

Biologisk fosfor- avskiljning i Sverige

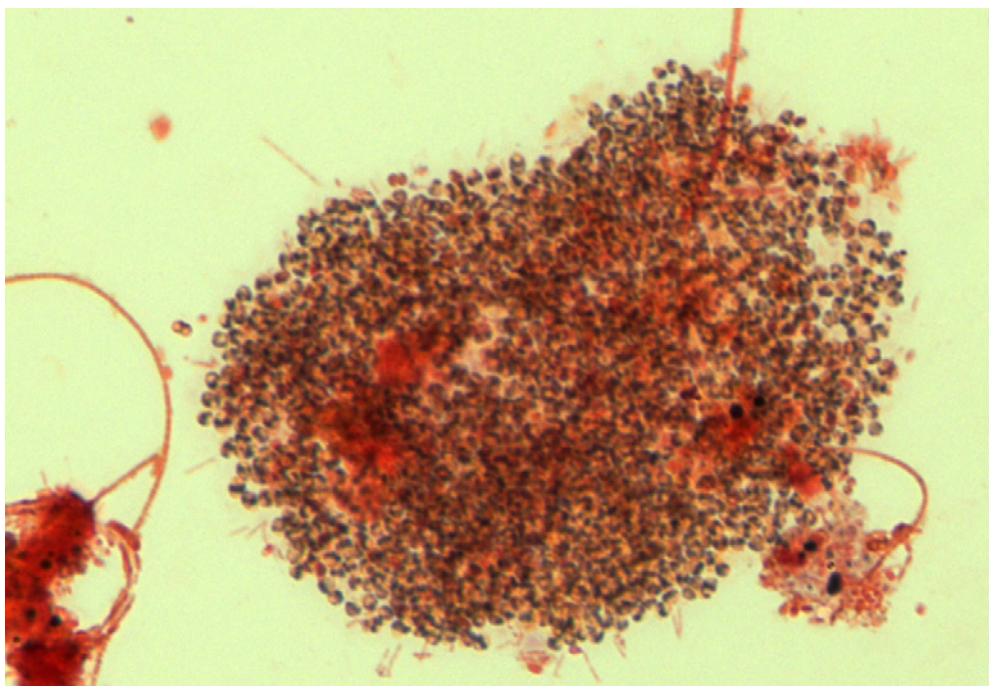
– Erfarenhetsutbyte och slamavvattning

Jes la Cour Jansen

Eva Tykesson

Karin Jönsson

Lars-Erik Jönsson



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SV-Utveckling) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet.

SV-Utveckling (fd VA-Forsk) initierades gemensamt av Svenska Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvatten
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

SV-Utveckling styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anders Lago, ordförande	Södertälje Kommun
Olof Bergstedt	Göteborg Vatten
Lena Söderberg	Svenskt Vatten AB
Per Fåhraeus	Varbergs Kommun
Carina Färm	Eskilstuna Energi & Miljö AB
Daniel Hellström	Svenskt Vatten AB
Mikael Medelberg	Roslagsvatten AB
Marie Nordkvist Persson	Sydvatten AB
Lars-Gunnar Reinius	Stockholm Vatten AB
Bo Rutberg	Sveriges Kommuner och Landsting
Ulf Thysell	VA SYD
Susann Wennmalm	Käppalaförbundet
Fred Ivar Aasand	Norsk Vann, adjungerad

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47 607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Erfarenhetsutbyte och slamavvattning
Title of the report:	Biological phosphorous removal in Sweden – Exchange of experience and sludge dewatering
Rapportnummer:	2009-09
Författare:	Jes la Cour Jansen, Eva Tykesson och Karin Jönsson, Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola; Lars-Erik Jönsson, Öresundsverket, Helsingborgs Stad
Projektnummer:	24-106
Projektets namn:	Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Erfarenhetsutbyte och slamavvattning
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling
Rapportens omfattning	
Sidantal:	38
Format:	A4
Sökord:	Biologisk fosforavskiljning, avvattning
Keywords:	Biological phosphorus removal, dewatering
Sammandrag:	En hemsida för Bio-P-nätverket är etablerad och placerad hos Svenskt Vatten. Två kurser; en allmän kurs i bio-P-drift och en kurs för mikrobiellt intresserad har etablerats. Förbättrat sedimentation och slamavvattning genom en väl driven bio-P-process i förhållande till en traditionell process med kemisk fällning har dokumenterats.
Abstract:	A homepage for the Swedish Bio-P network is established and located at The Swedish Water & Wastewater Association. Two courses is established, a general course on bio-P and a course on new microbial methods for bio-P plants. Better sedimentation- and dewatering properties at plants operated with bio-P compared to operation with chemical precipitation have been documented.
Målgrupper:	Svenska reningsverk, konsulter, leverantörer, forskare
Omslagsbild:	Slamflock från anaerobzonen på Öresundsverket i Helsingborg. Bio-P-slamets halt av PHA (PolyHydroxyAlkanoater) är synliggjort genom infärgning med Sudan black. Foto: Professor Linda Blackall, The University of Queensland, Australien
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2009
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

År 2003 startades ett nationellt bio-P-nätverk för att öka erfarenhetsutbytet om bio-P-processen. Nätverket består av omkring 20 kommuner i Sverige där man använder biologisk fosforrening på avloppsreningsverken för att minska användningen av fällningskemikalier; men intresset för biologisk fosforrening som ett alternativ till kemisk fosforrening inom avloppsvattenrening ökar stadigt i Sverige. För att öka kunskapen om biologisk fosforavskiljning och som stöd för nätverkets medlemmar har det i perioden efter 2003 sökts medel från VA-Forsk (nu Svenskt Vatten Utveckling) till specifika forsknings- och utvecklingsprojekt. Vattenförsörjnings- och avloppsteknik i Lund har varit drivande i forskningsarbetet; men projekten är genomförda med deltagande av reningsverk och personal därifrån. Genom de årliga träffarna inom nätverket har nya idéer tagits fram och arbetet har löpande kunnat utvärderas och justeras.

Detta projekt om erfarenhetsutbyte och slamavvattning har drivits av VA-teknik i Lund med stöd från hela Bio-P-nätverket och från Svenskt Vatten. Dessutom har ANOX AB (nu AnoxKaldnes) och gästforskare från Australien och Tjeckien tillsammans med flera examensarbetare medverkat. Projektet har finansierats av VA-Forsk och av Lunds Tekniska Högskola genom inriktningen av en gästprofessur. Svenska Institutet och Kemira AB har finansierat en gästforskare från Prag. De medverkande deltagarna från Bio-P-nätverket har naturligtvis också bidragit betydligt till finansieringen av aktiviteterna.

Lund augusti 2009

Jes la Cour Jansen
Lunds Tekniska Högskola

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Inledning	8
2 Projektets syfte och genomförande	11
3 Hemsida för Bio-P-nätverket	13
4 Kursverksamhet	15
5 Avvattningsbarhet hos bio-P-slam jämfört med kemfällt slam	18
5.1 Bakgrund	18
5.2 Slams förmåga att binda vatten	19
5.3 Tillvägagångssätt	20
5.4 Avvattningen av slam från Öresundsverket i fullskala med centrifug	21
5.5 Metoder för bedömning av slams avvattningsbarhet	22
5.6 Karakterisering av slam efter bio-P-aktivitet och metallhalt	24
5.7 Resultat	25
5.8 Avvattning av slam från bio-P-anläggningar jämfört med avvattning av slam från anläggningar med kemisk fällning	32
6 Slutsatser	34
7 Referenser	35
Bilaga 1	36
Bilaga 2	37

Sammanfattning

Tredje fasen av ett projekt för uppstart och drift av avloppsreningsverk med biologisk fosforavskiljning har avslutats. Projektet omfattade tre delprojekt:

Bio-P-nätverket mellan svenska kommuner har etablerat en hemsida med stöd från Svenskt Vatten. Hemsidan är en kontaktpunkt för svenska kommuner som tänker jobba med bio-P och en länk mellan nätverkets anläggningar vilken förmedlar information om träffar, seminarier och kursverksamhet.

Två kurser har etablerats av Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik vid Lunds Tekniska Högskola. En allmän kurs i bio-P-drift riktad mot driftspersonal har finansierats av universitetet och de deltagande kommunerna och en kurs för mikrobiellt intresserad anläggningspersonal om hur mikrobiella metoder anpassade till reningsverkens tekniska möjligheter kan medverka till att förbättra driften av en bio-P-anläggning. Den sistnämnda kursen har finansierats av Lunds Tekniska Högskola, AnoxKaldnes och de deltagande kommunerna. Båda kurserna har hittills genomförts vardera en gång. Det planeras att den allmänna kursen genomförs med jämna mellanrum.

Slutligen genomfördes ett projekt för dokumentation om huruvida sedimentationsegenskaperna och slamavvattningen förbättras genom en väl driven bio-P-process i förhållande till en traditionell process med kemisk fällning. Under projektet utvärderades en ny metod för karakterisering av avvattning av biologiskt överskottsslam och den jämfördes också med traditionella metoder för karakterisering av slams avvattningsbarhet. Avvattning av ett stort antal verks överskottsslam karakteriserades och det har konstaterats att slam från anläggningar med biologisk fosforavskiljning generellt har bättre avvattningsegenskaper än slam från verk med traditionell simultanfällning.

Summary

The third phase of a project on upstart and operation of wastewater treatment plants with biological phosphorous removal has been finalised. The project comprises of three subprojects.

The bio-P-network among Swedish municipalities has established a homepage with support from The Swedish Water & Wastewater Association. The homepage is a contact site for Swedish municipalities which want to start working with biological phosphorous removal and a link between the treatment plants already working in the field. The homepage contains information about meetings, seminars and course activities.

Two courses have been established by Water and Environmental Engineering at the Department of Chemical Engineering, Lund University. One course on operation of wastewater treatment plants with biological phosphorous removal for plant personnel and one course for plant personnel with interest for the microbiology on how microbial methods can be utilized in plant operation. The courses have been financed by Lund University and the participating municipalities. The second course was also partly financed by AnoxKaldnes. Both courses have been given one time and the course on operation of plants with biological phosphorous removal will be given when needed.

The main part of the third phase was an examination of sedimentation and dewatering properties in order to document whether these properties are improved at plants operated with biological phosphorous removal, when compared to operation with traditional chemical simultaneous precipitation. During this part of the project a new method for characterisation of the dewaterability of biological surplus sludge was evaluated and compared to traditional methods. Dewaterability of sludge from many plants has been characterised and it was found that sludge from plants with biological phosphorous removal in general shows better dewaterability than sludge from plants with traditional chemical precipitation.

1 Inledning

I Sverige ställs högre krav än i många andra länder vad gäller resthalt av fosfor i renat avloppsvatten och det har medfört att användningen av fällningskemikalier för fosforreduktion är omfattande. Detta ger negativa effekter i form av miljöpåverkan vid tillverkning och transport av dessa kemikalier. Kostnaderna för inköp av kemikalier är också betydande, liksom kostnaderna för behandling av de ökade slammängderna. Den höga halten fällningskemikalier i slammet försvårar också det önskvärda kretsloppet av bland annat näringsämnet fosfor.

För att minska kostnaderna och den negativa miljöpåverkan i samband med användningen av fällningskemikalier har en strävan varit att utveckla system, där erforderlig mängd kemikalier kan minskas eller helt avvaras. Exempel på detta är biologisk fosforreduktion i aktivslamanläggningar och rening av avloppsvatten i dammar eller våtmarker. Kravet på resthalt av fosfor är dock normalt så högt ställt i Sverige att användningen av fällningskemikalier oftast inte helt kan undvikas. En minskning av doseringen av fällningskemikalier är därför i normalfallet målet med de alternativa systemen.

Allt fler kommuner strävar efter att driva sina anläggningar så energisnålt och "ekologiskt" som möjligt. En metod för att driva reningsverken på ett sådant sätt är som ovan påpekats att minska användningen av fällningskemikalier och därmed också minska den producerade slammängden.

