

Slamhydrolyse på modeldambrug, type 3

Danmark og EU investerer i bæredygtig akvakultur.

Projektet er støttet af Fødevareministeriet og EU.

Ministeriet for Fødevarer,
Landbrug og Fiskeri



Den
Europæiske
Fiskerifond



"Slamhydrolyse er en simpel og billig metode, der kan omdanne en del af slammet til letomsætteligt kulstof, hvilket er et essentielt stof til nitratfjernelse. Slamhydrolysen vil samtidig minimere slammængderne, der produceres i modeldambrug, væsentligt"

Slamhydrolyse på modeldambrug, type 3

Januar 2011

Klient Dansk Akvakultur	Klientens repræsentant Brian Thomsen
--------------------------------	---

Projekt Slamhydrolyse på modeldambrug, type 3	Projekt nr. 11804143
--	-----------------------------

Forfattere Kenneth Janning, Ole Poulsen, Per Elberg Jørgensen	Dato Januar 2011
	Godkendt af Sten Lindberg

--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--

	Rapport	KFJ	PJO/ELS	SL	11-01-26
--	---------	-----	---------	----	----------

Revision	Beskrivelse	Udført	Kontrolleret	Godkendt	Dato
----------	-------------	--------	--------------	----------	------

Nøgleord Akvakultur; Dambrug; Modeldambrug, Slamhydrolyse; Type 3	Klassifikation <input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten
---	---

Distribution	Antal kopier
Dansk Akvakultur: DHI:	Brian Thomsen PJO-KFJ-OLP } PDF



INDHOLD

1	INTRODUKTION.....	1
2	FORMÅL.....	1
3	PROBLEMSTILLINGER.....	2
3.1	Slamhydrolyse som kulstofkildegenerator til denitrifikationsprocessen.....	3
4	BIOLOGISK HYDROLYSE AF SLAMHOLDIGT VAND.....	4
5	FORSØG MED SLAMHYDROLYSE.....	6
6	RESULTATER.....	8
6.1	Slamhydrolyse med og uden omrøring.....	8
6.2	Slamhydrolyse ved 22°C og 9°C.....	12
6.3	Slamhydrolyse ved slamsammenblanding.....	17
7	KONKLUSION.....	22
8	REFERENCER.....	23



1 **INTRODUKTION**

Projektet Dambrugsteknologi handler bl.a. om optimering af kvælstofomsættende processer på modeldambrug, type 3.

I delprojektet ”Test af denitrifikation på modeldambrug” arbejdes der med pilotskala-forsøg med nitratfjernelse på modeldambrug, som skal medvirke til at skaffe et dimensioneringsgrundlag, der kan belyse omkostningerne ved biologisk at fjerne nitrat fra modeldambrugenes produktionsvand.

En af de helt store omkostninger ved denitrifikationsprocessen er udgiften til ekstern kulstofdoserer (da COD-indholdet i produktionsvandet langt fra er tilstrækkeligt til at fjerne den mængde nitrat, som opbygges i produktionsvandet). Som en del af projektet ”Test af denitrifikation på modeldambrug” vil det blive undersøgt, hvor meget kulstof der kan fremskaffes ved at udnytte hydrolyseprocessen i de slamkilder, som allerede forefindes på modeldambrugene.

Dette projektet handler derfor om at få kvantificeret den kulstofmængde, som realistisk set kan produceres ved gennemførelse af hydrolyseforsøg på slam udtaget fra modeldambrug, type 3.

Slamhydrolyseforsøgene er alle gennemført på DHI’s spildevandslaboratorium i Hørsholm med slam udtaget fra Løgstrup Dambrug (modeldambrug, type 3).

2 **FORMÅL**

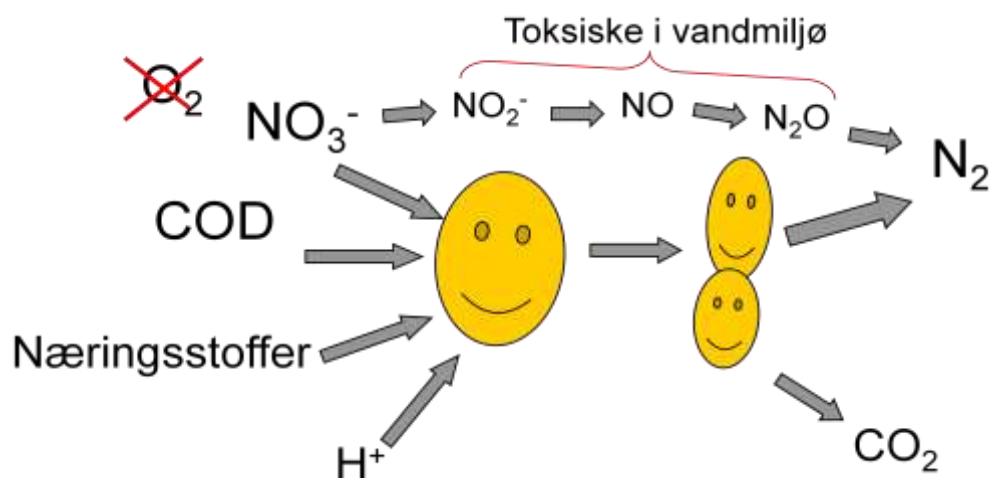
Det primære mål med delprojektet ”Slamhydrolyse i modeldambrug, type 3” er at undersøge potentialet i at omdanne slam til en kulstofkilde, der gør kulstofkilden egnet til at blive doseret i denitrifikationsprocessen i forbindelse med nitratfjernelse i produktionsvand fra recirkulerede modeldambrug, type 3. Herunder er det formålet at:

- måle, hvor stor en mængde opløst letomsætteligt kulstof der kan frembringes ved hydrolyseprocessen
- vurdere de enkelte slamkilders (slamkegleslam, tromlefilter slam og biofilterslam) egnethed til slamhydrolysering
- vurdere, hvordan slammet skal håndteres for at opnå en optimal hydrolyse
- måle, hvor længe slamhydrolysen kan forløbe af en given slammængde

3 PROBLEMSTILLINGER

Fjernelse af nitrat er på vej til at blive en ny biologisk renseproces, som dambrugsejere skal indstille sig på at indføre, hvis de vil nedbringe deres kvælstofudledning yderligere. I takt med at de recirkulerede modeldambrug, type 3 de seneste år er blevet mere intensivt recirkuleret, indebærer det, at nitratkoncentrationen i afløbet fra modeldambrugene er højere – typisk 15-20 mg NO₃-N/l (70-90 mg NO₃/l) i afløbet til lagunerne. Netop lagunerne har mange steder vist sig ineffektive til at fjerne denne nitratmængde, hvilket også er naturligt, da lagunerne ikke er velegnede til at modtage og håndtere slam fra produktionsanlægget og den slamproduktion, som forårsages ved denitrifikationsprocessen.

Den mindre vandstrøm ud af produktionsanlægget kombineret med den højere nitratkoncentration i vandet er ideelt for nitratrensning i afløbet fra produktionsanlægget hvis rensningen foretages med et biofilter. Biofiltres omsætningshastighed er styret af nitratkoncentrationen i vandet, hvilket indebærer, at der ved de intensivt recirkulerede modeldambrug kan opnås høje denitrifikationshastigheder og dermed et mindre biofilter til fjernelse af nitrat. Hvis ønsket derimod er at rense nitraten helt væk fra produktionsvandet, vil det resulterende anlæg blive meget stort, da den sidste del af biofiltret skal rense meget lave nitratkoncentrationer, hvilket er meget ineffektivt og kræver et stort volumen. Da dambrugsejerne kan imødesee kvælstofkvoter, vil en vis udledning af nitrat godt kunne accepteres, men det fordrer brug af biofiltre, som vil kunne omsætte nitraten til frit kvælstof.



Figur 3-1 Forsimplet procesforløb ved denitrifikationsprocessen.

Når det påtænkes at indrette en denitrifikationsproces på et modeldambrug er der en række problemstillinger, der skal tages hensyn til:

1. Iltens tilstedeværelse hæmmer denitrifikationsprocessen.
2. Letomsætteligt organisk stoftilsætning til biofiltrene er nødvendig.
3. Udledningen fra denitrificerende biofiltre kan være problematisk for vandmiljøet.
4. Slamproduktion fra denitrifikationsprocessen er signifikant.

Ad 1) Det udledte vand fra produktionsanlægget indeholder ret meget ilt (6-8 mg O₂/l) afhængigt af, hvorfra det opsamles. Ilt vil virke hæmmende på denitrifikationsprocessen, idet bakterierne foretrækker ilt i stedet for nitrat til omsætningen af organisk stof.



Den tilledte ilt skal derfor først fjernes, hvilket sker hurtigt ved forbrug af organisk stof. Processen bør indrettes, således at det vand, der tilledes, har mindst muligt iltindhold.

Ad 2) Denitrifikationsprocessen kan kun forløbe, hvis der er letomsætteligt opløst kulstof. Det skyldes, at stofferne skal diffundere ind i biofilmen og ind over bakteriernes cellemembran, hvilket kun kan ske, hvis det organiske stof er helt opløst. Da indholdet af opløst letomsætteligt organisk stof i produktionsvand fra recirkulerede opdrætsanlæg er meget lavt, vil der skulle tilsættes kulstof, som enten kan købes eller genereres ud fra den slamproduktion, der opstår ved driften af modeldambruget.

Ad 3) I afløbet fra det denitrificerende biofilter vil der forekomme stofrester, som kan være problematiske for vandmiljøet. Da udløbet vil blive ledt til lagune eller direkte i recipient er det vigtigt at designe anlægget, så de fleste stofrester er omsat, inden det forlader biofiltret. Dette gælder især, hvis der tilledes eksternt kulstof (f.eks. metanol), som kan være særdeles forurenende i recipienten.

Ad 4). Denitrifikationsprocessen er en kraftig slamproducerende proces, da den forløber heterotroft ved tilledning af letomsætteligt kulstof. Der skal derfor tages hensyn til indretningen af processen, således at slamproduktionen ikke bliver tilledt afløbet af renseanlægget (f.eks. hvis der benyttes moving bed biofiltre). Ved returskyl skal slamproduktionen tilbageføres til slamafvandingsbehandling.

