

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



## **Forord**

Denne masteroppgaven er skrevet som avsluttende oppgave ved institut for matematisk or teknologi (IMT) ved UMB i Ås, våren 2012. Oppgaven har vært utført i samarbeid med Bioforsk Jord.

Jeg vil herved rette en stor takk til min hovedveileder Lasse Vråle fra IMT og til Dr.Esper Grovasmark fra Bioforsk Jord.

Jeg vil benytte anledningen til å takke veiledere for god hjelp og oppfølging underveis.Til slutt vil jeg takke alle de som har bistått til å gjøre arbeidet med oppgaven til en spennende og lærerik avslutning av studietiden på UMB. Takk til alle sammen.

Ås, 15.august 2012

Samatar Abdi

## Sammendrag

Bakgrunnen for oppgaven er å undersøke om kjemisk rensing av avløpsvann vil gi et slam med lett resirkulerbar og tilgjengelig fosfor til planter og for å bestemme den nødvendige dosering av den aktuelle koagulanten.

Mange renseanlegg i Norge er fortsatt basert på å fjerne fosfor ved å benytte fellingskjemikalier selv om de også kan ha biologiske rensetrinn. Kjemisk rensing av avløpsvann er den mest effektive metoden til reduserer fosforinnholdet.

Undersøkelse ble i hovedsak utført som jartest i Jord laboratorie på Bioforsk i 4 runder over en periode på 2 måneder.

Hensikten med disse undersøkelsene var å anvende jartester for rensing av avløpsvann ved bruk av ulike koagulanter.

I prosjektet ble det anvendt koagulanter under kontrollert forhold i Jartester for å rense avløpsvann for fosfor. Dernest ble samlet slammet analysert for ulike parametere spesielt med tanke på fosforets plantetilgjengelighet.

For å bestemme fosfor konsentrasjon er det utførte flere analyser av tørr slam, rensed vann (supernatant), filtrat vann og ekstrakter. . Blant de målte parametere kan vi nevne pH, TOC, og konduktivitet.

Alle kjemikalier egner seg godt til å fjerne godt ortofosfater uansett doseringer. Oppnådd rensegrader god rensing ved kjemisk felling. Oppnådd rensegrad ser ut til å være tilfredsstillende med unntak av ALS og PIX311 ved lave doser. Dette er ikke overraskende, da råkloakkprøvene hadde lav ortofosfat konsentrasjon i utgangspunkt.

Resultatene viser at andel fosfor som er lett tilgjengelig er lavest i Al- felt slam, etterfulgt av Fe-felt. De siste nevnte slamtypene hadde også høy metall innhold, noe som gjør at mye av fosfor blir bundet til metaller og er lite tilgjengelig for planter.

Derimot viste kalk felling og en kombinasjon av kalk + sjøvann å være den rensemetode som gir mest tilgjengelig fosfor i følge resultatene mine.

## Abstract

The goal for the task is to investigate whether the chemical treatment of waste water will give sludge with easily recyclable and available phosphorus to plants and to determine the required dosage of the appropriate coagulant.

Many treatment plants in Norway are still based on the removal of phosphorus using chemicals even though they may also have biological treatment stage. Chemical treatment of wastewater is the most effective method to reduce the phosphorus content.

The survey was mainly conducted as jarrest in Soil Laboratory at Bioforsk building and takes 4 rounds in a period of 2 months.

The purpose of this research was to apply Jarrest to wastewater treatment by using different coagulants.

This project is intended to apply the coagulants under controlled conditions in Jarrest in order to purify wastewater for phosphorus. Then, sludge is collected and analyzed for various parameters, especially toward phosphorus plant availability.

To determine the phosphorus concentration in different samples it was performed several analyzes of dry sludge, purified water (supernatant), filtrate water and extracts. Several parameters are measured during the analysis and among these are the pH, the total organic carbon (TOC) and conductivity.

All chemicals turn out well to remove almost all of orthophosphate no matter of applied dosage. Having in mind the low orthophosphate level in the wastewater; this result doesn't surprise anyone.

The achieved purification degrees in chemical precipitation appear to be quite sufficient except from ALS and PIX311 which indicate low treatment efficiency at low dosage.

The results show that the proportion of phosphorus that is readily available is the lowest in the Al-field sludge, followed by Fe-fields. The latter types of sludge had a high metal content, making that much of the phosphorus is bound to metals and is inaccessible to plants.

On the other hand, lime precipitation and a combination of lime seawater seem to be the best cleaning method which gives most available phosphorus according to my results. P-AL content in relation to the total phosphorus in the sludge is far above what was found in Al-and Fe-sludge field.

# Innholdsfortegnelse

Kapittel 1 .....	6
Innledning.....	6
Kapittel 2 .....	7
Litteraturstudiet .....	7
2.1 Kjemisk felling i avløpsrensing.....	7
2.2 Ulike typer koagulanter for fosfor fjerning .....	8
2.2.1 Al- salt og Fe- salt .....	8
2.2.2 Kalkfelling .....	9
2.3 Litt om slambehandlingsprosesser.....	10
2.4 Fosfor i slam .....	12
2.4.1 Generelt om fosfor .....	12
2.4.2 Fosfor former i avløpsslam.....	13
2.4.3 Behandlingsprosess og tilgjengelighet av slam fosfor.....	14
Kapittel 3 .....	15
Metode og gjennomføring .....	15
3.1 Bakgrunn og hensikt.....	15
3.1.1 Råvannet.....	15
3.1.2 Kjemikalier .....	15
3.2 Jar tester.....	16
3.2.1 Oppsettet for Jartester .....	16
3.2.2Filtrering av slammet.....	17
3.3 ICP analyser .....	17
3.4 Ekstraksjon av P-AL.....	19
3.5 Total fosfor .....	19
3.6 UV Spektrofotometri .....	21
Kapittel 4 .....	23
Resultater .....	23
4.1 Analyser av innløpsvann og koagulanter.....	23
4.1.1 Innhenting av avløpsvannet .....	23
4.1.2 Prøver med råkloakk fra VEAS.....	23
4.1.3 Analyser av benyttede koagulanter .....	24
4.2 Resultat i rensset vann i jar test.....	26
4.2.1 Målte parametere i Jartester .....	26

4.2.2 Resultater fra ICP analyser av rensed vann.....	29
4.3 Filtrering av slammet og analyse av filtrat vannet .....	30
4.4 Analyse av P-AL fra slammet .....	32
4.4.1 Resultater på P-AL og Total-P i slammet .....	32
4.4.2 Slam analyser for total forsfor.....	34
Kapittel 5 .....	37
Diskusjon og kommentarer til resultater .....	37
5.1 Diskusjon av resultater .....	37
5.1.1 Analyser av Råkloakkprøver .....	37
5.1.2 Koagulanter .....	37
5.1.3 Analyse av ortofosfat.....	37
5.2 Analyse av P-AL og Total P.....	38
5.2.1 Sammenligning av effekten av kjemikalier på P-AL.....	38
5.2.2 Behandlingsprosess og tilgjengelighet av fosfor i slammet .....	39
5.2.3 Betydning av pH ved analyse av P-AL.....	39
5.3 Forslag til videre arbeid .....	40
5.3.1 Ekstraksjon med Ammonium laktat .....	40
5.3.2 Analyse av kalkslurry .....	40
5.3.3 Tidsaspekt.....	40
Kapittel 6 .....	41
Konklusjon .....	41
Kapittel 7 .....	42
Figurliste .....	42
Kapittel 8 .....	43
Tabeller.....	43
Kapittel 9 .....	44
Litteraturliste.....	44

# Kapittel 1

## Innledning

Kommunalt avløpsvannet inneholder mye næringsstoffer, blant annet fosfor og nitrogen. Fosfor fjerning fra avløpsvann er viktig for å unngå eutrofiering i resipient vassdrag, i elver eller innsjøer.

Fosfor er en begrenset ressurs og økonomisk drivverdige forekomster ventes å være oppbrukt innen 100 år. Både med tanke på miljø og ressursforvaltning er det viktig å sørge for en effektiv resirkulering av fosfor.

Fosfor fjernes mest effektivt fra avløpsvann med kjemisk rensemetoder men kan også fjernes med biologiske prosesser, men vanligvis ikke så effektivt.. I dette studiet har vi sett kun på kjemiske rensemetoder med noen vanlige fellingskjemikalier som er benyttet i våre renseanlegg i Norge.

Omtrent 70 % av alt avløpsvann her til landet renses ved hjelp av kjemisk/biologiske metoder, dvs. at det tilsettes kjemikalier (koagulanter/ flokkulanter ). En av grunnene til at kjemisk rensing benyttes for avløpsvann, er for å oppfylle det strenge kravet til fosforfjerning som vi lenge har hatt i Norge.

Først delen av masteroppgaven består av en teoridel hvor det gis en redegjørelse om kjemisk rensing av avløpsvann, erfaringen med de meste vanlige koagulantene og hvordan disse fjerner fosfor fra avløpsvannet. Videre i teori delen gis en oversikt over de ulike slambehandlingsmetoder og som benyttes her til lands. Ulike typer fosfor i slammet er også beskrevet.

Målet med dette studiet er å vise fosfor tilgjengelighet fra ulike slamtyper. I denne oppgave er det undersøkt i hvilken grad vanlige koagulanter binder fosfor så hard at den siste nevnte ikke lar seg resirkulere til matplanter på jord. De forskjellige koagulantene ble så sjekket opp mot hverandre og sammenlignet med hensyn på fosfor tilgjengelighet. Men tanken i dette prosjektet er også å se om kalkfelling kan gi bedre fosfortilgjengelighet enn Al og Fe koagulanter.

## Kapittel 2

### Litteraturstudiet

#### 2.1 Kjemisk felling i avløpsrensing

Kjemisk felling er en rensemetode som fjerner partikulære materialer og delvis på løste komponenter i avløpsvannet og er den meste vanlige og effektive metoden for å felle ut fosfor i Norge. Erfaring med kjemisk felling viser at den er en robuste og fleksibel måte for å rense avløpsvann.

Betegnelsen kjemisk rensing benyttes når rensing er basert på tilsetning av kjemikalium, i motsetning til biologisk rensing hvor det er mikroorganismer som brukes for å rense vannet. Betegnelsen benyttes vanligvis om prosessen der man fjerner fosfor (bare for avløpsvann), og partikler ved hjelp av fellingskjemikalier vanligvis basert på aluminium, jern eller kalk. Fellingskjemikalierne gjør at små partikler som ellers ville være umulige å bunnfelle, går sammen ved ulike mekanismer (koagulerer, flokkulerer, aggregerer) til større partikler som lar seg bunnfelle i et sedimenteringsbasseng. Kilde: Den Store Norske Leksikon.

Utfelling av løste forbindelse, i tillegg til destabilisering og koagulering av kolloider er i hovedsak de 2 viktigste mekanismene ved kjemisk felling. Disse kjemiske reaksjonene skjer ved komprimering av dobbeltlaget til en partikkel, adsorpsjon av ioner til utfellingsprodukter, brobygging mellom partikler og omsvøping.

Rensegrad varierer alt avhengig av fellingskjemikalium som brukes. Data fra 87 renseanlegg (Ødgaard 1992) viser følgende tall i gjennomsnitt:

- BOF- 84 %
- KOF- 78 %
- Total P- 95 %
- SS – 95 %
- Total N – 21 %

Grunnet strenge krav til fosforkonsentrasjon i utløpsvannet, vil utfelling av løst fosfor (orto- og polyfosfat) være av stor betydning under renseprosessen. Slik som fremkommer av tallene ovenfor, er kjemisk rensing ganske effektiv til å fjerne fosfor fra avløpsvann. . De høye renseprosentene for organisk stoff og den relativt høye rensegraden for Tot-N selv om lav tyder på at disse renseanleggene har få anlegg med anaerob behandling (Vråle pers. med.)



## 2.2 Ulike typer koagulanter for fosfor fjerning

Fosforfangst ved hjelp av kjemiske rensing oppnås ved å tilsette metall salter basert på aluminium, jern eller kalk til avløpsvannet, noe som overfører uorganiske fosfor i avløpsvannet til en uløselige metallisk bundet fosfater. Metalliske hydroksider felles ut samtidig og lager flokker som binder med metallisk fosfater og andre suspenderte stoffer i vannet. For at disse reaksjonene skal virke optimalt må PH justeres til et ønsket nivå.

### 2.2.1 Al- salt og Fe- salt

Jern og aluminium brukes mye som koagulant og kan tilsettes i ulike steder i renseprosessen. Når aluminium og jern salt er tilsatt til avløpsvannet, vil disse reagere med de løselige ortofosfater. Derimot vil polyfosfater og organisk fosfor ikke lar seg fjerne enkelt som ortofosfater.

#### Aluminium salter

Aluminium basert koagulanter er de meste effektive for felling av P sammenlignet med jern og kalkfelling. Erfaringer med koagulanter viser at aluminium ioner ( $Al^{3+}$ ) er desidert de mest effektive ioner som feller ut fosfor i form av fosfater (KEMIRA BOOK 2003).

Når aluminium reagerer med vannet skjer følgende kjemisk reaksjonen:



Forutsetningen for å bruke aluminium basert fellingskjemikalier for å felle ut fosfor er at PH må ligge mellom 5 og 8,5, men for de vanligste må optimal pH være mellom 5 til 6,5.. Når det gjelder doseringen, trengs det teoretisk 1,3 g Al per g fosfor som skal felles ut. Men i praksis må det ofte doseres mer fordi også andre produkter felles ut.

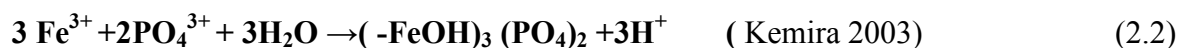
Noen kjente Al-basert produkter som er i markedet er KEMWATER ALG (granulerte aluminium sulfat), AVR, aluminium kloritt, PAX (polyaluminium kloritt), PAS (polyaluminium sulfat), og PAN (polyaluminium nitrat).

#### Jern salter

Jern baserte koagulanter kan være enten i trivalent ( $Fe^{3+}$ ) eller bivalent jern ( $Fe^{2+}$ ) form. Kostnadmessig er den type koagulant noe billigere enn aluminium basert produkter.

$Fe^{3+}$  salter fins i sulfat, kloritt eller nitrat basert, og kan felle ortofosfater og polyfosfater i PH mellom 4-8. Best resultater oppnås i pH mellom 5 til 6.

Her er den kjemiske reaksjonen som oppstår ved tilsetning av  $Fe^{3+}$ .



### 2.2.2 Kalkfelling

I kalkfelling er det hovedsakelig kalsium ioner som danner fellingsprodukter. Kalsium ioner virker best for felling av ortofosfater i form av hydroksilapatitt ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ ).

Bruk av kalkfelling som rensemetode har vært mindre brukt de siste årene. Det er kun noen få renseanlegg som fortsatt benytter den teknikk, blant annet Muusøya i Drammen og Bokerøya renseanlegg i Svelvik kommune.

En av årsakene har vært at kalkhåndteringen er noe mer komplisert i å med at kalken ankommer som et pulver og må løses opp i motsetning til Al- og jernbaserte koagulanter som kommer i konsentrert oppløst form i tankbiler og kan doseres uten støvproblemer med enkle pumper. Kalkproduktene er mer krevende å dosere og kan føre til utfelling av kalsiumkarbonat i rør og på overflater som renner etc. Sammenlignet med Al- og jernbaserte koagulanter vil ikke ren kalkfelling rense like bra i vannfasen, men vil gi et bedre slamprodukt som avvanner bra, bedre hygienisk vannkvalitet og arbeidsmiljø og et bedre hygienisert og stabilisert råslam.

Hvis kalkfellingen kombineres med magnesiumfelling ved tilsetning av sjøvann, vil rensegraden i vannfasen fosfor og organisk stoff være minst like bra som med Al- og Fe baserte koagulanter.

En av ulempene med kalkfelling er at kalken må doseres som slurry (suspensjon 5-10 % TS) fordi bare en liten del av kalsiumionene lar seg løse i vann (bare ca. 1,5 g  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{L}$ ). Det fører til at mye av den tilsatte kalken aldri løses opp, øker nødvendig dosering og sedimenterer sammen med slammet og øker slamproduksjonen.

Den høyere slamproduksjonen har også vært sett på som en ulempe på tross av at kalkfelling også virker som karbonfangst prosess ved at  $\text{CO}_2$  felles ut som  $\text{CaCO}_3$  og må betraktes som en  $\text{CO}_2$  fangst metode. Dette øker også slamproduksjonen.

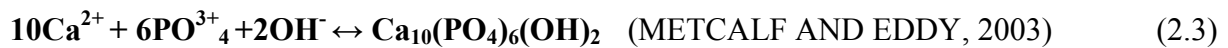
Renseanlegg som får tilførsel av sigevann fra deponeringsanlegg har svært høy alkalitet og anlegg som anlegger biogassanlegg eller anaerob utråtning, får svært høy alkalitet i rejektivannet fra avvanning på grunn av høyt innhold av  $\text{CO}_2$ . Disse tilførslene vil ved kalkfelling felle ut store mengder kalsiumkarbonat ved  $\text{CO}_2$  fangst. (Vråle 2012 pers. med.)

Ved tilsetning av kalk i avløpsvannet, er det alkalitetet og ønsket rensegrad som avgjør om kalk doseringen som trengs til å fjerne fosfor.

Kalk produkter kan ha ulike forbindelser med varierende egnethet for bruk av kjemisk felling. Til rensing av avløpsvann benyttes ofte brentkalk (CaO) som leskes lokalt på renseanlegget eller hydratkalk Ca(OH)<sub>2</sub>.

Kalsium som tilsettes til avløpsvannet er oftest i form av Ca(OH)<sub>2</sub>. Først reagerer kalk i vannet med den naturlige bikarbonat alkalinitet og feller ut CaCO<sub>3</sub>. Deretter øker PH i avløpsvannet til 11-12 og da vil ekstra kalsium ioner reagerer med fosfat for å felle ut hydroksilapatitt.

