

Uppföljning av biogasproduktionen vid Henriksdals reningsverk 2000 - 2005

*Daniel Hellström, Stockholm Vatten VA AB
Lena Jonsson, Stockholm Vatten VA AB
Lina Vallin, Svensk Biogas*

*R nr 1, januari 2009
2:a reviderade upplagan*



Biogas as vehicle fuel - Market Expansion to 2020 Air Quality

Contract Number: 019795

UPPFÖLJNING AV BIOGASPRODUKTIONEN VID HENRIKSDALS RENINGSVERK 2000 - 2005

Författare:	Daniel Hellström (Stockholm Vatten), Lena Jonsson (Stockholm Vatten), Lina Vallin (Svensk Biogas)
Nyckelord:	Henriksdal, avloppsreningsverk, rötning, biogas, Stockholm Vatten, nulägesbeskrivning
Sammanfattning:	Rötningen på Henriksdals avloppsreningsverk har utvärderats under en 6-årsperiod. Utvärderingen har pekat på ett antal åtgärder som kan göras för att utnyttja potentialen bättre och säkerställa en stabil process. Övergång till seriedrift bör kunna öka gasproduktionen 5 - 7 %. Förlängning av uppehållstiden genom förtjockning av slam ger en något ökad gasproduktion, men framförallt en kraftig minskning av uppvärmningsbehovet. En annan fördel med minskat slamflöde är att volym frigörs för att ta emot mer externt organiskt material. En kombination av förlängd uppehållstid och övergång till seriedrift skulle kunna ge en ökning på knappt 10 % vid oförändrad organisk belastning. Den största potentialen för ökad gasproduktion ligger dock i att öka den organiska belastningen på rötkamrarna. Införandet av olika lyceringsmetoder kan eventuellt medföra ökad utröttningsgrad och ökad gasproduktion. Förutom ovanstående åtgärder behöver även pågående och planerade åtgärder för att minska läckage av metan från slam- och gashantering genomföras. Sådana åtgärder innebär att en ännu större andel av energiinnehållet i den producerade gasen tas tillvara.
Dokumentnummer:	D2.15_SVAB_v1
Antal sidor:	72
Publiceringsdatum:	2008-06-25

1. Ordlista	4
2. Inledning	6
3. Syfte	7
4. Henriksdals avloppsreningsverk	8
4.1. Mekanisk rening	9
4.2. Kemisk rening	9
4.3. Biologisk rening	10
4.4. Rötningssystemet	10
4.5. Röt slamhantering	12
4.6. Gashantering	12
5. Rötningssprocessen	13
5.1. Temperatur	13
5.2. Uppehållstid	16
5.2.a. Spårämnesförsök	17
5.3. TS, VS och organisk belastning	19
5.4. Inkommande substrat till rötningen	21
5.4.a. Primärslam	21
5.4.b. Överskottsslam	23
5.4.c. Externt organiskt material (EOM)	24
5.4.d. Sammanfattning slamflöden och slamkvalitet	27
6. Uppföljning av process och produktion	28
6.1. Gasproduktion	28
6.2. Specifik gasproduktion	29
6.2.a. Gasproduktionens beroende av processförutsättningar	31
6.2.b. Satsvis rötning av blandat primär- och överskottsslam	31
6.3. Utröttningsgrad	32
6.3.a. Temperaturen och uppehållstidens betydelse – resultat från försök	35
6.3.b. Simulering av effekten av seriedrift	37
6.4. COD-balans rötningen	38
6.5. pH och alkalinitet	39
6.6. Organiska syror	40
6.7. Processtabilitet	40
7. Diskussion och slutsatser	42
8. Förslag till fortsatt arbete	44
9. Erkännanden	45
10. Referenser	46
I. Bilaga - Tömning av RK2	48

<i>II. Bilaga - Temperaturhistorik i rötkamrarna.....</i>	<i>50</i>
<i>III. Bilaga – COD-balans över försedimenteringen.</i>	<i>54</i>
<i>IV. Bilaga - Årsmedelvärden processdata.</i>	<i>55</i>
<i>V. Bilaga - Satsvis rötning.....</i>	<i>56</i>
<i>VI. Bilaga – COD-balans över rötningen.</i>	<i>59</i>
<i>VII. Bilaga – Rådata och beräknade värden till utvärderingen</i>	<i>60</i>

1. Ordlista

ARV- avloppsreningsverk

BOD – biokemisk syreförbrukning	[mg/l]
COD – kemisk syreförbrukning	[mg/l]
CSTR – kontinuerligt omblandad tankreaktor	
GC – gaskromatografi	
GF/VS – glödförlust/flyktiga föreningar	[% av TS]
GR – glödrest	[% av TS]
EOM – externt organiskt material	
HRT – hydraulisk retentionstid	[d]
Kjel-N – Kjeldahlkväve	[mg/l]
LNG – flytande naturgas	
NH ₄ -N – ammoniumkväve	[mg/l]
N _{tot} – totalkväve	[mg/l]
Nm ³ – normalkubikmeter	[Nm ³]
PO ₄ -P – fosfatfosfor	[mg/l]
P _{tot} /tot-P– totalfosfor	[mg/l]
RK – rökammare	
SRT – solid retention time	[d]
SS – suspenderade ämnen	[mg/l]
TS – torrs substans	[%]
VFA – flyktiga fettsyror	[mg/l]

Biogas Gas som produceras vid syrefri nedbrytning av organiskt material. Metanhalten i gasen är 50-75 %.

Fermentation Energiproducerande metabolism som involverar en sekvens av oxidation/reduktionsreaktioner för att bryta ner organiskt material.

Fordonsgas Uppgraderad biogas för användning i fordon. Biogasen har renats till en metanhalt på 95-98 %.

Hydrolys	Den biokemiska process med nedbrytning som involverar brytning av en kemisk bindning och addition av vatten.
Metangas	Gas med 100 % metanhalt.
Mesofil temperatur	Den temperatur (37 °C) där mesofila organismer har sin maximala tillväxthastighet.
Normalkubikmeter	Den mängd gas som upptar en kubiketers volym vid ett tryck på 1 atm och temperaturen 0 °C.
Organisk belastning	Mängden organiskt material som tillförs en kubikmeter av reaktorvolymen under ett dygn. Enhet [kg VS/(m ³ · d)].
Primärslam	Sedimenterat slam från inkommande vatten till avloppsreningsverket.
Specifik gasproduktion	Gasproduktionen beräknad per beskickad mängd VS till en rötchammare. Enhet: [Nm ³ /kg VS].
Termofil temperatur	Den temperatur (55 °C) där termofila organismer har sin maximala tillväxthastighet.
Uppehållstid	Den genomsnittliga tid ett material uppehåller sig i en reaktor.
Överskottsslam	Uttaget slam ur biosteget.

2. Inledning

Det övergripande målet med projektet BIOGASMAX är att minska användningen av fossila bränslen för transporter i Europa genom att öka användningen av biogas. Projektet ska pågå under fyra år och visa att biogas är ett tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt bra alternativ som fordonsbränsle. Projektet ska genom goda exempel och framtagande av lösningar för omställning till biogas öka användningen av denna. Vidare ska den totala produktionen och användningen av biogas för fordonsdrift öka.

Projektet inkluderar åtta olika arbetsområden ("workpackages"); management, produktion, uppgradering, distribution, användning, utvärdering, implementering och spridning av resultat. Projektet bedrivs i fem stadsregioner i Europa (Lille, Stockholm, Bern, Göteborg, Rom och Torun) och inkluderar 28 deltagande organisationer från 8 länder. Projektets totala budget är ca 17 milj. EUR med ett bidrag på knappt 7,5 milj. EUR från EU.

Detta delprojekt ingår i "work package 2", härafter benämnt WP 2, som särskilt syftar till att optimera produktionen av biogas. Detta ska bland annat ske genom ökat användande av olika substratblandningar, genom att effektivisera och utveckla driften av befintliga anläggningar samt genom att ta fram riktlinjer och instruktioner för biogasanläggningar. Stockholm Vattens roll i projektet är att tillsammans med Svensk Biogas ta fram och tillämpa verktyg för ökad gasproduktion vid Stockholm Vattens anläggning Henriksdal. I detta delprojekt kommer därför effektiviseringspotentialen i befintlig anläggning samt möjligheten att påverka biogasproduktionen genom val av substratsammansättning att studeras. Dessutom ska innovativa metoder för ett bättre substratutnyttjande, och därmed en ökad specifik gasproduktion, undersökas.

3. Syfte

Huvudsyftet med projektet är att visa hur gasproduktionen på Henriksdal kan öka med tio procent vid befintlig anläggning genom processoptimering, användande av innovativa metoder eller tillsats av externt material. Detta görs genom ett samarbete mellan Svensk Biogas och Stockholm Vatten. I denna del av WP2 kommer en nulägesbeskrivning av gasproduktionen och förslag till effektiviseringsåtgärder för Henriksdal att tas fram. Denna omfattar:

- En översyn av rötammare (uppehållstid, drift och underhåll av omrörare, genomgång av checklistor).
- En översyn av slamhanteringen ur biogasproduktionssynpunkt.
- Identifiering av övriga faktorer som är väsentliga för biogasproduktionen.

Parallellt med nulägesbeskrivningen kommer ett antal innovativa metoder som till exempel förbehandling av slammet med lysring, enzymtillsats, mekanisk bearbetning, tryckförändringar och/eller användning av membran-teknik att testas.

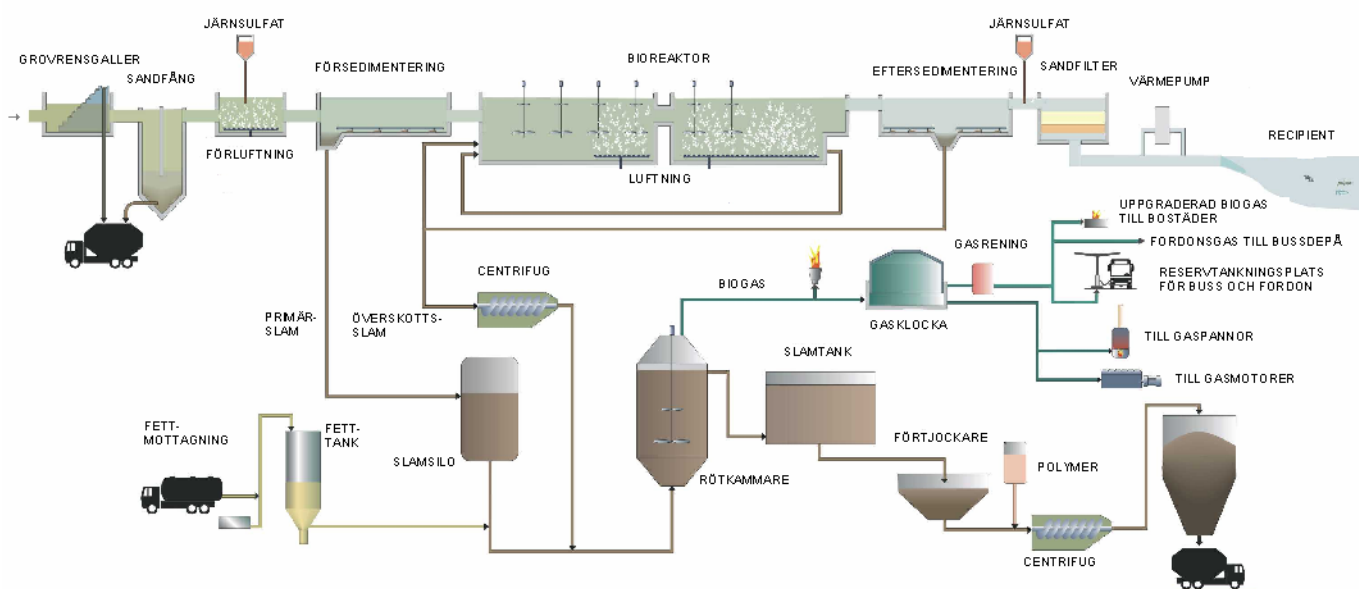
Rapporten syftar till att dokumentera och utreda biogasproduktionen på Henriksdals avloppsreningsverk i Stockholm. Genom denna utredning förväntas ytterligare kunskap om processen hämtas in och förmedlas till interna och externa intressenter. Rapporten förväntas utreda resultat från produktionen under perioden från och med 2000 till och med 2005, och diskutera driftsfall utifrån uppkomna resultat. Dessutom är syftet med rapporten att dela med sig av driftserfarenheter till olika aktörer inom biogasområdet och medlemmar i projektet Biogasmax.

4. Henriksdals avloppsreningsverk

Stockholm är Sveriges huvudstad och landets största kommun med 760 000 invånare och inkluderas hela Stockholms län är innevånarantalet 1 900 000. Stockholm Vatten AB är ett kommunalägt bolag som ägs av Stockholm Stadshus AB (98 %) och av Huddinge kommun (2 %). Stockholm Vatten producerar och levererar dricksvatten till drygt 1 miljon människor i Stockholm och Huddinge samt ytterligare nio grannkommuner. Inom företaget renas även avloppsvatten från Stockholm, Huddinge och sex grannkommuner. Inom Stockholm Vatten finns två avloppsreningsverk (Henriksdal och Bromma) där totalt cirka 135 miljoner m³ avloppsvatten renas varje år.

Henriksdals avloppsreningsverk (ARV) är det största reningsverket i Stockholms stad. Belastningen på ARV ligger på knappt 800 000 pe (beräknat på BOD₇) med ett medelflöde på ca 240 000 m³/dygn (Miljörapport 2005). Avloppsvattnet renas i tre steg innan det slutligen släpps ut i recipienten (Figur 1).

Reningsstegen är mekaniska, kemiska och biologiska och vattnet får slutligen passera ett filter fyllt med krossat keramiskt material och sand innan det når recipienten Saltsjön. Slammet från avloppsreningen återanvänds som deponitäckning eller jordförbättringsmaterial. Biogasen som bildas vid rötningen samlas upp i en gasklocka och används som bränsle i reningsverkets värmepannor och för elproduktion, samt uppgraderas till fordonbränsle.



Figur 1. Översikt över avloppsreningsprocessen på Henriksdal. Bilden är hämtad och modifierad efter informationsmaterial tillhörande Stockholm Vatten AB.

Huvuduppgiften på ett avloppsreningsverk är naturligtvis att rena avloppsvatten. När man studerar rötningen är man i första hand intresserad av andelen organiskt material som finns i avloppsvattnet. Man måste dock ha en förståelse för hela reningsystemet för att sätta rötningen i rätt sammanhang.

Inkommande mängd organiskt material till avloppsreningsverket är relativt konstant. Den faktor som har störst effekt på variationerna i inkommande flöde är nederbördsmängderna. År 2003 var ett år med torr och varm sommar med lågt flöde in till reningsverket (Tabell 1). Då var däremot halten COD i inkommande vatten förhöjd. Den totala mängden COD till rötningen kommer därför inte att vara mycket lägre än normalt trots ett lägre flöde av avloppsvatten in till avloppsreningsverket.

Tabell 1. Inkommande flöden som påverkar mängden organiskt material till rötningen.

År	Ink. flöde till ARV [m ³ /dygn]	Ink. COD-halt till ARV ¹ [kg/m ³]	Ink. mängd COD till ARV [ton COD/d]	Hydraulisk belastning till rötning [m ³ /dygn]	Mängd organiskt material till rötning ² [Ton VS/år]
2000	260 900	0,44	111	1896	19 200
2001	240 100	0,45	105	1867	19 300
2002	241 400	0,47	110	1852	21 500
2003	211 200	0,51	106	1856	18 800
2004	236 900	0,53	122	2030	21 300
2005	237 200	0,49	113	1958	20 000
Medel	237 800	0,48	112	1910	20 000

4.1. Mekanisk rening

Det första steget i avloppsvattenreningen är en mekanisk behandling. Den har till uppgift att avlägsna fasta föroreningar i det inkommande vattnet. Den till verket inkommande mängden rens varierar med inkommande flöde och rådande väderlek. Den mekaniska reningen består av galler och sandfång. De traditionella grovgallren hade en spaltvidd på 20 mm och de nyare fingallren har en spaltvidd på 3 mm. Trasor från reningsverket kan följa med slammet till rötkastrarna och ansamlas på omrörarbladen och på så sätt minska effektiviteten på omröraren. Med ett minskat avstånd mellan spalterna borde mängden trasor ha minskat, men detta har ännu inte verifierats. Långa perioder med uppehållsväder och låga flöden gör att rens ansamlas i ledningar, tunnlar och pumpstationer. Vid dessa perioder kommer mindre mängder av rens än normalt till verket. Men när sedan flödet åter ökar till verket kommer det ansamlade rensat att följa med avloppsvattnet till reningsverket.

Sandfången har som uppgift att avskilja partiklar med en diameter större än ca 0,15 mm. Detta innebär att sand, frön och kaffesump skall avskiljas i sandfånget men inte mindre partiklar och slam. Utan sandfången hade sand och partiklar som inte avskiljts i gallren passerat vidare in till försedimenteringen och sedan eventuellt också vidare till det biologiska steget, och slitage på utrustning, däribland pumpar, och avsättning av sand på botten av försedimenteringsbassängerna och eventuellt också luftningsbassängerna hade ökat.

4.2. Kemisk rening

Förluftning fyller flera funktioner, bland annat luftning av det inkommande vattnet för att undvika dålig lukt, och oxidation och inblandning av tillsatt fällningskemikalie. Kemisk fällning innebär att järnsulfat tillsätts i förluftningen och faller ut fosforföreningar samt suspenderat organiskt material. För salter av tvåvärt järn fordras att tvåvärda järnjoner först oxideras (i förluftningen) till trevärda joner, som har förmåga att bilda en gelatinös hydroxidfällning. Även tvåvärda järnjoner faller ut fosfor men dessa flockar är mindre och saknar gelatinös järnhydroxidfällning.

Den fällda fosfor och det organiska materialet avskiljs i försedimenteringen. Det ger en avlastning av biosteget och medför minskning av överskottsslamproduktionen vilket möjliggör högre slamålder. En effektiv förfällning

¹ Från 2004 byttes analysmetod på organiskt innehåll i inkommande avloppsvatten från COD till TOC. Kvoten (COD/TOC) var under en inkörningsperiod av metoden 3,53. Det analyserade TOC-värdet har multiplicerats med denna faktor för att kunna jämföra data under 2004 och 2005.

² Inkluderar slam uppkommet i avloppsvattenreningen samt externt organiskt material.

kan påverka processen positivt i hela verket, såväl på vattensidan som på slamsidan. Den totala uppehållstiden i förbehandlingen (mekanisk och kemisk rening inklusive försedimenteringen) ligger runt 2 - 6 timmar.

Inkommande mängd organiskt material, COD (kemisk syreförbrukning), till ARV föreligger i två former, i löst och i olöst form. Den del av den olösta CODn, som finns i större fasta partiklar, kommer att skiljas av i den mekaniska reningen och återstoden passerar vidare till förfällningen i försedimenteringen, där viss del av CODn sedimenteras till ett slam. Men en stor del av inkommande COD kommer inte att fällas i försedimenteringen utan går vidare med avloppsvattnet till det biologiska steget.

4.3. Biologisk rening

Kvävereningen sker i biosteget i bassänger med olika mikroorganismer främst bakterier som bildar ett aktivt slam.

I den första delen av bassängen innehåller vattnet inget fritt syre och där sker en anox-process (denitrifikation). I denitrifikationen omvandlas nitrat till kvävgas av heterotrofa mikroorganismer, vid samtidig konsumtion av organiskt material. Kvävgasen stiger upp i luften och återförs till atmosfären (som redan innehåller 79 % kvävgas). I den andra delen av bassängen luftas (syresätts) vattnet och en aerob process sker (nitrifikation). Nitrifikationen sker i två steg av olika bakteriegrupper. I steg 1 oxideras ammonium till nitrit av nitrosomonas och i steg 2 oxideras nitrit vidare till nitrat av nitrobacter.

I nästa steg leds vattnet in i eftersedimenteringsbassänger där slammet från luftningen sjunker till botten. Det mesta av slammet recirkuleras till luftningsbassängerna och det resterande slammet, överskottsslam (ca. 400 m³/d efter förtjockning), går till rötning. Överskottsslammet har en TS-halt på 0,5 % när det pumpas från det biologiska steget. För att öka TS förtjockas slammet med 5 stycken dekantercentrifuger (Alfa Laval XMNX 4565) till i medel 4,6 % för hela utvärderingsperioden (Figur 13).³

4.4. Rötningssystemet

I rötkastrarna behandlas primärslam, förtjockat överskottsslam samt externt organiskt material (EOM). Primärslammet pumpas från försedimenteringen till två slamsilos (2 x 175 m³, kommuniserande kärl). Från dessa beskickas respektive rötkastrare i en rullande sekvens via en beskickningsledning till botten av respektive rötkastrare. Överskottsslammet pumpas från centrifugerna till den gemensamma beskickningsledningen med primärslam. Allt producerat slam i avloppsvattenreningen rötas i totalt 7 stycken rötkastrare med en sammanlagd volym på cirka 39 000 m³. Rötkastrare RK1-RK4 och RK7 har en volym på cirka 5 000 m³/rötkastrare RK5 och RK6 har en volym på vardera knappt 7 000 m³ (se tabell 2). RK1-RK4 och RK7 beskickas normalt med samma mängd material medan RK5 och RK6 beskickas med mer material men medvetet med något mindre mängd material i förhållande till sina vätskevolym. Rötkastrarna ligger under marknivå, insprängda i berget med bergsidorna som väggar. Inpumpning av material sker i botten och utförsel av rötkastrarmaterial sker genom bräddning vid rötkastrartoppen.

Omrörning sker framförallt med hjälp av omrörare bestående av tre blad i RK5 och RK6, ett större i botten och två mindre i mitten respektive toppen, på en lång omröraxel. I RK1-RK4 och RK7 saknas mittenbladet, se figur 2. Dessutom finns det en separat toppomrörare installerad som förhoppningsvis vispar ned eventuellt skum i rötkastraren. Den tillförda omrörareffekten är cirka 30 kW för centrumomrörarna och cirka 26,5 kW för skumomrörarna dvs. totalt cirka 56,5 kW. Reversering av omrörarna sker 3 gånger per dygn varvid de backar i cirka 3 minuter per gång. En viss omrörning erhålls även via cirkulation av slam över de externt placerade värmeväxlarna. Det slam som cirkuleras över värmeväxlarna (VVX) tas ut vid den övre delen av den nedre konan

³ TS-halt för överskottsslam baseras på de manuella slamprov som tagits under arbetsdagar mellan 07:00 och 08:00. En uppföljning, som gjordes hösten 2007, av variationen av TS-halten över längre tid av dagen visade att dessa prov troligtvis ger en underskattning av TS-halterna och därmed TS-mängderna (Åkerlund, 2008).

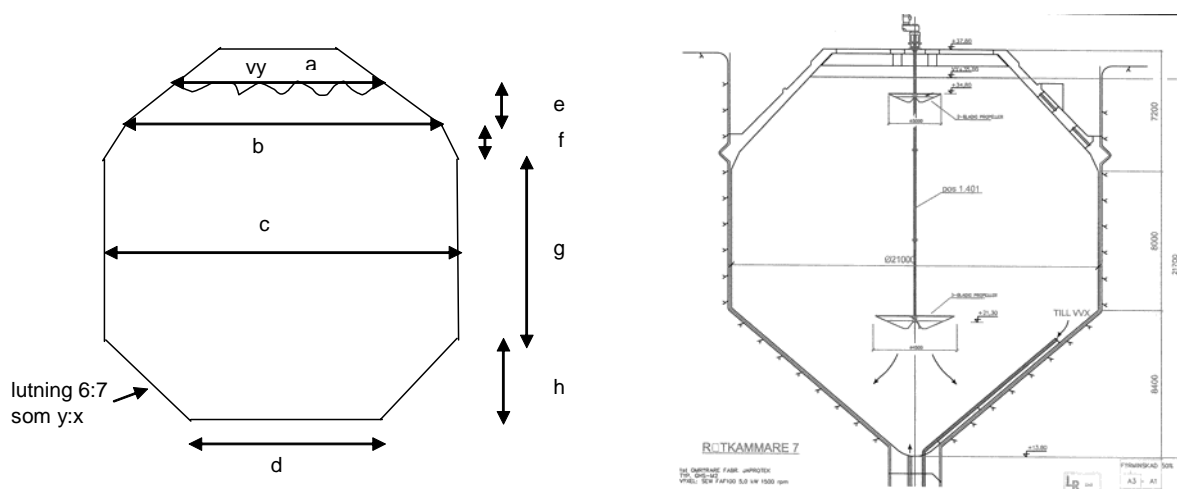
(till höger i figur 2) och återförs i botten tillsammans med inkommande, obehandlat, slam som tillförs ledningen efter värmeväxlaren.

I genomsnitt töms en röt-kammare per år enligt turordning eller andra omständigheter för inspektion och rengöring. Historiken för tömningen har tagits fram genom utvärdering av temperaturkurvorna samt gasproduktionen för respektive röt-kammare. Tömningshistorik under utvärderingsperioden (2000-2005) kan ses i Tabell 3. Varje normal tömning har resulterat i cirka 10 veckors avstängning av en röt-kammare. Vid beräkningar där röt-kammarens volymen är en parameter korrigeras volymen till den totala volymen röt-kammare som fortfarande är i drift (aktiv volym).

Övertrycket i röt-kammarna är cirka 35 mbar (cirka 359 mm vattenpelare)⁴. Alla röt-kammare har en diameter på 21,0 meter. I tabell 2 och figur 2 anges röt-kammarnas dimensioner upp till vätskeytan. Ovanför vätskeytan samlas rötgasen i en volym på motsvarande 1 - 2 m i höjdd. Vätskedjupet är cirka 22 meter i RK1 - RK4, cirka 21 meter i RK7 och drygt 26 meter i RK5 - RK6, se tabell 2.

Tabell 2 Dimension och vätskevolym för respektive röt-kammare.

Röt-kammare	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	Volym (m ³)
1	11,37	20,0	21,0	1,167	4,71	1,0	8,0	8,5	5070
2	11,41	20,0	21,0	1,167	4,69	1,0	8,0	8,5	5068
3	12,06	19,99	21,0	1,167	4,37	1,0	8,0	8,5	5036
4	12,08	19,99	21,0	1,167	4,36	1,0	8,0	8,5	5035
5	12,83	19,3	21,0	1,400	3,27	1,6	12,9	8,4	6687
6	12,81	19,3	21,0	1,400	3,28	1,6	12,9	8,4	6688
7	12,66	19,3	21,0	1,400	3,32	1,6	7,6	8,4	4855



Figur 2. Skiss av en röt-kammare (ej proportionellt) med mått enligt tabell 2 (till vänster), och skalenlig ritning på RK7 (till höger).

Tabell 3. Historik över tömningar av röt-kammare under utvärderingsperioden.

2000	2001	2002	2003	2004	2005
RK2	RK3		RK7	RK1	
RK4	RK5			RK2	
	RK6				

⁴ Utloppsrören sänktes 1996, se avsnitt 5.4.b.

Vid tömning och rengöring av RK2 under sommaren 2006 gjordes en inspektion och dokumentation av röt-kammaren invändigt. Mycket lite igensättning av trasor och annat konstaterades, samt att inga rör och dylikt fanns i röt-kammaren och hindrade slamflödet. Med tanke på att denna röt-kammare inte har varit i drift i mer än två år sedan föregående tömning är detta inte förvånande. Sammanställning av iakttagelser kan ses i Bilaga I.

4.5. Röt-slamhantering

Det rötade slammet pumpas till slamavvattningen som geografiskt ligger 2 kilometer från Henriksdal (Sicklaan-läggningen). Slammet passerar två utjämningstankar ($2 \times 5000 \text{ m}^3$) i Henriksdal, samt två gravimetriska förtjocka-re ($2 \times 660 \text{ m}^3$) i Sickla, och leds därefter till centrifugering. Det avvattnade slammet, TS ca 28 %, faller ner i två torrslamsilos med den totala volymen 800 m^3 varav högst cirka 250 m^3 normalt används. Det avvattnade slam-met används för närvarande (2007) till etablering av vegetationsytor på gråbergssupplag och sandmagasin vid gruvor i norra Sverige. Rejektvattnet från slamavvattningen innehåller förutom suspenderade ämnen en hög halt ammonium, runt $800 \text{ mg NH}_4\text{-N/l}$. Denna återföring av ammonium utgör 10 - 15 % av inkommande mängd ammonium till ARV. Detta ammonium som återförs ska nitrifieras i biosteget och kommer därmed att förbruka syre. Genom att återföra detta ammonium till processen när belastningen på ARV och biosteget är låg (t.ex. vid den tid på dygnet när nattsvackan når reningsverket, tidsförskjutet på grund av långa tunnlar) skulle en jämnare kvävebelastning på biosteget uppnås och processen förbättras. Ett annat sätt att minska denna belastning är att ha ett extra reningssteg på rejecktattenströmmen innan den återförs till kvävereningen i ARV. Ytterligare ett annat attraktivt alternativ är att driva röttningsprocessen på så vis att merparten av kvävet binds i biomassa och inte återfinns som ammonium i rejektet. Detta kan göras genom att planera vilka EOM som tas emot till röt-ningen. Ett EOM som inte innehåller stora mängder kväve kommer att medverka till uppbyggnaden av biomassa i röt-kammaren utan att tillföra kväve. Det betyder att det redan befintliga kvävet i röt-kammaren kommer att utnyttjas vid uppbyggnad av biomassan och på så sätt binds mer kväve in i organiskt bunden form.

4.6. Gashantering

Gasen som produceras vid rötningen har hittills nyttjats för elproduktion och uppvärmning i 4 gasmotorer re-spektive 3 gaspannor. Den gas som inte kan tas omhand leds till en fackla för destruktion. I januari 2004 slöts ett avtal med Storstockholms Lokaltrafik angående leverans av fordonsgas till bussar. På sikt kommer i princip all gas som produceras vid ARV att säljas som fordonsgas. Den första gasreningsanläggningen togs i drift i april 2003 och ytterligare en anläggning togs i drift i april 2006. Den totala gasreningskapaciteten uppgår med dessa till 1400 Nm^3 biogas/h. Gasreningen är en recirkulerande vattenskrubber, där rågasen renas från koldioxid, svavel-väte och ammoniak genom tryckvattenabsorption. Den renade gasen innehåller cirka 96-98 % metan.

5. Röttningsprocessen

Primärslammet som tas ut i försedimenteringsbassängerna samt slammet som tas ut som överskottsslam i den biologiska reningen behandlas i rötkamrarna. Kemsam ingår dels i primärslammet genom förfällning och dels i överskottsslammet genom simultanfällning när ofällt tvåvärt järn går vidare till luftningsbassängerna och där oxideras upp till trevärt järn. Henriksdals ARV tar dessutom emot externt organiskt material (EOM) i form av fettavskiljarslam och saluhallsavfall som pumpas direkt till rötkamrarna. En mer detaljerad beskrivning av dessa slam fås nedan i kapitel 5.4. Rötningen är en anaerob biologisk process som kräver vissa förutsättningar för att fungera på bästa sätt. Processen för behandlingen kan delas upp i tre steg.

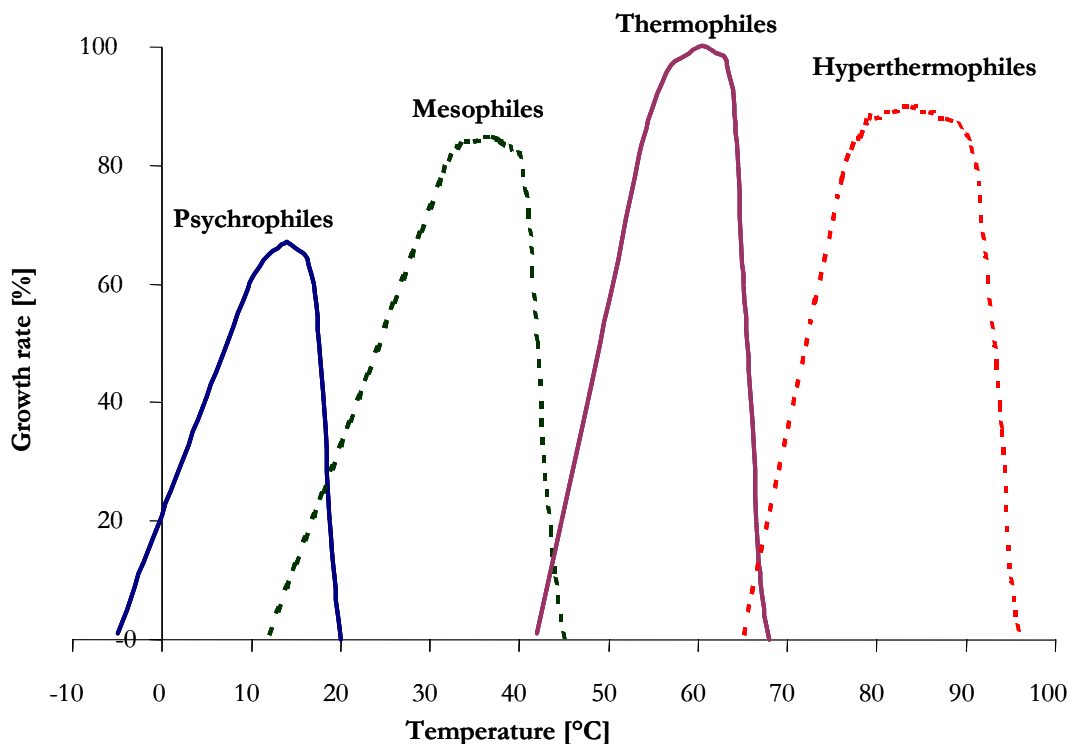
- Hydrolys av komplexa organiska föreningar
- Bildning av flyktiga organiska syror
- Bildning av gas

Dessa tre steg sker alla i rötkammaren, men av olika grupper av mikroorganismer. Stegen har olika optimum för sina processer och för att hela kedjan ska fungera i synergi krävs att processen drivs stabilt under betingelser som fungerar för alla involverade mikroorganismgrupper.