3.1 Slamhydrolyse som kulstofkildegenerator til denitrifikationsprocessen

Problemstillingen i denne undersøgelse skal rettes mod muligheden for at generere kulstof ud fra den slamproduktion, der genereres i forbindelse med driften af opdrætsanlægget. Slammet indeholder organisk stof og næringsstoffer, som ikke umiddelbart er tilgængelig for bakterierne, da de er på partikulær form. Tilsættes slammet en denitrifikationsproces, vil anlægget blot stoppe til, og der vil ikke fjernes nogen nævneværdig mængde nitrat fra vandet. Slammet indeholder imidlertid en masse bakterier (bakterieindhold afhængigt af slamkilden), som har den egenskab, at de kan udskille enzymer, der kan kappe partiklers bindinger over, således at kulstofkilden helt er på opløst form. Processen er imidlertid relativ langsom (1. ordens proces) og kræver tid for at generere signifikante mængder kulstof.

Hovedproblemstillingen i denne undersøgelse er således at finde ud af:

- 1) Hvor hurtigt kan opløst kulstof dannes ud fra slamhydrolysen?
- 2) Hvordan skal slammet håndteres for at generere mest muligt opløst letomsætteligt kulstof?
- 3) Hvor meget letomsætteligt kulstof kan der genereres i forhold til, hvor meget nitrat der dannes i produktionsanlægget?
- 4) Hvordan bør slamhydrolysen håndteres i praksis?



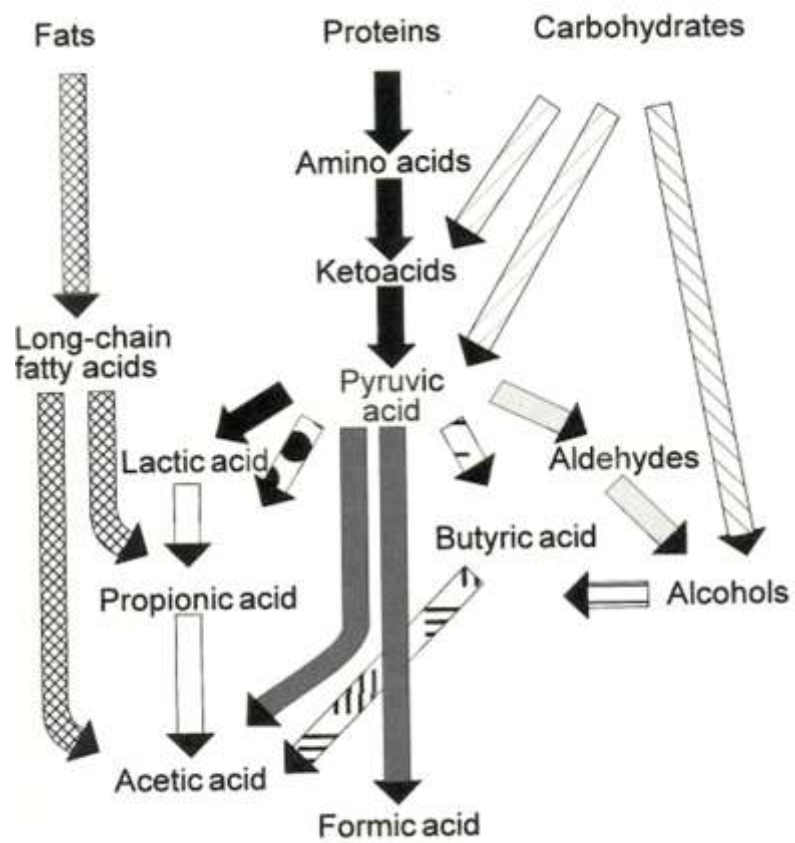
4 **BIOLOGISK HYDROLYSE AF SLAMHOLDIGT VAND**

Slamhydrolyse blev for alvor kendt i spildevandsbranchen (Andreasen *et al.*, 1997; Jönsson *et al.*, 2006; Vollertsen *et al.*, 2006; Ucisik *et al.*, 2008), da renseanlæg verden over skulle opgraderes til komplet næringssaltfjernelse (kvælstof og biologisk fosforfjernelse). Hovedbegrundelsen for nødvendigheden af slamhydrolyse er, at den største fraktion af det organiske stof er på partikulær form og nødvendig som kulstofkilde til denitrifikation og biologisk fosforfjernelse. Desværre er partikulært COD ikke umiddelbart brugbart i disse biologiske processer, og derfor må det omdannes til en tilgængelig kulstofkilde i processen for de COD-krævende biologiske processer. Biologisk hydrolyse spiller derfor en vigtig rolle på renseanlæg, idet processen ”gratis” omdanner partikulært stof til opløst stof, som bakterierne kan udnytte til næringssaltfjernelsen.

Slamhydrolyse kan foregå, når bakterier udskiller extracellulære enzymer (proteiner), der kan nedbryde fedtstoffer, proteiner og kulhydrater til små fedtsyrer (se Figur 4-1). Reguleringen af enzymudskillelsen er meget kompleks (Janning, 1998). Det menes, at en vis baggrundsudskillelse af enzymer vedvarende foregår, hvorefter enzymudskillelsen mangedobles når hydrolyseprodukter detekteres i vandfasen som tegn på, at større molekyler og partikler nu forefindes i det bakterielle miljø. Denne initiering af hydrolyseprocessen bevirker derfor, at bakterierne automatisk begynder produktionen af extracellulære enzymer, når der er slampartikler til stede. Fordelen er, at en effektiv hydrolyseproces ikke kræver andet end en vis kontakttid under anaerobe forhold, hvorefter hydrolyseprodukter (små organiske syrer) vil frigives til vandfasen.

Slamhydrolyse er mest effektiv under anaerobe forhold, men den nyeste viden indenfor spildevandsbranchen viser, at hydrolysepotentialer af biologisk aktiv slam stiger, hvis slammet periodevist beluftes eller tilsættes nitrat (Jensen, 2009). Slamhydrolysen vil, når den forløber, ”fjerne” slam fra vandfasen, som så omsættes til opløst organisk stof – primært VFA (60-80% COD er typisk opløste organiske syrer i spildevandsslam).

Når slam hydrolyserer, frigøres der – ud over opløst COD – også andre stoffer, som er mindre uønskede, f.eks. ammonium. Det skyldes, at stofferne, som hydrolyseres, ofte er proteiner som under et betegnes under en fælles molekylær sammensætning ($C_{14}H_{12}O_7N_2$) (Jensen, 2009). Man skal derfor være opmærksom på, at en vis ”ekstraforurening” i form af omdannede organisk bundede næringssalte (ammonium og fosfor) frigives til vandfasen, når hydrolyseprocessen forløber.



Figur 4-1 Organisk syreproduktion (hydrolyseprodukter) ved anaerobe processer (Henze et al. 2000).

5 FORSØG MED SLAMHYDROLYSE

For at få belyst, hvor meget kulstof der kan genereres ud fra modeldambrugsslam, er der gennemført en række forsøg med friskt slam udtaget fra Løgstrup Dambrug (modeldambrug, type 3).

Løgstrup Dambrug har en fodertildeling på 300 ton foder/år og består af et kombineret kumme- og racewaysanlæg (1 sektion). Den mekaniske rensning foregår i tre mikrosigter med 74 μ dug efterfulgt af et nedstrøms fixed-bed biofilter med 0,7 m bioblok 200 og 0,85 m bioelementer fra RK-Plast. Hvert filter består af 11 kamre á 20 m². Fyldningsvolumenet for produktionsanlæggenes biofiltre er 154 m³ Bioblok 200 og 187 m³ plastlegemer pr. anlæg.



Figur 5-1 Løgstrup Dambrug (modeldambrug, type 3). (Foto Bjarne Hald Olsen).

Slamproduktionen er tidligere blevet målt på Løgstrup Dambrug til ca. **140 g SS/kg foder**, hvilket er i underkanten af den forventelige slamproduktion på **160-210 kg SS/tons foder**, som formodes genereret i forhold til beregninger ud fra produktionsbidragsmodellen. Dette kan skyldes, at det både er meget svært at opsamle al slam, der genereres i produktionen, og at slamhydrolysen relativt hurtigt reducerer slammængden i produktionsanlægget, hvis ikke det udtages hurtigt.

Tabel 5-1 Oversigt over slammængder fra de enkelte kilder på Løgstrup Dambrug. (Svendsen et al., 2007).

Slamtype	Flow m ³ /år	SS mg/l	SS kg/år
Slamkegler	6.307	4.202	26.261
Biofiltre	23.967	542	13.057
Mikrosigte	47.935	358	16.356

Forsøgene med slamhydrolyse blev foretaget ved at opsamle slam i forbindelse med slamkegletømning, biofilterskyl og opsamling af tromlefilterkoncentrat. På grund af den store forskel i slamkoncentrationsniveauer og slamtyperne imellem blev det besluttet at forafvande det udtagne slam i store 200 liters regnvandstønder. Forafvandingen kunne således reducere slammængderne til et minimum i en meget høj koncentration, som så nemt kunne transporteres til laboratoriet i Hørsholm.

I Figur 5-2 og Figur 5-3 er vist billeder, hvor slamopkoncentrationen er illustreret.



Figur 5-2 Forafvanding af slam udtaget fra slampumpebrønd.



Figur 5-3 Opsamling af koncentreret slam (tv) og eksempel på opkoncentrering i plexiglasrør (th).

Som det fremgår af Figur 5-3 til venstre, ses det hvordan slammet fra de tre slamkilder visuelt opkoncentrerer sig. Som det ses, er slamfraktionen meget lille og vandfraktionen stor. Slamvandet opsamlet fra slamkeglerne (plexiglas i midten) er meget grumset og farvet. Viden om disse forhold er særdeles vigtig i forhold til en fremtidig praktisk håndtering af slamhydrolyse.

6 RESULTATER

DHI foretog i sommeren/efteråret 2010 en række hydrolyseforsøg med modeldambrugs-slam udtaget fra Løgstrup Dambrug. Der blev i perioden i alt gennemført fem forsøgs-kampagner, som skulle belyse, hvordan slamhydrolysen mest optimalt kunne drives. De første forsøg med slamhydrolyse var derfor ikke så vellykkede, da det blev kendt, at helt frisk slam hydrolyserer langt bedre end ”gammelt” slam. Det bevirkede også, at slam-håndteringen på Løgstrup Dambrug i forbindelse med forsøgskampagnerne blev ændret, således at slammet fra slamkeglerne kunne være så friskt som muligt i forbindelse med slamudtagningen.

I det følgende er resultaterne fra tre af forsøgskampagnerne beskrevet. Alle forsøgene er – bortset fra nedkølingshydrolyseforsøg – foretaget ved stuetemperatur, dvs. 21-22°C.

6.1 Slamhydrolyse med og uden omrøring

Det første rigtigt velgennemførte slamhydrolyseforsøg blev udført i perioden 7.-14. september 2010. Slam fra slamkegler, biofiltre og mikrosi blev udtaget og opkoncentreret in-situ om morgenen på modeldambruget, hvorefter slammet blev kørt til DHI's laboratorium i Hørsholm, hvor slammet blev viderebehandlet og forberedt til slamhydrolyse-forsøgene. Der blev i alt opstillet ni forsøgsreaktorer med forskellig slamsammensæt-ning. I denne forsøgsrunde blev der fokuseret på betydningen af opblanding af slammet under slamhydrolyse.

