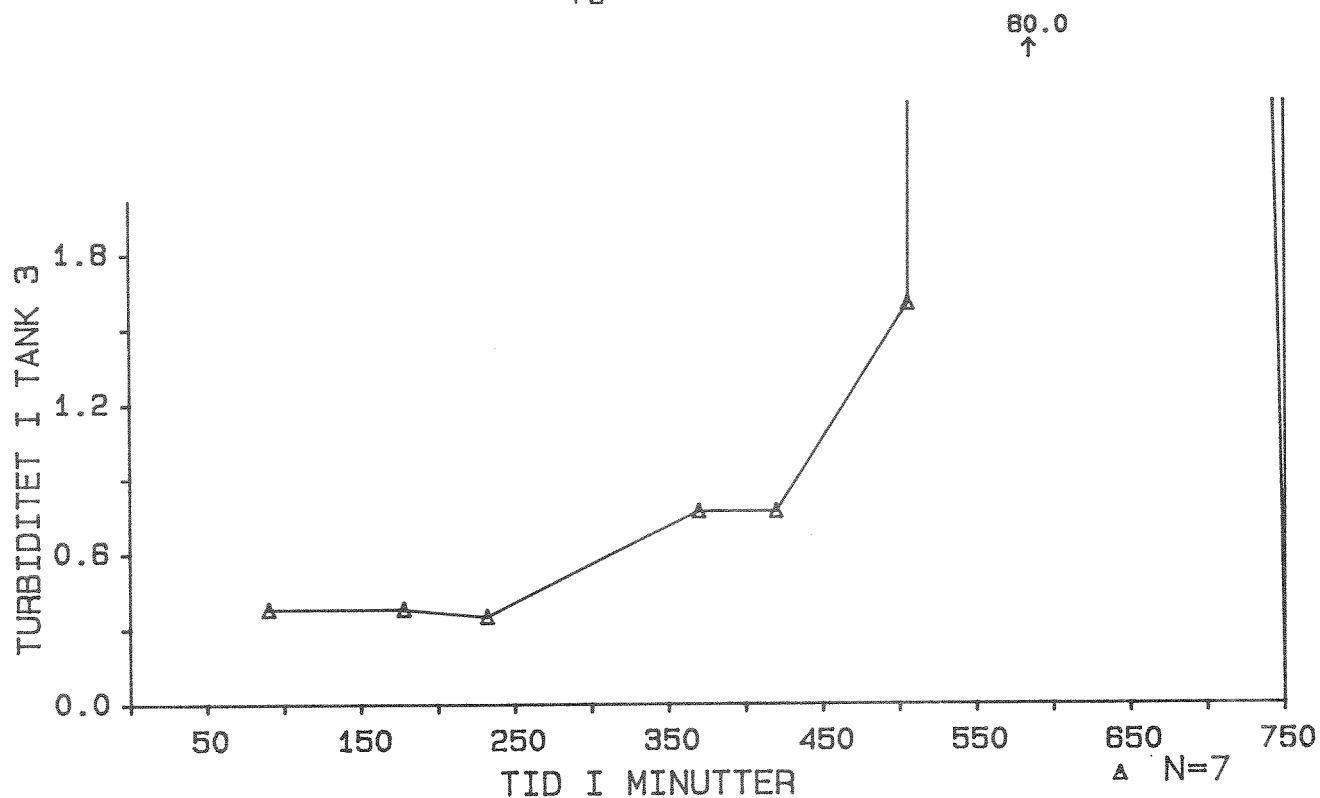
Helt på slutten av forsøket starter en betydelig økning i turbiditet som havner på hele 60 FTU. Denne økningen samsvarer godt med de store økningene i tankene 1 og 2 som skyldes hevingen av slamteppet i berederen og den tidligere beskrevne slamflukt. I tank 3 er denne toppen selvsagt tidsmessig forskjøvet og registreres her i slutten av forsøket. Om turbiditetsverdiene virkelig er enda høyere er vanskelig å si,



men faktisk registreres en større topp i turbiditet i tank 3 enn i tank 2. Dette kan skyldes, som tidligere nevnt at den spisse toppen i turbiditet ikke fullt ut karakteriseres i prøvetakingen.



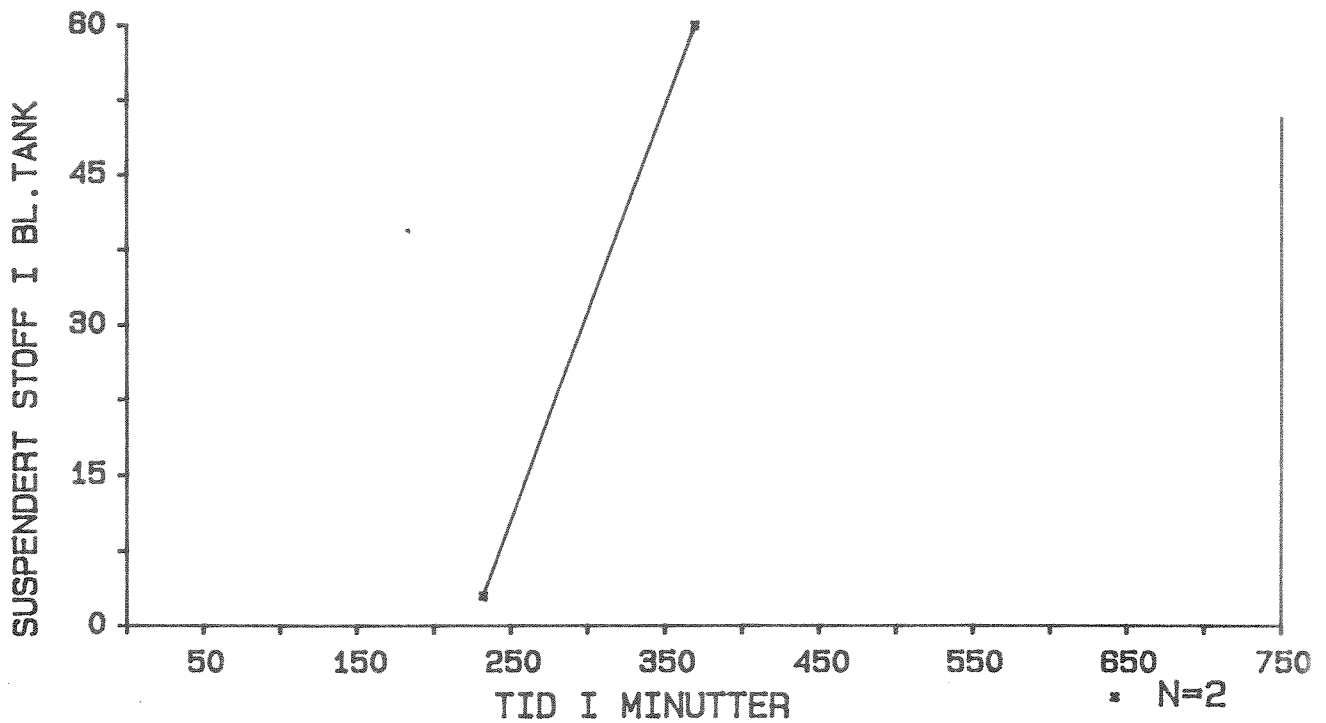
Figur 68. Turbiditet i FTU i tank 3.