Röttningsprocessen påverkas av faktorer som temperatur, uppehållstid och substrattillförsel. Om rötningen fungerar bra kommer det att resultera i ett stabiliserat slam med en minskning av halten organiskt material på 45-55 %. Avvattningssegenskaperna för slammet förbättras och luktproblemen vid slamhanteringen minskar. Dessutom produceras en gas med högt energiinnehåll (metangas). I kommande stycke beskrivs de viktigaste av de faktorer som påverkar röttningsprocesser (Gerardi, 2003).

5.1. Temperatur

Mikroorganismer kan delas in med avseende på det temperaturområdet de lever och tillväxer inom (Figur 3). Det bör noteras att de angivna områdena i figuren ger en indikation på hur temperaturen påverkar tillväxthastigheten samt att det är förhållandevis flytande gränser mellan mikroorganismgrupperingarna. Om temperaturen i en bakteriell process sjunker kommer aktiviteten att avta, men som regel kan mikroorganismerna återhämta sig när temperaturen återställs. Stiger temperaturen ”för mycket” leder detta till destruktions av framför allt olika proteinstrukturer i den utsatta organismen vilket som regel leder till dess död. Den övervägande mängden organismer som har isolerats och beskrivits tillhör den mesofila grupperingen men isolat finns från alla temperaturområden. Det behöver dock inte betyda att de mesofila organismerna utgör de mest vanliga.

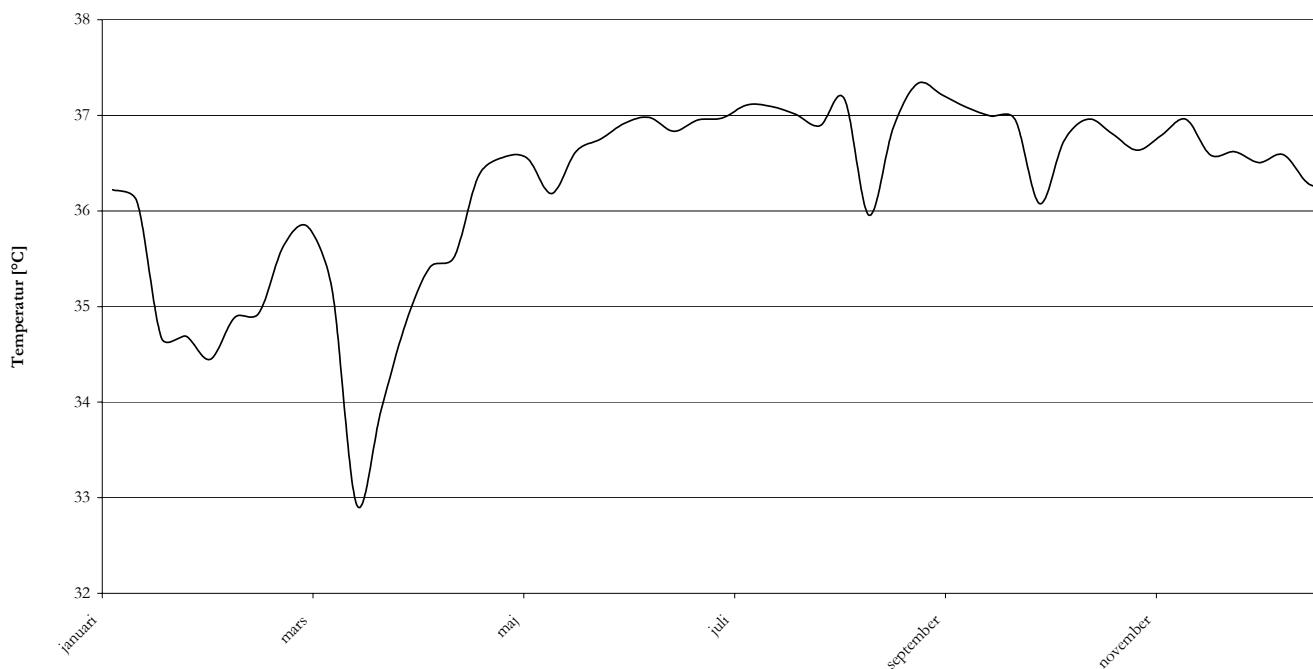


Figur 3. Mikroorganismers tillväxthastighet och indelning beroende på temperatur (modifierad efter Brook (1999)).

Den klassiska röt-kammaren för biogasproduktion körs mesofilt (vid ca. 33 – 38 °C) och beskickas främst med slam från reningsverk. Under de senaste 25 åren har dock bilden förändrats markant och nu körs en mängd olika biogasprocesser både termofilt (ca. 50 – 55 °C) och mesofilt och med en mängd olika substrat, som t.ex. gödsel och olika typer av organiskt avfall. Med en termofil temperatur fås en högre nedbrytningshastighet och en kortare behandlingstid av det organiska materialet än vid nedbrytning vid mesofil temperatur. Den mer effektiva processen kan i vissa fall kompensera för den högre temperaturen och energitillförseln kopplad till uppvärmning vid termofil temperatur. Den mesofila processen är vanligtvis mindre känslig för processtörningar då diversiteten i bakteriekulturen är större. Processen kan därmed tackla processförändringar och potentiella risker för processtörning bättre. Ett känt problem vid termofil rötning är att känsligheten är större för ammoniumtoxicitet, som kan uppkomma vid för höga kvävehalter vid nedbrytning av protein.

Temperaturen är inte optimal i rötningen på Henriksdal. Börvärdet för temperaturen var 35°C fram till oktober 2001. Detta värde höjdes sedan till 37 °C för att få en högre gasproduktion. Temperaturen i röt-kammarna varierar över året, som exempel ses variationen under 2002 i Figur 4. Detta år tömdes ingen av röt-kammarna för rengöring, så temperaturen är ett medelvärde där alla röt-kammare är i drift under hela perioden. Värmesystemet är underdimensionerat och beläggningar på värmeväxlare, slitna pumpar och shuntar gör att det är svårt att uppnå temperaturens förinställda börvärde vid varierande flöden. Framför allt är värmesystemet otillräckligt under snösmältningen i mars, april och maj, då flödet till ARV är högt och vattentemperaturen låg.⁵ Temperaturen kan periodvis sjunka så lågt som till 30-31 °C. I bilaga II ses temperaturhistoriken för alla röt-kammare separat och i Tabell 13 i bilaga IV ses årsmedelvärden av temperaturen. Vid det lägre börvärdet var det lättare att hålla en jämn och önskad temperatur, medan vid det högre börvärdet syns säsongvariationerna tydligare.

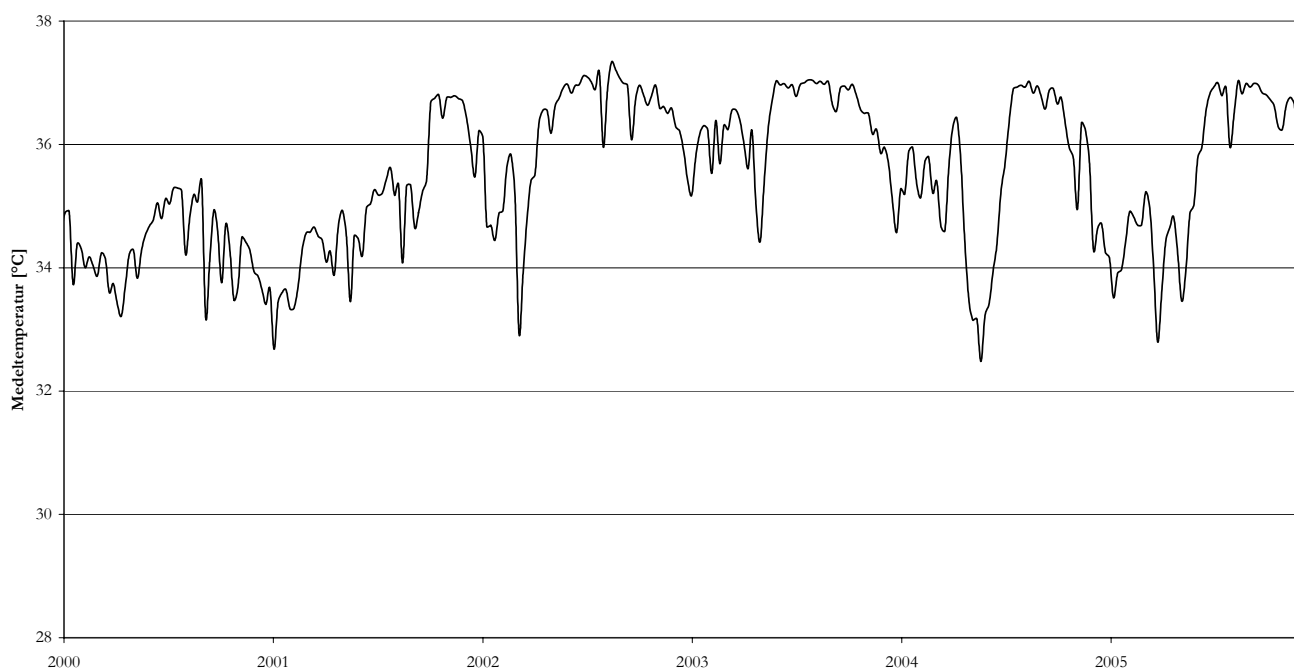
⁵ Värmesystemet byggs om under 2008 och dessa brister kommer då att åtgärdas.



Figur 4. Temperaturvariation i alla röt-kammare under år 2002. Temperaturen är ett medelvärde av temperaturerna i alla röt-kammare under perioden.

Temperaturen i rötningen på Henriksdal under 2000 - 2005 ses i Figur 5 där ett medelvärde för temperaturen i alla röt-kammare volym-sviktat har beräknats och i de fall en röt-kammare har varit avstängd har dess temperatur-värde ej tagits med, och medelvärdet har beräknats från de övriga röt-kamrarnas temperaturer.

Temperaturen har under utvärderingsperioden som årsmedelvärden ökat något och man kan även se en trend i ökad gasproduktion, men det är många variabler som spelar in i resultatet.



Figur 5. Medeltemperaturen i de aktiva röt-kamrarna under utvärderingsperioden.

5.2. Uppehållstid

Begreppet uppehållstid är en vanlig driftparameter vid rötning. Det finns två mått på uppehållstid, SRT (solids retention time) och HRT (hydraulic retention time). SRT är den genomsnittliga tiden biomassa och annat fast material uppehåller sig i reaktorn. SRT har stor betydelse för tillväxten av mikroorganismer i en rötkammare. De allra flesta röttningsanläggningar i Sverige idag är kontinuerligt totalomblandade processer (CSTR, continuously stirred tank reactor), där biomassan inte avskiljs från vattenfasen och $HRT = SRT$. Det finns rötningstekniker där biomassan skiljs av från vätskefasen och sedan återförs till rötkammaren igen. En sådan teknik har testats på Sjöstadverket i Stockholm (Negre, 2007). På så sätt kan SRT och HRT styras oberoende av varandra. Den hydrauliska uppehållstiden kan då hållas kort i reaktorn (høgt genomflöde av substrat) med fortsatt bibehållen god bakterietillväxt. Vid dessa betingelser kan HRT bestämmas med avseende på det substrat som ska rötas och SRT kan tillgodose en tillräcklig bakterietillväxt. Dessa tekniker lämpar sig väl till att anaerobt behandla stora mängder processvatten innehållande COD. En process med lång SRT och kort HRT är fördelaktigt ur många aspekter. Lång SRT medför reducerad rötkammarvolym och bättre buffertkapacitet för ojämnheter i belastning. Uppehållstid syftar till den teoretiska tid då materialet uppehåller sig i reaktorn. I en totalomblandad process räknas det med att efter 3 medeluppehållstider har 95 % av materialet i reaktorn bytts ut. Vattnet i inkommande substrat är den största faktorn som påverkar uppehållstiden, eftersom volymen av TS är liten i förhållande till vattenvolymen i vårt fall. Omkring en fjärdedel av volymen som utgörs av TS bryts dessutom ner och går ej med i utloppet. Uppehållstiden beräknas enligt Formel 1:

Formel 1. Beräkning av uppehållstid (HRT).

$$\text{Uppehållstid [d]} = \frac{\text{Rötkammarvolym}}{\text{Volym inkommande flöde per dygn}}$$

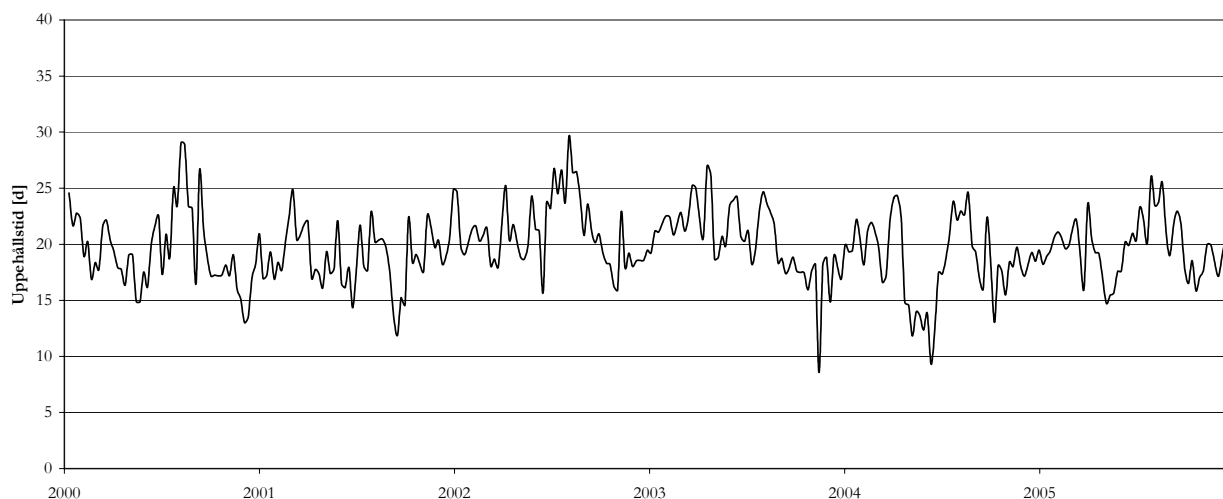
Uppehållstiden har betydelse för bakterietillväxten. Materialet måste tillåtas vara i rötkammaren tillräckligt lång tid för att mikroorganismerna ska hinna tillväxa och föröka sig. De metanbildande mikroorganismerna är de som tillväxer långsammast. Fördubblingstiden varierar väsentligt beroende på organism från 3 till 30 dagar. Det rekommenderas därför att uppehållstiden i rötkammaren bör överstiga 12 d och gärna även 15 d (Gerardi, 2003). Om uppehållstiden är för kort och mikroorganismerna späds ut i högre takt än de hinner föröka sig kallas detta "wash out".

Under utvärderingsperioden har HRT i rötningen på Henriksdal varit mellan 19 och 21 dygn i årsmedelvärde. För rötning på ett ARV är detta en normal och ganska lång uppehållstid. Om hydrolysteget i framtiden kommer att vara det begränsande steget på grund av att mer svårnedbrytbara polymera material tas in, kan denna relativt långa uppehållstid vara en förutsättning för att materialet ska hinna hydrolyseras och brytas ner fullständigt. Genom att höja TS-halten genom till exempel avvattning av inkommande slam och EOM kan uppehållstiden ökas om detta skulle behövas.

Uppehållstiden i rötkamrarna har varierat ganska mycket från vecka till vecka. Detta beror bland annat på sedimenteringsegenskaperna hos primärslammet och utpumpningen från försedimenteringen. Vid långa uppehållstider, då lite slam pumpats från sedimenteringssteget i avloppsreningsprocessen, har slammet också hunnit bli äldre och nedbrytningen av organiska materialet i slammet påbörjas redan före rötningen. En påbörjad nedbrytning i försedimenteringen minskar därför gaspotentialen och dessutom finns risk att sedimenteringen påverkas negativt då gas bildas som kan lyfta/flotera slammet. En kort slamuppehållstid i sedimenteringen och ett snabbt uttag av slammet bör därför eftersträvas. Med dagens driftsätt/utrustning så ger ett lågt slamuttag i försedimenteringen dels ett tjockt slam men också en hydrolys och i värsta fall även en gasbildning⁶. Men en för hög utpumpning av slam från sedimenteringen ger också ett slam med ett lågt TS-värde hos primärslammet och en högre hydraulisk belastning på rötningen. En optimering av slamuttag från försedimenteringen är betydelsefullt för att öka den totala gasproduktionen. Det bör vara möjligt att driva försedimenteringen med ett relativt høgt uttag av slam med hög TS, men ändå hålla nere flödena genom att effektivisera förtjockningen av slam.

⁶ Gasbubblor har observerats i försedimenteringen, men analys saknas med avseende på gasens sammansättning.

Under perioder då en eller flera rötkammare är stängda på grund av besiktning kommer den totala rötningsvolymen att minska och då också uppehållstiden. Under sommaren 2004 togs två rötkammare ur drift för rengöring samtidigt och resultatet av detta syns tydligt i Figur 6. Upphållstiden var mycket låg och gasproduktionen per kg VS sjönk något under den tid som de två rötkammarna var avställda. Upphållstiden hade ett medelvärde på 14 dygn och vissa veckor var den nere på endast 12 dygn. Vid avstängning av rötkammare sker även en momentan ändring i processen, varvid dessa förändringar får större effekt. Trots att ogynnsamma förändringar har uppkommit har inte processen visat allvarliga störningar annat än en nedgång i gasproduktionen. Effekten av sådana förändringar skulle kunna vara värre, processtörning med skumningsproblem skulle inte ha varit en otänkbar konsekvens. Att det inte har uppkommit beror troligtvis främst på att uppehållstiden i utgångsläget var relativt lång.



Figur 6. Den totala uppehållstiden i rötningen på Henriksdal. Under perioder då en eller flera rötkammare varit avstängda har dessa volymer tagits bort från den totala rötkammarvolymen.

5.2.a. Spårämnesförsök

Fullständig omrörning är väsentlig för att utnyttja hela rötkammarvolymen effektivt och även för att få en jämn temperatur i hela rötkammaren. Nya omrörare installerades 1994 i samtliga rötkammare för att tillgodose fullständig omrörning. En spårämnesundersökning gjordes i september 1994 och april 1995 i RK5 med litiumtillsats för att kartlägga omblandningseffektiviteten och man konstaterade då att 100 % av rötkammarvolymen utnyttjades och att omblandningen var effektiv. Rengöring av RK5 skedde senast sommaren 2001. En ytterligare spårämnesundersökning gjordes i maj 2007.

Metodiken är baserad på pulsdosering av känd mängd spårämne, i detta fall litiumjoner. Genom att följa förändringarna i det utgående slammets litiumhalt direkt efter dosering (impulssvar) och sedan följa hur halterna sjunker de följande veckorna kan omblandningseffektiviteten och förekomst av döda volymer eller kortslutningsströmmar i rötkammaren undersökas.

Rötkammarrens volym är 6687 m³. Litiumkloridlösningen innehöll 100 kg (99,5 vikts-%ig) LiCl (16,3 kg Li) och späddes med ca 250 liter vatten. Medelflödet under spårämnesförsöket var 478 m³/d och uppehållstiden, beräknat som V/Q, var 14,0 d. Dosering av litiumklorid skedde 2007-05-09 strax före värmeväxlaren under RK5 (se Figur 7) med en excenterskrupump med kapaciteten 25 l/min. Maximal koncentrationen av Li i rötkammaren

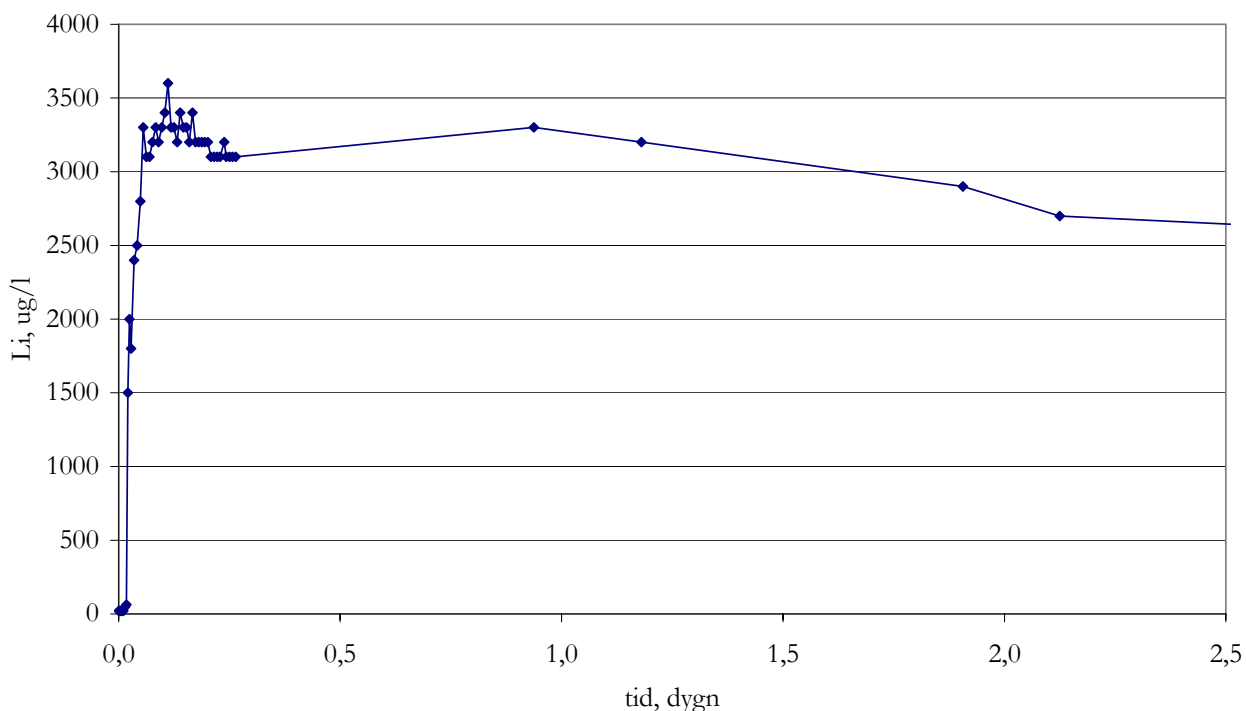
som skulle kunna uppnås, om hela röt-kammarvolymen nyttjas och om den är totalomblandad, var då 2,44 mg Li/l.



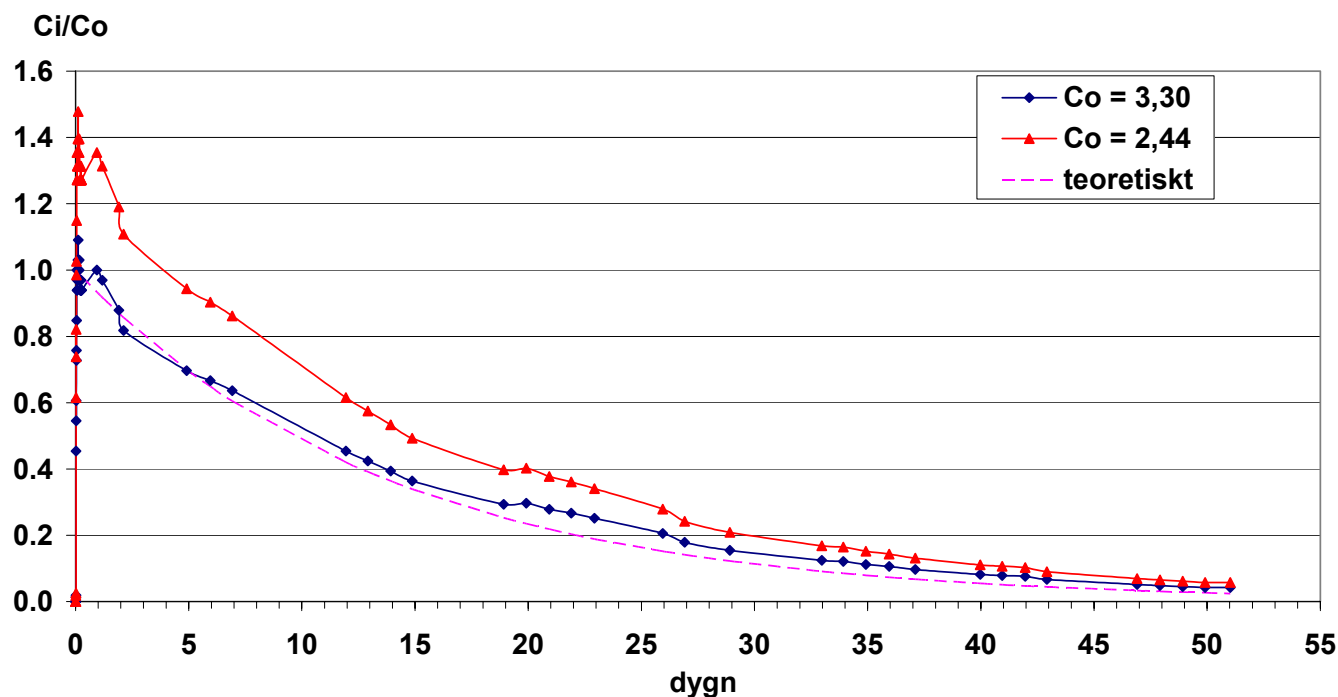
Figur 7 Till vänster - värmeväxlingslinan under röt-kammare 5 på Henriksdal. Till höger - doseringspunkten (längst ned till höger) för LiCl-lösningen.

Provtagningen skedde i utlopps-röret från RK5. Provtagningen startade ca 50 minuter innan litium började doseras. Inpumpningen startade 10¹⁰ och pågick i 17 minuter och 45 sekunder. Prover togs i bräddröret med 10 minuters mellanrum med start 09¹⁸ första dagen. Efterföljande dagar togs ett prov på förmiddagen och ett på eftermiddagen varefter ett prov togs per dag. I Figur 8 och Figur 9 nedan ser man resultatet av försöket. 30 minuter efter doseringsstart började Li-halten i utloppet stiga och gick efter 1 h och 20 min upp till en platå med halten 3,3 mg Li/l. Om denna koncentration, som alltså är väsentligt högre än förväntat för en totalomblandad reaktor med volymen 6687 m³, antas vara den förväntade initiala koncentrationen C₀ fås att utgående koncentration i det närmaste helt följer förväntad halt för en totalomblandad reaktor.

Om den initiala koncentrationen istället beräknas utifrån tillsatt mängd och volymen 6687 m³ erhålls resultatet att väsentligt mer litium sköljs ur röt-kammaren än vad som tillsattes. Anledningen till detta har inte kunnat fastställas, men resultaten tolkas ändå som att röt-kammaren har en väl fungerande omblandning.



Figur 8. Li-halten i utgående rötslam från röt-kammare 5 som funktion av tidpunkt för provtagning.



Figur 9 Li-halt i utgående rötslam från röttkammare 5 som funktion av antal dygn efter dosering av LiCl.

5.3. TS, VS och organisk belastning

Organisk belastning är den mängd nedbrytbart substrat som beskickas röttkammaren dagligen. För att karaktärisera ett substrats organiska mängd delas det upp i flera fraktioner. Ett substrat består av två fraktioner, vatten och torrsubstans (TS). TS består i sin tur av två delar, en oorganisk del (glödrest, GR) och en organisk del (glödförlust, GF). TS analyseras genom att provet vägs och placeras i värmeskåp i 105 °C under minst 12h så att vatten i provet avgår. Provet vägs därefter igen och TS beräknas genom Formel 2:

Formel 2. Beräkning av andelen torrsubstans (TS) i ett material.

$$TS \text{ (vikt - \%)} = \frac{\text{vikt efter värmning vid } 105^{\circ}\text{C}}{\text{vikt före värmning}} * 100\%$$

De två fraktionerna i TS analyseras genom att det torra provet glödgas vid 550 °C under 2h. Den organiska delen brinner upp och kvar i provet blir askan, glödresten. Provet vägs återigen och halten oorganiskt material kan sedan beräknas enligt Formel 3:

Formel 3. Beräkning av andelen glödrest (GR) av mängden TS.

$$GR \text{ (\% av TS)} = \frac{\text{vikt efter värmning vid } 550^{\circ}\text{C}}{\text{vikt efter värmning vid } 105^{\circ}\text{C}} * 100\%$$

Den del av TS som inte föreligger som glödrest är GF eller som det ofta benämns, flyktiga föreningar (Volatile Solids, VS) och beräknas enligt Formel 4:

Formel 4. Beräkning av andelen flyktiga föreningar (VS) av mängden TS.

$$VS (\% \text{ av } TS) = 100 - GR$$

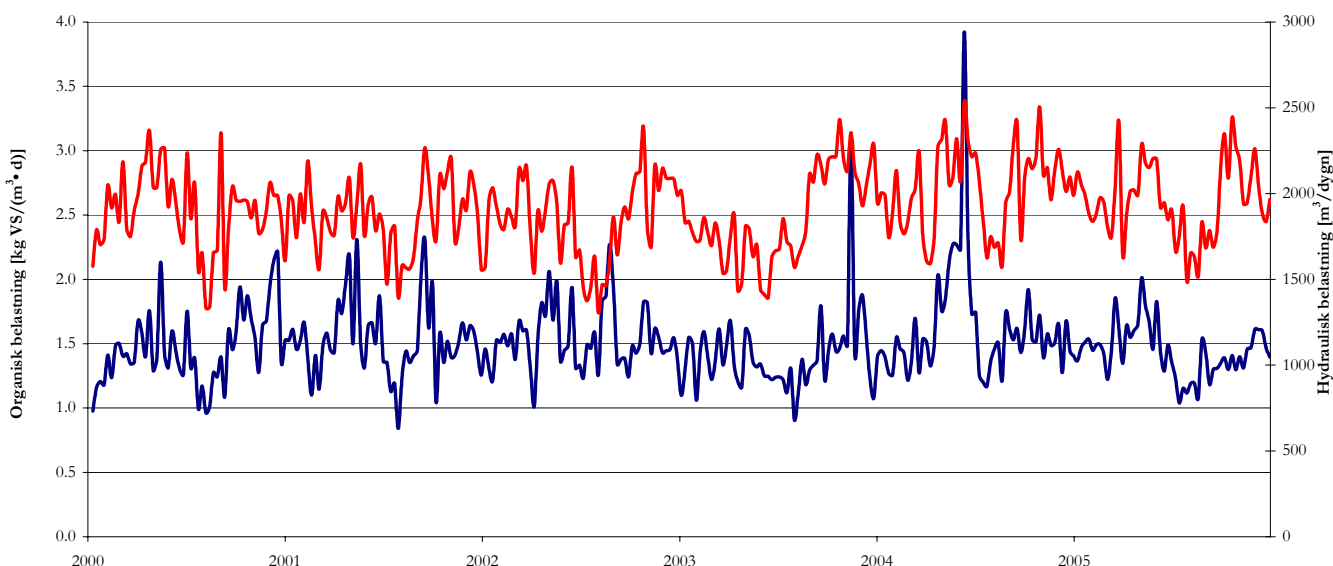
Den organiska belastningen från substratet som är väsentlig för nedbrytningsprocessen beräknas enligt Formel 5:

Formel 5. Beräkning av organisk belastning per volym röt-kammare.

$$\text{Belastning} \left[\text{kg VS}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}) \right] = \frac{\text{kg inpumpad VS}}{\text{m}^3 \text{ röt-kammarvolym och dygn}}$$

Det är viktigt att vara väl medveten om det organiska innehållet i substratet. På ett avloppsreningsverk har slammet som rötas förtjockats innan beskickning. Förtjockningen (vanligtvis via sedimentering, men även centrifugering förekommer) ger ett slam med relativt stabilt TS och VS. Variationerna i belastning är då mest beroende på mängden slam som pumpas till röt-kammaren. Vid rötning av ett substrat som består av ett flertal fraktioner av olika material är det viktigt att ha kunskap om materialens organiska innehåll och dess variation för att åstadkomma en bra substratblandning och då kunna få en jämn belastning till röt-kammaren.

Det är viktigt att analysera TS och VS på alla betydande mängder av EOM för att beräkna bidraget till den totala belastningen av organiskt material. Olika substrat kan uppfattas ha samma torrhalt och bara genom att göra analysen ser man skillnaden. Ett exempel är jämförelsen mellan en risgrönsgröt som innehåller 21 % torrt organiskt material och grädde som innehåller närmare 60 %, trots att vi upplever risgrönsgröten som fastare och därmed också kanske ”torrare”. Genom att belasta en röt-kammare med ett material med okänt TS kan man få ojämna belastningar vilket kan leda till processtörning. Ett sedimenterat slam på ett avloppsreningsverk är relativt stabilt i TS och VS och variationer i den organiska belastningen följer variationer i den hydrauliska belastningen (Figur 10).



Figur 10. Den specifika organiska belastningen (—) och den hydrauliska belastningen (—) på röt-kamrarna.