Forsøgene skulle vise, at slamhydrolysen forløber bedst, når alle tre slamkilder sam-menblandes, hvorfor kun forsøg med BKT-slam (Biofilter-, Kegle-, Tromlefilterslam) er præsenteret. At slamhydrolysen er mest optimal ved denne sammensætning, skyldes formentlig, at slammet fra slamkegler og tromlefiltre indeholder mere organisk stof, men færre bakterier, mens slammet fra biofiltrene indeholder mange bakterier, som kan producere enzymer til slamhydrolysen.

Efter sammenblanding og opkoncentrering blev der opnået en slamkoncentration af BKT-slammet på 22.320 mg COD/l og 14.400 mg SS/l. Opløst COD_f (målt ved filtrering gennem 0,45 µm membranfilter) blev ved forsøgets start målt til 1.422 mg COD_f/l, hvilket giver et forhold mellem SS og partikulært COD på 0,69 g SS/g COD.

Forsøget blev gennemført i 5 liters glasbeholdere, som blev tilsat ca. 2,3 liter slamblan-ding ligeligt fordelt imellem slamtyperne BKT (se Figur 6-1). Beholdere med omrøring blev omrørt med 75 RPM. Forsøget blev gennemført over en periode på syv dage, hvil- ket gav mulighed for at følge slamhydrolysen over en længerevarende periode. Der blev dagligt udtaget prøver, som blev filtreret og målt for COD, ammonium og fosfat.

Inden prøverne blev udtaget, blev omrøringen afbrudt for bundfældning af slamblandin-gerne.



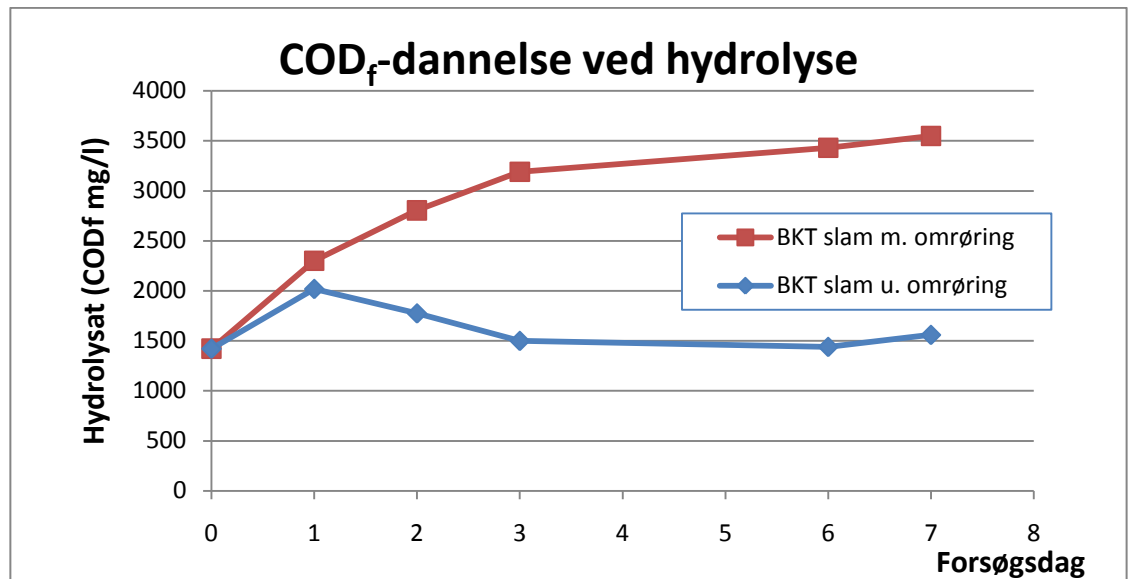
Figur 6-1 Forsøgsopstilling i DHI's spildevandslaboratorium til belysning af slamhydrolyse.



Figur 6-2 Bundfældningstest af de tre slamtyper på modeldambrug, type 3.

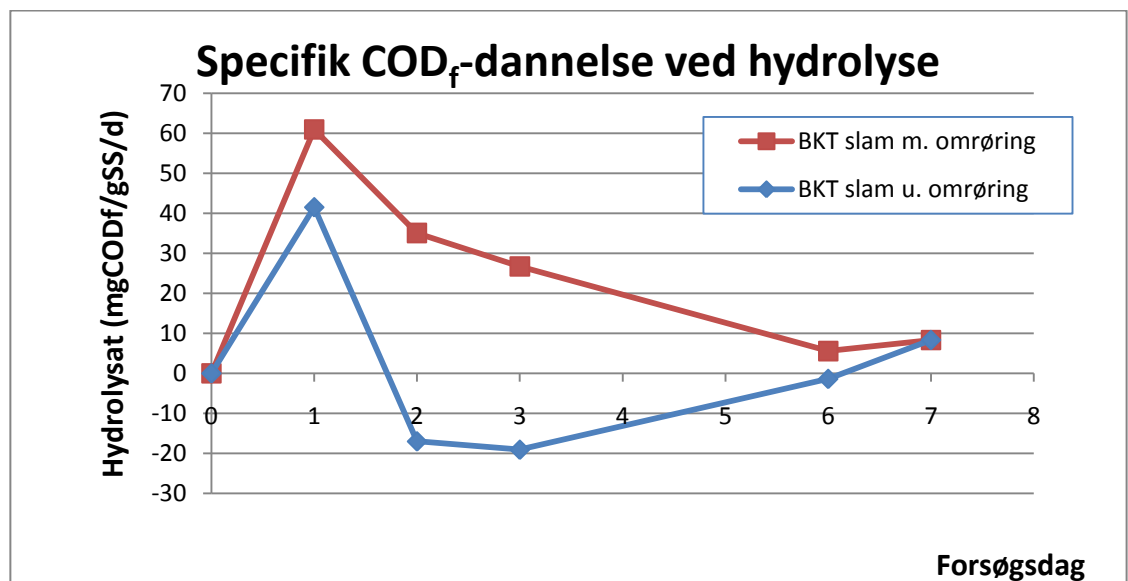
De tre slamtyper bundfælder ret effektivt, hvilket fremgår af Figur 6-2. Således ses allerede efter 10 minutter en tydelig gradient i slamkoncentrationen, og efter 1 time er slammet helt bundfældet. Af Figur 6-2 ses det dog, at vandet ikke er helt klaret, og at der er en del flydeslam, som ikke bundfælder. Kegleslammet er kraftigt farvet og indeholder en hel del små partikler, som ikke bundfælder.

I Figur 6-3 ses forløbet af COD-dannelsen under hydrolyseforsøget. Som det fremgår, indeholder den opkoncentrerede slamprøve ved begyndelsen af forsøget allerede mere end 1.400 mg COD_f/l, hvilket indikerer, at hydrolysen allerede er begyndt. Der dannes i løbet af de syv dage mere end 2.000 mg COD_f/l i slamblendingen med omrøring, mens det fremgår, at nettodannelsen af opløst COD_f er næsten lig nul i den ikke-omrørte beholder. Opblanding ses således at have stor betydning for slamhydrolysen, hvilket også understøttes af de øvrige forsøg, der blev afviklet.



Figur 6-3 Dannelsen af opløst COD ved hydrolyseforsøg med og uden omrøring.

Den specifikke slamhydrolyse ses at nå et maksimum på 60 mg COD/gSS/d efter en dags hydrolysering, hvorefter hydrolysen hurtigt tager af.

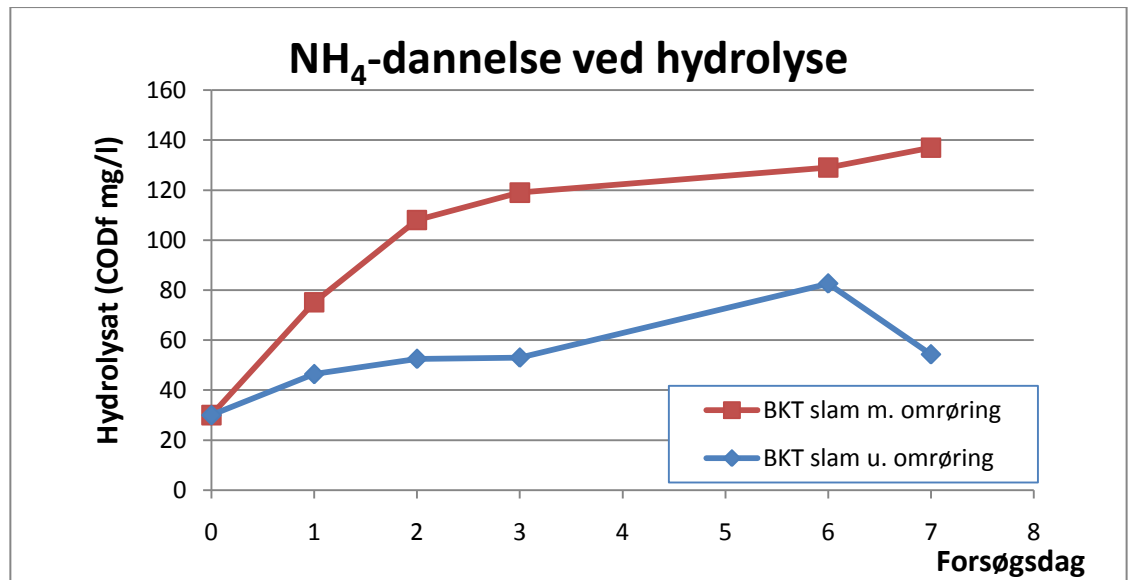


Figur 6-4 Dannelsen af opløst COD målt i forhold til indholdet af suspenderet slam.