Figur 69. Turbiditet i FTU i tank 3 (forstørret turbiditets-skala).

### 3.5.10. Suspendert stoff i tank 1.

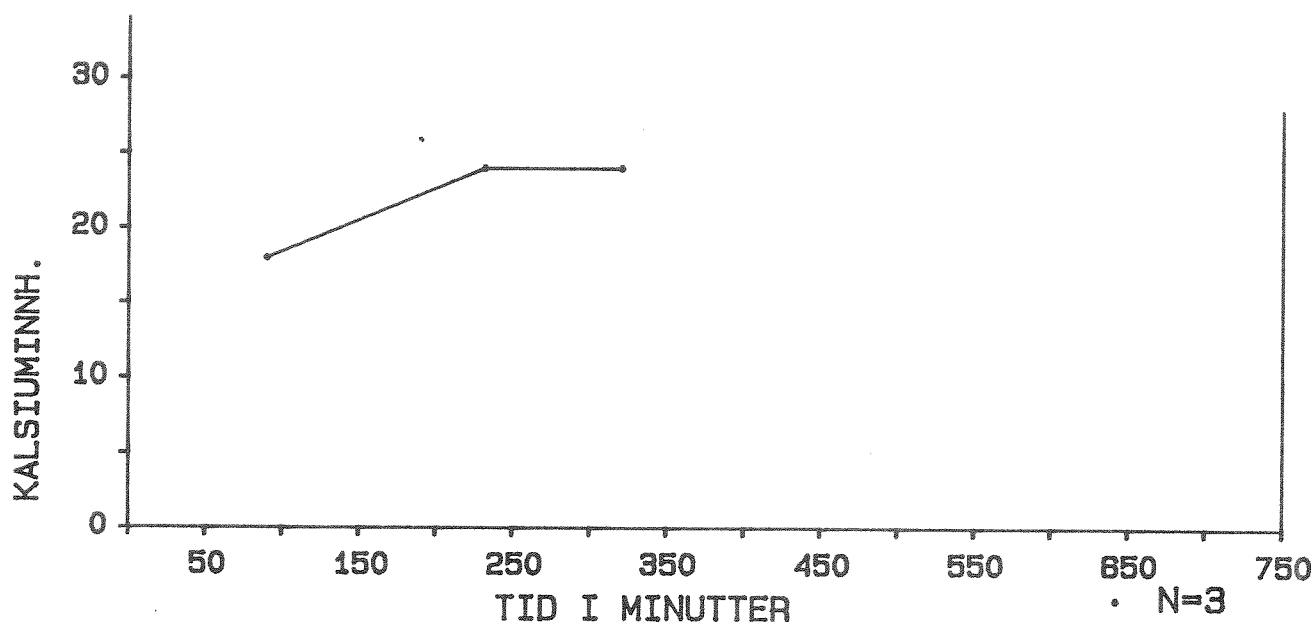
Figur 70 viser 2 verdier av suspendert stoff i tank 1. Prøvene tas like før og like etter den kraftige økningen i suspendert stoff i berederen som skjer p.g.a. hevingen i slamteppet. Innholdet øker fra ca 3 til hele 60 mg SS/l i løpet av denne korte perioden. Verdiene samsvarer godt med verdiene for turbiditet.



Figur 70. Innhold av suspendert stoff i mg SS/l i tank 1.

#### 3.5.11. Kalsium i tank 3.

Figur 71 viser kalsiuminnholdet i tank 1. Fra begynnelsen av forsøket øker innholdet fra ca. 18 til ca 24 mg Ca/l. Økningen skyldes delvis økningen i vannstilførselen og delvis økningen i kalsiuminnholdet i kalkvannet fra berederen.



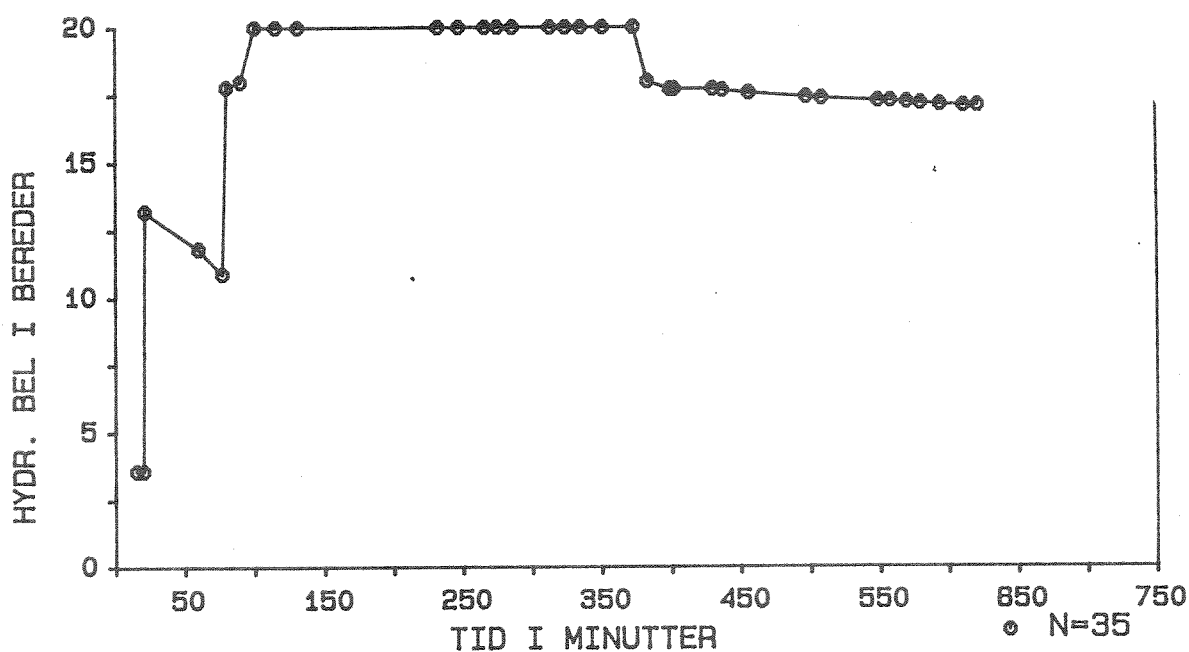
Figur 71. Kalsium i mg Ca/l i tank 1.

