

Biologisk fosforavskiljning med hydrolys av returslammet och utan anaerob volym i huvudströmmen

Erik Särner



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
Olof Bergstedt	Göteborgs VA-verk
Roger Bergström	Svenskt Vatten AB
Daniel Hellström	Stockholm Vatten AB
Stefan Marklund	Luleå
Mikael Medelberg	Roslagsvatten AB
Anders Moritz	Linköping
Peter Stahre	VA-verket Malmö
Jan Söderström	Sv Kommunförbundet
Göran Tägtström	Borlänge
Agneta Åkerberg	Falkenberg
Steinar Nybruket, adjungerad	NORVAR, Norge
Peter Balmér, sekreterare	Svenskt Vatten AB

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 47607
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 med hydrolys av returslammet och utan anaerob volym i huvudströmmen
Title of the report:	Biological phosphorus removal using recycle sludge hydrolysis without an anaerobic volume in the main wastewater stream
Rapportens beteckning Nr i serien:	2007-07
Författare:	Erik Särner, Mossby Vatten AB
Projektnr:	25-106
Projektets namn:	Biologisk fosforavskiljning med hydrolys av returslammet och utan anaerob volym i huvudströmmen
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling (f.d. VA-Forsk), Torsås kommun
Rapportens omfattning Sidantal: Format:	24 A4
Sökord:	Biologisk fosforavskiljning, hydrolys, returslam, närsaltsreduktion, avlopps- vattenrening
Keywords:	Biological phosphorus removal, hydrolysis, sludge recycle, nutrient removal, wastewater treatment
Sammandrag:	Biologisk fosforreduktion med hydrolys av returslammet testades i full skala i en aktivslamanläggning utan anaerob volym i huvudströmmen. Under störningsfria förhållanden uppmättes en fosfatfosforhalt på 20–25 mg/l i hydrolysbassängen. Halten totalfosfor ut från den biologiska processen var då ca 0,5 mg/l.
Abstract:	Biological phosphorus removal using hydrolysis of the recycle sludge was tested in full scale in an activated sludge process without an anaerobic volume in the main stream. At steady conditions a phosphate phosphorus concentration of 20–25 mg/l was reached in the hydrolysis basin. The concentration of total phosphorus in the outlet from the biological process was then about 0.5 mg/l.
Målgrupper:	VA-ingenjörer, VA-chefer, forskare
Omslagsbild:	Ombyggd försedimentering som hydrolysbassäng. Foto: Erik Särner
Rapporten beställs från:	Finns att hämta hem som pdf-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2007
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB

Förord

Intresset för biologisk fosforavskiljning har varit stort i Sverige och försöksdrift och drift i fullskala förekommer vid många reningsverk. Processen har emellertid ofta hämmats av en för låg halt lättnedbrytbara organiska ämnen i avloppsvattnet. Produktion av sådana organiska ämnen genom hydrolys av slam har därför kommit till användning. Det enklaste sättet är att låta returslammet i en aktivslamanläggning passera en anaerob volym. Uppgifter i litteraturen indikerar att detta skulle kunna vara tillräckligt, dvs., den anaeroba volymen i aktivslamprocessens vattenström skulle kunna undvaras. Hösten 2006 testades denna processutformning vid Bergkvara avloppsreningsverk i Torsås kommun.

Målet med försöken var att undersöka om det är möjligt att nå en långtgående biologisk fosforavskiljning med enbart hydrolys av returslam, dvs. utan en anaerob volym i vattenströmmen. Ett annat mål var att undersöka vilken produktion av organiska fettsyror (VFA) som kunde nås vid en hydrolys av returslam i en högbelastad aktivslamanläggning.

Finansieringen av försöken har skett genom bidrag av Svenskt Vatten Utveckling (VA-Forsk) samt av Torsås kommun, som finansierat de ombyggnader m.m. som fordrats för att försöken skulle kunna genomföras. Tommie Sigvardsson och Peter Håkansson vid Torsås kommun har varit engagerade i dessa ombyggnader.

Den praktiska driften vid reningsverket, provtagningar och en stor del av de specialanalyser som genomförts under försöken har utförts av Peter Håkansson vid Torsås kommun. De externa analyserna har utförts av ALcontrol, Linköping. Erik Särner, Mossby Vatten AB har svarat för planering, utvärdering och rapportering.

Erik Särner

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	7
Summary	8
1. Bakgrund	9
2. Försökens mål	9
3. Biologisk fosforavskiljning	9
4. Slamhydrolys	11
5. Bergkvara avloppsreningsverk	12
5.1 Utsläppskrav	12
5.2 Tidigare utformning och belastning	12
5.3 Utformning för biologisk fosforavskiljning	14
6. Provtagningar och analyser	16
7. Resultat och diskussion	17
8. Sammanfattande diskussion	22
Litteratur	24

Sammanfattning

Förbrukningen av kemikalier i samband med avskiljning av fosfor från avloppsvatten är stor i Sverige. Detta har medfört ett ökat intresse för biologisk fosforavskiljning. Processen drivs vid flera reningsverk. För att processen skall fungera effektivt fordras att vattnets innehåll av lättnedbrytbara organiska ämnen är tillräckligt högt. Vid många reningsverk är detta inte fallet, vilket innebär att processen inte kan utnyttjas optimalt.

Ett sätt att tillföra lättnedbrytbara organiska ämnen till avloppsvattnet är att behandla en del av det organiska slam som finns vid reningsverken genom så kallad hydrolys, i vilken en biologisk process producerar lättnedbrytbara organiska ämnen. Det enklaste sättet är att utnyttja recirkulationsslamm i en aktivslamprocess och låta det passera en syrefri volym, där hydrolysen sker. Denna process har visat sig lättskött och relativt fri från luktproblem. Med denna processlösning finns också möjligheten att undvika att använda en syrefri volym i vattenströmmen.

Försök utfördes hösten 2006 vid Bergkvara avloppsreningsverk, Torsås kommun. Den biologiska processen vid reningsverket är en högbelastad aktivslamanläggning med efterfällning för fosforavskiljning. Två försedimenteringsbassänger finns, men är inte i drift. Före försöken byggdes en av försedimenteringsbassängerna om till hydrolysbassäng. Returslammet från mellansedimenteringsbassängerna leddes till bassängen och därifrån vidare till luftningsbassängerna. Avsikten med försöken var att studera hur effektiv processen var för avskiljning av fosfor samt produktionen av lättnedbrytbara organiska ämnen i hydrolysbassängen.

Under stabila driftsförhållanden var fosfatfosforhalten i hydrolysbassängen 20–25 mg/l, vilket visar att första steget i processen för biologisk fosforavskiljning fungerade. Under denna period kunde också en utgående fosforhalt från den biologiska processen på nära 0,5 mg/l nås, dvs. kemisk fällning skulle inte behövas för att nå gällande krav. Under senare delen av försöken stördes processen av förekomst av nitrat, vilket härrörde från dosering av kalciumnitrat på ledningsnätet. En bidragande orsak till ett sämre resultat kan också ha varit en lägre vattentemperatur, vilken kan ha resulterat i en sämre hydrolysisprocess.

Den mängd fosfor som recirkulerades tillbaka till reningsverket med slam- och rektvatten var liten. Vid slambehandlingen tillsattes en mindre mängd kalk för luktbekämpning och ingen slamstabilisering skedde.

Försöksresultaten visade att det bör vara möjligt att uppnå en långtgående biologisk fosforavskiljning genom att enbart utnyttja hydrolys av returslammet, dvs. utan att ha en syrefri volym i vattenströmmen. En förutsättning är då att aktivslamprocessen drivs utan nitrifikation, eftersom nitrat stör den biologiska processen. Betydelsen av att försedimentering saknades för produktionen av lättnedbrytbara organiska ämnen i hydrolysbassängen är inte klar, men bör ha haft en positiv effekt.

Summary

Large quantities of chemicals are used in Sweden for removal of phosphorus from wastewater. This has resulted in a growing interest in the biological phosphorus removal process. To make this process work efficient, however, easily biodegradable organic matter must be present in sufficiently high concentration. This is not always the case.

One way to increase the concentration of easily biodegradable organic matter is to use the organic sludge produced in the treatment plant, i.e. to use sludge hydrolysis. The easiest way to do this is to let the recycle sludge pass an anaerobic volume before it enters the aeration basin. This process has been proven to be easy to operate and to give little or no odour problems. It could also be possible to use only the sludge hydrolysis tank to achieve biological phosphorus removal.

Tests were performed at the Bergkvara wastewater treatment plant, Torsås municipality. The treatment plant has pre-sedimentation basins, which were not used, and a high loaded activated sludge process followed by chemical precipitation for phosphorus removal. Prior to the tests, one of the pre-sedimentation basins was converted for sludge hydrolysis. The biological sludge from the settling tanks were pumped to this volume and then led to the aeration tank by gravity. The purpose with the test was to study how efficient the process for biological phosphorus removal was by using sludge hydrolysis as the only anaerobic volume and also the production of easily biodegradable organic matter.

At steady operating conditions, a concentration of 20–25 mg/l of phosphate phosphorus was measured in the hydrolysis tank showing that the first step of the biological phosphorus removal process was working. During this period, a concentration of phosphorus close to the demanded effluent concentration of 0.5 mg/l was reached in the effluent from the activated sludge process. During the end of the testing period, the biological phosphorus removal process was disturbed by the presence of nitrate in the wastewater, originating from dosing of calcium nitrate into the sewer system to prevent formation of sulphide. A lower wastewater temperature during this period might also have influenced the hydrolysis process.

The amount of phosphorus released and recycled back to the treatment plant from the sludge treatment facilities was small. The sludge was thickened by gravity and a small amount of calcium was added to prevent odour problems before dewatering by centrifugation. No stabilisation process was used.