Hösten 2000 genomförde avdelningen för Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, LTH, med stöd av VA-Forsk ett seminarium om biologisk fosforavskiljning och i samband med det också en inventering av situationen i Sverige. Seminariet visade att intresset för biologisk fosforavskiljning är mycket stort. Efter seminariets genomförande gjorde avdelningen en skiss på ett större projekt om biologisk fosforavskiljning. Genomförandet av ett sådant projekt är troligen en förutsättning för att biologisk fosforavskiljning skulle kunna introduceras framgångsrikt i större skala i Sverige.

Det ursprungliga projektets övergripande mål var att:

- öka kunskaperna om biologisk fosforavskiljning bland driftspersonalen vid landets kommunala avloppsreningsverk;
- skapa ett organ för spridning av information och för erfarenhetsutbyte mellan kommunerna;
- skapa stöd i form av manualer etc. för kommuner, vilket skall underlätta omställningen av driften så att biologisk fosforavskiljning kan uppnås.

Projektet var tänkt att vara uppdelat i fyra faser enligt nedan:

- Fas 0 Problemidentifiering
- Fas 1 Karakterisering, kartläggning och planering
- Fas 2 Uppstart och förutsättningar för drift med bio-P
- Fas 3 Implementering av bio-P i stor skala

Fas 0 har genomförts i samband med det seminarium som arrangerades av avdelningen för VA-teknik, LTH, i samarbete med Öresundsverket, Helsingborgs stad, och som finansierades av VA-Forsk. Slutsatsen från denna fas är att det finns en stor potential för att driva flera anläggningar med biologisk fosforavskiljning. Ett antal projekt har identifierats, vars genomförande är en förutsättning för att biologisk fosforavskiljning skall kunna genomföras framgångsrikt i större skala i Sverige.

Fas 1 har genomförts och är rapporterad i VA-Forsk rapport Nr B 2004-102 *Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Karakterisering, kartläggning och planering*. Fas 1 omfattade fyra delprojekt:

- En laborationskurs för personal från avloppsreningsverk har utvecklats och genomförts två gånger. Kurserna varade i vardera tre dagar med en dags teori om bio-P som bakgrund för laboratoriearbetet, en dags laborativt arbete med metoder för utvärdering av avloppsvatten och slam för bio-P och en sista dag för utvärdering och tolkning av resultaten.
- En databas med svenska avloppsreningsverk med bio-P eller med intentionen att introducera processen har etablerats. Den innehåller en lista med ca 25 anläggningar i storleksspannet från 200 till 750 000 PE med uppdaterad information om anläggningarna och deras tekniska möjligheter för drift av bio-P. Databasen innehåller information om storlek och anläggningskonfiguration samt utsläppskrav för anläggningarna. Dessutom är belastning och avloppsvattenkomposition inkluderad, liksom information om kemisk fällning som ett komplement till den biologiska reningen. Slutligen innehåller databasen också information om speciella bio-P-relaterade aktiviteter. För tillfället är databasen tillgänglig för de anläggningar som är med i databasen, men det planeras att göra databasen allmänt tillgänglig.
- Eva Tykesson har doktorerat inom Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik vid Lunds Tekniska Högskola med avhandlingen *Enhanced biological phosphorus removal – Processes, competing substances and tools for operation of wastewater treatment plants*. Här ingår studien av molekylärbiologiska metoder för karakterisering av bio-P-bakterier gjord tillsammans med AWMC – Advanced Wastewater Management Centre - vid University of Queensland, Brisbane, Australien. Dessa metoder har visat sig ha god potential för att studera bio-P-bakterierna i system med kombinerad biologisk och kemisk fosforavskiljning, vilket är det typiska systemet i Sverige.
- Ett seminarium för uppstart och drift av avloppsreningsverk med biologisk fosforavskiljning har organiserats i samarbete med Käppalaverket. Resultaten från seminariet är presenterade och utvärderade i VA-Forsk-rapport Nr 2004-6 *Kombinerad kemisk och biologisk fosforrening på Käppalaverket, Lidingö – en studie ur ett processtekniskt, mikrobiologiskt och ekonomiskt perspektiv*.

Fas 2 har genomförts och är rapporterad i SVU rapport Nr 2009-8 *Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Uppstart och drift*. Fas 2 omfattade tre delprojekt:

- Strategier för uppstart av process för biologisk fosforavskiljning efter drift med kemisk fällning har utvecklats. I delprojektet har de förutsättningar identifierats som skall vara på plats innan omställning till biologisk fosforavskiljning kan ske på ett sätt så att omställningen sker snabbt och med så små problem i övergångsfasen som möjligt.
- Kombination av kemisk fällning och biologisk fosforavskiljning ställer krav på driftsättet för att säkra låga utgående halter och reningskravet vad gäller fosfor är ofta så högt ställt att enbart biologisk fosforavskiljning inte är tillräckligt. Störningar kan också förekomma, vilket motiverar användningen av fällningskemikalier. Strategier för hur kombinerad kemisk fällning och bio-P kan drivas och hur driftstörningar med låg tillgång av VFA kan åtgärdas genom dosering av kemikalier utan att förlora bio-P-funktionen har utvecklats och provats i fullskala på Öresundsverket i Helsingborg.
- Flyktiga fettsyror (Volatile Fatty acids; VFA) såsom ättiksyra och propionsyra är en grundförutsättning för en lyckad biologisk fosforavskiljning och om halten i inkommande avloppsvatten inte räcker till kan intern produktion av VFA tillämpas. Försök med hydrolys av returslam har genomförts vid Källby avloppsreningsverk och inverkan av olika driftsförhållanden på produktionen av VFA har studerats.

Fas 3 var tänkt att omfatta etablering av bio-P på en rad reningsverk i fullskala, där det samlade processförloppet optimerats och utvärderats. I samband med genomförandet av fas 2 visade sig emellertid behov av fler kurser speciellt för anläggningarnas driftspersonal, behov av stärkandet av erfarenhetsutbytet och behov av att värdera avvattning av slam från bio-P-anläggningar eftersom preliminära experiment på Öresundsverket i Helsingborg visat att slam från driftslinjer med biologisk fosforavskiljning hade bättre sjunk- och avvattningsegenskaper än driftslinjer med simultanfällning av fosfor. Fas 3 kom därför att koncentreras på de tre identifierade behovsområdena. Som ett komplement till detta etablerades i samband med att Professor Linda Blackall från AWMC – Advanced Wastewater Management Centre – vid University of Queensland, Brisbane, Australien var gästprofessor vid Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik en kurs i avancerad mikrobiologi. Kursen var fokuserad på hur mikrobiella metoder anpassade till reningsverkens tekniska möjligheter kan medverka till att förbättra driften av en bio-P-anläggning.

2 Projektets syfte och genomförande

Trots de uppenbara fördelarna med biologisk fosforavskiljning har introduktionen av tekniken gått långsamt i Sverige. Skälet till att tekniken inte utnyttjas är bl.a. att kunskaperna inte är tillräckliga och att erfarenhetsutbyte och information inte fungerar optimalt. Projektets syfte är därför att stärka kunskapen om bio-P och att sprida kunskap om alla delar av processen. Dessutom var det viktigt att utvärdera om avvattningsav slam från bio-P-anläggningar skiljer sig positivt från anläggningar med simultanfällning eftersom en rad resultat från Öresundsverket i Helsingborg antydde detta.

Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Erfarenhetsutbyte och slamavvattnings består av tre delprojekt.

Delprojekt 1: Hemsida för Bio-P-nätverket

För att nätverket ska fungera behövs tillgång till en egen hemsida där information kan läggas in. Hemsidan har etablerats av nätverkets medlemmar med tekniskt stöd från Svenskt Vatten. Nätverkets medlemmar har efter etableringen skött administreringen av hemsidan.

Delprojekt 2: Kursverksamhet

På uppstartsmötet i Bio-P-nätverket i Halmstad 2003 diskuterades behovet av kursverksamhet av olika slag och två typer av kursinriktningar identifierades vara centrala:

- Allmän kurs för driftspersonal som ska medverka i driften av bio-P-anläggningar
- Kurs för laboratoriepersonal med intresse för och kunskap om mikrobiologi. Hur kan man använda mikroskop som ett led i driftsuppföljning av bio-P-processen?

Avdelningen för VA-teknik i Lund har tagit fram förslag till program för två kurser.

En kurs för driftspersonal har planerats och genomförts av VA-teknik i Lund i samarbete med nätverkets deltagare. Omkostnaderna för genomförandet har betalats av kursdeltagarna.

En kurs i användningen av mikroskopering och mikrobiologi på reningsverk med bio-P-drift har tagits fram och genomförs i ett samarbete mellan VA-teknik, ANOX AB (nu AnoxKaldnes) och Linda Blackall från Advanced Wastewater Management Centre, University of Queensland, Australien. Linda Blackall var anställd som Lise Meitner-gästprofessor vid avdelningen för VA-teknik i Lund under perioden april till september 2004. Omkostnaderna för genomförandet har betalats av kursdeltagarna, VA-teknik och ANOX AB.

Delprojekt 3: Projekt rörande avvattningsbarhet hos bio-P-slam jämfört med kemfällt slam

Inledande försök som har genomförts inom ramen för Öresundscen-tret CIV (Center för Industriell Vattenmiljöteknik) på Öresundsverket i Helsingborg har visat att slam från processlinjer drivna med bio-P har betydligt bättre sedimentationsegenskaper och avvattningsegenskaper jämfört med slam från linjer där man har stöd doserat med järn. Erfarenheter från Holland verkar också bekräfta att bio-P kan vara gynnsamt för både sedimentering och avvattning. Dessa erfarenheter strider dock mot resultat från vissa anläggningar där införandet av bio-P har inneburit sämre slamegenskaper.

Delprojekt 1 har genomförts av Anna Maria Sundin, Käppalaverket, Linus Dagerskog, Karlskrona kommun, Timothy Edvardsson, Ström-stads kommun och Andreas Wiberg, Svenskt Vatten med stöd från hela Bio-P-nätverket.

Delprojekt 2 och 3 har främst genomförts av medarbetare från Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik vid Lunds Tekniska Högskola (nu Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik, Institutionen för Kemi-teknik, Lunds Tekniska Högskola), Jes la Cour Jansen, Karin Jöns-son och Eva Tykesson. Magnus Christensson, ANOX AB, och Linda Blackall från Advanced Wastewater Management Centre, University of Queensland, Australien har medverkat i kursen i mikrobiologi och Lars-Erik Jönsson Öresundsverket har deltagit i delprojekt 3.

I delprojekt 3 har dessutom en rad examensarbetare som har genom-fört sina projekt inom området medverkat och PhD Alzbeta Bouskova från Institutet för Kemisk Teknologi, Prags Universitet, har gjort en del av sitt doktorsarbete inom delprojektet finansierat av Svenska Institutet och Kemira AB.

Bio-P-nätverkets anläggningar har i alla delar av projektet medverkat med entusiasm och interesse för biologisk fosforavskiljning, med slam till experiment, med kunskap om anläggningarnas inriktning och drift och med diskussioner om bio-P på de träffar som varit under projektets gång.

3 Hemsida för Bio-P-nätverket

En hemsida för Bio-P-nätverket är etablerad och underhålls av Bio-P-nätverkets medlemmar. Den finns som en del av Svenskt Vattens hemsida på <http://www.svensktvatten.se/web/Bio-P.aspx>

Innehållet på hemsidans framsida visas nedan:

Nätverket för biologisk fosforering (bio-P)

Nätverket består av omkring 20 kommuner i Sverige där man använder biologisk fosforering på avloppsreningsverken för att minska användningen av fällningskemikalier.

Bakgrund

Intresset för biologisk fosforering som ett alternativ till kemisk fosforering inom avloppsvatten- rening ökar stadigt i Sverige. I mars 2003 startades ett nationellt bio-P-nätverk för att öka erfarenhetsutbytet om processen.