### 3.6. Forsøk 6.

I dette forsøket økes den hydrauliske belastningen gjennom anlegget betydelig. 80 minutter ut forsøket reduseres den relative doseringen av hydratkalk i forhold til hydraulisk belastning. Dette medfører fortyninger av kalkkonsentrasjonen noe utover i forsøket. Den teoretiske oppholdstiden i berederen er imidlertid ca. 7 timer ved en hydraulisk belastning på 20 m<sup>3</sup>/h. Videre inneholder berederen store mengder hydratkalk under slamteppet. Det tar derfor lang tid før denne fortyningen får vesentlige konsekvenser for hydratkalkkonsentrasjonen og partikkelinnholdet i toppen av berederen.

### 3.6.1. Hydraulisk belastning i berederen.

Hele 6 timer før forsøkene starter, ligger hydraulisk belastning jevnt på 3.6 m<sup>3</sup>/h. Figur 72 viser hydraulisk belastning i berederen i forsøket. I de første 100 minuttene av forsøket økes belastningen trinnvis fra ca 3.6 m<sup>3</sup>/h til 20 m<sup>3</sup>/h. Verdiene tilsvarer overflatehastigheter på henholdsvis 0.16 og 0.88 m/h.



Figur 72. Hydraulisk belastning i m<sup>3</sup>/h i berederen.

### 3.6.2. Slamteppet i berederen.

18-20 timer før disse forsøkene tar til, senkes slamteppet ved utpumping av slam.

Figur 73 viser nivået av slamteppet i berederen. 15 minutter etter start av forsøket ligger slamteppet hele 243 cm under berederoverflaten. Dette lave nivået er selvsagt forårsaket av den ovenfor omtalte slamutpumpingen og den lave overflatehastigheten i dette tidspunktet.

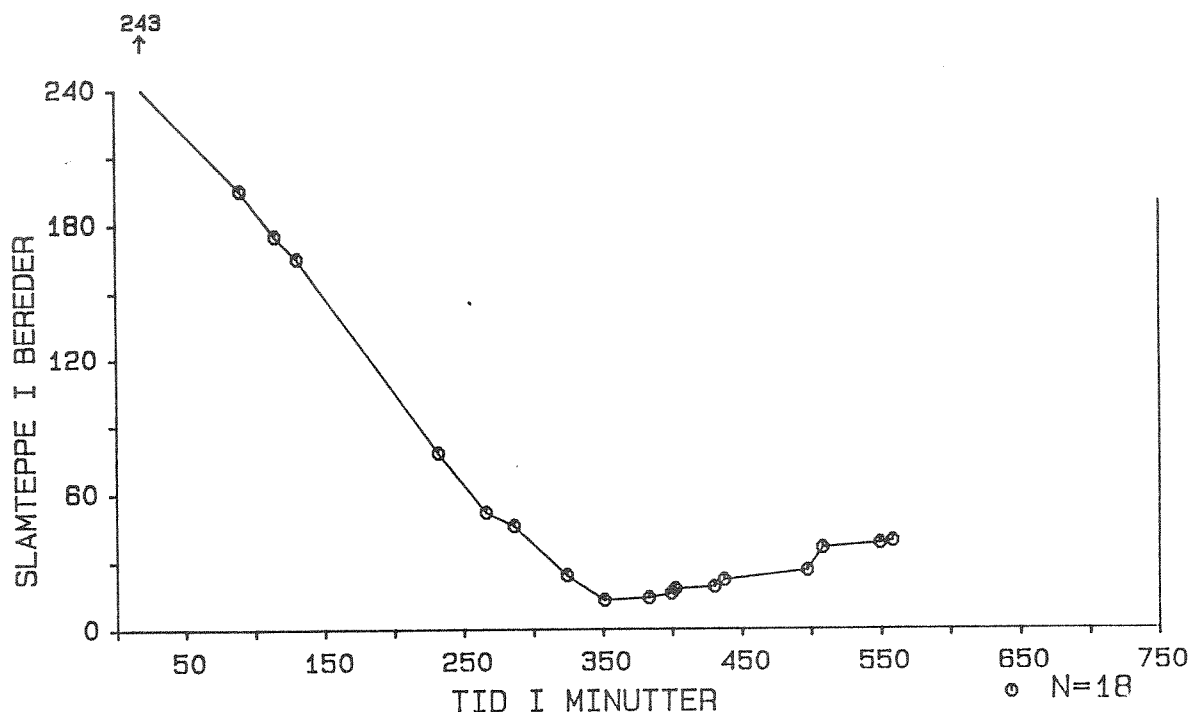
I de første 90 minuttene heves slamteppet med en hastighet på ca 0.40 m/h, mens overflateshastigheten økes fra ca 0.16 til ca 0.88 m/h.

I de neste 160 minuttene heves slamteppet til ca. 50 cm under overflaten. Hastigheten av slamteppet i denne perioden er 0.50 m/h, som er ca 55 prosent av overflateshastigheten i berederen. Fra dette tidspunkt og til slamteppet går i overløp reduseres stige-hastigheten gradvis uten at overflateshastigheten i berederen reduseres.

350 minutter ut i forsøket går slamteppet i overløp. Nivået på slamteppet når ikke høyere enn ca. 12 cm under overflaten i berederen. Årsaken er trolig den spesielle plasseringen av avøpsrennene i berederen, som fører til at slammet i stor grad går i overløp nær berederveggen.

Nivået på slamteppet holder seg i det høyeste nivået i svært kort tid før det begynner å synke. I den første tiden synker slamteppet sakte, selv med vedvarende høy overflateshastighet. Reduksjonen i hydraulisk belastning til ca 17.5 m<sup>3</sup>/h eller 0.77 m/h bidrar også til senkningen av slamteppet lengre ut i forsøket.

Ca. 200 minutter etter slamteppet har nådd sitt høyeste nivå, er det sunket til ca 40 cm under berederoverflaten, som tilsvarer en synkehastighet på 0.088 m/h. Overflateshastigheten i denne perioden er fortsatt 0.75 m/h.