The results from the tests show that it should be possible to achieve a good biological phosphorus removal process by using hydrolysis of the recycle sludge only, i.e. without using an anaerobic volume in the wastewater stream. To achieve this, no nitrate should reach the biological process. The significance of operation without pre-sedimentation basins is not clear, but should have a positive effect on the hydrolysis process.

1. Bakgrund

De höga kraven på avskiljning av fosfor vid svenska avloppsreningsverk har resulterat i en hög användning av fällningskemikalier. Detta ger förutom höga kostnader en rad negativa miljöeffekter vid tillverkning, transport och hantering av kemikalierna samt vid hantering och kvittblivning av det producerade kemsammet. Fosfor i det kemiska slammet har dessutom visat sig svår att utnyttja som växtnärsämne. 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 fosforavskiljning i aktivslamanläggningar. Kraven på resthalt fosfor är dock normalt så högt ställda 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.

Om avloppsvattnet har en lämplig sammansättning är det vanligen inga problem att få processer för biologisk fosfor- och kväveavskiljning att fungera. Det problem som oftast förekommer och som begränsar möjligheterna att utnyttja processerna vid svenska kommunala reningsverk är brist på lättnedbrytbara organiska ämnen. Detta kan givetvis avhjälpas med dosering av en extern kolkälla. Vid dosering av extern kolkälla för biologisk fosforavskiljning har man emellertid ersatt en kemikalie, fällningskemikalien, med en annan, t.ex. metanol.

Om avloppsvattnets innehåll av lättnedbrytbara organiska ämnen är för lågt finns möjligheter att utnyttja andra organiska ämnen som finns vid reningsverket för att producera sådana. Två typer av organiska ämnen finns tillgängliga för intern produktion av lättnedbrytbara organiska ämnen: primärslam och biologiskt överskottsslam. Sker hydrolysen för produktion av lättnedbrytbara organiska ämnen vid normal temperatur och i en kontinuerlig process är skötseln mycket enkel och driftskostnaderna låga. Processen fordrar dock att en extra volym.

2. Försökens mål

Försökens mål var att:

- mäta processens effektivitet vad gäller biologisk fosforavskiljning;
- uppskatta produktionen av VFA vid hydrolys av returslam (från en högbelastad aktivslamanläggning);
- bedöma de generella möjligheterna att utnyttja enbart hydrolys av returslammet, dvs. att uppnå en god biologisk fosforavskiljning utan en anaerob volym i huvudströmmen.

Ursprungligen var avsikten att om möjligt undersöka hur en ändrad uppehållstid i slamhydrolysen påverkar produktionen av VFA. Av ekonomiska skäl var det inte möjligt att utforma anläggningen så att detta kunde göras.

3. Biologisk fosforavskiljning

Vid all biologisk rening sker en tillväxt av mikroorganismer. Eftersom fosfor behövs för tillväxten så kommer överskottsslammet att innehålla fosfor. Tillväxten tas ut som biologiskt överskottsslam och därmed erhålls en fosforavskiljning. Normalt består 1,5–2 % av bioslammets torrsubstans av fosfor, vilket för ”normala” kommunala avloppsvatten ger en fosforavskiljning på ca 15–20 %. Trots denna biologiska, assimilativa fosforavskiljning kallar man normalt inte denna avskiljning för biologisk fosforavskiljning.

Det fenomen som brukar betecknas som biologisk fosforreduktion orsakas av att en grupp bakterier, normalt kallade bio-P-bakterier, använder fosfat i sin energiomsättning, dvs. de binder inte in fosfor i cellmassan så som sker vid normal tillväxt. Genom att skapa de rätta miljöförhållandena i en aktivslamanläggning kan man få dessa bakterier att tillväxa så att andelen blir hög i det aktiva slammet. Genom att ta ut biologiskt överskottsslam när bakterierna

innehåller en hög halt fosfat erhålls denna så kallade biologiska fosforavskiljning.

För att bio-P-bakterierna skall kunna tillväxa måste de passera en inledande anaerob volym i vilken de snabbt upptar lågmolekylära, lättnedbrytbara organiska ämnen, VFA (volatile fatty acids). De vinner därmed fördelar i konkurrensen om näringen framför andra, i denna miljö mindre effektiva bakterier (Filipe *et al.* 2001 a). De upptagna organiska ämnena (VFA) lagras i cellerna som polyhydroxyalkanoates (PHA). Under denna anaeroba fas använder bakterierna upplagrade fosfatkedjor (polyfosfat) som energikälla och utvinner energi genom att sönderdela kedjorna. Den frigjorda ortofosfaten lämnar cellerna, varför fosfathalten stiger i vattnet. Glykogen används som reducerande ämne vid lagringen av PHA, varför glykogen förbrukas under denna inledande anaeroba fas.

Efter den anaeroba fasen följer en aerob fas. I denna utnyttjar bio-P bakterierna den PHA de tidigare lagrat för att erhålla energi (Mino *et al.* 1998). De lagrar också glykogen och tar upp fosfat från omgivande vatten och lagrar dessa som energirika polyfosfatkedjor "som en förberedelse" för nästa passage av den anaeroba volymen. De har således lagrat energi i den aeroba volymen och kan använda den i den följande anaeroba volymen, då de åter tar upp VFA. Överskottsslam uttas när bakterierna innehåller en hög halt polyfosfat, varvid en hög (biologisk) fosforavskiljning erhålls.

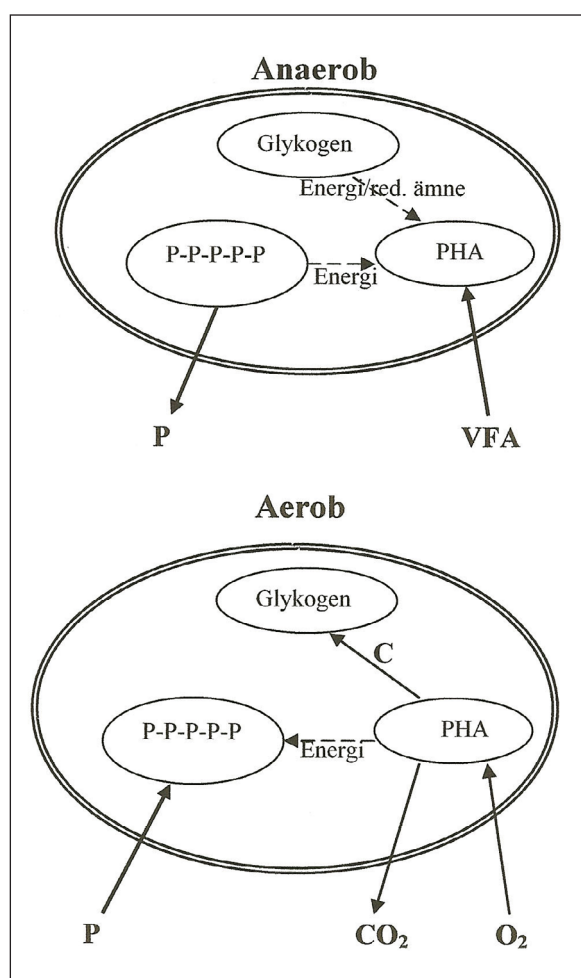
Processen illustreras schematiskt i figur 3-1.

Två faktorer är viktiga för att den biologiska fosforavskiljningen skall fungera:

- I den inledande anaeroba miljön måste det finnas tillgång till lågmolekylära, lättnedbrytbara organiska ämnen. Praktiskt åtgår (totalt) ca 20 g COD per g avlägsnat P.
- Nitrathalten måste vara låg i den anaeroba volymen, eftersom nitrat kan störa den biologiska processen för fosforavskiljning. (En hög halt nitrat medför att den anaeroba volymen i själva verket blir anoxisk, dvs. VFA kommer att förbrukas när nitrat denitrifieras.)

I svenska kommunala reningsverk är det oftast den första faktorn, dvs. tillgången på lågmolekylära, lättnedbrytbara organiska ämnen, som begränsar processen.

Det biologiska överskottsslammet kan om det lagras anaerobt "släppa" fosfat, det vill säga de lagrade

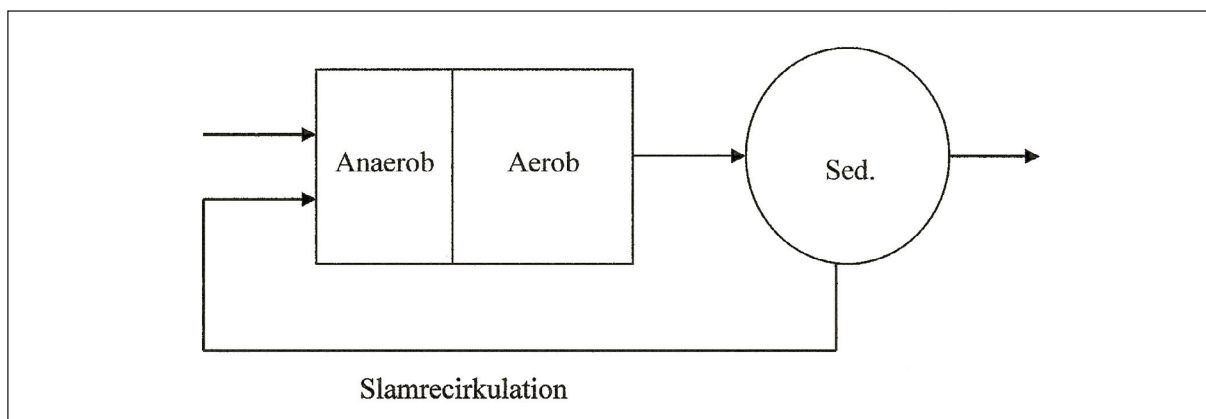


Figur 3-1. Schematisk skiss över bio-P bakteriernas metabolism.

polyfosfatkedjorna sönderdelas för att bakterierna skall erhålla energi så som beskrivs i det inledande steget ovan. Om fosfor frigörs eller ej eller – snarare – hur stor andel fosfor som frigörs beror i hög grad på avloppsvattnets kvalitet. Också processutformningen är viktig liksom hur driften sker. En långvarig uppehållstid för slammet i mellansedimenteringsbassängerna kan t.ex. resultera i en ökad fosfathalt i vattnet.