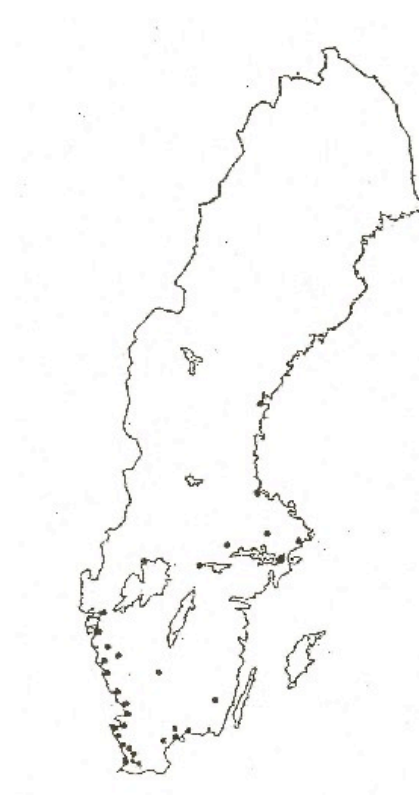
Syfte

Nätverkets främsta syfte är att främja erfarenhetsutbytet mellan kommuner som jobbar med bio-P. De grundpelare som utgör stommen i detta arbete är:

- [Nätverksträffar med seminarier och gruppdiskussioner](#)
- [Bio-P-databas](#)
- [Nyhetsbrev](#)
- Gemensamma projekt
- [Kurser](#)

Hur blir man medlem i nätverket?

Nätverket består av kommuner som bedriver eller planerar att starta upp en bio-P-process. Medlemsskapet är kostnadsfritt. Nätverkets aktiviteter bygger på ett gemensamt engagemang och intresse att utbyta erfarenheter om bio-P-processen. Kontakta [Jannice Örnmark](#) för att registrera dig som medlem.



Det framgår av hemsidan att nätverkets främsta syfte är att främja kontakten och erfarenhetsutbytet mellan kommuner som arbetar med bio-P. De grundpelare som utgör stommen i detta arbete är:

- Nätverksträffar med seminarier och gruppdiskussioner
- Bio-P-databas
- Nyhetsbrev
- Gemensamma projekt
- Kurser

På hemsidan finns dokument från de seminarier och nätverksträffar som hålls ca en gång per år.

Databasen som underhålls inom nätverket uppdateras ca en gång per år; men hålls tills vidare inom gruppen av deltagande anläggningar. Databasen innehåller detaljinformation om nätverkets anläggningar och kontaktuppgifter i syfte att underlätta den direkta kontakten mellan nätverkets deltagare. En detaljerad beskrivning av databasen finns i VA-Forsk rapport Nr B 2004-102 *Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Karakterisering, kartläggning och planering*.

Nyhetsbrev skickas vid behov. De innehåller allmänna nyheter av intresse för nätverkets deltagare, bl.a. nya bio-P-relaterade examensarbeten eller andra projekt av intresse för gruppen.

Gemensamma projekt var tänkt att innehålla information om projekt genomförda gemensamt inom nätverket; men för tillfället finns inga sådana.

Kurser innehåller beskrivning av de kurser som för tillfället erbjuds inom nätverket, men behov av kurser diskuteras varje år på nätverksträffen och etableras vid behov.

Hemsidan är tänkt som svenska kommuners ingång till nätverket och en allmän introduktion och beskrivning av nätverkets aktiviteter. Samarbete och erfarenhetsutbyte finns som direktkontakt mellan nätverkets deltagare på träffar eller i vardagen.

4 Kursverksamhet

Inom Bio-P-nätverket har kursverksamhet varit en viktig aktivitet sedan nätverkets etablering. I fas 1 utvecklades och genomfördes en laborationskurs för personal från avloppsreningsverk. Kursen har hittills genomförts två gånger om vardera tre dagar med en dags teori om bio-P som bakgrund för laboratoriearbetet, en dags laborativt arbete med metoder för utvärdering av avloppsvatten och slam för bio-P och en sista dag för utvärdering och tolkning av resultaten. Kursens detaljer och genomförande är rapporterad i VA-Forsk rapport Nr B 2004-102 *Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Karakterisering, kartläggning och planering*.

Behovet av kurser diskuteras ständigt och två typer av kursinriktningar utöver ovan nämnda blev identifierades som centrala för arbetet med bio-P:

- Allmän kurs för driftspersonal som ska medverka i driften av bio-P-anläggningar
- Kurs för laboratoriepersonal med intresse för och kunskap om mikrobiologi. Hur kan man använda mikroskop som ett led i driftsuppföljning av bio-P-processen?

Efter diskussioner inom nätverket om kursernas inriktning tog Vattenförsörjnings- och Avloppsteknik (VA-teknik) i Lund fram förslag till program för de två kurserna.

Allmän kurs för driftspersonal som ska medverka i driften av bio-P-anläggningar

En kurs för driftspersonal genomfördes av VA-teknik i Lund i samarbete med Öresundsverket i Helsingborg och nätverkets deltagare. I april 2006 hölls kursen första gången med 27 deltagare. Kursprogrammet finns som bilaga 1.

Syftet med kursen är att ge deltagarna en allmän beskrivning av biologisk fosforavskiljning och den innehåller följande:

- Vad krävs för en fungerande bio-P-process?
- Underlag för att kunna bedöma om reningsverket och inkommande vattenkvalitet lämpar sig för en bio-P-process.
- Fördelar och nackdelar med de skilda processutformningar som finns i Sverige.
- Provtagningsstrategier för daglig uppföljning av bio-P-processen.
- Vilka driftsproblem som kan uppstå och hur de åtgärdas.
- Metoder för att förbättra bio-P-processen genom att öka mängden kolkälla in till biosteget via primärslam- eller returslamhydrolys.
- Hur startar man upp en bio-P-anläggning?

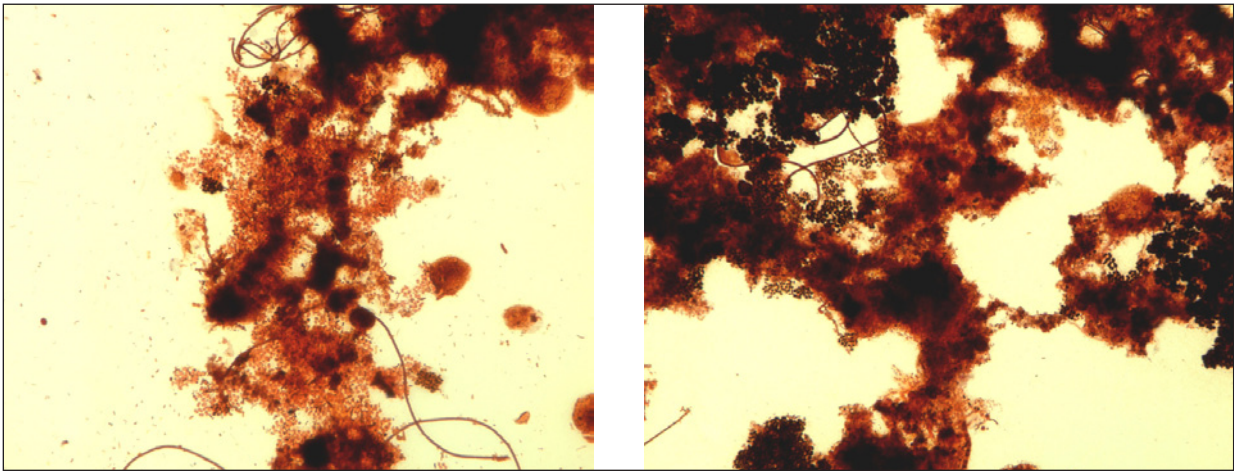
De sista delarna av kursen är direkta resultat av arbetet i bio-P-projektets fas 2 om uppstart och drift av bio-P-anläggningar.

Kurs i användningen av mikroskopering och mikrobiologi på reningsverk med bio-P-drift

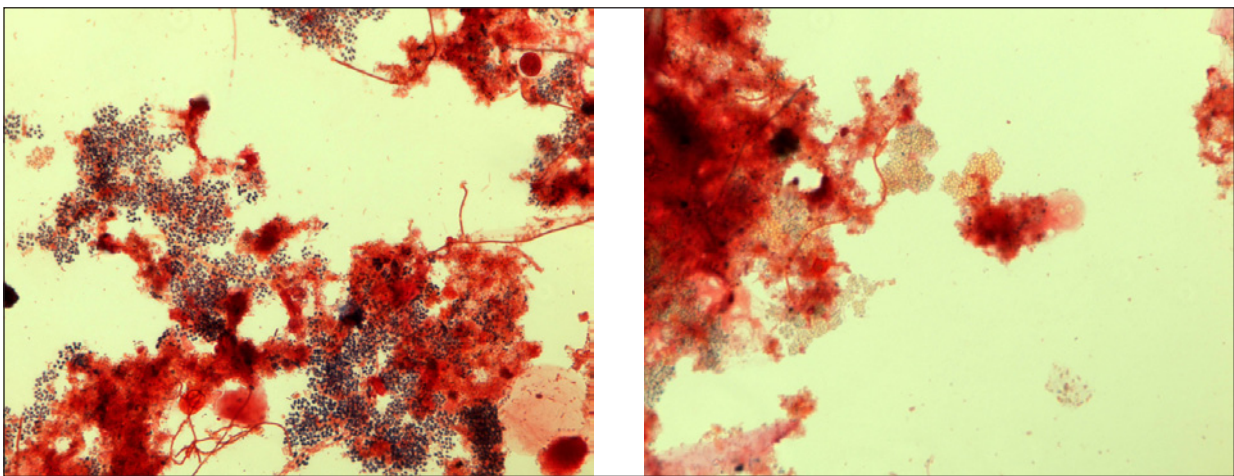
En kurs för laboratoriepersonal med intresse för och kunskap om mikrobiologi togs fram och genomfördes i ett samarbete mellan VA-teknik, ANOX AB (nu AnoxKaldnes) och Linda Blackall från Advanced Wastewater Management Centre, University of Queensland, Australien. Bakgrunden var intresse hos reningsverken och att Linda Blackall kom till VA-teknik i Lund som Lise Meitner-gästprofessor under perioden april till september 2004. Linda Blackall är världsledande inom forskningen kring mikrobiologin i bio-P. AnoxKaldnes driver kursverksamhet inom avloppsvattenrening och kursen var ett bra supplement till dessa kurser.

Kursen var en endags laboratoriekurs med tonvikt på infärgningstekniker av slam vilka kan användas på anläggningar med bio-P. Kursen låg dagen efter den årliga nätverksträffen och där gavs en allmän introduktion till mikrobiologin inom bio-P så att kursdeltagarna var redo för en hel dag vid mikroskopet då de kunde använda eget slam om de hade bio-P på verket. 16 personer deltog i kursen som ägde rum på AnoxKaldnes i Lund.

Bedömning av slam med förväntad bio-P-förmåga kan ske genom infärgning av slam från anläggningens anaeroba och aeroba zon. Slammets halt av fosfor kan bedömas genom infärgning (med Gohar-reagens). På samma sätt kan slammets halt av PHA (PolyHydroxyAlkanoter) synliggöras genom infärgning (med Sudan black). I figur 4-1 nedan ses till vänster slam från den anaeroba zonen på Öresundsverket där slammet har släppt sin fosfor och till höger infärgning av slam från den aeroba zonen. I aerobzonen ses upptaget av fosfor i cellerna tydligt i de fosforgranuler som blir svarta genom infärgningen. I figur 4-2 ses de höga halter PHA som cellerna har byggt upp genom VFA-upptaget i den anaeroba zonen till vänster och att innehållet i stort sett är borta i den aeroba zonen (höger bild) där bio-P-bakterierna har använt sig av PHA för uppbyggnad av fosforgranulerna. Båda metoderna ger därför ett bra intryck av graden av närvaro av bio-P-bakterier i slammet.