Følgende kjemisk reaksjonen skjer ved kalk felling.



ntatt fordelene med å bruke kalk som fellingskjemikalie er knyttet til resirkulering av slammet. Kalkfelt slam kan gi et bedre slam sammenlignet med Al. eller Fe-felt slam. Det er hovedfokus i dette studiet. Det er imidlertid uklart om P-AL metoden gir en representativ verdi for plantetilgjengelig fosfor fordi ammoniumlaktat ikke klarer å senke pH verdien ned til de forutsatte 3,75 på grunn av høy alkalitet i slammet.

### 2.3 Litt om slambehandlingsprosesser

Slam oppstår ved alle renseprosesser og kvaliteten ved kjemisk felling varierer avhengig av fellingskjemikalier og hvilken slambehandlingsprosess som er blitt brukt.

Myndighetene ønsker at en størst mulig del av avløpsslammet nyttestoffer skal resirkuleres. Slammet blir da brukt som gjødsel i landbruksjord eller på andre grønt areal eller hvis næringsstoffer fanges som rene produkter som for eksempel ved lukket stripping i gjødselvarer-industri eller annen industri.

Men for at slammet kan benyttes som gjødsel eller som jordforbedringsmiddel må det gjennom 2 viktige prosesser i slambehandlings sammenheng:

- Hygienisering: forhindre infeksjon av mennesker og dyr
- Stabilisering: har hensikt til å forhindre lukt

Hygienisering oppnås ved at slammet utsettes for høy temperatur over et tidsrom. For eksempel vil 70 °C i 30 minutter være tilstrekkelig til å oppnå den ønskede hygienisering. (Den Store Norsk Leksikon).

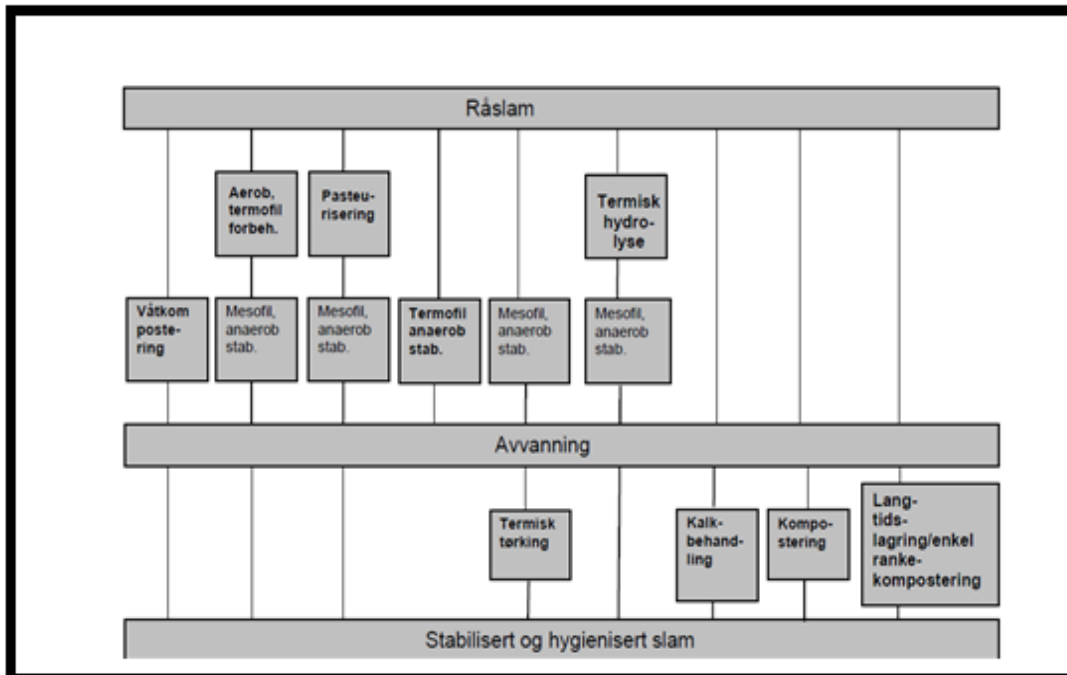
Delvis stabilisering kan oppnås ved biologisk å omsette det letteste nedbrytbare organiske stoffet i slammet, slik at det ikke kan gå i forråtnelse og skape lukt. Nedbrytning av det organiske stoffet kan gjøres aerobt med lufting i våt fase eller en form for kompostering eller anaerobt i en utråningsprosess (Den Store Norsk Leksikon).

Det er også mulig å oppnå midlertidig stabilisering ved å tilsette kalk. Da blir pH for høy til at man får luktskapende biologisk aktivitet i slammet.

Stabiliseringsprosesser kan forårsake en temperaturøkning i slammet, noe som vil bidra til økt hygienisering.

Her er noen slam behandlingsmetoder som er brukt her i landet og fagterminologi fra Norsk Vann

- **Aerob stabilisering:** mikrobielle prosess for omdanning av organisk stoff i slam til stabile forbindelse ved tilførsel av oksygen (lufting)
- **Aerob, termofil forbehandling:** aerob biologisk nedbrytning av organisk stoff med korte oppholdstider (1,5-2 timer). Prosessen produserer varme, men det må tilføres eksterne varme for å få en hygienisering av slammet. Temperatur i området 60 til 65 °C
- **Anaerob stabilisering:** Mikrobielle prosess uten tilførsel av oksygen for omdanning av organisk stoff i slam til stabile forbindelser. Prosessen produserer biogass. Også kalt utråtning eller biogassanlegg.
- **Kalkbehandling:** tilsetning av ulesket (brent kalk) til avvannet slam i slike mengder at temperatur i slammet økes til 55 °C og holder dette nivå i minst 2 timer.
- **Kompostering:** aerob biologisk nedbrytning av organisk stoff i slam under kontrollerte betingelser og ved bruk av tilsatsmaterialer (strukturmateriale).
- **Termofil anaerob stabilisering:** anaerob stabiliseringa av slam ved en temperatur på minimum 55 °C, der alle slampartiklene har vært utsatt for denne temperaturen i minst 2 timer.
- **Våtkompostering:** aerob biologisk nedbrytning av organisk stoff i slam ved lavt tørrstoffinnhold (3-5 % TS). Ved lufttilførsel og isolering av reaktorer stiger temperaturen i slammet il over 55 °C og en oppnår hygienisering.
- **Termisk hydrolyse:** Spalting av organisk materiale ved høy temperatur og høyt trykk. Ved slambehandling brukes over 130 °C og over 6 bar trykk.
- **Langtidslagring:** lagring av avvannet råslam i haug eller ranke i minst 3 år, uten tilførsel eller uttak av slam i denne perioden.



Figur 1: Slambehandlingsmetoder som kan gi et stabilisert og hygienisert slam. Hygieniseringstrinnet for hver metode er uthevet. ( Norsk Vann).

## 2.4 Fosfor i slam

Fosfor er et viktig næringsstoff for enhver levende organisme. Avløpslam utgjør en viktig fosforkilden som kan bidra for å unngå en fosforkrise i de kommende årene. Både med tanke på miljø og ressursutnyting er det viktig å sørge for en effektiv resirkulering av fosfor.

Avløpslam er et uunngåelig bi -produkt fra avløpsrensing, men kan nyttiggjøres når det tilføres til jord som jordforbedringsmiddel. Slammet inneholder faktisk ganske mye næringsstoffer (fosfor for eksempel) og mye organiske materiale, og til og med kalk. Fellingsmetoder og slambehandling avgjør plantetilgjengelighet til fosfor.

### 2.4.1 Generelt om fosfor

Fosfor er et nødvendig næringsstoff for enhver levende organisme og produksjon av fosfor i verden er i en nedgangsfase. Flere studier viser den trenden og peker på fosfor mangel allerede om 50-100 år (Cordell et al., 2009; Herring og Fantel, 1993). For å unngå en P krise og snu den trenden, må overforbruk av P reduseres. utnytte P i jord på en bedre måte og resirkulere P i husdyrgjødsel, avfall, avløp.

Ca. 98 % av konsumert fosfor havner i ekskrementer og avløp. Vann og vassdrag blir da endepunkt for P som tapes fra landbruksarealer og fra kommunal og spredt avløp. Dette fører

til eutrofiering som bidrar til blomstring av giftige alger, som gjør at vannkvalitet blir dårligere over tiden.

Avløpsslam og slakteriavfall er de 2 viktigste kildene til gjenbruk av fosfor. Fosfor i slam tilføres i stort overskudd i forhold til plantenes behov og mesteparten bindes derfor i jorda.

Et anslag fra SSB viser at mengde fosfor fra avløpsslam ligger rundt 2000 tonn hvert år. Dette utgjør ca. 17 % av årlig fosfatbrukt som mineralgjødsel i Norge (Bøen og Grønlund, 2008).

Siden fosfor er et viktig næringsstoff som trengs spesielt i forbindelse med matproduksjon samtidig som den er begrenset ressurs, må man sørge for bedre utnyttelse av fosfor i slammet.

Hva består fosforfraksjoner i slam eller i jord tilført slam?? For å svare på dette spørsmålet må vi vite noe om fosforets kjemi et dens komposisjon.

#### **2.4.2 Fosfor former i avløpsslam**

Fosfor i slam fra et renseanlegg med kjemisk felling av P består hovedsakelig av uorganisk fosfor (Sommers et al., 1976). I et slikt kjemisk slam er innholdet av organisk P ofte mindre enn 10 % av totale P konsentrasjon. Dette skjer på grunn av nedbrytning av organisk form av P i avløpsvannet under renseprosessen, og slambehandlingsmetoden som reduserer.

Denne fosforen er ofte i form av fosfater som er den type fosfor som planter lett kan utnytte. Fosfat kan bindes til Al-, Fe- eller Ca- ved utfelling ut ifra hvilke kjemikalium som er benyttet i renseprosessen

Noen sentrale begrep og definisjoner for denne oppgaven er forklart i neste avsnitt.

##### Begrep forklaringer

Total fosfor (Tot- P): summen av organisk fosfor og uorganisk bundet fosfor.

Tilgjengelig fosfor (P-AL): fraksjon av uorganisk fosfor som brukes som mål på innhold av plantetilgjengelig P

En del fosfor i slammet er i løst form, og er den letteste tilgjengelige fosfor som kan ekstraheres ved hjelp av en kjemisk løsning

Når det gjelder P konsentrasjon i forhold til tørrstoff, kan dette variere avhengig av fellingskjemikalier og slam behandlingsprosesser.

### 2.4.3 Behandlingsprosess og tilgjengelighet av slam fosfor

I avløpslammet foreligger mye av fosforet som fosfater, dvs. i den formen plantene kan ta opp. Avløpslam tilførsel vil påvirke pH i jorda og kan også påvirke plantenes generelle tilgang til viktige næringsstoffer.

Behandlingsprosessen vil ha stor innvirkning på fosforets tilgjengelighet i det ferdige slammet.

I en rapport (Bioforsk rapport, Vol. 5 Nr 62 2010) utarbeidet av Anne Bøen står det følgende, sitat ”Fosforets plantetilgjengelighet i jord tilført slam vil avhenge av en rekke faktorer, inkludert klima, vegetasjon, jord mikrobiologi og egenskaper ved jorda og det tilført slammet (O’conner et al., 2004)”.

Anne Bøen trekker følgende konklusjoner om hvordan behandlingsmetoder påvirker fosforets plantetilgjengelighets:”

- *Avløpsrensing: Plantetilgjengelighet av P i slam fra biologisk fosforfjerning er svært høy og rapporteres ofte til å være på linje med mineralgjødning. Plantetilgjengelighet synker med økende innhold av jern og aluminium i slammet. Ca-basert fellingskjemikalier reduserer plantetilgjengelighet mindre enn Fe- og Al-basert fellingskjemikalier.*
- *Slambehandling: Kalk reduserer plantetilgjengelighet i et slam hvor det ikke er brukt Fe- og Al-basert fellingskjemikalier. Effekten av biologisk stabiliseringsmetoder på fosforets plantetilgjengelighet er rapportert med noe sprikende resultater. Tørking og avvanning reduserer slammets innhold av plantetilgjengelig P”*

## Kapittel 3

### Metode og gjennomføring

#### 3.1 Bakgrunn og hensikt

Alle forsøkene og analyser fant sted i jordlaboratoriet på Bioforsk. Hensikten med disse undersøkelsene var under kontrollert forhold å utføre kjemisk rensing av avløpsvann ved hjelp av jar tester og ved bruk av ulike kjemiske koagulanter og doseringer. Videre var hensikten å produsere tilstrekkelig nok slam til å kunne utføre viktige analyser i slammet. Deretter ble slamprøvene og rensert vann analysert for ulike parametere, som Tot-P, P-Al, ortofosfater, glødetap, TOC (total organisk karbon), ledningsevne, metallinnhold osv.

##### 3.1.1 Råvannet

Vannet ble hentet fra VEAS renseanlegg i Slemmestad på grensen mellom Røyken og Asker. Prøven ble tatt som stikkprøve 20 og 40 liter i VEAS rundt klokka 1400 på 3 ulike datoer i mars, i april og i mai. Valg av klokkeslett begrunnes med at morgenvannet som er mer konsentrert kommer til renseanlegget først ved den tiden.

Prøvetaking fant sted på innløpet ved risten og ble tatt manuelt på et sted hvor det kan forekomme returvann fra strippet filtratvann og vaskevann fra de biologiske filtrene i renseanlegget. Avløpsvannets ble samlet inn i en eller 2 plastkanner på 20 liter hver og plassert i kjøleskapet på Jordlaboratoriet.

Siden vannet ble innhentet i ulike tidspunkter, vil konsentrasjonene varierer fra dag til dag. Spesielt ved først gangs innhenting den 14. mars 2012 var det strålende sol og varmt vær, og det ble opplyst at smeltevannsmengden var stor.

Senere ble det innhentet vann den 17/04/2012 og nye jar tester ble kjørt samme dagen på dette vannet. Den 08/05/2012 ble råkloakk igjen samlet for siste gang fra samme renseanlegg og på samme måte.

Prøvene sto i kjøleskapet for kvelden hvis ikke de ble benyttet samme dagen i jar tester Døgnblandprøver var ønskelig men det viste seg vanskelig å få til på grunn full drift på systemet på Veas. Dessuten tar de kontinuerlige prøver og at de hadde stor aktivitet med akkreditering i tillegg.

##### 3.1.2 Kjemikalier

Kjemikalier ble innhentet fra Kemira kontoret i Fredrikstad(ca. 15 forskjellige typer), da det er viktig å kjøre jar tester med ferske koagulanter. Blant de siste nevnte var aluminium og jern klorid baserte koagulanter som er de meste brukte i landet.

Kalk felling ble også undersøkte sammen med en kombinasjon av kalk +sjøvann. Kalkslurry ble innhentet fra Muusøya renseanlegg i Drammen den 9. mars og opplyst å ha ca.5 % slurry målt som TS.

Prøven av sjøvann ble tatt av overflatevannet i indre Oslofjord i båthavna ved VEAS i Slemmestad. Imidlertid er det mye kalkfjell i område og kalkfabrikk i område.

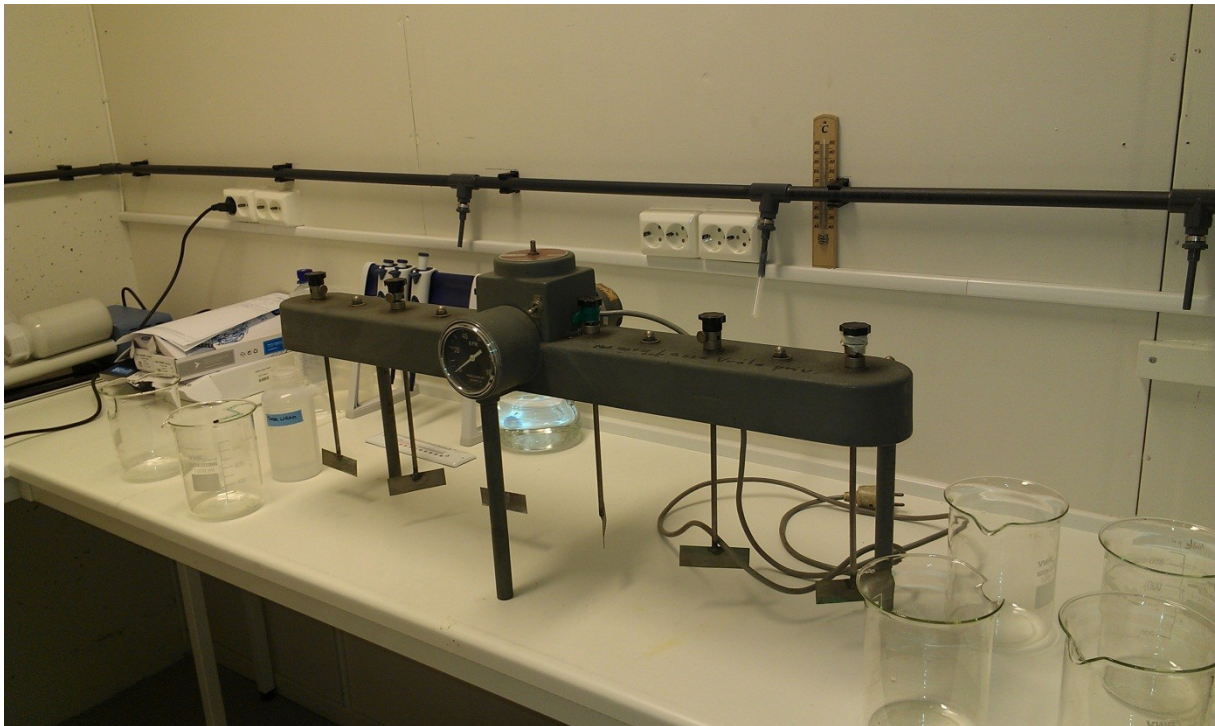


## 3.2 Jar tester

Jar test er en pålitelig metode for bestemmelse av riktig dosering og betingelse for en gitt koagulering av avløpsvann. Jar test benyttes også for å finne den best egnet koagulant som bør brukes og i hvilke dosering. Imidlertid vil avløpsvannets sammensetning endre seg fra minutt til minutt slik at stikkprøver aldri vil være representative for en hel uke.