Det finns en rad faktorer som påverkar bio-P processen, t.ex. temperatur och pH. Bio-P bakterierna rapporteras dock inte mer temperaturkänsliga än andra bakterier. Vattnets pH-värde är av betydelse, eftersom en om VFA konkurrerande bakteriegrupp gynnas av låga pH-värden (Filipe *et al.* 2001 b). Det är därför viktigt att pH-värdet inte är för lågt.

Det finns en mängd system för biologisk fosforavskiljning. Vilket system som är lämpligt beror på hur det existerande verket är uppbyggt och på vattenkvaliteten. I det enklaste systemet finns en mekaniskt omrörd, anaerob volym före den luftade volymen.



Figur 3-2. Den s.k. A/O-processen (A=anaerobic, O=oxic=aerob) för biologisk fosforavskiljning, där ingen nitrifikation förutsätts ske.

För att detta system skall fungera krävs att graden av nitrifikation är låg, eftersom nitrat annars kommer att följa med returslammet till den anaeroba volymen. Dessutom krävs att tillgången på lättnedbrytbara organiska ämnen är god. Processen visas schematiskt i figur 3-2. Om graden av nitrifikation kan förväntas vara hög och i reningsverk utformade för kväveavskiljning måste den anaeroba volymen placeras så att den skyddas från höga halter nitrat.

En mer omfattande litteraturomgång om biologisk fosforavskiljning har givits av t.ex. Tykesson (2005).

4. Slamhydrolys

Vid biologisk nedbrytning omvandlas organiska partiklar och andra komplexa organiska föreningar i ett inledande steg till enkla lösliga ämnen. Detta sker utanför cellerna med hjälp av från bakterierna utsöndrade enzymer. Detta nedbrytningssteg brukar kallas hydrolys. De bildade, enklare organiska ämnena överförs därefter till organiska syror (syrabildning). De bildade organiska syrorna används i de olika volymdelarna i reningsverket för biologisk fosforavskiljning, denitrifikation och för aerob nedbrytning. Det första steget, hydrolysen, är normalt den begränsande processen, vilket innebär att om avloppsvattnets innehåll av lättnedbrytbara föreningar är lågt blir produktionen av flyktiga fettsyror låg och/eller långsam. Om så är fallet kan man utnyttja

det överskottsslam som bildas vid reningsverket för att producera lättnedbrytbara organiska föreningar och flyktiga fettsyror. Slammet är normalt inte lättnedbrytbart men finns i stor mängd och i hög koncentration, varför en viss mängd organiska syror kan produceras inom en rimlig tid, dvs. i en inte alltför stor volym.

Primärslam från försedimenteringsbassängen eller biologiskt slam kan användas för produktion av VFA. Ett primärslam innehåller en större andel organiska ämnen, vilka kan omvandlas till lättnedbrytbara ämnen. Slammet kan behandlas i en volym vid sidan om vattenströmmen, vilket dock i vissa fall har resulterat i luktproblem. Slammet kan också behandlas i en tank i vattenströmmen, vanligen i en försedimenteringsbassäng, vilket t.ex. rapporteras från Öresundsverket i Helsingborg (Christensson *et al.* 1998). Kontroll av flödet genom bassängen måste då ske så att slammet inte sköljs ur bassängen vid höga flöden.

Ett bioslam innehåller en lägre andel organiska ämnen som kan omvandlas till lättnedbrytbara ämnen än ett primärslam. Tillgången på bioslam är emellertid stor, eftersom bioslam kontinuerligt pumpas runt i systemet. Därför kan en lika stor eller större mängd VFA produceras genom hydrolys av bioslam. Om hydrolysen sker vid sidan om den normala vattenströmmen är processen mindre känslig för höga flöden (Henze *et al.* 1997). Enklast är emellertid att produktionen sker i den normala slamströmmen genom att returslammet passerar en anaerob tank innan det leds vidare till biobassängen och blandas med vattenströmmen. Om så sker skulle till och med den anaeroba volymen i huvudströmmen kunna undvaras (Petersen 2002).

5. Bergkvara avloppsreningsverk

5.1 Utsläppskrav

Villkor för utgående avloppsvatten fastställdes 1992-01-08 enligt följande:

BOD ≤ 15 mg/l som riktvärde och årsmedelvärde
Fosfor $\leq 0,5$ mg/l som riktvärde och årsmedelvärde

Kvävekrav eller krav på nitrifikation finns inte. Villkoren för verket skall omprövas. Det finns dock ingen anledning att tro att kraven kommer att skärpas. Belastningen är väsentligt lägre än 10 000 pe, varför krav på kväveavskiljning inte bör vara aktuellt.

5.2 Tidigare utformning och belastning

Avloppsreningsverket i Bergkvara har en belastning motsvarande drygt 4 000 pe. Den framtida dimensionerande belastningen har uppskattats till ca 5 500 pe.

Den mekaniska reningen sker i ett galler följt av ett luftat sandfång. Därefter finns två parallella försedimenteringsbassänger. Dessa var tidigare avställda, varför vattnet leddes direkt från sandfånga till den biologiska reningen.

Den biologiska reningen sker i en aktivslam-anläggning bestående av två parallella luftningsbassänger följda av två parallella mellansedimenteringsbassänger.

Efter den biologiska reningen sker kemisk efterfällning för fosforavskiljning. Fällningskemikalie tillsätts, varefter vattnet leds till två parallella flockningsbassänger. De kemiska flockarna avskiljs i två parallella eftersedimenteringsbassänger.

Slambehandlingen sker genom gravimetrisk slamförtjockning följt av tillsats av släckt kalk samt mekanisk avvattning efter tillsats av polymer. Avvattningen sker i en centrifug. Två slamlagringsbassänger och två slamförtjockare finns tillgängliga. En av slamlagringsbassängerna används dock inte. Den kalktillsats som sker är låg (drygt 1 kg/m³) och utförs i första hand för att luktproblem inte skall uppstå.

Slamvatten från förtjockningen samt rejektvatten från slamavvattningen leds till reningsverkets inlopp.

En sammanställning av nuvarande anläggningsdelar vid reningsverket ges i tabell 5-1.

Tidigare mätningar (1999–2004) har visat att föroreningsbelastningen är normal. De beräknade specifika föroreningsbelastningarna var 60 g BOD/pe-d, 2,75 g P/pe-d och 14 g N/pe-d. Det specifika medelflödet var ca 450 l/pe-d, vilket är relativt högt. Flödet

Tabell 5-1. Huvuddata för anläggningsdelarna vid Bergkvara avloppsreningsverk.

Process	Antal	Total yta m ²	Total volym m ³	Djup m
Galler	1	–	–	–
Sandfång	1	–	–	–
Försedimentering	2	117	310	2,6
Aktivslamanläggning	1*	–	292	–
Mellansedimentering	2	150	525	3,5
Flockningsbassänger	2	–	98	–
Slutsedimentering	2	180	567	3,2
Slamförtjockare	2	–	101	–
Slamlager	2	–	95	–
Centrifug	1	–	–	–

* Volymen är uppdelad i två parallella delvolymen.

varierade kraftigt från knappt 1 000 m³/d till över 5 000 m³/d. Påverkan av nederbörd är tydlig.

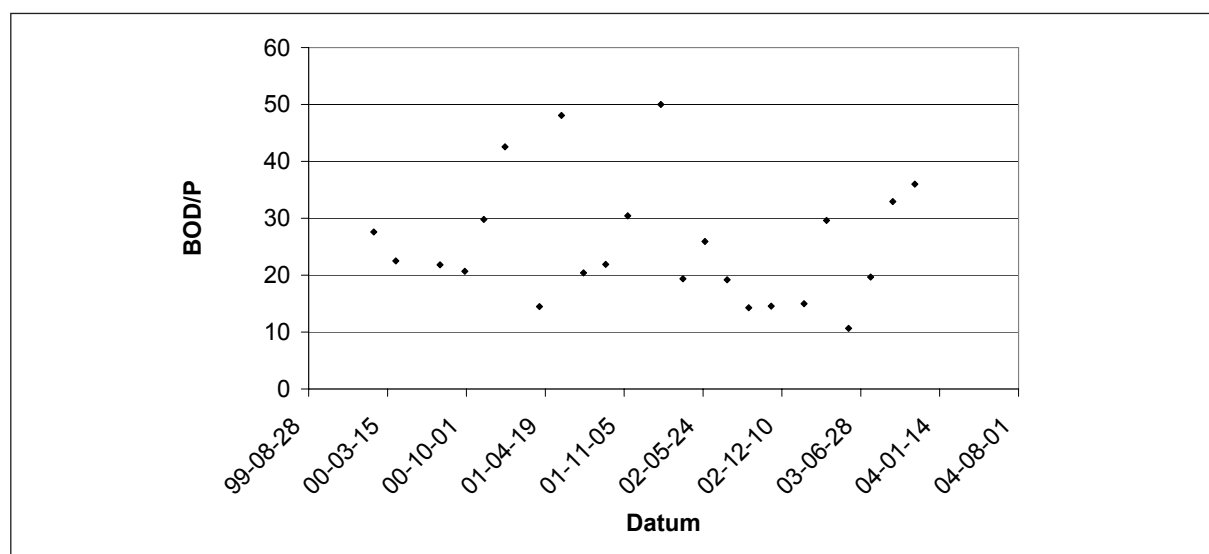
Resultaten från en tidigare provtagning vid reningsverket visas i tabell 5-2.

