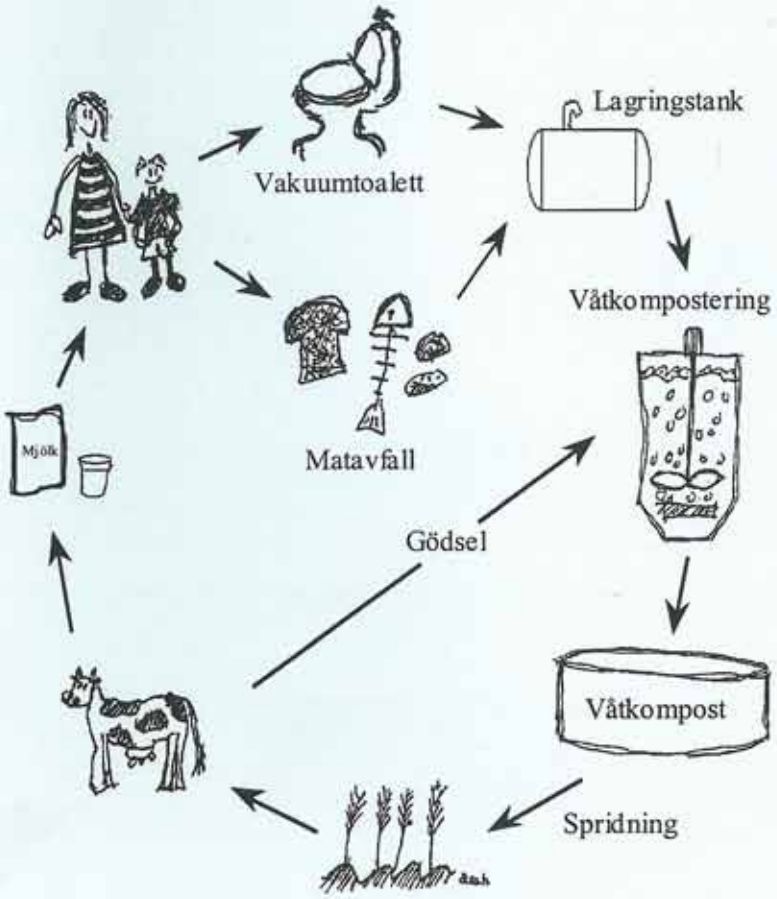
Hantering av svartvatten från Tegelvikens skola – kretsloppssystem med våtkompostering

Erik Norin
Christopher Gruvberger
Per-Ola Nilsson



VA-FORSK RAPPORT 2000 • 3

0•3

Utgiven av VAV AB

VA-FORSK

VA-FORSK är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig och intresset från kommunernas sida har varit mycket stort. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-FORSK initierades gemensamt av Kommunförbundet och VAV. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-FORSK styrs av en kommitté, som utsetts gemensamt av VAV och Kommunförbundet. Kommittén är underställd VAVs styrelse. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Ola Burström, ordförande	Skellefteå
Peter Balmér	GRYAAB, Göteborg
Roger Bergström	VAV
Bengt Göran Hellström	Stockholm Vatten AB
Pär Jönsson	Östersund
Sören Larsson	Hallsberg
Peeter Maripuu	Lysekil
Stefan Marklund	Luleå kommun
Åsa Möller	Sundsvall
Peter Stahre	VA-verket Malmö
Jan Söderström	Sv kommunförbundet
Asle Aasen, adj	NORVAR, Norge

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

VA-FORSK
VAV AB
101 53 STOCKHOLM
Tel: 08-677 25 70
Fax: 08-677 25 75

VAV AB är servicebolag till Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen

Hantering av svartvatten från Tegelvikens skola – kretsloppssystem med våtkompostering

Erik Norin
Christopher Gruvberger
Per-Ola Nilsson

VA-FORSK RAPPORT 2000 • 3

Utgiven av VAV AB

VA-FORSK Bibliografiska uppgifter för nr 2000•3

Rapportens titel:	Hantering av svartvatten från Tegelvikens skola – kretsloppssystem med våtkompostering
Title of the report:	Handling of black water from the school of Tegelviken – recycling system with liquid composting
Rapportens beteckning **Nr i VA-FORSK-serien:** **ISSN-nummer:** **ISBN-nummer:**	 2000•3 1102-5638 91-89182-39-1
Författare:	Erik Norin, VBB VIAK AB, Christopher Gruvberger, Jordbrukstekniska Institutet, Per-Ola Nilsson, Eskilstuna Energi & Miljö AB
Utgivare:	VAV AB
VA-FORSK projekt nr:	98-111
Projektets namn:	Utvärdering av svartvattensystem vid Tegelviken, Eskilstuna
Projektets finansiering:	VA-FORSK
Rapporten beställs från:	AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tfn 08-457 11 00
Rapportens omfattning **Sidantal:** **Format:** **Upplaga:**	 64 A4 1200
Sökord:	Våtkompostering, svartvatten, hygienisering, aerob, behandling, slamluftning, organiskt avfall, vakuumtoaletter
Keywords:	Liquid composting, black water, sanitation, aerobic treatment, sludge stabilisation, organic waste, vacuum toilets
Sammandrag:	Rapporten beskriver svartvattenhanteringen på Tegelvikens skola i Kvicksund. Svartvattnet samlas upp med ett vakuumsystem och behandlas sedan tillsammans med flytgödsel i en våtkomposteringsanläggning på en närbelägen gård.
Abstract:	The report describes the black water treatment at the school of Tegelviken in Kvicksund. The black water is collected by a vacuum system and it is then treated together with cattle manure in a liquid composting process.
Målgrupper:	Forskare Kommunala tjänstemän Miljömyndigheter Konsulter
Utgivningsår:	2000
Pris 2000:	200 kr, exkl moms
Omslagsbild:	Åsa Hanaeus, VBB VIAK AB

SAMMANFATTNING

Tegelvikens skola i Kvicksund togs i drift inför höstterminen 1998 med en avloppslösning som innebär att BDT-vattnet och svartvattnet behandlas olika. Svartvattnet samlas upp med ett vakuumsystem och transporteras sedan till Sörby gård där det våtkomposteras och utnyttjas som ett organiskt gödselmedel. I anläggningen skall även matavfall från skolköket behandlas, vilket dock inte har skett under den här utvärderingstiden. Eftersom energiinnehållet i enbart svartvattnet inte är tillräckligt våtkomposteras det tillsammans med flytgödsel från Sörby gård. Under utvärderingsperioden har ca 25 % av det våtkomposterade materialet varit svartvatten.

Vakuumsystemet har utvärderats översiktligt med hjälp av enkäter och driftsuppföljning. Våtkomposteringen har följts upp genom studier av driftsförhållanden, mätning av energiåtgång samt provtagning. Dessutom har den praktiska användningen av materialet på åkermark studerats.

Den övergripande slutsatsen efter det första driftsåret är att svartvattensystemet och våtkomposteringsanläggningen fungerar, men att det finns flera delar i systemet som bör förbättras. Det uppstod en rad tekniska problem med driften under hösten 1998, men med undantag från en kortare period har anläggningen fungerat bra under hela 1999. I övrigt har vi dragit bland annat följande slutsatser:

- Vakuumsystemet har fungerat relativt problemfritt och uppfattas positivt av användarna.
- Tömning av svartvattentanken sker för närvarande på ett sätt som gör att sedimenterat material inte samlas in.
- Vid löpande drift av våtkomposteringsprocessen är det viktigt att råmaterialet är ordentligt omrört och att inte TS-halten är för hög. Kontinuerlig kontroll och rengöring av luftarrör och skum-/nivågivare krävs. Drift och skötsel av anläggningen kräver cirka 4 timmar/vecka.
- Våtkomposteringen ger upphov till tillfredsställande hygienisering.
- Elbehovet för våtkomposteringsanläggningen är 25 kWh/m^3 råmaterial.
- Biofiltret har inte kunnat utnyttjas på grund av bristfälligt utförande av luftbehandlingssystemet. Detta leder till att man riskerar att förlora 20-30 % av svartvattnets kväveinnehåll.
- Våtkomposten har egenskaper som gör det mycket intressant för användning på åkermark. Tungmetallhalterna i våtkomposten är låga och materialet har flera fördelar jämfört med flytgödsel.
- För ekonomisk drift bör anläggningen uteslutande behandla avfallsslag som genererar mottagningsavgifter.

Vi anser att systemet är en intressant metod för sambehandling av framförallt svartvatten och köksavfall. Ett fortsatt FoU-arbete behövs dock, omfattande såväl processutveckling som frågor rörande hygieniseringsaspekter.

SUMMARY

Tegelviken is a newly built school in Kvicksund. The black water from the school is collected by a vacuum system and transported by farmers to Sörby farm. At the farm the black water is treated in a liquid composting process and used as fertiliser on the agricultural land. Due to the low energy content in black water, it is co-treated together with cattle manure. During this project, about 25 % of the treated volume were black water and the rest cattle manure. Organic waste from the school kitchen is planned to be included in the process, but this has not been done so far.

The vacuum system has been studied with inquiries and an evaluation of the operation. The liquid composting process has been studied by a continuous evaluation of the operation, measurement of energy consumption and taking of specimens. Furthermore, the practical consequences of using the residue in agriculture have been evaluated.

During the starting-up phase, a lot of technical problems with the liquid composting process occurred. However, the over all conclusion based on the operation the first year is that the black water system and liquid composting system works but there are a lot of parts in the system that should be improved. In addition to this, the following conclusions can be drawn:

- The vacuum system has been working relatively well and most of the users are positive to the system.
- The used equipment for emptying the black water tank has not been good enough to empty the sediment generated during storage.
- During operation of the liquid composting process it is important to make sure that the raw material are mixed and that the dry matter content is within the requested boundaries. The pipe for air transport and the foam-/level sensors should be continuously checked and cleaned. For the management of the plant about 4 hours a week is required.
- The liquid composting process results in a sufficient sanitation.
- The electricity demand in the liquid composting process is 25 kWh/m^3 treated material.
- The air treatment system is designed in a way that can result in a loss of 20-30% of the nitrogen in the black water.
- The residue has qualities that make it very interesting for use as agricultural fertiliser. The heavy metal content is low and the residue has a number of advantages compared to manure.
- For good economic outcome the plant should only treat material generating fees.

Our opinion is that this is an interesting method for treatment of for example black water and kitchen waste. Further studies including optimisation of the process and questions concerning hygiene are however still needed.

FÖRORD

Denna rapport redovisar en utvärdering av det kretsloppssystem med våtkompostering som Eskilstuna kommun byggt upp i anslutning till Tegelvikens skola i Kvicksund. Anläggningen har kunnat uppföras genom statligt investeringsbidrag för en ekologisk hållbar samhällsutveckling (Kretsloppsmiljarden). Utvärderingsarbetet har utförts av Erik Norin, VBB VIAK, Christopher Gruvberger, Jordbrukstekniska institutet (JTI) samt Per-Ola Nilsson, Eskilstuna Energi & Miljö AB (EEM), vilka också sammanställt föreliggande rapport. Utöver dessa personer har Leif Linde, EEM, Lennart Thyselius, JTI och Ulf Carlsson, Barn och utbildnings-förvaltningen (rektor på Tegelviken), ingått i projektets arbetsgrupp.

Vi som skrivit rapporten vill rikta ett varmt tack till alla som medverkat i utvärderingsarbetet. Ett särskilt tack riktar vi till Tomas och Magnus Eriksson som sköter våtkomposteringsanläggningen vid Sörby gård samt till Nils-Åke Engström och Jonas Bogren, fastighetsskötare vid Tegelviken.

Vår förhoppning är att rapporten ska förmedla erfarenheter och underlag som bidrar till en ökad kunskap om våtkompostering och svartvatten-sortering i praktisk drift.

Erik Norin Christopher Gruvberger Per-Ola Nilsson

INNEHÅLL

1 BAKGRUND OCH SYFTE 1

2 SYSTEMBESKRIVNING 2

2.1 Begrepp och definitioner 2
2.2 Vad är våtkompostering? 2
2.2.1 Våtkompostering av svartvatten, köksavfall och flytgödsel 4
2.2.2 Löpande driftkontroll för tillfredsställande hygienisering 6
2.3 Övergripande beskrivning av behandlingssystemet 7
2.3.1 Svartvattensystemets funktion 7
2.3.2 Anläggningens kostnader 8
2.3.3 Avtal om anläggningsskötsel mm 9
2.4 Teknisk anläggningsbeskrivning 10
2.4.1 Förlager 11
2.4.2 Reaktor 11
2.4.3 Luftbehandling 12
2.4.4 Efterlager 13
2.4.5 Styrning och övervakning 13
2.4.6 Processen på Sörby gård 13
2.5 Utnyttjande av restprodukt 15
2.5.1 Allmänna aspekter kring spridning och lagring 15
2.5.2 Spridning av restprodukten på Sörby gård 16
2.6 Möjligheter till värmeutvinning på Sörby gård 16

3 UTVÄRDERINGSMETODIK 18

3.1 Praktiska studier 18
3.2 Enkätundersökning 18
3.3 Mätning och registrering 19
3.4 Kemiska och fysikaliska parametrar 20
3.5 Mikrobiologiska undersökningar 21

4 RESULTAT 22

4.1 Erfarenheter vid Tegelviken 22
4.1.1 Vakuumsystemet 22
4.1.2 Uppsamlingstanken för svartvatten 22
4.1.3 Enkätundersökningen 23
4.2 Råmaterialens kvalitet 24
4.3 Driftserfarenheter vid Sörby 25
4.3.1 Uppstartsförlopp 25
4.3.2 Driftstörningar 26
4.3.3 Återkommande drift- och skötselmoment 26
4.4 Behandlings- och driftresultat 27
4.4.1 Behandlad volym 27

4.4.2 Temperatur/tidförlopp 27
4.4.3 Elförbrukning 29
4.4.4 Resultat – slambehandling 29
4.4.5 Hygienisering 30
4.4.6 Luftbehandling och ammoniakmätningar 32
4.5 Användning av våtkomposten 33
4.5.1 Samråd 33
4.5.2 Genomförande 33
4.5.3 Erfarenheter 35

5 FÖRETAGSEKONOMISK BETRAKTELSE 36

5.1 Den "norska modellen" 36
5.2 "Norsk modell" i Sverige? 37
5.3 Ekonomisk kalkyl för anläggning i Sverige 37
5.3.1 Anläggning för hushållens brunnsslam och avfall 38
5.3.2 Anläggning i ekonomisk balans? 40

6 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER 42

6.1 Insamlingssystemet vid Tegelviken 42
6.2 Driftsstörningar och erfarenheter 42
6.3 Hygienisering 43
6.4 Luftbehandlingsystemet 44
6.5 Användning av våtkomposten 44
6.6 Driftsekonomi och val av avfallsmaterial 44
6.7 Sammanfattande slutsatser 45

REFERENSER 47

BILAGA 1 48

BILAGA 2 50

BILAGA 3 51

BILAGA 4 52

1 BAKGRUND OCH SYFTE

Tegelvikens skola i Kvicksund stod klar att tas i drift inför höstterminen 1998. Skolan fungerar som en samlingspunkt för alla boende i Kvicksund, en länk mellan norra Kvicksund som ligger i Västerås kommun och södra Kvicksund som tillhör Eskilstuna kommun. Förutom skola så fungerar Tegelviken samtidigt som stadsdelshus eller "bygdens hus" med samlingssal, fritidsgård och café.

Målsättningen för Eskilstuna kommun har varit att Tegelviken skulle byggas utifrån ett ekologiskt synsätt vilket har inneburit val av miljövänliga byggmaterial och inventarier, värme från solceller och egen panncentral, energi från flis och pellets samt självdragsventilation (med undantag för slöjdsalar och kök).

Ett mål har även varit att undervisningen skall präglas av ekologiskt helhetstänkande där barnen praktiskt skall få arbeta med kretsloppsfrågor. Inom skolområdet finns bland annat växthus, komposter och skolträdgård. Avloppssystemet har "kretsloppsanpassats" med rotzonsanläggning för BDT-vattnet och svartvattensystem för toalettavfallet som efter våtkompostering används som gödselmedel på en gård i närheten av skolan.

BDT-vattnet från skolan behandlas i en reningsanläggning bestående av slamavskiljare, rotzon och dammar innan vattnet rinner vidare ut till Väsbyviken som är en del av Mälaren. Svartvattnet behandlas i en våtkomposteringsanläggning belägen på Sörby gård ca 3 km söder om Kvicksund. I våtkomposteringsanläggningen skall även matavfall från skolköket behandlas. På grund av tekniska problem med avfallskvarnen under utvärderingsperioden så har dock inte något matavfall behandlats, med undantag av en kortare period under hösten 1998 då kvarnen var i drift.

Eskilstuna kommun ansökte om statligt investeringsbidrag från Kretsloppsmiljarden. Ansökan avsåg bland annat VA-lösning, ventilationsanläggning och uppvärmningssystem. Bidrag beviljades endast för utformningen av avloppssystemet med rotzonsanläggning och våtkompostering.

Syftet med utvärderingsarbetet har varit att samla driftserfarenheter från ett vattensnålt svartvattensystem där toalett- och köksavfallet hygieniseras genom våtkompostering. Tekniken, som under flera år diskuterats som kretslopps- och hygieniseringslösning, har nu för första gången i Sverige kunnat studeras i fullskaledrift. Som med många andra nya behandlingssystem är det först vid praktisk drift man erhåller välgrundade kunskaper om drifttillförlitlighet, prestanda och eventuella olägenheter.

2 SYSTEMBESKRIVNING

2.1 Begrepp och definitioner

Under utarbetandet av rapporten har ambitionen varit att använda termer som är vedertagna inom VA- och avfallsbranschen. Vi har dock märkt att det inom föreliggande ämnesområde finns vissa mindre vanliga begrepp som brukar användas med varierande innebörd. Därför redovisar vi betydelsen av några begrepp som återkommande används i rapporten, men som där inte förklaras.

Efterlager	Den behållare dit färdigbehandlad våtkompost tappas.
Förlager	Buffertlager för råmaterial som ska beskickas reaktorn, fungerade i detta fall även som blandningsbehållare för de ingående råmaterialen.
Hygienisering	Reduktion av sjukdomsalstrande organismer till en sådan nivå att någon smittrisk inte föreligger vid en given restproduktanvändning.
Reaktor	Våtkomposteringsreaktor, den behållare där processen äger rum.
Svartvatten	Avloppsvatten från klosett.
Termofil	Temperaturområdet 50-65°C.
Våtkompost	Slutprodukten efter våtkompostering, i detta fall ett flytande gödselmedel baserat på flytgödsel och svartvatten. Har i andra sammanhang benämnts ”kompostslam” utifrån genomgången behandling (aerob behandling) och fysikalisk form (slamform).
Våtkompostering	Behandling genom aerob, termofil slamstabilisering.
Våtkomposterings-anläggning	Hela behandlingssystemet med komponenter som reaktor, för- och efterlager, biofilter, driftbyggnad etc.