Figur 4-1 Minimala (vänster) och maximala (höger) halter av fosfor inuti cellerna i den anaeroba och den aeroba tanken på Öresundverket. (Foto: Linda Blackall)

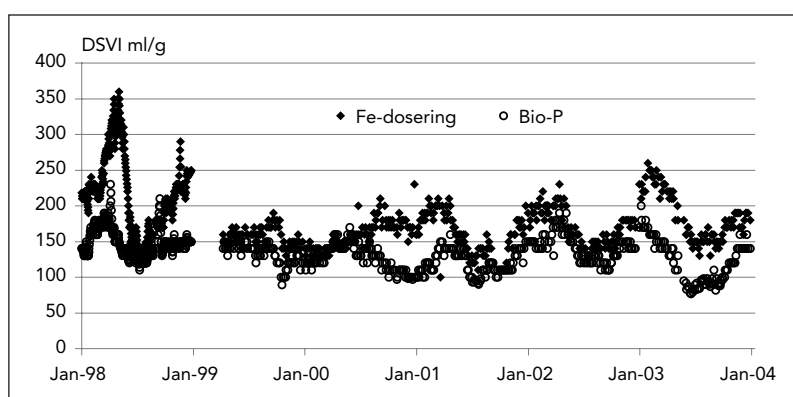


Figur 4-2 Maximala (vänster) och minimala (höger) halter av PHA inuti cellerna i den anaeroba och den aeroba tanken på Öresundverket. (Foto: Linda Blackall)

5 Avvattningsbarhet hos bio-P-slam jämfört med kemfällt slam

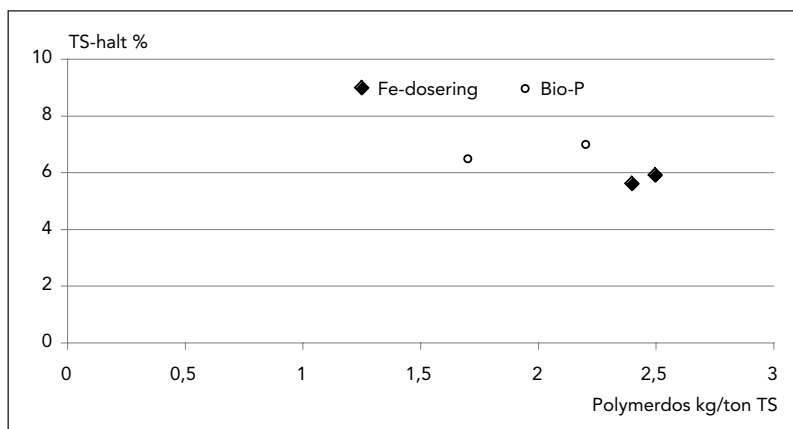
5.1 Bakgrund

På Öresundsverket i Helsingborg har i långa perioder 1–2 linjer drivits enbart med biologisk fosforavskiljning, medan övriga linjer drivs med järndosering som stöd för den biologiska fosforavskiljningen. Det har genom många år kunnat konstateras att slamegenskaperna varit bättre i linjer med bio-P än i linjer med supplerande stöddosering av järn. En väsentlig skillnad ses tydligt i figur 5-1 där linjen med bio-P har ett mer stabilt och lägre index. Skillnaden har också varit tydlig när en linje med stöddosering ställts om till enbart bio-P. Inom någon månad sjönk indexet till de andra bio-P-linjernas nivå.



Figur 5-1 Slamvolymindex - sjunkegenskaper i bio-P-slam och slam med järndosering på Öresundsverket i Helsingborg.

De goda sjunkegenskaperna visade sig också ge bättre slamavvattning av överskottsslam med silbandsavvattnare, vilket framgår av figur 5-2. Det ses att halten torrsubstans i avvattnat slam är väsentligt högre i bio-P-linjen även med en lägre polymerdos.



Figur 5-2 TS-halt vid avvattning med silband av slam från en linje med enbart bio-P och från en linje med stöddosering av järn.

Bättre sjunkegenskaper ger högre hydraulisk kapacitet och bättre slamavvattning underlättar slamhanteringen på verket. Delprojektet syftade därför till att dokumentera om de resultat som uppnås på Öresundsverket är allmänt gällande på bio-P-verk och om dessa verk skiljer sig ifrån verk utan bio-P, där fosforavskiljningen enbart sker genom simultanfällning med järn.

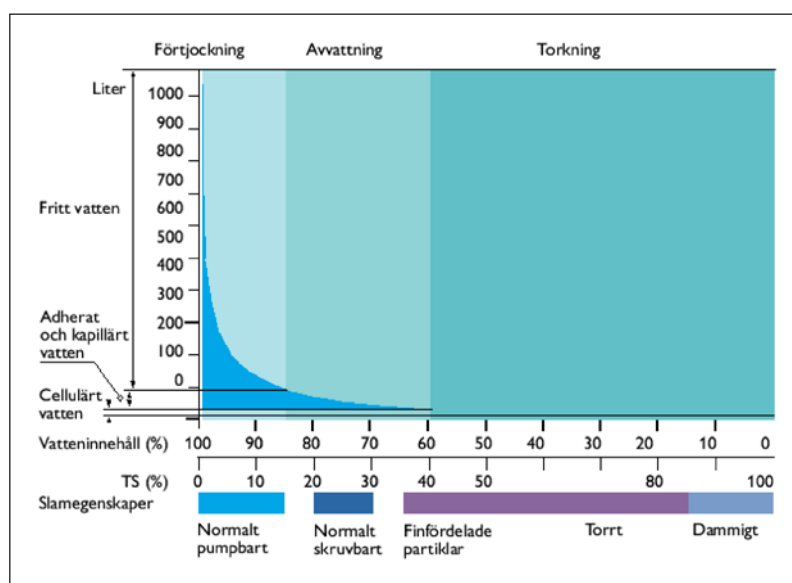
5.2 Slams förmåga att binda vatten

Slam består av fasta ämnen och vatten. Vattnet innehåller dessutom lösta ämnen, som inte kommer att avlägsnas vid avvattning. De fasta ämnena utgörs till stor del av mikroorganismer, som omger sig med en gelatinös substans. Substansen fungerar förmodligen som skydd mot uttorkning samt näringskälla, och den försvårar möjligheterna att separera vätska och torrsubstans.

Det vatten som ingår i slammet har egenskaper som skiljer sig väsentligt från "vanligt" vatten och brukar indelas i följande fraktioner (se även figur 5-3):

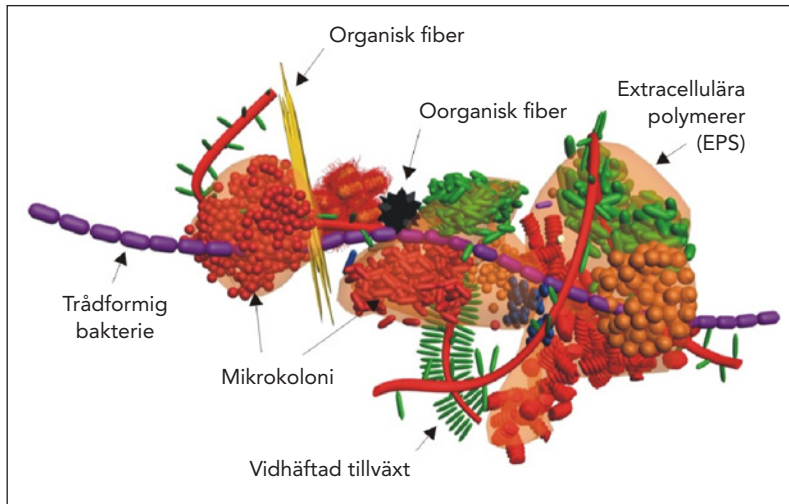
- Fritt vatten, helt obundet till partiklar.
- Kapillärt bundet vatten.
- Ytbundet vatten. Till slampartiklarnas yta kan vattenmolekyler bindas.
- Kemiskt bundet vatten. Vatten som på olika sätt binds till metalljoner.
- Cellulärt vatten, som förekommer inuti cellerna.

Genom förtjockning och avvattning får man främst separerat fritt vatten från slammet, men delvis även kapillärt och ytbundet vatten. Kemiskt bundet vatten och cellulärt bundet vatten kräver kraftigare påverkan än vanlig avvattningsutrustning ger för att tas bort, till exempel torkning.



Figur 5-3 Fördelningen av vatten i slam (Gillberg et al., 2003).

Betraktar man uppbyggnaden av biologiskt slam lite mer detaljerat ger figur 5-4 huvudkomponenterna. Slamflockar består av bakteriekolonier sammanhållna av trådformiga bakterier och extracellulära polymerer (EPS) som är gelatinösa substanser som binder samman flocken. Dessutom finns organiskt material sorberat till slamflockarna. Om simultanfällning tillämpas på ett verk innehåller slammet dessutom en stor del järnfosfat och järnhydroxid. EPS och järnföreningar har förmåga att binda vatten.



Figur 5-4 Huvudkomponenterna i aktivslamflockar (Översatt från Larsen et al., 2009).

5.3 Tillvägagångssätt

Från början var insatsen tänkt att koncentreras på slamavvattning eftersom det relativt sett är enklare att utvärdera avvattningen på många verk och jämföra resultat från verk med bio-P med verk med simultanfällning. Utvärdering av sjunkegenskaperna är krångligare eftersom en bra utvärdering kräver att verk drivs med parallella linjer med och utan bio-P. Sjunkegenskaperna varierar kraftigt och bra eller dåliga sjunkegenskaper kan ha många olika ursprung som inte har någon anknytning till sättet att avskilja fosfor. En bra dokumentation kräver därför ett antal anläggningar med paralleldrift av bio-P och simultanfällning (och det visade sig att bara Öresundsverket drevs systematiskt på det sättet) eller ett stort antal anläggningar där effekten på sjunkegenskaperna från många källor kan utvärderas samtidigt.

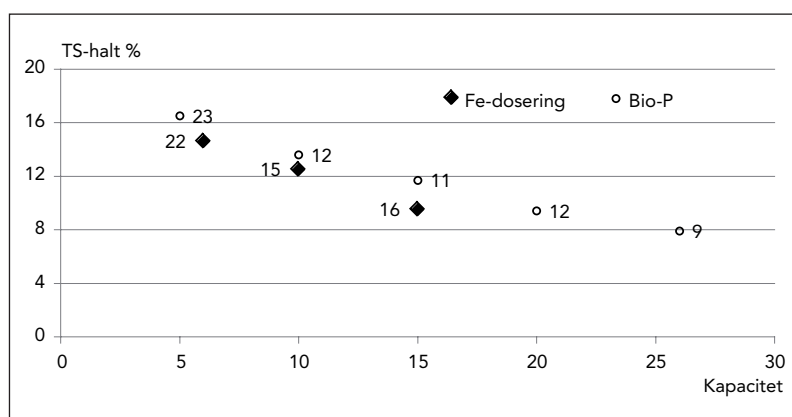
Det finns i dag ingen enkel metod för att bedöma slams avvattning. Ett antal metoder är kända, men de har inte visat sig generellt användbara. Problemet är dels att de grundläggande mekanismerna bakom avvattning inte är kända i en sådan omfattning att metoder kan tas fram för att ge en allmän bedömning av avvattningen och dels att effektiviteten hos de olika avvattningstekniker som idag används i fullskala inte är beroende av samma egenskaper hos slammet. Det är alltså inte troligt att en enskild metod kan tas fram som kan användas för karakterisering av slams avvattning oberoende av det system som skall utföra avvattningen i praktiken.

I arbetet med att utvärdera avvattningsegenskaper har fokus varit på två områden:

- Avvattningen av slam från Öresundsverkets två typer av slam har genom ett Öresundsprojekt utvärderats ytterligare genom centrifugeringsexperiment i fullskala.
- Tre mycket skilda metoder för karakterisering av avvattning av slam har använts i syftet att få så bred bedömning av avvattning som möjligt och metoderna har tillämpats på slam från många verk. Slammet har undersökts för bio-P-aktivitet, metallhalt och avvattningsbarhet för att kunna karakterisera slammet som bio-P-slam eller simultanfällt slam parallellt med bedömningen av avvattningen.