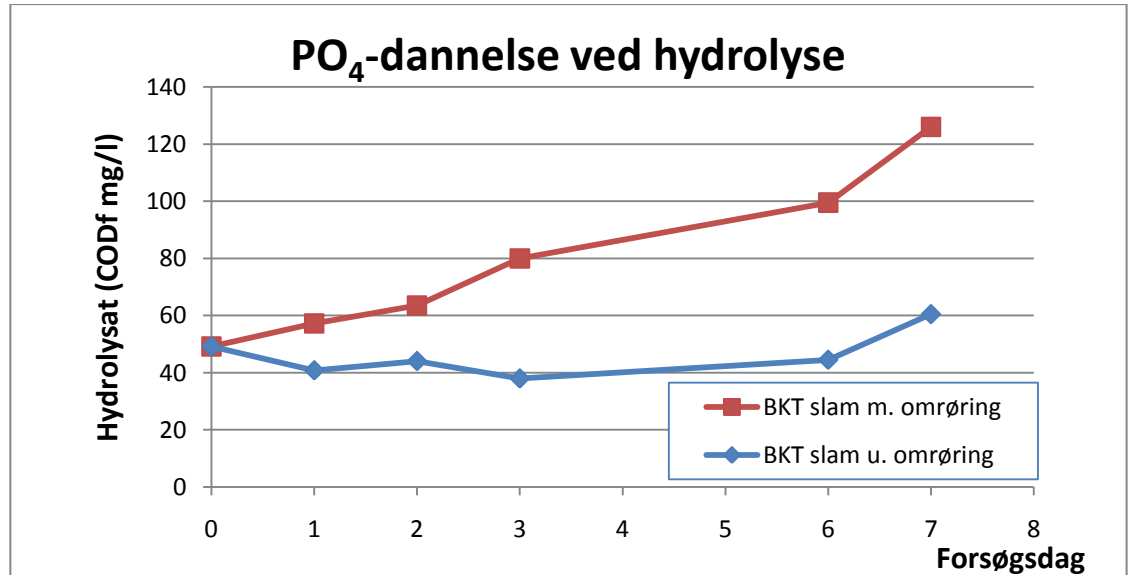
Næringssaltkoncentrationen blev også målt ved forsøget, og af Figur 6-5 og Figur 6-6 fremgår det, at der sker en betydelig forøgelse af ammonium- og fosfatkoncentrationen, mens hydrolysen forløber. Af figurene ses det også her, at hydrolysehastigheden er væsentlig langsommere, når slamblandingen ikke omrøres, hvilket underbygger betydningen af omrøringen for hydrolyseprocessen.

Spørgsmålet er, om den dannede mængde næringssalte kan blive et problem, når hydrolysatet skal tilsættes en afsluttende biologisk proces inden udløb til recipient. Dette vil afhænge af, hvor meget denitrifikationsprocessen er i stand til at absorbere i forbindelse med væksten af denitrificerende bakterier. Umiddelbart vurderes det, at næringssaltene

– og især fosfor – vil være gavnligt for processen, eftersom forsøg med denitrifikation på Løgstrup Dambrug viste, at fosforindholdet var for lavt. Sandsynligvis vil indholdet af ammonium og fosfat stige lidt i afløbet fra en afsluttende biofilterproces i forhold til de koncentrationer, som ellers ville blive udledt.



Figur 6-5 Ammoniumdannelsen under hydrolyseforsøget med og uden omrøring.

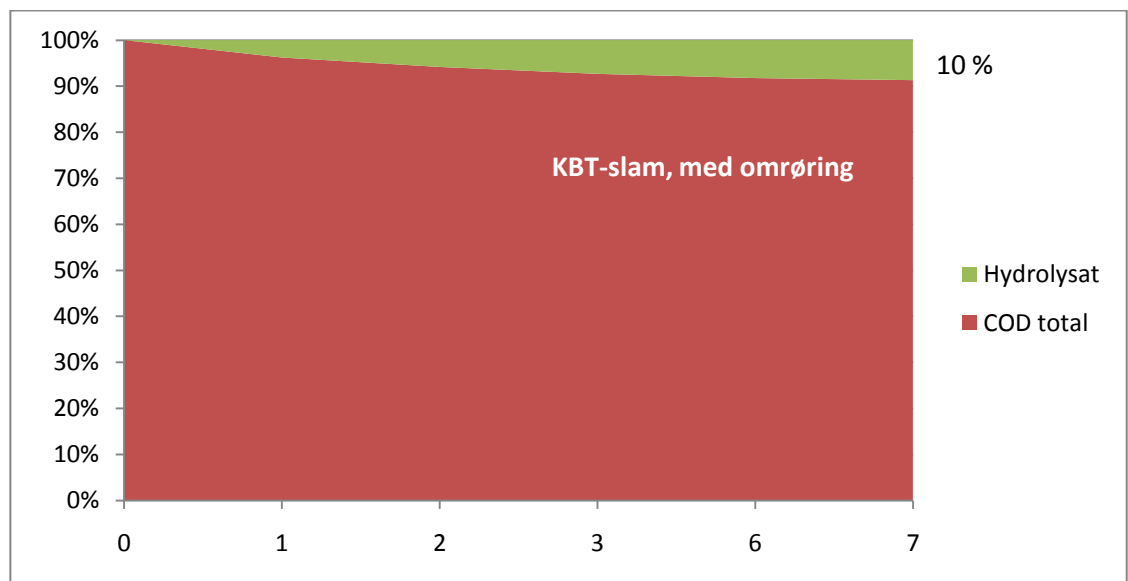


Figur 6-6 Fosfatdannelsen under hydrolyseforsøget med og uden omrøring.

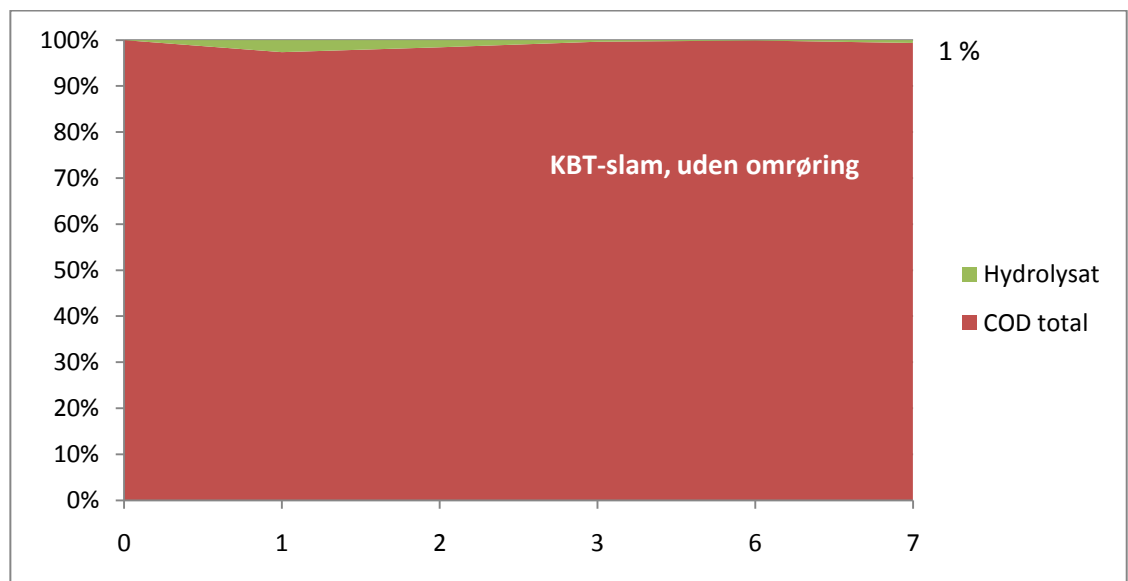
For at illustrere, hvor meget tørstofmængden reduceres som følge af slamhydrolyseprocessen, er der lavet en massebalance, som illustrerer, hvor meget tørstof der omsættes til hydrolysat.

Af Figur 6-7 fremgår det, at 10% af slammassen (suspenderet stof) er forsvundet som tørstof i løbet af forsøget for at blive omsat til opløst organisk stof, som for størstedelens vedkommende vil være en meget letomsættelig kulstofkilde. I forsøget, hvor omrø-

ringen var afbrudt, ses det, at der stort set ingen omdannelse har været, da hydrolyseprodukterne, der initialt blev dannet, er tilbageført til biomassen.



Figur 6-7 Omdannelse af suspenderet stof til hydrolysat som følge af hydrolyse (med omrøring).



Figur 6-8 Omdannelse af suspenderet stof til hydrolysat som følge af hydrolyse (uden omrøring).

6.2 Slamhydrolyse ved 22°C og 9°C

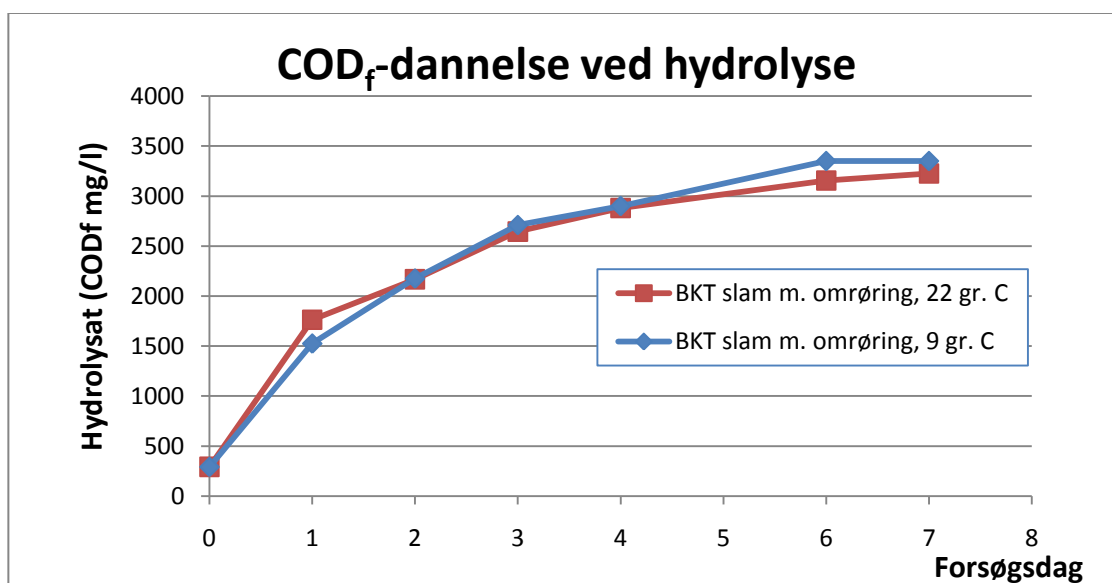
For at belyse temperaturens indflydelse på hydrolyseprocessen blev der foretaget forsøg, hvor slam blev opbevaret i køleskab. De første nedkølingsforsøg blev foretaget uden omrøring, hvilket ikke gav nogen indikation af temperaturens indflydelse, idet hydrolyseprocessen gik helt i stå (da slamblandingerne ikke blev omrørt). Der blev derfor bygget en opstilling, som muliggjorde omrøring i køleskab, men det viste sig, at køleskabet ikke kunne køle slamblandingerne helt ned til 5°C, som var målet for nedkø-

lingsforsøget. Temperaturen i slammet blev målt til 9°C, hvilket giver en vis indikation af lavere temperaturers indflydelse på hydrolyseprocessen.