2.2 Vad är våtkompostering?

Våtkompostering, eller aerob termofil slamstabilisering, är en metod för stabilisering och hygienisering av slamformigt material. Traditionellt har metoden använts för behandling av avloppsslam och flytgödsel, medan den

på senare tid blivit aktuell även för organiskt avfall, svartvatten och brunnsslam. Denna typ av användning har framförallt utvecklats i Norge och Sverige. I Norge har utveckling pågått på Norges Lantbrukshögsskola i Ås sedan 1980-talet och i Sverige har behandling baserat på svartvatten, köksavfall och gödsel utvärderats genom pilotkörningar på Jordbruks-tekniska institutet (Norin, 1995).

De stora fördelarna med våtkomposteringen är att man uppnår hygienisering och stabilisering av materialet samtidigt som man kan återföra i det närmaste all växtnäring till åkermark.

Aeroba förhållanden upprätthålls i processen genom aktiv syretillförsel. Det slamformiga materialet bör ha en TS-halt på mellan 3-10 %. Lägre TS-halt innebär normalt för lågt energiinnehåll och högre gör att syretillförseln blir ineffektiv och energikrävande. Låga TS-halter innebär även konsekvenser som låg växtnäringskoncentration samt en ökad bulkvolym vilket negativt påverkar energiåtgång vid transporter respektive val av storlekar på anläggningskomponenter (lager, reaktor etc.).

Processen karakteriseras av en hög behandlingstemperatur till följd av en kraftig värmeutveckling under den aeroba nedbrytningen. I en välisolerad reaktor kan upp till 60-65°C uppnås om råslammet är tillräckligt energirikt. Detta medför att slammet hygieniseras då patogena (sjukdomsalstrande) organismer i slammet avdödas eller reduceras. Processen gör att någon efterföljande lagring normalt inte erfordras av hygieniseringsskäl. Man måste dock ha en lagringskapacitet eftersom materialet endast bör spridas när växtnäringsämnena kan komma växterna till godo. Processen drivs vanligtvis intermittent, vilket innebär en kontinuerlig behandling där en mindre del av reaktorinnehållet byts mot råslam med jämna tidsmellanrum, till exempel en gång per dygn.

Många typer av material har visat sig kunna behandlas genom våtkompostering. Fast organiskt avfall passar bra för processen om detta är av lättnedbrytbar karaktär. Avfallet måste sönderdelas för att kunna hanteras i ett vått system. Därtill är detta viktigt dels för att materialet skall bli tillgängligt för de aktiva bakterierna, dels för att detta är ett krav ur hygieniseringssynpunkt. Utgående från att behandlingen sker i slamform kan nedanstående avfallsslag behandlas genom våtkompostering. (Observera att det för animaliskt avfall idag råder särskilda restriktioner i enlighet med Jordbruksverkets föreskrift SJVFS 1998:34).

- fast- och flytgödsel
- slam från avloppsreningsverk och trekammarbrunnar
- latrin och svartvatten (toalettavloppsvatten) från snålspolande toaletter (t.ex. septikslam)

- komposterbart köks- och matavfall från hushåll, storkök och restauranger
- livsmedelsavfall från grossister, handel och industri

Växtmaterial från lantbruket (t.ex. halm) skulle i princip kunna användas som ett tillskott i en slamblandning. Växtmaterial kan dock vara problematiska vid behandling i slamform och detta ställer normalt höga krav på de tekniska lösningarna.

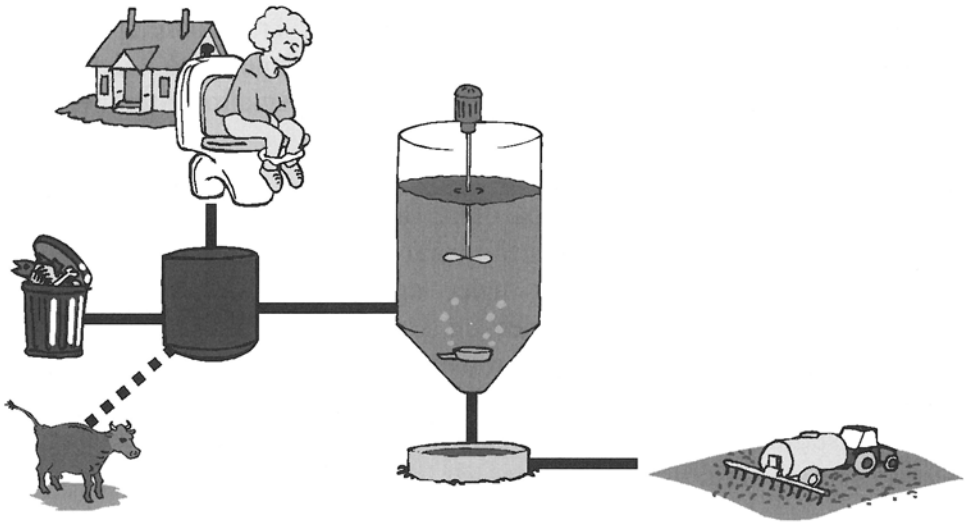
Även om gödsel och växtmaterial inte skulle ingå vid behandlingen är lantbrukarens roll central. Om den anknutna gården är djurhållande finns där normalt utrustning och rutiner för spridning av flytgödsel eller urin, vilket är den utrustning som våtkomposten kräver. I övriga fall måste gården kompletteras med spridningsutrustning vilket kan göras genom inhyrning från till exempel maskinstationer.

Våtkompostering är en energikrävande behandlingsprocess eftersom det åtgår el för att driva luftare och pumpar i behandlingsanläggningen. Storleken på elbehovet beror på hur anläggningen utformas, hur mycket slam som behandlas etc. Värme kan dock utvinnas ur det våtkomposterade materialet. Vid små förluster bör en nettovärmefaktor på åtminstone 2 kunna uppnås (Norin, 1995). Vid våtkompostering av svartvatten och organiskt köksavfall har en biologisk effekt på ca 350 W/m^3 uppmätts under pilotförsök (Norin, 1995).

Man bör notera att våtkomposteringssystemen bygger på kvävehushållning. Detta ställer vissa krav på driften av processen. För att inte riskera att kväve drivs bort som ammoniak måste uppehållstiden anpassas så att effektiv kväveassimilation fortlöper. För lång behandlingstid kan leda till slamnedbrytning och kväveförluster via processluften. Vid termofil drift uppstår inte heller nitrifikation vilket i detta sammanhang har ett värde eftersom kväve då inte förloras genom denitrifikation under efterföljande lagring.

2.2.1 Våtkompostering av svartvatten, köksavfall och flytgödsel

Som ovan diskuterats har svartvatten från en vattentoalett normalt för lågt energiinnehåll i förhållande till volymen. Flera material kan då vara aktuella som tillsatsmedel, men här diskuteras endast flytgödsel och matavfall (se figur 1).



Figur 1. Våtkompostering av enbart svartvatten fungerar normalt inte. Flytgödsel och matavfall är exempel på material som kan ge erforderligt energiinnehåll i blandningen.

Valet av toalettsystem är avgörande för våtkomposteringssystemets utformning. Extremt snålspolande system (<1 liter/spoltillfälle) gör att en blandning av svartvatten och köksavfall från ett hushåll kan ge en fungerande våtkomposteringsprocess. Större spolvattenmängder gör att ytterligare tillsatsmedel erfordras. Detta leder fram till två alternativa systemutformningar.

1. Bostadsbaserad våtkompostering av svartvatten från extremt snålspolande system tillsammans med enbart köksavfall (eventuellt tillsammans med annat organiskt avfall).

2. Gårdsbaserad våtkompostering av svartvatten tillsammans med köksavfall. Gödsel blandas in efter behov (beroende av råslammets vattenhalt samt lantbrukarens intresse av gödselbehandling).

I ett bostadsbaserat system skulle våtkomposteringen kunna ske i anslutning till det område vars köksavfall och svartvatten ska behandlas. Lagring av kompostresten kan ske antingen i anslutning till behandlingsanläggningen eller vid odlingsmarken. Om lagringen sker i anslutning till behandling behöver inte fler transporter ske än transporten ut till odlingsmarken i samband med spridningen.

Ett gårdsbaserat system ger en naturlig koppling till lantbruket och ger lantbrukaren möjlighet till sambehandling med gödsel. Fördelarna för lantbrukaren att ta med gödseln är att gödseln blir mer lätthanterlig och får reducerad lukt.

Det finns idag flera olika toalettsystem som ger avsevärt mindre spolvatten än dagens konventionella vattenklosetter. Exempel på detta är vakuumsystem, urinsorterande system samt vissa specialtoaletter avsedda för slutna tankar.

Insamling av köksavfall kan ske på olika sätt. I Norge pågår försök med våtlagring av matavfallet i slutna tankar i anslutning till hushållet. Materialet, som ensileras spontant under lagringen, får ett lågt pH-värde vilket gör att det kan lagras under en längre tid, till exempel ett år. Konserveringen medför även att problemen med lukt reduceras under lagringen. Alternativet är att samla upp materialet på konventionellt sätt och sedan transportera det mer regelbundet till behandlingsanläggningen. Materialet måste alltid malas innan det går in i behandlingsanläggningen.

2.2.2 Löpande driftkontroll för tillfredsställande hygienisering

Den största fördelen med processen är att en hygienisering av materialet erhålls. I det förslag till certifieringssystem för rötrest och kompost från organiskt avfall som är framtaget av Renhållningsverksföreningen (RVF) har man tagit fram ett antal förutsättningar som ska uppfyllas vid hygienisering genom våtkompostering (Naturvårdsverket, 2000). Dessa är:

- Inkommande avfallsmaterial ska finfördelas,
- Temperatur: Minst 55°C under minst 10 timmar,
- Hydraulisk uppehållstid: Minst 7 dygn,
- I reaktorn ska råda totalomblandade förhållanden och jämn temperaturfördelning, i annat fall ställs högre krav på temperatur och tid än vad som angivits ovan,
- God syretillgång ska tillgodoses genom effektiv luftning,

Vid den löpande driftkontrollen ska temperaturen, tid mellan beskickningar, pH-värde i reaktorn, hydraulisk uppehållstid samt driftstörningar följas upp. Ur hygieniseringssynpunkt är det viktigt att man tillser att inte kortslutningsvägar förekommer.

Om driften av en våtkomposteringsanläggning uppfyller kraven i enlighet med RVF:s certifieringssystem anses våtkomposten vara av sådan kvalitet att användningen kan följa Jordbruksverkets rekommendationer för vanlig flytgödsel. Detta innebär att våtkomposten i princip kan läggas på de flesta arealer och grödor. En viktig restriktion gäller dock spridning på betesmark eller vall för mjölkkor. I flytgödsel finns så kallade klostridier som hamnar i mjölken om korna äter smittat foder. Klostridier i mjölken kan orsaka problem (feljäsning) vid osttillverkning. Klostridiesporer är förhållandevis temperaturtåliga och överlever normalt en våtkomposteringsbehandling inom det termofila temperaturområdet (kring 55°C).

2.3 Övergripande beskrivning av behandlingssystemet

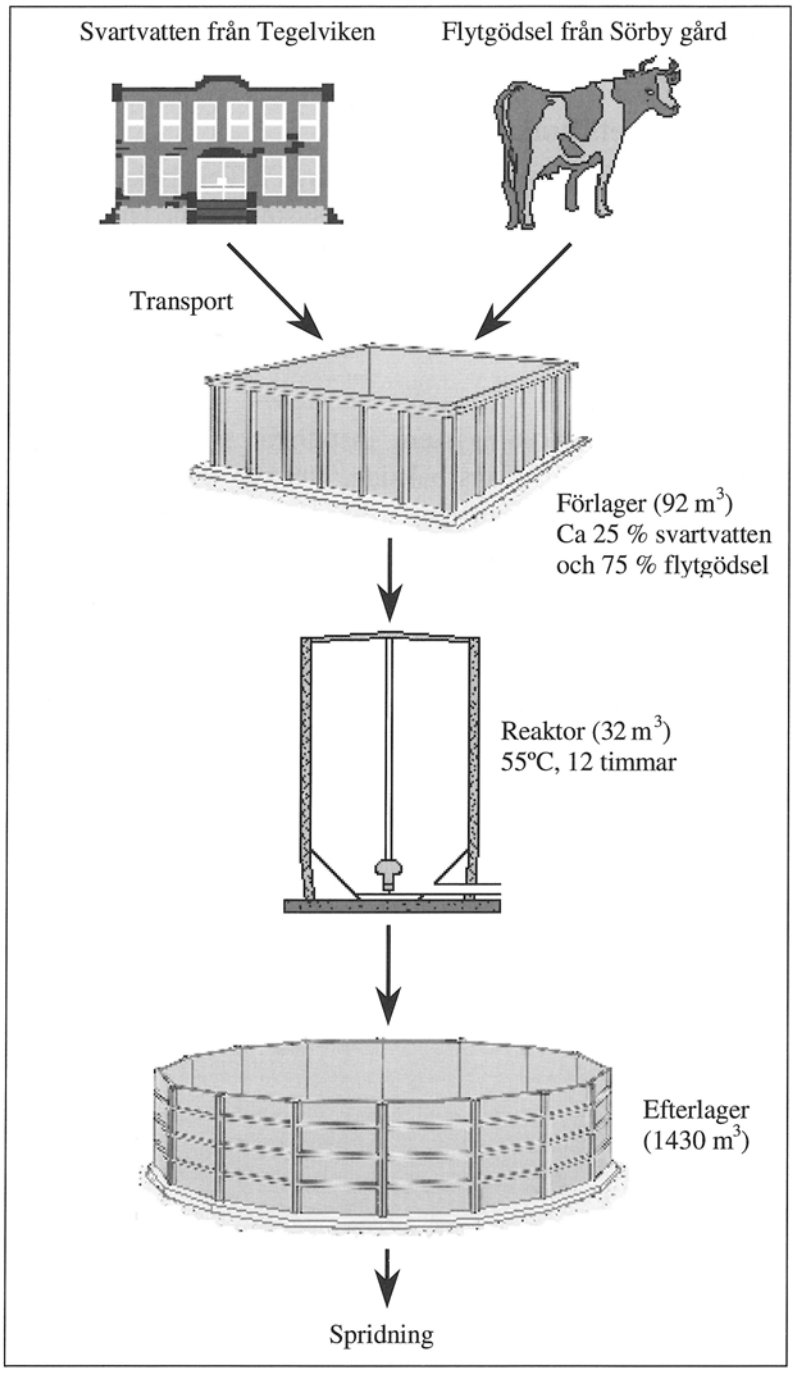
2.3.1 Svartvattensystemets funktion

Svartvattensystemet i Tegelviken består av två delar. På Tegelvikens skola samlas svartvatten upp i ett separat toalettsystem, medan själva behandlingen och efterhanteringen sker på lantbruket Sörby gård, ca 3 km från skolan. På gården sköts våtkomposteringsanläggningen och utnyttjandet av våtkomposten av Tomas och Magnus Eriksson, ägare till Sörby gård.

På Tegelvikens skola är ett vakuumsystem installerat som samlar upp svartvattnet i en tank belägen på skolans baksida. Ungefär var tredje vecka töms tanken av lantbrukarna Eriksson som transporterar svartvattnet till våtkomposteringsanläggningen på Sörby gård. Transporten sker med traktor och tankvagn (13 m^3).

Till uppsamlingstanken skall i framtiden även matavfallet från skolköket ledas, efter nedmalning i en avfallskvarn. Matavfallet som uppstår efter elevernas måltider komposteras däremot i torrkomposter inom skolområdet.

På Sörby töms svartvattnet direkt i en betongbehållare, förlagret, där det blandas med flytgödsel från gården. Råmaterialet pumpas sedan in i reaktorn och processas innan det töms i en täckt gödselbrunn för lagring. Efter lagring sprids det komposterade materialet på Sörby gårds arealer. Illustration i figur 2.



Figur 2. Flödesschema.

2.3.2 Anläggningens kostnader

Den totala investeringskostnaden för Tegelvikens avloppshantering uppgår till ca 2,9 miljoner kronor (exkl. vakuumsystemet, kostnad ca 700 000 kr). Ca 1 miljon kronor utgörs av BDT-vatten anläggningen på Tegelviken medan våtkomposteringsanläggningen på Sörby gård således har kostat ca 1,9 miljoner kronor fördelat enligt:

Våtkomposteringsreaktor	1 000 000
För- och efterlager inkl. taktäckning	460 000
Schaktarbete mm	250 000
Pumpar, elarbete, övrigt	190 000

Som nämnts i inledningen har Eskilstuna kommun erhållit ett statligt investeringsbidrag från Kretsloppsmiljarden. Bidraget var på 859 800 kr.

Driftkostnaderna består av tre delar:

- Energikostnader
- Reservdelar/slitdelar
- Ersättning till lantbrukarna för drift och skötsel

Energiförbrukningen för den aktuella anläggningen har av leverantören uppgetts till ca 35 kWh/m^3 i normalfallet. I projektet har elförbrukningen för anläggningen följts upp särskilt (se resultatdelen) och under första årets drift har energikostnaden uppgått till ca 29 000 kr. Dock skall påpekas att anläggningen då stått stilla vid ett par tillfällen. Om anläggningen går året runt utan längre avbrott bör energikostnaden bli i storleksordningen 33 000 kr.

Reservdelar och övrigt material förväntas kosta ca 10 000 kr per år.

Totala driftskostnaden per år för våtkomposteringsanläggningen blir därmed ca 43 000 kr + ersättningen till lantbrukarna enligt det avtal som Eskilstuna Energi & Miljö har tecknat med Sörby gård (se 2.2.3).

I kapitel 5 (”Företagsekonomisk betraktelse”) diskuteras frågan om anläggningsekonomi mer utförligt. Där behandlas bland annat frågan om inkomstmöjligheter i samband med behandling av exempelvis trekammar-brunnsslam.

2.3.3 Avtal om anläggningsskötsel mm

Det faktum att våtkomposteringsanläggningen ägs av Eskilstuna kommun, men handhas av lantbrukarna på Sörby gård innebär att frågan om drift- och skötselansvar måste regleras. En vanlig modell för liknande anläggningar i Norge är annars att anläggningen både ägs och drivs av lantbruket.

I det aktuella fallet har detta lösts genom att Eskilstuna Energi & Miljö tecknat ett tioårigt avtal med lantbrukarna Eriksson på Sörby gård. Erikssons sköter driften av hela anläggningen och ersättning utgår för den mängd svartvatten som hämtas från Tegelviken, behandlas och sprids på

lantbruksmark. Dessutom utgår ersättning för tillsyn och skötsel av anläggningen, uppskattat till ca 4 timmar per vecka.