Mängden inkommande organiskt material till rötningen var stor och jämn år 2002, med bra avskiljning i försedimenteringen där medelvärdet av TS i primärslammet var 3.8 %. I Figur 10 kan man inte direkt se detta. Orsaken är att under 2002 var hela röt-kammarvolymerna ständigt i drift. Ingen röt-kammare tappades ner för översyn, och därför har den stora inkommande mängden spridits ut på en större volym och i belastningen på röt-kamrarna

syns inte detta så tydligt. Under mitten av år 2004 är det en period med mycket hög belastning på rötkamrarna (Figur 10). Detta beror på att 2 av 7 rötkammare var avstängda för tillsyn samtidigt. Medelvärden för den organiska belastningen på rötningsprocessen ses i Tabell 13, Bilaga IV.

TS och VS är de viktigaste analyserna som görs på rötningsprocessen. Med analyser av dessa parametrar i olika steg i processen, tillsammans med flödesmätningar, får man den information som krävs för planering av belastning och uppföljning av nedbrutet material. Några exempel på TS- och VS-analyser och deras betydelse följer:

- Inkommande substrat – TS och VS ger oss ett mått på hur mycket organiskt material vi har i substratet. Måttet används för att karaktärisera nya material (EOM) med avseende på gaspotential och inblandningsförhållande av materialen till den totala blandningen. Med regelbundna mätningar av TS och VS på EOM kan större krav ställas på leverantören av dessa material gällande leveranser och prissättning. Den viktigaste informationen TS och VS ger vid analys av inkommande substratet är den totala organiska belastningen på rötkammaren. TS kan mätas online, men onlinemätning på slam är svår och ofta görs parallella analyser på manuellt tagna prov. Beroende på variationen av i slammet ingående ämnen skiljer sig rekommenderad frekvens för provtagningar. På primär- och överskottslam rekommenderas analys av dessa flöden 1 gång per vecka vid normala driftförhållanden⁷. Då EOM kan variera i karaktär, och då andelen mängd EOM av den totala mängden organiskt material varierar, kan ingen generell frekvens rekommenderas. Analys bör dock göras så att kunskap om respektive EOMs innehåll och variation inhämtas.
- Rötkammar slam - TS- och VS-analys görs på prov taget på rötkammarcirkulationen eller på utloppet från rötkammaren. Det TS och VS som analyseras består av bakteriebiomassa samt ej nedbrutet organiskt material. Värdet ger förutom utrottningsgraden av substratet också en indikation på egenskaperna hos rötkammaren på grund av pumpning, omrörning och värmeväxling. Analys på respektive rötkammare görs minst 1 gång per vecka.
- Avvattnad slutprodukt – TS och VS analyseras hos slutprodukten samt innehållet av metaller och näringsämnen i förhållande till organiskt material. Analysfrekvensen avgörs av gällande regler för slutprodukten.

5.4. Inkommande substrat till rötningen

Det inkommande substratet till rötningen har bestått av tre fraktioner, primärslam, förtjockat överskottslam och externt organiskt material. En sammanställning av mängder och organiskt innehåll ses i Tabell 5 (avsnitt 5.4.d.).

5.4.a. Primärslam

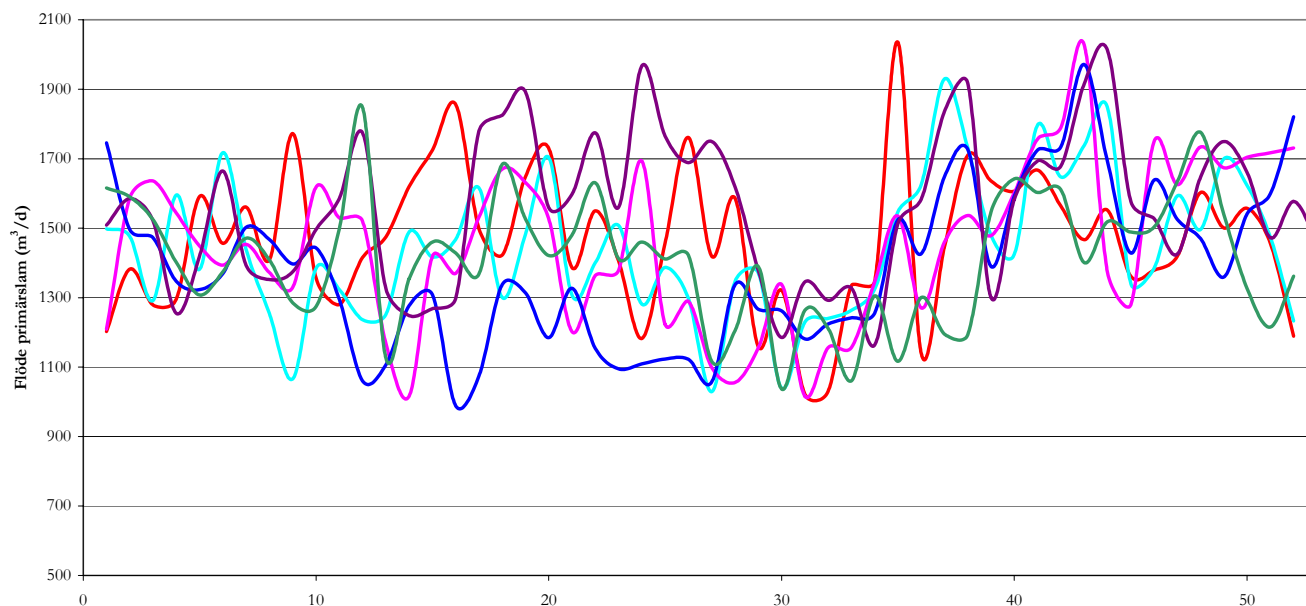
Primärslam (PS) kallas det i försedimenteringsbassängerna sedimenterade och kemiskt fälda slammet. Det pumpas, utspritt över hela dygnet, intermittent ut från botten av fickorna i bassängerna. Styrningen av utpumpningssekvensen görs genom mätning av TS på slammet. Vid start av utpumpning är slammet tjockast. Ett lägsta önskat TS ställs in och pumpningen sker tills TS på slammet är nere i denna halt. I styrningen ingår även en förinställd tidsparameter, där den kortaste tiden i pumpningssekvensen är ca 5 - 11 minuter per slamficka. Pumpningen pågår alltid minst denna tid, och om slammet fortfarande inte är nere på önskat TS fortsätter utpumpningen tills uppsatt maxtid uppnåtts. Skulle TS fortfarande inte vara nere på önskat värde går sekvensen in i en ompumpningsfas efter det att alla slamfickorna först pumpats en första omgång.

Slamproduktionen uppgår till cirka 1450 m³/dygn och det organiska innehållet i slammet är relativt konstant med TS = 3,6 ± 0,6 % och VS = 74 ± 4 % av TS. Flödet av primärslam varierar över året, se Figur 11. Under som-

⁷ Uppföljning av TS i överskottslam visar att tidpunkten för provtagningen är kritisk för att få representativt prov.

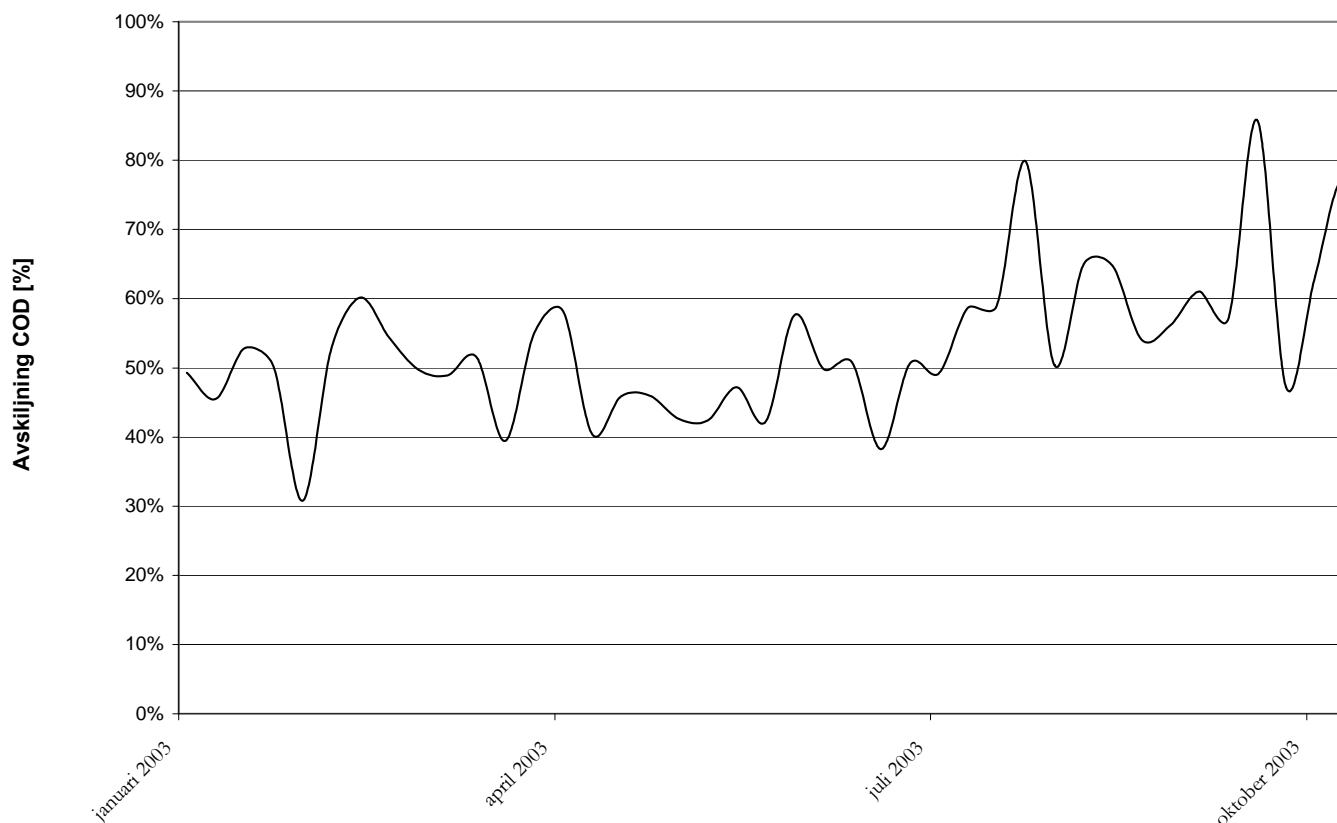
marmånaderna, då stor del av befolkningen inte befinner sig inne i staden och många industrier minskar produktionen, kommer mindre organiskt material in med avloppsvattnet.

Under perioden fr. o. m. 2003-07-09 t. o. m. 2003-11-21 var flödesmätaren på primärslam ur funktion. För att fånga in säsongvariationerna extrapolerades flödesvärden från samma period år 2002 och år 2004. Ett medelvärde från veckomedelvärdena 2002 och 2004 beräknades och användes som ett flödesvärde motsvarande vecka under år 2003. Dessa beräknade värden har använts i hela utredningen.



Figur 11. Primärslamflödet till rötningen under 2000 - 2005 varierar med årstiden. Värdena är flytande medelvärde under fyra veckor för att tydligare se årsvariationer. År 2000 (—), 2001 (—), 2002 (—), 2003 (—), 2004 (—) och 2005 (—).

Avskiljningen över försedimenteringen har beräknats via en COD-balans över bassängerna. COD-värden och flöden som använts är medelvärden för respektive år och resultaten kan ses i bilaga III. Medelvärde på avskiljningen av organiskt material till PS över försedimenteringen har varit $53 \pm 3\%$. År 2003 har valts som ett exempel på avskiljningens variation över ett år, Figur 12. En stor del av potentialen till hög gasproduktion ligger i att ha en väl fungerande avskiljning av primärslammet i sedimenteringssteget. Kan mer slam avskiljas i detta steg i processen kommer gasproduktionen totalt att öka. Man måste dock vara medveten om att COD även behövs som kolkälla till denitrifikationen i biosteget.



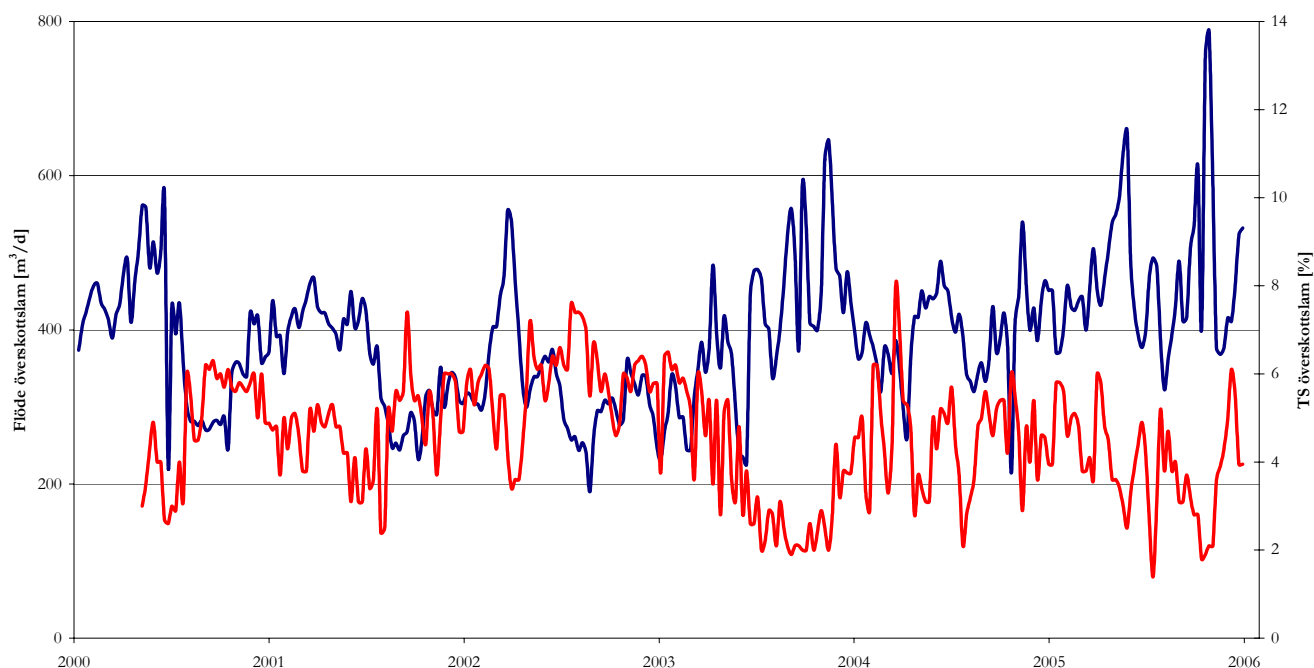
Figur 12. Avskiljningen över försedimenteringen under 2003.

5.4.b. Överskottslam

Överskottslam (ÖS) är det aktiva slam som tas ut från det biologiska steget (kapitel 4.3). Biomassan i detta slam är i motsats till det färska primärslammet ett relativt svårnedbrytbart slam. Den mängd suspenderade ämnen som kommit med dekantatet från försedimenteringen har konsumerats av bakterierna och byggts in i cellstrukturer. Gasproduktionen från detta slam är därför inte så högt.

Det är önskvärt att minska mängden vatten som tas in till rötkastrarna. Med en minskad mängd vatten blir HRT i rötkastrarna längre och öppnar antingen för möjligheten att röta ut mer av det substrat som beskickas rötkastraren eller för att ta emot ytterligare externt organiskt material (EOM). Överskottslammet förtjockas innan det tas in till rötkastrarna. Tidigare förtjockades slammet i gravitationsförtjockare, men 1999/2000 installerades fem överskottslamcentrifuger med en kapacitet att förtjocka slammet till TS 6-8 %. Redan 1982/1983 installerades två äldre överskottslamcentrifuger. Dessa hade emellertid inte kapacitet för att behandla hela överskottslamflödet. Före centrifugerna har överskottslammet en TS-halt på cirka 0,5 %. Vid idrifttagandet av centrifugerna uppstod stora problem med att uppnå en TS på 6-8 % p.g.a. mycket hög viskositet hos förtjockat slam med svårigheter att pumpa detta. Under andra halvåret 2003 uppgick därför TS-halten i det avvattnade slammet till endast 2,7 % (Figur 13).⁸

⁸ Det finns starka indikationer på att registrerade TS-mängder i överskottslam kan avvika avsevärt från verkliga genomsnittsmängder vid låga TS-halter. Detta beror på att prov regelbundet tagits mellan 07:00 och 08:00. Under denna period på dygnet ligger dock slamhalterna i överskottslammet och därmed oftast i det förtjockade överskottslammet lägre än för resten av dygnet. Detta framgår av "on-line"-mätare för slamhalt som finns för överskottslam, men som på grund av stor mätosäkerhet endast kan användas till att se kvalitativa förändringar över tiden.

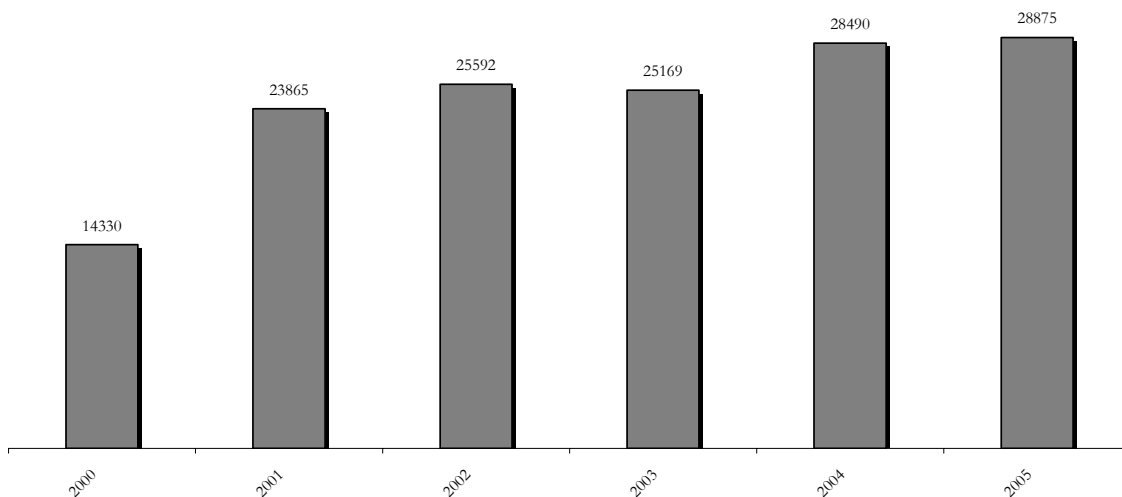


Figur 13. Flöde (—) och TS-halt (—) på förtjockat överskottsslam pumpat till rötningen.

Under 1996 uppstod skumproblem i rötningen på Henriksdal. Orsaken till skumningen var tillväxt av den filamentbildande bakterien *Microthrix parvicellae* som floterade rötslammet och en skumfas på ytan i röt-kamrarna bildades. Denna typ av mikroorganism är vanlig på kommunala avloppsreningsverk och tillväxer framför allt i biosteget vid en hög slamålder, och når rötningen via överskottsslammet. De direkta åtgärderna som gjordes var att utpumpningen av slam från biosteget ökades, för att minska slamåldern och då begränsa ytterligare tillväxt. Detta medförde dock minskad nitrifikation i biosteget. Rötningen av överskottsslam och primärslam separerades under en mycket kort tid och överskottsslamrötningen kunde då ske i enbart RK1 och RK2 vid längre uppehållstid, och en bättre utrötning av slammet nåddes. För att förhindra att skum trängde in i gasledningarna sänktes nivåerna med cirka 0,3 meter i RK3 och RK4 samt med cirka 1,3 meter i RK5 - RK7. De interna strömmarna på reningsverket sågs över, så att så lite filamenthaltigt slam som möjligt recirkulerades tillbaka till röt-kamrarna. De direkta lösningarna gjorde att *Microthrix*tillväxten avstannade något, skumningen i röt-kamrarna upphörde och driften kunde återgå till ursprungligt sätt. Ytterligare åtgärder i rötningsteget gjordes, för att under mer kontrollerade former kunna hantera problem med skumning. En toppomrörare installerades i samtliga röt-kammare. Dessa är i kontinuerlig drift idag, men med en bra metod för skummätning skulle denna omrörare kunna gå vid behov. Gasledningarna byggdes om i alla röt-kammare, så att separation av gas och skum gjordes, genom lyror på gasledningarna så att de inte kunde sätta igen med skum. Invallningar gjordes också vid röt-kammartoppen för att bättre kunna kontrollera eventuellt översvämmat skum som en extra åtgärd.

5.4.c. Externt organiskt material (EOM)

Från i mars 2000 har Henriksdals ARV tagit emot EOM. EOM tas in via separat mottagning och pumpas in i beskickningsledningen som går från primärslamsilon till röt-kamrarna. För att undvika igensättningar i ledningen på grund av fettnhalten i EOM pumpas alltid slam från slamsilon tillsammans med EOM för att hålla ett högre flöde i ledningen. Det tas emot EOM under hela året, med något mindre mängder under kvartal 3 varje år (Figur 14).



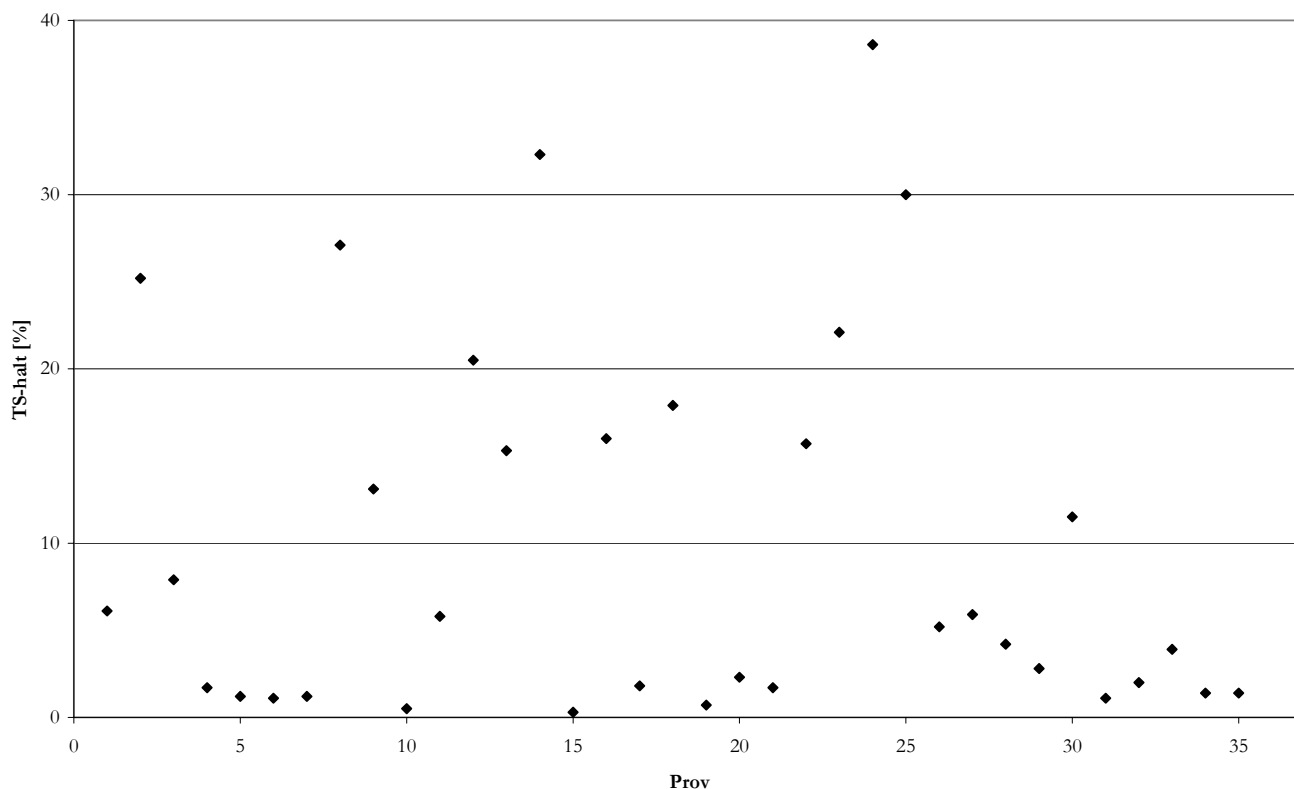
Figur 14. Mängd EOM [m³] som har mottagits till Henriksdal under utvärderingsperioden.

Fraktionen EOM består till 96 % av fettavskiljarslam från livsmedelsproduktion och restauranger. Årsmedelvärden över mängderna har beräknats över hela utvärderingsperioden. Vissa material har tagits in endast under vissa delar av året, men andelen av dessa material är mycket låg och de tas därför med som ett medelvärde över hela perioden. Analyser på TS och GR har gjorts vid ett antal tillfällen (35 st.) på fettavskiljarslam och endast vid enstaka tillfällen på övrigt organiskt material.

Resultatet i Figur 15 visar att spridningen i TS-innehållet på fettavskiljarslam ligger mellan 0,3 och 38,6 %. Medelvärdet från dessa mätningar är 9,7 % och medianvärdet var 5,2 %. Värdet på VS är mer konstant och medelvärdet är 94,6 % av TS. I beräkningar används värdet 9,9 %⁹ som TS-innehållet i EOM. Variationen i TS är stor och kan bero på ett antal faktorer:

- Tömningsintervall av aktuell fettavskiljare.
- Provtagningsförfarande – då fett skiktas sig i bilen kan provet variera beroende på om det tas ut i början eller i slutet på en tömning. Vid tömning kommer vattenfasen först och i slutet av tömningen består provet av mer fett.
- Provhantering – fett kommer även i provet att skikta sig och för att få ett representativt prov att analysera krävs ett väl ombländat prov och om möjligt även en större provmängd.

⁹ Beräknat medelvärde på de analysvar som fanns tillgängliga då beräkningarna gjordes. Då det faktiska medelvärdet endast marginellt avviker från detta och då det är stor standardavvikelse har ingen omräkning gjorts.



Figur 15. Analys av TS [%] på fettavskiljarslam.

Provtagningen av materialet sker vid leverans och provet tas i ledning vid tömning av bilen. Vid mottagning av stora mängder EOM är det mycket viktigt att halten organiskt material i EOM är känt, då denna kan variera mycket och ge ett stort bidrag till den totala belastningen på rötkastrarna, se figur 15, tabell 4 och tabell 5. Vid Henriksdal motsvarar mängden EOM endast 4 % av inkommande flöde till rötningen. Innehållet av organiskt material i EOM, om man räknar på ovanstående medelvärde (9,9 % i TS-halt), utgör 11 % av den totala organiska belastningen på rötkastrarna, se Tabell 4. En analys av känsligheten i kvalitet och i analys av EOM visar att med ett TS-innehåll på 0,3 % kommer mängden EOM att motsvara 0,4 % av totala mängden organiskt material till rötkastrarna och med ett TS-innehåll på 38,6 % kommer mängden organisktmaterial att motsvara 33 % av belastningen, se Tabell 4. Det organiska innehållet i EOM har alltså stor betydelse även vid små flöden. Det är alltså viktigt att kunskapen om EOM är så stor som möjligt och därför bör bra förutsättningar för provtagning och analys finnas. Provtagningsfrekvensen kan variera beroende på hur stor spridning det är i analyserna och vara tillräcklig så förtroende finns för analysvaren.

Det är möjligt att resultaten i Figur 15 beskriver verkligheten, och att variationen i TS beror på funktion och hantering av fettavskiljarutrustningen. Spridningen i resultaten kräver dock extra utredning av provtagning och provhantering. För att få en bild av skiktningen av materialet i bilen och utreda hur provtagningsutförandet påverkar resultaten kan flera prover tas under en tömning. 5 prover tas med jämna intervall under hela tömningen. Proverna analyseras var och en för sig och även som ett samlingsprov då alla prov blandats ordentligt. För att sedan se variationerna i analysmetoden analyseras ett prov (företrädesvis samlingsprovet ovan) i 5 replikat. Avvikelsen i analysvaren beräknas. Utifrån framkomna resultat görs en provtagningsrutin och chaufförerna som tar prover informeras.

Tabell 4. Känslighetsanalys på det organiska innehållet i EOM med avseende på den totala organiska belastningen på röt-kamrarna.

	TS [%]	VS [% av TS]	Mängd VS [ton/d]	Andel av belastning på RK [%]
Lägsta värdet	0,3	94,6	0,2	0,4
Medelvärde	9,9	94,6	6,3	11
Högsta värdet	38,6	94,6	24,4	33

5.4.d. Sammanfattning slamflöden och slamkvalitet

En sammanfattning över flöden och innehåll av organiskt material i de olika slamströmmarna ses i Tabell 5. Under 2002 var TS-halten i uttaget slam högre än genomsnittet, Tabell 5. Belastningen under 2002 och 2004 var något högre än normalt med mycket höga värden, bland annat för veckorna 32 - 35 2002. Under denna period var inte flödena högre än normalt, utan belastningsbidraget kom från hög TS-halt i primärslammet.

Tabell 5. Sammanställning över de inkommande substraten till rötningen. Värdena för primärslam och överskottslam är beräknade årsmedelvärden, och värden på EOM är beräknade på medelvärdet av samtliga analyser (n=35) utförda på fett under försöksperioden.

År	Primärslam			Överskottslam			EOM		
	Mängd	TS	VS	Mängd	TS	VS	Mängd	TS	VS
	[m ³ /d]	[%]	[% av TS]	[m ³ /d]	[%]	[% av TS]	[m ³ /d]	[%]	[% av TS]
2000	1 466	3,4	75,5	391	4,9	62,1	39	9,9	94,6
2001	1 443	3,3	75,0	358	4,7	62,1	65	9,9	94,6
2002	1 452	3,8	75,2	330	5,8	62,2	70	9,9	94,6
2003	1 388	3,6	75,6	400	3,7	62,5	69	9,9	94,6
2004	1 560	3,6	72,5	393	4,6	61,7	78	9,9	94,6
2005	1 411	3,6	72,6	468	4,0	62,6	79	9,9	94,6

2003 var det ett lågt flöde till ARV, och också lågt flöde av primärslam med normal TS-halt. Detta gav låg belastning på RK. Flödet av förtjockat överskottslam var lite högre än normalt men TS efter centrifugeringen var låg¹⁰. Utröttningsgraden under året var normal. Med en lång uppehållstid och låg belastning borde utröttningsgraden vara högre. Ett lågt flöde av primärslam betyder att slammets uppehållstid i försedimenteringen ökar, och slammet är inte lika färskt när det når röt-kammaren. Det är stor skillnad på gaspotentialen i ett färskt och i ett slam som legat länge i försedimenteringen. En möjlig orsak till de något lägre utröttningsgraderna under sommaren 2003 är att flödesmätaren till slamsilon inte visar korrekt värde. Då många beräkningar görs utifrån flödet av primärslam (under juli - oktober 2003 medelflöde av motsvarande vecka år 2002 och 2004) får det stora konsekvenser om det uträknade schablonflödet är för lågt.

¹⁰ TS-halt för överskottsslamm baseras på de manuella slamprov som tagits under arbetsdagar mellan 07:00 och 08:00. En uppföljning, som gjordes hösten 2007, av variationen av TS-halten över längre tid av dagen visade att dessa prov troligtvis ger en underskattning av TS-mängderna (Åkerlund, 2008).

6. Uppföljning av process och produktion

Uppföljningen av rötningsprocessen sker genom ett flertal parametrar. Dessa verktyg består av kontroll av driften via det dagliga arbetet i anläggningen, kemiska analyser av slammet på laboratorier samt beräkningar av produktions- och processdata. Det är viktigt att ha en bredd på uppföljningsparametrarna, då en störning i processen kan visa sig på olika sätt.

6.1. Gasproduktion

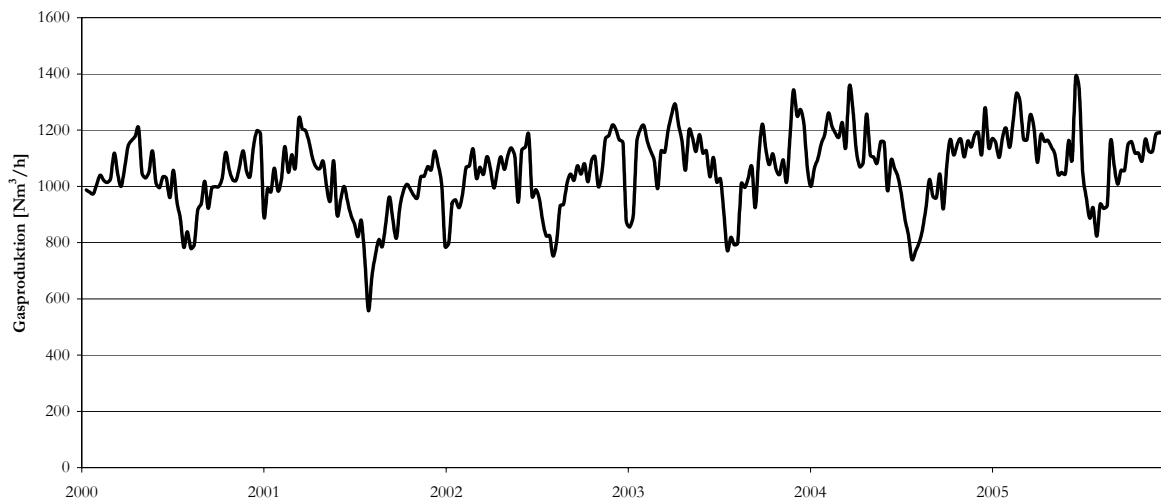
Det snabbaste och tydligaste svaret på hur processen går är att utvärdera gasproduktionen. Med parametern gasproduktion avses i denna rapport produktion av rågas om inte annat anges. Rågasen består av metan och koldioxid, där proportionerna till stor del beror av vilket substrat som rötas. På ett konventionellt avloppsreningsverk ligger metanhalten normalt på 60-70 % (VAV 1981). Produktion av gas från röt-kammarna är vid normal drift relativt konstant vid samma mängd och innehåll i beskickat material. Om problem uppstår i beskickningen av röt-kammarna (t.ex. ett haveri av beskickningspumpen) kommer utslag på gasflödet att ses momentant. Dessa iakttagelser görs i den dagliga driften och är den viktigaste utvärderingen för att förhindra processtörningar, vidta eventuella åtgärder och att ha en stabil och hög produktion.