Av tabellen framgår att tillgången på lättnedbrytbara organiska ämnen (BOD_f) är låg. Förhållandet BOD/P i inkommande vatten uppmätt under åren 2000–2003 visas i figur 5-1. Variationen var stor med ett medelvärde på 27. Förhållandet COD/P var

som medelvärde 61. Eftersom det teoretiskt åtgår ca 20 g COD för att avskilja 1 g fosfor så borde detta vara tillräckligt. Tillgängligheten av dock av stor betydelse. I tabell 5-2 kan ses att halten COD i filterade prov (COD_f) var relativt hög. Den tillgängliga delen av COD var dock lägre och indikeras snarare av skillnaden mellan COD i filtrerat prov i inkommande vatten minus motsvarande halt i utgående vatten (efter biologisk och kemisk rening), det vill säga

Tabell 5-2. Mät- och analysresultat från provtagningsperiod i april och maj 1999 samt april–juni 2004. Samtliga redovisade föroreningshalter utom i den sista kolumnen visar halter i inkommande vatten. I sista kolumnen visas uppmätt halt COD i filterade prov i från reningsverket utgående vatten.

Datum	Flöde (m ³ /d)	Temp. (°C)	COD _{of} mg/l	COD _f mg/l	BOD _{of} mg/l	BOD _f mg/l	P _{of} mg/l	P _f mg/l	COD _f ^{UT} mg/l
990416	1 662	8,0	200	57	79	26	3,3	2,3	68
990421	1 959	8,0	370	59	130	18	4,5	1,8	
990423	1 793	8,2	330	73	80	24	5,0	2,7	34
990428	1 800	8,2	450	72	160	16	3,9	3,5	40
990430	1 671	8,2	440	73	190	27	6,5	2,4	41
990505	1 578	8,2	540	73	200	21	5,7	3,0	<30
990507	1 556	8,2	320	79	100	27	6,0	4,1	30
990512	1 667	8,5	410	140	160	48	5,1	3,5	43
990514	2 048	9,0	440	89	190	32	5,4	3,2	30
990517	1 852	9,0	270	82	85	20	3,8	2,6	<30
040428	1 302	8,5	260	110	200	24	5,4	4,3	58
040512	1 350	10	480	100	230	35	7,2	5,2	<30
040526	1 481	10	580	98	260	53	7,1	5	34
040609	1 151	10,5	480	120	230	52	8,3	6,4	40
040623	1 181	11	200	84	110	47	6,0	4,5	31
040707	1 183	12	350	78	160	44	7,1	4,9	38



Figur 5.1. Uppmätt förhållande BOD/P i inkommande avloppsvatten under åren 2000–2003.

$COD_f - COD_f^{UT}$. Detta värde hamnar närmare BOD_f i inkommande vatten. En process för biologisk fosforavskiljning skulle således troligen hämmas på grund av en låg tillgång på lättnedbrytbara organiska ämnen. (Dock kan VFA produceras också av den mer svårnedbrytbara delen av de organiska ämnena ($COD_{of} - COD_f$), om än i lägre utsträckning än av de mer lättnedbrytbara.)

Senare mätningar bekräftar storleksordningen av de aktuella parametrarna.

5.3 Utformning för biologisk fosforavskiljning

Om tillgången på lättnedbrytbara organiska ämnen är begränsande borde processen i princip utformas så som schematiskt visas i figur 5-2.

Genom att tillföra befintligt system volymerna "Slamhydrolys" och "Anaerob" skulle biologisk fosforavskiljning kunna erhållas. De volymer som inte används idag vid reningsverket bedöms vara tillräckliga för detta. Ombyggnaden skulle dock kunna ske i två steg enligt följande:

1. Reningsverket drivs i princip vidare på samma sätt som idag. Enda förändringen som genomförs är att returslammet leds till en ny (befintlig, men idag ej utnyttjad) volym för hydrolys ("Slamhydrolys").
2. Om åtgärden enligt punkt 1 inte ger tillfredsställande resultat används ytterligare en volym,

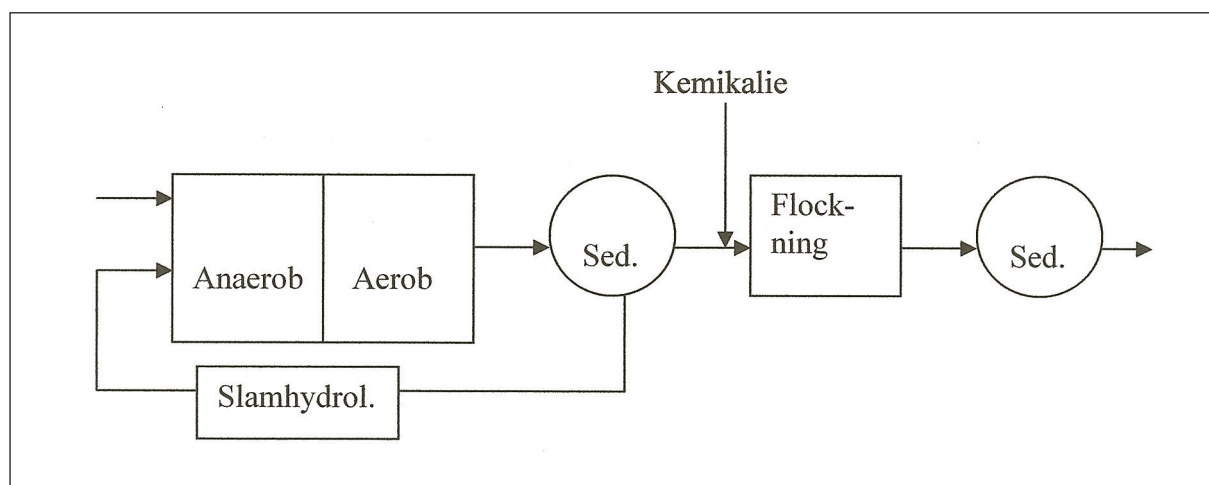
till vilken det hydrolyserade slammet och inkommande avloppsvatten leds ("Anaerob"). Också i detta fall används en befintlig, idag ej använd volym. Därmed skulle systemet få en utformning enligt figur 5-2.

Om steg 1 visar sig tillräckligt skulle detta spara volym och därmed göra det lättare och billigare att införa biologisk fosforavskiljning vid befintliga anläggningar.

I volymen för slamhydrolys förväntas produktion av lätttillgängliga organiska ämnen ske. Samtidigt kommer ett så kallat fosforsläpp att ske, vilket utgör första steget i den biologiska fosforavskiljningen. Uppehållstiden i volymen måste vara tillräcklig för att produktionen av lätttillgängliga organiska ämnen skall bli tillräckligt stor.

Den biologiska processen måste drivas så att nitrifikation undviks, vilket innebär att slambelastningen måste vara betydligt högre än för anläggningar som drivs för kväveavskiljning. Detta innebär att graden av mineralisering kommer att vara lägre, dvs. tillgången på organiska ämnen för hydrolys/syrabildning kommer att vara relativt god. En uppehållstid på ca 2 h i slamhydrolysvolymen bedöms ge en tillräckligt hög säkerhet.

Returslamflödet bedöms till ca 75 % av medelflödet genom anläggningen. Detta ger med uppehållstiden 2 h en erforderlig volym på ca 150 m³ för slamhydrolysen. De två försedimenteringsbassängerna, vilka inte används, har vardera volymen 155 m³. En försedimenteringsbassäng skulle därför kunna användas som volym för slamhydrolys. Därmed blir, vid antagande av rimliga värden för slamhalt och



Figur 5-2. System för biologisk fosforavskiljning, där hydrolys av returslammet används för att öka tillgången på lättnedbrytbara organiska ämnen.

slamproduktion, den anaeroba slamåldern knappt 3 d. Detta bör säkerställa en god hydrolysning/syrabildning.

Vid Källby avloppsreningsverk i Lund uppskattades produktionen av organiska syror (VFA) i volymen för slamhydrolys till 0,012 kg COD/kg (slam) COD (Särner *et al.* 2004). Om denna produktion används för processen vid Bergkvara avloppsreningsverk beräknas produktionen av VFA bli ca 140 kg COD/d om slamhalten i returslammet är 6 000 mg/l och den organiska andelen är 75 %. Den inkommande fosformängden är ca 14 kg/d, dvs. förhållandet COD/P är ca 10. VFA-produktionen bör dock vara högre i avloppsreningsverket i Bergkvara än motsvarande produktion vid Källbyverket, eftersom slambelastningen är högre och graden av mineralisering således lägre än vid Källbyverket. För den aeroba delen av processen tillförs också en del lättnedbrytbara organiska ämnen med inkommande vatten.

Följande åtgärder vidtogs före försöksdriften:

- Befintliga mammutpumpar för pumpning av returslam från mellansedimenteringsbassängerna byttes ut mot pumpar, där flödet kan varieras.

- En ledning anlades för pumpning av returslammet från mellansedimenteringsbassängerna till en av de nu icke använda försedimenteringsbassängerna.
- Slamskraporna och utloppsränorna demonterades i aktuell försedimenteringsbassäng och utrustning för mekanisk omrörning och nya utloppsränor anskaffades och monterades.
- Det hydrolyserade slammet leddes från den ombyggda försedimenteringsbassängen till befintliga luftningsbassänger.
- En kontinuerlig slamhaltsmätare (Lange sc1000) installerades i luftningsbassängen, bl.a. för att slamhalten skulle kunna kontrolleras så att ingen nitrifikation sker.
- En pH-mätare (Contronic analon) installerades för registrering av pH i hydrolysbassängen.
- En kontinuerlig fosfatmätare (Lange Phosphax, figur 5-3, med provtagningsdelen Lange Sigmatex 2) installerades vid mellansedimenteringsbassängernas utlopp.