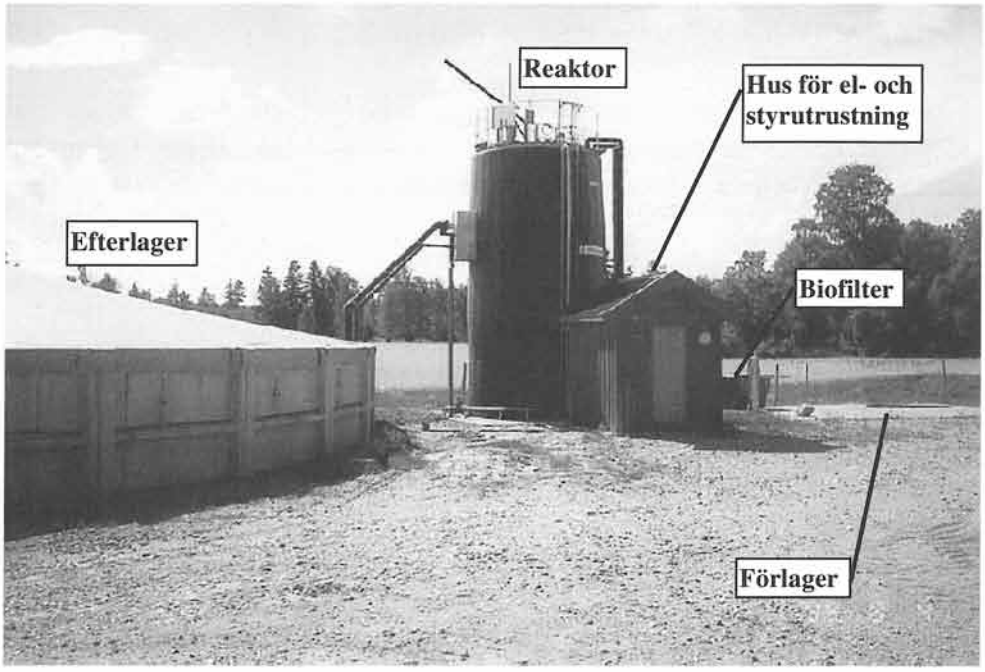
Utöver ovanstående har anläggningen sedan slutbesiktning och idrifttagande stått under en normal tvåårig leverantörsgaranti. Vidare har länsstyrelsen i Södermanlands län givit tillstånd för anläggande och drift av anläggningen (1998-06-24). I villkorspunkterna behandlas bland annat förbehandling (silning av inkommande svartvatten), hygienisering (12 h/55°C) och regenerering av luftfiltret (byte av torv).

2.4 Teknisk anläggningsbeskrivning

Uppsamlingssystemet på Tegelviken består, som nämnts tidigare, av ett vakuumsystem (levererat av EVAC). 43 st. toaletter är anslutna till systemet. Ledningssystemet är förlagt i kulvertar under byggnaden och rören består av svetsade PEH-rör (Ø50 - Ø75). Vakuumenheten drivs av två stycken ejektorpumpar på 4,0 kW vardera (8,9 A).

Från vakuumenheten rinner sedan svartvattnet med självfall till uppsamlingstanken, placerad ca 10 meter från vakuumenheten. Tanken, som har formen av en liggande cylinder, är tillverkad av armerad plast och rymmer 10 m^3.

Våtkomposteringsanläggningen på Sörby gård är uppdelad i tre delar; förlager, reaktor och efterlager (figur 3). Reaktorn och dess komponenter har levererats av Alfa Laval Sverige AB.



Figur 3. Våtkomposteringsanläggningen på Sörby gård.

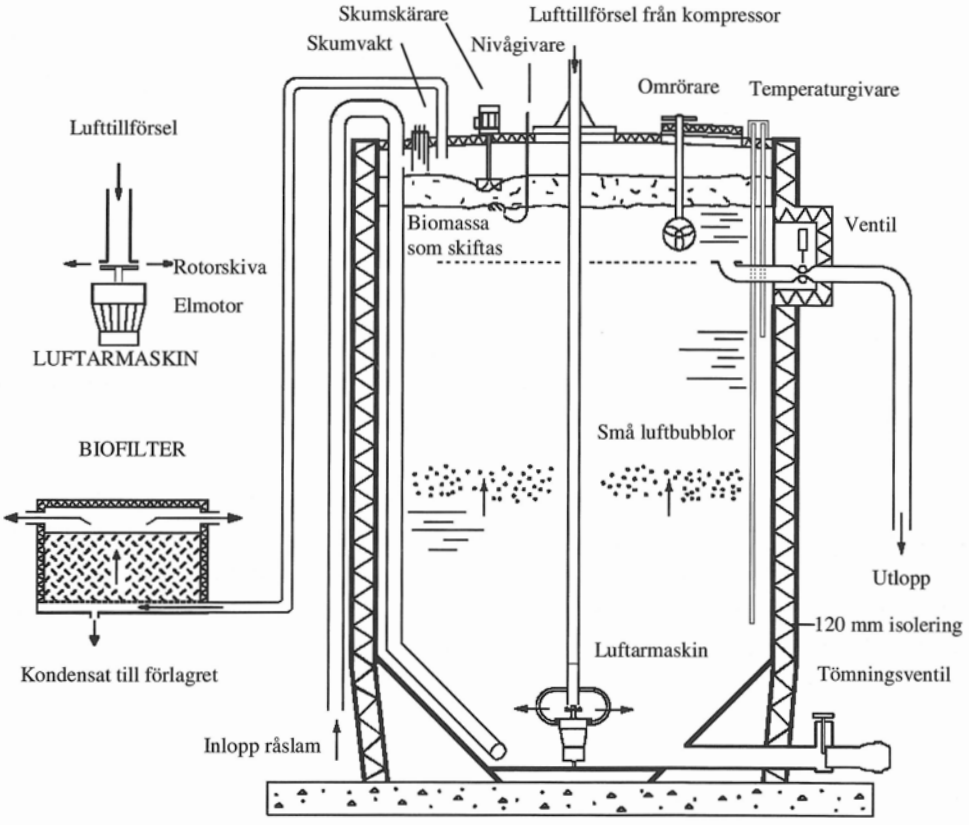
2.4.1 Förlager

Förlagret är utfört av betongelement och nedgrävt helt under mark. Volymen på lagerbehållaren är 92 m^3 med höjden 2,5 m. Till lagret pumpas gårdens flytgödsel från en gödselbrunn belägen ca 35 m från förlagret. I lagret sitter en pump (Flygt FJ 3152, 13,5 kW) som har två funktioner; dels fungerar pumpen som omrörare i tanken, dels pumpar den upp det omrörda råmaterialet till reaktorn för behandling. Växling av pumpfunktion sker genom att pumpen vrids 90° i sitt stativ.

Svartvattnet från Tegelviken töms genom en lucka på förlagrets översida. I luckan sitter en gallerkorg av rostfritt stål med spaltvidd 12 mm för att förhindra att ovidkommande material hamnar i reaktorn. Det uppsamlade renset deponeras sedan på tipp.

2.4.2 Reaktor

Andra delen i anläggningen är själva reaktorn (figur 4) som är placerad på en betongplatta i direkt anslutning till förlagret. Reaktorn har en volym på 32 m^3 och är tillverkad av glasfiberarmerad plast. Väggarna och locket är isolerade med etafoam (120 mm respektive 60 mm).



Figur 4. Genomskärning av våtkomposteringsreaktorn.

Tilloppsröret för råslammet är ett 110 mm PP-rör som går in genom reaktorlocket och mynnar vid reaktorns botten.

Utloppsröret (150 mm i rostfritt material) sitter på en nivå så att 4,5 m^3 färdigkomposterat material töms ut med självfall när en driftcykel är klar. På utloppsröret sitter en avtappningsventil med ett elektriskt ställdon. Ventilen är inbyggd i en isolerad låda för att förhindra frysning. I botten av reaktorn sitter också ett rör med en tömningsventil som ger möjlighet att tömma hela reaktorn vid behov.

Inuti reaktorn finns två stycken syrafasta 12 mm rör monterade. De slutar på 1 m respektive 4 m från reaktorns botten. I dessa sitter temperaturgivare monterade som är kopplade till styrsystemet.

I botten av reaktorn sitter en luftare (Flygt W 3102, 3.1 kW) som ser till att rätt luftmängd fördelas i massan. Genom att rotorskivan roterar skapas ett undertryck så att luft sugs ner till rotorskivan och blandas med massan. Därefter stiger luftbubblorna mot ytan och skapar omrörning av massan. För att garantera tillräcklig syreförsörjning har luftaren kompletterats med en kompressor. Denna trycker kontinuerligt in 22 m^3 luft per timme.

För att hålla skumnivån under kontroll sitter två stycken skumskärare monterade i toppen av reaktorn. Skumskärarna drivs av en elmotor på 1,2 kW. Tre skumvakter (elektrodmätare) övervakar skumnivån.

För att blanda in det eventuella flytslam som bildas finns en propeller-omrörare (Flygt W4352) monterad ca 30 cm under reaktorinnehållets överyta. Omröraren är monterad i 30° vinkel i förhållande till horisontal-planet.

2.4.3 Luftbehandling

Luft från reaktorn leds ut genom ett luftrör som ansluter till ett biofilter placerat på förlagret. Den vattenånga som kondenserar i röret avleds till förlagret via ett T-rör som är placerat före filtret.

Biofiltret består av en isolerad behållare fylld med ca 1,1 m^3 låghumifierad naturtorv. Det aktuella biofiltret är konstruerat så att luften tillförs underifrån. I torven ska pågå biologisk aktivitet som bidrar till att bryta ner bland annat luktande substanser. Vidare har torven ett lågt pH-värde vilket leder till att ammoniak kan bindas som ammoniumkväve. Torven i biofiltret ska hållas fuktig för god funktion och ska normalt bytas ut en gång om året.

Omhändertagandet av kondensatet (ammoniumbemängt) och behandlingen i biofiltret ska leda till att ammoniakförluster från anläggningen uteblir. Genom att utnyttja utbytt torv i växtsystem (t.ex. utblandad i våtkomposten vid spridning) möjliggörs återvinning av infångat kväve.

2.4.4 Efterlager

Det färdigkomposterade materialet töms i efterlagret, som är placerad i direkt anslutning till reaktorn. Efterlagret är en cirkulär gödselbrunn i betong med volymen 1 430 m^3 och djupet 4 meter. Brunnen är till hälften nedgrävd under markytan. Tömning av det komposterade materialet sker via ett rör som mynnar intill botten av efterlagret. Utformningen är vanlig i gödselsammanhang och syftar till att minska bland annat ammoniak- och luktspridning vid tillförsel.

Efterlagret är täckt med ett spänntak tillverkat av 0,9 mm panamavävd pvc-duk som är dubbelt UV-säkrad. Duken är monterad på en betongpelare placerad mitt i lagret. På dukens undersida finns svetsade kanaler där 4,5 cm breda spännband löper. Spännbanden är sedan förankrade på lager-behållarens utsida.

I duken finns två luckor, en mindre för inspektion och provtagning och en större för omrörning och tömning av efterlagret.

2.4.5 Styrning och övervakning

I anslutning till reaktorn finns ett hus innehållande el- och styrutrustning. En dator styr processen och registrerar kontinuerligt temperaturer från två olika nivåer i reaktorn. De mängder biomassa som går in och ut genom anläggningen loggas i automatiken. Även alla eventuella larm och fel som uppkommer under processen registreras. Datorn töms sedan med hjälp av en bärbar pc och loggfilerna kan läsas in i ett kalkylprogram för vidare databehandling.

Till datorn finns även en operatörspanel där alla larm kan avläsas och aktuell temperatur, tid kvar till tömning etc. syns. Från operatörspanelen kan man enkelt ändra processparametrar som temperaturgränser, gångtider och beskickningsmängd. Sedan driftsstarten har beskickningsmängden varit 4,5 m^3.

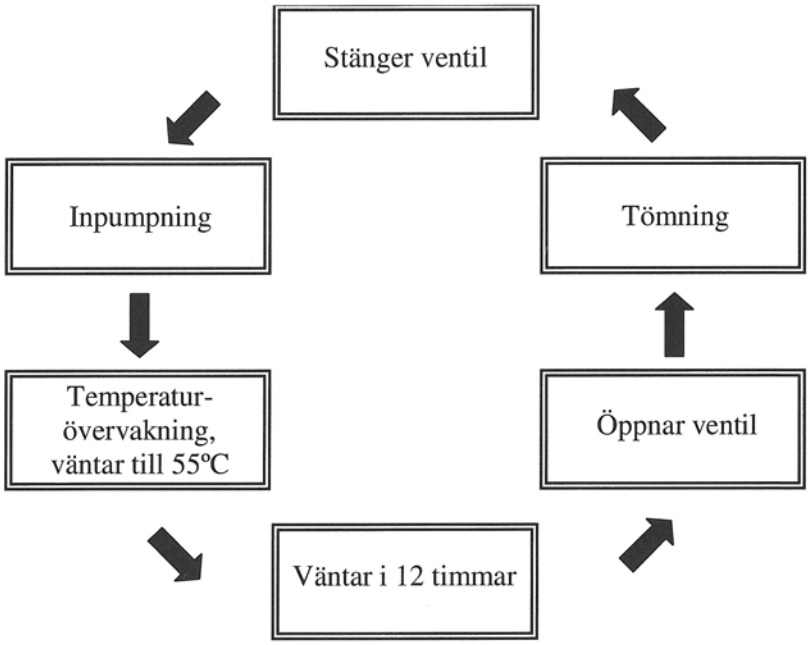
I huset finns även kompressorn för lufttillförseln till reaktorn samt ett kylskåp för förvaring av prover. Utvändigt är huset försett med en lampa som tänds vid larm.

2.4.6 Processen på Sörby gård

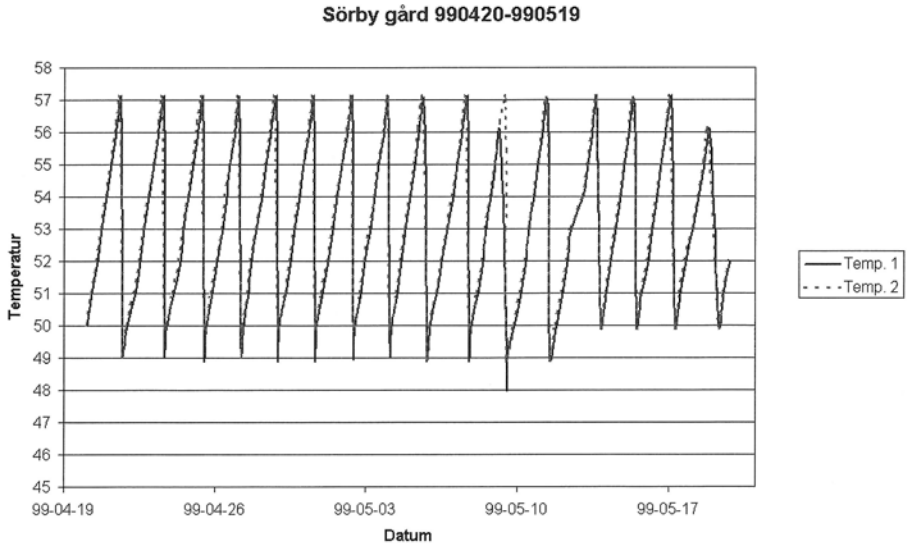
Lantbrukarna på Sörby gård hämtar svartvatten från Tegelviken ungefär var 3:e vecka och transporterar det till våtkomposteringsanläggningen på Sörby gård.

I förlagret töms svartvattnet och blandas med befintligt flytgödsel som pumpas till detta via en egen ledning och därefter pumpas det blandade råslammet in i reaktorn. Processen på Sörby drivs intermittent med

beskickning av 4,5 m^3 råslam åt gången. När temperaturen har nått 55°C och fortgått under 12 timmar med lägsta temperaturen 55°C töms de översta 4,5 m^3 ut och 4,5 m^3 nytt råslam pumpas in. Vid inpumpning sjunker temperaturen för att sedan stiga igen allteftersom processen fortgår (figur 5 och 6). Som tidigare berörts är tid/temperaturkravet 12 h/55°C ett villkor i miljötillståndet från Länsstyrelsen i Södermanlands län. För att uppfylla kraven enligt RVF:s kvalitetssäkringssystem krävs en kontrollerad drift i minst 10 h vid minst 55°C.



Figur 5. Processbeskrivning.



Figur 6. Exempel på temperaturregistrering från Sörby gård.

Behandlingen av 4,5 m^3 slam skall klaras på ca 24 timmar om processen fungerar felfritt och om råslammets sammansättning uppfyller leverantörens krav på TS- och VS-halt (VS, Volatile Solids = glödförlust). TS-halten bör ligga på mellan 4 och 8 % medan VS-halten bör vara minst 80 % av TS. Är detta uppfyllt skall det alltså ta ca 1 vecka att omsätta allt material i reaktorn (hydraulisk uppehållstid: 7 dygn). Under utvärderingsperioden har driftsstörningar förekommit och processen har under en del perioder stått helt stilla. Därför har en genomsnittlig hydraulisk uppehållstid på 7 dygn inte varit möjlig. Se vidare kapitel 4.4.2 för tid och temperaturförhållanden.

2.5 Utnyttjande av restprodukt

2.5.1 Allmänna aspekter kring spridning och lagring

Vid lagring av organiska gödselmedel kan kväveförluster ske i form av ammoniakavgång. Att begränsa denna avgång är, förutom att man vill återföra så mycket kväve till åkermark som möjligt, viktigt ur miljöhänseende eftersom ammoniak bidrar till såväl försurning som övergödning. Det vanligaste sättet att minska ammoniakavgång från flytande (pumpbara) gödselmedel är att förse lagret med någon form av täckning (Karlsson et al., 1997).

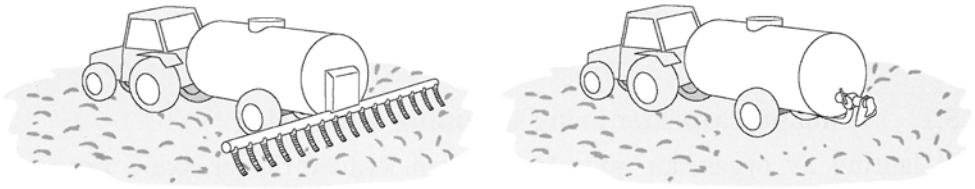
Vid spridning av organiska gödselmedel kan kväve förloras dels som ammoniak i samband med spridning, dels via förlustvägar som nitratutlakning, ytavrinning och denitrifikation. För att minska dessa förluster och därigenom minska miljöpåverkan krävs att man noga väljer tidpunkt, gröda och spridningsteknik.

Med hänsyn till dessa faktorer är den bästa tidpunkten för spridning en period då grödan växer samtidigt som marktemperaturen inte är för hög. Dessa förhållanden inträffar nästan enbart under våren, men även hösten kan erbjuda någorlunda bra spridningsförhållanden. Väderleken påverkar också förlusterna. Mulet väder och lugna vindförhållanden begränsar ammoniakemissionerna (Malgeryd, 1996).