5.4 Avvattningen av slam från Öresundsverket i fullskala med centrifug

I samband med Öresundsprojektet CIV (Center for Industriel Vandmiljøteknologi) har ett fullskaleexperiment med en dekantercentrifug genomförts på Öresundsverket för att utvärdera en rad nya metoder för karakterisering av avvattningen av slam. Under några veckor användes en dekantercentrifug för optimering av slamavvattning från de två typerna av slam på Öresundsverket. Resultaten är beskrivna i Klausen och Jansen (2004) och visade tydligt att bio-P-slammet var långt lättare att avvattna än slam där järn använts som stöd för fosforavskiljningen. Figur 5-5 visar undersökningens huvudresultat. I figuren visas den maximala torrsubstanshalten i det avvattnade slammet vid ökande centrifugeringskapacitet. Den använda polymerdoseringen (kg/ton TS) efter optimering av avvattningen är angiven i figuren. Det ses att bio-P-slammet når högre TS-halter vid samma eller lägre polymerdoser för alla kapaciteter. Det ses även att centrifugen kunde drivas med högre kapacitet med bio-P-slam än med slam från linjen med stöddosering av järn eftersom centrifugen inte gick att drive vid högre kapacitet än 15 m³/h med det sistnämnda slammet. Undersökningen bekräftade de tidigare funna resultaten att bio-P-slammet på Öresundsverket gick att avvattna väsentligt bättre än slammet med stöddosering av järn. Också



Figur 5-5 TS-halten i avvattnat slam från Öresundsverket som funktion av centrifugkapaciteten. Polymerdosen vid drift med maximal torrsubstans är angiven vid varje punkt.

halten suspenderad substans i rejektvattnet var lägre från avvattning av bio-P-slam än vid avvattning av slam från linjen med järndosering.

5.5 Metoder för bedömning av slams avvattningsbarhet

Det finns internationellt en rad metoder för bedömning av slams avvattningsbarhet, men ingen är riktigt bra. Problemet är att även om de fundamentala frågeställningarna är kända saknas kunskap om de involverade mekanismerna speciellt vad gäller slammets egenskaper och dess betydelse för avvattningen i de vanligaste typerna av avvattningsutrustningar. Det förväntas därför att det inte går att hitta en enskild metod som generellt kan karakterisera avvattning oberoende av vilken avvattningsmetod som skall användas.

Tre skilda metoder har använts i detta delprojekt:

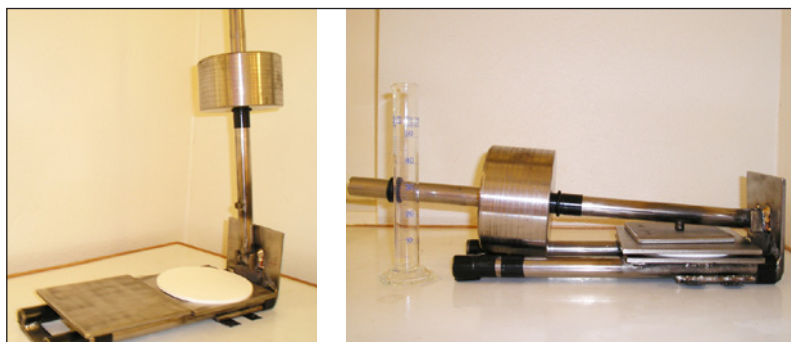
- CST (Capillary Suction Time) är internationellt sett en välkänd metod som utvecklades av Baskerville och Gale (1968).
- Kemira AB har tagit fram ett förslag till en ny snabbmetod. Metoden är uppdelad i två steg och möjliggör en bedömning av filtrerbarhet först och kompression efteråt. Genom detta förfarande får man möjlighet att bedöma slammets filtrerbarhet (som är väsentlig för alla typer av slamavvattning baserade på silband o dyl.) och kompressibilitet (som är väsentlig för alla typer av utrustningar baserade på centrifugering och pressning).
- Slammets halt av extracellulära polymerer (EPS) används i stigande grad som bedömningsgrund för slams förmåga att binda vatten och kan vara en metod för att mer allmänt bedöma avvattningen (Frølund et al., 1996).

CST är en snabb och enkel metod utvecklad av Baskerville och Gale (1968) för att undersöka avvattningsegenskaperna hos slam. Man konstruerade en testapparat för bestämning av kapillär uppsugningstid, capillary suction time (CST). Mätning av CST är ett rent empiriskt test och vilar inte på en teoretisk analys av avvattningsegenskaperna (Vesilind, 1988). Testet har dock många praktiska fördelar genom att det är snabbt, billigt och enkelt att genomföra. Det har under mer än tjugo år använts på reningsverk för att utvärdera inverkan av tillsatta kemikalier och för att spåra förändringar i avvattningsegenskaperna hos slammet.

CST-apparaturen består av två plastblock, ett rör av rostfritt stål, filterpapper, två elektriska kontakter placerade i det övre plastblocket och en elektrisk timer. Testets genomförande börjar med att en bit filterpapper placeras mellan de två plastblocken och stålröret placeras i öppningen i det övre blocket. Det uppmätta provet hålls i stålröret, varvid vattnet successivt sugs upp av filterpapperet. Vattnet kommer att bilda en gradvis växande cirkulär area på papperet, och när vattnet nått ca 0,8 cm utanför stålröret nås den första kontakten och en elektrisk signal startar tidtagningen. Efter ytterligare 0,7 cm nås den andra kontakten, som stoppar tidtagningen. Den kapillära uppsugningstiden

i sekunder kan avläsas direkt från timern. Hög CST innebär alltså att slammet avger vatten långsamt, medan lägre CST-värden innebär att slammet avger vatten snabbt. Vanligtvis anges den specifika kapillära uppsugningstiden genom division med torrsubstanshalten i provet.

Kemira AB har tagit fram ett förslag till en ny snabbmetod för bedömning av slams avvattningsbarhet. I bilaga 2 finns en detaljbeskrivning av metoden. Metoden baseras på filtrering och pressning av en väldefinierad mängd slam. Efter filtrering pressas slam i en press med en väldefinierad tyngd. Figur 5-6 nedan visar pressen öppen och stängd. Metoden är enkel att använda och förväntas ge ett relativt mått på hur lätt slam är att filtrera och att komprimera. Inga polymerer används och metoden förväntas ge en relativ bedömning av avvattningen och inte ett exakt mått på vad som kan uppnås i en fullskaleutrustning. Metoden och dess utvärdering finns beskriven i tre examensarbeten (Andersson, 2005; Tastu, 2007 och Texier, 2008). Dessutom är den beskriven i (Bouskova, 2007).



Figur 5-6 Kemira ABs press för karakterisering av slams avvattningsbarhet; öppen till vänster, stängd till höger.

Extracellulära polymerer (EPS) har stor betydelse för vattenbindningen i slam. Biologiskt slam består av mikroorganismer, oorganiska partiklar, katjoner och stora mängder vatten och därtill anses extracellulära polymerer utgöra en dominerande komponent. EPS bildar ett tredimensionellt nätverk i vilket mikroorganismerna är mer eller mindre immobiliserade. EPS härrör dels från mikroorganismerna själva, dels från det inkommande avloppsvattnet och utgörs av en heterogen blandning av ämnen, såsom proteiner och kolhydrater (70–80 %) med resterande del bestående av fetter, nukleinsyror och humusämnen (Frølund et al., 1996). EPS kan binda en stor mängd vatten och är därför intressant att studera då man tittar på avvattningsegenskaperna hos slam.

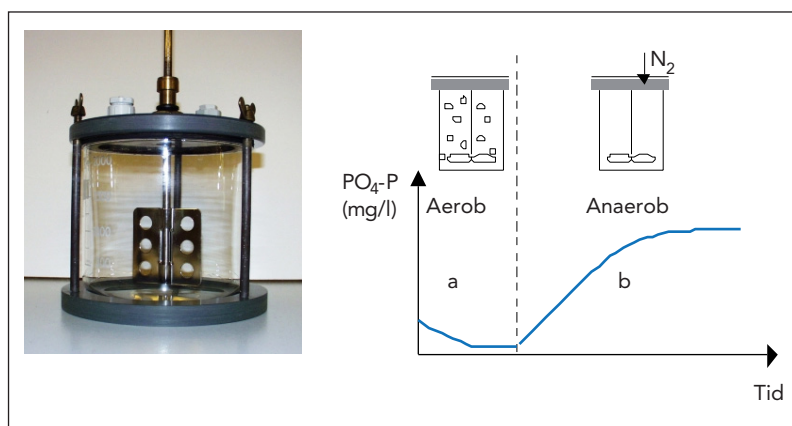
Olika metoder kan användas för att extrahera EPS ur aktivt slam, såsom till exempel värme och centrifugering. Det är av vikt att extraktionen är effektiv, inte sliter sönder EPS och orsakar så liten sönderdelning av bakteriecellerna som möjligt. En metod som visat sig ge goda resultat innebär att ett CER (cation exchange resin) används. CER är ett ämne som avlägsnar katjoner från slammet, vilket leder till att flockningsmaterialet sönderfaller och EPS frigörs. En CER-metod användes för dessa experiment. I korthet innebär metoden följande: Slammet tvättas först med en fosfatbuffer av ungefär samma konduktivitet som

avloppsvatten. Detta för att avlägsna eventuell upplöst EPS. Vätskefasen från centrifugeringen analyseras med avseende på löst EPS och redovisas som löst EPS. CER tillsättes provet och suspensionen omröres under två timmar. Genom centrifugering avlägsnas CER, varefter följer ny centrifugering av resterande lösning för att separera flockkomponenter. Vätskefasen från den sista centrifugeringen analyseras med avseende på EPS som är upplöst genom behandlingen (anges som extraherbart EPS). En detaljerad metodbeskrivning återfinns i (Frølund et al., 1996). Vanligtvis anges löst och extraherbart EPS som specifika värden $d v s i$ i enheten mg EPS/g VS.

5.6 Karakterisering av slam efter bio-P-aktivitet och metallhalt

För att skilja på slam från bio-P-anläggningar och anläggningar med enbart simultanfällning användes två metoder förutom naturligtvis anläggningens egen beskrivning av verkets process. Genom fosforsläppsförsök utvärderades slammets förmåga att släppa fosfor och därmed dokumenterades närvaro av bio-P-bakterier. Genom mätningar av metallhalter i slammet framkom omfattningen av användningen av fällningsmedel. De allra flesta anläggningarna i Sverige med bio-P-drift använder stöddosering i varierande omfattning för att säkerställa att kraven på fosforavskiljning uppfylls. En utökad beskrivning av sambandet mellan bio-P-drift och metallhalt i slammet finns i rapport från SVU-projekt 2009-08 *Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Uppstart och drift* (Jansen et al., 2009).

Metoden för genomförande av bio-P-släpp finns beskriven i (Tykesson och Jansen, 2005). Metoden baseras på att mäta P-släppet från aktivt slam med tillsats av ättiksyra under anaeroba förhållanden. Innan släppet syresätts slammet för att tillåta upptag av fosfor som har släppts under transport av slammet till laboratoriet. Den maximala lutningen på P-släppskurvan är ett mått på halten av bio-P-bakterier. Figur 5-7 visar laboratorieutrustningen och en skiss av hur fosfor varierar under ett P-släppsexperiment.



Figur 5-7 Utrustning för P-släppsförsök och skiss av fosforvariation i ett P-släppsförsök.

5.7 Resultat

Slam från ett stort antal reningsverk ingick i försöket att dokumentera om avvattningsbarheten för slam från bio-P-anläggningar var bättre än för slam från anläggningar med vanlig simultanfällning. De flesta anläggningarna är svenska men två danska anläggningar med parallella linjer med någon skillnad i driftssättet är inkluderade. Tabell 5-1 ger en översikt över anläggningarna med resultaten av släppförsök och metallhalt inkluderade. I tabellen är uppdelningen mellan anläggningar med och utan bio-P markerad. Det ses att alla anläggningar har en betydande halt av järn (eller aluminium som är omräknad till en ekvivalent järnmängd), men att medelhalten är väsentligt lägre på anläggningarna med bio-P. Det går inte att på något helt entydigt sätt skilja på anläggningar med och utan bio-P, men i sammanställningen användes kriteriet att P-släppshastigheten ska vara betydande ($> 2 \text{ mg P/g VSS,h}$)

Tabell 5-1 Metallhalt och bio-P-aktivitet på försökets anläggningar.