Det hydrolyserade slammet återledds till en punkt före den bräddningspunkt som finns för att skydda

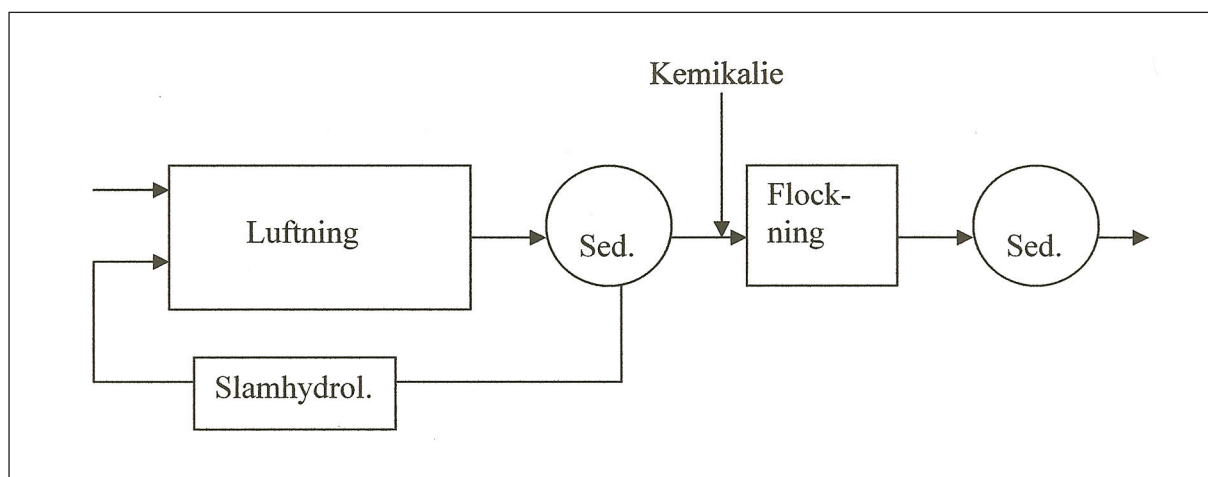


Figur 5-3. Kontinuerlig mätare för mätning av totalfosfor och fosfatfosfor. Mätningen skedde efter biosedimenteringen.

Tabell 5-3. Volymer använda under försöksdriften.

Process	Antal	Total yta m ²	Total volym m ³	Djup m
Galler	1	–	–	–
Sandfång	1	–	–	–
Aktivslamanläggning	1*	–	292	
Mellansedimentering	2	150	525	3,5
Hydrolys (av returslam)	1	59	155	2,6
Flockningsbassänger	2	–	98	
Slutsedimentering	2	180	567	3,2
Slamförtjockare	2	–	101	
Slamlager	2	–	95	
Centrifug	1	–	–	–

* Volymen är uppdelad i två parallella delvolymer.



Figur 5-4. Schematisk skiss över processutformningen under försöksdriften.

den biologiska processen för alltför höga flöden. Skälet till detta är att en alternativ koppling skulle ha blivit för dyrbar. Vid extrema flöden kan returslammet ledas direkt till luftningsbassängen så som skedde före ombyggnaden, dvs. hydrolysbassängen kopplas bort. Någon sådan bortkoppling skedde inte under försöken.

Tidigare har luftningssystemet bytts och moderna gummimembranluftare monterats.

Anläggningen har under försöksdriften därmed fått volymer enligt tabell 5-3. Processutformningen visas schematiskt i figur 5-4.

6. Provtagningar och analyser

Försöken inleddes med en mätperiod före omkopplingen till drift för biologisk fosforavskiljning. Avsikten var att mäta den normala fosforavskiljningen i aktivslamprocessen vid mer än 10 provtagningstillfällen. På grund av försening av ombyggnaden blev antalet provtagningar färre. Provtagningsperioden före ombyggnaden för biologisk fosforavskiljning skedde under perioden augusti–september 2006.

För att bygga upp slamhalten i hydrolysbassängen pumpades biologiskt överskottsslam till bassängen några veckor före driftsstarten för biologisk fosforavskiljning. Omkoppling för drift för biologisk fosforavskiljning skedde 11 september 2006. Avsikten var

att provtagningen skulle vara avslutad före årsskiftet, men på grund av diverse problem med bland annat maskinell utrustning avslutades inte provtagningen förrän i början av februari 2007.

Flöde och vattentemperatur mättes dagligen. Returslamflödet var 75 % av inkommande flöde med begränsningen att högst 300 m³/h (inklusive slam-recirkulationen) fick passera bioprocessen. Övriga analyser skedde enligt följande:

Inkommande avloppsvatten

COD_{of}, COD_f, P_{of}, P_f, NO₃-N

I luftningsbassängen (prov taget nära utloppet)

PO₄-P, SS, O₂, pH, SV (SS och O₂ mätt med kontinuerliga, fast monterade mätare)

Utgående biosedimentering

COD_{of}, COD_f, P_{of}, P_f, NO₃-N, SS

Hydrolysbassäng

PO₄-P, SS, SS_{org}, O₂, pH

Slam- och rejektivatten

PO₄-P

Förutom ovanstående uttogs prov på det färdigbehandlade slammet, på vilket halterna suspenderade ämnen, andel organiskt av suspenderade ämnen samt totalfosfor mättes.

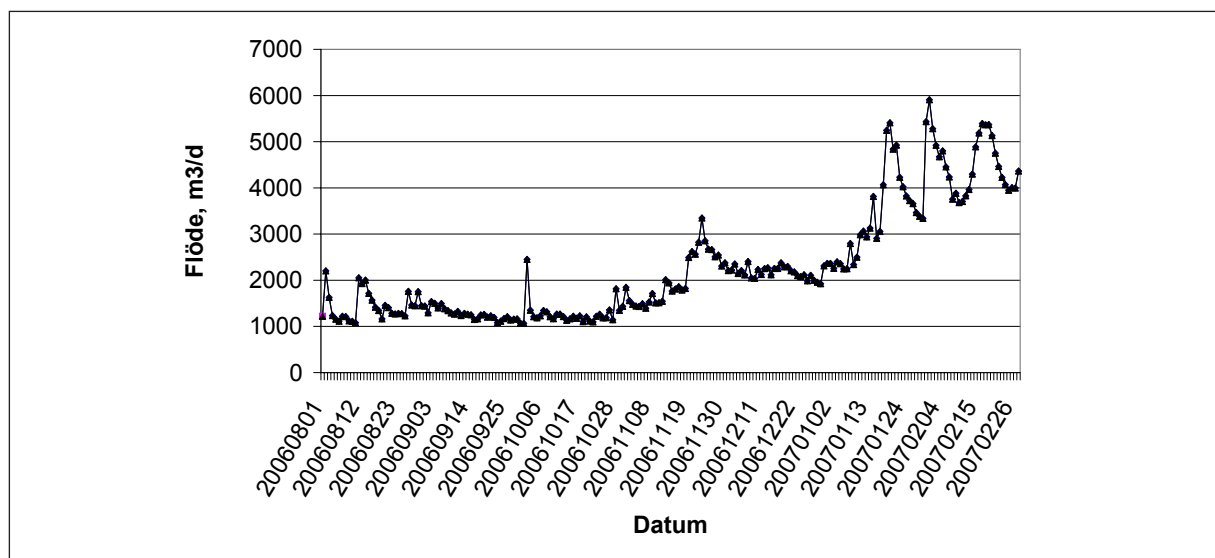
Provtagningen på inkommande och från biosedimenteringen utgående vatten skedde med flödesproportionella provtagare. I övriga punkter togs stickprov. Samtliga analyser skedde vid externt laboratorium. Undantag är – förutom de mätningar som skedde med kontinuerliga mätare på plats – pH och syre, som mättes med en mätare av typ Schott Handylab multi12 / SET, och PO₄-P, som mättes med Hach Lange DR2800. Proven som uttogs för analys av halten PO₄-P filtrerades omedelbart efter provtagningen.

7. Resultat och diskussion

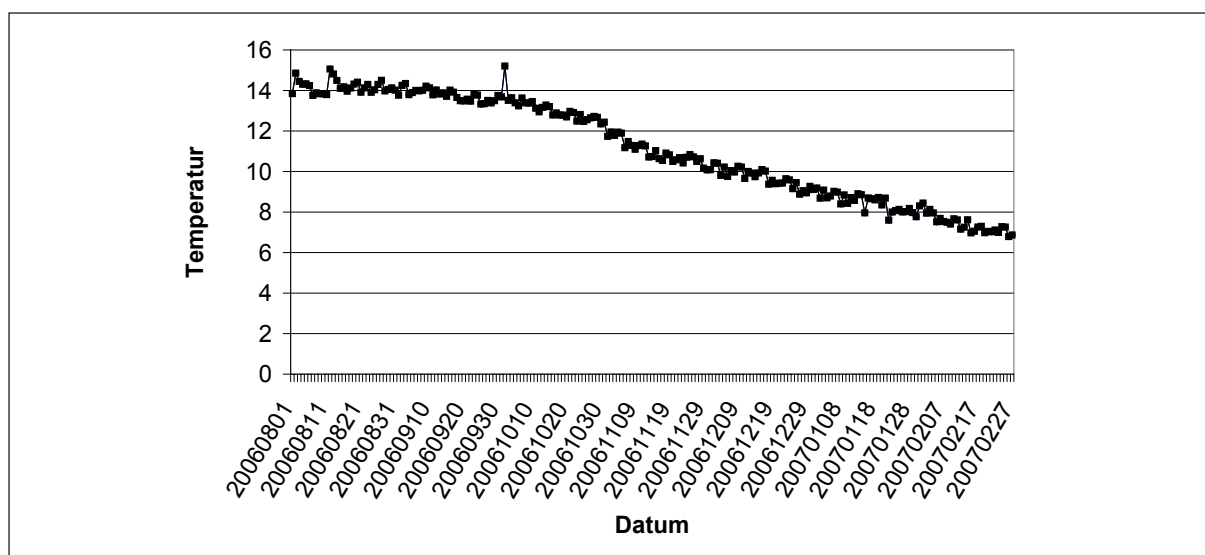
Flödet in till reningsverket (figur 7-1) låg under försöksperioden på en relativt jämn och låg nivå fram till slutet av november. Därefter skedde en viss ökning, men höga flöden förekom inte förrän efter årsskiftet.