När det gäller ammoniakemissioner i samband med spridning har spridningstekniken respektive typ av gröda en stor betydelse vid sidan av årsmån och väderlek. Grundregeln är att man bör tillse att materialet kommer i kontakt med jordpartiklarna så fort som möjligt eftersom dessa binder ammoniaken. Vid spridning på markytan är således nedplöjning och harvning det mest effektiva sättet att minska ammoniakemissionerna (Karlsson et al., 1997). Vid mätningar av ammoniakavgång vid spridning av rötrest framkom att hälften av de ammoniakemissioner som uppmättes inom 20 timmar efter spridningstillfället, inträffade inom de fyra första timmarna (Berg, pers., medd.).

Spridning kan ske genom bandspridning med släpslangsramp eller bredspridning med spridarplatta eller pendelspridare (se figur 7).

Bandspridning med släpslangramp ger normalt lägre förluster än bredspridning (Karlsson et al., 1997). Alternativ till dessa metoder är nedmyllnings- eller injektionsaggregat. Dessa karakteriseras av att materialet sprids under markytan, vilket leder till de bästa resultaten med avseende på ammoniakavgång. Myllningsaggregaten är inte vanliga i Sverige och har allmänt nackdelen att de kräver en relativt stenfri och lättarbetad jord.



Figur 7. Bandspridning med släpslangramp (till vänster) ger normalt låga förluster av kväve. Bredspridning med spridarplatta (till höger) är en metod som normalt ger större förluster av kväve.

2.5.2 Spridning av restprodukten på Sörby gård

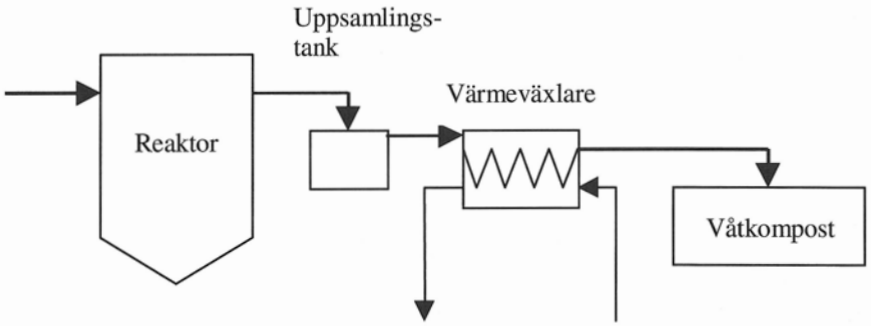
På Sörby gård sprider lantbrukarna sin flytgödsel med tekniken bredspridning med spridarplatta. Spridaren ägs tillsammans med andra lantbrukare. Detta ägandeförhållande gör att byte till annan spridare för tillfället inte är aktuell, trots ett visst intresse hos lantbrukarna på Sörby gård.

2.6 Möjligheter till värmeutvinning på Sörby gård

För tillfället utvinns ingen värme från det varma komposterade materialet på Sörby gård. Gården värms med flis och någon komplettering eller ändring är inte planerad. Med nuvarande materialflöde skulle 50-60 kWh värme per m^3 slam kunna utvinnas ifrån våtkomposteringsprocessen på Sörby gård.

Det mest aktuella skulle vara att utvinna detta ifrån det komposterade materialet som lämnar reaktorn (se figur 8). Vid värmeåtervinning med en värmeväxlare kan cirkulationsvattnet uppnå temperaturer på 35-50 °C (Skjelhaugen et al., 1988), beroende bland annat på värmeåtervinningssystemets utformning. Denna erhållna temperatur räcker inte för att nå upp till de nivåer som normalt används till radiatorer i bostadshus, men kan kompenseras genom större alternativt fler radiatorer sätts in. Den temperaturnivå som kan uppnås passar normalt bättre till golvvärmesystem. Ett exempel på användning är golvuppvärmning i en verkstadslokal som ligger på ägorna. Denna lokal är isolerad, men inte uppvärmd förutom av en byggfläkt i samband med användning av lokalen. Lokalen är placerad på en betongplatta, som stundtals strålar mycket kyla. Enligt Tomas Eriksson

skulle det varit "mycket intressant" att lägga in golvvärme om lokalen hade uppförts nu. Att lägga in golvvärme är på grund av kostnadsskäl sannolikt inte aktuellt för tillfället.



Figur 8. Värme kan utvinnas från det komposterade materialet som lämnar reaktorn. Materialet bör samlas upp i en liten tank innan det värmeväxlas mot cirkulationsvatten. Värmepump kan ersätta värmeväxlaren.

Med hjälp av en värmepump skulle högre temperaturnivåer kunna uppnås så att värmen kan utnyttjas i normala radiatorer. Temperaturen är relativt hög på det komposterade materialet och detta medför att temperaturhöjningen blir relativt låg vid en värmepumpinstallation. Detta gör att det finns goda förutsättningar för att erhålla en högre värmefaktor för detta system än de mer traditionella värmepumpapplikationerna då värme hämtas från luft, mark eller berg.

3 UTVÄRDERINGSMETODIK

I utvärderingsarbetet har huvudmålet varit att belysa systemets funktion på bred front. När det gäller provtagnings- och analysverksamheten har ambitionen i första hand varit att insamla ett underlag för en översiktlig bedömning av processen. Vi vill därför betona att det krävs ett mer djupgående försöksprogram för att kunna analysera processprestandan utförligare än vad som görs i denna rapport.

Analyser på våtkompostmaterialet från reaktorn har genomgående skett på prover tagna efter 10 timmars drift vid 55°C. Detta har gjorts för att generalisera driftdata eftersom dessa förhållanden gäller som kortaste behandlingstid enligt föreslaget kvalitetssäkringssystem (Naturvårdsverket, 2000).

3.1 Praktiska studier

Med de praktiska studierna har vi avsett att samla erfarenheter från drift och handhavande under olika delmoment i behandlingssystemet. Eftersom projektgruppen endast kunnat medverka vid driften i begränsad omfattning har driftpersonalens egna iakttagelser fått lägga grunden för detta.

För att systematisera insamlingen av erfarenheter sammanställdes dels ett driftsprotokoll för Tegelviken där fastighetsskötaren främst bokfört aspekter kring driften av vakuumsystemet, dels ett protokoll för Sörby gård avseende behandlingsanläggningen. Till det senare iordninggjordes även en observationslista med särskilt viktiga punkter kring anläggningens drift.

Spridningen av våtkompost dokumenterades av JTI under en särskild fältstudie.

3.2 Enkätundersökning

Under vintern 1998/99 genomfördes en enkätundersökning på Tegelviken bland personal och elever. Syftet med enkäten var att ta reda på hur personalen och eleverna upplevde vakuumsystemet på skolan, om de visste varför man valt att installera ett vakuumsystem mm.

Två typer av enkäter fanns, en var riktad till kökspersonalen med frågor om kompostkvarnen och dess funktion (kvarnen var i drift en kort period under hösten 1998), och en var riktad till den övriga personalen samt till eleverna. Endast elever från årskurs 4 och upp till årskurs 9 fick möjlighet att svara på enkäten

De frågor som ställdes till kökspersonalen var följande:

- *Hur anser ni att kompostkvarnen har varit att använda?*
- *Har det varit några problem med kvarnen?*
- *Har problemen varit av typ funktionsfel?*
- *Har problemen bestått i att matavfall har fastnat?*
- *Har kvarnen uppfyllt er förväntning?*
- *Har systemet inneburit merarbete för er?*

De frågor som den övriga personalen samt eleverna ombads svara på var följande:

- *Hur tycker du att vakuumsystemet fungerar?*
- *Händer det att du spolar mer än en gång vid ett toalettbesök?*
- *Hur många gånger per dag utnyttjar du vakuumtoaletterna?*
- *Tycker du att vakuumtoaletterna skapar störande buller?*
- *Upplever ni att det är mer driftsproblem än en vanlig toalett?*
- *Har du någon uppfattning om varför det är vakuumsystem på skolan?*

Utfallet av undersökningen redovisas i resultatkapitlet och i bilaga 1.

3.3 Mätning och registrering

Mätning och registrering av beskickningsmängd respektive tid och temperatur sköts helt av våtkomposteringens övervakningsprogram (se 2.4.5 Styrning och övervakning). Loggfilen från processen har tankats över till en bärbar dator och behandlats i Microsoft Excel.

Våtkomposteringens dator lagrar värden för tre månader och sedan skriver datorn över värdena med början på det äldsta värdet. Det betyder att skall man inte missa några data så måste man tömma loggfilerna senast var tredje månad. Under utvärderingsperioden har loggfilerna hämtats ungefär en gång i månaden.

Antalet transporter av svartvatten från Tegelviken har registrerats skriftligt av Tomas och Magnus Eriksson samt av vaktmästarpersonalen på Tegelviken.

Energiförbrukningen av dels våtkomposteringsanläggningen och dels vakuumsystemet har registrerats genom avläsning av mätarna på respektive plats. Våtkomposteringens energiförbrukning omfattar dels reaktorn med

tillhörande utrustning (omrörare, skumskärare etc.), dels pumpen i förlagret samt pumpen i den befintliga gödselbrunnen som pumpar flytgödsel till förlagret. Dessutom ingår även förbrukningen (dock i princip försumbar) för elradiatorn i elhuset samt en dräneringspump som övervakar grundvattennivån runt de två nergrävda betongbehållarna (förlager och efterlager).

Ammoniakmätning av processluften har skett vid tre tillfällen. Mätningen har skett i tre olika punkter:

1. Headspace (vid utloppet från rektorn)

2. Innan biofiltret

3. Efter biofiltret

Mätningarna har skett med en Drägermätare (Dräger 21/31).

3.4 Kemiska och fysikaliska parametrar

Provtagning har skett löpande under utvärderingsperioden. Analyserna har utförts av Eskilstuna Energi & Miljö:s ackrediterade laboratorium förutom kvicksilveranalyserna som har utförts av KM-laboratoriet i Linköping.

Provtagning har skett på flytgödsel, svartvatten, råslam (flytgödsel + svartvatten), våtkompost (ur reaktorn under process) samt på våtkompost i efterlagret. I tabell 1 redovisas vilka parametrar som har analyserats på respektive prov.

Tabell 1. Analysparametrar.

Parameter	Gödsel	Svart-vatten	Rå-material	Våtkompost (10 tim)	Våtkompost (efterlager)	Metod
TS	x	x	x	x	x	SS 028113-1
Glödrest	x	x	x	x	x	SS 028113-1
Glödförlust	x	x	x	x	x	SS 028113-1
pH		x	x	x	x	SS 028122-2
N-tot		x	x	x	x	FIAASN 110-01/92
NH_4-N		x	x	x	x	FIAASN 50-01/92
P-tot		x	x	x	x	SS 028127-2
K		x	x	x	x	SS 028160-2
Pb		x			x	SS 028184-1
Cd		x			x	SS 028184-1
Cu		x			x	SS 028152-2
Cr		x			x	SS028184-1 (tidigare standard)
Ni		x			x	SS 028184-1
Zn		x			x	SS 028152-2
Hg		x			x	SS 028175-2mod

Svartvattenproverna är tagna ur tankvagnen efter att uppsamlingstanken på Tegelviken har tömts. Övriga prover är tagna ur respektive lager (figur 9) efter att omrörning har skett.

Figur 9. Tomas Eriksson tar prov på råslammet ur förlagret.

3.5 Mikrobiologiska undersökningar

Då hygienisering är ett viktigt moment i själva våtkomposteringen var utgångspunkten att försöka värdera denna genom mikrobiologisk analys. Eftersom det inte fanns resurser för att testa flera olika mikroorganismer valdes fekala streptokocker (FS) som testorganism. De egenskaper som gör FS lämplig i detta fall är att den är en bra indikator på värmepåverkan inom det termofila temperaturområdet, att den finns naturligt i råmaterialet (både i flytgödsel och svartvatten) och att den kan analyseras (odlas) med etablerad metod. En annan aspekt är att FS, tillsammans med Salmonella och *enterobacteriaceae*, valts ut som testorganism vid hygieniserings-kontrollerna inom RVF:s certifieringssystem (Naturvårdsverket, 2000).

Den mikrobiologiska undersökningen har utförts på råslammet, på våtkomposten taget ur reaktorn efter 10 timmar samt på våtkomposten i efterlagret. Analyserna har utförts på Eskilstuna Energi & Miljö:s laboratorium. Analysmetod SS 028179-1.

4 RESULTAT

4.1 Erfarenheter vid Tegelviken

4.1.1 Vakuumsystemet

Vakuumsystemet har i stort sett fungerat felfritt, dock har det under utvärderingsperioden förekommit stopp i vakuumledningarna ett tiotal gånger. Stoppen har orsakats av bland annat klädesplagg som har spolats ner i systemet. Dessutom har det vid två tillfällen blivit stopp i ledningen mellan vakuumenheten och svartvattentanken vilket har resulterat i att skum har tryckts upp genom avluftningsledningen och upp på taket. Problem med larmfunktionerna har konstaterats i samband med dessa stopp. Larmsystemet har dock setts över under 1999. Inga luktproblem har observerats.

De två vakuumejektorerna har i genomsnitt gått 2,3 timmar per dag vilket betyder en förbrukning på 8,6 kWh per dygn. På ett år ger detta en förbrukning på drygt 3 000 kWh vilket innebär ca 70 kWh per vakuumklosett och år.

4.1.2 Uppsamlingstanken för svartvatten

Vid tömning sänker lantbrukarna ner en ledning i tanken och suger upp avloppsvattnet (figur 10). Problemet med tömning på det här viset är att pumpen som sitter monterad på tankvagnen inte orkar suga upp bottenslammet och att man i princip bara får upp vätskefasen. Detta syns på provtagningsresultaten i kapitel 4.2 där TS-halten är lägre än förväntat.

Figur 10. Magnus Eriksson tömmer svartvattentanken vid Tegelviken.

Tömning av uppsamlingstanken har skett ca var tredje vecka och då har materialet hunnit sedimentera, vilket har resulterat i att ett tjockt botten-sediment har byggts upp i tanken.

Några större luktproblem har inte förekommit vid tömning, däremot har det förekommit en del spill vid själva tömningsförfarandet vilket har upplevts som störande.

4.1.3 Enkätundersökningen

Åtta svar inkom från kökspersonalen och sammanfattningsvis kan sägas att de inte är nöjda med kvarnen som sitter i köket på grund av problem med att matavfall har fastnat. Alla är också överens om att kvarnen har inneburit merarbete i köket. Den ursprungliga kvarnen är idag bortmonterad och en ny typ kommer att installeras under vintern 1999/2000.

Från enkäten inriktad på vakuumsystemets funktion inkom 236 svar fördelat på 47 från personalen och 189 från eleverna.

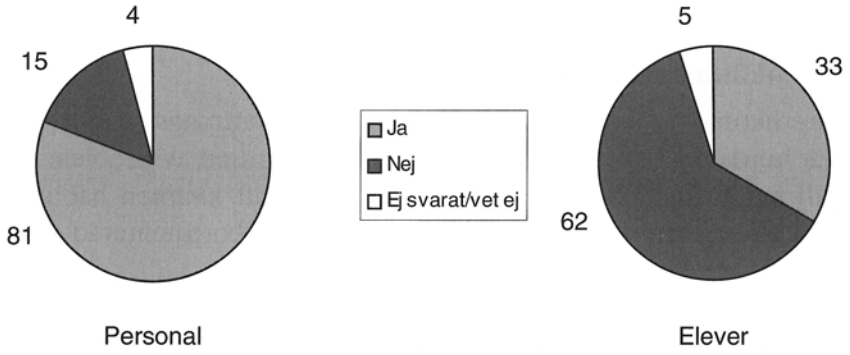
På frågan hur de tyckte att vakuumsystemet fungerade svarade 81 % av personalen och 65 % av eleverna ganska eller mycket bra (figur 11).

Figur 11. 81 % av personalen tycker att vakuumsystemet fungerar ganska eller mycket bra. Bland eleverna är siffran 65 %.

I genomsnitt använder personalen och eleverna toaletterna en gång per dag. Noterbart är dock att var femte elev uppger att de aldrig använder skolans toaletter. En förklaring kan vara att många av de yngre eleverna inte har lika långa skoldagar som de äldre eleverna och personalen.

På frågan om vakuumtoaletterna skapar störande buller svarar 13 % av personalen ja medan hela 62 % av eleverna tycker att toaletterna skapar störande buller.

81 % av personalen och 33 % av eleverna har svarat ja på frågan "Har du någon uppfattning om varför det är vakuumsystem på skolan" (figur 12). Bland personalen skrev de flesta att det var för att spara vatten eller att det var miljövänligt. Bland elevernas svar fanns alternativ som miljövänligt, ekologiskt, "inte slösa med vatten", billigt, modernt etc.



Figur 12. Svarsfördelning bland personal och elever på frågan "Har du någon uppfattning om varför det är vakuumsystem på skolan?".

Resultatet på alla enkätfrågorna återfinns i bilaga 1.

4.2 Råmaterialens kvalitet

Råmaterialet i våtkomposteringsprocessen utgjordes under uppföljningsperioden av svartvatten från Tegelviken och flytgödsel från Sörby gård.

Provtagningsresultaten som redovisas i föreliggande avsnitt är medelvärden från prover tagna vid tre olika tillfällen. Alla enskilda provtagningsresultat med medelvärden och standardavvikelser redovisas i bilaga 2.

Under projektet analyserades flytgödseln från Sörby gård tre gånger. Analys skedde enbart av gödselns TS- och glödförlusthalter och man kan konstatera att dessa värden väl överensstämmer med det som redovisats från en riksomfattande undersökning i Naturvårdsverkets regi (Naturvårdsverket, 1999). Då det inte genomfördes växtnäringsanalyser på Sörbygödseln ansätter vi att denna flytgödsel innehåller ungefär samma halter av kväve, fosfor och kalium samt tungmetaller som ett svenskt medelgödsel. Samtliga gödseldata redovisas i tabell 2.

Tömningen av uppsamlingstanken fungerade dåligt eftersom det inte gick att homogenisera innehållet. Sedimenterat material gick inte att få med vid hämtningen vilket innebär att hämtat svartvatten i viss mån kan betraktas som slamavskiljt. Den svartvattenfraktion som transporterades till Sörby provtogs och analyserades också tre gånger. Samtliga analysresultat

redovisas i bilaga 2. Nedan redovisas medelvärde baserat på dessa resultat (tabell 2):

Tabell 2. Råmaterialens sammansättning.