Forsøget blev afviklet over syv dage med daglige prøveudtagninger. Ved dette forsøg blev der indkøbt analysekits for bestemmelse af VFA indhold i prøverne. Alle forsøgsreaktorer blev omrørt med 75 RPM.

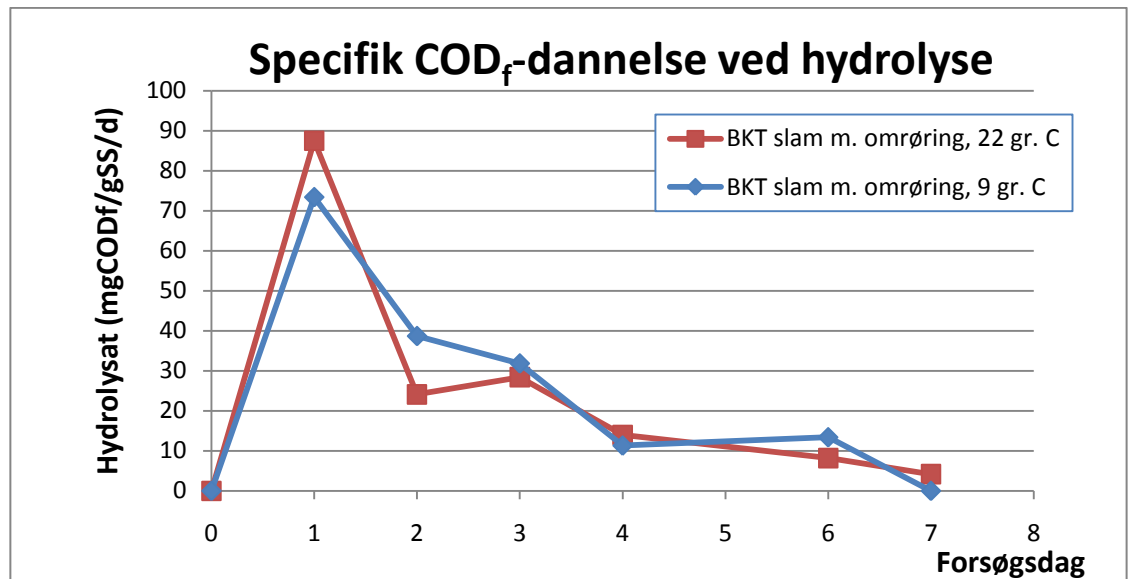
Efter sammenblanding og opkoncentrering blev der opnået en slamkoncentration af BKT-slammet på 17.700 mg COD/l og 16.800 mg SS/l. Opløst COD_f (målt ved filtrering gennem 0,45 µm membranfilter) blev ved forsøgets start målt til 292 mg COD_f/l, hvilket giver et forhold mellem SS og partikulært COD på 0,97 g SS/g COD.

Som det fremgår af Figur 6-9, ses COD_f-dannelsen at være fuldstændig identisk ved 22°C og 9°C, som var overraskende, da biologiske processer normalt hæmmes ved lavere temperaturer, hvilket også gælder hydrolyseprocesser. Resultatet underbygges af det faktum, at næringssaltproduktionen (dannelse af ammonium, Figur 6-13 og dannelse af fosfat, Figur 6-14) stiger ligeså hurtigt som COD_f, og det må formodes, at iltning af slamblandingerne (mens omrøringen forløber) har forårsaget en vis aerob aktivitet i reaktoren som blev afviklet ved stuetemperatur, hvilket har resulteret i en større COD_f-omsætning. Dette underbygges af, at fosfatdannelsen ved 9°C rent faktisk er større end ved 22°C.



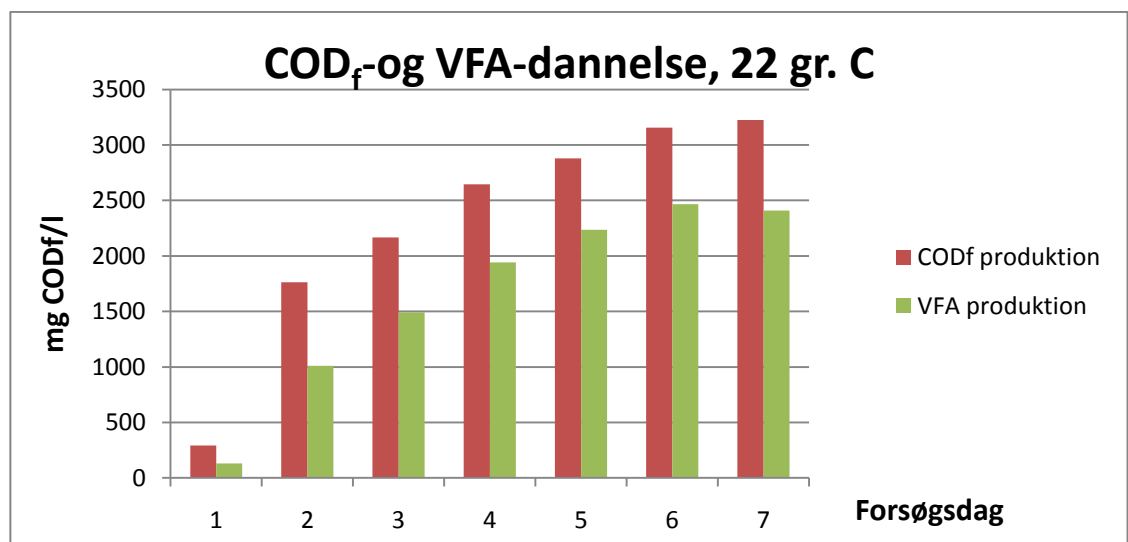
Figur 6-9 Dannelsen af opløst COD ved hydrolyseforsøg ved 22°C og 9°C.

Som det fremgår af Figur 6-10, ses den specifikke COD_f-dannelse at være noget større i denne forsøgskampagne end ved første forsøgskampagne, hvor omrøringseffekten blev aftestet. Det skyldes formentlig, at slammet var friskere ved dette forsøg, hvor slamkegler blev tømt dagen inden slamopsamlingen, således at slam fra slamkegler kun var ca. 1 dag gammelt.

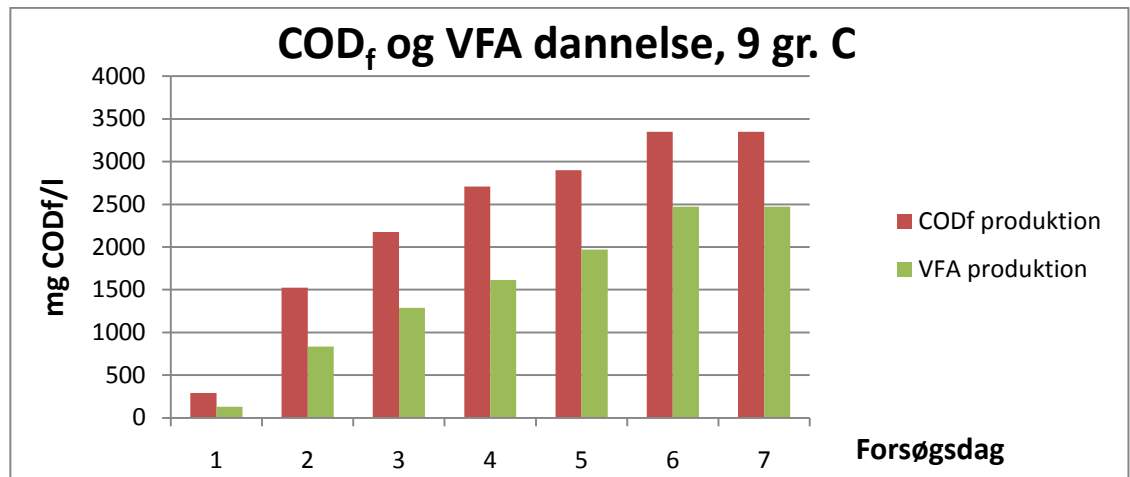


Figur 6-10 Dannelsen af opløst COD målt i forhold til indholdet af suspenderet slam.

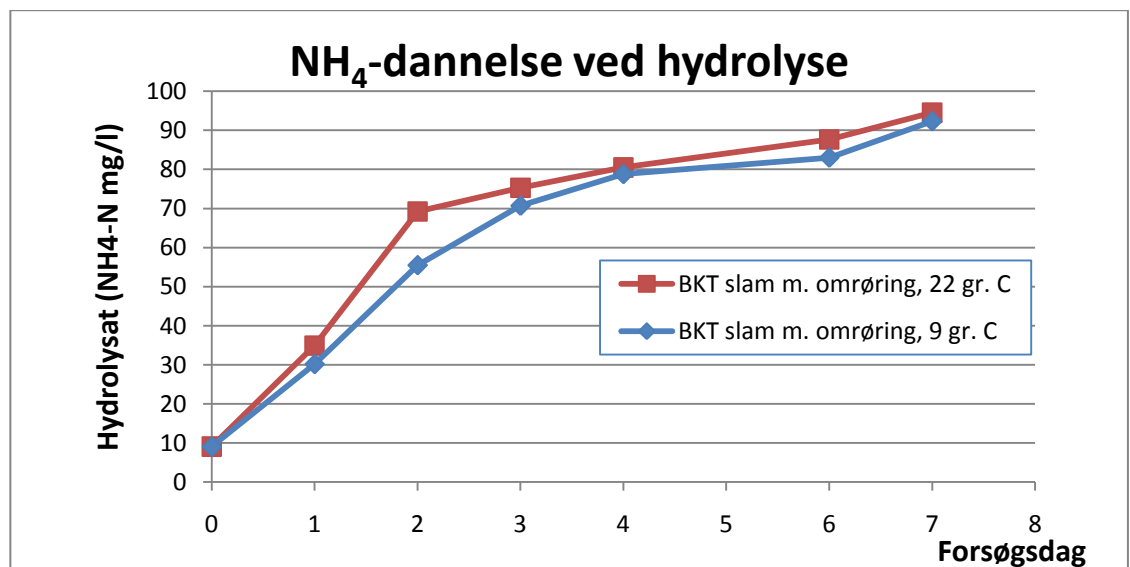
Dannelsen af VFA blev også målt i de filtrerede prøver, som blev udtaget i løbet af hydrolyseforsøget. Som det fremgår af Figur 6-11 og Figur 6-12, udgør VFA-dannelsen 80% af COD_f-indholdet, hvilket indikerer, at COD_f-fraktionen er særdeles letomsættelig. VFA dannelsen ses ligesom COD_f-dannelsen at være næsten identisk ved 22°C som ved 9°C.