### 3.2.1 Oppsettet for Jartester

Det ble kjørt totalt 12 jar tester på laboratoriebenk som hver inneholder 6 begere 72 kjemiske fellinger i alt i perioden mellom 14/03/12 til 12/05/12 ved Bioforsk sitt laboratorium i Ås. Phipp & Bird apparatet ble brukt for å gjennomføre Jar testene (figur 2).



Figur 2: Jar test apparat av type Phipp& Bird.

Al og Fe koagulanter ble fortynnet (1:10) i forkant og ble brukt på de først Jar testene. Siden det var plass til 6 begre, kjørte vi 2 ulike koagulanter/doseringer på hver jar test. Deretter fulgte kalk og en kombinasjon av kalk og sjøvann i neste jar tester.

De ble benyttet 2 ulike omrøringshastigheter for destabiliseringsfasen (partikkel oppbygging, flokkulering- og aggregeringsfasen), en høy hastighet (100 rpm i 2 min) i først fase før hastigheten ble redusert til 30 rpm i de nest 18 minuttene i nest fase.

Ved kalkfellingen var sakteomrøringen satt til 100 rpm i de 10 første minuttene og så redusert til 50 rpm de siste 8 minuttene. Sedimenteringstid var lik på alle testene, altså 20minutter.

Etter ferdig sedimentering ble det tatt prøver rensset vann i toppen av begeret rett under overflaten med en 50 ml plastsprøyte også kalt supernatant (en prøve fra hvert beger) 0,5L flasker for analyse.

For å få nok slam for analyser ble slammet fra de 3 første beger samlet i ett Imhorf beger. Overskuddsvann ble dekantert av forsiktig slik at minst mulig slamfnokker gikk til spille og ble satt i kjøleskapet over natta for videre sedimentering. Samme prosedyre ble gjennomført for alle kjemiske fellinger med samme koagulant.

### **3.2.2Filtrering av slammet**

For å filtrere slammet ble det benyttet både gravitasjon filtrering og vakuumpfiltrering. Den siste nevnte filtreringen var en mye raskere metode å benytte. Filtre ble veid i forkant og deretter satt i ovnen på 105°C i ca. 1-2 timer for tørking før bruk. Hensikten var å få riktig slamvekt ved endt filtrering.

Det tok relativt langt tid for å filtrere AL og Fe-felt slam og iblant var de nødvendig å bruke 2 filtre for å forkorte filtreringstiden. Tvert imot gikk det raskt for kalk og kalk +sjøvann felt slam. Til slutt ble filtrene satt i ovnen i 105°C og utfelt materiale ble avskrapet dagen etter.

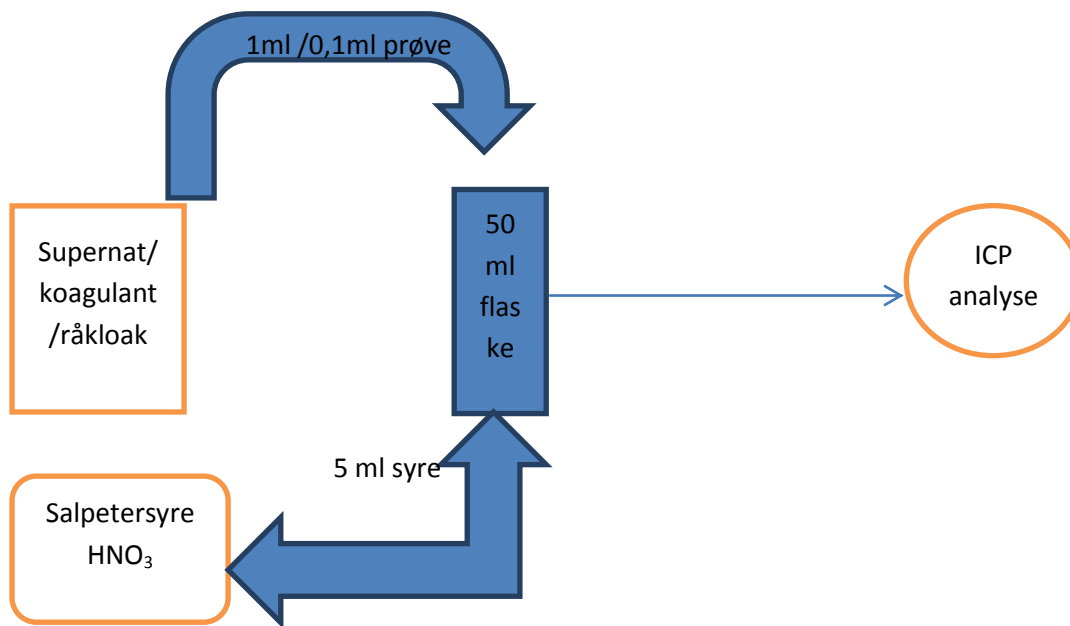
## **3.3 ICP analyser**

ICP (induktiv koblet plasma) er en metode for å analysere metall elementer (i løsninger) og som er mye benyttet i forbindelse med analyser av vann og ekstrakter av faste prøver.

I denne oppgave er det tatt 1 ml prøve fra supernatanter, råkloakk, filtratvann og ekstrakter. For noen prøver ble det tatt 5 ml i stedet for 1, og for kjemikaliekoagulant er de kun 0,1 ml som ble kjørt i ICP. Siste nevnte er fortynnet 1:10 på aluminium og jern kloritt basert koagulanter men ikke sjøvann og kalk.

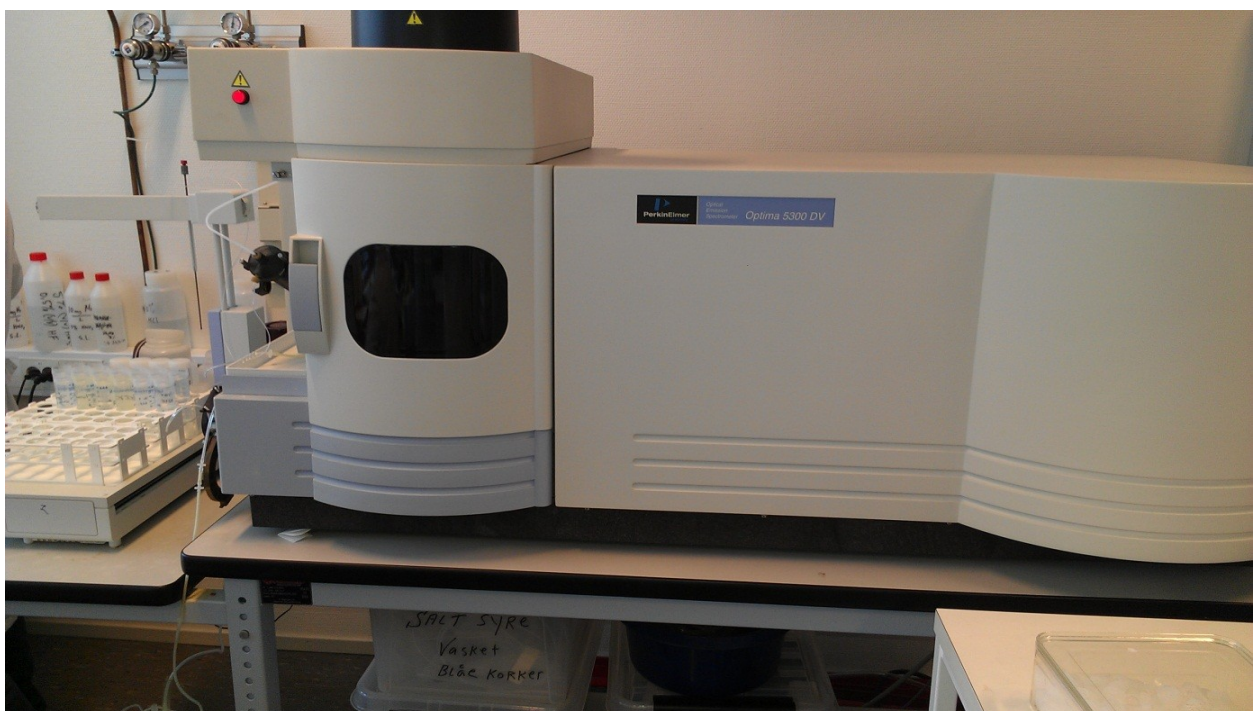
Alle prøvene tilsettes 5 ml salpetersyre ( $\text{HNO}_3$ ) i en 50 ml prøveflaske og fylles med destillert vann til 50ml. Hele prøven på 50 ml suges inn i maskinen. Så testes systemet ut og så analyseres det mange verdier og gjennomsnittet beregnes. ICP verdier i mg element /liter

Noen prøver ble lagret på sandbad over natta før det ble tilsatt salpetersyre med hensikten til å bli kvitt alt organisk materialer før prøvene ble kjørt i ICP maskinen. Dette gjaldt blant annet for prøver av tørrslam som ble kjørt i ultraklave maskin.



Figur 3. framgangsmåte i prøvene

Etter å ha satt prøvenumre på dataskjermen, ble prøveflaskene satt uten kork på et brett i optisk spektrometeret i en forhåndsbestemt rekkefølge. Det benyttede apparatet var av type Optima 5300 DV fra PerkinElmer (figur 4). ICP maskinen hadde et robot styrt innsugningssystem for hver prøveflaske som vandret i en forhåndsbestemt rekkefølge fra prøve til prøve og sugde inn ca. 4 ml prøve inn i maskinen hvor analysene ble foretatt. Hensikten var å finne ut metall innholdet i prøvene, blant annet er vi interessert i P, Al, Fe, Ca og Mg innhold i prøvene. Resultatene var klare ca.2 timer senere for hvert brett.



Figur 4: ICP spektrometer Perkin-Elmer Optima 5300 DV

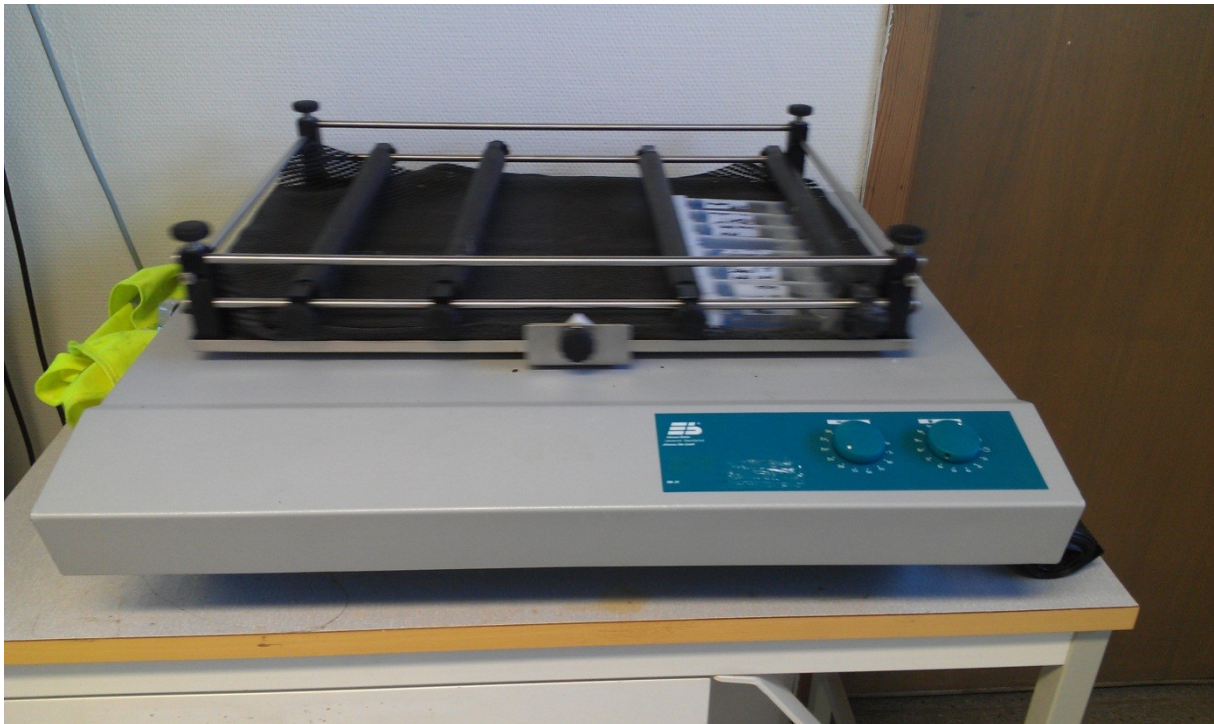


### 3.4 Ekstraksjon av P-AL

For ekstraksjon av P-AL tilsettes en løsning basert på en blanding av ammoniumlaktat. Dette gjør mulig å kunne analysere fosfor (P) mengden som plantene vil ha mulighet til å ta opp. Forskjellige metoder kan brukes, og i Norge brukes denne AL-metoden og betegnes som P-AL analysen.

Det ble ekstrahert ca. 0,20g av hver slam type. Dette veies opp og tilsettes i et 5 ml Eppendorfrør hvis det er lite slam eller i en 50ml ekstraksjonskolber i de tilfellene hvor det er mer slam til rådighet. Mengde AL-løsning blir proporsjonal med vekten til prøven. Det betyr 20 ganger mer Ammonium Laktat-løsning i ml i forhold til gram vekt av slam. Denne proporsjonalitetsregelen blir avholdt for alle kolbene.

Derneft skrus korkene på og kolbene legges i en ramme. Rammen plasseres umiddelbart på rystemaskinen (Edmund Bulher) eller i en Vortex ristemaskin dersom Eppendorfrør ble benyttet for blanding. I begge tilfelle skal blandingen ristes jevnlig hver kvarter i ca 2 timer slik at innholdet blir homogent. Ekstraksjonstiden må derfor være lik hver gang. Etter ekstraksjonen analyseres prøven for fosfor innhold i ICP instrumentet.



Figur 5: ristemaskin av type Edmund Buhler

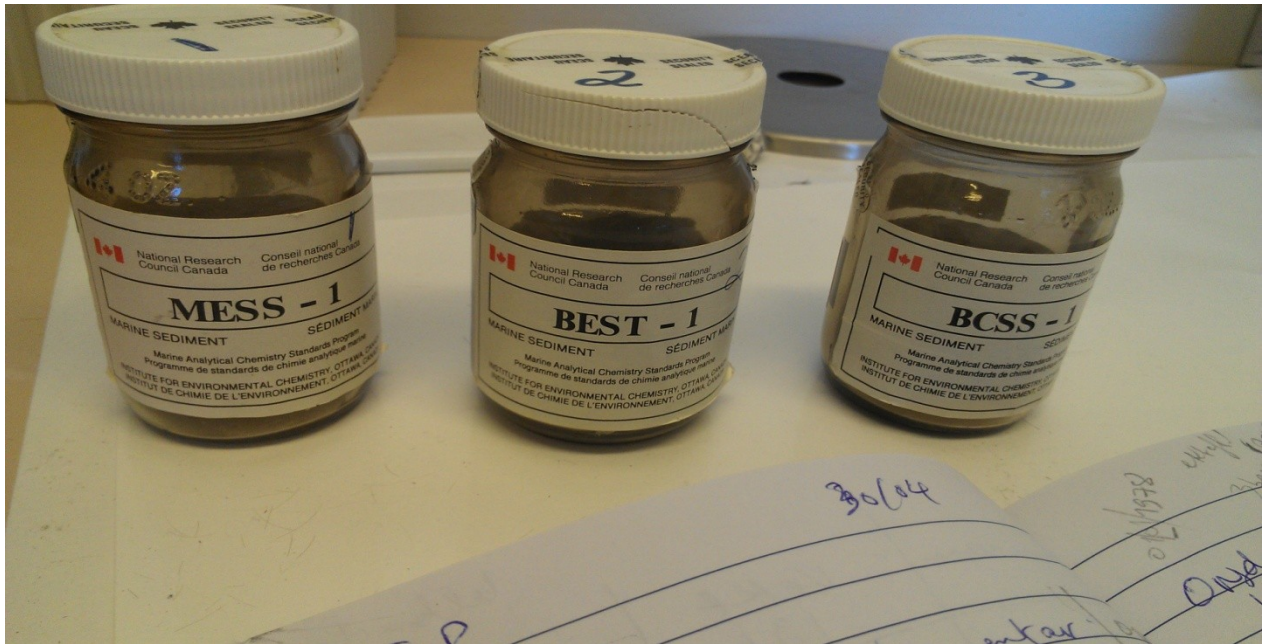
### 3.5 Total fosfor

For hver slamtype er konsentrasjon i total fosfor undersøkt med unntak fra slam i jartest 1 og 2 (4 forskjellige slamtyper til sammen). En viss mengde av tørt slam (ca. 0,2 gram slam) ble veid og satt i et rent og hygienisert prøverør for hver slamtype. 3 Referanse materialer ble også klargjort i samme laboratoriet hvor ultraclave skulle kjøres. Følgende referanse materialer ble brukt i den operasjonen: MESS -1, BEST 1, og BCSS produsert av National

Research Council i Canada (figur 7). Alle de 3 benyttede referanse materialer var marin sediment. Deretter er 5 ml salpetersyre ( $\text{HNO}_3$ ) tilsatt til prøvene og til referansematerialer. Så er alle slamprøver satt i et brett i en forhåndsbestemt rekkefølge og ble kjørt i Ultraclave maskin (figur 3.5) under en trykk på 250 i omtrent 20 minutter og plukket opp ca. 2 timer senere. Prøvene er utsatt for en høy temperatur og blandingen blir en homogen væske. Den væsken blir deretter dekantert over i et vanlig prøverør og oppsluttet til 50ml for å bli analysert i ICP.