Vattentemperaturen under försöksperioden visas i figur 7-2 (nedan). Temperaturen var relativt hög långt in på hösten, men sjönk i samband med ökande flöde för att från och med slutet av december ligga på nivån 8 å 9 °C.

Totalt uttogs 5 dygnsblandprov på inkommande vatten och från biosedimenteringsbassängen utgående vatten före omkopplingen till drift för biologisk



Figur 7-1. Vattenflöde in till reningsverket under försöksperioden.



Figur 7-2. Vattentemperatur under försöksperioden.

fosforavskiljning. Antalet provtagningar efter omkopplingen var 9. I tabell 7-1 visas de uppmätta halterna COD och totalfosfor i ofiltrerade och filtrerade prov samt inkommande flöde de aktuella provtagningsdygnen.

Nitratkväve med halterna 0,5–1 mg/l förekom 061123, 061129 och 061213 i såväl inkommande som i från biosedimenteringen utgående vatten. 070110 var halten nitratkväve 1,6 mg/l i inkommande vatten och 7,2 mg/l i från bioprocessen utgående vatten. Motsvarande halter 070207 var 2,4 resp. 1,2 mg/l.

Skälet till att nitratkväve förekom i inkommande vatten var troligen att en viss överdosering av kalciumnitrat skett i ledningsnätet. 070110 tömdes av misstag en behållare med ca 1 m³ kalciumnitratlösning på ledningsnätet. Detta förklarar den då höga uppmätta nitrathalten.

Slamhalten i luftningsbassängerna varierade under provtagningsperioden i intervallet 2,1–2,5 g/l. Med aktuell belastning av organiska ämnen och med en rimlig slamproduktion blir den aeroba slamåldern ca 3 dygn. Någon nitrifikation bör därför inte ha

Tabell 7-1. Flöde, COD och totalfosfor i inkommande vatten och från biologiska processen utgående vatten. (Drift med hydrolysbassängen startade 060911.)

Datum	Flöde m ³ /d	Inkommande (mg/l)				Efter biosedimentering (mg/l)			
		COD _{of}	COD _f	P _{of}	P _f	COD _{of}	COD _f	P _{of}	P _f
060823	1 269	167	120	5,2	4,5	62	53	1,42	1,29
060830	1 754	191	197	5,0	4,4	67	58	1,62	1,48
060901	1 440	207	106	4,6	3,9	58	51	0,95	0,75
060906	1 494	178	103	5,2	4,3	70	59	0,96	0,77
060908	1 340	226	110	5,3	4,2	71	59	0,94	0,75
060920	1 202	267	83	6,2	5,0	146	109	1,36	0,83
061004	1 209	141	88	4,5	3,4	63	51	0,46	0,32
061018	1 229	225	122	5,2	4,5	78	65	0,54	0,51
061101	1 849	153	91	4,0	3,3	67	53	0,69	0,46
061123	2 823	111	68	2,3	2,0	56	46	0,40	0,30
061129	2 546	120	98	2,1	0,89	52	41	0,76	0,65
061213	2 251	104	74	2,9	2,4	56	49	0,83	0,70
070110	2 500	115	79	1,87	1,81	82	51	1,86	1,78
070207	4 235	69	52	1,7	1,4	49	40	0,75	0,62

förekommit förrän vattentemperaturen överstigit 17 å 18 °C. Temperaturen översteg aldrig 15 °C under försöksperioden.

Slamvolymen låg i intervallet 500–700 ml/l och slamvolymindex 200–300 ml/g. Inga problem med slamseparationen förekom. Utgående halt suspenderade ämnen från biosedimenteringen var låg, normalt under 10 mg/l.

Syrehalten i luftningsbassängen varierade normalt i intervallet 1,5–2 mg/l och pH-värdet i intervallet 7,1–7,3. Problem med syrehalten förekom vid ett tillfälle (060830) före omkopplingen till drift för biologisk fosforavskiljningen. Vid detta tillfälle ökade fosforhalten ut från biosedimenteringen trots att processen då inte drevs för biologisk fosforavskiljning.

Slamhalten i hydrolysbassängen mättes strax före utloppet. Halten varierade kraftigt från värden av samma storleksordning som i luftningsbassängen till nära sex gånger så höga värden. Skälet till den kraftigt varierande slamhalten är troligen en ofullständig omrörning, vilken medförde att provtagningen blev felaktig. Okulärt såg omrörningen bra ut. Slamhalten i luftningsbassängerna varierade mycket lite, varför den ofullständiga omrörningen i hydrolysbassängen troligen endast hade en negativ effekt på provtagningen och inte på processen.

Den organiska andelen av slammet var drygt 80 %. Detta är högt med hänsyn till att försedimenteringsbassäng saknas.

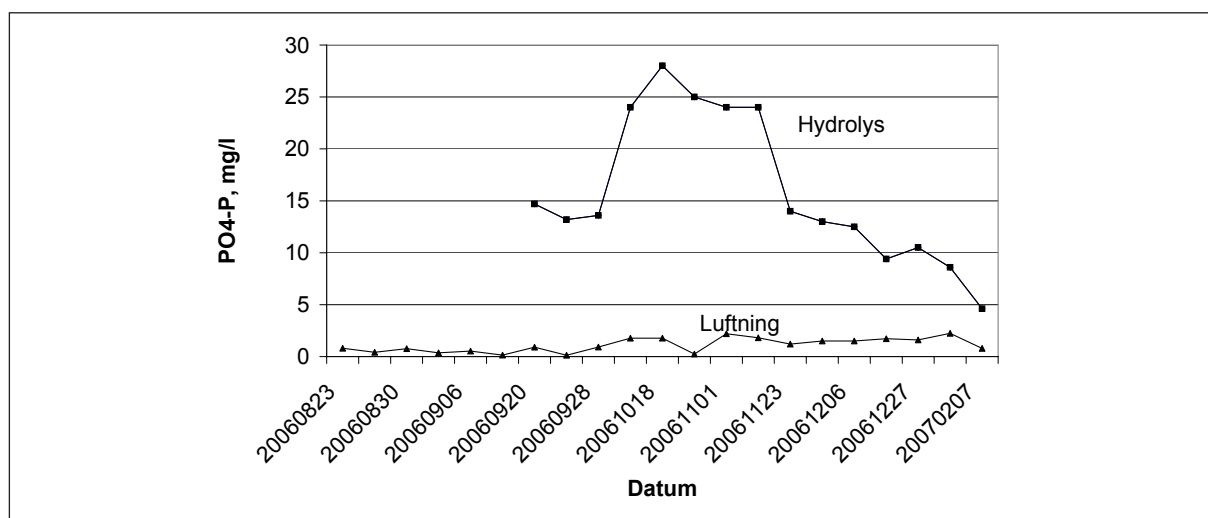
pH-värdet i hydrolysbassängen var jämnt och varierade i intervallet 6,9–7,1. Syrehalten understeg 0,1 mg/l vid samtliga mättillfällen.

I figur 7-3 visas hur halten fosfatfosfor varierade under försöksperioden i luftningsbassängen samt

– efter omkoppling för drift för biologisk fosforavskiljning – i hydrolysbassängen. Proven uttogs som stickprov vid utloppen på bassängerna.

Av figuren framgår att halten fosfat var hög i hydrolysbassängen redan från starten av försöken med denna i drift. Skälet till den snabba starten var att biologiskt överskottsslam pumpats in i bassängen redan innan den togs i drift i returslamströmmen. Mycket höga fosfathalter uppmättes under de två första månaderna, vilket visar att det första steget i processen för biologisk fosforavskiljning fungerade. I slutet på november minskade halten fosfat. Huvudskälet var sannolikt förekomsten av nitrat i inkommande vatten, vilket troligen härrörde från dosering av kalciumnitrat på ledningsnätet. Den sjunkande vattentemperaturen, vilken gav en långsammare sönderdelning av de organiska partiklarna i slammet, hade troligen också en effekt.

Halten fosfatfosfor i luftningsbassängen var låg redan innan omkopplingen för drift för biologisk fosforavskiljning. Efter inkopplingen av bassängen för hydrolys ökade halten något i luftningsbassängen. Skälet till denna något ökande halt kan ha varit en ökad recirkulation av fosfat vid drift för biologisk fosforavskiljning (se nedan) i kombination med en minskad tillgång på organiskt material i inkommande vatten för fosfatupptagningen i luftningsbassängen. Skälet till den mycket låga halten fosfatfosfor i luftningsbassängen före inkopplingen av hydrolysbassängen är svår att förklara. Att en process för biologisk fosforavskiljning skulle pågå i slammet i biosedimenteringsbassängerna är knappast troligt, eftersom detta skulle ha resulterat i en ökad halt fosfor i vattenfasen. Återstår slamfickorna med en nedåtriktad strömning



Figur 7-3. Halt fosfatfosfor vid utloppen av luftnings- och hydrolysbassängerna. Proven uttogs som stickprov.

och slamledningarna, där uppehållstiden dock är kort. Den biologiska assimilationen kan med rimligt antagande av slamproduktion (1,0 kg TS/kg BOD samt COD/BOD = 2,3) och med användande av den uppmätta fosforhalten i slammet (ca 2 % av TS) under 2006 uppskattas till ca 30 %.

Att belastningen av organiskt material minskade med tiden framgår av tabell 7-2. Också belastningen av fosfor minskade under försöken.

I figur 7-4 visas halten fosfatfosfor i slam- och rejektivattnet. Det bör observeras att bio- och kemslammet förtjockas separat innan de blandas för avvattning. Ingen stabilisering sker. Kalk tillsätts i låg dos för luktbekämpning.