Parameter	Enhet	Svartvatten[1]	Flytgödsel[2]
TS	% av våtvikt	0,27	9,1
Glödrest	% av TS	[3]	18,5
Glödförlust	% av TS	[3]	81,5
pH		8,4	-
N-tot	g/kg TS	327	(40)
NH4-N	g/kg TS	323	(20)
P-tot	g/kg TS	21	(7,6)
K	g/kg TS	193	(40)
Pb	mg/kg TS	17,8	(0,92)
Cd	mg/kg TS	0,89	(0,13)
Cu	mg/kg TS	95	(49)
Cr	mg/kg TS	<7	(2,3)
Ni	mg/kg TS	13,8	(3,6)
Zn	mg/kg TS	713	(190)
Hg	µg/l	<0,1	-

1) Medelvärde baserat på tre analyser. Provtagning är utförd på den fraktion som transporterades till Sörby. Då det inte gick att homogenisera innehållet i uppsamlingstanken vid hämtning avser analyserna ett "slamavskiljt" svartvatten som inte fullt ut avspeglar det svartvatten som passerat vakuumsystemet.
2) TS och glödrest avser Sörbygödseln (tre analyser), värden inom parantes avser ett riksgenomsnitt för nötflytgödsel från konventionell drift (Naturvårdsverket, 1999).
3) Glödrest- och glödförlustanalyserna redovisas inte eftersom resultaten bedömts som mycket osäkra. Orsaken till det är den låga TS-halten på svartvattnet som försvårade glödrest- och glödförlustanalyserna. Se vidare bilaga 2.

4.3 Driftserfarenheter vid Sörby

4.3.1 Uppstartsförlopp

Reaktorn togs i drift för första gången den 22 september 1998. Uppstarten skedde på ren flytgödsel. Efter 14 dagar var temperaturen uppe i 55°C och dagen efter tömdes första batchen ut och nya 4,5 m^3 pumpades in. Den 2 oktober hämtades svartvatten från Tegelviken för första gången.

Efter första tömningen sjönk temperaturen ned till 48°C och därefter steg temperaturen upp till 50°C på tre dygn. Efter det började temperaturen att falla rejält. Detta orsakades av tekniska problem och under hela hösten 1998 fortsatte problemen som gjorde att temperaturen aldrig blev högre än 35°C. Från och med mitten av januari 1999 började våtkomposterings-anläggningen att fungera som avsett och har sedan dess fungerat relativt bra med undantag för en period under sommaren 1999.

4.3.2 Driftstörningar

De problem som förekom under hösten 1998 var bland annat brott på elkablar till luftarmaskin och omrörare, störningar på temperaturgivare och nivågivare samt motorskydd som löste ut. Dessutom byttes kompressorn ut under hösten eftersom den ursprungliga havererade. Under hösten byttes också hela volymen i reaktorn ut vid två tillfällen varefter processen fick startas om på nytt. Svårigheten med att få upp biomassans temperatur fick inte sin lösning förrän i mitten av januari då hela luftarröret lyftes upp och rengjordes. Material hade satt igen röret och lufttillströmningen var i princip obefintlig.

Under våren, sommaren och hösten 1999 fungerade anläggningen relativt bra med undantag för en period mellan mitten av juni till mitten av juli då anläggningen stod stilla. Störningarna under sommaren berodde även denna gång på igensättning i luftarröret samt på problem med luftarmaskinen. Innan uppstarten i juli byttes hela biomassan ut.

Det har under den inledande tiden varit återkommande krångel med skumskärare, luftarmaskin och omrörare, och alla dessa komponenter har ersatts av nya under 1999. Ett problem har varit att kablarna inte verkar ha klarat av miljön i reaktorn utan har frätts upp. Under hösten 1999 har en ny prototyp av omrörare provats i reaktorn. De första resultaten har dock inte varit lyckade. Försöken kommer att fortgå under vintern 1999/2000.

Ett annat driftproblem som observerats är att det har frusit i avluftningsledningen mellan reaktorn och biofiltret beroende på dåligt fall.

4.3.3 Återkommande drift- och skötselmoment

Av lantbrukarnas driftnoteringar har framkommit att drift och skötsel av anläggningen kräver ca 4 timmars arbetstid per vecka. Omrörning i förlagret är det vanligaste återkommande skötselmomentet. Omrörning sker minst en gång i veckan och oftare vid behov. Dessutom sker omrörning alltid när svartvatten har tömts i förlagret. Omrörningstiden uppgår till minst 2 timmar, beroende på hur tjockt råslammet och svämtäcket är.

Daglig kontroll sker av svämtäcket i reaktorn och under vissa perioder då skumbildningen har varit hög har det krävts daglig rengöring av elektroderna som styr skumskärarna.

I övrigt består skötseln av tillsyn och kontroll av givare, oljebyte i motorer, byte av biofiltermassa samt byte av rotorskivan på luftarmaskinen (1 gång per år).

Tidsåtgången för hämtning och tömning av svartvatten varierar under året. På sommarhalvåret tar proceduren ca 1 timme medan på vinterhalvåret eller då det är minusgrader tar hela proceduren ca 2 timmar. Anledningen till den

längre tiden på vintern beror på att pumpen på tankvagnen måste dräneras ur och torkas så inte sönderfrysning sker.

4.4 Behandlings- och driftresultat

4.4.1 Behandlad volym

Uppsamlingstanken på skolan rymmer 10 m^3 och under första driftåret (perioden oktober 1998 till september 1999) hämtades totalt 160 m^3 svartvatten (d.v.s. 16 tömningar). Under denna period tömdes också tanken två gånger av Eskilstuna kommun vid tillfällen med driftavbrott vid våtkomposteringsanläggningen. Således har det under det första året producerats ca 180 m^3 svartvatten (exkl. matavfall) på Tegelviken, det vill säga ca 0,5 m^3/dag.

De mängder råmaterial som har processats i våtkomposteringsanläggningen framgår av tabell 3.

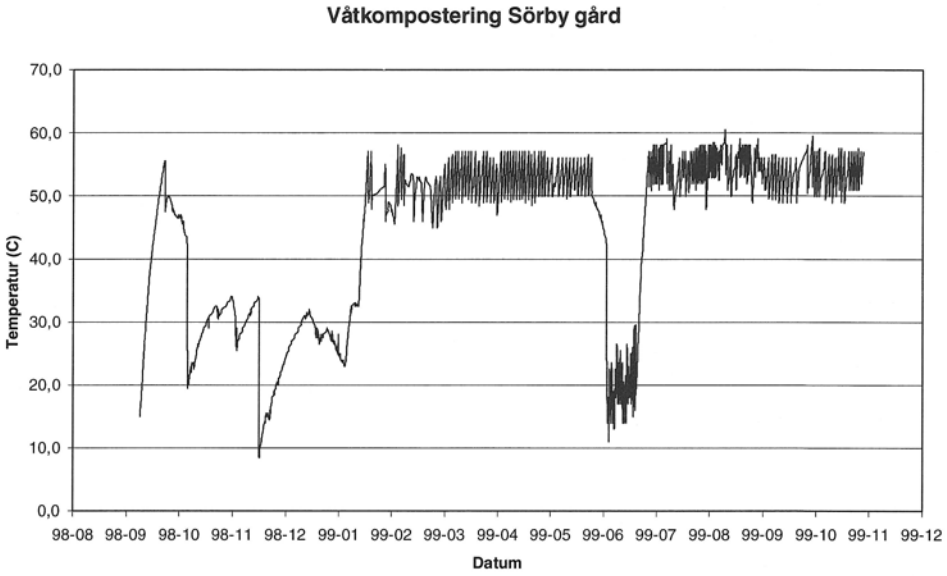
Tabell 3. Mängder som har behandlats i våtkomposteringsanläggningen.

Period	Svartvatten (m^3)	Flytgödsel (m^3)	Totalt (m^3)
okt 98 – sep 99	160	430	590
okt 99 – nov 99	30	90	120
Totalt	190	520	710

I den totala volymen processat material ingår den biomassa som under hösten 1998 byttes ut i reaktorn vid driftproblemen nämnda i kapitel 4.3.2.

4.4.2 Temperatur/tidförlopp

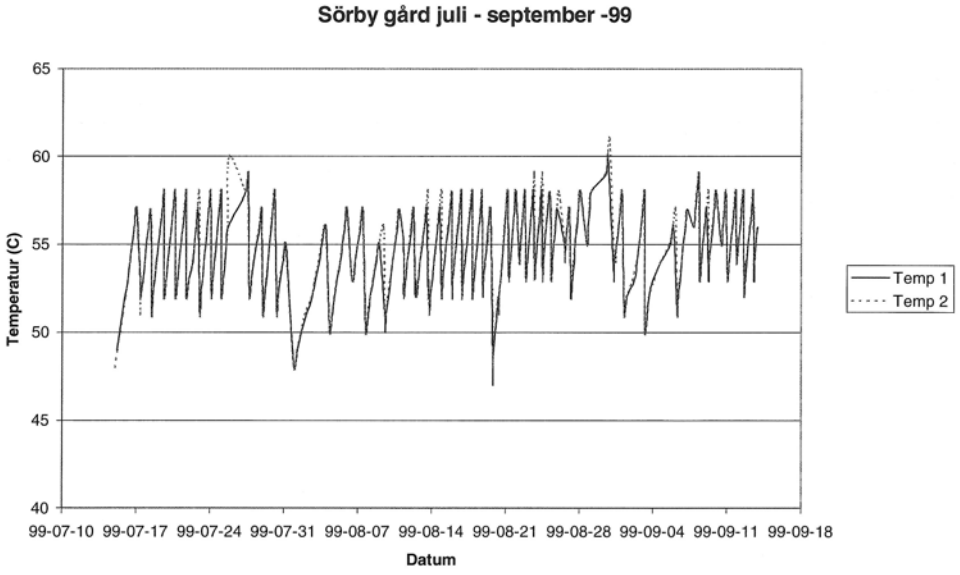
Från första reaktortömningen den 7 oktober 1998 till den 18 november 1999 registrerades 133 tömningar. Dock var det inga registrerade tömningar under hösten 1998 samt ett längre uppehåll under sommaren 1999. Temperaturkurvan för hela perioden visas i figur 13.



Figur 13. Temperaturutvecklingen för processen på Sörby gård sedan starten i september 1998. Under hösten 1998 var det stora problem med att få upp temperaturen vilket syns i diagrammet. Även en period under sommaren 1999 förekom problem med processen.

Räknar man bort hösten 1998 och sommarmånaden 1999 då anläggningen stod stilla blir den hydrauliska uppehållstiden ca 14 dygn (48 timmar/batch).

Den längre period som anläggningen har gått som bäst är från mitten av juli till mitten av september (60 dygn, 47 tömningar). Då har omsättningstiden varit ca 9 dygn, det vill säga byte var 31:a timme (figur 14).



Figur 14. Processen på Sörby mellan mitten av juli till mitten av september. Under denna perioden var omsättningstiden för 32 m^3 ca 9 dygn.

4.4.3 Elförbrukning

Under första driftåret har elförbrukningen uppgått till drygt 29 000 kWh. Det betyder en förbrukning på ca 80 kWh per dygn. Eftersom anläggningen inte har gått kontinuerligt under första året på grund av driftproblem bör elförbrukningen bli något större då anläggningen fungerar felfritt. Elförbrukningen har då beräknats till ca 90 kWh per dygn eller ca 33 000 kWh per år.

Elförbrukning per m^3 råslam blir för första året ca 50 kWh. Då anläggningen har fungerat som bäst (juli-sep, se kapitel 4.4.2) har 212 m^3 processats på 60 dygn med en elförbrukning av 5 400 kWh (antaget 90 kWh/dygn), vilket betyder ca 25 kWh per m^3 råslam.

4.4.4 Resultat – slambehandling

Provtagningsresultaten som redovisas i avsnittet är medelvärden från prover tagna vid tre olika tillfällen. Alla enskilda provtagningsresultat med medelvärden och standardavvikelser redovisas i bilaga 2.

Input till reaktorn var under uppföljningen ett råslam baserat på svartvatten och flytgödsel. Råslammets samt våtkompostens sammansättning efter 10 timmar i reaktorn och i efterlagret redovisas i tabell 4.

Tabell 4. Råslammets samt våtkompostens (efter behandling och i efterlagret) sammansättning. (e.a.= ej analyserat.)

Parameter	Enhet	Råslam	Våtkompost (10 timmar)	Våtkompost (efterlager)
TS	%	6,8	5,5	3,1
Glödrest	%	19,5	22,4	30,0
Glödförlust	%	80,5	77,6	70,0
pH		7,1	8,8	7,3
N-tot	g/kg TS	43	45	62
NH_4-N	g/kg TS	31	42	50
P-tot	g/kg TS	7,6	9,6	13,3
K	g/kg TS	45	75	94
Pb	mg/kg TS	e.a.	e.a.	26
Cd	mg/kg TS	e.a.	e.a.	0,43
Cu	mg/kg TS	e.a.	e.a.	39
Cr	mg/kg TS	e.a.	e.a.	6,4
Ni	mg/kg TS	e.a.	e.a.	11,7
Zn	mg/kg TS	e.a.	e.a.	347
Hg	µg/l	e.a.	e.a.	<0,07

I tabellen kan man utläsa att de två våtkompostfraktionernas sammansättning skiljer sig åt ganska mycket. Anledningen till detta är främst att prover tagits vid olika tillfällen. Våtkomposten i efterlagret speglar variationen i behandlat material, medan reaktorproverna tagits under perioder med likartade förhållanden. I resultaten för efterlagret ingår också

våtkompostmaterial som härrör från tiden innan efterlagret fick taktäckning. Resultaten avser därför prover som delvis var utspädda efter påverkan av nederbörd (motsvarande ca 100 m^3 vatten).

Då förutsättningarna, på grund av tekniska störningar i driften, varierat ganska mycket under uppföljningsperioden har det varit svårt ta enhetliga materialprover. Vi har därför gjort bedömningen att framtagna analysresultat främst ger en indikation över behandlingsförloppet, men att en mer djupgående analys måste baseras på längre provserier. Utifrån erhållna analysresultat utläser vi dock följande:

- Nedbrytningen av organisk substans har varit måttlig: ca 22 %. Bidragande till resultatet är att ingående råmaterial innehåller en begränsad andel lättomsättbar organisk substans. (Vid JTI:s pilotkörningar (Norin, 1995) uppnåddes högre organisk nedbrytning vid kortare behandlingstider med ett inslag av organiskt matavfall.)

- En stegring av pH under behandlingen följt av en sänkning under lagring är normalt och indikerar att viss anaerob biologisk aktivitet (hydrolys/syrabildning) förekommer i efterlagret.

- En minskning av kväveinnehållet över behandlingen (tabellvärdena ger att ca 15 % försvunnit) kan utläsas vilket inte är oväntat mot bakgrund av driftsättet. Bidragande till detta är att andelen ammonium/ammoniak av totalkvävet ökat markant under behandlingen vilket blir fallet vid en förhållandevis lång behandlingstid. (Se även kvävediskussionen under luftkapitlet, 4.4.6.)

- Om man ser till fosfor- och kaliuminnehållet (som inte ska förändras under behandlingen) ger ovanstående analyser att innehållet är lika eller till och med något högre i materialet efter behandling. Detta säger oss att ovan uppskattade förluster av organiskt material respektive kväve inte bör vara underskattade.

4.4.5 Hygienisering

Provtagning med avseende på Fekala Streptokocker (FS) har skett vid tre olika tillfällen och i tre olika punkter; råmaterialet, våtkomposten taget ur reaktorn efter 10 timmar samt på våtkomposten i efterlagret (tabell 5). Alla enskilda provtagningsresultat med medelvärden redovisas i bilaga 3.

Tabell 5. Resultatet från mikrobiologiska undersökningen.

Parameter	Enhet	Råslam	Våtkompost (10 tim)	Våtkompost (efterlager)
Fekala Streptokocker	Antal/100 ml	21 000 000	<670	103 000

Resultatet visar på en tillfredsställande reduktion (>4$\log_{10}$-reduktion) i reaktorn efter 10 timmars exponering vid 55°C. Detta visar att anläggningen uppfyller kraven i tidigare beskrivna kvalitetssäkringsregler (Naturvårdsverket, 2000). Ytterligare två timmars exponering vid 55°C, det vill säga efter 12 timmar i samband med tömning, leder till ytterligare reduktion.

Analysresultaten för våtkomposten i efterlagret visar att detta material innehåller mer FS än utgående våtkompost från reaktorn. Orsaken till detta kan antingen vara inblandning av obehandlat material och/eller en återväxt i lagret. Efter genomgång av rutinerna vid anläggningen har vi identifierat följande händelser som kan vara bidragande till utfallet.

1. Våtkomposten i efterlagret har återsmittats vid omrörning.

   Lantbrukarna har använt samma omrörare i efterlagret som i sin egen flytgödselbrunn. Vid omrörning i gödselbrunnen precis innan omrörning i efterlagret är risken för överföring av smittämnen uppenbar.

2. Material som ej har uppnått 55 °C har hamnat i efterlagret.

   Under uppstartsperioden hösten 1998 tömdes reaktorn helt vid ett par tillfällen och processen startades om. Vid dessa tömningstillfällen hade inte temperaturen kommit upp i 55°C. Den normala rutinen är att tömma materialet till förlagret, men det har framkommit att det vid något tillfälle skedde tömning till efterlagret.

När det gäller hygienaspekten vid Sörby gård har vi gjort bedömningen att den höga FS-halten i efterlagret inte innebär något större problem. Det otillräckligt hygieniserade material (inkl. svartvatten) som tömdes i efterlagret under hösten 1998 hade genomgått över åtta månaders lagring (varav 2 sommarmånader) vid spridningstillfället. Den återinblandning som omröraren gav upphov till i samband med spridningen innebär endast att mikroorganismer härrörande från gödseln tillförts. Då spridningen genomfördes på samma sätt som vid spridning av gårdens obehandlade flytgödsel innebär detta ingen ökad smittrisk. Under alla omständigheter måste rutinerna vid anläggningen ses över så att man inte hamnar i en mer tveksam situation vid ett annat tillfälle.

Den uppkomna situationen belyser konsekvenserna av en bristfällig materialhantering vid en hygieniseringsanläggning och är ur den aspekten en nyttig erfarenhet. Samtidigt väcks frågor kring exempelvis återväxtförlopp i efterlager, reduktion vid lagring under olika förhållanden och åtgärder vid allvarliga smittsituationer. Vissa av frågorna skulle förmodligen kunna belysas vid en fortsatt uppföljning av Sörbyanläggningen.

4.4.6 Luftbehandling och ammoniakmätningar

Luftbehandlingen har som vi ser det vissa brister. Eftersom den ledning som leder kondensvattnet ned i förlagret inte är nedsänkt under råslammets vätskenivå, måste förlagret vara gastätt för att inte processluften ska läcka ut i atmosfären. Detta var inte fallet under inledningsskedet av driften, men åtgärdades under våren 1999 varefter förbättringar av tätningen skett kontinuerligt. Någon mätning av hur gastätt förlagret är har inte skett, men det lär vara svårt att få ett förlager med denna konstruktion helt gastät. Det finns alltså en uppenbar risk att flödet in genom biofiltret inte är så stort. Ett väsentligt syfte med biofiltret är att fånga ammoniak. Genom att senare utnyttja filtertorven i växtsystem ska våtkomposteringssystemet klara sig utan kväveförluster. Detta samt det faktum att ammoniak är en gas som är såväl försurande som övergödande, gör att det är oerhört väsentligt att luftflödet leds in i biofiltret. Dessutom bidrar biofiltret till att minska luktbekymmer i närheten av anläggningen.