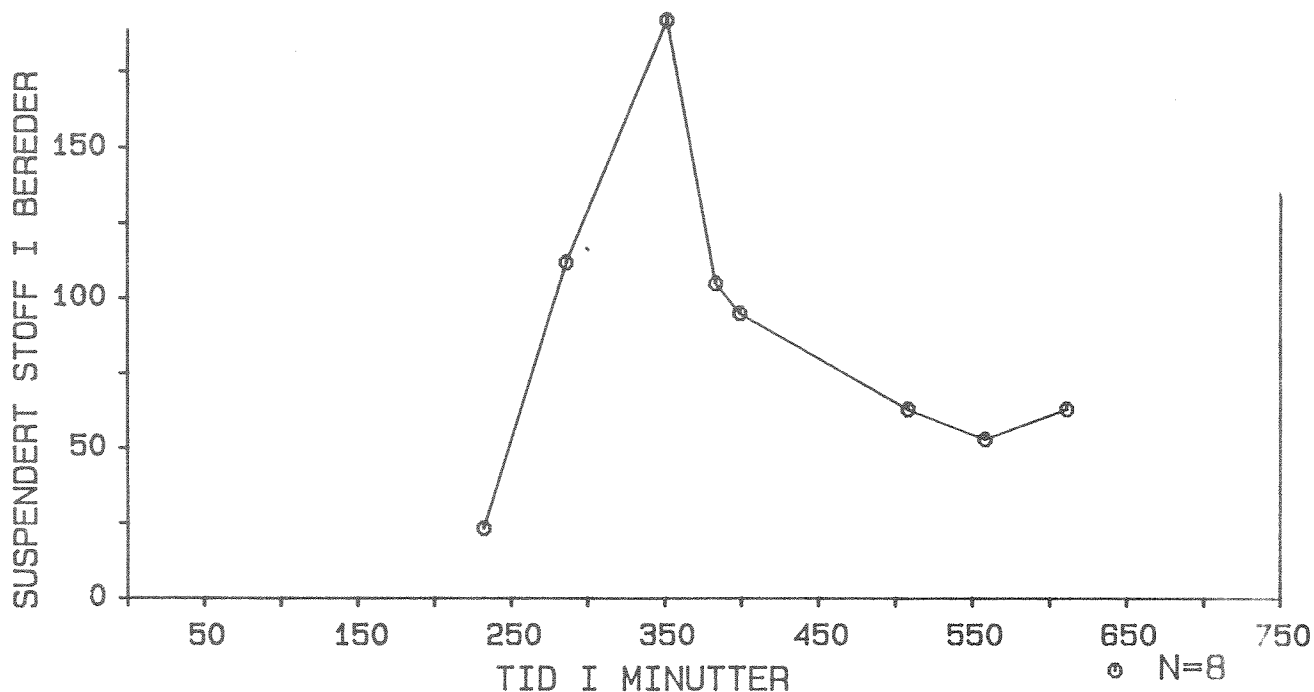
Figur 73. Nivå i cm av slamteppet i berederen.

### 3.6.3. Suspendert stoff i berederen.

Figur 74 viser innholdet av suspendert stoff i toppen på berederen. Innholdet øker fra ca 25 mg SS/l noe før slamteppet går i overløp til nesten 200 mg SS/l, mens slamteppet går i overløp. P.g.a den spisse toppen i kurven, er det noe usikkert om det maksimale nivået virkelig registreres. Innholdet av suspendert stoff kan derfor være enda høyere. Innholdet reduseres imidlertid raskt etter at det maksimale nivået inntreffer. Dette skjer på tross av at slamteppet senkes med bare noen ganske få cm og hydraulisk belastning ikke reduseres.

Ved reduksjon i hydraulisk belastning, reduseres også innholdet av suspendert noe, men i mindre grad enn tidligere.

Avgjørende betydning for innholdet av suspendert stoff i berederen, er derfor om slamteppet heves eller senkes. Når det er på vei oppover, er det viktig hvor nær overflaten det befinner seg.



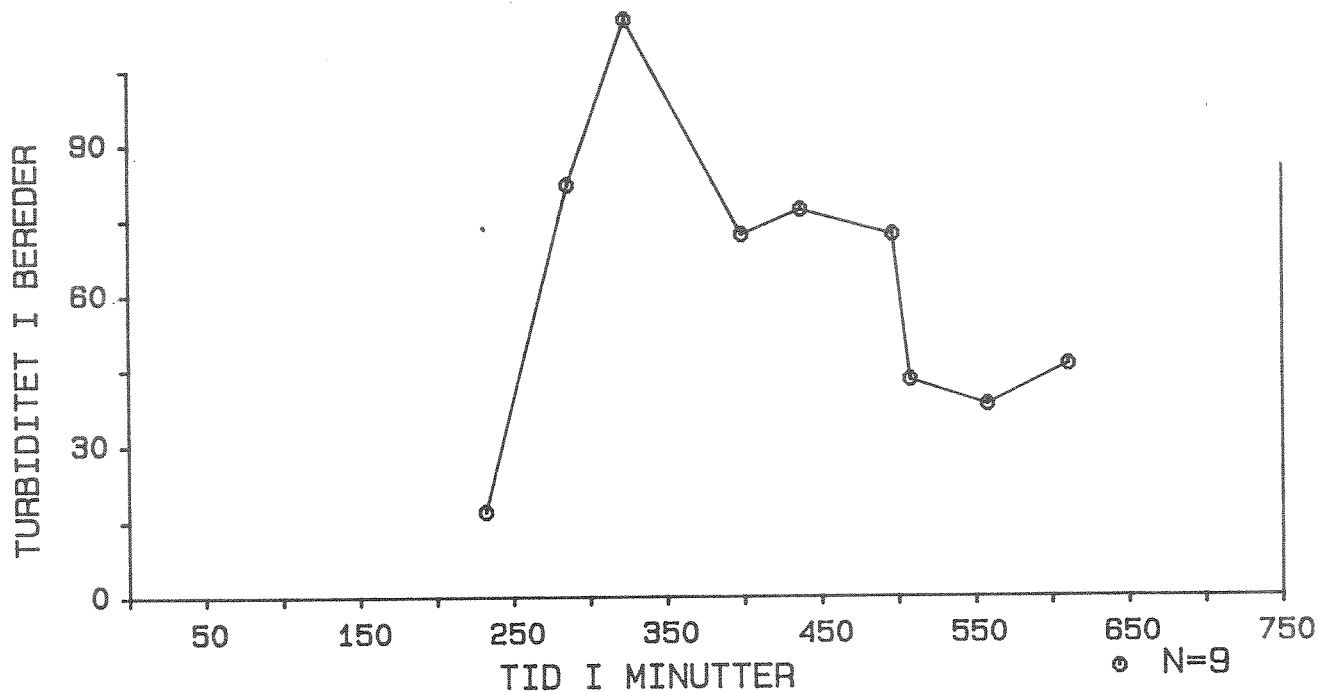
Figur 74. Innhold av suspendert stoff i mg SS/l i berederen.