Av figuren framgår att relativt höga halter fosfatfosfor fanns i rejektivattnet redan innan hydrolysbassängen togs i drift. Efter idrifttagning steg dock halten markant.

I figur 7-5 (nedan) visas hur halten totalfosfor varierade under försöksperioden i inkommande vatten och efter biosedimenteringen. Proven uttogs som dygnsblandprov.

Till skillnad från vad som var fallet med fosfatfosfor (figur 7-3) minskade halten totalfosfor ut från

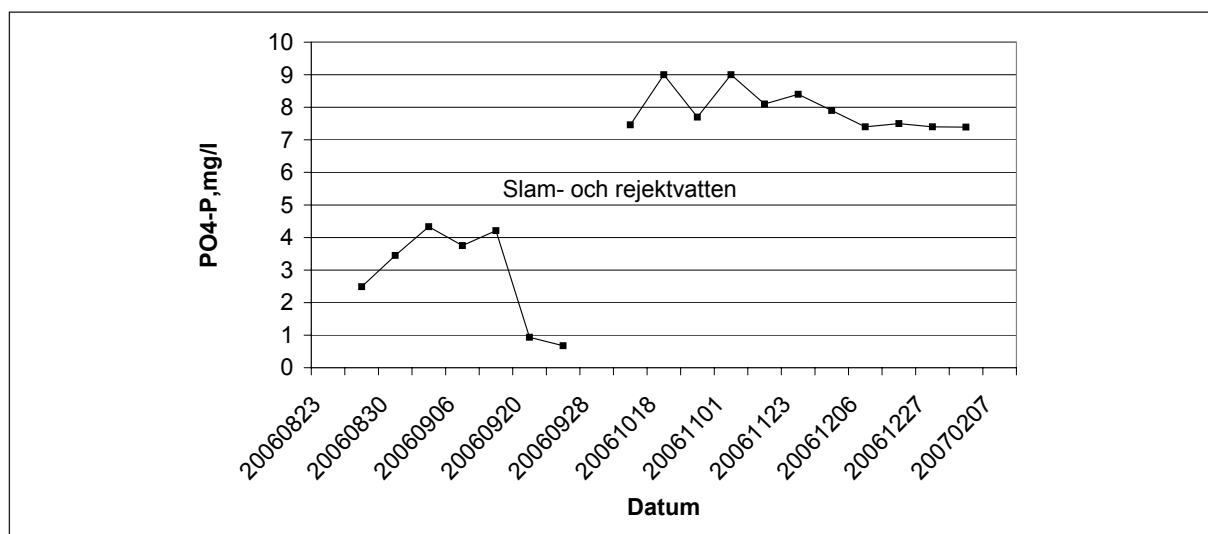
biosedimenteringen när drift för biologisk fosforavskiljning startade. Under ca två månader var halten så låg att utsläppskravet 0,5 mg/l nästan kunde nås. Mot slutet av perioden ökade halten, troligen beroende störning på grund av nitrat i inkommande vatten. Det bör dock observeras att en direkt jämförelse mellan figurerna 7-3 och 7-5 är osäker, dels därför att proven för analys av halten fosfatfosfor uttogs som stickprov och dels därför att proven uttogs på olika ställen i processen.

I figur 7-6 (nedan) visas halten fosfatfosfor i filtrerade prov i inkommande vatten och i från biosedimenteringen utgående vatten. Också här minskade halten efter omkoppling av processen för biologisk fosforavskiljning med ökande halt mot slutet av försöksperioden, det senare troligen på grund av störning av nitrat. Också här måste försiktighet iaktas vid jämförelse mellan figurerna 7-3 och 7-6 på grund av olikheterna i provtagning och provtagningspunkt.

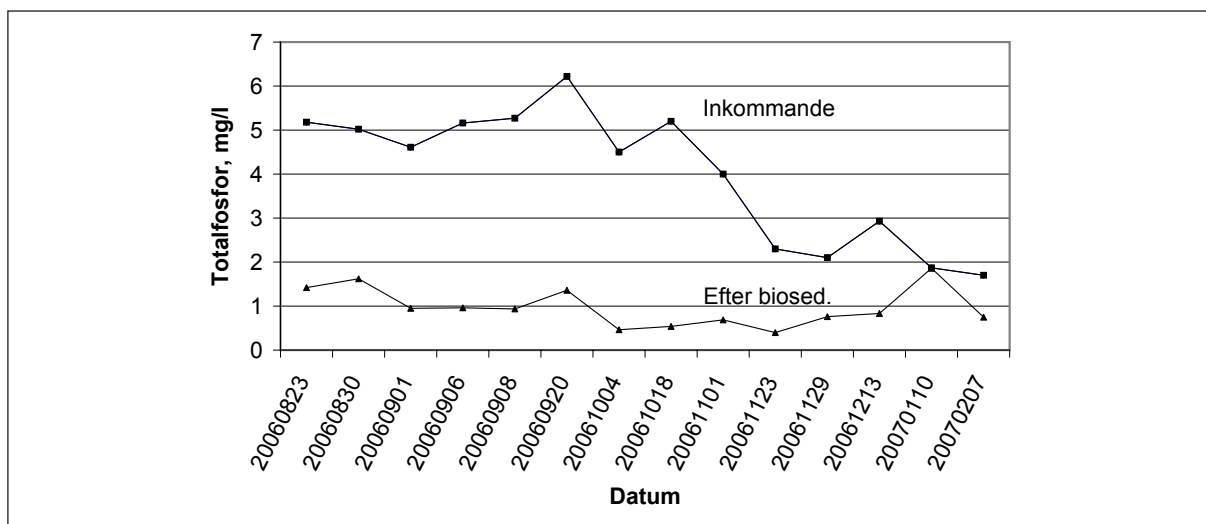
Halten fosfatfosfor och totalfosfor mättes med en automatisk mätare efter biosedimenteringen, medan stickprov togs ut i slutet av luftningsbassängen för mätning av halten fosfatfosfor. Stickprovet togs ut

Tabell 7-2. Belastning av COD och totalfosfor under olika tidsperioder.

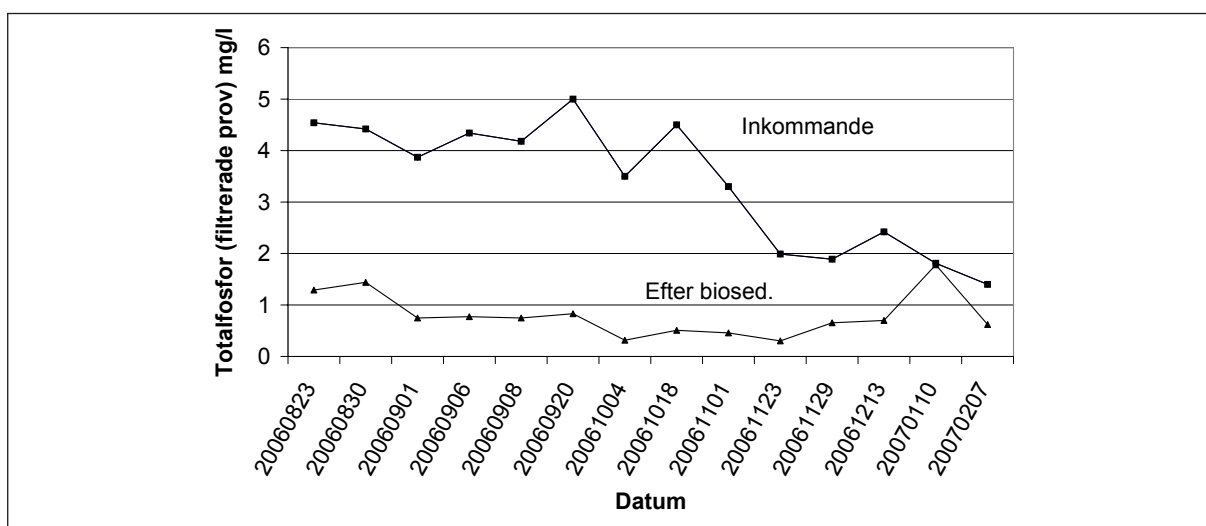
Provtagningsperiod	Antal provtagnings-tillfällen	COD kg/d	Totalfosfor kg/d
1999–2004	11	639	11,0
April–juni 2004	6	445	7,8
Före bio-P drift 2006	5	373	9,8
Vid bio-P drift 2006–2007	9	279	6,4



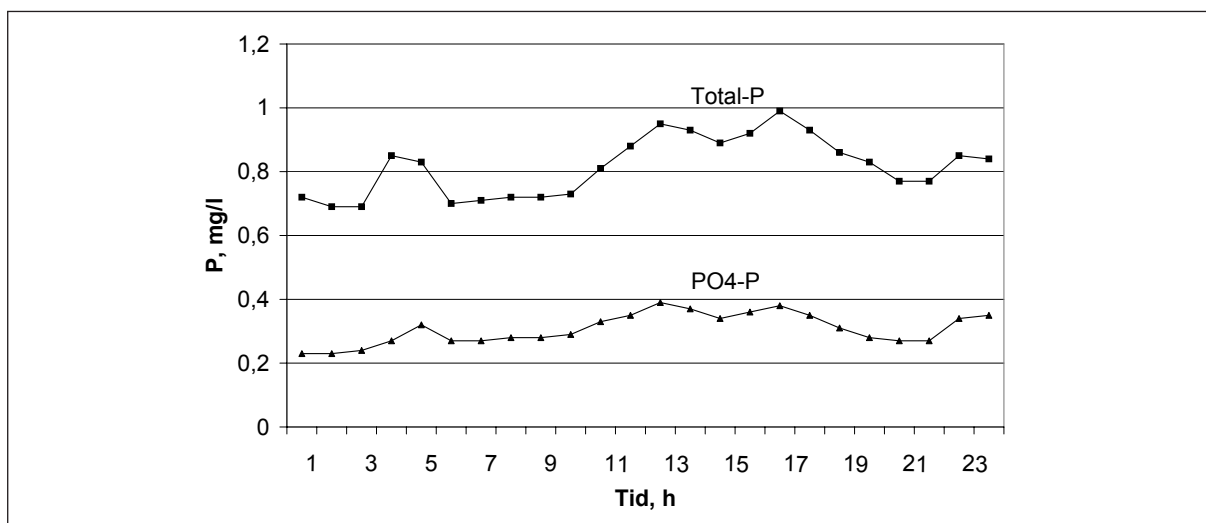
Figur 7-4. Halt fosfatfosfor i slam- och rejektivattnet. Proven uttogs som stickprov.