Ett annat problem som uppstod i inledningsskedet var att kondensvatten frös i luftarröret. Detta problem har åtgärdats genom att luftarröret numera har ett större fall till det rör som leder kondensvattnet ned i förlagret.

Resultat från mätningar av ammoniakhalten framgår av tabell 6. Någon ammoniakhalt efter biofiltret har inte kunnat uppmätas varken före eller efter tätning av förlagret. Huruvida detta beror på ovanstående problematik eller på att biofiltret är effektivt kan man endast spekulera i. Något luftflöde ut från biofiltret har inte kunnat uppfattas i samband med mätningarna. Detta borde vara ca 6 l/s i utgående luftrör (0,6 m/s).

Tabell 6. Resultatet från mätning av ammoniakhalten (ppm) i utgående luft.

Datum	99-04-20	99-06-01	99-08-30
Headspace	>700	650	>700
Innan biofiltret	120	480	300
Efter biofilter	-	0	0

Som synes i tabell 6 varierar halten ammoniak efter kondenseringen relativt mycket. Utetemperaturen har stor inverkan på hur effektivt kondenseringssteget blir med denna konstruktion, vilket man kan se tendenser till i resultaten. Mätningarna i headspace, det vill säga i nära anslutning till luftutloppet i toppen av reaktorn, visar på värden över och i närheten av mätinstrumentets detektionsnivå. Observera dock att dessa värden är mycket osäkra då mätförhållandena med avseende på temperatur och luftfuktighet ligger utanför rekommendationer för Drägerutrustningen.

Biofiltrets funktion är på grund av de osäkerhetsfaktorer som nämnts ovan svår att utvärdera. En genomsnittlig ammoniakhalt på 300 ppm i processluften före filtret innebär ett kväveflöde på ca 100 g N per dygn vid ett luftflöde på 22 m^3 per timme. Vid samma förhållanden under ett år innebär detta att 36 kg N lämnar reaktorn via processluften.

4.5 Användning av våtkomposten

4.5.1 Samråd

Den 18 juni 1999 skedde ett samråd i Eskilstuna med representanter från Lantbruket i Sörby gård, Eskilstuna Energi & Miljö, Odal, Naturskyddsföreningen samt Bygg- och Miljökontoret. Vid mötet informerades gruppen om Tegelvikens VA-system, våtkomposteringsanläggningens funktion samt om det utvärderingsprojekt som resulterat i denna rapport. Dessutom informerades gruppen om de analysresultat som fanns tillgängliga vid det aktuella tillfället samt om hur våtkomposten ska användas i jordbruket.

Samrådsgruppen såg mycket positivt på denna typ av anläggning. Inte minst det faktum att produkten är hygieniserad gör den mycket intressant. Samrådets rekommendation var att våtkomposten ska analyseras innan spridningstillfälle. Samrådsprotokoll finns i bilaga 4.

4.5.2 Genomförande

Vid spridningstillfället i augusti 1999 hade ca 500 m^3 råslam processats. I efterlagret fanns vid tillfället knappt 600 m^3 material, vilket berodde på att nederbörd hade tillförts efterlagret under tiden oktober 1998 till januari 1999 då efterlagret saknade tak.

Våtkomposten började spridas den 30 augusti 1999. Materialet spreds med en bredspridande flytgödselspridare med spridarplatta (figur 15). Tunnans lastkapacitet var 13 m^3. En yta på ca 24,5 ha spreds med våtkompost. Efter harvning såddes höstvete.

Figur 15. Våtkomposten spreds på höstvete med tekniken bredspridning med spridarplatta.

Spridningen föregicks av omrörning i efterlagret. Ett i princip obefintligt svämtäcke gjorde att omrörningen av materialet inte pågick längre än ca 1,5 timme. Detta kan jämföras med gårdens flytgödsel där ett kraftigt svämtäcke normalt gör att omrörning pågår under ca 12 timmar.

De 600 m^3 våtkompost innebar att spridningen skedde med ca 24 ton per ha i medeltal. Utifrån de analyser som gjordes i anslutning till spridningen har de genomsnittliga växtnäringsgivorna beräknats till 10 kg P per ha, 27 kg NH4-N per ha samt 41 kg N-tot per ha. Storleken på erforderlig giva beror bland annat på jordens karaktär, klimatet och växtföljden. Att sprida gödselmedel av denna karaktär på hösten kan innebära förluster av kväve. Höstvetet kan, beroende på klimatet under hösten, ta upp ca 10-20 kg kväve per hektar. En lämpligare strategi vore att sprida våtkomposten i samband med vårbruket eller till växande gröda under odlingssäsongen (Richert Stintzing, pers. medd., 1999). Vid spridning av detta material på våren åtgår ca 50-60 ton per ha. Denna mängd är tekniskt fullt möjligt att sprida med såväl bredspridare med spridarplatta som bandspridare med släpslangsramp (Karlsson, pers. medd., 1999). Denna giva medför att kördragets längd per lass blir kortare än vid flytgödselspridning då vanligtvis halva givan rekommenderas. På större fält kan tomkörningen därför öka, jämfört med flytgödselspridning.

4.5.3 Erfarenheter

Omrörningen av våtkomposten i efterlagret utfördes endast i samband med spridning den första dagen. Ett bottensediment på ca 20 cm upptäcktes när hela efterlagret tömts. Dessutom upplevde lantbrukarna även att de sista lassen var betydligt mörkare än de tidigare. Detta problem brukar inte uppstå i samband med omrörning av flytgödsel. Detta visar att våtkomposten är mer sedimenteringsbenägen än exempelvis obehandlad flytgödsel. Detta förhållande har också visats tidigare genom sedimenteringsförsök i pilotstudie (Norin, 1995). Den praktiska konsekvensen blir att man bör blanda om i efterlagret med jämna mellanrum i samband med spridningen. Genom att göra så minskar man omfattningen av kvarstående bottensediment efter tömning.

Materialet karakteriserades av korta fibrer. Detta gjorde att materialet trängde ner i jorden snabbt vid spridningen, vilket skapar förutsättningar för god kontakt mellan jorden och våtkomposten som resulterar i att ammoniumkvävet binds till markpartiklarna. Risken för ammoniakförluster till luften bör därmed vara relativt låg. De små fibrerna innebär också att man kan förvänta sig mindre problem med igensättning av spridarmunstycken och liknande i samband med hantering och spridning av materialet. Denna typ av problem förekom inte under spridningen, vilket det enligt Tomas Eriksson ibland gör vid spridning av flytgödsel.

Mängden material som kunde spridas per tidsenhet berodde mycket på avståndet till åkermarken. Vid spridning ca 300 meter ifrån våtkomposteringsanläggningen kunde ca 4 spridningar ske per timme. Fyllning av tanken och spridning av materialet tog ungefär lika lång tid (ca 6 minuter). Vid spridning av materialet några kilometer ifrån anläggningen hann man med två spridningar/timme. Detta innebär, om man räknar med i snitt 3 spridningstillfällen per timme, att den effektiva tiden för spridning av materialet var ungefär 15-20 timmar.

I samband med omrörning och tömning av efterlagret förekom lukt av ammoniak. Vid spridningen av materialet förekom lukt som av Tomas Eriksson betraktades som ”annorlunda” i jämförelse med flytgödsel, och som han närmast liknade vid ”brunnen fastgödsel”. Det förekom inte mer klagomål än vid vanlig spridning, men Tomas anser att materialet luktade mer än han hade trott. Den höga utetemperaturen vid spridningstillfället kan ha bidragit till detta.

5 FÖRETAGSEKONOMISK BETRAKTELSE

5.1 Den "norska modellen"

I Norge har begreppet våtkompostering funnits med sedan 1980-talet. På Norges Lantbrukshögsskola i Ås koncentrerade man sig i början på att undersöka möjligheten att utvinna värme från flytgödsel genom processen. Med tiden lärde man sig dels att våtkompostering kunde tillämpas på olika typer av avfallsslurry, dels att hygienisering var en av processens stora förtjänster. Två andra faktorer – resurssnål avfallshantering och lantbrukarnas försörjning – kom att ligga till grund för en helt ny idé kring avfallshanteringen i norsk glesbygd. Systemet, som bygger på våtkomposteringsbehandling av biologiskt avfall och avloppsslam, har lantbrukaren i centrum som entreprenör svarande för insamling, behandling och växtnäringsutnyttjande. Systemet har fått en allt större spridning Norge.

I Skjelhaugen (1999) beskrivs systemet ("A Farmer-operated System for Recycling Organic Waste") i såväl tekniska, organisatoriska och ekonomiska termer. Intressant är bland annat hur man betraktar lantbrukarens roll som vinstdrivande kretsloppsentreprenör. I den beskrivna artikeln redovisas olika möjliga ekonomiska utfall beroende på vilka råmaterial som behandlas och olika nivåer på mottagningsavgifter för slam och avfall. Utgångspunkten är i samtliga fall en våtkomposteringsanläggning av motsvarande storlek som på Sörby, det vill säga med en kapacitet på 1 500 m^3 per år.

Som exempel redovisas här ett fall där brunnsslam och matavfall från 685 hushåll behandlas. Skjelhaugen utgår från en produktion på 1 370 m^3 (1,7 % TS) slam och 126 m^3 matavfall (28 % TS) vilket ger knappt 1 500 m^3 råmaterial med 3,9 % TS. Anläggningen kostade 1 300 000 NOK i investering vilket beräknats motsvara ca 175 000 NOK per år i årskostnad (inkluderar avskrivning, kapitalkostnad, underhåll/service, slamanalyser samt elenergi till anläggningens drift). Med en behandlingskostad på 200 kronor per ton slam och 400 kronor per ton matavfall får man följande utfall (tabell 7):

Tabell 7. Exempel på ekonomisk kalkyl enligt den "norska modellen" med lantbrukaren som kretsloppsentreprenör (ur: Skjelhaugen, 1999).

Del	NOK
Årskostnad	-175 000
Inkomst från brunnsslam (200 NOK/m^3)	+274 000
Inkomst från matavfall (400 NOK/ton)	+50 000
Gödselmedelvärde[1]	+15 000
Nettoöverskott (till tillsyn och spridning)	+164 000

1) Gödselvärdet har beräknats enbart utgående från våtkompostens innehåll av kväve med ett värde motsvarande 7 NOK per kg.

I exemplet redovisas ett nettoöverskott på 164 000 NOK som ska täcka lantbrukarens insatser i form av drifttillsyn och spridning. För en anläggning av den aktuella storleken anges att dessa arbetsmoment motsvarar ca 0,3 manår.

I rapporten diskuteras även hur system med andra förutsättningar slår ekonomiskt. Skjelhaugen förespråkar då bland annat rena svartvattensystem där man kan uppnå ett högre utnyttjande av närsalter, främst kväve. Vid samma inkomstnivåer som i exemplet ovan redovisas då ett överskott på 206 000 NOK vid insamling från 757 hushåll. Om man för systemet ovan (tabell 7) istället sänker mottagningsavgifterna till 100 NOK per m^3 brunnsslam och 300 NOK per ton matavfall erhålls ett överskott på bara 15 000 NOK.

För att belysa årskostnaden för ett hushåll har man ansatt en insamlingskostnad på 400 NOK per år för brunnsslam och matavfall. För exemplet i tabell 7 skulle den totala kostnaden (insamling + behandling) för ett hushåll således bli 880 NOK per hushåll och år. Man måste då vara medveten om att insamlingssystemet bygger på att både brunnsslam och matavfall hämtas en gång per år vid varje hushåll. Detta möjliggörs genom att matavfallet lagras och ensileras i en speciell tät tank vid hushållen enligt ett nytt norskt koncept.

5.2 ”Norsk modell” i Sverige?

Frågan är om man kan applicera den norska modellen i Sverige. Tanken att låta jordbrukaren ha en aktiv roll i kretsloppsarbetet istället för att vara en passiv mottagare av slam känns riktig och bör vara en tillämpbar tanke även i Sverige. Att som i Norge även se till de sysselsättningseffekter som systemet ger är naturligtvis också en viktig aspekt.

Den fråga som kanske är avgörande för om den norska modellen går att överföra på Sverige är de ekonomiska förutsättningarna. Den stora skillnaden torde föreligga vad gäller behandlingskostnader för externt slam. För att belysa detta har en översiktlig kalkyl upprättats för en våtkomposteringsanläggning av den typ som finns på Sörby gård.

5.3 Ekonomisk kalkyl för anläggning i Sverige

Det är uppenbart att man med det beskrivna driftläget vid Sörby inte kommer att kunna uppnå en balanserad ekonomisk budget. Huvudorsaken till detta är att endast knappt 200 m^3 svartvatten tas om hand vid anläggningen per år. Dessutom är Eskilstuna kommuns behandlingsavgifter (1999: 37,50 kronor per m^3 slam inkl. moms) för sådant slam avsevärt lägre än de som angivits i den norska studien. En tredje aspekt är att

Sörbyanläggningen under uppföljningsperioden inte nått upp till full behandlingskapacitet.

Vi väljer därför istället att beskriva ekonomin för en fiktiv svensk anläggning som drivs vid full kapacitet (ca 1 500 m^3/år). För kalkylen antar vi följande grundförutsättningar:

- Vid anläggningen prioriteras, enligt norsk modell, "inkomstbringande" råmaterial som brunnsslam och organiskt avfall. Gödsel tillsätts endast för att optimera råmaterialets sammansättning.
- Blandningen av råmaterialen görs så att en TS-halt på 5 % uppnås.
- Aktuell investeringskostnad har erhållits från Eskilstuna Energi & Miljö, årskostnaden har framtagits utifrån en kalkylränta på 6 % och med en genomsnittlig avskrivningstid på 16 år.
- Kostnadsposter som underhåll, service och analyser samt energikostnaden redovisas enligt erfarenheter i Sörbyprojektet.
- Kompostmaterialets gödselvärde beräknas utifrån innehållet av ammoniumkväve och fosfor enligt aktuella handelsgödselpriser.

När det gäller möjligheten att balansera ekonomin för en våtkomposteringsanläggning finns det olika möjligheter att påverka inkomsterna. Detta kan exempelvis ske via behandlingsavgifterna (d.v.s. mottagningskostnaden för behandling, ej kostnader för transport och administration) eller genom att välja vilka avfallsslag som ska behandlas (brunnsslam ger normalt sämre betalning än organiskt avfall).

Vid en kontroll bland några svenska kommuner har framkommit att behandlingsavgifterna för brunnsslam från och med år 2000 är i storleksordningen 100 kronor per m^3 (inkl. moms). För organiskt avfall varierar behandlingsavgifterna betydligt mellan olika kommuner och beroende på behandling. Efter att deponiskatten införts år 2000 kan man förvänta sig deponeringsavgifter mellan 600 och 1000 kronor per ton. Variationen verkar vara lika stor vid biologisk behandling där det för komposteringsanläggningar finns exempel på 400-900 kronor per ton. I detta fall väljer vi att ansätta behandlingskostnaden 100 kronor per m^3 för brunnsslam och 650 kronor per ton för organiskt avfall.

5.3.1 Anläggning för hushållens brunnsslam och avfall

I tabell 8 redovisas de materialmängder som måste ingå vid behandling av brunnsslam och matavfall från hushåll. Då TS-halten i brunnsslammet är lågt, och eftersom mängden matavfall är relativt liten, blir anläggningen beroende av flytgödsel för att en lämplig TS-halt ska upprätthållas.

Tabell 8. De slam- och avfallsmängder som blir aktuella vid anslutning av hushåll i glesbygden.

Del	m^3 alt ton/år	TS
Flytgödsel	450	9 %
Brunnsslam från hushåll	950	1 %
Organiskt avfall[1] från hushåll	95	28 %
Blandning	**1 495**	**5,1 %**

1) Enligt SJVFS 1998:34 (Jordbruksverket, 1998) får animaliskt avfall som ej är tillagat inte ingå vid våtkomposteringsbehandlingen.

Investeringskostnaden för våtkomposteringsanläggningen (reaktor, lagerbehållare med tak, schakt, el etc.) i Sörby har av Eskilstuna Energi & Miljö redovisats till 1 860 000 kronor. Detta ger en årskostnadskalkyl enligt tabell 9. Man bör notera att kalkylen anger nivån vid full egen finansiering, i Sörbyprojektet har anläggningen delfinansierats genom de statliga Lokala Investeringsbidragen.

Tabell 9. Årskostnadskalkyl för våtkomposteringsanläggning vid full egen finansiering. Förutsättningar enligt ovan.

Del	kkr/år
Kapitalkostnad	184
Underhåll, service, analyser	15
Elenergi	33
Totalt exkl. arbetskostnader	**232**

Inkomsterna för anläggningen består först och främst av mottagningsavgifter (behandlingsavgifter) för brunnsslam och matavfall. Vi har dessutom enligt "norskt manér" valt att redovisa gödselvärdet som en inkomst vilket bör vara relevant i det fall jordbrukaren kan utnyttja våtkomposten som en ersättningsprodukt för handelsgödsel. I tabell 10 redovisas inkomstkalkylen och årsresultatet med aktuella mottagningsavgifter.

Tabell 10. Inkomstkalkyl och årsresultat samt aktuella mottagningsavgifter för brunnsslam respektive organiskt avfall.

Del	kr/m^3 alt ton	kkr/år
Flytgödsel	-	0
Brunnsslam från hushåll	100	95
Organiskt avfall[1] från hushåll	650	62
Växtnäring fr. slam och avfall	7,5 kr/kg N;12 kr/kg P	6
Årsinkomst		**163**
Årskostnad		-232
Utfall		***-69***

1) Enligt SJVFS 1998:34 (Jordbruksverket, 1998) får animaliskt avfall som ej är tillagat (värmebehandlat) inte ingå vid våtkomposteringsbehandlingen.

Med ovanstående förutsättningar ges således ett negativt netto på 69 000 kronor per år. Om man ska bibehålla sammansättningen på ingående råmaterial kan inkomsterna bara ändras genom en höjning av avgifterna. För att uppnå ett överskott på 100 000 kronor per år till anläggningsskötsel och slamspridning (beräknat till 0,3 manår) krävs en inkomstnivå på 332 000 kronor vilket innebär en avgiftshöjning på närmare 210 %. Detta kan exempelvis åstadkommas genom en höjning av avgiften för brunnsslam från 100 till 280 kronor per m^3.

I exemplet ovan är behandlingsavgifternas storlek avgörande för systemets ekonomi. Vilken nivå som är rimlig beror på faktorer som alternativa behandlingskostnader (vad kostar annan behandling?), transportkostnader (ökar utrymmet för en högre behandlingsavgift om kortare, lokala transporter leder till en lägre transportkostnad?) och miljöaspekter (kan en miljöriktigare och lokalt förankrad lösning få kosta mer än en konventionell, central lösning?).