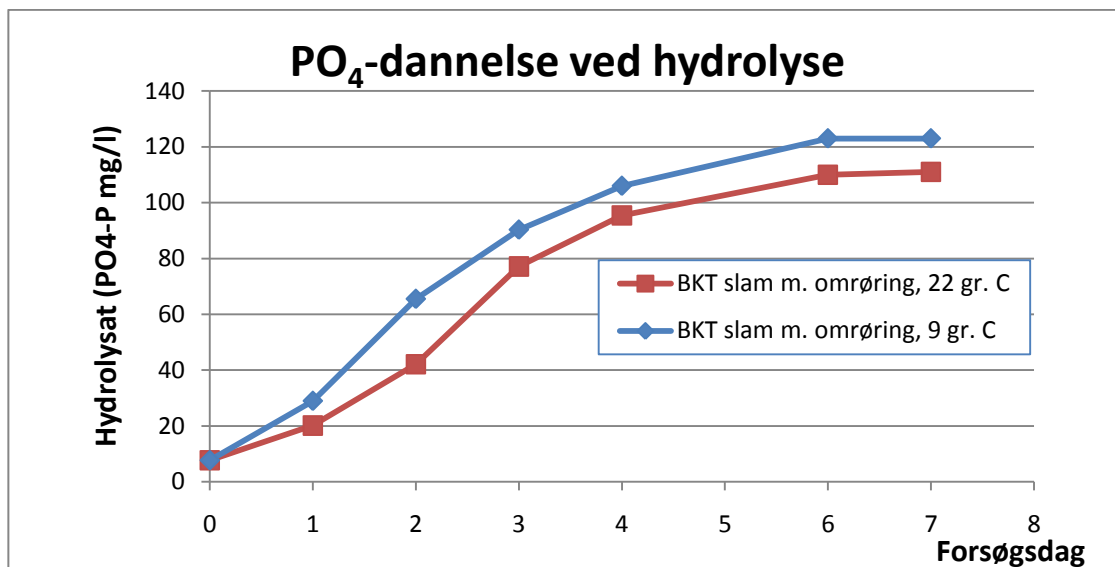
Figur 6-11 Dannelsen af opløst COD og VFA i slam ved 22 °C.



Figur 6-12 Dannelsen af opløst COD og VFA i slam ved 9°C.

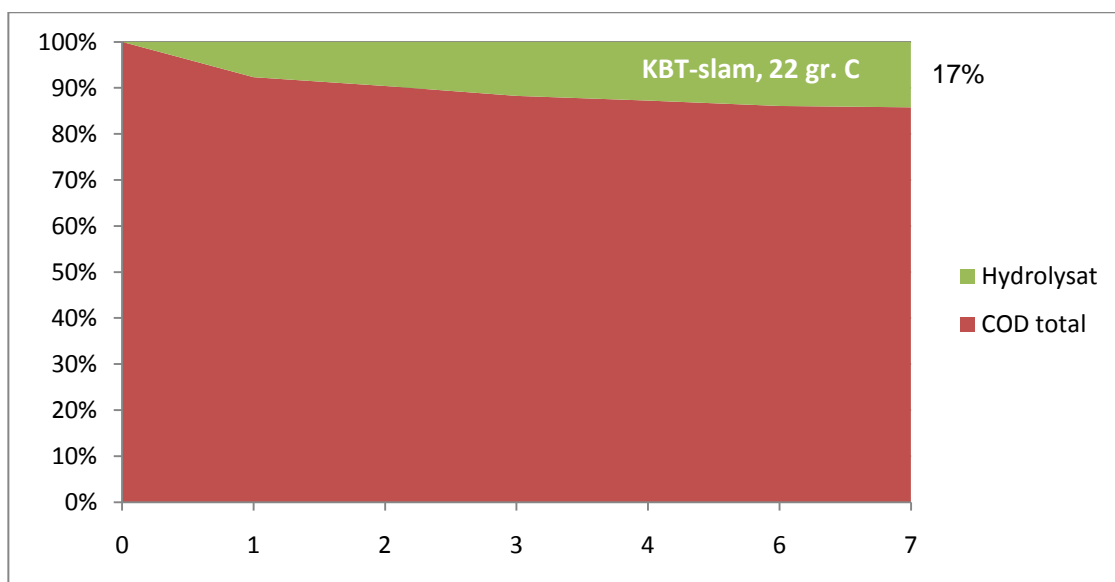


Figur 6-13 Ammoniumdannelsen under hydrolyseforsøget ved 22°C og 9°C.

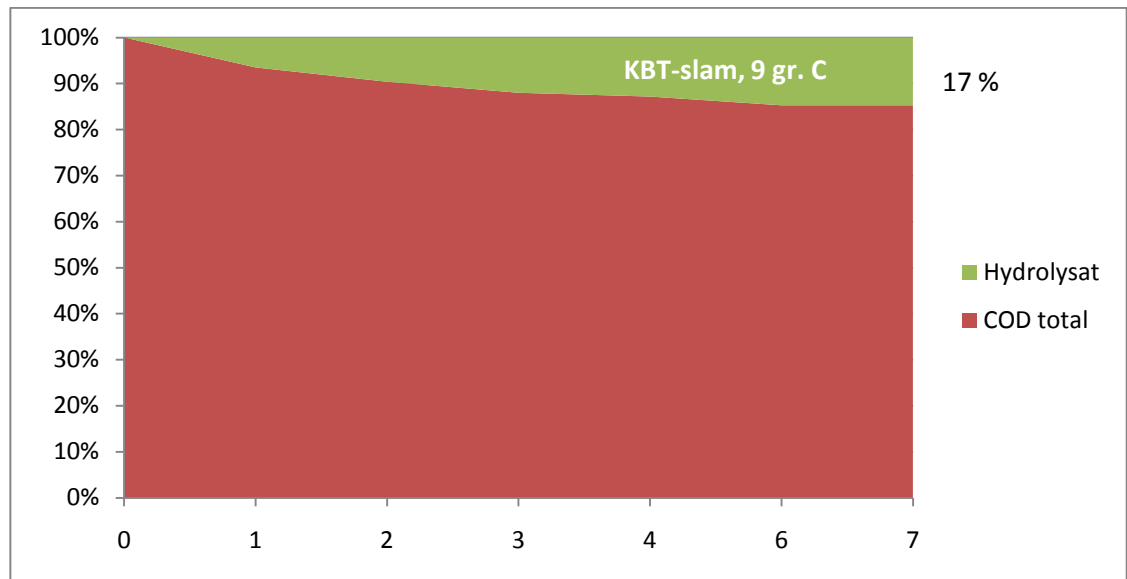


Figur 6-14 Fosfatdannelsen under hydrolyseforsøget ved 22 °C og 9°C.

Slamhydrolyseforsøget udtaget med friskt kegleslam viser, at hydrolysen foregår særdeles hurtigt, og at størstedelen af hydrolysatet dannes indenfor de første 24 timer efter slamudtagning. Som det ses af Figur 6-15 og Figur 6-16, er omdannelsen af COD fra partikulær til opløst form større end i første forsøgsrunde. Således vil 17% af partikulært organisk stof kunne omsættes til opløst form, som derefter kan nyttiggøres i en denitrifikationsproces.



Figur 6-15 Omdannelse af partikulært COD til hydrolysat som følge af hydrolyse (22 °C).



Figur 6-16 Omdannelse af partikulært COD til hydrolysat som følge af hydrolyse (9°C).

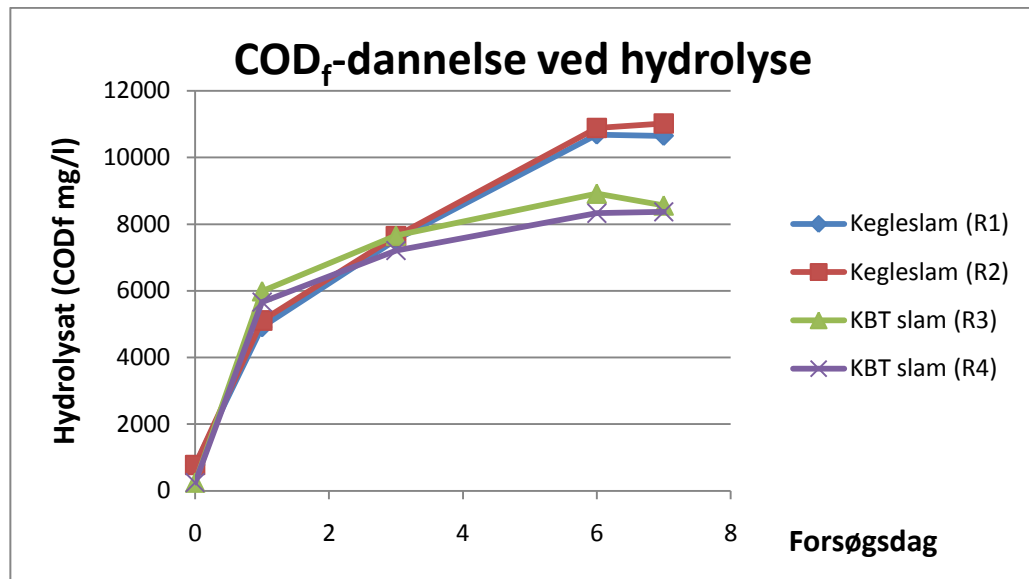
6.3 Slamhydrolyse ved slamsammenblanding

I den sidste forsøgsrunde blev der rettet fokus på at optimere slamhydrolysen ved hurtigere at få slammet udtaget og behandlet inden forsøgsstart og ved at foretage en mere effektiv afvanding/opkoncentrering af slammet. Der blev desuden kørt med dobbeltbestemmelse for mere nøjagtigt at bestemme hydrolysepotentialet. Endelig blev det i denne forsøgsrunde undersøgt, hvor stor en betydning det havde for hydrolyseprocessen, at slammet blev sammenblandet. Således blev forskellen i hydrolysehastigheden af kegleslam og KBT-slam (opblandet som 1:1:1) undersøgt.

Forsøget blev afviklet over syv dage – ligesom de foregående forsøg – med en forsøgstemperatur på 22°C og en omrøring af forsøgsreaktorer med 75 RPM.