Reningsverk	Datering	Halt Al+Fe mg/gVSS	Halt Al+Fe mg/gVSS	P-släppshastighet mg/g VSS,h	P-släppshastighet mg/g VSS,h
Avedöre - line 1,2	apr-05	29,0		6,22	
Avedöre - line 1,2	sep-05	35,9		12,39	
Avedöre - line 3,1	apr-05	46,5		6,29	
Avedöre - line 3,1	sep-05	40,5		10,53	
Damhusåen - line B	maj-05	46,6		6,58	
Damhusåen - line C	maj-05	34,2		7,01	
Källby - linje 3	mar-05	25,0		3,09	
Källby - linje 3	jul-05	53,9			
Källby - linje 4	mar-05	26,8		3,88	
Källby - linje 4	jul-05	54,4			
Landskrona	maj-05	21,0		7,16	
Staffanstorps	apr-05	4,7		2,83	
Staffanstorps	aug-05	7,4		4,55	
Helsingborg 3	jun-03	30,8		14,77	
Helsingborg 3	okt-05	22,0		17,78	
Helsingborg 4	jun-03	37,1		7,55	
Helsingborg 1 (kemi)	nov-04		56,7		
Helsingborg 1 (bio-P)	jun-05	37,5		15,65	
Helsingborg 2 (kemi)	nov-04		60,8		
Helsingborg 2 (bio-P)	jun-05	44,3		9,70	
Helsingborg 2 (kemi)	okt-05		126,5		6,64
Sjölunda	apr-05		37,0		0,51
Sjölunda	aug-05		85,3		1,85
Åled	maj-05		27,1		-0,05
Oskarström	okt-05		119,7		0,11
Halmstad	okt-05		119,2		-0,02
Bio-P-slam	Medel	35,9		8,50	
	St.dev.	14,0		4,58	
Kemiskt slam	Medel		65,6		1,81
	St.dev.		36,0		2,8

och metallhalten inte alltför hög. Några av linjerna på Öresundsverket i Helsingborg har betydande P-släpp och samtidigt en relativt högt järnhalt. De är i tabellen rubricerade som anläggningar med kemisk fällning.

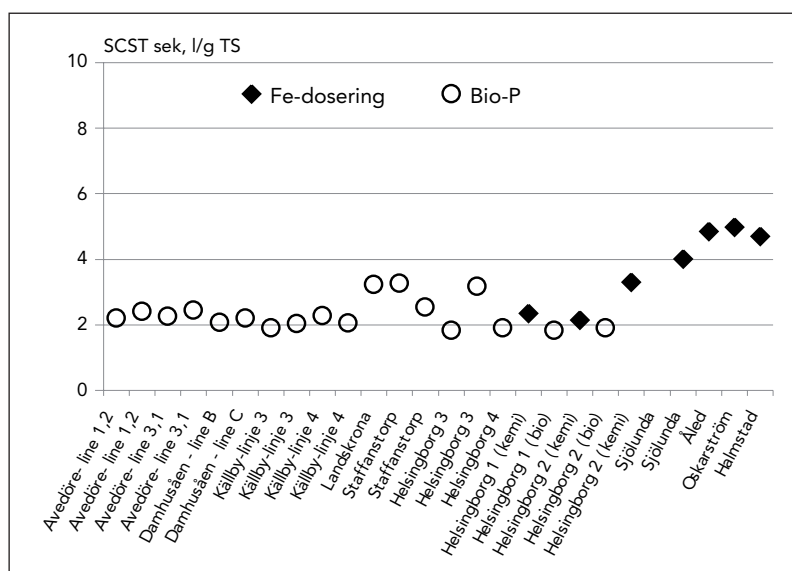
Mätning av CST på anläggningar med bio-P och på anläggningar med vanlig kemisk fällning

I tabell 5-2 visas resultat av mätningarna av specifika kapillära uppsugningstiden för alla anläggningarna och i figur 5-8 är resultaten visade grafiskt.

Det ses att bio-P-anläggningar har en lägre specifik kapillär uppsugningstid vilket betyder att slammet avger vatten snabbt och därmed förväntas ha bättre avvattningsegenskaper än anläggningarna med vanlig kemisk fällning. Sjölunda har ett extremt högt värde i april 2004.

Tabell 5-2 Specifika kapillära uppsugningstiden för anläggningar med bio-P och med vanlig kemisk fällning.

Reningsverk	Datering	SCST [sec,L/gTS]	SCST [sec,L/gTS]
Avedöre - line 1,2	apr-05	2,21	
Avedöre - line 1,2	sep-05	2,41	
Avedöre - line 3,1	apr-05	2,25	
Avedöre - line 3,1	sep-05	2,45	
Damhusåen - line B	maj-05	2,08	
Damhusåen - line C	maj-05	2,21	
Källby - linje 3	mar-05	1,91	
Källby - linje 3	jul-05	2,03	
Källby - linje 4	mar-05	2,27	
Källby - linje 4	jul-05	2,06	
Landskrona	maj-05	3,22	
Staffanstorp	apr-05	3,26	
Staffanstorp	aug-05	2,53	
Helsingborg 3	jun-03	1,83	
Helsingborg 3	okt-05	3,17	
Helsingborg 4	jun-03	1,90	
Helsingborg 1 (kemi)	nov-04		2,36
Helsingborg 1 (bio-P)	jun-05	1,83	
Helsingborg 2 (kemi)	nov-04		2,15
Helsingborg 2 (bio-P)	jun-05	1,90	
Helsingborg 2 (kemi)	okt-05		3,30
Sjölunda	apr-05		30,3
Sjölunda	aug-05		4,01
Åled	maj-05		4,85
Oskarström	okt-05		4,98
Halmstad	okt-05		4,70
Bio-P-slam	Medel	2,31	
	St.dev.	0,47	
Kemiskt slam	Medel		7,08
	St.dev.		9,45



Figur 5-8 Specifika kapillära uppsugningstiden för anläggningarna uppdelat på anläggningar med bio-P och anläggningar med vanlig kemisk fällning.

Sommartid samma år har värdet sjunkit betydligt och samtidigt kan en viss bio-P-aktivitet ses även om den är låg. De två linjerna på Öresundsverket i Helsingborg med kemisk fällning har värden i nivå med andra bio-P-anläggningar. Det framgår dock av tabell 5-2 (och ses i figur 5-8) att två linjer på Öresundsverket har bytt metod för fosforavskiljning och i båda fallen har den specifika kapillära uppsugningstiden varit lägre under tiden med bio-P än i perioder med stöddosering av järn. Alla resultat bekräftar antagandet om att anläggningar med bio-P har slam med bättre avvattning än anläggningar med vanlig kemisk fällning.

Mätning av filtrerbarhet och kompressibilitet på anläggning med bio-P och på anläggningar med vanlig kemisk fällning

I tabell 5-3 visas resultat av mätningarna av filtrerbarhet och kompressibilitet för alla anläggningarna och i figur 5-9 visas resultatet av filtreringstiden, TS efter filtrering och TS efter pressning.

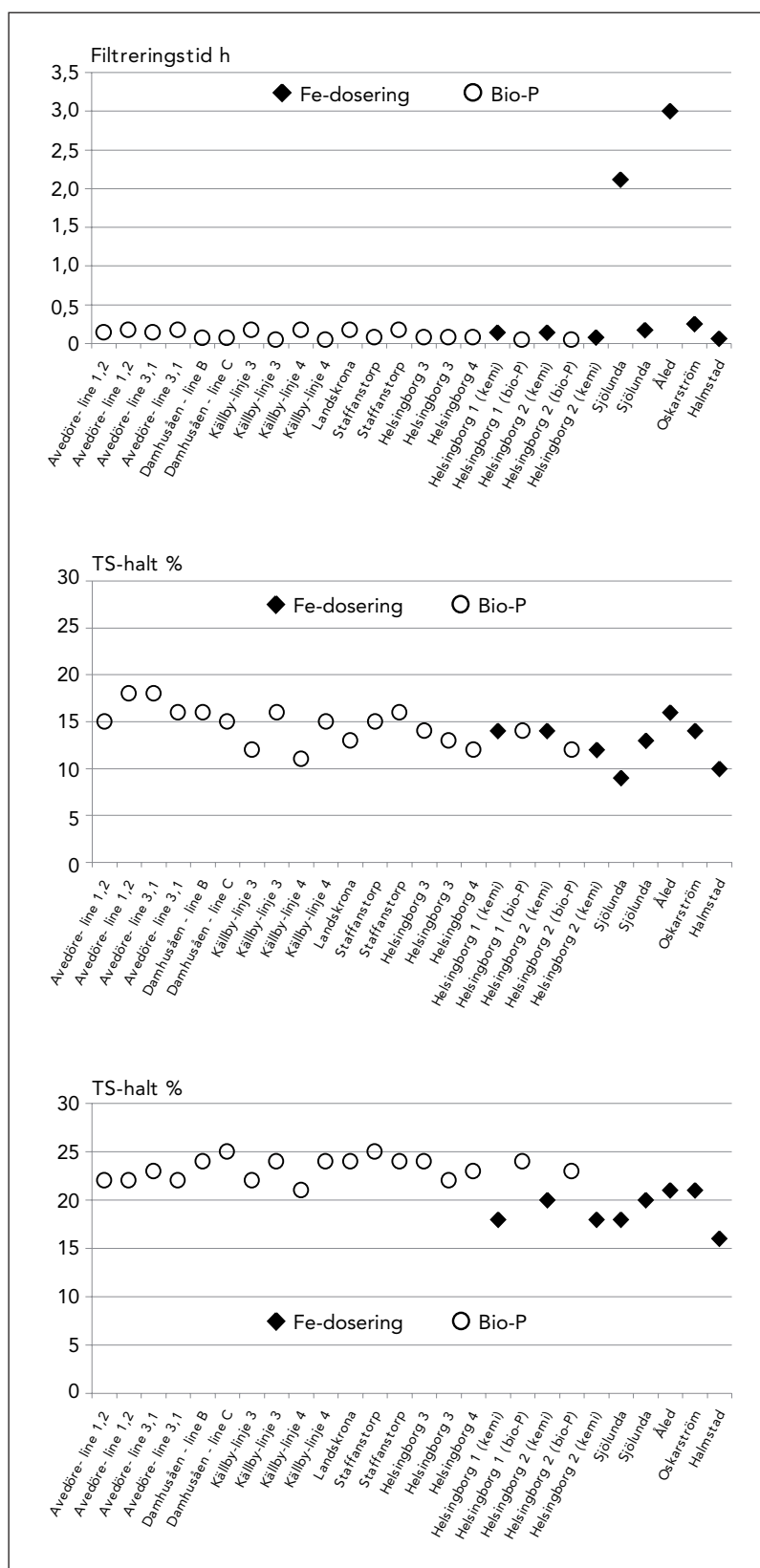
Det ses att slammet från alla bio-P-anläggningar har mycket låga filtreringstider vilket betyder att slammet avger vatten snabbt och därmed förväntas ha bra avvattningsegenskaper. Slammet från anläggningarna med vanlig fällning har starkt varierande filtreringstider. Sjölunda har ett extremt högt värde i april 2004. Sommartid samma år har värdet sjunkit betydligt och samtidigt kan en viss bio-P-aktivitet ses även om den är låg. De två linjerna på Öresundsverket i Helsingborg med kemisk fällning har värden i nivå med andra bio-P-anläggningar. Det framgår dock av tabell 5-3 (och ses i figur 5-9) att de två linjerna har bytt metod för fosforavskiljning och i båda fallen har filtreringstiden varit lägre under tiden med bio-P än under perioder med stöddosering av järn. Bio-P-anläggningarna har också i medel högre TS-halt efter filtreringen än anläggningarna med kemisk fällning. De senare har dock starkt varierande TS-halt. Sjölunda har ett extremt lågt värde i april 2004, men sommartid samma år är värdet mer normalt och

samtidigt kan en viss bio-P-aktivitet ses även om den är låg. Dessutom har bio-P-anläggningarna i medeltal högre TS-halt efter pressning än anläggningarna med vanlig kemisk fällning. Sjölunda har ett lågt värde i april 2004, men sommartid samma år är värdet mer normalt och samtidigt ses en viss bio-P-aktivitet även om den är låg. Resultaten bekräftar antagandet att anläggningar med bio-P har slam med bättre avvattningsförmåga än anläggningar med vanlig kemisk fällning. De två linjerna på Öresundsverket i Helsingborg med kemisk fällning har lägre värden än bio-P-anläggningar. Det framgår av tabell 5-3 (och ses i figur 5-9) att de två linjerna har bytt metod för fosforavskiljning och i båda fallen är TS-halten högre under tiden med bio-P än i perioder med stöddosering av järn.