Figur 6: Ultraclave maskin som ble benyttet i analyse



Figur 7: Referanse materialer av type MESS-1, BEST- 1 og BCSS-1

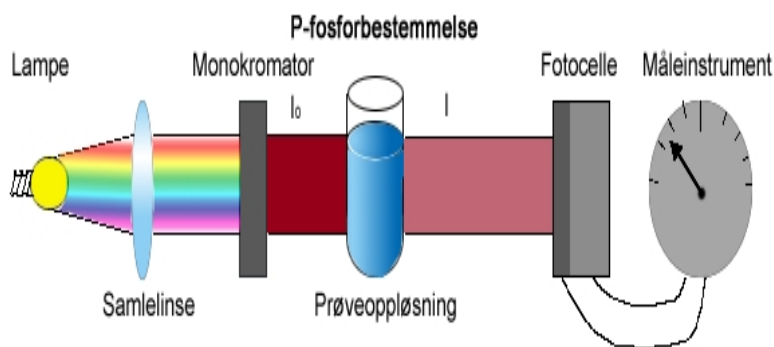
### 3.6 UV Spektrofotometri

Bestemmelse av fosforinnholdet i prøver av rensert vann, filtratvann og ekstraktanter gjøres ved hjelp av spektrofotometri. Det vil si at det sendes lys med bestemte bølgelengder (882nm) gjennom en farget prøveløsning, og måler fargeintensiteten (absorbansen). I følge Beer's lov er konsentrasjonen proporsjonal med absorbansen.

For å kunne bestemme fosforinnhold, måles det fosfatkonsentrasjonen ved hjelp av et Helios  $\alpha$  apparat (se figur 9).

Siden fosfatet selv er uten farge, må det tilsettes reagenser som gir en farget løsning med fosfat. Deretter tilsettes molybdatløsning(molybden) og askorbinsyre (ascorbic acid) til prøvene, og hvis det er fosfat til stede dannes et blått farge.

Når man sender lys med en bestemt bølgelengde på 880 nm gjennom den blå prøveløsningen, vil noe av lyset bli absorbert av komplekset. Strålingsintensitet blir noe lavere etter absorpsjonen enn før den. Den nye strålingsintensiteten blir registrert på en fotocelle.



Figur 8: prinsippet for UV spektrofotometer





Figur 9: Brukte UV spektrofotometer av type Helios  $\alpha$ .

Spektrofotometeret gir oss absorbansen til prøven. Absorbansen ( $A = \log I_0/I$ ) er logaritmen av forholdet mellom intensiteten,  $I_0$ , før lyset sendes gjennom prøveløsningen, og intensiteten,  $I$ , etter.

Fosfatkonsentrasjonen er proporsjonal med absorbansen og kan beregnes når man vet Absorbansen.

## Kapittel 4

### Resultater

#### 4.1 Analyser av innløpsvann og koagulanter

##### 4.1.1 Innhenting av avløpsvannet

Det ble tatt 3 ulike prøver av råkloakken til de ulike jar testerne. Vannet ble hentet fra VEAS renseanlegg i Slemmestad på grensen mellom Asker og Røyken. Prøven er tatt som stikkprøver 20 liter rundt klokka 1400 på 3 ulike datoer i mars, i april og i mai. Valg av klokkeslett begrunnet med at transporttiden fra Oslo og Bærum er ca 6 til 8 timer slik at innløpsvannet om morgenen ved VEAS kan være relativt tynt fordi da ankommer nattens vann. Det ble gjort forsøk på å få blandprøve over døgnet, men det var vanskelig fordi VEAS har en intens prøvetakning av sitt eget vann med automatisk blandprøvetakere som benyttes til egen rutine kontroll.

Prøvetaking fant sted på innløpet og ble tatt manuelt på et sted som heter rista og hvor returvann fra avvaningmaskinene og ammoniakkstrippingen kan komme med i prøven samt vaskevannet fra de biologiske filtrene. Avløpsvannets ble samlet inn i 1-2 plastkanner på 20 liter hver og plassert i kjøleskapet før bruk.

Siden vannet ble innhentet i ulike tidspunkter, kan det hende at egenskaper varierer noe fra dag til dag. Spesielt ved først gang innhenting den 14. mars 2012 var det strålende sol og varmt vær med mye snø, og det ble sagt at smeltevannsmengden var stor.

Senere ble det innhentet vann den 17/04/2012 på samme måte og jar tester ble kjørt samme dagen på dette vannet. Den 08/05/2012 ble det for siste gang hentet råkloakken fra samme renseanlegg og med samme opplegg.

##### 4.1.2 Prøver med råkloakk fra VEAS

Det er gjort flere analyser av de 3 råkloakkprøvene for å kartlegge konsentrasjon av ulike metaller i vannprøvene. Spesielt var viktig å få bestemt om P-innholdet i de råkloakkprøvene for deretter å bestemme oppnådd rensegraden ved ulike koagulantdoseringer og flokkuleringsforhold. Tabellen nedenfor viser en oppsummering av alle innløpsprøvenes sammensetning og deres metall innhold.

Tabell1: analyser av prøver i råkloakk1,2 og 3 og deres metall innhold

	Dato og klokkeslett	Mengde (L)	PH	TOC (mg/L)	Konduktivitet (uS/cm)	Tot-P (mg/L)	Orto-P (mg/L)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)
Råkloakk k1	13.03 kl. 1400	20	7.1	4,82	539	2.2	0	0.63	234.75	1.03	37.2
Råkloakk k2	17.04 kl. 1400	40	7.29	7,66	749	6.68	0.141	0.33	44.3	1.045	7.69
Råkloakk k3	11.05 kl. 1430	40	7.03	9.985	652	3.392	0.158	0.16	60.85	0.27	8.72



I prøve nummer 1 er Ca og Mg innholdet unormalt høyt og vesentlig høyere enn på de 2 andre prøvene. Det ble spekulert om hvorvidt returvannet fra strippingtårnet kunne vært årsaken til de høye verdier i disse parameterne. Arne Haar (personlig meddelelse) mente dette kunne være mulig. I et forsideark til VEAS Rapport nr. 4-5 datert 13.7.2005 med tittel:» undersøkelse av dråpemedriving fra strippetårnet til absorpsjonstårnet som Vråle hadde mottatt fra Ida Skaar i forbindelse med en annen mastergradsoppgave på VEAS fremgår at filtratvann i strippetårnet analysert 28.6.2005 viste et kalsium innhold på 5800 mg Ca/l. Dette er overraskende høyt men viser at retur av filtratvann kan inneholde store bidrag tilbake til innløpsvannet.

Ellers viser tabellen lave fosforverdier i prøve 1 under snøsmelteperioden og noe høye fosforverdier i prøve 2. Ortofosfat er overraskende lave i alle prøvene i forhold til totalfosfor. Forholdet magnesium/kalsium ligger stabilt mellom 14 til 17 %. Ellers er Fe innholdet ca dobbelt så høyt som aluminiums innholdet. Siden dette er stikkprøver øst opp i løpet av ca. 10 minutter kan det ikke legges for mye vekt på disse prøvene. Døgnblandprøver og særlig ukelandprøver ville vært mye mer representative, men de vil være helt riktige i forhold til de resultater som oppnås i kjemisk felling i jar test og for innhold som ender opp i slammet.

#### **4.1.3 Analyser av benyttede koagulanter**

Det ble brukte ulike typer kjemikalier til enhver jar test. Disse kjemikaliene var hovedsakelige Al basert (ALS og Pax-xl61) eller Fe basert koagulanter(PIX 311, PIX-318). I tillegg til kalk som hydratkalk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  og en kombinasjon av kalk + sjøvann. Det ble benyttet ALS og PIX 311 på 2 av de 4 først jar testene. Og deretter ble ALS og PIX 311 byttet med PAX-XL61 og PIX 318 i de neste jartestene. Alle disse koagulantene kommer som oppløste koagulanter i tankbil.. Grunnen til den endringen ligger i at samme koagulant type som VEAS burde benyttes under jar testene. Dessuten kom Kemira med en ny opplysning under forsøkene om PIX311 var en svensk variant av jern klorid.

I de første jartestene med kalk jartest nr 2 og 4 ble det for kalkdoseringene benyttet kalkslurry ca. 5 % tørrstoff som er relativt vanlig i Norge. Her kommer koagulanten som pulver i tankbil og må løses opp på renseanlegget. I de senere jartestene med kalk ble kalkfellingene kjørt med mettet kalkløsning som er uvanlig, men som kanskje kan være riktig for å gi riktigere P-AL analyse.

Tabell 2 på nest side viser en oversikt over hvilke koagulanter og kombinasjoner som ble analysert ved de ulike jartestene.

Tabell 2: Oversikt over benyttede koagulanter i jartester

Benyttede koagulanter							
	PIX-311	PIX 318	ALS	PAX-XL61	Hydrat kalk slurry 5 %	Hydrat kalk mettet løsning	Sjøvann
jar test 1	X		X				
jar test 2					X		X
jar test 3	X		X				
jar test 4					X		X
jar test 5		X					
jar test 6				X			
jar test 7						x	
jar test 8						x	X
jar test 9		X					
jar test 10				X			
jar test 11						x	
jar test 12						x	X

Tabell 3 Innhold av metaller og konsentrasjoner i benyttede koagulanter analysert i ICP

	AL (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)
PIX-311	5.22	948,8	2425	153,8	0,52
PIX 318	0.22	1.42	2645	84.1	1.92
ALS	514,3	946,7	3,28	156,66	0,52
PAX-XL61	609	472	0.65	3.6	2.05
Mettet kalkløsning	0.14	300	0.02	0.2	1.9
sjøvann	1.19	1024	2,71	161.4	6,28

Kommentar på tabell 3: Verdier på kalsium på de fleste kjemikaliene ser merkelig høy ut og skyldes trolig med at på ICP måler feil i den parameteren. Man kan helle ikke utelukke at det er blitt noe interferens i måleapparatet.

## 4.2 Resultat i rensed vann i jar test

### Beskrivelse av jar tester

Det ble gjennomført 12 jar tester på vannprøvene hentet fra VEAS innløp som ble kjemisk rensed ved å tilsette ulike koagulanter. Hensikten var både å se hvilke rensesgrader som kunne oppnås i forhold til kjemikalie doseringer og å produsere tilstrekkelig med slam med ulikt innhold av koagulant metaller i slammet for videre analyse for å vurdere hvordan innholdet av fosfor påvirkes med hensyn til tilgjengelighet for planter på jord.

Prøver av rensed vann (supernatanter) ble tatt fra toppen av begrene etter at sedimenteringstiden er utløpt. Før uttak av dette vannet hadde slammet sedimentert i 20-30 minutter. Det ble tatt prøver for hvert eneste jar test beger (forsøk med samme dose i en jar test er også med her). Årsaken er at det måtte produsere nok slam slik at resultater kan sammenlignes og kontrolleres. Det rensede vannet på toppen så relativt rent ut uansett hvilket flokkuleringskjemikalie som ble benyttet, og er analysert i ICP for ulike parametere.

I første omgang beskrives anvendt koagulant type, doser, oppnådde pH, konduktivitet og Total organisk karbon (TOC).

### 4.2.1 Målte parametere i Jartester

#### Jartest1,2,3 og 4 med råkloakk 1

Den første Jartesten ble utført på laboratorie- benk den 14/03/12 og ble kjørt med aluminium-sulfat(ALS) og en jern klorid løsning kalt PIX311. Alle 6 begre ble fylte med 0,8 liter råkloakk. I de først begrene er tilsatt ALS i økende doser og 3 andre begre med samme volum ble kjørt med PIX311, også i økende doser. Videre er sedimentert slam fra de 3 først begre (ALS felt slam) samlet i en Imhoffkon. Tilsvarende opplegg ble gjort for de 3 andre begre felt med PIX31 i Jartest 1 og innsamlet slam ble satt i en annen Imhoffkon.

Samme forsøk ble gjentatt i Jartest 3 den 26/03/12 under tilsvarende flokkuleringsforhold og kjemikalier som i Jartest 1. Men den gangen var forsøksopplegget litt annerledes. De 3 begrene som ble kjørt i parallell hadde samme dose både for ALS og for PIX311. Tanken bak dette var å ha en felles dosering i vannfasen og få nok slam til videre analyser og kunne sammenligne resultatet av Tot-P og P-AL i slam med den felles dosen. I tillegg unngår man å slå sammen slamprøver med ulike fellingskjemikalier doseringer, da det blir vanskeligere å anslå bidraget fra hver enkelt prøve i analyser. Fordelen med varierende dose i de tre første begrene var å få hurtigere oversikt over nødvendige koagulant doser for å få akseptabelt renseseffekt i jar testen.

Resultatene fra disse 4 testerne er presentert i tabell 4

Tabell 4: Beskrivelse av jartester 1 til 4 og målte parametere

	Jar test 1 og 3 med PIX 311		Jar test 1 og 3 med ALS		Jar test 2 og 4 med kalk		Jar test 2 og 4 med kalk + sjøvann	
	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2
Jartest beger nr.	1.4,1.5, 1.6	3.4,3.5, 3.6	1.1,1.2, 1.3	3.1,3.2, 3.3	2.1,2.2, 2.3	4.1,4.2, 4.3	2.4,2.5, 2.6	4.4,4.5, 4.6
Volume vann i beger (ml)	2400	3000	2400	3000	2400	3000	2550	3225
Koagulant dose (ml/L)	1.875	3	1.875	3			58.8	75
Koagulant dose mg/L					625	750	294	500
PH	7.78	5.63	7.41	6.42	11.67	12	10.23	11.15
Ledningsevne (us/cm)	561	668	561	612	1346	1814		2357

Jartest 5-8 med råkloakk 2 og jartest 9-12 med råkloakk 3

Jartest 5,6,7 og 8 er en serie av 24 beger utført i 4 omganger med samme omrøringshastigheter. I disse Jartestene ble 2 forskjellige doser (en lav og en veldig høy dose) av samme kjemikalier kjørt i parallell og deretter ble slammet med lik doser samlet i en Imhoffkon. Senere i oppgaven ble det kjørt de 4 siste Jartestene (J. T nr.9 til 12) med 2 nye doser (en for lav og en høy dose) under ellers like forhold. Hensikten var for å få bekreftet eller avkreftet de resultatene som ble oppnådd fra Jartest 5 til 8, spesielt med tanke på P-AL og renseeffekten..

Tabeller 5 og 6 viser resultater fra Jartester 5 til 12 på de målte parametere som pH, ledningsevne og total organisk karbon, samt volum av vann og koagulantdoser.

Tabell 5: Beskrivelse av jartester 5 til 8 og målte parametere

	Jar test 5 med PIX 318		Jar test 6 med Pax-xl61		Jar test 7 med kalk		Jar test 8 med kalk + sjøvann	
	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2
Jartest beger nr.	5.1,5.2,5.3	5.4,5.5,5.6	6.1,6.2,6.3	6.4,6.5,6.6	7.1,7.2,7.3	7.4,7.5,7.6	8.1,8.2,8.3	8.4,8.5,8.6
Volume vann i beger (ml)	5400	5400	5400	5400	4500	4500	4500	4500
Koagulant dose (ml/L)	1,67	5,56	1,11	3,33			33,33	66,67
Koagulant dose mg/L					166,67	333,33	200	200
PH	7,21	3,18	7,58	6,82	11,27	11,95	11,6	11,23
Ledningsevne (us/cm)	628	1037	627	744	839	2060	1861	2733
TOC (mg/L)	7,43	8,6	8,04	5,83	11,01	8,41	9,3	8,63

Tabell 6: Analyse av rensert vann (supernatant) fra Jar tester med Pix318,Pax-xl61, kalk alene og en kombinasjon av kalk+ sjøvann

	Jar test 9 med PIX 318		Jar test 10 med Pax-Xl61		Jar test 11 med kalk		Jar test 12 med kalk + sjøvann	
	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2	dose 1	dose 2
Jartest beger nr.	9.1,9.2,9.3	9.4,9.5,9.6	10.1,10.2,10.3	10.4,10.5,10.6	11.1,11.2,1.3	11.4,11.5,1.6	12.1,12.2,12.3	12.4,12.5,12.6
Volume vann i beger (ml)	5400	5400	5400	5400	5400	3600	3800	4800
Koagulant dose (ml/L)	1,11	3,33	0,56	2,22			15,61	93,7
Koagulant dose mg/L					111,11	500	187,5	187,5
PH	5,8	6,25	7,18	7,56	9,72	12,08	11,32	11,13
Ledningsevne (us/cm)	679	715	684	671	417	2677	1320	3573
TOC (mg/L)	4,95	7,61	5,36	6,9	10,75	8,63	10,55	9,77

## 4.2.2 Resultater fra ICP analyser av rensset vann

Tabeller 7 til 11 viser resultater fra ICP analysene på vannprøvene fra samtlige jartester. Her fremgår konsentrasjon i ulike metaller som Al, Fe, Ca, Mg og P. Negative verdier er en tegn på at konsentrasjon av den aktuelle metall ligger noe lavere en deteksjonsgrense til apparatet. Renseeffekten ble også beregnet for alle prøvene og vises i ytterst kolonne i tabeller nedenfor.

Tabell 7: Innhold av restmetaller i rensset vann og rensegrader jartester 1 til og med-4

Prøve ID	Kjemikalier Doser	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)	Orto-P (mg/L)	Rensegrad (%)
1.1 - 1.3	1.875ml/l ALS	1.10	221.45	0.73	34.58	1.34	0	39
1.4 - 1.6	1.875ml/l PIX311	0.31	221.32	1.78	34.49	0.79	0	64
2.1 - 2.3	625mg/l kalk slurry	0.30	304.08	0.62	31.56	0.34	0	85
2.4 - 2.6	294mg/l kalk +58.8ml/l sjøv.	0.30	247.18	0.59	91.81	0.32	0	86
3.1 - 3.3	3ml/l ALS	0	57.23	0.03	6.40	0.32	0	86
3.4 - 3.6	3ml/l PIX311	0	58.32	1.34	6.40	0.18	0	92
4.1 - 4.3	750mg/l kalk slurry	0	196.10	0	0.34	0.43	0	88
4.4 - 4.6	500mg/l kalk +75ml/l sjøvann	0	120.68	0	15.61	0.27	0	88

Rensegrad på de 4 først jartester ble kjørt med en råkloakk som hadde lav fosfor konsentrasjon kanskje på grunn av snøsmelting . Allikevel er trenden for rensegrad lik for alle kjemikalier. Her viser rensegraden at lav dose gir dårligere rensegrad enn ved en litt høyere dose.