Gasproduktionen har ökat under utvärderingsperioden (Tabell 6). Även metanhalten har ökat under utvärderingsperioden. Detta beror sannolikt på att mer fett tas in till rötningen, då nedbrytning av fett ger upphov till en biogas med högre metanhalt. Korreleras flödet på fettintag till röt-kammaren till metanhalten i den producerade gasen, kan man se en korrelation.

Tabell 6. Det sammanlagda gasflödet (Nm³/h) från rötningen under utvärderingsperioden. Värden är beräknade årsmedelvärden.

	Biogasproduktion årsmedelvärde [Nm ³ /h]	CH ₄ -halt årsmedelvärde [%]	Metanproduktion årsmedelvärde [Nm ³ /h]
2000	1021	64,7	661
2001	975	65,1	635
2002	1029	65,2	672
2003	1087	65,8	716
2004	1085	66,5	722
2005	1125	66,5	749

Gasproduktionen från respektive röt-kammare mäts med separata gasmätare. Över året visar gasproduktionen samma mönster, med en minskad gasproduktion under sommarmånaderna. Det beror på att belastningen på hela reningsverket minskar och då också belastningen på röt-kammarna. VS-halten i slammet ökar i och för sig något vid lägre flöden, men den organiska belastningen på röt-kammarna är sammantaget lägre under vecka 27 - 34 varje år. Perioden varierar något mellan åren. Denna sänkning av belastningen syns tydligt som en sänkning av gasproduktionen i Figur 16 under samma veckor. Under sommarmånaderna är det därför lämpligt att ta röt-kammare ur drift för renoveringsarbeten. Den lägre organiska belastningen ger också en möjlighet att använda den outnyttjade kapaciteten till att ta emot extra EOM och få en jämnare gasproduktion året om.



Figur 16. Totalt gasflöde (Nm³/h) från rötningen under utvärderingsperioden.

6.2. Specifik gasproduktion

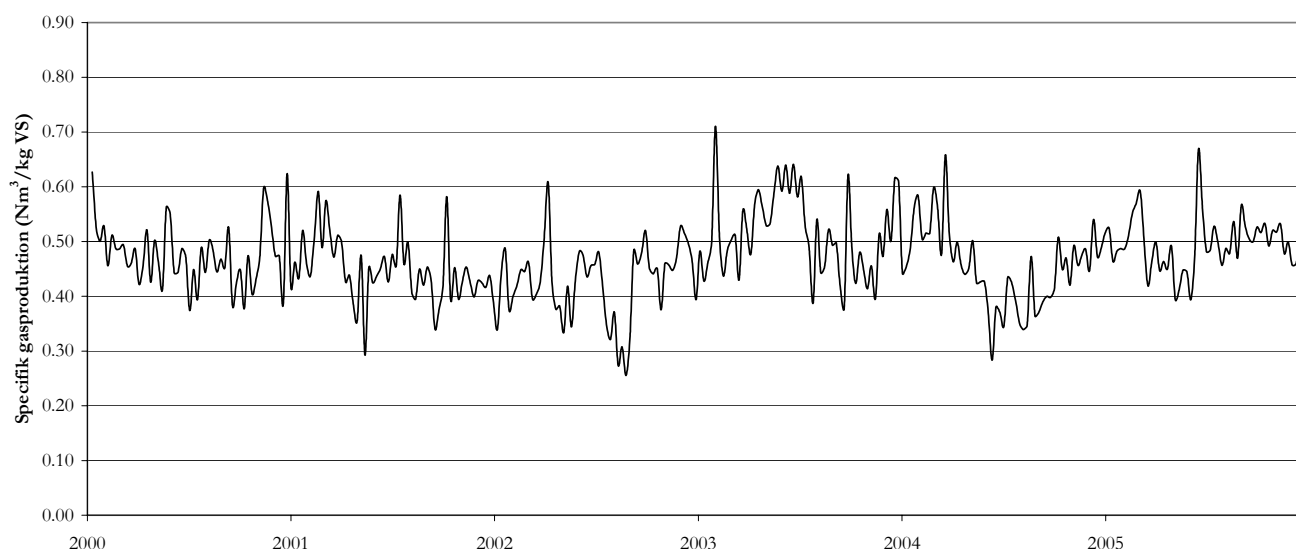
En närmare utvärdering erhålls genom att följa upp de kemiska analyserna på slammet. Parametrarna utvärderas var och en och även tillsammans. För att se hur effektivt mikroorganismerna bryter ner beskickat organiskt material används framför allt två uttryck, specifik gasproduktion och utröttningsgrad. Den specifika gasproduktionen ger ett snabbare resultat och speglar momentana förändringar medan utröttningsgraden är en långsammare parameter där processen måste få tid att ställa in sig så att VS-förändringen i röt-kammaren stabiliserats.

Den specifika gasproduktionen under ett tidsintervall på vanligtvis ett dygn är den producerade gasen i förhållande till den organiska belastningen och beräknas med Formel 6:

Formel 6. Beräkning av den specifika gasproduktionen.

$$\text{Specifik gasproduktion} \left[\text{Nm}^3 / \text{kg VS} \right] = \frac{\text{producerad mängd gas} \left[\text{Nm}^3 \right]}{\text{mängd beskickat organiskt material} \left[\text{kg VS} \right]}$$

Den specifika gasproduktionen säger två saker. För en process som beskickas med ett substrat som inte varierar mycket i sammansättningen av organiskt material kan man över en tidsperiod se hur nedbrytningen av materialet förändras. Om den specifika gasproduktionen ökar har den mikrobiella nedbrytningsprocessen effektiviserats. Effektiviseringen kan ha många förklaringar, så som gynnsammare förhållanden i temperatur för mikroorganismerna och bättre omblandningsförhållanden i röt-kammaren vilket ökar åtkomligheten av substratet. Om den absoluta gasproduktionen ändras med samma sammansättning på substratet kan man med hjälp av den specifika gasproduktionen se om det är ett resultat av en ändring i antingen beskickning eller den mikrobiella nedbrytningsprocessen. Den specifika gasproduktionen används också för utvärdering av olika substrat och substratblandningar. Beroende på sammansättningen av det organiska materialet har substratet olika potential till gasproduktion. Det tydligaste sättet att beskriva gaspotentialen för ett substrat är via den specifika gasproduktionen. Resultatet från beräkningarna från befintliga driftsdata visas i Figur 17.



Figur 17. Specifik gasproduktion från rötningen under utvärderingsperioden.

Producerad mängd gas kan redovisas på olika sätt. I Tabell 7 ses några av gasproduktionsparametrarna. Typiska värden för dessa parametrar för rötning av slam på ett avloppsreningsverk är 0,5 – 0,75 Nm³ biogas/kg VS och 0,75 – 1,12 Nm³ biogas/kg VS_{red} (VAV 1981). Den specifika gasproduktionen ligger jämfört med dessa värden något lägre än förväntat, medan producerad gas per kg reducerad VS ligger i mitten av förväntat intervall.

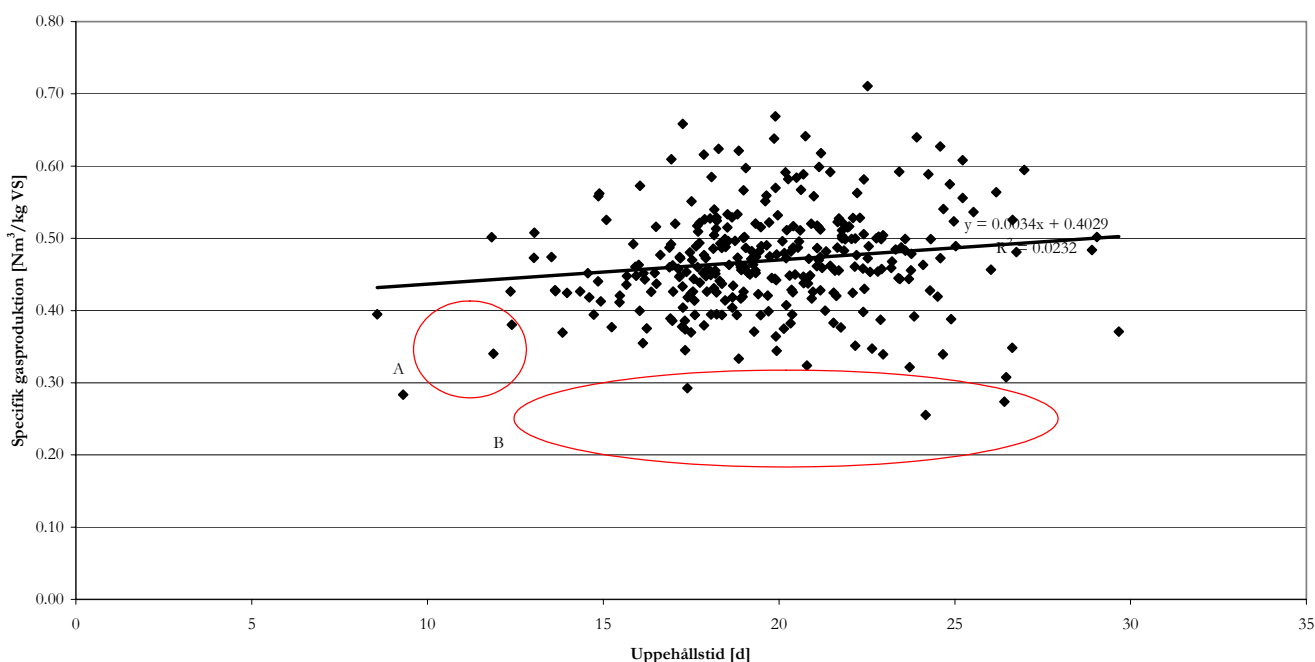
Tabell 7. Medelvärden av gasproduktionsparametrar under utvärderingsperioden.

År	Biogasproduktion				Metanhalt	Specifik Metanproduktion
	[Nm ³ /år]	[Nm ³ /kg VS]	[Nm ³ /m ³ slam]	[Nm ³ /kg VS _{red}]	[%]	[Nm ³ /kg VS]
2000	8 970 000	0,47	13,0	1,02	65	0,31
2001	8 540 000	0,45	12,6	0,98	65	0,29
2002	9 010 000	0,43	13,4	0,78	65	0,28
2003	9 520 000	0,52	14,3	1,03	66	0,34
2004	9 530 000	0,45	12,9	0,93	67	0,30
2005	9 860 000	0,50	13,9	1,03	67	0,33
Medel	9 240 000	0,47	13,4	0,96	66	0,31

Uppföljning av gasproduktionen och nedbrytningen av det organiska materialet görs dels med analyser på inkommande substrat och rötchammar slam och dels på produkterna avvattnat slam och biogas. De flesta beräknade parametrar är beroende av flödesmätningar på gas samt kemiska analyser på slammet.

6.2.a. Gasproduktionens beroende av processförutsättningar

I Figur 18 har HRT jämförts med den specifika gasproduktionen. Värdena är veckomedelvärden under hela utvärderingsperioden. Uppehållstiderna är omvänt proportionella mot inkommande slamflöde och har sällan varit stabila under längre perioder. För en bättre utvärdering av uppehållstidens betydelse för den specifika gasproduktionen är det önskvärt att processen stabiliseras på olika uppehållstider (se uppehållstidsförsök). Ingen trend kan ses i data som tyder på att en längre HRT ger en mer fullständig nedbrytning (mer gas per kg VS). Figuren indikerar dock att den specifika gasproduktionen sjunker då uppehållstiden underskrider 15 dygn. Värdena i område A i figuren (HRT < 15d) hör till en period under 2004 då två röttkammare tömdes samtidigt för rengöring. Temperaturen hade då svårt att hållas på börvärdet 37 °C, och medelvärdet var i de aktiva röttkammarna 33,3 °C. Värden med en specifik gasproduktion under 0,32 (område B i figuren) härrör framför allt från en period i augusti 2002 då det organiska innehållet i primärslammet visade högre värden än normalt.



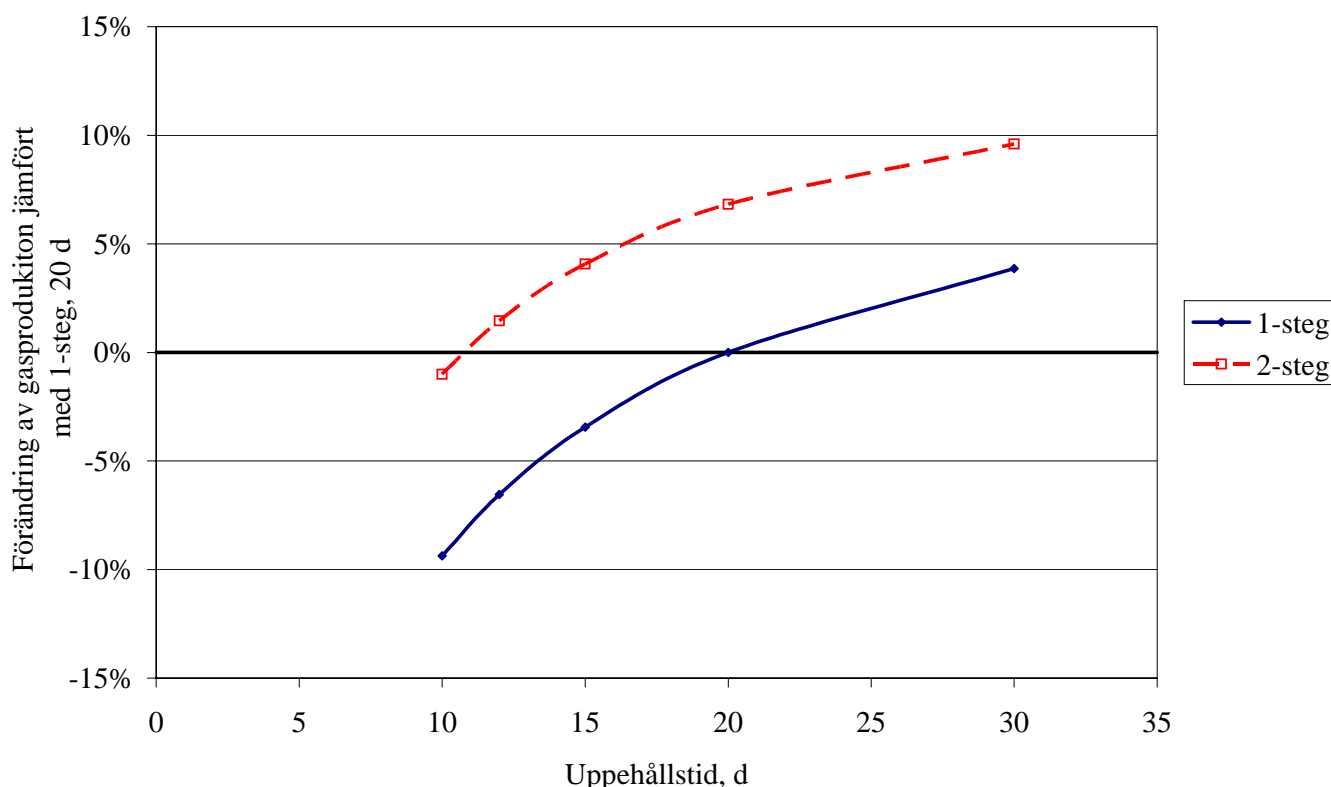
Figur 18. Specifik gasproduktion som funktion av uppehållstid (HRT). Den linjära regressionen visar att det inte finns någon stark korrelation mellan variablerna.

6.2.b. Satsvis rötning av blandat primär- och överskottsslam

Satsvisa utrötningsförsök av blandat primär- och överskottsslam har gjorts på JTI och rapporten i sin helhet ses i bilaga V. Två försök gjordes med tre paralleller för varje försök. I det ena försöket tillsattes endast ymp och i det andra ymp + substrat. Substratet utgjordes av primärslam 75,5 % av TS och överskottsslam 24,5 % av TS. Rötningstemperaturen var konstant 37 °C.

Gasproduktionen från substratet beräknades genom att ympens bidrag subtraherades bort. Medelvärdet för den kumulativa metanproduktionen var 0,34 NL/g VS för blandningen av primär- och sekundärslam (figur 1 i bilaga V). Metanhalten vid försökets slut var 68 %. Försöket pågick i 55 dagar. Efter 23 dagar var metanutbytet 0,32 NL/g VS (91 % av utbytet vid försökets slut) vilket indikerar att uppehållstider över 23 dagar endast ger marginellt ökat metanutbytet i förhållande till den extra reaktorvolym som krävs. Efter 15 dagar var metanutbytet 0,29 NL/g VS (83 % av utbytet vid försökets slut).

Medelvärde på uppehållstiden på Henriksdal ligger på cirka 20 dygn. Om resultaten från det satsvisa försöket¹¹ räknas om för att gälla en totalblandad reaktor fås att vid 20 dygn har cirka 88 % av slammets gasproduktionspotential tagits tillvara¹². Om slammet istället rötas i två lika stora seriekopplade totalomblandade reaktorer, med den totala uppehållstiden 20 d, fås att cirka 94 % av gasproduktionspotentialen kan tas tillvara. En extrapolering av resultaten från de satsvisa försöken indikerar således att gasproduktionen skulle öka med cirka 7 % om serie-drift tillämpades istället för parallell drift. En ökning av uppehållstiden från 20 till 30 d, för en totalomblandad reaktor, innebär att utnyttjandegraden ökar från cirka 88 till knappt 92 %, vilket motsvarar en gasproduktionsökning på knappt 4 %. Ett annat intressant resultat är att utrotningsgraden faller relativt kraftigt när uppehållstiden underskrider 15 d (**Figur 19**).



Figur 19. Förväntad förändring av gasproduktionen vid seriedrift jämfört med parallell drift vid 20 d uppehållstid. Beräkningar gjorda med hjälp av data från JTI:s utrotningsförsök korrigerade med antagandet att nedbrytningen går ungefär dubbelt så fort vid god omblandning.

6.3. Utröttningsgrad

Utröttningsgraden visar hur effektivt substratet har utnyttjats genom att mäta VS på rötresten och jämföra detta med VS på substratet. Det ger då ett mått på hur effektivt processen har rötat ut materialet. Termen är synonym med begreppen nedbrytningsgrad, sönderdelningsgrad och stabiliseringsgrad, vilka alla används i utvärdering av processen. Utröttningsgraden kan bestämmas på två sätt. Ett sätt att beräkna den är genom att använda massbalansen med Formel 7, där antagandet görs att allt organiskt material som inte går ut med rötslammet är nedbrutet och har bildat gas samt att inkommande volymflöde är lika med utgående volymflöde:

¹¹ Resultat från Borggren (2007) indikerar att utrotningen går ungefär dubbelt så fort vid satsvis utrotning med kontinuerlig omrörning jämfört med satsvis utrotning där flaskorna skakas om någon gång per dygn. I beräkningarna har därför antagits att det hos JTI registrerade utrotningen sker på halva tiden jämfört med den registrerade.

¹² Slammets gasproduktionspotential definieras här som den mängd biogas som producerats efter 54 d vid satsvis rötning utan kontinuerlig omrörning.

Formel 7. Beräkning av utröttningsgrad med massbalanskoncept (flödesoberoende)

$$\text{Utröttningsgrad [\%]} = \left(\frac{\text{Tillförd organisk substans} - \text{Utgående organisk substans}}{\text{Tillförd organisk substans}} \right) * 100$$

Ett annat sätt att beräkna utröttningsgraden beskrivs i Kommunförbundets avloppskompendium (häfte nr 5). Utröttningsgraden beräknas då med Formel 8. Flöden och TS ingår inte i formeln och beräkningarna blir därmed mindre känsliga för variationer i flödesmätning och TS-analys:

Formel 8. Beräkning av utröttningsgrad med flödesoberoende och TS-oberoende.

$$\text{Utröttningsgrad [\%]} = \left(1 - \frac{GR_{in} * GF_{ut}}{GR_{ut} * GF_{in}} \right) * 100$$

I denna formel antas att massflödet in till röt-kammaren av inert material är lika stort som utflödet, det vill säga det antas att inert material varken reduceras, avskiljs eller nybildas i röttningsprocessen¹³ (VAV 1981). Botten-tömningar görs dock ur röt-kammarna, så kallade ”purningar”, vilket gör att detta samband inte gäller fullt ut. Purning genomförs en gång per vecka i varje röt-kammare. Maximalt 93 m³ rötslam tappas totalt ut varje vecka vilket motsvarar ca 13 m³/d eller 0,7 % av uttaget rötslam. Årsmedelvärden för utröttningsgraden på Henriksdal för den utvärderade perioden redovisas i Tabell 8. Värdena är beräknade på veckovisa stickprov och manuell analys av TS och VS.

Tabell 8. Årsmedelvärden ± standardavvikelsen (medianvärden) för utröttningsgraden på Henriksdal under utvärderingsperioden. Data för ”börvärde 35 °C” respektive ”börvärde 37 °C” anger medelvärde ± standardavvikelse (medianvärde) för 90 veckor före respektive efter oktober 2001 då börvärdet höjdes från 35 °C till 37 °C.

	Temp., °C	HRT, d	Medelvärde (me- dian) utröttnings- grad Formel 7 [%]	Medelvärde (me- dian) utröttnings- grad Formel 8 [%]
2000	34,3	19,5	47,9 ± 5,7 (46,8)	50,1 ± 7,8 (49,4)
2001	35,0	18,9	46,8 ± 8,5 (47,3)	49,3 ± 8,0(50,9)
2002	36,2	21,1	55,1 ± 7,0 (53,7)	50,6 ± 9,7 (52,9)
2003	36,4	20,3	51,1 ± 6,8 (51,3)	49,6 ± 7,1 (50,1)
2004	35,5	18,5	48,8 ± 6,3 (50,1)	45,5 ± 8,3 (45,8)
2005	35,6	19,8	47,1 ± 5,2 (47,0)	44,1 ± 8,0 (46,3)
Börvärde 35 °C	34,4	19,1	46,8 ± 7,4 (46,4)	49,6 ± 8,2 (50,4)
Börvärde 37 °C	36,2	21,3	53,8 ± 7,1 (53,0)	50,1 ± 8,5 (51,9)
Hela perioden	35,5	19,7	49,5 ± 7,2 (49,4)	48,2 ± 8,5 (49,2)

Vid tolkning av resultaten ska hänsyn tas till att om registrerade inkommande TS-halter är lägre än verkliga halter erhålls en underskattning av utröttningsgraden då formel 7 används. Detta kan vara fallet för överskottsslammet eftersom provtagningen i regel skett under den del av dygnet då TS-halterna är som lägst (Åkerlund, 2008). Som

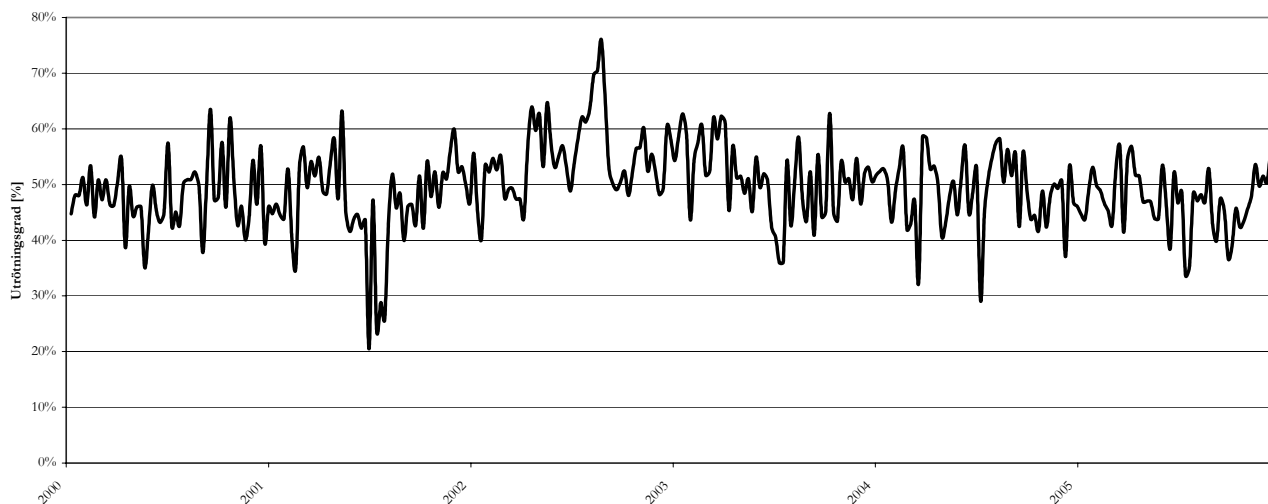
¹³ Eller att dessa processer tar ut varandra så att nettomängden av inert material ej förändras.

nämnts ovan bygger formel 8 på antagandet att mängden inkommande inert material är lika stor som mängden utgående inert material och att detta inte är helt sant eftersom botten tömning sker för att tömma ut sand och grus som ansamlats i rötkammarna. Dock kan antas att det material som avlägsnas vid botten tömning har en högre glödresthalt än det slam som lämnar rökammaren via slamutloppet. Detta betyder i sin tur att botten tömningarna gör att den verkliga utröttningsgraden underskattas något. Den samlade bilden är således att utröttningsgraden ligger kring 50 %, vilket är jämförbart med exempelvis reningsverket Nykvarn i Linköping, där den ligger på 52,4 % (Vallin et al., 2007).

Det går inte att konfirmera någon trend över tiden och det går inte heller att identifiera några tydliga säsongsvariationer för utröttningsgraden (Figur 20 och Figur 21). Möjligen kan man se en något nedgående trend i utröttningsgraden i figur 21. Noterbart är emellertid att de år med längst genomsnittlig uppehållstid och högst temperatur, det vill säga 2002 och 2003, även har de högsta utröttningsgraderna¹⁴.

År 2002 var avskiljningsgraden av organiskt material över försedimenteringen högre än för övriga år under den studerade perioden (bilaga III). Dessutom erhöles ett primärslam med ett relativt högt TS (Tabell 5). Mängden organiskt material till rötningen var högst under detta år, se tabell 13 i bilaga IV. Gasproduktionen uppvisade dock inte motsvarande ökning och detta syns i den specifika gasproduktionen år 2002 med ett lågt värde, se tabell 7.

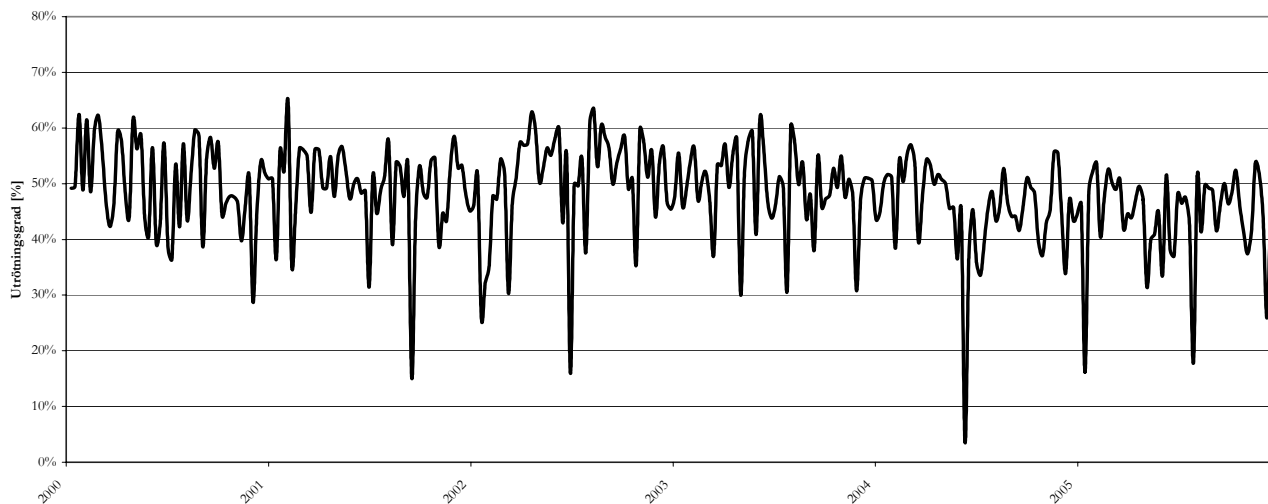
Vid jämförelse av utröttningsgraden för perioden före respektive efter höjningen av börvärdet i oktober 2001 noteras att medelvärdet för utröttningsgraden är väsentligt högre vid den högre temperaturen ifall formel 7 används (Tabell 8). Vid beräkning enligt formel 8 är skillnaden mindre, och motsvarar en ökad utrötning på 1 %¹⁵. Det bör dock påpekas att skillnaderna inte är statistiskt signifikanta.



Figur 20. Utröttningsgraden av det organiska materialet under utvärderingsperioden, beräknat med Formel 7

¹⁴ Under perioden 2003-07-09 tom 2003-11-21 var flödesmätaren för primärslam ur funktion. För att fånga in säsongsvariationerna extrapolerades flödesvärden från samma period år 2002 och år 2004. Ett medelvärde från veckomedelvärdena för 2002 och 2004 beräknades och användes som ett flödesvärde motsvarande vecka under år 2003. Dessa beräknade värden har använts i hela utredningen.

¹⁵ Det vill säga det är 1 % mer organiskt material som bryts ned vid den högre temperaturen.



Figur 21. Utröttningsgraden av det organiska materialet under utvärderingsperioden, beräknat med Formel 8.

6.3.a. *Temperaturens och uppehålltidens betydelse – resultat från försök*

En rad faktorer påverkar utröttningsgrad och gasproduktion. För att kunna studera effekten av enbart temperaturen gjordes en parvis jämförelse mellan två röttkammare vid Henriksdal som skulle drivas med identiska driftbetingelser med undantag för den studerade parametern. Undersökningen var primärt inriktad på att studera temperaturens betydelse, men kompletterande försök gjordes även för att studera uppehålltidens betydelse.

Röttkammare 3 (RK3) valdes som referensröttkammare och röttkammare 4 (RK4) varierades driftmässigt. RK3 ställdes in med +37 °C som börvärde och RK4 ändrades i perioder med börvärden på +31 °C, +33 °C, +35 °C och +37 °C (tabell 9). Vid varje ändring gick RK3 och RK4 minst 2 veckor med den nya inställningen innan prov togs.

Under jul och nyår (2006/2007) gjordes ett försök att driva RK3 och RK4 med olika uppehållstid, varvid de erhöll 20 respektive 16 dygns uppehållstid (försök 5). Under denna period var temperaturen dock + 36 °C i RK3 och +34 °C i RK4 på grund av otillräcklig kapacitet hos befintliga värmeväxlare¹⁶. Med både skillnad i uppehållstid och temperatur kunde inte effekten av enbart olika uppehållstider utvärderas. För att få en mindre temperaturskillnad mellan röttkammarna sänktes börvärdet till 35 °C (försöksperiod 6 i tabell 9). Skillnaden i temperatur var fortfarande på gränsen, 1,0 °C, men resultaten kan ändå anses styrka hypotesen att uppehållstiden har betydelse för utröttningsgraden. Skillnaden i uppehållstid blev 3,5 dygn. Under försöksperiod 7 gick RK3 och RK4 ånyo med lika långa uppehållstider, men med +35 °C som börvärde istället för +37 °C som börvärde (försök 4).

Resultaten visar att det finns en tydlig temperatureffekt eftersom det finns en signifikant skillnad i utröttningsgrad för försök 1 och 2, där också temperaturskillnaden är störst. Resultaten från försök 3 och 5 indikerar även att det finns en skillnad även vid en temperaturskillnad på cirka 2 °C, men skillnaden är dock inte statistiskt signifikant. I försök 5 skiljer sig dessutom uppehållstiderna i röttkammarna vilket gör det svårt att särskilja effekten av skillnad i temperatur och skillnad i uppehållstid. Vidare indikerar resultaten att utröttningsgraden sjunker relativt mycket om uppehållstiden reduceras från cirka 15 d till 11 d (försök 6), men skillnaden är inte statistiskt signifikant. Slutligen indikerar resultaten från försök 5, vid en jämförelse med resultaten från försök 3, en liten ökning av utröttningsgraden då uppehållstiden förlängs från 16 d till 20 d.

¹⁶ Börvärdet + 37 °C kunde inte uppnås i någon röttkammare.