Alla resultat styrker antagandet att anläggningar med bio-P har slam med bättre avvattningssegenskaper än anläggningar med vanlig kemisk fällning.

Tabell 5-3 Resultat av mätningarna av filtrerbarhet (DS_{filtr}) och kompressibilitet (DS_{press}) för alla anläggningarna.

Reningsverk	Datering	Filtreringstid h	Filtreringstid h	DS_{filtr} %	DS_{filtr} %	DS_{press} %	DS_{press} %
Avedöre - line 1,2	apr-05	0,14		15%		22%	
Avedöre - line 1,2	sep-05	0,17		18%		22%	
Avedöre - line 3,1	apr-05	0,14		18%		23%	
Avedöre - line 3,1	sep-05	0,17		16%		22%	
Damhusåen - line B	maj-05	0,07		16%		24%	
Damhusåen - line C	maj-05	0,07		15%		25%	
Källby - linje 3	mar-05	0,17		12%		22%	
Källby - linje 3	jul-05	0,05		16%		24%	
Källby - linje 4	mar-05	0,17		11%		21%	
Källby - linje 4	jul-05	0,05		15%		24%	
Landskrona	maj-05	0,17		13%		24%	
Staffanstorps	apr-05	0,08		15%		25%	
Staffanstorps	aug-05	0,17		16%		24%	
Helsingborg 3	jun-03	0,08		14%		24%	
Helsingborg 3	okt-05	0,08		13%		22%	
Helsingborg 4	jun-03	0,08		12%		23%	
Helsingborg 1 (kemi)	nov-04		0,14		14%		18%
Helsingborg 1 (bio-P)	jun-05	0,05		14%		24%	
Helsingborg 2 (kemi)	nov-04		0,14		14%		20%
Helsingborg 2 (bio-P)	jun-05	0,05		12%		23%	
Helsingborg 2 (kemi)	okt-05		0,08		12%		18%
Sjölunda	apr-05		2,12		9%		18%
Sjölunda	aug-05		0,17		13%		20%
Åled	maj-05		3		16%		21%
Oskarström	okt-05		0,25		14%		21%
Halmstad	okt-05		0,06		10%		16%
Bio-P-slam	Medel	0,11		14%		23%	
	St.dev.	0,05		2%		1%	
Kemiskt slam	Medel		0,75		13%		19%
	St.dev.		1,15		2%		2%



Figur 5-9 Filtreringstid (överst), TS-halt efter filtrering (mitten) och efter pressning (nederst) uppdelat på anläggningar med bio-P och anläggningar med vanlig kemisk fällning.

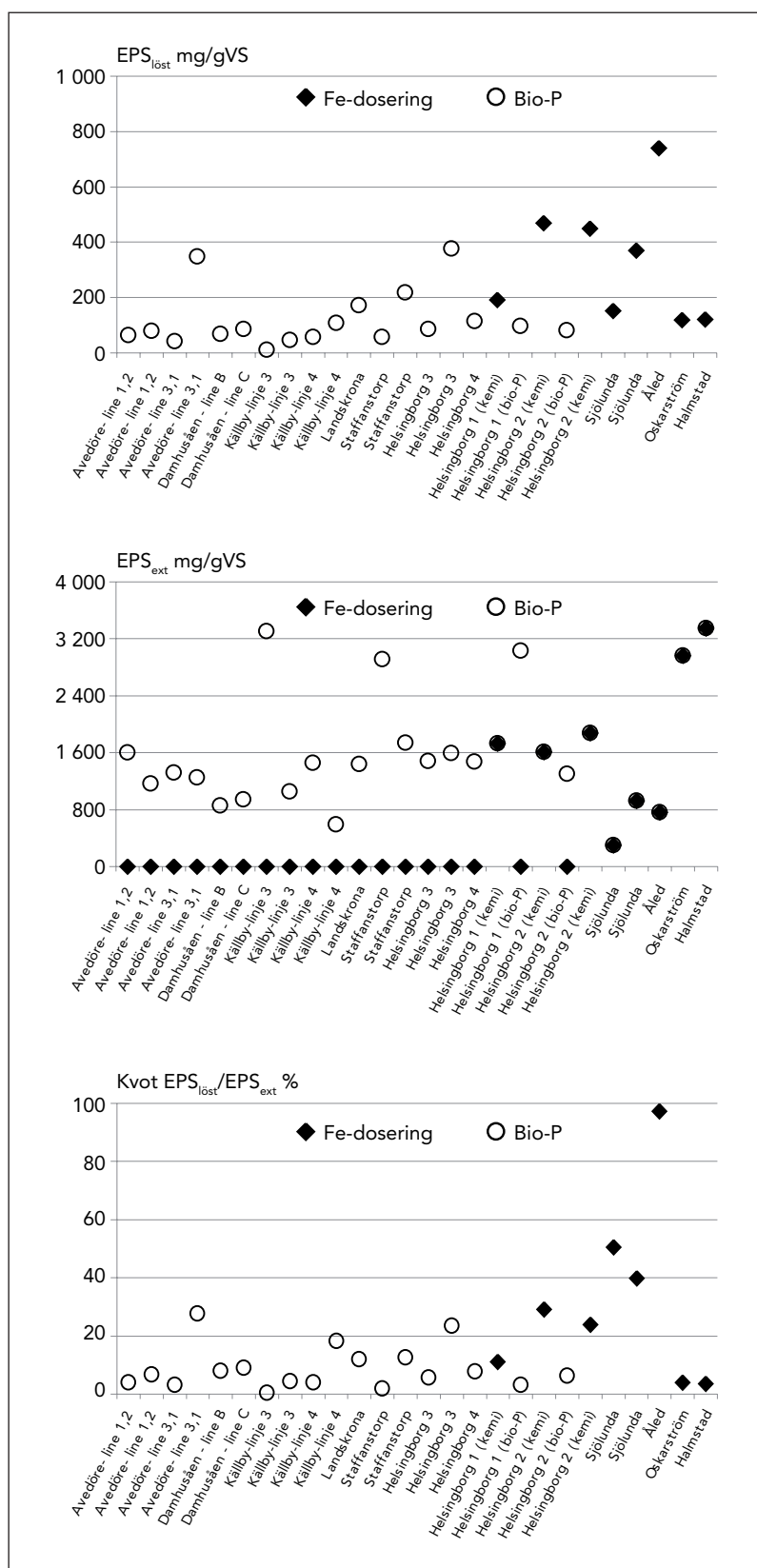
Slammets halt av extracellulära polymerer (EPS) på anläggningar med bio-P och på anläggningar med vanlig kemisk fällning

I tabell 5-4 visas resultat av mätningarna av EPS för alla anläggningarna och i figur 5-10 visas resultaten av löst EPS, extraherbart EPS och kvoten mellan fraktionerna.

Det ses generellt en större spridning av resultaten här jämfört med de andra metoderna. Dock har bio-P-anläggningarna i medeltal väsentligt lägre halter av löst EPS och lite lägre halt bundet. Det har betydelse för slammets filterbarhet eftersom löst EPS som är små kolloidala partiklar sätter igen filter. Anläggningarna med vanlig fällning har starkt varierande halter av EPS. Två anläggningar, Oskarström och Halmstad, har mycket höga halter av extraherbart (bundet) EPS och inte ovanligt höga halter löst EPS. Orsaken är förmodligen att den höga järndosen bidrar mycket till flockningen utöver att fälla ut

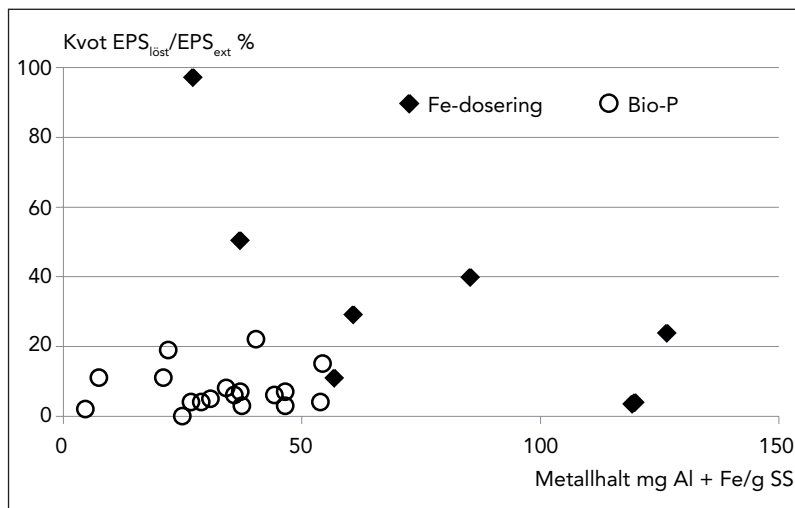
Tabell 5-4 Mätresultat av lösta och extraherbara extracellulära polymerer (EPS_{löst} och EPS_{ext}) för anläggningar med bio-P respektive med vanlig kemisk fällning. Även kvoten mellan fraktionerna finns med.

Reningsverk	Datering	EPS _{löst} mg/gVS	EPS _{löst} mg/gVS	EPS _{ext} mg/gVS	EPS _{ext} mg/gVS	löst/ext EPS	löst/ext EPS
Avedöre - line 1,2	apr-05	63		1 605		4 %	
Avedöre - line 1,2	sep-05	79		1 166		7 %	
Avedöre - line 3,1	apr-05	42		1 322		3 %	
Avedöre - line 3,1	sep-05	347		1 251		28 %	
Damhusåen - line B	maj-05	68		858		8 %	
Damhusåen - line C	maj-05	85		944		9 %	
Källby - linje 3	mar-05	12		3 309		0 %	
Källby - linje 3	jul-05	46		1 057		4 %	
Källby - linje 4	mar-05	57		1 458		4 %	
Källby - linje 4	jul-05	107		587		18 %	
Landskrona	maj-05	171		1 442		12 %	
Staffanstorps	apr-05	57		2 911		2 %	
Staffanstorps	aug-05	219		1 741		13 %	
Helsingborg 3	jun-03	85		1 479		6 %	
Helsingborg 3	okt-05	376		1 597		24 %	
Helsingborg 4	jun-03	114		1 472		8 %	
Helsingborg 1 (kemi)	nov-04		191		1 728		11 %
Helsingborg 1 (bio-P)	jun-05	97		3 031		3 %	
Helsingborg 2 (kemi)	nov-04		470		1 614		29 %
Helsingborg 2 (bio-P)	jun-05	81		1 299		6 %	
Helsingborg 2 (kemi)	okt-05		449		1 873		24 %
Sjölunda	apr-05		151		299		51 %
Sjölunda	aug-05		369		924		40 %
Åled	maj-05		741		762		97 %
Oskarström	okt-05		118		2 966		4 %
Halmstad	okt-05		121		3 349		4 %
Bio-P-slam	Medel	117		1 585		9 %	
	St.dev.	101		750		8 %	
Kemiskt slam	Medel	326			1 690		32 %
	St.dev.	222			1 056		31 %



Figur 5-10 Halten löst EPS (överst), extraherbart EPS (mitten) och kvoten mellan fraktionerna (nederst) uppdelat på anläggningar med bio-P och anläggningar med vanlig kemisk fällning.

fosfor. I figur 5-11 visas proportionen mellan löst och bundet EPS som funktion av metallhalten i slammet. För bio-P-anläggningarna ses inget samband men för anläggningarna med kemisk fällning ses sambandet tydligt. Även om det inte är helt entydigt är det klart att en hög metallhalt ger låg kvot.