Tabell 8: Innhold av restmetaller i rensset vann(supernatant) fra jar tester 5-8

Prøve ID	Kjemikalier Doser	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)	Orto-P (mg/L)	Rensegrad (%)
5.1 - 5.3	1,11mL/L med Pix 318	0.07	47.00	1.89	9.18	1.32	0	80
5.4 - 5.6	3,33 mL/L med Pix 318	0.39	51.66	28.12	12.28	1.53	0	77
6.1 - 6.3	0,56mL/L med Pax-Xl61	0.1	56.11	0.08	8.40	3.19	0	92
6.4 - 6.6	2,22mg/L/L med Pax-Xl61	0.11	60.87	0.03	8.16	1.68	0	75
7.1 - 7.3	111,11mg/L med Kalk	0	90.40	0.02	3.11	1.82	0	73
7.4 - 7.6	500mg/L med Kalk	0.06	227.70	0.04	0.23	1.89	0	72
8.1 - 8.3	187,5mg Kalk/L + 15,63mL/L sjøvann	0	116.23	0.16	8.41	1.96	0	71
8.4 - 8.6	187,5mg Kalk/L + 93,76mL/L sjøvann	0	131.74	0.03	19.81	1.67	0	75

Ut ifra analyser av rensert vann på prøver fra jartest 5 til 8 er oppnådd renseseffekt litt annerledes. Disse jartestene er kjørt med den mest konsentrert råkloakken nr.2 med en P konsentrasjon på 6,68 mg P/L. Ved tilsetning av to ekstreme doseringer (en lav og en for høy doser) ga den lave dose noe høyere renseseffekt på alle prøver. For Pax-XI61 går rensesgrad ned ved økte dosering. Når doser firedobles, synker rensesgrad med 23 % på de prøvene felt med den koagulanten.

På de 4 siste jartester nr 9, 10, 11 og 12 er oppnådd renseseffekt mye bedre og det kan tenkes at råkloakkens sammensetning kan være årsak til dette. Dette råvannet hadde en fosfor konsentrasjon på 3,4 mg P/L.

Tabell 9: Innhold av restmetaller i rensert vann(supernatant) fra jar tester 9-12

Prøve ID	Kjemikalier Doser	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)	Orto-P (mg/L)	Rensegrad (%)
9.1 - 9.3	1,67mL Pix 318 / L	0.14	31.05	2.18	6.35	0.04	0	99
9.4 - 9.6	5,56 mL Pix 318/L	0.08	34.44	1.98	8.39	0	0	99
10.1 - 10.3	1,11mL Pax-XI61 /L	0.45	34.5	0.29	6.03	0.93	0.01	73
10.4 - 10.6	3,33mL Pax-XI61 /L	0.27	40.22	0.26	6.28	0.03	0	99
11.1 - 11.3	166,67mg Kalk /L	0.11	32.68	0.3	5.63	0	0	100
11.4 - 11.6	333,33mg Kalk /L	0.07	261.98	0.24	0.3	0.14	0	96
12.1 - 12.3	200mgKalk/L + 33,33mL sjøvann /L	0.07	69	0.23	6.13	0	0.09	98
12.4 - 12.6	200mgKalk/L + 66,67mLsjøvann /L	0.08	155.59	0.26	16.9	0.08	01	98

### 4.3 Filtrering av slammet og analyse av filtrat vannet

Det er brukt en Duran Erlenmeyer kolber med et filter på for å skille vannet fra slammet. Vakuum filtrering ble også benyttet enkelte gange i filtrerings sammenheng. Filteret ble veid etter uttørring i varmeskap før filtreringsprosessen ble satt i gang. Den siste nevnte (Vakuum filtrering) drenerte væsken gjennom filteret mens store partikler og slam ble holdt i filteret. Dreneringshastigheten er målt for alle prøver for sammenligning unntatt på prøver fra jartest 1-4. Filtrat vannet ble så analysert i ICP og sjekket for total innhold av P. Det ble også sjekket for restinnhold av fellingskjemikalier på filtrat vannet som ble kjørt i ICP spektrometeret i likhet med alle de andre prøvene.

Tabeller nedenfor oppsummerer analyser utført på filtratvannet ved ICP på alle jartester. I tillegg vises det i siste kolonne mengde tørt slam i gram etter filtreringsprosesser og utørring i varmeskapet på 105 grader Celsius.

På jartest 1,2,3 og 4 ble filtratvannet ikke analysert i ICP da det ikke ble tatt prøver av dette vannet under filtreringsprosesser. Dreneringshastighet er heller ikke målte på disse jartestene.

Tabell 10: Resultater av ICP analyser av filtrater og slam mengde fra jar tester 1-4

Prøve ID	Innhold	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)	Dreneringshastighet (t)	tørr slam (g)
Filtrat 1	1.875ml/l ALS	-	-	-	-	-	Ikke målte	0,15
Filtrat 2	1.875ml/l PIX311	-	-	-	-	-	Ikke målte	0,25
Filtrat 3	625mg/l kalk slurry	-	-	-	-	-	Ikke målte	1,1
Filtrat 4	312.5mg/l kalk +62.5ml/l sjøv.						Ikke målte	0,35
Filtrat 5	3ml/l ALS	1.12	115.26		13.25	0.36	Ikke målte	0.35
Filtrat 6	3ml/l PIX311	-	191.8	0.03	0.21	0.62	Ikke målte	0.52
Filtrat 7	750mg/l kalk slurry	-	68.17	1.43	6.46	0.36	Ikke målte	1.43
Filtrat 8	500mg/l kalk +75ml/l sjøvann	0.13	65.76	0.08	7.24	0.44	Ikke målte	1.67
	Råkloakk	1,47	238,06	1,04	37,38	2,18		

Tabell 11: Resultater av ICP analyser av filtrater og slam mengde fra jar tester 5-8

Prøve ID	Innhold	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)	Drenerin gshastigh et (t)	tørr slam (g)
Filtrat 1	1,67mL/L med Pix 318	0.03	59.17	11.51	11.9	1.99	5	1.22
Filtrat 2	5,56 mL/L med Pix 318	3.04	68.59	27.17	55.95	1.99	3	2.14
Filtrat 3	1,11mL/L med Pax-Xl61	0.02	60.47	0.83	10.12	2.14	5	1.35
Filtrat 4	3,33mL/L med Pax-Xl61	0.02	73.24	1.42	10.55	1.53	3	1.72
Filtrat 5	166,67mg/L med Kalk	0.14	74.2	0.64	8.15	3.21	2	1.94
Filtrat 6	333,33mg/L med Kalk	0.05	164.8	0.16	0.01	19.58	1	1.22
Filtrat 7	200mg Kalk/L + 33,33mL/L sjøvann	0.02	111.7	0.05	35.2	2.13	2	2.73
Filtrat 8	200mg Kalk/L + 66,67mL/L sjøvann	0.05	127.44	0.1	59.26	0.82	2	2.73
	råkloakk	0.33	52.11	1.75	9.37	6,68		



Tabell 12: Resultater av ICP analyser av filtrater og slam mengde fra jar tester 9-12

Prøve ID	koagulant og dose	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)	Dreneringshastighet (t)	tørr slam (g)
Filtrat 1	1,11mL Pix 318 /L	0.072	34.085	8.543	6.431	0	4	1.10
Filtrat 2	3,33 mL Pix 318 /L	0.083	36.934	11.88	9.079	0	5	1.50
Filtrat 3	0,56mL Pax-Xl61 /L	0.091	33.03	0.634	5.536	0.735	3	0.99
Filtrat 4	2,22mL Pax-Xl61 /L	0.065	31.529	0.321	4.416	0	3.5	1.11
Filtrat 5	111,11mg Kalk/ L	0.084	63.116	0.305	6.515	3.181	7	1.47
Filtrat 6	500mg Kalk /L	0.524	150.081	0.217	0.102	2.205	4	1.38
Filtrat 7	187,5mg Kalk/L + 15,63mL sjøvann /L	0.073	57.441	0.223	6.471	3.73	4	2.24
Filtrat 8	187,5mg Kalk/L + 93,76mL sjøvann /L	0.07	104.635	0.231	13.598	1.472	6	4.83
	Råkloakk	0.12	46.01	0.21	6.62	3.4		

Filtratvann fra slamdrenering kan ha høyere P-innhold enn den benyttede råkloakk. Årsaken kan være at noe filtre dårlig og er ikke så tett som det skullet ha vært. Dermed lekker en del P og havner i kolben hvor prøver av filtratvann er hentet fra. I et tilfelle (filtrat nummer 6 i tabell 4.12) er P-verdi 3 ganger så høy som P konsentrasjon i selve råkloakken og ble forkastet. Negative verdier eller tomme ruter viser at konsentrasjon på den aktuelle parameter er 0.

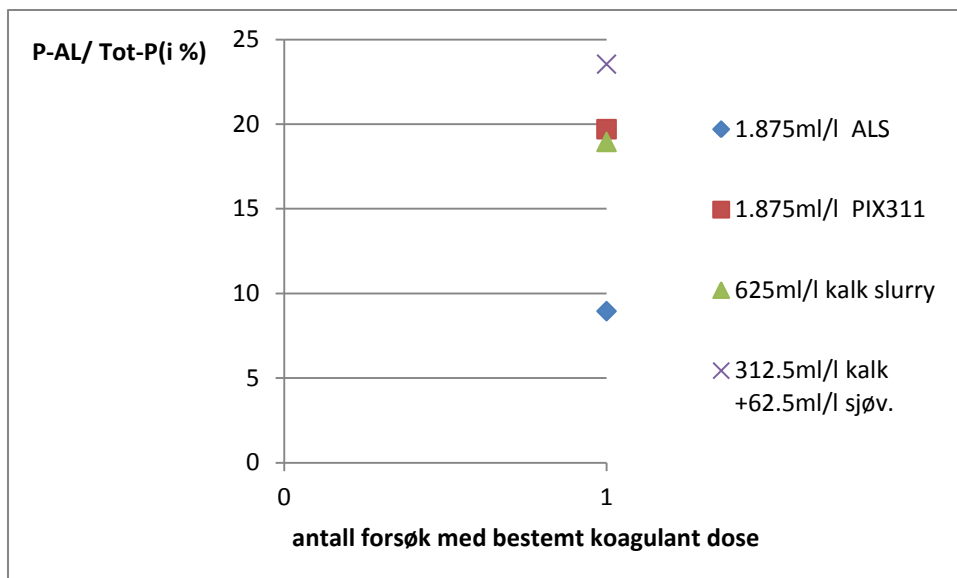
#### 4.4 Analyse av P-AL fra slammet

##### 4.4.1 Resultater på P-AL og Total-P i slammet

Siden det ble brukt ulike råkloakk til ulike jar tester, var det mest hensiktsmessig å sammenligne P-AL fra samme råkloakk med hverandre ved ulike doseringer av flokkuleringskemikalier. Unntaket er jern klorid felt slam hvor den ene prøven på Pix318 ga et uforståelig høyt tall(38 % P-AL). Det ble fort en mistanke om at den prøven har enten blitt forvekslet eller kontaminert under analysene.

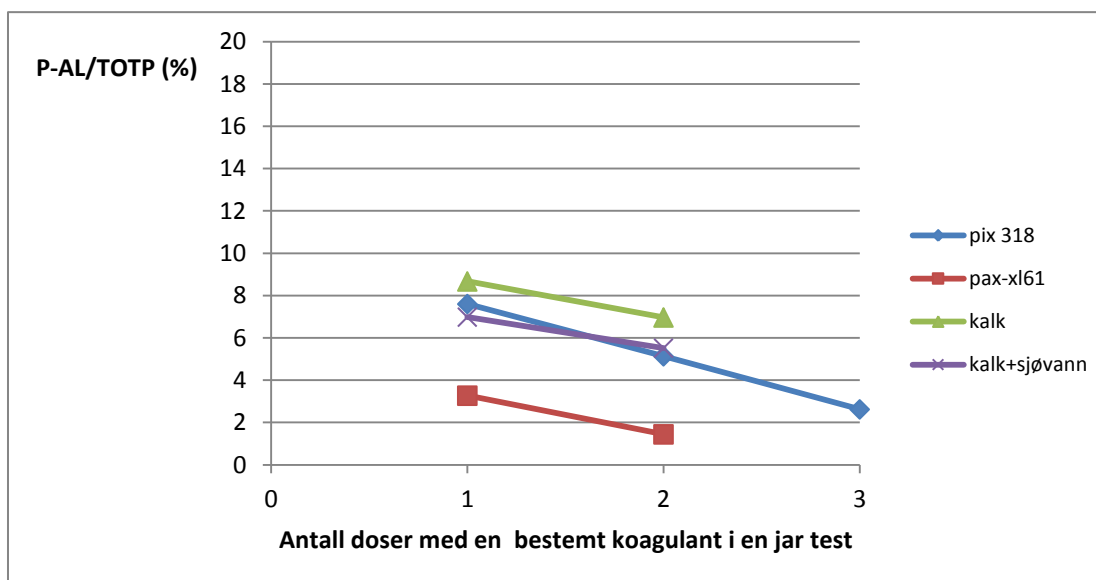
På de to først jartester fantes ikke nok slam til analyser av total P for 3 av de 4 slam typene. Derfor vises det kun resultater av jartester 3 og 4 i figuren vist nedenfor. All slam ble brukt opp under ekstrahering av P-AL.

I jartest 3 og 4 er både total fosfor og tilgjengelig fosfor analysert ved ICP, da det var mer slam til rådighet. Det ble kjørt kun en bestemt dose på hver koagulant i disse jartestene. Derfor er resultatene fremstilte litt annerledes i forhold til andre figurer, nemlig med et punkt diagram.



Figur 10: tilgjengelig P i slammet i forhold til total- P for jartest 3 og 4

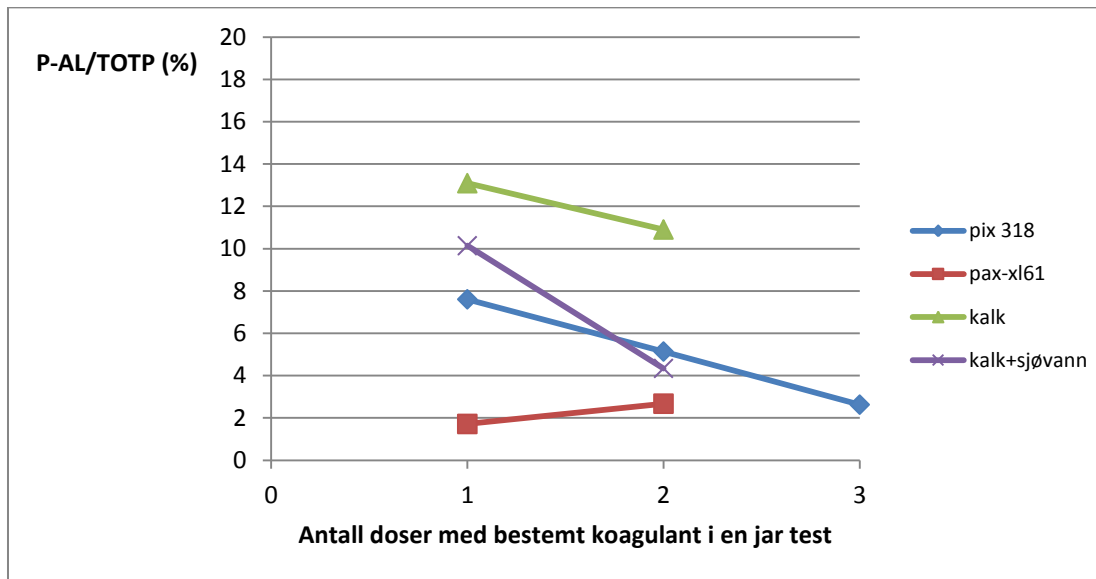
Resultater på analyser av slamprøver fra de øvrige jartester re vist i figuren 11 og 12 nedenfor. På figur 11 er resultatene fra jartester 5, 6,7 og 8 fremstilte ut ifra antall forsøk med bestemt dosering. På hver koagulant type ble 2 ulike doseringer kjørt under like flokkuleringsforhold i jartesten. På jern kloritt (PIX311) ble den ene prøven mistenkt kontaminert da den ga en unormal høy verdi på 38 % tilgjengelig fosfor i forhold til total- P og dermed fjernet. Resultatene vises figuren 11 og 12.



Figur 11: tilgjengelig P i slammet i forhold til total- P for jar test 5-8

Plantetilgjengelig fosfor i jartester 9,10,11 og 12 med ulike flokkuleringskemikalier og doseringer er vist i figur 3. Her ser man tydelig at det er kalk felling (13 % på de høyest nivå)

og den kombinasjon av kalk og sjøvann(10,3 % P-AL) som ligger på topp når det gjelder P tilgjengelighet.



Figur 12: tilgjengelig P i slammet i forhold til total- P for jar test 9-12

Som det fremkommer av figurer 11 og 12, peker alle kurver ned på alle koagulanter. Den generelle tendensen i resultatene viser at jo høyere tilsatt koagulanter doser jo lavere prosent P blir tilgjengelige til planter (P-AL). Den trenden er naturlig da metall i koagulanter binder fosfor så hard at den ikke blir lett tilgjengelig for planter og er i tråd med tidligere studier på dette feltet.