Figur 7-5. Halt totalfosfor i inkommande vatten och efter biosedimenteringen. Proven uttogs som dygnsblandprov.



Figur 7-6. Halt totalfosfor i filtrerade prov i inkommande vatten och efter biosedimenteringen. Proven uttogs som dygnsblandprov.



Figur 7-7. Dygnsvariation av halterna totalfosfor och fosfatfosfor i utgående vattnen från biosedimenteringen den 2 november 2006.

tidigt varje förmiddag. Dygnsvariationer i fosfathalten i luftningsbassängen är därför inte kända. De mätningar som skedde efter biosedimenteringen visar som väntat att en dygnsvariation förekommer. Den var dock inte så stor, vilket illustreras i ett exempel i figur 7-7.

Om man antar att hela mängden bildat fosfatfosfor i slamhydrolysvolymer skett med hjälp av vid hydrolysen bildat VFA erhålls en VFA-produktion på ca 0,007 g COD/(g COD·d). Vid beräkningen har antagits att slamhalten varit 5 kg SS/d och att andelen organiska ämnen i slammet varit 80 %. Uppmätt slamhalt i hydrolysen har inte kunnat användas på grund av de svårigheter som uppstod vid provtagningen och som beskrivits ovan. Den mycket jämna slamhalten i luftningsbassängerna gör dock antagandet rimligt att slamhalten i retur-slamflödet/hydrolysbassängen varit relativt stabil. Den organiska slamhalten har räknats om till COD. Variationen i beräknad VFA-produktion var emellertid stor. Ett av skälen till detta kan ha varit det inflöde av nitrat som kunde observeras från och med slutet av november 2006. Om endast perioden före nitratinflödet medräknas erhålls VFA produktionen 0,012 g COD/(g COD·d). Under en period på nära två månader var VFA-produktionen 0,015 g COD/(g COD·d), vilket är nära det värde på 0,018 g COD/(g COD·d) som uppges av Petersen (2002). Det bör naturligtvis observeras att den beräknade VFA produktionen är osäker eftersom den baseras på en antagen slamhalt i hydrolysbassängen och för att halten fosfatfosfor mättes på uttagna stickprov. Den ger ändå en uppfattning om vilken storleksordning som kan förväntas för ett reningsverk av denna typ.

En del av den avskiljda fosfor recirkuleras med slam- och rejektivatten. Med hjälp av den i figur 7-4 redovisade halten fosfatfosfor kan den recirkulerade mängden uppskattas. Uppskattningen blir osäker, eftersom volymen kemiskt slam som tas ut från slut-sedimenteringsbassängerna inte mäts. Endast uttagen volym bioslam samt den volym slam som avvattnas mäts. Uppgifter finns också på torrsubstanshalten före och efter avvattningen. Med rimliga antaganden kan dock slam- och rejektivattenmängden uppskattas, vilket ger en recirkulerande fosformängd på ca 1 kg/d. Med en fosformängd i inkommande vatten på 7–9 kg/d under försöksperioden blir recirkulationen 10–15 %. Beräkningen är visserligen osäker, men slutsatsen att en relativt liten del av den avskiljda

fosformängden recirkuleras inom reningsverket kan ändå dras.

Generellt upplevdes att bioprocessen blivit stabilare med hydrolysbassängen i drift. Slamflykt från mellansedimenteringsbassängerna vid höga flöden förekom tidigare, men skedde aldrig under försöksperioden vid de höga flöden som förekom under senare delen. Det biologiska överskottsslammet var också lättare att förtjocka och avvattna, även om ungefär samma torrsubstanshalt uppnåddes vid avvattningen som före försöken.

Den totala reningsgraden vid reningsverket mäts vid den ordinarie provtagningen. Under provtagningsperioden var reningsgraden hög med BOD-värden i från verket utgående vatten understigande 10 mg/l. Motsvarande fosforvärden understeg 0,5 mg/l utom vid ett tillfälle, då ett något högre värde mättes. Doseringen av fällningskemikalie (Pax xl36A) vid efterfällningen minskades successivt under försöken. Vid försökens start användes en dosering på 100 mg/l. I mitten av november sänktes doseringen till 45 mg/l och i början av februari 2007 till 24 mg/l. Det går emellertid inte att dra några slutsatser om försökens effekt på erforderlig dosering, eftersom någon optimering av doseringen inte skett före försöken. Totala reningsgraden över reningsverket var hög såväl före som under försöksperioden.

8. Sammanfattande diskussion

Bergkvara reningsverk fungerade stabilt under hela försöksperioden med mycket goda totala reningsresultat.

Ett tydligt fosfatläpp kunde noteras i hydrolysbassängen, vilket visade att det första steget i processen för biologisk fosforavskiljning fungerade. Ett lägre fosfatläpp uppmättes under slutet av försöksperioden och detta sammanföll med förekomst av nitrat i såväl inkommande som i från bioprocessen utgående vatten. Nitrattet härrörde med största sannolikhet från den nitratosering som sker på ledningsnätet för att förhindra sulfidbildning.

Halten fosfatfosfor efter den biologiska processen (mätt i stickprov tagna vid luftningsbassängernas utlopp) låg under hela försöksperioden på en låg nivå, dvs. också innan hydrolysbassängen togs i drift. Någon förklaring till den låga nivån innan hydrolysbassängen togs i drift kunde inte ges. Man kunde till och med notera en mindre ökning av fosfathalten efter det att hydrolysbassängen togs i drift. Halten totalfosfor i såväl ofiltrerade som filtrerade prov efter biosedimenteringen (uttagna som dygnsblandprov) sjönk emellertid efter det att hydrolysbassängen togs i drift. Under den period då hydrolysbassängen fungerade utan störning av nitrat låg halten totalfosfor ut från biosedimenteringen på ca 0,5 mg/l. En direkt jämförelse av halterna totalfosfor och fosfatfosfor efter bioprocessen går inte att göra eftersom såväl provtagningspunkt som provtagningsätt skiljde.

Den mängd fosfor som recirkulerades tillbaka till reningsverkets inlopp kunde endast grovt uppskattas, eftersom alla slam- och vattenströmmar i slambehandlingsanläggningen inte kunde mätas. En grov uppskattning visar dock att ca 10–15 % av inkommande fosformängd recirkulerades. Ett skäl till den låga graden av recirkulation är att någon slamstabilisering inte skedde.

En med hjälp av uppmätt halt fosfatfosfor i hydrolysbassängen uppskattad hydrolysggrad visar att vid stabila förhållanden och när ingen störning av nitrat sker kan en VFA-produktion på ca 0,015 kg COD/kg (slam) COD uppnås. Skälet till denna relativt höga hydrolysggrad är sannolikt att graden av mineralisering i bioslammet är låg vid den jämförelsevis höga slambelastning som användes (för att undvika nitrifikation) och att försedimentering saknas.

Den biologiska processen fungerade mer stabilt under försöken än tidigare och slamflykt som tidigare kunnat noteras vid höga flöden förekom inte. Överskottsslammet var också lättare att förtjocka och avvattningen fungerade mer stabilt och problemfritt utan att det avvattnade slammets torrsubstanshalt förändrades.

Resultaten från försöken visade att vid denna typ av reningsverk, där försedimentering inte används, där ingen slamstabilisering sker och där verket drivs så att nitrifikation inte uppnås, kan biologisk fosforavskiljning uppnås med enbart hydrolys av det biologiska returslammet i slamreturlinjen. Försöksresultaten indikerade att det gällande fosforkravet på högst 0,5 mg/l i utgående vatten bör kunna nås utan tillsats av fällningskemikalier under en stor del av året.

Litteratur

Christensson, M., Lie, E., Jönsson, K., Johansson, P. & Welander, T. (1998) Increasing substrate for polyphosphate accumulating bacteria in municipal wastewater through hydrolysis and fermentation of sludge in primary clarifiers. *Wat. Env. Res.* 70(2) 138–145.

Filipe, C. D. M., Daigger, G. T. & Grady, C. P. L. Jr. (2001 a) Stoichiometry and kinetics of acetate uptake under anaerobic conditions by an enriched culture of phosphorus-accumulating organisms at different pHs. *Biotechn. and Bioeng.* 76(1) 32–43.

Filipe, C. D. M., Daigger, G. T. & Grady, C. P. L. Jr. (2001 b) pH as a key factor in the competition between glycogen-accumulating and phosphorus- accumulating organisms. *Wat. Env. Res.* 73(2) 223–232.

Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. la C. & Arvin, E. (1997) *Wastewater treatment; Biological and chemical processes* (2nd Ed.). Springer Verlag, Berlin.

Mino, T. & van Loosdrecht, M. C. M. (1998) Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process. *Wat. Res.* 32(11) 3193–3207.

Petersen, G. (2002) Biologisk slamhydrolyse af aktiv slam. *Spildevandsteknisk tidsskrift* 30(4).

Särner, E., Jonasson, C. & Petersson, M. (2004) Hydrolys för förbättrad biologisk fosforavskiljning. *Vatten* 60(4) 231–238.

Tykesson, E. (2005) *Enhanced biological phosphorus removal*. Diss. Avd. för VAteknik, LTH.



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se