Figur 5-11 Kvoten mellan löst och bundet EPS som funktion av metallhalten i slammet.

Undersökningarna av slammets halter av EPS gav inte något entydigt bild av skillnader mellan bio-P-anläggningar och anläggningar med vanlig kemisk fällning. Antagligen är denna karakteriseringsmetod inte i sig tillräcklig för att bedöma slammets avvattningsbarhet eftersom andra slamkaraktistika såsom t.ex. flockstorlek och slammets jonstyrka har betydelse för möjligheten att filtrera bort eller pressa ut vatten från slamflockarna.

5.8 Avvattning av slam från bio-P-anläggningar jämfört med avvattning av slam från anläggningar med kemisk fällning

Undersökningen av avvattning i en dekantercentrifug med slam från Öresundsverket i Helsingborg har demonstrerat att avvattning av slam med enbart bio-P går betydligt bättre än slam för vilket fosforavskiljningen är baserad på bio-P men med betydande stöddosering av järn. Undersökningen bekräftade tidigare funna resultat från verket.

Tre skilda metoden har använts för att värdera slamavvattningen från många anläggningar med bio-P respektive med vanlig kemisk fällning.

Slam från bio-P-anläggningar har betydligt lägre kapillär uppsugningstid (CST) än slam från anläggningar med kemisk fällning vilket skulle betyda bättre filtrerbarhet och bättre avvattning.

En ny tvåstegsmetod för karakterisering av filtrerbarhet och komprimering av slam har visat att också här tycks bio-P-slam vara lättare att filtrera och att komprimera jämfört med slam från anläggningar med vanlig kemisk fällning, vilket i sin tur tyder på bättre avvattningsegenskaper.

Karakterisering av slammets halter av lösta och extraherbara halter av Extracellulära polymerer (EPS) gav inte entydiga resultat, men slam från bio-P-anläggningar hade lägre halter av löst (kolloidalt) EPS vilket får förväntas ge bättre filtrerbarhet. Karakterisering av halterna EPS kan antagligen inte som enda parameter ligga till grund för bedömningen av avvattningen eftersom flockstorlek och slammets jonstyrka också har betydelse för den vattenbindande förmågan.

Tillsammans visar metoderna att det finns skillnader i karaktären för slam från bio-P- anläggningar och slam från anläggningar med vanlig kemisk fällning som betyder att bio-P-slammet kan förväntas vara lättast att avvattna. Metoderna räcker dock inte till för att kvantifiera effekten och undersökningen syftade heller inte till att göra detta.

6 Slutsatser

Bio-P-nätverket mellan svenska kommuner har etablerat en hemsida med stöd från Svenskt Vatten. Hemsiden är en kontaktpunkt för svenska kommuner som tänker arbeta med bio-P och en länk mellan nätverkets anläggningar vilken förmedlar information om träffar, seminarier och kursverksamhet.

Två kurser har etablerats och genomförts inom ramen för bio-P-nätverket. En allmän kurs i bio-P-drift riktad mot driftspersonal och en kurs för mikrobiellt intresserad anläggningspersonal om hur mikrobiella metoder anpassade till reningsverkens tekniska möjligheter kan medverka till att förbättra driften av en bio-P-anläggning. Det planeras att den allmänna kursen genomförs med jämna mellanrum.

På Öresundsverket har sedimenteringsegenskaperna och avvattningsmed silband och dekantercentrifug visats ge bättre resultat i driftslinjer med bio-P utan tillsats av fällningsmedel än i linjer med betydande stöddosering av järn. Tre skilda metoder har använts för att värdera slamavvattningen från många anläggningar med bio-P respektive med vanlig kemisk fällning.

Slam från bio-P-anläggningar har betydligt kortare kapillär uppsugningstid (CST) än slam från anläggningar med kemisk fällning.

En ny metod för karakterisering av filtrerbarhet och komprimering av slam har visat att bio-P-slam är lättare att filtrera och att komprimera jämfört med slam från anläggningar med vanlig kemisk fällning.

Karakterisering av slammets halter av lösta och extraherbara halter av extracellulära polymerer (EPS) gav inte entydiga resultat, men slam från bio-P-anläggningar hade lägre halter av löst (kolloidalt) EPS vilket får förväntas ge bättre filtrerbarhet.

Tillsammans visar metoderna att det finns skillnader i karaktären för slam från bio-P-anläggningar och slam från anläggningar med vanlig kemisk fällning som betyder att bio-P-slammet kan förväntas vara lättare att avvattna. Metoderna räcker dock inte till för att kvantifiera effekten och undersökningen syftade heller inte till att göra detta.

7 Referenser

- Andersson, B. (2005) Studie av sedimentation och avvattning av slam från reningsverk med biologisk fosforreduktion. Examensprojekt, VA-teknik vid Institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Baskerville, R.C. och Gale, R.S. (1968) A simple automatic instrument for determining the filterability of sewage sludge. J. Inst. Water Pollut. Control. 67, 233–241.
- Bouskova A. (2007) Comparison of organic substrates and pre-treatment methods with respect to their effects on the products of anaerobic digestion. PhD thesis, Institute of Chemical Technology, Prague. Faculty of Environmental Technology, Department of Water Technology and Environmental Engineering.
- Frølund, B., Palmgren, R., Keiding, K. och Halkjær Nielsen, P. (1996) Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin. Wat. Res. Vol. 30, Nr. 8. 1749–1758.
- Gillberg, L., Hansen, B., Karlsson, I., Nordström Enkel, A., och Pålsson, A. (2003) About Water Treatment. Ed. Lindquist, A. Kemira Kemwater.
- Jansen, J. la C., Tykesson, E., Jönsson, K., Särner, E., och Jönsson, L-E. (2009) Biologisk fosforavskiljning i Sverige – Uppstart och drift. SVU projekt 2009-08.
- Klausen, M. M. och Jansen, J. la Cour (2004) Karakterisering og fuldskalaafvanding af slam fra Öresundsverket. Rapport från DHI, Institut for Vand og Miljø, (på danska) augusti 2004.
- Larsen, P., Nielsen, J., L., och Halkjær Nielsen P. (2009) Aktiv slam renseanlæg: Slamflokkenes fysiske egenskaber bestemmes af få vigtige bakteriegrupper (på danska) Vand & Jord 16 nr. 1, 23–27.
- Tastu, Y. (2007) Evaluation of sludge dewatering properties. Examensprojekt, VA-teknik vid Institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Texier, P. (2008) Effect of acidification and aeration on sludge dewatering properties. Examensprojekt, VA-teknik vid Institutionen för Kemiteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Tykesson E. and Jansen J. la Cour (2005) Evaluation of Laboratory batch tests for Enhanced Biological Phosphorus Removal. VATTEN 61: 43–50.
- Vesilind, P. A. (1988) Capillary suction time as a fundamental measure of sludge dewaterability. Journal WPCF, vol. 60. 215–220.

Bilaga 1

Drift av Bio-P-anläggningar för driftspersonal

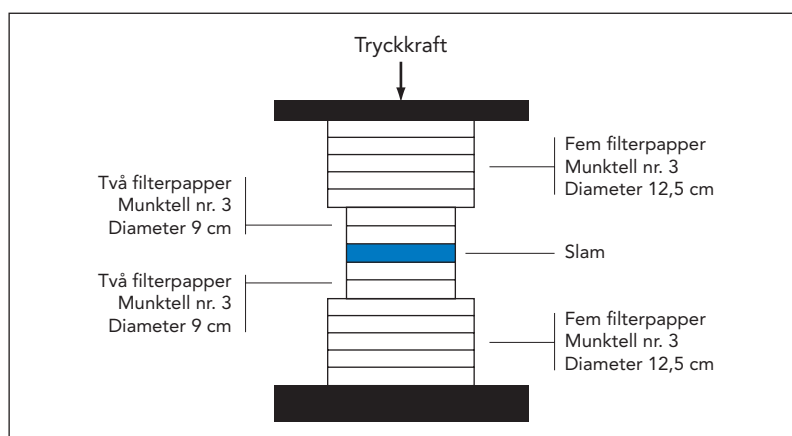
Öresundsverket, 25 april 2006

- | | |
|-------------|---|
| 08.30–09.00 | Samling, registrering, kaffe. |
| 09.00–09.30 | Inledning – Genomgång av kursens innehåll och syfte. Presentation av kursdeltagarna. Bio-P. Vad är det? Allmänt om biologisk fosforavskiljning. |
| 09.30–10.00 | Vad krävs för en fungerande bio-P-process? Underlag för att kunna bedöma om reningsverket och inkommande vattenkvalitet lämpar sig för en bio-P-process. |
| 10.00–10.15 | Paus |
| 10.15–11.15 | Beskrivning av olika anläggningar som drivs med bio-P. Alla typer av anläggningar som finns representerade på kursen inkluderas. Fördelar och nackdelar med respektive processutformning? |
| 11.15–12.30 | Rundvandring på Öresundsverket. Provtagningsstrategier för daglig uppföljning av bio-P-processen. |
| 12.30–13.30 | Lunch |
| 13.30–14.00 | Genomgång av bio-P på Öresundsverket. Vilka driftsproblem har man löst med hjälp av processoptimering under drygt 10 år med bio-P-drift? |
| 14.00–14.30 | Metoder för att förbättra bio-P-processen genom att öka mängden kolkälla in till biosteget via primärslam- eller returslamhydrolys. |
| 15.00–15.30 | Kaffe |
| 15.30–16.00 | Uppstart av bio-P-anläggningar. |
| 16.00–16.15 | Slutdiskussion, kursutvärdering. |

Bilaga 2

Metodbeskrivning, Filtrering och pressning

1. Väg upp en volym slam som motsvarar 1 g torrs substans.
2. Filtrera slammet med hjälp av en Büchnertratt och två stycken filterpapper (Ø 9 cm, Munktell nr. 3) tills inget vatten droppar ner från tratten. Notera filtreringstiden.
3. Väg slamkakan tillsammans med de två filterpapperna (m_a) och det undre filterpapperet ensamt (m_b). Om man antar att de två filterpapperna väger lika mycket kan filterkakans vikt (m_c) beräknas enligt:
$$m_c = m_a - 2 \cdot m_b$$
4. Placera två (Ø 9 cm) och fem (Ø 12,5 cm) ovanpå filterkakan och fem (Ø 12,5 cm) filterpapper under de två filterpapperna under slamkakan. Pressa på detta vis slamkakan med en vikt av 20 kg i 10 minuter (se nedanstående figur).



5. Väg slamkakan tillsammans med de två närmast liggande Ø 9 cm filterpapperna (m_d) och de övre och undre Ø 9 cm filterpapper, som inte ligger närmast slamkakan (m_e). Om man antar att de två övre Ø 9 cm filterpapperna har samma vikt som de två undre Ø 9 cm filterpapperna kan slamkakans vikt (m_f) beräknas enligt:
$$m_f = m_d - m_e$$
6. Torka slamkakan och de fyra Ø 9 cm filterpapperna i ugn vid 105° C tills allt vatten avdunstat. Väg därefter slamkakan tillsammans med de två närmast liggande filterpapperna (m_g) och därefter de två andra filterpapperna (m_h). Om man antar att torrvikten av de två filterpapperna närmast slamkakan är samma som för de övriga två filterpapperna kan den torra slamkakans vikt (m_i) beräknas enligt:
$$m_i = m_g - m_h$$

Detta värde bör vara något lägre än 1 g eftersom en del löst material i slamprovet kommer att följa med filtratet och inte stanna i slamkakan.

7. Torrsubstans efter filtrering och pressning kan beräknas enligt:

$$TS_{\text{efter filtrering}} = m_i/m_c \cdot 100 \text{ [\%]}$$

$$TS_{\text{efter pressning}} = m_i/m_f \cdot 100 \text{ [\%]}$$



Box 47607, 117 94 Stockholm

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se