### 3.6.4. Turbiditet i berederen.

Figurene 75 og 76 viser innholdet av turbiditet i kalkvannet fra berederen og sammenhengen mellom innholdet av suspendert stoff og turbiditet i berederen.

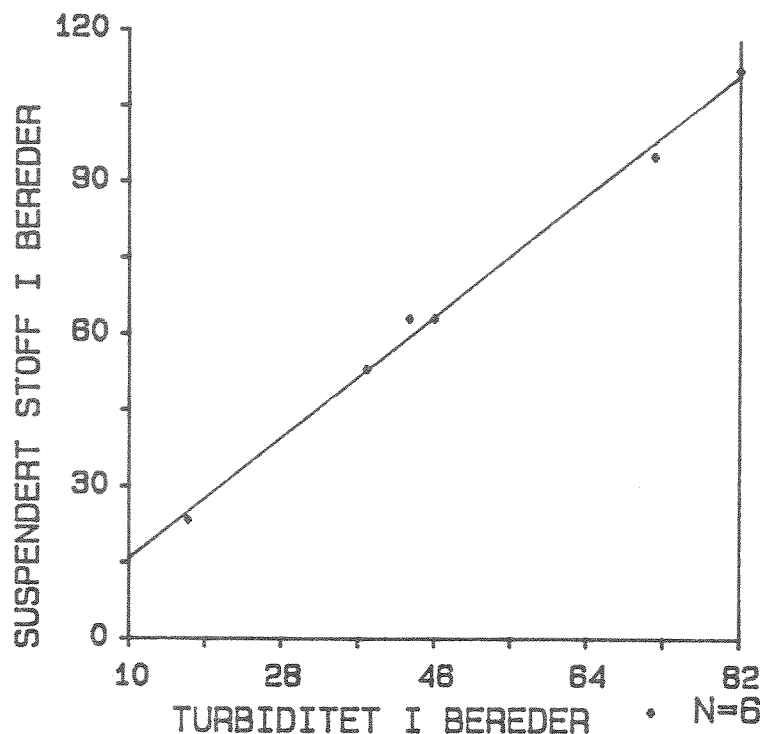
Forløpet i turbiditet følger i hovedsak samme forløpet som innholdet av suspendert stoff. En kraftig topp registreres når slamteppet går i overløp i berederen, mens reduksjonen er stor når slamteppet er på vei nedover.

Sammenhengen mellom turbiditet og innhold av suspendert stoff i kalkvannet fra berederen er meget god. Regresjonsligningen under figuren viser at innholdet av suspendert stoff er ca. 30 prosent høyere enn turbiditetsverdier ved disse målte verdier.



Figur 75. Turbiditet i FTU i kalkvann i toppen av berederen.





Figur 76. Sammenhengen mellom turbiditet i FTU og innholdet av suspendert stoff i mg SS/l i kalkvann fra berederen.

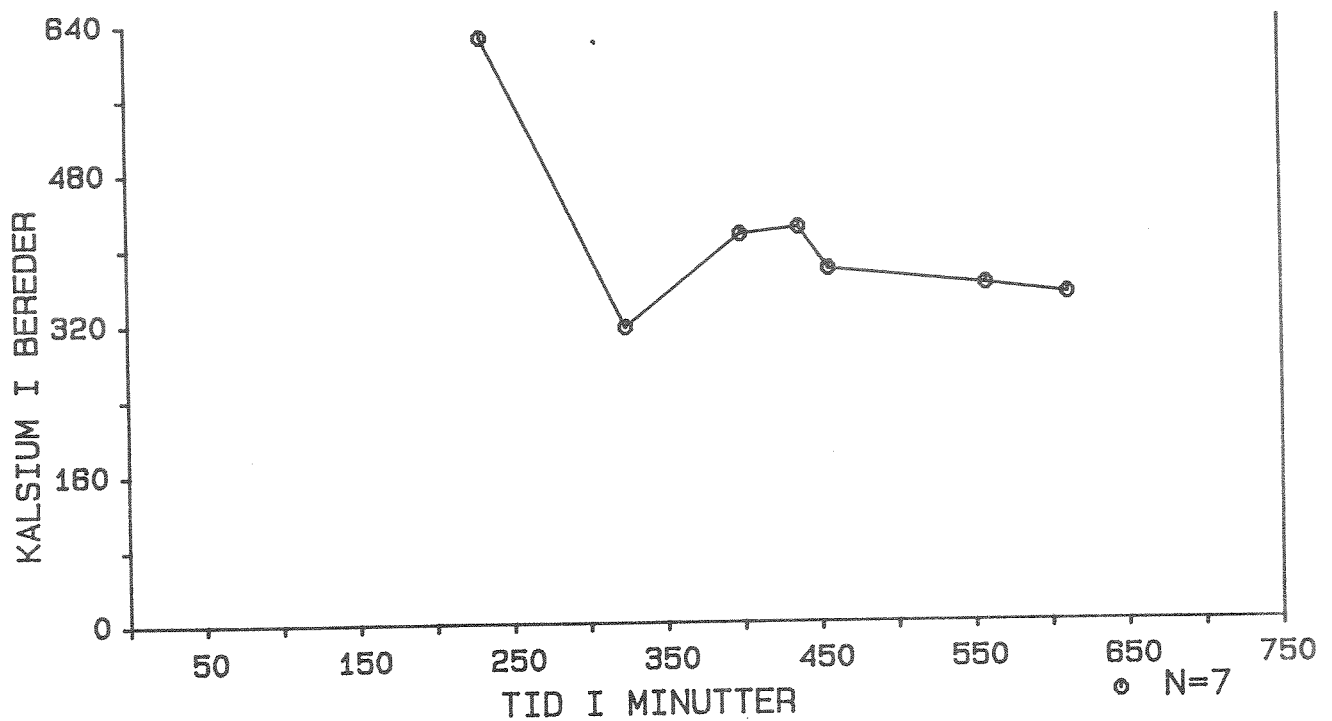
### 3.6.5. Kalsium i berederen.