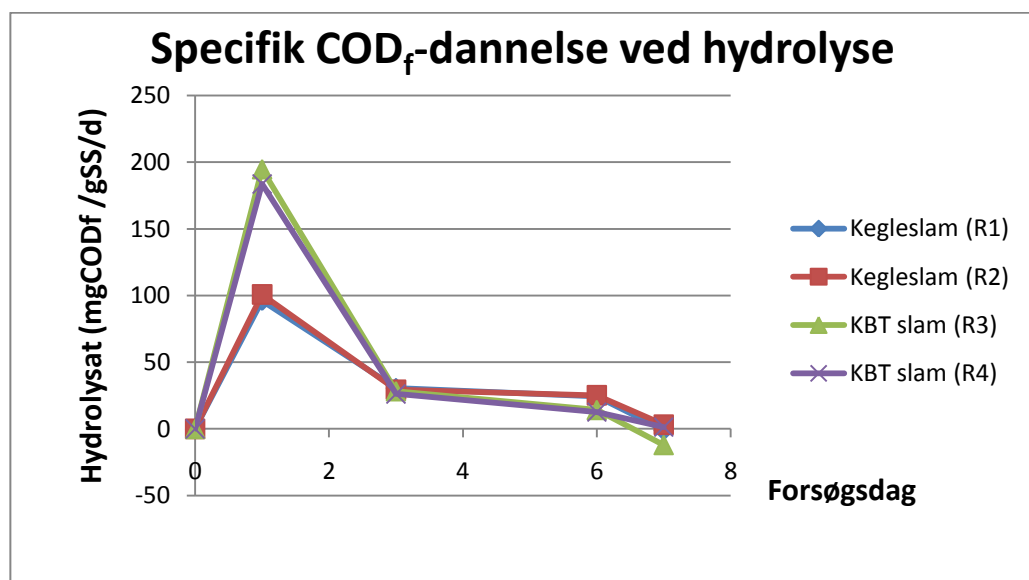
Efter sammenblanding og opkoncentrering blev der opnået en slamkoncentration af kegleslam på 50.600 mg COD/l og 43.000 mg SS/l, mens BKT-slammet opnåede koncentrationer på 29.755 mg COD/l og 29.500 mg SS/l. Opløst COD_f (målt ved filtrering gennem 0,45 µm membranfilter) blev ved forsøgets start målt til 775 mg COD_f/l i reaktorerne med kegleslam hvilket giver et forhold mellem SS og partikulært COD på 0,85 g SS/g COD. I reaktorerne med KBT-slam blev opløst COD_f målt til 246 mg COD_f/l i reaktorerne med kegleslam, hvilket giver et forhold mellem SS og partikulært COD på 1,00 g SS/g COD.

Som det fremgår af Figur 6-17, ses COD_f-dannelsen at være større i reaktorerne med kegleslam i forhold til reaktorerne med KBT-slam. Dette er ikke overraskende, da kegleslammet var næsten dobbelt så koncentreret i forhold til KBT-slammet. I øvrigt ses det, at der er god overensstemmelse imellem dobbeltbestemmelserne for både kegleslam og KBT-slam.



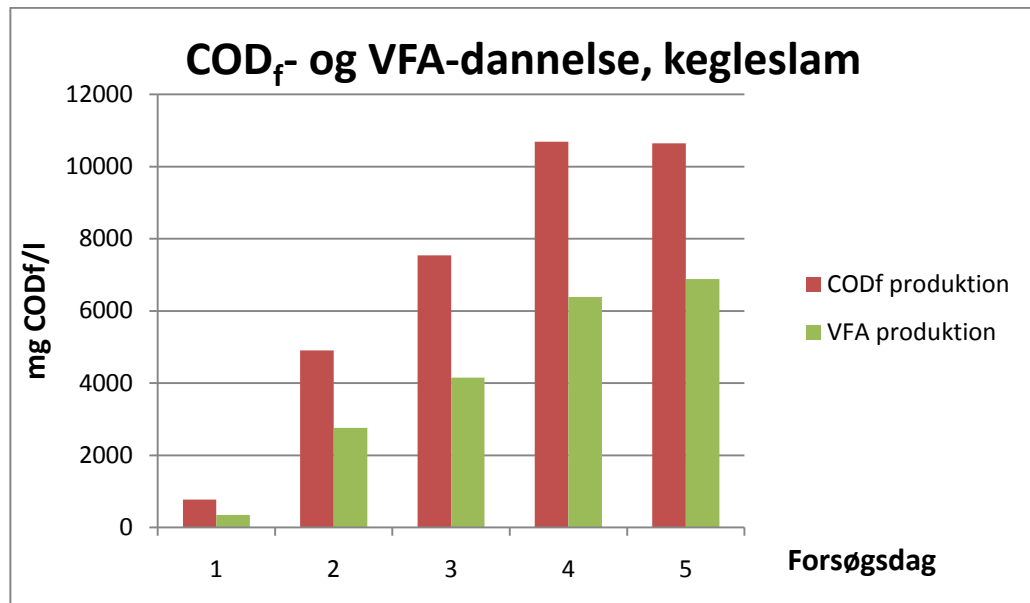
Figur 6-17 Dannelsen af opløst COD ved hydrolyseforsøg med kegleslam og KBT-slam.

Betragtes den specifikke COD_f-dannelse (Figur 6-18), ses slamhydrolysepotentialet at være langt større for KBT-slamblandingen, hvilket utvivlsomt skyldes det højere bakte-
 reiindhold, som opnås ved også at medtage biofilterslam. Således opnås en specifik
 COD_f-omsætning på næsten 190 mg COD_f/gSS/d efter 24 timers hydrolysesaktivitet,
 mens kegleslam blandingen kun opnår den halve omsætning, omkring 100 mg
 COD_f/gSS/d. Som det fremgår af Figur 6-18, ses slamhydrolysen at gå næsten helt i stå
 efter tre dages forsøg.

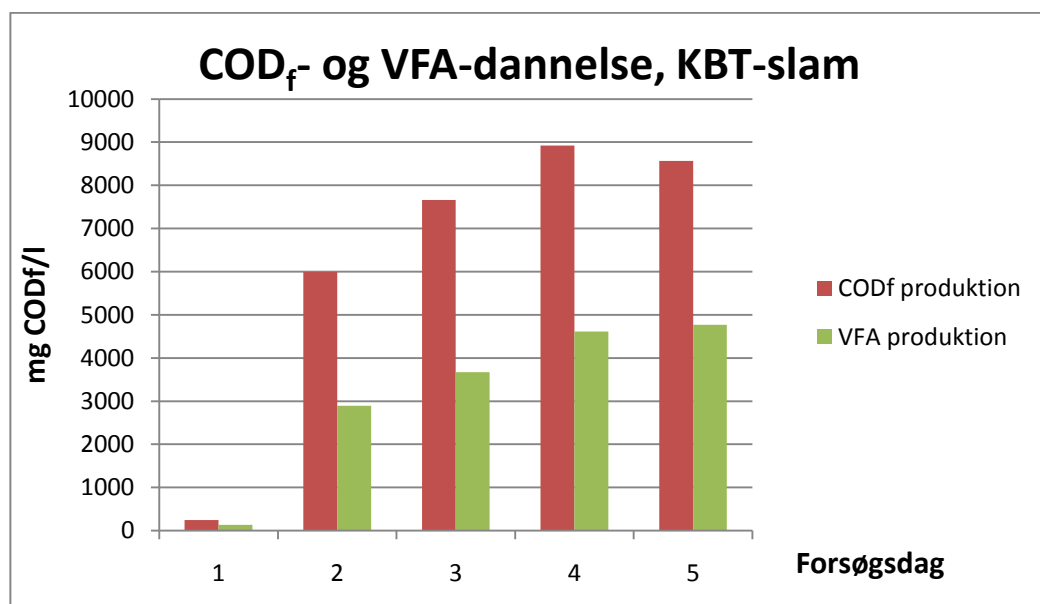


Figur 6-18 Dannelsen af opløst COD målt i forhold til indholdet af suspenderet slam med kegleslam og KBT-slam.

Dannelsen af VFA er stor, men relativt mindre i denne forsøgskampagne i forhold til
 forrige forsøgskampagne. Således udgør VFA kun ca. 60% af COD_f-dannelsen i kegle-
 slammet, mens VFA-dannelsen kun udgør ca. 55% af COD_f-dannelsen i KBT-slammet.
 COD_f må således bestå af andre organiske opløste stoffer, som dannes, når slammet
 håndteres hurtigere, inden hydrolyseforsøget igangsættes.

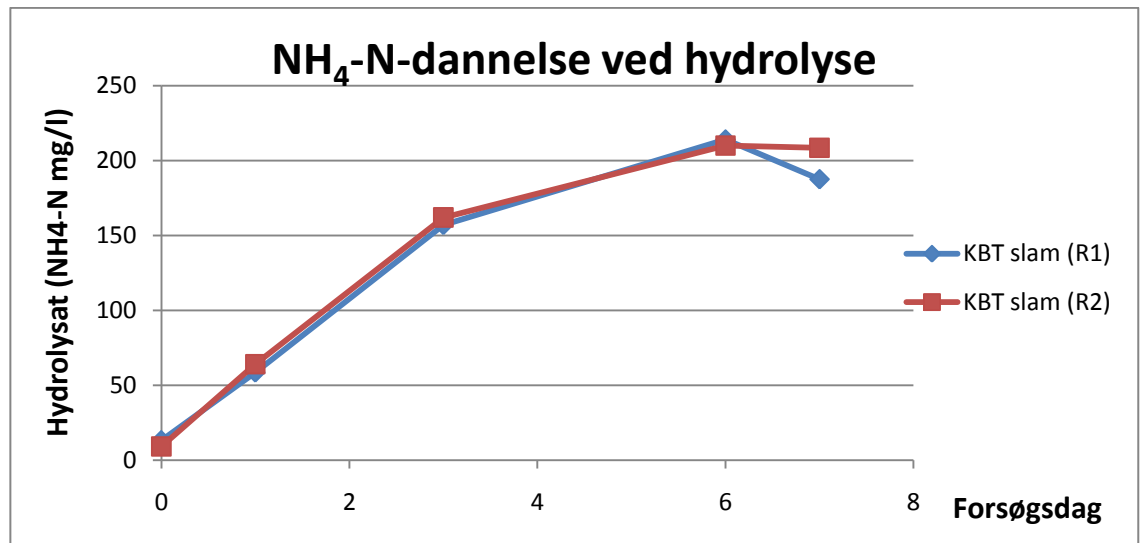


Figur 6-19 Dannelsen af opløst COD og VFA i kegleslam med højt SS- og COD-indhold.