5.3.2 Anläggning i ekonomisk balans?

För att belysa om man med ovanstående avgiftsnivåer kan erhålla en lösning i ekonomisk balans har vi satt samman ytterligare ett kalkylexempel. I tabell 11 redovisas erforderlig råmaterialblandning för denna.

Tabell 11. De brunnsslam- och avfallsmängder som krävs för att ge en våtkomposteringsanläggningen ett bättre inkomstunderlag.

Del	m^3 alt ton/år	TS
Brunnsslam från hushåll	1 200	1 %
Organiskt avfall[1]	300	28 %
Blandning	**1 500**	**6,4 %**

1) Enligt SJVFS 1998:34 (Jordbruksverket, 1998) får animaliskt avfall som ej är tillagat inte ingå vid våtkomposteringsbehandlingen.

Blandningen får en TS-halt på ca 6,5 % vilket fortfarande innebär goda förhållande för behandling. I jämförelse med avfallsmängderna från hushåll innehåller mixen i detta fall ca 20 % fast organiskt avfall mot ca 9 % i exemplet i avsnittet ovan (5.3.1). Med denna sammansättning och ovan angivna behandlingsavgifter erhålls en kalkyl enligt tabell 12.

Tabell 12. Inkomstkalkyl och årsresultat samt aktuella mottagningsavgifter för brunnsslam respektive organiskt avfall.

Del	kr/m^3 alt ton	kkr/år
Brunnsslam från hushåll	100	120
Organiskt avfall[1]	650	195
Växtnäring	7,5 kr/kg N;12 kr/kg P	17
Årsinkomst		**332**
Årskostnad		-232
Utfall		***100***

1) Enligt SJVFS 1998:34 (Jordbruksverket, 1998) får animaliskt avfall som ej är tillagat (värmebehandlat) inte ingå vid våtkomposteringen.

I detta fall når man alltså upp till de 100 000 kronor per år som bedöms täcka kostnaderna för anläggningsskötsel och slamspridning. Man kan konstatera att den materialblandning som avses är rik på energi och väl passande för processen. Konsekvensen är att anläggningen blir beroende av en relativt stor andel fast avfall med de speciella förutsättningar kring materialhanteringen som detta innebär.

6 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

Den övergripande slutsatsen efter det första driftåret är att svartvattensystemet och våtkomposteringsanläggningen fungerar, men att det finns flera delar i systemet som bör förbättras. Vidare är troligtvis inte Kvicksund det typiska stället för behandling med våtkomposteringsteknik utan det bör vara intressantare med den här typen av system i exempelvis skärgårdsmiljöer, glesbygdsområden etc. utan kommunala va-anläggningar och med speciella förutsättningar.

I det följande redovisar vi våra synpunkter på systemet och, i vissa fall, förslag till förändringar.

6.1 Insamlingssystemet vid Tegelviken

Vakuumsystemet har i huvudsak fungerat problemfritt och uppfattas av användarna som ett väl fungerande toalettsystem. Om man bortser från det interna vakuumnätet, verkar det tekniskt sett finnas brister i utförandet av utloppsledningen till svartvattentanken eftersom det vid två tillfällen blivit stopp där. Detta är inte acceptabelt eftersom det kan påverka driften av hela vakuumsystemet. Larmsystemet har heller inte varit helt intrimmat till en början. Detta har dock åtgärdats under 1999.

Man kan vidare konstatera att svartvattentanken inte kan tömmas på ett bra sätt med den utrustning lantbrukarna använt under uppföljningsperioden. Man kan tänka sig flera lösningar på detta problem. För att svartvattentanken ska kunna tömmas helt vid varje tillfälle måste antingen tanken utrustas med någon typ av omrörare eller pump, eller så måste lantbrukarna använda en bättre anpassad utrustning. En annan variant kan vara att låta hämtningen fortgå som idag, men att låta en bil med kraftig vakuumsug tömma tanken fullständigt med jämna mellanrum och transportera slammet till Sörby gård.

6.2 Driftsstörningar och erfarenheter

Med undantag från två perioder med störningar har anläggningen fungerat relativt bra. Utöver problemen på maskinsidan är förmodligen igensättningen av luftarröret den besvärligaste störningen. Detta måste betraktas som oacceptabelt eftersom ett effektivt och väl fungerande luftarsystem är den viktigaste förutsättningen för våtkomposteringen. Sammantaget har driftstörningarna allvarligt bidragit till att den behandlade årsmängden blivit begränsad.

Under de perioder som anläggningen fungerat tillfredsställande har den hydrauliska uppehållstiden varit mellan 9 och 14 dygn. Någon

kapacitetsbrist har inte förekommit på grund av den ringa mängd svartvatten som produceras på Tegelviken. Dock är kapaciteten 32 m^3 i veckan, d.v.s. en hydraulisk uppehållstid på 7 dygn, vilket alltså inte har uppnåtts med undantag från någon vecka under sensommaren 1999. Anledningen till att full kapacitet inte uppnåtts beror på ett för utdraget processförlopp. Att ingångsmaterialet är "långsamt" är en orsak till detta, en annan kan vara ett ineffektivt luftningssystem.

Utöver en kapacitetssänkning leder den längre behandlingstiden till att exempelvis kvävehushållningen i processen försämras. Omvänt skulle den längre behandlingstiden kunna vara positivt om detta innebär en avsevärt bättre stabilisering. Vad som ska prioriteras beror på vilket material som behandlas och vad man vill uppnå med behandlingen. Vid våtkompostering av råmaterial med stor andel lättomsättbar organisk substans är en hydraulisk uppehållstid på 7 dygn fullt tillräcklig för att omsätta den lättnedbrytbara delen.

Elbehovet har beräknats vara cirka 25 kWh per m^3 råslam. Detta ligger i linje med norska erfarenheter. Som vi ser det borde det inte vara omöjligt att med hjälp av processoptimering få en mindre elanvändning. Exempelvis bör syresättning av materialet kunna ske på ett mer effektivt sätt. För att få en vettig energibalans bör man även utnyttja den värme som bildas i processen.

Vad som är viktigt under den löpande driften har varit att god omrörning sker i förlagret, att luftarröret rengörs regelbundet samt att rengöring och kontroll av skum- och nivågivare sker.

6.3 Hygienisering

När det gäller själva våtkomposteringen sker hygieniseringen tillfredsställande vid anläggningen. Redovisade bristfälliga rutiner när det gäller hantering av icke hygieniserat våtkompostmaterial respektive omrörare har gett upphov till förhöjda halter av Fekala Streptokocker i efterlagret.

En viktig fråga som väckts är förutsättningarna för tillväxt respektive reduktion av patogena organismer i efterlagret. Tillväxt förutsätter goda levnadsbetingelser för mikroorganismerna och dessa varierar från fall till fall. Tillgång på näringssubstrat är en förutsättning för tillväxt och i det fallet ska en hög nedbrytning av lättomsättbar organisk substans under behandling hindra efteraktiviteter. Därav ett ofta förekommande krav på en kortaste tillåtna uppehållstid i samband med hygienisering. Vid Sörbyanläggningen har VS-reduktionen (förlusten av glödförlust) varit förhållandevis måttlig, trots en uppehållstid på över 9 dygn. Sammansättningen av kvarstående organiska substans har inte analyserats och vilken betydelse detta har för tillväxten är därför svår att bedöma.

6.4 Luftbehandlingsystemet

Vi har konstaterat att luftbehandlingssystemet har en bristfällig utformning. För att komma till rätta med detta måste luftledningen ha ett tätt utförande fram till filtret. Om avskiljning av kondensvatten ska ske innan filtret måste detta ske till en sluten behållare som inte medger luftläckage. Det finns många möjligheter att utforma luftbehandlingssystem. Då det i detta fall inte föreligger några luktproblem från anläggningen torde det vara tillräckligt att ordna så att nuvarande system får en bättre funktion med anledning av processluftens ammoniakinnehåll. En möjlighet kan vara att dra det rör som leder ner kondensvattnet till förlagret ända ner under vätskenivån. Eftersom vätskenivån varierar innebär detta att man drar röret ända ner till botten av förlagret.

Om inte luftflödet leds in i ett fungerande biofilter kan förlusterna av kväve uppgå till 36 kg per år. Dessa förluster kan tyckas vara små (motsvarar ca 1 % av det kväve som passerade reaktorn under det första driftåret). Jämför man med inkommande mängd får man dock att förlusterna motsvarar 20-30 % av innehållet i svartvattnet. Vid sidan om de miljömässiga aspekterna med att släppa ut ammoniak i atmosfären motiverar detta faktum ett fungerande uppsamlingssystem för ammoniakkvävet.

6.5 Användning av våtkomposten

I samband med spridning av det behandlade materialet kunde vi konstatera att våtkomposten har egenskaper som gör det mycket intressant som gödselmedel på åkermark. I studien har vi också erfarit att man med en avfallssammansättning som i Kvicksund får en ren gödselprodukt med hänsyn till tungmetallhalter. För att kunna utvärdera materialets växtnäringseffekt och fullt ut utvärdera miljöeffekterna i samband med spridning, krävs dock utförliga odlingsförsök.

Materialet har ett antal egenskaper som skiljer sig från flytgödsel. Bland annat kunde det konstateras att materialet är mer sedimenteringsbenäget än flytgödsel. Detta gör att omrörning i efterlagret bör ske mer frekvent i samband med spridning än vid spridning av flytgödsel.

6.6 Driftsekonomi och val av avfallsmaterial

Sörbyanläggningen är uppförd med stöd av Kretsloppsmiljarden och är Sveriges första fullskaleanläggning när det gäller våtkompostering och svartvattensortering. Detta innebär speciella förutsättningar för dess drift och ekonomi. Ur ett företagsekonomiskt perspektiv har vi dock konstaterat att anläggningen hittills inte drivits tillfredsställande. Samtidigt måste man fråga sig vad som är god driftsekonomi för en anläggning av detta slag. Eftersom mervärden som hygienisering, luktreduktion, kretslopps-

möjligheter och annat är bättre än de konventionella systemen är frågan om det är riktigt att göra ekonomiska antaganden utifrån de etablerade systemens kostnadsnivåer.

Om man ändå sätter detta som norm har vi sett att anläggningen måste baseras på avfallskategorier som kan belastas med höga behandlingsavgifter, främst källsorterat organiskt avfall. Då våtkompostering är en slambaserad process finns det en övre gräns för hur stor andel fast avfall som kan tillföras. Den tekniska aspekten är att man inte kan ha en råmaterialblandning som blir för tjockflytande om man ska kunna uppnå tillfredsställande syresättning. En ekonomisk aspekt är att ju mer fast avfall som ska hanteras, ju större krav ställs på utrustningen vid anläggningen; det är tveksamt om den aktuella anläggningsutformningen är tillräckligt anpassad i detta fall.

Om man ska betrakta processens möjligheter kan vi utgå från de förhållanden som rått under uppföljningsperioden vid beskickning med råmaterial med ca 7 % TS. Den organiska belastningen har då, under de perioder processen gått som bäst (genomsnittlig hydraulisk uppehållstid 9 dygn), varit ca 6 kg VS/m^3, d vilket är en ganska måttlig belastning vid våtkompostering. Vid ekonomisk drift (enligt avsnitt 5.3.2) var den organiska belastningen ca 8 kg VS/m^3, d. En bra anläggning torde gå att driva med råmaterial på 10 % TS (belastningar på 10-12 kg VS/m^3, d) om den organiska substansen är lättomsättbar.

6.7 Sammanfattande slutsatser

- Vakuumsystemet har i huvudsak fungerat problemfritt, problem har dock förekommit i systemets anslutning med uppsamlingstanken.
- Elbehovet för vakuumsystemet har varit 70 kWh per klosett och år.
- Rutinerna vid svartvattenhämtningen måste utföras så att inte bara vätskefasen utnyttjas. Dessutom bör man eftersträva att insamla matavfall från köket.
- Vid den löpande driften är det viktigt att råmaterialet är ordentligt omrört och att inte TS-halten är för hög. Vidare så krävs regelbunden kontroll och rengöring av luftarrör och skum-/nivågivare.
- Behandling vid långa uppehållstider ger sämre behandlingskapacitet och upphov till ökade kväveförluster, för en effektivare drift bör inslaget av lättomsättbar organisk substans ökas
- Våtkomposteringsbehandlingen ger upphov till tillfredsställande hygienisering, brister i materialhanteringen har dock resulterat i en förhöjd halt av Fekala Streptokocker i efterlagret.
- För drift av anläggningen krävs cirka 4 timmar per arbetsvecka
- Lutningen av materialet måste utformas så att inte luftarröret sätts igen och förhindrar syresättning av materialet.

- Elbehovet har varit cirka 25 kWh per m^3 råmaterial i våtkomposteringsprocessen.
- Luftbehandlingssystemet måste utformas så att man med säkerhet kan utnyttja biofiltret, annars riskerar man att förlora 20-30 % av svartvattnets kväveinnehåll som ammoniak.
- Tungmetallhalterna i våtkomposten är låga med den avfallssammansättning som varit under utvärderingsperioden i Kvicksund.
- I samband med tömning av efterlagret måste omrörning ske med jämna mellanrum eftersom materialet är sedimenteringsbenäget.
- För ekonomisk drift bör anläggningen uteslutande behandla avfallsslag som genererar mottagningsavgifter, främst organiskt avfall. Ingående råmaterial med ett TS-innehåll på upp emot 10 % bedöms som möjligt om det organiska innehållet är lättomsättbart

Det finns som vi ser det behov av fördjupade studier och utvecklingsinsatser inom området. Fortsatt FoU-arbete omfattar såväl processutveckling som frågor rörande hygieniseringsaspekter och bör bland annat innehålla:

- Processoptimering med huvudsyftet att minska elförbrukningen
- Belysning av frågeställningar kring risken för tillväxt och kontaminering av patogena organismer i efterlagret
- Odlingsförsök där våtkompostens växtnäringseffekt studeras

REFERENSER

Jordbruksverket, 1998. SJVFS 1998:34. Statens Jordbruksverks föreskrifter om hantering av djurkadaver och annat animaliskt avfall.

Karlsson, S., Malgeryd, J.; Rodhe, L., 1997. Minska ammoniakförlusterna vid hantering av flytgödsel. Teknik för lantbruket nr 60, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.

Malgeryd, J., 1996. Åtgärder för att minska ammoniakemissionerna vid spridning av stallgödsel. JTI-rapport Lantbruk och industri nr 229, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.

Naturvårdsverket, 2000. Sjösättning av certifieringssystem för kompost och rötrest från organiskt avfall. Naturvårdsverket/AFN. AFR-rapport 257.

Naturvårdsverket, 1999. Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement. Rapport 4974.

Norin, E., 1995. Våtkompostering som stabilisering- och hygieniseringsmetod för organiskt avfall. JTI-rapport Kretslopp & avfall nr 3, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.

Skjelhaugen O.J., Gjervan, J.O., 1988 Våtkompostering. Småskrift for landbruket nr. 3. Statens fagtjenste for lantbruket, Ås, Norge.

Skjelhaugen, 1999. A Farmer-operated System for Recycling Organic Waste. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol. 73, No. 4, August 1999.

Personliga meddelanden 1999

Berg, Jessica. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.

Karlsson, Stig. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.

Richert Stintzing, Anna. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.

BILAGA 1

ENKÄTUNDERSÖKNING

Enkätundersökning personal (47 svar) och elever (189 svar, åk 4 – 9).

Hur tycker du att vakuumsystemet fungerar?	Personal (%)	Elever (%)
Mycket bra	55	24
Ganska bra	26	41
Varken bra eller dåligt	17	25
Dåligt	0	5
Ej svarat / Vet ej	2	5

Händer det att du spolar mer än en gång efter ett toalettbesök?	Personal (%)	Elever (%)
Alltid	2	5
Ibland, oftare än på en vanlig toalett	6	4
Inte oftare än på en vanlig toalett	45	16
Aldrig	45	73
Ej svarat / Vet ej	2	2

Hur många gånger per dag utnyttjar du vakuumtoaletterna?	Personal (%)	Elever (%)
Aldrig	0	20
1 ggr/dag	30	58
2-3 ggr/dag	51	15
Mer än 3 ggr/dag	17	5
Ej svarat / Vet ej	2	2

Tycker du att vakuumtoaletterna skapar störande buller?	Personal (%)	Elever (%)
Ja	13	62
Nej	81	35
Ej svarat / Vet ej	6	3

Upplever ni att det är mer driftsproblem än för en vanlig toalett?	Personal (%)	Elever (%)
Mycket mer	0	6
Lite mer	9	15
Varken mer eller mindre	72	50
Mindre	4	11
Ej svarat / Vet ej	15	18

Har du någon uppfattning om varför det är vakuumsystem på skolan?	Personal (%)	Elever (%)
Ja	81	33
Nej	15	62
Ej svarat / Vet ej	4	5

Enkätundersökning kökspersonal (8 svar).