Det är också intressant att jämföra effekten på gasproduktionen med uppvärmningsbehovet. En mycket grov förenkling av resultaten ger att gasproduktionen ökar cirka 1 %/°C vid uppehållstider på 15-19 d. Resultaten indikerar att detta även gäller för en höjning av temperaturen från 35 till 37 °C. Sannolikt är temperatureffekten större vid kortare uppehållstider, men i följande resonemang antas ändå att en effekt på cirka 1 %/°C kan erhållas vid genomsnittliga driftsförhållanden, det vill säga vid cirka 20 d uppehållstid. Om energiinnehållet i rötgasen antas vara 6,5 kWh/Nm³ innebär det att rötgasproduktionen motsvarar cirka 60 GWh/år. Det innebär att en ökning på 1 % motsvarar 0,6 GWh/år. Med ett slamflöde på cirka 1900 m³/d och ett energibehov på cirka 1,2 kWh/m³/°C fås ett bruttovärmebehov på 0,83 GWh/°C. Dock måste hänsyn tas till att gasen är en högvärdig energikälla och att värmen är lågvärdig. Hänsyn till detta kan tas genom att använda exergibegreppet. Under 2007 har Henriksdal anslutits till fjärrvärmenätet och i framtiden kommer uppvärmningen av slam att ske med denna värmekälla. Exergifaktorn för fjärrvärme är ca 0,3 kWh exergi/kWh energi, vilket innebär att exergibehovet är cirka 0,25 GWh/°C/år. Detta innebär att ”exerginettot” är cirka 0,35 GWh/°C/år vid en förändring av temperaturen kring ”normaldriftsläget” på 20 dygns uppehållstid och en temperatur kring 35 °C.

Ur energisynpunkt är det totala slamflödet av stor betydelse. En sänkning av uppehållstiden från 20 till 15 d motsvarar, då alla rötkammare är i drift, en ökning av slamflödet på 650 m³/d. Om detta flöde ska värmas upp cirka 20 °C blir det ökade värmebehovet cirka 5,5 GWh/år. Om man däremot kan förtjocka slammet ytterligare så att uppehållstiden kan ökas till 25 d så innebär det att flödet reduceras med knappt 400 m³/d, vilket innebär ett minskat uppvärmningsbehov på cirka 3,4 GWh/år. En ökning av uppehållstiden från 20 till 30 d innebär att slamflödet måste reduceras med 650 m³/d, men ger då ett en minskning av uppvärmningsbehovet på cirka 5,5 GWh/år. Effekten på gasproduktionen av att öka uppehållstiden från 20 till 30 d är uppskattningsvis knappt 4 % vilket motsvarar drygt 2 GWh/år (**Figur 19**).

Tabell 9. Resultat från försök med olika temperatur och uppehållstid för parvis jämförelse av driften av rötkammare 3 och 4 vid Henriksdals reningsverk.

Försök (period)	Temperatur, °C ¹⁷ (börvärde)			Upphållstid, d			Differens utröttningsgrad, % medel ± stdav. Δ(RK3 – RK4)		Gasproduktion		
	år	RK3	RK4	differens, RK3- RK4	RK3	RK4	diff., RK3- RK4	Form. 7 (VS-red.)	Form. 8 (GR/GF)	Nm ³ /kg VS in Δ(R3-R4)	ökning, % ¹⁸
1 (v21-v27)	2006/ 2007	36,2 (37)	30,9 (31)	5,3 (6)	14,5	14,5	0	3,6±2,0	3,0±1,1	0,09	22 (6,3)
2 (v31 ¹ -v34)		36,6 (37)	32,9 (33)	3,7 (4)	18,4	18,5	-0,1	1,0±1,2	1,6±1,2	0,09	20 (3,1)
3 (v37 ¹ -v40)		36,5 (37)	34,8 (35)	1,8 (2)	15,2	15,2	0	0,6±2,7	1,0±1,5	0,05	11 (2,5)
4 (v43-v45 ¹)		36,2 (37)	36,0 (37)	0,2 (0)	13,5	13,8	-0,3	-1,4±1,4	0,3±1,4	0,04	9 (0,6)
5 (v49-v8) ²		35,5 (37)	33,7 (37)	1,9 (0)	19,9	15,9	4,0	0,9±3,2	1,5±1,9	0,18	40 (3,6)
6 (v20-v23)		34,7 (35)	33,7 (35)	1,0 (0)	14,7	11,2	3,5	3,5±6,9	5,1±6,2	0,12	24 (12,4)
7 (v27-v36)		34,8 (35)	34,9 (35)	-0,1 (0)	15,0	15,2	-0,1	-2,1±1,7	-0,5±0,9	0,02	4,0 (-1,0)

¹ = halva veckan, ² = ej vecka 52 - vecka 3, ³ för rådata, se bilaga VII

¹⁷ Temperaturdata är hämtade från WASTE, men korrigerade utifrån manuellt uppmätta temperaturer med samma termometer för båda rötkammarna.

¹⁸ Gasproduktionsökningen beräknad utifrån förändring av utröttningsgrad anges inom parantes. Dessa värden ger troligtvis en mer korrekt bild av effekten på gasproduktionen eftersom gasmätningen är behäftad med större osäkerhet än TS- och VS-analyser.

6.3.b. Simulering av effekten av seriedrift

Jeppsson (2007a; 2007b) genomförde en simulering med hjälp av "TWA Anaerobic Digestion Model no 1" (ADM1) för att studera effekten av en tänkt seriedrift av rötkamrarna på Henriksdal. Vidare simulerades effekten av en ökad belastning som kan förväntas om cirka 10 år¹⁹.

I simuleringarna har antagits att vid stegvis rötning, seriedrift, så har steg 1 en volym på 23700 m³ och steg 2 en volym på 15200 m³²⁰. Vid seriedrift antas att allt slam och externt organiskt material tillförs steg 1. Samtliga rötkammare antogs vara totalomblandade.

Tabell 10. Antagna flöden och belastningar för "nuläge" samt "framtida" driftfall.

	Primärslam		Överskottsslam		EOM	
	m ³ /d	ton VS/d	m ³ /d	ton VS/d	m ³ /d	ton VS/d
Nuläge	1450	37,6	390	11,1	70	6,7
Framtid	1595	41	429	12	336	31,9

Vid tolkning av resultaten ska hänsyn tas till att underlaget för att karaktärisera slammet, på det sätt som är önskvärdt ur modelleringssynpunkt, var mycket knapphändig. Endast totala mängder organiskt material samt jämförelse med verklig utröttningsgrad fanns att tillgå vid simuleringarna.

Beträffande det externa organiska materialet har antagits för nuläget att det utgörs till 100 % av fett. Hela ökningen av EOM från "nuläge" till "framtid" antas komma från källsorterat organiskt avfall, i huvudsak från restauranger och butiksverksamhet.

I ADM1 finns möjligheten att använda så kallade "interface models", nedan kallad gränssnittsmodellen. Om denna modell ej används, antas all COD i slammet gå in i rötkamrarna som ett kompositmaterial och delas därefter upp i proteiner, kolhydrater, fetter och inert material enligt antagande som är fördefinierade i "ADM1 model". Disintegrering av slammet till proteiner med mera är den långsammaste processen i ADM1-modellen. Om gränssnittsmodellen används så innebär det att disintegrering sker momentant. Huvudmotivet till att använda gränssnittsmodellen är att skilja disintegrering av internt material, det vill säga nedbrytning av biomassa, från disintegrering av slammet eftersom det antas gå betydligt fortare.

De resultat som redovisas i tabell 11 kommer från simulering av de två extremfallen, det vill säga dels då det antagits att allt slam och EOM gått in som kompositmaterial och dels då det antagits att allt slam och EOM disintegreras momentant. Generellt ligger utröttningsgraderna och gasproduktionen väsentligt högre än vad som redovisats för Henriksdal under 2000 – 2005. Dock kan konstateras att simulering utan gränssnittsmodellen ger bäst överensstämmelse med uppmätt utröttningsgrad. Om resultaten från dessa simuleringar används för att bedöma effekten på gasproduktionen fås en förväntad ökning på cirka 5 % vid övergång från paralleldrift till seriedrift. Jeppsson (2007b) anser dock att modellering med gränssnittsmodellen ger mer tillförlitliga resultat när det gäller utröttningsgrad.

Tabell 11, Beräknad utröttningsgrad samt förväntad metanproduktion²¹ för de olika driftfallen.

	Nuläge		Framtid	
	Med gränssnittsm. utröttningsgrad, %	Utan gränssnittsm. metan, Nm ³ /d	Med gränssnittsm. utröttningsgrad, %	Utan gränssnittsm. metan, Nm ³ /d
Paralleldrift	64,2	22349	66,3	34237
Seriedrift	65,1	22618	67,3	34661

¹⁹ Belastningsökningen på Henriksdal är cirka 1 %/år och här har en 10 %-ig ökning studerats.

²⁰ Den valda volymfördelningen baseras på den befintliga rötkammarvolymen och vad som inledningsvis ansågs vara en rimlig volymfördelning mellan de båda stegen.

²¹ Vid beräkningar har produktionen i kg metan/d redovisad av Jeppsson (2007b) räknats om till volym via densiteten 0,717 kg CH₄/Nm³.

ökning (%)	1,2	5,8	1,2	4,8
------------	-----	-----	-----	-----

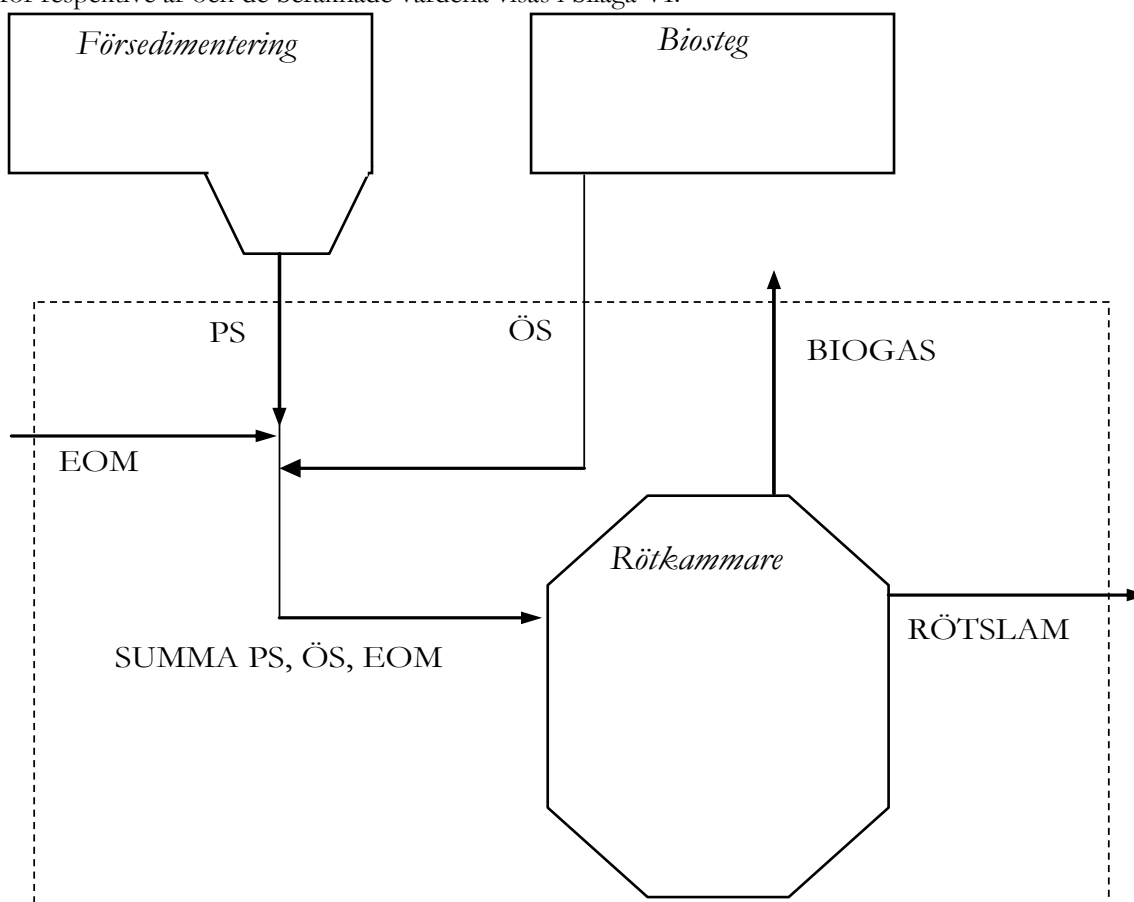
Resultaten visar även att utrottningsgraden kan förväntas bli högre i framtiden trots en ökad belastning. Detta är dock en effekt av att andelen EOM ökar kraftigt²² och att denna fraktion är mer lättnedbrytbar än slammet.

6.4. COD-balans rötningen

En massbalans kan göras på de olika reningsstegen på ett ARV för att skapa en uppfattning om materialflöden. Systemet för massbalansen avgränsas enligt Figur 22 och balansen ställs upp enligt:

$$PS + \text{ÖS} + \text{EOM} = \text{BIOGAS} + \text{RÖTSLAM}$$

En variabel som ofta används vid massbalansberäkningar av det organiska materialet är COD. COD är kemisk syreförbrukning, det vill säga den mängd syre som åtgår vid kemisk nedbrytning av det organiska materialet. COD-innehållet mäts i de olika slamströmmarna samt beräknas i den producerade gasen. En COD-balans har gjorts för respektive år och de beräknade värdena visas i bilaga VI.



Figur 22. Systemgräns för COD-balans över rötningen utgörs av den streckade linjen.

Energien i det organiska materialet omvandlas i nedbrytningsprocessen till gas, alternativt stannar kvar som organiskt material i utgående slam. Inkommande COD till röt-kammaren är en summering av PS, ÖS och EOM. Mängden COD i dessa strömmar är relativt konstant över åren och är beräknade utifrån flöde samt analyser av TS och VS (Tabell 12). I medeltal går knappt 46 % av CODn till rötslammet och drygt 52 % återfinns som CH₄. Utröttningsgrad baserad på COD-balans ger ett högre värde, cirka 53 %, än det som beräknats med hjälp av VS

²² Andelen EOM ökar från ca 11 % av inkommande VS till drygt 37 % av inkommande VS.

(knappt 50 %). Detta förklaras främst av den relativt höga COD/VS-kvoten för EOM. EOM är nämligen mer lättnedbrytbart än slam och EOMs andel av inkommande substrat är större om den beräknas utifrån COD än om den beräknas utifrån VS. I rötslammet och gasen återfinns knappt 100 % av COD i inkommande slam och EOM. Om 2002 undantages (87 %) ligger värdena inom intervallet 97 - 103 %. Rådata till COD-balansen finns i bilaga VI.

Tabell 12. Resultat från beräkning av COD-balans på rötningen.

År	Σ till RK [t COD/d]	Rötslam		CH4		Σ Rötslam + CH4	
		[t COD/d]	[% av tillfört COD]	[t COD/d]	[% av tillfört COD]	[t COD/d]	[% av tillfört COD]
2000	85	42	49	45	54	87	103
2001	88	41	47	44	50	85	97
2002	98	39	40	46	47	85	87
2003	86	38	44	49	57	87	101
2004	97	44	46	50	51	94	97
2005	92	43	47	51	56	94	103

6.5. pH och alkalinitet

pH och alkalinitet ger bägge ett mått på hur väl processen fungerar. Alkalinitet ger ett mått på systemets buffertkapacitet och säger därmed hur känslig processen är för störningar.

Enzymaktivitet och rötningseffektiviteten är mycket beroende av pH. Hydrolyserande bakterier har en hög aktivitet vid pH över 5,0 medan metanproducerande bakterier inte klarar sig vid ett pH under pH = 6,2. De flesta röttningsprocesser vid avloppsreningsverk har ett pH mellan 6,8 och 7,2. pH-värdet är mycket beroende av vilket substrat som tillförs röt-kammaren. Tillförs ett proteinrikt substrat kommer kväveinnehållet i form av ammonium att höja pH och man kan få en stabil process med ett pH-värde över 8,0.

I rötningen på Henriksdal mäts pH på respektive röt-kammare 1 gång per vecka. Värdet ligger mycket stabilt på 7,2.

Stabiliteten i pH är starkt kopplat till alkaliniteten och därmed buffertkapaciteten som motverkar svängningar i pH. Alkalinitet föreligger framför allt i form av vätekarbonat i jämvikt med koldioxid vid ett givet pH. Då organiskt material bryts ner är koldioxid en nedbrytningsprodukt. Karbonatbuffertsystemet kan beskrivas med den producerade koldioxiden i jämvikt med kolsyra, vätekarbonatalkalinitet och karbonatalkalinitet.



Då proteinrika substrat bryts ner gäller ovanstående formel fortfarande för kolet, men ytterligare bidrag till alkaliniteten fås via frigörelse av ammoniumjoner.



En sänkning i alkalinitet vid oförändrad substratsammansättning tyder på en störning i processen och troligtvis en ackumulering av organiska syror.

Under temperaturförsöken har alkaliniteten i RK 3 och RK 4 uppmätts för att få information om att de ändrade betingelserna inte gav upphov till lägre buffertkapacitet. Alkaliniteten var jämn i de bägge röt-kammarna och hade ett medelvärde på 3400 mg/l. Ett värde över 2000 mg/l är normalt tillräckligt för en kommunal röt-kammare.

6.6. Organiska syror

Organiska fettsyror kallas också flyktiga syror eller VFA (volatile fatty acids) och ger ett mått på processens tillstånd. Organiska fettsyror bildas som ett led i nedbrytningsprocessen. Då bildandet av organiska syror sker tidigt i nedbrytningen ses en förändring i processen först i denna analys. Ofta mäts organiska syror som en samlingsparameter och resultatet uttrycks i mängden ättiksyra per liter, [mg HAc/l]. Analysen är känslig för variationer i provhantering. Då syror är en mellanprodukt i nedbrytningsprocessen är det viktigt att nedbrytningen avstannas efter provtagning. Detta görs genom att provet kyls direkt efter provtagning och sedan analyseras forstast möjligt.

Halten organiska syror är normalt låg på Henriksdal. Under år 2006 har halten VFA legat under 100 mg/l. Det är som i de flesta analyser viktigt att inte bara se absolutvärdet i analysresultatet utan snarare trender och variationer i föregående mätningar.

6.7. Processtabilitet

Om ytterligare externt organiskt material ska tas emot till röttningskammarna på Henriksdal, måste värmeväxlarna ha kapacitet att värma slammet upp till önskad temperatur och hålla värdet konstant på detta börvärde. Med den årsvariation som idag förekommer är det större risk för processtörningar då rötningen drivs hårdare med avseende på organisk belastning. Nya värmeväxlare med större kapacitet kopplas in under 2008. Efter utbytet kommer slammet att kunna värmas upp till inställt börvärde. Om gasproduktionen kommer att öka, kommer även försäljningen av gas och trycket från fordonsgaskunder att öka. Detta kräver en process som är tillförlitlig och har förmågan att möta marknadens krav utan för mycket störningar i produktionen. Fjärrvärme kopplades in till Henriksdal hösten 2007, vilket medför att ingen brist i värmeförsörjning till de nya värmeväxlarna förväntas att uppstå.

En utökad kunskap bör finnas om de externa materialen och dess inverkan på den totala belastningen. Vad som tas emot har inte enbart påverkan på rötningen utan på hela avloppsreningsprocessen. Då avloppsreningen är den primära verksamheten bör inget externt material tas emot som försvårar reningen av avloppsvattnet. Med en ökad belastning kan även processen vara känsligare för processtörningar. På Tekniska Verken i Linköping har en produkt utvecklats tillsammans med Kemira Kemi AB med namnet Kemwater™ PIX-KMB1. Denna produkt har gjort det möjligt att belasta en röttningsprocess med högre andel organiskt material utan att skumbildning uppstår. Detta har demonstrerats i laboratorieförsök och i Figur 23 ses två försöksreaktorer, där reaktorn till vänster har fått tillsats av KMB1 och reaktorn till höger inte fått tillsats av KMB1. Denna tillsats kan även vara ett alternativ till rötningen på Henriksdal om belastningen med externa organiska material ökar.



Figur 23. Två försöksreaktorer från laboratoriet på Tekniska Verken i Linköping för utveckling av processhjälpmedlet KMB1. Det vänstra fotot visar försöksreaktorn med KMB1 tillsatt och det högra fotot visar referensreaktorn. Fotona är tagna samma dag, under tiden försöket pågick med hög belastning.

7. Diskussion och slutsatser

Utvärderingen av biogasproduktionen på Henriksdals avloppsreningsverk har givit en bra inblick i anläggningen och i processerna. Fokus har legat på nedbrytningen av organiskt material och gasproduktion, men även kopplingen till omkringliggande processer och rötningens inverkan på resten av avloppsvattenreningen. Om man till exempel har en bra avskiljning av fast material i försedimenteringen, ger detta goda förutsättningar för att bryta ner mer organiskt material i rötkamrarna. En studie av detta är viktig att utföra.

Genom inspektion och dokumentering vid tömning kunde det konstateras att RK2 var i fint skick. Få trasor och lite beläggningar hade ansamlats i rötkammaren. På motsvarande sätt skulle en uppföljning liknande denna vara önskvärd att genomföra vid varje tömningstillfälle för att lättare kunna följa underhållsbehovet av rötkamrarna. Spårämnesförsöken visade att omrörningen i RK5 fungerar tillfredställande. Dessa två slutsatser angående driften av rötkamrarna tyder på goda förutsättningar för totalomblandade processer, en av de viktiga parametrarna för rötningen.

För att göra en bra utvärdering av process och produktion bör man alltså ha ett utökat informationsmaterial och inte enbart data från rötningen. Säsongsvariationer bidrar till skiftande kvalitet på avloppsvattnet och det förekommer även reparationer och underhållsarbete som får konsekvenser för driften. Dessa olika händelser bör tas hänsyn till och beaktas vid bearbetning av data. Samtidigt som man är varse större parametrar som påverkar produktionen måste man också gå noggrannare in i data och mätningar. Flödesmätare, temperaturgivare och analysresultat spelar en stor roll i de beräkningar som ligger till grund för utvärdering och slutsatser. Vid arbete med utvärderingen av produktionen har vid ett flertal tillfällen osäkerhet i mätdata påträffats. De mätdata som upplevts mest osäkra är mätning av rågas från rötkammarna och TS/VS-innehåll i EOM.

- Rågas kan i många fall vara svårt att mäta, då gasen är en blandad gas och har högt vatteninnehåll. På Henriksdal är gasledningssystemet underdimensionerat i förhållande till nuvarande gasproduktion, vilket försämrar förutsättningarna för en säker gasflödesmätning. Dessa problem är särskilt stora vid höga gasflöden och då trycket i rötkamrarna är högt. Vid höga och varierande tryck är det inte heller ovanligt att vattenläsen, som fungerar som säkerhetsventiler, blåser och att gasen då inte når gasmätarna utan går ut direkt till luften utomhus. En utförlig utredning kring gassystemets kapacitet med förslag på konkreta åtgärder togs fram under 2007 (Mattsson och Stegberg, 2006; 2007). Som en första åtgärd installerades i februari 2007 en ledning som gjorde det möjligt för gasen att passera förbi gasklockan²³. Rötgasläckaget har efter detta reducerats betydligt. Under våren 2008 utreds möjligheterna att ersätta befintliga vattenläs, bland annat för att tillåta ett högre tryck i gassystemet²⁴.
- Rutinerna kring kontroll av EOM bör ses över och ett säkerställande av kvalitet på det EOM som tas emot till anläggningen bör finnas. Förslag för kvalitetssäkring av data angående EOM, inklusive provtagningsutförande och analysförfarande, bör därför tas fram. Detta är inte minst viktigt vid en planerad utökad mottagning av EOM i framtiden.
- En tredje punkt att lyfta fram är nyttan av ett bra system för dokumentation av händelser och åtgärder som gjorts i processen. Ett bra underhållssystem kan förenkla hanteringen av dokumentationen angående avstängningar och renoveringar av objekt i driften. Viktigt är också att kontakt mellan drift och stödjande funktioner som utredningsingenjörer och projektingenjörer fungerar bra. Ett intresse för produktionen är väsentlig och väcker engagemang. Möjligheter till uppdatering av de system som fungerar mindre bra bör finnas inom rimliga gränser.

Att hålla en jämn, och tillräckligt hög, temperatur i rötkamrarna är en förutsättning för en stabil och effektiv process. Under den studerade perioden uppnåddes inte alltid det förinställda börvärdet för temperaturen i rötkamrarna. Detta förklaras av att värmesystemet varit underdimensionerat och att värmeöverföringsförmågan i värmeväxlarna varit nedsatt på grund av igensättning. Relativt kraftiga temperaturfall har därför förekommit, särskilt i samband med snösmältningen under vårsäsonger med högre flöden med kallt vatten in till reningsverket. Pågående ombyggnad av värmesystemet, inklusive installation av värmeväxlare med högre effekt, kommer

²³ Gasledningen in till gasklockan var tidigare den trängsta sektionen i gassystemet.

²⁴ Vilket även innebär att flödeskapaciteten för gassystemet som helhet ökar.

dock att innebära att det i framtiden ska vara möjligt att säkerställa en tillräckligt hög och jämn temperatur i röt-kamrarna. En rekommendation är att se över rutiner för rengörning av ledningar och värmeväxlare.

För att minska uppvärmningsbehovet vore det önskvärt att minska andelen vatten som tas in i röt-kamrarna. Detta kan göras genom en reducering av vattenhalten i inkommande slam, exempelvis genom förtjockning av primärslammet. Det finns flera tekniker för förtjockning och vilken som lämpar sig bäst varierar mellan anläggningar och slamförhållanden. Idag centrifugeras överskottslammet innan inpumpning till röt-kamrarna, men det finns förutsättningar att driva dessa centrifuger ännu effektivare (Åkerlund, 2008). En effektivare förtjockning minskar inflödet till röt-kamrarna och därmed frigörs volym för att exempelvis ta emot ytterligare EOM. Även om inte mer EOM tas emot är ett minskat inflöde positivt eftersom det ger ännu längre uppehållstid och därmed en bättre utrötning.

Upphållstiden är i sig inte en kritisk faktor på Henriksdal, men en förkortad uppehållstid innebär en försämring av utröttningsgraden och gasproduktionen. Under månaderna maj – juni 2004 var två röt-kammare avstängda för rengörning samtidigt och under denna period var HRT i rötningen låg och belastningen på de övriga röt-kamrarna högre än normalt. Medelvärde i HRT = 14 d och organisk belastning = 2,3 kg VS/m³ under dessa veckor, jämfört med HRT = 19 d och organisk belastning = 1,6 kg VS/m³ under övriga veckor 2004. Under denna tid 2004 var den specifika gasproduktionen låg och utrötningen av substratet lägre än normalt. För att utnyttja det organiska materialet så bra som möjligt bör det strävas efter att inte stänga av två röt-kammare under samma period. Trots hög belastning och kort uppehållstid syntes inte några påtagliga störningar i processen i övrigt. Troligtvis är det inte den mikrobiella uppehållstiden som är problemet vid dessa tillfällen utan det höga inflödet som medverkar till att värmesystemet inte lyckats upprätthålla hög konstant temperatur i röt-kamrarna.

Utifrån de utröttningsförsök och simuleringar som gjorts kan följande åtgärdsförslag för att öka rågasproduktionen redovisas:

- Övergång till seriedrift bör kunna öka gasproduktionen 5 - 7 %.
- Drift av röt-kamrarna vid 37 °C jämfört med 35 °C ger troligtvis endast marginellt mer gas, uppskattningsvis 2 %, och det är tveksamt om detta är motiverat med hänsyn till att detta också medför ett ökat energibehov för uppvärmning.
- Förlängning av uppehållstiden genom förtjockning av slam ger en något ökad gasproduktion, men framförallt en kraftig minskning av uppvärmningsbehovet. En annan fördel med minskat slamflöde är att volym frigörs för att ta emot mer externt organiskt material.
- En kombination av förlängd uppehållstid och övergång till seriedrift skulle kunna ge en ökning på knappt 10 % vid oförändrad organisk belastning.
- Den största potentialen för ökad gasproduktion ligger dock i att öka den organiska belastningen på röt-kamrarna. Förutsättningarna för detta har tidigare utretts av Stockholm Vatten och planeras att beskrivas inom ett separat delprojekt inom Biogasmax.
- Inom ramen för Biogasmaxprojektet pågår även försök med olika lyseringsmetoder. Införandet av sådana metoder kan eventuellt medföra ökad utröttningsgrad och ökad gasproduktion. Dessa beskrivs dock i separat rapport (Åkerlund, 2008).
- Inom ramen för Biogasmaxprojektet pågår även försök i laboratorieskala med olika tillsatser av enzymer till röt-kammare (Beijer, 2008). Enzymerna tillsätts för att öka nedbrytningsgraden av det organiska materialet. Den största begränsningen är här ekonomin då kostnaden för inköp av enzymer är mycket hög.

Förutom ovanstående åtgärder behöver även pågående och planerade åtgärder för att minska läckage av metan från slam- och gashantering genomföras²⁵. Sådana åtgärder innebär att en ännu större andel av energinnehållet i den producerade gasen tas tillvara. Möjligheten att nyttja befintliga slamtankar som efterröt-kammare kommer att utredas under 2008.

²⁵ Bland annat har en anläggning för restmetanförbränning installerats för att behandla frånluften från gasreningsanläggningen.

8. Förslag till fortsatt arbete

Utvärderingen pekar på vissa punkter som är extra intressanta att gå vidare med:

- Optimering av primärslamuttaget från försedimenteringen. Pumptider och styrning av uttaget för att avskilja ett så färskt slam som möjligt samt kemikaliedosering eller dylikt för att öka mängden uttaget primärslam bör utredas.
- Förtjockning av primärslam. Pilotförsök med förtjockning har gjorts på andra reningsverk bland annat Linköpings avloppsreningsverk. Uppkomna resultat och erfarenheter bör appliceras på rötningen på Henriksdal.
- Jämnare temperatur i rötkamrarna. Under utvärderingsperioden har temperaturen visat sig vara mycket ojämn under vårperioden i samband med höga flöden under snösmältningsperioder. Pågående ombyggnad av värmesystemet kommer dock att ge förutsättningar för att hålla en tillräckligt hög och jämn temperatur i rötkamrarna.
- Uppehållstid > 15d. Vid uppehållstider under 15 dygn har det visat sig att den specifika gasproduktionen minskar. Mängden inkommande material bör därför anpassas till flöden som ger tillräckliga uppehållstider i rötkamrarna. Detta kan åstadkommas genom förtjockning av primärslammet. Även planering av tömning och underhållsarbete i rötkamrarna bör planeras så att uppehållstiden inte understiger 15 dygn.
- Karaktärisering/styrning av EOM. Rutiner för provtagning, analys och planering av inkommande EOM. Då mängden EOM kan komma att utökas i framtiden är det viktigt att redan nu arbeta in ett bra system för mottagning och hantering av EOM.
- Utredda seriedrift av rötkamrarna. Utredda förutsättningarna för seriedrift i befintlig anläggning och utvärdera påverkan på uppehållstider, belastningar, utrotningsgrader och gasproduktion.
- Efterrötning. Beräkning av potentialen för efterrötning i slammet företrädesvis i slamtankarna bör göras, samt en teknisk utredning av inkopplingen av rötgas från efterrötningen till gassystemet.

9. Erkännanden

Tack till:

- Eva Hagland för framtagande av bakgrundsmaterial och granskning av rapporten.
- Mikael Médoc, Fredrik Pettersson och driftpersonal på Henriksdals reningsverk för värdefulla synpunkter i utredningsarbetet och för hjälp vid dataframtagning och provtagning.
- Stefan Remberger för genomförande av spårämnesförsök.
- Bo Jonsson för medverkan och dokumentering av tömningsarbetet av RK 2.
- Ulf Jeppson, Lunds Universitet, för datorsimulering av seriedrift av rötkammare.
- Åke Nordberg, Mikael Hansson och Johnny Ascue, JTI, för arbete med utrötningsförsök i laboratorieskala.

10. Referenser

Beijer, R. (2008). Enzymatic treatment of wastewater sludge in presence of a cation binding agent - improved solubilisation and increased methane production. Examensarbete. Linköpings Universitet, LITH-IFM-A-EX-08/1930-SE. Stockholm Vatten AB Rapport Nr 4, april 2008.

Borggren, C. (2007). Mätning av metanpotentialen hos slam på Henriksdal och Bromma : metodutveckling och utvärdering av labutrustningen "BCS-CH₄ Biogas". Examensarbete. Kungliga Tekniska högskolan. Trita-IM, 1402-7615 ; 2007:46.

Brook T., Madigan M., Martinko J. and Parker J. (1999). Biology of microorganisms 9. ed. Prentice Hall Publishers, Englewood Cliffs. N.J.

Gerardi, M. (2003). The microbiology of anaerobic digesters. John Wiley & sons, Inc. N.J.

Hawerman, B., Lind, J. E., Jacobsson, F., Ulmgren, L., Stenberg, Å. och Bäcklin, G. (1979). "Avloppsteknik. Slambehandling." Kommunförbundets kompendium i avloppsteknik, nr 5, 1979.

Jeppsson, U. (2007a). "Investigation of Anaerobic Digestion Alternatives for Henriksdal's WWTP". Technical report no. LUTEDX/(TEIE-7225)/1-111/(2007), Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Lund, Sweden.²⁶

Jeppsson, U. (2007b). "Investigation of Anaerobic Digestion Alternatives for Henriksdal's WWTP – Supplement". Technical report no. LUTEDX/(TEIE-7226)/1-60/(2007), Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University, Lund, Sweden.²⁷

Mattsson, S. och Stegberg, P. (2006). Utredning avseende Åtgärdsförslag på Henriksdals reningsverks rötgasledningar FAS 2. Rapport från FVB, Västerås.