#### 4.4.2 Slam analyser for total forsfør

I likhet med rensset vann, filtratvann og ekstrakter er alle slamtyper blitt analysert i ICP for å finne total fosfor konsentrasjon. Tørrstoffet mengde og glødetap er også beregnet og er presentert i samme tabellen for de fleste slamprøver. Resultatene er vist i tabeller nedenfor. Slam fra Jartest 1 og 2 er ikke blitt analysert for total P, på grunn av lite tilgjengelig slam mengde. Glødetapet er heller ikke undersøkt på disse slamtypene av samme grunn. Det vises i tabeller 4.13 til 4.15 restmetaller i slamprøvene som ble også undersøkte i ICP. Slamprøver er nummerert fra 1 til 4 på prøver fra jartest 3 og 4 på grunn av at det ble kjørt kun en dose per koagulant. Men på de 2 siste tabellene går nummereringen helt til 8, da det var 8 ulike slam fra hver runde bestående av 4 jartester.

Tabell 13: Kjemisk innhold i slam, tørrstoff for Jar test 3 og 4

	<b>Slam 1 ALS (3ml)</b>	<b>Slam 2 Pix 311 (3 ml)</b>	<b>Slam 3 kalk (750mg/L)</b>	<b>Slam 4 (500mg kalk/L + 75ml sjøvann)</b>
<b>Total Fe (g/kg TS)</b>	6.73	130	2.47	2
<b>Total Al (g/Kg TS)</b>	0	5.65	2.98	2.38
<b>Total Ca (g/Kg TS)</b>	10	6.39	268	219
<b>Total Mg (g/Kg TS)</b>	2.54	1.11	15.78	39.98
<b>Tørrstoff(g/Kg TS)</b>	0.05	0.06	0.45	0.15

Tabell 14: Kjemisk innhold i slam, tørrstoff og glødetap for Jar test 5,6,7 og 8

	<b>Slam 1 (Pix318 1,11ml)</b>	<b>Slam 2 (Pix318 3,33ml)</b>	<b>Slam 3 (Pax 0,56ml)</b>	<b>Slam 4 (Pax 2,22ml)</b>	<b>Slam 5 (kalk 111mg/l)</b>	<b>Slam 6 (kalk 500mg/l)</b>	<b>Slam 7 (188mg/l kalk+15,63ml sjøvann)</b>	<b>Slam 8 (188mg/l kalk+93,76ml sjøvann)</b>
<b>Total Fe (g/kg TS)</b>	40.2	89.6	6.2	5.5	3.6	4.6	3.0	2.7
<b>Total Al (g/Kg TS)</b>	3.4	2.6	32.7	-	4.0	4.5	3.6	3.1
<b>Total Ca (g/Kg TS)</b>	6.3	1.1	11.2	9.1	197.2	161.5	160.3	163.4
<b>Total Mg (g/Kg TS)</b>	1.5	0.5	2.7	2.6	9.0	22.4	30.4	38.6
<b>Tørrstoff(g/Kg TS)</b>	0.23	0.40	0.25	0.32	0.43	0.27	0.61	0.61
<b>Glødetap (%) etter 550 C</b>	65	61	67	64	55	53	66	53

Tabell 15: Kjemisk innhold i slam, tørrstoff og glødetap for Jar test 9-12

	<b>Slam 1 (Pix318 1,67ml)</b>	<b>Slam 2 (Pix318 5,56ml)</b>	<b>Slam 3 (Pax 1,11ml)</b>	<b>Slam 4 (Pax 3,33ml)</b>	<b>Slam 5 (kalk 167ml)</b>	<b>Slam 6 (kalk 333ml)</b>	<b>Slam 7 (200mg/L kalk+33,33ml sjøvann)</b>	<b>Slam 8 (200mg/L kalk+66,67ml sjøvann)</b>
<b>Total Fe (g/kg TS)</b>	32,07	96,7	4,29	3,7	2,28	1,93	1,5	1,03
<b>Total Al (g/Kg TS)</b>	4,26	3,82	30,12		3,18	2,71	2,18	1,6
<b>Total Ca (g/Kg TS)</b>	13,00	5,63	15,65	13,	167,38	195,7	190,05	165,73
<b>Total Mg (g/Kg TS)</b>	1,89	0,96	2,29	1,89	1,9	14,29	20,29	45,45
<b>Tørrstoff(g/Kg)</b>	0,21	0,28	0,19	0,205	0,28	0,39	0,47	1,1
<b>Glødetap (%) etter 550 C</b>	76	60	80	72	45	43	39	40

## Kapittel 5

### Diskusjon og kommentarer til resultater

I dette kapittelet vil resultatene presentert i kapittel 4 bli diskutert. Diskusjon har samme oppbygning som resultatene presentert over. For en enklere sammenligning av de ulike forsøkene er det i noen av avsnittene tatt med grafer fra resultatene.

#### 5.1 Diskusjon av resultater

##### 5.1.1 Analyser av Råkloakkprøver

Som opplyst i forrige kapittel er 3 forskjellige råkloakkprøver benyttet for jar tester da det var behov for mer vann for å kunne kjøre alle 12 jartestene og vannprøvene må være ferske.

Avløpsvannet vil allikevel få ulike konsentrasjoner selv om råkloakken innsamles ved VEAS på samme måte og samme klokkeslett men på ulike datoer. Dette skyldes at prøvene er tatt som stikkprøver selv om den manuelle prøvetakningen tok ca. 10 minutter.

I den først prøven var Ca- og Mg innholdet unormalt høyt og vesentlig høyere enn på de 2 andre prøvene (se tabell 1). Det ble spekulert om hvorvidt returvannet fra stripping tårnet kunne vært årsaken til de høye verdier i disse parameterne. Nye analysert utførte på VEAS den 28.6.2005 viste et kalsium innhold på 5800 mg Ca/L. Dette er overraskende høyt men viser at retur av filtratvann kan inneholde store bidrag av kalsium tilbake til innløpsvannet.

##### 5.1.2 Koagulanter

I likhet med analyser av råkloakk nummer 1, er koagulantene analysert på samme tidspunkt i ICP instrumentet (se tabell 2). Her viser enkelte av Kemiras koagulanter overraskende høye kalsium verdier. I tillegg er koagulantprøvene blitt analysert i ICP på ulike tidspunkter. Særlig 2 koagulanter Pax-X161 og Pix311 som ble analysert samme dagen vekker oppsikt. Kalsium innholdet i Pax-X161 er flere ganger høyere enn Pix318. Det kan hende at det har vært interferenser under analyser av den parameteren i ICP. Man kan heller ikke utelukke at noen prøver ble kontaminert.

##### 5.1.3 Analyse av ortofosfat

Ortofosfat viser lave verdier i alle prøver i forhold til totalfosfor og mange av konsentrasjonene ligger lavere enn deteksjonsgrense og dermed er instrumentene ikke i stand til å beregne dette. De er derfor tilnærmet 0 mg/L. Innholdet av ortofosfater i råkloakkprøver viser også lave verdier. Forholdet mellom ortofosfater og total-P er henholdsvis på 0,05 0,02 til 0,057 % i av det total-P innholdet i de 3 benyttede råkloakkprøver. Lave ortofosfat i rensset vann (supernatant) viser i så fall at kjemien i fellingen har vært bra.

Den benyttede metode og proporsjonalitet i forhold til prøvelaging for bestemmelse av ortofosfat ved hjelp av 2 reagenser (molybdatløsning(molybden) og askorbinsyre (ascorbic acid) kan diskuteres også. I avløpsvann skulle mye av fosfor være i form av fosfat, enten orto- eller polyfosfater. I dette tilfelle er prøvene blitt sjekket kun for ortofosfater og ikke for polyfosfater.

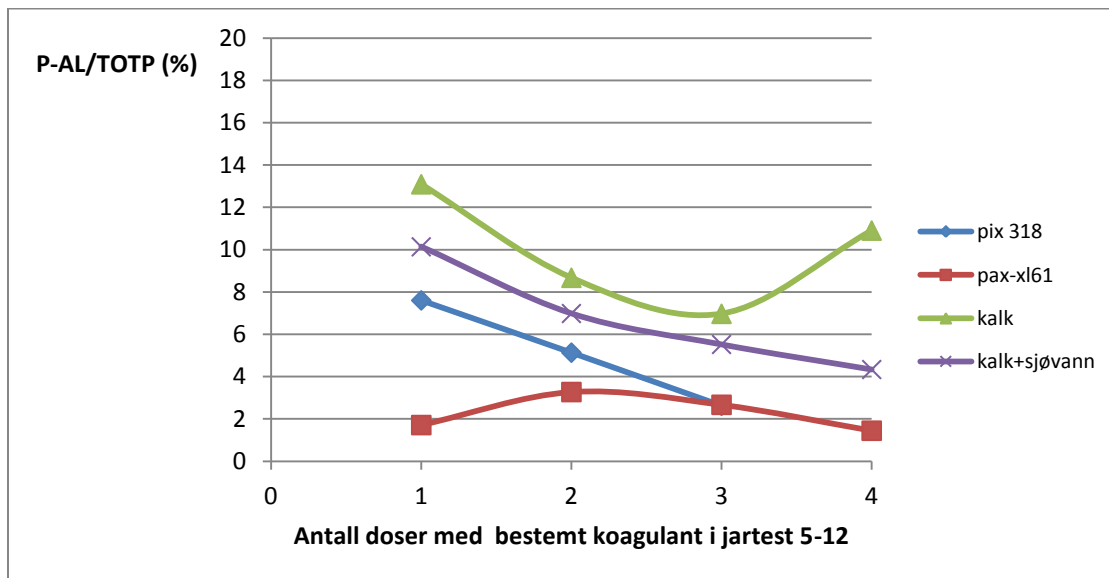
## 5.2 Analyse av P-AL og Total P

### 5.2.1 Sammenligning av effekten av kjemikalier på P-AL

For å kunne si noe om det er sammenheng mellom koagulant dosering og fosfor tilgjengelighet i slam felt med kjemisk felling er P-Al resultater blitt sammenlignet. Dette gjelder kun de 8 siste jartester som ble kjørt i to runder med samme koagulanter men med ulike doseringer.

Hovedforskjellen mellom jartester 5 til 8 og de 4 fire siste jartestene, nemlig jartest 9 til 12 ligger i de benyttede råkloakkene som hadde ulike egenskaper med tanke på fosfor konsentrasjon. Råkoakk nr.2 hadde nesten dobbelt så mye P konsentrasjon (6,68 kontra 3,4 mg P/L).

For å gjøre analyser sammenlignbare er resultater i P-AL fra jartester 9 til 12 blitt interpolert og resultatene vises i figur 13.



Figur 13: Forhold P-AL/Tot-P ved ulike doseringer av fellingskjemikalier fra jartester 5 til 12

Her vises et sammendrag av P-AL andel i forhold til Tot-P for alle jar tester og i x-aksen vises antall økende doser av de aktuelle koagulanter. Det er tydelig at ved økte koagulant dosering, blir P-AL noe mindre. På den siste dosering med kalk (forsøk 4 i figur 4) går grafen opp og trenden øker P-AL/Tot-P forholdet litt.

### 5.2.2 Behandlingsprosess og tilgjengelighet av fosfor i slammet

Plantetilgjengelighet til P er knyttet til flere faktorer og rense og slambehandlingsmetoder er noen av de viktigste parametere i denne sammenheng.

For Al og Fe felt slam, er resultater for P-AL/Tot-P forholdet i den oppgave på linje fra lignende studier. For eksempel i en undersøkelse på fosfor tilgjengelighet utførte av T. Krogstad på 5 norsk slamtyper i 2004, har Krogstad oppnådd lignende verdier (Krogstad et al, 2004). Han fant ut at P-AL innholdet i 5 norsk slamtyper varierte mellom 3,2 og 5,7 % av total-P i slam hvor det var brukt Al og Fe- felling (Bioforsk rapport Vol.5 nr.62 2010).

I P-AL analyser utført på slam felt med Al varierer den tilgjengelige fosfor innholdet mellom 1 til 3 % mens tallet ligger mellom 3 og 5 % for slam felt med Fe. Studiene er ikke direkte sammenlignbare da slam som resultatene baserer seg i denne oppgaven ikke har hatt samme slambehandlingsmetode som i et renseanlegg.

Det ble ikke funnet litteratur om fosfor tilgjengelighet i kalk felt slam og i slam felt en kombinasjon av kalk og sjøvann. Imidlertid er P-AL innholdet mye høyere på de to siste nevnte fellingskjemikalier. P-AL innholdet varierer mellom 7-13 % og 6 til 10 % av det total-P på henholdsvis kalk felt og i slam felt med en kombinasjon av kalk og sjøvann.

Dette viser at det er mer tilgjengelig fosfor på disse to slamtypene sammenlignet med Al- og Fe-felt slam. På et FeCl<sub>3</sub> felt slam som T. Krogstad jobbet med hvor det var tilsatt brent kalk under slam behandlingen, ble hele 14 % av fosfor innholdet plantetilgjengelig (Bioforsk rapport Vol.5 nr.62 2010).

Lignende konklusjon ble funnet i andre studier for kalk behandlet slam. Montgometry et al. (2005) fant også kalkstabilisert og ikke stabilisert slam hadde høyere innhold av P-AL enn kompostert og anaerobt stabilisert slam (Bioforsk rapport Vol.5 nr.62 2010).

Anne Bøen skriver i samme rapport følgende konklusjoner om hvordan behandlingsmetoder påvirker fosforets plantetilgjengelighet er godt dokumentert: “

- *Avløpsrensing: plantetilgjengelighet av P i slam fra biologisk fosforfjerning er svært høy og rapporteres ofte til å være på linje med mineralgjødning. Plantetilgjengelighet synker med økende innhold av jern og aluminium i slammet. Ca-basert fellingskjemikalier reduserer plantetilgjengelighet mindre enn Fe- og Al-basert fellingskjemikalier.*
- *Slambehandling: kalk reduserer plantetilgjengelighet i et slam hvor det ikke er brukt Fe- og Al-basert fellingskjemikalier. Effekten av biologisk stabiliseringsmetoder på fosforets plantetilgjengelighet er rapportert med noe sprikende resultater. Tørking og avvanning reduserer slammets innhold av plantetilgjengelig P”*

### 5.2.3 Betydning av pH ved analyse av P-AL

Erfaringsmessig vil ammoniumlaktaten som tilsettes en slamprøve ende opp med en pH på 3,75. Metoden er utviklet for jordprøver og da vil normalt denne pH verdien nås. Dette er den pH verdien som man regner med at plantene kan ta opp fosfor i røttene. Problemet er at noen slamtyper har vesentlig høyere pH enn jordarter. Særlig kalkfelte slamtyper som både har høy



pH og bufferende stoffinnhold neppe vil komme ned mot den forutsatte pH verdien på 3,75 og derfor oppnår lavere P-AL analyser enn slammet faktisk har. Også andre kjemiske slamtyper med Al- og Fe- koagulanter kan ha utfellingsprodukter som bufrer prøven når ammoniumlaktat tilsettes.

### **5.3 Forslag til videre arbeid**

Det er fortsatt mange uløste problemer og behov for videre forskning og utvikling av metoder som ble benyttet i den oppgave. I videre forsøk bør en ta hensyn til punkter som står nedenfor.

#### **5.3.1 Ekstraksjon med Ammonium laktat**

Tilsetning av en forhåndsbestemt dose av AL i millimeter av ammonium laktat i ekstraksjonen av P-AL er proporsjonal med slam vekt i gram (1g TS slam skal tilsettes 20 ml) ved den analyse. Men for å se om effekten av den løsning på tilgjengelig fosfor, spesielt med tanke på pH endring kan det tenkes å variere doseringer av ammonium laktat i den prosessen og samtidig måle oppnådde pH verdier. Nå er det jo sterk mistanke om at pH i P-AL analysen ikke blir så lav som den bør (3,75) ved kalkfelling og kanskje heller ikke med AL og Fe koagulanter.

I tillegg vil dette kan kanskje hjelpe med å finne ut den optimale dosering av Ammoniumlaktat for å komme ned til 3,75 under ekstraksjon av P-AL.

For å kunne analysere på alle ønskede parametere og for å få på plass den kvalitetssikring og dobbelt sjekk av data, må slamproduksjonsmetode endres. Det er nemlig behov for å lage mer slam enn de små slammengdene som man oppnådde fra jartester.

#### **5.3.2 Analyse av kalkslurry**

I motsetning til alle andre løse koagulanter som ble kjørt på ICP er Kalkslurry 5 % ikke blitt analysert. Grunnen til det er fordi det er fare for at instrumenter ikke tåler den høye konsentrasjon i slurry. I fremtiden bør den analyseres på annen måte for både å vite eksakt konsentrasjon og for å få den ideelle dosering bestemt. Derimot er mettet løsning blitt kjørt og analysert. Dette bør drøftes nærmere om det er noe som ikke stemmer.

#### **5.3.3 Tidsaspekt**

Tiden har også noe å si med tanke på at det har gått flere dager mellom renseprosesser og analyser av de ulike prøvene. Til tross for at prøvene var lagret i kjøleskapet mellom ulike utførte analyser, er det likevel et stort problem. Den største risikoen for prøver er at det kan oppstå en re-flokkulering prosess i vannet som kan gi andre resultater.