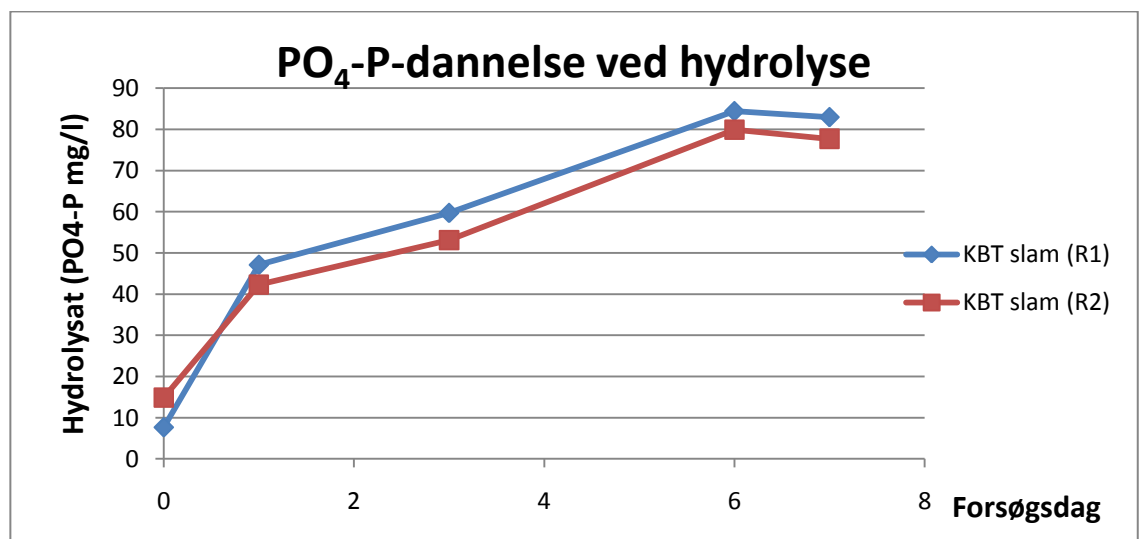


Figur 6-20 Dannelsen af opløst COD og VFA i KBT-slam med højt SS- og COD-indhold.

Dannelsen af ammonium (Figur 6-21) ses ved dette forsøg at være markant højere i forhold til tidligere forsøg, idet der produceres ammonium svarende til en koncentration på 200 mg NH₄-N/l. Fosfatdannelsen ses derimod at være faldet i forhold til de tidligere udførte forsøg. Dette kan ikke umiddelbart forklares, men måske er der sket en fejl i forbindelse med næringssaltanalyserne.

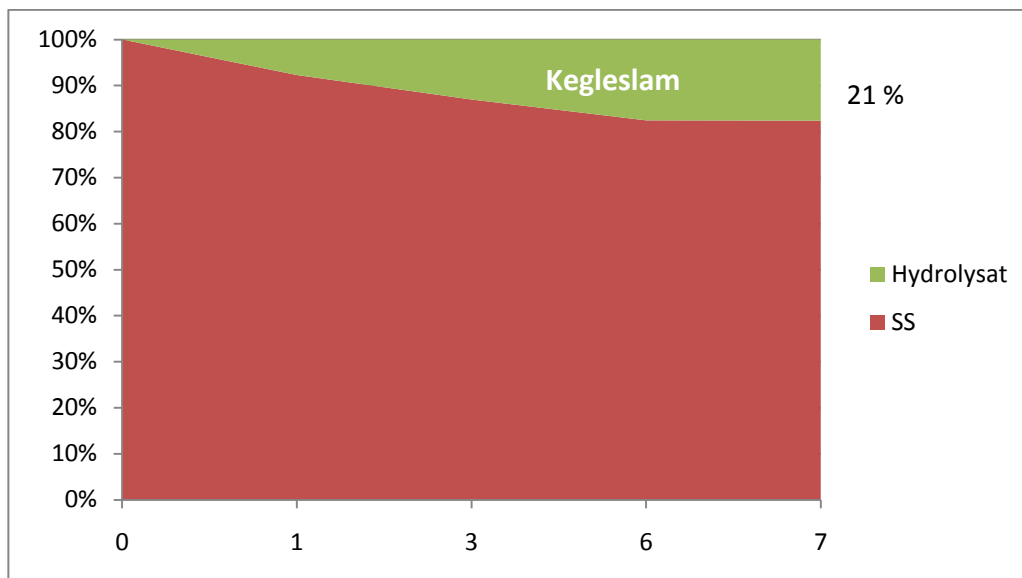


Figur 6-21 Ammoniumdannelsen af KBT-slam under hydrolyseforsøget.

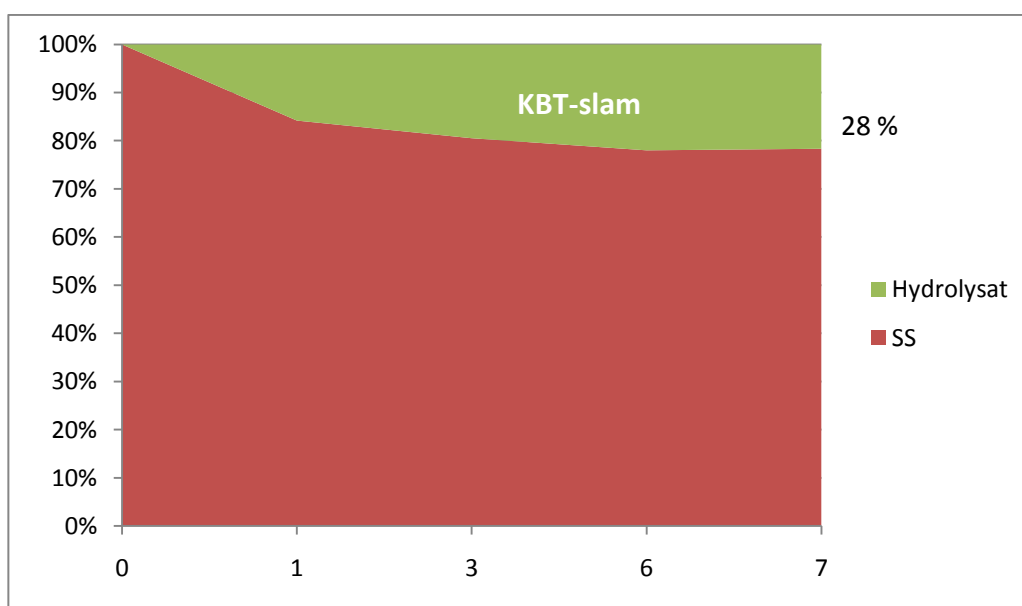


Figur 6-22 Fosfatdannelsen af KBT-slam under hydrolyseforsøget.

Hydrolysatdannelsen ses ved dette forsøg at opnå sit højeste niveau, idet der i forsøget med kegleslam ses at blive omdannet 21% partikulært COD til hydrolysat, mens forsøget med KBT-slamblanding omdanner 28% partikulært COD til hydrolysat. Således ses der at være mulighed for at reducere slammængderne med 1/3 såfremt slamvandsmængderne kan håndteres hurtigt, og slamhydrolysen kan igangsættes.



Figur 6-23 Omdannelse af partikulært COD til hydrolysat som følge af hydrolyse (kegleslam).



Figur 6-24 Omdannelse af partikulært COD til hydrolysat som følge af hydrolyse (KBT-slam).



7 **KONKLUSION**

- Dambrugsslam har et meget stort slamhydrolysepotentiale, som gør det muligt at danne væsentlige mængder letomsætteligt kulstof, der kan benyttes i denitrifikationsprocessen
- Slamhydrolyseforsøgene viser, at slam bør fjernes hurtigt fra produktionsanlægget for at minimere frigivelsen af store mængder letomsætteligt kulstof, som ellers vil blive omsat i kontakt- og biofiltre til gene for nitrifikationsprocessen
- Slamhydrolyse kan reducere slamtørstof svarende til 20-30% af den totalt producerede mængde tørstof - dog gendannes ca. 30% af hydrolysatens til slam i forbindelse med slamproduktion i denitrifikationsprocessen
- Slamhydrolyse på modeldambrug kan genere nok kulstof til at denitrificere ca. 17-23% af den dannede mængde nitrat, hvis det antages, at 20-30% af den dannede mængde slam kan hydrolyseres til letomsætteligt COD
- I forbindelse med slamhydrolyseprocessen vil forafvanding bevirke, at slamvandsmængderne reduceres med 80-90% uden brug af kemikalier
- I forbindelse med slamhydrolyse udgør VFA ca. 55-80% af den dannede mængde COD_f (hydrolysat)
- Slamhydrolysen forløber mest effektivt, hvis alle slamtyper (slamkegle-, biofilter- og mikrosigteslam) sammenblandes i en hydrolyseproces
- For optimal slamhydrolyse skal slam i produktionsanlæg hurtigst muligt udtages for at reducere slamhydrolyse i produktionsanlægget
- Slamhydrolysen er mest effektiv de første 2-3 dage efter igangsætning af hydrolyseprocessen, hvorefter den dannede mængde hydrolysat bør udtages efter bundfældning af slam
- Slamhydrolyse kræver energimæssigt kun kontinuert omrøring og er således ikke særligt energikrævende
- Slamhydrolysen vil formentlig kunne forøges yderligere, hvis hydrolysetanken er afskærmet for ilttilførsel
- Slamhydrolyse er en meget miljøvenlig og økonomisk fordelagtig metode til at reducere slammængder betydeligt og danne kulstof til denitrifikationsprocessen



8 REFERENCER

Andreasen, K.; Petersen, G.; Thomsen, H.; Strube, R. (1997)
Reduction of nutrient emission by sludge hydrolysis
Wat. Sci. Tech. Vol. 35, No. 10, pp. 79-85

Henze, M.; Harremoës, P.; Jansen, J. la C.; Arvin, E. (2000)
Wastewater treatment – Biological and chemical processes
Springer Verlag

Janning, K. F. (1998)
Hydrolysis and oxidation of particulate organic matter in biofilters
Ph.D. afhandling, Institut for Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet.

Jensen, T. R. (2009)
Comparison of sludge hydrolysis rates and P release/uptake rates under different redox conditions
Special course (12,5 ETCS points), Department of Environmental Engineering, DTU

Jönsson, K.; Jansen, J. la C. (2006)
Hydrolysis of return sludge for production of easily biodegradable carbon: effect of pre-treatment, sludge age and temperature
Wat. Sci. Tech. Vol. 53, No. 12, pp. 47-54

Svendsen et al. (2007)
Løgstrup Dambrug (øst) – et modeldambrug under forsøgsordningen
Statusrapport for første måleår af monitoringsprojektet
Publikation DTU Aqua, Nordsøen Forskerpark
<http://www.aqua.dtu.dk/Publikationer/Forskningsrapporter.aspx>

Ucisik; a. S.; Henze, M. (2008)
Biological hydrolysis and acidification of sludge under anaerobic conditions: The effect of sludge type and origin on the production and composition of volatile fatty acids
Wat. Res. Vol. 42, pp. 3729-3738