Mattsson, S. och Stegberg, P. (2007). Uppföljning av åtgärd. Tryckfall på Henriksdals reningsverks rötgasledningar. Rapport från FVB, Västerås.

Miljörapport 2005. Stockholm Vatten AB.

Negre, J. (2007). Sludge treatment in an Anaerobic BioReactor with external Membranes. Stockholm Vatten AB Rapport Nr 16, september 2007.

STO 2006. Hemsida Stockholm Vatten. www.stockholmvatten.se

Vallin, L., Christiansson, A., Arnell, M. and Undén, P. (2007). "Operational experiences of cost effective production in Linköping, Sweden", D2.2, Svensk Biogas, contract number 019795, Linköping, Sweden.

VAV 1981. Rötning av kommunalt slam – Teknik med nya möjligheter. Publikation VAV P42.

²⁶ Tillgänglig via www.iea.lth.se/publications/pubtech.html

²⁷ Tillgänglig via www.iea.lth.se/publications/pubtech.html

Åkerlund, A. (2008). Evaluation of a disintegration technique for increased biogas production from excess activated sludge. Examensarbete. Sveriges Lantbruksuniversitet, ISSN 1401-5765. Stockholm Vatten AB Rapport Nr 3, april 2008.

I. Bilaga - Tömning av RK2.

Henriksdal ARV, invändiga iakttagelser i RK2.

Henriksdals röttkammare töms enligt en "turlista" och denna följs i den mån det är praktiskt möjligt. RK2 tömdes senast i maj 2004 och anledningen till att den tömdes igen i april 2006 var att annat reparationsarbete skulle göras i anslutning till röttkammaren och att det var lämpligt att tömma RK2 redan vid detta tillfälle. Då jag har medverkat vid ett flertal röttkammartömningar och varit medverkande vid ombyggnader av röttkamrarna på ARV i Linköping var uppdraget att medverka vid denna tömning på Henriksdal. Uppdraget bestod i att, när slammet var borta, erfarenhetsmässigt okulärt bedöma mängden trasor runt omrörare, på väggar och annat samt om detta kan ha inverkan på RK2:s funktion.

I mitten av juni var RK2 tömd och jag var där 2006-06-21 ledsagad av Michael Médoc.

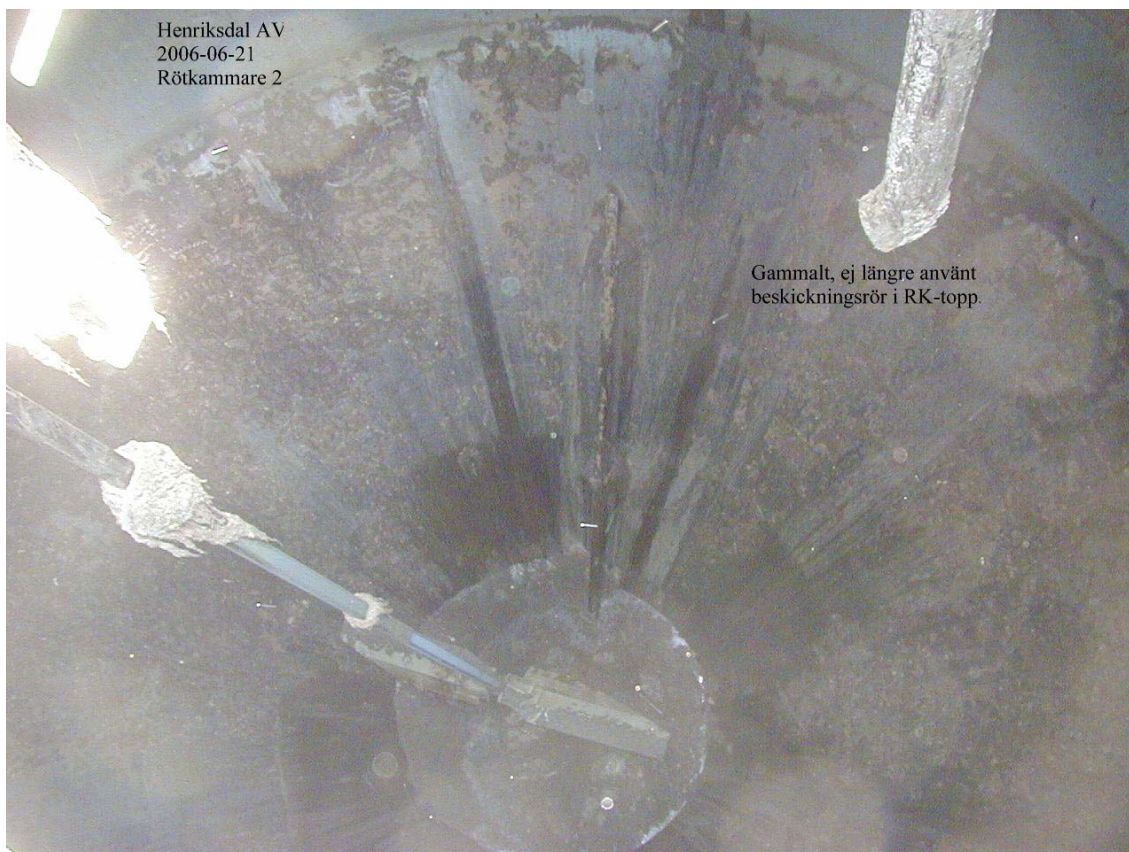
Omrörarens övre propeller hade en del trasor och även omröraxelns kopplingsboxar, men mängderna var beskedliga. Omrörarens nedre propeller var helt trasfri och eftersom den stora pumpningen sker med den nedre propellern så borde totalomblandningen vara i princip opåverkad även med de trasor som fanns högre upp, förutsatt att omröraren är rätt dimensionerad.

Det fanns några rör i toppen på RK men de är i gasfasen och skall därför inte störa omrörningen. Det fanns, vad jag kunde se, inga störande rör i slamfasen.

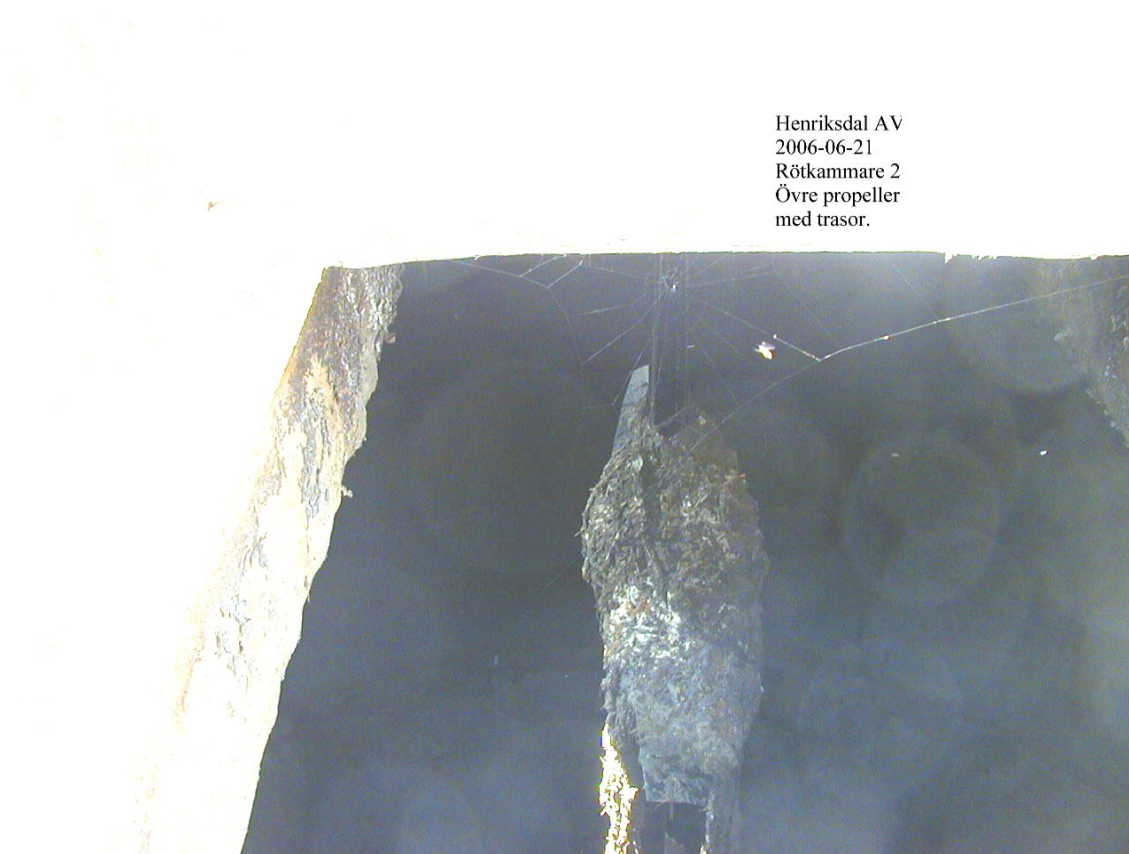
Det var efter tömning en liten mängd material kvar i botten på RK som, enligt uppgift från lunchrummet, mest består av finkornig sand. Detta tyder på att sandfånget inte gör riktigt fullgott jobb. Detta tar utrymme i röttkammaren, men utgör troligtvis inte någon nedsättning i funktionen av omrörningen.

Sammanfattningsvis är trasbeläggningarna efter två års drift ytterst beskedliga och borde inte störa totalomblandningen av RK.

2006-06-29
Bo Jonsson/TV

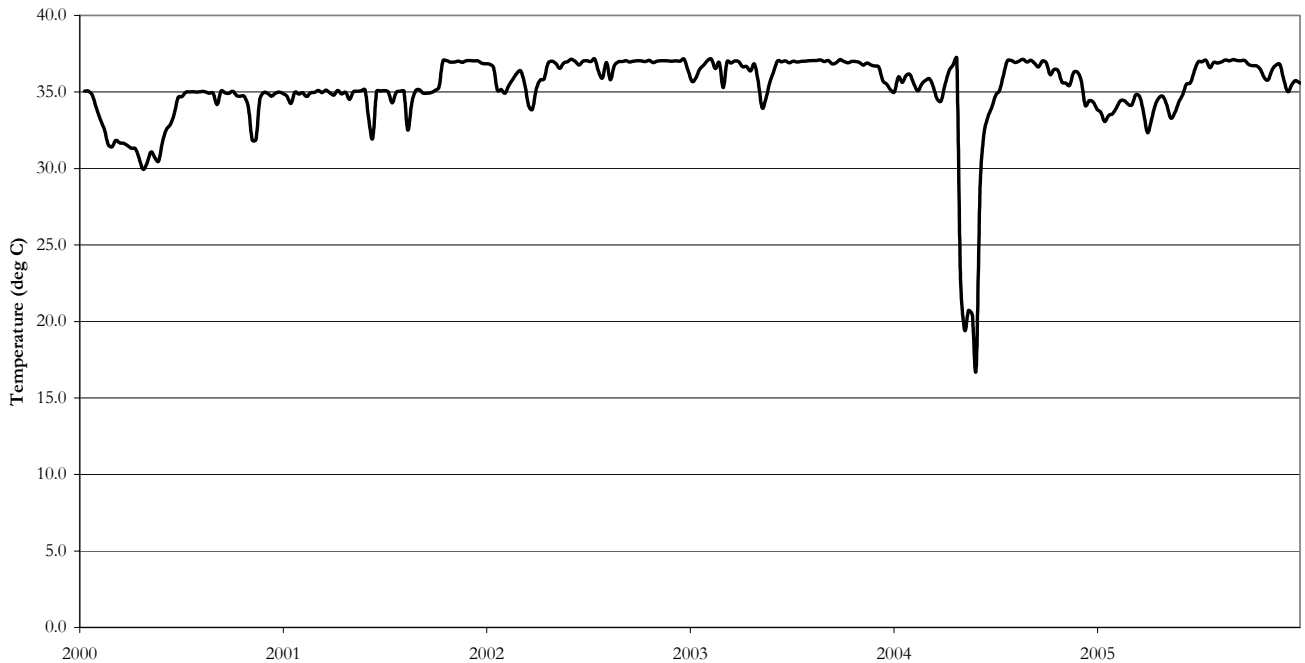


Figur 24. Nedre propellerbladet är helt fritt från trasor.

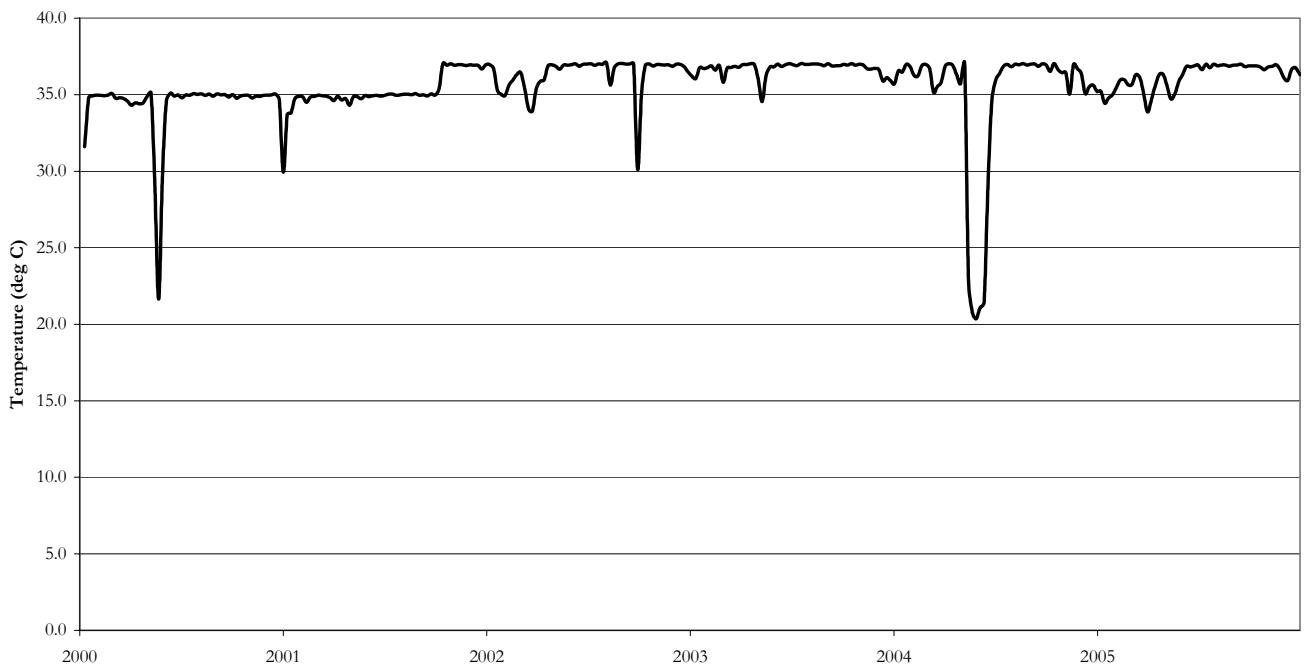


Figur 25. Övre propellerbladet är igensatt med trasor.

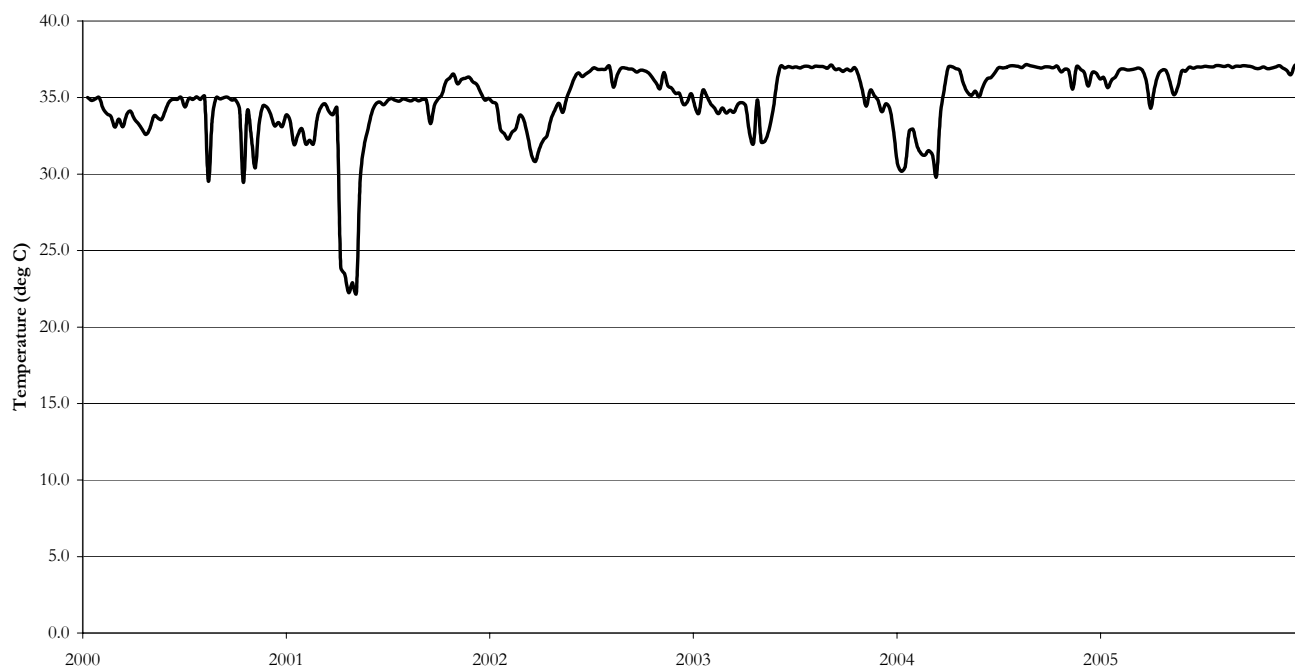
II. Bilaga - Temperaturhistorik i röt-kamrarna.



Figur 26. Temperaturhistorik RK1. Värden från databas henriksdal6m med kanalnummer 163 i waste.



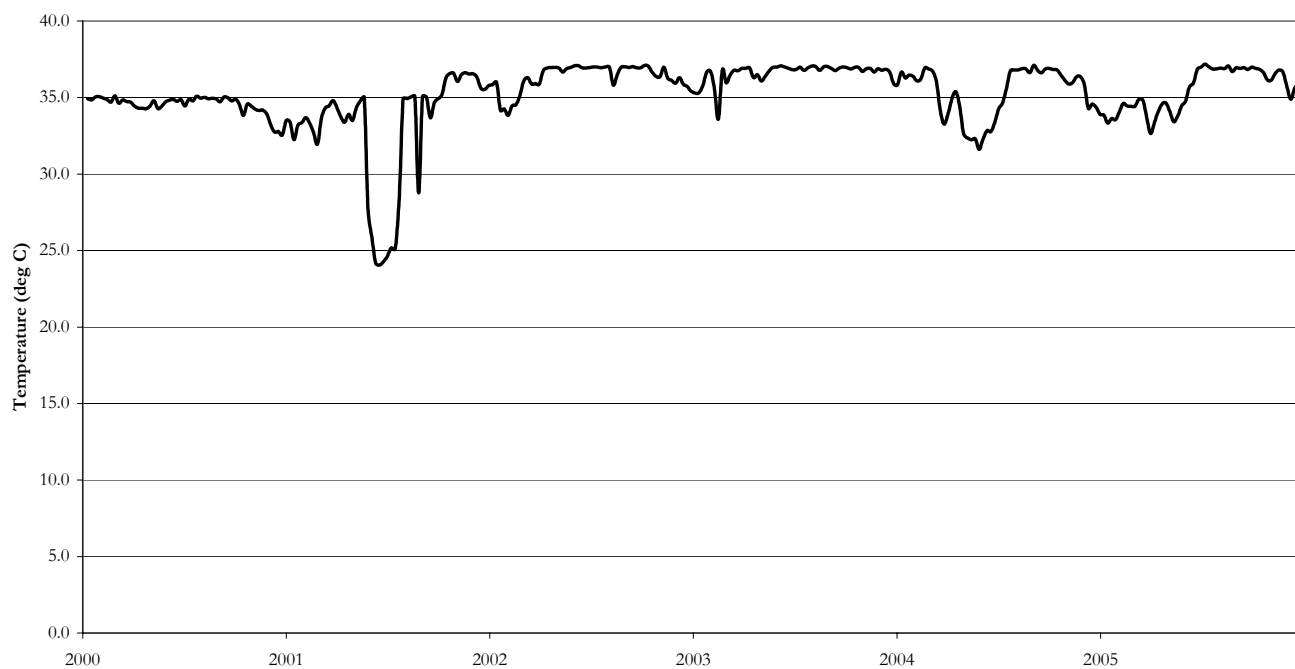
Figur 27. Temperaturhistorik RK2. Värden från databas henriksdal6m med kanalnummer 164 i waste.



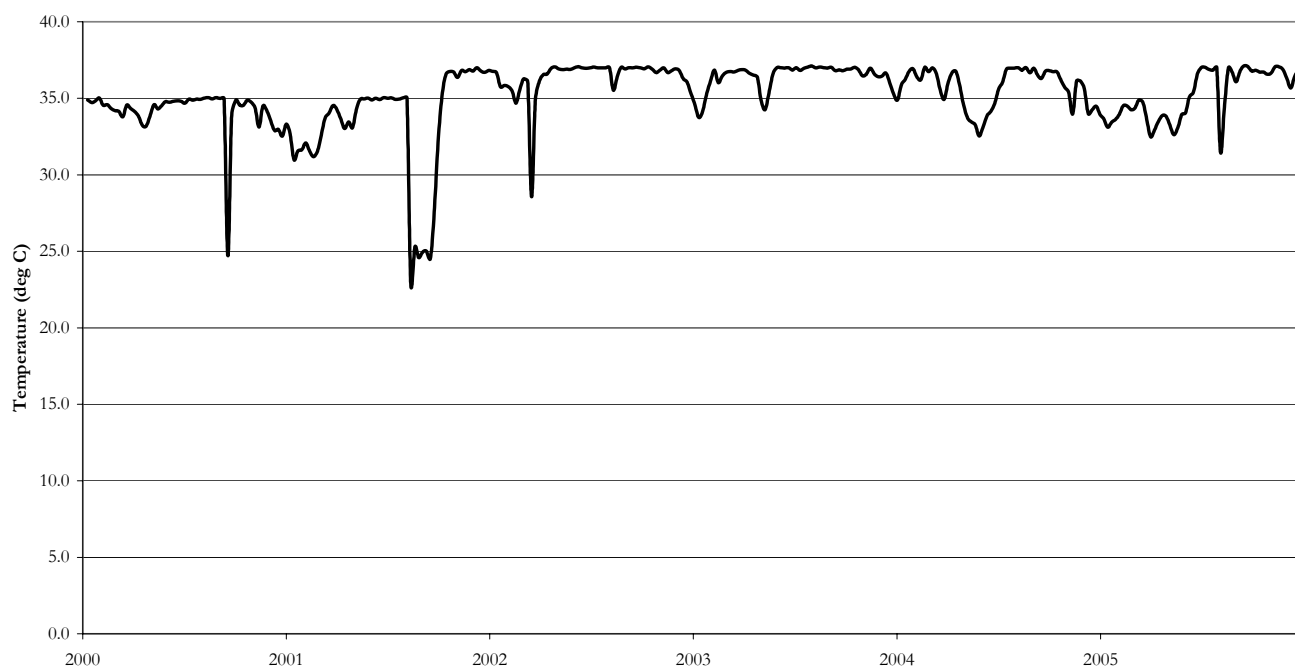
Figur 28. Temperaturhistorik RK3. Värden från databas henriksdal6m med kanalnummer 165 i waste.



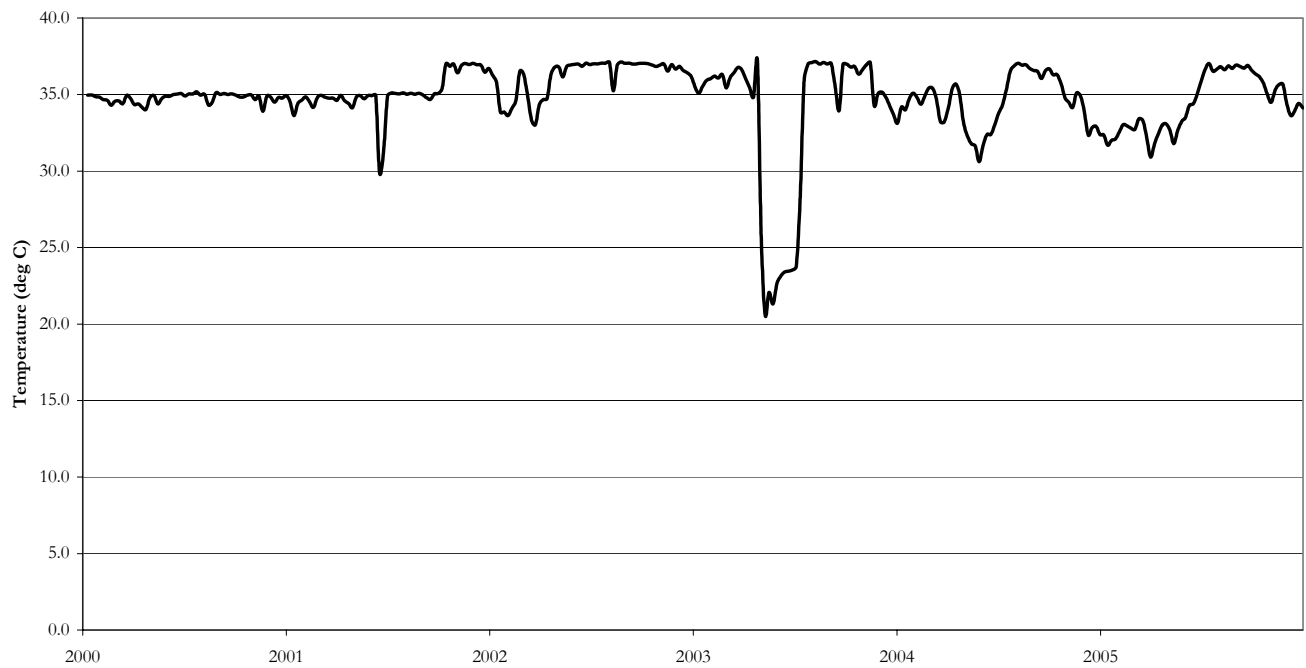
Figur 29. Temperaturhistorik RK4. Värden från databas henriksdal6m med kanalnummer 166 i waste.



Figur 30. Temperaturhistorik RK5. Värden från databas henriksdal6m med kanalnummer 167 i waste.



Figur 31. Temperaturhistorik RK6. Värden från databas henriksdal6m med kanalnummer 168 i waste.



Figur 32. Temperaturhistorik RK7. Värden från databas henriksdal6m med kanalnummer 169 i waste.

III. Bilaga – COD-balans över försedimenteringen.

2000	Flöde m ³ /d	VS ton/d	COD faktor (gCOD/gVS)	COD ton/d	ut/avskiljning försed
IN				111	
FV				46	41%
PS	1466	38	1.56	59	54%
2001					
IN				105	
FV				47	45%
PS	1443	36	1.56	57	54%
2002					
IN				110	
FV				49	45%
PS	1452	41	1.56	63	58%
2003					
IN				106	
FV				49	46%
PS	1388	36	1.56	57	53%
2004					
IN				122	
FV				54	44%
PS	1560	40	1.56	62	51%
2005					
IN				113	
FV				53	47%
PS	1411	36	1.56	57	50%

IV. Bilaga - Årsmedelvärden processdata.

Tabell 13. Årsmedelvärden av processdata under utvärderingsperioden.

År	Mängd organiskt material till rötning [ton VS/år]	Organisk belastning [kg VS/(m ³ · d)]	HRT [d]	Temp ¹ [°C]	Gasflöde [Nm ³ /h]	Metanhalt [%]	Gasproduktion [Nm ³ biogas/ m ³ inpumpat]	Specifik gasproduktion [Nm ³ /kg VS]	Utröttningsgrad ² [%]	Utröttningsgrad ³ [%]
2000	19 200	1,46	19	34,3	1021	64,7	13	0,47	48	50
2001	19 300	1,53	19	35,0	975	65,1	13	0,45	47	49
2002	21 500	1,54	21	36,2	1029	65,2	13	0,43	55	51
2003	18 700	1,40	20	36,4	1087	65,8	14	0,52	51	50
2004	21 300	1,62	19	35,5	1085	66,5	13	0,45	49	46
2005	20 000	1,44	20	35,6	1125	66,5	14	0,50	47	44

¹ Temperaturen är volymsviktad från röttkammare som var i drift under aktuell period.

² Beräknad med Formel 7.

³ Beräknad med Formel 8.

V. Bilaga - Satsvis rötning

JTI

Uppdragsrapport

Satsvis rötning av blandat primär- och överskottsslam från Henriksdals reningsverk

*Batch digestion of blended primary-and
secondary sludge from Henriksdals sewage
treatment plant*

Ett projekt utfört på uppdrag av Stockholm Vatten AB

Johnny Ascue
Åke Nordberg

Syfte

Syftet med försöket var att undersöka biogas- och metanproduktionen vid satsvis utrötning av blandslam (primärslam och överskottsslam) från Henriksdals reningsverk. Gasproduktionen bestämdes som normal L/g VS.

Material och metoder

Primärslam och överskottsslam från Henriksdals reningsverk samlades 2007-01-23 – 2007-01-29 och förvarades i kylt utrymme. Ymp togs från rötchammare vid Henriksdal 2007-01-29 och levererades samtidigt med uppsamlat primär- och överskottsslam till JTI.

Vid ankomst blandades slammen i följande proportion med avseende på TS: Primärslam 75,5% och överskottsslam 24,5%.

De satsvisa utrötningarna utfördes i 1-L flaskor vid 37 °C med ymp från rötchammare vid Henriksdals reningsverk. Försöksflaskorna placerades i rum med konstant temperatur. I samband med att gasprover togs skakades flaskorna om. Försöken utfördes med tre paralleller enligt följande:

3 x ymp (bakgrundsproduktion av biogas och metan), pH = 7,32
3 x blandning av primärslam och överskottsslam, pH = 6,55

Samtliga slam och ymp analyserades med avseende på torrsubstans (TS) och glödförlust (VS). Gasproduktionen beräknades genom att trycket i flaskorna mättes med en digital tryckmätare (GMH 3110) utrustad med en trycksensor (GMSD 2BR; -1000 to 2000 mbar). Trycket konverterades därefter till normal gasvolym. Gasprover togs och analyserades på gaskromatograf (Chrompack CP 9001; Kolonn Hayesep-R 2.5 m x 1/8". FID-detektor, Bärargas: He, flöde 18 mL/min. Temp injektor: 125°C)

Försöket pågick i 55 dagar

Karaktäristik för de olika slammen och ympen redovisas i tabell 1 och använda mängder i försöken redovisas i tabell 2.

Tabell 1. Analys av TS, VS

	TS, %	VS, %
Primärslam	4,85	3,22
Överskottsslam	4,50	3,11
Ymp	2,62	1,43

Tabell 2. Använda mängder slam och ymp

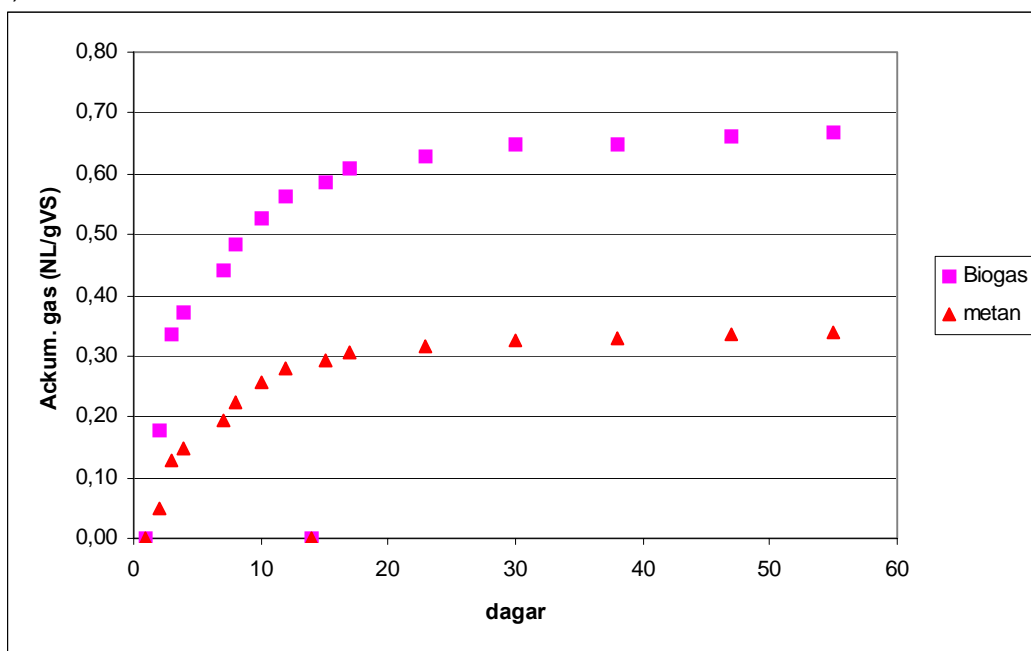
	Försök		Kontroll	
	mL	g VS	mL	g VS
Primärslam	79	2,53	*	0
Överskottsslam	26	0,8	*	0
Ymp	650	9,1	650	9,1

* totalt 105 mL vatten

Resultat och kommentarer

Resultat från testen presenteras i figur 1 som medelvärde av tre paralleller. Avvikelsen mellan de olika parallellerna var mycket små. Den kumulativa biogas- och metanproduktionen redovisas som normal-liter (vid 1 atm och 0°C) i relation till mängden tillförd VS. Mängden metan producerad av ympen är bortdragen. Metanhalten i flaskorna med blandslam och ymp var 68% vid försökets slut

Medelvärdet för den kumulativa biogasproduktionen var 0,67 NL/g VS och metanproduktionen var 0,34 NL/g VS för blandningen av primär- och sekundärslam (figur 1).