## Kapittel 6

### Konklusjon

Ut fra det arbeidet som er blitt gjort i forbindelse med oppgaven kan det konkluderes med at:

- Koagulering med fellingskjemikalier ALS ser ut til å ha dårlig renseeffekt ved lav dosering. Det samme gjelder også for PIX311. Ved å øke dosering gir begge tilfredsstillende renseresultater. For de øvrige Al- og Fe- baserte koagulanter, PAX-XL61 og PIX318 kom det ikke noe klar tendens i oppnådde rensegrad ved ulike dosering. På kalk felling og kalk i kombinasjon med sjøvann, ser det ut til at det trengs høye doser med mettet løsning for å oppnå gode renseeffekter.
- Alle kjemikalier renser ortofosfater like bra selv om de benyttede råkloakkene hadde lav ortofosfat innhold i utgangspunktet.
- For en del prøver som ble analysert i ICP, er Ca. i råkloakken innholdet ganske høyt og spekulasjon gikk på om returvannet ved VEAS innvirket. Ellers viser analyse av restmetallinnhold i slammet felt jern kloritt, PIX311 og Pix318 har ganske høye metall innhold.
- Kalk felt slam og slam felt med en kombinasjon av kalk og sjøvann hadde også en del restmetallinnhold spesielt kalsium. Men i de slamprøvene felt med kalk hvor det ble brukt råkloakkprøver 1 er det vanskelig å anslå kalsium bidrag fra nettopp råvannet.
- Det ble produsert for lite tørrstoff totalt for å få gode analyser på grunn av for lite produsert slam i 3 Jartest begere.
- Felling med PAX-XL61 salt gir lavest tilgjengelig fosfor, etterfulgt av jern kloritt basert kjemikalier PIX318.
- Kalk felling og kombinasjon av kalk + sjøvann kan gi noe bedre P-AL/Tot-P forhold i slammet sammenlignet med Al og Fe-felt slam.

## Kapittel 7

### Figurliste

Figur 1: Oversikt over slambehandlingsmetoder .....	12
Figur 2: Jartest apparat av type Phipp& Bird .....	16
Figur 3: Framgangsmåte og tilberedelse av ICP prøver.....	18
Figur 4: ICP spektrometer av type Perkin Elmer.....	18
Figur 5: Ristemaskin av type Edmund Buhler.....	19
Figur 6: Ultraclave maskin som ble benyttet i analyser .....	20
Figur 7: Referanse materialer av type MESS-1, BEST-1 og BCSS-1.....	21
Figur 8: Prinsippet for UV spektrofotometer.....	21
Figur 9: Brukte UV spektrofotometer av type Helios $\alpha$ .....	22
Figur 10: Tilgjengelig P i slam fra jartest 3 og 4 .....	33
Figur 11: Tilgjengelig P i slam fra jartest 5 til 8.....	33
Figur 12: Tilgjengelig P i slam fra jartest 9 til 12 .....	34
Figur 13: Tilgjengelig P i slam fra jartest 5 til 12.....	38

## Kapittel 8

### Tabeller

Tabell 1: Analyser av råkloakkprøver 1, 2 og 3.....	23
Tabell 2: Oversikt over benyttede koagulanter i jartester.....	25
Tabell 3: Analyse av koagulanter i ICP.....	25
Tabell 4: Beskrivelse av jartester 1 til 4 og målte parametere .....	27
Tabell 5: Beskrivelse av jartester 5 til 8 og målte parametere .....	28
Tabell 6: Beskrivelse av jartester 9 til 12 og målte parametere .....	28
Tabell 7: : Innhold av restmetaller i rensset vann og rensegrader JT 1 til 4.....	29
Tabell 8: Innhold av restmetaller i rensset vann og rensegrader JT 5 til 8 .....	29
Tabell 9: Innhold av restmetaller i rensset vann og rensegrader JT .....	30
Tabell 10: Resultater av ICP analyser av filtratvann JT 1 til 4.....	31
Tabell 11: Resultater av ICP analyser av filtratvann JT 8 til 12.....	31
Tabell 12: Resultater av ICP analyser av filtratvann JT 9 til 12.....	32
Tabell 13: Kjemisk innhold i slam, tørrstoff for Jar test 3 og 4.....	35
Tabell 14: Kjemisk innhold i slam, tørrstoff og glødetap for Jar test 5 til 8.....	35
Tabell 15: Kjemisk innhold i slam, tørrstoff og glødetap for Jar test 9-12.....	36

## Kapittel 9

### Litteraturliste

About water treatment, Kemira Kemwater 2003, Helsingborg.

Anne Bøen. *Fosfor i avløpsslam- fraksjonering og plantetilgjengelighet*. Bioforsk Rapport. Vol.5 Nr.62 2010.

Bøen, A. & Bechmann, M.2010. Fosfor i matkjeden- hvor forsvinner fosforet? Vann Nr.2 2010(45), 244-250.

Cyril G. Hopkins and Albert L. Whiting, *Soil Bacteria and Phosphate*.Page 248 of 246-249.

Eric T. Levy and William H. Schlesinger. (1999). *A Comparison of Fractionation Methods for Forms of Phosphorus in Soils*.

[http://www.norskvann.no/images/pdf/slambehandlingsmetoder\\_februar2010.pdf](http://www.norskvann.no/images/pdf/slambehandlingsmetoder_februar2010.pdf)

Krogstad, T., Sogn, T.A., Asdal, Å. & Sæbø.A.2005. Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorus in soil. *Ecological Engineering* 25:51-60.

Krogstad, T., Sogn, T.A., Asdal, Å. & Sæbø.A. *Resirkulering av fosfor i slam*. Grønn kunnskap Vol.8 Nr.7-2004.

METCALF AND EDDY (2002). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*.

Michael A.Kyle, Samuel A. McClintock. (1995). *The availability of phosphorus in municipal wastewater sludge as a function of the phosphorus removal process and sludge treatment method*.

Montgomery, M.D., Ohno,T. Griffin, T.S,Hooneycutt, C.W.& Fernadez, I.J.2005. *Phosphorus mineralization and availability in soil amended with biosolids and animal manures*. *Biol. Agric. Hortic.*22(4): 321-334.

M.R Banerjee, D.L.Burton, S.Depoe. *Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics*.

Pedersen Rikard. Fosforfraksjoner i jord og sedimenter. Masteroppgave IPM-UMB 2008.

Shober, A.L., Hesterberg, D.L., Sims, J.T.& Gardner, S.2006. *Characterization of phosphorus species in biosolids and manures using XANES spectroscopy*. *J. Environ. Qual.*35: 1983-1993.

Øgård, A.F., Grønsten, H.A., Sveistrup, T., Bøen, A., Kværnø, S.H. & Haraldsen T.K. 2008. Potensielle miljøeffekter av å tilføre avløpsslam til jordbruksarealer. Bioforsk Rapport 3 (59) 43 s.

Xiao-Lang Huang, Yona Chen, Moshe Shenker . (2011). *Dynamics of phosphorus phytoavailability in soil amended with stabilized sewage sludge materials.*

## **Kapittel 10**

### **Vedlegg**

Vedlegg1: Resultater fra Jartest 1 og 2

Vedlegg 2: Resultater fra Jartest 3 og 4

Vedlegg 3: Resultater fra Jartest 5 til 8

Vedlegg 4: Resultater fra Jartest 9 til 12

Vedlegg 5: total organic carbon ( TOC)

## Vedlegg 1: resultater fra Jartester 1 og 2

### ICP resultater i jartest 1 og 2

PRØVE NUMMER	Al	Ca	Fe	Mg	P
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
prove1.1	0.923	231.294	0.732	35.928	1.402
prøve1.2	0.889	220.004	0.709	34.757	0.996
prøve1.3	1.493	213.064	0.748	33.056	1.616
prøve1.4	0.367	231.605	2.071	36.264	1.120
prøve1.5	0.263	211.821	1.627	32.731	0.743
prøve1.6	0.290	220.522	1.626	34.487	0.501
prøve2.1	0.309	220.522	0.589	34.649	0.508
prøve2.2	0.292	311.361	0.645	30.206	0.282
prøve2.3	0.293	380.346	0.613	29.837	0.221
prøve2.4	0.279	235.852	0.575	63.522	0.304
prøve2.5	0.319	255.739	0.596	91.494	0.314
Std 3	4.547	5.179	5.414	5.419	4.944
prøve2.6	0.29	249.93854	0.586	120.410	0.329
sjøvann	1.77	1249.6927	3.135	1179.174	1.246
ALS	514.27	946.7212	3.281	156.663	0.519
PIX311	5.23	948.7928	2424.931	153.791	1.038
Råkloakk1	0.67	251.49224	1.146	39.721	2.310
Råkloakk2	0.58	226.42588	0.945	35.581	1.972
Råkloakk3	3.17	236.26598	1.021	36.849	2.255
Filtrert Sjøvann	1.19	1023.8883	2.712	161.378	6.274



## Vedlegg 2: Resultater fra Jartester 3 og 4

ICP resultater jartest 3 og 4

Sample	prøveinnhold	Al	Ca	Fe	Mg	P
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<b>1</b>	<b>filtrat JT 3 ALS (27/03)</b>	<b>1.11907</b>	<b>115.2644</b>	<b>-0.01196</b>	<b>13.25059</b>	<b>0.356062</b>
Std 3	5.720	4.762	5.726	5.978	5.709	6.139
<b>2</b>	<b>filtrat Jartest 3 PIX (27/03)</b>	<b>LOD</b>	<b>191.799</b>	<b>0.03</b>	<b>0.205</b>	<b>0.62</b>
<b>3</b>	<b>Filtrat Jartest 4 Kalk (27/03)</b>	<b>LOD</b>	<b>68.17472</b>	<b>1.425</b>	<b>6.455</b>	<b>0.36</b>
<b>4</b>	<b>Filtrat Jartest 4 kalk+sj. (27/03)</b>	<b>0.128574</b>	<b>65.75636</b>	<b>0.078156</b>	<b>7.24388</b>	<b>0.435443</b>
<b>5</b>	<b>Ekstraktant Jartest 3 ALS. (28/7/03)-20ml</b>	<b>19.22315</b>	<b>6.058034</b>	<b>0.767509</b>	<b>0.541451</b>	<b>1.47004</b>
<b>6</b>	<b>Ekstraktant Jartest 3 PIX (28/7/03)-20ml</b>	<b>0.199097</b>	<b>2.315011</b>	<b>6.417204</b>	<b>0.185278</b>	<b>0.140138</b>
<b>7</b>	<b>Ekstraktant Jar test 4 Kalk (28/7/03)-20ml</b>	<b>0.064128</b>	<b>112.0083</b>	<b>0.050121</b>	<b>12.30173</b>	<b>0.830645</b>
<b>8</b>	<b>Ekstraktant JT 4 Kalk+sj. (28/7/03)-20ml</b>	<b>0.023011</b>	<b>66.32207</b>	<b>0.043971</b>	<b>39.91604</b>	<b>0.929351</b>
<b>9</b>	<b>Ekstraktant Jar test 1 ALS (21/03)-50ml</b>	<b>0.213814</b>	<b>1.585753</b>	<b>0.098356</b>	<b>0.132594</b>	<b>0.309103</b>
<b>10</b>	<b>Ekstraktant JT 1 PIX311 (21/03)-50ml</b>	<b>0.1077</b>	<b>1.586</b>	<b>0.5002</b>	<b>0.1137</b>	<b>0.106</b>
<b>11</b>	<b>Ekstraktant Jartest 2 Kalk (1/03)-50ml</b>	<b>0.0003</b>	<b>10.86</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.8722</b>	<b>0.1304</b>
Std 3	5.682	4.762	5.758	6.012	5.740	6.133
<b>12</b>	<b>Ekstraktant JT 2 Kalk+sj.(1/03)-50ml</b>	<b>0.0023</b>	<b>12.75</b>	<b>0.0039</b>	<b>1.189</b>	<b>0.2286</b>
<b>13</b>	<b>Prøve3.1 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>55.9</b>	<b>0.03</b>	<b>6.385</b>	<b>0.385</b>
<b>14</b>	<b>Prøve3.2(27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>56.4</b>	<b>0.025</b>	<b>6.28</b>	<b>0.27</b>
<b>15</b>	<b>Prøve3.3 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>59.4</b>	<b>0.025</b>	<b>6.605</b>	<b>0.29</b>
<b>16</b>	<b>Prøve3.4 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>58.4</b>	<b>1.47</b>	<b>6.375</b>	<b>0.405</b>
<b>17</b>	<b>Prøve3.5 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>61.45</b>	<b>1.575</b>	<b>6.88</b>	<b>0.13</b>
<b>18</b>	<b>Prøve3.6 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>55.1</b>	<b>1</b>	<b>6.19</b>	<b>-0.005</b>
<b>19</b>	<b>Prøve4.1 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>183.55</b>	<b>LOD</b>	<b>0.405</b>	<b>-0.045</b>
<b>20</b>	<b>Prøve4.2 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>195.8</b>	<b>LOD</b>	<b>0.285</b>	<b>0.405</b>
<b>21</b>	<b>Prøve4.3 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>208.95</b>	<b>LOD</b>	<b>0.34</b>	<b>0.455</b>
<b>22</b>	<b>Prøve4.4 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>116.85</b>	<b>LOD</b>	<b>14.93</b>	<b>0.245</b>
<b>23</b>	<b>Prøve4.5 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>133.75</b>	<b>LOD</b>	<b>6.77</b>	<b>0.345</b>
<b>24</b>	<b>Prøve4.6 (27/03)-50ml</b>	<b>LOD</b>	<b>111.45</b>	<b>LOD</b>	<b>16.295</b>	<b>0.21</b>
25	1.884	1.469	3.527	1.188	0.5892	0.3659
<b>A1</b>	<b>Blank</b>	<b>-0.0106</b>	<b>-0.0236</b>	<b>-0.0029</b>	<b>-0.0029</b>	<b>0.0007</b>
<b>A2</b>	<b>Blank</b>	<b>-0.0108</b>	<b>-0.0140</b>	<b>-0.0027</b>	<b>-0.0027</b>	<b>0.0047</b>
<b>A3</b>	<b>Blank</b>	<b>-0.0111</b>	<b>-0.0238</b>	<b>-0.0030</b>	<b>-0.0029</b>	<b>0.0009</b>
Std 3	5.627	4.732	5.715	5.970	5.700	6.159
<b>A6</b>	<b>0.2027g slam 1 Jartest 3ALS (28/03)</b>	<b>0</b>	<b>10.00493</b>	<b>6.729156</b>	<b>2.545634</b>	<b>16.40849</b>
<b>A7</b>	<b>0.2005g slam 2 Jartest 3 Pix 311 (28/03)</b>	<b>5.650873</b>	<b>6.38404</b>	<b>130</b>	<b>1.111721</b>	<b>0.710973</b>
<b>A8</b>	<b>0.1867g slam 3 kalk (28/03)</b>	<b>2.980718</b>	<b>268.0771</b>	<b>2.470541</b>	<b>15.77397</b>	<b>4.38136</b>
<b>A9</b>	<b>0.2011g slam 4 Kalk+sj. (28/03)</b>	<b>2.382148</b>	<b>219.0204</b>	<b>1.996022</b>	<b>39.95525</b>	<b>3.945798</b>

P-tilgjengelighet i forhold til Total P (Jar test 3 og 4)

<b>prøveinnhold</b>	<b>P-AL (mg/g)</b>	<b>Tot-P (mg/g)</b>	<b>P-AL/ Tot-P (i %)</b>
1.875ml/l ALS	<b>1.470</b>	<b>16.408</b>	<b>9</b>
1.875ml/l PIX311	<b>0.140</b>	<b>0.711</b>	<b>20</b>
625ml/l kalk slurry	<b>0.831</b>	<b>4.381</b>	<b>19</b>
312.5ml/l kalk +62.5ml/l sjøv.	<b>0.929</b>	<b>3.946</b>	<b>24</b>

## Vedlegg 3: Resultater fra Jartester 5 til 8

ICP resultater jartest 5 til 8

Prøve ID	Al	Ca	Fe	Mg	P
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Calib Blank 1	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
std1 05 and 005	[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]
Std2 5 and 05	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]
Std3 50 and 5	[50]	[50]	[50]	[50]	[50]
Blank	-0.0099	0.0256	-0.0058	-0.0029	-0.0301
Blank	-0.0144	0.0325	-0.0066	-0.0067	-0.0399
Blank	-0.0145	0.0342	-0.0067	-0.0067	-0.0368
5.1	0.001	4.1985	0.1725	0.7805	0.0234
5.2	0.002	4.113	0.161	0.774	0.0178
5.3	0.001	4.1275	0.152	0.774	0.0217
5.4	0.007	4.549	2.2235	1.0345	0.028
5.5	0.008	4.479	2.543	1.036	0.0259
Std 2	4.911	5.668	5.831	5.912	6.284
5.6	0.009	45.64	24.54	10.48	0.0196
PAX-XL61	621.5	416.3	0.555	3.015	0.0329
KALK	0.003	264.75	0.02	0	0.0303
PIX 318	0.225	0	2257	71.25	0.0309
Filtrat 1	0.001	52.15	9.825	10.085	0.0319
Filtrat 2	3.100	60.45	23.185	17.42	0.032
Filtrat 3	0.0003	53.3	0.705	8.58	0.0344
Filtrat 4	0.0003	64.55	1.215	8.94	0.0246
Filtrat 5	0.002	65.4	0.055	6.905	2.575
Filtrat 6	0.014	145.25	0.135	0.01	15.72
Filtrat 7	0.0004	98.45	0.045	29.835	1.71
Std 2	4.898	5.673	5.860	5.899	6.228
Filtrat 8	0.001033333	112.4	0.09	50.5	0.665
6.1	0.003433333	45.71	0.055	6.94	0.24
6.2	0.003133333	44.245	0.055	6.76	0.0269
6.3	0.005233333	58.5	0.085	7.62	6.22
6.4	0.002233333	53.95	0.03	6.915	0.0284
6.5	0.002133333	54.25	0.005	7.085	0.0285
6.6	0.002133333	52.85	0.03	6.855	0.0255
7.1	0	78.45	0.025	2.29	0.0264
7.2	0	81.85	0.025	2.495	0.0306
7.3	0	78.9	0.005	3.175	0.0318
Std 2	4.863	5.669	5.764	5.867	6.132
7.4	0	196.9	0.07	0.205	0.032
7.5	0	196.75	0.025	0.2	0.031
7.6	0	203.35	0.01	0.185	0.0285
Ekstraktant 1 (JT5)	0.183407131	2.215101	2.049639	0.425425	0.160452
Ekstraktant 2 (JT5)	0.044906687	0.093225	3.254277	0.013083	0.039405
Ekstraktant 3 (JT6)	0.996647704	2.158675	0.216985	0.398111	0.498883
Ekstraktant 4 (JT6)	1.773214286	1.525893	0.24375	0.312232	0.214196