Hur anser ni att kompostkvarnen har varit att använda?	Kökspersonal (%)
Mycket bra	0
Ganska bra	0
Varken bra eller dåligt	38
Dåligt	62

Har det varit några problem med kvarnen?	Kökspersonal (%)
Ja	100
Nej	0

Har problemen varit av typ funktionsfel?	Kökspersonal (%)
Ja	87
Nej	13

Har problemen bestått i att matavfall har fastnat?	Kökspersonal (%)
Ja	100
Nej	0

Har kvarnen uppfyllt er förväntning?	Kökspersonal (%)
Mycket bra	0
Ganska bra	0
Varken bra eller dåligt	25
Dåligt	75

Har systemet inneburit merarbete för er?	Kökspersonal (%)
Ja, mycket	50
Ja, lite grann	50
Nej, inte mycket	0
Nej, inte alls	0

BILAGA 2

PROVTAGNINGSRESULTAT

	TS-halt	Glödrest	Glödförlust	pH	N-tot	NH4-N	P-tot	K	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Zn	Hg
Enhet	%				g/kg TS				mg/kg TS						µg/l
Flytgödsel															
98-09-29	8,5	18,9	81,1												
98-10-28	8,5	18,4	81,6												
98-12-17	10,3	18,1	81,9												
Medel	**9,1**	**18,5**	**81,5**												
Std-avv.	**1,0**	**0,4**	**0,4**												
Svartvatten															
99-08-31	0,43	(49,3)	(50,7)	8,3	150	150	16	230	2,3	0,50	56	<3	8,5	440	0,10
99-10-22	0,20	(80,5)	(19,5)	8,4	410	400	19	190	24	0,57	80	<12	17,0	970	0,10
99-11-26	0,18	(19,3)	(80,7)	8,5	420	420	29	160	27	1,60	150	<6	16,0	730	0,10
Medel	**0,27**	**(49,7)**	**(50,3)**	**8,4**	**327**	**323**	**21**	**193**	**17,8**	**0,89**	**95**	**<7**	**13,8**	**713**	**0,10**
Std-avv.	**0,14**	**(30,6)**	**(30,6)**	**0,1**	**153**	**150**	**7**	**35**	**13**	**0,62**	**49**	**<4,6**	**4,6**	**265**	**0**
Råslam															
99-10-22	3,7	24,3	75,7	6,8	66	45	9,9	66							
99-11-16	8,6	17,2	82,8	7,4	28	25	6,6	30							
99-11-29	8,1	17,0	83,0	7,0	35	23	6,4	39							
Medel	**6,8**	**19,5**	**80,5**	**7,1**	**43**	**31**	**7,6**	**45**							
Std-avv.	**2,7**	**4,2**	**4,2**	**0,3**	**20**	**12**	**2,0**	**19**							
Våtkompost (10 timmar)															
99-06-08	6,5	22,5	77,5	--	36	34	10,0	55							
99-11-16	4,1	24,6	75,4	8,7	57	56	11,0	66							
99-11-29	6,0	20,2	79,8	8,8	43	35	7,7	50							
Medel	**5,5**	**22,4**	**77,6**	**8,8**	**45**	**42**	**9,6**	**57**							
Std-avv.	**1,3**	**2,2**	**2,2**	**0,1**	**11**	**12**	**1,7**	**8**							
Våtkompost (efterlager)															
99-07-06	2,3	32,9	67,1	6,9	76	65	16,0	65	62	0,61	42	1,8	24	340	--
99-08-31	3,1	30,4	69,6	7,2	55	36	13,0	150	4,7	0,38	43	1,8	6,4	400	0,03
99-11-16	4,0	26,8	73,2	7,7	56	50	11,0	66	11	0,30	31	2,4	4,6	300	0,10
Medel	**3,1**	**30,0**	**70,0**	**7,3**	**62**	**50**	**13,3**	**94**	**26**	**0,43**	**39**	**2,0**	**11,7**	**347**	**0,07**
Std-avv.	**0,9**	**3,1**	**3,1**	**0,4**	**12**	**15**	**3,0**	**49**	**31**	**0,16**	**7**	**0,35**	**10,7**	**50**	**0,05**

Anm. Värdena på glödrest (GS) och glödförlust (GF) för svartvattnet bedömer vi som mycket osäkra och därför är de inte redovisade inne i rapporten. Med laboratoriets utrustning är det ytterst svårt att bestämma GS och GF på så låga TS-halter som 0,2-0,5 %.

BILAGA 3

MIKROBIOLOGISK ANALYS

Fekala Streptokocker. Antal per 100 ml.

	Råslam	**Kompost (10 timmar)**	**Kompost (efterlager)**
99-11-16	24 000 000	500	14 000
99-11-29	15 000 000	500	200 000
99-12-06	24 000 000	<1000	96 000
Medel	**21 000 000**	**<667**	**103 333**

BILAGA 4

SAMRÅDSPROTOKOLL

Samråd angående jordbruksanvändning av våtkomposterat svartvatten, köksavfall och flytgödsel på Sörby gård, Eskilstuna kommun

Datum: 990618

Plats: Eskilstuna Energi & Miljö

Närvarande:	Per-Ola Nilsson	Eskilstuna Energi & Miljö
	Tomas Eriksson	Sörby gård
	Mats Grinell	Odal
	Rune Johansson	LRF
	Christopher Gruvberger	JTI
	Ola Palm	JTI
	Marianne Adsjö	Naturskyddsföreningen
	Håkan Gilledal	Naturskyddsföreningen
	Anna Norberg	Bygg- och Miljökontoret
	Stefan Sjöberg	Bygg- och Miljökontoret
Delges:	Erik Norin	VBB VIAK
	Andreas Wiberg	VBB VIAK

Inledning och presentation av deltagarna

Samrådet inleddes med en presentation av de närvarande.

Samråd vid andra anläggningar än kommunala avloppsreningsverk

Mats Grinell redovisade erfarenheter från liknande samråd som behandlar material som inte består av avloppsslam från reningsverk. Exempel på detta är rötrest. Det finns en rekommendation från parterna i

slamöverenskommelsen att informera de lokala samrådsgrupperna om denna typ av frågor och få gruppens synpunkter på verksamheten och jordbruksanvändningen. Vidare informerades om ARLA:s och Ceralias inställning i frågan.

Beskrivning av Tegelvikens va-system

Per-Ola Nilsson presenterade avfalls- och avloppssystemet på Tegelviken. I korthet innebär systemet att svartvatten samlas in med vakuumtoaletter och blandas med matavfall från köket. BDT-vattnet behandlas lokalt vid Tegelviken i en rotzonsanläggning. Svartvatten och matavfall transporteras till Sörby gård för att våtkomposteras. I dagsläget fungerar dock inte insamling av matavfall. Vid Sörby gård finns möjlighet att blanda in flytgödsel för att uppnå högre torrsubstanshalt i materialet, vilket är positivt för våtkomposteringsprocessen.

Presentation av uppföljningsprogrammet

Christopher Gruvberger presenterade det utvärderingsprogram som utförs av Eskilstuna Energi & Miljö, JTI och VBB VIAK. I utvärderingsprogrammet belyses hela hanteringskedjan (materialinsamling-behandling-spridning) för svartvatten och matavfall. Programmet ska bl.a. ge svar på systemets tillförlitlighet, avfallens kvalitet, tidsåtgång, energiåtgång samt restproduktens användning. Resultaten kommer att redovisas i VA-forsks rapportserie samt vid ett seminarium någon gång under hösten 1999.

Genomgång av analysresultat och utskickat underlagsmaterial

Gruppen gick igenom de analysresultat som hittills finns tillgängliga. Ett hygienprov är taget. Resultaten från detta var mycket bra. De analyser som är tagna på svartvatten och flytgödsel samt komposterat material visade att materialet innehåller låga halter av tungmetaller. Fler prover kommer att tas på samtliga material. Dessa resultat kommer att redovisas i uppföljningsprogrammet.
Underlagsmaterialet hade skickats ut till gruppen innan mötet. Vid genomgång framkom önskemål om vissa kompletteringar. Bl.a. kommer underlaget kompletteras med temperaturkurvor samt analysresultat.

Jordbruksanvändning av våtkomposten

Våtkomposten kommer att spridas med samma utrustning som gårdens övriga flytgödsel, d.v.s. en normal flytgödseltankvagn med spegelspridare. Spridningen är planerad att ske i mitten av augusti före sådd av höstvete.

Synpunkter och diskussion

Samtliga i gruppen ställde sig positiva till spridning av materialet. Gruppen ansåg att det är en ren produkt som dessutom är hygieniserad, vilket upplevs mycket positivt.

Samrådsgruppens rekommendation

Samrådsgruppens ställde sig positiv till spridning och godkänner materialet för den planerade användningen. I övrigt kom gruppen fram till följande:

- Prover på det komposterade materialet ska tas i god tid innan spridning. Analyserna ska omfatta tungmetaller (Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni och Zn), pH, innehåll av torrsubstans och glödförlust samt växtnäring (totalkväve, ammoniumkväve, fosfor och kalium). Analysresultaten ska skickas ut till samtliga i samrådsgruppen.

- Rapporten från utvärderingsprogrammet ska skickas ut till samrådsgruppen. Inbjudan till seminarium ska dessutom gå ut till samtliga i gruppen.

Vid pennan — Justeras

Christopher Gruvberger — Per-Ola Nilsson

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien fr o m 1995

1995-01 Ringar på vattnet – VA-verken och Agenda 21, *Anna Helmrot, Gunnel Jonsson, Örjan Eriksson*
1995-02 Transport av föroreningar i avloppssystem. Beräkningsmöjligheter med MouseTRAP, *Claes Hernebring, Cecilia Appelgren*
1995-03 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Hans Björkman, Majlis Stenberg, Ann-Carin Andersson, Anne-Marie Tillman, Erik Kärrman*
1995-04 Utvärdering av biologisk fosforavskiljning vid Öresundsverket i Helsingborg – Processstekniska och mikrobiologiska aspekter, *Magnus Christensson, Karin Jönsson, Natuschka Lee, Ewa Lie, Per Johansson, Thomas Welander, Kjetill Østgaard*
1995-05 Internkontroll vid VA-verk. Arbetsbok för upprättande och genomförande av internkontrollprogram för arbetsmiljön vid va-verk, *Ingvar Borgström, Anders Karlsson*
1995-06 Regional VA-samverkan – Potential och principer, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
1995-07 Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra, ett alternativ till kalk-kolsyra – Fullskaleförsök vid Öxsjöverket Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
1995-08 Våtmarksrening vid Landsbro ARV, *Leif Lorentzon, Göran Nilsson, Yvonne Gunnevik, Carl Odelberg, Thomas Svensson*
1995-09 Tvättmedel – Effekter på reningsverk och miljö, *Cajsa Wahlberg*
1995-10 Utvärdering av VAVs läckagestatistik, *Ann-Christin Sundahl, Åse Hasselkvist*
1995-11 Trädrötter och avloppsledningar. En fördjupad undersökning av rotproblem i nya avloppsledningar, *Örjan Stål, Jörgen Rosenlöf*
1995-12 Renovering av vattenledningar. Riktlinjer för metodval, dimensionering och utförande, *Thomas Johansson, Per Romdal, Øistein Torgersen*
1995-13 Nya kemikalier – En utmaning för kommunala reningsverk. Förstudie, *Björn Frostell, Bengt Hultman, Jonas Röttorp, Peter Solyom*
1995-14 CD-ROM inom VA, *Leif W Linde, Gunnar Petersson*
1995-15 Kvalitetssäkerhet och leveranssäkerhet i distributionssystem för dricksvatten, *Bengt Zagerholm, Rolf Bergström*
1995-16 Försöksrapport från biologisk fosforavskiljning vid Jämshögs reningsverk, Olofströms kommun, *Carl-Johan Legetth*
1996-01 Organiskt avfall som växtnäringsresurs. Potential och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser, *H B Wittgren*
1996-02 Rotinträngning i avloppsledningar. En undersökning av omfattning och kostnader i Sveriges kommuner, *Örjan Stål*
1996-03 Källsorterad humanurin i kretslopp – Förstudie i tre delar, *Håkan Jönsson, Anna Olsson, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar*
1996-04 VA sett på nytt sätt – Driftentreprenader i några kommuner, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*
1996-05 Avrinningsområdesbaserade organisationer som aktiva planeringsaktörer, *Jan-Erik Gustafsson*
1996-06 Bedömningsgrunder för ovidkommande vatten i avloppsnät. Metodikmanual, *Ann-Marie Gustafsson, Gilbert Svensson*
1996-07 Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden, *Claes Hemebring*
1996-08 Rening av avloppsslam från tungmetaller och organiska miljöfarliga ämnen, *Erik Levlin, Lars Westlund, Bengt Hultman*
1996-09 Kemikaliers effekter i VA-sammanhang. En datasammanställning, *Ingemar Dellien*
1996-10 Syrgas i kombination med luftinblåsning vid pilotförsök med kväverening vid Västerås reningsverk, *Hermann Wiklund, Kjell-Ivar Dahlqvist, Bernt Ericsson*
1996-11 Export av svenskt kommunalt VA-kunnande, *Gösta W Fredriksson, Åke Mattsson*
1996-12 Litteraturdatabas för grundvatten i urban miljö på Internet, *Chester Svensson*
1996-13 Konkurrensutsättning av VA-verksamheten, *Stig Tunestål*
1997-01 Utvärdering av VA-lösningar i ekobyar, *J-E Haglund, B Olofsson*
1997-02 Aktivt stöd till fastighetsägare vid nybyggnad av VA-nät, *Roland Strandberg, Mårten Wärnö*
1997-03 Dosering av biokultur i en igensatt infiltrationsanläggning – En utvärdering, *Jenny Holmgren*
1997-04 Biogasanläggningar i Sverige, *Anna Lindberg*
1997-05 VA-försörjning i ny skepnad – Om konkurrens och strukturomvandling i Vaxholm, *Ola Mattisson*
1997-06 Fosforns växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska, *Kersti Linderholm*
1997-07 Dricksvatten och korrosion – En handbok för vattenverken, *Bo Berghult, Ann Elfström Broo, Torsten Hedberg*
1997-08 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Sammanfattande slutrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Majlis Stenberg*
1997-09 Analys av avloppssystem med datormodeller. Tillämpningsexempel med MOUSE-systemet, *Bo Granlund, Mats Andréasson*
1997-10 Läcksökning med hjälp av tryckslagsmätningar – Transientmetoden, *Lennart Jönsson, Anders Svensson*
1997-11 Modellering av ekologisk dagvattenhantering, *Cecilia Wennberg*
1997-12 Avvattning av avloppsslam med naturnära metoder – Erfarenheter från ett fullskaleförsök i Lövånger, *Daniel Hellström, Elisabeth Kvarnström*
1997-13 Sambandet mellan kostnader och avgifter inom kommunal VA-verksamhet, *Torbjörn Tagesson*
1997-14 Kundorienterad kvalitetsutveckling i VA-verksamhet – Rapport från en förstudie, *Patrik Larsson, Saara Isaksson*
1997-15 Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem, *Hans Bäckman, Bengt Göran Hellström, Anders Jaryd, Åke Jonsson*
1997-16 Avvattningslaguner för slam från enskilda brunnar, *Erik Brydolf, Eric Rönnols*
1998-01 Tryckslag i vattenledningsnät – några exempel, *Johan Spännare*
1998-02 Tryckslags inverkan på vattenledningsnät, *Jakob Büchert, Anders Svensson*
1998-03 Analys av redovisade kostnader enligt DRIVA Kostnadsjämförelser för åren 1993-1995, *Gilbert Svensson, Annika Malm*
1998-04 Långsamfilters reningspotential, *Essie Andersson*
1998-05 Kontaktfiltrering av ytvatten – en teknik på frammarsch, *Maria Byström*
1998-06 Utvärdering av WEFs CD kurs "Operations Training – Wastewater Treatment Course" *José-Ignacio Ramírez*
1998-07 Nordisk konferens om kväverening och biologisk fosforrening – 1997, *Bengt Göran Hellström, Anders Finnson*
1998-08 Toluen i avloppsslam – En studie av Lingheds reningsverk, *Thomas Hellström, Hans Hedvall*
1998-09 Långtidseffekter av storskalig avloppsinfiltration – Erfarenheter från Berlin–Brandenburg, *Per-Arne Malmqvist, Viveka Ramstedt, Hans Björkman*
1998-10 Struktur för ledningssystem VA, *Gunnar Mellström, Jan Adamsson*
1998-11 Ozonbehandling följt av långsamfiltrering vid dricksvattenframställning, *Anette Seger*
1998-12 Nitrifikationshämning i svenska kommunala avloppsvatten – Undersökningar med screeningmetoden och renkulturer av nitrifikationsbakterier, *Karin Jönsson, Camilla Grunditz*
1998-13 Katjoniska polyakrylamider – Inverkan på markens mikrobiologi, *Mats Johansson, Nicklas Paxéus*, Cajsa Wahlberg, Lennart Torstensson
1998-14 Miljöledningssystem för avloppssystem – En handledning, *Ann-Carin Andersson, Ann-Charlotte Bauer*
1998-15 Dricksvattensituationen i Sverige, *Anders Hult*
1998-16 Systemanalys VA – Hygienstudie, *Ann Albihn, Thor Axel Stenström*
1998-17 Hur tolkas en LCA-rapport? *Göran Svensson*

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien

1999-0 VA-FORSK-rapporter 1992–1998
1999-01 Internationell sammanställning av erfarenheter med ekologisk dagvattenhantering, *Janusz Niemczynowicz*
1999-02 Miljöföroreningar i dricksvatten, *Olof Bergstedt, Nicklas Paxéus, Henrik Rydberg*
1999-03 Processmodell för vattenverk – Tillämpning av Weasel på sju svenska vattenverk, *Claes Hernebring, Bengt Zagerholm*
1999-04 Kundenkäter inom VA – handledning och förslag till frågeformulär, *Jan Lille*
1999-05 Bevattning av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten, *Kenth Hasselgren*
1999-06 Kartläggning av retention av fosfor och metaller i kommunala slamdeponier – modellområde Avan i Gävle, *Emil Rydin, Kristian Persson, Curt Forsberg*
1999-07 Utveckling av en biosensor för denitrifikationshämning, *Lena Gumaelius, Gunnel Dalhammar*
1999-08 VA-försörjning och avfallshantering i lokal Agenda 21 i Skåne – erfarenheter från 20 kommuner, *Peder Hjorth*
1999-09 Köksavfallskvarnar – effekter på avloppsreningsverk. En studie från Surahammar, *Tina Karlberg, Erik Norin*
1999-10 Kompletterande avloppslösningar i flerfamiljshus och offentliga lokaler, *Jan-Erik Haglund, Birgitta Olofsson, Maria Rydén, Henrik Tideström*
1999-11 Slamförbränning, *Katarina Starberg, Jan-Erik Haglund, Jan Hultgren*
1999-12 Organiska för(or)eningar i avloppsvatten från kommunala reningsverk, *Nicklas Paxéus*
1999-13 Tillämpning av hydrologiska modeller i vattenplanering, *Lars Kylefors, Thomas Gumbricht, Lars-Göran Gustafsson*
1999-14 Spårämnesförsök som undersökningsmetodik vid konstgjord grundvattenbildning, *Lena Tilly, Lena Maxe, P-O Johansson*
1999-15 Miljösystemanalys av hushållens avlopp och organiska avfall – syntes av hanteringssystem undersökta inom FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnäringsresurs", *Erik Kärrman, Håkan Jönsson, Christopher Gruvberger, Magnus Dalemo, Ulf Sonesson, Thor Axel Stenström*
1999-16 Kadmium – spårning och analys, *Marie Hägglund, Christina Rydh, Birgitta Strandberg*
1999-17 Optimering av långsamfilter, *Husam S. Jabur, Jonas Mårtensson*
1999-18 Konstgjord grundvattenbildning – avskiljning av organiskt material i den omättade zonen, *Johanna Blomberg, redaktör*
1999-19 Hårdgörning av dricksvatten med krita i torr form och kolsyra – fullskaleförsök vid Öxsjöverket i Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
1999-20 Servisavloppsledningar – erfarenheter och råd vid schaktfri renovering, *Thomas Johansson*
1999-21 Hydraulisk modellering av vattenledningsnät i realtid, *Lennart Andersson*
1999-22 Slamspridning på åkermark. Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981–1997, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
2000-01 Källsorterad humanurin i kretslopp, *Håkan Jönsson, Björn Vinnerås, Caroline Höglund, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar, Holger Kirchmann*
2000-02 Användningsmöjligheter för avloppsslam, Henrik Tideström, Katarina Starberg, Thord Ohlsson, Per-Axel Camper, Peter Ek
2000-03 Hantering av svartvatten från Tegelvikens skola – kretsloppssystem med våtkompostering, *Erik Norin, Christopher Gruvberger, Per-Ola Nilsson*