Figur 1. Kumulativ biogas- och metanproduktion i relation till tillförd VS från blandning av primär- och överskottsslam

Tidigare utrotningsförsök av primär- och överskottsslam från Käppala (Leksell, 2005) gav metanutbyten på 0,35 NL/g VS för primärslam och 0,16 NL/g VS för överskottsslam. (Motsvarande biogasutbyten var 0,62 NL/g VS för primärslam och 0,31 NL/g VS för överskottsslam). Resultatet från denna test framstår därför som rimligt med tanke på att en viss variation kan finnas i sammansättning mellan olika reningsverk.

Efter 23 dagar var metanutbytet 0,32 NL/g VS (91% av utbytet vid försökets slut) vilket indikerar att uppehållstider över 23 dagar endast ger marginellt ökat metanutbytet i förhållande till den extra reaktorvolym som krävs. Efter 15 dagar var metanutbytet 0,29 NL/g VS (83 % av utbytet vid försökets slut). Det lägre metanutbytet ska i det fallet ställas i relation till möjligheten att öka behandlingskapaciteten i en redan befintlig rötchammare.

VI. Bilaga – COD-balans över rötningen.

2000	Flöde m ³ /d	VS ton/d	CH ₄ Nm ³ /d	COD faktor (gCOD/gVS)	COD ton/d	avskiljning rötkammare
IN					111	
ÖS ¹	391	10.6		1.52	16	
PS ¹	1466	38		1.56	59	
EOM ²	39	3.67		2.5	9	
SUMMA PS, ÖS, EOM	1896	52.3			85	
GAS ³			15862	0.35	45	54%
RÖTSLAM ¹	1869	27.2		1.54	42	49%
2001						
IN					105	
ÖS ¹	358	10.5		1.52	16	
PS ¹	1443	36		1.56	57	
EOM ²	65	6.12		2.5	15	
SUMMA PS, ÖS, EOM	1866	52.9			88	
GAS ³			15234	0.35	44	50%
RÖTSLAM ¹	1841	26.8		1.54	41	47%
2002						
IN					110	
ÖS ¹	330	11.8		1.52	18	
PS ¹	1452	41		1.56	63	
EOM ²	70	6.57		2.5	16	
SUMMA PS, ÖS, EOM	1852	59.0			98	
GAS ³			16131	0.35	46	47%
RÖTSLAM ¹	1822	25.6		1.54	39	40%
2003						
IN					106	
ÖS ¹	400	8.7		1.52	13	
PS ¹	1388	36		1.56	57	
EOM ²	69	6.46		2.5	16	
SUMMA PS, ÖS, EOM	1857	51.4			86	
GAS ³			17193	0.35	49	57%
RÖTSLAM ¹	1831	24.5		1.54	38	44%
2004						
IN					122	
ÖS ¹	393	10.9		1.52	17	
PS ¹	1560	40		1.56	62	
EOM ²	78	7.29		2.5	18	
SUMMA PS, ÖS, EOM	2031	58.2			97	
GAS ³			17332	0.35	50	51%
RÖTSLAM ¹	2004	28.9		1.54	44	46%
2005						
IN					113	
ÖS ¹	468	11.1		1.52	17	
PS ¹	1411	36		1.56	57	
EOM ²	79	7.41		2.5	19	
SUMMA PS, ÖS, EOM	1958	54.9			92	
GAS ³			17986	0.35	51	56%
RÖTSLAM ¹	1934	28.0		1.54	43	47%

¹ Kvoterna 1.52, 1.56 och 1.54 g VCOD/g VS är analyserade från en samling stickprov

² COD-omräkning EOM från ett antagande att det innehåller 75% fett COD ekv= 2.9 och 25 % protein COD ekv 1.4. = 2.5 gCOD/gVS EOM.

³ 0,35 Nm³ CH₄/kg COD

VII. Bilaga – Rådata och beräknade värden till utvärderingen

I nedanstående tabeller finns rådata och beräkningar till utvärderingen.

Värden är hämtade från onlinemätare kopplade till olika kanaler i databasen henriksdal6m tillhörande datorprogrammet waste.

Värde	kanalnummer
Primärslamflöde	117
Flöde för fötjockat överskottsslam	1421
Flöde för EOM	1543
Rötgasflöde från RK1	177
Rötgasflöde från RK2	178
Rötgasflöde från RK3	179
Rötgasflöde från RK4	180
Rötgasflöde från RK5	181
Rötgasflöde från RK6	182
Rötgasflöde från RK7	183
Rötgasflöde totalt	184
Metanhalt i rötgasen	187
Andel flöde till RK1	118
Andel flöde till RK2	119
Andel flöde till RK3	120
Andel flöde till RK4	121
Andel flöde till RK5	122
Andel flöde till RK6	123
Andel flöde till RK7	124
Temperatur i RK1	163
Temperatur i RK2	164
Temperatur i RK3	165
Temperatur i RK4	166
Temperatur i RK5	167
Temperatur i RK6	168
Temperatur i RK7	169

TS och GR analyserades på Stockholm Vattens ackrediterade laboratorium. Total TS och GR är flödesviktat beräknade från respektive delflöde. Utgående röttslamflöde är beräknat från inkommande flöden reducerat med andelen VS som brytits ned enligt uttrötningsgraden från formel 8, $(Q_{\text{primärslam}} + Q_{\text{förtjockat överskottsslam}} + Q_{\text{fettslam}}) \cdot (1 - TS_{\text{in}} \cdot (1 - GR_{\text{in}}) \cdot \text{uttrötningsgrad})$. Utgående TS och GR är volymsviktade värden från rötchammare som var i drift under aktuell period.

Bilaga VII - Bakgrundsdata till försök med RK3 och RK4

Datum	RK	RK	RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4
	TS tot, in	GR tot, in	Qin 2 v. före	Qin 2 v. före	TSut	TSut	GRut	GRut	temperatur	temperatur	gasprod	gasprod
	%	% av TS	m ³ /dygn	m ³ /dygn	%	%	% av TS	% av TS	°C	°C	Nm ³ /kgVS	Nm ³ /kgVS
2006-05-15	3.3	27.3	271	271	2.4	2.5	41.8	41.3	35.5	30.5	0.634589331	0.5136952
2006-05-22	4.2	26.0	242	242	2.7	2.7	41.3	40.6	35.3	30.7	0.500433867	0.4127593
2006-05-29	3.8	27.5	288	287	2.6	2.7	43.1	41.9	35.8	31.1	0.505356578	0.4121587
2006-06-01	3.8	27.5	288	288	2.7	2.9	42.9	41.5	35.6	31.0	0.505356578	0.4121587
2006-06-08	4.6	29.2	254	254	2.5	2.6	42.8	41.2	36.7	30.6	0.422423811	0.3526313
2006-06-12	4.0	27.6	319	319	2.5	2.6	42.4	40.8	36.6	30.8	0.528181631	0.4309768
2006-06-15	4.0	27.6	319	319	2.6	2.8	40.1	38.2	36.3	30.9	0.528181631	0.3890768
2006-06-19	3.5	26.0	264	264	2.6	2.7	40.4	39.3	36.4	31.0	0.633948518	0.5075448
2006-06-26	3.6	24.2	305	305	2.4	2.5	41.1	39.8	36.4	31.2	0.462438621	0.3732921
2006-06-29	3.6	24.2	305	305	2.6	2.6	41.6	40.7	36.3	30.9	0.462438621	0.3732921
2006-07-03	3.3	24.4	278	278	2.5	2.5	42.4	40.0	36.8	30.6	0.461439475	0.3890463
2006-07-06	2.8	25.3	278	278	2.3	2.5	41.8	40.5	36.8	31.2	0.552401521	0.4657377
2006-07-10	3.9	26.9	283	283	2.4	2.4	41.0	40.3	37.0	33.2	0.414420499	0.3654444
2006-07-17	2.9	22.2	254	254	2.4	2.5	43.6	42.3	36.9	33.0	0.554492253	0.5070764
2006-07-24	3.5	30.9	264	269	2.4	2.4	42.7	41.9	36.5	32.8	0.495952267	0.4349603
2006-07-31	3.7	26.2	254	254	2.4	2.5	43.3	42.8	36.9	33.3	0.525673809	0.453671
2006-08-03	3.7	26.2	254	254	2.5	2.5	42.8	42.0	36.7	33.0	0.525673809	0.453671
2006-08-07	3.9	26.5	254	254	2.5	2.5	42.4	41.6	37.0	33.4	0.507783093	0.4341084
2006-08-10	3.9	26.5	254	254	2.4	2.4	43.0	42.2	36.7	32.7	0.507783093	0.4341084
2006-08-14	3.8	26.8	247	247	2.3	2.3	41.8	42.0	36.8	32.9	0.593961267	0.4876862
2006-08-17	3.8	27.8	247	247	2.5	2.6	44.2	42.6	36.4	32.8	0.602691348	0.4948542
2006-08-21	4.0	26.2	259	257	2.4	2.4	44.3	42.9	36.5	32.8	0.535600978	0.4378239
2006-08-24	4.0	26.2	259	257	2.7	2.7	45.4	44.9	36.6	32.9	0.535600978	0.4378239
2006-08-28	4.8	33.5	271	271	2.7	2.7	45.9	44.9	36.6	33.2	0.434121471	0.3688798
2006-09-04	4.8	37.3	262	262	2.6	2.7	43.9	43.8	36.5	35.1	0.447359467	0.3869206
2006-09-11	3.7	30.0	261	262	2.5	2.6	43.3	43.4	36.7	35.1	0.512386031	0.4266643
2006-09-14	3.7	30.0	261	262	2.4	2.5	42.8	42.1	36.9	34.8	0.513634151	0.426947
2006-09-18	3.9	34.6	242	241	2.6	2.6	42.1	41.9	36.5	34.8	0.591312039	0.5147135
2006-09-21	3.9	34.6	242	241	2.6	2.4	42.1	42.4	36.7	35.1	0.591312039	0.5147135
2006-09-25	4.4	27.8	239	237	2.4	2.5	41.3	41.1	36.5	35.1	0.437105638	0.4144445
2006-09-28	4.4	27.8	239	237	2.4	2.5	41.1	39.4	36.6	34.4	0.437105638	0.4144445
2006-10-02	4.1	24.5	273	273	2.5	2.5	39.3	39.2	36.5	34.7	0.416058444	0.393294
2006-10-05	4.1	24.5	273	273	2.6	2.6	40.3	39.8	36.4	34.6	0.416058444	0.393294
2006-10-09	3.2	24.5	256	254	2.6	2.6	40.8	40.4	36.3	34.6	0.565323165	0.5416926
2006-10-16	4.0	26.8	251	251	2.4	2.4	40.6	40.8	36.4	35.8	0.49870627	0.4559152
2006-10-23	3.2	25.7	279	278	2.2	2.2	38.6	37.8	36.6	36.3	0.514277655	0.4769198
2006-10-26	3.2	25.7	279	278	2.4	2.3	40.3	40.2	36.3	35.8	0.514277655	0.4769198
2006-10-30	3.4	20.6	249	249	2.4	2.3	41.7	41.3	36.3	36.2	0.52022906	0.4484308
2006-11-06	5.3	34.5	246	253	2.5	2.4	40.5	41.0	35.6	35.6	0.393260995	0.3751213
2006-11-09	5.3	34.5	246	253	2.3	2.4	41.5	41.4	35.3	34.2	0.393260995	0.3751213
2006-11-13	4.1	27.5	319	313	2.5	2.5	41.7	41.1	35.1	33.8	0.487982661	0.4306224
2006-11-16	4.1	27.5	319	313	1.7	2.4	40.6	41.3	34.7	33.8	0.487982661	0.4306224
2006-11-20	3.6	26.2	332	332	2.4	2.3	42.2	41.9	33.6	32.8	0.450124704	0.4219852
2006-11-27	3.6	28.9	404	401	2.5	2.3	42.7	41.5	35.2	32.6	0.386611793	0.3626042
2006-12-04	3.5	29.5	273	346	2.3	2.6	43.7	41.4	36.6	32.9	0.610550781	0.4641985
2006-12-08	3.5	29.5	273	346	2.6	2.7	43.7	42.5	36.4	33.9	0.610550781	0.4641985
2006-12-11	3.9	28.8	209	270	2.6	2.5	43.3	42.9	36.2	33.9	0.782601527	0.5314133
2006-12-14	3.9	28.8	209	270	2.7	2.7	42.7	43.0	36.4	34.0	0.782601527	0.5314133
2006-12-18	4.7	30.0	242	314	2.4	2.6	44.4	43.0	37.0	34.6	0.58449778	0.4288401
2006-12-21	4.7	30.0	242	314	2.7	2.7	42.1	41.2	36.7	35.0	0.58449778	0.4288401
2006-12-25	4.0	28.1	221	253					36.9	35.6	0.542789184	0.5102644
2007-01-01			186	241					36.7	36.2		
2007-01-08			207	269	2.4	2.6	43.7	41.7	36.8	35.8		
2007-01-11			207	269	2.6	2.6	43.2	42.3	36.3	35.1		
2007-01-15			222	287	2.5	2.6	44.4	44.6	36.6	34.7		
2007-01-18			222	287	2.7	2.8	45.6	44.8	36.4	34.8		

Kursiva siffror representerar värden under omställningsperioder

Bilaga VII - Bakgrundsdata till försök med RK3 och RK4

Datum	RK	RK	RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4
	TS tot, in	GR tot, in	Qin 2 v. före	Qin 2 v. före	TSut	TSut	GRut	GRut	temperatur	temperatur	gasprod	gasprod
	%	% av TS	m ³ /dygn	m ³ /dygn	%	%	% av TS	% av TS	°C	°C	Nm ³ /kgVS	Nm ³ /kgVS
2007-01-22	4.6	30.4	211	266	2.8	2.8	45.2	45.1	36.2	34.3	0.67920428	0.4305716
2007-01-25	4.6	30.4	211	266	2.9	2.9	44.9	43.7	35.7	34.6	0.67920428	0.4305716
2007-01-29	6.5	38.8	187	243	2.8	2.8	44.5	44.5	35.1	33.5	0.564075631	0.3977493
2007-02-02	6.5	38.8	187	243	2.9	2.8	42.8	42.2	34.4	33.3	0.564075631	0.3977493
2007-02-05	4.8	27.0	194	218	2.7	2.7	43.0	42.6	34.2	32.9	0.657237278	0.5449457
2007-02-08	4.8	27.0	194	218	2.8	2.6	41.9	43.0	34.0	32.6	0.657237278	0.5449457
2007-02-12	4.0	25.8	193	239	2.7	2.7	42.9	42.0	34.0	32.5	0.594003202	0.4673598
2007-02-19	4.0	27.6	179	231	2.5	2.4	42.8	41.8	35.4	33.2	0.668211814	0.3919748
2007-02-26	3.4	26.6	173	248	2.5	2.5	40.8	41.1	34.0	33.5	0.8892125	0.5897611
2007-03-05	2.7	24.7	187	196	2.4	2.5	41.4	35.7	33.7	31.9	0.993424758	0.8809938
2007-03-12	3.8	26.7	183	265	2.4	2.6	42.0	40.2	32.5	30.4	0.679731443	0.4218971
2007-03-19	3.3	30.8	272	399	2.6	2.6	41.9	41.4	33.3	32.5	0.868579334	0.5010029
2007-03-26	3.7	29.1	277	308	2.6	2.5	41.9	42.1	33.8	33.8	0.712219323	0.5432149
2007-04-02	4.4	28.8	283	285	2.6	2.4	41.7	42.2	34.3	35.2	0.564812351	0.4642458
2007-04-10	2.6	24.3	239	240	2.3	2.3	38.8	42.5	34.5	34.9	0.821901003	0.6789845
2007-04-16	3.2	22.2	224	224	2.4	2.4	40.7	40.8	34.6	34.9	0.747919785	0.7026516
2007-04-23	3.4	24.0	228	229	2.5	2.4	41.4	41.6	35.0	34.7	0.593221345	0.6000221
2007-05-02	3.4	28.5	208	208	2.4	2.4	41.5	40.7	34.2	33.6	0.503168994	0.5519707
2007-05-07	3.0	24.8	203	236	2.4	2.4	41.4	40.6	34.5	35.1	0.763653984	0.6899538
2007-05-14	2.7	25.5	219	286	2.4	2.4	40.6	39.3	34.8	34.1	0.869246241	0.6776065
2007-05-16	2.7	25.5	219	286	2.3	2.4	40.4	39.6	34.8	33.7	0.869246241	0.6776065
2007-05-21	3.1	26.3	269	352	2.3	2.1	40.6	41.4	34.6	33.5	0.550874398	0.4387358
2007-05-28	3.4	28.7	325	425	2.3	2.2	39.2	38.0	35.0	34.1	0.53811496	0.4313547
2007-06-01	3.4	28.7	325	425	2.2	2.6	39.3	33.5	34.6	33.9	0.53811496	0.4313547
2007-06-04	3.2	25.1	292	383	2.2	2.3	39.3	37.0	34.8	33.2	0.492532034	0.4249109
2007-06-07	3.2	25.1	292	383	2.1	2.2	39.9	37.1	34.6	33.4	0.492532034	0.4249109
2007-06-11	3.4	25.3	252	331	2.1	2.2	38.8	37.4	34.6	34.4	0.473410372	0.3754505
2007-06-14	3.4	25.3	252	331	2.1	2.2	38.3	37.1	34.5	34.2	0.473410372	0.3754505
2007-06-18	2.6	24.4	284	371	2.1	2.2	38.8	38.2	34.5	34.6	0.609531968	0.4220381
2007-06-21	2.6	24.4	284	371	2.2	2.2	39.3	40.2	34.7	34.9	0.609531968	0.4220381
2007-06-25	3.0	30.0	332	401	2.0	2.1	39.8	39.2	34.5	34.5	0.460168232	0.3425284
2007-07-02	2.5	29.8	343	343	2.1	2.1	39.9	40.0	34.8	34.9	0.493386311	0.438918
2007-07-09	2.8	25.7	273	272	2.1	2.1	39.7	39.8	34.4	34.7	0.563131421	0.5206865
2007-07-16	2.7	26.8	287	286	2.3	2.2	40.5	41.7	34.9	35.0	0.44532929	0.4399482
2007-07-23	2.9	28.2	319	318	2.1	2.0	41.4	41.0	34.8	35.0	0.392519819	0.3913771
2007-07-30	1.9	23.6	260	260	2.4	2.3	42.5	42.6	35.1	34.9	0.702375615	0.7121845
2007-08-06	3.1	25.0	240	240	2.6	2.6	47.0	47.1	35.0	34.9	0.573957288	0.5475299
2007-08-13	3.1	27.7	237	238	2.6	2.6	48.0	48.3	34.9	34.9	0.562851223	0.5356983
2007-08-20	3.0	28.6	304	304	2.6	2.5	46.3	46.6	35.0	35.1	0.462139144	0.4320006
2007-08-27	2.9	23.6	246	247	2.5	2.4	45.3	45.5	34.9	35.0	0.545928052	0.5109792
2007-09-03	2.9	24.3	221	207	2.5	2.4	43.0	43.8	34.6	35.0	0.69544051	0.707527

Kursiva siffror representerar värden under omställningsperioder



Bilaga VII - Rådata från samtliga rötktammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
1999	52	777	3.0	24.5	18	392	4.9	37.9	11					1155	2.41	42.94	922	63	584
2000	1	1203	3.0	24.5	27	374	4.9	37.9	11	0			0	1557	2.41	42.94	987	63	623
2000	2	1382	3.3	24.5	34	407	4.9	37.9	11	0			0	1765	2.41	42.94	979	64	623
2000	3	1279	3.4	16.8	36	423	4.9	37.9	11	0			0	1671	2.67	42.94	973	64	627
2000	4	1295	3.6	24.5	35	443	4.9	37.9	11	0			0	1714	2.42	43.08	1007	63	632
2000	5	1591	3.4	18.3	44	457	4.9	37.9	11	0			0	2012	2.73	43.21	1040	63	658
2000	6	1456	3.4	24.5	37	460	4.9	37.9	11	0			0	1891	2.21	42.69	1021	63	648
2000	7	1561	3.1	18.5	39	435	4.9	37.9	11	0			0	1964	2.60	42.16	1014	65	657
2000	8	1409	3.4	16.2	40	426	4.9	37.9	11	0			0	1801	2.49	41.68	1027	65	664
2000	9	1772	3.1	20.2	44	413	4.9	37.9	11	0			0	2153	2.36	41.20	1118	65	725
2000	10	1356	3.9	24.5	40	389	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	1769	2.60	40.89	1045	65	677
2000	11	1280	3.9	26.0	37	420	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	1726	2.79	40.58	1000	65	650
2000	12	1416	3.5	24.5	37	434	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	1874	2.64	40.85	1067	65	694
2000	13	1475	4.1	17.6	50	472	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	1956	2.90	41.11	1144	65	744
2000	14	1620	3.5	18.8	46	492	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	2123	2.35	41.11	1163	64	744
2000	15	1725	3.0	24.5	39	410	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	2157	2.68	41.11	1178	64	759
2000	16	1857	3.9	26.9	53	462	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	2337	2.60	41.67	1208	65	790
2000	17	1499	2.9	17.0	36	501	4.9	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	2003	2.64	42.24	1047	67	699
2000	18	1422	3.3	18.2	38	561	3.0	37.9	11	37	9.9	5.4	3.5	2006	2.38	40.97	1030	66	676
2000	19	1648	3.2	17.7	43	558	3.5	33.6	13	52	9.9	5.4	4.9	2222	2.41	39.71	1051	65	681
2000	20	1731	2.5	24.5	33	481	4.3	37.9	11	51	9.9	5.4	4.8	2242	2.39	39.51	1126	67	749
2000	21	1386	3.0	24.5	31	514	4.9	37.9	11	52	9.9	5.4	4.9	1905	2.48	39.32	1016	65	664
2000	22	1550	3.0	18.8	38	474	4.0	37.9	11	25	9.9	5.4	2.3	2052	2.22	40.36	995	64	638
2000	23	1406	3.9	28.9	39	501	4.0	35.3	13	60	9.9	5.4	5.6	1927	2.64	41.40	1034	62	638
2000	24	1182	4.2	24.8	37	576	2.7	37.9	11	42	9.9	5.4	3.9	1768	2.63	41.21	1029	66	677
2000	25	1456	3.6	22.1	41	221	2.6	31.5	4	30	9.9	5.4	2.8	1693	2.61	41.02	960	66	630
2000	26	1761	4.3	29.7	53	431	3.0	37.9	11	43	9.9	5.4	4.0	2211	2.11	42.00	1057	67	711
2000	27	1419	4.1	31.5	40	395	2.9	38.4	7	44	9.9	5.4	4.1	1837	2.71	42.98	950	67	632
2000	28	1586	3.3	24.5	40	435	4.0	37.9	11	42	9.9	5.4	3.9	2032	2.57	44.24	883	68	597
2000	29	1158	3.6	30.7	29	358	3.1	40.8	7	40	9.9	5.4	3.8	1532	2.57	45.49	784	66	518
2000	30	1322	3.2	24.5	32	301	6.0	37.9	11	32	9.9	5.4	3.0	1627	2.59	45.80	839	64	541
2000	31	1022	3.6	30.8	25	281	5.5	42.3	9	31	9.9	5.4	2.9	1318	2.55	46.10	780	64	502
2000	32	1030	3.5	27.7	26	282	4.5	37.9	11	31	9.9	5.4	2.9	1322	2.49	46.30	793	65	512

Bilaga VII - Rådata från samtliga röttkammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2000	33	1335	3.7	23.6	38	276	4.5	40.7	7	30	9.9	5.4	2.8	1627	2.65	46.51	914	66	601
2000	34	1347	3.3	23.8	34	282	5.0	37.9	11	45	9.9	5.4	4.3	1642	2.57	45.54	939	64	603
2000	35	2036	2.9	32.6	40	270	6.2	41.1	10	40	9.9	5.4	3.8	2332	2.57	44.58	1018	64	646
2000	36	1140	3.2	24.5	28	271	6.1	37.9	11	47	9.9	5.4	4.4	1432	2.58	44.19	923	63	585
2000	37	1446	4.0	22.6	45	280	6.3	39.3	11	43	9.9	5.4	4.1	1762	2.25	43.79	994	64	641
2000	38	1710	3.2	24.5	41	283	5.9	37.9	11	72	9.9	5.4	6.8	2011	2.54	42.54	999	66	654
2000	39	1636	3.0	20.9	39	277	6.0	38.9	10	48	9.9	5.4	4.5	1931	2.46	41.28	999	65	649
2000	40	1607	4.3	28.0	50	287	5.7	38.9	10	49	9.9	5.4	4.6	1926	2.44	42.17	1029	65	665
2000	41	1667	3.5	26.3	43	245	6.1	39.6	9	60	9.9	5.4	5.7	1936	2.67	41.40	1121	64	717
2000	42	1564	4.0	25.0	47	343	5.7	39.0	12	50	9.9	5.4	4.7	1922	2.10	41.44	1063	66	698
2000	43	1467	3.8	25.3	42	358	5.6	38.6	12	46	9.9	5.4	4.3	1830	2.61	42.02	1023	64	655
2000	44	1552	3.0	30.2	33	356	5.8	29.3	15	33	9.9	5.4	3.1	1936	2.66	43.81	1022	64	654
2000	45	1361	2.6	29.2	25	343	5.7	39.4	12	51	9.9	5.4	4.8	1752	2.24	41.91	1071	64	688
2000	46	1379	2.9	27.9	29	339	5.6	39.2	12	66	9.9	5.4	6.2	1770	2.76	43.26	1126	64	723
2000	47	1419	3.0	24.5	32	423	5.8	37.9	11	72	9.9	5.4	6.8	1872	2.74	43.04	1052	65	685
2000	48	1603	3.1	34.9	32	408	6.0	38.3	15	58	9.9	5.4	5.4	2050	2.00	42.83	1035	65	673
2000	49	1501	3.6	29.6	38	418	5.0	36.9	13	54	9.9	5.4	5.1	1963	2.74	44.05	1140	65	741
2000	50	1557	4.6	24.5	54	357	6.0	36.1	14	69	9.9	5.4	6.5	1947	2.83	43.20	1198	63	758
2000	51	1456	3.0	24.5	33	365	4.9	37.9	11	72	9.9	5.4	6.7	1819	2.70	43.38	1187	66	779
2000	52	1189	3.3	25.0	36	372	4.9	37.9	11	23	9.9	5.4	2.2	1588	2.70	43.38	893	64	572
2001	1	1498	3.3	25.0	36	438	4.7	37.9	11	49	9.9	5.4	4.6	1957	2.70	43.38	991	64	637
2001	2	1477	3.5	33.6	34	392	4.8	36.4	12	85	9.9	5.4	8.0	1934	2.57	43.56	980	65	640
2001	3	1292	3.4	22.1	34	393	3.7	35.8	9	59	9.9	5.4	5.6	1716	2.69	42.65	1065	67	709
2001	4	1596	2.9	24.7	35	343	5.0	35.2	11	57	9.9	5.4	5.4	1970	2.49	42.31	984	65	637
2001	5	1382	3.5	17.3	40	397	4.3	35.7	11	56	9.9	5.4	5.2	1798	2.53	43.01	1023	66	673
2001	6	1718	3.0	32.0	35	418	5.0	34.6	14	55	9.9	5.4	5.1	2171	2.48	41.86	1142	64	735
2001	7	1439	2.3	28.6	24	427	5.1	36.1	14	54	9.9	5.4	5.0	1901	2.55	43.59	1050	65	687
2001	8	1254	3.8	22.7	37	403	4.6	35.0	12	61	9.9	5.4	5.7	1688	2.60	43.28	1112	64	713
2001	9	1066	3.3	21.9	27	423	3.8	35.0	10	70	9.9	5.4	6.5	1534	2.12	42.78	1065	64	685
2001	10	1384	3.7	22.3	40	440	3.8	34.7	11	74	9.9	5.4	6.9	1868	2.60	41.80	1242	65	802
2001	11	1323	4.1	28.2	39	461	5.2	35.7	15	74	9.9	5.4	7.0	1831	2.61	42.72	1205	65	778
2001	12	1236	3.6	21.3	35	467	4.7	35.4	14	75	9.9	5.4	7.0	1747	2.64	42.29	1198	65	779
2001	13	1252	3.4	20.9	34	430	5.3	35.0	15	75	9.9	5.4	7.0	1725	2.43	41.42	1154	65	752

Bilaga VII - Rådata från samtliga rötktammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2001	14	1489	3.7	24.5	42	422	4.9	35.0	13	72	9.9	5.4	6.8	1954	2.68	41.00	1098	65	710
2001	15	1417	3.7	24.0	40	422	4.8	35.8	13	60	9.9	5.4	5.7	1870	2.68	40.95	1069	66	706
2001	16	1467	4.0	21.4	46	408	5.1	35.7	13	70	9.9	5.4	6.6	1910	2.63	40.95	1063	65	688
2001	17	1616	4.4	25.0	53	402	5.3	36.6	14	72	9.9	5.4	6.7	2055	2.47	40.89	1088	65	706
2001	18	1300	3.3	20.8	34	394	4.8	36.3	12	48	9.9	5.4	4.5	1715	2.59	41.10	999	65	651
2001	19	1482	5.0	20.6	59	374	4.8	36.6	11	81	9.9	5.4	7.6	1894	2.48	40.90	948	66	625
2001	20	1703	3.2	23.3	42	414	4.2	36.4	11	54	9.9	5.4	5.1	2141	2.50	41.67	1091	64	703
2001	21	1307	3.0	25.0	36	408	4.2	36.8	11	39	9.9	5.4	3.7	1733	2.50	41.57	898	65	587
2001	22	1400	3.3	23.0	36	450	3.1	36.4	9	84	9.9	5.4	7.9	1909	2.49	40.42	954	64	614
2001	23	1508	3.1	22.6	36	403	4.1	36.3	11	68	9.9	5.4	6.4	1952	2.46	40.17	999	65	649
2001	24	1281	3.2	23.2	31	412	3.1	35.8	8	90	9.9	5.4	8.4	1760	2.51	39.46	947	65	612
2001	25	1387	3.4	22.2	37	441	3.1	36.5	9	54	9.9	5.4	5.1	1857	2.46	39.47	896	65	584
2001	26	1299	3.0	32.5	26	425	4.3	38.4	11	64	9.9	5.4	6.0	1774	3.25	41.73	865	66	567
2001	27	1029	3.6	22.6	29	369	3.4	38.6	8	74	9.9	5.4	6.9	1450	2.60	41.76	821	66	539
2001	28	1347	2.3	28.0	22	356	3.6	39.9	8	65	9.9	5.4	6.0	1751	2.68	43.13	878	64	560
2001	29	1371	2.1	27.2	21	378	5.2	40.5	12	57	9.9	5.4	5.3	1787	2.73	44.81	729	64	469
2001	30	1039	2.4	25.8	19	313	2.4	41.9	4	43	9.9	5.4	4.0	1381	2.55	45.41	558	65	361
2001	31	1229	3.2	21.8	31	301	2.5	41.9	4	51	9.9	5.4	4.8	1559	2.49	44.20	677	64	433
2001	32	1240	3.9	32.1	33	277	5.2	41.3	8	51	9.9	5.4	4.7	1550	2.52	44.56	757	63	479
2001	33	1264	3.3	24.3	32	247	4.7	40.6	7	51	9.9	5.4	4.8	1539	2.65	43.57	810	64	517
2001	34	1324	3.2	24.2	32	253	5.6	40.4	8	46	9.9	5.4	4.3	1600	2.52	43.08	787	65	508
2001	35	1547	3.0	27.3	34	244	5.4	40.3	8	49	9.9	5.4	4.6	1818	2.65	43.17	873	63	553
2001	36	1625	3.0	24.0	37	263	5.6	40.0	9	86	9.9	5.4	8.1	1945	2.55	42.29	962	63	609
2001	37	1930	3.8	39.4	44	268	7.4	41.4	12	68	9.9	5.4	6.3	2256	2.53	42.56	884	64	562
2001	38	1732	2.9	30.6	35	293	6.0	41.3	10	72	9.9	5.4	6.8	2074	2.55	44.71	816	66	535
2001	39	1480	3.3	25.8	36	282	5.4	39.1	9	81	9.9	5.4	7.6	1814	2.47	44.06	925	66	610
2001	40	1425	2.5	26.9	26	232	5.5	39.4	8	72	9.9	5.4	6.7	1709	2.34	42.59	982	64	629
2001	41	1797	3.7	27.0	49	257	5.0	39.9	8	55	9.9	5.4	5.1	2080	2.31	42.59	1008	65	656
2001	42	1647	3.0	23.3	38	313	4.4	40.2	8	68	9.9	5.4	6.3	2000	2.33	42.51	989	66	656
2001	43	1738	3.1	22.4	42	322	5.6	39.9	11	66	9.9	5.4	6.2	2093	2.28	41.74	968	66	643
2001	44	1848	3.0	29.4	39	296	5.0	40.3	9	64	9.9	5.4	6.0	2187	2.23	41.37	959	65	627
2001	45	1340	4.0	25.0	36	291	3.7	37.9	11	85	9.9	5.4	7.9	1691	2.46	39.10	1034	65	671
2001	46	1384	3.9	22.0	42	352	5.0	39.4	11	62	9.9	5.4	5.8	1772	2.52	36.84	1036	66	686