<b>Ekstraktant 5 (JT7)</b>	0.006273585	28.15094	0.00716	1.783962	0.778868
<b>Ekstraktant 6 (JT7)</b>	0.007150943	24.68868	0.008896	5.211321	0.683774
<b>Ekstraktant 7 (T8)</b>	0.0151341	17.70115	0.013592	8.16092	0.510824
<b>Std 2</b>	4.858	5.721	5.806	5.889	6.180
<b>Ekstraktant8 (JT8)</b>	0.00802	15.33	0.01231	11.02	0.3569
<b>8.1</b>	0	96.5	0.045	9.245	0.0331
<b>8.2</b>	0	100	0.025	6.36	0.0286
<b>8.3</b>	0	99.85	0.105	5.095	0.0301
<b>8.4</b>	0	114.1	0.03	16.415	0.0328
<b>8.5</b>	0	109.3	0.02	17.7	0.0256
<b>8.6</b>	0	112.5	0.015	15.095	0.0201
<b>Råkloakk 1</b>	0.465	46.13	1.61	7.97	5.77
<b>Råkloakk 2</b>	0.22	42.185	1.295	7.335	4.86
<b>Råkloakk 3</b>	0.305	44.56	1.455	7.765	5.045
<b>Std 2</b>	5.056	5.883	6.039	6.094	6.388

Analyse av slam fra Jartestt 5 til 8 ved ICP

	<b>Al (mg/L)</b>	<b>Ca (mg/L)</b>	<b>Fe (mg/L)</b>	<b>Mg (mg/L)</b>	<b>P (mg/L)</b>
Calib Blank 1	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
std1 05 and 005	[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]
Std2 5 and 05	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]
Std3 50 and 5	[50]	[50]	[50]	[50]	[50]
Std Blank					
Calib Blank 1	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
std1 05 and 005	[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]
Std2 5 and 05	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]
Std3 50 and 5	[50]	[50]	[50]	[50]	[50]
Std Blank	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
Blank	0.004	-0.052	0.002	0.003	0.018
Blank	0.002	-0.056	0.002	0.002	0.021
Blank	0.721	-0.051	0.023	0.007	0.023
SRM1	119.700	12.260	106.500	31.920	2.538
SRM2		60.080	140.900	61.010	4.458
std 2	0.001	-0.001	0.000	0.000	0.007
SRM3		23.560	141.800	63.620	3.719
<b>Slam 1</b>	3.365	6.275	40.182	1.463	0.421
<b>Slam 2</b>	2.575	1.116	89.554	0.518	1.905
<b>Slam 3</b>	32.724	11.231	6.193	2.741	18.943
<b>Slam 4</b>	0.000	9.073	5.519	2.583	17.987
<b>Std 2</b>	0.000	0.001	0.000	0.000	0.012
<b>Slam 5</b>	3.988	197.167	3.584	9.000	11.069
<b>Slam 6</b>	4.481	161.510	4.604	22.382	12.196
<b>Slam 7</b>	3.599	160.339	2.958	30.382	9.020
<b>Slam 8</b>	3.093	163.422	2.698	38.587	8.332

## Vedlegg 4: Resultater fra Jartester 9 til 12

ICP resultater fra jar test 9 til 12

	Innhold i prøve	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)	P (mg/L)
<b>Calib Blank 1</b>		[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
<b>std1 05 and 005</b>		[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]	[0.5]
<b>Std3 50 and 5</b>		[50]	[50]	[50]	[50]	[50]
<b>Std2 5 and 05</b>		5.040	5.820	5.947	5.929	6.287
<b>BK UC</b>		0.0024	-0.0053	0.0039	0.0039	0.0001
<b>BK UC</b>		0.0003	-0.0083	0.0035	0.0005	-0.0099
<b>BK UC</b>		0.0004	-0.0096	0.0022	0.0003	-0.0077
<b>SRM Bovine</b>		0.0004	-0.0087	0.0014	0.0018	-0.0027
<b>SRM Egg</b>		0.0125	0.7225	0.0648	1.338	4.755
<b>SRM Wheat</b>		1.805	9.084	0.4040	1.117	34.41
<b>Std2</b>		5.012	5.819	5.934	5.905	6.474
<b>1</b>	prøve 9.1 pix	<b>0.200</b>	<b>29.738</b>	<b>2.328</b>	<b>5.820</b>	<b>0.032</b>
<b>2</b>	prøve 9.2 pix	<b>0.123</b>	<b>30.804</b>	<b>2.185</b>	<b>6.267</b>	<b>0.048</b>
<b>3</b>	prøve 9.3 pix	<b>0.109</b>	<b>32.606</b>	<b>2.015</b>	<b>6.977</b>	<b>0.026</b>
<b>4</b>	prøve 9.4 pix	<b>0.097</b>	<b>33.464</b>	<b>1.937</b>	<b>8.305</b>	<b>-0.044</b>
<b>Std2</b>		5.503	6.396	6.537	6.481	<b>6.789</b>
<b>5</b>	pr. 9.5 pix	<b>0.084</b>	<b>37.154</b>	<b>2.157</b>	<b>8.992</b>	<b>-0.035</b>
<b>6</b>	pr. 9.6 pix	<b>0.073</b>	<b>32.699</b>	<b>1.854</b>	<b>7.870</b>	<b>-0.044</b>
<b>7</b>	prøve 10.1 ALS	<b>0.323</b>	<b>34.788</b>	<b>0.268</b>	<b>5.801</b>	<b>0.714</b>
<b>8</b>	prøve 10.2 ALS	<b>0.602</b>	<b>32.731</b>	<b>0.287</b>	<b>5.599</b>	<b>1.112</b>
<b>9</b>	prøve 10.3 ALS	<b>0.432</b>	<b>35.992</b>	<b>0.319</b>	<b>6.704</b>	<b>0.972</b>
<b>10</b>	prøve 10.4 ALS	<b>0.296</b>	<b>42.973</b>	<b>0.298</b>	<b>7.090</b>	<b>0.024</b>
<b>11</b>	prøve 10.5	<b>0.225</b>	<b>38.913</b>	<b>0.238</b>	<b>5.860</b>	<b>0.013</b>
<b>12</b>	prøve 10.6	<b>0.284</b>	<b>38.763</b>	<b>0.234</b>	<b>5.901</b>	<b>0.047</b>
<b>13</b>	råkloakk1	<b>0.114</b>	<b>44.396</b>	<b>0.186</b>	<b>6.310</b>	<b>3.576</b>
<b>14</b>	råkloakk2	<b>0.104</b>	<b>41.385</b>	<b>0.175</b>	<b>5.982</b>	<b>2.767</b>
<b>Std 2</b>		5.217	6.203	6.306	6.179	<b>6.691</b>
<b>15</b>	råkloakk3	<b>0.152</b>	<b>52.384</b>	<b>0.269</b>	<b>7.571</b>	<b>3.835</b>
<b>16</b>	prøve 11.1 kalk	<b>0.118</b>	<b>39.136</b>	<b>0.333</b>	<b>5.969</b>	<b>0.048</b>
<b>17</b>	prøve 11.2 kalk	<b>0.095</b>	<b>40.069</b>	<b>0.254</b>	<b>4.953</b>	<b>0.025</b>
<b>18</b>	prøve 11.3 kalk	<b>0.115</b>	<b>18.825</b>	<b>0.320</b>	<b>5.978</b>	<b>-0.103</b>
<b>19</b>	prøve 11.4 kalk	<b>0.070</b>	<b>272.463</b>	<b>0.250</b>	<b>0.310</b>	<b>0.124</b>
<b>20</b>	prøve 11.5 kalk	<b>0.070</b>	<b>260.136</b>	<b>0.234</b>	<b>0.292</b>	<b>0.170</b>
<b>21</b>	prøve 11.6 kalk	<b>0.063</b>	<b>253.338</b>	<b>0.231</b>	<b>0.286</b>	<b>0.136</b>
<b>22</b>	prøve 12.1 kalk+sj	<b>0.062</b>	<b>57.442</b>	<b>0.203</b>	<b>7.633</b>	<b>-0.027</b>
<b>23</b>	prøve 12.2 kalk+sj	<b>0.075</b>	<b>61.774</b>	<b>0.245</b>	<b>8.719</b>	<b>-0.060</b>
<b>24</b>	prøve 12.3 kalk+sj	<b>0.063</b>	<b>87.787</b>	<b>0.255</b>	<b>2.040</b>	<b>-0.117</b>
<b>Std 2</b>		5.675	6.705	6.796	6.650	<b>6.898</b>
<b>25</b>	prøve 12.4 kalk+sj	<b>0.078</b>	<b>109.747</b>	<b>0.258</b>	<b>37.793</b>	<b>0.046</b>
<b>26</b>	prøve 12.5 kalk+sj	<b>0.091</b>	<b>176.814</b>	<b>0.294</b>	<b>8.882</b>	<b>0.161</b>
<b>27</b>	prøve 12.6 kalk+sj	<b>0.075</b>	<b>180.215</b>	<b>0.223</b>	<b>4.018</b>	<b>0.042</b>
<b>28</b>	filtrat 1	<b>0.072</b>	<b>34.085</b>	<b>8.543</b>	<b>6.431</b>	<b>-0.005</b>
<b>29</b>	filtrat 2	<b>0.083</b>	<b>36.934</b>	<b>11.880</b>	<b>9.079</b>	<b>-0.111</b>
<b>30</b>	filtrat 3	<b>0.091</b>	<b>33.030</b>	<b>0.634</b>	<b>5.536</b>	<b>0.735</b>

<b>31</b>	filtrat 4	<b>0.065</b>	<b>31.529</b>	<b>0.321</b>	<b>4.416</b>	<b>-0.087</b>
<b>32</b>	filtrat 5	<b>0.084</b>	<b>63.116</b>	<b>0.305</b>	<b>6.515</b>	<b>3.181</b>
<b>33</b>	filtrat 6	<b>0.524</b>	<b>150.081</b>	<b>0.217</b>	<b>0.102</b>	<b>2.205</b>
<b>34</b>	filtrat 7	<b>0.073</b>	<b>57.441</b>	<b>0.223</b>	<b>6.471</b>	<b>3.730</b>
<b>Std 2</b>		5.726	6.824	6.940	6.725	7.029
<b>35</b>	filtrat 8	<b>0.070</b>	<b>104.635</b>	<b>0.231</b>	<b>13.598</b>	<b>1.472</b>
<b>36</b>	ekstraktant 1	<b>0.158</b>	<b>2.523</b>	<b>1.507</b>	<b>0.212</b>	<b>0.086</b>
<b>37</b>	ekstraktant 2	<b>0.037</b>	<b>0.709</b>	<b>1.400</b>	<b>0.094</b>	<b>0.021</b>
<b>38</b>	ekstraktant 3	<b>0.549</b>	<b>2.976</b>	<b>0.123</b>	<b>0.263</b>	<b>0.301</b>
<b>39</b>	ekstraktant 4	<b>4.039</b>	<b>5.098</b>	<b>0.252</b>	<b>0.459</b>	<b>0.530</b>
<b>40</b>	ekstraktant 5	<b>0.022</b>	<b>48.663</b>	<b>0.013</b>	<b>0.367</b>	<b>1.713</b>
<b>41</b>	ekstraktant 6	<b>0.023</b>	<b>58.993</b>	<b>0.015</b>	<b>6.741</b>	<b>1.239</b>
<b>42</b>	ekstraktant 7	<b>0.016</b>	<b>39.894</b>	<b>0.010</b>	<b>8.098</b>	<b>0.880</b>
<b>43</b>	ekstraktant 8	<b>0.012</b>	<b>18.927</b>	<b>0.010</b>	<b>12.321</b>	<b>0.262</b>
<b>Std 2</b>		5.359	6.646	6.555	6.481	6.901
<b>44</b>	kalk slurry 5% kalk	<b>0.245</b>	<b>261.672</b>	<b>0.028</b>	<b>2.230</b>	<b>1.279</b>
<b>A7</b>	slam 1 pix (2ml)	<b>4.258</b>	<b>12.996</b>	<b>32.068</b>	<b>1.893</b>	<b>1.031</b>
<b>A8</b>	slam 2 pix (6ml)	<b>3.824</b>	<b>5.632</b>	<b>96.696</b>	<b>0.960</b>	<b>0.372</b>
<b>A9</b>	slam 3 pax (1ml)	<b>30.124</b>	<b>15.647</b>	<b>4.291</b>	<b>2.293</b>	<b>16.015</b>
<b>A10</b>	slam 4 pax (4 ml)	<b>0.000</b>	<b>12.999</b>	<b>3.696</b>	<b>1.894</b>	<b>18.088</b>
<b>B1</b>	slam 5 kalk (200ml)	<b>3.175</b>	<b>167.381</b>	<b>2.277</b>	<b>1.902</b>	<b>11.921</b>
<b>B2</b>	slam 6 kalk (600ml)	<b>2.713</b>	<b>195.700</b>	<b>1.934</b>	<b>14.873</b>	<b>10.353</b>
<b>B3</b>	slam 7 kalk+sj(25ml)	<b>2.176</b>	<b>190.054</b>	<b>1.499</b>	<b>20.285</b>	<b>7.909</b>
<b>B4</b>	slam 7 kalk+sj(150ml)	<b>1.597</b>	<b>165.725</b>	<b>1.032</b>	<b>44.447</b>	<b>5.503</b>

P-AL i forhold til Tot-P i slam fra jartest 9 til 12

slam ID	slam type	P-AL (mg/g)	Tot-P (mg/g)	P- AL/Tot P(%)
<b>1</b>	1,11mL Pix 318 /L	0.086	1.031	<b>8</b>
<b>2</b>	3,33 mL Pix 318 /L	0.021	0.372	<b>6</b>
<b>3</b>	0,56mL Pax-Xl61 /L	0.301	16.015	<b>2</b>
<b>4</b>	2,22mL Pax-Xl61 /L	0.530	18.088	<b>3</b>
<b>5</b>	111,11mg Kalk/ L	1.713	11.921	<b>14</b>
<b>6</b>	500mg Kalk /L	1.239	10.353	<b>12</b>
<b>7</b>	187,5mg Kalk/L + 15,63mL sjøvann /L	0.880	7.909	<b>11</b>
<b>8</b>	187,5mg Kalk/L + 93,76mL sjøvann /L	0.262	5.503	<b>5</b>

## Vedlegg 5: total organic carbon (TOC)

		Pris			
		Parameter	TOC		
		Enhet	mg/L		
L.nr.:		Pr.merke			gjennomsnitt
1	5.1	1	4.87	pix 3ml	I
2	5.2	2	5.11	pix 3ml	4.95
3	5.3	3	4.88	pix 3ml	
4	5.4	4	8.62	pix 10ml	
5	5.5	5	8.53	pix 10ml	8.60
6	5.6	6	8.66	pix 10ml	
7	6.1	7	5.33	pax 2ml	
8	6.2	8	4.99	pax 2ml	5.36
9	6.3	9	5.74	pax 2ml	
10	6.4	10	5.80	pax 6ml	
11	6.5	11	5.98	pax 6ml	5.83
12	6.6	12	5.70	pax 6ml	
13	7.1	13	11.76	kalk 250 ml	
14	7.2	14	11.11	kalk 250 ml	11.01
15	7.3	15	10.16	kalk 250 ml	
16	7.4	16	8.46	kalk 500 ml	
17	7.5	17	8.54	kalk 500 ml	8.41
18	7.6	18	8.23	kalk 500 ml	
19	8.1	19	9.03	kalk+sj 50ml	
20	8.2	20	9.40	kalk+sj 50ml	9.30
21	8.3	21	9.47	kalk+sj 50ml	
22	8.4	22	8.84	kalk+sj 100ml	
23	8.5	23	8.72	kalk+sj 100ml	8.68
24	8.6	24	8.48	kalk+sj 100ml	
25	råkloakk 1	25	13.57	råkloakk 3	
26	råkloakk 2	26	13.59	råkloakk 3	13.31
27	råkloakk 3	27	12.78	råkloakk 3	
28	9.1	28	7.45	pix 2ml	
29	9.2	29	7.36	pix 2ml	7.43
30	9.3	30	7.49	pix 2ml	
31	9.4	31	7.70	pix 6ml	
32	9.5	32	7.53	pix 6ml	7.61
33	9.6	33	7.60	pix 6ml	
34	10.1	34	8.01	pax 1ml	
35	10.2	35	7.96	pax 1ml	8.04
36	10.3	36	8.14	pax 1ml	
37	10.4	37	6.86	pax4ml	
38	10.5	38	7.16	pax4ml	6.90
39	10.6	39	6.66	pax4ml	
40	11.1	40	10.71	kalk 200 ml	
41	11.2	41	10.80	kalk 200 ml	10.75

42	11.3	42	<b>10.75</b>	kalk 200 ml	
43	11.4	43	<b>8.79</b>	kalk 600 ml	
44	11.5	44	<b>8.39</b>	kalk 600 ml	<b>8.63</b>
45	11.6	45	<b>8.73</b>	kalk 600 ml	
46	12.1	46	<b>10.72</b>	kalk+sj 25ml	
47	12.2	47	<b>10.65</b>	kalk+sj 25ml	<b>10.55</b>
48	12.3	48	<b>10.28</b>	kalk+sj 25ml	
49	12.4	49	<b>10.23</b>	kalk+sj 150ml	
50	12.5	50	<b>9.48</b>	kalk+sj 150ml	<b>9.77</b>
51	12.6	51	<b>9.61</b>	kalk+sj 150ml	
52	1		4.82	råkloakk 1	<b>4.82</b>
53	2		7.63	råkloakk 2	
54	3		7.4	råkloakk 2	<b>7.66</b>
55	4		7.96	råkloakk 2	