Figur 77 viser innholdet av kalsium i kalkvannet i toppen av berederen. Før slamteppet går i overløp, ligger kalsiuminnholdet på ca. 640 mg Ca/l, som samsvarer brukbart med flere av de tidligere undersøkelsene. Når slamteppet når toppen av berederen, reduseres innholdet til et bunnivå.

2 og 5 meter nede i berederen måles kalsiuminnholdet til henholdsvis 11.7 og 8.2 g Ca/l ca 15 timer etter avslutning av dette forsøket.

Også disse resultatene viser at de store partikkeløkningene i kalkvannet ikke gir tilsvarende økninger i kalsiuminnholdet, selv om slammene under slamteppet har kalsiumkonsentrasjoner på ca. 15 -20 ganger høyere enn innholdet i kalkvannet i toppen av berederen. Resultatene viser videre at partiklene i liten grad inneholder kalsiumforbindelser.

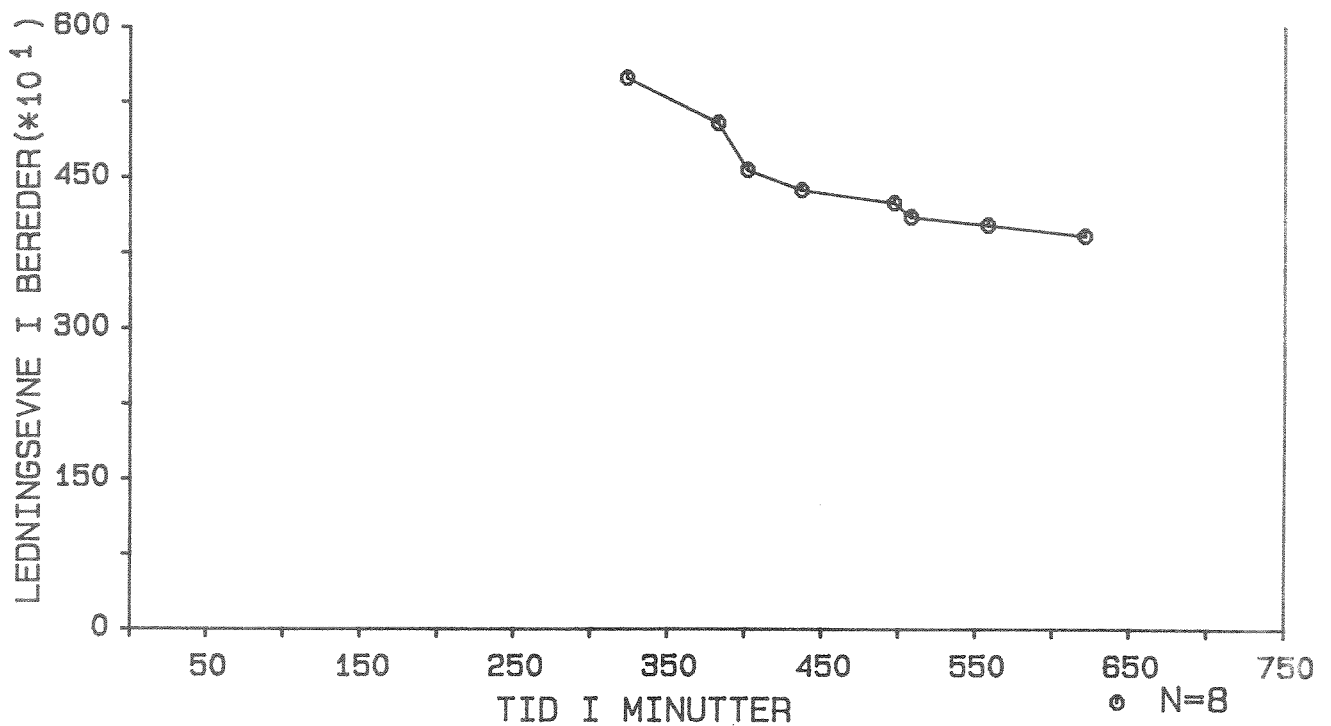
Den mer langsiktige reduksjonen av kalsiuminnholdet i berederen kan i noen grad skyldes reduksjonen i hydratkalktilførselen til berederen.



Figur 77. Innhold av kalsium i mg Ca/l i kalkvann fra berederen.

#### 3.6.6. Ledningsevne i berederen.

Figur 78 viser ledningsevne i kalkvannet i toppen av berederen. En jevn reduksjon registreres utover i forsøket. Denne reduksjonen forårsakes også trolig av reduksjonen i kalsiuminnholdet til berederen.



Figur 78. Ledningsevne i kalkvann i berederen.

### 3.6.7. Aluminium i berederen.

Ca 15 timer etter avslutning av dette forsøket måles aluminiumsinnholdet i kalkvannet i 2 tidspunkt til 270 og 290 ug Al/l.

2 og 5 meter nede i berederen måles innholdet til henholdsvis 245 og 255 mg Al/l. Aluminiumsinnholdet under slamteppet er m.a.o. nesten 1000 ganger høyere enn innholdet i kalkvannet i toppen av berederen. Det foreligger ingen grenseverdier for aluminium i vanlig drikkevann. For fullrenset drikkevann er grensen 100 ug Al/l. I kalkvannet overskrides denne grensen nesten 3 ganger, mens den overskrides ca. 2500 ganger i slammet i berederen.

Disse verdiene er betydelige. Kalkvannstilførselen er imidlertid bare 1 - 3 prosent av vannstrømmen gjennom et karbonatiseringsanlegg. Aluminiumsinnholdet fra kalkvannet synes ikke å være av vesentlig betydning i relasjon til disse kravene, mens slammets innhold av aluminium kan være av betydning. Det er derfor viktig at slam ikke tilføres drikkevannet.