Bilaga VII - Rådata från samtliga rötktammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2001	47	1593	3.8	23.2	46	299	6.0	39.2	11	75	9.9	5.4	7.0	1933	2.45	41.53	1070	66	706
2001	48	1496	3.4	21.5	40	330	6.0	38.8	12	77	9.9	5.4	7.2	1869	2.20	43.03	1059	67	707
2001	49	1700	3.3	23.3	43	345	6.0	38.0	13	82	9.9	5.4	7.7	2093	2.44	41.39	1126	68	763
2001	50	1623	3.3	23.0	41	338	5.8	37.4	12	89	9.9	5.4	8.3	2016	2.40	41.13	1073	68	730
2001	51	1474	3.3	25.0	36	309	4.7	37.9	11	89	9.9	5.4	8.4	1846	2.39	40.56	1007	66	661
2001	52	1233	3.3	25.0	36	305	4.7	37.9	11	20	9.9	5.4	1.8	1538	2.39	40.56	787	65	508
2002	1	1209	3.8	24.9	41	318	5.8	37.8	12	45	9.9	5.4	4.2	1548	2.39	40.56	799	67	534
2002	2	1588	2.7	22.8	33	315	6.1	35.5	12	55	9.9	5.4	5.2	1932	2.38	40.00	940	67	626
2002	3	1636	2.6	34.4	28	306	5.3	36.4	10	93	9.9	5.4	8.7	2023	2.23	40.30	951	66	628
2002	4	1544	4.0	34.6	40	304	5.8	34.0	12	77	9.9	5.4	7.2	1906	2.43	42.45	925	64	595
2002	5	1449	4.2	33.3	41	296	6.0	38.0	11	73	9.9	5.4	6.9	1798	2.66	43.07	974	65	635
2002	6	1394	4.1	27.7	41	321	6.2	37.7	12	77	9.9	5.4	7.2	1762	2.70	43.33	1067	64	686
2002	7	1453	3.4	28.0	36	370	6.1	38.3	14	85	9.9	5.4	8.0	1882	2.51	43.63	1073	66	703
2002	8	1372	3.9	24.6	40	404	5.1	38.0	13	85	9.9	5.4	8.0	1828	2.62	44.36	1133	64	725
2002	9	1330	3.6	25.1	36	404	4.3	37.7	11	72	9.9	5.4	6.8	1779	2.71	43.52	1029	64	659
2002	10	1619	4.0	35.1	42	444	5.5	37.7	15	82	9.9	5.4	7.7	2126	2.66	43.05	1068	64	684
2002	11	1529	3.5	27.7	39	470	5.5	37.7	16	76	9.9	5.4	7.2	2047	2.66	43.43	1043	67	698
2002	12	1520	3.5	25.2	40	555	4.2	37.7	15	85	9.9	5.4	8.0	2128	2.66	43.81	1106	66	730
2002	13	1168	3.5	19.8	33	540	3.4	38.0	11	70	9.9	5.4	6.5	1750	2.61	43.61	1064	67	715
2002	14	1016	2.9	20.0	24	465	3.6	37.3	10	55	9.9	5.4	5.2	1514	2.50	43.23	994	67	669
2002	15	1419	3.8	21.2	42	396	3.6	36.6	9	86	9.9	5.4	8.0	1867	2.31	42.07	1055	67	702
2002	16	1370	4.8	18.9	53	328	4.4	35.5	9	83	9.9	5.4	7.8	1737	2.44	42.23	1105	67	738
2002	17	1532	4.0	20.6	49	299	5.6	35.1	11	75	9.9	5.4	7.0	1867	2.40	41.49	1060	65	692
2002	18	1670	4.7	24.9	59	322	7.2	35.3	15	63	9.9	5.4	5.9	2016	2.48	41.34	1110	65	725
2002	19	1632	3.4	24.8	42	339	6.4	36.6	14	104	9.9	5.4	9.8	2041	2.54	42.35	1137	67	761
2002	20	1527	4.8	22.8	57	340	6.1	36.4	13	77	9.9	5.4	7.2	1901	2.43	42.68	1104	65	718
2002	21	1202	3.8	22.6	35	354	6.2	36.5	14	39	9.9	5.4	3.6	1566	2.49	42.98	943	66	621
2002	22	1364	3.3	21.2	35	366	5.4	36.4	13	87	9.9	5.4	8.1	1784	2.51	42.22	1127	66	739
2002	23	1378	3.2	19.3	36	359	5.8	35.6	13	93	9.9	5.4	8.7	1795	2.41	41.08	1140	65	737
2002	24	1694	3.4	27.0	42	375	6.4	36.1	15	84	9.9	5.4	7.9	2125	2.18	40.24	1184	64	754
2002	25	1224	3.3	22.3	31	343	6.2	37.1	13	64	9.9	5.4	6.0	1603	2.56	42.36	964	64	621
2002	26	1289	4.4	41.2	33	327	6.6	38.8	13	55	9.9	5.4	5.1	1663	2.76	43.78	988	63	626
2002	27	1099	3.9	27.9	31	284	6.2	39.2	11	66	9.9	5.4	6.2	1425	2.76	45.06	958	64	612

Bilaga VII - Rådata från samtliga röttkammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2002	28	1056	4.7	27.6	36	273	6.1	40.0	10	47	9.9	5.4	4.4	1350	2.77	45.13	879	65	571
2002	29	1155	4.7	24.0	41	257	7.6	41.4	11	43	9.9	5.4	4.0	1424	2.68	44.30	823	65	531
2002	30	1338	5.3	33.6	47	261	7.4	42.1	11	35	9.9	5.4	3.3	1611	2.68	45.62	824	63	520
2002	31	1016	4.3	22.0	34	244	7.4	43.0	10	46	9.9	5.4	4.3	1276	2.57	46.48	752	65	487
2002	32	1156	5.9	19.9	55	254	7.3	42.1	11	58	9.9	5.4	5.4	1422	2.68	45.25	807	48	390
2002	33	1156	6.6	26.1	56	242	7.0	41.6	10	66	9.9	5.4	6.2	1426	2.64	44.99	930	64	597
2002	34	1345	7.2	22.1	75	190	5.5	41.0	6	68	9.9	5.4	6.4	1551	2.33	43.95	936	65	609
2002	35	1535	4.9	22.4	58	258	6.7	41.5	10	70	9.9	5.4	6.6	1820	2.48	43.66	1013	65	656
2002	36	1270	3.4	22.0	34	295	6.3	41.3	11	78	9.9	5.4	7.3	1613	2.63	42.90	1044	65	679
2002	37	1460	3.4	25.6	37	294	5.6	40.5	10	72	9.9	5.4	6.7	1799	2.54	42.73	1022	66	672
2002	38	1536	3.0	23.3	35	309	6.0	40.5	11	78	9.9	5.4	7.3	1894	2.48	42.27	1073	65	696
2002	39	1479	2.7	21.8	31	304	5.6	39.0	10	70	9.9	5.4	6.6	1825	2.23	41.96	1044	66	685
2002	40	1602	3.1	20.5	39	312	5.0	39.2	9	90	9.9	5.4	8.4	1970	2.33	41.47	1081	66	715
2002	41	1756	3.1	24.9	41	296	4.6	38.2	8	64	9.9	5.4	6.0	2089	2.29	41.03	1016	67	684
2002	42	1789	3.2	24.0	44	277	4.9	37.4	8	65	9.9	5.4	6.1	2101	2.20	40.68	1091	66	716
2002	43	2029	3.8	31.2	53	284	6.0	37.5	11	75	9.9	5.4	7.0	2362	2.17	41.16	1105	65	714
2002	44	1375	2.9	18.5	32	361	5.9	36.6	14	65	9.9	5.4	6.1	1769	2.15	40.79	999	66	659
2002	45	1279	3.6	20.8	36	344	5.6	35.6	12	67	9.9	5.4	6.3	1659	2.23	41.51	1052	66	697
2002	46	1750	3.1	23.2	42	330	6.2	34.9	13	82	9.9	5.4	7.7	2130	2.29	39.69	1170	65	759
2002	47	1625	3.1	20.8	40	316	6.3	34.6	13	76	9.9	5.4	7.2	1984	2.21	39.59	1180	66	784
2002	48	1734	2.7	26.6	34	341	6.4	34.9	14	73	9.9	5.4	6.8	2124	2.05	40.01	1218	67	819
2002	49	1674	2.7	22.6	35	340	6.2	34.7	14	78	9.9	5.4	7.3	2061	2.34	40.43	1202	68	823
2002	50	1704	2.8	21.1	38	303	5.6	34.5	11	81	9.9	5.4	7.6	2056	2.28	40.02	1165	68	795
2002	51	1717	3.8	24.9	41	288	5.8	37.8	12	81	9.9	5.4	7.6	2055	2.09	39.59	1156	67	772
2002	52	1731	3.8	24.9	41	247	5.8	37.8	12	11	9.9	5.4	1.1	1963	2.09	39.59	876	67	588
2003	1	1746	3.6	24.4	30	231	3.8	37.5	9	39	9.9	5.4	3.7	1989	2.09	39.59	855	66	562
2003	2	1497	2.8	20.8	33	269	6.4	34.4	11	65	9.9	5.4	6.1	1802	1.90	39.15	901	67	600
2003	3	1473	3.7	25.3	41	293	6.5	34.6	12	74	9.9	5.4	6.9	1812	2.00	39.33	1154	65	754
2003	4	1347	3.6	24.4	37	342	6.1	35.2	14	82	9.9	5.4	7.6	1743	2.23	40.38	1202	66	798
2003	5	1323	2.1	22.6	22	326	6.2	36.5	13	72	9.9	5.4	6.8	1699	2.32	41.33	1217	66	801
2003	6	1369	3.5	21.3	38	287	5.8	36.4	11	73	9.9	5.4	6.9	1698	2.46	40.89	1162	67	773
2003	7	1502	4.0	26.3	44	287	5.9	36.2	11	72	9.9	5.4	6.7	1832	2.38	41.15	1126	69	773
2003	8	1467	3.6	24.7	40	244	5.6	36.3	9	62	9.9	5.4	5.8	1746	2.03	41.01	1092	68	742

Bilaga VII - Rådata från samtliga röttkammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2003	9	1397	3.2	23.8	34	245	5.2	36.1	8	56	9.9	5.4	5.2	1672	2.28	41.00	992	68	671
2003	10	1443	3.6	25.8	39	312	3.6	35.9	7	75	9.9	5.4	7.0	1805	2.26	40.64	1126	67	754
2003	11	1295	4.6	30.7	41	350	6.0	35.6	14	84	9.9	5.4	7.8	1705	2.30	41.04	1121	68	758
2003	12	1060	3.6	23.3	29	384	5.6	35.6	14	93	9.9	5.4	8.7	1509	2.42	42.12	1200	68	820
2003	13	1107	4.5	23.6	38	345	4.6	36.2	10	100	9.9	5.4	9.3	1522	2.36	41.92	1254	67	837
2003	14	1277	4.3	21.2	43	375	5.4	35.4	13	93	9.9	5.4	8.7	1708	2.46	41.62	1292	66	855
2003	15	1308	3.3	24.6	33	484	3.5	35.8	11	87	9.9	5.4	8.1	1854	2.52	41.71	1218	67	816
2003	16	989	3.6	20.5	28	396	5.4	35.9	14	51	9.9	5.4	4.8	1410	2.42	41.69	1160	69	796
2003	17	1074	3.9	19.8	34	351	2.8	36.7	6	56	9.9	5.4	5.2	1455	2.50	42.01	1057	66	693
2003	18	1338	4.0	33.0	36	418	5.1	36.4	14	54	9.9	5.4	5.1	1794	2.45	41.25	1201	64	769
2003	19	1314	3.1	24.5	31	384	5.4	37.6	13	98	9.9	5.4	9.2	1768	2.64	42.79	1174	65	765
2003	20	1185	3.2	20.6	30	369	3.6	37.8	8	80	9.9	5.4	7.5	1607	2.35	42.51	1124	65	729
2003	21	1327	3.0	20.1	32	300	3.1	37.7	6	74	9.9	5.4	6.9	1675	2.42	41.76	1184	64	760
2003	22	1154	4.3	32.2	34	241	4.8	37.7	7	48	9.9	5.4	4.5	1425	2.52	44.59	1118	65	726
2003	23	1095	3.5	20.7	30	235	2.8	38.2	4	83	9.9	5.4	7.8	1387	2.60	43.47	1126	65	728
2003	24	1109	3.7	23.7	31	225	3.8	37.7	5	59	9.9	5.4	5.5	1370	2.53	43.46	1034	64	661
2003	25	1123	3.4	25.0	29	446	2.6	38.8	7	59	9.9	5.4	5.5	1609	2.10	42.36	1102	64	708
2003	26	1123	3.4	26.9	28	476	2.6	39.0	8	68	9.9	5.4	6.4	1650	2.44	42.65	1015	65	658
2003	27	1143	3.2	25.6	27	478	3.2	39.7	9	58	9.9	5.4	5.5	1661	2.55	43.27	1027	64	661
2003	28	1337	3.0	23.2	31	465	2.0	39.8	6	51	9.9	5.4	4.8	1834	2.41	42.99	908	65	589
2003	29	1267	3.0	25.2	28	409	2.2	41.5	5	44	9.9	5.4	4.1	1701	2.44	44.18	773	65	498
2003	30	1261	5.0	35.0	41	400	2.9	41.5	7	32	9.9	5.4	3.0	1678	2.43	44.75	819	64	522
2003	31	1181	2.7	22.0	25	337	2.8	42.4	5	52	9.9	5.4	4.9	1550	2.37	46.81	792	64	509
2003	32	1224	3.6	22.2	34	365	2.1	41.2	5	47	9.9	5.4	4.4	1612	2.29	45.11	798	65	517
2003	33	1242	4.4	25.2	41	401	3.1	41.0	7	56	9.9	5.4	5.2	1673	2.27	44.03	1010	63	640
2003	34	1255	3.4	22.7	33	459	2.5	41.1	7	65	9.9	5.4	6.0	1754	2.36	44.27	996	64	639
2003	35	1524	3.4	28.2	37	522	2.1	40.0	7	67	9.9	5.4	6.3	2093	2.30	43.64	1029	64	658
2003	36	1426	3.5	24.8	38	557	1.9	39.8	6	83	9.9	5.4	7.8	2043	2.00	42.91	1070	66	706
2003	37	1648	3.4	30.1	39	499	2.1	38.7	6	80	9.9	5.4	7.5	2207	2.35	42.19	925	65	602
2003	38	1727	4.3	21.6	58	374	2.1	37.1	5	68	9.9	5.4	6.4	2131	2.36	40.97	1099	65	709
2003	39	1390	3.1	23.6	33	589	2.0	39.8	7	77	9.9	5.4	7.2	2035	2.09	41.21	1221	65	796
2003	40	1592	3.5	24.1	42	533	2.0	37.4	7	73	9.9	5.4	6.8	2172	2.28	40.88	1136	65	737
2003	41	1725	3.6	24.6	47	409	2.6	37.4	7	81	9.9	5.4	7.6	2187	1.68	40.63	1077	65	699

Bilaga VII - Rådata från samtliga rötktammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2003	42	1734	3.2	22.2	43	405	2.0	37.2	5	80	9.9	5.4	7.5	2190	2.25	40.51	1116	68	758
2003	43	1972	3.0	23.7	45	400	2.4	36.6	6	60	9.9	5.4	5.6	2404	2.16	40.15	1060	67	708
2003	44	1694	3.4	19.2	47	448	2.9	36.8	8	61	9.9	5.4	5.7	2170	2.03	39.07	1042	65	680
2003	45	1428	3.6	22.1	40	621	2.5	36.5	10	82	9.9	5.4	7.7	2105	2.15	39.70	1093	69	750
2003	46	1639	3.6	20.5	47	646	2.0	35.8	8	69	9.9	5.4	6.5	2324	2.05	39.45	1014	68	685
2003	47	1525	3.5	22.6	41	567	2.8	34.9	10	36	9.9	5.4	3.4	2102	2.23	39.72	1177	66	775
2003	48	1470	4.4	31.6	44	481	4.4	35.0	14	108	9.9	5.4	10.1	2038	2.42	39.38	1343	67	895
2003	49	1360	3.4	24.7	35	469	3.2	36.1	10	100	9.9	5.4	9.4	1904	2.44	40.59	1251	68	851
2003	50	1541	3.7	23.9	43	422	3.8	35.5	10	78	9.9	5.4	7.3	2011	2.40	41.21	1273	66	844
2003	51	1600	3.6	24.4	30	475	3.8	37.5	9	94	9.9	5.4	8.8	2138	2.32	42.30	1223	66	812
2003	52	1821	3.6	24.4	30	436	3.8	37.5	9	30	9.9	5.4	2.8	2256	2.32	42.30	1059	66	703
2004	1	1509	3.6	27.5	40	398	4.6	38.3	11	38	9.9	5.4	3.6	1922	2.32	42.30	1000	68	684
2004	2	1586	3.6	27.5	40	362	4.6	38.3	11	57	9.9	5.4	5.3	1980	2.32	42.30	1063	67	715
2004	3	1521	3.0	26.5	34	371	5.0	38.1	11	96	9.9	5.4	8.9	1961	2.23	43.38	1100	66	727
2004	4	1255	3.5	24.1	33	409	3.3	38.2	8	80	9.9	5.4	7.5	1719	2.37	42.79	1153	67	774
2004	5	1419	3.2	24.6	34	393	2.9	37.6	7	79	9.9	5.4	7.4	1866	2.48	42.48	1185	65	773
2004	6	1665	3.2	30.9	37	377	6.2	37.9	15	92	9.9	5.4	8.6	2112	2.45	42.22	1261	66	830
2004	7	1393	3.3	24.6	35	353	6.2	37.6	14	88	9.9	5.4	8.3	1804	2.57	43.70	1215	67	819
2004	8	1352	3.7	26.9	37	320	5.1	37.9	10	93	9.9	5.4	8.8	1738	2.39	43.63	1190	67	801
2004	9	1375	2.8	23.0	30	378	4.2	37.3	10	80	9.9	5.4	7.5	1807	2.59	42.90	1175	66	774
2004	10	1496	3.0	22.6	35	368	3.3	36.6	8	109	9.9	5.4	10.2	1944	2.59	42.70	1226	68	831
2004	11	1586	3.2	24.4	38	344	4.4	36.4	10	99	9.9	5.4	9.2	1997	2.56	42.61	1137	69	789
2004	12	1774	1.8	31.1	22	386	8.0	37.0	19	85	9.9	5.4	7.9	2225	2.59	42.76	1355	66	900
2004	13	1326	3.8	28.0	36	351	7.0	38.0	15	85	9.9	5.4	7.9	1733	2.48	43.89	1279	67	863
2004	14	1248	4.6	25.4	43	298	5.4	37.8	10	62	9.9	5.4	5.8	1576	2.72	44.64	1131	69	777
2004	15	1268	3.9	25.8	37	259	5.3	37.7	9	66	9.9	5.4	6.2	1566	2.70	44.12	1069	67	716
2004	16	1297	4.1	26.2	39	362	4.8	37.6	11	73	9.9	5.4	6.8	1703	2.67	43.35	1085	68	735
2004	17	1780	4.1	25.6	54	417	2.8	36.8	7	73	9.9	5.4	6.8	2235	2.60	43.36	1257	68	854
2004	18	1825	3.1	25.0	42	416	3.7	36.7	10	74	9.9	5.4	6.9	2286	2.59	42.23	1112	68	752
2004	19	1893	2.5	24.8	36	451	3.4	36.4	10	80	9.9	5.4	7.5	2398	2.09	41.66	1104	65	719
2004	20	1560	4.0	24.9	47	428	3.1	36.4	8	64	9.9	5.4	6.0	2024	2.55	40.07	1083	65	706
2004	21	1598	4.2	23.9	51	443	3.1	37.6	9	60	9.9	5.4	5.6	2071	2.49	39.63	1159	65	750
2004	22	1775	3.4	30.8	42	440	5.0	38.4	14	104	9.9	5.4	9.8	2296	2.61	41.56	1156	66	760

Bilaga VII - Rådata från samtliga rötktammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2004	23	1560	4.0	25.9	46	448	4.3	38.5	12	63	9.9	5.4	5.9	2042	2.55	41.50	984	66	648
2004	24	1967	6.4	44.8	69	489	5.2	39.1	15	82	9.9	5.4	7.7	2535	2.74	43.30	1094	65	716
2004	25	1765	3.8	33.4	45	458	5.1	39.7	14	89	9.9	5.4	8.3	2288	2.83	44.53	1063	64	684
2004	26	1689	3.9	29.2	47	450	4.9	39.5	13	76	9.9	5.4	7.1	2184	2.78	44.53	1033	65	672
2004	27	1750	4.1	34.7	47	416	5.7	40.5	14	70	9.9	5.4	6.6	2212	2.57	45.45	972	65	633
2004	28	1619	3.1	34.0	33	397	4.4	41.1	10	57	9.9	5.4	5.4	2057	2.95	44.32	883	65	577
2004	29	1378	3.5	32.0	33	420	3.7	41.5	9	50	9.9	5.4	4.7	1830	2.50	45.57	826	65	536
2004	30	1185	4.3	29.4	36	391	2.1	42.0	5	49	9.9	5.4	4.6	1605	2.44	46.16	740	66	490
2004	31	1345	4.3	28.6	41	342	2.8	41.8	6	61	9.9	5.4	5.7	1723	2.44	45.92	770	66	509
2004	32	1292	4.9	29.9	44	333	3.2	41.0	6	62	9.9	5.4	5.8	1664	2.50	44.43	799	66	526
2004	33	1327	4.8	28.5	46	320	3.6	40.6	7	64	9.9	5.4	6.0	1685	2.50	44.11	844	65	550
2004	34	1164	3.5	24.9	31	343	4.8	39.9	10	69	9.9	5.4	6.5	1551	2.63	44.30	924	64	589
2004	35	1513	4.5	27.4	49	357	5.0	39.0	11	77	9.9	5.4	7.2	1915	2.63	42.97	1024	65	666
2004	36	1583	3.8	29.7	42	333	5.6	38.6	11	93	9.9	5.4	8.7	1982	2.63	43.48	965	66	638
2004	37	1836	3.0	29.4	39	360	5.1	38.1	11	96	9.9	5.4	9.0	2266	1.98	43.13	961	67	641
2004	38	1917	3.2	28.4	44	430	4.6	37.8	12	69	9.9	5.4	6.5	2391	2.53	41.65	1044	65	683
2004	39	1301	4.0	26.3	38	371	5.2	39.6	12	58	9.9	5.4	5.5	1705	2.44	42.37	920	65	595
2004	40	1582	3.2	25.2	38	389	5.4	39.3	13	127	9.9	5.4	11.9	2067	2.61	42.54	1079	67	725
2004	41	1694	2.6	24.7	33	422	5.4	39.4	14	88	9.9	5.4	8.2	2176	2.43	41.88	1168	68	790
2004	42	1679	3.3	25.2	41	381	4.2	38.5	10	87	9.9	5.4	8.1	2117	2.59	41.41	1112	69	762
2004	43	1915	3.2	29.3	43	214	6.0	39.3	8	81	9.9	5.4	7.6	2188	2.59	40.80	1151	66	759
2004	44	2013	3.2	30.3	45	407	5.5	38.2	14	85	9.9	5.4	7.9	2480	2.30	41.37	1168	67	787
2004	45	1577	2.9	27.0	33	446	4.6	37.7	13	82	9.9	5.4	7.7	2082	2.47	41.11	1105	67	745
2004	46	1527	3.8	25.2	43	540	2.9	37.7	10	84	9.9	5.4	7.9	2125	2.44	41.03	1161	68	791
2004	47	1425	3.2	20.8	36	458	4.8	36.8	14	81	9.9	5.4	7.6	1931	2.50	41.47	1140	67	758
2004	48	1647	3.1	22.1	40	400	4.0	36.2	10	90	9.9	5.4	8.4	2105	2.34	41.55	1183	68	799
2004	49	1750	3.2	25.5	42	428	5.4	35.8	15	80	9.9	5.4	7.5	2230	2.30	39.63	1192	67	798
2004	50	1661	2.9	32.6	32	386	3.6	36.7	9	88	9.9	5.4	8.2	2118	2.43	41.84	1113	68	759
2004	51	1473	3.9	25.8	43	437	4.6	36.6	13	103	9.9	5.4	9.6	1982	2.53	41.28	1280	67	853
2004	52	1577	3.6	27.5	40	464	4.6	38.3	11	56	9.9	5.4	5.3	2071	2.59	42.21	1138	67	758
2004	53	1463	3.6	27.4	36	451	4.0	37.4	11	75	9.9	5.4	7.0	1965	2.59	42.21	1170	67	788
2005	1	1616	3.6	27.4	36	451	4.0	37.4	11	59	9.9	5.4	5.5	2099	2.65	43.15	1157	66	764
2005	2	1591	3.8	41.6	35	370	5.8	38.6	13	91	9.9	5.4	8.5	2043	2.68	43.74	1103	68	745

Bilaga VII - Rådata från samtliga rötktammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2005	3	1525	3.3	28.5	36	371	5.8	37.9	13	98	9.9	5.4	9.2	1966	2.65	44.41	1175	66	773
2005	4	1402	3.6	25.1	38	403	5.6	37.8	14	82	9.9	5.4	7.7	1856	2.61	43.57	1208	68	822
2005	5	1307	3.6	23.2	36	457	4.6	37.3	13	73	9.9	5.4	6.8	1808	2.68	43.18	1138	68	774
2005	6	1374	3.9	30.9	37	430	5.0	37.2	13	77	9.9	5.4	7.3	1858	2.73	43.35	1230	67	824
2005	7	1471	3.4	26.4	37	425	5.1	37.2	14	80	9.9	5.4	7.4	1949	2.70	42.51	1330	67	894
2005	8	1409	3.0	23.8	32	438	4.8	36.8	13	101	9.9	5.4	9.4	1919	2.65	42.29	1304	69	895
2005	9	1285	3.0	24.0	29	443	3.8	35.9	11	78	9.9	5.4	7.3	1782	2.53	41.49	1168	67	784
2005	10	1274	4.1	24.7	39	400	3.8	36.1	10	74	9.9	5.4	6.9	1721	2.53	41.40	1166	66	772
2005	11	1498	4.5	24.0	51	454	4.1	35.2	12	91	9.9	5.4	8.6	2008	2.54	41.25	1255	67	846
2005	12	1847	3.4	29.2	44	505	3.6	35.0	12	67	9.9	5.4	6.3	2394	2.57	42.12	1208	68	825
2005	13	1126	3.5	26.9	29	451	6.0	36.3	17	66	9.9	5.4	6.2	1620	2.48	41.97	1085	69	748
2005	14	1353	4.0	27.4	39	432	5.8	35.9	16	88	9.9	5.4	8.2	1845	2.47	41.35	1183	67	791
2005	15	1460	3.5	25.9	38	468	4.8	36.3	14	84	9.9	5.4	7.9	1984	2.44	41.64	1160	67	778
2005	16	1429	3.6	23.8	39	502	4.5	36.2	14	91	9.9	5.4	8.5	1990	2.50	41.12	1163	67	784
2005	17	1368	3.4	23.9	35	539	3.6	36.2	12	84	9.9	5.4	7.9	1966	2.44	40.48	1141	67	766
2005	18	1684	4.5	33.9	50	550	3.6	36.1	13	54	9.9	5.4	5.1	2267	2.70	42.64	1114	66	735
2005	19	1527	3.8	29.4	41	574	3.4	36.6	12	79	9.9	5.4	7.4	2156	2.50	42.10	1041	66	688
2005	20	1421	3.4	27.2	35	631	3.0	37.1	12	98	9.9	5.4	9.2	2129	2.41	41.03	1050	65	687
2005	21	1481	3.6	25.1	40	658	2.5	36.9	10	66	9.9	5.4	6.2	2180	2.39	41.45	1045	65	682
2005	22	1631	4.8	32.3	53	488	3.3	36.8	10	82	9.9	5.4	7.7	2178	2.52	41.76	1163	65	753
2005	23	1412	3.5	24.0	38	425	3.9	36.7	11	81	9.9	5.4	7.6	1890	2.65	42.08	1096	65	716
2005	24	1460	3.0	30.8	30	393	4.4	37.9	11	95	9.9	5.4	8.9	1929	2.65	42.08	1391	66	922
2005	25	1411	4.3	32.7	41	377	4.9	37.7	12	58	9.9	5.4	5.4	1825	2.63	43.73	1344	66	890
2005	26	1423	3.3	27.2	34	398	4.2	38.0	10	85	9.9	5.4	7.9	1880	2.55	43.49	1053	65	690
2005	27	1117	4.0	25.9	33	470	2.6	39.0	7	75	9.9	5.4	7.0	1641	2.48	42.90	960	66	631
2005	28	1205	3.4	24.3	31	493	1.4	39.3	4	55	9.9	5.4	5.1	1735	2.53	42.48	887	65	574
2005	29	1389	3.1	30.6	30	480	3.2	39.5	9	59	9.9	5.4	5.5	1909	2.68	45.26	923	64	590
2005	30	1037	4.4	44.4	25	385	5.2	41.8	12	67	9.9	5.4	6.2	1481	2.73	46.83	823	65	537
2005	31	1263	3.6	27.7	33	322	3.8	42.2	7	65	9.9	5.4	6.1	1628	2.70	46.44	936	65	609
2005	32	1212	3.8	32.9	31	361	4.7	41.8	10	58	9.9	5.4	5.5	1612	2.71	46.64	921	64	591
2005	33	1061	3.5	27.2	27	394	3.8	41.6	9	63	9.9	5.4	5.9	1498	2.65	46.06	932	66	611
2005	34	1305	4.2	27.2	40	431	4.0	40.5	10	98	9.9	5.4	9.2	1806	2.70	44.76	1162	65	756
2005	35	1116	3.5	25.0	29	489	3.1	39.6	9	77	9.9	5.4	7.2	1661	2.67	43.58	1078	67	718

Bilaga VII - Rådata från samtliga rötammare

År	v	Primärslam				Överskottslam				EOM				Rötat slam			Gas		
		Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	VS [ton/d]	Flöde [m ³ /d]	TS [%]	GR [% av TS]	Rötgas [Nm ³ /h]	Metan [Nm ³ /h]	
2005	36	1300	3.4	29.8	31	411	3.1	38.2	8	74	9.9	5.4	6.9	1767	2.64	43.14	1008	66	664
2005	37	1195	3.8	26.3	33	416	3.7	37.0	10	76	9.9	5.4	7.2	1665	2.64	41.92	1057	66	694
2005	38	1194	3.6	22.8	33	506	3.2	37.2	10	78	9.9	5.4	7.4	1754	2.60	41.46	1056	67	708
2005	39	1547	3.0	24.7	35	535	2.8	36.7	9	84	9.9	5.4	7.9	2143	2.51	40.74	1147	66	762
2005	40	1642	2.7	22.7	34	612	2.8	37.0	11	94	9.9	5.4	8.8	2323	2.29	40.21	1159	68	785
2005	41	1603	3.0	21.8	38	400	1.8	36.8	5	88	9.9	5.4	8.2	2065	2.10	39.85	1119	68	757
2005	42	1611	3.1	23.2	38	757	1.9	36.8	9	76	9.9	5.4	7.1	2420	2.08	40.49	1119	67	748
2005	43	1401	3.2	28.9	32	788	2.1	36.1	11	84	9.9	5.4	7.8	2253	2.11	42.87	1090	67	735
2005	44	1518	3.5	27.8	38	589	2.1	36.2	8	85	9.9	5.4	7.9	2173	2.16	39.71	1168	67	788
2005	45	1489	3.2	26.4	35	377	3.6	36.0	9	75	9.9	5.4	7.1	1920	2.20	39.31	1126	68	761
2005	46	1503	3.4	20.9	40	368	3.9	35.8	9	73	9.9	5.4	6.8	1914	2.20	39.42	1124	66	744
2005	47	1634	3.0	21.9	38	376	4.3	35.4	10	88	9.9	5.4	8.2	2069	2.22	39.13	1185	67	796
2005	48	1776	3.2	25.0	43	416	5.0	36.0	13	70	9.9	5.4	6.5	2234	2.19	39.15	1191	66	785
2005	49	1539	3.7	35.1	37	411	6.1	35.6	16	99	9.9	5.4	9.3	2033	2.49	40.75	1195	68	809
2005	50	1326	3.8	26.9	37	458	5.5	37.1	16	100	9.9	5.4	9.3	1858	2.49	40.75	1280	66	847
2005	51	1215	3.6	27.4	36	523	4.0	37.4	11	100	9.9	5.4	9.3	1817	2.49	40.75	1225	67	826
2005	52	1362	3.6	27.4	36	532	4.0	37.4	11	71	9.9	5.4	6.7	1944	2.49	40.75	1177	68	798