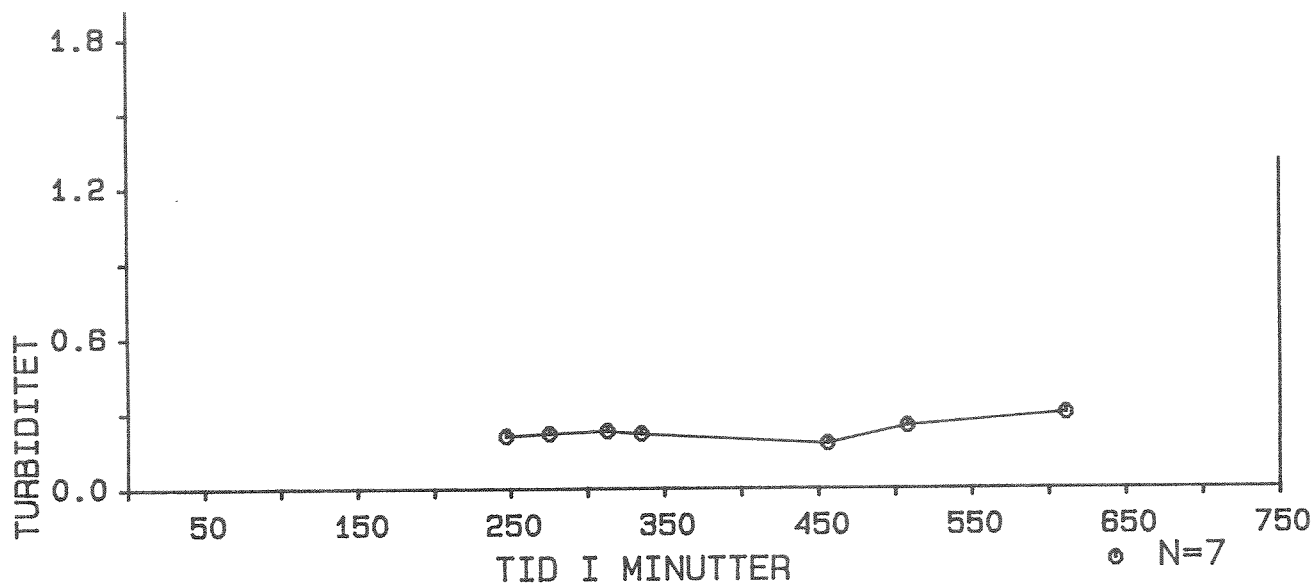
### 3.6.8. Kalkvannstilførsel blandtanken.

I dette forsøket er vanntilførselen til tankene ca. 8.3 l/min, som er under 50 prosent av vanntilførselen i de foregående forsøk.

Kalkvannstilførselen er ca 0.185 l/min. Den prosentvise tilførsel av kalkvann til vannet er dermed ca. 2.2 prosent.

### 3.6.9. Turbiditet i tilførselsvann til blandtanken.

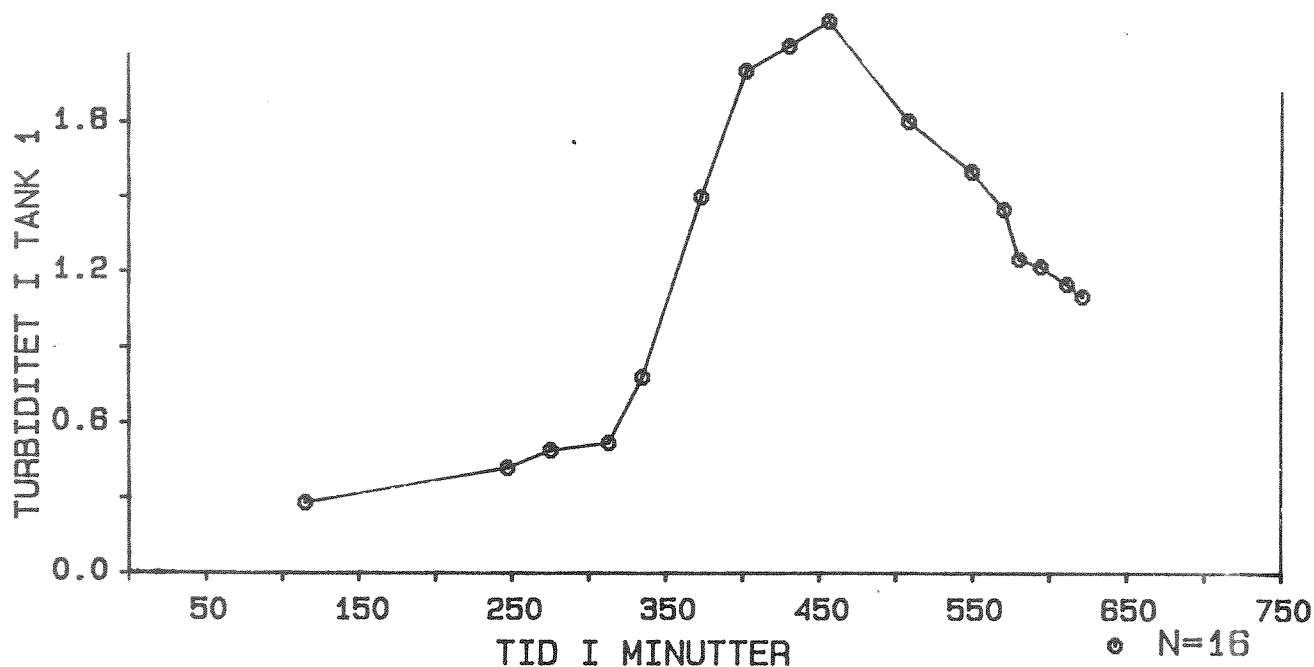
Figur 78 viser turbiditet i tilførselsvann til tank 1. Verdiene ligger jevnt i området 0.2 - 0.3 FTU.



Figur 79. Turbiditet i FTU i tilførselsvann til tank 1.

### 3.6.10. Turbiditet i tank 1.

Figur 80 viser turbiditet i tank 1 etter tilførsel av kalkvann. I de første 250 minuttene av forsøket er det ingen kalkvannstilførsel til tank 1. Dette vises også klart av resultatene. Det erfares derfor ingen økning i turbiditetsverdien i tank 1 i forhold til tilførselsvannet. Når slamteppet nærmer seg toppen på berederen, øker turbiditetsverdiene i tank 1 betydelig og havner på 2.4 FTU. Verdien er nesten 5 ganger grensen for turbiditet i godt drikkevann, men er likevel betydelig lavere enn i det foregående forsøket. I dette forsøket er både hydraulisk belastning i berederen og tilførsel av kalkvann større enn i det foregående forsøk. Begge forhold skulle tilsi høyere turbiditet i tank 1. En stor betydning for denne forskjellen har det trolig at slam uttas fra berederen, og at slamteppet dermed senkes før forsøket tar til.

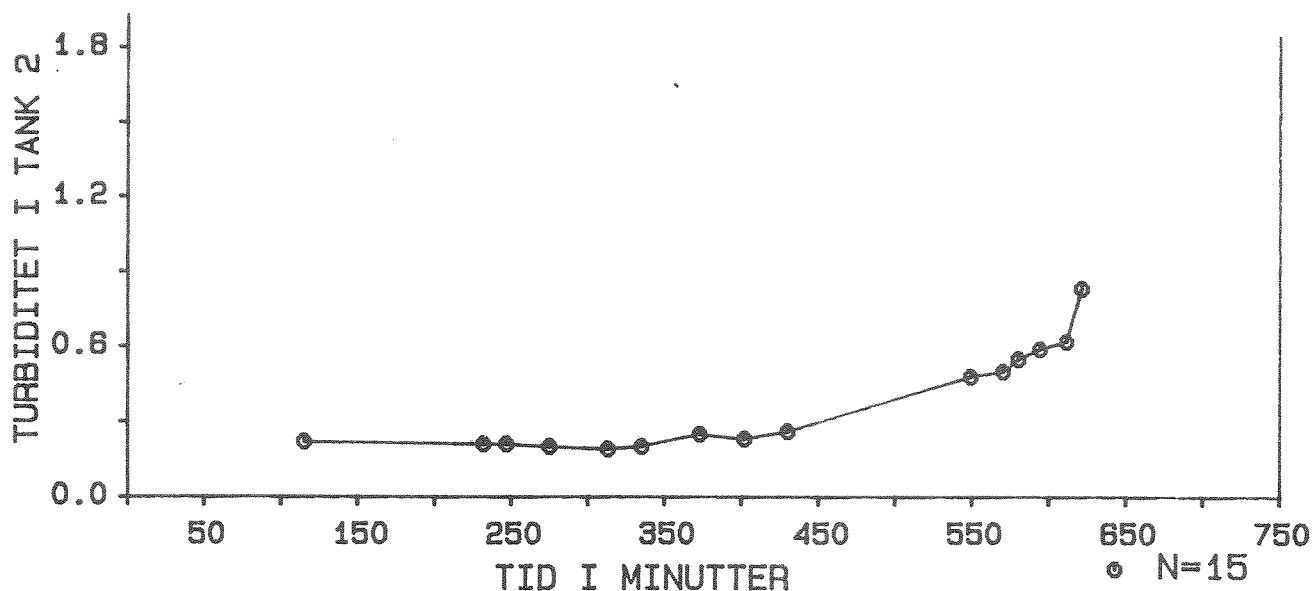


Figur 80. Turbiditet i FTU i tank 1.

### 3.6.11. Turbiditet i tank 2.

Figur 81 viser turbiditet i tank 2. I første del av forsøket ligger turbiditetsverdien omkring 0.25 - 0.3 FTU, som tilsvarer turbiditet i tilførselsvannet. Som tidligere nevnt tilsettes ikke kalkvann i denne perioden.

Økningen i turbiditet mot slutten av forsøket forårsakes av partikkeltilførselen fra berederen. I dette forsøket er vanngjennomstrømmen mindre og teoretisk oppholdstid lengre enn i de foregående forsøk. Økningen i turbiditet kommer derfor enda senere i dette forsøket enn i de foregående. Toppen i turbiditet nås derfor trolig ikke før forsøket avsluttes.

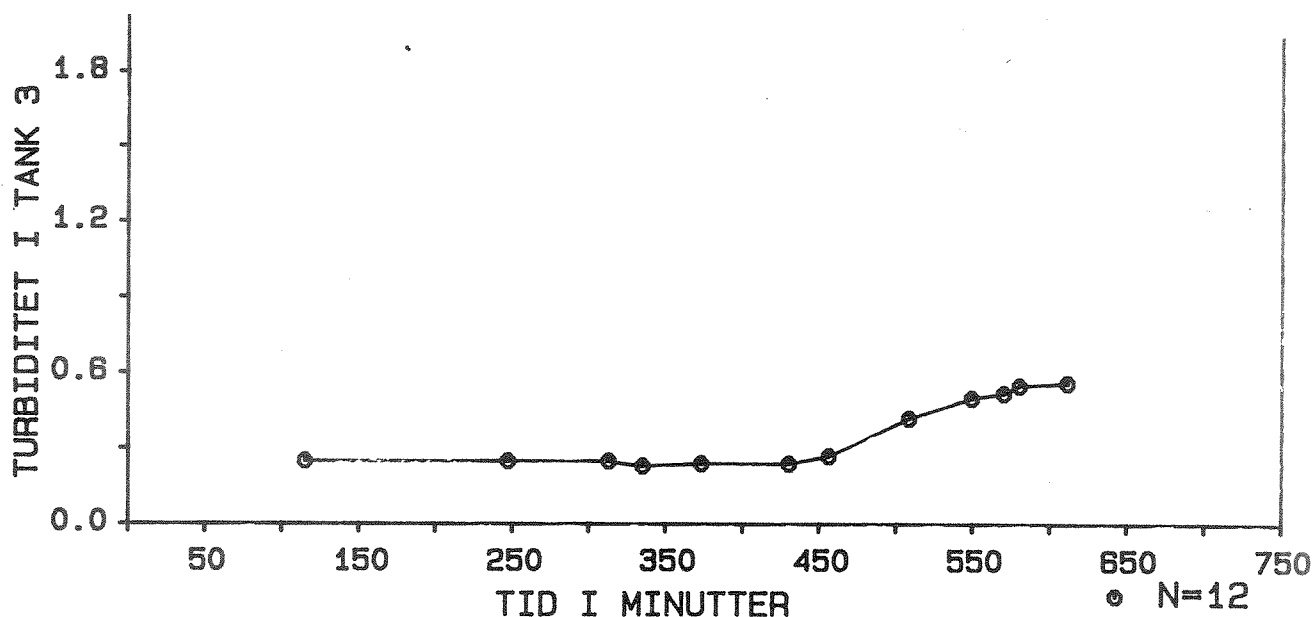


Figur 81. Turbiditet i FTU i tank 2.

### 3.6.12. Turbiditet i tank 3.

I figur 82 vises turbiditet i tank 3. De lave verdiene som registreres i den første delen av dette forsøket er fordi tilførselsvannet ikke tilsettes kalkvann.

Mot slutten av forsøket registreres en svak økning i turbiditetsverdiene som forårsakes av tilførselen av kalkvann. Toppen i turbiditet som registreres klart i tank 1 og antydes i tank 2, ses ikke i dette forsøket. Denne toppen når tank 3 først etter avslutning av forsøket.



Figur 82. Turbiditet i FTU i tank 3.

## 5. LITTERATUR.

Ohren J.A. Driftserfaringer fra kalkdoseringsanlegg i vannverk. VA-rapport nr. 9 1986. NIVA juni 1986.

Ohren J.A. Pilotforsøk med karbonatisering, filtrering og direktefiltrering ved Skullerud vannanlegg. VA-rapport nr.11 1987. NIVA juni 1987.